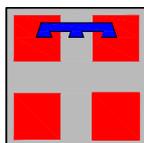




Autostrada Asti-Cuneo



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
STUDI E INDAGINI

GEOLOGIA E IDROLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA GENERALE

Aggiornato: 00	Data : Apr. 2013	Descrizione: EMISSIONE	Redatto: Dott. Anselmi	Controllato: Ing. Ossesia	Approvato: Ing. Ghislandi	Codifica: 2.6 E - r B.1.1.01
Aggiornato: 01	Data : Marzo 2015	Descrizione: Rev. generale	Redatto: Dott. Anselmi	Controllato: Ing. Ossesia	Approvato: Ing. Ghislandi	Lotto Prog. Tipo Elaborato
Aggiornato:	Data :	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:	Data: 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

1. INTRODUZIONE	2
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	4
3. SISMICITÀ.....	5
4. VINCOLI SUL TERRITORIO.....	7
5. CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA/ FATTIBILITA'	8
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE.....	13
6.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	13
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	16
8. GEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO	18
9. INDAGINI ESEGUITE	29
9.1 INDAGINI IN SITO	29
9.2 INDAGINI IN LABORATORIO	31
10. PARAMETRI GEOTECNICI DELL'AREA DI PROGETTO	33
11. EVOLUZIONE RECENTE DEL FONDOVALLE	34
12. IDROGEOLOGIA	40
12.1 IDROGRAFIA DELLA COLLINA DI VERDUNO	40
12.2 CAVITA' CARSICHE	40
12.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA COLLINA DI VERDUNO	41
12.4 CARATTERI DI PERMEABILITÀ DEI TERRENI AFFIORANTI	42
12.5 ASSETTO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	45
12.6 EMERGENZA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	48
12.7 RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE	49
12.8 CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE	55
12.9 INTERFERENZA DELLE OPERE SOTTERRANEE CON L'ASSETTO IDROGEOLOGICO	60
12.9.1 Premessa.....	60
12.9.2 Ricostruzione piezometrica	61
12.9.3 Caratterizzazione idrogeologica dei settori di scavo	61
12.9.4 Principali risultati della modellizzazione numerica	63
13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	64



1. INTRODUZIONE

La seguente relazione riguarda lo studio geologico per il Progetto Esecutivo del Collegamento Stradale Cuneo-Asti Tronco 2, Lotto 6. Il Tronco 2 si estende da Asti all'altopiano di Marene, dove è previsto il raccordo con l'attuale Autostrada Torino-Savona, attraverso la Valle del F. Tanaro. Il Lotto 6, in particolare, decorre lungo la Valle del F. Tanaro, dal versante sottostante la Cascina dello Spià (Comune di La Morra) al margine del territorio comunale di Alba. Lo sviluppo complessivo del Lotto autostradale è di circa 9800 m, con un primo tratto che si svolge quasi completamente in galleria, da poco oltre l'inizio del Lotto (Lato Cuneo) sino poco oltre lo svincolo di Verduno.

L'ultimo chilometro del Lotto 6 funge da raccordo, ed è compreso tra il Torrente Talloria e la località Carceri (Alba).

A partire dal lato est del Ponte Talloria (p.k. 8+800) il raccordo ha uno sviluppo complessivo nell'ordine del chilometro circa. Il tracciato si sviluppa integralmente sui depositi alluvionali, ed interessa il territorio comunale di Alba, in provincia di Cuneo.

Le indagini svolte sul terreno ed in studio, articolate in diverse fasi, hanno comportato:

- l'esecuzione di rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio;
- l'esame delle riprese aerofotografiche afferenti il territorio eseguite in diverse fasi (volo IGM-GAI del 1955, volo Regione Piemonte del 1979, volo SATAP del 1997 per lo sviluppo del Progetto autostradale);
- l'analisi della cartografia storica relativa agli ultimi due secoli;
- l'acquisizione della documentazione scientifica e tecnica relativa all'area ed agli interventi di sistemazione eseguiti sul fondovalle;
- la consultazione degli elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione Piemonte sull'assetto idrogeologico del territorio (Cartografia del Rischio);
- la consultazione degli elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione Piemonte a seguito dell'evento meteo-idrologico del Novembre 1994, integrata con l'analisi delle riprese aerofotografiche eseguite nel Dicembre 1994;
- la consultazione degli elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione Piemonte a seguito degli eventi meteo-idrologici dell'Ottobre 1996 e Ottobre 2000;
- la revisione critica dei dati raccolti nelle precedenti fasi di progettazione del Collegamento Autostradale;
- il censimento dei piezometri e dei pozzi ad uso pubblico e privato;
- la campagna di indagine geognostica integrativa del 2006;
- la campagna di indagine geognostica del gennaio-febbraio 2009.
- la campagna di indagine geognostica di inizio anno 2012.

Le informazioni acquisite hanno consentito la definizione dell'assetto geomorfologico dell'area e la stesura del quadro geologico-tecnico di dettaglio, necessario alla progettazione nel suo complesso. Nell'area di progetto la configurazione del paesaggio fisico, tuttora in evoluzione, è riferibile all'azione combinata di diversi processi morfogenetici, i cui effetti possono assumere localmente carattere prevalente:



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

- il primo tratto, sino allo svincolo di Verduno, interessa la base del margine collinare delle Langhe, il cui assetto deriva da processi di versante (anche con il concorso in passato dell'azione erosiva del Tanaro al piede del rilievo) e da fenomeni di dissoluzione (para-carsismo) nell'ambito dei corpi gessosi presenti nella Formazione Gessoso-Solfifera.
- la zona di fondovalle, in cui si svolge il secondo tratto del Lotto (svincolo di Verduno - Roddi), è improntato in misura fondamentale dall'attività recente dei processi di dinamica fluviale relativi al F. Tanaro.
- lungo il fondovalle del F. Tanaro, nel tratto compreso il corso del Torrente Talloria ai piedi della collina di Roddi, e la località Carceri (Alba) ubicata ad ovest del territorio di Alba, seguendo la valle principale, vi è un tratto che funge da raccordo del collegamento Cuneo-Asti , Tronco 2 – Lotto 6.

Quest'ultimo è impostato, per quanto concerne le opere all'aperto all'interno dei depositi alluvionali medio-recenti (a6) di pianura che raggiungono uno spessore complessivo compreso tra i 5 -7 m.

Questi ultimi poggiano tramite una superficie di contatto di tipo erosivo, caratterizzata da un andamento piuttosto regolare, su di un substrato argilloso-marnoso riferibile ai depositi del bacino terziario Ligure – Piemontese ascrivibile alla formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili.

A partire dal Ponte Talloria (spalla lato Asti) il tracciato si svolge interamente in sponda destra del fiume, con il ciglio esterno della carreggiata Asti - Cuneo posto ad una distanza variabile tra i 150 e i 400 m circa dall'alveo attuale.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La campagna di indagini, questa relazione, il dimensionamento delle opere e la loro verifica di progetto sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore, ed in particolare:

- **D.G.R. 3 febbraio 2012, n. 7-3340:** Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011.
- **D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084:** D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese.
- **D.G.R. 18 febbraio 2011, n. 8-1517:** Modifica del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio piemontese come approvata con D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010 e ulteriori disposizioni pubblicato su Bollettino Ufficiale Regione Piemonte n. 8 del 24/02/2011.
- **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.
- **D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058:** Aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006) pubblicato su Bollettino Ufficiale Regione Piemonte n. 7 del 18/02/2010.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale.
- **D.M. 14.01.2008:** Testo unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni.
- **O.P.C.M. 3519 del 28/04/2006 (G.U. 11.5.2006 n.108).**
Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- **O.P.C.M. 3274 del 20/03/2003 (Supplemento ordinario alla G.U. 8.5.2003 n.105).**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

3. SISMICITÀ

La classificazione sismica attribuisce all'intero territorio nazionale valori differenti del grado di sismicità da prendere in considerazione nella progettazione delle opere.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata anche l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale.

La classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio V_S ovvero sul numero medio di colpi N_{SPT} ovvero sulla coesione non drenata media c_u . In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti categorie del suolo di fondazione:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B *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 V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata media $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
- C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente 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 V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- D *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 V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- E *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s).

Considerando i valori di N_{SPT} misurati nei sondaggi geognostici si evince che i terreni interessati dalle opere appartengono alle categorie B e C definite dal D.M. 14 gennaio 2008.



Zone sismiche

Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio italiano è suddiviso in zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore del parametro a_g = accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A. I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella.

Zona	Valore di a_g
1	0.35g
2	0.25g
3	0.15g
4	0.05g

Le zone 1, 2 e 3 possono essere suddivise in sottozone caratterizzate da valori di a_g intermedi rispetto a quelli riportati nella tabella e intervallati da valori non minori di 0,025.

L'area interessata dal Lotto 2.6 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 sono classificati in **zona 4**.



4. VINCOLI SUL TERRITORIO

I territori comunali di Cherasco, Verduno, La Morra, Roddi ed Alba, sui quali si sviluppa interamente il Tronco 2 – Lotto 6, risultano interessati dai seguenti vincoli:

- L.R. 09/08/1989 n. 45 riguardante l'applicazione del vincolo idrogeologico di cui al R.D.L.n.3267 del 30/12/1923 e circolare esplicativa riguardante l'applicazione del vincolo idrogeologico.
- D.P.C.M. 24/07/98 (approvazione P.S.F.F. - deliberazione Autorità di Bacino n.26/1997) e D.P.C.M. 24/05/2001 (approvazione P.A.L - deliberazione Autorità di Bacino n.18/2001)
- D.P.C.M. 24/05/2001 "Approvazione del "Piano Stralcio per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico. (Legge 183/89, art. 17 comma 6-ter)" adottato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione del Comitato Istituzionale 26/04/2001 n. 18.



5. CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA/ FATTIBILITA'

Nel presente capitolo si indicano le Classi di pericolosità geomorfologica per le fasce di pianura interessate dal tracciato dell'opera in progetto relativamente ai tratti all'aperto secondo le indicazioni trattate nella Circolare P.G.R. n.7/LAP dell' 8.05.1996 e relativa Nota Tecnica Esplicativa riferiti a ciascun comune interessato dall'opera.

COMUNE DI CHERASCO

La classe che interessa il tratto posto a Nord della C.na dello Spià, compreso tra le p.k 0+000 e 0+380 è la:

Classe II

Porzioni di territorio nelle quali sono stati evidenziati moderati elementi di rischio riconducibili a situazioni di elevata acclività dei versanti, limiti geotecnica dei terreni di fondazione, esondabilità con acque a bassa energia e tempi di ritorno superiori a 100 anni, elevata potenza della coltre di copertura.

In tali aree il fattore di rischio potrà essere eliminato mediante l'adozione di opportuni accorgimenti tecnici in fase di progetto esecutivo, in conformità con quanto disposto dal D.M. 11.03.1988.

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 0+380 e 0+450 rientra nella:

Classe IIIA₁

Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici ed idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti (aree interessate da tipologie di dissesto quiescente o da potenziale dissestabilità).

Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili vale quanto indicato all'art. 31 della L.R. 56/77. Nelle porzioni di territorio edificate con edifici isolati nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente, interventi di riassetto saranno consentiti solo come trasformazioni che non aumentino il carico antropico quali, a titolo di esempio interventi di manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria, risanamento conservativo, ecc.

Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili e per fabbricati rurali vale quanto indicato all'art.31 della L.R. 56/77 e dalle successive note tecniche esplicative della circolare 7 LAP.

L'area che interessa la zona del Rio Deglia rientra all'interno della:

Classe IIIA₂

Aree interessate da tipologie di dissesto attivo (frane attive ed aree esondabili delimitate dalla fascia A indicata nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali) e fasce di rispetto lungo i corsi d'acqua minori (10 m da ciascuna sponda). In tale ambito, relativamente ai



manufatti eventualmente esistenti, saranno esclusivamente consentiti interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria, interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici esistenti senza aumento di carico antropico. Saranno inoltre consentite le opere di bonifica dei movimenti franosi, le opere di difesa e sistemazione idraulica e le opere di regimazione delle acque superficiali e sotterranee.

COMUNE DI LA MORRA

La classe che interessa il tratto appena a Nord di Borgata Cogni, compreso tra le p.k. 0+450 e 0+660 e tra le p.k. 1+320 e 1+950, è la:

Classe II

Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di norme di attuazione ispirate al D.M. 11.03.1988 e realizzabili a livelli di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante.

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 0+700 e 1+050 rientra nella:

Classe IIIA

Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti. Ricadono le aree in frana, dissestate, potenzialmente dissestabili, le aree alluvionate da acque di esondazione a elevata energia ad alto battente idrico.

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 0+650 e 0+700 e tra le p.k. 1+050 e 1+320 è la:

Classe IIIB

Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico o privato a tutela del patrimonio urbanistico esistente.

In assenza di tali interventi di riassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico, quali:

- manutenzione straordinaria
- ristrutturazione e/o variazione di destinazione



COMUNE DI VERDUNO

La Classe che interessa il tracciato tra le p.k. 3+900 e 4+570 rientra nella:

Classe I

Porzioni di territorio dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche: gli interventi, sia pubblici che privati, sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni del D.M. 11.03.1988.

I settori di C. Gadinetti (p.k. 1+950-2+020) e il settore compreso tra le p.k. 3+800 e 3+900 rientrano nella:

Classe IIA

Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di Norme Tecniche d'Attuazione ispirate al D.M. 11.03.1988 e realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio dell'intorno significativo circostante.

La classe che interessa il tracciato tra le p.k. 2+020 e 3+800 è all'interno della:

Classe IIIA

Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono inidonee a nuovi insediamenti (aree dissestate, in frana, potenzialmente dissestabili, ad elevata acclività, aree alluvionali da acque di esondazione ad elevata energia).

Il settore adiacente a C. Montemigletto (p.k. 3+200) rientra all'interno della:

Classe IIIB

Porzioni di territorio edificate nelle quali gli elementi di pericolosità geologica e di rischio sono tali da imporre in ogni caso interventi di riassetto territoriale di carattere pubblico a tutela del patrimonio urbanistico esistente. In assenza di tali interventi di riassetto saranno consentite solo trasformazioni che non aumentino il carico antropico.

Per le opere di interesse pubblico non altrimenti localizzabili varrà quanto previsto dall'art. 31 L.R. 56/77. Nuove opere o nuove costruzioni saranno ammesse solo a seguito dell'attuazione degli interventi di riassetto e dell'avvenuta eliminazione e/o minimizzazione della pericolosità.



COMUNE DI RODDI

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 4+570 e 6+950 rientra nella:

Classe I

Corrisponde all'area pianeggiante dell'alto terrazzo fluviale compreso tra il piede collinare ed il canale ENEL, privo di pericolosità geomorfologica e costituita di terreni alluvionali geomeccanicamente competenti.

Le classi che interessano il tratto compreso tra le p.k. 6+950 e 7+100 e tra le p.k. 7+300 e 7+500 ed inoltre tra le p.k. 7+620 e 7+870 sono:

Classe IIB

Pericolosità geomorfologica moderata. Aree idonee a nuovi insediamenti.

Porzioni di territorio prevalentemente collinare o di raccordo con il fondovalle, nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di Norme Tecniche di Attuazione ispirate al D.M. 11.03.1988 e realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo.

Le classi che interessano il tratto compreso tra le p.k. 7+100 e 7+300 e tra le p.k. 7+500 e 7+620 rientra nella:

Classe III (indifferenziata)

Pericolosità geomorfologica da moderata ad elevata. Aree non idonee a nuovi insediamenti, salvo ulteriori analisi di dettaglio per la realizzazione di opere per attività agricole e residenziali rurali.

Porzioni di territorio indeficcate, ma con possibile presenza di edifici sparsi, ritenute potenzialmente dissestabili (aree ad incerta stabilità, vicinanza di frane attive o quiescenti, aree caratterizzate da fattori geomorfologici e geotecnici penalizzanti, quali elevata acclività e possibile presenza di coperture terrigene e cedevoli).

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 7+850 e 7+980 è:

Classe IIIAC

Pericolosità geomorfologica da elevata a molto elevata. Aree non idonee a nuovi insediamenti. Aree coinvolgibili da processi legati alla dinamica dei versanti con pericolosità elevata per presenza di frane quiescenti o pericolosità molto elevata per presenza di frane attive.

Aree coinvolgibili da fenomeni con pericolosità molto elevata per esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua minori.



Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che rendono inidonee a nuovi insediamenti ed ampliamenti dell'esistente.

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 7+980 e 8+700 è:

Classe IIIAP

Pericolosità geomorfologia da elevata a molto elevata. Aree non idonee a nuovi insediamenti.

Settori del fondovalle Tanaro ricompresi nel P.S.F.F.

Porzioni di territorio inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che la rendono inidonee a nuovi insediamenti ed ampliamenti dell'esistente.

Gli interventi compatibili entro questa Classe sono individuati dalle norme di attuazione al P.A.I., Titolo II: "Norme per le fasce fluviali". Entro questa Classe non sono consentiti edifici per attività agricole e residenze rurali connesse alla conduzione aziendale previste al quarto comma dell'art. 39 delle Norme d'Attuazione del P.A.I..

COMUNE DI ALBA

La classe che interessa il tratto compreso tra le p.k. 8+700 e 9+800 è:

Classe III

Pericolosità geomorfologica alta

Porzioni di territorio nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica e di rischio derivanti questi ultimi dall'urbanizzazione dell'area, sono tali da impedirne l'utilizzo qualora inedificate, richiedendo, viceversa, previsioni di interventi di riassetto territoriale a tutela del patrimonio esistente.

Sottoclasse IIIA

Porzioni di territorio per lo più inedificate che presentano caratteri geomorfologici o idrogeologici che le rendono idonee a nuovi insediamenti.

Per le opere di interesse pubblico non altrimenti localizzabili (con specifico riferimento ad es. ai parchi fluviali) vale quanto già indicato all'art. 31 della L.R. 56/77.

Le aree che rientrano in questa classe sono da considerarsi attualmente inedificabili.

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

Il collegamento stradale Asti-Cuneo appartenente al tronco 2 – Lotto 6 è compreso nei Fogli 68-Carmagnola, 69-Asti, 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 10 km, il settore interessato da questo tratto autostradale, si sviluppa in direzione Est-Ovest lungo l'incisione del F. Tanaro, parallelamente rispetto all'asse della struttura geologica nota come "sinclinale astigiana".

La struttura tettonica precedentemente citata non interferisce con la tratta autostradale in esame.

Nel settore meridionale di tale struttura affiorano unità stratigrafiche terziarie via via più recenti procedendo verso Asti, con l'avvicinarsi al nucleo della struttura. 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).

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 alii, 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.

6.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

L'area interessata da questo tratto del tracciato autostradale risulta caratterizzata da un substrato costituito da sedimenti appartenenti al Bacino Terziario Ligure-Piemontese e da una copertura quaternaria arealmente diffusa, ma di ridotto spessore. I dati forniti dai sondaggi profondi e dai rilievi sismici (riassunti in Cassano et alii, 1986) hanno



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

contribuito negli ultimi anni a meglio delineare i modelli geodinamici che sintetizzano l'evoluzione complessiva dell'area.

Sulla base di queste conoscenze l'evoluzione del Bacino Terziario Ligure-Piemontese è stata schematizzata nelle sue linee principali come segue.

Su rocce pre-cenozoiche già deformate da almeno una precedente fase tettonica inizia, a partire dall'Oligocene inferiore, una fase di trasgressione marina proveniente da Nord-Est a cui sono riferibili depositi prevalentemente di fan-delta e torbiditici, la cui sedimentazione è fortemente condizionata dalla tettonica connessa alla collisione fra le placche paleo-europea ed adriatica.

Nell'Oligocene superiore si assiste all'instaurarsi di spinte compressive verso Nord-Est, che proseguono durante tutto il Miocene: queste sono legate alla probabile creazione di crosta oceanica a Sud del golfo di Genova ed alla rotazione del blocco Sardo-Corso. La sedimentazione di età miocenica risulta costituita da formazioni originariamente a carattere torbiditico in prossimità del margine meridionale del bacino, in fase di sollevamento, mentre nel settore centrale va prevalendo una sedimentazione di emipelagiti (Marne di S. Agata Fossili) connessa ad importanti fenomeni di subsidenza. I depositi evaporitici di mare basso di ambiente lagunare (Formazione Gessoso-Solfifera) terminano il ciclo miocenico.

Una nuova fase trasgressiva ha inizio a partire dal Pliocene inferiore ed è contraddistinta dalla presenza, alla base, di una formazione arenaceo-conglomeratica conosciuta come Conglomerati di Cassano Spinola a cui fa seguito una sedimentazione tipica di mare aperto (Argille di Lugagnano). Il ciclo sedimentario si chiude infine con una sedimentazione prevalentemente sabbiosa (Sabbie di Asti) di ambiente litorale, in parte eteropica con depositi alluvionali e deltizi nella parte più occidentale e lacustri costituiti da ghiaie e peliti nella parte orientale ("Villafranchiano").

La sequenza deposizionale pliocenica risulta controllata da una fase deformativa legata a sforzi compressivi verso Nord in conseguenza dell'espansione del fondo del Mar Ligure. Queste condizioni tensionali determinano nel settore orientale del bacino, da Nord verso Sud, la definitiva emersione del Monferrato, la nascita e l'evoluzione della sinclinale di Asti e della struttura a monoclinale delle Langhe, oltre all'inarcamento del settore corrispondente al Golfo di Genova.

Per il cuneese, i dati disponibili indicano un sensibile sollevamento del margine meridionale del bacino, dove i depositi pliocenici risultano attualmente dislocati a quote che raggiungono i 600 m slm.. Verso Nord le scarse informazioni ricavate dai dati dei sondaggi profondi per la ricerca di idrocarburi e dalle indagini geofisiche sembrano indicare condizioni di decisa subsidenza, verosimilmente protrattasi durante parte del Quaternario, associata allo sviluppo di pieghe e faglie orientate nell'insieme SSW-NNE.

All'inizio del Quaternario l'emersione dell'area in esame risulta completa, i terreni successivi sono riferibili esclusivamente ad ambienti deposizionali di tipo continentale, dapprima fluvio-lacustre, nel Pleistocene inferiore, e poi decisamente fluviale. Lo studio di questi depositi e della loro espressione morfologica già intrapreso da Sacco verso la fine dell'Ottocento è stato in seguito affrontato con vari approcci metodologici da diversi Autori (Gabert, 1962; Carraro & Petrucci, 1975; Biancotti, 1979, 1981; Carraro et alii, 1981, 1994; Forno, 1982).

Tra i contributi recenti, risulta fondamentale lo studio di Gabert (1962), che evidenzia come la disposizione dei crinali spartiacque e della sommità dei rilievi delle Langhe siano i resti di una estesa superficie di erosione (glacis) debolmente inclinata verso la pianura. Dallo smantellamento di questa originaria superficie di modellamento deriva il paesaggio collinare tipico delle Langhe.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Carraro et alii (1981), nell'ambito della realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, stabiliscono l'età recente del raggiungimento della configurazione strutturale e morfologica dei rilievi delle Langhe, che viene spiegato con il sollevamento differenziale di una originaria pianura alluvionale, della quale sono conservati alcuni depositi continentali pleistocenici, localizzati in zone sommitali a forma tabulare. Successivamente al Pleistocene inferiore (circa 700.000 anni fa), periodo in cui termina la genesi del glacis delle Langhe, l'area è interessata da più fasi erosive (Biancotti, 1981). Nel Pleistocene medio (700.000 - 125.000 anni fa) il glacis è inciso da un reticolo idrografico defluente da SSE verso NNW, quindi, nel corso del Pleistocene superiore (tra 125.000 e 10.000 anni fa) il sollevamento differenziale dell'area determina l'inversione dei deflussi dei corsi d'acqua, che dalla pianura cuneese si dirigono verso quella alessandrina.

L'evoluzione morfologica quaternaria dell'area è profondamente condizionata da una serie di importanti fenomeni di deviazione fluviale ("diversione del Po", "tracimazione del Tanaro", ecc.), derivanti dall'interazione tra la mobilità tettonica recente, la situazione morfologica al contorno, l'elevata erodibilità delle formazioni presenti. Le ricerche recenti (Forno, 1982; Carraro et alii 1995; Carraro 1996) hanno consentito una ricostruzione sufficientemente dettagliata dell'evoluzione della rete idrografica del Piemonte centrale.

Ancora nel corso del Pleistocene superiore, i collettori principali del bacino piemontese meridionale (paleo-Po, paleo-Tanaro) scorrevano a Sud della Collina di Torino, da Ovest verso Est. Il paleo-Po dopo aver costeggiato il margine meridionale della Collina e del Monferrato si immetteva nella pianura una decina di chilometri ad Est dell'attuale posizione di Valenza Po. Il suo corso, verso la fine del Pleistocene sup. subisce una deviazione nei pressi di Villastellone, che porta alla individuazione di un nuovo collettore, l'attuale Po, con decorso lungo il margine settentrionale della Collina di Torino. Il Tanaro, principale affluente del paleo-Po (e sino ad allora con decorso da Bra verso Carmagnola), in un momento di poco successivo, erodendo lateralmente verso Est a seguito del sollevamento dell' "anticlinale vivente di Fossano" intercettava, poco a Sud dell'attuale abitato di Bra, un'incisione minore appartenente al reticolato locale delle Langhe, tracimandovi. Questo fenomeno ha determinato da una parte l'abbandono della prosecuzione dell'alveo del paleo-Tanaro verso NNW, dall'altra la riutilizzazione di uno dei rami del reticolato idrografico fino a poco tempo prima tributario del paleo-Po.

Riferendosi in particolare al Tanaro, l'abbandono del percorso originale determina l'innescò di un processo di ringiovanimento morfologico generale del bacino. Secondo la stessa dinamica altri corsi d'acqua, come il Belbo, la Bormida di Millesimo e la Bormida di Spigno deviarono il loro percorso verso il nuovo livello di base, spostando i deflussi dalla piana cuneese alla piana alessandrina. La situazione è tuttora riscontrabile nel loro assetto attuale, dove è presente dapprima un tratto diretto verso Nord-Ovest a cui fa seguito, a valle di un gomito pronunciato, un ramo defluente a Nord-Est.

7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

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 fondamentale 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 sovrapposizione rispetto ad una morfologia preesistente. Attualmente il corso d'acqua scorre meandrizzando 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 sviluppano rilievi collinari di modesta elevazione (300 - 350 m s.l.m.) e 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



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

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 sottoescavazione 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 che ha determinato un abbassamento significativo del livello di base relativo e l'innescò 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.

8. GEOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO

In questo capitolo viene delineato l'assetto geologico-geomorfologico del territorio interessato direttamente dal tracciato del tronco 2 – Lotto 6. Il tratto di interesse della Valle Tanaro risulta impostato nella parte superiore della sequenza di ambiente marino o transizionale riferibile al Bacino Terziario Ligure-Piemontese, su cui si sovrappongono direttamente, in corrispondenza dell'incisione valliva, sottili coperture di depositi alluvionali e di versante del Quaternario recente. La sequenza complessiva comprende, procedendo dal basso verso l'alto, le seguenti unità:

- Marne di Sant'Agata Fossili (Età: Tortoniano-Miocene sup.);
- Formazione Gessoso-Solfifera (Età: Messiniano);
- Argille di Lugagnano (Età: Pliocene inferiore-medio)
- Depositi alluvionali medio-recenti, recenti ed attuali (Età: Pleistocene superiore - Attuale).
- Depositi colluviali (Età: Olocene-attuale)
- Depositi di frana (Età: Olocene-attuale)

Le unità di diretto interesse per la realizzazione dell'opera, in quanto costituenti il rilievo collinare di La Morra - Verduno, ed il fondovalle tra Verduno e Roddi sono trattati di seguito. Procedendo da Cuneo verso Asti, il tracciato interessa in galleria, la Formazione Gessoso-Solfifera, le Argille di Lugagnano e le Marne di S. Agata Fossili. Il tratto in superficie si svolge, sino a fine Lotto, nell'ambito dei depositi alluvionali medio-recenti e recenti che mascherano, con una sottile copertura, le Marne di S. Agata nella zona di fondovalle del F. Tanaro.

Nella descrizione della successione stratigrafica sono stati mantenuti, per quanto possibile, le suddivisioni formazionali definite nella cartografia geologica ufficiale integrate con i dati acquisiti nell'ambito delle ricerche più recenti. A partire dalle unità più antiche, strati graficamente inferiori, sono presenti i seguenti termini:

- **Marne di Sant'Agata Fossili (M4)** Età: Tortoniano-Miocene sup..

Secondo il nome formazionale, questa unità comprenderebbe peliti con rilevante contenuto in carbonati (di regola compresi tra 35÷65%), che conferiscono all'ammasso un comportamento lapideo, sia pure tipico delle rocce sedimentarie tenere. In realtà, anche nella sezione tipo presso S. Agata Fossili (Alessandria) i contenuti in carbonato di calcio sono prossimi al 35%, corrispondente al limite compositivo tra le marne propriamente dette e le marne argillose. Una serie di campioni (n. 48), prelevati nell'ambito di questo studio nel tratto di Valle Tanaro interessato dal Lotto 2.6, ha riscontrato nel 65% dei casi tenori in carbonati relativi al campo delle argille marnose (5÷25%). La variabilità compositiva è molto ampia (dal 7.0% al 50.8%), ma il valore medio non risulta elevato (23.1%). Le marne argillose costituiscono il 31% dei campioni, mentre valori tipici delle marne (carbonati > 35 %) costituiscono delle eccezioni (2 casi). In definitiva, la limitata presenza dei carbonati conferisce all'unità caratteristiche composizionali e, di conseguenza, un comportamento geotecnico influenzato in modo significativo dalla componente argillosa.

Lungo la dorsale Roddi - Verduno, in particolare, l'unità comprende limi-argillosi da molto a estremamente consistenti e argille marnoso-siltose coerenti o semilitoidi, con



frattura irregolarmente concoide. Molto frequente (spaziatura da decimetrica a metrica) è la presenza di sottili livelli, con spessori variabili da meno di 1 mm a alcuni decimetri, di sabbie medio-fini limose da circa o più raramente medio-grossolane. Le Marne di S. Agata rappresentano una fase di sedimentazione di mare aperto, come indicato anche dalle associazioni fossili presenti. Le superfici di stratificazione sono di norma indistinte e mal definite. L'assetto giaciturale è a monoclinale debolmente inclinata (5° - 10°) con immersioni variabili da NO a ONO. 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, da Costigliole d'Asti ad Alba, costituisce la dorsale su cui sorge l'abitato di Roddi, giungendo sino alla zona industriale di Verduno. Il suo limite occidentale, in affioramento, corrisponde circa alla strada comunale che a partire dalla zona del previsto imbocco galleria (Lato Asti) risale verso Verduno. In questo settore le Marne di S. Agata si rinvenivano anche nel fondovalle, alla base della ridotta copertura alluvionale, e affiorano localmente nell'alveo del Tanaro. Tramite i sondaggi la loro presenza è stata accertata sino a profondità dell'ordine dei 50 m al di sotto dell'alveo attuale. Spostandosi più a sud, le Marne compaiono soltanto sul versante est del crinale di Verduno-La Morra, alla base dei terreni prevalentemente sabbioso-ghiaiosi costituenti in questo settore la base della Formazione Gessoso-Solfifera.

In sinistra orografica, dove la Formazione compare con disposizione a reggipoggio, è presente con estensioni minori ed immerge al di sotto delle unità marine più recenti. L'approfondimento recente dell'alveo del Tanaro e l'estrazione di ingenti volumi di depositi alluvionali determina attualmente la presenza delle Marne di S. Agata in affioramento, o a profondità di pochi metri, per un ampio tratto del corso fluviale dalla città di Alba a circa 1 km a valle del ponte di Pollenzo.

La porzione sommitale delle Marne di S. Agata è in parte riferibile, cronologicamente, al Messiniano, come hanno evidenziato le analisi micropaleontologiche condotte sulla sezione di affioramento dello strato-tipo (Cita, 1967). Il passaggio Tortoniano-Messiniano si realizza all'interno di una successione argilloso-marnosa omogenea, probabilmente caratterizzata da continuità di sedimentazione, dato che non risulta possibile individuare, almeno macroscopicamente, superfici di discontinuità. Occorre sottolineare questo aspetto, in quanto la distinzione dei terreni ai fini geologici e geotecnici è basata sulla presenza riconoscibile macroscopicamente dei gessi. L'unità geotecnica 7 (si veda la Relazione Caratterizzazione geologico-tecnica dell'area di progetto), relativa alle marne del substrato locale può comprendere, quindi, sia le Marne di S. Agata propriamente dette, sia le marne con analogo aspetto e comportamento geotecnico appartenenti al Messiniano inferiore.

- **Formazione Gessoso-Solfifera (M5) Età: Messiniano**

In sinistra della valle Tanaro, questa formazione è presente tra Magliano e S. Vittoria d'Alba lungo una fascia limitata disposta nel settore inferiore del versante. In sponda destra, invece, compare soltanto ad ovest di Verduno, dove affiora estesamente e costituisce la quasi totalità della parte superiore del rilievo collinare compreso tra Verduno, La Morra ed il corso del Tanaro. Nell'insieme poggia, tramite una superficie di tipo erosivo con andamento particolarmente irregolare, sulle sottostanti Marne di S. Agata Fossili.

I terreni compresi in questa unità, riferibili ad ambienti deposizionali molto diversi, sono caratterizzati da una notevole eterogeneità compositiva e giaciturale, che si traduce in una estrema variabilità areale e verticale dei vari corpi distinguibili su base litologica. Nell'insieme la formazione comprende:

- **Litotipi di origine clastica**, relativi a vari ambienti deposizionali, di tipo molto diverso fra loro. Comprendono dalle marne di ambiente marino profondo, sia pure con possibili apporti di materiali di provenienza continentale (corpi ghiaioso-sabbiosi risedimentati da correnti di torbida), alle alternanze argilloso-marnose di laguna ricche in sostanza organica, alle argille sottilmente laminate con resti vegetali di piana alluvionale, alle ghiaie e sabbie depostesi in acque basse continentali o marine. Nell'insieme la composizione granulometrica è prevalentemente fine, comprendendo argille e limi. I tenori in carbonati evidenziano una forte variabilità (1.9÷48.1%). La maggior parte dei valori ricade però nel campo delle argille marnose (carbonati = 5÷25 %) o addirittura delle argille (15 % dei casi con carbonati < 5 %). Le marne argillose costituiscono solo il 20% dei campioni, mentre valori tipici delle marne (carbonati > 35 %) sono stati riscontrati in soli 2 casi. In definitiva la presenza dei carbonati, molto variabile, ma generalmente limitata, conferisce agli intervalli argilloso-marnosi caratteristiche composizionali e, di conseguenza, un comportamento geotecnico influenzato in modo significativo dalla componente argillosa. I corpi a granulometria grossolana assumono nell'ambito dell'area di progetto una importanza nettamente subordinata, costituendo solo livelli e orizzonti di ghiaie e sabbie con spessore sino ad una decina di metri intercalati nelle unità argilloso-marnose. Le indagini geognostiche non hanno rilevato la presenza di orizzonti cementati (arenarie, conglomerati) con spessori elevati superiori ai 0.2÷0.3 m e rilevante continuità spaziale. I depositi grossolani diventano prevalenti, raggiungendo potenze molto maggiori (varie decine di metri) più a sud, nel settore della Morra, dove compaiono anche orizzonti conglomeratici a consistenza lapidea.
- **Sedimenti di origine chimica (evaporiti)**, depostisi nel corso della "crisi di salinità" verificatasi durante il Messiniano, quando l'evoluzione dei movimenti tra le placche africana ed europea determinò l'interruzione degli scambi idrici tra il Mar Mediterraneo e l'Oceano Atlantico, con disseccamento pressochè totale del Mediterraneo. L'ambiente deposizionale delle evaporiti presenti nel Bacino Piemontese, in particolare, sembra riferibile ad una serie di bacini di estensione limitata formatisi al margine della catena alpina, in cui si verificava un passaggio più o meno graduale tra aree continentali emerse (piana alluvionale), zone di transizione (aree deltizie e lagunari), bacini evaporiti di mare basso, soglie e mare profondo (Selli, 1973). La posizione delle varie aree di sedimentazione condizionava gli scambi idrici con il Mediterraneo e, di conseguenza, la salinità delle acque, favorendo o inibendo la formazione di brine sovrature dalla cui evaporazione si sono originati i depositi chimici. Questi diversi ambienti potevano coesistere contemporaneamente in aree adiacenti o individuarsi nella stessa regione in periodi successivi, determinando nella successione stratigrafica di un sito la sovrapposizione tra le varie facies. La situazione riscontrata al margine delle Langhe sembra riferibile soprattutto a quest'ultimo caso. I sedimenti derivanti da processi di deposizione chimica sono composti in misura prevalente da gessi, la presenza di blocchi calcarei assume rilevanza in sponda sinistra del Tanaro. I litotipi con gesso possono assumere due diverse tipologie tessiturali: gessi prevalentemente in cristalli a grana minuta alternati a peliti varvate e gessi in grossi cristalli inglobati in lenti o alternanze di peliti grigie, violacee o brune ed arenarie fini in strati sottili.

A verifica ed integrazione dell'esame macroscopico eseguito sistematicamente sui carotaggi sono state condotte specifiche determinazioni mineralogiche tramite diffrattometria a raggi X, condotte presso il Dip. di Scienze della Terra dell'Univ. di Pavia, per la caratterizzazione dei sedimenti di origine chimica e della struttura dei minerali argillosi. Le evaporiti presenti sono costituite esclusivamente da gesso, mentre

in accordo con la situazione geologico e idrogeologica del versante non è stata mai riscontrata la presenza di anidrite. I risultati confermano che l'individuazione dei gessi condotta con l'esame visivo delle carote è stata accurata e fornisce indicazioni ben confrontabili con le analisi di laboratorio. Solo in 3 casi le diffrattometrie hanno riscontrato gesso in valori molto limitati 1÷2% non identificato in precedenza. Tra i minerali argillosi è presente una fase rigonfiante attribuibile a "smectite", sia pure in proporzioni modeste, variabili in genere tra 4÷13% con valori massimi del 16%.

In base alle conoscenze attuali la sequenza stratigrafica complessiva della Formazione nell'ambito del Bacino Terziario Piemontese è la seguente:

Messiniano inferiore

La parte basale della sequenza è costituita in prevalenza da sedimenti fini prevalentemente argilloso-marnosi. L'unità, che può raggiungere spessori dell'ordine dei 90 m, è costituita da argille marnose e argille siltose finemente laminate con livelli di calcari stromatolitici ("calcare di base"). Questo termine è riferibile in parte alla "Facies diatomitica" individuata da Sturani (1973, 1976) e segnalata lungo il Rio Torbido (La Morra), comprendente un'alternanza di sabbie fini con silt e argille laminate di color grigio cenere, che contengono numerosi frammenti carboniosi di vegetali. Sulla base dei dati disponibili, lungo il tracciato in progetto prevale la componente argilloso-marnosa della sequenza.

Messiniano medio

Comprende sia depositi detritici grossolani, che sedimenti a granulometria fine con gessi. I due termini generalmente non assumono potenze rilevanti in uno stesso sito. I terreni riferibili a deposizione chimica comprendono argille e limi-argillosi varvati di ambiente euxinico, a cui si intercalano lenti anche con dimensioni decametriche di selenite in grossi cristalli talora geminati. Questa unità è facilmente distinguibile sul terreno ed ha un'estensione areale considerevole, tuttavia la disposizione apparentemente caotica delle lenti gessose e l'assetto rimaneggiato spesso evidenziabile, non consentono il rilevamento di misure affidabili di giacitura. Per l'estrazione del gesso, utilizzato come materia prima per la produzione di legante, in passato furono aperte piccole cave in varie località dove affioravano i corpi gessosi con maggiori dimensioni. Sul versante collinare, gli affioramenti di questa unità giungono sino alla direttrice congiungente C. Pradonio e la Centrale di Verduno. Subito ad Est le argille marnose con gessi appaiono sostituite da sabbie fini limose con ghiaie simili a quelli descritti da precedenti autori nella zona della Morra (Sacco, 1989-90; Sturani, 1974; Sorzana, 1974). Questi depositi più grossolani sembrano in continuità con i gessi e, probabilmente, in parte li sostituiscono. L'unità ghiaioso-sabbiosa, inglobante a tratti anche conglomerati ben cementati, assume la maggiore importanza nella zona di crinale circostante La Morra, dove raggiunge i 70 m di spessore circa, con elementi anche superiori a 0.5 m. Procedendo verso Verduno questo intervallo si assottiglia rapidamente e a Nord dell'abitato tende a scomparire. In prossimità del contatto di tipo erosivo con le Marne di S. Agata (zona di C. Pradonio) sono presenti solo alcuni strati di sabbie fini limose, inglobanti ghiaie, con faune rimaneggiate di ambiente litoraneo. Questa facies compare in modo discontinuo al limite con le Marne di S. Agata ed è riferibile, probabilmente, ad ambienti di conoide deltizio o di scarpata sottomarina.

Messiniano superiore

Questa parte della sequenza, in cui Sturani (1973) descrive due facies, raggiunge la potenza di 20÷25 m, ma con completezza non è individuabile in affioramento nell'area di interesse. Verso il basso la sequenza comprende bancate di gesso primario a grana fine, laminato, inserite entro argille euxiniche varvate e ricche di solfati, con talora piccole lenti di selenite a grana grossa; una bella sezione in affioramento è visibile presso le "Rocche" sul Tanaro. La parte superiore, corrispondente alla cosiddetta "Facies a Congerie" (dal nome dei molluschi fossili che la caratterizzano quasi sempre), comprende una sequenza argillosa talora siltosa con stratificazione ben definita e notevole presenza di fossili (conchiglie e resti vegetali), interrotta alla sommità da uno straterello carbonioso.

Le litofacies descritte sono caratterizzate da una notevole variabilità laterale e verticale dipendente dal particolare ambiente di deposizione. Lo spessore massimo noto può raggiungere il centinaio di metri e risulta fortemente variabile, anche a distanza di poche decine di metri, sia in funzione dell'ambiente originario, sia per le deformazioni subite dai corpi sedimentari ancora nel bacino deposizionale e durante la successiva evoluzione tettonica del Bacino Piemontese. L'alternanza di unità a diverso comportamento geomeccanico, e in particolare, la presenza di corpi costituiti principalmente da gesso con spessori da alcuni metri a decine di metri, individua zone preferenziali di rottura e scorrimento che possono comportare alterazioni significative nella successione originaria con raddoppi di serie (per accavallamenti) e contatti anomali (per troncamento della serie o faglie) tra i vari termini. In corrispondenza del tracciato, la potenza complessiva dei termini riferibili a questa Formazione (argille marnose, limi argillosi e gessi) rilevata con le indagini geognostiche è dell'ordine dei 70 m, mentre i terreni con presenza di gesso rilevabile macroscopicamente assumono spessori prossimi a 60 m.

Le giaciture pur coerenti con l'assetto geostrutturale generale delle Langhe presentano una certa variabilità. Il settore medio-superiore del rilievo è caratterizzata da giaciture a franapoggio con immersioni NNO, NO, ONO, che sembrano evidenziare una tendenza nella direzione di immersione a disporsi da N ad O, procedendo da Verduno verso Ovest. A scala locale si riscontra, invece, una notevole dispersione delle giaciture, connessa sia ai caratteri originari della roccia, sia a deformazioni sin- e post-deposizionali, riferibili sia a fenomeni evolutisi a scala geologica (come la strutturazione del Bacino Piemontese), sia a eventi recenti (fenomeni gravitativi, deformazioni di tipo plastico connesse alla presenza dei corpi gessosi, e probabilmente ad attività tettonica recente). Le inclinazioni sono generalmente modeste, attorno a 8÷10°, con valori massimi di 15÷20°.

Nel settore inferiore, invece, oltrepassata l'area della zona industriale, dove le anomalie sono imputabili in gran parte alla presenza di una serie di frane importanti, le giaciture rilevabili evidenziano un assetto contrario, a reggipoggio, del piede della collina lungo il canale ENEL e la sponda destra del Tanaro sino alle Rocche. Le immersioni si dispongono a S - SE, con inclinazioni rilevanti (attorno a 40° e localmente superiori a 45°).

- **Argille di Lugagnano (Pa)** Età: 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 inclinato verso N-NO (3° - 5°). Lo spessore della Formazione raggiunge i 150 m.

In sponda sinistra l'unità affiora con continuità tra S. Vittoria e Bra, alla base del versante costituente la ripida scarpata che separa il fondovalle del Tanaro dalla pianura di Bra-Roreto. Sul lato destro della valle, 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. Altri piccoli lembi, con spessori modesti (metri poche decine di metri), si rinvengono sulle elevazioni minori nella zona della Cascina dello Spia.

- **Depositi alluvionali medio-recenti, recenti ed attuali (a6, a6', a7a, a7b)** Età: Pleistocene superiore - attuale.

Il tracciato del Lotto 2.6 interessa la sottile copertura alluvionale che si estende diffusamente lungo la Valle Tanaro a partire dalla Barriera di Verduno sino a Roddi (fine Lotto lato Asti), oltre ad un breve tratto all'inizio del Lotto lato Cuneo. Il tracciato in galleria non interessa i depositi alluvionali, se non per un breve intervallo nella zona dell'imbocco Est (lato Asti).

All'interno di questi termini, che rappresentano gli episodi più recenti della sedimentazione del F. Tanaro, è possibile operare una distinzione cronologica principalmente sulla base di criteri morfologici, in quanto la litologia non rappresenta un valido criterio discriminante. Nell'insieme la composizione granulometrica comprende, in prevalenza, sabbie e ghiaie, a tratti con ciottoli, con frazioni limose localmente ben espresse. Il suolo è di norma decisamente poco sviluppato (poche decine di cm) oppure assente, specialmente in prossimità dei corsi d'acqua.

Questi depositi sono caratterizzati da brusche variazioni laterali di facies e dall'associazione laterale di terreni a granulometria sostanzialmente diversa, come evidenziano le sezioni in affioramento, le stratigrafie dei sondaggi e le prospezioni geoelettriche. I depositi ghiaiosi e sabbiosi possono essere interpretati come il prodotto di barre fluviali formatesi in corsi d'acqua a canali incrociati (fiume tipo braided). I depositi argillosi corrispondono a fasi di disattivazione dell'asta fluviale con deposizione di sedimenti fini, principalmente per decantazione.

L'unità con spessore piuttosto costante e compreso in genere tra 6-8 m, sulla base dei dati acquisiti con i sondaggi e più a valle con la prospezione geoelettrica, può essere suddivisa in due orizzonti principali riconoscibili nell'intero tratto del fondovalle. La parte basale è caratterizzata dall'associazione di ghiaie e sabbie organizzate in corpi discontinui con giacitura marcatamente lenticolare. La parte superiore, con spessore prossimo ai 3 m, comprende principalmente terreni a granulometria fine (limi sabbiosi, localmente limi argillosi).

Al loro interno sono presenti varie superfici di erosione, ascrivibili a fenomeni di inondazione. Queste superfici hanno estensione e sono poste a profondità ridotte (alcuni metri al massimo), e delimitano inferiormente corpi sedimentari caratterizzati da ghiaie basali, sedimentate durante le fasi di piena, a cui succedono sedimenti più fini, come le sabbie e le argille, depostesi durante le fasi terminali della piena, con correnti a bassa energia.

La distribuzione dei depositi alluvionali segue l'andamento del fiume, costituendo una fascia che occupa l'intero fondovalle, con una larghezza generalmente compresa tra 1.5-2.0 km, ma che in corrispondenza di Pollenzo si amplia considerevolmente giungendo a superare i 3.5 km. Alla loro composizione si associano localmente alla base dei versanti collinari, in proporzione nettamente subordinata, i sedimenti relativi al

reticolo minore, la cui attività deposizionale attualmente appare limitata o caratterizzata da episodi sporadici.

All'interno dell'unità considerata nel suo complesso è stata operata una suddivisione utilizzando principalmente criteri morfologici e, per la parte più recente prossima al corso attuale del Tanaro, i dati cartografici e storici. In forma schematica si può osservare che le alluvioni medio-recenti costituiscono le superfici terrazzate e generalmente stabilizzate distribuite a quote diverse all'interno delle incisioni dei corsi d'acqua. Le alluvioni recenti, sebbene solo in parte a contatto con i canali di deflusso attivi attualmente, possono essere ancora potenzialmente interessate da processi di erosione e deposizione legati alla dinamica fluviale. I depositi attuali, infine, rappresentano i prodotti della sedimentazione in atto. Nel dettaglio sono stati distinti:

- **a6'** Depositi alluvionali relativi alla Valle del Talloria. Sabbie, ghiaie e limi, localmente con abbondante presenza di matrice limoso-argillosa. Presenza di sedimenti colluviali a granulometria limoso-argillosa provenienti dai versanti circostanti al piede delle scarpate. (Pleistocene superiore-medio). L'origine di questa unità è riferibile all'azione di modellamento di un corso d'acqua con bacino e caratteristiche idrauliche ben superiori al T. Talloria. Il torrente attuale possiede capacità di trasporto nettamente inferiori e svolge solo un'azione di rimodellamento dei depositi costituenti il colmamento del fondovalle. In corrispondenza della confluenza nella Valle del Tanaro, i depositi alluvionali riferibili alla Valle del Talloria si estendono con ampiezze sino a 700 m.

- **a6** Depositi alluvionali medio-recenti terrazzati relativi alla Valle del Tanaro. Sabbie, ghiaie e limi, con alla sommità suolo sviluppato con spessore sino a 2 m. Presenza di sedimenti eluvio-colluviali al piede delle scarpate. (Olocene - Pleistocene superiore).

- **a7a** Depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie e sabbie presenti nell'alveo di piena e nei tratti di asta fluviale attivi nel corso degli ultimi due secoli (XIX-XX). Questo termine comprende i sedimenti depositi o rimaneggiati dal Tanaro nelle fasi evolutive più recenti dell'alveo riconoscibili direttamente sulla cartografia di questo secolo e la documentazione d'archivio. La sua distinzione risulta fondamentale per la definizione delle possibili interferenze tra il tracciato autostradale e l'evoluzione della rete idrografica principale in un intervallo temporale confrontabile con la vita prevista dell'opera. Questi depositi, pur risultando isolati rispetto ai processi ordinari di dinamica fluviale, evidenziano le aree sede, spesso solo alcune decine di anni fa dei canali di deflusso principali e l'ampiezza del fondovalle interessato normalmente dai processi evolutivi del fiume.

- **a7b** Depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie e sabbie affioranti nel canale di deflusso ordinario. Nell'insieme gli affioramenti relativi ai depositi **a7a** e **a7b** si estendono con continuità sul fondovalle del Tanaro costituendo una fascia continua ampia da 500 m ad oltre 1000.

- **Depositi colluviali (C1)** Età: Olocene - attuale.

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 ($d_{max} = 10-20$ 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 maggiori, a granulometria limoso-argillosa (spessori anche dell'ordine della decina di metri), si rinvengono 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 Talloria. Sul versante ovest della collina di Verduno, nell'ambito degli affioramenti della Gessoso-Solfifera, accumuli rilevanti di sabbie fini limose, limi sabbioso-argillosi con rare ghiaie medio fini (spessori complessivi da alcuni metri a oltre 10 m) si rinvengono nei settori di versante configurati a bacini pressoché chiusi, come in particolare nella zona tra la C. Roggeri e la C. Dabbene.

- **Depositi di frana (Fr)** Età: Olocene - attuale.

Si tratta di accumuli a struttura caotica comprendenti terreni incoerenti a granulometria fine, frammenti di marne alterate, blocchi di substrato anche non alterato con potenza da metrica a decametrica. La delimitazione in profondità dei principali corpi di frana è spesso resa problematica dalle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni del substrato che non consentono campionamenti adeguatamente rappresentativi con le usuali tecniche di perforazione.

Nell'ambito dell'area di progetto, i depositi di maggiore rilevanza si rinvengono:

- alla base del versante nel tratto compreso tra il Mulino di Verduno e l'abitato di Toetto. In questa zona particolare rilevanza assume l'accumulo al margine della zona industriale, relativo alla estesa frana con zona di distacco a monte di C. Pradonio, che interessa la zona dell'imbocco galleria lato Asti. Il movimento, la cui attivazione è riferibile in misura determinante all'azione di scalzamento svolta da un antico alveo del Tanaro defluente al piede del versante (a monte della strada provinciale), coinvolge il substrato marnoso. Al piede del versante lo spessore complessivo dei terreni rimaneggiati e della coltre di alterazione del substrato varia tra 10÷20 m, mentre la superficie di scorrimento è stata rinvenuta a circa 30 m dal p.c..

- Al margine ovest dell'area compresa nella Carta Geologica, al di fuori della zona interessata dall'opera, un'ampia frana periodicamente attivata dall'azione erosiva del Tanaro coinvolge il versante sottostante la borgata San Michele, giungendo sino alla sponda destra del Fiume.

- Accumuli con dimensioni minori sono presenti nel settore inferiore del versante compreso tra le C. Roggeri e Nuova e il pendio degradante sul fondovalle.

La configurazione del versante collinare assume importanza fondamentale per la prima parte del Lotto, dove è prevista la realizzazione di una galleria lunga circa 3500 m. L'analisi geomorfologica evidenzia una struttura complessa riferibile a diversi assetti del substrato, che hanno condizionato l'azione dei successivi processi di modellamento gravitativi e connessi all'azione delle acque.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

In condizioni non disturbate la giacitura d'insieme delle unità del substrato (M4, M5 e Pa) è riferibile ad una struttura a monoclinale, con inclinazione limitata ($8\div 10^\circ$) e immersione variabile da NO a ONO, che impronta l'aspetto del rilievo collinare caratterizzato da uno spartiacque principale ed un profilo nettamente asimmetrico (versante a reggipoggio ripido verso SE e con pendenza blanda sul lato a franapoggio verso NO). Elementi relativi all'originario spartiacque si rilevano alla sommità del rilievo, attualmente posta tra le quote di 350 e 550 m slm, in prossimità di Verduno e La Morra-Bric del Dente. Alla base del versante la piana alluvionale del Tanaro si sviluppa tra i 190÷200 m slm.

Per facilitare la comprensione della trattazione, di seguito si fa riferimento a vari toponimi di uso comune nell'area, relativi a insediamenti ormai consolidati o a strutture facilmente riconoscibili (quali ad esempio il nuovo cimitero di Verduno). Procedendo da Est verso Ovest, la configurazione complessiva del versante, rilevata sul terreno e tramite l'analisi aerofotogeologica, evidenzia settori, anche adiacenti, con assetti completamente diversi; i principali sono:

- a) - la dorsale Roddi - Cascina Fava (posta circa 1 km a est di Verduno);
- b) - il settore a ovest dalla Cascina Fava, comprendente la Cascina Pradonio, sin quasi all'abitato di Verduno;
- c) - il tratto di versante che si estende a nord dell'abitato di Verduno, e verso ovest sino in corrispondenza del cimitero;
- d) - il settore compreso tra il cimitero di Verduno, la borgata S. Michele (Cherasco) ed il fondovalle del Tanaro;
- e) - il pendio ad ovest di S. Michele, rapidamente degradante verso l'alveo del Tanaro.

I relativi caratteri principali, vengono di seguito delineati:

a) - Tra Roddi e Verduno, in corrispondenza dell'affioramento delle Marne di S. Agata, il pendio si presenta piuttosto regolare, sebbene ricoperto con continuità da terreni rimaneggiati di origine eluvio-colluviale misti a depositi di frana. Localmente si rilevano, in particolare alle quote inferiori, tratti con profilo convesso, riferibili a zone di rilassamento e a movimenti gravitativi di maggiori dimensioni.

b) - Il settore subito ad est di Verduno comprende la zona dell'imbocco lato Asti ed il tratto di galleria naturale adiacente. L'insieme dei dati di sottosuolo e superficiali, integrato con gli studi geologici svolti precedentemente, evidenzia come l'intero versante, dai pressi del crinale spartiacque di Verduno sino al fondo valle del Tanaro, risulti deformato da due grandi movimenti franosi, probabilmente di tipo complesso. La zona di distacco della frana più ampia corrisponde alle scarpate morfologiche che dal margine Nord di Verduno degradano rispettivamente verso la Cascina Montemiglietto e seguendo lo spartiacque passano a monte di Cascina Pradonio.

Al suo interno, una seconda grande frana è stata rilevata tra la scarpata morfologica che borda la strada di accesso a Verduno e la scarpata che segue il crinale.

Un'ulteriore evidente frana attiva è presente proseguendo sul versante Ovest verso Toetto. Risalto morfologico, andamento rettilineo e continuità evidenziano il controllo operato dalle caratteristiche geostrutturali dell'ammasso nell'improntare le scarpate



principali. I settori principali in contropendenza evidenziano aree coinvolte da scorrimenti di tipo rotazionale che hanno portato localmente la superficie topografica a disporsi con immersione contraria all'assetto del versante.

Le due grandi frane coinvolgono, oltre alla coltre superficiale ed all'orizzonte di roccia alterata, il substrato in posto. Questo elemento evidenziato dalle scarpate principali è stato verificato con lo scavo di trincee esplorative e confermato nel sottosuolo dalla stratigrafia PS1-15 (indagini Regione Piemonte 1999). Il sondaggio eseguito in prossimità della pianura, al di sotto dei terreni superficiali ha riscontrato un blocco di marne inalterate sovrapposto a depositi alluvionali medio-recenti (a6) tra le profondità di 26.5÷29.3 m. L'assetto è stato confermato dai nuovi sondaggi SFG 21, SFG 27 e SFG 30, eseguiti appositamente nella zona dell'imbocco Est (Lato Asti). Questi elementi evidenziano la configurazione del corpo di frana e l'andamento profondo della superficie di scorrimento nella parte basale del versante. Il riconoscimento della prosecuzione di questa superficie e di altre eventuali discontinuità nel substrato, in assenza altri depositi intercalati, è problematico per la qualità dei carotaggi ottenibili su queste litologie. E' verosimile che i bassi valori di resistenza alla punta (< 500kPa) ottenuti tramite pocket penetrometer anche a profondità rilevanti, siano riferibili a zone di deformazione della roccia. Sulla base della configurazione complessiva è ipotizzabile che lo spessore coinvolto dalle due frane principali sia dell'ordine dei 30 m alla base del pendio, dove giungono a coinvolgere i depositi alluvionali antichi, e raggiunga almeno i 50÷60 m nella parte superiore del versante. La direzione principale di questi movimenti è disposta verso Nord.

Le zone c) e d) corrispondono alla maggior parte dello sviluppo della galleria, sia per quanto riguarda il tratto in naturale, che la galleria artificiale sul lato Cherasco.

c) - A Ovest di Verduno, il rilievo risulta notevolmente irregolare, e caratterizzato dal susseguirsi di avvallamenti, dossi, contropendenze, scarpate, depressioni chiuse, distribuite in apparenza senza alcuna regolarità. La configurazione descritta è riconducibile all'azione combinata di due processi evolutivi principali connessi rispettivamente alla dissoluzione dei corpi gessosi ed alla gravità.

La dissoluzione dei livelli e inclusi gessosi ad opera delle acque di infiltrazione determina la formazione di cavità e forme di sprofondamento che, in superficie, danno origine a depressioni chiuse o aperte che spesso condizionano lo scorrimento delle acque superficiali. La diffusa presenza, seppure con distribuzione del tutto irregolare, e gli elevati spessori complessivi dei gessi ha portato allo sviluppo di forme superficiali di grandi dimensioni che drenano ampi settori di versante (anche dell'ordine del chilometro quadrato). L'evoluzione delle cavità, e conseguentemente delle forme superficiali, ha portato a ulteriori deformazioni nell'ambito della Formazione gessoso-solfifera per dislocazione dei lembi di marne residuali, loro cedimento e sviluppo di forme di subsidenza. Cavità, condotti e porzioni di ammasso deformati per il cedimento della volta di grotte sono stati riscontrati ampiamente con le campagne di indagine condotte.

L'andamento della topografia è coerente anche con la dislocazione di parte del substrato argilloso-marnoso a seguito di movimenti di scivolamento planare o roto-traslativo. L'azione erosiva del Tanaro alla base della collina, esplicitasi successivamente alla diversione del suo corso e al rapido approfondimento dell'alveo, può aver svolto un'azione fondamentale per l'attivazione dei movimenti.



d) - Aspetti completamente diversi presenta il settore compreso tra il cimitero di Verduno, la borgata S. Michele (Cherasco) ed il fondovalle del Tanaro. Il substrato assume un assetto scompaginato, frammentato in blocchi dislocati e ruotati fra loro. All'interno di ogni singolo blocco (con dimensioni dell'ordine delle decine-centinaia di metri) si conserva parte della originaria successione litologica, ma le giaciture possono aver subito deformazioni rilevanti. La frammentazione del substrato è evidenziata dall'andamento delle piccole dorsali presenti sul versante, il cui crinale assume direzioni variabili (N-S, E-O, ecc.), anche nettamente diverse da quella del crinale principale. La presenza di una coltre pressoché continua di depositi di alterazione, colluviali e connessi a movimenti superficiali maschera la disposizione attuale di questi blocchi. Lo sviluppo della galleria interessa una serie di discontinuità rilevanti, individuate dai rilievi di superficie, che condizionano la morfologia di un ampio tratto della collina, dove il substrato appare frammentato in una serie di blocchi dai limiti netti e piuttosto regolari. Questo assetto risulta particolarmente evidente nel settore compreso tra il Mulino di Verduno, le borgate Cogni e Garassini, la Cascina dello Spià e il Canale ENEL decorrente al margine della piana del Tanaro. L'ampia continuità areale (le tracce di alcune superfici sono evidenti per più di 1 km) e l'andamento rettilineo, che presuppone una disposizione subverticale della superficie indicano una probabile origine tettonica di queste discontinuità. Il loro sviluppo, infatti, non risente neanche delle grandi forme di sprofondamento connesse alla dissoluzione dei corpi gessosi, anzi le forme di modellamento carsico sembrano disporsi secondo allineamenti impostati lungo queste zone di fratturazione preferenziale. In alcuni tratti la superficie topografica subpianeggiante appare ruotata verso monte e questo si associa ad un analogo basculamento delle giaciture del substrato (sono state rilevate immersioni verso SE, al margine inferiore del versante). L'andamento del margine del rilievo collinare, inoltre, sembra evidenziare una tendenza al rilassamento del settore inferiore del versante ed a una sua espansione verso N e NE. Lo stesso reticolo minore defluente verso la valle del F. Tanaro risulta notevolmente inciso, con brusche variazioni di direzione e tendenza all'approfondimento.

I fenomeni carsici hanno svolto, e svolgono tuttora, un'azione di modellamento rilevante, ma non consentono da soli di spiegare in modo completo l'assetto del versante. In particolare, la distribuzione delle cavità e depressioni superficiali dovrebbe rimodellare il versante rispecchiando la distribuzione dei corpi solubili e le vie di scorrimento idrico sotterraneo, ma obliterando le originali giaciture. La regolare distribuzione di depressioni e dorsali evidenzia, invece, la presenza di una struttura a blocchi dislocati che condiziona in superficie la topografia e, in profondità, anche la circolazione idrica sotterranea. I dati disponibili evidenziano, nonostante la prevalente composizione marnoso-argillosa delle litologie presenti, una circolazione idrica sotterranea non trascurabile estesa a scala dell'intero versante. Le depressioni chiuse drenano ampi settori di versante che alimentano, spesso tramite evidenti inghiottitoi, l'infiltrazione lungo zone di frattura. Le sorgenti poste alla base del versante con deflusso perenne sono caratterizzate da un elevato tenore in solfati. E' evidente che il bacino di alimentazione si estende a livello del versante e la circolazione sotterranea svolge una costante azione di rimozione delle sostanze solubili.

Nella cartografia del rischio geologico della Regione Piemonte, il settore corrisponde in parte ad un'ampia zona di frana quiescente, la stessa informazione è riportata, sia pure con modifiche nei limiti, nel Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) elaborato dall'Autorità di Bacino del F. Po. Il quadro conoscitivo ottenuto non appare suffragare tale ipotesi, in quanto, ad eccezione dei movimenti della coltre e di porzioni minori del substrato, l'assetto morfologico complessivo non è riferibile ad un movimento che abbia coinvolto l'intero versante, non sono state rilevate evidenze di importanti superfici di scorrimento profondo e l'assetto delle principali discontinuità individuate sembra evidenziare una loro origine tettonica.

9. INDAGINI ESEGUITE

L'indagine geognostica si è articolata in varie fasi, in sito ed in laboratorio, ed è stata mirata all'affinamento del modello geologico e geotecnico dell'area oggetto di intervento. Lo studio è stato rivolto, in particolare, alla comprensione della successione stratigrafica, alla definizione dei litotipi presenti, delle loro caratteristiche mineralogiche, geologiche e geotecniche, dei loro spessori e dei rapporti stratigrafici. In relazione alle variazioni della morfologia dell'area nell'ultimo secolo, connesse agli interventi antropici relativi all'attività estrattiva ed alla dinamica fluviale del F. Tanaro, è stata anche svolta un'analisi dettagliata dell'evoluzione recente dell'area, tramite rilievi sul terreno, acquisizione di informazioni in sito, consultazione della cartografia e della bibliografia.

9.1 INDAGINI IN SITO

Nell'area interessata dall'opera sono state eseguite diverse campagne d'indagine comprendenti sondaggi a carotaggio continuo con prelievo, nel corso delle perforazioni, di campioni indisturbati e di campioni rimaneggiati, pozzetti esplorativi, prove penetrometriche dinamiche, prove pressiometriche, prove di permeabilità, prove di carico su piastra in pozzetto, prove di laboratorio sui campioni indisturbati e su quelli rimaneggiati. La maggioranza dei fori è stata attrezzata con piezometro.

In particolare sono state eseguite le seguenti indagini:

- n. 46 sondaggi a carotaggio continuo, appartenenti alla campagna geotecnica 1998, spinti a profondità variabili fra 10 e 40 m dal p.c., denominati 1V, 2V, ASP3, 3AV, ASP4, 3V, 3BV, 3CV, 5V, 4V, 5AV, 5BV, 5CV, 7V, G4, 6V, 9V, G2, 9AV, 8V, 10V, 11V, 12V, 10AV, 13V, 14V, 13VI, 12VI, 11VI, 10VI, G3, SPD26-01, SPD26-02, SPD26-03, SPD26-04, SPD26-05, SPD26-06, SPD26-07, SPD26-09, SPD26-10, SPD26-11, SPD26-12, SPD26-13, SPD26-14, SPD26-15, SPD26-16;
- n. 63 sondaggi a carotaggio continuo, appartenenti alla campagna geotecnica integrativa 2000-2001, spinti a profondità variabili fra 20 e 125 m dal p.c., denominati SPE27-11, SPE27-20, SFG1, SFG2, SFG3, SFG4, SFG5, SFG6, SFG7, SFG8, SFG9, SFG10, SFG11, SFG12, SFG13, SFG14, SFG15, SFG16, SFG17, SFG18, SFG19, SFG20, SFG21, SFG22, SFG23, SFG24, SFG25, SFG26, SFG27, SFG30, SFG31, SFG32, SFG33, SFG34, SFG35, SPE26-01, SPE26-02, SPE26-03, SPE26-04, SPE26-05, SPE26-06, SPE26-07, SPE26-08, SPE26-09, SPE26-10, SPE26-11, SPE26-13, SPE26-14, SPE26-15, SPE26-19, SPE26-20, SPE26-21, SPE26-22, SPE26-23, SPE26-24, SPE26-25, SPE26-26, SPE26-27, SPE26-28, SPE26-29, SPE26-30, SPE26-31, SPE26-32;

Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, sono stati prelevati campioni indisturbati e campioni rimaneggiati e sono state eseguite in avanzamento prove penetrometriche dinamiche SPT, prove pressiometriche, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove con il pocket penetrometer.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Sono stati inoltre eseguiti n. 2 sondaggi a distruzione con registrazione dei parametri di perforazione, appartenenti alla campagna geotecnica integrativa, spinti alla profondità di 50 e 60 m da p.c., denominati DFG01, DFG02.

La maggioranza dei fori è stata attrezzata con tubo piezometrico a tubo aperto o con cella Casagrande, ad acquisizione manuale o automatica.

- n. 18 prove penetrometriche dinamiche, appartenenti alla campagna geotecnica 1998, spinte a profondità variabili da 9 a circa 13 m dal p.c., denominate PVA, PVA1, PVA2, PVB, PVB1, PVB2, PVB3, PVB4, PVC, PVD, PVH, PVI, PVL, PVM, PVN, PVO, PVO1, PVO2.
- n. 3 "moduli" di indagini sismiche di tipo tomografico.
- n. 46 pozzetti esplorativi, appartenenti alla campagna geotecnica integrativa 2000-2001, spinti a profondità variabili fra 0.3 e circa 4 m dal p.c., denominati EPE26-01-EPE26-10, EPE26-12 - EPE26-36, EPE26-43, EPE26-45, EPE26-48, EPE26-50, EPE26-53, EPE26-55, EPE26-56, EPE26-58, EPE26-61, EPE26-62, EPE26-65.
- n. 25 prove di carico su piastra in pozzetto
- n. 4 sondaggi a carotaggio continuo, appartenenti alla campagna geotecnica 2009, spinti alla profondità di 30 m dal p.c., denominati S1, S2, S3, S4.
- n. 4 sondaggi appartenenti alla campagna geotecnica 2011-2012, attrezzati per prove down hole e denominati DH2, DH3, DH5, DH7
- n. 24 sondaggi appartenenti alla campagna geotecnica 2011-2012, attrezzati con clinometro e denominate SOT-CH-010, SOT-MO-020, SOT-MO-030, SOT-MO-040, SOT-MO-045, SOT-MO-047, SOT-MO-048, SOT-MO-072, SOT-MO-073, SOT-MO-074, SOT-MO-075, SOT-MO-085, SOT-MO-090, SOT-VE-002, SOT-VE-020, SOT-VE-025, SOT-VE-030, SOT-VE-035, SOT-VE-040, SOT-VE-050, SOT-VE-070, SOT-VE-075, SOT-VE-080, SOT-VE-100
- n. 63 sondaggi appartenenti alla campagna geotecnica 2011-2012, attrezzati con piezometro e denominate IOM-AB-010, IOM-MO-040, IOM-MO-050, IOM-MO-050bis, IOM-MO-051, IOM-MO-054(G), IOM-MO-054(G)bis, IOM-MO-054(M), IOM-MO-055, IOM-MO-055bis, IOM-MO-065(G), IOM-MO-065(M), IOM-MO-065(M)bis, IOM-MO-070, IOM-MO-070bis, IOM-MO-090, IOM-RO-010, IOM-RO-090, IOM-VE-011, IOM-VE-014(G), IOM-VE-014(M), IOM-VE-015(G), IOM-VE-015(M), IOM-VE-025, IOM-VE-045, IOM-VE-045bis, IOM-VE-050, IOM-VE-050bis, IOM-VE-060, IOM-VE-061, IOM-VE-075(G), IOM-VE-075(M), IOM-VE-085, IOM-VE-090, IOM-VE-100, IOM-VE-105, IOM-VE-115, IOM-VE-165, IOM-VE-170, IOM-VE-180, IOM-VE-185, IOV-AB-010, IOV-CH-020, IOV-MO-010, IOV-MO-045, IOV-MO-052, IOV-MO-053, IOV-MO-060(G), IOV-MO-060(M), IOV-MO-066, IOV-MO-066bis, IOV-RO-010, IOV-RO-040, IOV-VE-010, IOV-VE-011, IOV-VE-013, IOV-VE-016, IOV-VE-016bis, IOV-VE-040(G), IOV-VE-040(M), IOV-VE-046, IOV-VE-190

9.2 INDAGINI IN LABORATORIO

Sui campioni prelevati a diverse profondità, significative ai fini della progettazione dell'opera, sono state eseguite una serie di prove di laboratorio finalizzate alla caratterizzazione mineralogica, fisica e meccanica dei terreni presenti.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati hanno consentito di ottenere informazioni circa:

- natura e caratteristiche fisiche dei terreni;
- parametri di resistenza al taglio in condizioni non drenate (c_u);
- parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate (Φ' e c');
- parametri di compressibilità e deformabilità;
- parametri di permeabilità.

In particolare, dopo avere provveduto alla descrizione geotecnica dei campioni indisturbati (D_c), sono state eseguite in modo sistematico:

- prove per la determinazione del peso dell'unità di volume totale (γ);
- prove per la determinazione del peso specifico dei grani (G_s);
- prove per la determinazione del contenuto d'acqua (w_N);
- prove per la determinazione dei limiti di Atterberg (w_L , w_P);
- analisi granulometriche ed aerometriche (G_r);
- classificazione U.S.C.S.;
- prove per la determinazione del contenuto di carbonati ($CaCO_3$);
- prove edometriche ad incrementi di carico ($EdoIL$);
- prove triassiali non consolidate non drenate (T_xUU);
- prove triassiali consolidate drenate (T_xCID);
- prove di compressione ad espansione laterale libera;
- prove di taglio diretto (TD).

Sui campioni rimaneggiati sono state determinate le proprietà indice e la distribuzione granulometrica e sono state eseguite analisi mineralogiche mediante diffrattometria a raggi X. Sono inoltre state eseguite analisi chimiche volte alla valutazione dell'aggressività delle acque solfatice e dei terreni gessosi nei confronti dei calcestruzzi.

Per ciascun sondaggio sono riportati i seguenti dati:

- sigla del campione
- profondità del campione



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

- composizione granulometrica (S sabbia, L limo, A argilla)
- caratteristiche di plasticità (limite liquido w_L , limite plastico w_P , indice di plasticità IP e indice di consistenza IC)
- contenuto di carbonati
- peso di volume naturale
- contenuto naturale d'acqua
- indice dei vuoti
- peso specifico dei grani
- grado di saturazione
- risultati delle prove edometriche
- resistenza al taglio non drenata ricavata da prove speditive con il pocket penetrometer e da prove triassiali
- resistenza al taglio in termini drenati ricavata da prove triassiali e da prove di taglio diretto
- resistenza a compressione da prove di compressione monoassiale.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica generale.

10. PARAMETRI GEOTECNICI DELL'AREA DI PROGETTO

Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici relativi all'area di progetto.

Da p.k. 0+000 a p.k. 0+530 e tra 3+800 p.k. a p.k. 8+887

Litologia	γ kN/m ³	c' kPa	c_u kPa	ϕ' °	E' MPa	Unità Geotecnica
Limo sabbioso	18	15	50	25	10	3b
Ghiaia sabbiosa	18	0	0	33	35	3a
Marna argillosa	21	50	700	30	30/50-100 crescente con la profondità	7
Gessi	19.5	20	>150	28	30-50	6
Argille di Lugagnano	20	5	>100	28	25	5a

Da p.k. 0+530 a p.k. 3+800 (Galleria naturale)

PARAMETRI	Coperture 4	Limi sabbiosi 5	Gessi 6	Marna Argillosa 7
γ (KN/m ³)	19-20	19.5	20	21
Dr (%)				
ϕ_p (°)	28-35	27-35	23-25	25
ϕ_r (°)				
c'_p (kPa)	0-10	5-10	30-40	50-100
c'_r (kPa)				
c_u (kPa)			400-800	800-1200
E'_p (MPa)	15-20	15-25	10-25 150-250	45-65 150-250
E'_r (MPa)				
ν	0.3	0.3	0.25	0.25

Da p.k. 8+887 a p.k. 9+800

Litologia	γ kN/m ³	c' kPa	c_u kPa	ϕ' °	E' MPa	Unità Geotecnica
Limo sabbioso	17	0	0	28	5	3b
Ghiaia sabbiosa	18	0	0	30	40	3a
Marna argillosa	21	10	700	24- 26	50/250 crescente con la profondità	7

11. EVOLUZIONE RECENTE DEL FONDOVALLE

Nell'ambito del Lotto 2.6 il fondo dell'alveo del Tanaro, attualmente con caratteristiche di tipo monocursale, inciso per tratti rilevanti direttamente sul substrato terziario (costituito in prevalenza dalle Marne di S. Agata Fossili e in misura minore dalle marne con gessi della Formazione Gessoso-Solfifera) evidenzia una tendenza allo sviluppo dei processi erosivi con conseguente rilevante approfondimento del canale di deflusso ordinario. Questo quadro evolutivo risulta sensibilmente diverso dall'assetto del fondovalle relativo al passato recente (ultimi 2÷3 secoli), ricostruibile attraverso la cartografia e la documentazione storica, la distribuzione degli insediamenti e delle vie di comunicazione. Sulla base dei rilevamenti di terreno, dell'interpretazione aerofotografica, dell'esame della cartografia e della revisione critica degli elaborati prodotti per lo sviluppo delle precedenti fasi progettuali, sono stati ricavati i principali elementi relativi all'attività del corso d'acqua principale. In particolare, sono state individuate le forme fluviali relitte, relative a precedenti percorsi fluviali, quali:

- canali fluviali abbandonati che conservano ancora una netta evidenza topografica;
- tracce di paleoalveo, identificabili nelle riprese aerofotografiche, ma caratterizzati da minime discontinuità morfologiche;
- zone morfologicamente depresse rispetto ai settori di pianura circostanti che svolgono un ruolo preferenziale nella propagazione delle acque di esondazione e nel loro ristagno.

La ricostruzione delle principali variazioni di percorso del F. Tanaro verificatesi a partire dalla seconda metà dell'Ottocento è stata elaborata principalmente sulla trasposizione delle informazioni contenute nelle varie edizioni della Carta Topografica d'Italia a scala 1:25.000 dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGM), integrate con la consultazione dei documenti di archivio relativi agli interventi di protezione idraulica eseguiti dall'Ufficio del Genio Civile nel corso di questo secolo.

I percorsi fluviali più antichi ricostruiti, sono relativi al 1826-27, quando vennero eseguiti i rilevamenti topografici per la Gran Carta degli Stati Sardi di Terraferma. Il primo quadro completo è tratto dall'edizione a scala 1:50.000 della Gran Carta del 1852, caratterizzata da un'accurata rappresentazione del rilievo ed un'ottima grafica. La situazione successiva rappresenta sulla base dei rilievi delle Tavolette Alba, Bra e Cherasco l'assetto della vallata alla fine dell'Ottocento (rilievi originali del 1879-80) e nei primi decenni del Novecento (ricognizioni generali del 1922-24 e aggiornamenti parziali del 1964-65, limitati alle strade, impianti industriali, altri particolari di rilevanza militare. Nelle carte 2.6E-dB.1.2 i percorsi degli alvei ricostruiti (per brevità indicati come relativi rispettivamente agli anni 1879-80 e 1922-24) sono rappresentati con diverse retinature. Con tratto analogo, ma più intenso, sono riportati anche i depositi fluviali presenti sulle sponde o costituenti isole in alveo o al margine, non colonizzati dalla vegetazione al momento del rilievo della carta. La composizione granulometrica di questi sedimenti, ricavata dai documenti d'archivio e dalle fotografie d'epoca, è prevalentemente ghiaioso-sabbiosa. La delimitazione di questi depositi è fondamentale per delimitare in modo rappresentativo l'ampiezza del campo di attività fluviale nei diversi periodi.

L'assetto attuale del fondovalle è rappresentato dalla base cartografica utilizzata, derivante dalla restituzione aerofogrammetrica del volo del Novembre 1997 appositamente eseguito nell'ambito del Progetto per il collegamento autostradale.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Con riferimento alle attività antropiche di principale interesse per la valutazione delle problematiche connesse alla realizzazione del tracciato autostradale e all'evoluzione degli eventi di piena sono state individuate:

- le aree interessate in passato da attività estrattiva per la produzione di inerti, che hanno subito profonde modifiche nell'assetto morfologico;
- gli impianti di lavorazione attualmente in funzione;
- le canalizzazioni principali a scopo irriguo o industriale;
- le opere di difesa spondale costruite o ripristinate successivamente all'evento meteorologico del 5-6 novembre 1994;
- altre opere principali di difesa spondale, in alcuni casi impostate nel corso dell'Ottocento, che evidenziano l'originaria configurazione del fondovalle.

Il Tanaro, come gran parte dei principali corsi d'acqua del bacino padano, era caratterizzato da un alveo pluricursale, con diversi canali di deflusso presenti contemporaneamente e attivi (o attivabili) nel corso delle piene. Il campo di divagazione complessivo dell'alveo, era piuttosto ampio superando spesso il chilometro. Tratti di alveo pluricursale sono ancora rilevabili, nel tratto di fondovalle in esame, nelle riprese aerofotografiche del Volo GAI (1954).

Gli elementi di maggiore rilievo individuati sulla cartografia della prima metà dell'Ottocento sono:

- evidente corso pluricanale del Tanaro lungo l'intero tratto della Valle da Cherasco ad oltre Alba, con ampie isole e barre interposte ai canali di deflusso. In questa configurazione gli alvei, potendo divagare nel tratto di fondovalle più recente, presentavano un decorso molto più regolare con andamento abbastanza sinuoso e assenza di brusche variazioni di direzione (come ad es., il gomito attuale in corrispondenza del ponte di Verduno). Queste ultime in caso di piene rilevanti rappresentano zone critiche per la sicurezza del fondovalle, costituendo vie preferenziali di tracimazione con flussi idrici ad elevata energia. La comparsa di tratti di alveo con repentine variazioni di direzione, rilevabile già alla fine dell'Ottocento è connessa alla "cristallizzazione" artificiale del corso del Fiume a seguito della realizzazione degli attraversamenti fissi e delle arginature a protezione delle coltivazioni;

- presenza di un ramo minore del Tanaro a NO del corso attuale che bordava per circa 3 km la base del terrazzo di Pollenzo, l' "Isola" interposta tra i due alvei si estendevano per circa 2 km². Tutta questa zona viene bonificata nel 1842-44 per destinarla a coltivazioni nell'ambito della Tenuta Reale di Pollenzo. Il ramo sinistro del Fiume è occluso con imponenti arginature che si estendono anche lungo le sponde dell'Isola;

- in sponda destra un ramo del Tanaro scorre a ridosso del piede del versante nel tratto tra il Mulino di Verduno e la zona industriale, giungendo a lambire il canale di Verduno in corrispondenza della strada comunale che risale verso Verduno.

A questa configurazione naturale si associava una distribuzione della presenza antropica radicalmente diversa dall'odierna. La cartografia IGM, con aggiornamenti completi riferibili agli anni Venti del Novecento, evidenzia una pianura alluvionale



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

praticamente priva di insediamenti significativi nelle zone poste a quote minori, soggette ai fenomeni di dinamica fluviale. In questo settore delimitato nell'insieme in sponda sinistra dal percorso della S.S. n. 231 e, in destra, dal limite morfologico individuato dal perimetro esterno del centro storico di Alba - il Cimitero - S. Cassiano - C. Gallino - Mulino di Roddi, compaiono soltanto singole cascate isolate, poste in genere in posizione leggermente sopraelevata rispetto alla pianura circostante. Sono ben identificabili le zone depresse, come l'ampio settore compreso tra C. Gallino, le Basse e S. Cassiano, sede preferenziale di propagazione e di ristagno delle acque di esondazione. Nell'alveo del Tanaro si riconoscono, oltre all'alveo di magra, altri tratti di canale attivabili durante le piene, isolotti fluviali impostati nei sedimenti alluvionali non fissati, ampie estensioni di depositi non colonizzati dalla vegetazione su entrambe le sponde. Nel complesso, nelle zone a monte di Alba, l'alveo impostato nei sedimenti recenti si estende con un'ampiezza dell'ordine di $300 \div 500$ m. Nel tratto compreso tra Cherasco ed Alba, le uniche opere stabili di attraversamento sono rappresentate dal ponte sospeso di Pollenzo (costruito nel 1846-48 in adiacenza all'attuale ponte stradale, venne distrutto alla fine della seconda guerra mondiale) e dal ponte promiscuo stradale e ferroviario situato in corrispondenza del nucleo storico di Alba.

In questo contesto gli effetti di una piena, anche rilevante, risultavano sensibilmente diversi dagli attuali. Una porzione rilevante del fondovalle, costituiva un bacino naturale di laminazione attraverso l'attivazione di vari canali di deflusso, con rilevante ampiezza delle sezioni complessive, e l'esondazione su ampi tratti della pianura. La cartografia IGM a scala 1:25.000 documenta in modo sufficientemente rappresentativo l'assetto del fondovalle ancora all'inizio degli anni '60, in considerazione che risale a questi anni la ricognizione degli elementi importanti.

I processi di trasformazione del paesaggio fisico, le cui evidenze sono rilevabili in questo tratto della Val Tanaro a partire dalla seconda metà dell'800, raggiungono il culmine a partire dalla fine anni '60 e sono direttamente riferibili in misura preponderante all'intenso sviluppo delle attività antropiche nel fondovalle. Inizialmente la necessità di proteggere gli unici attraversamenti stabili, costituiti dal ponte sospeso di Pollenzo e dal ponte stradale e ferroviario di Alba, in un ambiente fluviale di elevata energia caratterizzato da processi di dinamica fluviale estremamente rapidi e, in seguito, l'acquisizione di terreni coltivabili -inizio '900, la realizzazione di nuovi insediamenti, infrastrutture e lo sviluppo dell'attività di cava per inerti - seconda metà '900, comporta la costruzione di un sistema di opere di difesa idraulica, che determinano il confinamento del fiume in un canale unico e la progressiva riduzione del suo ambito. A questo si sommano i mutamenti nel regime dei deflussi connessi alla trasformazione dell'uso del suolo nei territori collinari e montani, e la variabilità degli apporti meteorici connessi alla tendenza ad una maggiore concentrazione delle precipitazioni.

La realizzazione alla metà dell'800 del ponte di Alba ha svolto un ruolo importante nel condizionare l'evoluzione del corso del Tanaro in prossimità della città e, di conseguenza, lo sviluppo degli insediamenti recenti. Costruito come ponte stradale nel 1847-49 per assicurare il collegamento con la Strada per Bra (l'attuale S.S. 231), nel 1864 viene allargato per consentire anche il transito della ferrovia Alessandria - Cavallermaggiore e ancora ampliato nel 1875 per aumentarne la superficie carreggiabile. Allo scopo di proteggere sia l'opera di attraversamento dalla tendenza dell'alveo a divagare, sia la città e la borgata Mussotto dalle esondazioni provocate dalla riduzione nella sezione di deflusso dovuta ai rilevati di accesso al ponte, vennero eseguite in diverse fasi estese arginature. Le opere di difesa, collegate al ponte sul lato di monte, si estendevano lungo il fiume per circa 400 m in sinistra e per quasi 1 km in destra. Ben visibili sulla Carta IGM aggiornata al 1897, oltre a difendere le costruzioni e la sponda destra costituivano delle vere e proprie casse di colmata in area golenale



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

che, progressivamente, determinarono l'accumulo di depositi alluvionali su entrambe le sponde. L'aggradazione laterale e verticale delle sponde nel corso della fine '800-'900 comportò una "effimera" stabilizzazione dell'alveo in corrispondenza del ponte e, soprattutto, il restringimento della sezione.

I tracciati degli argini, lunghi complessivamente 2960 m e disposti in direzione sia longitudinale che perpendicolare all'alveo, sono ancora intuibili in parte nella Tavoleta IGM aggiornata nel 1965, ma scompaiono invece nella Carta Tecnica Regionale (1991), obliterati dai nuovi edifici residenziali e industriali.

Nelle aree delle vecchie casse di colmata sono sorte a partire dagli anni '70 l'ampliamento dello Stabilimento Ferrero con le infrastrutture di servizio (tra cui l'adiacente Centrale elettrica), parte del tracciato della Tangenziale e, in particolare, gli svincoli in direzione Torino e Bra.

Il ponte di Alba costituito da 7 campate aveva in origine una ampiezza complessiva utile per il deflusso di circa 170 m, un valore analogo si rileva dall'IGM1897 e ancora nel 1945 le foto d'epoca mostrano le luci delle 7 campate libere.

Nella Carta Tecnica Regionale basata sulle riprese aeree del 1991 l'alveo risulta ampio solo 110 m. A seguito della rilevante erosione in sponda sinistra manifestatasi durante la piena del novembre 1994 la sezione di deflusso si è ampliata a 130 m circa e tale è tuttora. L'intera arcata esterna sinistra rimane completamente ostruita, con passaggio alla base di una strada, e parte di quella adiacente è ingombrata da detriti.

Sempre a partire dalla seconda metà dell'800 vennero realizzate importanti opere a protezione delle lunate a monte e valle di C. Topino (in destra), di C. Socchi e Mussotto (in sinistra), successivamente ripristinate e ampliate sino a costituire parte di un sistema organico di difese idrauliche (Destefanis, 1928). La tecnica di regimazione si basava su difese saltuarie, costituite da pennelli isolati sommergibili a comportamento elastico (gabbionate di ciottoli). Il complesso di interventi realizzati, si estendeva nel 1928 fino ad oltre Farigliano ed anche lungo lo Stura di Demonte. I principi ispiratori di questa tipologia sono l'impossibilità di costringere il fiume in un alveo ben delineato e ristretto, sia per la sua tendenza alla divagazione, sia per la pendenza ancora accentuata ed il regime idraulico tipicamente torrentizio. Proprio questi elementi comportano la necessità di rispettare le aree di espansione delle piene, le golene e la sinuosità del percorso, anche al fine di rallentare la velocità della corrente.

Negli ultimi decenni l'abbandono della manutenzione delle strutture, insieme all'intensa escavazione dei depositi alluvionali, con il conseguente abbassamento dell'alveo hanno determinato la progressiva inefficienza e distruzione del sistema di difesa. Negli ultimi 30 anni circa l'abbassamento dell'alveo nella zona circostante Alba ha raggiunto valori di 3-4 m. Il solo deflusso della piena del novembre 1994, avvenuto in condizioni di alveo pressochè privo di depositi alluvionali, ha contribuito con un approfondimento superiore a 1 m.

La "fragilità" del nuovo assetto del fondovalle del Tanaro nei confronti di una piena rilevante è dimostrata dalle conseguenze dell'alluvione del 5-6 novembre 1994. I fenomeni di modellamento innescatisi nel corso di questo evento rappresentano in misura significativa gli effetti delle trasformazioni indotte sulla rete idrografica e le interferenze dei processi di dinamica fluviale con le opere realizzate nell'ambito fluviale. I rilievi eseguiti, sia in corso d'evento che successivamente da vari Autori, dal CNR-IRPI di Torino, dai Servizi Tecnici della Regione Piemonte e dagli scriventi, consentono di ricavare un quadro rappresentativo dei fenomeni innescatisi e degli areali coinvolti.

Sulla base dei dati riportati da Turitto & Luino (1995a; 1995b), in particolare, integrati con i rilievi svolti direttamente e l'analisi delle riprese aerofotografiche eseguite subito dopo l'evento nel novembre-dicembre 1994, sono stati elaborati gli elementi riportati nella cartografia e la trattazione seguente. Nelle carte 2.6E-dB.1.2 sono state delimitate



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

le aree inondate rispettivamente dagli apporti idrici relativi al F. Tanaro ed alla rete idrografica minore con il concorso delle canalizzazioni esistenti, con indicazione dell'altezza raggiunta dalle acque di esondazione sul piano campagna in base al rilevamento delle tracce lasciate sui manufatti, la vegetazione, ecc.. Sono state segnalate le direzioni di propagazione dei deflussi, per sottolineare la complessità della dinamica di propagazione della piena e le interferenze delle correnti con le opere antropiche. Nelle carte sono riportati anche i principali danni subiti dalla rete stradale, come i tratti di rilevati asportati, e gli edifici distrutti o gravemente danneggiati. Sono stati evidenziati, inoltre, gli elementi in grado di fornire valutazioni sia pure a livello qualitativo sull'energia posseduta dalle correnti di deflusso e la loro capacità di modellamento della superficie topografica, quali: canali di erosione, rotte arginali, erosioni di sponda pronunciate. La distribuzione delle opere di difesa ed il loro comportamento nel corso dell'evento sono sintetizzate dalla simbologia relativa agli argini ed alle rotte arginali.

Durante l'evento del novembre 1994 le acque di esondazione hanno invaso l'intero settore di pianura delimitato, in sponda destra, dall'orlo del terrazzo principale su cui sorge il nucleo storico di Alba e dalla strada per Roddi e, in sinistra, dal tracciato della S.S. 231 (includendo anche gran parte del quartiere Mussotto). Il tracciato in esame ricade completamente all'interno dell'area inondata, anche se per il suo svolgimento in rilevato la sede stradale è stata raggiunta dalle acque solo nei tratti sormontati o asportati. In prossimità dei margini collinari e allo sbocco delle vallecicole tributarie il contributo dei corsi d'acqua minori ha svolto un ruolo determinante, insieme alla rete di canali principali, nel determinare un ampliamento delle zone inondate che in alcuni tratti hanno superato anche il tracciato della S.S. 231.

Per tutto il settore analizzato si è riscontrata una comune tendenza dell'alveo a rettificare i segmenti sinuosi ed i meandri irregolari, ed a riattivare antiche forme relitte a scapito delle arginature e delle opere di difesa spondali, riguadagnando all'ambito fluviale ampi settori delle aree adibite ad attività estrattiva in prossimità del corso d'acqua. Successivamente alla piena erano infatti visibili a margine dell'alveo numerosi canali di neoformazione e solchi d'erosione.

Lo studio di Luino et alii (1998) consente di ricostruire nel dettaglio la dinamica dell'evento alluvionale nel territorio di Alba. Il sistema idrografico entrò in crisi nel pomeriggio del 5 novembre quando, con le acque del F. Tanaro ancora contenute in alveo, si manifestarono le esondazioni dei corsi d'acqua minori e dei canali di derivazione. Le acque del T. Riddone e del Canale del Mussotto inondarono in sinistra del Tanaro l'area compresa tra C. Socchi e Mussotto. In sponda destra, quasi contemporaneamente, i T. Talloria e Cherasco non riuscendo a smaltire i loro deflussi nell'alveo del Tanaro ormai colmo, rigurgitarono allagando il territorio circostante.

Le acque del Talloria, tracimate in corrispondenza delle anse che ne caratterizzano il suo tratto terminale, si diressero verso l'abitato di Alba e unitesi alle acque provenienti dal Canale di Roddi invasero numerosi edifici nella località Le Basse, quindi raggiunsero i quartieri a SO del centro storico (Borghi Piave e Vivaro) e gli impianti industriali della Ferrero. Successivamente flussi idrici con elevata energia scavarono in sponda sinistra a est di C. Socchi profondi solchi di erosione sul piano campagna in corrispondenza delle zone attualmente sede di attività estrattiva. Sulla sponda opposta in località C. Topino venne sfondato il vecchio argine e subito a valle della difesa si formarono profondi solchi, soprattutto nell'aggiramento dei cumuli relativi alla ex discarica di rifiuti solidi urbani.

In sponda destra le acque si espansero nell'area delle C. Topino e Topinotto, dove vennero inizialmente trattenute dal rilevato della Tangenziale, contro il quale si elevarono di oltre 5 m prima di sormontarlo nel punto più depresso e dirigersi verso l'abitato di Alba. Nei luoghi posti a quote meno elevate del Borgo Vivaro, l'altezza dell'



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

acqua raggiunse valori massimi di 3.5 m. Le acque esondate dal Tanaro alla lunata Sarda (sponda sinistra) si diressero verso il quartiere Mussotto, dove sormontarono il rilevato ferroviario unendosi a quelle provenienti dal T. Riddone. Una parte del flusso di inondazione, tendendo a rientrare nell'alveo del Tanaro a valle dell'abitato di Alba, venne trattenuta dal rilevato della Tangenziale con innalzamento del livello idrico sino a circa 3.60 m sul piano campagna.

La piana in sinistra del Tanaro si trovò in gran parte sommersa da acque di diversa provenienza: la fascia compresa fra il fiume e la Tangenziale venne pressochè interamente invasa per esondazione del Fiume con battenti d'acqua di 1÷2 m in prossimità delle sponde; la zona compresa tra il rilevato stradale ed il margine dei versanti collinari venne attraversata da una lama d'acqua di alcune decine di centimetri alimentata da Tanaro e Riddone, con ulteriori contributi secondari dai Canali Vaccheria e Lavandaro.

In definitiva, si può affermare che esiste in generale una relazione tra le modalità di risposta del corso d'acqua all'evento di piena ed il modello fluviale precedente la fase di più intenso sfruttamento del territorio fini urbanistici o per attività di cava (anni '60 -70). Le forme fluviali relitte, anche se obliterate in parte o totalmente a causa degli interventi antropici, svolgono un ruolo non trascurabile nel condizionare, sia in superficie che nel sottosuolo attraverso i corpi sedimentari a maggiore permeabilità, la propagazione dei deflussi e devono essere considerate vie preferenziali per le correnti di inondazione o di riflusso.

Come evidenziato da Maraga & Turitto (1998), le aree più esposte al pericolo sono associate a tratti di corsi d'acqua in transizione da un originario deflusso pluricanale verso il monocanale, dove la contesa per l'utilizzo antropico delle zone di pertinenza fluviale si colloca in uno scenario d'inondazione caratterizzato da correnti preferenziali, dirette secondo la primitiva distribuzione pluricanale. In questo contesto, come evidenziato ormai da una vasta casistica, la funzione drenante superficiale degli alvei abbandonati, costituisce la principale causa di rimaneggiamento del suolo e, conseguentemente, di destabilizzazione dei manufatti su di esso insistenti, quali in particolare rilevati stradali, argini, canali irrigui.



12. IDROGEOLOGIA

Nella caratterizzazione della circolazione idrica sotterranea del settore di Valle Tanaro di interesse per il Tronco 2 – Lotto 6 occorre definire due distinti ambienti idrogeologici, quello relativo al fondovalle percorso dal Fiume e quello di versante comprendente il rilievo collinare di Verduno - La Morra.

Per una descrizione di dettaglio dell'assetto idrogeologico della collina di Verduno è importante definire preliminarmente quelle che sono le caratteristiche idrografiche del settore, in quanto gli elementi idrologici concorrono in maniera significativa al bilancio idrico sotterraneo.

12.1 IDROGRAFIA DELLA COLLINA DI VERDUNO

Nell'area in cui è prevista la realizzazione della struttura gli unici corsi d'acqua caratterizzati da una rilevante continuità dell'asta principale, una certa organizzazione del reticolo tributario e deflussi estremamente variabili, ma non effimeri, sono rappresentati dai Rii dei Deglia, San Giacomo e San Michele. Questi rii hanno sbocco direttamente nel F. Tanaro, mentre il reticolo relativo al settore SO del rilievo collinare, confluisce nel Rio Brandini (affluente di destra del Tanaro a monte di Cherasco).

Sulla maggior parte del versante non sono presenti corsi d'acqua perenni, nè un reticolo di drenaggio naturale dotato di sufficiente continuità con il fondovalle. Tale assetto deriva, sia dalla presenza di inghiottitoi e forme di sprofondamento relative a cavità sotterranee all'interno dei corpi gessosi, sia dai movimenti lenti delle coperture e dalle scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni sciolti che tendono comunque a colmare le incisioni sotto l'azione della gravità.

Lo scorrimento idrico superficiale, sia incanalato in alveo che libero lungo i versanti assume un'importanza rilevante in occasione di precipitazioni intense e prolungate. Per limitata estensione dei bacini e le basse permeabilità dei terreni affioranti la risposta dello scorrimento superficiale agli apporti meteorici è rapida, con tempi di corruzione molto ridotti ed elevati contributi specifici delle aree drenate. Deflussi idrici rilevanti (dell'ordine dei m^3/s ÷ decine di m^3/s possono riversarsi lungo le aste dei rii o nelle depressioni relative alle forme di sprofondamento presenti sul versante.

In occasione di precipitazioni intense e prolungate la modesta permeabilità d'insieme dei terreni superficiali determina uno scorrimento idrico superficiale rilevante, sia incanalato sia libero sul versante.

12.2 CAVITA' CARSIICHE

Al fine di verificare la presenza di sistemi di forme carsiche all'interno dell'area occupata dall'opera autostradale, per conto del comune di Verduno, è stato redatto un censimento nel marzo 2011 a cura di R.Torri e C.Morino dal nome "Censimento delle forme carsiche o connesse alla dissoluzione dei gessi presenti nel territorio comunale di Verduno, Relazione di sintesi" di cui brevemente di seguito si riportano le considerazioni principali.

L'area di ubicazione delle forme carsiche è inserita all'interno del territorio comunale di Verduno ed in particolare, nel versante esposto a nord-ovest compreso tra l'abitato di Verduno e il fondovalle Tanaro.

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.

Nelle carte geologiche 2.6E-dB.1.2.01 e 02 sono state riportate le ubicazioni delle forme carsiche presenti nell'area e sono state riportate anche le linee di drenaggio sotterraneo ipotizzate per i circuiti carsici, estrapolate dalla mappa redatta da R.Torri e C.Morino presente nel lavoro sopra citato.

La formazione delle cavità carsiche è un fenomeno naturale che avviene seguendo un processo evolutivo specifico. Nel caso delle forme osservate nel Comune di Verduno, le depressioni si formano per la riduzione di volume dei livelli gessosi intercalati all'interno dei livelli marnosi e arenacei. Il processo di dissoluzione chimica ha quindi determinato il collasso delle porzioni di sequenza stratigrafica al di sopra dei livelli di gessi; tale sprofondamento si sarebbe propagato fino in superficie determinando la formazione di depressioni incipienti.

Proseguendo nel processo evolutivo, le acque che hanno iniziato a infiltrarsi direttamente dalla depressione che ha determinato un'erosione interna alla depressione stessa ampliandone le dimensioni e la profondità.

L'evoluzione delle depressioni è stata in alcuni casi tale da determinare la formazione di veri e propri inghiottitoi che hanno messo in diretta connessione la depressione superficiale con il livello di gessi sottostante. Sul terreno sono infatti state osservate, in corrispondenza delle forme più evolute, le pareti degli inghiottitoi all'interno dei quali, in taluni casi, è possibile addentrarvi.

In alcuni settori dell'area di studio, i livelli di gesso risultano essere sub – affioranti ed è possibile osservare come il processo di dissoluzione abbia determinato la formazione di solchi che generalmente conducono le acque superficiali verso gli inghiottitoi determinandone l'infiltrazione nel sottosuolo.

12.3 ASSETTO IDROGEOLOGICO DELLA COLLINA DI VERDUNO

Le litologie presenti nei settori di pianura e della 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. Le caratteristiche dei complessi riconosciuti sono le seguenti:

Complesso Idrogeologico	Descrizione	Unità litostratigrafica
Complesso 1	<i>Complesso a permeabilità primaria bassa-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). A questo complesso si associano i limi argillosi, le argille marnose e i limi sabbiosi riferibili alla Formazione Gessoso-Solfifera e le argille riferibili alla Formazione delle Argille di</i>	M4

	<i>Lugagnano (complesso acquiclude di tetto della Collina di Verduno).</i>	
Complesso 2	<i>Complesso a permeabilità elevata o medio- elevata per fratturazione e carsismo diffuso e localizzato, costituito prevalentemente dai gessi della Formazione Gessoso-Solfifera e 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>	M5
Complesso 3	<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 sia dall'alterazione del substrato in posto sia da accumuli di corpi di frana, sia da processi di dilavamento ad opera delle acque di scorrimento non incanalate.</i>	Fr, Cl
Complesso 4	<i>Complesso a permeabilità medio-elevata per porosità, costituito da ghiaie, ciottoli, sabbie e limi, riferibili ai depositi alluvionali di fondovalle del Tanaro.</i>	a6, a6', a7a, a7b

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.

12.4 CARATTERI DI PERMEABILITÀ DEI TERRENI AFFIORANTI

I principali fattori che condizionano la circolazione idrica sotterranea del rilievo collinare sono le caratteristiche composizionali delle litologie, le relative permeabilità, l'assetto geologico-strutturale, le deformazioni a grande scala del versante, i fenomeni gravitativi e di dissoluzione. I terreni presenti sono riferibili, fondamentalmente, alle Marne di S. Agata (M4) e alla Formazione Gessoso-Solfifera (M5), a cui si sovrappongono le coltri di copertura comprendenti depositi di frana e terreni rimaneggiati di origine colluviale. Le Argille di Lugagnano, affioranti con limitati spessori a margine dell'area di progetto, rivestono un'importanza limitata.

La sequenza litologica costituente la collina (M4 e M5), pur appartenente alle medesime unità geologiche affioranti nel tratto di fondovalle e costituenti gran parte del substrato della Valle Tanaro, assume nel settore interessato dalla galleria aspetti peculiari che determinano una diversa classificazione dei terreni nei vari complessi idrogeologici. All'interno dei sedimenti fini (argille marnose e marne) compaiono frequenti intercalazioni sabbioso-limose e livelli di ghiaie e sabbie che improntano in modo significativo la permeabilità d'insieme. I corpi composti in prevalenza da gesso, sono caratterizzati da un ampio reticolo di cavità e fratture. Tali sistemi, che sono stati rilevati direttamente anche con le indagini, sono distribuiti a varie profondità e

costituiscono condotti di drenaggio preferenziali. La loro frequente connessione con le forme di sprofondamento superficiale comporta l'infiltrazione rapida di gran parte dello scorrimento superficiale intercettato da ampi bacini endoreici. La presenza di zone di discontinuità connesse a deformazioni di vario tipo (tettonico, gravitativo) svolgono il ruolo di zone di infiltrazione e circolazione idrica preferenziale, conferendo a scala del rilievo permeabilità rilevanti anche a litologie di per sé caratterizzate da valori primari molto ridotti.

In generale, i terreni presenti possono essere riuniti in Complessi idrogeologici, in funzione del ruolo che rivestono nei confronti della circolazione sotterranea; per il settore collinare in esame, in particolare, sono individuati i seguenti 4 complessi:

- **Complesso 1**, relativo ai termini argilloso-marnosi costituenti il substrato locale della circolazione idrogeologica;
- **Complesso 2**, comprendente le sequenze argilloso-marnoso-gessose con intercalazioni grossolane, ospitanti al loro interno, sia pure in zone ben localizzate, i principali circuiti idrici;
- **Complesso 3**, relativo alle coperture dei terreni rimaneggiati, che localmente ospitano una circolazione idrica non trascurabile.
- **Complesso 4**, comprendente i depositi alluvionali del F. Tanaro posti a contatto con il piede della collina. Tali depositi costituiscono l'acquifero ricettore degli apporti dei versanti.

Complesso 1: *Complesso argilloso-marnoso a permeabilità bassa-molto bassa*

Comprende sia il substrato marnoso delle Marne di S. Agata, sia le argille plioceniche della Formazione delle Argille di Lugagnano, presenti sulla porzione Ovest collinare di Verduno, sia le argille marnose messiniane della Formazione Gessoso-Solfifera (esclusi i gessi). La successione delle Marne di Sant'Agata Fossili comprende in grande prevalenza una successione monotona di marne argilloso-siltose, con sottili intercalazioni di sabbie e limi. I sottili livelli a granulometria limoso sabbiosa fine risultano completamente inglobati nella frazione marnoso-argillosa. La permeabilità primaria è molto bassa per porosità. Il complesso nell'insieme presenta una giacitura immergente a NNO. Al suo interno, data la bassa permeabilità, non avvengono deflussi sotterranei significativi; tuttavia i modesti deflussi presenti profondi ed epidermici sono diretti verso il fondovalle del Tanaro. Tale complesso rappresenta un acquiclude basale al di sopra del quale si imposta la circolazione principale.

Nelle litologie afferenti a questo complesso sono anche stati compresi sia i limi argillosi, i limi sabbiosi e le argille marnose messiniane della Formazione Gessoso-Solfifera (esclusi i gessi), sia le argille plioceniche marnose e siltose grigio-azzurre della Formazione delle Argille di Lugagnano. I litotipi delle due formazioni sono stati raggruppati in quanto posseggono una permeabilità confrontabile e rivestono un simile ruolo idrogeologico. Infatti, tali litologie costituiscono un acquitardo estesamente affiorante o subaffiorante nel settore interessato dalla Galleria di Verduno.

Prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc a carico variabile hanno fornito valori del coefficiente di conduttività idraulica dell'ordine di $k = 10^{-7} \div 10^{-9}$ m/s. In realtà la presenza di circolazione idrica, sia pure con potenzialità estremamente ridotte, è stata accertata con le indagini in corrispondenza delle intercalazioni limoso-sabbiose fini dotate di maggiore continuità areale. Circuiti in pressione con livelli prossimi al piano campagna sono stati rilevati nei piezometri profondi installati lungo la piana di fondovalle tra il Mulino di Verduno e Roddi.

Complesso 2: *Complesso argilloso-marnoso-gessoso con intercalazioni sabbioso-ghiaiose a permeabilità da medio-elevata ad elevata*

Comprende termini litologicamente eterogenei appartenenti alla Gessoso-Solfifera e alle Marne di S. Agata. I gessi della Formazione Gessoso-Solfifera, presenti in livelli di spessore da centimetrico a plurimetrico, presentano una notevole eterogeneità spaziale essendo quasi sempre intercalati tra livelli di argille marnose, limi argillosi e limi sabbiosi. I corpi gessosi di maggiori dimensioni e le marne con elevato contenuto in gesso presentano una permeabilità estremamente variabile, che è generalmente bassa (a causa della bassa porosità primaria) nelle porzioni intatte, fino a molto elevata nelle porzioni interessate da carsismo di dissoluzione e/o fratturazione. Le porzioni litoidi diffusamente fratturate o soggette a carsismo possiedono una permeabilità secondaria per fratturazione nettamente superiore a quella primaria per porosità, anche se questa si colloca in un ampio spettro di variabilità. Questa unità rappresenta l'acquifero principale il cui dominio di esistenza interessa l'intero versante della collina di Verduno. La Formazione Gessoso-Solfifera di conseguenza può presentare valori di permeabilità variabili in un ampio intervallo da $k = 10^{-5}$ a $k = 10^{-8}$ m/s (sino a $k = 10^0$ m/s in corrispondenza di ampi condotti carsici) e caratterizzati da forte anisotropia e variabilità spaziale.

Le Marne di Sant'Agata Fossili sebbene siano costituite in grande prevalenza da una successione monotona a granulometria fine sono caratterizzate a tratti da intercalazioni di sabbie fini e limi, che possono conferire una limitata permeabilità primaria. Valori maggiori, sempre per porosità, si identificano in corrispondenza dei livelli sabbioso-limosi e delle intercalazioni sabbioso-ghiaiose ($k = 10^{-5} \div 10^{-6}$ m/s) presenti in prossimità del passaggio all'unità sovrastante. Questi corpi grossolani riferibili a depositi rimaneggiati da correnti di torbida, sia pure di ampiezza limitata (e quindi possono non essere individuati con le indagini) devono possedere una certa continuità costituendo probabilmente il riempimento di canali incisi sulla scarpata continentale. Una circolazione idrica non trascurabile, può instaurarsi nei livelli grossolani dotati di maggiore continuità laterale e affioranti in superficie (in modo da intercettare direttamente gli apporti meteorici) o in contatto con fratture beanti a sviluppo subverticale in grado di convogliare le acque di infiltrazione. L'ammasso diffusamente interessato da discontinuità di origine tettonica (faglie, fratture) o gravitativa (superfici di scorrimento o rottura) è caratterizzato da una permeabilità secondaria per fratturazione nettamente superiore a quella per porosità, anche se difficilmente valutabile. La circolazione idrica che si instaura risulta anisotropa e disomogenea, ma può interessare con discrete potenzialità e caratteri di semipermanenza settori cospicui del versante. Una situazione di questo tipo è stata riscontrata con le trincee scavate nella zona di Cascina Pradonio. La Formazione Gessoso-Solfifera presenta una notevole eterogeneità litologica e poggia, tramite una superficie di tipo erosivo con andamento particolarmente irregolare, sul complesso marnoso-argilloso. Le principali litofacies individuate (alternanze di sabbie e conglomerati a matrice pelitica; marne gessifere e gessi primari; argille e siltiti laminate) sono caratterizzate da diversi comportamenti idrogeologici. I litotipi prevalentemente marnoso-argilloso-siltosi non fratturati possiedono una permeabilità primaria molto bassa per porosità e possono essere considerati globalmente impermeabili. Le alternanze sabbioso-conglomeratiche, presenti a diversi livelli con spessori complessivi anche di vari metri, possono ospitare una circolazione idrica rilevante se sub-affioranti o in contatto con fratture beanti in grado di convogliare le acque di infiltrazione.

Le prove di permeabilità in foro eseguite nel Lotto 2.6 e nel tratto adiacente del Lotto 2.7 hanno fornito i seguenti valori di conducibilità idraulica:

$k = 10^{-5} \div 10^{-6}$ m/s, nelle intercalazioni sabbioso-limose;

$k = 10^{-7} \div 10^{-8}$ m/s, nei terreni limoso argilloso-marnosi;

Complesso 3: *Complesso detritico-colluviale a permeabilità variabile da bassa a medio-elevata*

E' relativo alle coperture detritico-colluviali presenti sul versante costituite da terreni sciolti, derivanti dall'alterazione del substrato in posto, da limitati processi di trasporto ad opera delle acque di scorrimento superficiale, o da accumuli relativi a movimenti gravitativi. Si tratta di limi argillosi, limi sabbioso-fini, argilla limosa, inglobante sabbie fini, e localmente ciottoli centimetrici o frammenti di marna alterata. Lo spessore complessivo può raggiungere alcune decine di metri. La permeabilità è di tipo primario per porosità con una estrema variabilità in funzione della granulometria prevalente nel deposito. Per i depositi con presenza rilevante della frazione sabbiosa è possibile stimare valori di k dell'ordine di $10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s; mentre permeabilità inferiori si possono attribuire ai terreni prevalentemente argilloso-limosi. Una circolazione con discrete potenzialità idriche ed una certa continuità temporale è ospitata negli orizzonti a granulometria più grossolana dotati di maggiore continuità, alimentati direttamente dagli apporti meteorici. Tale situazione è stata riscontrata, sia nelle trincee esplorative eseguite presso C. Pradonio, sia in vari tratti del versante.

Complesso 4: *Complesso di depositi alluvionali attuali e medio-recenti a permeabilità medio-elevata*

Costituito da ghiaie, ciottoli, sabbie limose e sabbie lungo la pianura di fondovalle del Tanaro. Tali depositi sono dotati di un'elevata eterogeneità litologica e granulometrica, sia laterale che verticale, tipica dei depositi fluviali relativi a corsi d'acqua di tipo braided. Come citato in precedenza i depositi alluvionali del F. Tanaro posti a contatto con il piede della collina non influenzano la circolazione idrica del rilievo, trovandosi a quote inferiori, ma costituiscono l'acquifero ricettore degli apporti dei versanti.

La permeabilità è di tipo primario per porosità, con valori medi, ma caratterizzati da una spiccata variabilità sia orizzontale che verticale. L'ambiente deposizionale è riferibile a corsi d'acqua di tipo braided, caratterizzati da corpi sedimentari di modesta estensione laterale e verticale, delimitati alla base da superfici erosive. Generalmente, queste unità sono caratterizzate da un orizzonte basale a granulometria grossolana (ghiaie) che verso l'alto passa gradualmente a sedimenti essenzialmente fini. I depositi sono caratterizzati da un'elevata eterogeneità litologica laterale in cui possono individuarsi corpi a granulometria grossolana, privi di fine, relativi a paleoalvei che rappresentano vie di scorrimento preferenziale delle acque sotterranee. Le prove di permeabilità in foro forniscono valori di $k = 10^{-4} \div 10^{-6}$ m/s. Questo complesso costituisce l'acquifero principale di fondovalle, che raggiunge normalmente spessori di 4÷8 m.

12.5 ASSETTO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

I principali fattori che condizionano la circolazione profonda nel rilievo collinare sono le caratteristiche composizionali delle litologie, le relative permeabilità, l'assetto geologico-strutturale, le deformazioni a grande scala del versante, i fenomeni gravitativi e di dissoluzione. Nel rilievo è riscontrabile la presenza di flussi idrici condizionati sia da permeabilità primarie per porosità, che secondarie per fratturazione e dissoluzione carsica. All'interno del substrato livelli acquiferi sono costituiti dalle intercalazioni a granulometria grossolana presenti alla sommità delle Marne di S. Agata, nella Gessoso-solfifera e all'interno dei corpi gessosi fratturati o carsificati. Queste intercalazioni possono raggiungere spessori di vari metri e ospitare una



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

circolazione idrica significativa come riscontrato in precedenza ed anche nella recente campagna geognostica. L'andamento della piezometria, le venute in alveo presenti lungo il reticolo minore e le emergenze idriche sul versante, fanno ritenere possibili apporti della circolazione profonda alle falde superficiali ospitate nei terreni delle coperture.

Per quanto riguarda il versante collinare, la circolazione idrica sotterranea più rilevante è quella che si imposta all'interno dei corpi dei gessi, i quali si mostrano spesso carsificati. Nel settore compreso tra Verduno e La Morra il complesso dei gessi rappresenta l'acquifero principale del versante collinare. In particolare, in questo settore si rilevano forme di sprofondamento superficiali, con cospicui corpi gessosi affioranti o sepolti e cavità di dimensioni plurimetrische riscontrate tramite sondaggio.

Analogamente alle Marne di S. Agata, le porzioni litoidi diffusamente fratturate possiedono una permeabilità secondaria per fratturazione nettamente superiore a quella per porosità, anche se difficilmente valutabile. La circolazione idrica che si instaura risulta anisotropa e disomogenea, ma può interessare con discrete potenzialità e caratteri di semi-permanenza settori cospicui del versante. Alla scala del versante, l'acquifero ha un'immersione media a franapoggio verso Nord-Ovest, con bassi angoli di inclinazione.

Circuiti idrici poco profondi sono presenti all'interno delle intercalazioni sabbiosoghiaiose dotate di maggiore continuità areale presenti all'interno della coltre dei terreni detritico-colluviali e nell'orizzonte alterato del substrato. Si tratta di livelli acquiferi con potenzialità limitate in funzione della granulometria comunque ridotta e della presenza di una rilevante frazione fine. La variabilità granulometrica e, in particolare, l'alternanza di livelli a maggiore permeabilità con orizzonti pressochè impermeabili comporta in condizioni di rilevanti apporti meteorici, precipitazioni intense e prolungate, un rapido innalzamento dei livelli piezometrici. Il ridotto spessore degli acquiferi e la limitata trasmissività impediscono il rapido smaltimento dei flussi sotterranei e possono comportare l'instaurarsi di circuiti idrici in pressione, sia pure temporanei.

Situazioni di questo tipo si riscontrano, in particolare, sul versante degradante da C. Pradonio verso la zona industriale interessato da un'ampia frana antica. Repentine variazioni di livello sono state rilevate dai piezometri a registrazione automatica in continuo della falda installati dalla Regione Piemonte, a seguito delle elevate precipitazioni del maggio-giugno e ottobre 2000. Nel piezometro PS3-P3 il livello piezometrico oscillante attorno a un valore medio di 7 m dal p.c. subisce bruschi aumenti di 1÷2 m per le precipitazioni di aprile-maggio 2000, si ridispone a -7 m nel corso dell'estate e, soprattutto, rileva un repentino innalzamento in corrispondenza dell'importante evento meteorologico dell'ottobre 2000. In quest'ultimo periodo in pochi giorni si verifica una variazione di circa 4 m in pochi giorni, con il livello piezometrico che raggiunge una soggiacenza di 2.5 m dal p.c.. Variazioni della falda ancora più rilevanti sono evidenziate dal piezometro PS2-P4, in cui il livello medio si dispone a circa 15 m dal p.c. Rapidi innalzamenti di breve durata sono rilevati nell'estate-autunno 1999 (1÷2 m). Le piogge del maggio 2000 comportano un brusco innalzamento di 7.5 m, a cui fa seguito un periodo di circa 2 settimane in cui il livello si ridispone a - 15 m dal p.c.. Le piogge della metà di giugno 2000 determinano una risalita repentina nell'arco della giornata di 12 m della falda che si dispone a meno di 2 m dal p.c.. Un fenomeno analogo si riscontra nell'evento dell'ottobre 2000, con livelli piezometrici che all'inizio di dicembre risultavano ancora posti a meno di 2 m dal p.c..

Il substrato pressochè impermeabile dell'intera area è rappresentato dal Complesso 1, relativa alla sequenza argilloso-marnosa caratterizzata da maggiore uniformità litologica e netta prevalenza della frazione pelitica. Il complesso nell'insieme presenta una giacitura immergente a ONO - NO e convoglia i deflussi sotterranei verso il fondovalle

	Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6 Roddi – Diga Enel PROGETTO ESECUTIVO Relazione geologica ed idrogeologica generale
---	--

del Tanaro . Gli elementi che descrivono il bacino idrogeologico nell'ambito del rilievo collinare di Verduno sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Substrato pressochè impermeabile	Formazione delle Marne di S. Agata, che nell'insieme possono essere considerate a permeabilità molto ridotta. Circuiti con potenzialità idriche molto ridotte, ma dotate di rilevanti carichi piezometrici sono presenti nelle intercalazioni a granulometria grossolana e, soprattutto, nelle zone di frattura principali.
Andamento del substrato	Il limite principale di permeabilità immerge, nell'insieme, verso NO-ONO con inclinazioni di circa $10^{\circ} \div 15^{\circ}$.
Zone di infiltrazione preferenziale	Affioramenti relativi alla Formazione Gessoso-Solfifera, relativi in particolare ai terreni gessosi, ai limi sabbiosi, alle sabbie e ghiaie. Lo spessore complessivo massimo riscontrato raggiunge i 60 m circa.
Delimitazione del bacino idrogeologico	Intero settore compreso tra: la Centrale ENEL di Verduno, l'abitato di Verduno, il versante est del crinale Verduno - La Morra, Rio dei Brandini, la loc. Merlotti, San Michele, Cascina Rotte, sponda destra del F. Tanaro, Canale ENEL di Verduno decorrente al piede della collina.
Area del bacino idrogeologico	11.03 km ² corrisponde all'area di alimentazione della circolazione idrogeologica di interesse per l'area di progetto.
Parte del bacino idrogeologico intercettato dalla galleria	8.44 km ² .
Settore con maggiori evidenze di circolazione sotterranea	Corrisponde al tratto ovest della galleria, tra i Rii San Michele e San Giacomo, sottendente un'area di 5.97 km ² .

La presenza di zone di roccia diffusamente fratturata con discontinuità aperte e sede di circolazione idrica, come verificato con le trincee esplorative, può determinare la connessione idraulica tra circuiti posti in posizione stratigrafica diversa. Pur non trattandosi di una vera e propria falda è così possibile l'esistenza di una circolazione sotterranea estesa a scala dell'intero versante, con potenzialità idriche modeste (intese come volumi d'acqua mobilizzabili), ma dotata di rilevanti carichi piezometrici. La permeabilità delle unità presenti è fondamentalmente di tipo secondario (per fratturazione e carsismo), la circolazione si svolge in modo locale all'interno del reticolo di fratture e cavità, e risulta più corretto parlare di rete acquifera. I livelli piezometrici elaborati rappresentano la superficie involuppo delle altezze piezometriche rilevate. L'andamento temporale e la relazionabilità con il contesto idrogeologico indicano la loro connessione a scala del rilievo. Questo non significa la possibilità di rinvenire circuiti idrici in ogni punto del rilievo poichè, svolgendosi i deflussi sotterranei con modalità "discrete", un piezometro installato all'interno di un blocco di substrato integro può non riscontrare circolazione idrica.

In corrispondenza al fondovalle l'acquifero principale è quello dei depositi alluvionali del Tanaro (Complesso 4). In corrispondenza a questo acquifero il livello piezometrico massimo si dispone, generalmente, a profondità di 2÷3 m dal piano campagna attuale. A partire dalla scarpata che delimita il margine del terrazzo superiore e sino alla fine Lotto il variato assetto altimetrico determina una posizione della falda più prossima alla superficie topografica (0.5÷1.5 m). Originariamente i rapporti altimetrici e giaciture tra il settore di acquifero posto a quote inferiori (corrispondente ai depositi a7a, a7b) e i corsi d'acqua principali consentivano uno scambio reciproco tra la falda e i corsi d'acqua principali. Il progressivo approfondimento degli alvei, e in particolare il rilevante abbassamento del fondo avvenuto in questo secolo (alcuni metri) dovuto sia a cause naturali che antropiche (estrazione in alveo), ha determinato la parziale separazione dei due sistemi. Gli alvei attuali, a tratti incisi direttamente nelle unità del substrato si trovano in genere a quote sensibilmente inferiori agli adiacenti acquiferi a7a-a7b. Gli scambi idrici possibili sono relativi in grande prevalenza a travasi laterali dalla falda verso il fiume. Scambi inversi si verificano solo localmente dove l'alveo risulta ancora a quote relativamente elevate o, a scala più ampia ma per limitati periodi di tempo, nel corso delle grandi piene.

12.6 EMERGENZA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

Una diffusa circolazione idrica con potenzialità limitate, ma carattere di semi-permanenza, ovvero che si mantiene per gran parte dell'anno, è presente all'interno dei terreni di copertura e nella coltre di substrato alterato. Evidenze di emergenze idriche permanenti sono state rilevate:

- lungo la strada comunale che scende da Verduno alla strada provinciale Pollenzo-Alba;
- alla base del settore Ovest del versante, verso Toetto;
- in corrispondenza delle scarpate che delimitano la zona superiore dei corpi di frana sovrastanti la zona industriale di Verduno;
- lungo la strada Rossi - C. Trebbiani, in corrispondenza del bivio per Ascheri;
- nella vallecchia in margine della strada che da Verduno scende a C. Montemiglietto;
- lungo l'alveo, alla base dell'abitato della Morra, lungo l'affluente Rio dei Berri;
- sul versante est del crinale Verduno - La Morra, alla testata del Rio Plaustra.

Riferibili, invece, a circuiti profondi sono le emergenze idriche relative a:

- sorgenti perenni poste al piede del versante collinare lungo la strada di servizio del canale ENEL di Verduno (tra l'opera di presa e il Mulino di Verduno);
- sorgenti diffuse e venute in alveo lungo il tratto inferiore delle incisioni dei Rii dei Deglia e San Michele;
- sorgenti e venute in alveo nel bacino del Rio Brandini (La Morra);

In connessione con la circolazione idrica sotterranea deve risultare anche il laghetto presso la Cascina Dabene poichè, nonostante il ridottissimo bacino imbrifero e l'utilizzo a scopo agricolo nel periodo estivo, lo specchio d'acqua risulta pressochè perenne.

12.7 RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

Per affinare le conoscenze sull'assetto della circolazione sotterranea e dei suoi rapporti con lo scorrimento idrico superficiale, nonchè acquisire un quadro rappresentativo delle risorse idriche dell'area è stato condotto un censimento dei corpi idrici superficiali, dei punti di emergenza della falda e delle opere di captazione esistenti. Partendo dalla documentazione disponibile presso le Amministrazioni Pubbliche, lo studio ha previsto la verifica ed il rilevamento sul terreno di tutti gli elementi di interesse per la circolazione idrogeologica del rilievo e le potenziali interferenze con l'opera.

Per ogni elemento censito sono stati raccolti tutti i dati disponibili (inserimento nei censimenti ufficiali, portata, utilizzo, soggiacenza, profondità pozzo, ecc.), procedendo inoltre al rilevamento speditivo delle portate defluenti dalle sorgenti e di alcune caratteristiche fisiche delle acque superficiali (F. Tanaro, Canale di Verduno, piccoli invasi, corsi d'acqua minori) o relative alla circolazione profonda (sorgenti, pozzi, campioni prelevati in piezometri). Serie complete di determinazioni analitiche di laboratorio sono state eseguite su un gruppo sufficientemente ampio di campioni di acqua, rappresentativo dei vari settori del rilievo collinare posti a monte, in prossimità ed a valle del tracciato di progetto. Per alcuni punti ritenuti particolarmente significativi in base all'assetto geologico ed idrogeologico riconosciuto per il rilievo è stata condotta, infine, l'intera procedura per la caratterizzazione delle acque contemplata dal Dgls 152/06 e smi.

Per consentire una ricostruzione significativa dell'assetto della dorsale collinare di Verduno - La Morra lo studio è stato esteso ad una porzione di territorio ben più ampia di quella di diretto interesse per il tracciato, comprendente tutta l'area che va dal corso del F. Tanaro a nord di Pollenzo a sud dell'abitato di La Morra.

a) Opere di captazione delle acque sotterranee

La ricerca volta ad acquisire il patrimonio conoscitivo sulle risorse idriche ufficialmente censite ha interessato i territori comunali di Cherasco, La Morra e Verduno. Sono stati consultati:

- l'Ufficio Risorse Idriche della Provincia di Cuneo, per la localizzazione dei Pozzi ad uso irriguo/industriale e delle sorgenti;
- l'Ufficio Tecnico del Comune di Cherasco, per quanto riguarda le denunce pozzi ad uso domestico esclusivo e la documentazione facente parte del Piano Regolatore Comunale vigente;
- l'Ufficio Tecnico del Comune di La Morra, per l'ubicazione dei pozzi idrici;
- l'Ufficio Tecnico del Comune di Verduno, per il repertorio delle denunce pozzi ad uso domestico esclusivo e la documentazione allegata al Piano Regolatore Comunale vigente;
- la Società Tecnoedil, che gestisce l'acquedotto comunale di Verduno, per quanto riguarda le opere di captazione site in località Mulino di Verduno.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Per quanto riguarda i dati tecnici occorre sottolineare, come evidenziato nella stessa documentazione ufficiale consultata, che si tratta di dati stimati, non essendo possibile un controllo diretto (per mancanza di autorizzazione, o per la sistemazione del pozzo che non consente l'effettuazione di misure). I valori di portata emunta, in particolare, sono relativi a quanto dichiarato e sono da intendersi del tutto indicativi, non disponendo di prove di portata. Non viene specificato, inoltre, se si tratta di portate utilizzate, o di portate raggiunte con il pompaggio, nè se sono state ottenute con un funzionamento continuo o per intervalli di tempo del gruppo di pompaggio.

Pozzi ufficialmente censiti nell'ambito della collina di Verduno.

Località	Descrizione	Caratteristiche
Comune di Verduno, loc. Gorei di Verduno. Circa 100 m a NE del Ristorante "La Cascata".	Opere di captazione dell'Acquedotto di Verduno. Comprendono due pozzi ad uso potabile con profondità stimata dell'ordine di 30÷40 m. Le perforazioni risalgono almeno alla metà del Novecento. Le caratteristiche sono desunte dalla domanda di concessione alla Prov. di Cuneo. I dati di portata sono stimati dal tecnico in funzione della tubazione di mandata (diametro = 100 mm). Non sono disponibili misure dirette di portata e soggiacenza. I pozzi sono perforati nell'ambito dei depositi alluvionali recenti (a7a) del fondovalle del F. Tanaro. Viene captata la falda libera ospitata nel fondovalle alluvionale ed alimentata dalla circolazione di subalveo.	Pozzo 1: profondità = 30 m; portata dichiarata = 11 l/s; livello falda = non noto. Pozzo 2: profondità = 40 m; portata dichiarata = 9 l/s; livello falda = non noto.
Comune di Verduno, loc. Mulino di Verduno.	Due pozzi sono stati perforati nelle immediate adiacenze dell'edificio Mulino di Verduno (loc. Molino n. 17), nell'ambito dei depositi della pianura alluvionale del F. Tanaro. Risultano attualmente in attività. I pozzi sono perforati nell'ambito dei depositi alluvionali recenti (a7a) del fondovalle del F. Tanaro. Viene captata la falda libera ospitata nel fondovalle alluvionale ed alimentata dalla circolazione di subalveo.	Pozzo 1: profondità = 4 m; portata dichiarata = 1 l/s; livello falda = non noto. Pozzo 2: profondità = 8 m; portata dichiarata = 1 l/s; livello falda = non noto. Le due serie di valori accanto al simbolo in Carta corrispondono ai dati relativi ai due pozzi.
Comune di Verduno.	Nell'ambito del territorio di Verduno sono stati censiti altri pozzi che, tuttavia, non è stato possibile localizzare nella Carta delle risorse idriche per le limitate informazioni disponibili. Si tratta di due pozzi attualmente inattivi, ma utilizzabili.	Pozzo 1: profondità = 10 m; altri dati non noti. Pozzo 2: dati non noti.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Comune di La Morra, loc. Mulino di Verduno. Lato ovest del Ristorante "Le due Lanterne".	Pozzo in attività, ubicato in Borgata Molini, 15. Il pozzo è perforato nell'ambito dei terreni della Formazione Gessoso-Solfifera, al piede del versante collinare degradante (M5) sul fondovalle del F. Tanaro. Viene captata la circolazione sotterranea defluente alla base del versante ed in connessione idraulica con la falda della pianura alluvionale.	profondità = 11 m; portata dichiarata = 1 l/s; livello falda = non noto.
Comune di Verduno. Area industriale di Verduno, estesa al margine della strada provinciale Alba-Bra.	I pozzi n. 1 e 2 sono perforati nell'ambito dei terreni della Formazione Gessoso-Solfifera, al piede del versante collinare degradante (M5) sul fondovalle del F. Tanaro. Viene captata la circolazione sotterranea defluente alla base del versante e, probabilmente, in parte in connessione idraulica con la falda ospitata nella sequenza alluvionale della pianura. Il pozzo n. 3 è perforato nell'ambito dei depositi alluvionali medio-recenti (a6) che individuano un terrazzo a quote superiori al fondovalle attuale. Viene captata la circolazione sotterranea ospitata nei depositi alluvionali, alimentata dalla falda di subalveo e dalle acque del Canale di Verduno. Apporti sono possibili anche dalla circolazione defluente dal sovrastante versante collinare.	Pozzo 1: profondità = 10 m; portata dichiarata = 2 l/s; livello falda = non noto. Pozzo 2: profondità = 14 m; portata dichiarata = 1 l/s; livello falda = non noto. Pozzo 3: profondità = 10 m; portata dichiarata = non noto; livello falda = non noto.
Comune di Cherasco, loc. San Michele. Sul campo poco a sud della Cascina dello Spia.	Vecchio pozzo ad uso irriguo. Il pozzo è perforato nell'ambito dei terreni della Formazione Gessoso-Solfifera, nel settore inferiore del versante collinare degradante (M5) sul fondovalle del F. Tanaro. Viene captata la circolazione idrica superficiale presente nelle argille marnose con gessi.	Livello falda = 5.5 m dal p.c.. Dati di profondità e portata non noti.
Comune di Cherasco, loc. San Michele. Circa 150 m a sudovest della Cascina Vacchetta.	Il pozzo per uso irriguo è stato realizzato nel 1958-59. Sulla base delle indicazioni sommarie disponibili si può ipotizzare la seguente stratigrafia: - 0 ÷ 9 m = terreni rimaneggiati delle coperture (limi argillosi); - 9 ÷ 105 m = argille marnose con bancate di gesso; - 105 ÷ 125 m = sabbia. Il pozzo è perforato nell'ambito dei terreni della Formazione Gessoso-Solfifera (M5).	Profondità = 125 m; portata dichiarata = 15 l/s; livello falda = 9 m dal p.c; diametro = 0.3 m.

Le informazioni sono tratte dalle dichiarazioni effettuate presso le Amministrazioni pubbliche, integrate con gli elementi acquisiti nel corso dello studio. I dati tecnici relativi ai pozzi devono essere interpretati con cautela, in quanto sono spesso approssimativi. I valori di portata, in particolare, sono del tutto indicativi.

	Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6 Roddi – Diga Enel PROGETTO ESECUTIVO Relazione geologica ed idrogeologica generale
---	--

I rilievi condotti sul terreno hanno consentito di individuare altri pozzi non inseriti negli elenchi ufficiali. Si tratta di opere di utilizzo strettamente locale, generalmente di limitata potenzialità e, almeno in alcuni casi, abbandonate da tempo.

Pozzi individuati nella collina di Verduno, ma non inseriti negli elenchi ufficiali.

Località	Descrizione	Caratteristiche
Comune di Cherasco, loc. San Michele. All'interno della Cascina dello Spià.	Vecchio pozzo ad uso domestico.	Dati non noti.
La Morra, Cascina Mascarelli	Le abitazioni della C. Mascarelli sono dotate di pozzi utilizzati a scopo domestico (innaffiamento orti, giardini, ecc.). Secondo informazioni ricevute sul posto, si tratta di pozzi poco profondi, scavati a mano, tuttora utilizzati. Non sono ispezionabili. I pozzi sono scavati all'interno dei terreni della Formazione Gessoso-Solfifera.	Diametro = 1 ÷ 2 m; profondità = 7 ÷ 10 m; livello falda = normalmente a 3 ÷ 4 m da p.c., risale a 1 m dal p.c. in occasione di piogge prolungate.
La Morra, frazione Brandini	Pozzi scavati a mano sono presenti a servizio di quasi tutti gli edifici di Brandini. Attualmente non ispezionabili, secondo informazione degli abitanti sono tuttora utilizzati a scopo domestico (irrigazione, ecc.).	Diametro = 1 ÷ 2 m; profondità = 7 ÷ 10 m; livello falda = normalmente a 3 ÷ 4 m da p.c., risale a 1 m dal p.c. in occasione di piogge prolungate.
La Morra, versante sottostante Brandini (Cascina a quota 406 m)	Pozzo adiacente alla cascina, scavato a mano per usi domestici. Inattivo da alcuni anni, non interessava i terreni gessosi. Il pozzo, non ispezionabile, è stato ostruito con pietrisco.	Diametro = 1.5 m; profondità = 9 ÷ 10 m; livello falda = 3 ÷ 4 m da p.c.
La Morra, versante ovest sottostante l'abitato. Cascina a quota 449 m, lungo l'asta affluente del Rio Brandini	Opera di captazione, protetta da una piccola costruzione in mattoni (dimensioni 2 x 2 m). L'acqua che fuoriesce dall'opera alimenta il rio sottostante, asciutto al momento del rilevamento.	Livello falda = a circa 2 m dal p.c.
La Morra, versante ovest sottostante l'abitato. Rio sottostante la Cascina di quota 449 m.	Opera di captazione, protetta da una piccola costruzione in mattoni (dimensioni 1 x 1 m). L'acqua che fuoriesce dall'opera alimenta il rio sottostante, asciutto al momento del rilevamento.	Livello falda = non noto
La Morra, versante alla base dell'abitato nei pressi del laghetto.	Opera di captazione, protetta da una costruzione in mattoni (dimensioni 5 x 5 m). L'acqua che fuoriusciva dall'opera probabilmente serviva ad alimentare il laghetto sottostante con un canale interrato. Attualmente non lo alimenta più.	Livello falda = circa 1 m dal pc.

	Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6 Roddi – Diga Enel PROGETTO ESECUTIVO Relazione geologica ed idrogeologica generale
---	--

La Morra, nelle adiacenze del laghetto (indicato in carta come "Serbatoio").	Opera di captazione, protetta da una piccola costruzione in mattoni (dimensioni 2 x 3 m) danneggiata. Non sono visibili condotte di alimentazione, i deflussi erano indirizzati verso il laghetto, come si intuisce dai resti delle strutture presenti.	Livello falda = non rilevabile per la presenza di macerie
La Morra, breve rio confluyente nel laghetto.	Opera di captazione, protetta da una costruzione in calcestruzzo (dimensioni 3 x 5 m). Non sono visibili opere di alimentazione o di eduazione delle acque.	Livello falda = circa 1 m dal pc.
La Morra, località Fontana.	Pozzo a forma quadrata in mattoni. Si presenta parzialmente chiuso e probabilmente non è più utilizzato.	Livello falda = circa 1 m dal pc.
Verduno, Cascina Caminali.	Vallecola subito ad est della Cascina, impostata lungo una delle principali zone di discontinuità. Il pozzo, utilizzato a scopo irriguo, è posto circa 50 m a valle del sondaggio SFG15.	Profondità stimata = circa 6 m; Livello falda = circa al pc.

b) Emergenza della falda

I principali elementi acquisiti con il rilevamento sul terreno delle sorgenti e delle altre evidenze di affioramento della circolazione idrica sotterranea sono riportate nella tabella seguente.

Evidenze di affioramento della falda idrica

Località	Descrizione	Caratteristiche
Mulino di Verduno, quota 190 m slm.	"Fontana del Mulino", posta a margine della strada provinciale, e censita dalla Provincia di Cuneo.	Portata = < 0.1 l/s.
Al margine collinare, alla base di Cascina Roggeri. Parete impostata nelle marne gessose inglobanti corpi gessosi al margine della strada di servizio del Canale ENEL di Verduno.	Stillicidio di acque affioranti dalla parete ed evidenze di zone di ristagno idrico.	Portata minima non stimabile.
Canale ENEL nei pressi dell'opera di presa.	Sorgente alla base della parete al contatto gessi -marne gessose. Le acque che fuoriescono sono allontanate dalla sede stradale tramite una canaletta di scolo.	Portata stimata < 1 l/s.
Verduno, versante a nord degradante verso C. Montemiglietto.	Sorgente 1 (vedi anche dati nella tab. 5), è situata nei pressi di quota 269 m, all'interno una piccola depressione dell'ordine di poche decine di metri quadrati. Circa 10 m a valle dell'emergenza, l'acqua viene incanalata in un fosso per scopi irrigui.	Portata = 1 l/s.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Verduno, versante a nord degradante verso C. Montemigliesio.	Circa 200 m a valle della Sorgente 1, poco sotto la strada vicinale per C. Montemigliesio è presente un settore topograficamente depresso con circolazione di acqua. E' riferibile ad una zona di emergenza della circolazione idrica sotterranea che si disperde all'interno dei terreni delle coperture.	Portata non valutabile.
Crinale La Morra-Castagni, testata della vallecchia presente nei pressi di Roncaglia Soprano.	Poco a valle della strada presenza di una piccola sorgente. Sono probabili anche afflussi idrici dovuti a scarichi della rete fognante.	Portata stimata in circa 1 l/s.
La Morra, incisione del Rio Brandini, Fontana delle Cento Sorgenti	Zona con evidenze di emergenze idriche diffuse, in corrispondenza di un'area depressa ampia alcune decine di metri quadrati. Al momento del rilevamento era visibile solo una vasta area umida con ampie pozze d'acqua. La zona di emergenza alimenta un rio, ora praticamente asciutto. In corrispondenza della Fontana Cento Sorgenti si vedono i resti di un'opera di captazione in muratura. Nell'area si riversano probabilmente anche acque provenienti da scarichi fognari.	Portata non valutabile.
La Morra, incisione del Rio Brandini, in corrispondenza della frazione di Brandini	Zona di emergenza idrica diffusa, in corrispondenza di un'area depressa ampia una decina di metri quadrati. Al momento del rilevamento era visibile solo una vasta area umida con ampie pozze d'acqua. La zona di emergenza alimenta un rio, ora praticamente asciutto.	Portata non valutabile.
La Morra, in sinistra dell'incisione del Rio Brandini, di fronte alla frazione di Brandini	Zona di emergenza idrica ampia solo alcuni metri quadrati. Al momento del rilevamento era visibile solo un'area umida. La zona di emergenza alimenta un rio, ora praticamente asciutto.	Portata non valutabile.
La Morra, versante ovest nel tratto sottostante l'abitato.	Zona di emergenza idrica diffusa, probabilmente connessa a circuiti idrici superficiali. Si situa in corrispondenza di un'area depressa ampia alcune decine di metri quadrati. Al momento del rilevamento era visibile solo una vasta area umida con ampie pozze d'acqua. La zona di emergenza alimenta un rio, ora praticamente asciutto.	Portata non valutabile.
La Morra, incisione del Rio dei Berri.	In corrispondenza dell'attraversamento stradale si individua un'area di emergenza generalizzata con presenza di acqua proveniente da varie scaturigini.	Portata totale valutabile in 1 ÷ 2 l/s.

Le ricognizioni sono state condotte nel periodo settembre 2001 - gennaio 2002. Tutte le zone di emergenza si localizzano nell'ambito dei terreni relativi alla Formazione Gessoso-Solfifera.

12.8 CARATTERISTICHE CHIMICO-FISICHE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE

Una campagna di rilevamento sistematico in sito di alcuni parametri chimico-fisici delle acque superficiali e sotterranee è stata condotta nell'ottobre 2001 su 30 punti di campionamento distribuiti in un ampio settore a cavallo del tracciato della Galleria di Verduno. Per evidenziare la natura degli acquiferi ed i rapporti tra scorrimento superficiale e circolazione profonda si è proceduto alla misura della temperatura e conducibilità elettrica delle acque.

La conducibilità elettrica, a parità delle altre condizioni ambientali, è funzione del contenuto in sali disciolti e, nel contesto esaminato, consente di riconoscere acque provenienti dall'unità marnoso-gessosa. La variabilità di valori individuata consente, in prima approssimazione, di valutare il ruolo della circolazione all'interno dei corpi gessosi facilmente solubili tramite l'arricchimento in sali disciolti.

La temperatura del corpo idrico, insieme al confronto con quella dell'aria, può evidenziare il tipo di circolazione a cui è riferibile il campione di acqua in esame. La temperatura dell'aria varia considerevolmente nell'arco della giornata in funzione dell'esposizione e dell'irraggiamento. Con un certo ritardo ed una sensibile attenuazione dovuta alla rilevante inerzia termica dell'acqua questa oscillazione si ripercuote sullo stato termico dei corpi idrici esposti direttamente all'aria (corsi d'acqua, canali, piccoli bacini). Le acque relative alla circolazione profonda, invece, non subiscono in modo apprezzabile gli effetti della radiazione solare e mostrano una oscillazione molto limitata della temperatura sia nel ciclo giornaliero che stagionale. Analogamente le variazioni tra diversi punti di campionamento relativi a circuiti idrici profondi sono piuttosto ridotti.

Bassi valori di conducibilità ($300 \div 400 \mu\text{S}/\text{cm}$), e quindi tenori molto ridotti in sali disciolti, sono caratteristici delle acque del F. Tanaro il cui chimismo risulta molto diverso dalla circolazione idrica locale del versante collinare. Defluenti lentamente nel loro alveo le acque del Fiume presentano un'ampia superficie di esposizione all'irraggiamento che consente il loro progressivo riscaldamento, con temperature che raggiungono valori prossimi a quelli dell'aria (temperature massime: aria = $21.2 \text{ }^\circ\text{C}$, acqua Tanaro = $18.0 \text{ }^\circ\text{C}$). Caratteri analoghi sono stati rilevati nel Canale ENEL di Verduno, alimentato tramite una traversa in alveo dalle acque del Tanaro. Le acque del laghetto della Cascina Dabene per il rapido riscaldamento connesso al limitato volume dell'invaso e la mancanza di ricambi idrici significativi raggiungono temperature ancora più elevate (18.9°). Il limitato valore di conducibilità (circa $300 \mu\text{S}/\text{cm}$) indica un'alimentazione da acque di superficie o, comunque non attraversanti direttamente corpi gessosi. Come confermato dal vicino sondaggio SPD26-1, che riscontra la presenza di orizzonti gessosi solo a profondità superiori ai 31 m, si tratta probabilmente di circolazione epidermica all'interno dei limi sabbiosi dell'unità geologico-tecnica 5.

I corsi d'acqua minori (Rii Deglia, San Giacomo e San Michele) presentano conducibilità molto più elevate ($1400 \div 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$) e temperature inferiori indicanti un'alimentazione da parte di acque a composizione e circolazione completamente diversa. Si tratta di circuiti idrici sotterranei impostati per una parte rilevante nella Formazione Gessoso-Solfifera. La variabilità dei parametri lungo i corsi d'acqua è riferibile ai terreni direttamente attraversati.

Tutti i campioni prelevati in sondaggi che attraversano corpi gessosi, spesso interessati da reticoli di condotti carsici, presentano conducibilità molto elevate ($1900 \div 2500 \mu\text{S}/\text{cm}$) riferibili ai sali disciolti allo stato ionico ed evidenzianti l'attività dei processi dissolutivi in atto. Le temperature pressochè costanti ($12 \div 14 \text{ }^\circ\text{C}$), sia nel ciclo della



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

giornata che nell'ambito dell'intero campionamento, indicano l'esistenza di circuiti profondi che non risentono degli effetti dell'irraggiamento.

I parametri relativi a sorgenti e pozzi superficiali evidenziano circuiti idrici alimentanti di diversa tipologia. Le elevate conducibilità misurate nelle Sorgenti del Canale ENEL, n. 1 e n. 2, sono riferibili sempre a circuiti idrici all'interno dei corpi gessosi, mentre i valori minori del Pozzo n. 2 nei pressi della frazione di Cogni e della Fontana del Mulino fanno ipotizzare un'alimentazione attraverso le coperture superficiali o comunque senza l'attraversamento di corpi gessosi significativi.

Nella tabella seguente sono riportate le misure in sito dei parametri chimico fisici relativi a corpi idrici superficiali, perforazioni e sorgenti. I parametri sono stati rilevati nell'ottobre 2001 a seguito di una stagione estiva con precipitazioni pressoché nulle.

Strumentazione impiegata: conducimetro WTW LF325-B dotato di sonda integrata (TetraCon 325); i valori di conducibilità sono riportati alla temperatura standard di 20°C. Operatore: Tecnico GD TEST srl (Torino).

Misura in sito dei parametri chimico fisici relativi ad acque superficiali e sotterranee

Campione	Punto prelievo	Soggiacenza del livello idrico (m dal p.c.)	Conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura acqua ($^{\circ}\text{C}$)	Temperatura aria ($^{\circ}\text{C}$)	Ora campionamento
SPE 26-13	Piezometro	30.14	2140	13.5	15.3	10.00
Fontana del Mulino	Sorgente	- 1.50	1003	14.2	17.5	10.00
Rio Deglia (punto 1 a monte)	Corso d'acqua	0.00	1887	13.7	17.8	11.00
SPE 26-06	Piezometro	2.06	2070	14.0	18.9	11.00
SFG 9	Piezometro	22.06	1936	12.6	18.4	
Canale ENEL (punto 2 intermedio)	Canale artificiale	0.00	328	16.8	19.6	12.00
SPE 26-15	Piezometro	19.11	1973	12.0		12.30
Rio S. Giacomo (punto 2 a valle)	Corso d'acqua	0.00	1404	14.6	19.9	13.00
SPE 26-14	Piezometro	37.69	2400	13.6	19.6	13.00
F. Tanaro (punto 1 a monte)	Corso d'acqua	0.00	329	16.0		13.00
Canale ENEL (punto 1 a monte)	Canale artificiale	0.00	329	16.1		13.00
Canale ENEL (punto 3 a valle)	Canale artificiale	0.00	332	15.0		14.00
SFG 14	Piezometro	47.65	1878	13.9	20.4	14.00
Sorgente Canale ENEL di Verduno	Sorgente	0.00	1890	15.0	22.3	14.00
SFG 12	Piezometro	30.06	613	13.2	20.7	15.00
SPE 26-8	Piezometro	4.10	1292	13.8	22.9	15.00
SFG 19	Piezometro	22.71	2070	13.0	20.7	16.00
SPE 26-7	Piezometro	8.43	2030	13.0	22.8	16.00
F. Tanaro (punto 3 a valle)	Corso d'acqua	0.00	363	17.5		17.00
SFG 1	Piezometro	6.35	2490	13.0	21.2	17.00
Sorgente 1	Sorgente	0.00	2150	14.1		17.00
SFG 11	Piezometro	39.06	1860	14.4	22.8	17.00
Cascina Dabene	Laghetto	0.00	334	18.9	20.9	18.00
Pozzo 2 (nei pressi di Cogni)	Pozzo	1.50	1116	14.4	20.3	18.00

	Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6 Roddi – Diga Enel PROGETTO ESECUTIVO Relazione geologica ed idrogeologica generale
---	--

Sorgente 2	Sorgente	0.00	2110	15.3		18.00
Rio S. Michele (punto 1 a monte)	Corso d'acqua	0.00	1970	15.0	19.8	19.00
Rio S. Giacomo (nei pressi frazione)	Corso d'acqua	0.00	1694	15.3	19.6	19.00
Rio S. Michele (punto 2 a valle)	Corso d'acqua	Alveo asciutto	-	-	-	19.10
F. Tanaro (punto 2 intermedio)	Corso d'acqua	0.00	355	18.0		19.10
Rio Deglia (punto 1 a monte)	Corso d'acqua	0.00	1683	15.0		19.20

Per la caratterizzazione del chimismo e della qualità delle acque presenti, nonché verificare i rapporti composizionali tra acquifero e fluidi circolante sono state condotte serie complete di determinazioni di laboratorio su un ampio gruppo di campioni rappresentativo dei vari settori del rilievo collinare posti a monte, in prossimità ed a valle del tracciato di progetto.

I dati ottenuti in laboratorio confermano i parametri indicati in precedenza e permettono una precisa definizione della natura della circolazione sotterranea e dei suoi rapporti con le acque di superficie. La loro valutazione complessiva consente le seguenti considerazioni:

- le acque prelevate in fori di sondaggio contengono quantità variabili, comunque elevate, di sostanze solide. La determinazione dei solidi sospesi è effettuata sul totale del campione e indica tutti i materiali in sospensione nella matrice in oggetto. All'esame visivo le sostanze presenti sono riferibili alla frazione granulometricamente più fine dei terreni in posto in cui è impostato il piezometro (particelle argillose). La colorazione è grigio-brunastra e appare variare in funzione del contenuto relativo dei vari metalli. Sedimenti di colore bruno potrebbero essere correlati ad alte concentrazioni di manganese.

La presenza di elevati contenuti in sostanze solide in sospensione è coerente con il facile disfacimento dei terreni argilloso-marnosi immersi in acqua, come rilevato direttamente con alcune prove effettuate nel corso della campagna geognostica. La posizione di prelievo dei campioni all'interno del foro, posta sempre molti metri o varie decine di metri al di sopra del fondo foro, fa escludere la possibilità che si tratti di sedimenti depositati alla base del piezometro.

- Il residuo fisso a 180 °C effettuato sulla frazione filtrata al setaccio 45 µ fornisce il tenore di sali disciolti. I valori sono sempre elevati, sia nelle acque di superficie, che profonde, e correlabili ai forti tenori in calcio e solfati. Questo conferma, sia la facile solubilità dei corpi gessosi attraversati dalla circolazione idrica, sia l'esistenza di una circolazione profonda in grado di attraversare l'intero spessore dei terreni relativi alla Formazione Gessoso-Solfifera.

- Non è stata rilevata la presenza di metano. Data la volatilità di questo gas, speciali accorgimenti sono stati adottati nel campionamento per evitarne la dispersione, tramite l'utilizzo di appositi "Vials" a tenuta per il prelievo dei campioni d'acqua. In tutta la serie analizzata (13 campioni) non sono stati riscontrati valori al di sopra del Limite di Rilevabilità (1.77 mg/l).

	Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6 Roddi – Diga Enel PROGETTO ESECUTIVO Relazione geologica ed idrogeologica generale
---	--

- In alcuni campioni sono stati rilevati valori elevati di ammoniaca e nitrati, riferibili molto probabilmente alla percolazione dalla superficie di sostanze inquinanti di origine antropica.

Campione	Prof. prelievo (m da pc)	Solidi sospesi totali	Residuo 180 °C (mg/l)	Solfati (mg/l)	Durezza totale °F	Nitrati (mg/l)	Ammoniaca (mg/l)	Metano (mg/l)
Sorgente Canale ENEL	In superficie			1240				
Fontana del Molino	In superficie			367				
Rio Deglia	In superficie	10.0	2390	1510	148	4.360	< RL	< RL
Laghetto Cascina Dabene	In superficie	390	257	3360	14.6		< RL	< RL
SFG 1	9.4	62900	3490	1650	203	< RL	1.850	< RL
SFG 9	25	32900	2070	1500	160	0.938	< RL	< RL
SFG 11	42	10200	2 1020	1260	141	16.500	0.064	< RL
SFG 12	33	440	647	218	37.6	0.162	0.175	< RL
SFG 14	50.7	11500	2430	1430	142	9.410	0.544	< RL
SFG 19 piez. superf.	25.7	16800	2010	2010	170	4.390	0.394	< RL
SPE 26-06	5	2020	2560	1480	159	3.170	< RL	< RL
SPE 26-07	11.5	1250	560	1560	169	4.130	0.135	< RL
SPE 26-08	7	57300	1490	803	95	0.583	0.077	< RL
SPE 26-13	33			1420				
SPE 26-14	40.7	81200	1700	1700	161	89.400	< RL	< RL
SPE 26-15	22	17800	2630	1500	163	2.040	< RL	< RL

Per la determinazione della qualità delle acque sotterranee sono stati individuati, in relazione all'assetto idrogeologico delineato per il rilievo collinare, tre siti particolarmente significativi per i deflussi sotterranei. Questi comprendono:

- un punto posto nel tratto superiore del versante, a monte del tracciato della galleria, nell'ambito dell'area di alimentazione della circolazione profonda. La presenza di grandi forme di sprofondamento e le tracce di importanti discontinuità che improntano anche l'assetto morfologico evidenziano la presenza di zone di infiltrazione degli apporti meteorici e di scorrimento preferenziale nei flussi sotterranei. In questo sito il campionamento è stato effettuato all'interno del sondaggio SPE 26-13, attrezzato con piezometro a tubo aperto fenestrato tra 15 ÷ 36 m dal piano campagna nell'ambito della Formazione Gessoso-Solfifera.

- due punti situati al piede del versante collinare, a valle del tracciato, in prossimità del margine del fondovalle. Questi siti sono relativi a due emergenze puntuali della circolazione idrica profonda impostata all'interno della Formazione Gessoso-Solfifera, la Fontana del Mulino posta nei pressi del Mulino di Verduno (all'incrocio della provinciale



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

Alba-Pollenzo) e la sorgente posta lungo il canale ENEL nelle vicinanze dell'opera di presa in alveo al Tanaro . Queste sorgenti con portate modeste, ma caratterizzate da deflusso permanente, regime relativamente omogeneo ed elevati tenori in sali disciolti, rappresentano l'emergenza della circolazione idrica profonda.

Le acque prelevate in questi punti sono state sottoposte alla determinazione della qualità delle acque sotterranee. Le analisi sono state condotte presso i Laboratori THEOLAB S.r.l. di Volpiano (TO).

Dall'insieme dei dati ottenuti si rileva:

- Tenori in solfati, salinità complessiva, temperatura dell'acqua e conducibilità elettrica sono comparabili con i valori ottenuti negli altri punti di campionamento delle acque relative alla circolazione profonda.

- Le concentrazioni in metalli sono comparabili o superiori a quelle previste dal Dgls 152/06 e smi. Le analisi in accordo alla normativa sono state condotte sul totale dei materiali presenti nell'acqua, sia sotto forma di sali disciolti, che di sostanze in sospensione. In relazione alla presenza di rilevanti quantità di solidi sospesi ed alla composizione mineralogica della Formazione Gessoso-Solfifera, i metalli rilevati possono derivare dalla percolazione attraverso l'acquifero (origine naturale), o provenire da una sorgente inquinante (origine antropica). Per valutare la reale distribuzione di questi elementi è necessario, oltre che effettuare confronti tra acque campionate a monte e valle di un eventuale fonte inquinante, condurre analisi in parallelo sul totale della matrice ed il filtrato. In questo modo è possibile associare la provenienza dei composti a cessioni da parte della matrice litoide o a reali percolazioni da sorgenti estranee al sistema naturale.

Nel dettaglio, per le sostanze principali si osserva:

- solfati: concentrazioni sino a 6 volte superiori ai limiti del Dgls 152/06 e smi ;
- metalli: nella sorgente del Canale ENEL la presenza del manganese è poco superiore al limite prescritto dal Dgls 152/06 e smi. Nella Fontana del Mulino, alluminio, ferro e manganese, superano ampiamente i tenori prescritti. Nel campione di acqua SPE 26-13 si riscontrano concentrazioni molto maggiori ai limiti del Dgls 152/06 e smi per l'alluminio (oltre 500 volte superiore), l'arsenico, il cobalto, il cromo totale (oltre 6 volte), il ferro (1000 volte), il manganese (oltre 100 volte), il nichel (20 volte), il piombo (circa 40 volte), il tallio;
- ammine aromatiche: sempre inferiori ai Limiti di rilevabilità;
- composti aromatici: sempre inferiori ai Limiti di rilevabilità;
- composti fenolici: sempre inferiori ai Limiti di rilevabilità;
- pesticidi clorurati: sempre inferiori ai Limiti di rilevabilità.

In definitiva, le analisi chimiche condotte sui campioni di acqua prelevati in superficie e in profondità evidenziano una presenza di sostanze disciolte e in sospensione con tenori spesso superiori alle concentrazioni limite ammesse dal Dgls 152/06 e smi. Il quadro emerso con le indagini svolte per lo sviluppo progettuale del Lotto è coerente, in un contesto territoriale più ampio, con l'assetto idro-geologico riconosciuto per la Valle Tanaro ed il margine collinare.



In tutto il settore compreso tra Verduno ed Alba, le acque relative al reticolo idrografico minore ed alla circolazione sotterranea presentano forti tenori in salie metalli a causa del dilavamento e della dissoluzione dei depositi evaporitici connessi alla Formazione Gessoso-solfifera.

Questo determina per cause naturali una situazione generalizzata di qualità molto scadente delle acque di superficie e sotterranee, che ne limita fortemente l'impiego e le rende inutilizzabili a scopo potabile.

Le acque con queste caratteristiche, sia di ruscellamento che profonde, interagiscono già attualmente con i corpi idrici superficiali in cui hanno il recapito finale e versano in esse il loro tenore in sostanze disciolte, influenzandone in misura diversa il chimismo. In presenza di questi rapporti idrici e geochimici tra scorrimento superficiale e circolazione profonda è ragionevole ipotizzare che anche eventuali interferenze connesse con la realizzazione della galleria non comportino significative variazioni nella qualità delle acque.

Le modalità di realizzazione e la tipologia degli interventi previsti per l'esecuzione delle opere in sotterraneo prevedono comunque, come si evince dai relativi Elaborati progettuali, la messa in posto immediata del rivestimento, con intasamento degli interstizi tra rivestimento e roccia in posto e di eventuali cavità intercettate. Questo procedimento costruttivo è stato adottato proprio allo scopo di evitare qualsiasi richiamo della circolazione idrica sotterranea verso il cavo della galleria e quindi possibili alterazioni nei flussi sotterranei con variazioni nel chimismo.

Analogamente, per quando si riferisce alla messa a discarica dei materiali di smarino, la realizzazione dell'opera non prevede l'accumulo e il reimpiego di terreni inquinanti. L'utilizzo per l'esecuzione di opere accessorie e la messa a discarica comporta esclusivamente la movimentazione dei materiali provenienti dagli scavi, con caratteristiche chimico-composizionali analoghe alle condizioni naturali del deposito in sito.

12.9 INTERFERENZA DELLE OPERE SOTTERRANEE CON L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

12.9.1 Premessa

Per quanto concerne la previsione delle interferenze delle opere sotterranee sull'acquifero si riporta una breve sintesi delle principali valutazioni contenute nella Relazione Idrogeologica relativa alla Galleria di Verduno, a cui si rimanda per ogni specifico approfondimento. A livello di inquadramento generale, in tale relazione viene descritto il modello concettuale di dettaglio dei settori di attraversamento della galleria, il quale costituisce una base per la stima dei possibili impatti sulle falde acquifere, per l'identificazione degli effetti di superficie (es. innesco frane, sprofondamenti) connessi a variazioni dell'assetto idraulico dell'acquifero, per la progettazione delle opere in galleria e per la predisposizione delle misure necessarie ai fini della riduzione dei rischi in fase di scavo e degli impatti sul lungo periodo. Il modello concettuale ricostruito in questo ambito ha rappresentato anche una base per l'implementazione di un modello numerico tridimensionale di flusso relativo al settore di attraversamento della galleria nell'acquifero dei gessi.

12.9.2 Ricostruzione piezometrica

Preliminarmente alla valutazione degli effetti del tunnel sulla falda acquifera è stata eseguita una ricostruzione della piezometria media della falda. Da tale ricostruzione 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 idrologici. 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.

12.9.3 Caratterizzazione idrogeologica dei settori di scavo

La caratterizzazione idrogeologica di dettaglio è stata effettuata suddividendo il tracciato delle gallerie principali in cinque tratte, corrispondenti a porzioni di ammasso con caratteristiche litologiche e geotecniche omogenee:

Codice	Descrizione
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. Sul lungo periodo 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;
- 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.

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.

12.9.4 Principali risultati della modellizzazione numerica

Una modellizzazione numerica 3D del flusso è stata realizzata relativamente al tratto di galleria che attraversa l'acquifero dei gessi. L'obiettivo della modellizzazione è stato il confronto e la validazione delle ipotesi descritte nel modello idrogeologico concettuale, la stima degli effetti idraulici indotti dalla opere in sotterraneo previste (come perturbazione sull'acquifero e come portate d'acqua dalle opere drenanti) ed il supporto al dimensionamento dei sistemi di drenaggio.

Relativamente alla fase di scavo del cunicolo centrale alle due canne (Fase I) e dello scavo della galleria (in concomitanza del quale il cunicolo sarà ancora attivo; Fase II), le simulazioni indicano che, rispetto alla situazione ante-operam, si potrà instaurare un abbassamento di lieve entità (fino a 0.5 m) esteso fino a 250 m dalla zona di massimo abbassamento, mentre un abbassamento maggiore (3.5-4.5 m) potrà essere circoscritto ad una distanza di 40 m dall'opera. L'abitato della Borgata Garassini rimarrà ubicato esternamente a tali zone di abbassamento, quindi l'impatto previsto per questo abitato è minimo. L'unica differenza consistente tra la Fase I e II è che in corrispondenza della seconda fase, le due canne impermeabilizzate produrranno un innalzamento localizzato del carico idraulico (ca. 0.5-1.5 m) nelle vicinanze della canna di monte.

Durante la Fase III, l'inserimento dei vari fori drenanti connessi ai due by-pass della galleria provocherà comunque lo sviluppo di un abbassamento della superficie naturale di falda comparabilmente maggiore di quello osservato nelle fasi costruttive precedenti. L'abbassamento massimo si registra a qualche decina di metri a Sud della canna di monte e raggiunge valori di 8 m rispetto alla condizione naturale (ante-operam). Un abbassamento di 2.5 m è atteso in una fascia compresa tra 150-190 m di distanza dal punto di abbassamento massimo, mentre un abbassamento di 1.5 m è atteso in una fascia compresa tra 400-450 m di distanza dal punto di abbassamento massimo. Anche in questo caso la Borgata Garassini ricade in una fascia in cui gli effetti dell'abbassamento in corrispondenza dell'abitato possono essere considerati ininfluenti ai fini dei rischi di innesco di fenomeni d'instabilità in superficie (es. cedimenti, franamenti).

Un aspetto importante da rimarcare è che per tutte queste fasi di scavo gli abbassamenti stimati, compresi quelli massimi, risultano minori rispetto alle variazioni stagionali naturali misurate attraverso i piezometri della rete di Monitoraggio Ambientale in questo settore.

Attraverso le simulazioni è stato inoltre possibile ottenere una stima delle portate previste in corrispondenza alle opere drenanti relativamente al breve (cunicolo centrale alle due canne) e al lungo periodo (sistema di dreni permanente).



13. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Documenti di progetto

SOCIETA' AUTOSTRADA TORINO-ALESSANDRIA-PIACENZA S.P.a. (1993) – Collegamento A6 – A21 (Asti-Cuneo). Indagine per l'affioramento dello studio della situazione idrogeologica. 42 pp. + 42pp., con Allegati.

SOCIETA' AUTOSTRADA TORINO-ALESSANDRIA-PIACENZA S.P.a. (1999) – Collegamento A6 – A21 (Asti-Cuneo). Monitoraggio delle falde idriche sotterranee. Misure piezometriche.

GD TEST (2001-2002) – Collegamento A6 – A21 (Asti-Cuneo). Lotto 2.6 – Roddi – Diga ENEL. Strumentazione automatica di rilievo del livello di falda. Aggiornamento al Febbraio 2002.

GEOTECNO (2001-2002) - Collegamento A6 – A21 (Asti-Cuneo). Progetto Esecutivo. Monitoraggio delle falde idriche sotterranee. Misure piezometriche. Aggiornamento al Febbraio 2002.

Altri elaborati di interesse progettuale

INGEGNERIA GEOTENICA (Gennaio 2001) – *Indagini geognostiche integrative nell'area del Nuovo Ospedale di Alba-Bra. Torino.*

REGIONE PIEMONTE, DIREZIONE REGIONALE SERVIZI TECNICI DI PREVENZIONE – *Settore Progettazione interventi geologici-tecnici e sismico, Settore Prevenzione Territoriale del rischio Geologico di Cuneo (Giugno 2000) – A.S.L. 18 Alba-Bra. Indagini geognostiche e impianto di controllo per la realizzazione di un complesso ospedaliero presso Verduno (CN). Relazione finale. Torino.*

REGIONE PIEMONTE, DIREZIONE REGIONALE SERVIZI TECNICI DI PREVENZIONE – *Settore Progettazione interventi geologici-tecnici e sismico, Settore Prevenzione Territoriale del rischio Geologico di Cuneo (Giugno 2000) – A.S.L. 18 Alba-Bra. Indagini geognostiche e impianto di controllo per la realizzazione di un complesso ospedaliero presso Verduno (CN). Torino.*

Cartografia e riprese aerofotografiche

CORPO REALE DI STATO MAGGIORE – *Gran Carta degli Studi Sardi in Terraferma. F.Alba. Scala 1:50000. Rilievi del 1826-27.*

CORPO REALE DI STATO MAGGIORE – *Gran Carta degli Studi Sardi in Terraferma. F. 59 Alba. Scala 1:50000. Rilievi del 1852.*



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Carta Topografica d'Italia a scala 1:25000, Foglio 68 – II SE Bra.* Rilievi del 1880, con ricognizioni generali del 1924 e ricognizioni parziali (strade rotabili e particolari importanti) del 1964.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Carta Topografica d'Italia a scala 1:25000, Tav. 69 – III SO Bra.* Rilievi del 1880, con aggiornamenti del Novembre 1897.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Carta Topografica d'Italia a scala 1:25000, Tav. 69 – III SO Bra.* Rilievi del 1880, con ricognizioni generali del 1923 e ricognizioni parziali (strade rotabili e particolari importanti) del 1965.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Carta Topografica d'Italia a scala 1:25000, Foglio 80 – I NE Cherasco.* Rilievi del 1879, con ricognizioni generali del 1922 e ricognizioni parziali (strade rotabili e particolari importanti) del 1933.

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) – *Riprese aerofotografiche relative al Volo GAI 1954.* Foto in bianco e nero.

REGIONE PIEMONTE (1979-1980) – *Riprese aerofotografiche della provincia di Cuneo.* Foto a colori.

REGIONE PIEMONTE (1979-1980) – *Carta Tecnica Regionale (CTR) a scala 1:10000.* Restituzione aerofotogrammetria delle riprese del 1991.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969-70) – *Carta Geologica d'Italia a scala 1:100000. Fogli: 68-Carmagnola, 69-Asti, 81-Ceva, e Note Illustrative.* Seconda edizione. Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato.

SOCIETA' AUTOSTRADA TORINO-ALESSANDRIA-PIACENZA S.P.a. (1997) – *Collegamento A6 – A21 (Asti-Cuneo). Riprese aerofotografiche relative al rilievo aerofotogrammetrico per la redazione del progetto Definitivo ed esecutivo del Collegamento Autostradale A6-A21.* Foto in bianco e nero.

Geologia e geomorfologia

AA.VV. – *La città di Alba nel cinquantennio 1848-1898.* Archivio Biblioteca Civica di Alba.

AA.VV. (1996) – *Novembre 1994. L'Alluvione – L radici di una catastrofe.* 105 pp. Alba. Gruppo Fotografico Albere. Associazione "Amici del Museo F.Eusebio".

ARATTANO M., BRUNAMONTE F. & LUINO F. (1996) - *Evento alluvionale del 5-6 novembre 1994 in Piemonte: considerazioni sulla vulnerabilità di alcuni centri abitati.* Atti 1° Convegno del Gruppo Nazionale di Geologia Applicata: "La città fragile in Italia". Taormina, 12-15 giugno 1995. *Geologia Applicata e Idrogeologia*, vol. XXX, pp. 89–108.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

ARATTANO M., BRUNAMONTE F., MARAGA F., TANTARO C., VIOLA E. (1994) – *Fiume Po, inondazione del 5-6-7-8 Novembre 1994 in territorio piemontese e lombardo (province TO, VC, AL, PV): rapporto dei sopralluoghi di emergenza*. Rapporto Tecnico n.94/7. Conv. CNR-GNDICI, 12-14/12/1994, Roma.

ARATTANO M & BRUNAMONTE F. (1994) – *Evento alluvionale del novembre 1994: rilievo aree inondate nei centri abitati (Alba, Alessandria, Asti, Felizzano)*. C.N.R.-I.R.P.I. Torino – P 94/13.

BALESSIO F. CAVALLI C., CIVITA M., MACHIORLATTI M., OLIVERO G., VIGNA B., (1995) – *La pianura cuneese (Piemonte meridionale): allocazione, qualità di base e vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee*. Quaderni di geologia applicata, 3,1, 1995, Pitagora Ed. Bologna, p.3.3-3.16.

BIANCOTTI A. (1979) – *Rapporti fra morfologia e tettonica nella pianura cuneese*. Geogr. Fis. Din. Quat., 2(1).

BIANCOTTI A. (1981) .- *Geomorfologia dell'Alta Langa (Piemonte meridionale)*. Mem. Soc. Ital. Sc. Nat., XXII (3): 59-104. Milano.

BIANCOTTI A. & CORTEMIGLIA G.C. (1982) – *Morphogenetic evolution of the River System of Southern Piedmont (Italy)*. Geogr. Fis. E Dinam. Quarter., Com. Glaciol. Ital., 5, 10-15, Torino.

BORTOLAMI G., MAFFEO B., MARADEI V., RICCI B., SORZANA F. (1976) – *Lineamenti di litologia e geoidrologia del settore piemontese della pianura padana*. Quaderni Ist. Ricerca Acque, 28(1).

BOTTINO G., CAVALLI C., EUSEBIO A., VIGNA B. (1994) – *Stratigrafia ed evoluzione Plio-Quaternaria del settore sud-orientale della pianura cuneese*. Atti Ticinesi di Scienze della Terra, 1/94, Pavia.

BOTTINO G., CAVALLI C., VIGNA B., EUSEBIO A., GRASSO P., (1994) – *Geological and geotechnical models in the south-eastern of Cuneo, Italy*. 7th Congress of Int. Ass.Eng.Geol., 5, 3943-3950.

BUTERA L., BIANCO P.A., RANCIOLLI G., GALLATI M., GIRAUDI F., MACCHI E. & SORDO S. (1998) – *Analisi e valutazione idrauliche relative al tratto Cherasco-Asti del collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo) suggerite dall'evento alluvionale del novembre 1994*. Atti del convegno "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche. Il contributo della ricerca scientifica". vol. 2, pubbl. n. 1600 GNDICI.

COMPAGNONI F., FORLATI F., SUSELLA G. & TAMBERLANI F. (1995) – *Le marne oligo-mioceniche delle "Langhe": classificazione geotecnica preliminare*. GEAM, dicembre 1995, 201-212.



Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale

CARRARO F. (1975) – *Some Neotectonic data from northern Italy*. Anais da Ac. Bras. De Ciencias, vol, 47.

CARRARO F. (1976) – *Diversione pleistocenica nel deflusso del bacino piemontese meridionale: un'ipotesi di lavoro*. Gr. St. Quaternario Padano, Quad. 3, 89-100. Lit. Massazza & Sinchetto, Torino.

CARRARO F.(1996) – *Inquadramento morfologico*. In CARRARO F. (a cura di): *Revisione del Villafranchiano nell'area-tipo di Villafranca d'Asti*. Il Quaternario, 9 (1a), 5-120.

CARRARO F. & PETRUCCI F. (1975) – *Some Neotectonic data from northern Italy*. An.Acad. Brasileira de Ciencias, vol.47, pp. 113-117, Rio De Janeiro.

CARRARO F. (1976) – *Diversione pleistocenica nel deflusso del bacino piemontese: un'ipotesi di lavoro*. Gruppo di Studio del Quaternario Padano, 3, pp. 89-100.

CARRARO F., COLLO, FORNO M.G., MARAGA F., PEROTTO A. & TROPEANO D. (1995) – *L'evoluzione del reticolato idrografico del Piemonte centrale in relazione alla mobilità quaternaria*. Atti del Convegno "Rapporti Alpi-Appennino", Peveragno, 31 maggio-1 giugno 1994.

CARRARO F., FORNO M.G., & RICCI B. (1981) – *Ricostruzione preliminare dell'evoluzione plio-pleistocenica dell'area corrispondente ai rilievi delle Langhe, del Monferrato e della collina di Torino*. In "Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia". C.N.R., P.F. Geodinamica, 356 pp.

CARRARO F. & VALPREDA E. (1991) – *Il Quaternario medio e superiore del Bacino di Asti*. Il Quaternario, 4 (1a), 151-172.

CASSANO E. ANELLI L., FICHERA R., CAPPELLI V. (1986) – *Pianura padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici*. Pubbl. Agip. 73° Congr. Soc.Geol.It. Roma, 27.

CAVALLI C., VIGNA B. (1995) – *Il "Villafranchiano" nel sottosuolo della pianura cuneese*. Italian Journal Of Quaternary Sciences, 8(2), p. 423-434.

CAVALLO O., MACAGNO M., PAVIA G., (1986) – *Fossili dell'Albese*. Famija Albeisa, Alba, 223 pp.

CAVALLO O., REPETTO G. (1988) – *Un nuovo giacimento della facies a Congerie dell'Albese*. Riv.Piemontese Storia Naturale, 9, 43-62.



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco Il Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

CITA B.M. (1967) – *Notizie sul Tortonianano-tipo*. In: IV Congr. Comit. Neog.Medit., Guida alle escursioni, 39 pp. Bologna.

CIVITA M., EUSEBIO A., CAVALLI C., VALDEMARIN F., VIGNA B. (1994) – *Interazioni tra opere autostradali ed acquiferi soggiacenti: alcune situazioni in Piemonte*. IV Geoenvironm.Int.Congress "Soil and groundwater protection", Torino, 10-11/3/94.

CLARI P., DE LA PIERRE F., NOCARETTI A., TIMPANELLI M. (1994) – *La successione oligo-miocenica del Monferrato occidentale: confronti e relazioni con Monferrato orientale e la collina di Torino*. Atti Tic.Sc. Terra, serie speciale 1, pp. 191-203.

D'ATRI A., PIANA F., TALLONE S., BODRATO G. & ROZ GASTALDI M. (1997) – *Tettonica oligo-miocenica nell'alto Monferrato (Bacino Terziario Piemontese) e nel settore nord-occidentale del Gruppo di Voltri (Acqui Terme-Cassinelle, AL)*. Atti Tic. Sc. Terra. Serie speciale 5, 85-100.

DESTEFANIS E. (1928) – *Le difese fluviali saltuarie progettate ed attuate nel Tanaro presso Alba*. Annali dei Lavori Pubblici, 1070-1077, 2 tavv.

FALLETTI P. (1994) – *Caratteri stratigrafici della successione oligo-miocenica nel settore orientale del Monferrato*. Atti Tic. Sc. Terra, serie speciale 1, 269-282.

FORNO M.G. (1980) – *Evidenza di un drenaggio abbandonato nel settore settentrionale dell'Altopiano di Poirino (provincia di Torino)*. Geogr. Fis. Din. Quat. 3, pp.61-65.

FORNO M.G. (1982) – *Studio geologico dell'altopiano di Poirino (Torino)*. Geogr. Fis. Din. Quat. 5, pp. 129-163.

GABERT P. (1962) – *Les plaines occidentales du Po et leurs piedmonts (Piemont, Lombardie occidentale et centrale)*. Etude Morphologique. 531 pp. Louis Jean, Gap.

GELATI R.(1976) – *Osservazioni stratigrafiche sull'Oligo Miocene delle Langhe (Rimonte Italia)*. Pubbl. Ist. Geol. Univ. Milano, s. 6, n. 236, 18 pp.

GELATI R. & GNACCOLINI M. (1988) – *Sequenze deposizionali in un bacino episaturale nella zona di raccordo tra Alpi ed Appennino settentrionale*. Atti Ticinesi di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, 31, pp.340-350.

GIANMARINO M. (1984) – *Evoluzione delle Alpi Marittime e sue relazioni con il Bacino Terziario del Piemonte ed il Mar Ligure*. Atti Scoc. Tosc. Sci. Nat., Mem. A, 91, pp.155-179.

GNACCOLINI M. (1968) – *Il bacino delle Langhe (Piemonte) durante il Miocene*. Riv. Ital. Paleont. Strat., 74 (1), 133-146. Milano.



GNACCOLINI M., GELATI R., CATRULLO D & FALETTI P. (1990) – *Sequenze deposizionali nella successione oligo-miocenica delle "Langhe": un approccio alla stratigrafia sequenziale del bacino terziario ligure-piemontese*. Mem. Soc. Geol. It., 45, pp.671-686.

LUINO F. & TURITTO O. in collaborazione con MALCANGI V. (1998) - *L'analisi storica quale elemento d'indagine per l'individuazione delle aree soggette a rischio d'inondazione: il caso di Alba (Italia nordoccidentale)*". Convegno Internazionale: «La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica», 289-300. Alba (CN), 5-7 novembre 1996. Pubbl. GNDCI n. 1660.

MARAGA F. & TURITTO O. (1998) – *Diagnosi geomorfologica d'inondabilità in casi di studio sull'idrografia padana*. Atti Conv. "La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica", 313-334. Alba (CN), 5-7 novembre 1996. Pubbl. GNDCI n. 1660.

MARTINIS B. (1954) - *Ricerche stratigrafiche e micropaleontologiche sul Pliocene Piemontese*. Riv. Ital. Paleont. Strat.. vol. 60, 62, pp. 45-72, Milano.

REGIONE PIEMONTE (1998) – *Eventi alluvionali in Piemonte*. Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione. 415 pp. + 8 tavv. f.t. Torino.

SACCO F. (1889-1890) – *Il bacino Terziario e Quaternario del Piemonte*. Torino, 908 pp.

SACCO F. (1917) – *L'evoluzione del fiume Tanaro durante l'Era Quaternaria*. Atti Soc. It. Sc. Nt. Milano, 56 pp., 175-178.

SACCO F. (1941) – *Il terrazzamento delle fiumane padane a monte di Torino*. Ann. R. Acc. Agric. Di Torino, 85, 87-97.

SELLI R. (1973) – *An outline of the Italian Messinian. Paleoenvironmental and Paleogeographic implications*. In: "Messinian events in the Mediterranean", Kon. Nederl. Akad. Wetensch., 243-255. Amsterdam.

STURANI C. (1973) – *A Fossil (Anguilla sp.) from the Messinian of Alba (Tertiary Piemontese Basin). Paleoenvironmental and Paleogeographic implications*. In: "Messinian events in the Mediterranean", Kon. Nederl. Akad. Wetensch., 255-355. Amsterdam.

STURANI C. (1976) – *Messinian facies in Piedmont Basin*. Mem. Soc. Geol. It., 16, 11-25.

STURANI C., SAMPO M. (1974) – *Il Messiniano inferiore in facies diatomitica del Bacino Terziario Piemontese*. Mem. Soc. Geol. It., 12, 335-358.



TURITTO O. & LUINO F. (1995a) – *Carta del campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del fiume Tanaro. Tratto C. Scala 1:10000, Sezioni Carta Tecnica Regione Piemonte n. 192080, 192120, 193050, 193090. Regione Piemonte, Settore prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico, Banca Dati Geologica, CSI Piemonte – CNR-IRPI, Torino.*

TURITTO O., MARAGA, LUINO F. (1995b) – *Impatto sulle infrastrutture viarie prodotto da piene con inondazione. Atti 1° Conv. Gr. Naz. Geologia Applicata: "La città fragile in Italia". Taormina, 12-15 giugno 1995. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. XXX, 75-88.*

Idrogeologia

ANGIUS E. (1948) – *Il nubifragio del 4 settembre 1948 in Piemonte. L'Acqua, 26, 11, 125-130.*

ANSELMO V. (1985) – *Massime portate osservate o indirettamente valutate nei corsi d'acqua subalpini. Atti e Rassegna Tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino, n.s., n. 10-12, 245-273.*

BALLESIO F., CAVALLI C., CIVITA M., MACHIORLATTI M., OLIVERO G., VIGNA B., (1995) – *La pianura cuneese (Piemonte meridionale): allocazione, qualità di base e vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee. Atti del 2° Conv. Naz. Sulla Protezione e Gestione delle Acque sotterranee: metodologie, tecnologie e obiettivi, Nonantola (Modena), 17-19 maggio 1995. Quad. Geol. Appl., 1995, ed. Pitagora, Bologna.*

BORTOLAMI G., MAFFEO B., MARADEIV., RICCI B. & SORZANA F. (1976) – *Lineamenti di litologia e geoidrologia del settore piemontese della pianura Padana. Quad. dell'Ist. Di Ricerca sulle Acque, 28(1), Roma, 1976.*

BOTTINO G., CAVALLI C. EUSEBIO A., VIGNA B. (1994) – *Stratigrafia ed evoluzione plio-quadernaria del settore sud-orientale della pianura cuneese. Atti Tic. Sc. Terra, serie speciale I, pp. 153-166.*

BOTTINO G., CAVALLI C., VIGNA B. (1994) – *L'analisi di facies nella prospezione idrogeologica. Geologia Romana, 30, pp. 515-524, Roma.*

BOTTINO G., CAVALLI., VIGNA B., EUSEBIO A., GRASSO P. (1994) – *Geological and geotechnical models in the south-eastern plain of Cuneo, Italy. 7th Congress of Int. Ass. Eng. Geol.*

CAVALLI C., VIGNA B. (1995) – *Il "Villafranchiano" nel sottosuolo della pianura cuneese. Italian Journal Of Quaternary Sciences, 8(2), pp. 423-434.*



**Collegamento autostradale Asti – Cuneo – Tronco II Lotto 6
Roddi – Diga Enel
PROGETTO ESECUTIVO
Relazione geologica ed idrogeologica generale**

CIVITA M., EUSEBIO A., CAVALLI C., VALDEMARIN F., VIGNA B. (1994) – *Interazioni tra opere autostradali ed acquiferi soggiacenti: alcune situazioni in Piemonte*. IV Geoenig. Int. Congress “Soil and groundwater protection”, Torino, 10-11 Marzo 1994.

CIVITA M., FIORUCCI A., MACHIORLATTI M. & MIÈ R. (1999) - *Segnalazione di contenuti anomali di alluminio in acque sotterranee e superficiali nel territorio di Alba*. Atti del 3° Convegno Nazionale sulla Protezione e Gestione delle Acque Sotterranee per il III° millennio. Parma, 13-14-15 ottobre 1999. Quaderni di Geologia Applicata, 1999, vol. 2, p. 3. 123-3. 138 Pitagora editrice Bologna.

PERRONE E. (1916) – *Carta idrografica d'Italia. Tanaro*. 370 pp. 2 cc. + 4 tavv. Ministero di Agricoltura. Roma.

SACCO F. (1911-12) – *Carta Idrografica dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte I*. Ann. R. Acc. Agric. Di Torino.

SACCO F. (1924) – *Geoidrologia dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte II*. Appendice e bibliografia. Min. LL.PP. Serv. Idrografico, Uff. Idrografico del Po, Torino.

SACCO F. (1933) – *Geoidrologia dei pozzi profondi della Valle Padana. Parte III*. Min. LL. PP. Serv. Idrografico del Po, Pubbl. 9, vol. 3. Roma.