



Autostrada Asti-Cuneo

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

STRALCIO a TRA IL LOTTO II.7 E LA PK. 5+000

PROGETTO DEFINITIVO

STUDI E INDAGINI

Geologia e idrogeologia
Relazione geologia e idrogeologica generale

IMPRESA 	PROGETTISTA 	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031 	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA	SCALA
A	05-2021	EMISSIONE	M.Mondet	P.Mazzoni	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	MAGGIO 2021	-
							N. Progr.	
							02.01.01	

CODIFICA	PROGETTO	LIV	DOCUMENTO	REV	WBS
	P017	D	GEO RA 001	A	A33126A000
					CUP
					G31B20001080005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE

INDICE

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO	3
2. DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNE DI INDAGINI	8
2.1. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO PRELIMINARE DELLA VARIANTE DELLA S.S. N. 231 ALBA-BRA (1991-1996).....	8
2.2. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO DEFINITIVO (1998)	9
2.3. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO ESECUTIVO (2001).....	9
2.4. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2006.....	10
2.5. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2011-2012.....	11
2.6. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2018.....	13
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	15
4. INQUADRAMENTO STRUTTURALE E TETTONICO.....	20
5. STRATIGRAFIA.....	22
5.1. MARNE DI SANT'AGATA FOSSILI (<i>TORTONIANO</i>)	26
5.2. FORMAZIONE GESSOSO SOLFIFERA (<i>MESSINIANO</i>)	26
5.3. FORMAZIONE DI CASSANO SPINOLA (<i>MESSINIANO SUP. – PLIOCENE INF.</i>).....	30
5.4. FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE O ARGILLE DI LUGAGNANO (<i>PLIOCENE INF.</i>)	31
5.5. DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (<i>PLEISTOCENE SUP.- ATTUALE</i>)	32
5.6. DEPOSITI DI VERSANTE, DEPOSITI DI FRANA, DEPOSITI DI ORIGINE MISTA (ATTUALE):	33
6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	35
6.1. CENSIMENTO DEI PUNTI D'ACQUA	35
6.2. STUDIO DELLE DOLINE	38
6.3. DEFINIZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE.....	40
7. DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOLOGICI LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO	42
8. BIBLIOGRAFIA.....	45

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOMORFOLOGICO

La presente relazione descrive il quadro geologico di riferimento per il progetto di Collegamento Autostradale Asti-Cuneo, Tronco II, Lotto6 in fase definitiva di progettazione. L'opera è ubicata nella regione Piemonte, in provincia di Cuneo, ed interessa i comuni di Cherasco, La Morra, Verduno e Roddi attraverso un'area collinare nel territorio delle "Langhe" che si sviluppa su una altitudine variabile tra i 200 ed i 400m s.l.m..

La zona è occupata quasi interamente da coltivazioni a vigneto e nocciolo, produzione quest'ultima tipica del territorio. I rilievi, non molto elevati, si presentano sotto forma di ondulazioni morbide del paesaggio, con pendenze moderate dei fianchi collinari e crinali allungati, evidentemente modellati dall'azione dell'acqua di ruscellamento.

Il corso d'acqua principale della zona è il fiume Tanaro che nasce sul Pian di Laiardo, a confine tra Liguria e Piemonte, dalla confluenza dei torrenti Tanarello e Negrone, scorrendo per qualche chilometro in direzione E-O e rappresentando il confine tra le due regioni, per poi progressivamente ruotare la sua direzione fino a scorrere in direzione S-N. Poco ad est dell'abitato di Cherasco, il Tanaro riceve le acque del torrente Stura di Demonte e muta nuovamente la sua direzione di scorrimento in direzione SO-NE fino a confluire nel fiume Po all'altezza di Bassignana.

Il fiume Tanaro scorre in un'ampia valle alluvionale che arriva fino a 3 km di larghezza ma, nel tratto di interesse, presenta una strettoia all'altezza di Santa Vittoria d'Alba che riduce la valle ad una larghezza di circa 1,5 Km. Il fiume Tanaro è evidentemente il principale elemento idro-geomorfologico che ha condizionato la morfologia dei luoghi. Nella sua complessa storia evolutiva è noto il fenomeno di cattura fluviale cui è andato incontro in età pleistocenica. Prima di detta cattura il suo percorso proseguiva in direzione SSE-NNO anche dopo Cherasco e risultando tributario del Po presso Carignano a circa 240 m s.l.m. e circa 17 km a sud di Torino. Il suo antico percorso si snodava attraverso i luoghi dove oggi si trovano Bra, Sommariva del Bosco, Caramagna Piemonte, Carmagnola e, infine, Carignano (Figura 1).

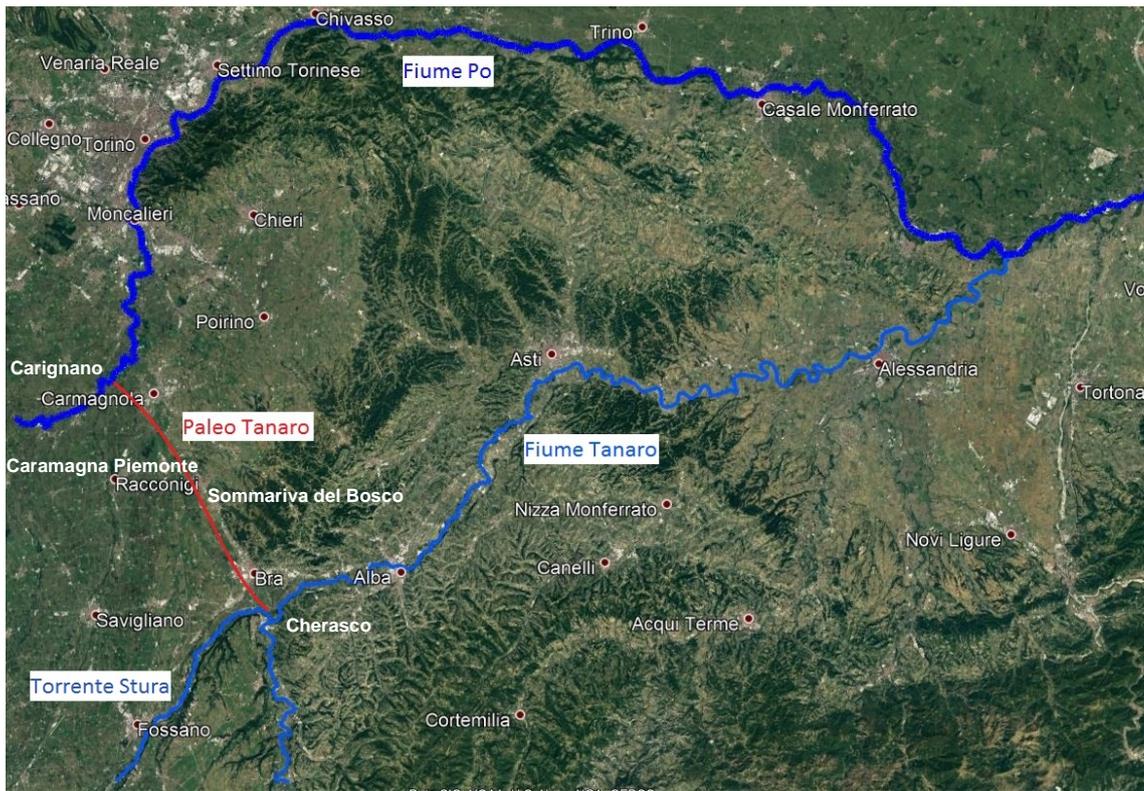


Figura 1 - Foto satellitare in cui sono stati evidenziati in blu, i corsi attuali dei Fiumi Po e Tanaro e del Torrente Stura di Demonte. In rosso è indicata la direzione di scorrimento del paleo Tanaro.

Il fenomeno di cattura è avvenuto nella zona adiacente la città di Bra, a causa di una serie di fattori predisponenti come il livello più basso del reticolo fluviale orientato verso E nell'Alessandrino, l'erosione regressiva indotta dal sollevamento tettonico della zona delle Langhe (Biancotti 1981), l'erosione laterale del Paleo Tanaro che durante successivi eventi di piena ha aperto una breccia nella barriera che lo separava dal reticolo in direzione est. In Figura 2 sono schematizzate in modo estremamente semplice le fasi principali della cattura sopra descritta che può essere classificato come un fenomeno avvenuto per erosione di testa.

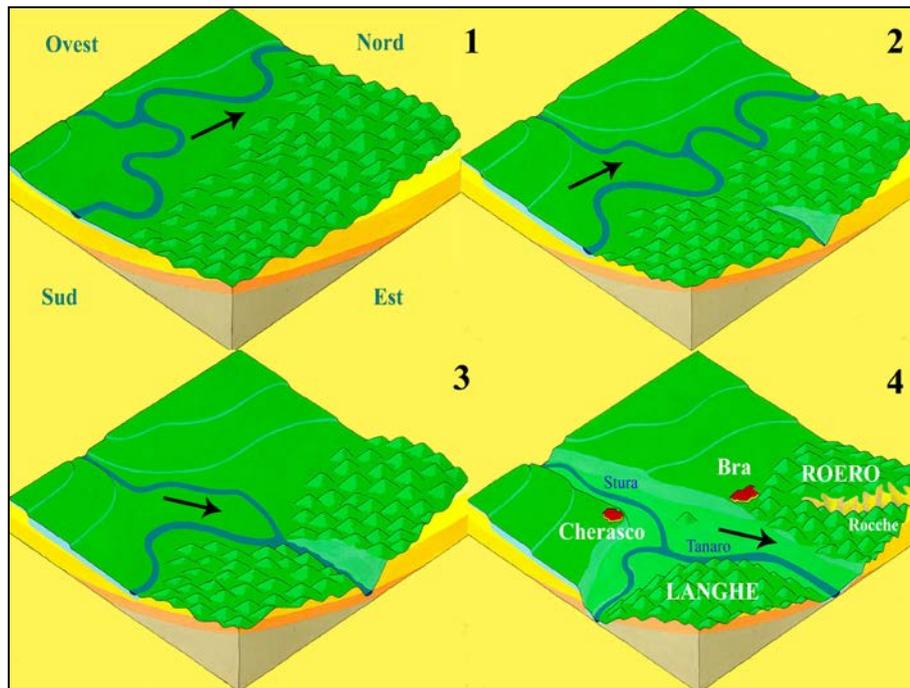


Figura 2: Schematizzazione del fenomeno di cattura fluviale del Tanaro.

Come conseguenze della cattura si ebbe l'abbandono di una ampia porzione del reticolo idrografico diretto verso nord e lo spostamento del punto di confluenza con il Po nella posizione attuale (Bassignana) con un abbassamento di quota della confluenza di circa 150 m che ha indotto un processo di intensa erosione regressiva lungo l'alveo del Tanaro alla ricerca di un nuovo profilo di equilibrio con conseguente rimodellamento degli alvei e delle zone circostanti e formazione di terrazzamenti e valli planiziali. Tale processo ha prodotto inoltre un'intensa erosione al piede dei versanti, con conseguente aumento delle pendenze medie e l'innescio di fenomeni di instabilità generalizzati.

Il versante interessato dall'opera è caratterizzato da un reticolo di drenaggio poco gerarchizzato, caratterizzato nella porzione sud ovest, da alcuni impluvi a regime effimero o stagionale molto incisi, con scarpate ripide e fondo generalmente piatto occupato da depositi di sedimento limoso sabbioso riferibili ad occasionali episodi di piena molto intensi con elevato trasporto solido. Tali impluvi corrono lungo la massima pendenza del versante con andamento rettilineo e si raccordano con i depositi di fondovalle del fiume Tanaro talora attraverso piccoli coni di deiezione. Analoghi fossi di ruscellamento concentrato, molto più corti ma altrettanto incisi, interessano la porzione centrale dell'area, nella parte inferiore del versante. Nelle porzioni intermedie e superiori del versante invece il reticolo idrografico è praticamente assente e lo smaltimento delle acque di precipitazione avviene attraverso fenomeni di ruscellamento areale che progressivamente si incanala nelle depressioni andando a confluire nei suddetti fossi. Le caratteristiche del reticolo idrografico suggeriscono un processo di sollevamento recente generalizzato dell'area che ha indotto fenomeni di incisione degli alvei sia del reticolo minore, sia del fiume Tanaro

stesso che sovente mostra il substrato pre-quadernario affiorare lungo il suo alveo ordinario, al di sotto di alcuni metri di depositi alluvionali. Nella porzione di nord est dell'area di interesse, occupata come vedremo da terreni gessosi, il reticolo idrografico è praticamente assente ed assume le caratteristiche tipiche dei contesti carsici (o pseudo carsici, pattern multi-bacinale) laddove il ruscellamento di superficie va a concentrare l'acqua in piccoli bacini di raccolta per lo più chiusi dove si sviluppano fenomeni di infiltrazione concentrata e si sviluppano le tipiche forme di dissoluzione quali doline e forme similari.

Come detto, il modellamento dei versanti avviene prevalentemente ad opera dei processi di ruscellamento superficiale diffuso che si sviluppa per le caratteristiche di bassa permeabilità del substrato e le modeste pendenze dei versanti. Ne consegue che le coltri pedogenetiche (suoli) sono molto sottili per la forte asportazione di materiale superficiale fine ad elevata mobilità che va a costituire la componente solida del trasporto lungo gli impluvi principali o si accumula all'interno di depressioni a fondo concavo o al piede dei versanti laddove le pendenze risultano particolarmente modeste. Negli impluvi dove il deposito eluvio-colluviale raggiunge spessori significativi, in occasione di fenomeni meteorologici che portano alla saturazione delle coltri si possono sviluppare processi di colamento lento in massa del materiale parzialmente fluidificato che rappresenta la forma di franosità tipica di questo territorio.

Il territorio interessato dall'opera è inquadrato nella Cartografia d'Italia dell'Istituto Geografico Militare (IGM) all'interno dei Fogli 68 – Carmagnola, 69- Asti e 80 – Cuneo alla scala 1:100.000 e nel Foglio 192 – Bra a scala 1:50.000 della Carta Geologica d'Italia, Tavole a scala 1:25.000 n. 080 I-NE (Cherasco), 068 II SE (Bra) e 069 III SO (Alba).

Nella Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 (CTR) l'area di studio ricade all'interno delle sezioni 192110 e 192120 (Figura 3).

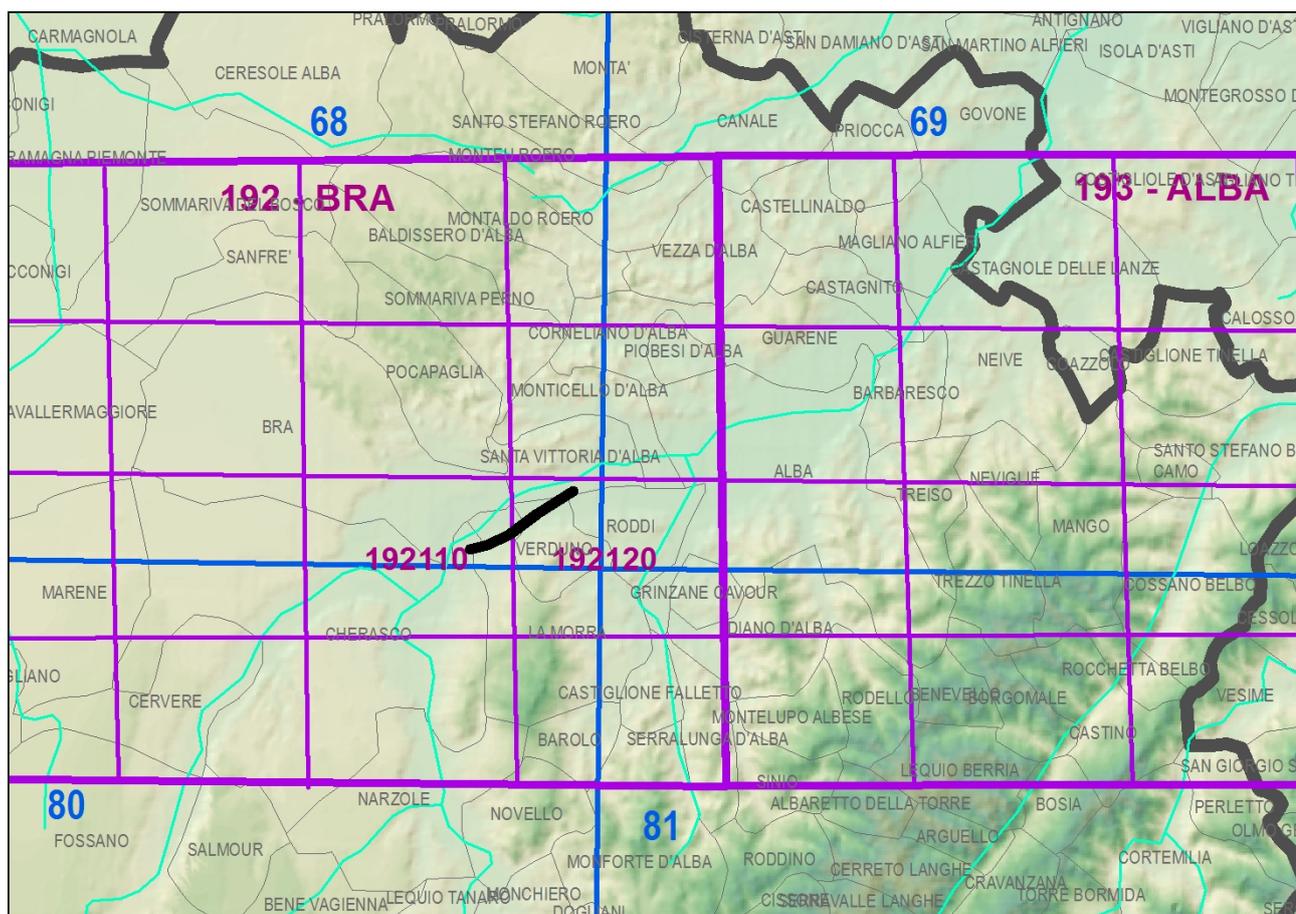


Figura 3 - Inquadramento del tracciato (linea nera) nella cartografia d'Italia. In blu sono segnati i Fogli a scala 1:100.000, in viola i fogli a scala 1:50.000 e le sezioni CTR a scala 1:10.000.

2. DESCRIZIONE DELLE CAMPAGNE DI INDGINI

2.1. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO PRELIMINARE DELLA VARIANTE DELLA S.S. N. 231 ALBA-BRA (1991-1996)

Nella campagna di indagini geognostiche del Progetto Preliminare della variante della S.S. n. 231 Alba-Bra sono stati eseguiti 31 sondaggi a carotaggio in continuo. Solo 3 di questi sondaggi sono stati attrezzati a piezometro (caratteristiche indicate in Tabella 1). L'ubicazione dei sondaggi realizzati nell'ambito di questa fase di progetto è riportata in Figura 4.

Codice punto	Quota p.c.	Profondità sondaggio	Tratto finestrato	
			Da:	A:
ASP3	199	30 m	3	14
ASP4	201	30 m	6	30
G3	202	30 m	3	17

Tabella 1 - Sondaggi attrezzati a piezometro relativi alle campagne di indagine preliminare

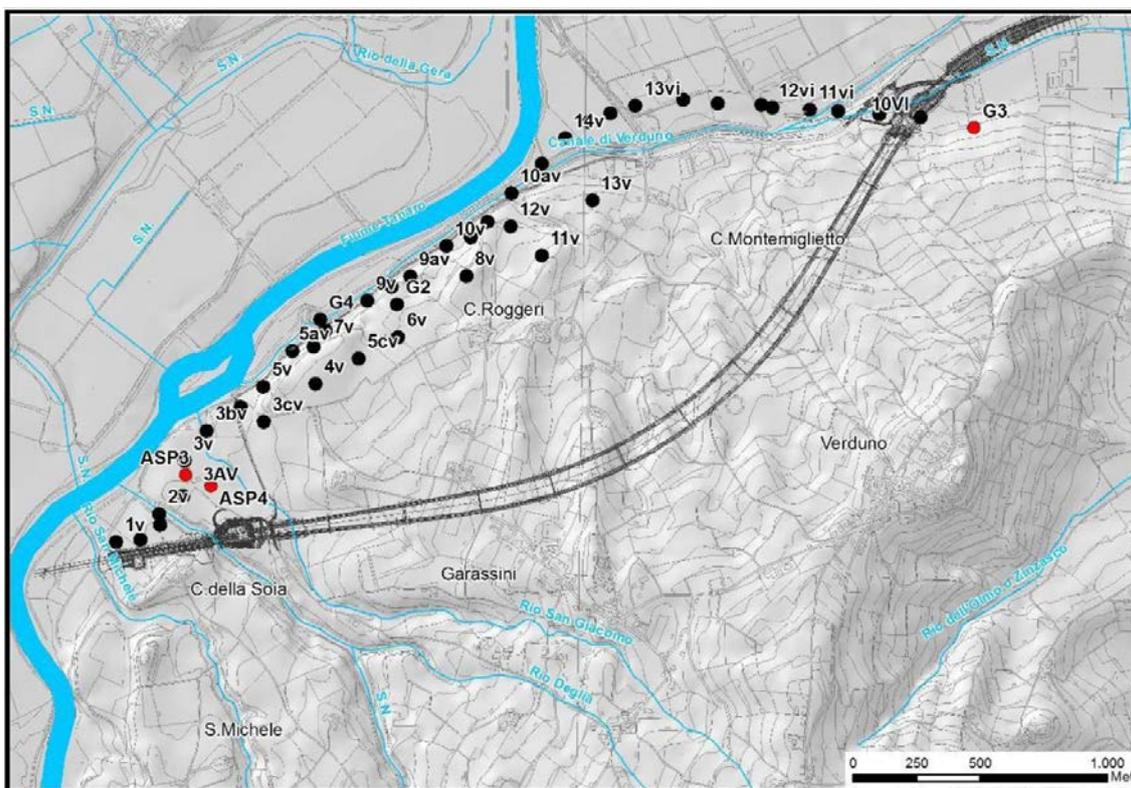


Figura 4 - Ubicazione dei sondaggi realizzati durante la fase preliminare del progetto.

2.2. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO DEFINITIVO (1998)

Nella campagna geotecnica per il Progetto Definitivo (1998) sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità di 40 m dal p.c. (codice SPD). Nel corso delle perforazioni, oltre al recupero integrale del terreno attraversato, al prelevamento di campioni indisturbati e campioni rimaneggiati e all'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche SPT, sono state effettuate prove di permeabilità Lefranc e Lugeon. Tutti i sondaggi realizzati sono stati attrezzati come piezometro a tubo aperto, l'ubicazione dei sondaggi è riportata in Figura 5.

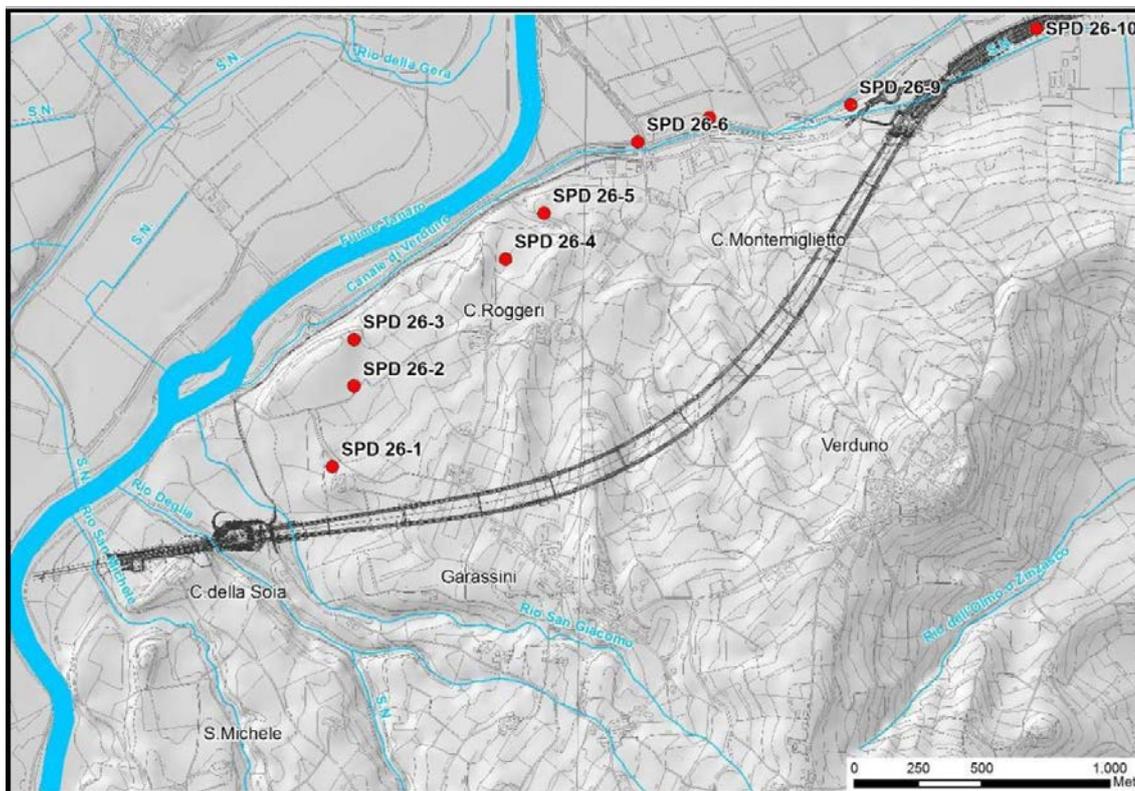


Figura 5 - Ubicazione dei sondaggi della campagna del progetto definitivo, 1998.

2.3. CAMPAGNE DI INDAGINI DEL PROGETTO ESECUTIVO (2001)

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

sono state eseguite nelle restanti parti del Lotto 6. Per valutare il livello della falda, sono stati realizzati 71 piezometri, 65 dei quali sono a tubo aperto semplice, i rimanenti a tubo aperto con cella di Casagrande; in alcuni sondaggi il tratto fenestrato interessa la formazione dei gessi della Formazione Gessoso-Solfifera, in altri le marne della Formazione delle Marne di S. Agata Fossili. L'ubicazione dei sondaggi è mostrata in Figura 6.

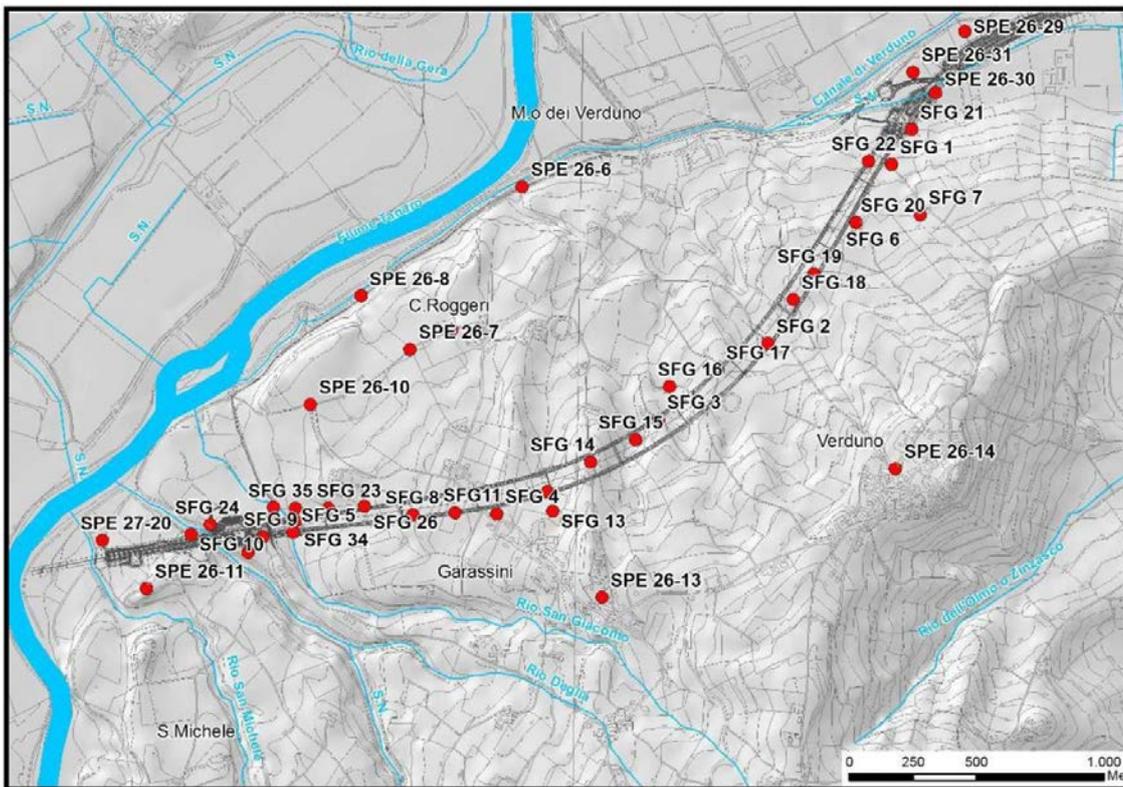


Figura 6 - Ubicazione delle indagini eseguite durante la campagna per il Progetto Esecutivo, 2001.

2.4. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2006

Nel 2006 è stata realizzata una campagna di indagini integrative finalizzata all'approfondimento delle conoscenze relative ai livelli sabbioso-ghiaiosi intercalati nelle argille-marnose, la cui presenza era stata rilevata dalle indagini del progetto esecutivo nella zona di galleria adiacente all'imbocco lato Alba. In particolare l'obiettivo è stato quello di valutare la continuità sia in direzione longitudinale che trasversale all'asse della galleria dei livelli più permeabili e conseguentemente di valutarne le potenzialità idriche in termini di volumi d'acqua mobilizzabili. L'indagine è consistita nella realizzazione di quattro sondaggi integrativi (SIV1÷SIV4) in corrispondenza dei settori lungo il tracciato della galleria in cui è stata evidenziata una carenza di dati. Per valutare il livello della falda, i fori sono stati attrezzati con piezometri

a tubo aperto (tutti) e/o tipo Casagrande (SIV1 e SIV2). I piezometri a tubo aperto hanno le caratteristiche indicate in Tabella 2 e le ubicazioni mostrate in Figura 7.

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

Tabella 2 - Sondaggi attrezzati a piezometro durante la campagna 2006.

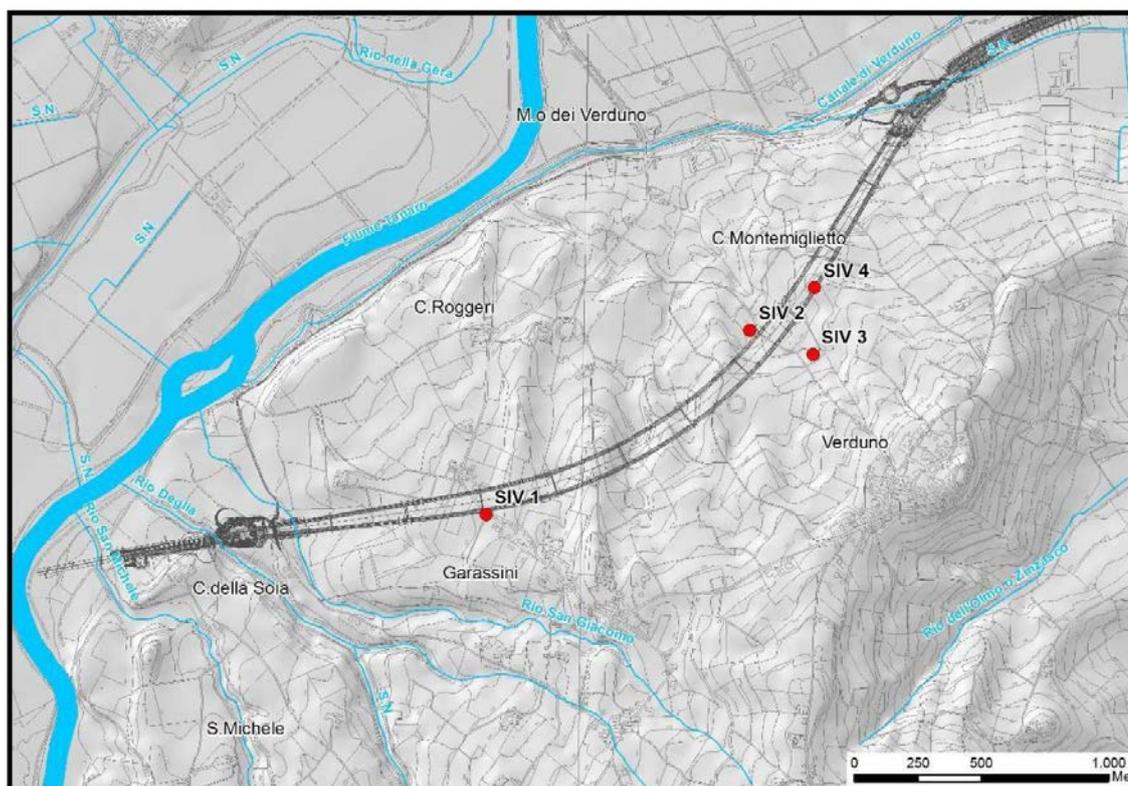


Figura 7 -Ubicazione delle indagini realizzate durante la campagna integrativa del 2006.

2.5. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2011-2012

Nell'area del tracciato della Galleria di Verduno, tra Settembre 2011 e Luglio 2012, sono stati realizzati

un minimo di 20 metri circa fino ad un massimo di 80 metri. E' importante specificare che i piezometri eseguiti in questa campagna geognostica sono stati realizzati applicando in alcuni casi una superficie filtrante nelle sole marne ed in altri casi nei soli gessi, al fine di valutare un eventuale diverso comportamento idrodinamico nei due corpi. Le indagini hanno consentito un ulteriore approfondimento della caratterizzazione geologico-stratigrafica, lungo il tracciato della galleria e, più in generale, di tutto il versante in cui si inserisce l'opera, consentendo un affinamento del modello geologico ed idrogeologico di riferimento.

2.6. CAMPAGNA DI INDAGINI INTEGRATIVE 2018

A partire da Ottobre 2018 una nuova campagna di indagini integrative volte all'approfondimento delle conoscenze stratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche sul nuovo tracciato previsto per l'opera. La campagna è suddivisa in 2 fasi che prevedono l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni e analisi di laboratorio, profondi tra i 20 ed i 40m, in 25 punti differenti lungo il tracciato, di cui 7 verranno raddoppiati da perforazioni a distruzione di nucleo per poter avere più strumenti nella stessa area. In totale si prevede di attivare 15 piezometri sia a tubo aperto, sia con cella di Casagrande e 8 inclinometri.

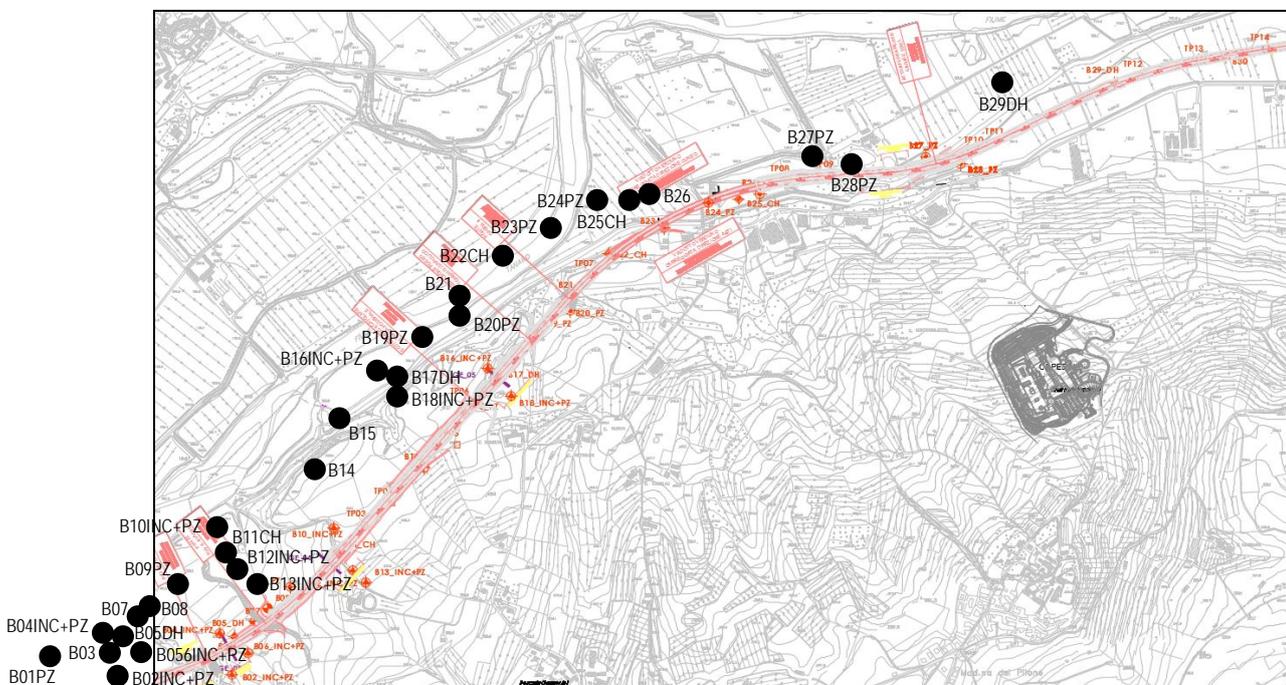


Figura 9 - Stralcio di cartografia indicante le indagini integrative 2018 riferite al nuovo tracciato.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si trova in una zona interessata dalla presenza di terreni mio-pliocenici facenti parte della successione del Bacino di Alba e di depositi alluvionali di fondovalle di età pleistocenico – olocenica.

La cartografia geologica ufficiale disponibile per l'area è piuttosto incompleta non essendo stati realizzati i corrispettivi Fogli geologici della Carta d'Italia a scala 1:50.000 (CARG). Risulta disponibile soltanto la seconda edizione della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 del 1970 relativa ai fogli 68, 69 e 80 (Figura 10).

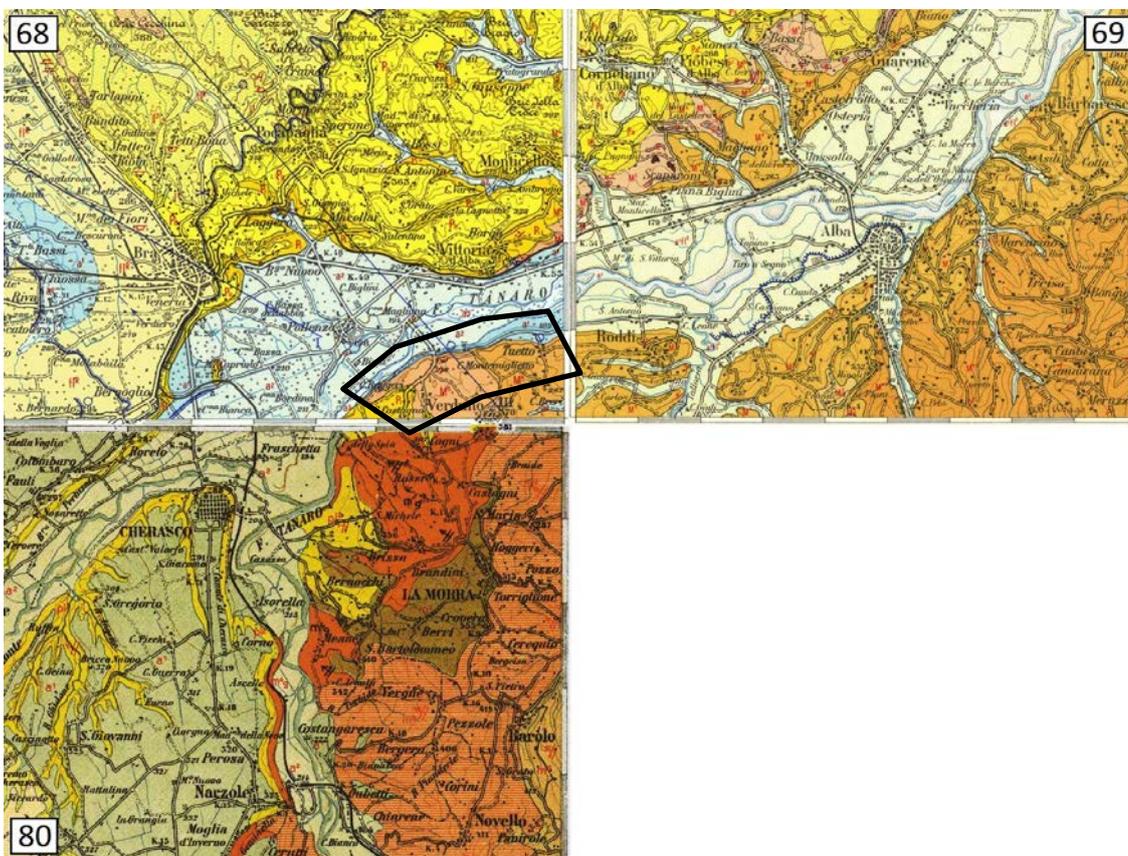


Figura 10 - Composizione dei fogli della Carta Geologica d'Italia del 1970, in scala 1:100.000, che coprono l'area di studio (poligono nero).

Da tali elaborati emerge la presenza, lungo i versanti della sponda destra del fiume Tanaro, dei terreni miocenici e pliocenici rappresentati dalle sigle M4, M5 e P1 corrispondenti rispettivamente a:

M4: Marne argillose cenerognole, con microfaune marine caratteristiche (*Tortoniano*);

M5: Argille lacustri ("Strati a Congerie"); marne gessifere fogliettate con filliti, Cheloni, Pesci e larve di *Libellula*; banchi a lenti di gesso cristallino, intercalati a vari livelli nelle precedenti (*Messiniano*);

P1: Argille e marne argillose grigio-azzurrognole con abbondanti fossili marini (*Pleurotome*, *Amussium*) (*Pliocene con facies di "Piacenziano"*)

La Regione Piemonte con ARPA e IGG ha realizzato un database geologico alla scala nominale di 1:250.000 che rappresenta il documento tecnico conoscitivo geologico più recente a disposizione. Si tratta di una banca dati consultabile come servizio web

<https://webgis.arpa.piemonte.it/ags101free/services> (Figura 11).

Il database nell'area di interesse individua la presenza delle seguenti unità geologiche:

- SAF: Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano)
- VGSa: Formazione Gessoso Solifera (Messiniano)
- CCS: Conglomerati di Cassano Spinola (Messiniano sup. – Pliocene inf.);
- fl2: depositi fluviali terrazzati (Pleistocene – Olocene)
- fl1: depositi fluviali recenti (Olocene).

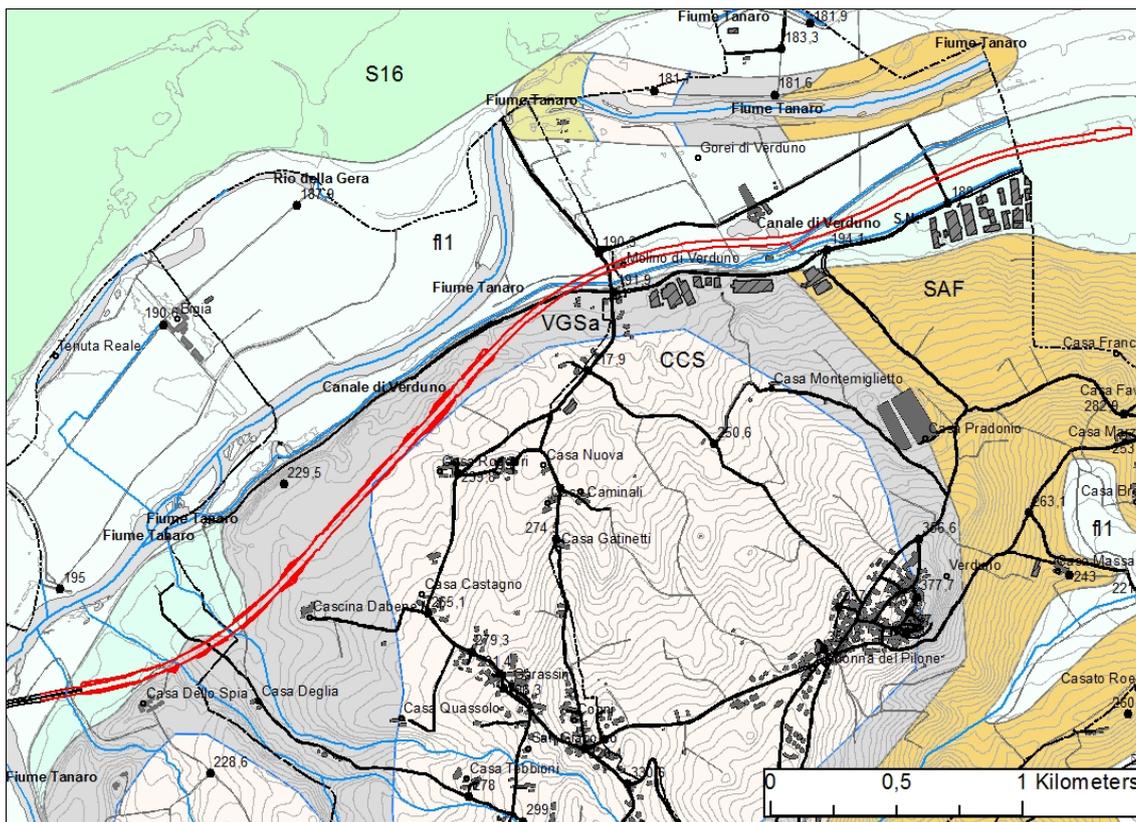


Figura 11 – Database geologico della Regione Piemonte/ARPA/IGG. La linea rossa indica il tracciato di progetto.

Uno studio di Dela Pierre et al. (2010) riguardante i sedimenti depositi durante la “Crisi di Salinità Messiniana” (MSC) e conservati all’interno del Bacino Terziario Ligure-Piemontese (TPB), descrive in

dettaglio 6 sezioni stratigrafiche appartenenti alla sponda meridionale del “Bacino di Alba”, approfondendo gli aspetti riguardanti la stratigrafia ed il contenuto fossilifero dei depositi, e fornendo un contributo essenziale alla conoscenza delle caratteristiche del substrato nell’area di studio.

Il Bacino di Alba risulta essere uno dei depocentri, insieme ai bacini di Savigliano e di Alessandria, del più ampio Bacino Terziario Ligure - Piemontese (TPB), (Figura 12), costituito da un golfo marino formatosi nel corso dell’Eocene, successivamente alle principali fasi orogenetiche alpine. I sedimenti che lo colmarono si sono pertanto depositati al di sopra di un complesso cuneo tettonico formato dalla collisione delle placche Adria ed Alpina e sono oggi conservati al nucleo di una blanda piega sinclinale con asse E-O conosciuta come “sinclinale astigiana”. Nella Figura 13 è riportata una sezione lungo una traccia orientata N-S attraverso il bacino estratta dal foglio geologico n.69 - Asti redatta da AGIP sulla base dei dati ricavati da pozzi esplorativi e di indagini sismiche. Detta sezione mostra la geometria molto aperta e simmetrica della sinclinale con inclinazione dei fianchi di 5-10°, piano assiale verticale a direzione E-O ed asse inclinato verso nord.

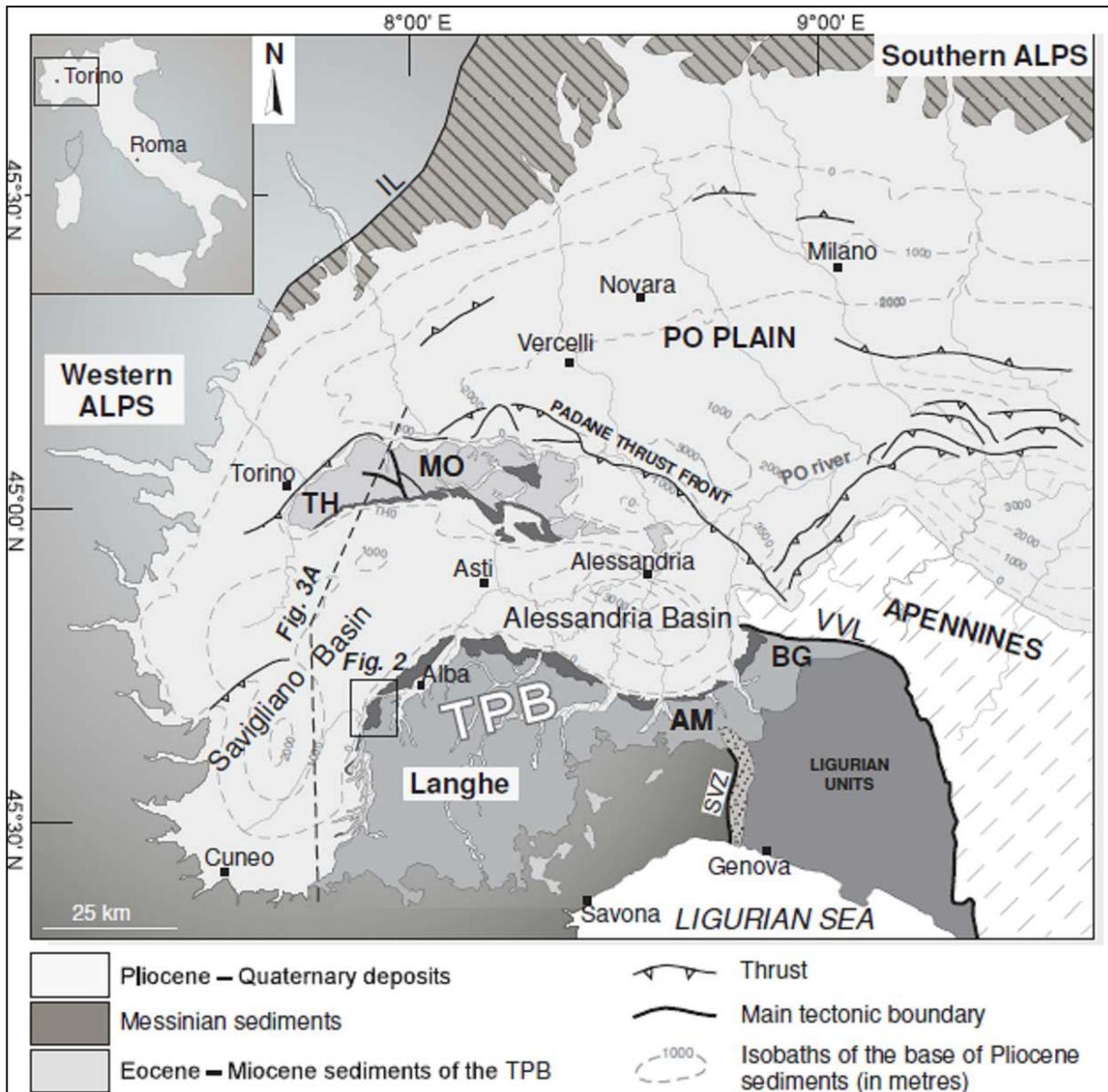


Figura 12- Schema geologico del bacino Terziario Ligure Piemontese fino alle Alpi meridionali (Dela Pierre et al. 2010).

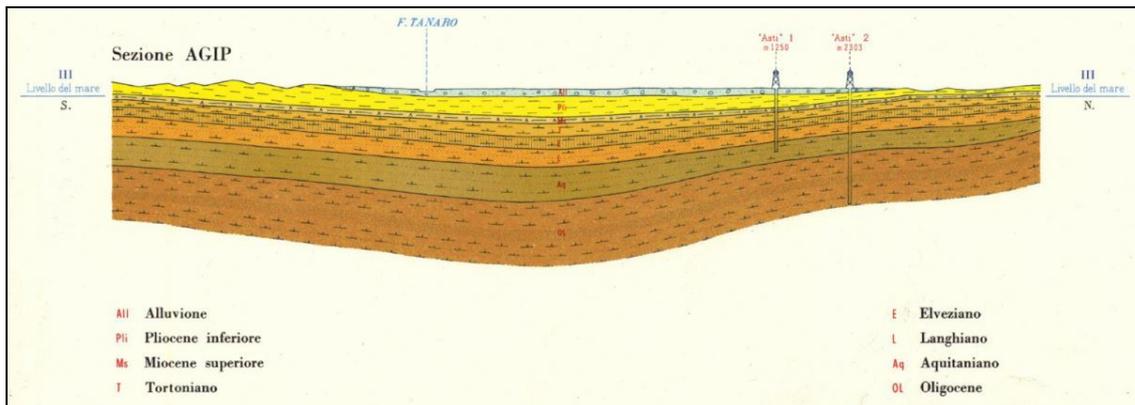


Figura 13 - Estratto del foglio 69 – Asti, riportante la sezione della “sinclinale astigiana” redatta da AGIP basandosi su dati di pozzo e rilievi sismici.

Dela Pierre et al. (2010) illustrano, attraverso lo studio stratigrafico di dettaglio di 6 sezioni stratigrafiche nell’area compresa tra Arnulfi e Monticello d’Alba (Figura 14), come la deposizione dei sedimenti all’interno del Bacino di Alba sia avvenuta in 3 fasi principali:

- la prima fase deposizionale (5.96-5.60 Ma), indicata come “Primary Lower Gypsum” (PLG), vede la deposizione di livelli evaporitici a composizione prevalentemente gessosa nelle porzioni meno profonde ed isolate del bacino, mentre nei bacini distali, più profondi, si ha deposizione di livelli evaporitici a composizione dolomitica alternati a livelli pelitici ricchi di sostanza organica;
- nella seconda fase (erosiva e deposizionale, 5.60-5.53 Ma, fase di acme della MCS) si verifica un ulteriore abbassamento del livello marino con conseguente regressione che porta le porzioni marginali e meno profonde dei bacini in condizioni di emersione in ambiente subaereo con conseguente sviluppo di importanti fenomeni di erosione. I sedimenti risultanti dalla erosione dei livelli esposti sono stati convogliati attraverso trasporto fluviale e movimenti gravitativi di massa nei bacini distali più profondi a formare strati di materiale intrabacinale risedimentato in forma di livelli torbiditici e di flusso iperconcentrato, *slumping*, *debris-flow* e corpi caotici che costituiscono un’unità definita come “Resedimented Lower Gypsum” (RLG);
- durante la terza fase (deposizionale, 5.53-5.33 Ma) si ha una nuova ingressione marina che porta in condizione di sommersione ampie porzioni di territori ormai continentalizzati e l’aumento di profondità nelle porzioni distali dei bacini con sedimentazione di nuovi livelli evaporitici alternati a livelli pelitici (“Upper evaporites”) contenenti fossili di ambienti salmastri. A tale fase segue una progressiva diminuzione di salinità delle acque con l’instaurazione dell’ambiente di “Lago Mare”.

La sezione tipo del bacino deposizionale di Alba descrive la transizione tra le porzioni più profonde del bacino, caratterizzate dalla presenza delle unità risedimentate e caotiche (RLG), e le porzioni di mare basso, dove una superficie di discordanza semplice separa i depositi PLG dalle “Upper evaporites”.

La sequenza deposizionale inizia con i depositi marini della Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano) cui segue la successione gessifera messiniana rappresentata dalla Formazione Gessoso Solfifera suddivisibile nei 3 livelli principali: il "Primary Lower Gypsum", il "Resedimented Lower Gypsum" e gli "Upper cycles". Alla crisi di salinità messiniana, come detto sopra, segue una nuova ingressione marina documentata dalla successione trasgressiva di Lago Mare costituita da depositi transizionali deltizi della Formazione di Cassano Spinola del Messiniano sup.-Pliocene, seguiti da unità francamente marine (Argille Azzurre o Argille di Lugagnano, Pliocene inf.).

I depositi quaternari che ricoprono le formazioni mio-plioceniche sono ubicati quasi esclusivamente lungo i fondovalle e sono costituiti da sedimenti di origine fluviale recenti o in evoluzione, nonché da depositi del paleo Tanaro e i suoi affluenti secondari abbandonati nel corso di successive diversioni. Lungo i versanti le unità quaternarie sono rappresentate da depositi eluvio-colluviali e depositi di frana per lo più a tessitura limoso sabbiosa o limoso argillosa di età olocenica.

4. INQUADRAMENTO STRUTTURALE E TETTONICO

Il Bacino terziario Ligure-Piemontese, come detto, si è formato dalla collisione delle Placche Adria ed Alpina. Il substrato di questo bacino è composto da un complesso di cunei tettonici che, con i loro movimenti relativi hanno portato alla formazione di vari depocentri, bacini di Savigliano, Alessandria e Alba, quest'ultimo dovuto alla formazione di una struttura chiamata "Sinclinale Astigiana", con direzione assiale prevalentemente SO-NE. La zona più depressa risulta essere in corrispondenza della città di Asti, da cui prende il nome. Nella zona di interesse questa struttura si traduce nell'assetto con blanda inclinazione degli strati verso NO.

A nord la sinclinale di Asti è limitata dalle strutture tettoniche sepolte del Monferrato e a sud dalle colline delle Langhe ma è difficile stabilire un limite laterale in quanto va a raccordarsi lateralmente interferendo con altre strutture e non sono stati mai eseguiti studi specifici per a definirne i confini laterali. I sistemi tettonici presenti nell'area a scala regionale, evidenziati nella cartografia a scala 1:100.000 del Servizio Geologico e 1:250.000 della Regione Piemonte, mostrano un andamento prevalente dei lineamenti a direzione SO-NE con caratteristiche cinematiche di faglie dirette che dislocano le unità mio-plioceniche documentando un'attività almeno tardo terziaria.

Le faglie riportate nella zona di studio non mostrano evidenze dirette se non indizi di natura geomorfologica, e la loro presenza è stata dedotta principalmente dal confronto dei dati stratigrafici di sondaggio, di affioramento e dall'orientazione del reticolo idrografico. Le faglie presentano orientazioni sia NNE-SSO che NNO-SSE, una lunghezza di ambito chilometrico e un rigetto piuttosto modesto, da pochi metri a decine di metri. Nelle note illustrative del foglio 211-Dego, adiacente all'area di studio, faglie con orientazione simile sono indicate come legate a strutture tettoniche sepolte e in evoluzione

durante la sedimentazione terziaria.

In particolare, i principali lineamenti tettonici cartografati nell'area di studio sono 3 ed interessano la Formazione Gessoso – Solfifera generando un piccolo alto strutturale lungo la direttrice di C. Montemigletto dove affiorano localmente le unità più antiche (Marne di Sant'Agata Fossili) e comportando un generale trend di abbassamento verso NO dove affiorano progressivamente terreni più giovani fino alle Argille di Lugagnano (Pliocene inf.).

5. STRATIGRAFIA

Gli studi geologici sono iniziati nell'area di Alba con i lavori di Sturani negli anni Settanta a carattere prevalentemente paleontologico e la successione di questo bacino ha sempre rappresentato un riferimento internazionale per l'interpretazione dei complessi eventi tettono-climatici che hanno caratterizzato la crisi di salinità messiniana fin dalla formulazione del modello MSC (Cita et al., 1978).

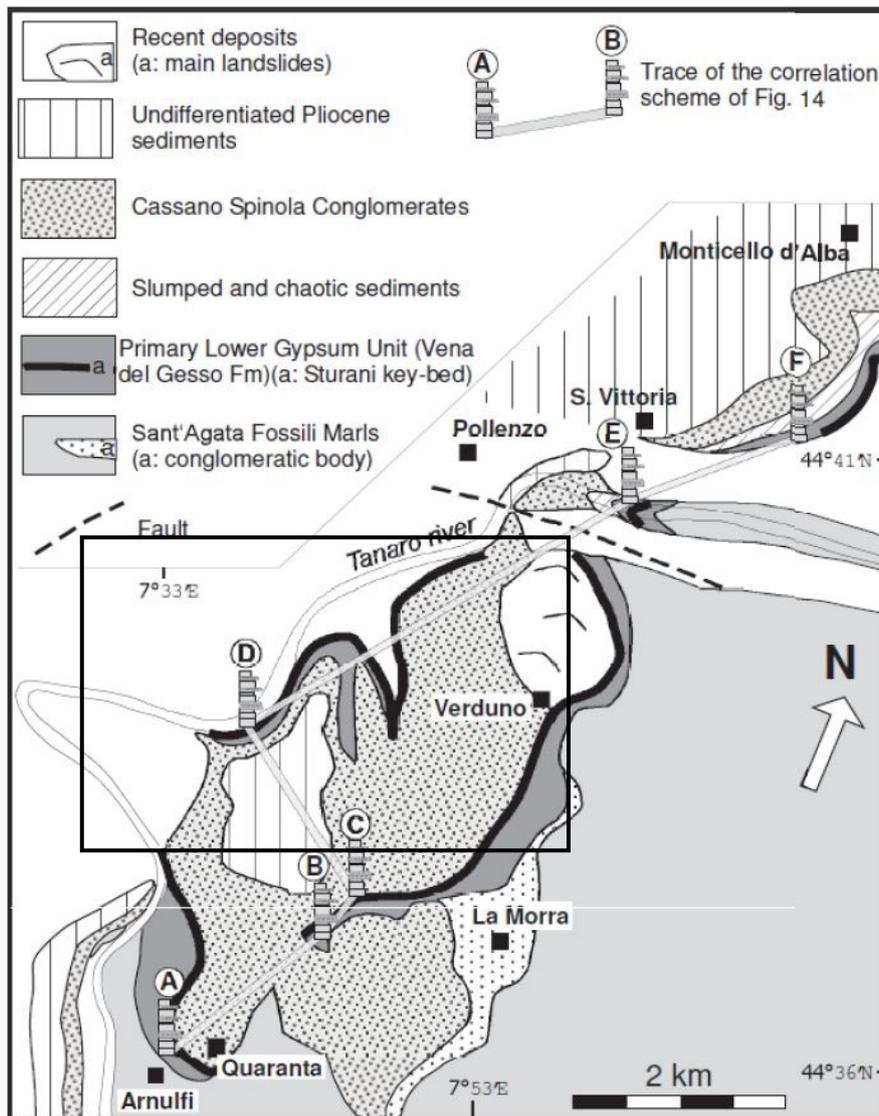


Figura 14 - Posizionamento in carta delle "sezioni tipo" analizzate da Dela Pierre et al. (2010); per l'area di interesse del presente progetto il riferimento è la sezione D – Rocca del Campione.

Lo studio più recente ed esaustivo riguardante l'analisi del bacino di Alba è stata effettuata da Dela Pierre et al. (2010) attraverso la descrizione di 6 sezioni stratigrafiche distribuite tra Arnulfi e Monticello

d'Alba, lungo una direzione più o meno assiale alla geometria del bacino (Figura 14).

La stratigrafia di dettaglio delle sezioni tipo, seguendo l'ordine cronologico di deposizione, inizia con la Formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili (Tortoniano). Questa formazione è stata studiata nelle sezioni di Arnulfi e Pollenzo dove presenta i suoi migliori affioramenti e dove è possibile osservare il contatto con la formazione evaporitica soprastante. Nell'area di Arnulfi è possibile riconoscere alla base della formazione tortoniana una sequenza di 5 cicli deposizionali di peliti alternate a marne, con l'ultimo ciclo troncato da una superficie erosiva di tipo "discordanza semplice" che segna il passaggio alla formazione superiore. Nell'area di Pollenzo, alla base della formazione delle Marne di Sant'Agata, si riconoscono 7 cicli deposizionali peliti-marne, seguiti da uno *slumping* potente circa 80 m al di sopra del quale sono riconosciuti ancora 7 cicli deposizionali peliti-marne prima di intercettare il primo livello gessoso. Lo studio micropaleontologico dei foraminiferi presenti nei sedimenti ha portato all'individuazione di specie comuni alle due sezioni confermandone la correlabilità e alcuni marker batimetrici che ne differenziano la profondità di sedimentazione come *Turborotalita quinqueloba* e *Turborotalita multiloba*, all'interno della sezione di Pollenzo, specie più tolleranti alla carenza di ossigeno e quindi appartenenti ad una zona di acque profonde. Tale interpretazione è confermata dalla presenza del livello di *slumping*.

I depositi evaporitici che hanno caratterizzato la Crisi di Salinità Messiniana mostrano alcune differenze nell'ambito dell'area di studio. Nell'area SO (Arnulfi) sono presenti 6 cicli deposizionali di alternanza peliti-gessi, dallo spessore di circa 2 m ciascuno. Questi presentano una forte laminazione sedimentaria e caratteristiche indicative di condizioni euxiniche (anossiche e solfuree); sono inoltre ricche in residui vegetali e larve di insetti (libellula). Al top della sezione di Arnulfi è possibile osservare il contatto con la formazione sovrastante dei Conglomerati di Cassano Spinola, contatto marcato da un troncamento erosivo piuttosto evidente. Spostandosi verso NE, nelle sezioni di Rio Berri, C.na Merlotti e Rocca del Campione, si riconoscono solamente 2 cicli deposizionali dati da coppie di strati gesso-pelite corrispondenti al IV e V ciclo, aventi però uno spessore maggiore (circa 3-4 m). I cristalli di gesso presentano una dimensione maggiore a letto e a tetto di questi livelli, mentre nel centro risultano più piccoli. Ancora più a NE, nella sezione di Pollenzo, si riscontrano invece solamente due sottili livelli di selenite massiva e si registra la presenza di un sottile livello carbonatico (dolomitico) al di sotto del primo livello di gessi. Al di sopra di queste alternanze, in tutte le sezioni, due livelli di gessi spessi 10 m circa, caratterizzati da una struttura a coni orizzontali immersi in una matrice argillosa e notevole continuità laterale, sono stati recentemente nominati come "Sturani Key Bed" (SKB) e sono considerati importanti livelli guida. Al di sopra di essi, nelle sezioni di C.na Merlotti, R. del Campione e Pollenzo, si ritrovano ulteriori alternanze peliti-gessi, che nella sezione di Pollenzo mostrano localmente deformazioni sinsedimentarie tipo piccoli *slumping*. La sezione di Pollenzo presenta inoltre un'altra caratteristica peculiare che consiste nella presenza di livelli a *slumping* contenenti clasti anche di dimensioni metriche

di gessoruditi e gessoareniti e che risultano mancanti nelle sezioni più occidentali. Questo livello è definito come “Resedimented Lower Gypsum” e nella sezione di Pollenzo ha uno spessore di circa 5 m, mentre spostandosi verso est, nella zona di S. Vittoria d’Alba è stato riconosciuto con spessori di circa 20m. Per questo e per tutti gli altri indizi sedimentologici e paleontologici citati nel testo è ragionevole ipotizzare un aumento progressivo della profondità del bacino spostandosi da SO verso NE secondo lo schema stratigrafico e paleo ambientale di Figura 16.

Al di sopra della superficie di discordanza semplice che si ritrova al top di tutte le sezioni studiate si trovano i depositi della Formazione di Cassano Spinola, costituiti da sedimenti terrigeni di origine sia continentale che salmastra, deposti in letti fangosi e canali conglomeratici tipici dei sistemi di delta e delta conoide. Detti depositi presentano, nella parte inferiore della formazione, resti di vertebrati terrestri mentre, nella parte sommitale, sono presenti Molluschi e Ostracodi di acque salmastre tipici della biofacies di Lago Mare. Le successioni descritte e le correlazioni tra queste sono mostrate nella Figura 15.

La sezione tipo studiata in dettaglio da Dela Pierre et al. (2010) più prossima e che meglio descrive la stratigrafia dell’area di interesse per il progetto risulta essere la sezione D - Rocca del Campione. La successione è caratterizzata quindi dalla presenza di 2 cicli deposizionali dati da coppie di strati gesso macrocristallino e pelite dello spessore di 3-4 m corrispondenti al IV e V ciclo, al di sopra dei quali si trova il livello guida noto come Sturani Key Bed (SKB, Figura 15), seguito da una successione di peliti con subordinati gessi microcristallini in livelli decimetrici. Risultano assenti le facies diagnostiche delle porzioni più distali del bacino quali gli *slumping* intraformazionali e le megabrecce che caratterizzano le sezioni più orientali (Complesso Caotico della Valle Versa, RLG). L’area di interesse si posiziona pertanto in una zona marginale del bacino di Alba dove la profondità del fondale risulta relativamente modesta e dove la seconda fase della MCS (5.60-5.53 Ma) si manifesta con facies transazionali o con superfici di discordanza semplice. I dati di sondaggio confermano questa ricostruzione stratigrafica e paleoambientale.

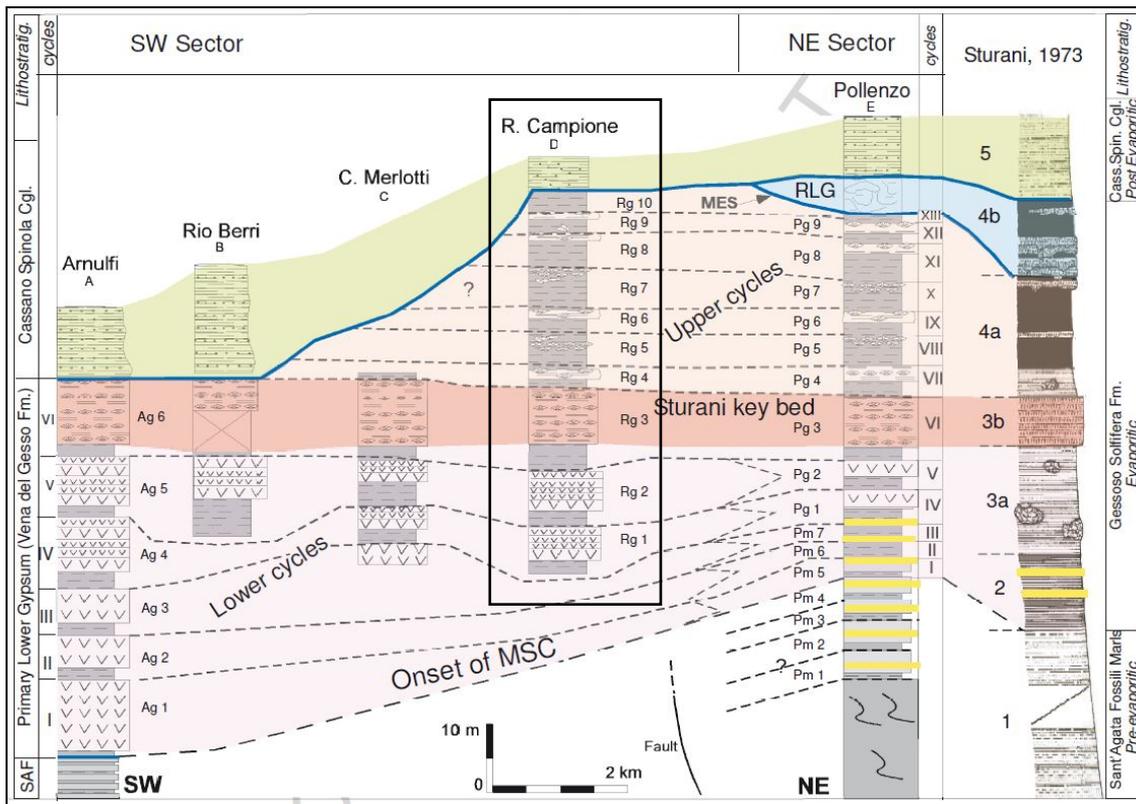
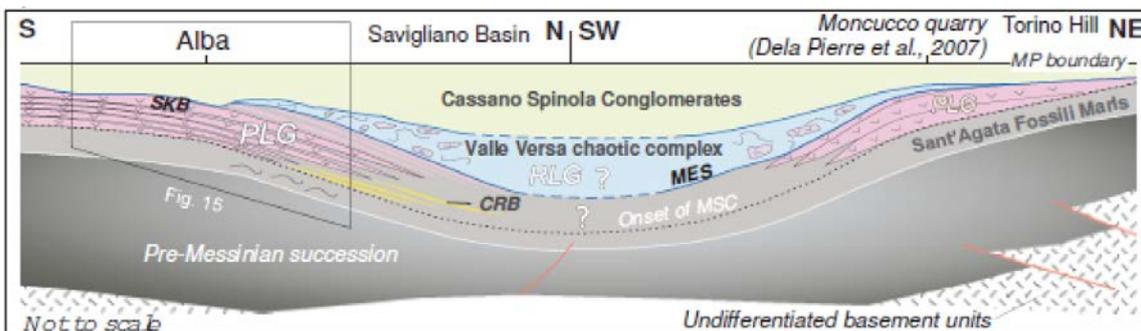


Figura 15 - Correlazione tra diverse colonne stratigrafiche tipo (Dela Pierre 2010), la zona di nostro interesse può essere riferita alla stratigrafia di R. Campione.



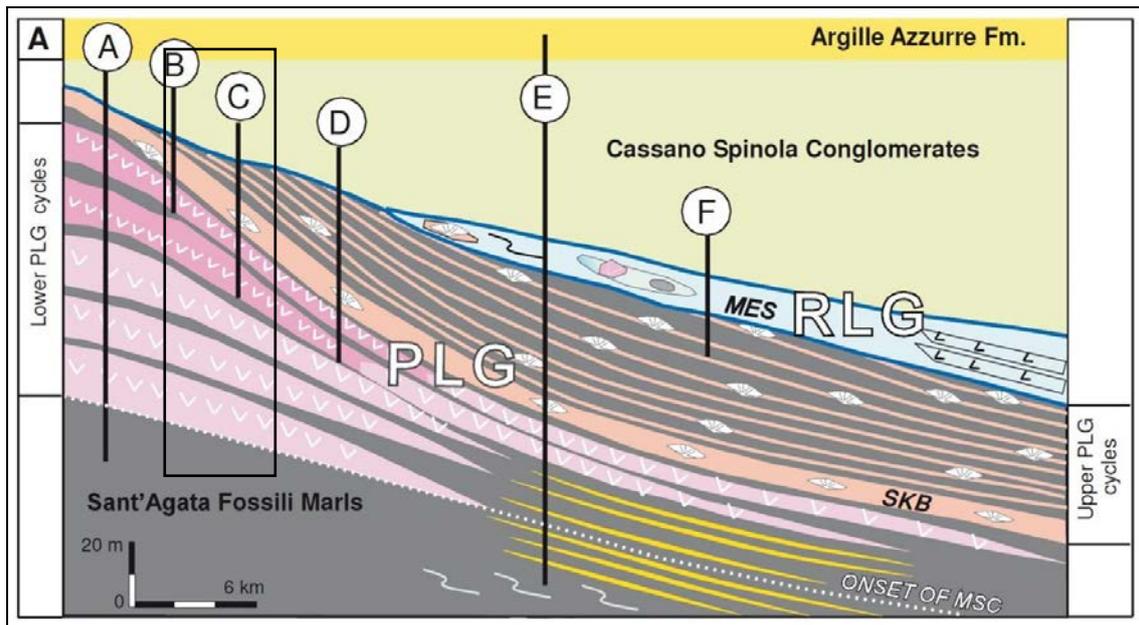


Figura 16 – Schema stratigrafico e paleoambientale del Bacino Terziario Ligure-Piemontese. Nell'immagine superiore è raffigurata la geometria dell'intero bacino, mentre l'immagine in basso mostra un dettaglio del margine meridionale del bacino, in cui sono evidenziate le formazioni che lo compongono. La suddivisione da noi utilizzata differisce per le unità del PLG: GES1 comprende il "Lower PLG" e lo "Sturani Key Bed" (SKB). GES2 ne risulta composto dal rimanente "Upper PLG". Sempre in riferimento alla sezione "D". (Dela Pierre del 2010).

Le unità litostratigrafiche presenti nella zona di studio sono di seguito descritte seguendo l'ordine cronologico.

5.1. MARNE DI SANT'AGATA FOSSILI (TORTONIANO)

Formazione costituita da depositi di mare aperto, composta da peliti con abbondante contenuto di carbonati, marne e marne argillose compatte che tendono ad assumere una consistenza tenera quando alterate. Sono presenti sottili alternanze di sabbie medio-fine che nella sezione di Pollenzo sono numerati in 7 cicli seguiti da uno *slumping* spesso circa 80 m e quindi altri 7 cicli deposizionali alternati. Lo spessore totale della formazione si aggira tra i 250 ed i 300m. Nell'area di studio tale unità affiora quasi esclusivamente nella parte orientale dove si trova il nuovo ospedale, ma la qualità e la quantità degli affioramenti è assai modesta sia per la morfologia dei siti e per la presenza di estesi coltivi, sia per la cantierizzazione di un'ampia area per l'ampliamento dell'ospedale.

5.2. FORMAZIONE GESSOSO SOLFIFERA (MESSINIANO)

Indicata anche come "Primary Lower Gypsum" (PLG), è costituita da sedimenti gessosi e pelitici che

poggiano con un contatto di tipo erosivo sulla sottostante formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili. La stratigrafia completa della formazione nell'area di studio è data da gessi macrocristallini selenitici in banchi metrici con intercalazioni di argille nerastre e argille siltose laminate che costituiscono il membro inferiore per uno spessore di 0-20 metri (GES1 nella cartografia geologica di progetto) molto variabile anche in funzione dei fenomeni di dissoluzione che possono localmente portare il membro a chiudere in forma di lenti. Il membro GES1 comprende un livello di spessore plurimetrico di gessi macrocristallini a grana fine immersi in una matrice siltosa, lateralmente molto esteso che costituisce lo "Sturani key bed" (SKB). Affiora in una stretta fascia nella zona centrale dell'area di studio alla base del versante.



Figura 17: Bancata massiccia di gessi, identificata con "SKB".



Figura 18: Dettaglio della superficie i cristalli di gessi immersi in matrice pelitica.

Il membro GES2 sovrastante è composto principalmente da sedimenti fini di origine terrigena (argille e limi) contenenti una buona percentuale di gessi in forma microcristallina diffusa all'interno della matrice o sottoforma di livelli da decimetrici a metrici di gessi microcristallini impuri e gessareniti. Lo spessore di questo membro è piuttosto variabile tra 10 e 40 m pertanto la formazione nel suo complesso totale può raggiungere i 60 m mentre altrove non supera i 10 m totali.



Figura 19 - Strato gessoso impuro (gessareniti) con frattura dove si sono concentrati processi di dissoluzione.



Figura 20 - Affioramento di materiale gessoso molto ricco di materiale terrigeno siltoso associato ad intervalli pelitici.

5.3. FORMAZIONE DI CASSANO SPINOLA (MESSINIANO SUP. – PLOCIENE INF.)

Questa unità è composta da depositi terrigeni di colore rosso bruno di origine sia continentale che di acqua salmastra (Ghibaudo et al. 1985). Letti fangosi e strati conglomeratici canalizzati mostrano una

stratificazione incrociata su larga scala e contengono sia resti di vertebrati, sia tracce di radici (Sardella 2008), soprattutto nella parte inferiore dell'unità. Nella parte superiore prevale la presenza di molluschi e ostracodi di acque basse e salmastre. Nell'area di interesse la qualità e quantità di affioramenti è estremamente scarsa; nei rari casi in cui si può osservare prevalgono litotipi sabbiosi e siltosi alternati a livelli marnosi sempre con consistenza molto bassa. La formazione affiora nella parte occidentale della zona indagata ed ha uno spessore irregolare fino ad un massimo di 200 m. L'appoggio con la formazione sottostante avviene attraverso una superficie di discordanza semplice con modesta erosione.



Figura 21: Affioramento in cui si possono vedere piccoli frammenti marnosi che si accompagnano a sedimenti sabbioso-arenacei.

5.4. FORMAZIONE DELLE ARGILLE AZZURRE O ARGILLE DI LUGAGNANO (PLIOCENE INF.)

Depositi pelitici che affiorano in maniera discontinua, talora dubitativa, ed identificabili con certezza solo a valle di un'accurata analisi micropaleontologica. Poggiano in continuità stratigrafica sulla Formazione di Cassano Spinola e sono composti da argille marnose o siltose grigio azzurre con rare intercalazioni

sabbiose ocracee all'alterazione, con consistenza plastica e poco addensate. Questa unità affiora dubitativamente nell'angolo SO della carta e lo spessore totale da dati di letteratura oscilla tra i 150 m e i 250 m.



Figura 22 – Affioramento di argille grigio azzurre con screziature ocracee.

5.5. DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (PLEISTOCENE SUP.- ATTUALE)

Sono costituiti dai prodotti della sedimentazione del fiume Tanaro nel corso delle sue numerose divagazioni. La distinzione cronologica è basata sulla morfologia ovvero sulla quota relativa tra i depositi e l'alveo attuale in quanto dal punto di vista granulometrico si tratta sempre di un'associazione complessa ed eterogenea con prevalenza di sabbie e ghiaie, a tratti con presenza di ciottolami e locali concentrazioni di materiale fine siltoso ed argilloso. Questi sedimenti sono caratterizzati da frequenti variazioni laterali di facies, tipiche dei corsi d'acqua di tipo *braided*.



Figura 23 – Ciottolami di alveo lungo riva del Tanaro.

5.6. DEPOSITI DI VERSANTE, DEPOSITI DI FRANA, DEPOSITI DI ORIGINE MISTA (ATTUALE):

Lungo i versanti a modesta pendenza, nelle vallevole a fondo concavo e laddove i processi di ruscellamento non rimuovono completamente la coltre di alterazione del substrato, si formano accumuli di depositi eluvio-colluviali di natura limoso sabbiosa e limoso argillosa generalmente con spessori modesti, fino al massimo di pochi metri. Tali depositi sono talora coinvolti in movimenti gravitativi che possono essere descritti come soliflussi o come colamenti lenti in base alle caratteristiche del flusso. Il materiale così mobilizzato va a costituire localmente coltri di frana con spessore mai superiore ad alcuni metri.

Lungo gli impluvi principali, laddove il bacino di raccolta è sufficientemente ampio, in occasione dei maggiori eventi meteorologici si sviluppano piene improvvise che mobilizzano dall'area di deflusso il materiale superficiale andando a formare flussi iperconcentrati tipo *mud flow* o *debris flow* che colmano il fondo degli impluvi abbandonando in alveo il sedimento limoso sabbioso trasportato nella fase di acme dell'evento e costituendo in alcuni casi piccoli coni di deiezione allo sbocco nella valle del Tanaro.

6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area di interesse i corsi d'acqua a carattere permanente e con un certo livello di organizzazione del reticolo tributario sono il Fiume Stura di Demonte, affluente di sinistra del Tanaro, i Rii dei Deglia, San Giacomo e San Michele, affluenti di destra del Tanaro, che scorrono in direzione SE-NO. Per il resto, lungo il versante sono presenti soltanto forme scavate dal ruscellamento concentrato effimero che convogliano le acque superficiali in doline ed inghiottitoi che alimentano il deflusso ipodermico e le sorgenti sparse sul territorio.

Le sorgenti presenti nell'area sono state censite e descritte nello specifico elaborato Censimento delle sorgenti di cui di seguito si riporta una breve sintesi.

Inoltre è stato fatto un rilievo delle doline ed una classificazione dei terreni affioranti in unità idrogeologiche.

6.1. CENSIMENTO DEI PUNTI D'ACQUA

Il primo censimento dei punti d'acqua è avvenuto in concomitanza con la fase di studio preliminare alla progettazione del Tronco II, lotto 6 del collegamento autostradale Asti – Cuneo a partire tra la fine del 2001 e l'inizio del 2002. Queste emergenze non sono state catalogate con un codice univoco in quanto dovevano solo aiutare a realizzare un modello concettuale dell'area.

Durante il mese di marzo 2009 è stata avviata una seconda campagna di censimento dei punti d'acqua ad opera del gruppo SINA Engineering che ha rilevato 9 punti d'acqua catalogati come sorgenti perenni o temporanee.

Durante i mesi di giugno e luglio 2018 è stata condotta una nuova campagna di censimento dei punti d'acqua nel corso della quale sono stati individuati, ubicati e descritti tramite brevi monografie, i punti d'acqua significativi, distinti tra pozzi, sorgenti naturali, affioramenti di falda a carattere permanente o temporaneo, ristagni di acqua.

Sono stati rinvenuti un totale di 17 punti d'acqua di cui 6 pozzi ad uso domestico o irriguo e 9 sorgenti di varia tipologia, comprendenti fontanili e zone in cui si ha umidità diffusa nel terreno per emergenza di falda e 1 piccolo lago presso una cascina (Tabella 3, Figura 24).

Si consideri per le portate delle sorgenti e soprattutto per i ristagni d'acqua censiti che nel periodo di svolgimento della campagna 2018 il fenomeno dell'evapotraspirazione risulta nel momento di maggiore intensità.

N	Codice punto	Tipo
1	IOM-CH-010	pozzo
2	PA1	sorgente
3	PA2	pozzo
4	PA3	sorgente
5	PA4	sorgente
6	PA5	pozzo
7	PA6	pozzo
8	PA7	pozzo
9	PA8	ristagno
10	PA9	sorgente
11	PA10	pozzo
12	PA11	sorgente
13	PA12	sorgente
14	PA13	ristagno
15	PA14	ristagno
16	PA15	lago
17	PA16	sorgente

Tabella 3 - Punti d'acqua rinvenuti nella campagna 2018 e loro tipologia.

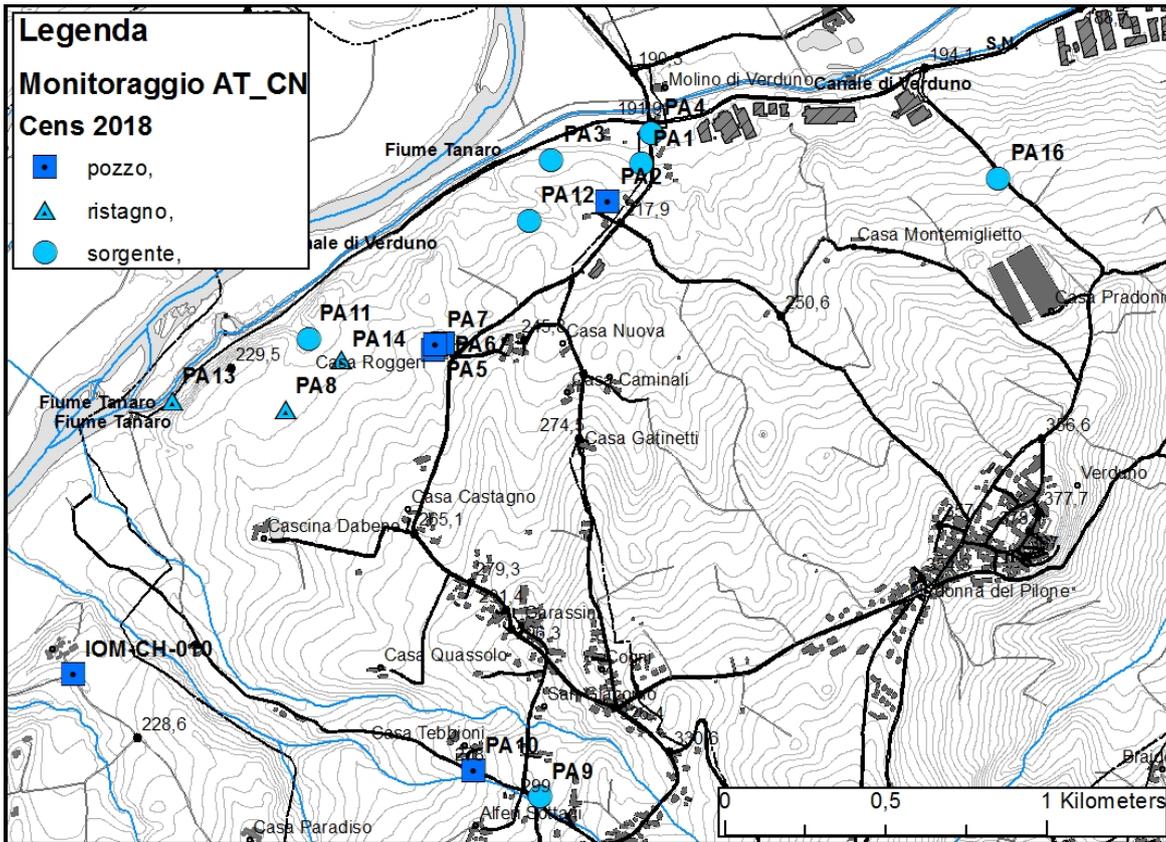


Figura 24 - Ubicazione dei punti d'acqua censiti nella campagna 2018. Per le schede monografiche si veda i documenti progettuali.

6.2. STUDIO DELLE DOLINE

All'inizio del 2011 sono stati pubblicati i risultati di uno studio commissionato dal comune di Verduno nell'ambito della valorizzazione del paesaggio e degli elementi geomorfologici che caratterizzano il suo territorio. Le forme carsiche come doline ed inghiottitoi presenti sono quindi state censite, con l'attribuzione di un codice identificativo univoco, sono state registrate le caratteristiche morfometriche ed il contesto geologico in cui si sono sviluppate.

Il risultato di tale censimento è riportato in Figura 25.

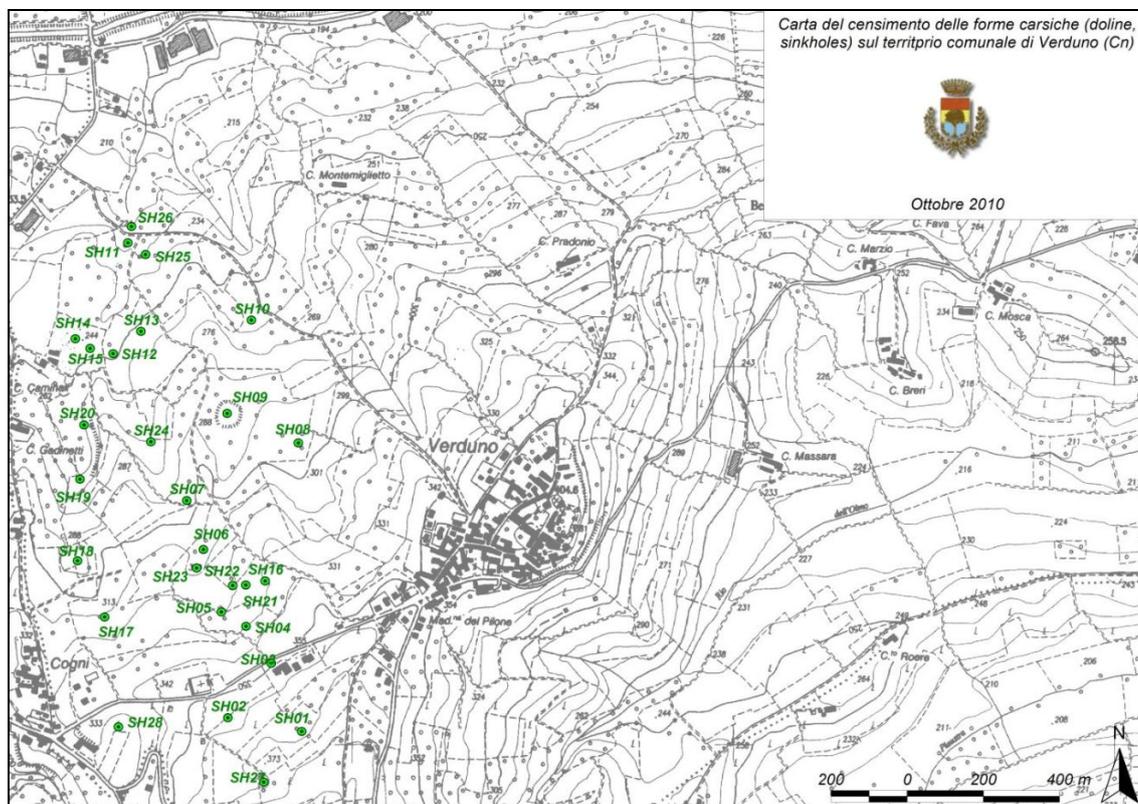


Figura 25 - Stralcio della carta riportante le doline rinvenute e catalogate sul territorio comunale di Verduno.

Nuovi sopralluoghi sono stati eseguiti allo scopo di confermare i dati pubblicati ed eventualmente integrare il dettaglio dei rilievi. Sono state inseriti a valle di tali rilievi alcuni elementi geomorfologici integrativi relativamente alla morfogenesi pseudo carsica con particolare riferimento ad alcune scarpate

perimetrali di forme depresse antiche. È stata inoltre valutata l'interazione di grande rilevanza tra gli elementi tettonici e lo sviluppo di fenomeni di dissoluzione che trovano una coincidenza lungo specifici allineamenti strutturali (Figura 26).

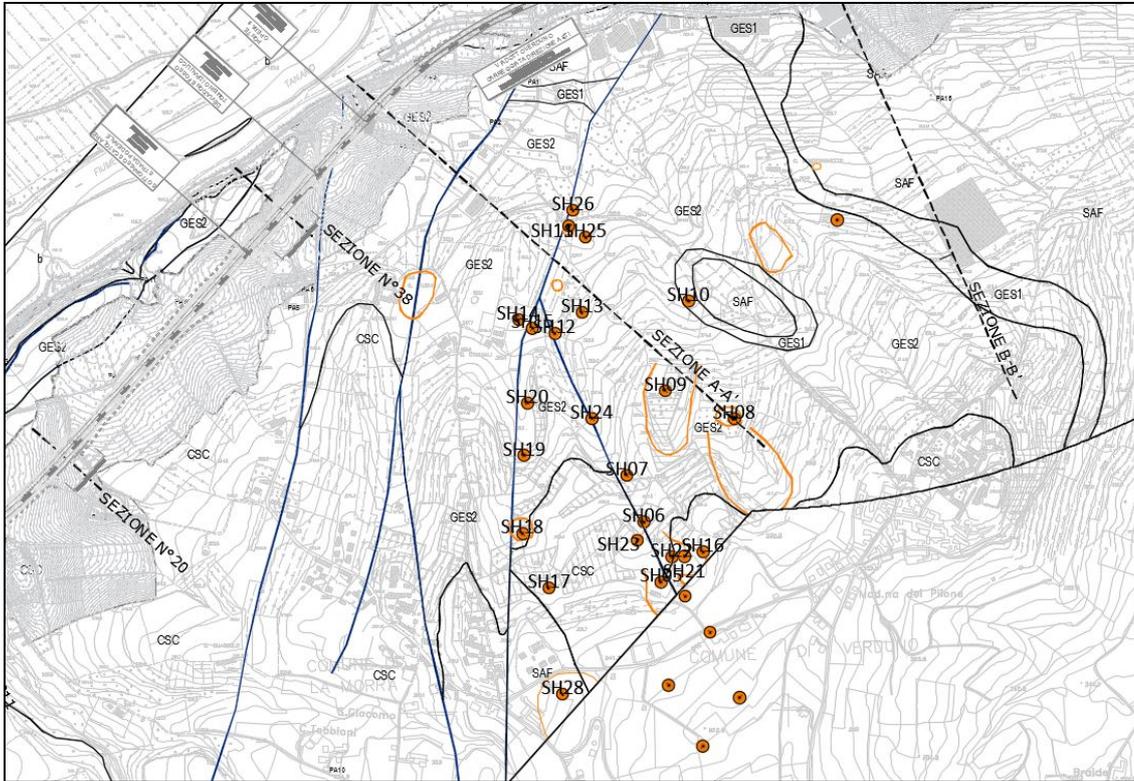


Figura 26 - Stralcio cartografico rappresentante le doline e le morfologie carsiche censite (colore arancione) e relazione con gli elementi tettonici (linee blu).

Si può ragionevolmente affermare che al di fuori dell'area di affioramento della formazione dei gessi e lontano dai condizionamenti strutturali le forme di dissoluzione risultano assai scarse o assenti.

6.3. DEFINIZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Dalle numerose prove di permeabilità eseguite durante le diverse campagne di sondaggio realizzate, mettendo in relazione i dati relativi alle formazioni geologiche individuate nell'area di studio, è stato possibile raggruppare le formazioni geologiche in una serie di unità idrogeologiche a comportamento uniforme.

Complesso 1a: composto dalla formazione delle Marne di Sant'Agata Fossili, formazione alla base della successione oggetto di studio, ha una permeabilità primaria per porosità, molto bassa ($1 \cdot 10^{-8} < K < 1 \cdot 10^{-11}$) e funge da acquicluda basale, è possibile comunque trovare piccole zone a permeabilità maggiore a causa della eterogeneità dei depositi.

Complesso 1b: composto dalle formazioni delle Argille Azzurre (o di Lugagnano), dai Conglomerati Di Cassano Spinola e dalla porzione della Formazione Gessoso Solfifera rinominata GES2. Questa unità ha una permeabilità primaria per porosità variabile da bassa a molto bassa ($1 \cdot 10^{-8} < K < 1 \cdot 10^{-10}$).

Complesso 2: composto dalla porzione di Formazione Gessoso Solfifera rinominata GES1. Ha una permeabilità primaria per porosità estremamente limitata, ma possiede una permeabilità secondaria, per fratturazione o carsismo, da molto elevata a medio bassa ($1 \cdot 10^{-4} < K < 1 \cdot 10^{-7}$). Dalle indagini geofisiche non sembrano essere presenti fratture di grosse dimensioni (al massimo di ordine centimetrico), ma sembra più probabile una forte alterazione che abbia lasciato residui di granulometria pari a ghiaia o sabbia.

Complesso 3a: composto da coperture eluvio colluviali, accumuli di frana e terreni sciolti, presenta una permeabilità per porosità estremamente variabile, da elevata a bassa ($1 \cdot 10^{-4} < K < 1 \cdot 10^{-7}$); si caratterizza per la presenza sottostante di un substrato a minore permeabilità (complesso 1).

Complesso 3b: composto da coperture eluvio colluviali, accumuli di frana e terreni sciolti, presenta una permeabilità per porosità estremamente variabile, da elevata a bassa ($1 \cdot 10^{-4} < K < 1 \cdot 10^{-7}$); si caratterizza per la presenza sottostante di un substrato a maggiore permeabilità (complesso 2).

Complesso 4: composto da depositi alluvionali recenti del fiume Tanaro o dei suoi affluenti, presenta una permeabilità generalmente molto alta, ma che localmente, in aree con lenti argillose può ridursi molto ($1 \cdot 10^{-3} < K < 1 \cdot 10^{-4}$).

Lo schema di classificazione che traduce le unità litostratigrafiche in unità idrogeologiche è mostrato in Figura 27.

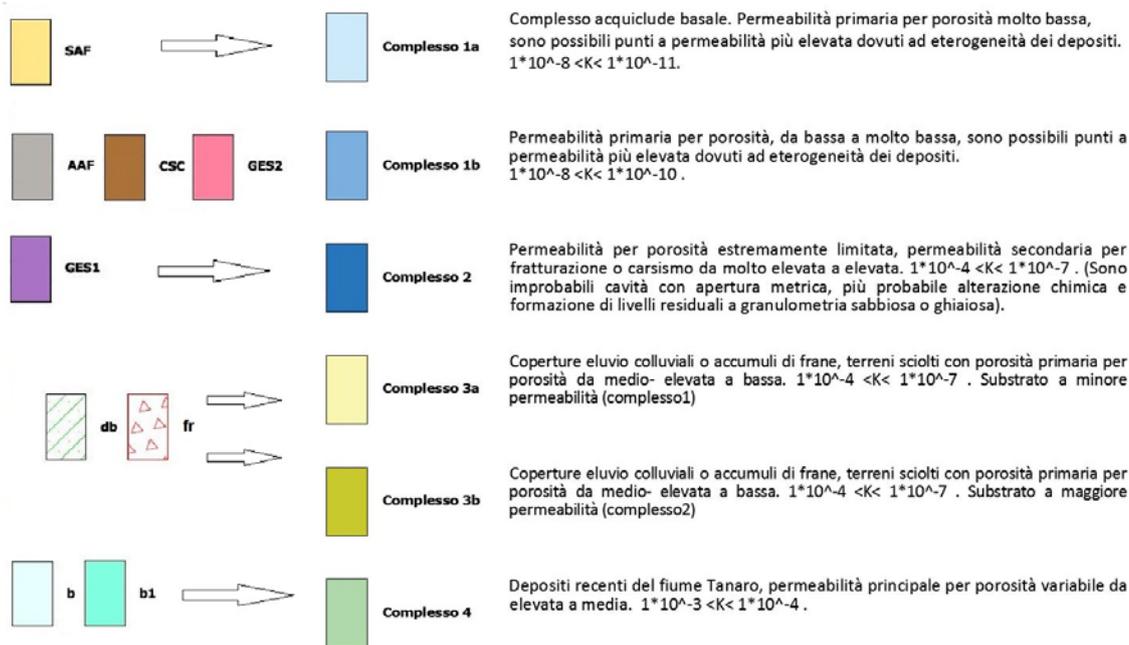


Figura 27 - Schema dei rapporti tra formazioni geologiche e unità idrogeologiche a comportamento uniforme.

Il nuovo tracciato interessa sostanzialmente due ambiti idrogeologici ben distinti: l'ambito della collina di Verduno dove l'opera sarà prevalentemente in trincea attraversando terreni a granulometria limoso sabbiosa e limoso argillosa con bassa permeabilità primaria che poggiano su un substrato argilloso ed evaporitico a bassissima a permeabilità primaria ma permeabile per fratturazione e soggetto localmente a fenomeni di carsismo come evidenziato nella carta idrogeologica e dalla distribuzione delle doline. Le indagini geofisiche eseguite portano ad escludere la presenza di cavità e condotti di grandi dimensioni mentre la forte alterazione chimica dei materiali di superficie ha lasciato residui materiale sabbioso che può aumentare sensibilmente, anche se solo localmente, la permeabilità primaria del substrato.

L'altro ambito che interessa l'opera, si trova nei tratti in fondo valle dove sono presenti terreni di origine alluvionale che presentano una granulometria eterogenea che va da ciottolami deposti a formare barre fluviali e depositi di alveo, ad argille deposte per decantazione in tratti di canali abbandonati o nelle aree di alluvionamento. Si tratta di terreni poco compatti che nel complesso manifestano una permeabilità primaria da media ad elevata.

7. DESCRIZIONE DEI CARATTERI GEOLOGICI LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

Km 0 – Km 0+50: struttura su rilevato artificiale costruito su depositi alluvionali di terrazzo (b1) su superficie pianeggiante. Sondaggio di riferimento: B01.

Km 0+50 – Km 0+100: struttura su rilevato artificiale, i terreni sottostanti passano gradualmente dai depositi alluvionali di terrazzo alla Formazione di Cassano Spinola (CSC) caratterizzata da limi sabbiosi poco consistenti. La struttura si trova in questo tratto su un tratto con pendenze di piede versante estremamente ridotte. Sondaggio di riferimento: B01.

Km 0+100 – Km 0+380: fino alla progressiva 0+300 la struttura è su rilevato artificiale di modesto spessore poggiata sulla Formazione di Cassano Spinola (CSC) in area con morfologia pub pianeggiante ai piedi di un versante con pendenza massima di 22° alla cui sommità sorge la Cascina dello Spia. Negli ultimi 80 metri il lato verso monte della strada prevede un piccolo scavo di controripa su limi e sabbie argillose della Formazione di Cassano Spinola.

Tutto il versante è impostato su limi e sabbie argillose della suddetta formazione mentre la Formazione Gessoso Solfifera è presente al di sotto dei primi 5-7 metri. Indagini di riferimento: B02, TP01, TP02, GE01, GE02.

Km 0+380 – Km0+450: la struttura intercetta la valle incisa dal Rio dei Deglia, dalla forma irregolare e con scarpate laterali molto ripide dove affiora la Formazione Gessoso Solfifera in facies argillosa (GES2). La struttura attraversa il canale tramite un ponte. Sondaggi di riferimento: B02, B03, GE01, GE02.

Km 0+450 – Km 0+550: la struttura supera un rilievo collinare attraverso lo scavo di una piccola trincea all'interno della Formazione di Cassano Spinola (CSC) costituita da limi e sabbie argillose a bassa consistenza. La pendenza del versante attualmente è di 8° e mezzo. Sondaggi di riferimento B04, B05, B06, GE01, GE02, GE03.

Km 0+550 – Km 0+620: la struttura, poggia su un piccolo rilevato e si raccorda al ponte sul Rio S. Giacomo. Il substrato è costituito dalla Formazione di Cassano Spinola e la morfologia in questo tratto è sub-pianeggiante. Sondaggio di riferimento B05.

Km 0+620 – Km 0+670: la struttura supera la valle dal Rio S. Giacomo, attraverso un ponte. Le scarpate dell'impluvio, molto acclivi, sono impostate sulla Formazione di Cassano Spinola (CSC) costituita da limi e sabbie argillose a bassa consistenza. Sondaggi di riferimento B07, B08, GE01, GE02.

Km 0+620 – Km 0+900: il tracciato attraversa in rilevato un versante a bassa pendenza (circa 5°) dove,

nella parte sommitale su sorge la cascina, si sviluppano piccoli fenomeni di soliflusso che interessano la parte corticale di suolo e di limi sabbiosi con argilla della Formazione di Cassano Spinola. Sondaggio di riferimento B09, GE01, GE02.

Km 0+900 – Km 1+100: il tracciato attraversa in trincea un rilievo collinare. Si tratta di una piccola dorsale con cresta arrotondata orientata SSE-NNO che viene tagliata ortogonalmente alla sua direzione. La dorsale è oggi sede di un canale di deflusso delle acque di ruscellamento. La trincea si sviluppa interamente nei limi sabbiosi con argilla a bassa consistenza appartenenti alla Formazione di Cassano Spinola (CSC). Sondaggi di riferimento: B10, B11, B12, B13, GE01, GE02, GE04.

Km 1+100 – Km 1+730: la struttura poggia con un piccolo rilevato su terreni appartenenti alla Formazione di Cassano Spinola (CSC). In questo tratto il tracciato si sviluppa lungo un'area sub pianeggiante, con un'ampia forma concava verso monte che raccoglie i depositi eluvio colluviali trasportati dalle acque di ruscellamento, pertanto il rilevato sarà poggiato, almeno fino alla progressiva 1+600, su materiale sciolto a tessitura limoso sabbiosa con spessore di 0.5-2 metri. Lungo questo tratto, a valle del tracciato in corrispondenza della progressiva 1+470, è presente una piccola sorgente che alimenta un impluvio dove il materiale colluviale converge dando luogo a fenomeni di frane superficiali che ad oggi non interferiscono in modo diretto con il tracciato di progetto. Tra le progressive 1+500 e 1+600 l'impluvio verso monte è alimentato dai depositi di una frana di colamento che si sviluppa a partire dalla quota 232 m s.l.m. e va ad espandersi in forma di un piccolo cono colluviale nella zona pianeggiante dove sorge il rilevato stradale. Nell'ultimo tratto, tra le progressive 1+600 e 1+730, il rilevato poggia sui limi e sabbie argillose della Formazione di Cassano Spinola sub-affioranti. Sondaggi di riferimento B14, B15, TP03, TP04, TP05, TP06, GE01, GE02.

Km 1+730 – Km 1+950: il tracciato intercetta un rilievo collinare interessato da due frane quiescenti e lo supera attraverso lo scavo di una trincea. Il versante nord della collina, interessato dalle frane, ha una pendenza di 23-25° ma lungo la scarpata di distacco della frana può raggiungere i 40° generando instabilità verso monte che interferisce direttamente con la trincea. I terreni interessati appartengono alla Formazione di Cassano Spinola (CSC) e sono costituiti da limi e sabbie argillose a bassa consistenza. Sondaggi di riferimento: B16, B17, B18, B19, GE01, GE02, GE05.

Km 2+00 – Km 2+160: la strada poggia su un rilevato che attraversa un tratto di versante a bassa pendenza su terreni formati dalla Formazione di Cassano Spinola (CSC). Gli ultimi 100 metri di questo tratto di strada sono interessati dal contributo del materiale di piede di una frana di colamento attiva e di una quiescente provenienti dal versante di monte dove l'acclività del pendio localmente supera i 10° destabilizzando la porzione alterata e degradata del substrato. Sondaggi di riferimento: B19, B20.

Km 2+160 – Km 2+220: attraversamento, su ponte, di un impluvio inciso nella Formazione di Cassano Spinola con il fondo occupato da depositi incanalati di origine mista legati al ruscellamento concentrato

di acque superficiali (db). Sondaggi di riferimento: B20, B21.

Km 2+220 – Km 2+390: il tracciato attraversa a mezza costa, prima in trincea e poi su rilevato un pendio a modesta acclività dove una faglia porta in contatto i terreni della Formazione di Cassano Spinola (CSC) con le argille e gessi del membro superiore della Formazione Gessoso Solfifera (GES2), incontrando piccoli fenomeni di instabilità legati al soliflusso del materiale corticale. Negli ultimi metri del tratto una piccola sorgente alimenta una frana quiescente che interessa il piede del versante fino al fondovalle del Tanaro. Sondaggi di riferimento B21, B22, TP07.

Km 2+390 - Km 2+950: dal km 2+390 l'opera è realizzata in viadotto dapprima sul piede del versante interessato dalla frana quiescente, e quindi, dalla progressiva 2+480 circa, sui depositi alluvionali del Fiume Tanaro (b). Nel primo tratto il viadotto supera il Canale Enel passando dalla sua sponda destra alla sinistra, quindi corre parallelo al canale stesso. A partire dalla kilometrica 3+650 il viadotto passa sopra i depositi alluvionali dei terrazzi recenti (b1) fino alla fine del tracciato. Sondaggi di riferimento da B22 a B29 e da TP08 a TP14.

8. BIBLIOGRAFIA

- Biancotti A. (1981) - *Geomorfologia dell'Alta Langa (Piemonte Meridionale)*. Memorie della Società Italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale di Milano, XXII, 1981, pp. 58-104.
- Boni A., Casnedi R., (1970) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100'000 Fogli 69 Asti e 70 Alessandria*.
- Dela Pierre F., Bernardi E., Cavagna S., Clari P., Gennari R., Irace A., Lozar F., Lugli S., Manzi V., Natalicchio M., Roveri M., Violanti D., (2010) - *The record of the Messinian salinity crisis in the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy): the Alba section revisited*, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* – PALAEO 5875.
- Ghibaudo G., Clari P., Perello M., (1985) - *Litostratigrafia, sedimentologia ed evoluzione tettonicosedimentaria dei depositi miocenici del margine sud-orientale del Bacino Terziario ligurepiemontese (Valli Borbera, Scrivia e Lemme)*. Bollettino della Società Geologica Italiana 104, 349- 397.
- Sardella, R., (2008) - *Remarks on the Messinian carnivores (Mammalia) of Italy*. Bollettino della Società Paleontologica Italiana 47, 195-202.