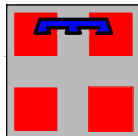




# Autostrada Asti-Cuneo



PROVINCIA DI ASTI



REGIONE PIEMONTE



PROVINCIA DI CUNEO

## COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE ASTI - CUNEO

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)  
LOTTO 6 RODDI - DIGA ENEL

PROGETTO ESECUTIVO  
OPERE D'ARTE IN SEDE

GALLERIA DI VERDUNO  
PARTE GENERALE  
RELAZIONE GEOLOGICA

Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Codifica:
00	Apr. 2013	EMISSIONE	Dott. Pennino	Ing. Ossesia	Ing. Ghislandi	2.6 E - r D.2.1.02
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Lotto Prog. Tipo Elaborato
01	Marzo 2015	Rev. a seguito richieste MIT-SVCA-V.A.	Dott. Pennino	Ing. Saurio	Ing. Ghislandi	Marzo 2015
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Scala:
						-



PROGETTISTA E RESP. INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  
Dott. Ing. Enrico Ghislandi  
Albo di Milano  
N° A 16993

GEOLOGO :  
Dott. Geol. Maurizio Conte  
Albo dei Geologi delle Marche  
N° 409

CONCESSIONARIA:







## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>8</b>
3.1. DOCUMENTI PREGRESSI.....	8
3.1.1. <i>Indagini geognostiche</i> .....	8
3.1.2. <i>Documento di Progetto/Expertise</i> .....	9
3.2. ELABORATI DI PROGETTO ESECUTIVO.....	11
3.2.1. <i>Indagini geognostiche</i> .....	11
3.2.2. <i>Documenti di Progetto</i> .....	11
<b>4. INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>13</b>
4.1. BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	13
4.2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....	14
4.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE .....	15
<b>5. ANALISI DELLE PRINCIPALI PROBLEMATICHE E CRITICITA' GEOLOGICO- GEOTECNICHE .....</b>	<b>20</b>
5.1. PROBLEMATICHE E CRITICITÀ .....	20
5.1.1. <i>Franosità</i> .....	20
5.1.2. <i>Presenza di cavità all'interno della formazione gessoso-solfifera</i> .....	21
5.1.3. <i>Attraversamento dei corpi detritici contenuti nelle marne</i> .....	21
5.1.4. <i>Attraversamento di zone di faglia</i> .....	22
5.1.5. <i>Problematiche idrogeologiche e ambientali (doline)</i> .....	23
5.1.6. <i>Condizioni di stabilità dei fronti di scavo</i> .....	23
5.1.7. <i>Valutazione degli scenari di rischio</i> .....	24
5.2. SUDDIVISIONE DEL TRACCIATO IN ZONE OMOGENEE .....	24
<b>6. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....</b>	<b>26</b>
6.1. CAMPAGNE DI INDAGINI PREGRESSE .....	27
6.1.1. <i>Campagna di progetto preliminare della variante della S. S. n. 231 Alba- Bra</i> .....	27
6.1.2. <i>Campagna Progetto Definitivo 1998</i> .....	28
6.1.3. <i>Campagna Progetto Esecutivo 2001</i> .....	29
6.1.4. <i>Campagna di indagine integrativa 2006</i> .....	31
6.2. CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2011-2012 .....	33
6.2.1. <i>Sondaggi geognostici</i> .....	35
6.2.2. <i>Campagna di indagine geofisica</i> .....	36
6.2.3. <i>Dati piezometrici</i> .....	38
6.2.4. <i>Dati inclinometrici</i> .....	42
6.2.5. <i>Rilievo geologico</i> .....	45



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

6.2.6.	<i>Prove con traccianti</i> .....	51
6.2.7.	<i>Analisi dati interferometrici</i> .....	53
<b>7.</b>	<b>STUDI SPECIFICI NELL'AREA IN ESAME</b> .....	<b>54</b>
7.1.	STUDIO DOLINE ESEGUITO DAL COMUNE DI VERDUNO.....	54
7.2.	STUDIO DELLA STRADA DI ACCESSO AL “NUOVO OSPEDALE ALBA-BRA”, ESEGUITO DALLA PROVINCIA DI CUNEO .....	66
<b>8.</b>	<b>STUDI INTEGRATIVI RISPETTO AL PROGETTO DEFINITIVO</b> .....	<b>68</b>
<b>9.</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO GENERALE</b> .....	<b>71</b>
9.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE .....	71
9.2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO.....	72
9.3.	ASSETTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE.....	73
9.4.	CENSIMENTO DEI FENOMENI FRANOSI .....	76
9.5.	ASSETTO STRATIGRAFICO DELL'AREA DI PROGETTO .....	79
9.5.1.	<i>Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano)</i> .....	79
9.5.2.	<i>Formazione gessoso-solfifera (Messiniano)</i> .....	80
9.5.3.	<i>Argille di Lugagnano (Pliocene inferiore-medio)</i> .....	80
9.5.4.	<i>Depositi colluviali (Olocene-attuale)</i> .....	81
9.6.	ESAME DEI SONDAGGI E UNITÀ LITOLOGICHE .....	81
<b>10.</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO PER TRATTE OMOGENEE</b> .....	<b>89</b>
10.1.	ZONA 1 - ZONA DELL'IMBOCCO LATO CHERASCO.....	94
10.2.	ZONA 2 - ZONA DI GALLERIA INTERESSATA DALL'ATTRAVERSAMENTO DELLA ZONA DEI GESSI.....	97
10.3.	ZONA 3 - ZONA DI GALLERIA ALL'INTERNO DEL SUBSTRATO MARNOSO-ARGILLOSO 101	
10.4.	ZONA 4 - ZONA DI GALLERIA CON CORPI DETRITICI (GHIAIOSO-SABBIOSI) ALL'INTERNO DEL SUBSTRATO MARNOSO-ARGILLOSO .....	104
10.5.	ZONA 5 – IMBOCCO LATO ALBA.....	109
<b>11.</b>	<b>MODELLO IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>118</b>
11.1.	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEGLI ACQUIFERI.....	120
11.1.1.	<i>Assetto idrogeologico dell'acquifero dei gessi</i> .....	120
11.1.2.	<i>Assetto idrogeologico dell'acquifero delle intercalazioni ghiaioso-sabbiose</i> .....	123
11.1.3.	<i>Assetto idrogeologico dell'acquifero dei depositi di frana e colluviali</i> .....	124
11.2.	CIRCOLAZIONE NELL'ACQUIFERO ALLUVIONALE DEL F. TANARO .....	125
11.3.	CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEI SETTORI DI SCAVO .....	126
<b>12.</b>	<b>SISMICITA' DELL'AREA DI INTERVENTO</b> .....	<b>130</b>
12.1.	DATI DISPONIBILI .....	130
12.2.	CARTA DELLA SISMICITÀ IN ITALIA .....	130
12.3.	MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	131
12.4.	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO .....	134
12.5.	CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA SECONDO NTC 2008 .....	137



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

**Allegati:**

**Tabelle**

**Allegato 1** – schede dei singoli fenomeni franosi censiti nell'area di progetto.

**Allegato 2** – dati piezometrici

## 1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è fornire l'inquadramento geologico, geomorfologico, strutturale e litologico-stratigrafico dell'area interessata dalla futura realizzazione della galleria naturale "Verduno", opera d'arte compresa nel Lotto 6, Tronco 2 del costruendo collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo).

In particolare, per il Lotto in esame, la galleria naturale, che dovrà attraversare la collina di Verduno, rappresenta l'opera di maggiore complessità sul piano della fattibilità tecnica e dell'interazione con le preesistenze. La galleria è composta da due fornici affiancati; il tratto in naturale scavato a foro cieco è pari a 3100 m circa in canna di valle e 3185 m in canna di monte. Lo scavo avviene con sistema meccanizzato, adottando una TBM del tipo EPB con diametro di scavo pari a 15,30 m; in corrispondenza degli imbocchi sono inoltre realizzati brevi tratti in tradizionale per consentire l'avvio della TBM.

Il progetto della Galleria Verduno e, più in generale del Lotto 6, ha subito un iter particolarmente complesso a partire dal primo progetto di massima, assoggettato a compatibilità ambientale con DEC VIA del 02.03.1994, passando attraverso il Progetto Esecutivo redatto dalla Società Selpro nel 2002-2003, fino al Progetto Definitivo redatto dalla Concessionaria nel 2008; su quest'ultimo progetto, nell'ambito della Conferenza dei Servizi del 06.05.2008, il Ministero dell'Ambiente ha richiesto la verifica di assoggettabilità secondo le modalità previste all'art. 20 del D.Lgs. n. 152/06 e s.m.i., così da ottenere una nuova compatibilità ambientale attinente ad un progetto ormai lontano, nei contenuti, da quello del 1994. Il DEC. VIA n. 576 del 28.10.2011, seguito alle pubblicazioni avvenute in data 17.04.2010 ed alle successive integrazioni e pubblicazioni, ha portato ad una revisione conclusiva del Progetto Definitivo.

In particolare, per quanto attiene agli aspetti geologico-geotecnici, il DEC VIA del 28.10.11 ha evidenziato la necessità dei seguenti approfondimenti (punto 2.2.5. Componente suolo e sottosuolo):

- Studio modellistico ad elementi finiti di valutazione dell'entità degli effetti di dissesto indotti sugli insediamenti residenziali e produttivi, in relazione al rischio di instaurazione di fenomeni significativi di subsidenza o crollo di strutture carsiche profonde.
- Studio per individuare la migliore tecnologia costruttiva per lo scavo della galleria che, con particolare riferimento al settore con litologie della Formazione gessoso-solfifera ed alle zone di contatto con la formazione delle marne di Sant'Agata, dovrà consentire di ridurre al minimo le interferenze con l'acquifero carsico contenute nei gessi.
- Predisposizione di un continuo monitoraggio durante l'opera di scavo della galleria, in considerazione che l'attraversamento di sedimenti sciolti sottofalda e di cavità carsiche, per natura non completamente monitorabili se non in corso d'opera, pone l'area circostante alla galleria a rischio idrogeologico.
- Definizione del monitoraggio ante-operam (almeno 1 anno prima dell'inizio dei lavori) preferibilmente mediante tecnologia GIS, anche con verifiche di tipo vibrazionale, ed esecuzione, sempre ante-operam, di indagini geoelettriche e sismiche per individuare le cavità carsiche.
- Verifiche delle zone di imbocco mediante approfondimenti geologici e geotecnici per verificare la stabilità secondo le NTC2008; in considerazione delle scadenti caratteristiche geotecniche delle coperture detritiche è necessario che non vengano effettuati sbancamenti importanti (superiori ai 5 m), anche a breve termine, senza fare uso di opere di sostegno.
- Approfondimenti del contatto tra l'Unità 6 (Gessi) e l'Unità 7 (Marne appartenenti alla Formazione delle "Marne di S. Agata Fossili).
- Predisposizione, nella fase di sviluppo e redazione del progetto esecutivo, di un Piano di Emergenza con definizione dei valori di allerta.



Tali aspetti sono stati anche alla base della successiva progettazione, che ha visto la modifica delle modalità costruttive della galleria, dalla metodologia in tradizionale allo scavo meccanizzato, oggetto della presente verifica di assoggettabilità.

Nel seguito, dopo un inquadramento generale circa le caratteristiche geologiche dell'area, si evidenziano le macro problematiche connesse alla realizzazione della galleria, che hanno portato all'esecuzione di indagini e studi integrativi, anche per riscontrare puntualmente le prescrizioni contenute nel DEC VIA 576 del 28.10.11 sopra richiamate. Verranno quindi descritte puntualmente le indagini e gli studi condotti, e verrà presentato il modello geologico-geomorfologico di riferimento con riguardo alle tratte omogenee in cui verrà suddivisa la galleria.

Per gli approfondimenti e la definizione del modello idrogeologico si rimanda allo specifico elaborato "Relazione idrogeologica" di progetto (documento 2.6-E.rD.D.2.1.04); si è preferito predisporre uno specifico documento, data l'importanza che le tematiche idrogeologiche rivestono nel presente progetto. Nella "Relazione idrogeologica" infatti si presenta in dettaglio la ricostruzione del modello idrogeologico concettuale nonché l'implementazione di un modello numerico tridimensionale di flusso. Il modello numerico costituisce uno strumento indispensabile per la quantificazione degli effetti connessi al drenaggio della galleria, specialmente in un contesto geologicamente complesso come quello che caratterizza il versante collinare di Verduno. Il modello numerico è stato utilizzato allo scopo di validare alcune ipotesi del modello concettuale (es. presenza di cavità carsiche o più in generale di specifici assi di drenaggio nell'acquifero dei gessi), di stimare gli abbassamenti della falda dovuti al drenaggio della galleria, di calcolare le venute d'acqua in galleria sul breve e lungo periodo, individuando gli interventi più idonei alla mitigazione degli impatti determinati.





## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per il presente lavoro sono state prese a riferimento le seguenti normative di legge:

- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.”
- D.M. 14/01/2008: “Norme Tecniche per le costruzioni”.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici “Istruzioni per l’applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.
- D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058 “Aggiornamento e adeguamento dell’elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. 3274/2033 e O.P.C.M. 3519/2006)” pubblicato su Bollettino Ufficiale Regione Piemonte n. 7 del 18/02/2010.
- D.G.R. 1 marzo 2010, n. 28-13422 “Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio piemontese approvata con d.g.r. n. 11-13058 del 19/01/2010 e ulteriori disposizioni pubblicato su Bollettino Ufficiale Regione Piemonte n. 10 del 11/03/2010.

### 3. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

#### 3.1. DOCUMENTI PREGRESSI

##### 3.1.1. Indagini geognostiche

La documentazione utilizzata per la caratterizzazione geologica, geomorfologica e geotecnica è rappresentata dai seguenti elaborati:

- Campagne di indagine del progetto preliminare della variante della S.S. n° 231 Alba-Bra:
  - o stratigrafia dei sondaggi e foto delle cassette catalogatrici, prove geotecniche in sito - Vol. 1 - prima parte - emesso il 22/02/02 e revisionato l'08/04/03 - codice elaborato B.1.6.1.1;
- Campagne di indagine del progetto definitivo 1998:
  - o stratigrafia dei sondaggi e foto delle cassette catalogatrici, prove geotecniche in sito - Vol. 1 - seconda parte - emesso il 22/02/02 e revisionato l'08/04/03 - codice elaborato B.1.6.1.1;
  - o certificati delle prove di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi - Vol. I di IV - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.2.3.1;
- Campagna progetto esecutivo 2001:
  - o “Ubicazione indagini geognostiche - Tav. 1” Rev. 1, del 08/04/03, codice elaborato B.1.5.1;
  - o “Ubicazione indagini geognostiche - Tav. 2” Rev. 2, del 10/04/03, codice elaborato B.1.5.2;
  - o “Ubicazione indagini geognostiche - Tav. 3” Rev. 2, del 10/04/03, codice elaborato B.1.5.3;
  - o stratigrafia dei sondaggi e foto delle cassette catalogatrici, prove geotecniche in sito - Vol. 2 - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.1.6.1.2;
  - o stratigrafia dei sondaggi e foto delle cassette catalogatrici, prove

- geotecniche in sito - Vol. 3 - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.1.6.1.3;
  - stratigrafia dei sondaggi e foto delle cassette catalogatrici, prove geotecniche in sito - Vol. 4 - emesso il 22/2/02 e revisionato l'8/4/03 - codice elaborato B.1.6.1.4;
  - certificati delle prove di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi - Vol. II di IV - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.2.3.2;
  - certificati delle prove di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi - Vol. III di IV - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.2.3.3;
  - certificati delle prove di laboratorio su campioni prelevati dai sondaggi - Vol. IV di IV - emesso il 22/2/02 - codice elaborato B.2.3.4.
- Campagna di indagine integrativa 2006:
- “Indagini geognostiche integrative relative alla progettazione delle gallerie Alba e Verduno - Collegamento A6-A21 - Rapporto finale” del luglio 2006 redatto da Westgeo D. Minuto e Associati di Savona
  - Certificati prove di laboratorio - preliminari -G.E.T. s.r.l. di Genova.

### 3.1.2. Documento di Progetto/Expertise

- Progetto Esecutivo 2001:
  - “Relazione generale” Rev. 3 del 11/04/03, codice elaborato A.1.2;
  - Studi e indagini: “Relazione geologica e idrogeologica” Rev. 1 del 08/04/03, codice elaborato B.1.1.1;
  - “Caratterizzazione Geologico - Tecnica dell'area di progetto” del 08/04/03, codice elaborato B.1.1.2;
  - “Relazione Geotecnica generale” Rev. 1 del 08/04/03, codice elaborato B.2.1.1

- “Profilo geotecnico longitudinale - Tav. 1” Rev. 0 del 22/02/02, codice elaborato B.2.2.1;
- “Profilo geotecnico longitudinale - Tav. 2” Rev. 0 del 22/02/02, codice elaborato B.2.2.2;
- Galleria Verduno:
  - “Relazione geotecnica” Rev. 1 del 08/04/03, codice elaborato D.2.1.2;
  - “Profilo geologico - tecnico in asse galleria - canna di monte” Rev. 0 del 22/02/02, codice elaborato D.2.1.3;
  - “Profilo geologico - tecnico in asse galleria - canna di valle” Rev. 0 del 22/02/02, codice elaborato D.2.1.4;
  - “Profilo geomeccanico canna di monte e canna di valle” Rev. 1 del 08/04/03, codice elaborato D.2.1.15;
- Expertise Geodes del 2006:
  - “Relazione illustrativa dello studio geologico-geotecnico per la valutazione della metodologia ottimale di scavo”
- Progetto Definitivo 2009 e successive rimissioni del 2010, 2011 e 2012:
  - Studi e indagini: “Relazione geologica e idrogeologica generale”
  - Studi ed indagini: “Relazione Geotecnica generale”
  - Galleria Verduno:
    - “Relazione geologico - geotecnica”
    - “Profilo geologico – geomeccanico in asse galleria - canna di monte”
    - “Profilo geologico – geomeccanico in asse galleria - canna di valle”
    - “Carta geologico – geomorfologica con ubicazione del monitoraggio”.

### 3.2. ELABORATI DI PROGETTO ESECUTIVO

#### 3.2.1. Indagini geognostiche

Per il dettaglio delle indagini eseguite si dovrà fare riferimento ai seguenti elaborati 2.6-E.rB.3.5.02 e 2.6-E.rB.3.5.03. L'ubicazione planimetrica è riportata nell'elaborato "Planimetria ubicazione indagini geognostiche", documento 2.6-E.dD.2.1.04.

#### 3.2.2. Documenti di Progetto

Nel dettaglio i nuovi elaborati geologici sono:

- "Carta geologica"
- "Carta geomorfologica"
- "Carta dei fenomeni franosi censiti"
- "Planimetria indagini geognostiche eseguite"
- "Planimetria di monitoraggio"
- "Planimetria edifici censiti"
- Profilo geologico-stratigrafico Canna di Monte e Canna di valle – tav. 1/2
- Profilo geologico-stratigrafico Canna di Monte e Canna di valle – tav. 2/2
- Profilo geologico e geomeccanico canna di monte
- Profilo geologico e geomeccanico canna di valle
- Profilo geologico e geomeccanico – Valutazione del rischio - canna di monte
- Profilo geologico e geomeccanico – Valutazione del rischio - canna di valle
- Confronto profili geologici PD/PE – canna di monte
- Confronto profili geologici PD/PE – canna di valle
- Sezioni geologiche AA'-BB'
- Sezioni geologiche CC'-DD'
- Sezioni geologiche EE'-FF'
- Sezioni geologiche GG'



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

- Sezioni geologiche HH' II' LL'
- Planimetria geologica e geomorfologica lato Cuneo
- Sezioni geologiche lato Cuneo
- Planimetria geologica e geomorfologica lato Asti
- Sezioni geologiche lato Asti
- Relazione geotecnica – Galleria Verduno
- Relazione idrogeologica.

## 4. INQUADRAMENTO GENERALE

Si presenta un breve inquadramento geografico dell'area di intervento ed un inquadramento geologico generale, volto ad individuare le principali formazioni coinvolte dal tracciato della galleria.

### 4.1. BREVE DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria Verduno è composta da due fornici affiancati, ciascuno dei quali contiene una piattaforma stradale della larghezza di 11,25 m funzionale ad ospitare due corsie di marcia più una corsia di emergenza, in adempimento al D.M. 05/11/01. Le due carreggiate (carreggiata Asti-Cuneo o “canna di valle” e carreggiata Cuneo-Asti o “canna di monte”) sono separate, ad eccezione dei tratti di imbocco e dei tratti in artificiale, da un setto di terreno di spessore da un minimo di 20 m sino ad un massimo di circa 70 m. La canna di monte ha una lunghezza complessiva (comprensiva di becco di flauto) di 3261.332 m, tra le progressive 0+515.448 (lato est, imbocco Alba) e 3+776.78 (lato ovest, imbocco Cherasco), con tratto in naturale, scavato a foro cieco di 3185 m (gli imbocchi in naturale sono ubicati rispettivamente alle progressive 0+559.88 e 3+747.38). La canna di valle ha una lunghezza complessiva (comprensiva di becco di flauto) di 3168.40 m, tra le progressive 4+308.00 (lato ovest, imbocco Cherasco) e 1+139.60 (lato est, imbocco Alba), con tratto in naturale di lunghezza pari a 3100 m; gli imbocchi in naturale sono ubicati rispettivamente alle progressive 4+263.60 e 1+159.02. Le coperture della galleria aumentano gradualmente: dall'imbocco della galleria naturale lato Cuneo-Cherasco (da pochi metri in corrispondenza dell'imbocco, fino a 30 m a circa 500 m di distanza dall'imbocco) raggiungono valori compresi tra 40 e 95 m nel tratto centrale della galleria e infine diminuiscono progressivamente in corrispondenza dell'imbocco lato Asti-Alba (35 m a circa 300 m di distanza dall'imbocco, fino a pochi metri in corrispondenza dell'imbocco della galleria naturale). Lo scavo è previsto con sistema meccanizzato, impiegando una TBM del tipo EPB con fronte in

pressione, a meno di brevi tratte in corrispondenza degli imbocchi, realizzate con metodologia in tradizionale.

#### 4.2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dalla galleria a progetto (cfr. fig. 4.1) si trova al margine settentrionale del territorio delle Langhe, interamente in sponda destra del Fiume Tanaro. Il tracciato della galleria descrive un'ampia curva con la concavità rivolta verso il fiume Tanaro. La galleria si addentra all'interno del versante blandamente ondulato che, dalla dorsale collinare di La Morra – Verduno, degrada verso il fiume. Da ovest verso est, la galleria si trova ad interessare le aree dei seguenti comuni: Cherasco, La Morra, Verduno e Roddi.

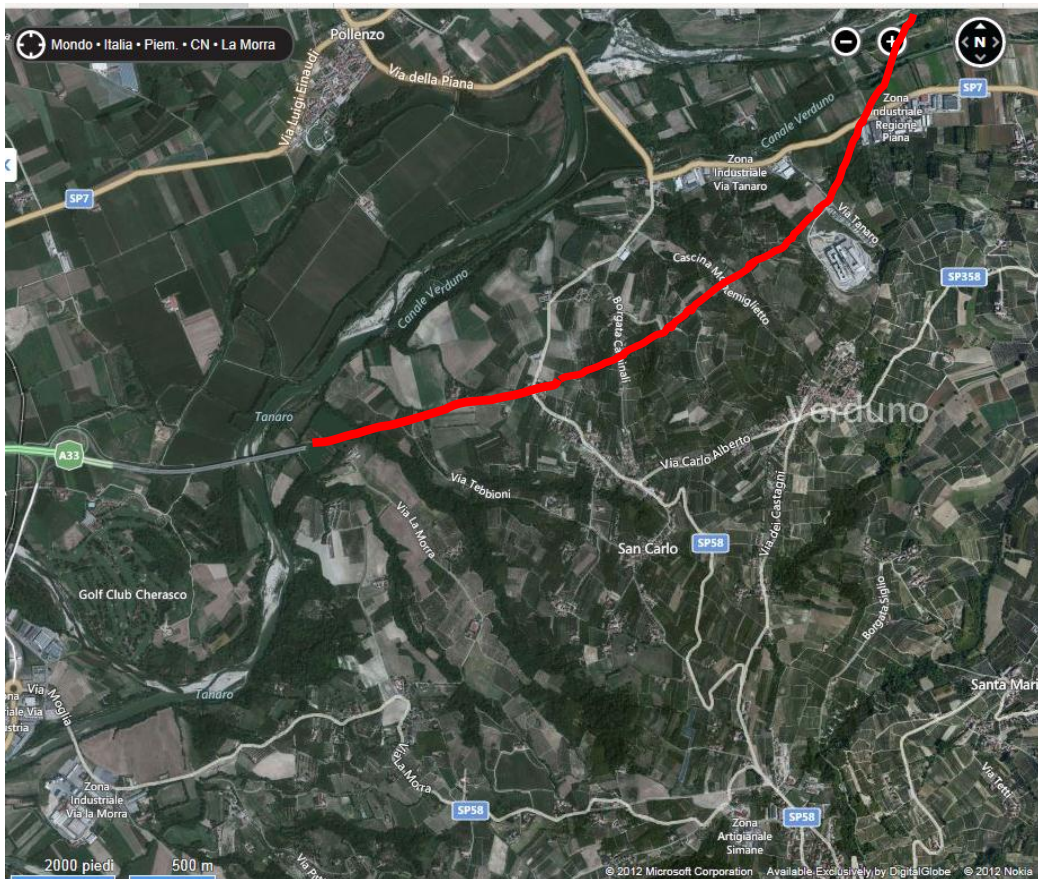


Figura 4.1 – Inquadramento generale dell'area



### 4.3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

A scala regionale il collegamento stradale Asti-Cuneo è compreso nei Fogli 68-Carmagnola, 69-Asti, 80-Cuneo e 81-Ceva della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:100.000. Dal punto di vista geologico, questo settore rientra nel margine settentrionale delle colline delle Langhe, le quali sono impostate su di una sequenza sedimentaria marina molto potente, prevalentemente terrigena (argille e sabbie), depositatasi all'interno del "Bacino Terziario Ligure Piemontese", in un intervallo di tempo compreso tra l'Eocene medio – superiore (all'incirca 40 milioni di anni fa) ed il Messiniano (all'incirca 6 milioni di anni fa). Il "Bacino Terziario Ligure Piemontese" (nel seguito indicato con l'acronimo BTP) è costituito da un golfo marino formatosi nel corso dell'Eocene, successivamente alle principali fasi orogenetiche alpine. In particolare la porzione di dominio marino corrispondente alle attuali Langhe coincideva con una depressione sinclinalica, allungata da ovest verso est, e caratterizzata, durante il Miocene, da tassi di subsidenza maggiori rispetto a quelli dei settori marini limitrofi.

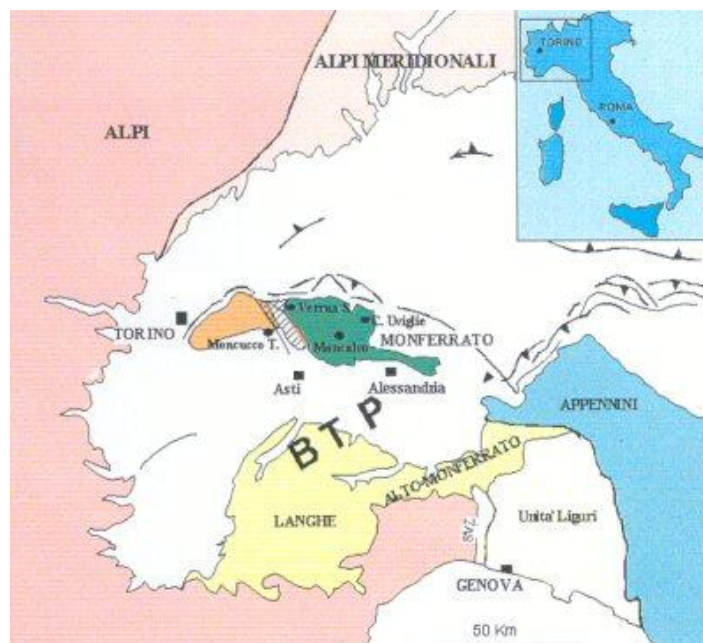


Figura 4.2 - Assetto strutturale dell'Italia nord-occidentale (modificato da BIGI et al., 1990).



Il BTP è stato soggetto, circa 6 milioni di anni fa, ad un evento noto anche come “Crisi di Salinità Messiniana (MSC)”, all’interno del quale, un improvviso abbassamento del livello del mare portò al conseguente aumento della salinità delle acque ed alla deposizione dei sali disciolti (come carbonati, solfati e cloruri) sotto forma principalmente di calcari e gessi; nel settore di studio, si ha la deposizione delle Marne di Sant’Agata Fossili e della Formazione Gessoso-Solfifera che, recentemente, è stata denominata Formazione della Vena del Gesso (Roveri e Manzi, 2007). Tale evento, da mettere in relazione con la chiusura del Mar Mediterraneo e la formazione di quello che oggi conosciamo come lo Stretto di Gibilterra con la conseguente drastica diminuzione degli -apporti oceanici verso lo stesso Mediterraneo, ha profondamente influenzato sia l’ecosistema marino sia quello continentale non solo del BTP, ma dell’intera area Mediterranea (CIESM, 2008). E’ assai probabile che, come sostenuto da Roveri et al. (2008), sia stato innescato per cause tettoniche, quali ad esempio, grandi eventi sismici. I depositi messiniani sono costituiti essenzialmente da una sequenza gessifera in differenti facies, deposti sia per precipitazione diretta che detritica, e alternati a depositi emipelagici costituiti da marne e siltiti. I gessi affiorano attualmente solo in alcuni settori del BTP, in particolare lungo il margine meridionale dell’arco della Collina di Torino e del Monferrato e lungo il margine settentrionale dello stesso BTP (Langhe, Monferrato e settore Borbera-Grue). L’area di distribuzione degli affioramenti è influenzata dalle deformazioni nell’area collinare settentrionale e dalla deposizione della successione par autoctona ed autoctona pliocenica e quaternaria.

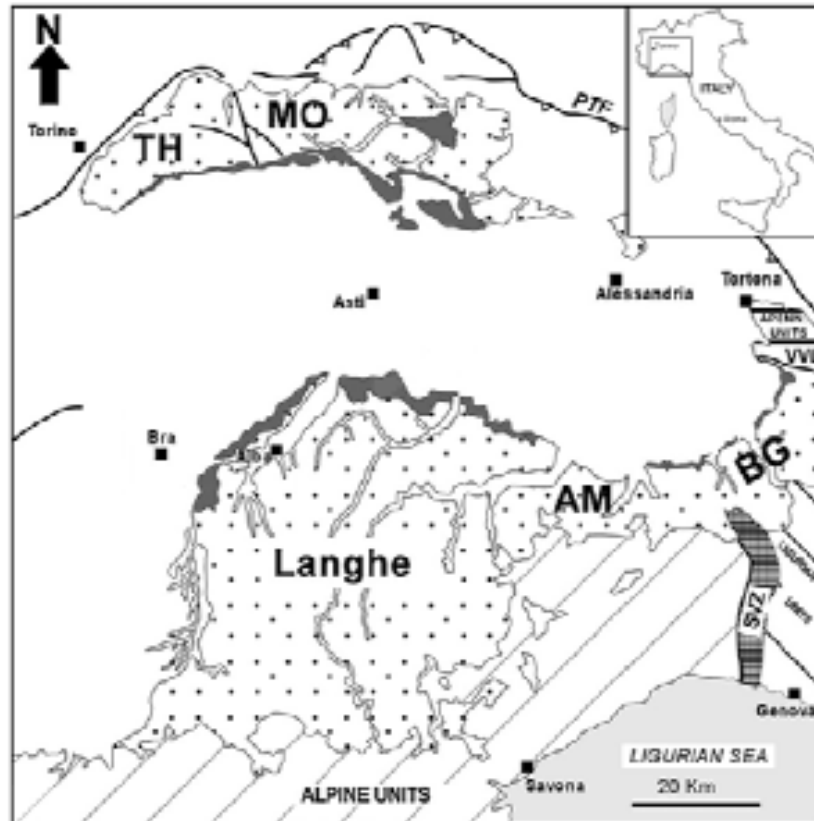


Figura 4.3 - Schema strutturale del Bacino Terziario Piemontese (modificato da Bigi et al., 1990). Area puntinata: sedimenti Oligo-Miocenici; Area grigia: sedimenti Messiniani; Area bianca: depositi Pliocenico-Quaternari. TH: Collina di Torino; MO: Monferrato; AM: Alto Monferrato; BG: Zona Borbera-Grue; PTF: Fronti di sovrascorrimento padano; SVZ: Zona Sestri-Voltaggio; VVL: Linea Villalvernia-Varzi.

La galleria di Verduno, dal punto di vista geologico ricade pertanto in un ambito caratterizzato da sedimenti marini miocenico-pliocenici appartenenti al Bacino Terziario Ligure-Piemontese, a costituire il substrato locale, e dalla presenza discontinua di coperture, generalmente di ridotto spessore, rappresentate da depositi quaternari. Il substrato è costituito da sequenze litologiche di età compresa tra il Miocene superiore ed il Pliocene. La parte inferiore della successione è costituita dalle Marne di Sant'Agata Fossili, per lo più a composizione marnoso-argillosa con disposizione a monoclinale regolare, ben stratificata, con immersione verso NW e inclinazione di  $10^{\circ}$ ÷ $15^{\circ}$ , cui sono sovrapposti i terreni della serie evaporitica e post-evaporitica.

Nella successione evaporitica dall'osservazione degli affioramenti e dei sondaggi si riconosce sia del gesso cristallino autoctono che dei gessi detritici rideposti come componente intrabacinale da correnti gravitative- In considerazione della debole pendenza e della fisiografia poco articolata del bacino i corpi di gessi detritici possono raggiungere spessore plurimetrico (fino ad un massimo di circa 10 m) e presentano una persistenza areale frequentemente etto metrica. In entrambi i casi la deposizione dei sedimenti gessosi risulta discontinua e frequentemente intervallata da strati limoso-marnosi di spessore variabile (da decimetrico a metrico).

La seguente successione Pliocenica, rappresentata dalle “argille azzurre” (Argille di Lugagnano auct.), è costituita da limi argillosi con intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie fini.

I terreni di copertura, relativi al Quaternario-Attuale, sono riferibili fondamentalmente ai depositi detritici colluviali del versante nord occidentale di Verduno. La loro composizione granulometrica è variabile, da grossolana (sabbie, ghiaie e ciottoli) a fine (limi e argille), con presenza di gessi sia in forma di cristalli dispersi in una matrice limo-sabbiosa, sia di vere e proprie arenarie gessose (cfr. Figg. 4.4 e 4.5). Il tratto finale della galleria sull'imbocco lato Alba, per circa 200 m di lunghezza, interessa i terreni rimaneggiati del corpo della frana presente su quel settore del versante. Nel settore lato Cuneo prossimo al Tanaro e ai suoi affluenti si sviluppano estesi depositi fluviali.



*Figura 4.4 – Esempio di roccia gessifera*



*Figura 4.5 – Cristalli di gesso in affioramento, all'interno delle arenarie gessose*

## 5. ANALISI DELLE PRINCIPALI PROBLEMATICHE E CRITICITA' GEOLOGICO-GEOTECNICHE

Il contesto geologico-geomorfologico ed idrogeologico dell'area interessata dall'infrastruttura in esame, pone alcuni aspetti di notevole rilevanza da approfondire in sede di progetto; dapprima, in fase conoscitiva, attraverso specifiche indagini e, successivamente, in fase di definizione delle opere, individuando interventi in grado di controllare gli effetti della realizzazione della nuova opera sulle preesistenze. Nel seguito si esaminano le principali criticità che saranno oggetto di approfondimenti. Inoltre, si individuano, lungo il tracciato della galleria, "zone a caratteristiche e comportamento omogeneo" proprio in ragione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche e delle problematiche e criticità in esse presenti.

### 5.1. PROBLEMATICHE E CRITICITÀ

#### 5.1.1. Franosità

Una criticità molto importante, specie in corrispondenza delle zone di imbocco della galleria, è rappresentata dalla propensione al dissesto delle coltri superficiali e di alcune porzioni del substrato, specie all'interno della formazione argilloso-marnosa delle Marne di Sant'Agata Fossili e dei Depositi di versante. L'inventario dei fenomeni franosi censiti, desunto dalle banche dati regionali e nazionali sull'argomento (Progetto IFFI, Progetto dell'Arpa Piemonte, PAI e del SIFRAP – Sistema Informativo Frane in Piemonte), individua diversi settori di versante, in cui si inserisce la galleria, soggette a movimenti; in particolare modo si segnalano come critiche le seguenti zone:

- l'area prospiciente l'imbocco lato Alba della galleria, in parte già interessata dalla costruzione del "Nuovo Ospedale di Alba-Bra",
- l'area prossima all'imbocco lato Cherasco
- infine, una estesa porzione di versante, sempre lato Cherasco, che degrada verso il fondo valle del fiume Tanaro.



Un approfondimento di tale problematica verrà in dettaglio approfondito nel seguito ed, in particolare, ha spinto a predisporre uno studio specifico mediante dati interferometrici; inoltre ha richiesto la messa in opera di una estesa rete di monitoraggio mediante strumentazione inclinometrica.

### **5.1.2. Presenza di cavità all'interno della formazione gessoso-solfifera**

Nella prima tratta di galleria lato Cuneo, per circa 500-600 metri, lo scavo si svilupperà nella formazione gessoso-solfifera, al cui interno sono presenti cavità di tipo carsico di dimensione metrica, intercettate nelle perforazioni dei sondaggi e confermate dai rilievi geofisici. La presenza di cavità, sia vuote che riempite da terreno sciolto e/o da acqua, rappresenta un elemento di criticità, in particolare in corrispondenza di eventuali cavità poste in prossimità del contorno di scavo. Al rischio d'intercettazione di cavità nella formazione gessoso-solfifera risulta strettamente connesso quello della variazione dell'assetto del reticolo idraulico carsico per effetto dello scavo. Occorrerà pertanto valutare la variazione della piezometria, in concomitanza dello scavo della galleria, ed il suo impatto sulle pre-esistenze, specie in corrispondenza dell'area della Borgata Garassini. Tale variazione della piezometrica potrà inoltre determinare il prodursi di subsidenze a piano campagna, quale conseguenza dell'azione di drenaggio.

Ulteriore elemento di attenzione nei confronti della circolazione idraulica sotterranea nella formazione dei gessi deve scaturire dalla considerazione del chimismo delle acque intercettate, che potrebbe avere conseguenze sfavorevoli sul calcestruzzo dei rivestimenti definitivi.

### **5.1.3. Attraversamento dei corpi detritici contenuti nelle marne**

Tutte le indagini eseguite hanno evidenziato la presenza, all'interno della formazione argilloso-marnosa delle Marne di Sant'Agata Fossili, di livelli sabbioso-ghiaiosi, presumibilmente continui, di spessore compreso tra 1 e 15 m, ubicati in prossimità della quota calotta della galleria (alcune possono

trovarsi in corrispondenza del cavo della galleria, specie in canna di valle), saturi e con presenza di acqua in pressione. Tale aspetto risulta particolarmente critico nei confronti dello scavo della galleria, sia per il rischio di instabilità del fronte di scavo e subordinatamente del cavo della galleria, sia per i possibili effetti di subsidenza che si possono determinare a seguito dello svuotamento di questi corpi detritici o di una significativa riduzione della pressione neutra in essi contenuta. Gli studi geologici devono pertanto essere volti alla definizione, per quanto possibile, della geometria e delle caratteristiche di questi corpi, così da consentire valutazioni affidabili circa l'interferenza con gli scavi. Dovranno essere inoltre condotte attente valutazioni progettuali riguardo la scelta delle modalità di scavo più appropriate per l'attraversamento di questo settore di galleria.

#### **5.1.4. Attraversamento di zone di faglia**

L'analisi delle foto aeree ha confermato la presenza di alcuni allineamenti tettonici nel versante interessato dalla galleria Verduno. A causa della copertura detritica e dell'azione antropica, è difficile valutare sia l'effettivo numero delle faglie sia la presenza e lo spessore della fascia di tettonizzazione. Gli allineamenti sono attribuibili a faglie subverticali con piani, ove visibili, continui e netti; ciò lascia presupporre l'esistenza di dislocazioni verticali, nette e con fasce di disturbo di estensione limitata. In ogni caso occorrerà valutare la loro presenza lungo il tracciato ed individuare idonee modalità di attraversamento in fase di scavo.

Dal punto di vista strutturale la successione presenta un assetto monoclinale caratterizzato da blanda inclinazione di circa 10-15° verso NW. La presenza di corpi depositi gravitativi costituiti da gessoruditi all'interno della successione marnosa miocenica indica un'azione di erosione rideposizione innescata da un'attività deformativa ancora in atto, non giustificabile solo con variazioni eustatiche. Dal punto di vista delle deformazioni tettoniche fragili l'area è interessata da un sistema di faglie subverticali con direzione NNE-SSO (fino a NNO-SSE) e ONO-ESE. La presenza di questi lineamenti risulta evidente da



foro aeree e dalla geomorfologia: alcuni affluenti minori del Tanaro nel settore Ovest della galleria sembrano impostarsi su queste direttrici NNO-SSE e ONO-ESE. Dall'analisi dei sondaggi si riscontrano variazioni di spessore dei corpi sedimentari in corrispondenza dell'intersezione dei lineamenti che suggerisce un loro stato di attività durante la deposizione delle marne e dei corpi detritici nel miocene superiore.

#### **5.1.5. Problematiche idrogeologiche e ambientali (doline)**

E' stata segnalata, rilevata e dettagliata, come riporta lo studio descritto al successivo capitolo 7, la presenza, in superficie, di forme carsiche definite "doline". Queste forme sono legate alla presenza di cavità carsiche nel sottosuolo, e consentono, allo stato attuale una sorta di regimazione idraulica naturale del sottosuolo. Dal punto di vista geologico è necessario procedere ad una loro localizzazione, anche se la definizione geometrica delle stesse risulta estremamente difficile e rientra negli elementi che lo stesso DEC VIA individua come difficilmente monitorabili se non in corso d'opera, impiegando i dati derivanti dalla realizzazione della galleria. Anche in questo caso occorre mettere in relazione le condizioni di stabilità di queste forme carsiche con le alterazioni del regime di falda e predisporre un attento monitoraggio in corso d'opera.

#### **5.1.6. Condizioni di stabilità dei fronti di scavo**

Lungo il tracciato della galleria sono presenti tipologie di terreni con scadenti caratteristiche geotecniche, specie in corrispondenza delle tratte a basse coperture, in prossimità degli imbocchi, dove la galleria attraversa depositi sciolti ed accumuli di frana (specie sull'imbocco lato Alba). Altre situazioni particolarmente delicate, con riguardo alla stabilità dei fronti di scavo, si hanno al passaggio litostratigrafico tra la formazione dei gessi e la formazione delle

marne ed in corrispondenza dei corpi detritici presenti all'interno delle marne argillose (già descritte al punto 5.1.3.).

### 5.1.7. Valutazione degli scenari di rischio

Sulla base delle problematiche e/o criticità rilevate dovrà essere eseguita una valutazione dei possibili scenari di rischio legati al contesto geologico, idrogeologico e geotecnico lungo il tracciato della galleria, da affrontare nell'ambito della relazione idrogeologica e della relazione geotecnica. La valutazione del rischio dovranno tenere conto dei seguenti aspetti principali:

- Instabilità del fronte e/o del cavo per la presenza di
  - o Zone tettonizzate
  - o Basse coperture
  - o Corpi detritici
- Presenza in superficie di doline e depressioni di origine carsica
- Presenza di corpi franosi in superficie
- Presenza di edifici e/o pre-esistenze in superficie
- Deformazioni d'ammasso (convergenze/estrusioni)
- Fenomeni di subsidenza/interferenza con opere di superficie
- Venute d'acqua concentrate
- Fenomeni carsici
- Acque aggressive
- Fenomeni di dissoluzione

### 5.2. SUDDIVISIONE DEL TRACCIATO IN ZONE OMOGENEE

L'individuazione delle principali criticità presenti nell'area interessata dalla galleria ha portato a suddividere la galleria in "zone a caratteristiche e comportamento omogeneo", così da impiegare specifiche indagini ed approfondimenti per ciascun settore di galleria in funzione delle problematiche presenti. Analogamente anche la ricostruzione del modello geologico-

geotecnico di riferimento per lo sviluppo della progettazione e per l'analisi degli scenari di rischio è stato condotto nel rispetto di questa suddivisione. Nel dettaglio sono state individuate le seguenti cinque “zone a caratteristiche e comportamento omogeneo”:

1. Zona dell'imbocco lato Cherasco, caratterizzata in parte dalla presenza di depositi di frana, costituiti da argille limose, in parte dalla formazione dei gessi e dalla possibile presenza di cavità carsiche.
2. Zona di galleria interessata dall'attraversamento della formazione gessoso-solfifera, con possibile presenza di cavità carsiche e/o di fasce di ammasso in avanzata fase di dissoluzione.
3. Zona di galleria interamente impostata all'interno della formazione argilloso-marnosa delle Marne di Sant'Agata Fossili.
4. Zona di galleria in cui si rileva la presenza, a quota scavo, o poco sopra la calotta, di lenti ghiaioso-sabbiose, all'interno del substrato marnoso-argilloso (corpi detritici caratterizzati dalla presenza di acqua in pressione).
5. Zona dell'imbocco lato Alba, caratterizzata dalla presenza di depositi di frana, costituiti da limi sabbiosi fini, localmente argillosi, inglobanti ghiaie e ciottoli; l'area si contraddistingue anche per una forte criticità geomorfologica e di propensione al dissesto.

Per ciascuna delle “zone a caratteristiche e comportamento omogeneo” si presenterà una descrizione dettagliata del modello geologico ed idrogeologico al successivo capitolo 10.

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel corso dell'iter progettuale della Galleria Verduno sono state condotte numerose campagne di indagini geognostiche; nel dettaglio:

- Campagna di progetto preliminare della variante della S. S. n. 231
- Campagna di progetto definitivo 1998
- Campagna di progetto esecutivo 2001
- Campagna di indagine integrativa 2006
- Campagna di progetto esecutivo 2011-2012.

Nell'elaborato "Planimetria indagini geognostiche", documento 2.6E-d-D.2.1.15, sono riportati tutti i sondaggi eseguiti, contraddistinti dalle seguenti sigle:

- Sondaggi geognostici campagna Sicos (S10VI)
- Sondaggi geognostici Campagna Soreco (S1V)
- Sondaggi geognostici Campagna Radaelli Castellotti 1991 (G...)
- Sondaggi geognostici Campagna RCT 1996 (ASP)
- Sondaggio Regione Piemonte (PS1)
- Altri Sondaggi geognostici presenti nell'area a progetto (SI...)
- Sondaggi geognostici 2006 – studio di fattibilità (S....)
- Sondaggi expertise 2006 (SIV...)
- Sondaggi geognostici Geotecno - 2008 (SPD26)
- Sondaggi geognostici Geotecno - 2001 (SPE26).

Nel seguito si riporta una sintesi delle indagini condotte nelle singole campagne geognostiche e ci si sofferma con maggiore dettaglio sulle nuove indagini, che sono state in particolare finalizzate alla messa a punto del modello geologico di Progetto Esecutivo. La Figura 6.1 mostra lo schema planimetrico con l'ubicazione dei punti di indagine, riportati in dettaglio nel documento "Planimetria ubicazione indagini geognostiche".

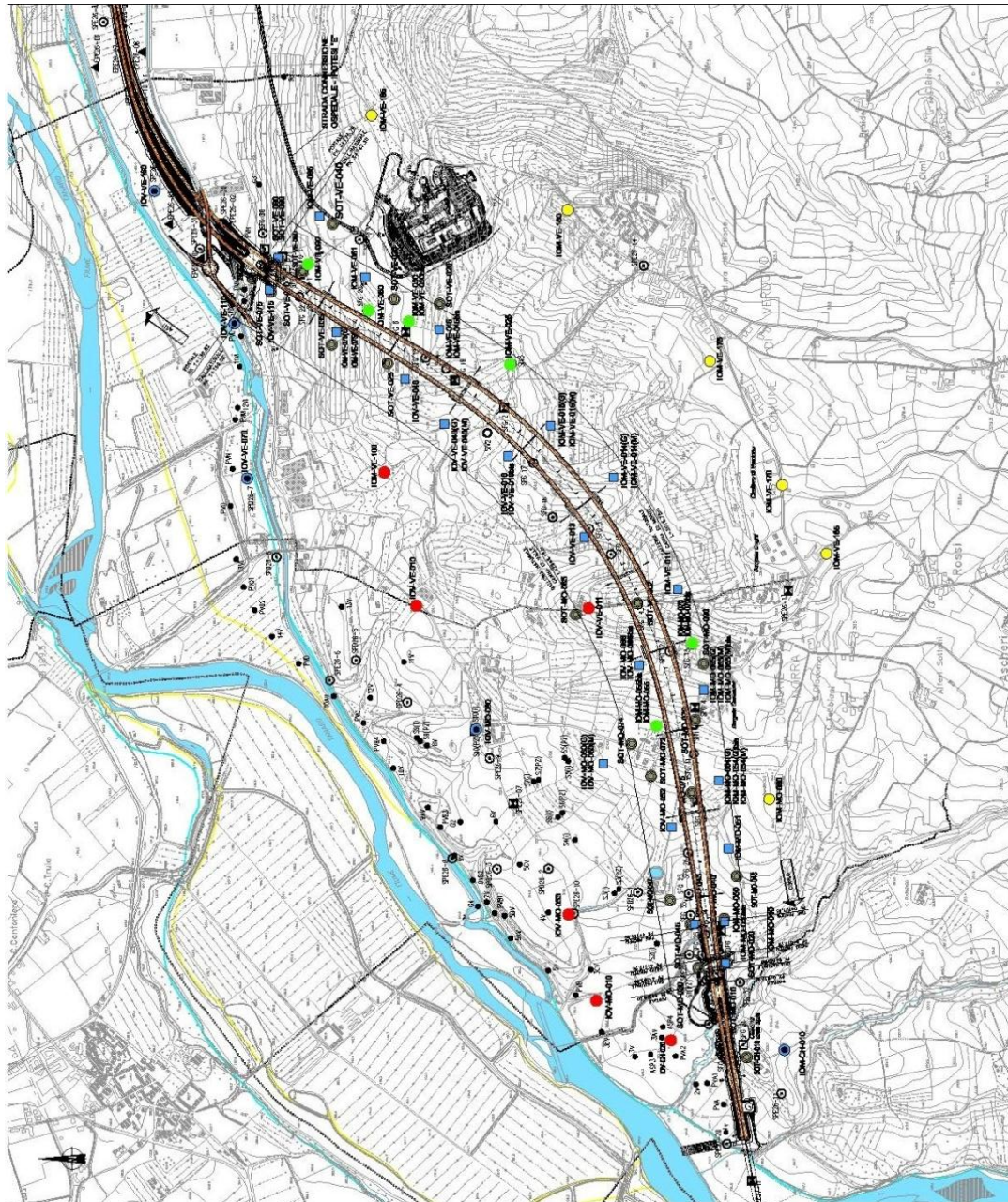


Figura 6.1 – Planimetria indagini geognostiche

## 6.1. CAMPAGNE DI INDAGINI PREGRESSE

### 6.1.1. Campagna di progetto preliminare della variante della S. S. n. 231 Alba-Bra

Nella campagna di indagini geognostiche del Progetto Preliminare della variante della S.S. n. 231 Alba-Bra sono stati eseguiti 31 sondaggi a carotaggio

continuo (Tabella 6.1). Solo 3 di questi sondaggi sono stati attrezzati a piezometro. L'ubicazione dei sondaggi realizzati nell'ambito di questa fase di progetto è riportata in Figura 6.2. Le perforazioni sono state eseguite lungo il corso del fiume Tanaro e dell'adiacente canale ENEL.

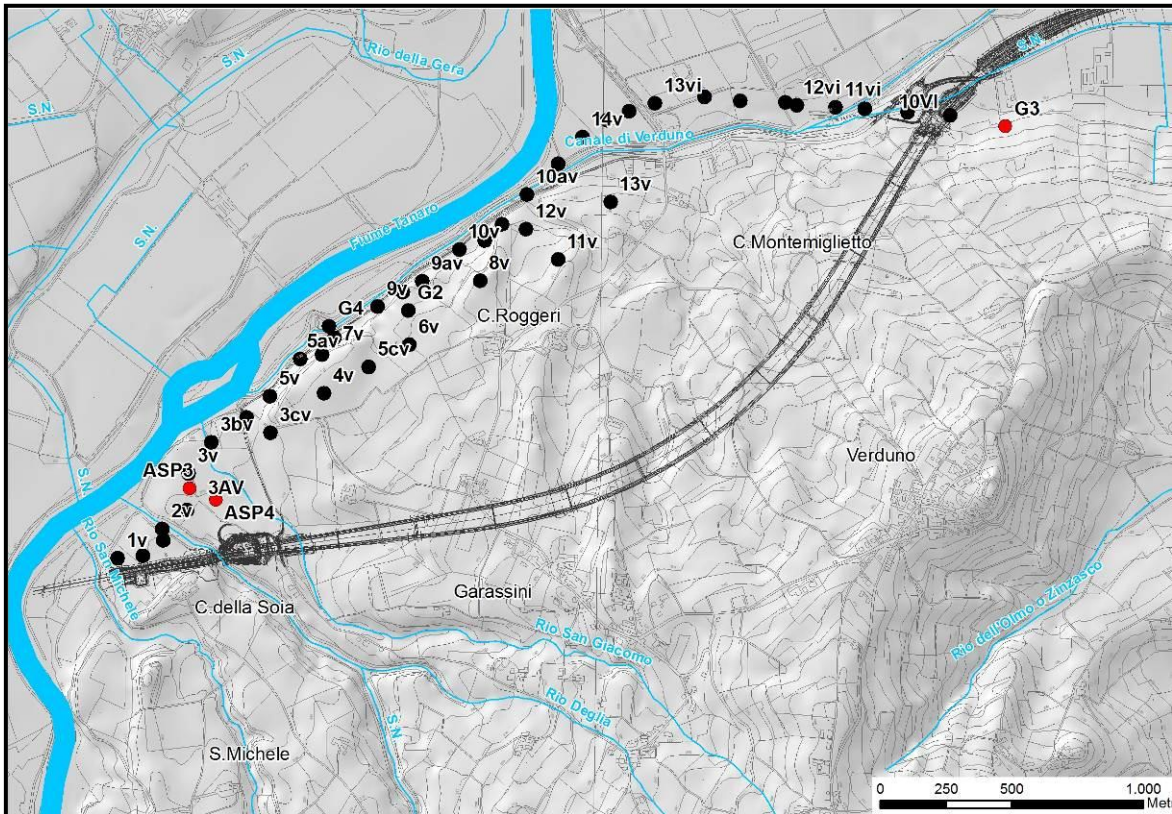


Figura 6.2. Ubicazione dei sondaggi realizzati nel corso del Progetto Preliminare della variante della S.S. n. 231 Alba-Bra; il pallino nero indica i sondaggi non attrezzati come piezometri, il pallino rosso i piezometri.

### 6.1.2. Campagna Progetto Definitivo 1998

Nella campagna del Progetto Definitivo 1998 sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 40 m dal p.c (codice SPD). Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, al prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati e all'esecuzione di prove SPT, sono state effettuate prove Lefranc e Lugeon. Tutti i fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometro a tubo aperto. Le loro caratteristiche principali e le modalità di installazione all'interno degli stessi dei piezometri sono descritte

nella Tabella 6.2; la Figura 6.3 ne dà l'ubicazione. Nell'ambito di tale campagna sono stati anche eseguiti sondaggi elettrici con interpretazione tomografica, sezioni elettro-stratigrafiche e profili elettrici tri-potenziale.

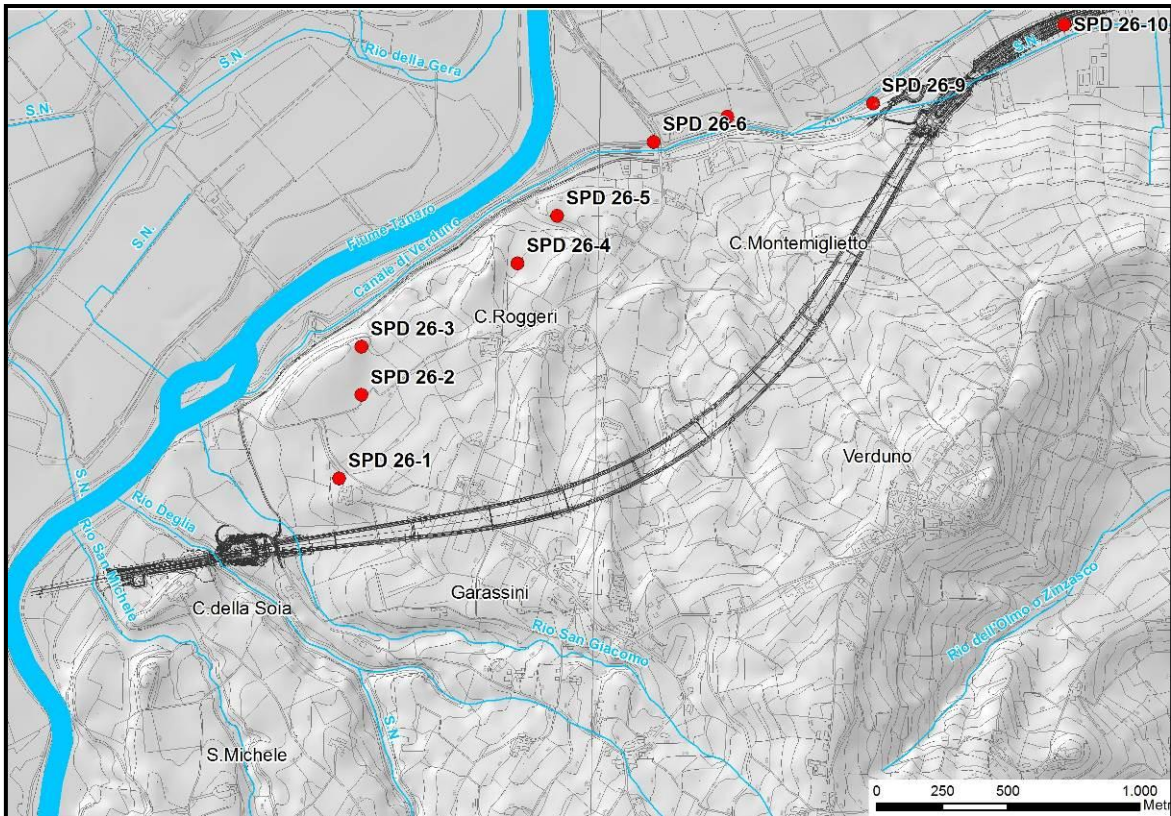


Figura 6.3. Ubicazione e sondaggi realizzati nel corso del Progetto Definitivo (1998).

### 6.1.3. Campagna Progetto Esecutivo 2001

Nel 2001 sono stati effettuati ulteriori sondaggi ad integrazione di quelli già presenti. Sono stati realizzati 61 sondaggi (codice SFG e SPE) a rotazione con carotaggio continuo, con profondità comprese tra 25 m e 125 m da p.c. Le perforazioni, denominate con la sigla SFG, sono state eseguite nel tratto di lotto interessato dallo scavo della galleria Verduno, mentre le altre perforazioni, indicate con la sigle SPE, sono state eseguite nelle restanti parti del Lotto 6.

Durante le perforazioni sono state eseguite 331 prove SPT, 66 prove pressiometriche con pressiometro tipo Menard e 30 prove tipo Lefranc e 4 Lugeon. Sulle carote estratte sono state condotte sistematicamente prove



mediante Pocket Penetrometer. Per valutare il livello della falda, sono stati realizzati 71 piezometri, 65 dei quali a tubo aperto semplice, 1 a tubo aperto con cella di Casagrande e 5 inclino-piezometri a fondo foro. Risultano dati piezometrici relativi soltanto al livello di rinvenimento durante la perforazione.

I campioni indisturbati, prelevati durante le perforazioni, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- prove di classificazione: contenuto naturale d'acqua, pesi di volume totale e secco, peso specifico dei grani, limiti di Atterberg, analisi granulometrica per vagliatura e per sedimentazione, analisi diffrattometrica su campione in polvere tal quale con definizione del diffrattogramma, analisi diffrattometrica sulla frazione fine argillosa del campione in polvere in soluzione glicolata per la determinazione dei minerali argillosi rigonfianti, determinazione del contenuto di carbonati
- prove meccaniche: prova di compressione triassiale consolidata drenata CID eseguita sulle marne, prova di compressione triassiale consolidata non drenata con misura delle pressioni neutre CIU eseguita sui materiali coesivi, prova edometrica tipo IL con determinazione dei parametri di consolidazione, prova di compressione triassiale non consolidata non drenata UU, prove di taglio diretto su provini anulari con determinazione dei parametri di resistenza
- prove di rigonfiamento: determinazione della deformazione di rigonfiamento su campione indisturbato (5 campioni di cui uno relativo alla galleria naturale prelevato dal sondaggio SFG06 nelle argille marnose).

Per valutare il livello della falda, sono stati realizzati 71 piezometri, 65 dei quali sono a tubo aperto semplice, i rimanenti a tubo aperto con cella di Casagrande. In alcuni sondaggi il tratto fenestrato interessa la formazione dei gessi della Formazione Gessoso-Solfifera, in altri le marne della Formazione delle Marne di Sant' Agata Fossili.



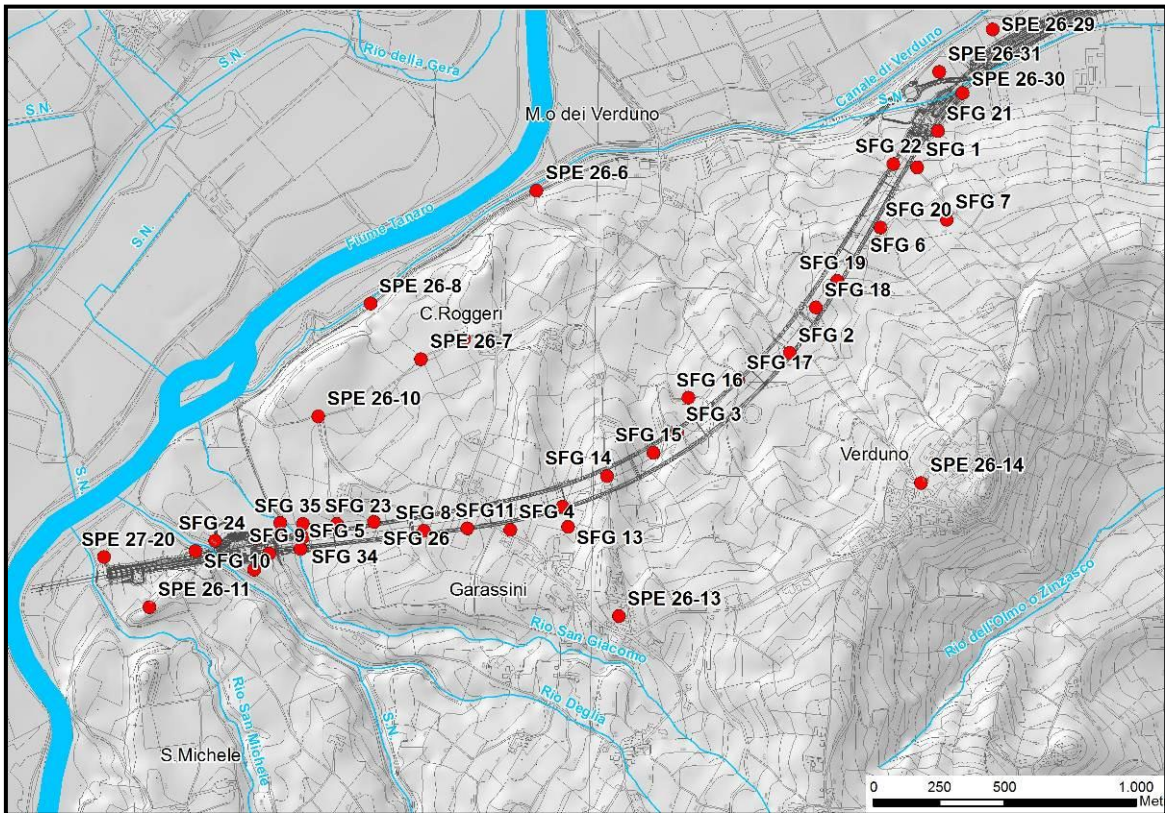


Figura 6.4. Ubicazione dei sondaggi realizzati nel corso del Progetto Esecutivo (2001).

Le caratteristiche principali dei sondaggi e le modalità di installazione all'interno degli stessi dei piezometri, sono descritte nella Tabella 6.3 in allegato, mentre l'ubicazione dei sondaggi è riportata in Figura 6.4. Nei fori di sondaggio sono state eseguite 30 prove tipo Lefranc e 4 Lugeon.

#### 6.1.4. Campagna di indagine integrativa 2006

Nell'ambito degli approfondimenti del 2006, è stata condotta una campagna di indagini integrative finalizzata all'approfondimento delle conoscenze sui livelli sabbioso-ghiaiosi intercalati nelle argille-marnose, la cui presenza era stata rilevata nella zona di galleria adiacente all'imbocco lato Alba. In particolare l'obiettivo è stato quello di valutare la continuità, sia in direzione longitudinale che trasversale all'asse della galleria, dei livelli più permeabili e conseguentemente di valutarne le potenzialità idriche in termini di volumi

d'acqua mobilizzabili. La campagna di indagini ha previsto l'esecuzione di 4 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, denominati SIV1÷SIV4, in corrispondenza dei settori lungo il tracciato della galleria in cui era stata evidenziata una carenza di dati. Durante le perforazioni sono state eseguite 10 prove SPT e 10 prove tipo Lefranc. Sulle carote estratte sono state eseguite sistematicamente prove mediante Pocket Penetrometer.

Per valutare il livello della falda, i 4 fori di sondaggio sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto e/o tipo Casagrande; in particolare:

- SIV1: 1 piezometro a tubo aperto con tratto finestrato tra 24 e 42 m di profondità dal p.c.
- SIV2: 1 piezometro tipo Casagrande con cella alla profondità di 53 m e 1 piezometro a tubo aperto con tratto finestrato tra 19.5 e 1.5 m di profondità da p.c.
- SIV3: 1 piezometro tipo Casagrande con cella alla profondità di 53 m e 1 piezometro a tubo aperto con tratto finestrato tra 8 e 1.5 m di profondità da p.c.
- SIV4: 1 piezometro a tubo aperto con tratto finestrato tra 40 e 63 m di profondità dal p.c.

Sui campioni prelevati nel corso delle perforazioni sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- prove di classificazione: contenuto naturale d'acqua, pesi di volume totale e secco, peso specifico dei grani, limiti di Atterberg, analisi granulometrica per vagliatura e per sedimentazione, analisi diffrattometrica su campione in polvere tal quale con definizione del diffrattogramma, analisi diffrattometrica sulla frazione fine argillosa del campione in polvere in soluzione glicolata per la determinazione dei minerali argillosi rigonfianti, determinazione del contenuto di carbonati
- prove meccaniche: prova di compressione triassiale consolidata non drenata con misura delle pressioni neutre CIU

- prove di rigonfiamento: determinazione della deformazione e della pressione di rigonfiamento su campione indisturbato secondo ASTM D4546-96.

Le Tabelle 6.4, 6.5, 6.6 e 6.8 riportano una sintesi della stratigrafia dei singoli sondaggi eseguiti. Per valutare il livello della falda, i fori sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto (tutti) e/o tipo Casagrande (SIV1 e SIV2). I piezometri a tubo aperto hanno le seguenti caratteristiche:

Codice punto	Quota p.c. (m.s.l.m.)	Tratto finestrato (m)	
		Da:	A:
SIV 1	270	24	42
SIV 2	254	1,5	19,5
SIV 3	269	1,5	8
SIV 4	275	40	63

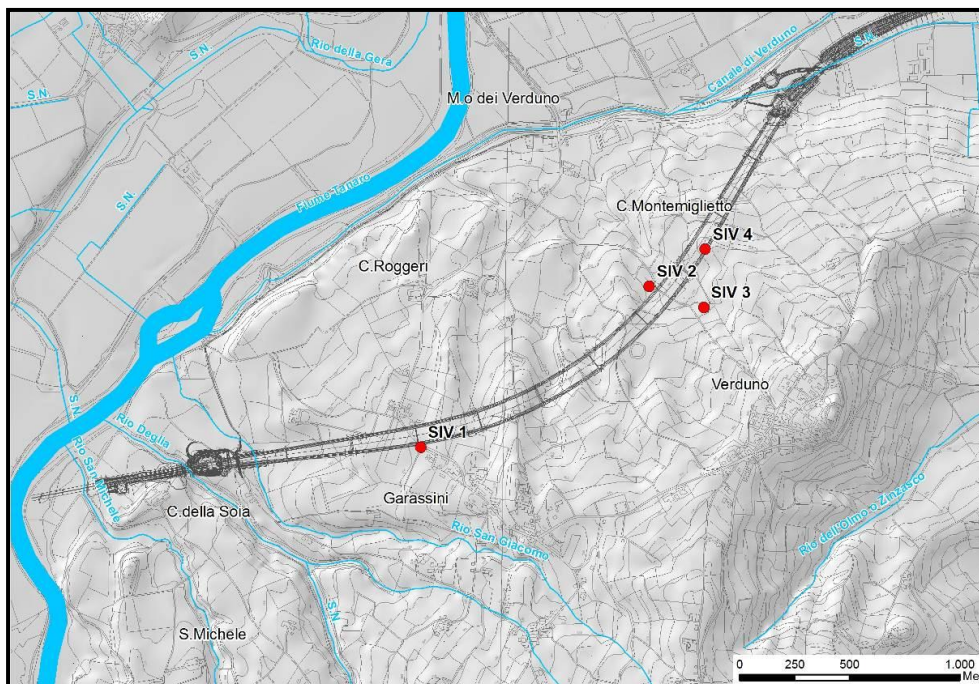


Figura 6.5 Ubicazione dei sondaggi realizzati nel corso della campagna di integrazione sondaggi del Progetto Esecutivo (2006).

## 6.2. CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2011-2012

In fase di pianificazione delle attività finalizzate alla redazione del Progetto Esecutivo, anche alla luce degli approfondimenti richiesti in sede di valutazione



della compatibilità ambientale (DEC VIA 576/2011), scaturiti dal confronto con gli Enti, si è ritenuto necessario programmare una indagine geognostica integrativa che si è posta i seguenti obiettivi:

- Affinare la ricostruzione stratigrafica, specie al passaggio tra diverse formazioni (in particolare al contatto tra la formazione dei gessi e delle marne), per un approfondimento della ricostruzione lito-stratigrafica del modello geologico e per un approfondimento della localizzazione dei corpi detritici all'interno della formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili.
- Definire in dettaglio la categoria di sottosuolo, al fine di valutare l'effetto della risposta sismica locale, da impiegare nella verifica delle opere geotecniche.
- Localizzare la presenza di cavità carsiche nel sottosuolo, attraverso il ricorso ad indagini geofisiche.
- Studiare le aree in frana, individuate a seguito di una prima analisi geomorfologica del versante, attraverso il ricorso ad indagini geofisiche.
- Predisporre una adeguata rete di monitoraggio ambientale della collina di Verduno, installando strumentazione inclinometrica e piezometrica finalizzata ad individuare eventuali movimenti di versante e a monitorare l'andamento dei livelli di falda in sottoterraneo; sia in condizioni ante-operam, sia nel corso dei lavori e fino a stabilizzazione post-operam.
- Raccogliere informazioni puntuali sulle quote di falda, al fine di supportare la modellazione numerica dell'acquifero e la stima della sua evoluzione a seguito della realizzazione dell'opera.
- Ricercare le direzioni preferenziali di drenaggio sotterraneo mediante impiego di prove con traccianti.

- Valutare zone soggette a movimenti di versante e subsidenze mediante analisi e monitoraggio con interferometria radar da satellite dell'area interessata dal progetto.

Nel seguito si descrivono le attività condotte.

### 6.2.1. Sondaggi geognostici

Nel periodo settembre 2011 – luglio 2012, sono stati eseguiti una serie di sondaggi a carotaggio continuo, successivamente impiegati per l'installazione della strumentazione di monitoraggio ambientale. Nel dettaglio sono stati eseguiti (cfr. Tabelle 6.9 e 6.10):

- n. 67 perforazioni a carotaggio continuo per l'installazione di piezometri a tubo aperto, per il monitoraggio della falda lungo il tracciato della galleria e lungo tutto il versante (cfr. tabella riassuntiva piezometri 6.9), sia all'interno dei terreni gessiferi sia all'interno dei livelli marnoso-argilloso.
- n. 25 perforazioni a carotaggio continuo per l'installazione di inclinometri al fine di monitorare eventuali movimenti di versante in fase ante – operam, nel corso degli scavi della galleria e post-operam (cfr. elenco riassuntivo degli inclinometri realizzati, Tabella 6.10).
- prove down-hole in corrispondenza dei fori DH2, DH3, DH5, DH7 agli imbocchi, lato Alba e lato Cherasco della galleria, finalizzati a definire nel dettaglio le categorie di sottosuolo, al fine di valutare l'effetto della risposta sismica locale.

La rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico installata è stata condivisa con Arpa Piemonte e realizzata in ottemperanza alle Prescrizioni avanzate sia dal Ministero dell'Ambiente che dalla Regione Piemonte. I sondaggi a carotaggio continuo hanno consentito infine un affinamento della ricostruzione dell'assetto litologico-stratigrafico lungo il tracciato della galleria e lungo il versante della collina di Verduno, mediante la ricostruzione dei profili

longitudinali al tracciato delle due carreggiate e mediante sezioni trasversali rappresentative lungo il versante. I sondaggi eseguiti hanno una profondità variabile da un minimo di 20 metri circa fino ad un massimo di 80 metri.

### 6.2.2. Campagna di indagine geofisica

La campagna di studio del 2011-2012 ha inoltre previsto indagini geofisiche, così come riportato nei rispettivi allegati progettuali (elaborati di interpretazione delle indagini, consistenti in una relazione illustrativa, planimetrie e sezioni geofisiche trasversali e longitudinali, documento 2.6-E.rD.2.1.05 “Relazione indagine sismica”). La campagna di indagini geofisiche è stata svolta per aree tematiche:

- aree all'interno delle quali è segnalata la possibile presenza di carsismo
- aree in frana.

L'indagine geofisica è consistita nelle seguenti tipologie di indagine:

- indagini elettriche, volte alla determinazione dei valori di resistività e ad una modellizzazione 2D/3D in continuo nel sottosuolo;
- indagini sismiche a rifrazione, con l'obiettivo di ricostruire mediante modellazione 2D le condizioni dei primi 10-30 metri del sottosuolo; tali indagini hanno avuto lo scopo di evidenziare la presenza di eventuali dissesti e, più specificatamente, aree carsiche o zone con presenza di fluidi;
- indagini sismiche a riflessione; con l'obiettivo di individuare gli orizzonti riflettenti, nonché riconoscere le zone di discontinuità o le possibili variazioni laterali degli orizzonti; vista la tipologia di indagine è stato possibile evidenziare la eventuale presenza di strutture geologiche anche complesse.

Quale sintesi degli studi condotti si può segnalare come le indagini geofisiche abbiano evidenziato una serie di microcavità di ordine metrico, nonché la presenza, nell'area, di numerose doline, a conferma delle evidenze

geomorfologiche. In particolare le indagini con tomografia elettrica hanno portato all'individuazione del limite litologico tra i depositi argillosi superficiali e le rocce gessifere (posto ad una profondità variabile e compresa tra i 5 ed i 20m). La ricostruzione è ben definita in quanto la roccia gessifera è caratterizzata da valori di resistività elettrica superiori ai 30 Ohm.m, mentre i materiali argillosi presentano valori di resistività inferiori ai 30 Ohm.m.

Le linee di rilievo posizionate in corrispondenza delle aree caratterizzate da evidenze morfologiche, per la presenza di depressioni carsiche (doline) o inghiottitoi, hanno permesso di effettuare una taratura dell'intero sistema d'indagine. In corrispondenza di tali depressioni l'andamento dei valori di resistività risulta caotico e complesso, caratterizzato da valori di resistività molto bassi (inferiori ai 20 Ohm.m), ad indicare anche la presenza di fluidi.

Va evidenziato che l'evoluzione di un'area carsica è caratterizzata da un processo morfologico complesso, che si sviluppa in un arco di tempo estremamente lungo, decisamente superiore alla vita utile dell'opera; ciononostante tale aspetto dovrà essere attentamente valutato in fase di progettazione delle opere.

L'indagine sismica in riflessione ha inoltre evidenziato una serie di riflettori principali riconducibili al contatto litologico tra i depositi argillosi superficiali e le rocce gessifere (cfr. figura 6.5B), nonché zone di debolezza riconducibili a discontinuità sub verticali, quali lineamenti tettonici già individuati dalla fotointerpretazione.

Le indagini in corrispondenza della zona del Nuovo Ospedale hanno infine evidenziato la presenza di una fascia di terreno detensionato, fino a profondità di circa 30 m, confermando la presenza della zona in frana già segnalata dalle stratigrafie dei sondaggi (cfr. figura 1.20). Di seguito si riportano le legende di interpretazione degli elaborati geofisici.

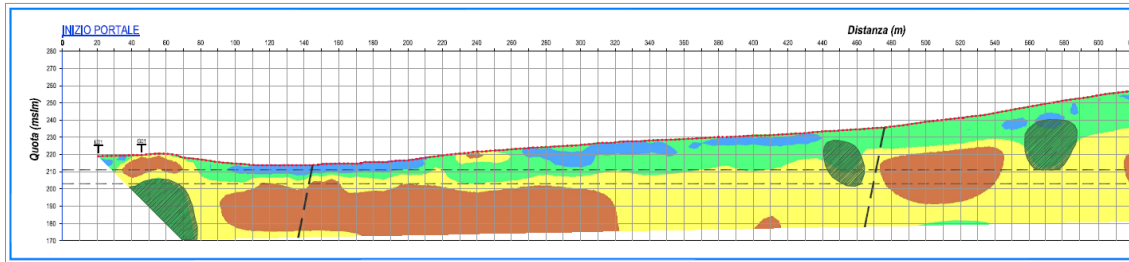


Figura 6.5B – Restituzione indagini sismiche imbocco Cherasco (in verde i depositi limoso-argillosi, in giallo la roccia gessoso-solfifera)

### 6.2.3. Dati piezometrici

Attraverso l'installazione di più di 60 piezometri, avvenuta tra il 2011-2012, è stato possibile effettuare una campagna di Monitoraggio Ambientale molto dettagliata del versante collinare di Verduno. Seppure i piezometri siano distribuiti principalmente in prossimità del tracciato della galleria, un numero di piezometri ubicati anche a monte ed a valle del tracciato consentono di avere a disposizione un elevato dettaglio del contesto piezometrico dei diversi acquiferi presenti sul versante collinare.

La campagna di monitoraggio è iniziata in Ottobre 2011 ed è ancora attiva (le ultime misure disponibili risalgono al Luglio 2013). Le letture di ottobre e novembre 2011 hanno avuto cadenza quindicinale, quindi la campagna è proseguita con letture a cadenza mensile. Ad oggi, sono pertanto disponibili un numero rappresentativo di letture, per un utile raffronto con i dati piezometrici relativi al Progetto Definitivo. Questa campagna di rilievo piezometrico è stata realizzata da Sina Spa, in condivisione con Arpa Piemonte ed in ottemperanza alle Prescrizioni avanzate sia dal Ministero dell'Ambiente che dalla Regione Piemonte.

Dal confronto dei valori misurati è possibile osservare che i vari piezometri mostrano variazioni di diversa entità. Questo dipende dal fatto che i vari piezometri hanno caratteristiche spesso molto differenti tra loro: sono installati a profondità differenti, hanno una diversa lunghezza dei filtri, la loro misura interessa porzioni di versanti che risentono naturalmente di diversi comportamenti idrodinamici (es. prossimi a zone di ricarica o a zone di



emergenza). Queste diverse caratteristiche fanno sì che non sia possibile una sintesi univoca dei dati.

Per facilitare la lettura e l'interpretazione dei valori piezometrici, i dati sono stati separati in funzione della formazione litologica in cui sono state collocate le superfici filtranti dei piezometri. La restituzione in forma grafica dei valori è riportata in nelle figure seguenti, dove sono rappresentate le variazioni relativamente alle marne, ai gessi ed ai depositi quaternari; i grafici riportano una selezione di alcuni dei piezometri monitorati, in quanto la rappresentazione di tutto l'insieme dei dati disponibili impedirebbe una chiara lettura del diagramma.

Dall'osservazione dei grafici di variazione piezometrica, pur prescindendo da puntuali discostamenti che dipendono appunto dalle locali condizioni idrogeologiche in cui sono stati inseriti i piezometri, è possibile osservare quanto segue:

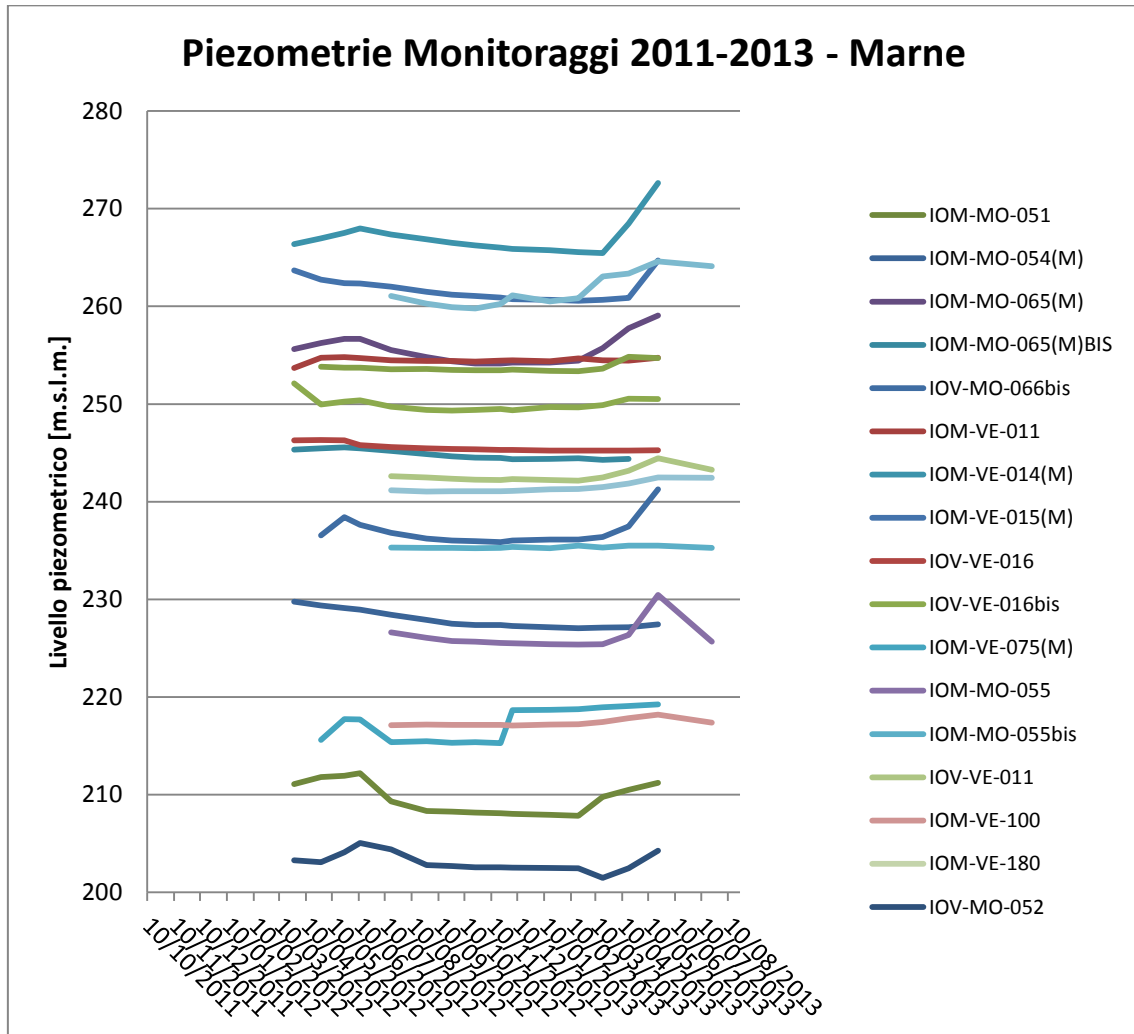
- esiste una tendenza dei valori piezometrici globalmente congruente. Questa riflette la diminuzione di piovosità, e quindi della ricarica dell'acquifero e la conseguente riduzione di livello, nel periodo autunnale - invernale, ed il successivo aumento dei valori di livello in corrispondenza del periodo primaverile - estivo;
- le variazioni osservate nei piezometri che misurano il livello della falda nei gessi sono soggette ad una maggiore variabilità rispetto a quelle relative ai piezometri con i filtri installati nelle altre formazioni. Questo comportamento riflette il fatto che, come discusso in dettaglio nella Relazione Idrogeologica allegata, l'acquifero dei gessi risente maggiormente delle variazioni dovute alla piovosità a causa di un diffuso carsismo.

L'analisi di dettaglio delle variazioni piezometriche è riportata nei capitoli relativi alla ricostruzione del modello idrogeologico concettuale e alle tratte di attraversamento della galleria contenuti nella Relazione Idrogeologica della Galleria di Verduno. In questi capitoli sono analizzati in dettaglio le possibili

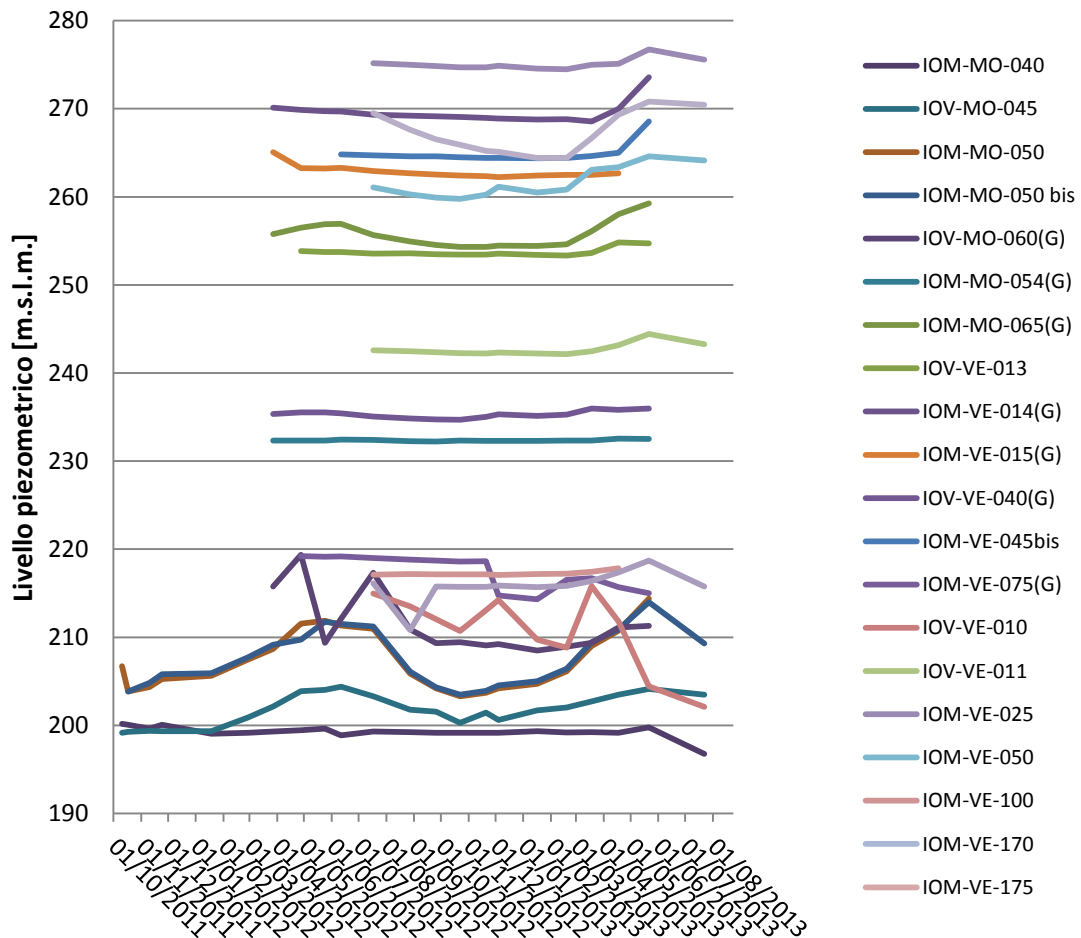


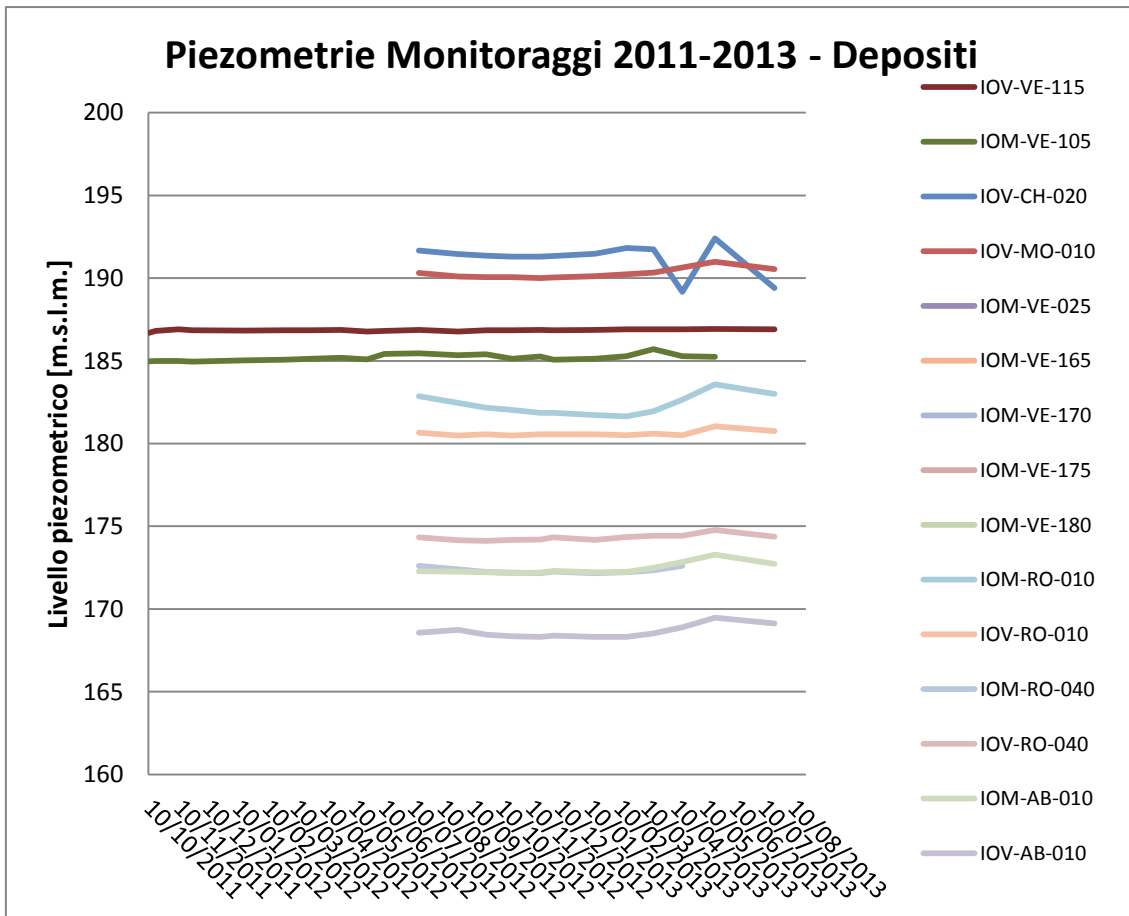
Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6  
PROGETTO ESECUTIVO  
Galleria Verduno - Relazione geologica

ripercussioni derivanti dallo scavo della galleria e dalle variazioni del livello di falda che si instaurano all'interno dei diversi acquiferi.



### Piezometrie Monitoraggi 2011-2013 - Gessi





Misure piezometriche relative al monitoraggio Ambientale effettuate nei piezometri con fenestratura rispettivamente nelle marne, nei gessi e nei depositi alluvionali di fondovalle (2011-2013).

#### 6.2.4. Dati inclinometrici

Analogamente alla rete di piezometri, è stata attivata, a partire dall'ottobre 2011, una rete di inclinometri, disposti in alcuni settori di versante particolarmente sensibili alle problematiche di natura geomorfologica. La Tabella 6.10 riporta l'elenco completo degli inclinometri installati.

La campagna di letture inclinometriche è iniziata ad ottobre 2011 ed è proseguita con cadenza mensile, fino ad Aprile 2013. La strumentazione fa parte infatti del piano di monitoraggio ambientale, che consentirà di raccogliere informazioni ante-operam, durante lo svolgimento dei lavori e post-operam. Alcuni di questi inclinometri saranno attrezzati per eseguire letture in continuo,

così da essere impiegati quale strumentazione di controllo nell'ambito del piano di gestione delle emergenze.

Le letture ad oggi raccolte mostrano come la maggior parte della strumentazione non ha evidenziato spostamenti significativi, tali da far presupporre la presenza di specifiche superfici di scivolamento o movimenti gravitativi di versante. I movimenti sono per lo più compresi entro 10 mm, mostrando spesso oscillazioni degli spostamenti.

Gli strumenti che hanno mostrato i maggiori spostamenti sono:

- l'inclinometro SOT-MO-090 (cfr. fig. 6.6A), ubicato nei pressi della "Cascina Reverdito", fino alla profondità di m 80 dal piano campagna, nel Comune di La Morra a valle della Borgata Garassini, il quale ha evidenziato spostamenti a partire da quota circa -50-30 m da testa tubo e valori massimi, pari a 40 mm circa, a quota -15-17 metri; la tipologia del movimento non consente di individuare una chiara superficie di scorrimento, quanto piuttosto un "allentamento" degli strati più superficiali; a Novembre 2012 ha però mostrato un movimento improvviso e importante tra -5 e -25 m che è proseguito per alcuni mesi (max escursione  $\approx$  37-38 mm) per poi iniziare a stabilizzarsi. Si fa notare come l'inizio del movimento sia coinciso con dei grossi lavori di movimento terra presso gli edifici vicini, che potrebbero spiegare l'insorgere di questa anomalia;
- l'inclinometro SOT-VE-020 (cfr. fig. 6.6B), ubicato nel Comune di Verduno, il quale evidenzia spostamenti compresi tra 10 e 20 mm nella parte più superficiale, a circa 15 metri di profondità.

Sarà importante riscontrare nel dettaglio gli esiti delle letture inclinometriche prima dell'inizio delle lavorazioni per la costruzione dell'opera, così da disporre di un accurato quadro della situazione ante-operam.

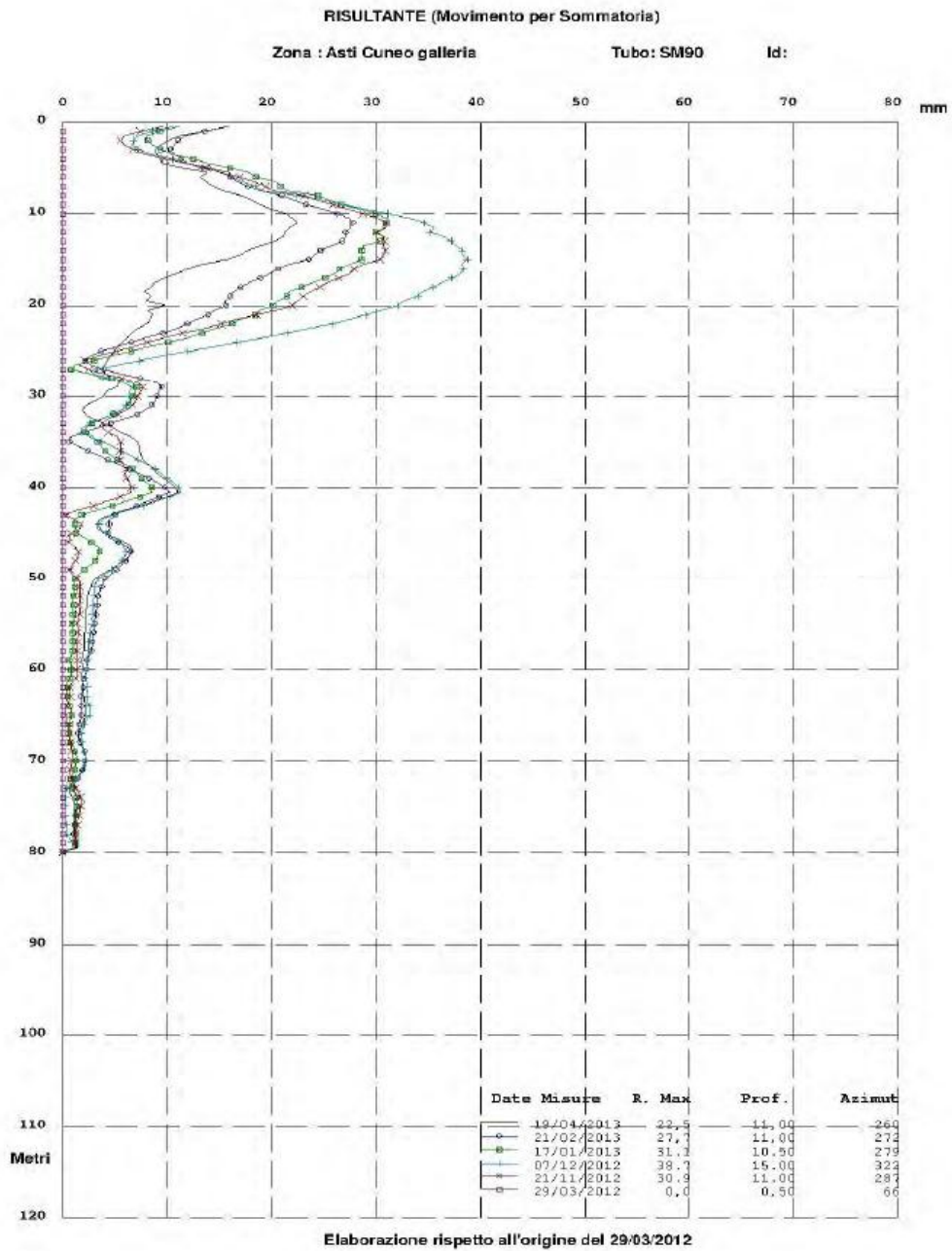
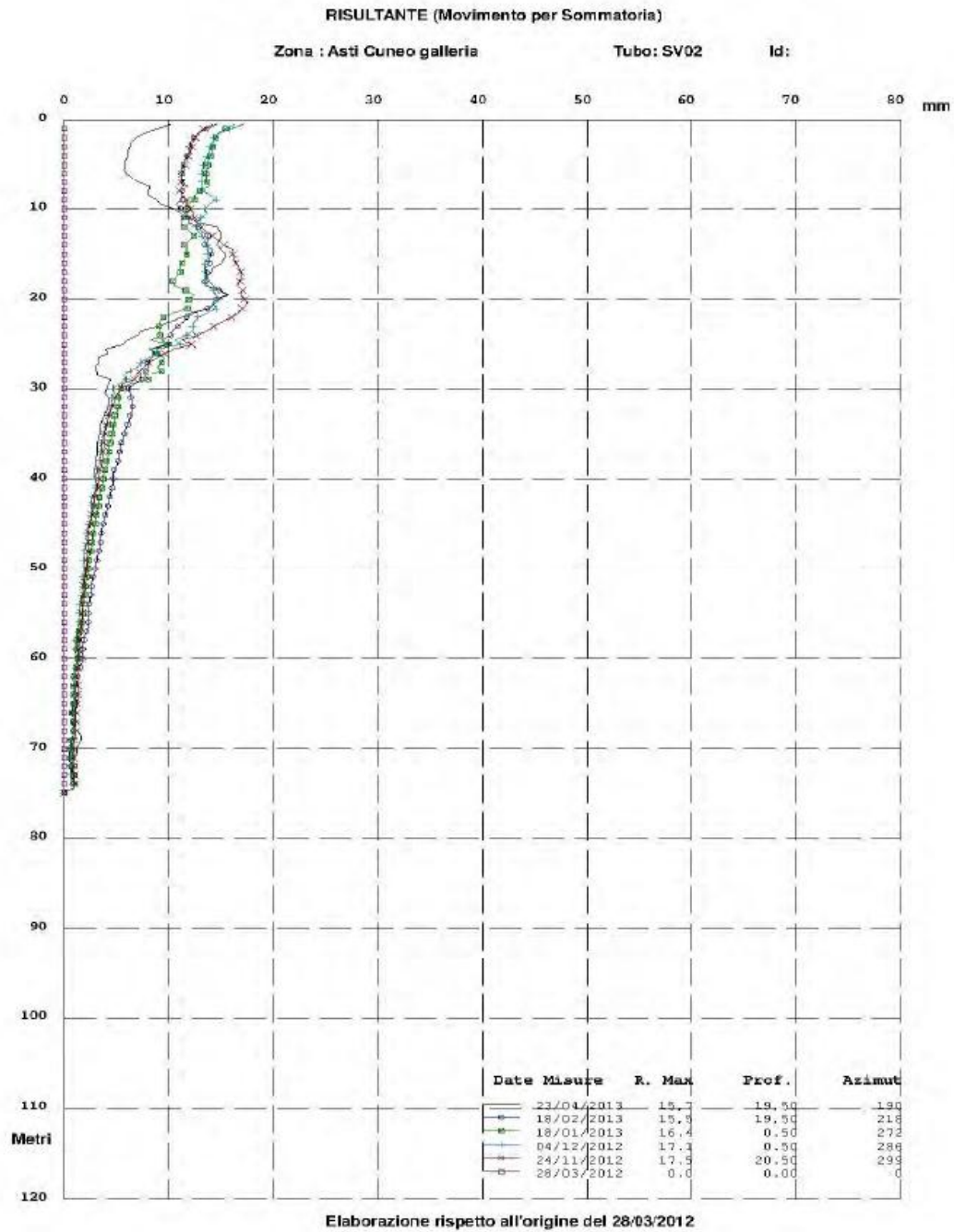


Figura 6.6A – Risultante movimenti inclinometro SOT-MO-090



*Figura 6.6B – Risultante movimenti inclinometro SOT-VE-002*

### 6.2.5. Rilievo geologico

Nel luglio 2012, nell'ambito degli approfondimenti di PE, è stato eseguito un accurato rilievo geologico di campagna al fine di verificare le caratteristiche

geologiche e geomorfologiche riportate nella planimetria geologica e geomorfologica. Il rilievo eseguito ha confermato, nella sostanza, quanto già definito nella carte geologiche di Progetto Definitivo, consentendo un affinamento dei contatti e delle evidenze geomorfologiche. In particolare sono stati rilevati le seguenti caratteristiche:

- Presenza diffusa di forme legate al carsismo, doline, nella parte centrale della collina di Verduno (cfr. foto seguenti 1, 2 e 3),
- Presenza di affioramenti di gessi (cfr. foto 4, 5, 6 e 7),
- Presenza di fratture superficiali nell'area in frana, all'imbocco lato Alba (cfr. foto 8).



Foto 1 – Dolina nella parte centrale della collina di Verduno





Foto 2 – Dolina nella parte centrale della collina di Verduno



Foto 3 – Dolina nella parte centrale della collina di Verduno



Foto 4 – Gessi in affioramento



Foto 5 – Gessi in affioramento



Foto 6 – Campione di gesso



Foto 7 – Gessi in affioramento con presenza di cavità

#### 6.2.6. Prove con traccianti

Nel settore limitrofo all'imbocco della galleria lato Cherasco è stata effettuata una prova in falda con tracciante fluorescente (fluoresceina). Lo scopo della prova è quello di ottenere informazioni relative al comportamento dell'acquifero dei gessi ed alla stima semi-quantitativa del flusso in falda di questo settore. Di seguito si riportano le considerazioni principali, per gli approfondimenti occorre fare riferimento all'elaborato di dettaglio "Relazione Idrogeologica", documento 2.6-E.rD.2.1.04.

In linea di principio, l'immissione di un tracciante in un sistema di circolazione sotterraneo e il suo reperimento in alcuni tra i piezometri ubicati a valle consente di ricostruire il percorso di deflusso dell'acqua. Questa prova pertanto è stata intrapresa con l'intento di effettuare un test di validità del modello idrogeologico concettuale descritto nella relazione idrogeologica ed eventualmente di consentire un suo affinamento. In particolare, la scelta dei piezometri di immissione del tracciante e dei piezometri di campionamento è stata fatta in modo da verificare l'esistenza e il grado di connessione idraulica dell'asse di drenaggio a direzione circa Est-Ovest ipotizzato a valle della canna di valle della galleria, in prossimità dell'imbocco lato Cherasco (cfr. Capitolo relativo alla Caratterizzazione Idrogeologica delle tratte della Galleria nella Relazione Idrogeologica).

La prova è stata effettuata attraverso l'immissione di un certo quantitativo di fluoresceina attraverso dei piezometri e il campionamento di fluocettori collocati presso punti di recapito (piezometri e punti in superficie) idealmente connessi al sistema acquifero attraverso cui transita la fluoresceina. I piezometri selezionati per il campionamento sono: IOM-MO-040, IOM-MO-065(G), IOM-MO-070, IOM-MO-050, IOV-MO-045, IOV-MO-060, SFG35. Sono stati inoltre installati fluocettori in alcuni corsi d'acqua (Rio Deglia, Canale dell'Enel). I punti di campionamento sono stati selezionati sia tra i piezometri appartenenti alla rete di Monitoraggio Ambientale (2011-2012) sia tra i pochi piezometri ancora reperibili e funzionanti installati durante la campagna geognostica 2000-2001. La scelta di campionare punti d'acqua sia in falda che in superficie è motivata



dall'esigenza di ricostruire un quadro quanto più dettagliato possibile sulle interconnessioni del sistema idrico superficiale e quello profondo. Il punto di immissione è rappresentato dal piezometro IOM-MO-054, costituito in realtà da tre piezometri posti ad una distanza minima (ca. 5 m uno dall'altro), tanto da poter essere considerati come un unico punto di immissione.

Dalla data di immissione il campionamento è stato protratto per 50 giorni, all'interno dei quali sono state effettuate sei serie di campionamento (oltre ad un campionamento antecedente alla prova) con cadenza temporale crescente. Nessuno dei campioni analizzati in laboratorio nelle diverse campagne di prelievo ha evidenziato un arrivo del tracciante fluorescente. Questo esito può avere diverse spiegazioni: una prima spiegazione è che la permeabilità dell'acquifero nel tratto di interconnessione tra il piezometro di immissione e quelli di campionamento non sia sufficientemente elevata da permettere l'arrivo del tracciante in questo arco temporale. Attraverso un approccio analitico si può ipotizzare che, affinché nell'intervallo temporale dedicato al campionamento si verifici un arrivo del tracciante al fluocaptore collocato più vicino al punto di immissione, sarebbero necessarie permeabilità dell'acquifero maggiori di un valore compreso tra circa  $2 \times 10^{-4}$  e  $8 \times 10^{-5}$  m/s, a seconda che la porosità efficace dell'acquifero sia del 10% o del 20%. Dal momento che nessun arrivo si è verificato al piezometro nel corso dei 50 giorni di monitoraggio una delle ipotesi che possono giustificare questo comportamento è che l'acquifero abbia permeabilità medie inferiori a  $8 \times 10^{-5}$  m/s ca.

Un'altra possibile spiegazione dell'assenza dell'arrivo del tracciante è che il periodo di realizzazione della prova è stato climaticamente secco, e quindi si può presumere che l'entità dei deflussi sotterranei nell'acquifero sia stata piuttosto ridotta. In un tale contesto non si può escludere che temporaneamente i gradienti idraulici fossero minori di quelli desumibili dalla ricostruzione piezometrica mediata disponibile. Se poi si assume la possibilità di flussi sotterranei di tipo carsico, non si può escludere che il tracciante immesso nel piezometro sia rimasto immobilizzato in sacche d'acqua temporaneamente



isolate dalle zone di deflusso principali, che potrebbero attivarsi in caso di eventi meteorici, ad esempio a causa di fenomeni di sifonamento.

In conclusione la prova di tracciamento eseguita che necessariamente è stata realizzata con tempistiche compatibili con i tempi progettuali e in condizioni non ideali, non può essere considerata risolutiva, ma allo stesso tempo non contrasta con le assunzioni su cui si basano il modello idrogeologico concettuale e il modello idrogeologico numerico presentati nella già citata “Relazione idrogeologica”.

### **6.2.7. Analisi dati interferometrici**

In corrispondenza dell’area della Galleria Verduno è stata effettuata una analisi SqueeSAR™. L’analisi condotta ha previsto l’elaborazione di un dataset composto da 126 immagini acquisite dal satellite canadese RADARSAT-1 in geometria ascendente nel periodo compreso tra Marzo 2003 e Settembre 2012. Per la descrizione delle immagini acquisite e per l’interpretazione dei dati si rimanda allo specifico elaborato di progetto “Analisi e monitoraggio con interferometria da satellite dell’area interessata dal progetto della galleria Verduno (CN)”, documento 2.6-E.rD.2.1.06.

## 7. STUDI SPECIFICI NELL'AREA IN ESAME

L'area in esame è stata inoltre oggetto di due studi specifici, che hanno ulteriormente contribuito alla definizione dell'inquadramento generale dell'area, sia dal punto geologico, che morfologico e strutturale, e dei quali si è tenuto conto per la definizione del modello geologico:

- Studio delle doline eseguito dal Comune di Verduno
- Studio geologico–stratigrafico per il Progetto Preliminare della strada di accesso al Nuovo Ospedale di Alba-Bra, in costruzione, eseguito dalla Provincia di Cuneo.

Infine una esperienza aggiuntiva, raccolta sul territorio, riguarda la costruzione del Nuovo Ospedale di Alba-Bra, al momento non ancora conclusa. Nel seguito si riportano alcuni elementi salienti riguardo agli studi condotti, così da evidenziarne gli importanti aspetti conoscitivi.

### 7.1. STUDIO DOLINE ESEGUITO DAL COMUNE DI VERDUNO

Il censimento delle forme carsiche, che nella parlata locale sono denominate “gave”, è stato eseguito nell'ambito delle attività del Gruppo di Lavoro “Regimazione delle acque” ed ha permesso di approfondire la conoscenza di un settore del territorio comunale di Verduno che, oltre a essere caratterizzato da uno specifico assetto geografico–geologico, rappresenta storicamente un elemento di sviluppo economico e culturale della comunità verdunese per la sua destinazione a colture di pregio (nocciole e vigna).

I dati raccolti durante il censimento, e le analisi che da esso scaturiscono, infatti, sono uno strumento utile all'amministrazione e alla popolazione di Verduno per mettere in atto le azioni necessarie a mantenere e sviluppare le attività agricole e antropiche in armonia con le naturali peculiarità dell'area. Le forme carsiche rilevate sono state riportate sulla planimetria di progetto “Carta geologica” (documento 2.6-dD.2.1.05). Di seguito si riprendono, in sintesi, i passaggi più significativi dello studio avente come obiettivi: aumentare la



conoscenza del territorio, verificare lo stato di conservazione delle forme naturali utili allo smaltimento delle acque superficiali e creare uno strumento di controllo e di gestione del territorio attraverso la creazione di un catalogo delle forme carsiche censite. Per quanto concerne gli aspetti della nomenclatura delle forme carsiche, nel testo è utilizzato talora il termine inglese “sinkhole”; esso è stato introdotto per indicare una depressione di forma sub-circolare dovuta al crollo di piccole cavità carsiche sotterranee; esso pertanto, è sinonimo di “dolina”.

L’area di studio è interamente compresa nel territorio comunale di Verduno. In particolare, si tratta del versante esposto a nord-ovest, compreso tra l’abitato di Verduno e il fondovalle Tanaro (Figura 7.1). L’area di rilevamento è delimitata a ovest dal confine tra i comuni di Verduno e La Morra; ad est, invece, l’area di studio si espande fino al confine con il Comune di Roddi; tuttavia, forme connesse a fenomeni carsici e alla dissoluzione dei livelli gessosi sono state identificate fino all’incisione del versante in cui corre la Strada dei Cristian; ad est di questo settore, bancate di gessi affiorano ancora fino in prossimità del cantiere del Nuovo Ospedale.

I lavori ad esso connessi hanno, probabilmente, obliterato ogni evidenza di fenomeni di dissoluzione; in questo settore, quindi, non è stato possibile verificare l’esistenza di doline o sprofondamenti. L’area rilevata si estende per circa 3 km<sup>2</sup> e lo sviluppo altimetrico del versante investigato è compreso tra quota 405 m s.l.m., in corrispondenza dello spartiacque di Borgata Castagni, tra la valle del Tanaro e la valle del Rio dell’Olmo, e quota circa 175 m s.l.m., in corrispondenza del fondo valle Tanaro.

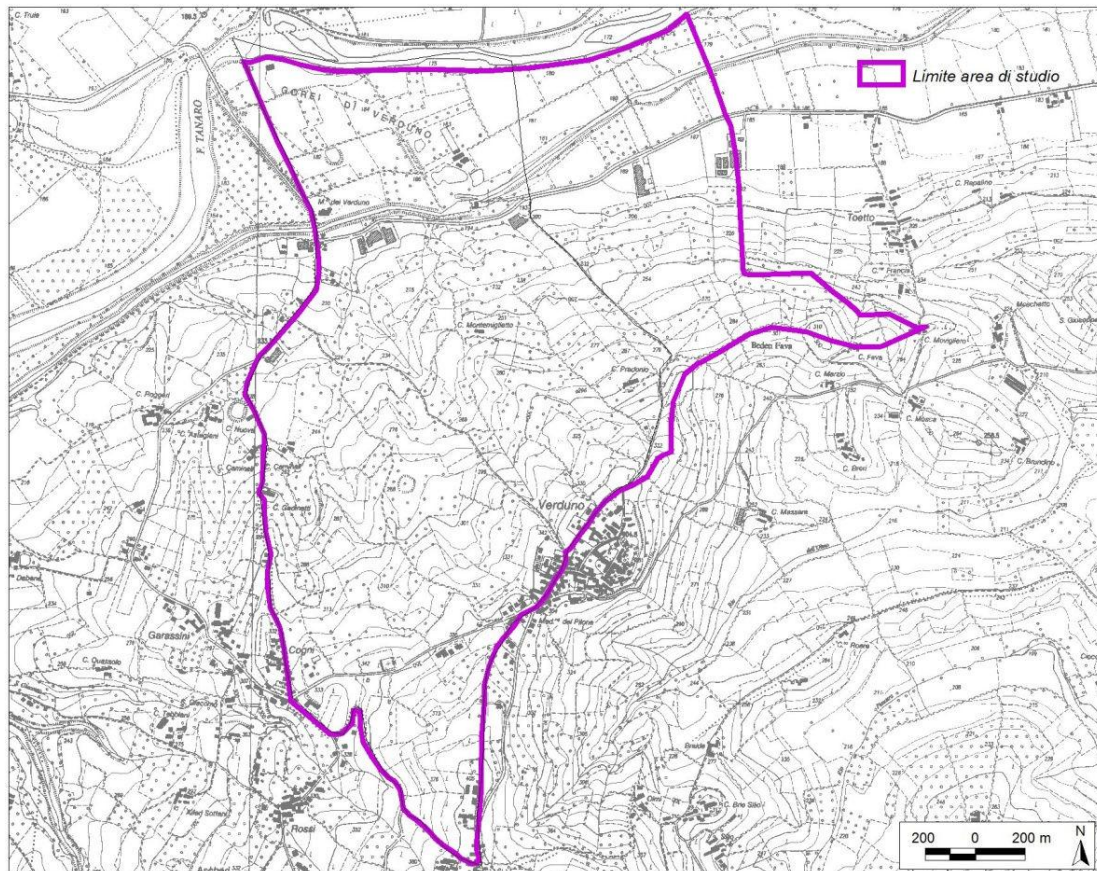


Figura 7.1 – Area di studio forme carsiche

Le forme censite sono state ubicate sul terreno e la loro posizione è stata rilevata tramite l'uso di strumento GPS per la misurazione delle loro coordinate geografiche. Le osservazioni eseguite hanno permesso di definire gli elementi di caratterizzazione geometrica, evolutiva e geologica delle forme riconosciute, nonché l'interazione delle attività antropiche con le forme carsiche stesse. Si è inoltre verificato il grado di incidenza delle attività antropiche sul loro stato di conservazione e sul loro naturale processo di evoluzione.

Gli elementi rilevati sono stati riportati su una scheda di rilevamento organizzata secondo quattro tematiche principali:

- Dati anagrafici: indicazione del codice identificativo di ciascuna forma carsica, dati relativi alla sua ubicazione e al suo stato di conservazione.
- Morfometria: indicazione delle dimensioni, della forma e della presenza di risagomature artificiali, quali possibili ritombamenti, riprofilature e

presenza di materiale di origine antropica che talvolta è stato rinvenuto all'interno delle cavità e degli sprofondamenti.

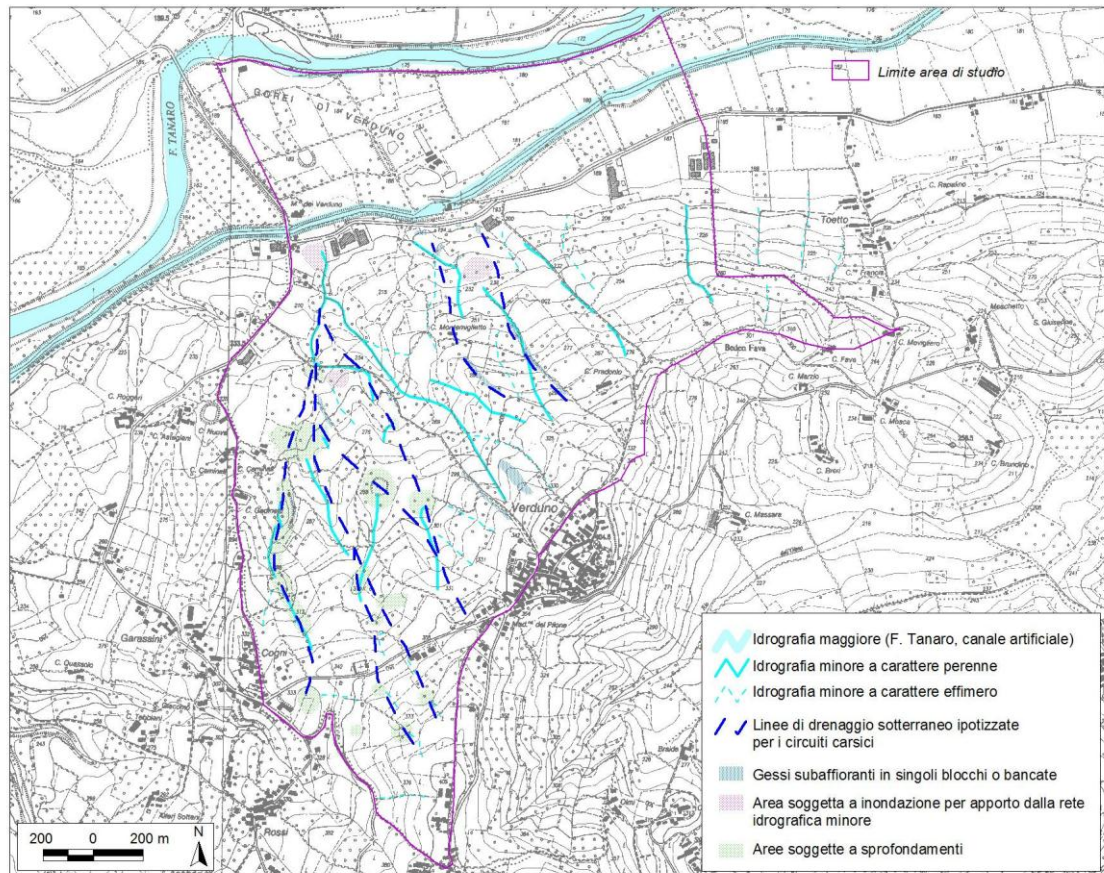
- Contesto geologico: descrizione del contesto geologico locale direttamente osservato sul sito; le osservazioni sono state eseguite sia all'interno della forma carsica che all'esterno in modo da contestualizzare il processo di formazione ed evoluzione della forma carsica; è inoltre segnalata l'eventuale presenza di acqua al loro interno.
- Tipologia sinkhole: le forme riconosciute sul terreno sono state ricondotte alle tipologie definite in progetti di classificazione dei fenomeni carsici come quello condotto dall'ISPRA1; in particolare, là dove possibile, sono state distinti processi genetici per i) dissoluzione, ii) collasso, iii) subsidenza, iv) piping profondo (crollo di una cavità profonda).
- Misure in situ: nel caso di presenza di risorgenze nei pressi delle depressioni o di acqua al loro interno, sono stati misurati i parametri fisico-chimici principali, quali temperatura dell'acqua, conducibilità elettrica e pH.

Le forme carsiche, nella maggior parte dei casi, presentano uno stadio evolutivo maturo, con inghiottitoi ben sviluppati (Figura 7.2). Lungo il pendio, si osserva che al tetto delle bancate di gessi affioranti sono presenti solchi carsici connessi a valle con inghiottitoi e depressioni, che si attivano in occasione degli eventi piovosi, costituendo di fatto elementi utili alla regimazione delle acque superficiali. Le bancate di gesso osservate sul terreno sono costituite sia da cristalli selenitici, con la tipica forma a "coda di rondine", che microcristallini. In entrambi i casi si osserva lo sviluppo di carsismo anche se, nel caso di gessi selenitici, l'azione della dissoluzione tende a frantumare la struttura cristallina della roccia; nel caso dei gessi microcristallini, il fenomeno di dissoluzione genera forme carsiche più continue con lo sviluppo, almeno in una prima fase, di una morfologia epicarsica (carsismo superficiale) e quindi di veri e propri condotti e inghiottitoi.



*Figura 7.2 – Inghiottitoio presso la dolina ubicata nei pressi di Località Rivalta*

La connessione in sotterraneo tra una dolina e l'altra determina la formazione di un vero e proprio reticolo idrografico sotterraneo (Figura 7.3), che si sviluppa all'interno delle bancate di gesso in dissoluzione.



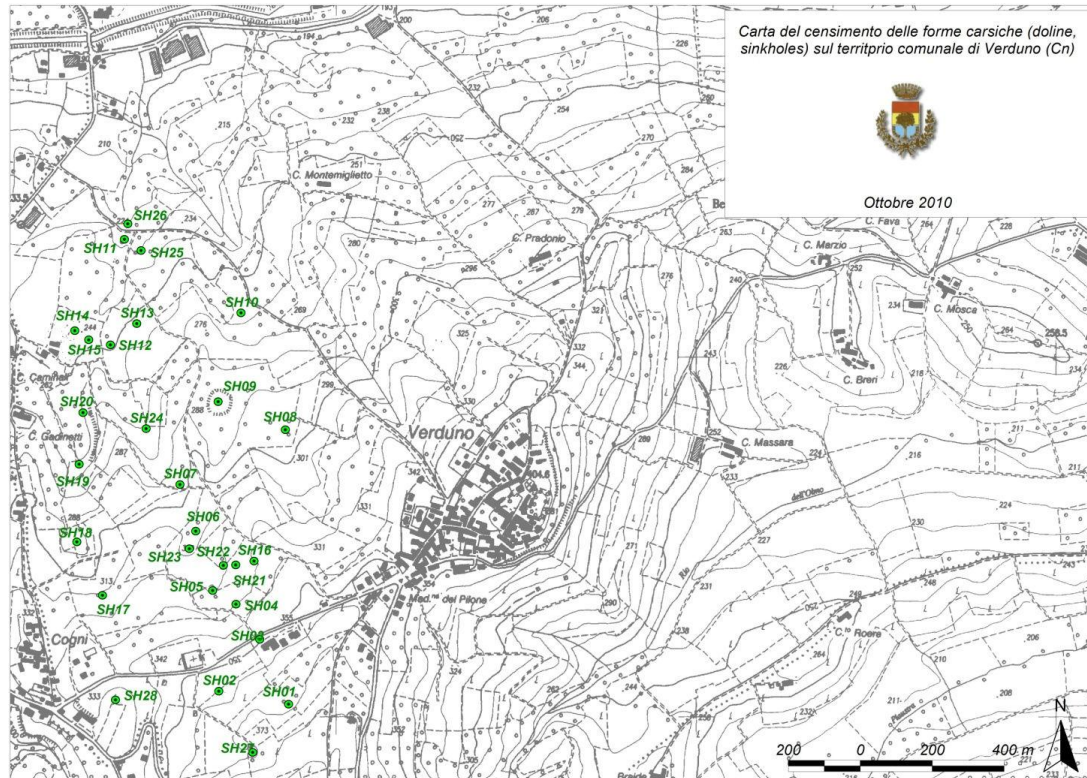
*Figura 7.3 – Elementi idrogeologici principali connessi ai circuiti carsici ipotizzati*

Il territorio di Verduno, e generalmente delle Langhe, è caratterizzato da una propensione al dissesto idrogeologico e da un complesso reticolo delle acque superficiali e sotterranee. La presenza di forme carsiche se da un lato costituisce un elemento di criticità dall'altro rappresenta un'opportunità per la gestione del territorio e il suo utilizzo. Esse, infatti, costituiscono degli elementi naturali di drenaggio del terreno e di smaltimento delle acque superficiali. Tuttavia, perché queste svolgano correttamente la loro funzione, è necessario che esse mantengano la loro naturale propensione al convogliamento delle acque.

Durante il censimento delle “gave”, si è osservato come in alcuni casi queste si presentino parzialmente o completamente colmate con terreno di riporto o utilizzate come discariche. La presenza di tali materiali inibisce e talvolta impedisce completamente la filtrazione delle acque nel sottosuolo

determinando una concentrazione dei flussi superficiali lungo il pendio con la formazione di solchi che favoriscono il trasporto verso valle di una grossa quantità di acqua e fango. Si ha la formazione di veri e propri torrenti che solcano l'intero versante determinando condizioni di erosione del suolo e dissesto del versante stesso. Nella pratica comune, questi naturali inghiottitoi potrebbero essere, e nella maggior parte dei casi lo sono, utilizzati per raccogliere le acque di ruscellamento superficiale e drenare il terreno mantenendo condizioni di sicurezza del versante che a loro volta garantiscono un migliore utilizzo del territorio. A tal fine, il censimento e la creazione di uno strumento di consultazione e analisi come il database delle forme carsiche, sono funzionali a verificare le condizioni attuali del territorio e ad individuare le azioni necessarie alla manutenzione delle “gave” per una migliore gestione del territorio.

In Figura 7.4 si riporta il dettaglio delle forme carsiche censite, principalmente comprese tra quota 376 (SH27) e 230 (SH26) m s.l.m. Lo stato di conservazione delle forme osservate è stato nella maggioranza dei casi (16 su 28 casi pari a circa il 57%) definito come naturale”, ovvero riconducibile alle naturali dinamiche di evoluzione delle cavità. Il versante di studio presenta un forte sviluppo di attività agricole connesse alla coltivazione di noccioletti e vitigni. È dunque molto probabile che anche nei casi in cui lo stato naturale è più evidente, le attività agricole abbiano giocato un ruolo nel processo evolutivo delle forme carsiche. Per il restante 43% (10 su 28 casi), le depressioni sono mascherate o fortemente influenzate dalle attività umane. In questo caso è stato riportato uno stato di conservazione “antropizzato”. Si tratta perlopiù di rinterri completi o parziali con materiale terroso o con materiale di scarto di lavorazioni (legname, laterizi e rifiuti solidi in genere). Nel caso di rinterro con materiale terroso, si è osservato in alcuni casi come il processo evolutivo della cavità sia comunque ancora in atto e che quindi si osservino fratture e cedimenti del suolo che testimoniano la ripresa del fenomeno di collasso (Figura 7.5).



*Figura 7.4 – Carta delle forme carsiche censite*



*Figura 7.5 – Ripresa dei fenomeni di cedimento su cavità rinterrata dalle attività antropiche*

La forma più diffusa delle cavità osservate è quella ellittica che rappresenta il 68% dei casi (19 su 28), mentre il restante 32% è caratterizzato da una forma in pianta circolare. La forma ellittica maggiormente rappresentata è quella con l'asse maggiore longitudinale al pendio ed è connessa all'azione di erosione delle acque che ruscellano da monte e che vengono raccolte all'interno delle

cavità stesse. In questi casi si osserva un profilo trasversale al pendio, generalmente simmetrico, ed un profilo della cavità longitudinale al pendio, asimmetrico: il lato verso monte è meno acclive di quello a valle e in generale l'inghiottitoio si localizza ai piedi del versante a valle.

Nella tabella che segue sono rappresentate le classi di frequenza relativamente alle dimensioni delle cavità riscontrate sul terreno. Quasi la metà delle forme riconosciute (43%) ha un diametro compreso tra 5 e 20 m. Tale dimensione corrisponde, nel caso di studio, a delle forme con stadio evolutivo maturo ovvero con inghiottitoio formato e non soggetto ad aumento di dimensioni. Solo in quattro casi (SH02, 03, 14 e 22) si è osservato un rinterro della cavità. Seppur supposto, date le dimensioni stimate della cavità, si è attribuito a queste uno stadio evolutivo maturo. Tale condizione evolutiva è, inoltre, sottolineata dal fatto che, malgrado il rinterro, il processo di collasso è ben evidente per la presenza di cedimenti e fratture che bordano il perimetro della depressione.

<i>Dimensioni (m)</i>	<i>n°</i>	<i>%</i>
< 5	7	25
5 – 20	12	43
20 – 50	6	21
> 50	2	7
NV	1	4

Tabella 7.1. - Classi di dimensione utilizzate per la descrizione delle forme osservate sul terreno e loro distribuzione

L'SH17, 18, 19 e 20 fanno parte delle cavità con dimensioni tra 5 e 20 m e costituiscono una serie di doline e inghiottitoi allineati lungo una direttrice che si sviluppa longitudinalmente al pendio tra Loc. Cogni e C.na Caminali. In particolare, l'SH19 e l'SH20 danno luogo a una depressione fortemente incisa alla cui base si osserva un inghiottitoio ben sviluppato (SH20), in cui confluiscono le acque che corrono lungo il rio di fondovalle scomparendo nel sottosuolo. Le forme osservate con diametro minore di 5 m, corrispondenti al





25%, sono invece quelle per le quali lo stadio evolutivo risulta essere poco valutabile in quanto condizionato dalle attività antropiche (rimodellamento e interrimento).

Si è dunque preferito non valutare lo stadio evolutivo là dove le attività antropiche hanno obliterato o modificato pesantemente la morfologia delle cavità. Solo in un caso tra queste è stato possibile riconoscere uno stadio evolutivo maturo. Si tratta della cavità SH25 che presenta una forma cilindrica e un diametro di circa 1 m e profondità di circa 2 m. La cavità si allarga a partire da circa 1 m di profondità da piano campagna, assumendo una forma a "imbuto rovesciato".

Le cavità con diametro compreso tra 20 e 50 m rappresentano il 21% dei casi e costituiscono le forme maggiormente apprezzabili soprattutto per la loro profondità compresa tra 5 e 20 m. In un caso (SH18) la profondità osservata sul terreno è stata stimata maggiore di 20 m. Questa forma particolarmente spettacolare presenta fianchi particolarmente acclivi; per tale motivo non è possibile accedervi in sicurezza; tuttavia, le acque che vi convogliano da monte attraverso un fosso di adduzione formano un laghetto alla base della cavità. Sul margine di valle sono evidenti segni di dissesto probabilmente dovuti al processo di erosione al piede in corrispondenza dell'inghiottitoio.

In due casi (SH09 e SH23), è stato osservato un diametro maggiore di 50 m. Esse sono localizzate al centro di ampie depressioni che per la loro estensione sono visibili sia sulle ortofoto (foto aeree, volo dell'anno 2006), che sulle carte topografiche della Regione Piemonte (CTR). Nel caso dell'SH23, la depressione culmina nel punto più basso senza mostrare l'evidenza di una forma carsica; si nota tuttavia che le acque di ruscellamento convergono in questo punto infiltrandosi nel sottosuolo in una area ristretta; è dunque possibile che questa forma sia in fase embrionale o che le attività agricole abbiano mascherato, nel tempo, le evidenze di una cavità allo stadio maturo. Per quanto riguarda l'SH09, invece, l'ampia depressione culmina in una cavità allo stadio

evolutivo maturo costituito da un ampio inghiottitoio parzialmente colmato da materiale fine e in corrispondenza del quale si è formato uno stagno.



*Figura 7.7 – Stagno formatosi in corrispondenza dell'inghiottitoio al centro dell'ampia depressione SH09*

Il versante oggetto dello studio, per la sua conformazione e per la giacitura degli strati geologici disposti a franapoggio rispetto al pendio, presenta una percentuale di affioramento delle unità geologiche estremamente debole. Queste affiorano solamente lungo i tagli delle strade comunali e vicinali che percorrono il versante, e i rii e le canalizzazioni delle acque superficiali, lungo i quali l'erosione mette a nudo il substrato al di sotto delle coperture di terreno vegetale e suolo; all'interno delle doline, nei casi in cui i processi di evoluzione delle cavità è particolarmente spinto (stato evolutivo maturo), il crollo delle pareti ha messo a nudo i livelli dei gessi del Messiniano.

La tabella che segue è riportata la distribuzione delle forme carsiche in funzione del processo genetico a cui sono connesse.

<i>Tipo</i>	<i>n°</i>	<i>%</i>
Per dissoluzione	4	14
Per collasso	10	36
Per subsidenza	12	43
Piping profondo	0	0
Non valutabile	2	7

Tabella 7.2 - Distribuzione delle forme censite secondo la classificazione adottata, che distingue i processi genetici che determinano la formazione di una cavità e/o cedimento

Nei casi in cui sono state osservate acque all'interno o nei pressi delle cavità, sono stati rilevati i loro principali parametri fisico-chimici (conducibilità elettrica, temperatura e pH dell'acqua).. Negli altri casi o non è stata riscontrata né la presenza di acqua, né è stato possibile accedere al fondo della cavità per rilevare i parametri della acque. Nel caso dell'SH18, le acque misurate sono quelle osservate lungo il canale di adduzione lungo il quale scorrono le acque da monte che sono collettate nella cavità e da qui s'infiltrano nel sottosuolo. Per l'SH20, invece le misure si riferiscono alle acque che ristagnano sul fondo della cavità. I valori misurati sono:

	<i>SH18</i>	<i>SH20</i>
Conducibilità elettrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	830	2450
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	18,7	13,5
pH	8,6	8,9

Tabella 7.3 - Valori dei parametri fisico-chimici rilevati nelle cavità o nei loro pressi

Benché il numero di misure non permetta di condurre analisi approfondite, si nota come le acque che ruscellano verso le doline (SH18) presentano una mineralizzazione (espressa dalla conducibilità elettrica) minore rispetto a quelle che si trovano al loro interno. Queste ultime, infatti, si trovano a diretto contatto con i gessi il cui processo di dissoluzione contribuisce all'aumento della conducibilità elettrica.

## 7.2. STUDIO DELLA STRADA DI ACCESSO AL “NUOVO OSPEDALE ALBA-BRA”, ESEGUITO DALLA PROVINCIA DI CUNEO

Nel settembre 2001 la Provincia di Cuneo ha emesso il progetto preliminare per la “Realizzazione del collegamento fra la viabilità ordinaria ed il punto di accesso al nuovo ospedale di Alba–Bra nel comune di Verduno”. Per la redazione della progettazione sono stati realizzati una serie di studi geologico–geotecnici dell’area immediatamente a monte dell’imbocco lato Alba. Gli studi eseguiti, messi a disposizione dalla Provincia, sono stati analizzati ed utilizzati per gli utili raffronti con le indagini condotte per il progetto della galleria autostradale; di essi si è tenuto conto per la definizione del modello geologico. Nel dettaglio lo studio realizzato ha analizzato cinque differenti ipotesi di tracciato stradale lungo il versante che sale all’Ospedale (Figura 7.8).

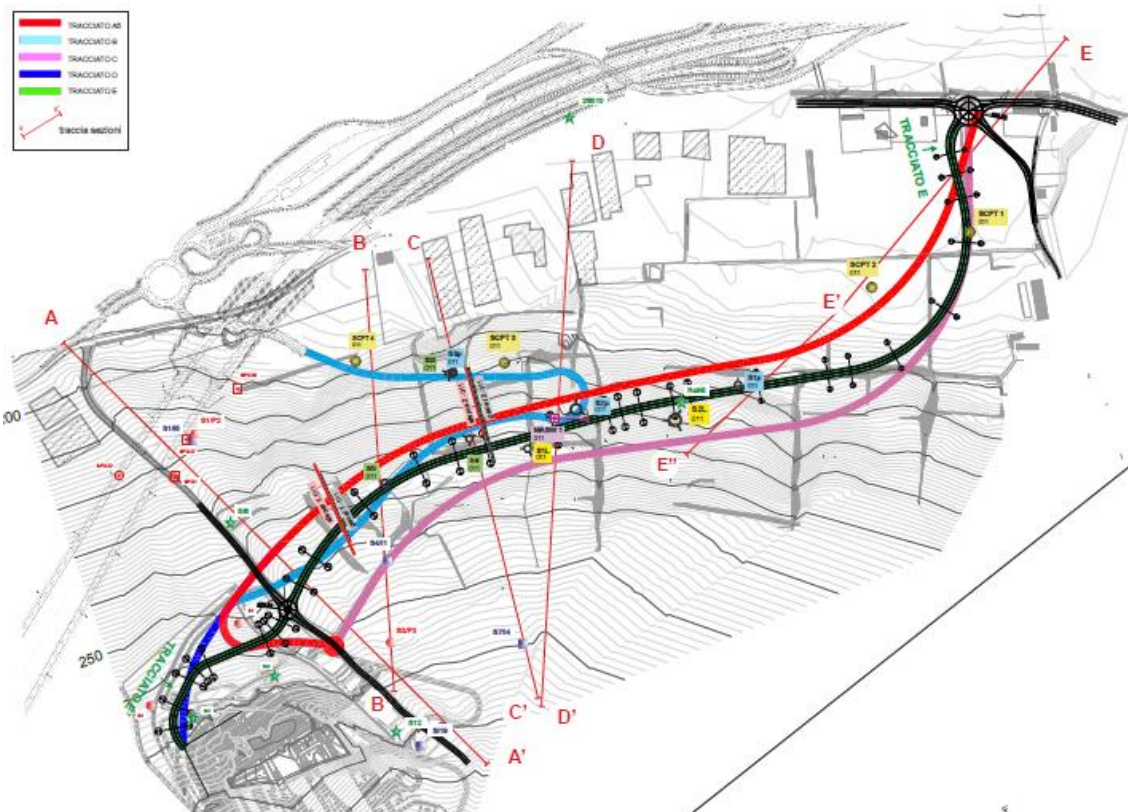


Figura 7.8 – Stralcio planimetria con le ipotesi di tracciato stradale e la traccia delle sezioni geologiche

In particolare la sezione A-A' è stata presa come riferimento per il confronto con le sezioni trasversali E-E' e G-G' redatte in corrispondenza dell'imbocco lato Alba. Se ne riporta nella Figura 7.9 la ricostruzione litostratigrafica.

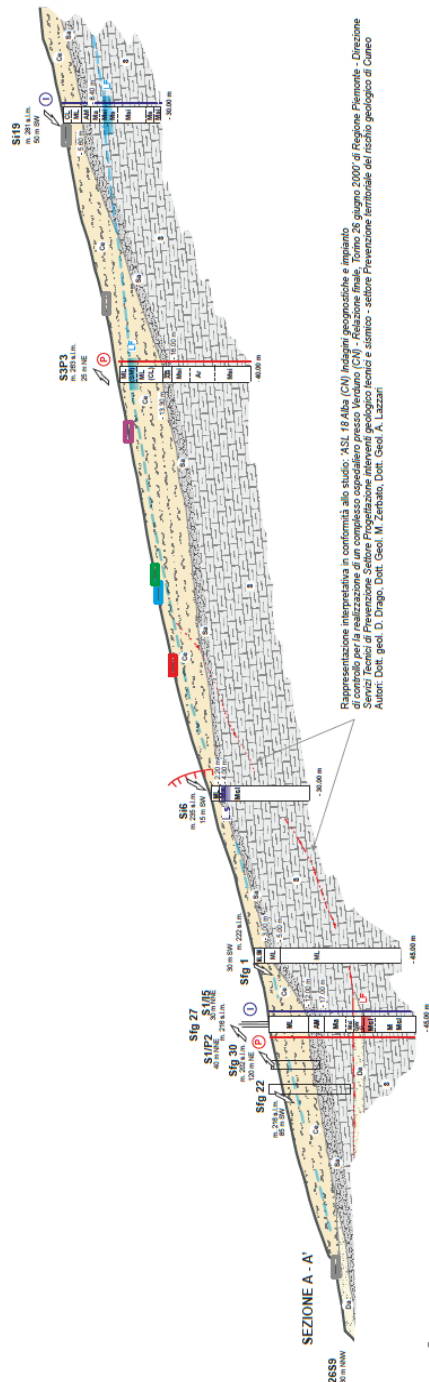


Figura 7. 9 – Sezione (in giallo si indica la copertura detritica/accumuli di frana, mentre in grigio il substrato argilloso-marnoso)

## 8. STUDI INTEGRATIVI RISPETTO AL PROGETTO DEFINITIVO

Il modello geologico è stato quindi messo a punto considerando molteplici informazioni aggiuntive rispetto al Progetto Definitivo, grazie alla nuova campagna di indagini geognostiche ed agli studi integrativi, che hanno consentito di prendere in esame gli approfondimenti richiesti in sede di verifica di compatibilità ambientale, secondo quanto contenuto del DEC VIA 576/2011. Nel dettaglio i nuovi dati di base impiegati per l'elaborazione del modello geologico sono:

- analisi delle stratigrafie delle indagini integrative eseguite per l'installazione della strumentazione di monitoraggio (inclinometri e piezometri) nel periodo settembre 2011 – luglio 2012; l'installazione della strumentazione è stata condotta in recepimento alle prescrizioni del DEC VIA 576/2011 (punto 2.32, 2.45, 2.47);
- analisi dei risultati ad oggi disponibili dalla campagna di monitoraggio, inclinometrico e piezometrico, che ha consentito un aggiornamento ed affinamento del quadro conoscitivo precedentemente disponibile dell'area in esame (punto 2.45 e 2.47);
- analisi delle indagini geofisiche eseguite nel periodo giugno – luglio 2012, per l'approfondimento delle aree interessate da possibili fenomeni carsici all'interno della Formazione Gessoso-solfifera (lato Cherasco) e delle aree interessate da fenomeni franosi in corrispondenza dell'area del costruendo ospedale (lato Alba), in recepimento alle prescrizioni del DEC VIA 576/2011 (punto 2.31, 2.47);
- analisi della documentazione relativa alle differenti fasi progettuali del costruendo "Nuovo Ospedale di Alba-Bra" e delle successive valutazioni sulle condizioni di stabilità del versante lato Alba;

- analisi della documentazione resa disponibile dal Comune di Verduno su uno “Studio delle Doline” presenti sul territorio comunale di Verduno;
- analisi della documentazione relativa al Progetto Preliminare della strada di collegamento tra la viabilità ordinaria ed il costruendo ospedale, in corrispondenza del versante lato Alba del tracciato della galleria;
- rilievi geologici di campagna al fine di confermare/integrare quanto acquisito dagli studi precedentemente eseguiti;
- prove idrogeologiche con traccianti (fluoresceina) allo scopo di ottenere informazioni relative alla conformazione dell’acquifero dei gessi ed alle sue condizioni idrodinamiche (argomento trattato nel dettaglio nella “Relazione idrogeologica”), in recepimento alle prescrizioni del DEC VIA 576/2011 (punto 2.31, 2.43);
- modellizzazione tridimensionale dell’acquifero principale di un settore della collina di Verduno interessato dall’attraversamento della galleria, allo scopo di simulare il flusso di falda in condizioni naturali (ante-operam), durante lo scavo delle due canne della galleria e al termine della realizzazione dell’opera (anche in questo caso l’argomento sarà trattato nel dettaglio nella “Relazione idrogeologica”), in recepimento alle prescrizioni del DEC VIA 576/2011 (punto 2.31, 2.43);
- analisi di tutti i fenomeni franosi censiti dall’Arpa Piemonte e dal registro IFFI nel settore di versante interessato dal tracciato della galleria;
- analisi dei dati storici di deformazione (periodo 2003-2012) dell’intera area mediante interferometria radar da satellite al fine di valutare la presenza e l’evoluzione di eventuali fenomeni deformativi riconducibili a fenomeni franosi e fenomeni di subsidenza dei terreni.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

Nel seguito, si descriverà in dettaglio il modello geologico, dapprima a livello generale e , successivamente, per le tratte omogenee individuate al precedente capitolo 4.



## 9. MODELLO GEOLOGICO GENERALE

Nel seguito si riporta un inquadramento geologico geomorfologico generale dell'area e quindi, nel dettaglio, la situazione geologico-morfologica locale.

### 9.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Come già riportato al precedente paragrafo 4.3, il collegamento stradale Asti-Cuneo è compreso nei Fogli 68-Carmagnola, 69-Asti, 80-Cuneo e 81-Ceva della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:100.000. Questo settore del Piemonte meridionale risulta caratterizzato da un substrato costituito da sedimenti marini appartenenti al Bacino Terziario Ligure-Piemontese e dalla presenza discontinua di coperture, generalmente di ridotto spessore, rappresentate da depositi quaternari.

Nel corso dell'Oligocene si individua, nell'area in parte corrispondente alle attuali Langhe, un ampio golfo marino descrivibile nell'insieme come un'ampia depressione sinclinale allungata da W verso E. Questo bacino consente la deposizione di una potente successione terrigena, che prosegue per tutto il Miocene, composta da arenarie, argille e conglomerati derivanti principalmente dalla sedimentazione ad opera di correnti di torbida (Gelati & Gnaccolini, 1988; Giammarino, 1984).

La disposizione attuale della sequenza, descrivibile come una struttura a monoclinale abbastanza regolare, ben stratificata e con immersione rivolta verso NW e inclinazione di  $10^\circ \div 15^\circ$ , deriva dal successivo sollevamento iniziato durante l'orogenesi alpina e proseguito nel corso del Quaternario.

Per tutta la sua estensione, circa 50 km, il Tronco II dell'Autostrada Asti-Cuneo si sviluppa in direzione Est-Ovest lungo l'incisione del F. Tanaro, trasversalmente rispetto all'asse della struttura geologica nota come "sinclinale astigiana". In particolare, ne attraversa il fianco meridionale, dove affiorano unità stratigrafiche terziarie via via più recenti procedendo verso Asti, con l'avvicinarsi al nucleo della struttura, come più in dettaglio descritto al paragrafo

9.5. Il substrato è costituito da sequenze litologiche di età compresa tra il Tortoniano ed il Pliocene, per lo più a composizione marnoso-argillosa. I terreni di copertura, relativi al Quaternario-Attuale, sono riferibili fondamentalmente ai depositi alluvionali del F. Tanaro e del T. Stura di Demonte. La loro composizione granulometrica è variabile da grossolana (sabbie, ghiaie e ciottoli) a fine (limi e argille). Dal punto di vista delle deformazioni tettoniche fragili l'area è interessata da un sistema di faglie sub verticali con direzione NNE-SSO (fino a NNO-SSE) e ONO-ESE. La presenza di questi lineamenti risulta evidente da foto aeree e dalla geomorfologia: alcuni affluenti minori del Tanaro nel settore Ovest della galleria sembrano impostarsi su queste direttrici NNO-SSE e ONO-ESE.

La sequenza marina terziaria ed i depositi continentali furono oggetto sin dalla fine del secolo scorso di numerose ricerche (si veda, ad esempio, Sacco 1889-1890). Successivamente, ed in particolare dalla seconda metà di questo secolo, nuove indagini di carattere stratigrafico e sedimentologico (Martinis, 1954; Gelati, 1976; Gnaccolini et al., 1990), hanno consentito una migliore caratterizzazione dei meccanismi di deposizione, della distribuzione e della collocazione cronologica dei singoli corpi sedimentari, ponendo le basi conoscitive per una ricostruzione rappresentativa dell'assetto del bacino.

## 9.2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO

La galleria di Verduno, dal punto di vista geologico ricade in un ambito caratterizzato da sedimenti marini appartenenti al Bacino Terziario Ligure-Piemontese a costituire il substrato locale e dalla presenza discontinua di coperture, generalmente di ridotto spessore, rappresentate da depositi quaternari.

Il substrato è costituito da sequenze litologiche di età compresa tra il Tortoniano ed il Miocene, che comprendono la formazione di base delle Marne di Sant' Agata Fossili, per lo più a composizione marnoso-argillosa con disposizione a monoclinale regolare, ben stratificata, con immersione verso NW



e inclinazione di  $10^{\circ}\div 15^{\circ}$ , cui sono sovrapposti i terreni della serie evaporitica composta da gessi ed evaporiti.

I terreni di copertura, relativi al Quaternario-Attuale, sono riferibili fondamentalmente ai depositi detritici colluviali del versante nord occidentale di Verduno. La loro composizione granulometrica è variabile da grossolana (sabbie, ghiaie e ciottoli) a fine (limi e argille) con presenza di gessi sia in forma di cristalli dispersi in una matrice limo-sabbiosa, sia di vere e proprie arenarie gessose.

### 9.3. ASSETTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE

Le caratteristiche morfologiche dell'area risultano direttamente improntate dai fenomeni intercorsi a partire dal Pleistocene medio ed in particolare dall'evoluzione del reticolo idrografico. In corrispondenza del tratto Marene-Asti si riconoscono due assetti nettamente differenziati, separati dal brusco cambio di direzione del F. Tanaro che, all'altezza dell'abitato di Cherasco, abbandona la direzione Nord-Sud per assumere un andamento Est-Ovest fino ad Alba e proseguire poi in direzione SW-NE verso Asti.

Il tratto posto ad Ovest è contraddistinto morfologicamente da tre ordini di superfici terrazzate sospese a quote diverse rispetto all'alveo. Questa situazione è indicativa della generale tendenza all'erosione verticale, intervallata da modesti episodi di accumulo, che ha interessato l'intero settore meridionale della pianura cuneese. L'interpretazione di un modellamento "in negativo" avvenuto a spese del substrato terziario è confermato dal fatto che i depositi quaternari riconosciuti in corrispondenza di tutte le superfici terrazzate rappresentano sempre una copertura di modesto spessore, al massimo dell'ordine di poche decine di metri, con contatti di tipo erosionale rispetto ai vari termini della sequenza terziaria.

La superficie più alta (attorno ai 320 m), riconoscibile in sinistra dello Stura in corrispondenza dell'abitato di Marene, rappresenta l'estremità orientale dell'esteso altopiano di Fossano. Quest'unità morfologica costituisce insieme

agli altopiani di Trinità e Magliano un sistema di superfici isolate, nel complesso sub-pianeggianti, ma decisamente ondulate nel dettaglio, rilevate rispetto alla pianura di 20 - 50 m, a cui sono riferibili depositi del Pleistocene medio.

Il livello di base attuale della pianura, costituitosi durante una fase deposizionale immediatamente precedente la diversione del Tanaro (Pleistocene superiore ?), ha un notevole sviluppo areale in tutto il cuneese e, nel tratto considerato, si trova in corrispondenza degli abitati di Bricco dè Fauli e Roreto, in sinistra dello Stura, mentre sulla destra costituisce il lembo su cui sorge l'abitato di Cherasco. Si tratta di una superficie tabulare debolmente inclinata (0.4%) verso Nord-Est, sospesa di 70 - 80 m sul fondovalle attuale al quale si raccorda per mezzo di scarpate nette, profondamente incise dal reticolato idrografico locale.

La fascia di fondovalle è costituita da depositi recenti che costituiscono lembi di superfici terrazzate localmente caratterizzate da una certa continuità, come si osserva in sinistra idrografica ad Ovest di Cervere. Tale assetto è connesso al veloce approfondimento recente del corso d'acqua. In questo tratto il corso inferiore dello Stura presenta un andamento debolmente sinuoso all'interno di un alveo di piena curvilineo largo mediamente un centinaio di metri.

Nel tratto ad Est del punto di diversione, il Tanaro ha riutilizzato ed ampliato l'incisione operata da un suo affluente di destra e si sviluppa quindi in rapporto di sovraimposizione rispetto ad una morfologia preesistente. Attualmente il corso d'acqua scorre meandrandosi all'interno di una fascia di fondovalle, costituita da depositi recenti (Olocene), che a valle di Cherasco si sviluppa degradando dalla quota di 200 m sino ai 115 m circa, su una larghezza variabile tra 1.5 e 2.5 km. Ai margini dell'ampia valle del Tanaro si hanno rilievi collinari di modesta elevazione (300 - 350 m slm), caratterizzati da forme generalmente arrotondate che, soltanto nella zona soggetta al modellamento diretto da parte del corso d'acqua, assumono per lunghi tratti i caratteri di scarpate in erosione attiva, con evidente risalto morfologico.

Il fenomeno di diversione del Tanaro è stato seguito da una veloce ed intensa fase di approfondimento erosionale dell'intero sistema idrografico, sia a monte

che a valle del punto di tracimazione. La nuova posizione del livello di base risulta, infatti, posta ad una quota di circa 150 m inferiore alla precedente; di conseguenza si innesca a livello regionale una ripresa dell'azione erosiva, che svolge tuttora un ruolo determinante nell'instaurare, in particolare, condizioni predisponenti ad una instabilità generalizzata dei versanti.

L'alternanza di strati a diverso comportamento meccanico ha favorito una erosione selettiva determinando un tracciato delle aste torrentizie sinuoso (più evidente nell'alto bacino) e un profilo di fondo a salti, con l'alternarsi di tratti a pendenza contenuta e gradoni di dislivello marcato.

In sequenza, la sotto-escavazione e lo scalzamento al piede del pendio sono i primi riflessi dell'approfondimento delle aste di drenaggio per erosione; successivamente si innescano frane di scivolamento traslativo per mancanza di sostegno alla base; infine la franosità migra verso l'alto del versante sino alle creste, le più stabili sotto il profilo dinamico-evolutivo.

In definitiva, per tutto l'Olocene (ultimi 10.000 anni) l'evoluzione morfologica e lo sviluppo dei processi sedimentari dell'area di interesse risultano fortemente condizionati dalla diversione del Tanaro. Questa ha determinato un abbassamento significativo del livello di base relativo e l'innescare di un fenomeno di erosione regressiva generale che ha interessato l'intero reticolato idrografico del Bacino Piemontese meridionale (Tanaro, Belbo, Ellero, Pesio, Stura), determinando le attuali profonde incisioni dei corsi d'acqua all'interno del livello fondamentale della pianura cuneese.

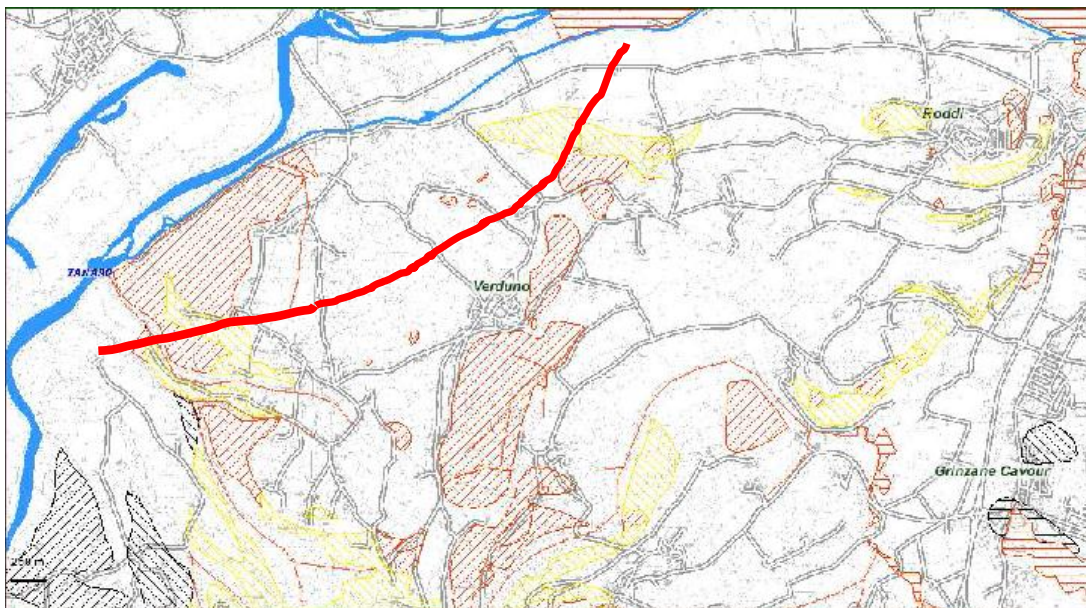
Nel tratto di Verduno l'approfondimento della valle del Tanaro ha originato una superficie del versante in destra orografica che ha assunto una pendenza media circa coincidente con la stratificazione del substrato locale (circa 10-15°), mentre si sono originati movimenti franosi che hanno coinvolto la coltre colluviale e i terreni della formazione evaporitica messiniana.

Una componente importante dell'assetto geomorfologico è rappresentata dalle forme carsiche, di cui si è discusso al precedente paragrafo 7.1.

#### 9.4. CENSIMENTO DEI FENOMENI FRANOSI

Per completare il quadro geomorfologico, in aggiunta all'attività di campagna, si è provveduto ad una ricerca sui fenomeni già censiti dagli Enti preposti alla tutela del territorio. Nel dettaglio si evidenziano le seguenti tematiche:

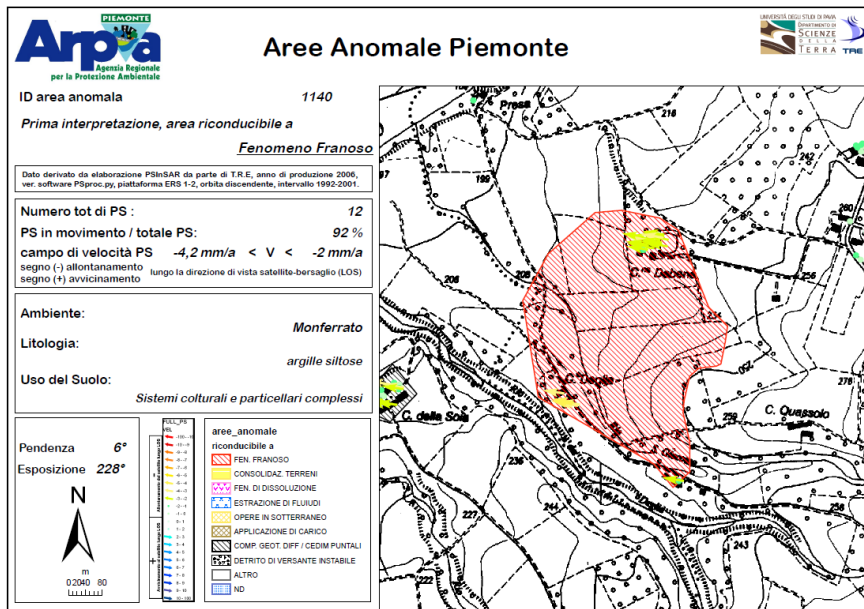
- Censimento dei dati ARPA – I.F.F.I.: riporta delle aree estese caratterizzate da “scivolamento rotazionale traslativo” che interessano marginalmente la zona dell'imbocco lato Asti. Gli altri fenomeni censiti sono localizzati nel settore di monte rispetto al tracciato della galleria. Le aree individuate da questo censimento mostrano un buon ricoprimento con le aree riportate come frana attiva/quiescente dai dati PAI aggiornato (Figura 9.1).



*Figura 9.1 – Aree riportate come frana attiva/quiescente dai dati PAI (in retino giallo le aree indicate come frane quiescenti, in retino rosso le aree indicate come frane attive, in nero le aree indicate come zone di dissesto)*

- Aree anomale desunte da analisi interferometrica radar satellitare riportate sul Sito ARPA Piemonte: viene individuata un'area come frana attiva in prossimità dell'imbocco lato Cuneo; l'area appare comunque molto ridotta rispetto alle aree di frana riportate dal PAI nella stessa

area. La scheda monografica AA 1140 riportata in Figura 9.2 indica entità degli spostamenti pari a 2-4,2 mm/anno. Nella stessa analisi viene individuata un'altra area di frana attiva (scheda AA 1142) esterna al tracciato e altre due aree interessate da fenomeni franosi quiescenti (schede AA 1137 e AA 1139). L'analisi interferometrica individua anche altre due aree ristrette caratterizzate dalla presenza di edifici (scheda AA2160), da cedimenti differenziali (scheda AA 1141) e da fenomeni franosi (AA 140).



*Figura 9.2 – Scheda monografica AA 1140*

- I fenomeni franosi riportati dal PAI aggiornato, nel settore orientale (lato Alba), coincidono con le aree riportate dal censimento ARPA – I.F.F.I. Nel settore Occidentale (lato Cuneo) vengono individuati fenomeni franosi attivi che interessano l'area dell'imbocco Cherasco e si estendono a Nord fino al Tanaro.

Una sintesi delle aree indicate dai vari enti come soggette a fenomeni franosi (e delle loro eventuali sovrapposizioni) è presentata nella “Carta dei Fenomeni Franosi Censiti”, documento 2.6-E.dD.2.1.06, uno stralcio della quale è riportato

nella Figura 9.3. Nell'allegato 1 si riportano le schede relative ai singoli fenomeni franosi censiti.

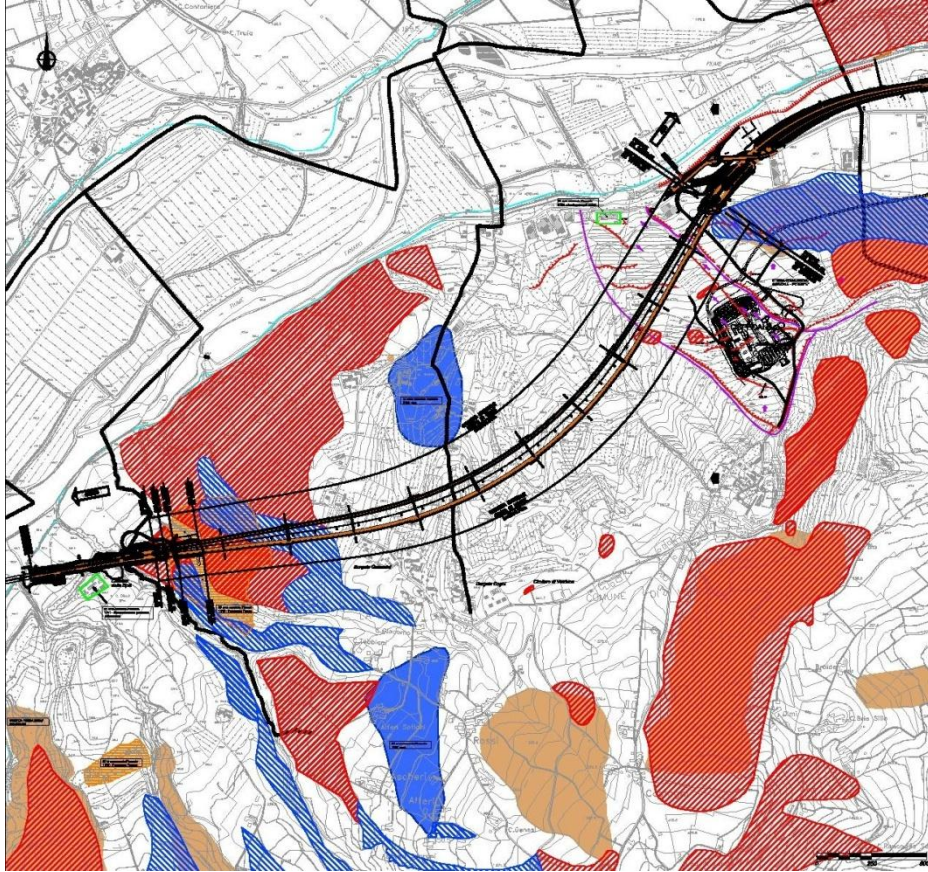


Figura 9.3 – Stralcio della Carta dei Fenomeni Franosi Censiti (si veda l'elaborato grafico per la legenda delle aree)

L'elaborazione SqueeSAR™ del RADARSAT-1 ascendente, svolta nell'ambito degli studi svolti per il Progetto Esecutivo, ha in particolare consentito di ottenere informazioni quantitative sulle eventuali deformazioni della superficie avvenuti nell'arco temporale marzo 2003 – settembre 2012, all'interno dell'area in esame. Nell'area sono stati individuati oltre 3100 punti di misura, ma la distribuzione è piuttosto disomogenea, a causa della presenza di estese aree agricole e/o vegetate che impediscono l'individuazione di bersagli radar stabili. Mentre le cartografie IFFI, PAI, ARPAP, segnalano la presenza di numerosi fenomeni franosi nell'area, l'analisi dei dati SqueeSAR™ anche a causa della



scarsità di bersagli sui dissesti segnalati, non ha rilevato movimenti significativi. Tuttavia occorre segnalare al riguardo la scarsa congruenza delle cartografie citate, per la presenza di aree sovrapposte con significato discordante.

L'interpretazione progettuale circa le criticità geomorfologiche dell'area di progetto, che tiene conto di tutte le informazioni esaminate, compreso i sopralluoghi sul posto, è riportata nel documento "Carta geomorfologica", documento 2.6-E.dD.2.1.06. Senza dubbio l'area più critica è rappresentata dal settore interessato dall'imbocco lato Alba e dal versante a monte dello stesso, in direzione del Nuovo Ospedale Alba-Bra, laddove è presente un'estesa area in frana attiva interessante i depositi di copertura, nonché si è evidenziata la presenza di piani di scorrimento traslazionale all'interno del substrato marnoso. Si evidenzia che i fenomeni franosi che interessano la zona del Nuovo Ospedale e l'area estesa a Nord non sono riportati nei censimenti esaminati, né negli inventari sugli eventi franosi; gli elementi riportati nella carta geomorfologica di progetto sono basati sulle evidenze morfologiche riportate nelle carte geologico-geomorfologiche presenti tra i documenti del progetto delle fondazioni del Nuovo Ospedale.

## **9.5. ASSETTO STRATIGRAFICO DELL'AREA DI PROGETTO**

La successione litologico - stratigrafica dell'area interessata dall'opera in progetto comprende, a partire dalle unità più antiche, stratigraficamente inferiori, i seguenti termini:

### **9.5.1. Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano)**

Si tratta di un complesso di argille, argilliti e marne di colore grigio-azzurro spesso a frattura irregolarmente concoide, cui localmente si intercalano livelli di peliti siltose grigie e corpi arenacei e conglomeratici. Esso rappresenta una fase di sedimentazione di mare aperto, come indicato anche dalle associazioni fossili presenti. L'assetto giaciturale è nel settore di Verduno monoclinale, debolmente inclinato ( $5^\circ \div 20^\circ$ ) verso N-NW. Lo spessore complessivo

raggiunge i 250 ÷ 300 m. In funzione di questo assetto strutturale, la formazione affiora con notevole estensione in corrispondenza dei rilievi che bordano il fianco destro della valle del Tanaro, dai dintorni di Roddi sino a Sant'Anna, presso Costigliole d'Asti, mentre in sinistra orografica è presente con estensioni minori e si immerge al di sotto delle unità più recenti.

#### **9.5.2. Formazione gessoso-solfifera (Messiniano)**

Tale formazione, che poggia, tramite una superficie di tipo erosivo, direttamente sulle Marne di Sant'Agata Fossili, è presente, in destra orografica al Tanaro, sulla zona collinare a Nord e a Ovest di Verduno. Dal punto di vista litologico la formazione comprende un'alternanza di peliti grigie, violacee o brune, gessi ed arenarie fini in strati sottili.

Questi sedimenti risultano spesso debolmente cementati, anche per la presenza di fenomeni di dissoluzione dei gessi, un'elevata percentuale di vuoti e vere e proprie cavità di tipo carsico. Lo spessore di questi terreni è molto variabile. Nel tratto in esame risulta generalmente di alcune decine di metri, mentre la potenza massima riscontrata raggiunge il centinaio di metri.

#### **9.5.3. Argille di Lugagnano (Pliocene inferiore-medio)**

La successione miocenica descritta è ricoperta dai depositi trasgressivi delle Argille di Lugagnano, costituiti essenzialmente da argille marnose e siltose grigio-azzurre, con locali intercalazioni arenacee giallastre più frequenti verso la base della formazione. L'aspetto litologico è molto simile a quello delle Marne di S. Agata Fossili, mentre risulta inferiore il tenore in carbonato di calcio. La giacitura dei banchi risulta da suborizzontale a debolmente inclinata verso N-NO (3°÷5°). Lo spessore della Formazione raggiunge i 150 m.

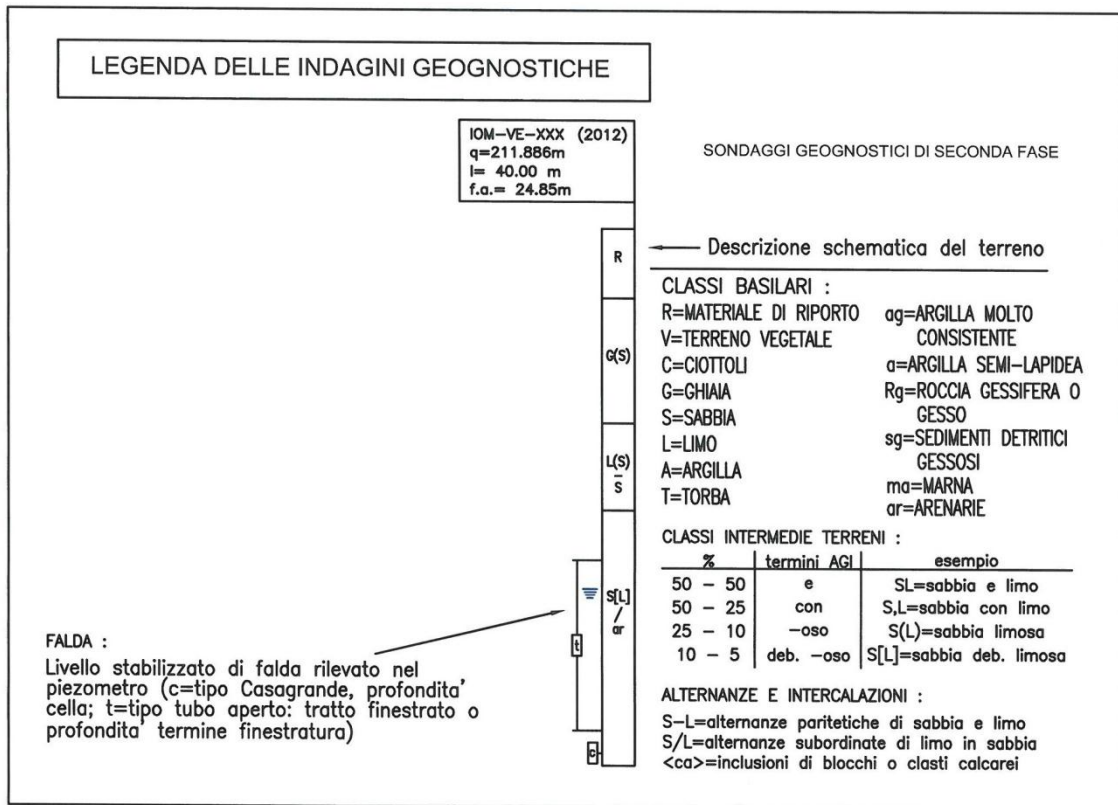
Sul lato destro della valle del Tanaro, costituisce solo limitate aree alla sommità del rilievo compreso tra Verduno e la borgata S. Michele (Cherasco). La loro giacitura risulta leggermente discordante rispetto ai terreni della sottostante Formazione Gessoso-Solfifera.

#### **9.5.4. Depositi colluviali (Olocene-attuale)**

Questi depositi comprendono terreni sciolti a granulometria prevalentemente fine provenienti dal rimaneggiamento e da un limitato trasporto, ad opera delle acque di scorrimento superficiale non incanalate, dei prodotti di alterazione in posto del substrato e dei materiali dei corpi di frana: limi sabbiosi fini non addensati, limi argillosi poco consistenti inglobanti a tratti sabbie e ghiaie. Sono presenti localmente frammenti di cristalli di gessi e, raramente, ciottoli ( $d_{max} = 10 \div 20$  cm) e clasti di marna alterata. La distribuzione degli accumuli relativi a questa unità è controllata dal comportamento nei confronti dell'erosione areale dei terreni affioranti (granulometria, presenza di coesione, posizione morfologica favorevole all'erosione). I depositi principali, a granulometria limoso-argillosa (con spessori anche dell'ordine della decina di metri), si rinvencono alla base dei versanti impostati nelle sequenze marnose profondamente modellate dai fenomeni fluviali, come la dorsale di Roddi e le incisioni minori confluenti nella Valle del torrente Talloria.

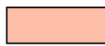







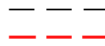
#### **9.6. ESAME DEI SONDAGGI E UNITÀ LITOLOGICHE**

Sulla base della lettura di tutti i logs stratigrafici è stata predisposta una legenda delle indagini geognostiche (Figura 9.4), che ha consentito una lettura schematica di tutti i sondaggi utilizzati per le ricostruzioni del modello geologico di riferimento per le singole zone omogenee.



*Figura 9.4 –Legenda delle indagini geognostiche*

Successivamente l'analisi di tutti i dati stratigrafici, in particolare di quelli derivanti dall'ultima campagna di indagini (2011–2012), ha portato ad una schematizzazione stratigrafica ed al riconoscimento delle unità litologiche, in parte già individuate in sede di Progetto Definitivo ed attraverso gli studi geologici generali (si vedano le formazioni geologiche descritte nell'elaborato "Carta geologica e geomorfologica"). Le differenti unità litologiche sono state organizzate secondo il seguente schema (Figura 9.5):

FORMAZIONI GEOLOGICHE	UNITÀ LITOLOGICHE	LEGENDA LITOLOGICA
- Riporto	1b	 Materiale di riporto/vegetale
- Complesso ghiaioso-sabbioso/limo-sabbioso - Corpi detritici grossolani all'interno argille-marmose	3 / 7a	 Facies ghiaioso-sabbiosa
Fr/Cl - Depositi di frana - Limi sabbiosi fini, localmente argillosi, inglobanti ghiaie e ciottoli	4	 Limi prevalenti
Fr/Pa - Depositi di frana - Argille di Lugagnano. Argille marmose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni, verso l'alto, di banchi di sabbie (Pliocene inferiore-medio).	4 / 5	 Argilla limosa, argilla sabbiosa
Pa - Argille di Lugagnano. Argille marmose e siltose grigio-azzurre con intercalazioni, verso l'alto, di banchi di sabbie (Pliocene inferiore-medio).	5	 Argilla mamosa con noduli di gesso
M4 - Marna di S. Agata Fossili. Limi argillosi e argille mamoso-siltose grigio-azzurre con sottili livelli di limo e sabbie fini. Intercalazioni di corpi sabbiosi e ghiaiosi con spessore metrico più frequenti al tetto dell'unità. Locale presenza di livelli calcarenitici con spessore decimetrico. (Tortoniano-Miocene Sup.).	7	 Marna da grigia a verde, con granuli e noduli gessosi; alternanze di marna compatta grigio-azzurra ed argilla da molto consistente a dura, da debolmente limosa a limosa; stratificazione evidente
M5 - Formazione Gessoso-Solfifera. Alternanze ben stratificate di limi argillosi, argille marmose e limi sabbiosi con gessi. I gessi costituiscono banchi litoidi con potenza metrica o si intercalano nella matrice limoso-argillosa sottoforma di sottili livelli e cristalli isolati. (Messiniano) (g) - Blocchi di gesso litoidi.	6	 Roccia gessifera o gesso grigio-bianco con tessitura cristallina con macrocristalli chiari, da compatta a totalmente frantumata, con superfici di discontinuità riempite di materiale argilloso
 <p>Livello stabilizzato di falda rilevato nel piezometro</p> <p>Letture piezometri progressivi.</p>		
 <p>Limite stratigrafico</p> <p>Superficie di discontinuità</p>		

*Figura 9.5 – Schema delle differenti unità litologiche*

Di seguito si riportano alcuni esempi delle principali unità litologiche riscontrate nei sondaggi eseguiti nell'ultima campagna di indagini (2011-2012), dando, ad illustrazione delle caratteristiche litologiche, alcune foto ritenute particolarmente significative.



CASSA	10
DA m	45,00
A m	50,00

Figura 9.6 – Sondaggio SOT-VE-025: esempio di lenti sabbiose all'interno del substrato marnoso (unità 3 e 7a)



**CASSA**      3  
**DA m**      10,00  
**A m**      15,00



**CASSA**      4  
**DA m**      15,00  
**A m**      20,00

*Figura 9.7a – Sondaggio SOT-VE-070: esempio di depositi di copertura lato Alba (unità 4)*



CASSA 2  
 DA m 5,00  
 A m 10,00

Figura 9.7b – Sondaggio IOV-MO-045: esempio di depositi pliocenici (unità 5)



CASSA 4  
 DA m 15,00  
 A m 20,00

Figura 9.8 – Sondaggio IOV-VE-046: esempio di argilla marnosa tra m 17 e m 20 (depositi pliocenici) (unità 5)





**CASSA**      9  
 DA m        40,00  
 A m         45,00



**CASSA**      10  
 DA m        45,00  
 A m         50,00

Figura 9.9 – Sondaggio IOM-MO-070: esempio di roccia gessifera (unità 6)



CASSA 13  
DA m 60,00  
A m 65,00

Figura 9.10 – Sondaggio IOM-MO-060: esempio di marna (unità 7)

## 10. MODELLO GEOLOGICO PER TRATTE OMOGENEE

Tutti gli studi e le indagini svolte hanno consentito di meglio definire i rapporti litologico – stratigrafici dei terreni presenti nell’area in esame ed in particolare di approfondire le seguenti problematiche:

- affinamento degli spessori delle lenti ghiaioso-sabbiose (corpi detritici) all’interno del substrato marnoso delle Marne di Sant’ Agata Fossili,
- approfondimento dei rapporti stratigrafici in corrispondenza delle zone di imbocco, sia lato Alba (coltri colluviali e depositi in frana), sia lato Cuneo (rapporti stratigrafici tra i depositi pliocenici e l’unità gessifera),
- affinamento delle conoscenze sulla tratta interessata dalla formazione gessifera, sia in termini stratigrafici, sia in termini di verifica della presenza di cavità carsiche.

I nuovi dati ottenuti hanno infatti consentito una re-interpretazione ed un approfondimento della ricostruzione dell’assetto litologico–stratigrafico lungo il tracciato della galleria, suddividendo il profilo geologico di previsione in cinque zone con caratteristiche litologiche piuttosto omogenee e che nei confronti dello scavo del tunnel potranno presentare specifiche criticità. Le zone omogenee, già discusse al capitolo 4, sono state quindi così distinte:

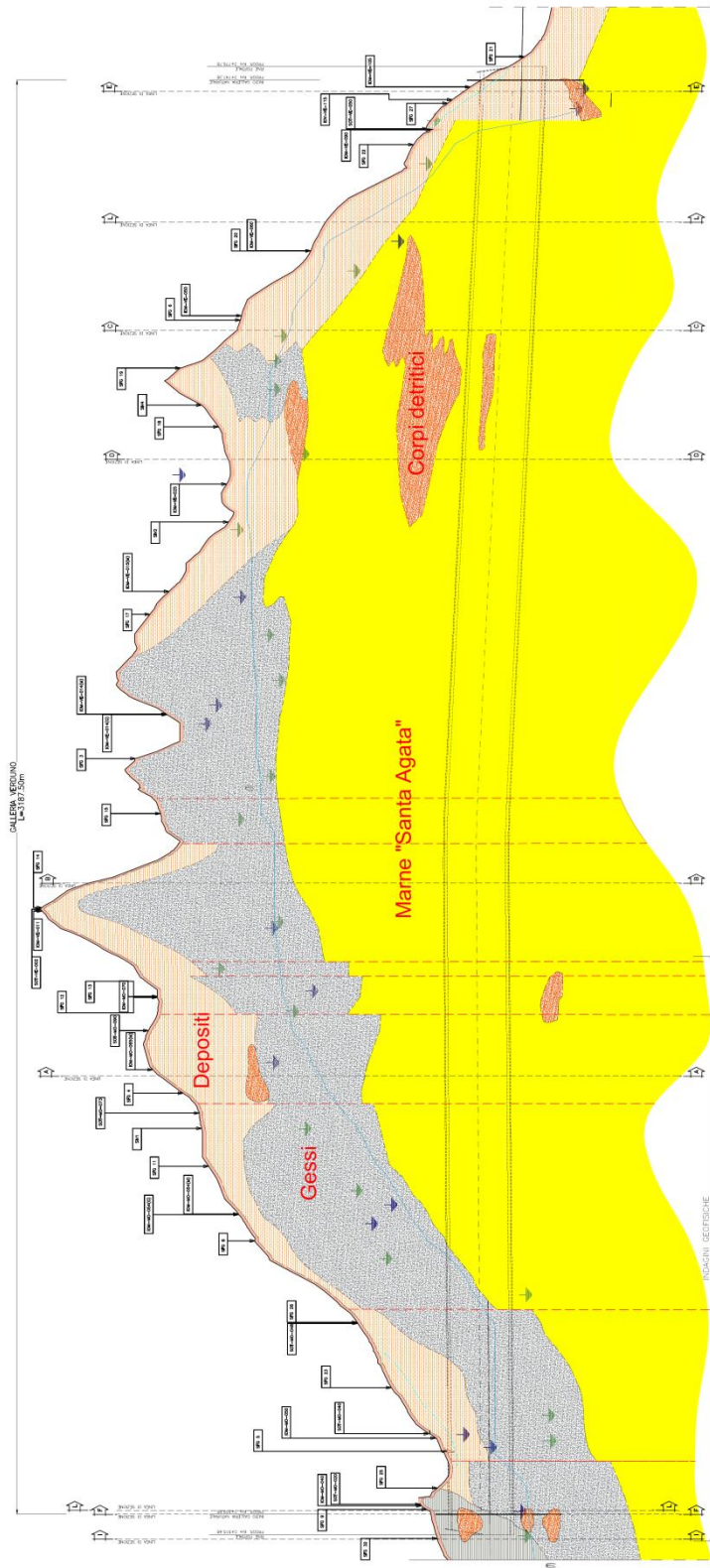
1. Zona di imbocco lato Cherasco: da Progr. 0+559.88 a progr. 0+730.88 in canna di monte e da progr. 4+263.60 a progr. 4+103.60 in canna di valle.
2. Zona di galleria interessata dall’attraverso della formazione dei gessi: da Progr. 0+730.88 a progr. 1+137.88 in canna di monte e da Progr. 4+103.60 a progr. 3+569.02 in canna di valle.
3. Zona di galleria interamente impostata all’interno del substrato marnoso-argilloso: da progr. 1+137.88 a progr. 2+923.88 in canna di monte e da Progr. 3+569.02 a progr. 2+361.02 in canna di valle.



4. Zona di galleria con corpi detritici (ghaioso-sabbiosi) all'interno del substrato marnoso-argilloso: da Progr. 2+923.88 a progr. 3+657.38 in canna di monte e da progr. 2+361.02 a progr. 1+346.84 in canna di valle.
5. Zona di imbocco lato Alba: da Progr. 3+657.38 a progr. 3+747.38 in canna di monte e da progr. 1+346.84 a progr. 1+159.02 in canna di valle.

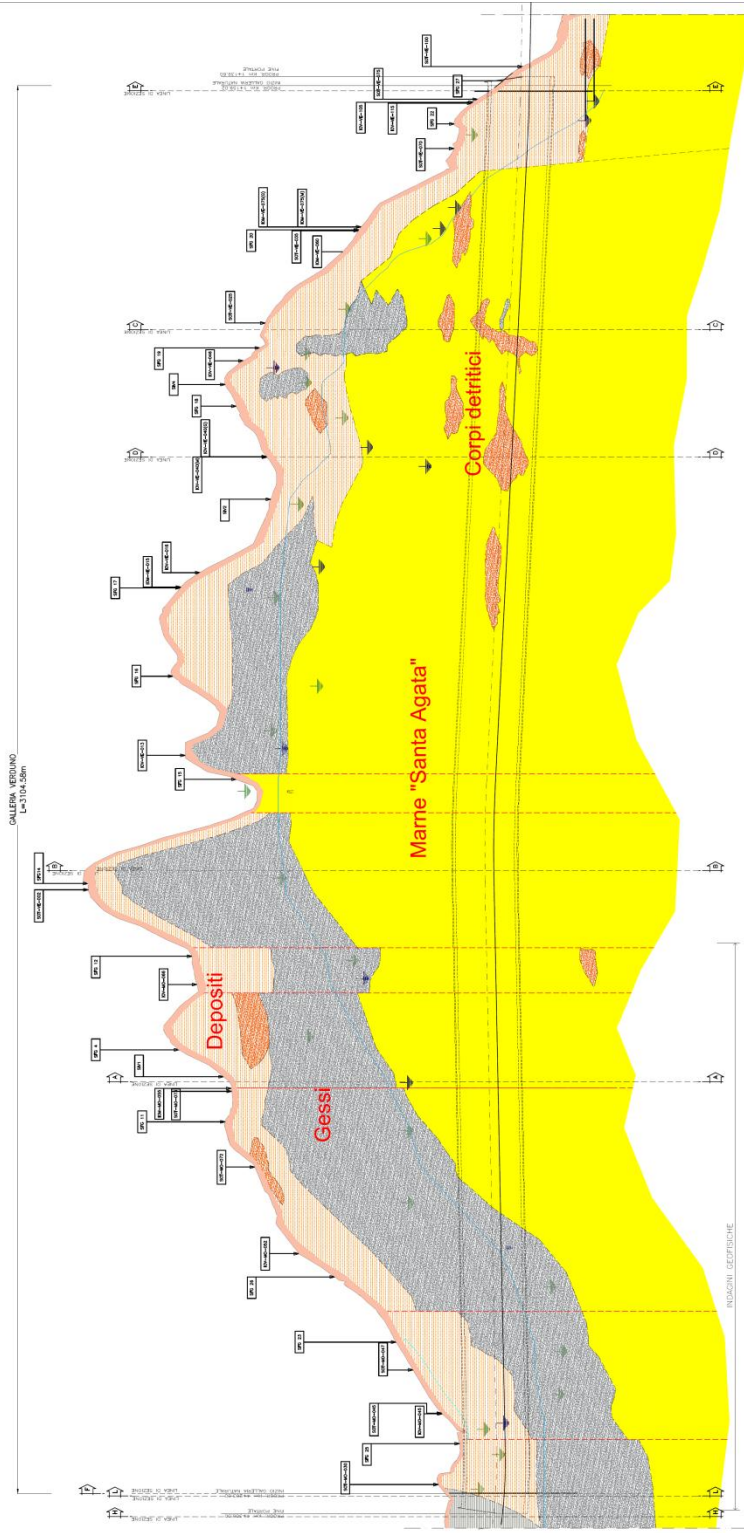
Nel seguito si descrivono nel dettaglio i cinque differenti contesti e si illustrano in breve le relative problematiche. Nel seguito si riportano i profili di monte e di valle ed un inquadramento planimetrico con l'indicazione delle cinque zone individuate.

**CANNA DI MONTE - TRATTE OMOGENEE**



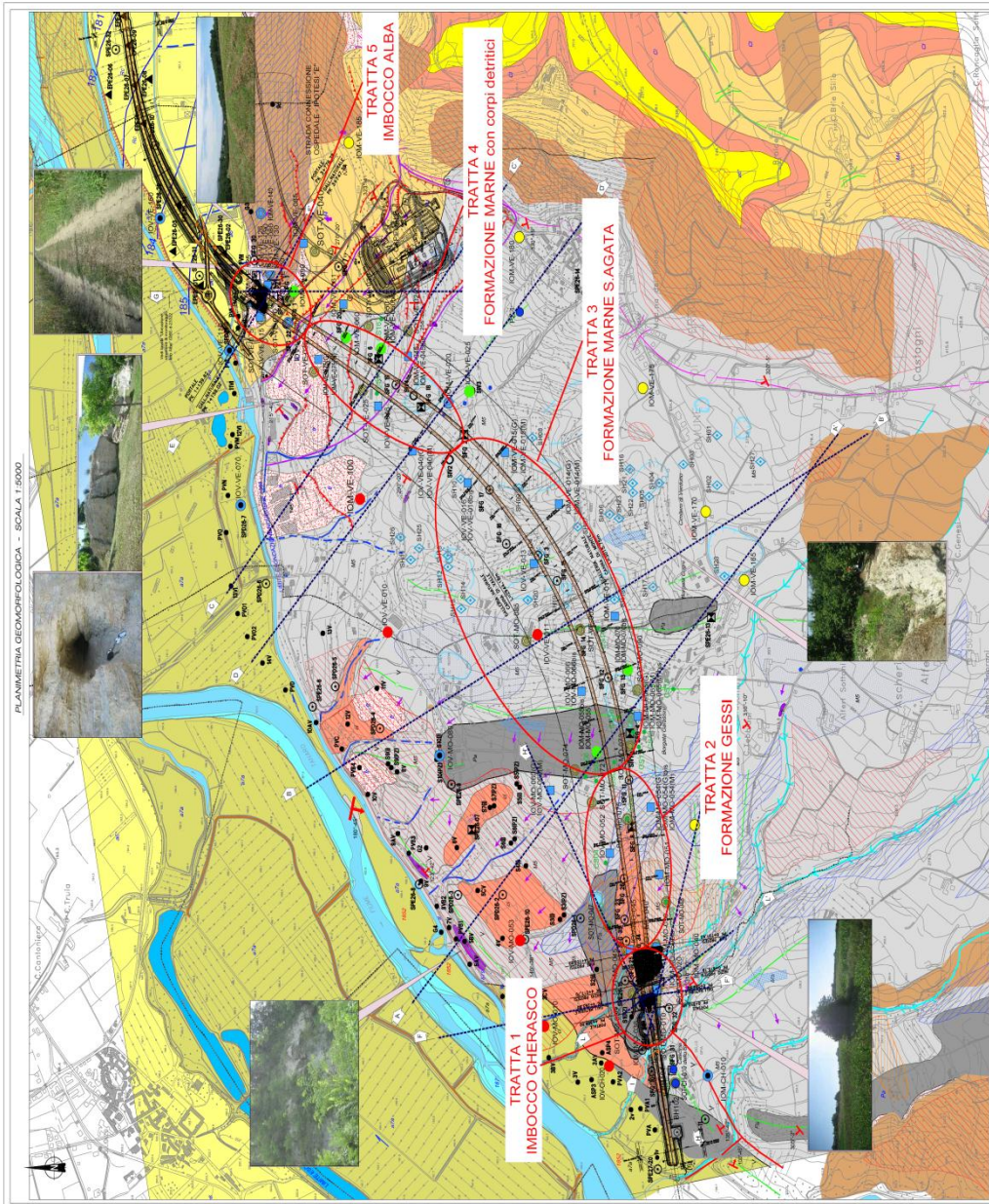
<b>Tratta 1</b> Imbocco Cherasco	<b>Tratta 2</b> Formazione Gessi	<b>Tratta 3</b> Formazione Marne "Santa Agata"	<b>Tratta 4</b> Formazione Marne/Corpi detritici	<b>Tratta 5</b> Imbocco Alba
--	--	--	--	------------------------------------

**CANNA DI VALLE - TRATTE OMOGENEE**



<b>Tratta 1</b> Imbocco Cherasco	<b>Tratta 2</b> Formazione Gessi	<b>Tratta 3</b> Formazione Mame "Santa Agata"	<b>Tratta 4</b> Formazione Mame/Corpi detritici	<b>Tratta 5</b> Imbocco Alba
--	--	---	---	------------------------------------

INQUADRAMENTO PLANIMETRICO



### 10.1. ZONA 1 - ZONA DELL'IMBOCCO LATO CHERASCO

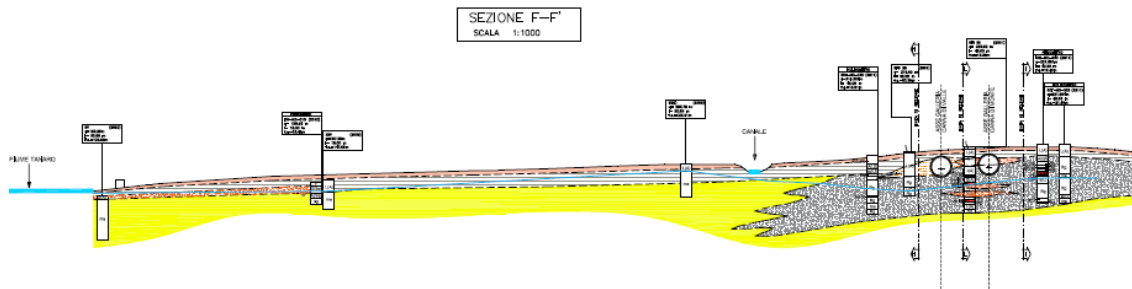
La zona in esame si estende da Progr. 0+559.9 a progr. 0+730.88 in canna di monte e da Progr. 4+263.60 a progr. 4+103.60 in canna di valle ed interessa la zona dell'imbocco lato Cherasco. Si tratta di un versante estremamente blando a rappresentare la presenza di terreni di scadenti caratteristiche geotecniche. Il modello geologico è ben rappresentato dalla sezione interpretativa FF', eseguita in corrispondenza dell'imbocco in naturale della galleria.

In essa si osserva che le due carreggiate si trovano all'interno dei depositi detritici di copertura, costituita da argilla limosa, argilla sabbiosa, argilla limosa con sabbia e presenza di lenti granulari a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente (Unità 4 e 5); parte degli scavi interesseranno la roccia gessifera poggiate sul substrato marnoso. In questo settore le Marne di Sant'Agata Fossili mostrano la presenza di lenti di terreno granulare, costituite da ghiaie e sabbie.

I terreni che caratterizzano il versante possono essere così schematizzati dall'alto verso il basso (Figura 10.1):

- Presenza di spessori ridotti di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-4 m,
- Presenza, a valle delle due carreggiate, di spessori variabili da 15 a 20 m circa di depositi limosi prevalenti costituiti da limi sabbiosi fini localmente argillosi (Unità 4 e 5),
- Formazione dei gessi (6) e substrato marnoso (7).





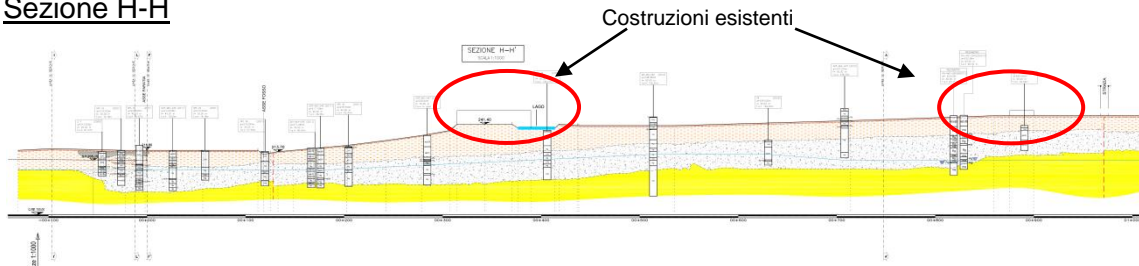
*Figura 10.1 – Sezione F-F' (Imbocco Cherasco)*

La quota di falda si colloca al di sotto del piano di lavoro per la realizzazione delle opere, anche se non si possono escludere temporanee risalite fino a 8-10 m da piano campagna a seguito di eventi meteorici particolarmente intensi. Ulteriori sezioni rappresentative del modello geologico sono le sezioni H-H', I-I' ed L-L', tracciate a partire dall'imbocco verso le principali linee di pendenza dei versanti a monte delle opere; la ricostruzione stratigrafica è riportata in Figura 10.2, la posizione planimetrica in Figura 10.3. Sulle sezioni si evidenziano alcune preesistenze che dovranno essere prese in considerazione nell'esame di interazione con le lavorazioni per lo scavo della galleria.

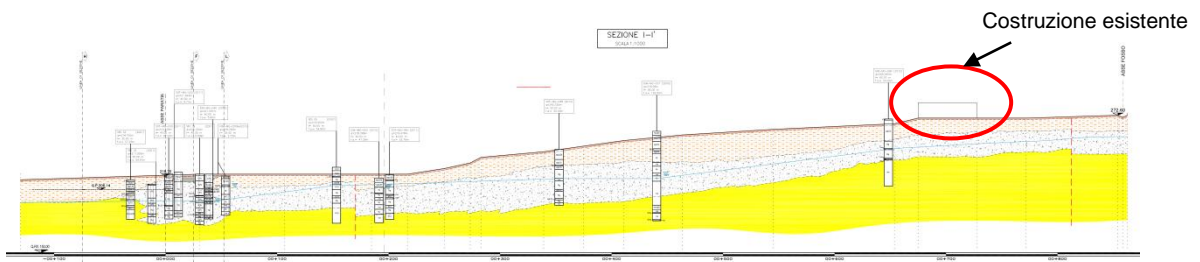
Le ricostruzioni geologiche eseguite rilevano le seguenti criticità:

- La presenza di depositi di copertura con propensione al dissesto, così come già evidenziato per l'imbocco lato Alba, pur non avendo riscontrato, in campagna, chiare evidenze di scarpate di frana o di nicchie di distacco.
- L'interferenza delle opere in costruzione con la formazione dei gessi, con le problematiche, più volte richiamate, legate alla presenza di cavità, ai fenomeni di dissoluzione ed alla circolazione dell'acquifero in esso contenuto.

Sezione H-H



Sezione I-I



Sezione L-L

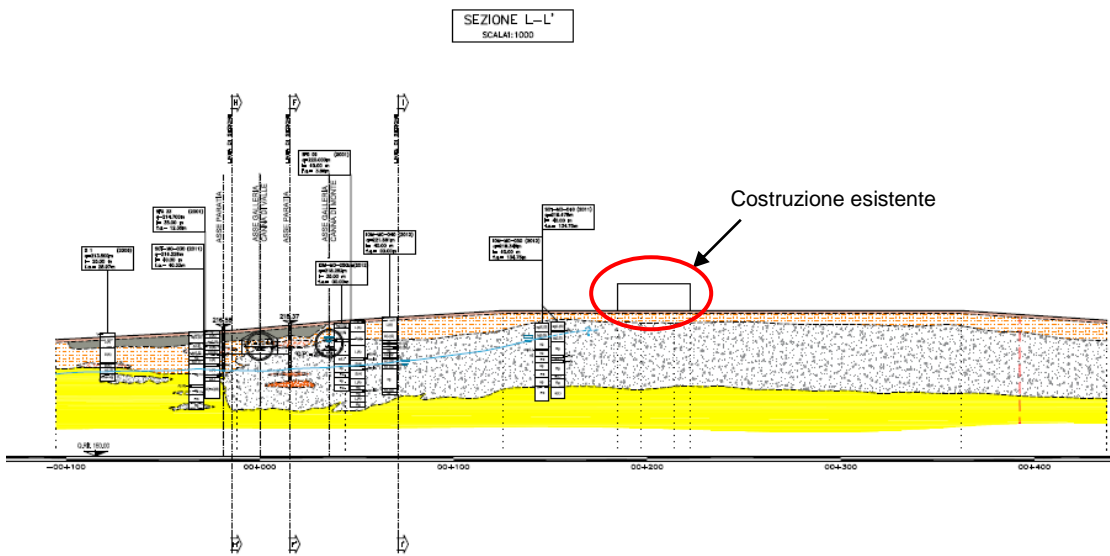
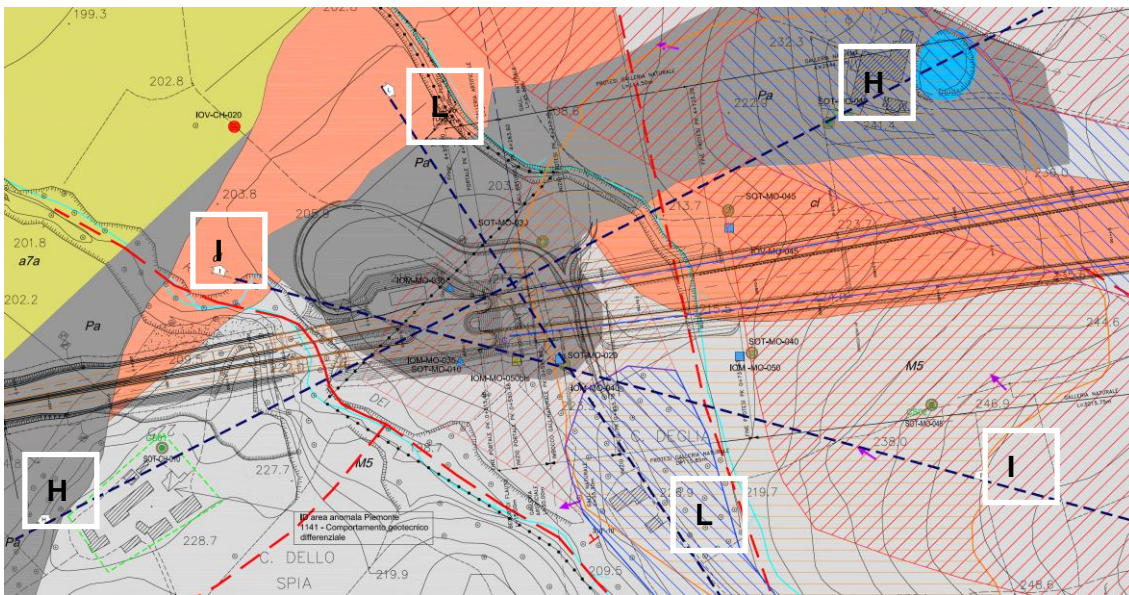


Figura 10.2 – Sezioni H-H', I-I' ed L-L' (Imbocco Cherasco)



*Figura 10.3 – Inquadramento planimetrico (Imbocco Cherasco)*

## **10.2. ZONA 2 - ZONA DI GALLERIA INTERESSATA DALL'ATTRAVERSAMENTO DELLA ZONA DEI GESSI**

Questo settore è compreso tra Progr. 0+730.88 e progr. 1+137.88 in canna di monte e tra Progr. 4+103.60 e progr. 3+569.02 in canna di valle. Esso rappresenta una delle zone più critiche lungo il tracciato della galleria vedendo l'interferenza del cavo con la formazione dei gessi e con l'acquifero in esso presente.

Il modello geologico viene rappresentato dalle sezioni litologico-stratigrafiche FF' ed HH', oltre che dal profilo in asse galleria. Lungo i profili longitudinali in asse alle due canne si osserva che lo scavo della galleria si sviluppa parte all'interno della roccia gessifera appartenente alla Formazione Gessoso-Solfifera (unità 6), parte all'interno dei depositi pliocenici (Unità 5), parte all'interno dei depositi detritici costituiti da limi sabbiosi fini, localmente argillosi inglobanti ghiaie e ciottoli (Unità 4), (Figure 10.4, 10.5 e 10.6).

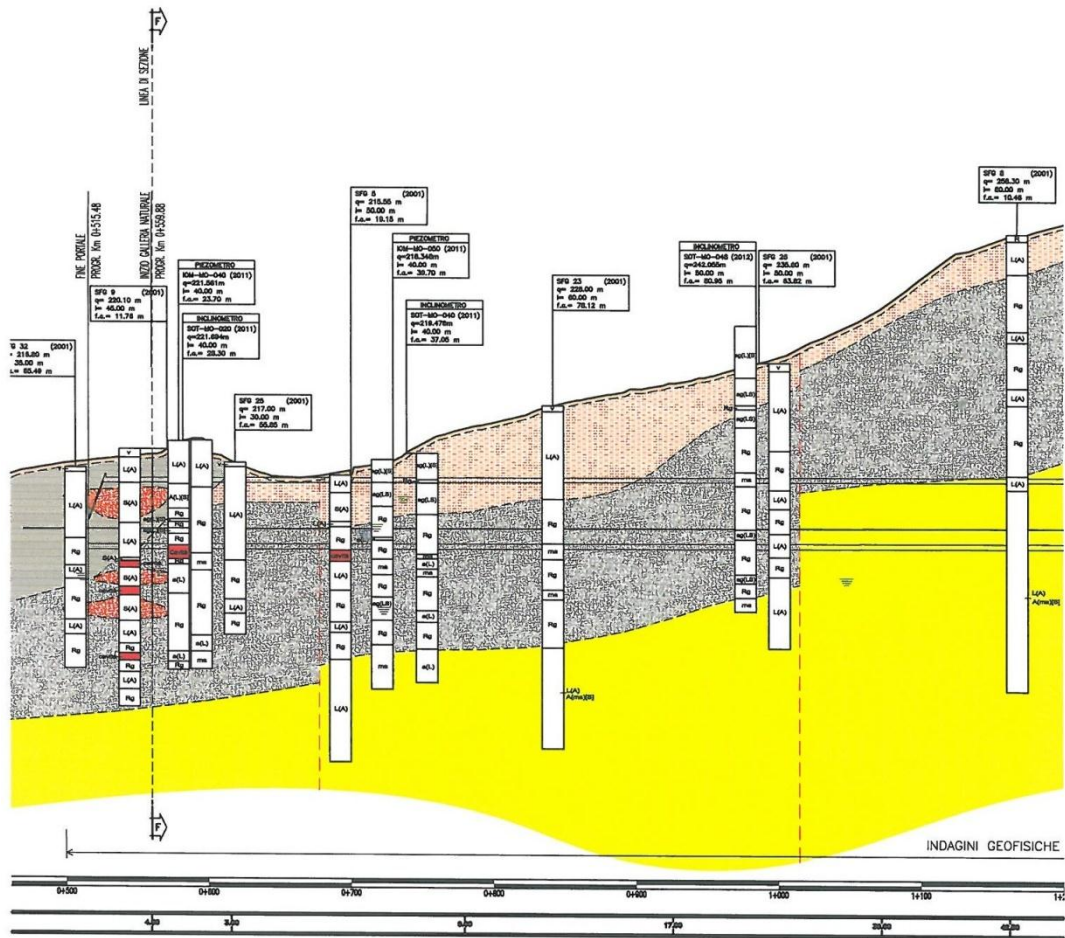
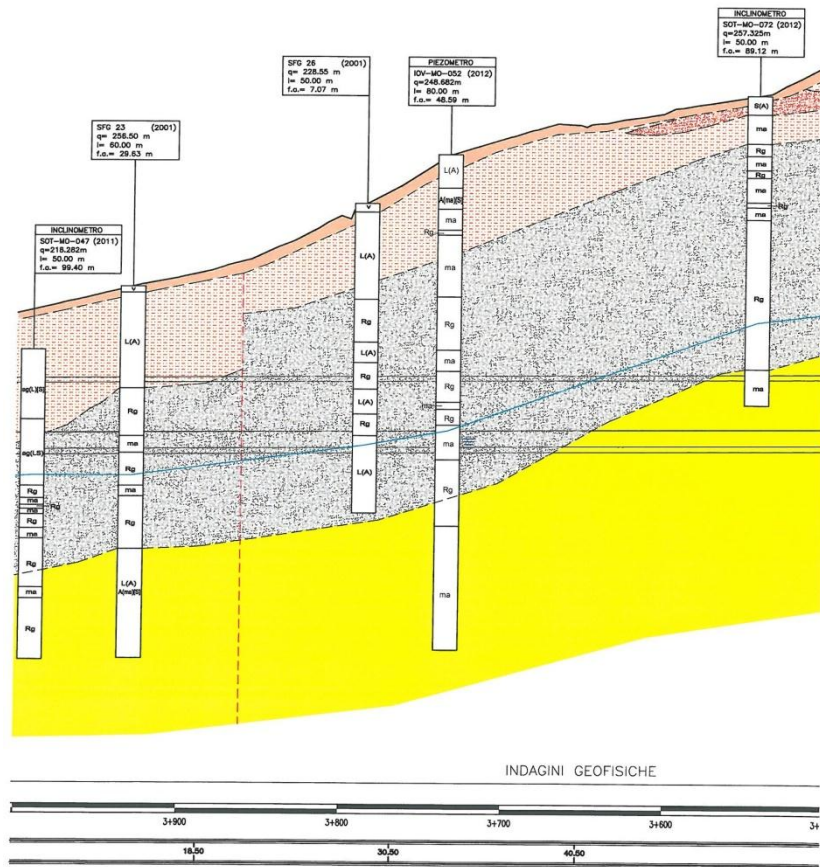
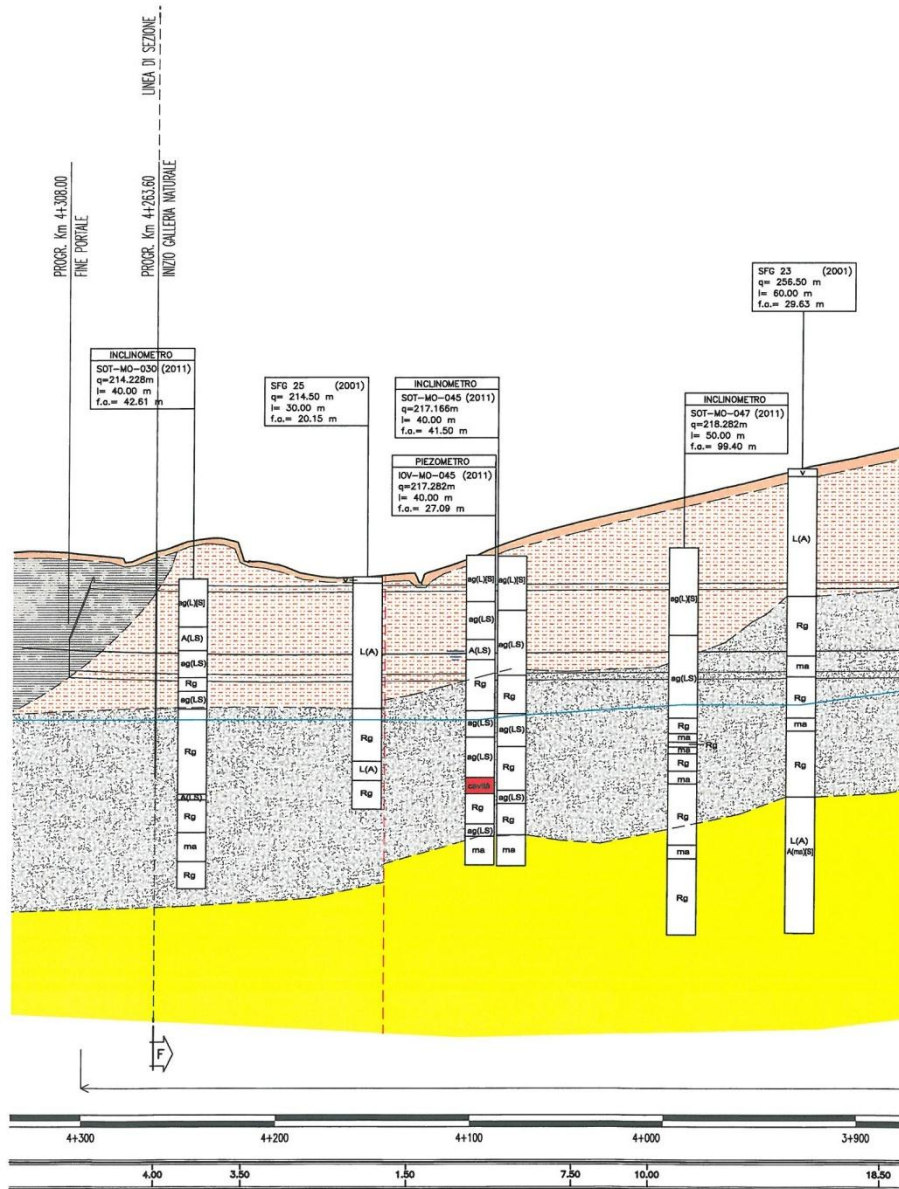


Figura 10.4 – Profilo canna di monte



*Figura 10.5 – Profilo canna di valle (1/2)*



*Figura 10.6 – Profilo canna di valle (2/2)*

La quota di falda si colloca, in questa zona, da pochi metri sopra la calotta fino a 4-5 m sotto il piano di scavo della galleria; al di là dei battenti piezometrici, particolarmente delicata è la circolazione idraulica all'interno dell'ammasso, sulla quale sono stati condotti specifici approfondimenti contenuti in dettaglio nella "Relazione idrogeologica".

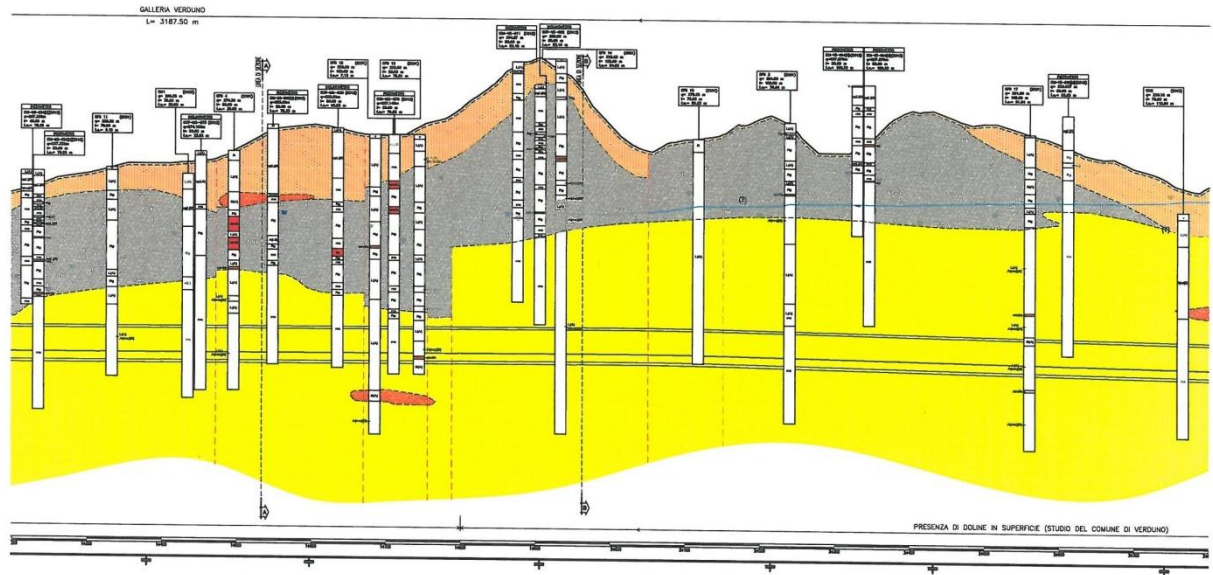
Le ricostruzioni geologiche eseguite rilevano le seguenti criticità:

- Presenza di un ammasso gessoso, spesso non compatto bensì brecciato, con cavità dell'ordine metrico, non localizzabili a priori, rilevate sia dai sondaggi che dalle indagini geofisiche.
- Ammasso gessoso, che può presentarsi o sotto forma di gesso cristallino o di sedimenti sciolti, in parte già soggetti a fenomeni di dissoluzione. L'ammasso può altresì presentarsi sotto forma di gesso brecciato o di una roccia gessifera caratterizzata da microcavità. Ne consegue una notevole variabilità litologica che si ripercuote sulle caratteristiche meccaniche.
- Circolazione di acqua all'interno della formazione e interferenza con le attività di scavo.
- Fenomeni di dissoluzione con la conseguente formazione di acque aggressive per la presenza di solfati.

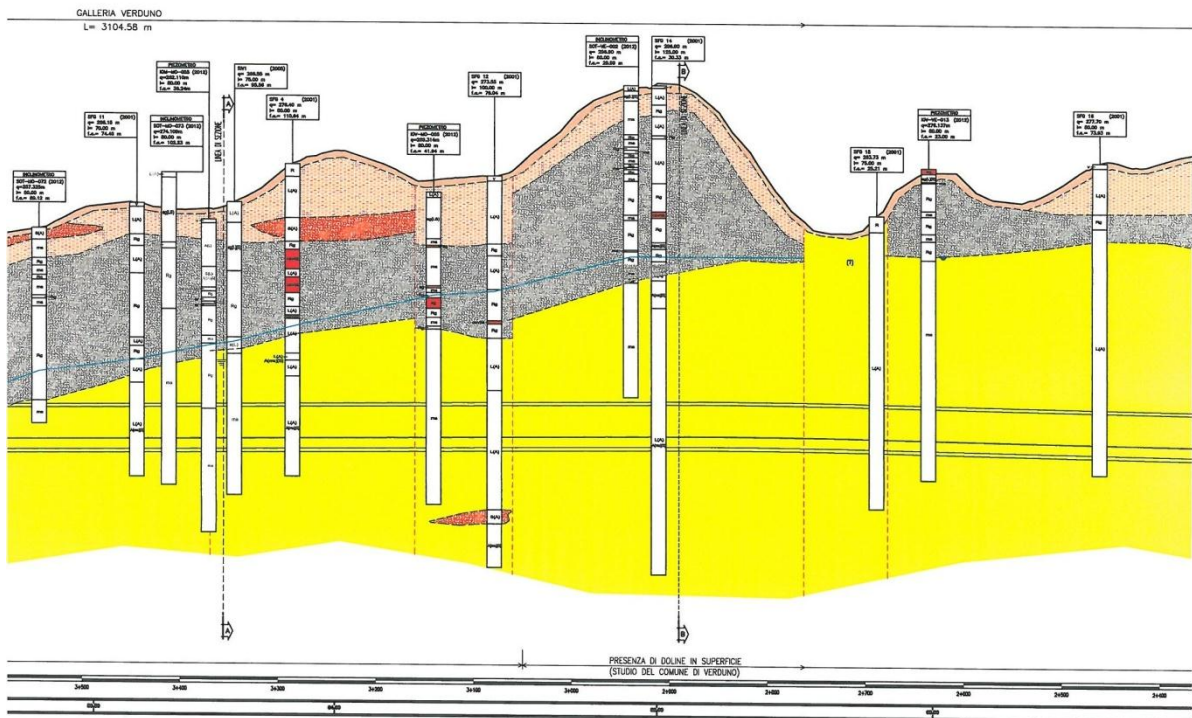
### **10.3. ZONA 3 - ZONA DI GALLERIA ALL'INTERNO DEL SUBSTRATO MARNOSO-ARGILLOSO**

Questo settore è compreso tra Progr. 1+137.88 e progr. 2+923.88 in canna di monte e tra Progr. 3+569.02 e progr. 2+361.02 in canna di valle, con lunghezze rispettivamente pari a 1786 m e 1208 circa rispettivamente in canna di monte e di valle. Il modello geologico è rappresentato dalle sezioni stratigrafiche AA' e BB', oltre che dai profili in asse alle due canne. Di seguito si riportano le descrizioni di dettaglio.

Lungo i profili longitudinali in asse alle due canne si osserva che lo scavo della galleria si sviluppa interamente all'interno del substrato marnoso appartenente alla Formazione delle Marne di Sant' Agata Fossili, con coperture significative, variabili da 60 a 90 m circa (Figure 10.7 e 10.8).



*Figura 10.7 – Profilo canna di monte*



*Figura 10.8 – Profilo canna di valle*



La sezione interpretativa AA' rileva che le due carreggiate sono entrambe all'interno del substrato marnoso (Marne di Sant' Agata Fossili, Unità 7); i terreni che caratterizzano il versante possono essere così schematizzati dall'alto verso il basso (Figura 10.9):

- Presenza di spessori ridotti di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-3 m.
- Presenza di spessori variabili da 15 a 30 m circa di depositi di copertura costituiti da argilla limosa, argilla siltosa grigio azzurra, argilla sabbiosa, attribuibili all'Unità 5 (depositi pliocenici).
- Presenza di spessori variabili da 10 a 30 m circa di roccia gessifera appartenente alla formazione Gessoso-solfifera (Unità 6).
- Substrato marnoso (Unità 7).

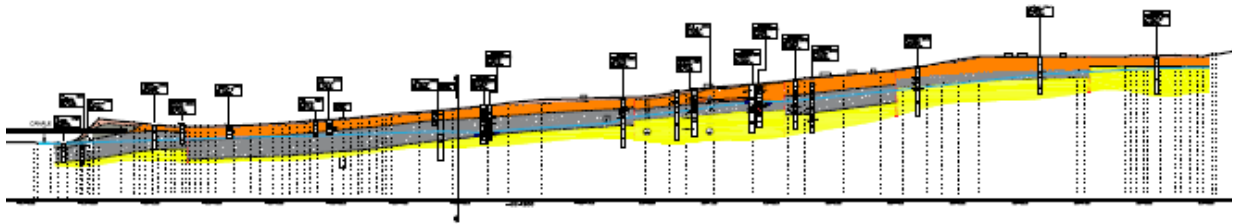


Figura 10.9 – Sezione A-A'

Considerazioni analoghe valgono per la sezione B-B'; anche in questo caso la galleria si intestano nella formazione di base delle Marne di Sant'Agata Fossili (Unità 7); i terreni che caratterizzano il versante possono essere così schematizzati, dall'alto verso il basso (Figura 10.10):

- Presenza di spessori ridotti di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-4 m di spessore,
- Presenza di spessori variabili da 6-8 m circa di depositi di copertura costituiti da argilla limosa, argilla siltosa grigio azzurra, argilla sabbiosa, attribuibili all'Unità 5 (depositi pliocenici),
- Presenza di spessori variabili da 30 a 40 m circa di roccia gessifera appartenente alla Formazione Gessoso-solfifera (unità 6),
- Subtrato marnoso (7).

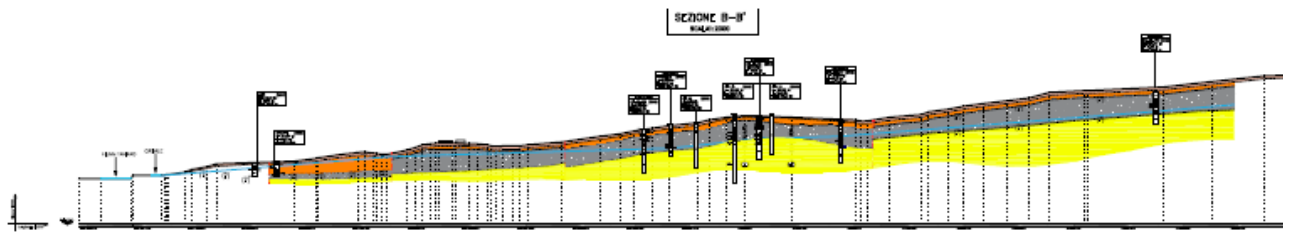


Figura 10.10 – Sezione B-B'

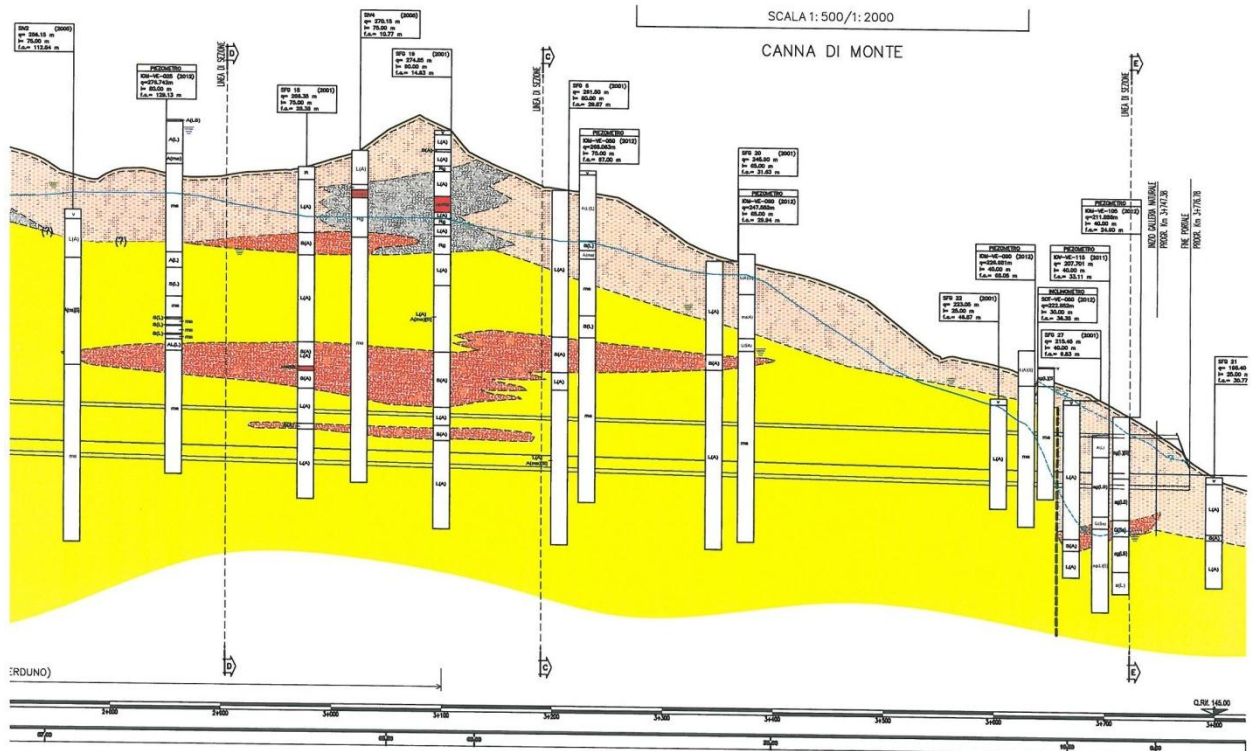
La quota di falda si colloca poco sopra il contatto tra il substrato marnoso e la formazione dei gessi, con battenti quindi pari a 40-50 m. Lo scavo avviene interamente all'interno del substrato marnoso-argilloso sotto coperture significative. Si evidenzia però che verso il termine della zona, lato Cherasco, lo spessore del substrato marnoso che ricopre la calotta si riduce progressivamente, fino a 5-10 m. In questa tratta terminale dovrà essere posta particolare attenzione ai cedimenti in calotta, onde evitare che si instaurino richiami verso lo spessore della soprastante formazione gessosa.

#### **10.4. ZONA 4 - ZONA DI GALLERIA CON CORPI DETRITICI (GHIAIOSO-SABBIOSI) ALL'INTERNO DEL SUBSTRATO MARNOSO-ARGILLOSO**

Questa zona è compresa tra Progr. 2+923.88 e progr.3+657.38 in canna di monte) e tra Progr. 2+361.02 e progr. 1+346.84 in canna di valle, per un'estensione di circa 733.5 m in canna di monte e 1014 m in canna di valle. In questo settore sono presenti alcune zone ove non si hanno, localmente, corpi detritici per entrambe le canne. Spesso questi si ritrovano solo in una delle due canne, specie in quella di valle dove si sono riscontrati corpi di minori dimensioni, ma più diffusi.

Il modello geologico di riferimento viene rappresentato dai profili longitudinali, in asse alle due canne, e dalle sezioni trasversali lungo il versante CC' e DD'. Lungo i profili longitudinali in asse alle due canne si osserva la presenza, a quota scavo, o poco sopra la calotta, di lenti ghiaioso-sabbiose (Unità 7a), all'interno del substrato marnoso appartenente alla formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili (Unità 7); le geometrie di questi corpi detritici sono state definite in base alle nuove indagini (Figure 10.11e 10.12). All'interno di questi

corpi detritici si rileva la presenza di acqua, talora in pressione, con valori tra 2 e 6 bar. I battenti, in questa zona di galleria, sono pari a 30-40 m.



*Figura 10.11 – Profilo canna di monte*

La sezione trasversale CC' evidenzia come le due carreggiate siano entrambe all'interno del substrato marnoso (Marne di Sant'Agata Fossili, Unità 7), con la presenza di lenti di terreno granulare costituite da ghiaie e sabbie; i ricoprimenti sono variabili da 30 a 60 m. I terreni lungo il versante possono essere schematizzati, dall'alto verso il basso, come illustrato nella Figura 10.13:

- Presenza di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-4 m di spessore.
- Presenza, nella parte finale del versante, a valle delle due carreggiate ed a monte, di spessori variabili da 6 a 25 m circa di depositi limosi prevalenti, costituiti da limi sabbiosi fini localmente argillosi (Unità 4).
- Presenza, nella parte centrale del versante, in corrispondenza delle due carreggiate, di spessori variabili da 15 a 30 m circa di depositi di

copertura costituiti da argilla limosa, argilla siltosa grigio azzurra, argilla sabbiosa, attribuibili all'Unità 5 (depositi pliocenici).

- Presenza, nella parte alta del versante e, localmente, in corrispondenza della canna di valle, di spessori variabili da 15 a 35 m circa di roccia gessifera appartenente alla Formazione Gessoso-Solfifera (Unità 6).
- Substrato marnoso (Unità 7), con all'interno i corpi detritici sabbio-ghiaiosi (Unità 7a).

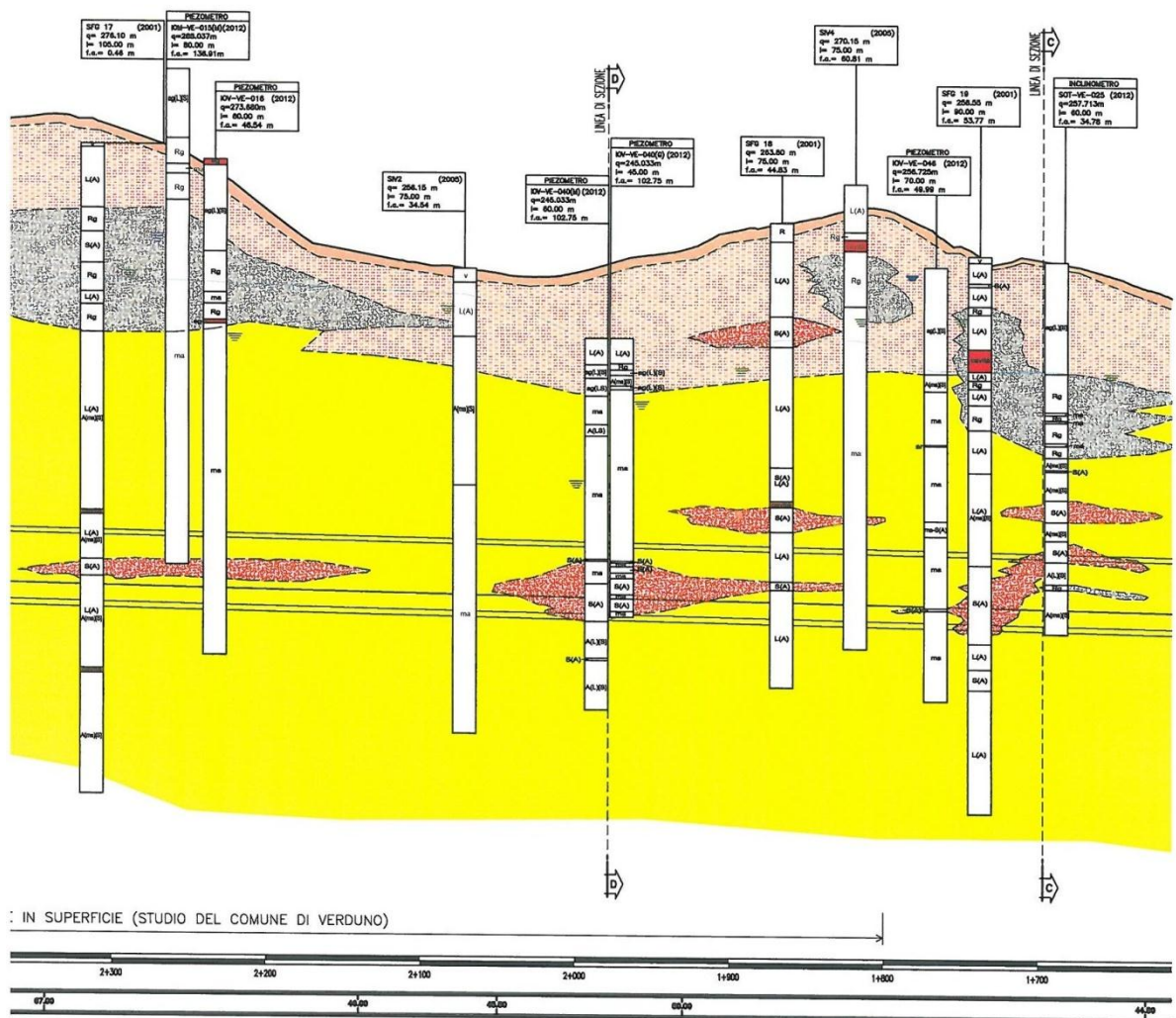
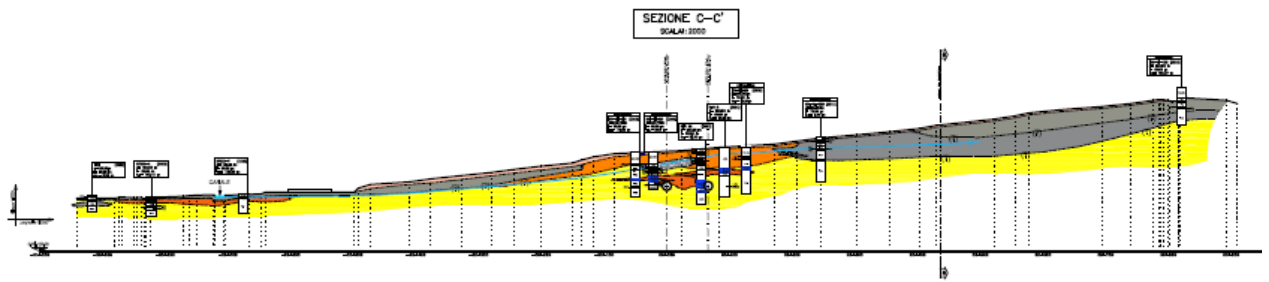


Figura 10.12 – Profilo canna di valle



*Figura 10.13\_ Sezione C-C'*

Una situazione molto simile è rappresentata anche dalla sezione DD'; i terreni che caratterizzano il versante possono essere schematizzati, dall'alto verso il basso, come illustrato nella Figura 10.14:

- Presenza di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-4 m di spessore.
- Presenza, nella parte finale del versante, a valle delle due carreggiate e nella parte a monte, di spessori variabili da 4 a 15 m circa di depositi limosi prevalenti con limi sabbiosi fini localmente argillosi (Unità 4).
- Presenza, nella parte centrale del versante, di spessori variabili da 15 a 20 m circa di depositi di copertura costituiti da argilla limosa, argilla siltosa grigio azzurra, argilla sabbiosa, attribuibili all'Unità 5 (depositi pliocenici).
- Presenza, nella parte alta del versante, di spessori variabili da 15 a 20 m circa di roccia gessifera appartenente alla Formazione Gessoso-Solfifera (Unità 6).
- Presenza, nella parte bassa del versante, a valle delle due carreggiate, di depositi di copertura costituiti da ghiaie e sabbie.
- Substrato marnoso (Unità 7), con all'interno i corpi detritici sabbio-ghiaiosi (Unità 7a).

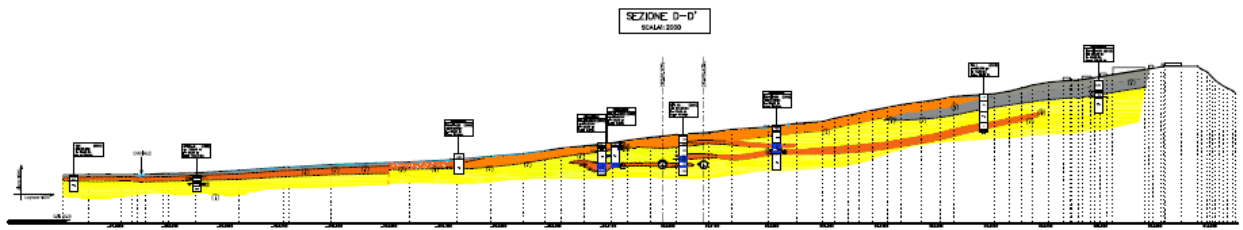
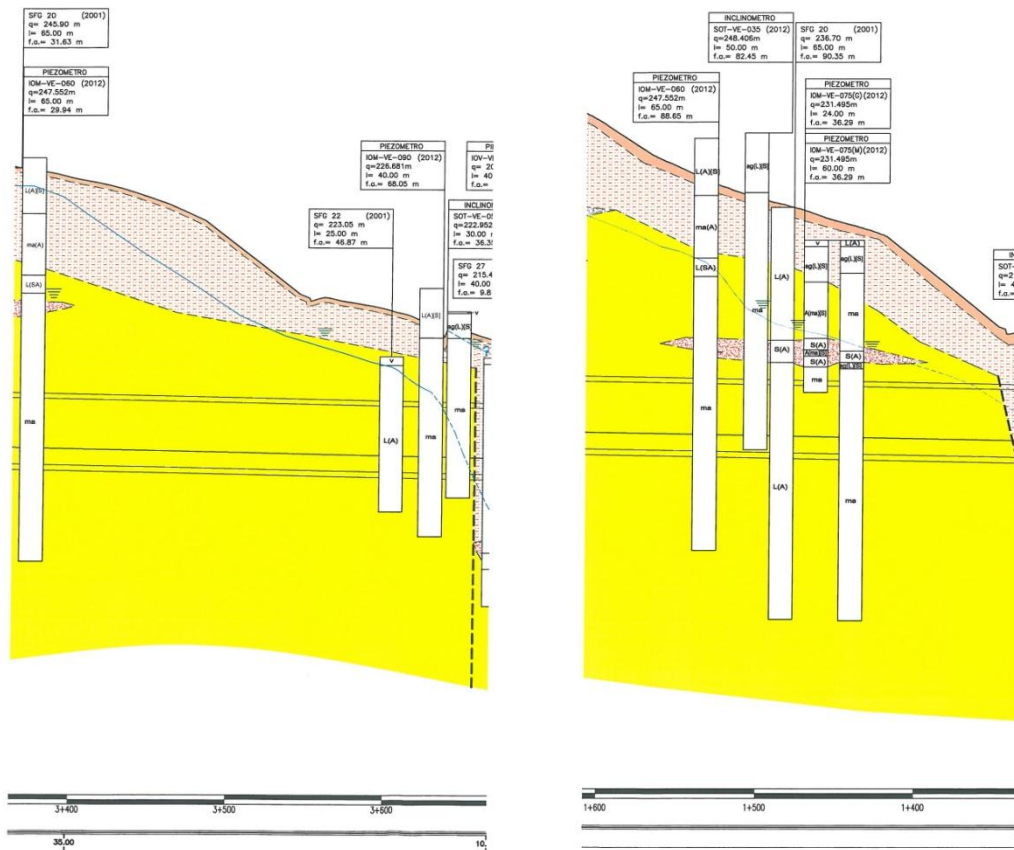


Figura 10.14 – Sezione D-D'

Il modello geologico evidenzia le seguenti criticità:

- la presenza di corpi detritici saturi con acqua in pressione, all'interno del substrato marnoso – argilloso a bassa permeabilità, a quota galleria o comunque nell'interno del cavo;
- a monte del versante la presenza diffusa di ammasso gessoso, spesso in blocchi disarticolati lungo il versante, all'interno del quale sono state osservate le numerose doline rilevate dal censimento del Comune di Verduno.

In Figura 10.15 si riportano le ricostruzioni stratigrafiche in corrispondenza delle zone di imbocco lato Alba, nel tratto subito a seguire la zona 5 interessata dai depositi di versante. Si può notare come in canna sud sia presente una lente di sabbie già in corrispondenza della zona di imbocco.



*Figura 10.15 – Profili in zona di imbocco*

### 10.5. ZONA 5 – IMBOCCO LATO ALBA

Questa ultima zona si trova coinvolta nella realizzazione delle opere di imbocco della galleria, e dal punto di vista geologico ricade in un settore di versante ampiamente indagato sia dagli studi eseguiti per la progettazione esecutiva sia dagli studi eseguiti per la realizzazione del nuovo Ospedale Alba-Bra e della relativa strada di accesso, opere che insistono sul medesimo versante, circa 600 m a monte dell'imbocco della galleria. La lunghezza della zona è pari a 90 m per la canna di monte (progr. 3+747.38) e pari a circa 160 m per la canna di valle (progr. 1+159.02).

Per la ricostruzione dell'area sono state utilizzate le stratigrafie dei sondaggi, le indagini geofisiche e gli studi pregressi eseguiti (progetto del costruendo ospedale e della strada di accesso all'ospedale). Il modello geologico è nel



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

dettaglio rappresentato da una serie di sezioni, due lungo i profili litologico–stratigrafici delle due canne della galleria, una (sezione EE') trasversale all'imbocco ed infine una (sezione GG') disposta lungo la massima pendenza del versante. Lungo i profili longitudinali in asse alle due canne si osserva la presenza di una copertura detritica, costituita da argilla limosa, argilla sabbiosa, argilla limosa con sabbia e presenza di lenti granulari a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente, attribuibili a coltri di frana (unità 4), per uno spessore di circa 20-35 metri, poggiante sul substrato marnoso della formazione delle Marne di S. Agata Fossili (Unità 7) (Figura 10.16 e 10.17)



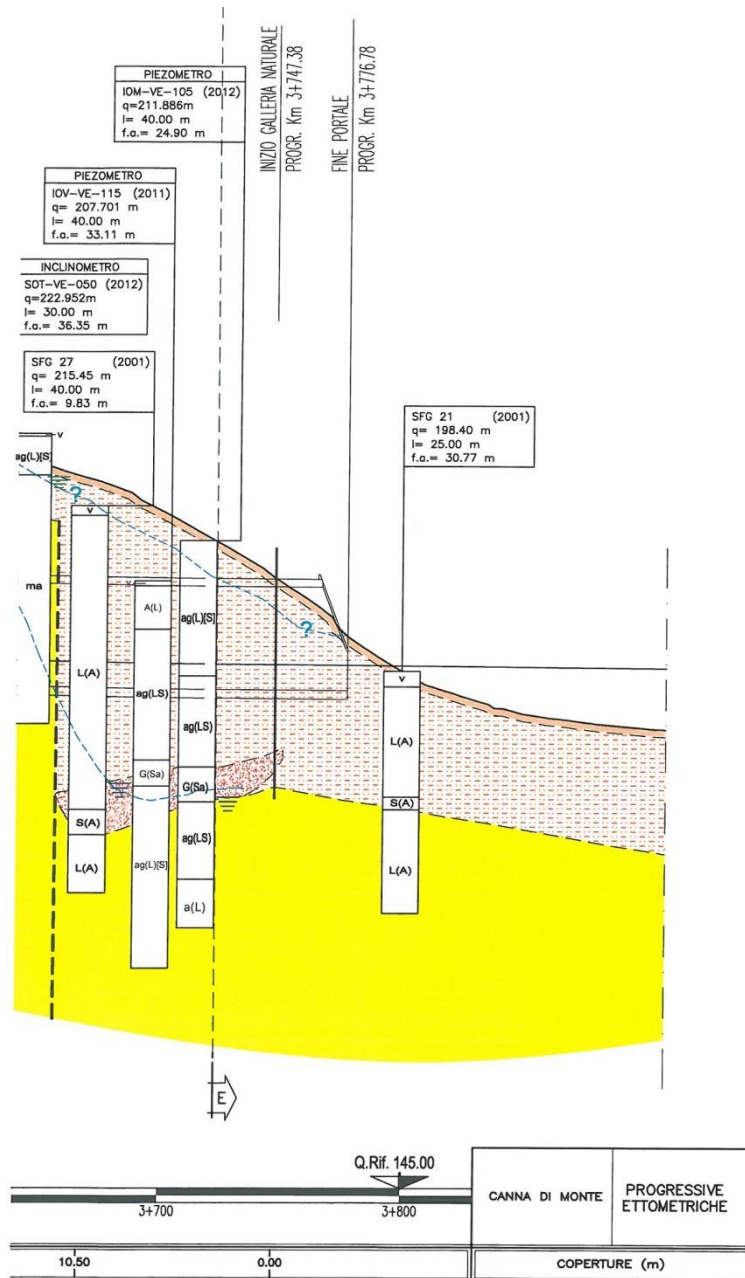
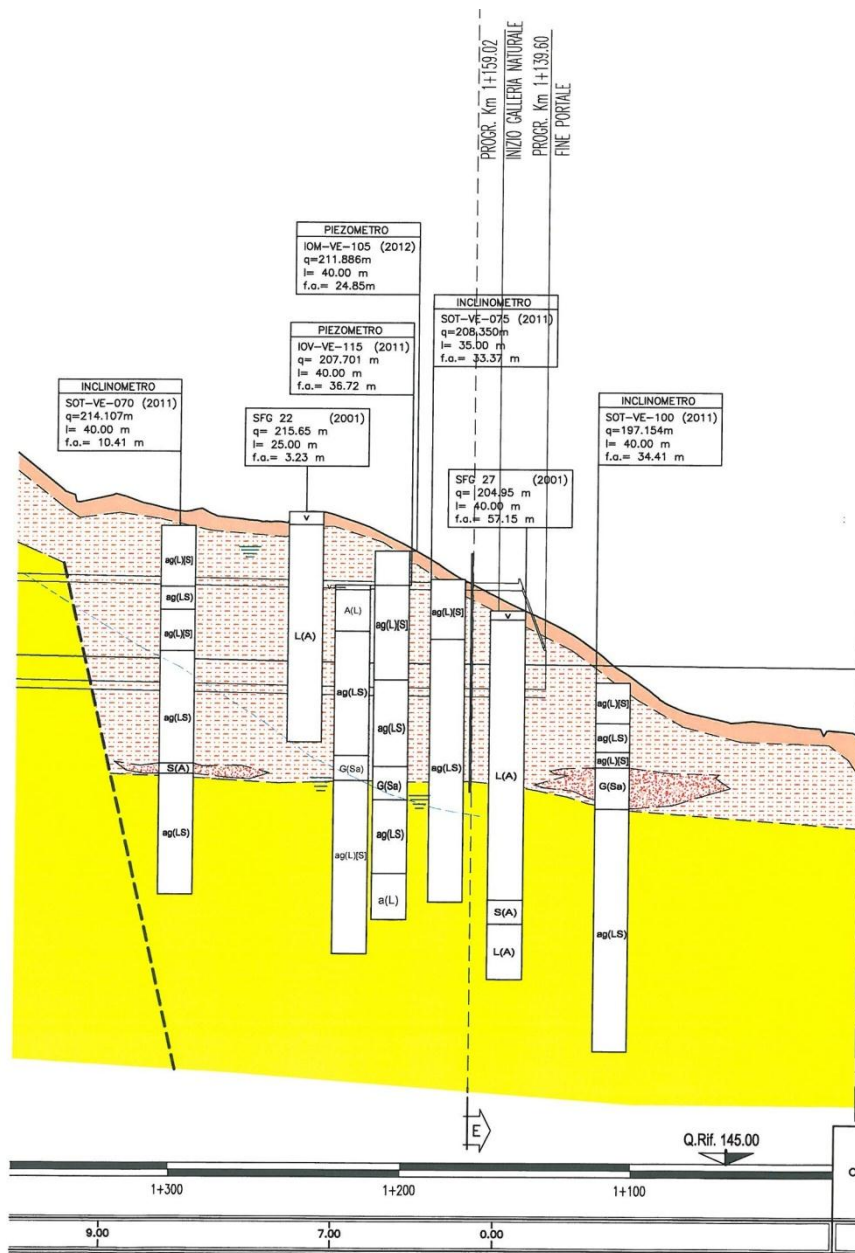


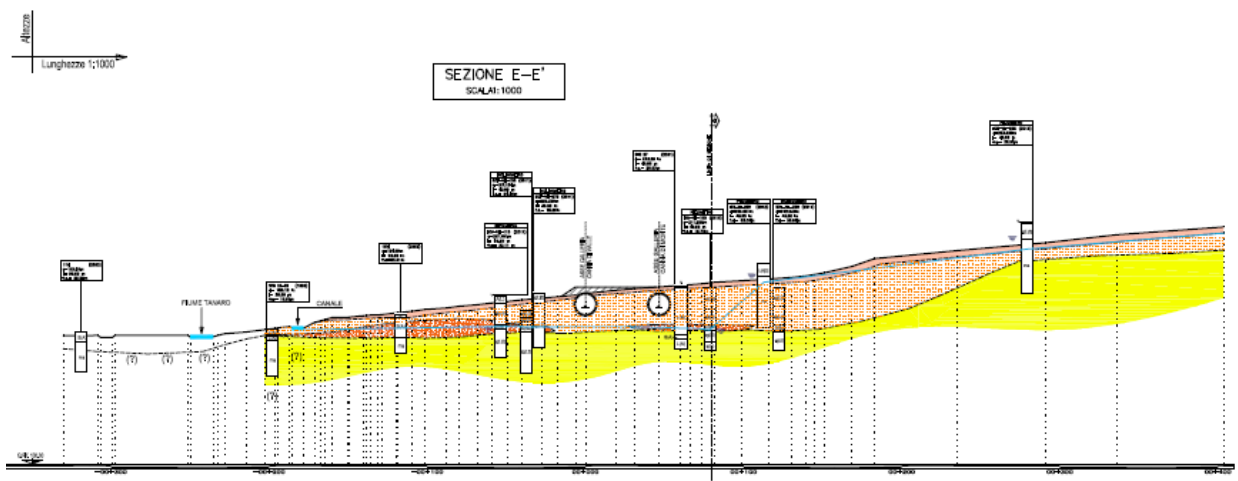
Figura 10.16 – Profilo canna di monte



*Figura 10.17 – Profilo canna di valle*

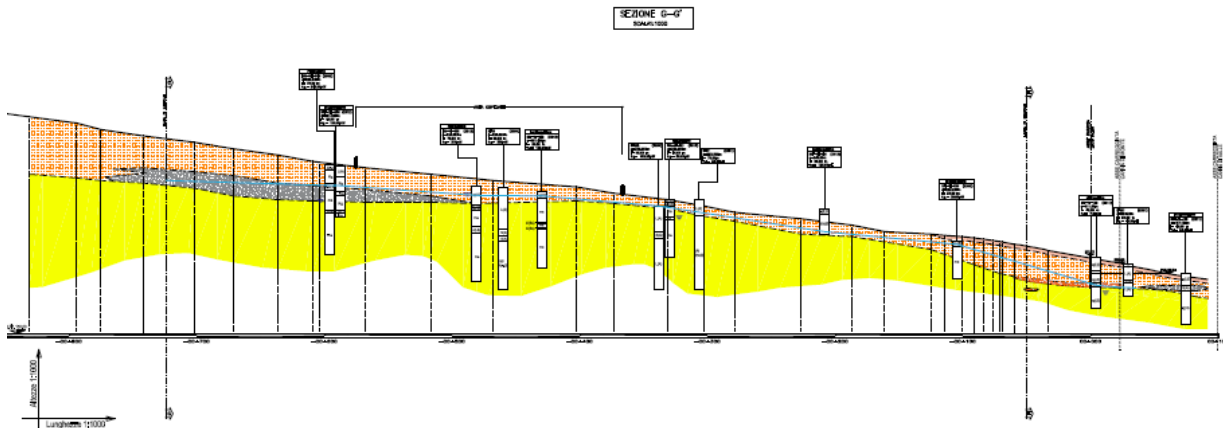
La sezione EE', trasversale all'imbocco, rileva che le due carreggiate si trovano all'interno dei depositi detritici di copertura, costituita da argilla limosa, argilla sabbiosa, argilla limosa con sabbia (attribuibili all'Unità 4), e presenza di lenti granulari a componente ghiaioso-sabbiosa prevalente, poggianti sul substrato marnoso (Marne di Sant'Agata Fossili; i terreni che caratterizzano il versante possono nel dettaglio essere così schematizzati, dall'alto verso il basso (cfr. fig. 10.18):

- Presenza di spessori ridotti di terreno di riporto e/o vegetale di circa 2-4 metri,
- Presenza lungo il versante, di spessori variabili da circa 4 a 15 metri circa di depositi limosi prevalenti costituiti da limi sabbiosi fini localmente argillosi,
- Presenza nella parte centrale del versante, di spessori variabili da circa 15 a 60 metri circa di depositi di copertura costituiti da argilla limosa, argilla siltosa grigio azzurra, argilla sabbiosa, attribuibili alle unità 4 e 5 (coltri di frana depositi pliocenici),
- Presenza nella parte bassa del versante, a valle delle due carreggiate, di depositi di copertura costituiti da ghiaie e sabbie,
- Quindi il substrato marnoso (Unità 7).



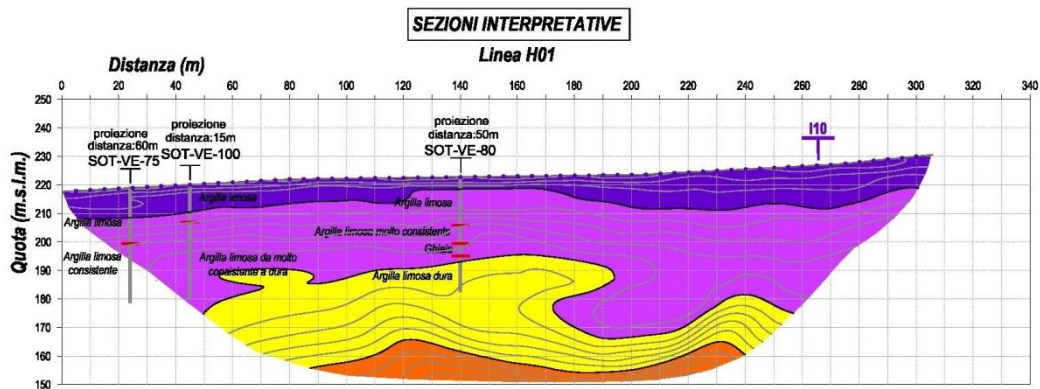
*Figura 10.18 – Sezione E-E'*

Anche lungo la sezione interpretativa GG' si ha la medesima sequenza stratigrafica, anche se il substrato marnoso risale, rispetto alle sezioni più prossime alla galleria, fino ad essere a circa 8-10 m da piano campagna; infatti è stato interessato dagli scavi per la costruzione del Nuovo Ospedale; si evidenzia inoltre la presenza di una lente di roccia gessifera nella parte alta del versante, di spessori variabili da 5 a 30 metri circa (cfr. fig. 10.19).



*Figura 10.19 – Sezione G-G'*

Anche le indagini geofisiche, come mostrato nell'elaborato di dettaglio "Sezioni geologiche lato Asti" (documento D.2.1.20), indicano la presenza di importanti accumuli di terreno argillo-limoso, come riportato in Figura 10.20. La quota di falda si colloca a notevole profondità dal piano campagna (circa 20 m dalla superficie), ma non si possono escludere risalite a seguito di importanti eventi meteorici, fino a 8-10 m da piano campagna.



*Figura 10.20 – Sezione G-G'*

Per questa zona di galleria la principale criticità rilevata risulta quindi l'assetto geomorfologico, in considerazione della presenza di depositi di frana che interessano il pendio per 70-80 m a monte dall'inizio della galleria naturale. Questi fenomeni di dissesto vengono censiti, con geometrie del tutto simili a



quelle riportate nella carta geomorfologica di progetto (cfr. fig. 10.21), sia nell'inventario IFFI-ARPA, come scivolamento rotazionale-traslattivo, sia come frana quiescente, nel censimento PAI aggiornato.

Va inoltre segnalata che in questo settore il substrato marnoso risulta interessato da discontinuità con inclinazione prossima alla superficie topografica, e può quindi essere interessato da fenomeni di scivolamento verso il fondovalle.

Tale condizione si è verificata in particolare durante i lavori per la costruzione del Nuovo Ospedale, la cui area è interessata da una serie di trincee con segni evidenti di instabilità diffuse, verificatisi a seguito delle prime fasi di costruzione dell'ospedale stesso. Gli scavi hanno infatti interessato direttamente il substrato marnoso, che, in questo settore corticale, ha appunto mostrato alterazioni diffuse e la presenza di piani di scorrimento traslativi localizzati entro i giunti di strato al contatto tra livelli di marna e livelli di sabbia, sabbia-limoso. Durante i lavori si sono riscontrati movimenti significativi nel versante, che hanno portato a rivedere le modalità di esecuzione degli scavi e le opere di stabilizzazioni. Quest'area non è ad oggi segnalata in letteratura come area soggetta ad instabilità, anche se sono evidenti scarpate e nicchie di distacco.



*Figura 10.21 – Planimetria inquadramento Imbocco Alba*

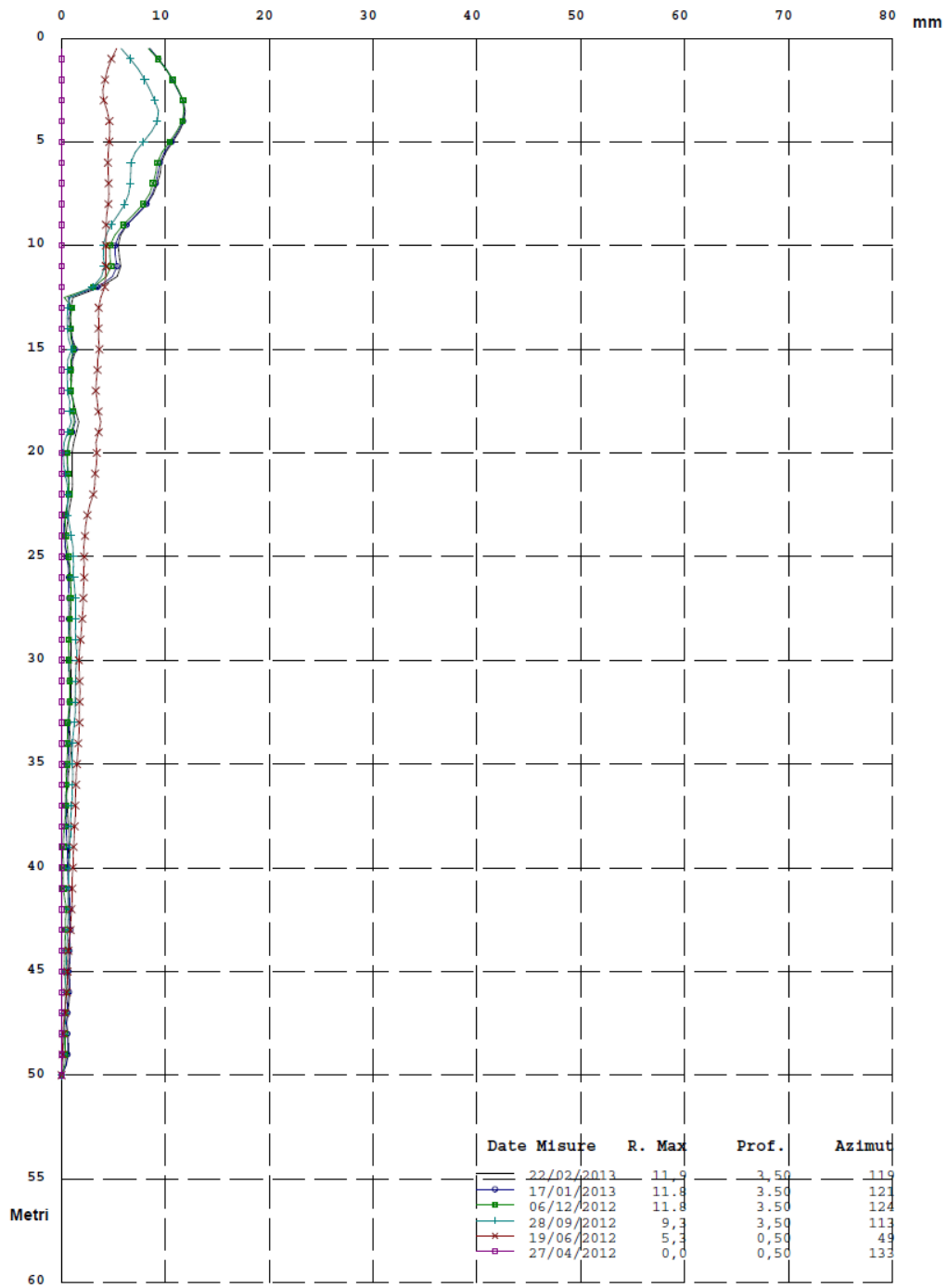
Il monitoraggio in atto nella zona di imbocco e nel versante retrostante, mediante inclinometri profondi, indica spostamenti prevalentemente superficiali, interessanti i primi 4-5 m da quota campagna, di entità millimetrica. Alcuni movimenti, sempre di entità millimetrica, sono presenti a profondità superiori ma devono essere oggetto di verifica nelle misure future, mostrando un'oscillazione dei dati che potrebbe anche essere ricondotta a tolleranze strumentali. Un movimento più importante è stato rilevato dall'inclinometro SOT-VE-035, all'interno del quale sono stati registrati movimenti pari a circa 12 mm a circa 13 metri di profondità.

RISULTANTE (Movimento per Sommatoria)

Zona : Galleria Verduno

Tubo: SV35

Id:



Elaborazione rispetto all'origine del 27/04/2012

Figura 10.22

## 11. MODELLO IDROGEOLOGICO

Le litologie presenti sulla collina Verduno sono state raggruppate in Complessi Idrogeologici, in funzione delle caratteristiche di permeabilità e del ruolo che esse rivestono nei confronti della circolazione sotterranea. Per una descrizione di dettaglio delle caratteristiche idrogeologiche di tali complessi si rimanda alla “Relazione Idrogeologica della Galleria di Verduno”. In sintesi, le caratteristiche dei complessi riconosciuti sono le seguenti:

<b>Complesso Idrogeologico</b>	<b>Sottocomplesso</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Unità Litologica corrispondente</b>
<b>Complesso 1</b>	<b>1a</b>	<i>Complesso a permeabilità primaria molto bassa per porosità, costituito da marne argillose siltose con sottili intercalazioni di sabbie e limi, riferibili alla Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili; complesso acquiclude basale.</i>	<b>Unità 7</b>
	<b>1b</b>	<i>Complesso a permeabilità primaria molto bassa, costituito da limi argillosi, argille marnose e limi sabbiosi riferibili alla Formazione Gessoso-Solfifera e da argille riferibili alla Formazione delle Argille di Lugagnano; complesso acquiclude di tetto della Collina di Verduno.</i>	<b>Unità 5</b>
<b>Complesso 2</b>	<b>2a</b>	<i>Complesso a permeabilità elevata o medio-elevata per fratturazione e carsismo diffuso e localizzato, costituito prevalentemente dai gessi della Formazione Gessoso-Solfifera.</i>	<b>Unità 6</b>
	<b>2b</b>	<i>Complesso a permeabilità medio-elevata per porosità, costituito dalle intercalazioni sabbiose e ghiaiose o sabbioso-limose sovente da pochi metri fino a diversi metri, presenti all'interno delle marne della Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili.</i>	<b>Unità 7a</b>
<b>Complesso 3</b>	<b>3a</b>	<i>Complesso a permeabilità variabile da bassa a medio-elevata per porosità costituito da terreni sciolti, quali limi argillosi, argille limose, limi sabbioso-fini, sabbie e locali ciottoli, derivanti dall'alterazione del substrato in posto e da accumuli di corpi di frana.</i>	<b>Unità 4/7b</b>
	<b>3b</b>	<i>Complesso a permeabilità medio-bassa costituito da argille limose derivanti da processi di dilavamento ad opera delle acque di scorrimento non incanalate.</i>	<b>Depositi colluviali</b>
<b>Complesso 4</b>	-	<i>Complesso a permeabilità medio-elevata per porosità, costituito da ghiaie, ciottoli, sabbie e limi, riferibili ai depositi alluvionali di fondovalle del Tanaro.</i>	<b>Unità 3</b>



I depositi comprendenti i terreni di riporto e i terreni agricoli non sono stati distinti in complessi in quanto non hanno un ruolo idrogeologico paragonabile a quello degli altri complessi per estensione e profondità. Essi influenzano circolazioni idriche epidermiche di scarsa rilevanza in rapporto ai sistemi di circolazione più profondi.

In generale, la circolazione idrica sotterranea è localizzata nei seguenti acquiferi:

- Acquifero dei gessi (*Complesso Idrogeologico 2a*);
- Acquifero delle intercalazioni ghiaioso-sabbiose presenti all'interno delle marne (*Complesso Idrogeologico 2b*);
- Acquifero dei depositi colluviali e di frana (*Complesso Idrogeologico 3a e 3b*);
- Acquifero dei depositi alluvionali del Tanaro (*Complesso Idrogeologico 4*).

L'acquifero dei depositi alluvionali del Tanaro è ubicato nel settore di fondovalle, mentre gli altri acquiferi sono impostati sul versante collinare di Verduno. Tra gli acquiferi del settore collinare, quello ospitato nei gessi rappresenta l'acquifero principale, per estensione e volumetria dei flussi coinvolti.

I Complessi 1a e 1b a medio-bassa permeabilità rappresentano i complessi affioranti e sub-affioranti prevalenti, mentre l'affioramento dell'acquifero dei gessi (Complesso 2a) è limitato a settori poco estesi. Nonostante il Complesso 1a sia caratterizzabile come un complesso impermeabile, ad Est del settore in progetto le marne del substrato sono state interessate da fenomeni di fratturazione ed alterazione tali da determinare un aumento significativo delle permeabilità. In questo caso non è quindi corretto considerare che le marne si comportino indefinitamente come un substrato impermeabile, mentre in realtà esse probabilmente assumono il ruolo di locali acquitardi o acquiferi; le porzioni più permeabili di questo complesso non sono state comunque distinte per il fatto che non è possibile una loro chiara delimitazione spaziale.

## 11.1. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEGLI ACQUIFERI

### 11.1.1. Assetto idrogeologico dell'acquifero dei gessi

Il complesso dei gessi (Complesso 2a) rappresenta l'acquifero principale del versante collinare compreso tra Verduno e La Morra. Alla scala del versante, l'acquifero ha un'immersione media a franapoggio verso Nord-Ovest, con bassi angoli di inclinazione. La circolazione idrica è principalmente impostata in corrispondenza delle porzioni interessate da carsismo e/o da fratturazione che caratterizzano diffusamente i corpi gessosi litoidi e gli orizzonti con maggior frequenza di intercalazioni gessose. La permeabilità è estremamente variabile, da bassa (a causa della bassa porosità primaria) nelle porzioni intatte dei gessi, fino a molto elevata nelle porzioni intensamente carsificate o fratturate. La base dell'acquifero è rappresentata dalle marne di Sant'Agata (Complesso 1a), mentre il tetto è costituito in parte dai limi argillosi, limi sabbiosi e argille marnose messiniane della Formazione Gessoso-Solfifera, in parte dalle argille plioceniche marnose e siltose grigio-azzurre della Formazione delle Argille di Lugagnano (Complesso 1b). I gessi affiorano in superficie in maniera sporadica, mentre in profondità sono estesi con continuità nella porzione centro-occidentale del settore di progetto.

Tale acquifero è caratterizzato da grande variabilità laterale imputabile sia ai processi di natura tettonica che hanno deformato la successione stratigrafica, sia ai fenomeni di natura gravitativa che hanno interessato diverse porzioni del versante. Mentre nel settore centro-occidentale di progetto i gessi sono ubiquitariamente presenti, nella parte intermedia del settore orientale della collina essi sono stati riscontrati solo in blocchi isolati, traslati e deformati nei livelli a minore permeabilità del Complesso 2b. Nella parte bassa del settore orientale i gessi scompaiono del tutto in corrispondenza dell'imbocco lato Alba.

La presenza di un carsismo diffuso alla scala del versante è riconoscibile sulla base di evidenze morfologiche, stratigrafiche e sulla base delle indagini geofisiche. I vari studi mostrano come in superficie il grado di carsismo sia



piuttosto avanzato, con forme carsiche con caratteristiche che variano da uno stadio evolutivo iniziale o intermedio con presenza di doline, fino ad uno maturo con inghiottitoi ben sviluppati. Oltre alle doline ed agli inghiottitoi che sono diffusi lungo il versante, sono anche presenti solchi carsici connessi a valle con inghiottitoi e depressioni che si attivano in occasione degli eventi piovosi. Le zone d'infiltrazione preferenziale delle acque meteoriche alimentanti il sistema idrogeologico dei gessi corrispondono ai settori in cui i gessi affiorano direttamente in superficie oppure alle zone meno acclivi o debolmente concave nelle quali, nel corso di eventi meteorici prolungati, le acque si concentrano e ristagnano percolando in profondità. In particolare, le forme epicarsiche più evolute, quali specialmente gli inghiottitoi, rappresentano gli elementi idraulici preferenziali attraverso cui avviene l'alimentazione del sistema di circolazione profondo da parte delle acque superficiali.

Per quanto riguarda la ricostruzione piezometrica, sono stati messi a punto due possibili scenari, il primo considerando i soli dati relativi al Monitoraggio Ambientale (2011-2013), il secondo combinando i dati del Monitoraggio Ambientale con i dati relativi alla campagna 2001-2002, i quali non sono più nelle condizioni di fornire dati piezometrici affidabili. Entrambe le scelte, come in dettaglio discusso nella relazione idrogeologica, hanno dei pro e dei contro: il vantaggio derivante dall'integrazione dei dati piezometrici relativi alle serie 2001-2002 e 2011-2013 è quello di poter ottenere una ricostruzione piezometrica basata su numero di campioni più elevato e con una maggiore distribuzione areale. L'estrapolazione basata sui soli valori derivanti dai piezometri del Monitoraggio Ambientale implica infatti la correlazione tra un numero inferiore di dati e quindi il ricorso ad un maggior grado di libertà nella ricostruzione della superficie piezometrica, pur presentando il vantaggio di considerare dati coevi e quindi non soggetti a differenti condizioni di alimentazione/drenaggio.

Considerando i soli dati piezometrici della Monitoraggio ambientale (2011-2013) la superficie piezometrica presenta un andamento circa monoclinale con direzione media verso NW-SE; in questa rappresentazione non emergano né

spartiacque, né assi di drenaggio idrogeologici. Considerando anche i dati 2001-2002, si determina invece la presenza di un'insenatura molto pronunciata della piezometria in corrispondenza del tracciato della canna di valle della futura Galleria di Verduno, fino a 4-5 m più bassa di quella rappresentata considerando i soli dati 2011-2013. Gli approfondimenti progettuali, volti ad individuare le criticità connesse alla realizzazione delle nuove opere, sono stati condotti con riferimento ad entrambi gli scenari, anche se l'insieme dei dati geologici-idrogeologici raccolti – stratigrafie, cavità rilevate ... - fanno preferire l'inserimento nel modello idrogeologico di un asse di drenaggio compatibile con i dati rilevati nel periodo 2001-2002 nella zona prossima alla canna sud, dove non sono attualmente disponibili nuove informazioni piezometriche.

Dalla ricostruzione della distribuzione piezometrica nell'acquifero dei gessi, a grande scala, emerge che:

- la falda è caratterizzata da una continuità spaziale che è tipica degli acquiferi porosi, senza eterogeneità che facciano supporre che l'acquifero sia frammentato in diversi sistemi di circolazione tra loro idraulicamente indipendenti (es. condotti carsici separati). Al contrario, la ricostruzione piezometrica è indicativa di un sistema acquifero interconnesso in cui, tuttavia, la presenza di condotti parzialmente o completamente indipendenti è possibile a scala locale;
- dalla morfologia della superficie piezometrica sono osservabili elementi riconducibili alla presenza di assi di drenaggio e di spartiacque idrogeologici. Due principali assi di drenaggio sono ubicati nel settore Ovest, in prossimità dell'imbocco della galleria lato Cherasco, uno maggiore e direzione ca. Est-Ovest ed uno minore a direzione ca. Nord-Sud. L'asse E-W è molto accentuato e rappresenta l'elemento idrogeologico principale di questo settore, in corrispondenza del quale il gradiente idraulico diminuisce di quasi un ordine di grandezza rispetto ai settori adiacenti. Da un confronto dei dati piezometrici, stratigrafici e dalle

indagini geofisiche è possibile escludere che tale variazione di gradiente sia imputabile ad una faglia con comportamento idraulico compartimentante, mentre l'ipotesi più realistica è che l'asse drenante Est-Ovest sia connesso alla presenza di una zona maggiormente conduttiva costituita da un reticolato di condotti microcarsici o carsici e/o da zone di fratturazione.

Dal monitoraggio piezometrico effettuato è stato osservato che la falda è soggetta ad oscillazioni annuali variabili da 1-2 m fino ad un massimo di 12 m. Dall'analisi delle misure complessive realizzate per il Monitoraggio Ambientale si può concludere che le oscillazioni maggiori di livello avvengono nel settore dell'imbocco Lato Cherasco, mentre nel resto dell'area le oscillazioni sono di minore entità, con valori di incremento o diminuzione del livello dell'ordine di 1-2 m rispetto al valore medio.

#### **11.1.2. Assetto idrogeologico dell'acquifero delle intercalazioni ghiaioso-sabbiose**

Questo acquifero (Complesso 2b) è costituito da sabbie e ghiaie e da sabbie limose con rare ghiaie intercalate nelle marne del substrato di S. Agata (generalmente nella parte alta della successione stratigrafica). Tali intercalazioni formano lenti di potenza da metrica a decametrica, con uno sviluppo areale presunto variabile da pochi metri fino a un centinaio di metri. I sondaggi di prospezione mettono in luce l'estrema variabilità d'estensione laterale delle lenti di materiale detritico, il che pone una difficoltà nella loro precisa ricostruzione spaziale. Tuttavia, sulla base dei sondaggi realizzati più di recente (cfr. Pz 1) pare realistico che tale orizzonte si estenda anche a monte in direzione dell'abitato di Verduno. Tuttavia, quel che appare evidente è che tali lenti compaiono esclusivamente nel settore centro-orientale dell'area di progetto, a profondità comprese tra 10 e 30 m dal piano campagna, mentre non ve ne è evidenza nel settore centro-occidentale. Nell'insieme l'assetto



giacitura segue la disposizione complessiva della morfologia collinare, immergendo debolmente verso N-NO.

I corpi detritici ospitano una falda idrica di tipo confinato: livelli di falda in pressione sono stati rilevati in tutto il settore compreso tra il Mulino di Verduno e Roddi. Le quote piezometriche raggiungono livelli anche superiori a quello della falda libera superficiale, disponendosi fino ad un massimo di 1-3 m al di sotto del piano campagna.

L'alimentazione della falda potrebbe avvenire attraverso il recapito diretto delle acque meteoriche nelle porzioni sub-affioranti di tale acquifero, peraltro poco note e presumibilmente localizzate nella parte alta del versante, nel settore del concentrico di Verduno. In alternativa questi acquiferi potrebbero ricevere acque circolanti lungo zone maggiormente fratturate o alterate, e quindi relativamente più permeabili, del substrato marnoso in cui si trovano imballate.

### **11.1.3. Assetto idrogeologico dell'acquifero dei depositi di frana e colluviali**

I depositi di frana (Complesso 3a) e i depositi colluviali (Complesso 3b) costituiscono acquiferi di estensione relativamente limitata e distribuiti eterogeneamente sul versante del settore di progetto. Per quanto riguarda i depositi di frana, i principali tra questi sono stati cartografati in corrispondenza del settore Est del versante, in prossimità dell'imbocco lato Alba.

Nel settore centro-occidentale sono presenti coltri di depositi colluviali con spessori variabili da pochi metri fino a una decina di metri. Tali coltri ospitano circolazioni idriche pellicolari di rilevanza solo locale e di modesta entità, anche a causa della permeabilità medio-bassa che le caratterizza. Nel settore orientale del versante (zona dell'Ospedale e dell'imbocco lato Alba) affiora con continuità una coltre di depositi detritico-colluviali, misti ad accumuli di frana, costituiti in prevalenza da terreni limoso-argillosi con intercalazioni a granulometria maggiore e frammenti di marne alterate. In questo settore i depositi colluviali in parte costituiscono il prodotto dell'alterazione in posto del

substrato marnoso ed in parte rappresentano il prodotto del rimaneggiamento operato dalle acque di scorrimento superficiale.

Sebbene via sia una sostanziale difficoltà di delimitare con chiarezza la superficie inferiore degli accumuli di frana, sembra in ogni caso probabile che nel settore del nuovo ospedale di Alba-Bra, e quindi nella zona dell'imbocco lato Alba, sia presente un acquifero che, oltre ai complessi 3a e 3b coinvolge anche parte del substrato marnoso. Infatti, sebbene le marne (complesso 1a) non costituiscano un acquifero, tale formazione in questo settore è interessata da uno stato di fratturazione anomalo, più intenso del normale e pertanto possiede una permeabilità relativamente elevata.

Peraltro è anche importante notare che le marne fratturate riconducibili a questo acquifero superficiale rappresentano un elemento potenziale di connessione idraulica tra circuiti posti in posizione stratigrafica diversa. Ad esempio, è possibile che in questo acquifero, attraverso la fascia di fratturazione nelle marne, avvengano lateralmente degli scambi con l'acquifero nelle intercalazioni detritiche profonde (complesso 2b), con l'acquifero dei gessi soprastante tali intercalazioni, che nel settore ovest tende a chiudersi. E' comunque possibile escludere che la circolazione idrica ospitata nei depositi di frana sia interamente veicolata in profondità attraverso le marne fratturate ed eventualmente anche verso le intercalazioni detritiche sottiacenti. Infatti, a monte dell'imbocco lato Alba della galleria sono presenti numerose sorgenti che ricevono un'alimentazione diretta dai depositi di frana e colluviali.

## **11.2. CIRCOLAZIONE NELL'ACQUIFERO ALLUVIONALE DEL F. TANARO**

Nel settore di fondovalle i depositi alluvionali limoso-sabbiosi e ghiaiosi del Tanaro (Complesso 4), a permeabilità medio-elevata, ospitano un sistema di circolazione a falda libera. Il limite inferiore dell'acquifero è rappresentato dalla superficie sommitale delle successioni argilloso marnose del substrato (Formazione Gessoso-Solfifera e Marne di S. Agata), il cui assetto deriva dagli intensi processi erosivi conseguenti alla diversione del corso del Tanaro. Il tetto



del substrato si presenta modellato in una serie di ripiani, posti a quote decrescenti procedendo verso gli alvei attuali, e ricoperti completamente dalla successione alluvionale. Questa configurazione individua una serie di falde di modesto spessore (10 m al massimo), sviluppate soprattutto in sponda sinistra dove il fondovalle (e la successione ghiaioso-sabbiosa recente) risulta maggiormente estesa.

In sponda destra, al contrario, il maggiore sviluppo dei rilievi collinari si associa a più rilevanti apporti meteorici e ad un assetto morfologico-strutturale che consente una rilevante alimentazione del fondovalle, in particolare attraverso la valle laterale percorsa dal T. Talloria. Nel settore di fondovalle la circolazione idrica sotterranea si svolge nell'ambito dei depositi alluvionali recenti e medio-recenti. La falda superficiale, libera, è alimentata dai contributi provenienti dal margine del rilievo, dalle piccole sorgenti al piede della collina e, in misura minore, dalle perdite dei canali.

Le caratteristiche della falda freatica sono in questo caso strettamente connesse all'equilibrio che si instaura tra il Fiume Tanaro e le acque provenienti dagli acquiferi profondi presenti in corrispondenza del versante collinare.

### **11.3. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA DEI SETTORI DI SCAVO**

La caratterizzazione idrogeologica di dettaglio è stata effettuata analizzando il tracciato in cinque principali tratte di attraversamento, corrispondenti a porzioni di ammasso con caratteristiche litologiche e geotecniche omogenee (cfr. suddivisione descritta nel Capitolo precedente):





**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6**  
**PROGETTO ESECUTIVO**  
**Galleria Verduno - Relazione geologica**

<b>Codice</b>	<b>Descrizione</b>
Settore 1	Imbocco lato Cuneo
Settore 2	Formazione gessi
Settore 3	Formazione marne
Settore 4	Intercalazioni di corpi detritici
Settore 5	Imbocco lato Alba

Lo scavo delle due canne della galleria attraverso i cinque settori sarà realizzato con metodo meccanizzato TBM-EPB. Tuttavia, relativamente ai settori 1 e 2 la realizzazione dei lavori riguarderà anche lo scavo di altre opere sotterranee, la cui interferenza rispetto all'acquifero dei gessi è stata valutata. Lo schema di esecuzione dei lavori previsti è il seguente:

- Fase I: scavo con metodologia tradizionale di un cunicolo centrale all'asse delle due canne principali nel tratto di acquifero dei gessi. Attraverso il cunicolo saranno eseguite una serie di indagini geognostiche in direzione delle due future canne e, qualora si verificano problemi durante l'avanzamento della TBM, saranno effettuati specifici interventi. Il cunicolo costituirà un elemento drenante all'interno dell'acquifero;
- Fase II: scavo meccanizzato delle due canne principali della Galleria di Verduno con tecnica TBM-EPB, la quale permetterà di scavare in materiali incoerenti effettuando un confinamento del fronte attraverso la pressurizzazione del materiale di scavo. L'impermeabilizzazione della galleria sarà garantita dalla messa in opera di conci prefabbricati di calcestruzzo giuntati attraverso guarnizioni a tenuta idraulica. In questa fase, il cunicolo centrale sarà ancora funzionante e mantenuto drenante, fino a che non si realizzano gli interventi di controllo della piezometrica realizzati in fase III;

- Fase III: realizzazione di un sistema drenaggio costituito da due by-pass connessi alla galleria da cui saranno lanciati fasci di tubi microfessurati in PVC, lievemente inclinati per facilitare il deflusso delle acque per gravità verso i by-pass stessi. Tale dispositivo funzionerà come un sistema di controllo per contrastare gli innalzamenti piezometrici. Sempre con tale obiettivo, nel settore interessato dai Gessi, è inoltre prevista la posa di drenaggi attraverso il rivestimento in conci prefabbricati.

Lo scavo della galleria nei settori 1 e 2 attraverso la tecnica TBM-EPB (Fase II) consente di ridurre i rischi connessi all'intersezione ed improvviso svuotamento di locali condotti carsici. Tale eventualità sarà comunque prevista e gestita in una fase precedente (Fase I) tramite opportune indagini e trattamenti che consentiranno di minimizzare gli effetti in galleria e in superficie. Inoltre, l'opportunità della realizzazione di un sistema di drenaggio (Fase III) emerge dal riscontro che questi due settori sono quelli in cui viene rilevata la massima oscillazione del livello di falda del versante collinare di Verduno. Pertanto, il sistema di drenaggio permetterà di controllare il livello piezometrico, operando come un sistema di smorzamento per i carichi idraulici che si producono nell'acquifero in corrispondenza di intense precipitazioni. Senza tale sistema, l'aumento dei carichi provocati dalle piogge, combinato con l'effetto di locale aumento dei carichi a monte della galleria, provocherebbe un'eccessiva risalita di livello che a lungo andare potrebbe innescare una dissoluzione progressiva nelle parti più superficiali dei gessi, con possibili fenomenologie tipo sink-holes.

Dal punto di vista idrogeologico, il settore 3 non presenta particolari criticità, ad esclusione delle prime decine di metri dal passaggio dall'acquifero dei gessi (verso Ovest) in cui è possibile che le marne risentano indirettamente delle fenomenologie carsiche che interessano l'acquifero dei gessi. La realizzazione dello scavo attraverso la tecnica TBM-EPB permette tuttavia di gestire tale eventualità senza problemi.



L'attraversamento del settore 4 comporta lo scavo di lenti di materiale ghiaioso-sabbioso e sabbioso-limoso intercalato nelle marne del substrato, con spessore variabile da 2 m a 20 m e fortemente eterogenee lateralmente. I corpi detritici ospitano falde in pressione con quote piezometriche anche superiori alla falda libera superficiale e con valori di carico compresi tra ca. 20 e 60 m dalla quota di progetto. Lo scavo di questo settore tramite TBM-EPB consente di evitare che si verifichi un rapido rilascio di forti quantitativi di acqua e di materiale fine in galleria, rivelandosi quindi una tecnica particolarmente idonea per l'attraversamento di questa formazione. Inoltre, il contrasto di pressione fornito sul fronte dalla fresa permette anche di ridurre i rischi in superficie di subsidenze connesse alla riduzione della pressione neutra dell'acquifero. La possibilità che invece l'impermeabilizzazione della galleria determini sul livello detritico un aumento delle pressioni neutre, che eventualmente potrebbe concorrere al potenziale innesco di fenomeni gravitativi, sarà tenuta sotto controllo attraverso il sistema di monitoraggio predisposto per questa fenomenologia di eventi. Qualora vi siano indicazioni di possibili aumenti di carico idraulico in galleria verrà predisposto un sistema puntuale di drenaggio con tubi microfessurati che consentirà di abbassare le pressioni neutre all'interno delle intercalazioni detritiche.

Nel settore 5 il sistema di circolazione principale è localizzato superficialmente nei terreni rimaneggiati per frana e nei depositi colluviali, oltre che nelle porzioni di substrato marnoso alterato e diffusamente fratturato. La galleria non intercetta più i corpi detritici in cui è impostato il sistema di circolazione profondo, mentre non si prefigurano particolari interferenze della galleria con il sistema di circolazione superficiale.

## 12. SISMICITA' DELL'AREA DI INTERVENTO

### 12.1. DATI DISPONIBILI

A livello bibliografico, per caratterizzare dal punto di vista generale la sismicità regionale, sono facilmente reperibili online le seguenti informazioni di base:

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

A livello normativo, l'OPCM n° 3274 del 20/03/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" ("nuova classificazione sismica") ha ridefinito la classificazione sismica del territorio italiano proposta dal D.M. 14 luglio 1984 e s.m.i ("vecchia classificazione sismica"). La Regione Piemonte ha a sua volta adeguato la classificazione sismica del proprio territorio con l'adozione della D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010, entrata in vigore con la D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011.

### 12.2. CARTA DELLA SISMICITÀ IN ITALIA

La Carta della sismicità in Italia (cfr. figura 12.1) riporta 45000 terremoti avvenuti tra il 1981 e il 2002 selezionati in base alla qualità della localizzazione, secondo parametri diversificati per a) terremoti crostali e b) terremoti profondi (Chiarabba et al., 2005). Come si può osservare dalla figura, nell'intorno dell'area studiata (indicata con il rettangolo rosso) la maggior parte dei sismi registrati presenta magnitudo inferiore a 4 e profondità ipocentrale compresa entro i primi 18 km, con un massimo di concentrazione intorno ai 12 km. I sismi



registrati nell'area di interesse hanno quindi in generale un carattere abbastanza superficiale.

### 12.3. MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), recependo i suggerimenti della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile, ha coordinato la redazione della mappa di pericolosità sismica di riferimento per l'individuazione delle zone sismiche, richiesta dall'ordinanza del P.C.M. datata 20 marzo 2003 n. 3274, All. 1. La pericolosità sismica rappresenta una stima quantitativa dello scuotimento del terreno dovuto a un evento sismico; la pericolosità sismica di base rappresenta una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti); essa calcola (generalmente in maniera probabilistica), per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento).

A scala nazionale l'INGV ha quindi provveduto a stimare l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante  $a(g)$ , corrispondente a quella che in ambito internazionale viene chiamata PGA, che costituisce il principale parametro descrittivo della pericolosità di base (cfr. figura 5.2).

Tale parametro, la cui unità di misura è l'accelerazione di gravità  $g=9.8m/s^2$ , utilizzato anche per la definizione dell'azione sismica di riferimento per opere ordinarie (Classe II delle Norme Tecniche per le Costruzioni), convenzionalmente rappresenta l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante che, in un intervallo di tempo di 50 anni, ha una probabilità del 10% di superare il valore indicato (cfr. scala colore), per effetto di sismi di intensità maggiore rispetto a quelli considerati per la classificazione del

territorio. A livello locale è disponibile una mappa più dettagliata dell'a(g) prodotta sempre dall'INGV e consultabile sul sito dell'istituto all'indirizzo "<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>", riportata in figura 5.3.

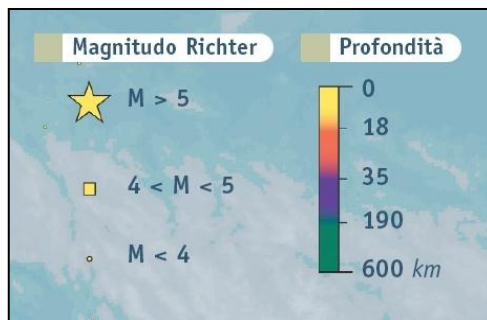
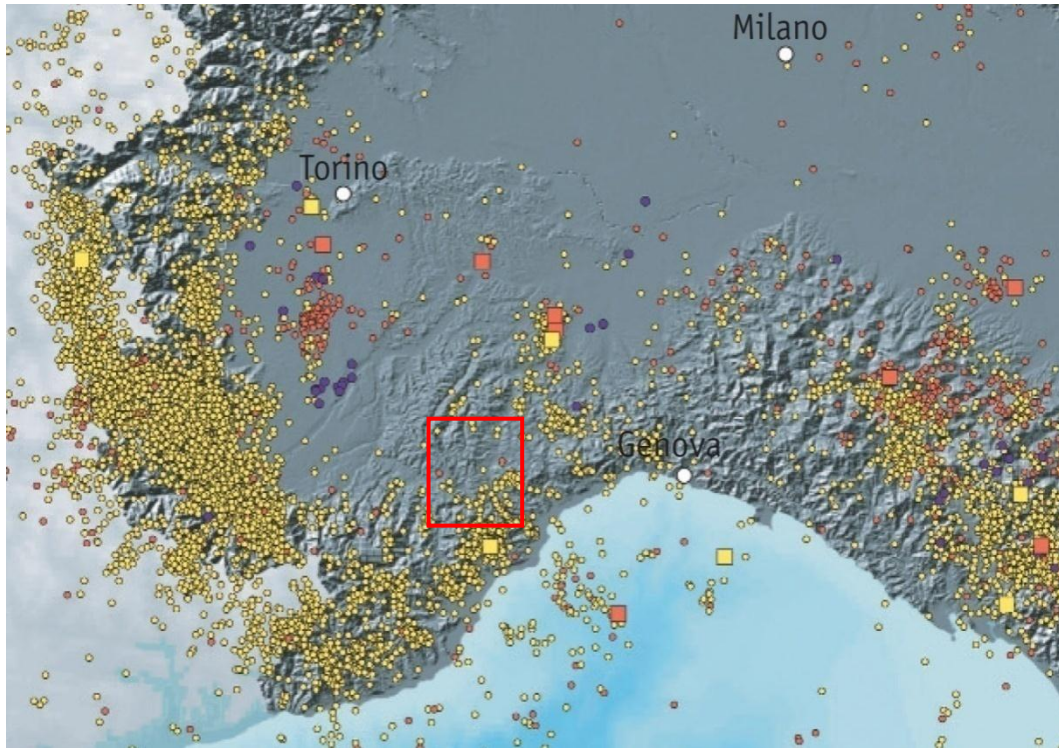


Figura 12.1 – Stralcio della Carta della sismicità in Italia tratta dal sito dell'INGV: <http://csi.rm.ingv.it/>

Il rettangolo rosso individua l'area di progetto.

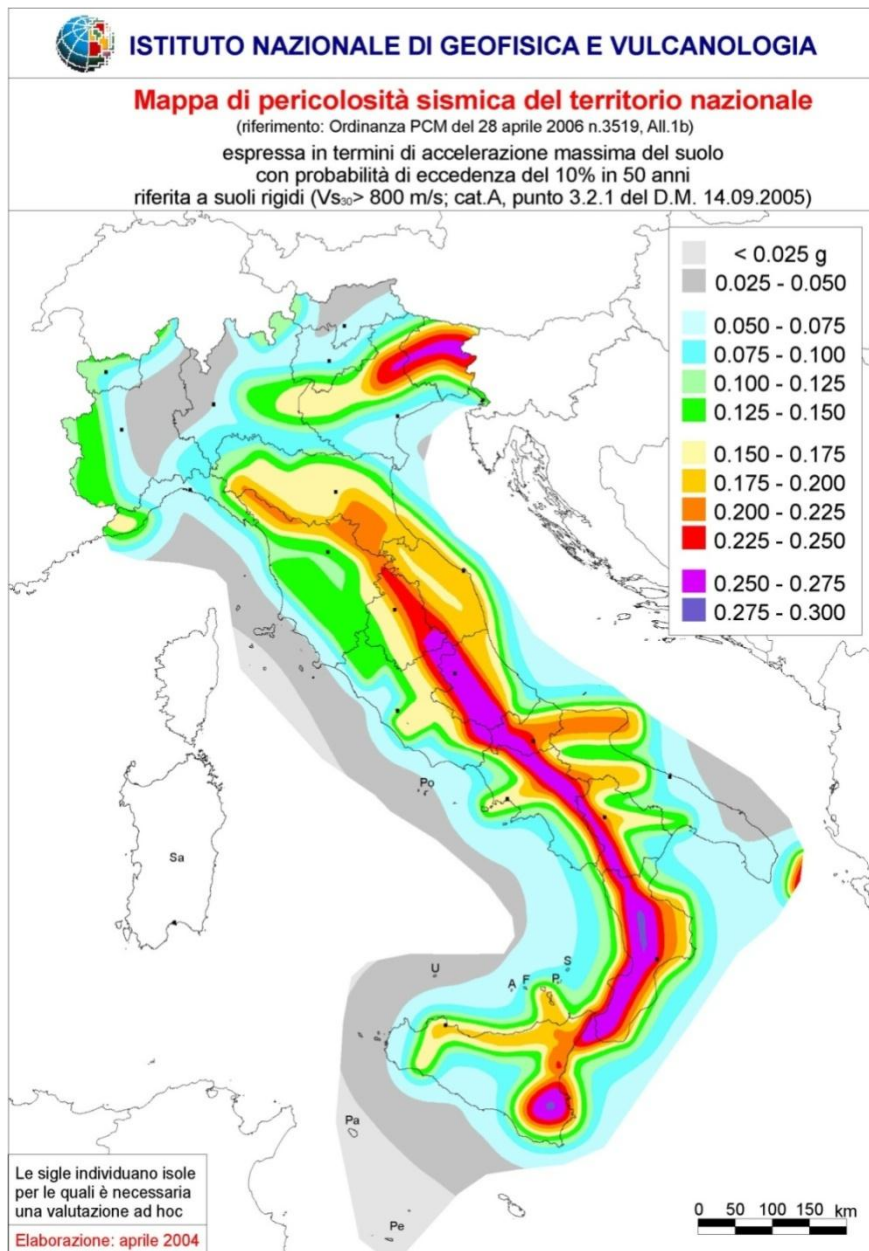


Figura 12.2 – Mappa di pericolosità sismica dell'intero territorio nazionale redatta dall'INGV. La figura è stata tratta dal sito dell'INGV: <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>

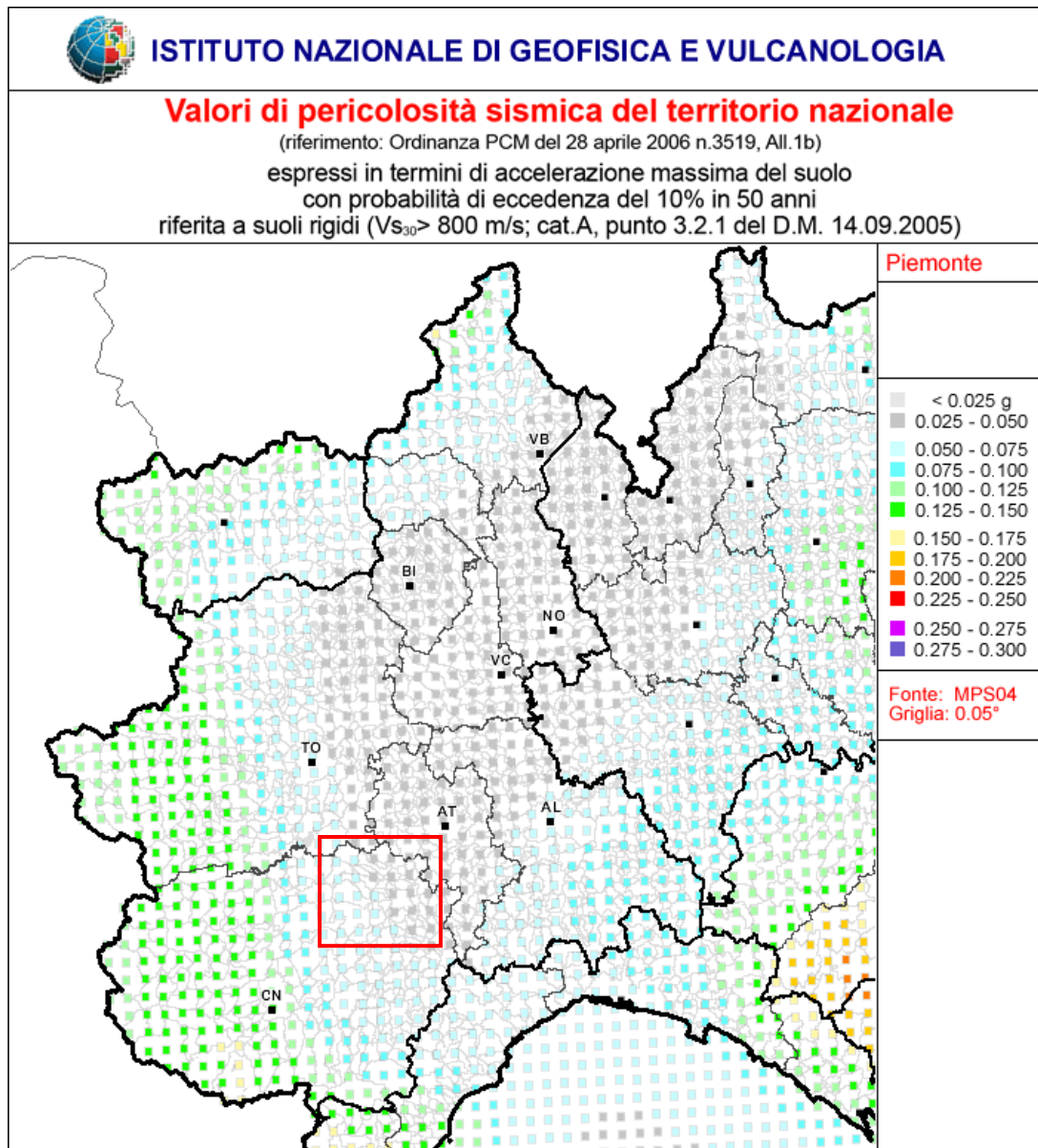


Figura 12.3 – Mappa di pericolosità sismica dell'area interessata dal progetto redatta dall'INGV. La figura è stata tratta dal sito dell'INGV: <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

#### 12.4. CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO

Contestualmente alla redazione della mappa della pericolosità di base, le ordinanze del P.C.M. n°3274 del 20/03/2003 e n°3519 del 28/04/2006 hanno delineato i criteri per la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale basandosi proprio sui valori di  $a(g)$  espressi.





La nuova classificazione sismica del territorio nazionale prevede quindi le seguenti tipologie di zone:

- Zona 1 - è la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
- Zona 2 - nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- Zona 3 - i comuni inclusi in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- Zona 4 - è la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

I valori di accelerazione  $a(g)$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni corrispondenti alle 4 diverse zone, stabiliti dalle ordinanze ministeriali sono i seguenti:

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

Sulla base della classificazione sismica dei comuni italiani contenuta entro l'Allegato 1 dell'OPCM n°3274 del 20/3/2003, con le rispettive delibere n°13058-790 del 19/1/2010 e n°1308 del 24/10/2008, la regione Piemonte ha recepito le indicazioni contenute entro l'ordinanza ministeriale mediante la già citata D.G.R. del 19/01/2010 n° 11-13058 (Regione Piemonte). L'area interessata dalla Galleria Verduno ed opere di imbocco, in progetto, si sviluppa interamente nell'ambito del territorio dei Comuni di Cherasco, Verduno, La Morra, Roddi ed Alba (tutti compresi in Provincia di Cuneo) che, secondo l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.", sono classificati in zona 4. La definizione dell'azione sismica impiegata in progetto è stata condotta



con riferimento al D.M. 14 gennaio 2008: “Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”, come in dettaglio riportato nelle relazioni tecniche e di calcolo delle opere. Nel capitolo seguente si riporta la determinazione della categoria di suolo.

Il Comune di Cherasco ha le seguenti coordinate geografiche:

Latitudine: 44.65° N

Longitudine: 7.85° E

L’opera è classificata in classe d’uso IV avendo funzione pubblica o strategica importante, anche con riferimento alle gestione della protezione civile in caso di calamità. La vita nominale dell’opera è stata assunta pari a 100 anni. In accordo alla normativa, la vita di riferimento per il calcolo dell’azione sismica è pari a 200 anni; in corrispondenza dell’imbocco si hanno terreni con categoria del suolo pari a C. Ne derivano i seguenti valori di azione sismica per gli Stati Limite Ultimo (SLV) e di Esercizio (SLD):

STATO LIMITE	$T_R$ [ANNI]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLD	201	0.045	2.637	0.255
SLV	1898	0.077	2.910	0.312

Il Comune di Alba ha le seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine: 44°42' N                      corrispondente a 44.70° N
- Longitudine: 8°02' E                      corrispondente a 8.03° E

L’azione sismica da impiegare per gli Stati Limite Ultimo (SLV) e di Esercizio (SLD) ha pertanto i seguenti parametri di riferimento.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6  
PROGETTO ESECUTIVO  
Galleria Verduno - Relazione geologica

STATO LIMITE	$T_R$ [ANNI]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLD	201	0.038	2.663	0.253
SLV	1898	0.064	2.893	0.318

## 12.5. CLASSIFICAZIONE TOPOGRAFICA SECONDO NTC 2008

Le categorie di suolo di fondazione individuate dal D.M. 14.01.2008, in base alla prevedibile azione sismica di progetto stimata sulla base del parametro  $V_{s,30}$ , ossia della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, sono riportate nella successiva tabella.

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

Categorie di sottosuolo definite dal D.M. 14.01.2008, NTC.

In particolare le opere di imbocco si impostano in terreni quaternari classificabili in Categoria C.

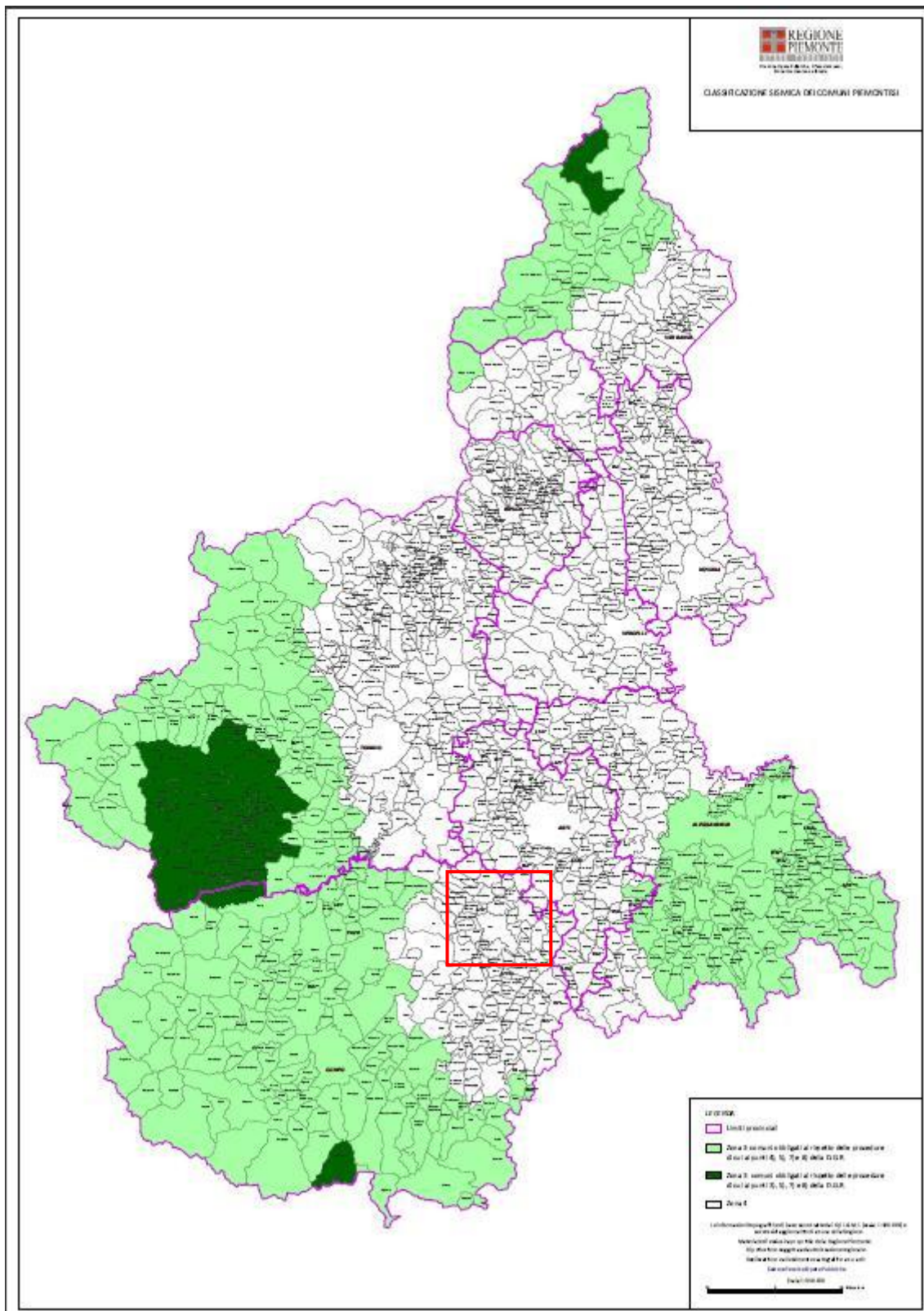


Figura 12.4 – Mappa zona sismica regione Piemonte