



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

IDROLOGIA SOTTERRANEA

Relazione

**IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE
SPECIALISTICA**

Ing. Paolo De Paoli
Ord. Ingg. Pavia N.1739

RESPONSABILE UFFICIO IDR

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova N. 9810A

CAPO COMMESSA

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

**RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA
TECNICA E PROGETTAZIONE**

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO						DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE					n.	data
-	codice commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.			
-	11001302		STPIDR0001			--	SCALA:		

spea
autostrade

**Ingegneria
europea**

RESPONSABILE PROGETTO GENOVA

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

ELABORAZIONE
GRAFICA
A CURA DI :

ELABORAZIONE
PROGETTUALE
A CURA DI :

CONSULENZA
A CURA DI :

IL RESPONSABILE
UNITA' STP

Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

VISTO DEL COMMITTENTE

autostrade // per l'italia

R.U.P. - Ing. Andrea Frediani

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

INDICE

1. PREMESSA	1
2. CENSIMENTO DEI DATI IDROGEOLOGICI DISPONIBILI PRESSO GLI ENTI DI COMPETENZA E DA LETTERATURA TECNICA	1
2.1 Censimento dei punti d'acqua	1
2.2 Acquisizione dei livelli piezometrici storici relativi ai punti d'acqua monitorati dagli Enti	5
2.3 Acquisizione dei dati meteo climatici	5
2.4 Acquisizione dei dati idrochimici delle acque sotterranee	10
3. ATTIVITÀ DI RILIEVO IN SITO, INDAGINI E MISURE IDROGEOLOGICHE E IDROCHIMICHE	10
3.1 Censimento dei punti d'acqua nel settore interessato dalle opere autostradali	10
3.1.1 Censimento in sito e misure di caratterizzazione	10
3.2 Redazione delle schede di rilievo dei punti d'acqua e implementazione del database	17
3.3 Censimento dei corpi idrici superficiali nel settore interessato dalle opere autostradali	18
3.3.1 Censimento in sito e misure di caratterizzazione	18
4. QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	21
Unità tettonica Antola	22
Unità tettonica Gottero	23
5. MODELLO GENERALE DI CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	23
5.1 Regime delle precipitazioni e ricarica degli acquiferi	23
5.1.1 Quadro climatico di riferimento	23
5.1.2 Stima dell'infiltrazione efficace	26
5.2 Interpretazione dei dati idrochimici e chimico-isotopici delle acque sotterranee per la caratterizzazione dei circuiti di alimentazione di pozzi e sorgenti	29
5.2.1 Obiettivi e finalità dell'indagine	29
5.2.2 Generalità sull'interpretazione dei dati idrochimici	29
5.2.3 Caratteristiche fisiche	30
5.2.4 Sintesi caratteri geochimici	35
5.2.5 Interpretazione dei dati chimico-isotopici	40
5.3 Interpretazione degli elementi geologico - strutturali e ricostruzione del modello idrogeologico generale	46
5.3.1 Quadro delle strutture tettoniche di rilevanza per la circolazione sotterranea	46
5.3.2 Carsismo	47
5.3.3 Correlazione tra strutture fragili, localizzazione e tipologia delle sorgenti	48
5.3.4 Dati piezometrici	60
5.4 Caratterizzazione complessiva dei circuiti di alimentazione di punti d'acqua potenzialmente interferenti con le opere in galleria	63
5.4.1 Elementi indicativi di circolazione "locale" (superficiale)	64
5.4.2 Elementi indicativi di circolazione "intermedia" e "profonda"	64
5.5 Planimetria dei complessi idrogeologici e profilo idrogeologico longitudinale in asse alle opere autostradali	65
5.5.1 Planimetria dei complessi idrogeologici	65

5.5.2	Profilo longitudinale in asse alle opere autostradali	67
6.	VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE INTERFERENZE ATTESE FRA OPERE DI PROGETTO ED ACQUE SOTTERRANEE	68
6.1	Valutazione delle interferenze prodotte da gallerie in contesti geologici e strutturali simili	68
6.1.1	Gallerie esistenti dell'Autostrada A 12	68
6.1.2	Gallerie dell'acquedotto di Santa Margherita Ligure	70
6.2	Analisi del sondaggio orizzontale eseguito sulla galleria Val Fontanabuona e della determinazione della permeabilità tramite prove Lugeon	72
6.3	Valutazione con il metodo empirico di Heuer (2005)	75
7.	ANALISI DEGLI IMPATTI SULLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA E SUPERFICIALE	78
7.1	Approccio metodologico	78
7.2	Valutazione di un indice quantitativo di rischio	80
7.2.1	Metodologia utilizzata	80
7.2.2	Risultati	82
7.3	Elaborazione del profilo definitivo del rischio di impatto relativo alle sorgenti presenti lungo il tracciato delle opere in progetto	82
7.4	Quadro di sintesi degli impatti	83

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 - Censimento delle sorgenti idriche - Sportello Cartografico della Regione Liguria
- ALLEGATO 2 - Elenco delle concessioni - Provincia di Genova - Direzione Ambiente, Servizio Acque e rifiuti, Ufficio Derivazioni Idriche;
- ALLEGATO 3 - Censimento captazioni da pozzo oggetto di monitoraggio ARPAL
- ALLEGATO 4 - Censimento delle sorgenti nell'alto bacino del Torrente Bisagno. Provincia di Genova - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse (Università di Genova)
- ALLEGATO 5 - Censimento delle grotte - Sportello Cartografico della Regione Liguria
- ALLEGATO 6 - Stralcio degli Annali Idrologici 1932 - 2002 relativi alle stazioni di interesse per l'area del tunnel Fontanabuona
- ALLEGATO 7 - Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue Risorse (Università di Genova). Data base analisi chimiche
- ALLEGATO 8 - Data base analisi chimiche dei pozzi oggetto di monitoraggio ARPAL
- ALLEGATO 9 - Certificati di misura delle analisi chimiche
- ALLEGATO 10 - Certificati di misura delle analisi isotopiche.
- ALLEGATO 11 - Schede censimento corpi idrici superficiali.

1. PREMESSA

La presente relazione e gli elaborati cartografici allegati, riguardano l'aggiornamento dello "Studio idrogeologico del tunnel Val Fontanabuona", a supporto delle attività di progettazione definitiva con particolare riferimento al tracciato delle opere in galleria.

Lo studio si è sviluppato attraverso attività concatenate e conseguenti svolte in fase preliminare nel 2011, quindi rivedute ed aggiornate tra ottobre e novembre 2014 in fase di progettazione definitiva. Le indagini sono state svolte in riferimento agli specifici punti del Capitolato Tecnico, che vengono nel seguito richiamati:

- 1 - Censimento bibliografico dei punti d'acqua presenti in un intorno significativo dal punto di vista idrogeologico rispetto alla posizione del tracciato (esteso anche ben oltre la fascia indicativa di 2 km a cavallo dell'asse viario).
- 2 - Censimento in sito dei punti d'acqua (sorgenti captate e non captate, pozzi, prese da corsi d'acqua superficiali) presenti all'interno della fascia di territorio potenzialmente soggetta ad impatto da parte dell'opera, (indicativamente almeno 2 km a cavallo dell'asse viario per un totale di circa 18 kmq). Per ciascun punto, quando possibile, sono stati rilevati temperatura, pH, conducibilità elettrica specifica, portata.
- 3 - Censimento corsi d'acqua con bacino potenzialmente interferente con lo scavo della galleria.
- 4 - Redazione delle schede di rilievo, per tutti i nuovi punti d'acqua censiti sia per i punti relativi alle acque sotterranee che per quelle superficiali.
- 5 - Recupero dei livelli piezometrici storici relativi ai punti d'acqua monitorati dagli Enti.
- 6 - Recupero dei dati pluviometrici storici presso gli Enti.
- 7 - Recupero dei dati geochimici delle acque presso gli Enti.
- 8 - Esecuzione analisi geochimiche ed isotopiche delle acque.
- 9 - Ricostruzione del modello idrogeologico generale.
- 10 - Valutazione qualitativa delle interferenze attese fra opere di progetto ed acque sotterranee (afflussi in galleria, intercettazione di falde, ecc.) e descrizione degli elementi idrogeologici di maggiore interesse ingegneristico.
- 11 - Redazione della planimetria dei complessi idrogeologici.
- 12 - Redazione del profilo idrogeologico longitudinale lungo l'asse principale.
- 13 - Redazione della relazione idrogeologica generale, per illustrazione e sintesi delle attività e delle elaborazioni che costituiscono il presente studio.

2. CENSIMENTO DEI DATI IDROGEOLOGICI DISPONIBILI PRESSO GLI ENTI DI COMPETENZA E DA LETTERATURA TECNICA

2.1 Censimento dei punti d'acqua

Analogamente a quanto svolto nel corso degli accertamenti in fase di progettazione preliminare l'attività di censimento bibliografico è stata eseguita, per quanto possibile, preventivamente alle indagini svolte in sito.

La finalità principale è stata quella di aggiornare il quadro conoscitivo in relazione all'ubicazione ed alle caratteristiche dei punti d'acqua con organizzazione dei dati sotto forma di banca dati. Tali informazioni sono state poi controllate nel corso delle successive indagini sul territorio.

In linea con quanto svolto in fase preliminare, al fine di acquisire informazioni generali su stato e consistenza delle risorse idriche del territorio oggetto di studio, è stato contattato il personale tecnico dei seguenti comuni interessati dalle indagini:

- Comune di Rapallo
- Comune di Cicagna
- Comune di Tribogna
- Comune di Moconesi
- Comune di Avegno

Contestualmente sono stati ricontattati, internamente agli Enti pubblici preposti ai controlli istituzionali sulle acque sotterranee, i referenti in grado di fornire dati ed informazioni utili ad aggiornare ed ampliare il quadro conoscitivo di supporto allo studio idrogeologico. Sono stati quindi interpellati i seguenti Enti:

- Provincia di Genova - Direzione Ambiente, Servizio Acque e rifiuti, Ufficio Derivazioni Idriche;
- ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova - Settore Ciclo delle Acque;
- Regione Liguria - Dipartimento Ambiente Settore Ciclo Integrato e Gestione delle Risorse Idriche; Sportello Cartografico SITAR - Sistemi Informativi Territoriali e Ambientali Regionali.
- ASL4 Chiavarese.

Un'approfondita analisi è stata svolta sul materiale consultabile in rete sui siti istituzionali. In particolare sono stati consultati i seguenti:

- <http://geoportale.regione.liguria.it/geoservices/> contenente, per gli argomenti di interesse, differenti tematismi di interesse idrogeologico tra cui il censimento delle "Grandi Derivazioni", il data base delle sorgenti SITAR, l'ubicazione degli acquiferi principali e delle stazioni di monitoraggio acque sotterranee specificate entro il Piano di Tutela delle Acque – DCR n.32/09.
- <http://www.cartografia.regione.liguria.it> contenente il repertorio cartografico della Regione Liguria dove è stato possibile acquisire file tematici relativi ad "aree carsiche", "grotte e carsismo".
- <http://cartogis.provincia.genova.it/cartogis/cartoe.asp> contenente la carta delle sorgenti in ambito 15 ed i Piani di Bacino relativi all'area di indagine.
- <http://www.ambienteinliguria.it> contenente indicazioni relative alle derivazioni idriche.

Particolare attenzione è stata rivolta all'analisi degli studi di pianificazione territoriale ed in particolare ad eventuali aggiornamenti emersi tra il 2011 ed il 2014. In particolare sono stati consultati i seguenti studi:

- Provincia di Genova – Piano di Bacino Stralcio sul bilancio idrico (L.R. 18/99 art. 91) approvato con D.C.P. n.19 del 15/04/2009. Carta geolitologica, sorgenti captate e non captate. Bacino del Torrente Entella.
- Provincia di Genova - Torrente Lavagna - Piano di Bacino stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive.
- Provincia di Genova. Ambito 15 - "Studio relativo alla disponibilità idrica dei corpi idrici non significativi ricadenti nel versante ligure" - Il bacino del Torrente Boate - Provincia di Genova.

Il Piano di Bacino Stralcio sul bilancio idrico del Torrente Entella riporta una cartografia in scala 1:50.000 con l'ubicazione delle sorgenti captate e non captate. La scala del documento e l'assenza di dettagli sulle sorgenti

consente di unicamente delle indicazioni di massima sull'ubicazione dei punti da verificare successivamente con l'attività di campagna.

Il Piano di Bacino Stralcio per la difesa idrogeologica (Torrente Lavagna) è corredato di una carta idrogeologica in cui viene riportata la posizione dei principali pozzi, sorgenti e derivazioni. Sulla carta, per le sorgenti, viene riportata la suddivisione tra captate e non captate, mentre viene specificato l'utilizzo delle captazioni censite, se questo è noto. I dati sono stati ottenuti da cartografie disponibili presso le sedi comunali e dall'aggiornamento del censimento quali - quantitativo della Regione Liguria, oltre che da varia bibliografia.

Lo studio relativo al bacino del Torrente Boate contiene una raccolta di dati che hanno costituito un catasto delle sorgenti dove vengono distinte quelle captate dalle non captate in specifica cartografia.

Le sorgenti captate sono state ricavate dal Progetto Hydro.co all'interno del quale erano confluiti i dati provenienti dal SINA - SIREBA (Sistema Informativo Nazionale Ambientale - Sistema Informativo Regionale di Bacino ossia la banca dati regionale che raccoglie le informazioni relative a piccole e grandi derivazioni, comprensiva delle banche dati di: Area 08-Ufficio Derivazioni Acqua e Linee Elettriche; Regione Liguria - Sistema Informativo Regionale Ambientale, Progetto Ecozero - approfondimenti per le zone ex-Obiettivo 2).

Per le sorgenti non captate lo studio ha fatto riferimento invece alle seguenti fonti:

- Piano Urbanistico Comunale della Città di Rapallo (Progetto Preliminare), Carta Idrogeologica in scala 1:5000.
- Tavole in scala 1:25000 della Carta Tecnica Regionale;

Lo stesso studio evidenzia comunque che il censimento contenuto rappresenta una base di partenza per successivi approfondimenti sul terreno allo scopo di completare il catasto e controllare sul territorio la localizzazione esatta del punto sorgente. Questa infatti può essere incerta per i noti motivi dovuti alle catalogazioni di elementi geografici (duplicazione di informazioni, errata posizione, riferimento geografico informatizzato ecc.).

Presso lo Sportello Cartografico della Regione Liguria già in fase preliminare era stato acquisito un censimento delle sorgenti idriche dell'intero territorio regionale; i punti censiti sono circa 9295, sono georeferenziati in coordinate Gauss Boaga e vengono forniti su supporto informatico (allegato 1). Il data base correlato non contiene informazioni generali o specifiche dei singoli punti e, a ottobre 2014, non risultava aggiornato rispetto al 2011 per quanto riguarda le informazioni dell'area di interesse.

Un contributo rilevante alle attività di aggiornamento del censimento bibliografico è stato fornito dall'Ufficio Derivazioni Idriche della Provincia di Genova che ha aggiornato l'elenco delle captazioni su cui esiste una richiesta di concessione presso l'area di studio. Tali dati non comprendono i liberi utilizzi dei pozzi ai sensi dell'art. 93 del R.D. 11 dicembre 1933 nr.1775 di cui è stata omessa, da parte del proprietario o dell'utilizzatore, la denuncia ai sensi dell'art. 10 del D.Lgs. 275/93 e i liberi utilizzi delle sorgenti ai sensi dell'art.4 della L.R. 3 gennaio 2002 nr.2.

I dati disponibili sono riportati su supporto informatico in allegato 2 e sono relativi a 102 sorgenti, 22 pozzi e 115 captazioni da acque superficiali (Piccole Derivazioni caratterizzate da portata fino ad 1 modulo = 100 l/s).

I contatti con il Settore Ciclo delle Acque di ARPAL hanno permesso di ottenere informazioni sull'ubicazione delle captazioni più importanti dal punto di vista della rilevanza socio – economica, ossia quelle adibite ad utilizzo idropotabile, oggetto di monitoraggio istituzionale (data base ARPAL).

ARPAL aveva già fornito nel 2011 l'ubicazione in coordinate geografiche di 15 captazioni da pozzo oggetto di monitoraggio che interessano l'acquifero del fondovalle del Torrente Lavagna. I punti di monitoraggio sui pozzi non sono variati rispetto a quanto comunicato nel 2011; tuttavia ARPAL ha anche fornito, su richiesta, un elenco di tutte le sorgenti controllate dal 1990 al 2010 (a partire dal 2010 il monitoraggio delle sorgenti è stato sospeso) nell'area di potenziale interesse. Nella maggior parte dei casi, pur interessando i Comuni coinvolti dalle opere, nella maggior parte dei casi si tratta di sorgenti ampiamente fuori dell'area di indagine. Costituiscono parziale eccezione le captazioni presso località Chichizola – Serra (sorgenti Panigà – Soprano) nel Comune di Cicagna; tali captazioni, sono situate fuori della fascia indicativa di indagine (sono ubicate a 1.3 km dal tracciato in progetto), ma erano già note nel corso delle indagini di fase preliminare. In fase di aggiornamento del 2014, considerato che le captazioni contribuiscono all'approvvigionamento potabile e rientrano nell'ambito del monitoraggio ARPAL, sono state oggetto di specifici sopralluoghi.

I file dei dati georeferenziati contenenti sia ubicazione ed elenco delle sorgenti e dei pozzi controllati da ARPAL, sono stati raccolti in allegato 3. I dati sono aggiornati fino al 2013, successivamente ARPAL non ha più eseguito il monitoraggio. La totalità dei pozzi e la maggior parte delle sorgenti sono captazioni situate ad elevata distanza dal tracciato della galleria ed in contesti idrogeologici anche completamente differenti dall'area di interesse per la realizzazione del tunnel di Val Fontanabuona.

Analogamente a quanto eseguito nel 2011 sono state interpellate le società (Mediterranea della Acque, Idrotigullio e Acque Potabili) che operano nella gestione delle risorse idriche idropotabili. I tecnici hanno ribadito che non ci sono state variazioni nelle modalità di approvvigionamento idrico nelle aree di interesse. Idrotigullio ha offerto collaborazione per raggiungere ed ispezionare le opere di presa ubicate nell'area di Chichizola e Serra.

Tra le pubblicazioni accademiche sono stati individuati alcuni studi eseguiti sulle acque dell'alto corso del Bisagno che interessano contesti idrogeologici analoghi a quello indagato. I riferimenti delle pubblicazioni sono riportati nel paragrafo 2.4. Sono state acquisite le coordinate geografiche di 130 punti di prelievo di acque sorgive i cui dati vengono forniti su supporto informatico in allegato 4. Tali punti tuttavia sono distanti dall'area di indagine.

Al fine di avere delle indicazioni sulla presenza di eventuali fenomeni carsici è stata analizzata la documentazione bibliografica presso i portali istituzionali della Regione Liguria. Tali dati sono stati confrontati con il censimento delle grotte dell'intero territorio regionale che era stato acquisito nel 2011. Non sono state rilevate differenze.. I punti censiti sono 1229, di cui alcuni ricadono anche in corrispondenza dell'area di indagine. Sono georeferenziati in coordinate Gauss Boaga e vengono forniti su supporto informatico (allegato 5).

Nell'elaborato IDR 0002 sono state riportate, in un'unica cartografia in scala 1:10000, tutte le informazioni relative all'ubicazione di punti d'acqua raccolte dai vari enti interpellati oppure dagli studi di pianificazione consultati in base agli aggiornamenti svolti tra ottobre e novembre 2014; in particolare, in relazione all'area di interesse, vengono rappresentati:

- concessioni idriche (Piccole Derivazioni *con* portata fino a 1 modulo = 100 l/s) di competenza della Provincia di Genova relativamente ai Comuni di Rapallo, Tribogna, Cicagna, Moconesi, Avegno e Recco;
- i punti di monitoraggio quali – quantitativo di ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova – Settore Ciclo delle Acque;
- censimento delle sorgenti idriche della Regione Liguria SITAR - Servizi Informativi Territoriali e Ambientali Regionali;
- sorgenti individuate da cartografia contenuta entro il Piano di Bacino di Ambito 15 ed in particolar nello “Studio relativo alla disponibilità idrica dei corpi idrici non significativi ricadenti nel versante ligure”;
- sorgenti individuate da cartografia contenuta entro il Piano di Bacino stralcio sul bilancio idrico (L.R. 18/99 art. 91) Bacino del Torrente Entella;
- stazioni di monitoraggio delle acque sotterranee riportate sul Piano di Tutela delle Acque (Regione Liguria);
- censimento delle grotte ed aree carsiche (Regione Liguria - SITAR).

La planimetria riporta, oltre al tracciato della galleria autostradale in progetto, anche l’ubicazione della galleria esistente che permette il passaggio delle condotte idriche dal campo pozzi situato in Val Fontananbuona all’acquedotto di S.Margherita Ligure. Tale opera è particolarmente rappresentativa per le indagini in quanto interessa litotipi e strutture tettoniche analoghe a quelle delle gallerie in progetto.

Al fine di poter rappresentare tutti gli elementi più significativi per la costituzione del quadro idrogeologico la planimetria comprende una vasta area a Est del tracciato in progetto. In tale maniera è stato possibile rappresentare sia la galleria dell’acquedotto il cui tracciato è distante più di 4 km dalla galleria in progetto, sia i punti di monitoraggio ARPAL situati in corrispondenza del fondovalle del Torrente Lavagna.

2.2 Acquisizione dei livelli piezometrici storici relativi ai punti d’acqua monitorati dagli Enti

Contestualmente alla ricerca svolta presso i vari Enti in relazione alla ubicazione dei punti d’acqua sono state effettuate anche specifiche richieste sulla presenza e disponibilità di serie storiche dei dati relativi a reti di monitoraggio piezometrico.

Dalle indagini svolte non è emersa la presenza di pozzi nell’area di interesse dove la totalità delle captazioni è costituita da sorgenti.

Il Dipartimento provinciale di Genova dell’ARPAL esegue tuttavia il monitoraggio quali - quantitativo dei pozzi sfruttati a scopi idropotabile in corrispondenza del fondovalle del Torrente Lavagna, l’unico ad essere caratterizzato dalla presenza di un acquifero significativo.

I dati piezometrici sono quindi relativi ad un contesto molto differente e non collegato a quello indagato.

2.3 Acquisizione dei dati meteo climatici

Per l’acquisizione dei dati meteo climatici è stato fatto riferimento alle pubblicazioni degli Annali Idrologici. Tali pubblicazioni sono state storicamente curate dagli Uffici Compartimentali dell’ex Servizio Idrografico, divenuto successivamente Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ma inizialmente afferente al Genio Civile del Ministero dei Lavori Pubblici e poi al Dipartimento per i Servizi Tecnici Nazionali. L’Ufficio di Genova ha iniziato la pubblicazione degli Annali Idrologici nel 1932.

A partire dalla fine del 2002 il sistema di rilevamento del Compartimento di Genova del SIMN è stato acquisito dalla Regione Liguria che ha affidato ad ARPAL le competenze inerenti le attività di monitoraggio idro - termo - pluviometrico e la compilazione degli Annali Idrologici.

Ai fini della presente ricerca in fase preliminare sono state consultate le serie storiche degli Annali disponibili sul sito APAT (<http://www.annali.apat.gov.it>; ad ottobre 2014 però non più attivo) curato dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). L'aggiornamento dei dati è avvenuto a seguito della consultazione degli annali disponibili sul sito ARPAL (<http://www.arpal.gov.it>) e sui dati disponibili su ISPRA <http://www.acq.isprambiente.it/>.

Sono stati individuati i bacini idrografici di interesse per l'area della galleria Fontanabuona acquisendo i dati delle stazioni ubicate entro i bacini minori compresi tra Bisagno ed Entella ed i dati nel territorio del bacino dello stesso Entella. Tale gruppo di stazioni è caratterizzato da una certa omogeneità di distribuzione sul territorio di interesse sia dal punto di vista areale che altimetrico e dalla disponibilità di una prolungata serie di dati. Ai fini dello studio idrogeologico in oggetto sono stati acquisiti i dati relativi ai totali annui ed ai totali mensili delle precipitazioni.

Nella Tabella 1 sono elencate le principali caratteristiche delle stazioni acquisite ed i relativi bacini di appartenenza. Al fine di poter disporre di dati su supporto informatico si è provveduto all'inserimento dei valori relativi alle precipitazioni totali annue di tutte le stazioni di interesse. Tali dati sono riportati, suddivisi per bacino di riferimento, nella Tabella 2 e nella Tabella 3.

In allegato 6 sono riportati i file xls dei dati elaborati e le scannerizzazioni in formato pdf degli Annali relative ai singoli anni di osservazione.

Bacino di riferimento	Stazione	quota (m s.l.m.)	periodo osservazione	Toatale anni osservazioni effettive	media sul periodo di osservazione delle precipitazioni annue (mm)
Bacini minori tra Bisagno ed Entella	S.Ilario	210	1939 - 1985	42	1308
	Colonia Arnaldi	600	1954 - 2006	39	1780
	S.Margherita Ligure	3	1951 - 1978	24	1336
	Nozarego		1932 - 1949	15	1200
	S.Pietro di Novella	13	1932 - 1977	42	1348
	Montallegro		1933 - 1949	16	1270
	Portofino		1932 - 1942	9	1007
	Chiavari	5	1932 - 2009	64	1149
	Nervi	45	1971 - 1984	13	1173
Entella	Ognio	400	1932 - 1979	44	2021
	Neirone	332	1932 - 2009	48	1802
	Favale di Malvaro	380	1932 - 1991	55	1707
	Piana di Soglio	75	1937 - 2009	52	1593
	S.Martino del Monte	309	1932 - 1998	56	1314
	Tigliolo	293	1932 - 2009	70	1845
	Giacopiane	1016	1932 - 2009	75	1870
	Sopra la croce		1932 - 1944	11	1790
	S.Michele	170	1932 - 1998	63	1516
	Montemoggio		1932 - 1942	9	1417
	S.Maria di Sturla	34	1932 - 1960	28	1382
	Statale	570	1935 - 2009	60	1979
	Chiesanuova Garibaldi	110	1932 - 1986	45	1554
	Panesi	25	1934 - 1998	58	1135
	Chichero	480	1964 - 2009	32	1862
	Cornua	622	1968 - 1976	8	1415
	Pannesi	535	1971 - 1978	7	1736
	Madonna del Bosco	376	1968 - 1976	8	1754
Reppia	546	1972 - 2009	24	1576	
Cassagna	432	1973 - 2009	26	1651	
Dato medio					1534

Tabella 1

Anno osservazione	BACINI MINORI TRA BISAGNO ED ENTELLA								
	S.Jlario	Colonia Arnaldi	S.Margherita Ligure	Nozarego	S.Pietro di Novella	Montallegro	Portofino	Chiavari	Nervi
1932				1055.2	1642.1	"	1039	1484.2	
1933				773.1	1223.6		1043	974.1	
1934					1521.0	1704.3	1406.0	1506.7	
1935					1221.0	1198.0	781.3	1986.8	
1936				1595.1	1780.3	2270.7	1462.2	1602.6	
1937				1838.7	1869.3	1798.9	1142.5	1609.3	
1938				1000.9	964.8	1105.7		1107.6	
1939	1203.9			1224.7	1143.2		639.8	1138.8	
1940				1342.1	1148.8	1412.9	695.6	1105.6	
1941	980.3			1154.7	1175.9			1241.4	
1942	1295.9			1450.4	1446.0	1371.4	857.6	1155.4	
1943	1241.6			1238.9	1045.1	1124.1		1127.5	
1944	842.4			768.0	850.2	887.6		847.2	
1945				971.5	880.1	758.0		977.1	
1946	1194.8			1170.6	1160.9	1050.8		1191.2	
1947	1605.2			1129.9	1134.1	1194.4		1325.1	
1948	1249.4				1053.6	1084.7		1443.6	
1949	1270.9			1287.8	1195.6	1075.2		1345.8	
1950	1165.2				1074.3			990.8	
1951	1755.4		1533.6		1701.8			1694.4	
1952	1055.1		927.0		1005.7			1067.4	
1953	1366.2		1056.2					1200.0	
1954	1681.8	2192.4	1422.0		1559.7			1352.8	
1955	1116.4	1527.8	939.8		1056.6			96.2	
1956	911.6	1419.8	1035.8		1047.8			930.6	
1957	1430.4	2055.0	1553.8		1556.4			1158.0	
1958	1510.6	1869.2	1290.0		1466.8			1214.2	
1959	1800.0	2254.0	1851.6		1974.4			1433.6	
1960	2133.0	1958.8	1881.0		2021.3			1507.0	
1961	1729.0	1906.5	1433.7					1106.0	
1962	937.6	1268.6	1073.4		1093.3			990.8	
1963	1766.2	2210.5	1798.2					1625.2	
1964	1323.8	1693.8	1499.8		1558.3			1223.8	
1965	1034.8	1534.6	1175.8		1305.6			861.4	
1966	1145.7	2003.9	1398.6		1599.4			1272.9	
1967	930.2	1336.6	756.4		986.5			611.4	
1968	1261.7	2019.2	1449.4		1468.2			1184.8	
1969	1070.7	1607.8	798.2		1073.6			779.4	
1970									
1971	1379.4	2019.0	1300.4		1536.4			1043.6	1297.2
1972	1675.6	2467.0	1818.2		2044.6			1474.6	1491.2
1973	970.4	1542.1	1015.6		1137.8			859.6	798.0
1974	1344.2	1676.2	1255.0		1138.9			986.4	1022.7
1975	1415.0	2239.6	1388.0		1197.0			1197.0	1263.4
1976	1488.2	1959.6	1508.4		1492.0			1400.6	1140.0
1977	1872.8	3035.8	1897.4		2056.6			1449.4	1432.6
1978			1015.0					912.8	
1979	1737.5	2603.4						1699.2	1632.2
1980	1030.7	1595.0						1100.0	863.6
1981		1592.0						789.6	975.4
1982	1154.7	1955.9						1117.6	1081.6
1983	970.1	1598.4						1228.0	995.8
1984	1439.4	1274.6						1374.4	1258.8
1985	919.6	1563.6						803.0	
1986		1492.4						864.0	
1987								1018.6	
1988	461.4							1001.2	
1989								667.0	
1990								667.0	
1991									
1992		444.8							
1993									
1994									
1995									
1996	1699.8								
1997									
1998									
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004								949.8	
2005		1210.9						890.0	
2006		1150.8						785.7	
2007		1202.0						802.0	
2008		2000.4						1473.0	
2009		2187.2						1418.4	
Media periodo osservazione	1308.4	1780.2	1336.0	1200.1	1347.8	1269.6	1007.4	1148.8	1173.3

Tabella 2

2.4 Acquisizione dei dati idrochimici delle acque sotterranee

Lo svolgimento di questa attività è consistita sia nella ricerca dati presso gli Enti, che nella ricerca bibliografica mirata ad individuare le pubblicazioni relative all'area di studio.

L'ARPAL ha fornito i valori delle analisi chimiche raccolte nel data base delle captazioni da pozzo sfruttate per scopo idropotabile in corrispondenza del fondovalle del torrente Lavagna. I valori delle analisi sono aggiornati al 2013 in quanto successivamente il monitoraggio è stato sospeso. I dati sono riportati nell'allegato 7.

Tali dati, tuttavia, sono prevalentemente rappresentativi dell'idrochimica della Val Fontanabuona che presenta un contesto idrogeochimico sensibilmente differente da quello del versante rapallese dell'area di indagine caratterizzato esclusivamente da litotipi della Formazione del Monte Antola. Pertanto sono state svolte ricerche bibliografiche mirate ad individuare studi e pubblicazioni focalizzate proprio sull'idrogeochimica della Formazione di Monte Antola; Sono state così individuate le seguenti pubblicazioni:

- "Water rocks interactions in the Bisagno Valley (Genoa, Italy): "application of an inverse approach to model spring water chemistry".Marini, Ottonello, Canepa e Cipolli. Università degli Studi di Genova, Dipartimento per lo studio del territorio e delle sue risorse. Geochimica and Cosmochimica Acta. Vol 64 Nr.15, PP 2617-2635, 2000.
- "Detection oh Hg pollution by stream sediment geochemistry in the Bisagno Valley (Genoa, Italy)" - Marini, Ottonello, Canepa, Cipolli, Vetuschi e Zuccolini. Environmental Geology 40 (1 - 2) December 2000.

Tali dati sono raccolti in file nell'allegato 8.

3. ATTIVITÀ DI RILIEVO IN SITO, INDAGINI E MISURE IDROGEOLOGICHE E IDROCHIMICHE

3.1 Censimento dei punti d'acqua nel settore interessato dalle opere autostradali

3.1.1 Censimento in sito e misure di caratterizzazione

Le attività di censimento sono state eseguite tra i mesi di luglio e settembre 2011 e nei mesi di ottobre .- novembre 2014. Nel 2011 contestualmente al censimento sono state anche eseguite delle misure di caratterizzazione quali - quantitativa delle acque in regime idrologico di magra rappresentativo della fase di esaurimento delle falde. Nel 2014 in fase di aggiornamento del censimento le misure sono state eseguite in fase di ricarica degli acquiferi.

Le attività di censimento dei punti d'acqua (sorgenti captate oppure non captate) hanno interessato indicativamente un'area di circa 20 km² di estensione. Il censimento è stato effettuato in una fascia di 2 km a cavallo del tracciato della galleria in progetto; in diversi casi, tuttavia, sono stati censiti anche punti d'acqua più distanti in quanto ritenuti significativi nell'ambito del contesto idrologico locale, della significatività socio economica e dei rapporti di interferenza con lo scavo.

Le indagini sul territorio sono state svolte effettuando rilievi a tappeto procedendo, sistematicamente, per settori riferibili ai nuclei abitati presenti nei pressi del tracciato in progetto. Sono state pertanto individuate le seguenti aree di rilievo:

- Area Castiglione - Casalino (S.Maria del Campo - Rapallo)

- Area Arboccò
- Area Greppi (destra Torrente Foggia)
- Area Chignero
- Area Lupara – Vescina - Salto Chiesa (versante Recco - Avegno)
- Area Liteggia
- Area Lagonero - Torrente Litteglia

La fitta vegetazione presente su buona parte dei versanti controllati, nonché lo stato di abbandono dei sentieri, hanno complicato l'individuazione delle captazioni oppure dei punti di emergenza delle falde idriche. Quindi è stata necessaria una attività sistematica di ricerca informazioni presso gli abitanti del posto che potevano avere una competenza in relazione alle risorse idriche. Questa attività, dispendiosa in termini di tempo per l'ovvia difficoltà di rintracciare le persone in grado di fornire le informazioni necessarie, è risultata però indispensabile per definire con precisione caratteristiche ed ubicazione delle captazioni. In alcuni casi gli stessi abitanti del posto hanno facilitato l'accesso alle sorgenti più nascoste accompagnando direttamente sul punto di interesse.

Per le operazioni di censimento delle captazioni pubbliche adibite ad utilizzo idropotabile è stata fatta richiesta agli enti gestori in maniera tale da ottenere informazioni sulle captazioni, sull'estensione della rete di distribuzione e per eseguire dei sopralluoghi diretti sui punti d'acqua.

Come accennato precedentemente il tracciato della galleria in progetto interessa differenti comuni a cui fanno riferimento diversi gestori del servizio idrico ed in particolare:

- "Mediterranea della Acque" che fornisce il servizio idrico integrato per il Comune di Tribogna;
- "Idrotigullio" che provvede alla gestione del servizio idrico per il Comune di Cicagna
- "Acque Potabili" che fornisce il servizio idrico per il Comune di Rapallo

"Mediterranea della Acque", gestisce le opere di presa del Comune di Tribogna; l'acquedotto sfrutta le acque che defluiscono nel subalveo del Torrente Litteglia ed un gruppo di sorgenti sul versante presso l'abitato di Liteggia che rientrano nella zona di potenziale interferenza con lo scavo della galleria. Sono stati eseguiti sopralluoghi su tutti i punti di emergenza delle sorgenti e sono state ispezionate le opere di presa e le principali strutture preposte al funzionamento dell'acquedotto (serbatoi e impianti di rilancio).

Idrotigullio S.p.A. provvede alla gestione della captazione di sub alveo del torrente Litteglia, ubicata circa 600 m più a valle della presa dell'acquedotto di Tribogna, che alimenta, tramite rilancio, l'acquedotto di Cicagna. La società gestisce anche le sorgenti presso le frazioni di Serra – Chichizola che vengono utilizzate per integrare il fabbisogno idrico locale; essendo le uniche sorgenti sfruttate ad uso idropotabile nell'area sono state oggetto di specifico sopralluogo anche se ubicate esternamente alla fascia più significativa di 1 km.

Idrotigullio gestisce anche l'acquedotto che alimenta S.Margherita Ligure che trae parte delle sue risorse idriche da un campo pozzi sito in Val Fontanabuona presso Pian di Coreglia. La condotta di adduzione dalla Val Fontanabuona raggiunge l'abitato di S.Margherita per mezzo di una galleria passante lunga circa 2500 m. Stante le analogie tra il contesto geologico - idrogeologico di tale galleria e quello dei tunnel autostradali in progetto, è stata richiesta ad Idrotigullio la possibilità di accedere alla galleria al fine di affinare le valutazioni idrogeologiche sulle venute idriche con dei riscontri e delle misurazioni dirette. In particolare successivamente ad un primo sopralluogo conoscitivo effettuato il 13 luglio 2011, è stata successivamente eseguita, in accordo

con Idrotigullio, una giornata di approfondimenti, comprendenti l'esecuzione di misure della portata a varie progressive internamente alla galleria, oltre a prelievi di acque sulle singole venute idriche.

Il Gruppo "Acque Potabili S.p.A." fornisce il servizio idrico per il Comune di Rapallo. Nell'area di interesse sono presenti due sorgenti preposte all'integrazione dell'approvvigionamento idropotabile delle località Montepegli e Chignero. Le captazioni sono state oggetto di sopralluogo congiunto con il personale della Società. Sono state inoltre acquisite le planimetrie relative allo sviluppo della rete idrica degli acquedotti frazionali e rurali per una migliore comprensione della distribuzione delle risorse nell'ambito locale.

La raccolta delle informazioni idrogeologiche in sito ha seguito uno schema già ampiamente collaudato nell'ambito di analoghe indagini svolte sulla Gronda di Genova. In particolare per ogni punto d'acqua individuato sono state svolte le seguenti azioni:

- Georeferenziazione del punto mediante GPS;
- Compilazione dei dati descrittivi della scheda monografica;
- Scatto della/e foto del punto d'acqua e delle opere di presa e raccolta;
- Redazione dello schema delle opere di captazione;
- Esecuzione delle misure idrometriche (portata oppure livello piezometrico);
- Esecuzione delle misurazioni dei parametri chimico – fisici: pH, conducibilità elettrica, temperatura e solidi disciolti (TDS) con strumentazione portatile.
- Eventuale prelievo di un campione d'acqua.

Ogni punto d'acqua (captazione oppure risorgiva non captata) è stato georeferenziato sul terreno con strumentazione GPS portatile sulla base topografica regionale in scala 1:5000. I punti sono stati georeferenziati nel sistema UTM Roma 1950.

Ogni punto è stato censito con sigla alfanumerica e con numerazione progressiva a partire dal numero 500 in ideale continuità con le indagini eseguite sulla Gronda. La compilazione in sito delle schede monografiche ha previsto l'acquisizione delle seguenti informazioni:

- Codificazione del punto.
- Ubicazione (coordinate geografiche, Comune, località, quota).
- Indicazione del contesto geologico - geomorfologico.
- Tipologia dell'emergenza e del regime idrologico.
- Tipologia di captazione e di utilizzo, denominazione gestore, presenza di serbatoi, tipologia di utenza e stato complessivo dell'opera di presa, valore socio - economico della captazione.
- Schematizzazione delle strutture dell'opera di presa.
- Registrazione delle misurazioni idrometriche e delle misurazioni dei parametri chimico - fisici.
- Registrazione della presenza di eventuali caratteri solforosi.

Come accennato in elenco le misurazioni effettuate sono sostanzialmente di due tipi: idrometriche e di qualità. Le determinazioni idrometriche sulle sorgenti sono consistite in misurazioni della portata e sono state effettuate con principalmente con metodo volumetrico, ossia misurando il tempo di riempimento di contenitori di varia forma e volume precedentemente tarati in laboratorio. Il dato di portata volumetrica viene ricavato ripetendo più volte la misurazione ed effettuando la media dei tempi di riempimento registrati. In alcuni casi sono state eseguite misurazioni della portata con metodo correntometrico (determinando la velocità del flusso

in una sezione in cui viene rilevata la geometria) utilizzando un micromulinello. Per l'elaborazione delle misure di portata correntometrica è stato utilizzato uno specifico software (Q_CORR) appositamente sviluppato da Hydrodata.

Le misurazioni chimico - fisiche sono state eseguite con strumentazione portatile WTW soggetta a periodici controlli nell'ambito del Sistema di Qualità Hydrodata (sistema interno di qualità Hydrodata, certificato ISO 9001:2000 dal 1998). Si è cercato di ottenere la massima rappresentatività dalle determinazioni ricercando il punto di reale emergenza della captazione ed evitando, per quanto possibile, i ristagni all'interno di serbatoi, tubazioni ecc...

Nella fase di revisione dello studio per la progettazione definitiva, sulla base dell'aggiornamento dei dati ottenuti dalla Provincia in relazione alle concessioni idriche superficiali da piccole derivazioni, si è ritenuto opportuno censire le opere di presa che attingono dai corsi d'acqua del reticolo idrografico il cui bacino è situato nell'area potenzialmente interferente con il tracciato della galleria. Per questo particolare tipo di captazioni è stata usata la codifica "PS" (presa superficiale) a partire dal numero 600.

Nel corso delle attività svolte in sito sono state individuate complessivamente 55 sorgenti e 15 opere di presa da corso d'acqua. Tra le sorgenti 9 sono adibite ad approvvigionamento idropotabile pubblico, 12 non sono attualmente utilizzate, mentre le rimanenti provvedono all'approvvigionamento idrico privato essenzialmente limitato all'uso irriguo. Le opere di presa superficiali non hanno utilizzo continuo ma prevalentemente estivo per scopo irriguo. La maggior parte delle sorgenti considerate è ubicata sul territorio del Comune di Rapallo (34), le rimanenti rientrano nei comuni di Tribogna (7), Avegno (7) e Cicagna (7). Le 14 derivazioni censite sono situate principalmente nel Comune di Rapallo (13) ed Avegno (3). L'ubicazione in cartografia dei punti viene riportata negli elaborati IDR 0003 e IDR 0004.

Contestualmente alle attività di censimento e di misura in sito dei parametri chimico - fisici sono stati eseguiti i prelievi dei campioni d'acqua per le determinazioni analitiche di laboratorio.

Lo studio del chimismo delle acque sotterranee ha la finalità di ottenere delle indicazioni che permettano la ricostruzione dei circuiti, la caratterizzazione dei bacini di alimentazione, l'individuazione di zone di alimentazione e di drenaggio preferenziali e la possibilità di confrontare o correlare tra loro le varie acque.

A tal fine nella fase preliminare delle indagini è stato individuato il seguente "set" di parametri sufficientemente in grado di caratterizzare dal punto idrochimico le acque analizzate:

- Analisi cationi: Litio (Li⁺), Sodio (Na⁺), Potassio (K⁺), Ammoniaca (NH₄⁺), Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺);
- Analisi anioni: Fluoruri (F⁻), Cloruri (Cl⁻), Bromuri (Br⁻), Nitrati (NO₃⁻), Nitriti (NO₂⁻), Fosfati (PO₄³⁻), Solfati (SO₄²⁻), Carbonati (CO₃²⁻), Bicarbonati (HCO₃⁻);

In aggiunta ai suddetti parametri sono state anche eseguite delle determinazioni sugli isotopi stabili (ossigeno-18 e deuterio), parametri comunemente utilizzati nell'ambito di indagini idrogeologiche finalizzate a caratterizzare l'acqua e determinarne l'origine.

Le determinazioni chimiche sono state quindi eseguite dal laboratorio di Idrochimica del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino; mentre quelle isotopiche dal Laboratorio ISO 4 anch'esso operante all'interno dell'Università di Torino.

Le procedure di campionamento sono state stabilite in fase preliminare all'esecuzione dei rilievi. Per le determinazioni chimiche sono stati prelevati per ogni punto due campionatori (contenitori in plastica a chiusura ermetica da 0.125 l); le acque di uno dei due contenitori sono state filtrate mediante membrana 0.2 mm ed acidificate all'atto del prelievo, mentre le altre, finalizzate alle determinazioni di carbonati e bicarbonati sono state mantenute tal quale. Un terzo campionatore è servito per le analisi degli isotopi. Subito dopo il prelievo i campionatori sono stati conservati a temperature di 2 - 4° fino alla consegna al laboratorio di analisi.

I punti di campionamento sono stati scelti sulla base dei seguenti criteri:

- Importanza del regime idrologico (per esempio sorgenti caratterizzate da portata rilevante).
- Importanza del punto d'acqua nel contesto locale (per esempio unica sorgente indispensabile per l'approvvigionamento idrico di una casa o di un gruppo di case isolate).
- Vicinanza con l'opera in progetto e presunto elevato grado di rischio di interferenza.
- Uniformità nella distribuzione areale nell'ambito della zona indagata.
- Acque con particolari caratteristiche chimico - fisiche (variazioni evidenti della conducibilità rispetto al valore mediamente osservato, odore di anidride solforosa, ecc..).

Alcuni campioni sono stati prelevati anche in corrispondenza della galleria dell'acquedotto sia in corrispondenza di venute idriche particolarmente significative per le caratteristiche fisiche oppure organolettiche (presenza di precipitazioni oppure di odore di anidride solforosa alle progressive 0+716 e 0+915) sia al fine di caratterizzare il chimismo delle acque che circolano in corrispondenza del contatto tettonico tra le unità Antola e Gottero - Portello

Nella Tabella 4 sono elencate le stazioni in cui sono stati realizzati i campionamenti per le determinazioni chimiche ed isotopiche. Le analisi sono state eseguite su 20 campioni come indicato nel capitolato di indagine.

Codice	Località
S 507	Casalino
S 509	fontana condominio
S 511	Liggia
S 512	Lagoscuvo
S 513	Fontanino
S 518	Lago scuro sorgente ramo dx
S 519	Presca Cicagna
S 520	Chignero
S 521	Vescina
S 528	Lupara alta
S529	case Steneri
S 530	Caravagli
S 532	Foggia
S 533	Montepegli
S 538	Rio del Gallo
S 541	Rio Serra
progr. 716	galleria acquedotto
progr. 975	galleria acquedotto
progr. 2030	galleria acquedotto
progr. 2150	galleria acquedotto

Tabella 4

Nella Tabella 5 vengono elencati i parametri di misura, le metodiche analitiche utilizzate ed i limiti di rilevabilità.

Parametro	unità di misura	Trattamento campione	Metodologia analitica	limiti di rilevabilità
pH	unità pH	-	Potenziometria	-
Conducibilità elettrolitica	uS/cm	-	Conduttimetria.	-
Fluoruri (F-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Cloruri (Cl-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Bromuri (Br-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Nitrati (NO3-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Nitriti (NO2-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.005 mg/l
Fosfati (PO43-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Solfati (SO42-)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Litio (Li+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Sodio (Na+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Potassio (K+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Ammoniacale (NH4+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.005 mg/l
Calcio (Ca2+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Magnesio (Mg2+)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Carbonati (CO32-)	mg/l	-	Titolazione volumetrica.	<0.01 mg/l
Bicarbonati (HCO3-)	mg/l	-	Titolazione volumetrica.	<0.01 mg/l

Tabella 5

Le analisi isotopiche sono state ottenute preparando il campione secondo i protocolli descritti rispettivamente in:

Epstein S., Mayeda T.K. (1953) - Variations of the $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio in natural waters. *Geoch. Cosmoch. Acta*, **4**, 213.

Coleman M.L. Sheppard T.J., Durham J.J., Rouse J.E., Moore G.R. (1982) - Reaction of water with zinc for hydrogen isotopes analysis. *Anal. Chem.* **54**, 993-995.

I risultati delle analisi isotopiche sono espressi rispetto allo standard V-SMOW2 (Craig, 1957), seguendo la convenzione internazionale definita dalla International Atomic Energy Agency (IAEA).

Nella Tabella 6 e nella Tabella 7 viene presentato il quadro di riepilogo delle analisi chimiche ed isotopiche svolte tra agosto e ottobre 2011.

sigla campione	pH	cond microSiemens	Na+ mg/l	K+ mg/l	NH4+ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l	F- mg/l	Cl- mg/l	HCO3- mg/l	SO4=mg/l	NO2- mg/l	PO43- mg/l	NO3- mg/l	% errore
S507	7.6	616	17.14	1.83	< 0.005	120.44	8.47	0.06	32.30	302.66	78.77	< 0.01	< 0.01	12.41	-1.4
S512	7.8	295	4.71	0.42	< 0.005	59.60	2.60	0.06	5.91	179.40	11.53	< 0.01	< 0.01	1.86	0.3
S513	7.7	305	5.20	0.58	< 0.005	54.37	3.12	< 0.01	7.45	163.53	14.18	< 0.01	< 0.01	1.05	0.1
S518	7.8	294	5.40	0.41	0.01	55.26	2.85	0.06	5.40	163.53	11.40	< 0.01	< 0.01	0.81	2.4
S519	7.7	301	5.48	0.77	< 0.005	57.82	2.92	0.03	5.76	169.64	10.95	< 0.01	< 0.01	3.60	2.3
S520	7.8	338	4.84	0.38	< 0.005	76.17	2.23	0.04	6.98	218.45	9.99	< 0.01	< 0.01	0.97	2.5
S521	7.7	375	6.05	0.65	0.01	65.34	4.68	0.06	6.62	219.67	12.58	< 0.01	< 0.01	0.29	-1.6
S528	7.7	334	6.01	0.57	< 0.005	74.11	3.94	0.02	9.30	212.35	12.46	< 0.01	< 0.01	3.15	2.9
S530	7.8	360	4.92	0.39	0.01	69.06	2.85	< 0.01	7.33	219.67	9.08	< 0.01	< 0.01	1.66	-1.5
S532	7.9	365	5.25	0.59	< 0.005	74.46	3.09	0.03	9.15	217.23	12.61	< 0.01	< 0.01	0.45	1.5
S533	7.7	271	4.72	0.49	0.01	52.63	3.63	< 0.01	6.63	163.53	12.67	< 0.01	< 0.01	1.39	-0.2
S534	7.7	369	6.73	0.79	0.04	66.87	2.73	0.05	9.73	209.91	12.29	< 0.01	< 0.01	2.73	-1.8
S538	7.6	365	7.01	0.74	0.04	62.84	3.68	0.05	8.85	195.26	18.29	< 0.01	< 0.01	4.27	-1.8
S541	7.8	278	5.60	0.53	0.00	50.83	3.05	0.08	6.98	161.09	12.25	< 0.01	< 0.01	0.00	-0.8
S545	7.0	316	5.19	0.23	1.01	70.90	3.10	0.02	8.17	200.15	9.15	< 0.01	< 0.01	3.79	3.4
Prog. 716	7.2	386	29.98	0.96	0.04	44.87	18.10	0.04	7.04	248.96	22.16	< 0.01	< 0.01	0.08	3.2
Prog. 975	7.2	405	61.10	1.04	0.04	16.60	6.95	0.58	6.13	251.40	2.78	< 0.01	< 0.01	< 0.01	-3.5
Prog. 2030	6.6	368	6.83	3.84	0.03	79.50	10.10	0.05	11.96	248.96	22.16	< 0.01	< 0.01	0.11	3.1
Prog. 2150	6.8	375	5.40	5.41	5.01	60.26	7.85	0.42	9.64	216.50	23.36	< 0.01	< 0.01	0.43	-0.4

Tabella 6 - Quadro di riepilogo delle analisi chimiche.

CAMPIONE	1000 x d O-18 vs V-SMOW2	1000 x d 2-H vs V-SMOW2
S507	-5.76	-30.35
S512	-6.10	-31.61
S513	-6.41	-34.08
S518	-5.89	-31.16
S519	-6.17	-32.79
S520	-6.40	-34.74
S521	-6.48	-35.70
S528	-6.25	-33.34
S530	-6.44	-34.67
S532	-6.15	-32.69
S533	-6.54	-34.56
S534	-6.23	-33.76
S538	-5.87	-30.84
S541	-5.70	-30.80
S545	-6.40	-32.86
P716	-6.80	-35.88
P975	-6.73	-35.66
P2030	-6.19	-31.41
P2150	-6.19	-32.10

Tabella 7 - Quadro riepilogo delle analisi isotopiche.

I certificati di misura di tutte le determinazioni analitiche sono contenute negli allegati 9 e 10 alla presente relazione.

3.2 Redazione delle schede di rilievo dei punti d'acqua e implementazione del database

Contestualmente allo svolgimento delle attività di campagna del censimento è stato avviato il riordino e l'organizzazione dei dati acquisiti in campo.

Tutti le informazioni raccolte in campagna, sia quelle di verifica/integrazione del censimento pregresso, che quelle relative ai nuovi punti individuati, sono state utilizzate per implementare il data base in ambiente Microsoft Access.

I punti sono stati codificati con numerazione progressiva a partire dal numero 500 per quanto riguarda le sorgenti; mentre dal numero 600 sono state identificate le opere di presa superficiali.

L'implementazione del data base con i dati relativi alle captazioni ha previsto anche i collegamenti per l'inserimento delle immagini costituite dalle fotografie dei punti d'acqua.

Non tutti i campi previsti nel data base potevano essere compilati con la adeguata precisione nel corso dei rilievi in sito, pertanto si è provveduto, nella fase di implementazione, a perfezionare ed uniformare alcune informazioni. Per quanto riguarda la compilazione del campo "litologia" si è provveduto ad inserire per ogni punto d'acqua quanto riportato dalle carte geologiche di progetto. Nel data base è stata pertanto inserita la codifica ufficiale del litotipo in accordo a quanto riportato nella legenda della cartografia geologica.

Anche alcune informazioni relative alla "stima dell'impatto dell'opera" sono state ridefinite in fase di elaborazione del data base. La distanza planimetrica dal tracciato infatti è stata calcolata in automatico

sfruttando una applicazione GIS. Il calcolo è stato eseguito tenendo in considerazione la minima distanza dal punto d'acqua alle opere in sotterraneo.

Le schede di rilievo dei punti d'acqua sono presentate nell'elaborato IDR 0009 e rappresentano l'output del database il cui file è riportato nel cd dello stesso elaborato.

3.3 Censimento dei corpi idrici superficiali nel settore interessato dalle opere autostradali

3.3.1 Censimento in sito e misure di caratterizzazione

L'attività è stata svolta nella fase di aggiornamento dello studio del 2014 ed è consistita nel censimento dei corsi d'acqua appartenenti ai bacini prossimi all'asse alla galleria e potenzialmente interferenti con lo scavo della stessa. Una volta identificati i siti si è anche provveduto a quantificare i deflussi mediante misurazioni correntometriche

L'individuazione dei corpi idrici soggetti a potenziale interferenza è avvenuta sulla base di considerazioni effettuate prima su basi cartografiche e poi a seguito delle verifiche e dei riscontri in sito.

In primo luogo sono state analizzate le estensioni dei bacini idrografici in relazione al tracciato della galleria; in tal modo sono state individuate le aste dei corsi d'acqua più significativi, ossia quelle incisioni caratterizzate da deflussi perenni o perlomeno stagionali, potenzialmente soggette ad interferenza. Le sezioni di controllo sono state principalmente individuate verso la chiusura del sottobacino, a monte del punto di confluenza nel corso d'acqua di ordine superiore. Nell'ambito delle indagini svolte in sito, è stata verificata la effettiva significatività idrologica dei corsi d'acqua con particolare riferimento alla consistenza dei deflussi.

Sulla base delle suddette considerazioni nella

Area di potenziale interferenza	codice	denominazione	ubicazione punto di misura
Imbocco Sud galleria Caravaggio	Sezione 20	Rio Tangon	presso imbocco Sud galleria Caravaggio
	Sezione 21	Rio Costiglione	intersezione con via Sotto la Croce
	Sezione 22	rio Casalino	intersezione con via Sotto la Croce
	Sezione 23	rio Casalino bis	presso località S.Tommaso
	Sezione 24	rio Savagna	presso casello Autostrada A12
Imbocco Nord galleria Caravaggio – imbocco Sud galleria Fontanabuona	Sezione 25	Torrente Foggia	monte confluenza rio Montepegli
	Sezione 26	rio Chignero	monte confluenza con Torrente Foggia
	Sezione 27	rio Serra	monte confluenza con rio Gallo
	Sezione 28	rio del Gallo	monte confluenza con rio Serra
Imbocco Nord galleria Fontanabuona	Sezione 29	Torrente Litteglia	in corrispondenza della presa dell'acquedotto di Tribogna (S519)
	Sezione 30	rio Grande Litteglia	ramo sinistro a monte presa acquedotto di Cicagna (S512)
	Sezione 31	rio Zerbone	ramo destro a monte presa acquedotto di Cicagna (S512)
	Sezione 32	rio Coleio	affluente sinistro monte presa acquedotto di Tribogna (S519)
	Sezione 33	rio in dx Liteglia	affluente destro monte presa acquedotto di Tribogna (S519)

Tabella 8 vengono individuati i 14 corsi d'acqua oggetto di indagine, vengono riportate le codifiche assegnate ai punti di misura in relazione alla zona di potenziale interferenza con le opere in galleria.

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nelle planimetrie degli elaborati IDR003 e IDR004.

In fase preliminare all'esecuzione delle indagini in sito è stata messa a punto una scheda per la registrazione di alcune caratteristiche generali e delle misure quantitative (portata correntometrica) e qualitative (pH conducibilità elettrica, temperatura ed ossigeno disciolto) del corso d'acqua. La scheda riporta anche informazioni generali sul regime idrologico del corso d'acqua e sul contesto geologico desumibile dall'osservazione del fondo alveo e di quanto riportato dalla cartografia geologica di progetto. Le osservazioni relative alla tipologia del fondo alveo possono dare delle indicazioni sulla presenza di elementi strutturali non infrequenti in corrispondenza delle principali incisioni morfologiche. Il tratto osservato è corredato di foto, di ubicazione su stralcio cartografico e delle tabelle di tutti i dati di misura.

A differenza di quanto eseguito per il censimento dei punti d'acqua, dove è stato implementato un data base esistente, per le acque superficiali è stato appositamente predisposto uno nuovo per l'immissione dei dati registrati sulle schede.

In allegato 11 sono riportate le schede compilate relative ai tratti di corsi d'acqua censiti.

Area di potenziale interferenza	codice	denominazione	ubicazione punto di misura
Imbocco Sud galleria Caravaggio	Sezione 20	Rio Tangon	presso imbocco Sud galleria Caravaggio
	Sezione 21	Rio Costiglione	intersezione con via Sotto la Croce
	Sezione 22	rio Casalino	intersezione con via Sotto la Croce
	Sezione 23	rio Casalino bis	presso località S.Tommaso
	Sezione 24	rio Savagna	presso casello Autostrada A12
Imbocco Nord galleria Caravaggio – imbocco Sud galleria Fontanabuona	Sezione 25	Torrente Foggia	monte confluenza rio Montepegli
	Sezione 26	rio Chignero	monte confluenza con Torrente Foggia
	Sezione 27	rio Serra	monte confluenza con rio Gallo
	Sezione 28	rio del Gallo	monte confluenza con rio Serra
Imbocco Nord galleria Fontanabuona	Sezione 29	Torrente Litteglia	in corrispondenza della presa dell'acquedotto di Tribogna (S519)
	Sezione 30	rio Grande Litteglia	ramo sinistro a monte presa acquedotto di Cicagna (S512)
	Sezione 31	rio Zerbone	ramo destro a monte presa acquedotto di Cicagna (S512)
	Sezione 32	rio Coleio	affluente sinistro monte presa acquedotto di Tribogna (S519)
	Sezione 33	rio in dx Liteglia	affluente destro monte presa acquedotto di Tribogna (S519)

Tabella 8 – Elenco dei corsi d'acqua censiti nell'area di potenziale interferenza con lo scavo della galleria.

Nella Tabella 9 viene presentato il quadro di riepilogo dei dati misurati in sito. Gli abbondanti afflussi caduti tra ottobre e novembre 2014 non hanno consentito l'esecuzione di misurazioni caratteristiche del regime idrologico di magra, dove il contributo delle falde all'idrografia di superficie assume rilevanza e sono meglio valutabili le eventuali correlazioni tra deflussi e circolazione sotterranea. Una valutazione di massima delle potenzialità in regime di magra accentuata dei corsi d'acqua di interesse può tuttavia derivare da alcune stime

ed osservazioni effettuate tra agosto e settembre 2011 nell'ambito delle indagini in fase preliminare, ma non ancora pubblicate, che vengono riportate in Tabella 9.

Dall'osservazione dei dati quantitativi emerge che i corsi d'acqua in area imbocco Sud della galleria Caravaggio (Sezioni 20 – 24) non sono perenni e si prosciugano completamente in fase di esaurimento. A seguito della ricarica pluviometrica presentano invece portate, al massimo, di alcune decine di l/s.

I corsi d'acqua situati nell'area di imbocco Nord Caravaggio e imbocco Sud Valfontanabuona (Sezioni 26 – 28), anche in periodo estivo sono caratterizzati da deflusso di base, seppur molto ridotto; in periodo di ricarica i deflussi si incrementano notevolmente soprattutto sul rio Chignero caratterizzato da un bacino più ampio, dove sono stati misurati quasi 80 l/s.

Nell'area di imbocco Nord della galleria Valfontanabuona i deflussi sono perenni con portate ridotte in periodo estivo ma ancora in grado di alimentare le captazioni idropotabili dei comuni di Tribogna e Cicagna. I deflussi misurati in corrispondenza della sezione 29 in corrispondenza della presa dell'acquedotto risultano elevati se confrontati alla somma delle misure eseguite sui vari affluenti a monte (Sezioni 30 – 33) per le quali si può ipotizzare la presenza di deflussi "nascosti" entro la copertura detritica molto grossolana.

Dal punto di vista della caratterizzazione mediante i parametri di qualità di base si osserva una notevole omogeneità dei dati; le acque sono risultate sempre sature in ossigeno e lievemente basiche. Il grado di mineralizzazione risulta leggermente più elevato per le acque relative all'area di imbocco Sud della galleria Caravaggio.

Codice	Denominazione	Data	Portata (l/s)	Temperatura (°C)	Conducibilità (µS/cm)	pH (-)	Ossigeno Disciolto (mg/l)	Ossigeno Disciolto (%)
Sezione 20	Rio Tangon	21/11/2014	13.3	14.8	390	8.23	10.3	99.0
		11/08/2011	0.1*		354	7.9		
Sezione 21	Rio Costiglione	21/11/2014	6.1	14.1	428	8.25	10	98
		11/08/2011	0.1*		450			
Sezione 22	rio Casalino	21/11/2014	3.3	13.9	435	8.29	9.8	96.0
		11/08/2011	0					
Sezione 23	rio Casalino bis	21/11/2014	16.0	14.5	435	8.19	10.3	100.0
		11/08/2011	0					
Sezione 24	rio Savagna	21/11/2014	5.6	14.4	551	8.25	10.2	99.0
		11/08/2011	0					
Sezione 25	Torrente Foggia	21/11/2014	148.0	13.2	377	8.23	10.2	96.0
		13/09/2011	(4-8)*					
Sezione 26	rio Chignero	04/12/2014	79.7	12.8	363	8.33	9.5	93
		13/09/2011	0.2*		320	7.68		
Sezione 27	rio Serra	04/12/2014	16.5	12.1	354	8.25	9.9	94.0
		08/09/2011	0.7					
Sezione 28	rio del Gallo	04/12/2014	12.5	12.2	388	8.12	9.2	88.0
		08/09/2011	0.2*					
Sezione 29	Torrente Litteglia	05/12/2014	199.4	11.3	322	8.28	10.4	100.0
		22/08/2011	1.3					
Sezione 30	rio Grande Litteglia	05/12/2014	22.3	11.1	339	8.28	10.4	98.0
		22/08/2011	1.1		335			
Sezione 31	rio Zerbone	05/12/2014	21.0	11.0	306	8.40	10.1	95.0
		22/08/2011	0.6		310			
Sezione 32	rio Coleio	25/11/2014	16.5	13.3	306	8.19	9.4	91.0
		22/08/2011	0.1*					
Sezione 33	rio in destra monte presa Liteglia	05/12/2014	19.2	11.3	309	8.30	10.8	101.0
		22/08/2011	0.8		345			

* dati stimati e non misurati

Tabella 9 – Dati di caratterizzazione quali - quantitativa rilevati sui corsi d'acqua. In campo colorato sono indicati i dati stimati o rilevati nell'ambito delle indagini del 2011.

4. QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

L'area oggetto di indagine ricade all'interno del dominio Ligure - emiliano che compone l'Appennino settentrionale insieme al dominio Umbro - toscano. Le unità tettono - stratigrafiche affioranti, tutte di pertinenza ligure, sono riferibili all'unità Antola e Gottero come riportato nello schema strutturale dell'Appennino Ligure Emiliano in Figura 1.

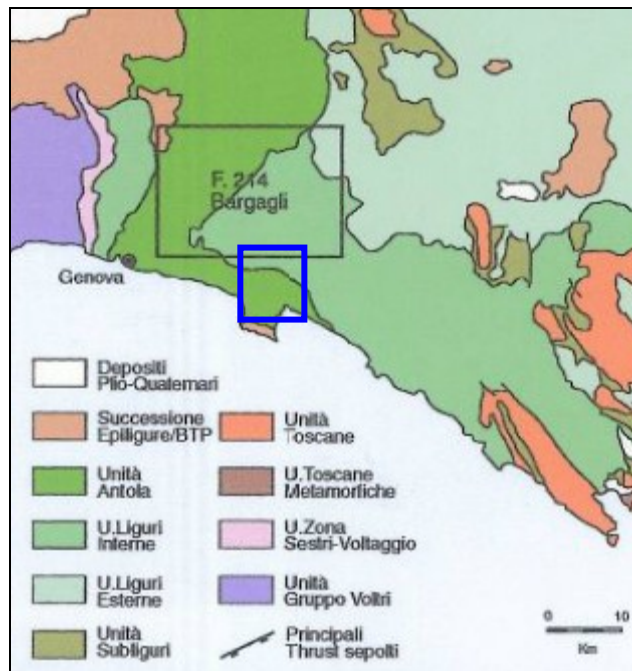


Figura 1 - Schema strutturale dell'area di studio¹. Il riquadro blu delimita l'area di studio.

L'osservazione dei caratteri geologico strutturali dell'area di interesse mostra come i volumi rocciosi appartenenti alle diverse unità, siano distribuiti in fasce orientate preferenzialmente in direzione circa NW - SE.

L'assetto geologico generale è conferito dalla sovrapposizione della Formazione del M. Antola, affiorante nei settori centrale e meridionale, sulle unità Portello e Gottero che affiora invece nella Val Fontanabuona.

Il pattern dei lineamenti tettonici è caratterizzato da un sistema di faglie principali anch'esso orientato all'incirca NW - SE, che conferiscono presumibilmente l'orientazione della Val Fontanabuona e della valle del Torrente Foggia; questo sistema risulta tagliato con vari angoli da due sistemi di faglie minori aventi orientazione circa N30° e N60°.

Limitatamente all'area di progetto, le unità geologiche presentano stratificazione diretta in senso WNW - ESE, con immersione prevalentemente verso Sud ed inclinazioni variabili per la presenza di pieghe blande che deformano la stratificazione a scala dell'area di interesse.

Per la descrizione dettagliata dell'assetto geologico generale si rimanda alla relazione geologica di progetto. Le formazioni geologiche presenti nell'area di progetto appartengono alle unità tettoniche liguri ed in particolare si distinguono:

Unità tettonica Antola

Formazione del Monte Antola FAN (*Campaniano inf.-Maastrichtiano inf.*): torbiditi calcareo - marnose talvolta siltose, organizzate in strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici.

¹ Cartografia CARG – Foglio 214 Bargagli.

Unità tettonica Gottero

Ardesie di Monte Verzi AMV (*Campaniano*): marne, marne calcaree e calcari marnosi in strati gradati da medi a molto spessi, generalmente con base arenitica fine, con intercalazioni di peliti non carbonati in strati molto sottili. In modo subordinato presenti areniti a composizione arcossica alternate a peliti in strati gradati di spessore da medio a sottile. Torbiditi ed emipelagiti di ambiente marino profondo.

Scisti Manganesiferi SMG (*Campaniano inf.*): argilliti scure manganesifere, siltiti ed areniti fini in strati gradati medi e spessi. Verso l'alto intercalazioni di areniti medie e grossolane a composizione subarcossica e peliti in strati gradati medi. Torbiditi ed emipelagiti di ambiente marino profondo.

Unità tettonica Portello

Formazione di Monte Lavagnola FLV (*Cenomaniano sup.- Campaniano inf.*) Argilliti grigio scuro, generalmente caratterizzate da assenza di strutture sedimentarie. Questa formazione può contenere intercalazioni lenticolari di breccie mono e poligeniche con tessitura matrice o clasto - sostenuta a matrice argillosa.

5. MODELLO GENERALE DI CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

5.1 Regime delle precipitazioni e ricarica degli acquiferi

5.1.1 Quadro climatico di riferimento

L'analisi relativa al quadro climatico è stata finalizzata alla valutazione su base annua e stagionale della precipitazione efficace ($P_e = P - E$), di riferimento per la stima dell'infiltrazione nei bacini idrogeologici in esame.

In Figura 2 e Figura 3 e nelle relative tabelle sono riportate le relazioni sperimentali tra quota, temperatura e altezza di precipitazione, sulla base dei dati di stazioni meteorologiche attive sul territorio in esame. Al fine di disporre di valori di temperatura sufficientemente rappresentativi delle quote che caratterizzano l'area di indagine sono stati considerati anche i dati delle stazioni termometriche di Mignanego e di Genova centro anche se lievemente decentrate rispetto l'area di indagine.

A differenza della temperatura, che presenta un andamento approssimativamente regolare, le precipitazioni evidenziano una lieve dispersione per le quote più elevate.

A partire dall'evapotraspirazione potenziale calcolata a differenti quote sulla base del noto metodo di Thornthwaite (Figura 4 e Figura 5), è stata valutata la variazione con la quota medesima dell'aliquota di precipitazione efficace P_e .

Per ogni stazione la precipitazione efficace è stata stimata per differenza tra i valori di evapotraspirazione e di precipitazione, escludendo i mesi con deficit di deflusso ($P < E$).

La relazione Quota - precipitazione efficace P_e ottenuta è riportata nella Figura 2.

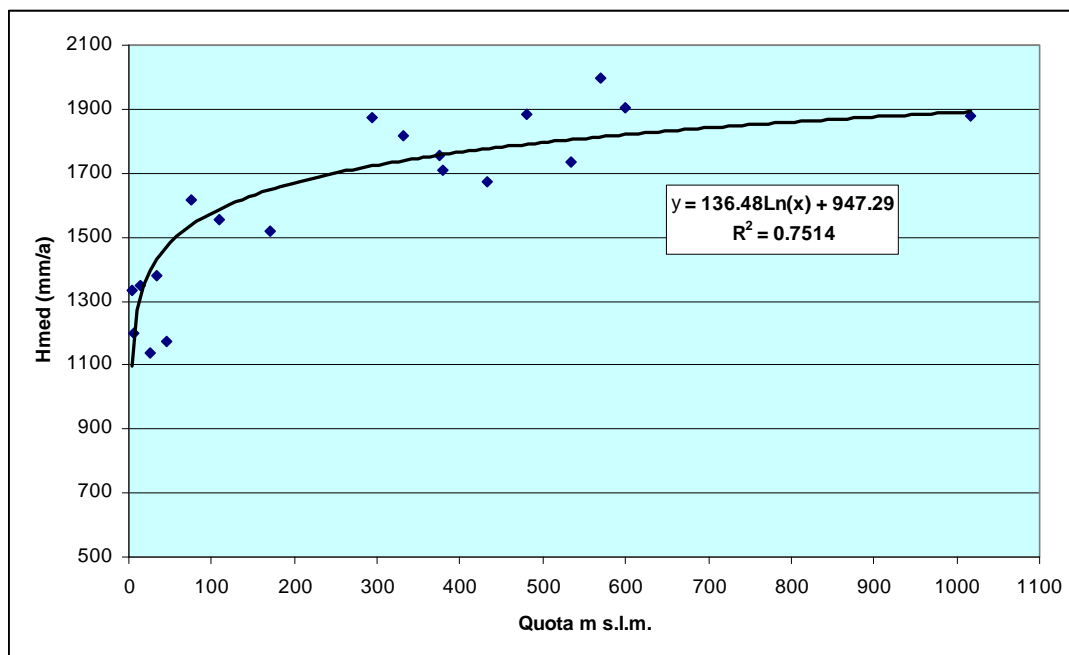


Figura 2 - Relazione quota - precipitazione media annua.

Stazione	quota (m s.l.m.)	serie	n. anni	precipitazione media (mm/a)
S.Margherita Ligure	3	1951 - 1978	24	1336
Chiavari	5	1932 - 1990	48	1202
S.Pietro di Novella	13	1932 - 1977	42	1348
Panesi	25	1934 - 1998	58	1135
S.Maria di Sturla	34	1932 - 1960	28	1382
Nervi	45	1971 - 1984	13	1173
Piana di Soglio	75	1937 - 2004	47	1614
Chiesanuova Garibaldi	110	1932 - 1986	45	1554
S.Michele	170	1932 - 1998	63	1520
Tigliolo	293	1932 - 1997	63	1872
Neirone	332	1932 - 1979	48	1818
Madonna del Bosco	376	1968 - 1976	8	1754
Favale di Malvaro	380	1932 - 1991	55	1707
Cassagna	432	1973 - 1998	21	1674
Chichero	480	1964 - 1995	28	1884
Pannesì	535	1971 - 1978	7	1736
Statale	570	1935 - 1998	54	1997
Colonia Arnaldi	600	1949 - 1986	38	1903
Giacopiane	1016	1932 - 1998	68	1880

Tabella 10 - Stazioni pluviometriche e precipitazioni medie annue (cfr. precedente Figura 2).

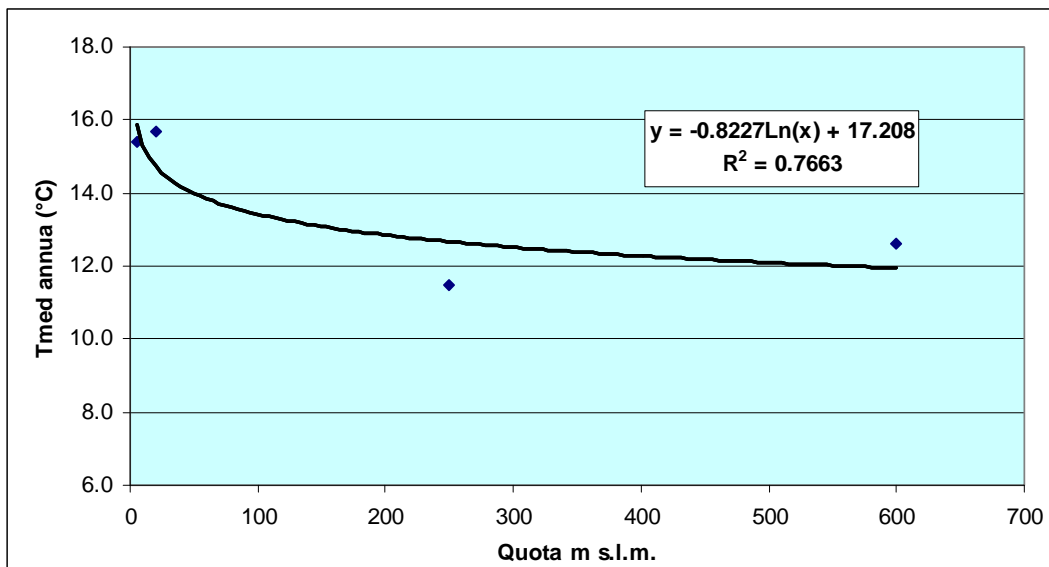


Figura 3 - Relazione quota - temperatura media annua.

Stazione	quota (m s.l.m.)	T media (°C)	Serie	n. anni
Chiavari	5	15.4	1961 - 1990	29
GE-Centro	21	15.7	1961 - 1990	29
Mignanego	250	11.5	1961 - 1990	29
Colonia Arnaldi	600	12.0	1961 - 1986	26

Tabella 11 - Stazioni termometriche e temperature medie annue (cfr. precedente Figura 3).

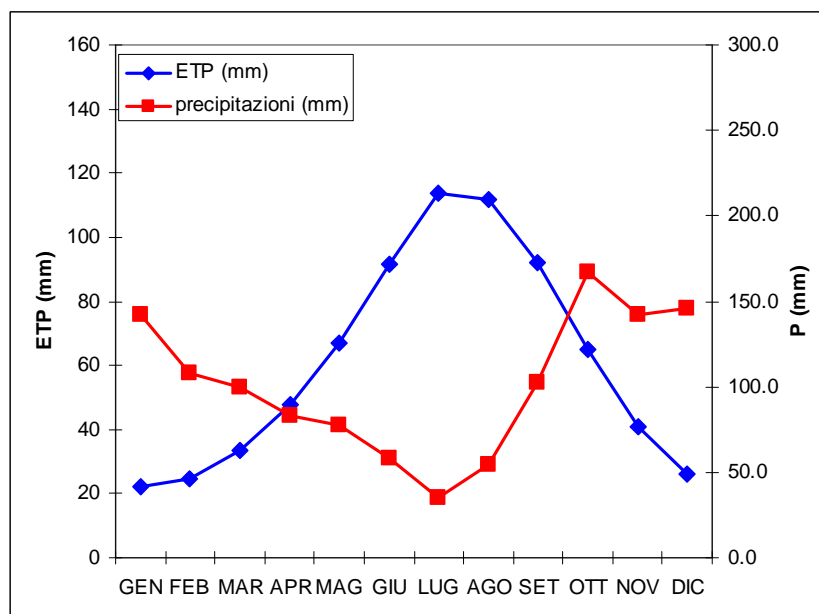


Figura 4 - Grafico P (mm) - ETP (mm) al livello del mare (stazione Chiavari).

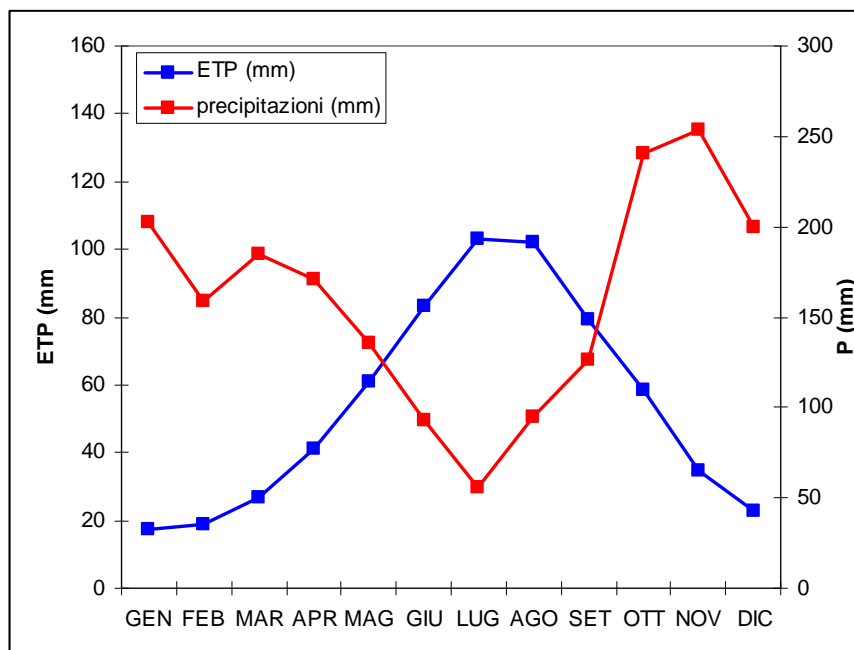
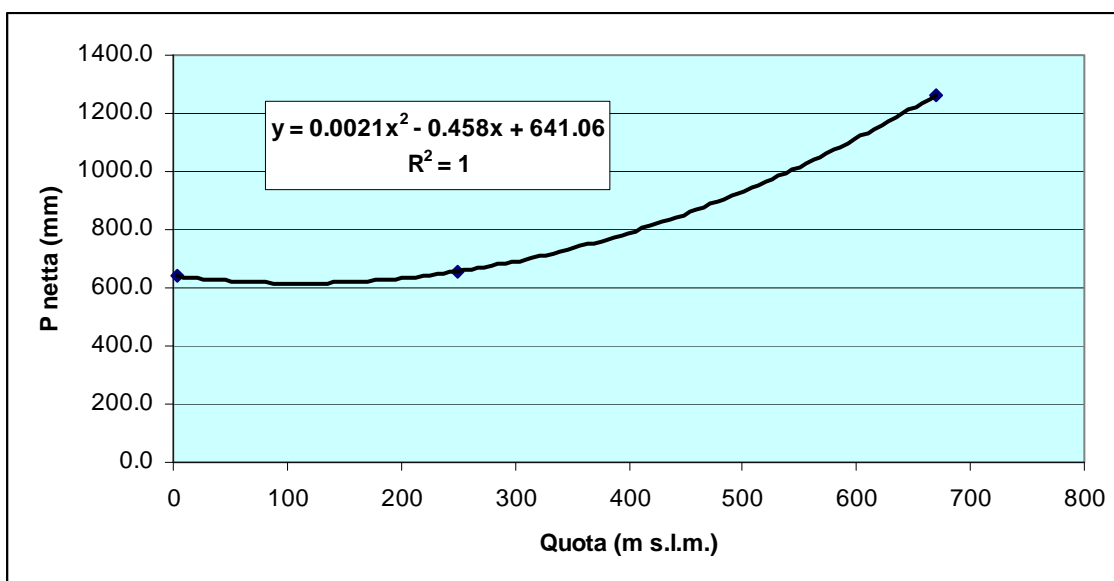


Figura 5 - Grafico P (mm) - ETP (mm) alla quota 600 m s.l.m. (stazione Colonia Arnaldi).



	Quota (m s.l.m)	P netta (mm)
Chiavari	20	639.7
Mignanego	250	656.2
Colonia Arnaldi	670	1265.3

Figura 6 - Correlazione tra quota e precipitazione efficace Pe al netto dell'evapotraspirazione

5.1.2 Stima dell'infiltrazione efficace

L'aliquota di ricarica verticale I può essere oggetto di una prima valutazione, basata sulla stima di un coefficiente di infiltrazione, attraverso la relazione:

$$I = (P - Er) * \chi = Q * \chi$$

dove Q rappresenta la precipitazione efficace al netto dell'evapotraspirazione Er.

Per la stima del coefficiente χ si propongono i range di valori riportati in Figura 7 compatibili anche con risultati di ampia sperimentazione nell'ambiente geologico e climatico mediterraneo.

$$I = 937 * 0,20 = 187 \text{ mm}$$

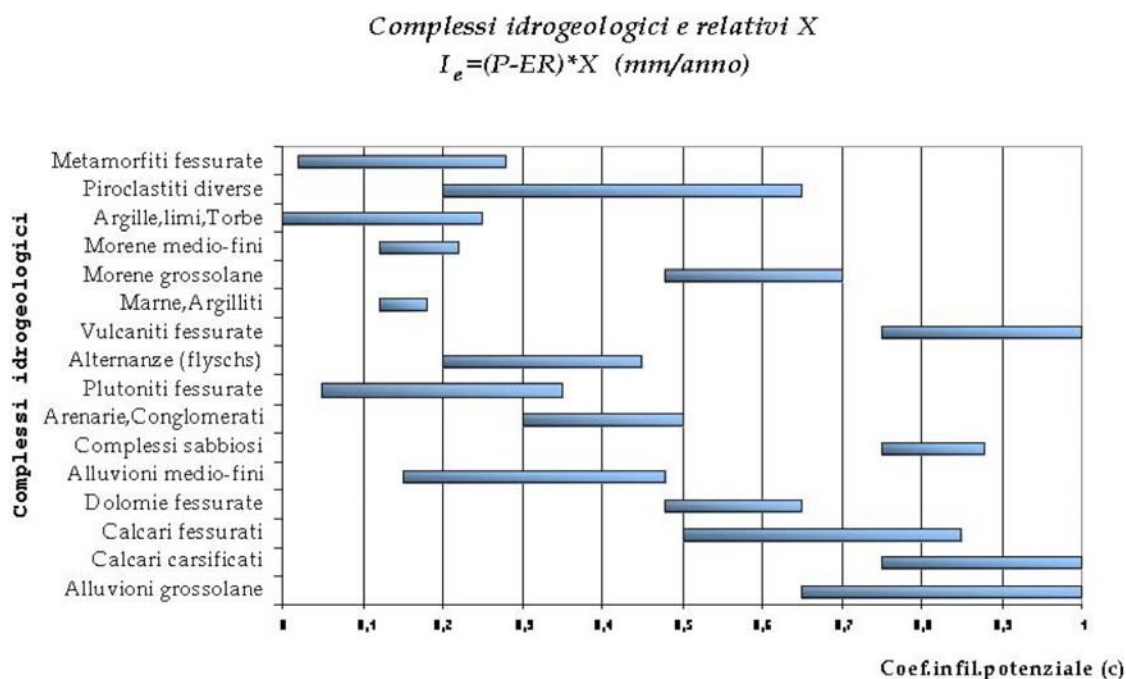


Figura 7 - Diagramma dei range del coefficiente χ nel caso di terreni e rocce poco coperte (da Sappa G., pubbl. Università di Roma 1 - Ingegneria dell'Ambiente e Territorio, a.a. 2009-2010).

5.1.2.1 Stime a partire da correlazioni empiriche

In Tabella 13 è riportato il calcolo del coefficiente di deflusso medio annuo attraverso il metodo di Kennesey, per i cui dettagli si rimanda alla letteratura in materia². I coefficienti (Tabella 12) sono stati scelti in funzione dell'indice di aridità I_a calcolato sulla base dei dati climatici locali, riportati alla quota 500 m (cfr. precedente Figura 3).

In particolare si valuta:

$$I_a = 0,5 * (P / (T + 10)) + (12 p / t) = 51$$

in cui (quota 500 m)

² B.Kennesey, Lefolyasi tenyezok es retenciok, Vizugy Koziemenenyek, 1930 e Bauducco, Dematteis, De Luca, Masciocco (1994). La valutazione delle potenzialità idriche di un bacino alpino: il metodo Kennesey applicato alla Valle Varaita.

P = precipitazione media annua (1795 mm)
 T = temperatura media annua (12.1°C)
 t = temperatura media mese più arido (22.0 °C)
 p = precipitazione mese più arido (38.1 mm)

Attraverso l'attribuzione dei coefficienti previsti dal metodo si stima un deflusso D pari al 46 % della precipitazione totale. Si ricorda che tale valore, che parrebbe in assoluto basso se riferito al coefficiente D per il calcolo della generazione delle portate di piena, è in realtà un D medio, di riferimento per il bilancio idrologico-idrogeologico annuo, come previsto dal metodo specifico.

PERMEABILITÀ	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
1 - Molto scarsa	0.26	0.28	0.30
2 - Scarsa	0.16	0.21	0.24
3 - Mediocre	0.12	0.16	0.20
4 - Buona	0.06	0.08	0.10
5 - Elevata	0.03	0.04	0.05
ACCLIVITÀ	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
1 - > 35%	0.22	0.26	0.30
2 - 10% < a < 35%	0.12	0.16	0.20
3 - 3.5% < a < 10%	0.01	0.03	0.05
4 - < 3.5%	0.00	0.01	0.03
COPERTURA VEGETALE	Ia < 25	25 < Ia < 40	Ia > 40
1 - Roccia nuda	0.26	0.28	0.30
2 - Pascoli	0.17	0.21	0.25
3 - Colture - arbusti	0.07	0.11	0.15
4 - Bosco d'alto fusto	0.03	0.04	0.05

Tabella 12 - Coefficienti previsti dal metodo di Kennessey e modificati da Barazzuoli et al. (1987) per le tre variabili considerate (acclività, permeabilità, vegetazione), in funzione dell'indice di aridità Ia.

COEFFICIENTE	VALORE	COEFF. TABELLA	INCIDENZA	COEFF. CALCOL.	SOMMA COEFF.
Ca - acclività	> 35 %	0.3	20.00%	0.0600	0.189
	10 - 35 %	0.2	60.00%	0.1200	
	3,5 - 10 %	0.05	15.00%	0.0075	
	< 3,5 %	0.03	5.00%	0.0015	
Cp - permeabilità	molto scarsa	0.3	5.00%	0.0150	0.196
	scarsa	0.24	40.00%	0.0960	
	mediocre	0.2	35.00%	0.0700	
	buona	0.1	10.00%	0.0100	
	elevata	0.05	10.00%	0.0050	
Cv - vegetazione	Roccia	0.3	5.00%	0.0150	0.078
	Pascolo	0.25	0.00%	0.0000	
	Coltivo	0.15	15.00%	0.0225	
	Bosco	0.05	80.00%	0.0400	
RISULTATI					
COMPONENTE ACCLIVITA'				Ca	0.189
COMPONENTE PERMEABILITA'				Cp	0.196
COMPONENTE COPERTURA VEGETALE				Cv	0.078
COEFFICIENTE DI DEFLUSSO				Cd	0.46

Tabella 13 - Stima del coefficiente di deflusso medio annuo secondo il metodo di Kennessey.

Considerando un deflusso medio superficiale R pari a

$$R = P \cdot D = 0.46 \cdot 1795 \text{ mm} = 826 \text{ mm/a}$$

Si stima un'aliquota disponibile per l'infiltrazione

$$I = P_e - R = 937 - 826 = 111 \text{ mm/a}$$

Dove la precipitazione netta viene calcolata dall'equazione in Figura 6 relativamente alla parte medio alta del bacino (500 m s.l.m.), coincidente con l'area di ricarica delle sorgenti.

5.2 Interpretazione dei dati idrochimici e chimico-isotopici delle acque sotterranee per la caratterizzazione dei circuiti di alimentazione di pozzi e sorgenti

5.2.1 Obiettivi e finalità dell'indagine

L'attività di interpretazione dei dati idrochimici e chimico-isotopici è finalizzata, sulla base delle usuali e consolidate tecniche in campo idrogeologico, a correlare le caratteristiche di un gruppo di acque sotterranee con quelle della roccia serbatoio e del flusso sotterraneo. Tale analisi si effettua individuando "linee evolutive" caratteristiche del chimismo di base delle acque, in facies primaria e da eventuali mescolamenti con acque di differenti origine. L'evoluzione del chimismo sulla base di tali "linee" connota il passaggio da acque "giovani", a chimismo scarsamente evoluto, di norma correlabili a circuiti idrogeologici brevi e superficiali, verso acque "mature", in equilibrio idrochimico con la matrice solida, queste ultime di norma caratterizzanti circuiti di alimentazione più profondi.

L'interpretazione dei dati chimico-isotopici si basa invece sulla proprietà dei rapporti degli isotopi dell'ossigeno e idrogeno costituenti la molecola d'acqua, di risultare "conservativi", ovvero, a differenza del chimismo di base, di non variare nel corso del flusso sotterraneo per interazione con la matrice rocciosa dell'acquifero. La composizione di tali isotopi naturali dell'acqua dipende infatti unicamente dal fenomeno del "frazionamento isotopico", correlabile, in ambiti omogenei, alle condizioni climatiche ed indirettamente all'altimetria della zona di ricarica.

L'elaborazione dei dati idrochimici e chimico-isotopici è effettuata mediante metodi di statistica multivariata, in correlazione con il modello geologico e strutturale del sottosuolo, ovvero con le caratteristiche litologiche e petrografiche dei litotipi fratturati costituenti il mezzo acquifero.

5.2.2 Generalità sull'interpretazione dei dati idrochimici

Nell'ambito di acquiferi a composizione petrografica omogenea, in assenza di mescolamenti, la composizione chimica delle acque evolve in funzione del tempo di residenza sotterraneo ed è di norma indicativa del grado di approfondimento del circuito idrogeologico.

L'evoluzione idrochimica si caratterizza per il fenomeno cosiddetto della "convergenza idrochimica".

In particolare il fenomeno cosiddetto della convergenza della composizione chimica delle acque sotterranee, porta ad un aumento progressivo della concentrazione in sali ed alla conseguente evoluzione del chimismo secondo la sequenza anionica che segue (Shoeller, 1934; Castany, 1968):



Ne deriva, in base alla seguente linea evolutiva, una *zonalità idrochimica verticale*, per cui si ha una stratificazione di acque a salinità (TDS, conducibilità elettrica specifica) crescente, dall'alto verso il basso, con facies chimiche che riflettono l'evoluzione sopradescritta, ovvero:

- zona superiore (circolazione corticale "local") in facies carbonatica, ovvero dove l'acqua contiene il HCO_3^- come anione dominante ed ha uno scarso contenuto di TDS;
- zona intermedia in facies solfatica, ovvero con SO_4^{2-} come anione dominante;
- zona profonda (circolazione "regional"), caratterizzata di norma da circuiti lunghi e lenti, con un elevato contenuto in TDS e Cl^- come anione dominante

5.2.3 Caratteristiche fisiche

Su tutte le captazioni sono state misurate la temperatura, il pH e la conducibilità elettrica mediante determinazioni in sito con strumentazione portatile tipo WTW (pHmetro 330i e conduttimetro LF 330). Il dato di conducibilità viene misurato con temperatura di riferimento a 25° C.

Nella Figura 8 sono messe in relazione le temperature misurate alla risorgiva durante le indagini di agosto e settembre 2011 e le quote altimetriche. Nel grafico non sono stati inseriti i dati relativi a sorgenti caratterizzate da circolazione superficiale prima di essere captate o comunque che risentono del condizionamento derivante dalla temperatura dell'aria.

Nella Figura 9 e nella Figura 10 si riporta la relazione tra quota di risorgenza ed i valori di conducibilità elettrica. La rappresentazione è stata differenziata sulla base della risposta al condizionamento della topografia sulla conducibilità.

Nella Figura 9 è evidente un'ottima correlazione quota - conducibilità; nel grafico sono raggruppate le sorgenti per cui si individuano molto bene linee evolutive corrispondenti ad una circolazione "di versante" con progressivo incremento del tempo di residenza e della "profondità" dei circuiti verso valle. Questa modalità di circolazione sembra essere una caratteristica del gruppo di risorgive situate nel versante più a Sud dell'area di indagine (area Castiglione - rio Casalino) o comunque, in generale, delle sorgenti più superficiali, caratterizzate da apporti idrici meno rilevanti.

Nella Figura 10 risulta decisamente meno evidente la linearità della relazione quota - conducibilità elettrica. I valori di conducibilità elettrica sono essenzialmente compresi tra 300 - 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con quota di risorgenza variabile tra 130 e 370 m s.l.m. senza particolare correlazione tra i due parametri. In questi casi i circuiti di alimentazione delle sorgenti defluiscono più in profondità in maniera disgiunta dalle dinamiche che regolano la circolazione più superficiale di versante. Tale modalità di circolazione idrica caratterizza i circuiti più importanti tra quelli individuati, che si localizzano prevalentemente nel settore centro - settentrionale dell'area di indagine.

Le considerazioni espresse portano quindi ad una prima differenziazione dei circuiti idrici delle sorgenti indagate. Un gruppo caratterizzato da circolazione più superficiale "di versante" (Figura 9), maggiormente

condizionato dall'andamento stagionale; un altro gruppo, in termini relativi, più profondo che risente in maniera meno evidente della stagionalità (Figura 10).

Nella Figura 11 vengono rappresentati, per classi di valori, i dati di temperatura riscontrati sulle sorgenti indagate. La colorazione rossa evidenzia le captazioni caratterizzate da temperature più elevate; tale condizione tuttavia non è da mettere in relazione a particolarità geologiche ma semplicemente al condizionamento derivante dalla vicinanza della circolazione alla superficie nel tratto prossimo alla captazione.

Analogamente a quanto eseguito per la temperatura nella Figura 12 vengono rappresentate le distribuzioni dei valori della conducibilità. Le acque che presentano un maggior grado di mineralizzazione sono raggruppate nel settore più a Sud presso Castiglione e rio Casalino (S.Maria al Campo - Rapallo); nelle restanti zone i valori di conducibilità elettrica sono, ad eccezione delle sorgenti più superficiali, abbastanza omogenei essendo compresi tra 300 - 400 $\mu\text{S/cm}$.

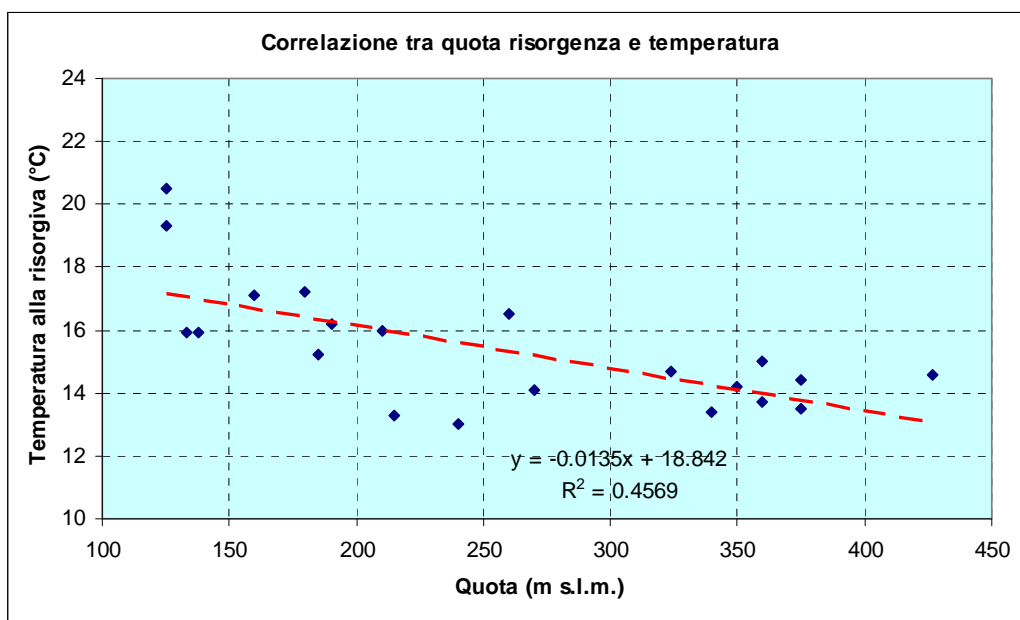


Figura 8 - Correlazione tra quota risorgenza e temperatura delle acque.

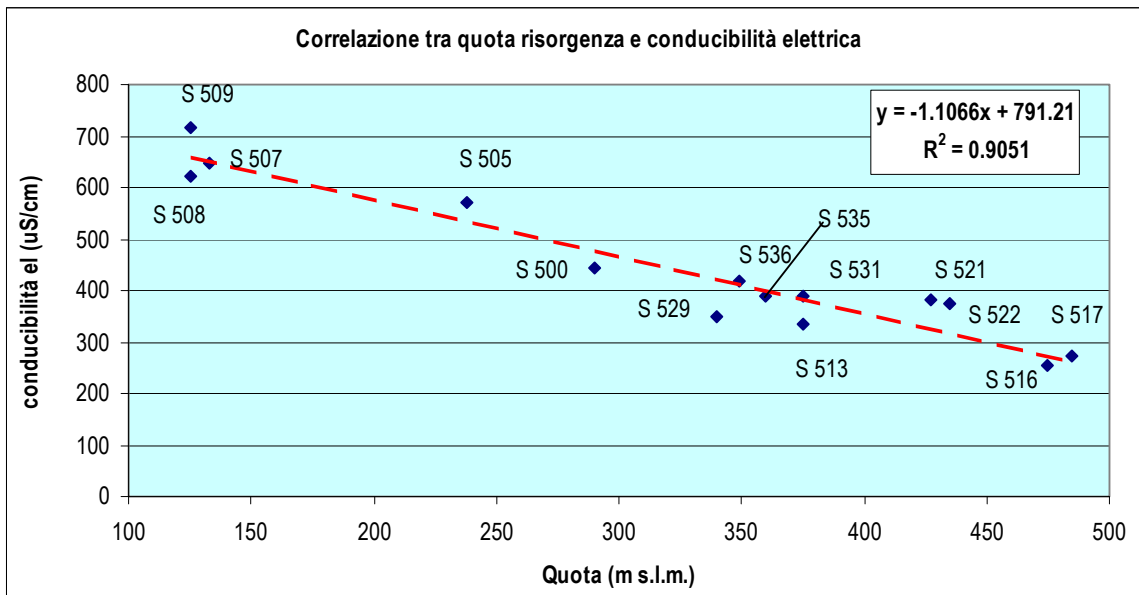


Figura 9 - Correlazione tra quota di risorgenza e conducibilità elettrica specifica delle acque, indicativa del progressivo incremento del tempo di residenza e della “profondità” del circuito idrogeologico lungo linee evolutive corrispondenti ad una circolazione “di versante”.

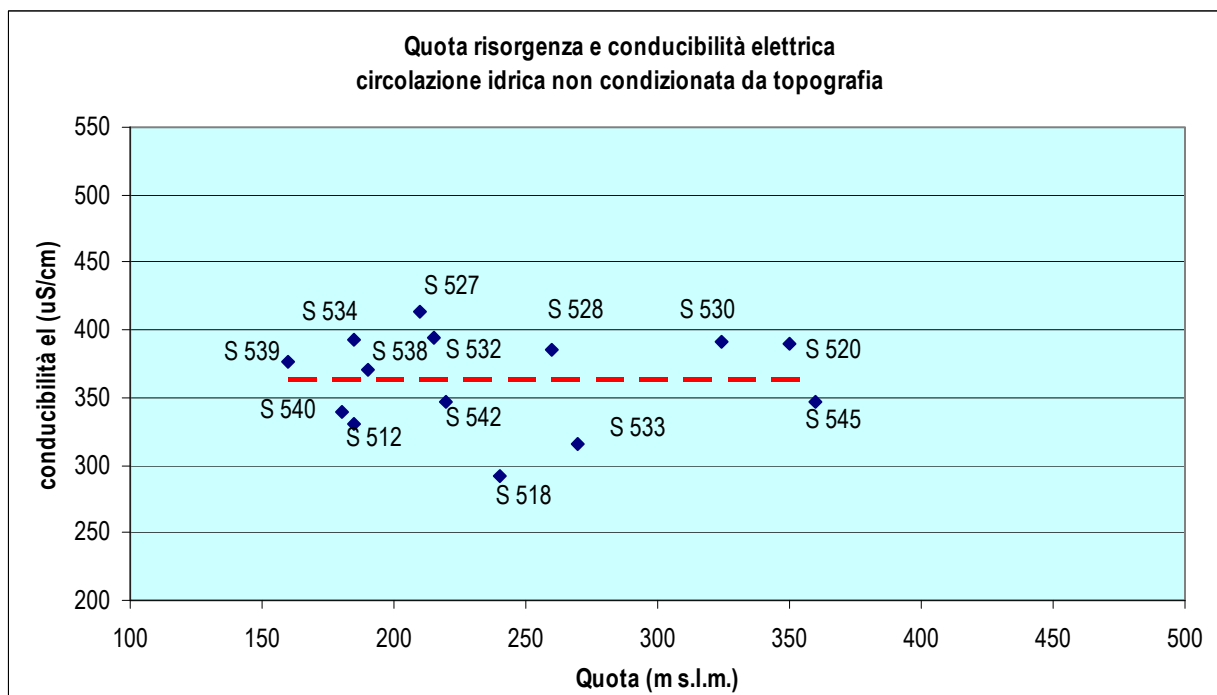


Figura 10 - Gruppo di sorgenti ubicate nel settore centro - settentrionale dell'area di indagine per le quali la circolazione idrica è indipendente dalla topografia.

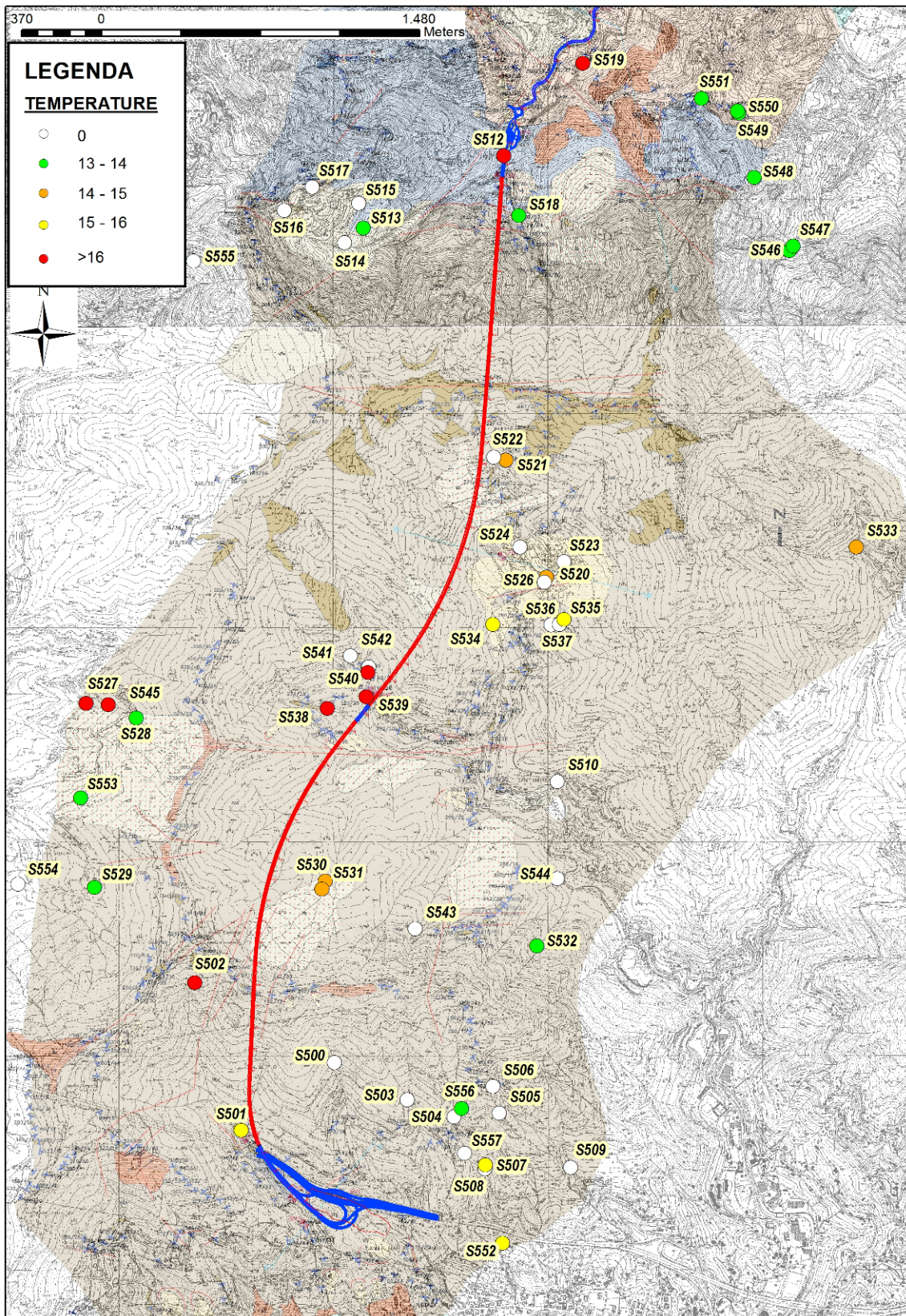


Figura 11 - Valori di temperatura delle acque sorgive (misure agosto - settembre 2011 e ottobre - novembre 2014).

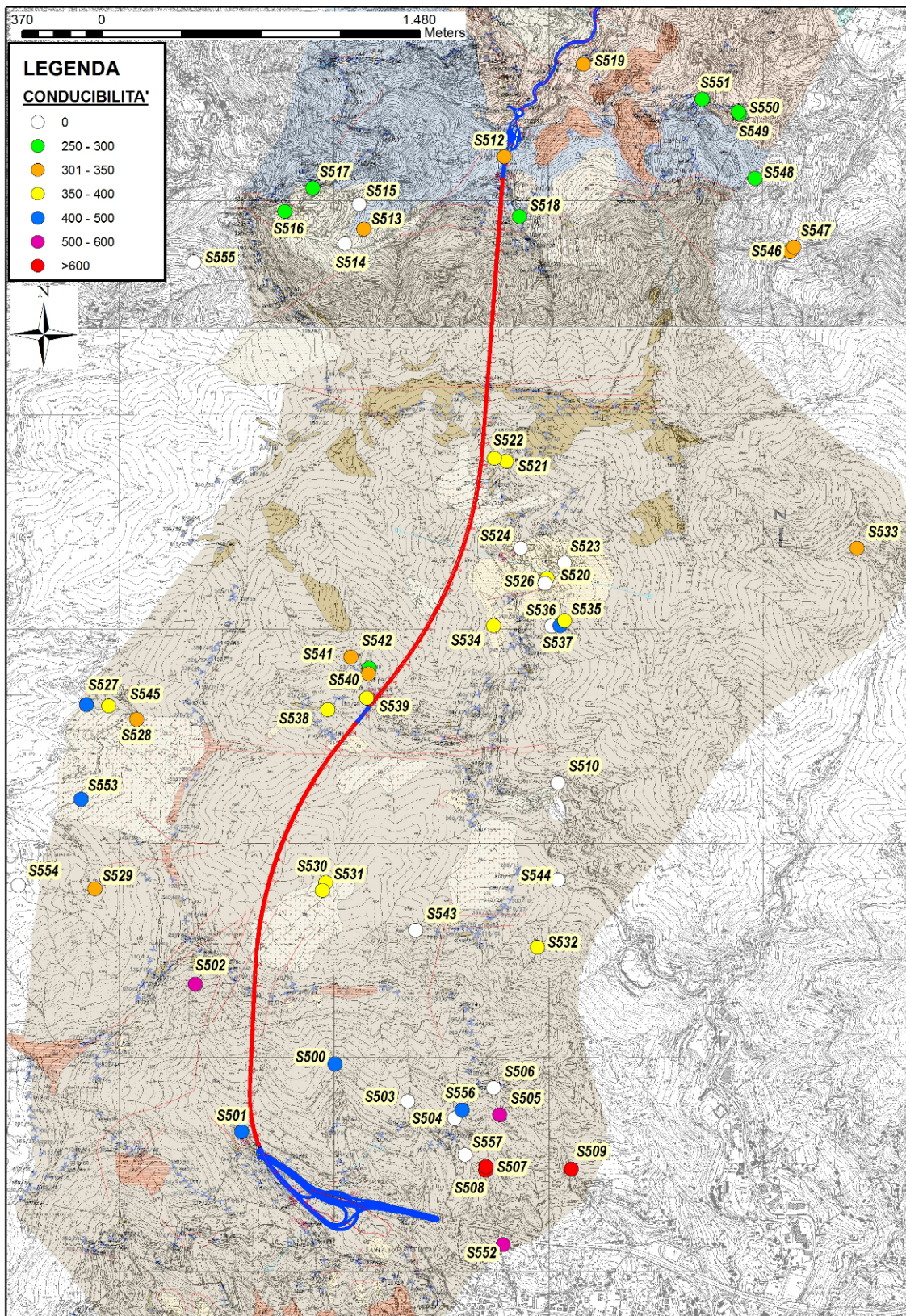


Figura 12 - Valori di conducibilità elettrica delle sorgenti (misure agosto - settembre 2011 e ottobre - novembre 2014).

5.2.4 Sintesi caratteri geochimici

I punti di campionamento dell'area di indagine sono stati scelti sulla base di criteri di maggior rappresentatività del contesto idrogeologico studiato (rif par. 3.1.1). In allegato 9 sono riportati i certificati delle analisi eseguite.

Al fine di ottenere indicazioni generali sulle modalità di circolazione idrica eventualmente intercettabili dallo scavo delle gallerie in progetto sono stati prelevati anche alcuni campioni in aree distanti dall'area di indagine ma particolarmente rappresentativi del contesto in esame. In particolare sono stati analizzati alcuni campioni di acque prelevati in corrispondenza della galleria dell'acquedotto Idrotigullio che, analogamente al tracciato della galleria autostradale in progetto, collega la Val Fontanabuona con la zona costiera.

I campioni sono stati prelevati con l'obiettivo primario di caratterizzare il chimismo delle acque che circolano in corrispondenza del contatto tettonico tra le unità Antola e Gottero - Portello; quindi sono state prelevate acque con particolari caratteristiche fisiche quali la presenza di evidenti residui ferrosi oppure di odore di anidride solforosa (venute alle progressive km 0+716 e 0+975), al fine di individuare la presenza di circolazioni idriche profonde eventualmente intercettabili dallo scavo della galleria in progetto le cui caratteristiche di spessore in calotta e di contesto idrogeologico sono abbastanza simili (cfr. par 6.1).

Nella Tabella 14 viene riportato l'elenco delle facies idrochimiche riscontrate in relazione alla geologia della roccia serbatoio.

CODICE STAZIONE	FACIES IDROCHIMICA	GEOLOGIA
S507	Ca-HCO ₃ -SO ₄	FAN
S512	Ca-HCO ₃	FAN
S513	Ca-HCO ₃	FAN
S518	Ca-HCO ₃	FAN
S519	Ca-HCO ₃	FAN
S520	Ca-HCO ₃	FAN
S521	Ca-HCO ₃	FAN
S528	Ca-HCO ₃	FAN
S530	Ca-HCO ₃	FAN
S532	Ca-HCO ₃	FAN
S533	Ca-HCO ₃	FAN
S534	Ca-HCO ₃	FAN
S538	Ca-HCO ₃	FAN
S541	Ca-HCO ₃	FAN
S545	Ca-HCO ₃	FAN
Prog. 716	Ca-Mg-Na-HCO ₃	FAN
Prog. 975	Na-HCO ₃	FAN
Prog. 2030	Ca-HCO ₃	contatto FAN - FLV AMV
Prog. 2150	Ca-HCO ₃	contatto FAN - FLV AMV

Tabella 14 - Facies idrochimiche.

Il diagramma di Piper in Figura 13 è relativo ai risultati delle analisi. Le acque analizzate dal punto di vista idrochimico sono caratterizzate da una elevata omogeneità. La maggioranza dei campioni analizzati è riferibile alla facies bicarbonato - calcica (Ca-HCO₃), in sostanziale accordo, del resto, con il chimismo prevalente della roccia serbatoio. Anche le acque prelevate nella galleria dell'acquedotto, relative alla circolazione idrica in corrispondenza del contatto tettonico tra formazione di Monte Antola (FAN) ed i litotipi argillitici ed ardesiaci (campioni Progr km 2+030 e 2+150), sono caratterizzate da chimismo bicarbonato - calcico.

Tra le acque delle sorgenti dell'area di studio solamente sulla S 507 si osserva un chimismo sensibilmente differente dalla composizione bicarbonato - calcica (Figura 13 e Figura 14), con caratteristiche delle acque orientate verso facies più tipicamente clorurato e solfato calciche. Tale tendenza, dal punto di vista idrogeologico, evidenzia un'evoluzione da composizioni (in termini di anione dominante) tipiche della "zona superiore" a circolazioni di tipo "intermedio" o "profondo". Si è osservato che queste caratteristiche sono tipiche della zona a Sud - Est dell'area "Castiglione - rio Casalino" ed interessano, presumibilmente, anche le sorgenti S 508 e S 509.

Una particolarità è rappresentata anche dal rinvenimento di acque in facies bicarbonato - calcio - magnesiana - sodica (Ca-Mg-Na-HCO₃) e bicarbonato - sodica (Na-HCO₃). Tali acque si riferiscono ai campioni prelevati nella galleria dell'acquedotto alle progressive km 0+716 (Foto 1) e km 0+975 (Foto 2). Le venute sono rappresentative di condizioni fisiche piuttosto particolari, legate alla presenza di elevato residuo ferroso per precipitazione chimica al contatto con l'aria oppure ad odore di anidride solforosa.

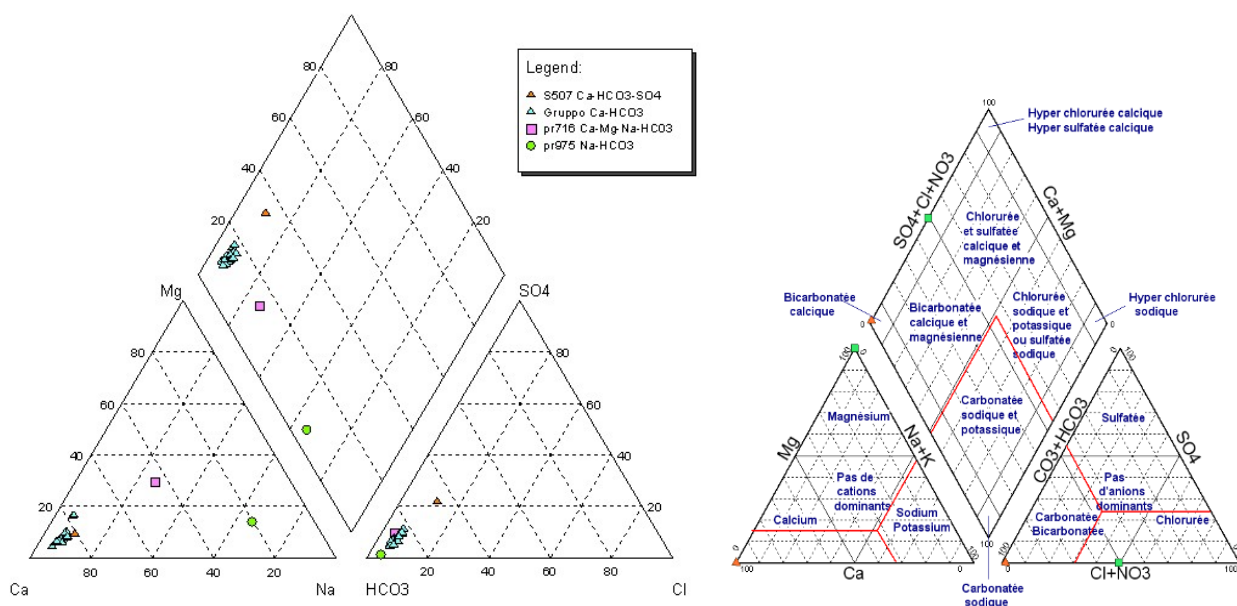


Figura 13 - Rappresentazione del chimismo dei campioni analizzati sulla base del diagramma di Piper a diamante (a destra è riportato il "diagramma tipo" con l'indicazione delle facies di classificazione idrochimica delle acque). Si noti per i campioni esaminati la complessiva omogeneità delle acque analizzate con caratteri di chimismo meno "evoluto" in facies bicarbonato-calcico ad eccezione di un prelievo che è caratterizzato da acque a chimismo clorurato e solfato calcico e di due campioni rappresentativi di circolazioni particolari, tendenti alla facies sodica, riscontrate entro la galleria dell'acquedotto.



Foto 1 - Punto di campionamento alla progressiva km 0+975 della galleria dell'acquedotto in corrispondenza di venuta con odore di anidride solforosa.



Foto 2 - Punto di prelievo alla progressiva km 0+716 della galleria dell'acquedotto in corrispondenza di abbondante residuo ferroso depositato dalle acque.

Il chimismo dei campioni analizzati è rappresentato anche nella Figura 14 dove le concentrazioni delle specie ioniche principali (in meq/l) vengono plottate su diagramma di Schoeller. Dall'osservazione del diagramma si evidenzia il chimismo bicarbonatico - calcico della maggior parte delle sorgenti analizzate; tale andamento si differenzia sensibilmente dal chimismo della sorgente S 507 caratterizzato da facies più tipicamente clorurato e solfato - calcica per le variazioni degli anioni HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} , a conferma della presenza di una circolazione idrica differenziata in termini di tempo di residenza e conseguente "zonizzazione *idrochimica verticale*".

Nettamente distinguibile anche la tendenza evolutiva verso il chimismo sodico riscontrata nelle venute idriche della galleria (progr. 0+716 e 0+975).

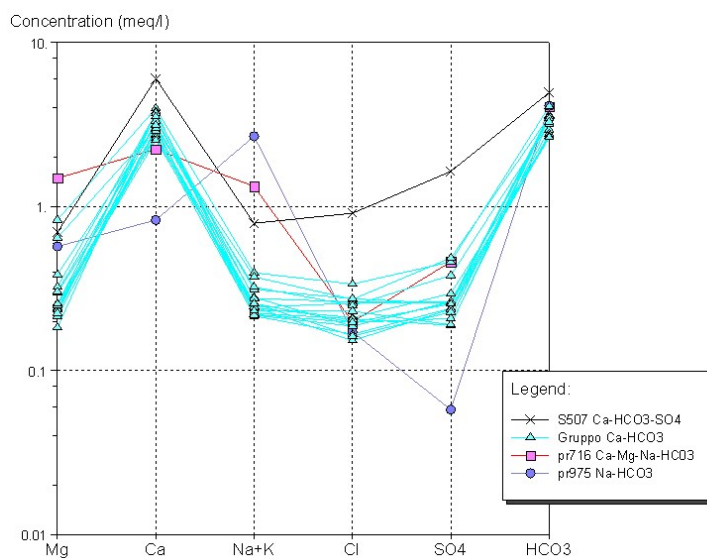


Figura 14 - Diagramma di Schoeller.

La complessiva uniformità del chimismo della maggior parte delle acque analizzate non mette in evidenza particolari differenziazioni rilevabili con le consuete valutazioni sui rapporti caratteristici; a titolo di esempio si riporta in Figura 15 il rapporto $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{--}$ dove si cerca di rappresentare un'evoluzione idrochimica con acque più "giovani" in basso a destra nel diagramma e più "evolute" in alto a sinistra (progressiva riduzione di $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{--}$ e incremento della mineralizzazione lungo una linea di flusso).

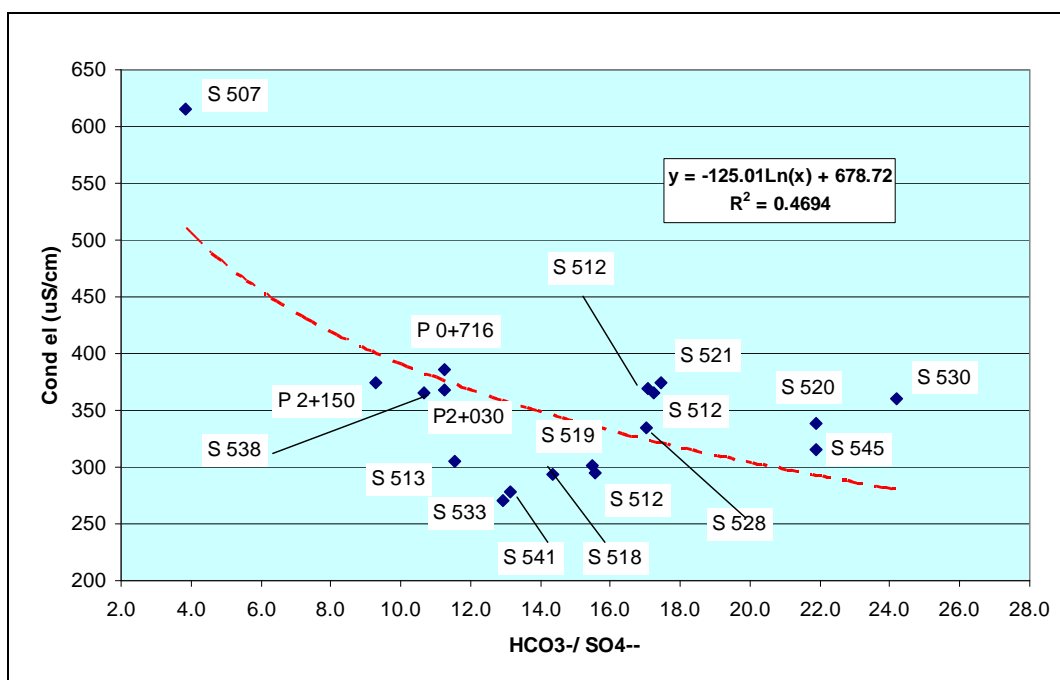
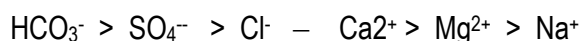


Figura 15 - Rapporto caratteristico $\text{HCO}_3^- / \text{SO}_4^{--}$, Vs. Conducibilità elettrica specifica delle acque.

Di seguito vengono espresse alcune considerazioni circa la suddivisione in differenti tipi di acque.

Come si è ribadito più volte il gruppo numericamente più importante e maggiormente rappresentativo della circolazione idrica è caratterizzato da composizione bicarbonato-calcica; il chimismo di tali captazioni è rappresentativo di circolazione idrica relativamente rapida con intensa lisciviazione specialmente nei terreni facilmente solubili; queste acque contengono HCO_3^- come anione dominante ed un minor contenuto di solidi in soluzione.

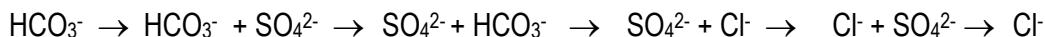
La configurazione chimica è pertanto la seguente:



All'interno del gruppo bicarbonato - calcico si osservano delle minime differenze di chimismo in relazione al contenuto in cloruri, le cui concentrazioni risultano appena più elevate in corrispondenza delle sorgenti S 534, S 532, S 528 e delle venute della galleria dell'acquedotto alle progressive km 2+050 e km 2+150, ma non sono di entità tale da poter distinguere tipologicamente le acque. Le acque analizzate internamente alla galleria all'altezza del contatto tettonico non sono pertanto caratterizzate da chimismo differente da quello consueto riscontrato nella zona.

Come osservato precedentemente nei grafici di Piper e Schoeller la sorgente S 507 è caratterizzata da chimismo bicarbonato-calcio-solfatico rappresentativo di una circolazione idrica meno veloce, con più elevato contenuto in solidi in soluzione in cui quantitativamente acquista rilevanza l'anione SO_4^{2-} ed i cloruri.

In sostanza a causa delle varie solubilità dei minerali lungo il tragitto percorso dall'acqua nel sottosuolo, avvengono delle variazioni chimiche che possono essere indicate con la seguente sequenza anionica:



L'evoluzione indicata avviene man mano che l'acqua scorre dalle zone superficiali a quelle intermedie fino alle profonde. Per quanto riguarda la zona indagata, ad eccezione della sorgente S 507 e presumibilmente delle S 508 e S 509, l'evoluzione non avviene mai completamente secondo il suddetto schema; i contenuti in cloruri sono infatti mediamente abbastanza bassi analogamente ai solfati. Da un punto di vista idrochimico la maggior parte delle acque del sottosuolo sono tipiche di zone superficiali oppure al massimo intermedie, mentre altri fattori, come la presenza di alternanze più francamente argilloso - marnose, determina, in situazioni localizzate, considerevoli effetti sul chimismo delle acque indagate.

La caratterizzazione delle acque analizzate si completa, infatti, con l'individuazione dei gruppi con caratteristiche bicarbonato-calciche-magnesiache-sodiche e bicarbonato-sodiche. Tale chimismo è tipico della circolazione in litotipi in cui gioca un ruolo importante la componente marnoso - argillosa; il primo gruppo è stato riscontrato nelle acque campionate alla progressiva km 0+716 della galleria. Le acque bicarbonato sodiche sono state individuate alla progressiva 0+975 in associazione a presenza di anidride solforosa.

Questa composizione è molto particolare e tipica dei livelli argilloso - marnosi. In sostanza tali terreni hanno una elevata capacità di adsorbimento e di scambio ionico (ioni contenuti in soluzione sostituiscono altri ioni contenuti nel solido), ossia possono adsorbire quantità notevoli di alcuni sali mentre le argille sodiche scambiano i loro ioni Na^+ con gli ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} contenuti nell'acqua. Il fenomeno è ampiamente descritto in letteratura anche per un contesto limitrofo a quello di indagine³ ed emerge, con diverso grado di evoluzione, nelle due analisi eseguite alle differenti progressive della galleria, soprattutto per le riduzioni della concentrazione degli ioni Ca^{2+} (44.9 e 16.6 mg/l) e per l'aumento del tenore di Na^+ (30.0 e 61.1 mg/l).

I minerali d'argilla influenzano molto il chimismo dell'acqua per la loro capacità di scambiare cationi ed anioni. Il fenomeno di scambio ionico è un processo che può richiedere molto tempo in quanto il contatto tra soluzione e scambiatore ionico, deve durare a lungo; pertanto esso avviene, in genere, nelle zone dove la velocità dell'acqua è molto bassa.

Va infine considerato che la circolazione che avviene entro tali livelli a composizione argillosa è di tipo profondo; tuttavia è anche estremamente lenta e quindi non è caratterizzata dalla presenza di flussi di entità rilevante per lo scavo della galleria in progetto. Le misure di portata eseguite al momento del campionamento hanno fornito un riscontro in questo senso, evidenziando portate molto basse attorno a 0.01 l/s.

³ "Water rocks interactions in the Bisagno Valley (Genoa, Italy): "application of an inverse approach to model spring water chemistry". Marini, Ottonello, Canepa e Cipolli. Università degli Studi di Genova, Dipartimento per lo studio del territorio e delle sue risorse. Geochimica and Cosmochimica Acta. Vol 64 Nr.15, PP 2617-2635, 2000..

5.2.5 Interpretazione dei dati chimico-isotopici

5.2.5.1 *La funzione tracciante del $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$*

Il parametro che principalmente influenza la composizione isotopica delle acque naturali è la temperatura.

Nell'ambito di un fenomeno di precipitazione meteorica, il frazionamento isotopico dell'acqua segue una legge di distillazione di tipo Raleigh. Pertanto quanto più lunga sarà l'esposizione dell'acqua alle condizioni atmosferiche, tanto maggiore sarà il processo di evaporazione che la interessa e, conseguentemente, tanto più accentuato sarà il fenomeno di arricchimento in isotopi pesanti della fase liquida rispetto alla fase aeriforme che progressivamente evapora.

Generalmente le precipitazioni avvengono in condizioni di umidità relativa pressoché costanti, per cui il processo di frazionamento isotopico naturale risulta aderente alla legge di distillazione citata. A parità di condizioni climatiche, e cioè quindi all'interno dello stesso bacino, dove i fenomeni di precipitazione si ripetono con ciclicità stagionale, per cui i periodi di alimentazione degli acquiferi sono quasi sempre gli stessi, è possibile fare la distinzione che segue. Le acque meteoriche che si infiltrano alle altitudini maggiori del bacino sono quelle che hanno subito una minore esposizione alle condizioni atmosferiche, si sono verificate a temperature più basse, perciò hanno subito un minore processo di evaporazione e, conseguentemente, hanno distillato una minore percentuale di isotopi pesanti. Esse risultano perciò impoverite in isotopi pesanti ed all'interno di un diagramma isotopico, le deviazioni isotopiche ad esse relative si collocano in una posizione più lontana rispetto all'origine del sistema di riferimento.

Diversamente le acque meteoriche che si infiltrano ad una quota altimetrica più bassa avranno subito i processi descritti per un tempo più prolungato, hanno incontrato temperature mediamente più alte, e ne consegue che risulteranno più ricche in isotopi pesanti, risultando le deviazioni isotopiche ad esse relative posizionate più in alto nel diagramma isotopico, e più vicino all'origine del sistema di riferimento.

Estrapolando questo ragionamento si può affermare che prolungandosi l'esposizione delle precipitazioni meteoriche alle condizioni atmosferiche, le acque tendono a riassumere il connotato isotopico medio, in termini di $\delta^2\text{H}$ e $\delta^{18}\text{O}$, delle masse di acqua da cui ha inizio la evaporazione che origina il ciclo idrologico.

Ciò spiega perché in generale, laddove non intervengano fenomeni particolari, la composizione isotopica delle acque sotterranee presenta una deviazione negativa rispetto a quella standard dell'oceano (SMOW, "Standard Mean Ocean Water"). La stretta correlazione fra la distillazione degli isotopi pesanti nella fase liquida e le quote altimetriche è stata ampiamente studiata, da cui la definizione di relazioni sperimentali. In particolare alle quote più alte l'impoverimento in ^{18}O varia fra -0.15‰ -0.5‰ per ogni 100 m di incremento di quota, con un conseguente decremento fra -1‰ e 4‰ per il ^2H .

Questo effetto della quota può essere osservato anche in bacini in cui le variazioni altimetriche sono abbastanza contenute ma i dati raccolti risultino essere sufficientemente abbondanti (Clark, 1998). In Figura 16 si riporta la relazione fra $\delta^{18}\text{O}$ e quota altimetrica stabilita (Zuppi et al., 1974) per il versante tirrenico ed il versante adriatico, in funzione della stagione, nonché la relazione media nell'arco dell'anno.

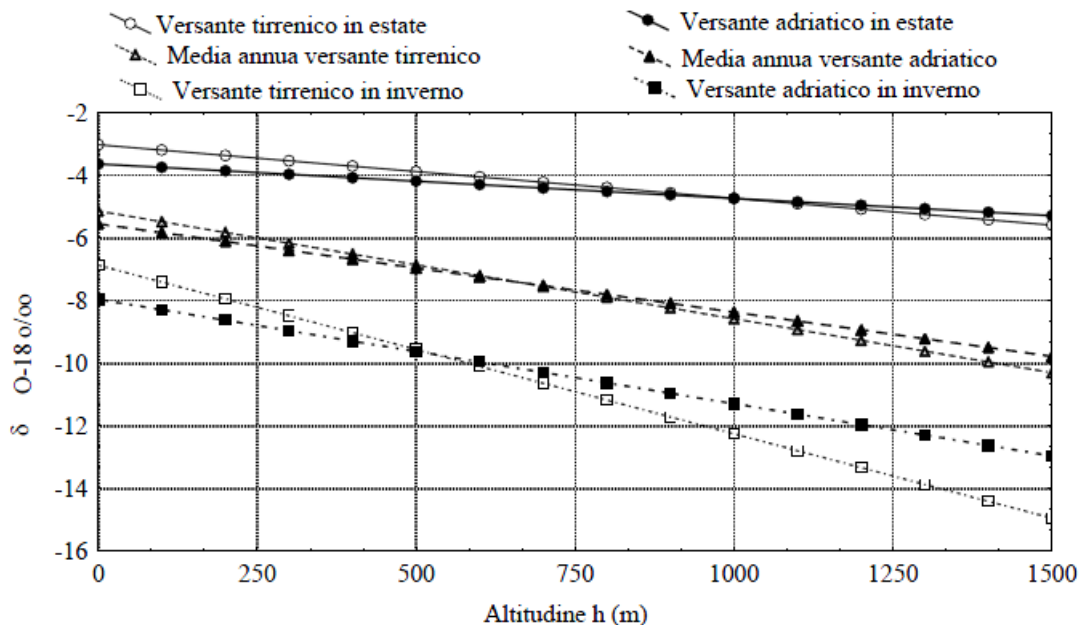


Figura 16 - Correlazioni fra $\delta^{18}\text{O}$ e altitudine in alcuni bacini italiani (modificato da Zuppi et al., 1974).

Altri autori sono arrivati a stabilire delle strette correlazioni fra variazioni del $\delta^{18}\text{O}$ e del $\delta^2\text{H}$ e la temperatura T_{annuale} (Dansgaard, 1964) e in particolare:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.695 T_{\text{annuale}} - 13.6\text{‰SMOW} \quad [1]$$

$$\delta^2\text{H} = 5.6 T_{\text{annuale}} - 100\text{‰SMOW} \quad [2]$$

Più recentemente per il $\delta^{18}\text{O}$ è stata stabilita anche una relazione con la temperatura media mensile T_{mensile} (Yutsever e Gat, 1981):

$$\delta^{18}\text{O} = (0.338 \pm 0.028) T_{\text{mensile}} - 11.99\text{‰VSMOW} \quad [3]$$

In base a queste relazioni è possibile individuare, con opportune interpretazioni, la origine, in termini di spazio e di tempo, cioè di stagione, della ricarica di un determinato acquifero. Le relazioni sopracitate consentono infatti, all'interno dello stesso bacino di alimentazione di distinguere, sia il periodo di ricarica di un determinato acquifero, sia le acque infiltratesi in una determinata stagione rispetto a quelle che si riferiscono ad un differente periodo di infiltrazione.

5.2.5.2 Caratterizzazione isotopica delle acque campionate ed elementi di valutazione idrogeologica

In allegato 10 sono riportati i certificati delle determinazioni isotopiche relativamente ai parametri $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^2\text{H}$. I campioni nell'area di indagine sono stati prelevati tra i mesi di agosto e settembre, mentre nella galleria dell'acquedotto sono stati prelevati ad ottobre 2011.

Nella Tabella 15 sono riportati i valori medi, massimi e minimi calcolati sull'insieme dei dati attualmente monitorati. Entrambe le determinazioni di Ossigeno-18 e Deuterio evidenziano una complessiva omogeneità derivante da una risposta abbastanza uniforme al segnale delle acque meteoriche.

Isotopi (delta V-SMOW)	media	massimo	minimo
$\delta^{18}\text{O}$	-6.25	-5.70	-6.80
$\delta^2\text{H}$	-33.11	-30.35	-35.88

Tabella 15

In Figura 18 vengono diagrammati i contenuti in $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ relativi alla campagna eseguita ed è stata tracciata la funzione lineare di interpolazione dei dati (linea tratteggiata blu). A titolo di confronto, nel diagramma viene tracciata la retta delle precipitazioni di origine mediterranea, caratterizzata da equazione $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 22$ ed evidenziata con una linea tratteggiata rossa; viene infine rappresentata anche l'equazione per le precipitazioni di origine oceanica (GMWL - linea continua nera) caratterizzata da eccesso di deuterio di +10.

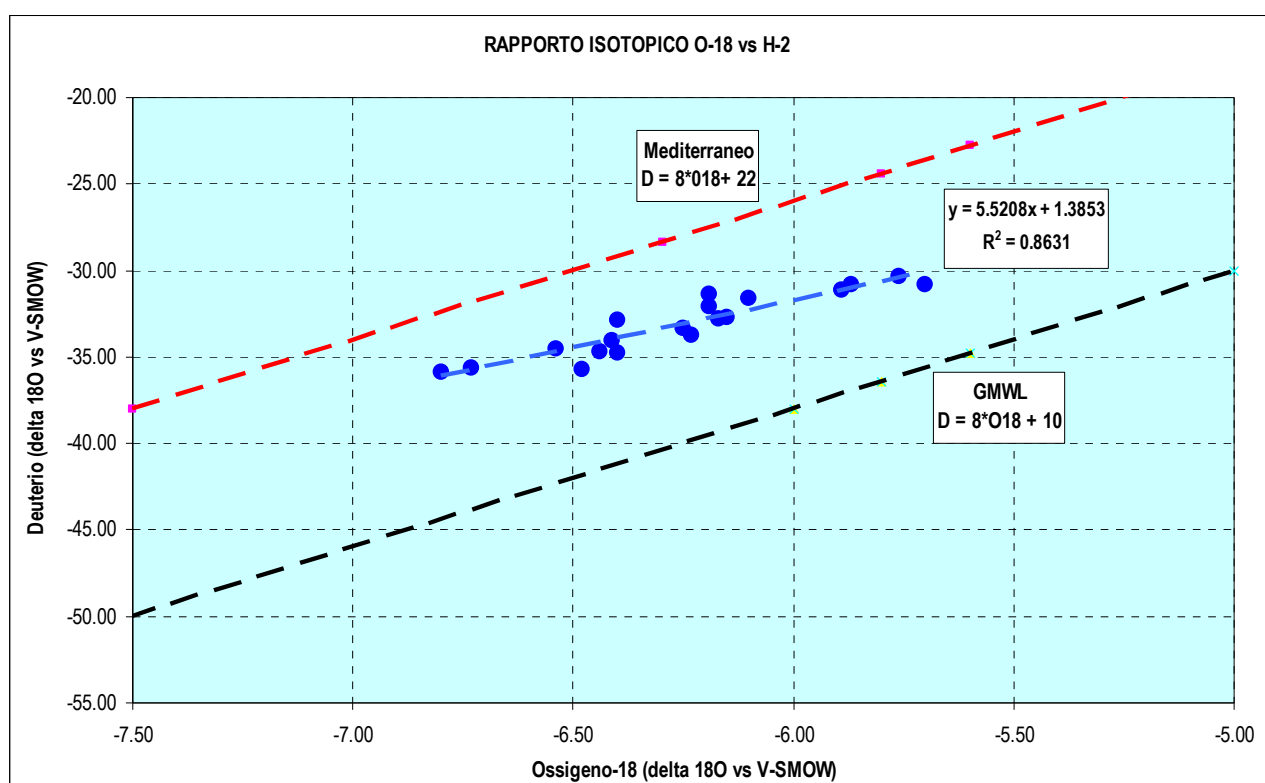


Figura 17 - Contenuti in $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$.

I dati di misura risultano complessivamente allineati con l'andamento delle rette delle precipitazioni mondiale e del Mediterraneo. Rispetto a queste ultime, tuttavia, l'insieme delle determinazioni effettuate evidenzia una certa inclinazione con valori che tendono a risultare, in media, leggermente più "positivi".

Tale fenomeno è comunque normale in regimi temperati come quello mediterraneo ed è determinato dall'effetto di evaporazione delle acque di infiltrazione rispetto agli afflussi pluviometrici che le hanno generate. Questo effetto varia con la latitudine fino ad essere particolarmente evidente in climi equatoriali, dove gli allineamenti dei dati arrivano tendono all'orizzontalità.

In generale lo scostamento dei dati analitici dalle rette delle precipitazioni mondiali oppure del Mediterraneo sono certamente dovuti alle specifiche condizioni climatiche locali. Considerato infatti che sono le condizioni di umidità e di temperatura che preliminarmente governano il processo di evaporazione e di distillazione degli isotopi pesanti dai grandi serbatoi naturali, ne consegue la possibilità di definire rette locali, rappresentative cioè della composizione isotopica delle precipitazioni che si formano in bacini limitati.

Occorre infine anche ricordare che significative deviazioni rispetto alle rette di riferimento, sono di norma anche indicative di uno scostamento dalle condizioni medie locali, dovuto nel caso ad infiltrazione in differenti periodi stagionali e circuiti idrogeologici brevi, ovvero non sufficientemente sviluppati da consentire una "riomogeneizzazione" del "segnale" idrochimico nel serbatoio sotterraneo.

Nella Figura 18 sono rappresentati i risultati isotopici con l'indicazione dei codici delle varie sorgenti analizzate; i dati comprendono anche le determinazioni svolte sulle venute idriche prelevate nella galleria dell'acquedotto.

Nella Figura 19 sono riportati i valori di Ossigeno-18 in relazione alla quota di risorgenza. Dall'analisi dei due grafici emerge l'esistenza di un gradiente isotopico abbastanza ben delineato; le sorgenti delle quote più elevate risultano caratterizzate da valori più negativi; viceversa le sorgenti con punto di emergenza situato a quote più basse, evidenziano un contenuto isotopico maggiore con valori quindi meno negativi.

Nel complesso non emergono circuiti idrici particolarmente differenziati ed i tempi di residenza risultano abbastanza ridotti ed ascrivibili a circolazione prevalentemente superficiale o comunque non particolarmente approfondita.

Pur considerando che le determinazioni eseguite sulle sorgenti dell'area di indagine sono comprese in un delta di differenza abbastanza limitato (-5.70 - -6.54 delta 18O vs V-SMOW) si possono tuttavia osservare delle irregolarità nell'andamento lineare di alcune sorgenti ed in particolare della S 533 e della S 534. Tali sorgenti, infatti, rispetto alla loro quota di risorgenza, evidenziano una sensibile traslazione verso la parte in basso a sinistra del grafico di Figura 18 e verso il settore in alto a sinistra della Figura 19. I valori riscontrati su queste acque sono lievemente più negativi di quanto dovrebbero essere rispetto all'andamento generale indicando una possibile origine più profonda delle loro acque o perlomeno di una parte di esse.

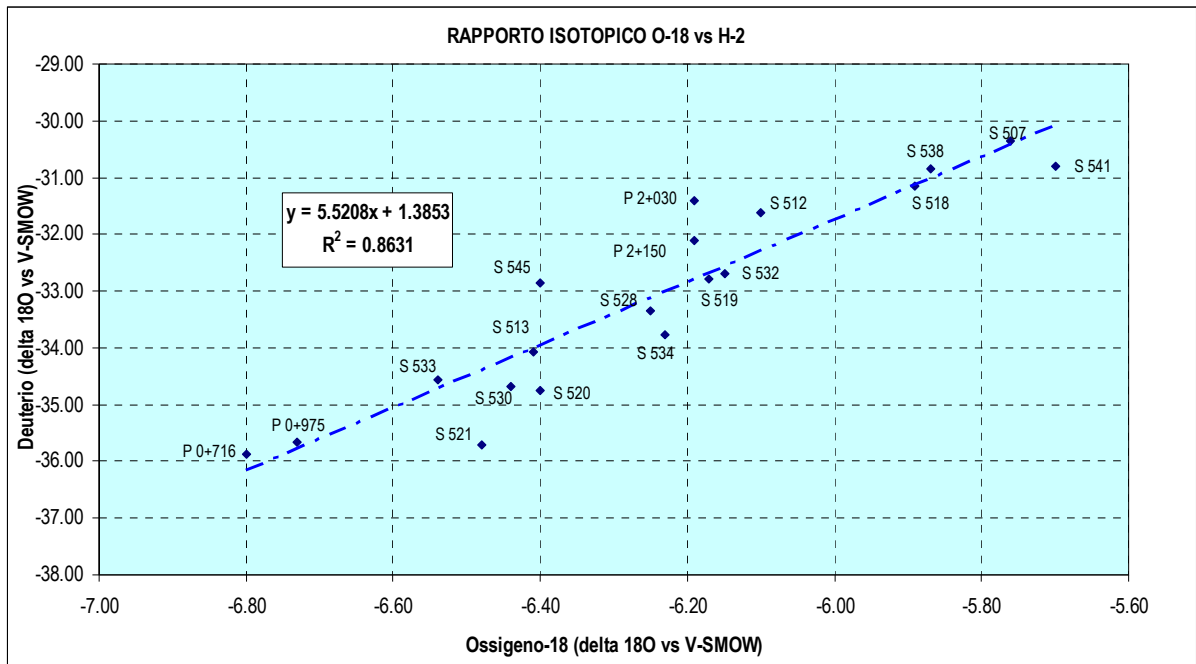


Figura 18 - Relazione $\delta^{18}\text{O} / \delta^2\text{H}$ per le sorgenti campionate.

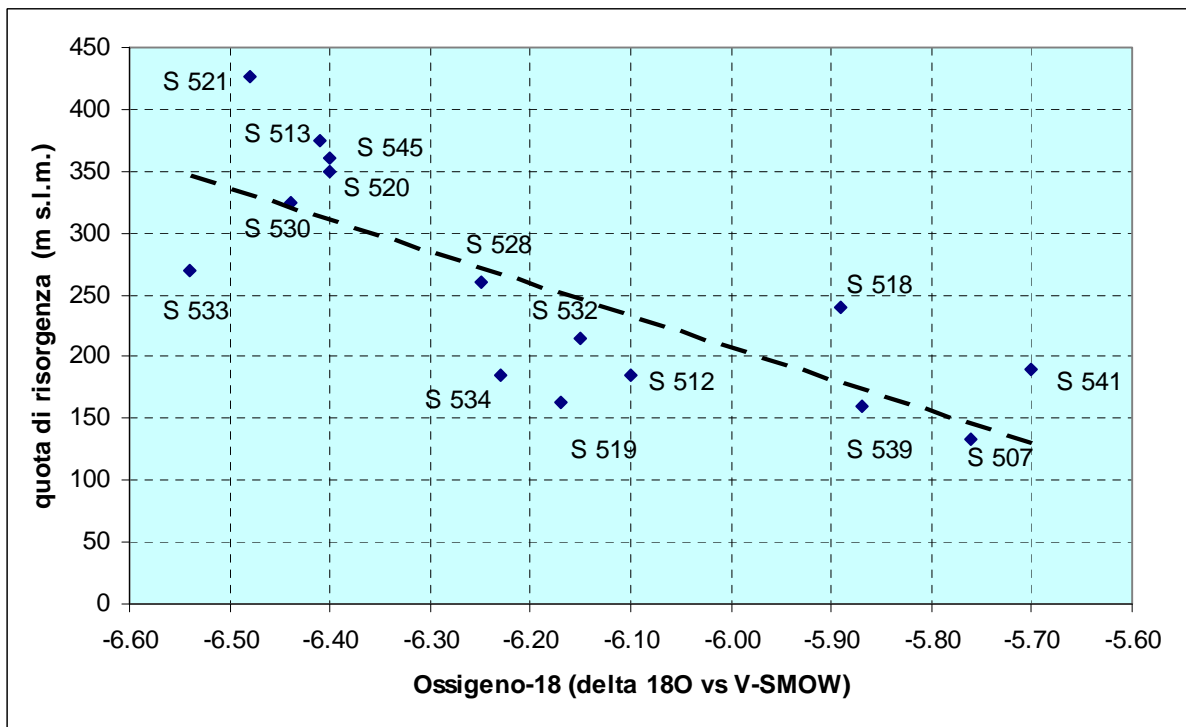


Figura 19 - Ossigeno-18 e quota di risorgenza.

Alcune indicazioni utili all'interpretazione idrogeologica dei dati possono derivare da altre osservazioni sviluppate sulla base della quota isotopica di infiltrazione, ricavabile dal rapporto $\delta^{18}\text{O}$ nei campioni analizzati.

In particolare nel diagramma di Figura 20 è riportata la quota isotopica di ricarica Vs. la quota altimetrica della sorgente.

La quota isotopica di ricarica è stata ricavata dalla relazione (Mussi, 1996)

$$\delta^{18}\text{O} = 0.00242 Q (\text{m s.l.m.}) - 5.42\text{‰ } V_{\text{SMOW}} \quad [4]$$

Si può notare come nel diagramma si identifichino alcune sorgenti tra quelle campionate, in cui la quota isotopica di infiltrazione è prossima oppure addirittura inferiore alla quota altimetrica di risorgenza (campo $Q_{\text{sorg}} > Q_{\text{iso}}$ nel diagramma). Quanto sopra indica evidentemente una condizione che non può verificarsi in termini reali, ma tuttavia spiegabile e indicativa della tipologia di circolazione sotterranea locale, nei termini di seguito riportati.

In particolare è possibile che in alcuni casi la correlazione $\delta^{18}\text{O}$ vs. quota tenda a fornire valori sottostimati della quota stessa. Tuttavia, complessivamente, l'applicazione di relazioni differenti, a favore di una quota isotopica d'infiltrazione più elevata non è un'opzione attendibile, in quanto le quote massime calcolate a partire dalla [4] sono già prossime alle quote degli spartiacque locali.

Pertanto, la succitata presenza di valori $Q_{\text{sorg}} > Q_{\text{iso}}$ può essere spiegata come l'effetto della stagionalità nell'input di ricarica. In particolare, le correlazioni per la stima della quota isotopica di ricarica fanno riferimento ad un valore medio annuo del $\delta^{18}\text{O}$ rilevato sulle precipitazioni.

L'applicazione della [4] è stata riferita, nel caso specifico, ad un singolo valore di $\delta^{18}\text{O}$ (campionamenti agosto settembre 2011). Nel caso specifico l'applicazione della [4] condurrebbe a valori di quota isotopica di ricarica effettivamente congruenti con quelli di quota altimetrica reale della ricarica stessa, solo per circuiti di alimentazione sufficientemente lunghi e sviluppati, con tempi di residenza sempre pluriennali, tali da consentire all'interno del serbatoio idrogeologico la completa riomogeneizzazione del "segnale" idrochimico, ovvero del rapporto isotopico dell'ossigeno nello specifico caso.

Pertanto una prima indicazione significativa derivante dall'esame del rapporto isotopico dell'ossigeno è la conferma (come già valutato sulla base della relazione locale $\delta^2\text{H} / \delta^{18}\text{O}$) della rilevanza o predominanza nell'ambito delle sorgenti campionate, di circuiti di alimentazione brevi e superficiali con tempo di residenza di ordine anche inferiore all'anno idrologico, ed eventualmente con significativi rimescolamenti di acque di infiltrazione locale in prossimità della zona di risorgenza.

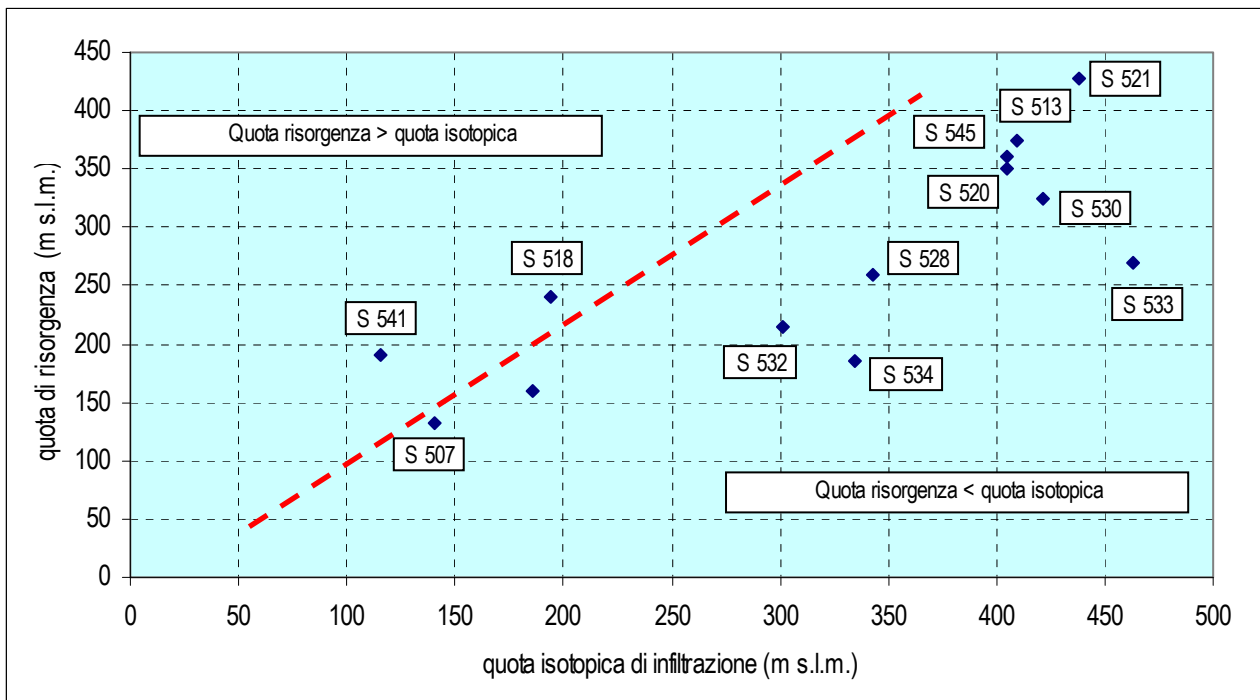


Figura 20 - Relazione tra quota isotopica di infiltrazione e quota altimetrica di risorgenza. La linea tratteggiata rossa separa i due campi.

Nel caso specifico la condizione di maggiore differenza positiva tra quota di ricarica e quota di risorgenza è indicativa di un maggiore sviluppo dei circuiti di alimentazione e pertanto, orientativamente, di maggiore profondità dello stesso per lo schema idrogeologico di zonalità verticale, (settore destro nel diagramma di Figura 20), ma non è possibile, nell'ambito di circuiti idrogeologici fortemente influenzati dall'input stagionale, stabilire una corrispondenza tra quota isotopica e quota effettiva di ricarica sulla base di un unico campionamento.

5.3 Interpretazione degli elementi geologico - strutturali e ricostruzione del modello idrogeologico generale

5.3.1 Quadro delle strutture tettoniche di rilevanza per la circolazione sotterranea

Le strutture di tipo fragile oppure duttile - fragile ricoprono un ruolo importante nella regolazione della circolazione idrica sotterranea nel contesto in esame, dando luogo a zone di taglio lungo le quali si possono instaurare flussi idrici di una certa consistenza.

L'analisi della carta di progetto, delle foto aeree, degli elaborati disponibili in bibliografia (cartografia CARG in scala 1:25.000 Foglio Cicagna e 1:50.000 Bargagli, carta geolitologica del Piano di Bacino Ambito 15) e la successiva verifica in sito ha permesso di individuare i seguenti sistemi di faglie principali:

- Un sistema caratterizzato da faglie con andamento NW - SE coincidente con l'andamento regionale;
- Sistemi di faglie minori che intersecano il precedente con andamento compreso tra N 30 - 60 E;
- Un sistema locale caratterizzato da strutture orientate E - W.

Il sistema NW - SE è caratterizzato da faglie principali coincidenti con l'orientazione dei fondovalle principali. Sul versante Nord dell'area di indagine tale andamento è individuabile nella stessa Val Fontanabuona e nell'incisione del rio Gazza, la cui faglia continuerebbe sul versante in sinistra del Liteglia a SE dell'abitato di Garbarini. Sul versante Sud l'andamento NW - SE è ben evidenziato dalla valle del Torrente Foggia e da una serie di incisioni minori tutte circa parallele tra loro ed ubicate presso le località Castiglione, Casalino e Rocche. Anche l'andamento dei sovrascorrimenti tra le differenti unità tettoniche (Antola, Portello e Gottero) che immerge ad alto e medio angolo verso SW è, in una visione complessiva, circa coincidente con il sistema principale NW - SE.

I sistemi di faglie minori che, con direzione NE - SW possono intersecare le strutture principali NW-SE, sono localizzati presso il monte Caravagli nel settore a Sud del tracciato, mentre a Nord si osserva una faglia con questo andamento in corrispondenza della testata del torrente Liteglia.

Il tracciato delle gallerie viene anche interessato da ulteriori strutture con andamento E - W; a Sud di Arbocò tale sistema coincide con un tratto di torrente Foggia prima che questo pieghi nella prevalente direzione NW - SE in allineamento con il rio del Gallo.

Un analogo allineamento E - W è individuabile circa in corrispondenza del Monte Fascia.

5.3.2 Carsismo

Nel corso delle indagini sul territorio è stata prestata una particolare attenzione alla eventuale presenza di sviluppo di fenomeni carsici per individuare eventuali condotti con circolazioni idriche significative.

I rilievi sono stati concentrati sui corsi d'acqua allineati con alcune grotte esistenti (Figura 21). la cui posizione era nota dal censimento regionale delle grotte. Dai riscontri sul terreno non sono emerse tuttavia evidenze in superficie del fenomeno; neppure i sondaggi eseguiti hanno riscontrato indicazioni significative in tal senso.

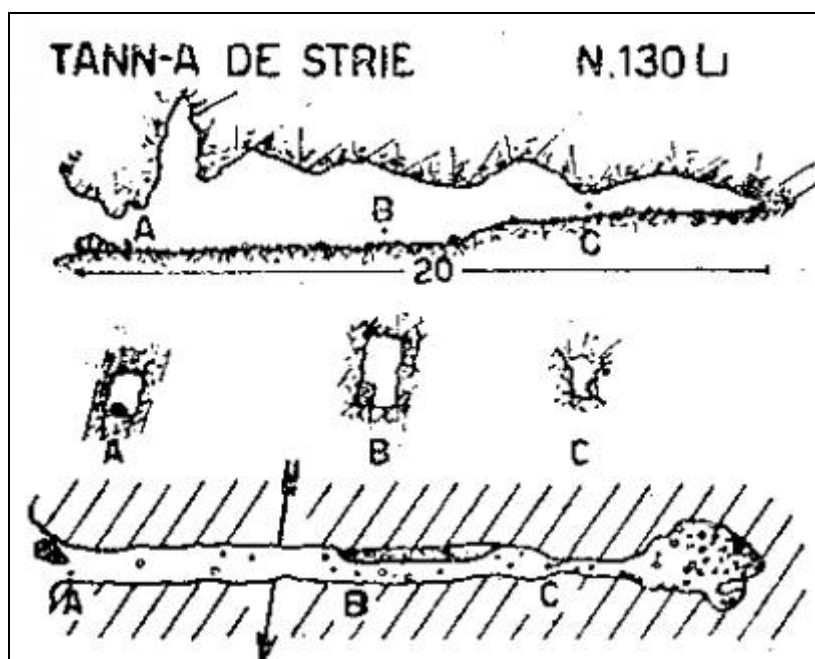


Figura 21 - Rilievo schematizzato della “Grotta delle streghe” (tratto da: www.openspeleo.org) entro la formazione dei calcari del Monte Antola presso Foggia (Rapallo).

Non si può tuttavia escludere la possibilità che la permeabilità per fratturazione venga incrementata da fenomeni chimico dissolutivi.

5.3.3 Correlazione tra strutture fragili, localizzazione e tipologia delle sorgenti

Le indagini idrogeologiche, come accennato nel paragrafo 3.1.1 hanno interessato una fascia di territorio estesa indicativamente per 2 km a cavallo del tracciato in progetto; all'interno del territorio indagato sono stati individuati dei settori distinti in base alla collocazione geografica, al contesto idrogeologico interessato ed in relazione alle problematiche di interferenza con il tracciato.

I rilievi in sito sono stati eseguiti tra i mesi di agosto e settembre 2011, periodo particolarmente significativo per le risorse idriche sia in relazione alle condizioni idrologiche (fase di esaurimento delle falde accentuata dalla pressoché totale assenza di precipitazioni) che alle maggiori necessità per gli usi irrigui e domestici.

L'ubicazione delle sorgenti in sovrapposizione alla cartografia geologica di progetto è riportata negli elaborati IDR 0002 e IDR 003.

Di seguito vengono pertanto descritte le principali considerazioni idrogeologiche emerse in ogni settore considerato a valle delle ricerche e delle indagini sperimentali effettuate.

- Area Costiglione - Casalino (S.Maria del Campo - Rapallo)

La zona, interessata dallo scavo della galleria Caravaggio, è caratterizzata da una certa urbanizzazione concentrata soprattutto lungo le vie Sotto la Croce, Savagna e Salita S.Giovanni. Parte dei versanti intorno agli insediamenti è coltivata e sistemata con i tipici terrazzamenti; alle quote appena più alte della fascia antropizzata si estendono invece boschi fino alla sommità dei rilievi.

Le abitazioni sono tutte servite dall'acquedotto, l'utilizzo delle sorgenti private è prevalente irriguo e solo subordinatamente domestico. Non esistono fonti di importanza particolarmente rilevante oppure adibite ad utilizzo idropotabile.

Dal punto di vista prettamente idrogeologico risulta evidente come tutte le sorgenti siano localizzate in corrispondenza delle diverse incisioni del versante, il cui costante allineamento NW - SE coincide con uno degli allineamenti tettonici principali alla scala regionale.

Le incisioni, che in periodo di magra sono totalmente prive di deflussi superficiali vengono alimentate solamente da apporti di origine sotterranea, ossia raccolgono un minimo di contributo dalla circolazione idrica che avviene entro linee preferenziali di deflusso coincidenti con l'andamento strutturale suddetto. L'emergenza idrica generalmente può avvenire per soglia di permeabilità determinata dalla presenza di livelli più fini argillitici comunemente presenti, come alternanze litologiche, entro i flysh del Monte Antola.

Delle 13 sorgenti censite nella zona la S 501, la S 502, la S 505 e la S 506 sono risultate completamente asciutte. Le altre sono sorgenti perenni con portate molto basse comprese tra 0.01 l/s e 0.1 l/s. S 502 e S 506

sono inutilizzate. La S 501 è una vecchissima captazione e la vicinanza con la galleria esistente “Giovanni Maggio” dell’Autostrada A12 potrebbe averne causato, in passato, anche un parziale drenaggio dei flussi.

La sorgente più importante dal punto di vista “socio - economico” risulta la S 500 che alimenta, per uso irriguo e domestico, un’abitazione allacciata solo recentemente all’acquedotto. Le altre captazioni vengono utilizzate quasi esclusivamente per scopi irrigui. Le opere di presa sono tutte caratterizzate da notevole precarietà (Foto 3) essendo spesso costituite solo da tubazioni in attingimento diretto dagli scarsi deflussi che scorrono nelle incisioni.

Come osservato più in generale nel paragrafo 5.2.2, dal punto di vista idrogeochimico le acque delle sorgenti indagate nell’area Costiglione evidenziano un incremento della mineralizzazione lungo una linea di flusso probabilmente coincidente con le incisioni morfologiche. Le sorgenti che si trovano a quote altimetriche più basse (S 507 in Foto 4, 508 e 509) sono caratterizzate da un maggior grado di mineralizzazione dovuto a tempi di residenza nell’acquifero più lunghi e quindi più caratteristici di circolazione profonda rispetto alle altre più alte.

Considerato il periodo di magra accentuata è stata prestata una particolare attenzione anche ai deflussi di base presenti nei corsi d’acqua al fine di ottenere una stima quantitativa delle portate presenti di origine sotterranea. Gli unici corsi d’acqua con deflussi sono risultati il rio Tangon ed il fosso Costiglione, entrambi comunque caratterizzati da portate molto basse dell’ordine di 0.1 - 0.2 l/s (Foto 5).



Foto 3 - Esempificazioni della precarietà delle presa in alveo.



Foto 4 - Punto di emergenza della sorgente S 507 in corrispondenza di un'incisione.



Foto 5 - Rio Costiglione caratterizzato da deflusso molto ridotto.

- Area Arboccò

La zona indagata comprende l'area presso l'abitato di Arboccò. Le potenziali problematiche di interferenza potranno derivare dallo scavo del tratto verso l'imbocco Nord della galleria Caravaggio e da quello presso l'imbocco Sud della galleria Val Fontanabuona.

Il Torrente Foggia a monte del paese di S.Andrea si biforca in due rami, in destra si individua la valle di Arboccò ed in sinistra quella di Chignero solcata dall'omonimo rio. Il fondovalle principale di Arboccò è percorso per un tratto dalla parte più alta del Torrente Foggia che poi si ramifica ulteriormente con incisioni minori, più ripide, che arrivano alla sommità del versante (rio Serra e rio del Gallo). Il rilevato autostradale che unisce le gallerie Caravaggio e Val Fontanabuona interesserà sia il rio del Gallo che il rio Serra.

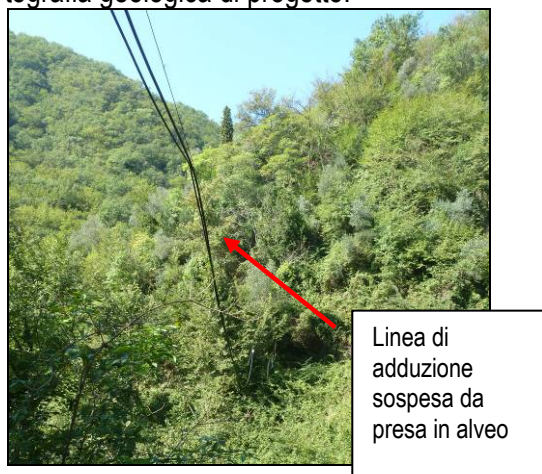
Il paese di Arboccò si estende essenzialmente lungo l'unica strada di accesso; ad eccezione di un'area abbastanza ristretta adiacente gli edifici, il versante è costituito da bosco incolto. Al di sotto della vegetazione ormai di alto fusto è tuttavia ancora facile osservare estesi terrazzamenti ormai inutilizzati da decenni.

Arboccò è da anni servito dall'acquedotto; nelle immediate vicinanze non esistono sorgenti storiche oppure fontanelle pubbliche di importanza rilevante per utilizzo idropotabile oppure domestico. Un tempo per l'approvvigionamento venivano sfruttate anche le più piccole quantità derivabili dalle risorgive presenti lungo le incisioni principali. Con il progressivo abbandono delle abitazioni isolate sui versanti, delle superfici coltivate e con la concentrazione dei residenti unicamente nel paese di Arboccò, tutte le captazioni un tempo presenti sui versanti sono state abbandonate a favore del più agevole, abbondante e qualitativamente sicuro approvvigionamento acquedottistico. Rimangono ancora alcune tracce di linee di approvvigionamento privato (Foto 6), molto precarie in quanto realizzate da tubazioni in PEAD di piccolo diametro appoggiate direttamente sul terreno che captavano direttamente, senza particolari sistemi di filtraggio, dalle incisioni principali. Al momento dei sopralluoghi sono stati osservati solo relitti di opere di captazione tutte dismesse da tempo.

Non disponendo di indicazioni particolari da parte degli abitanti del posto, è stata eseguita una ricognizione sul territorio in corrispondenza delle incisioni morfologiche al fine di individuare la presenza di deflussi riconducibili

alla presenza di emergenze di acque di falda. Nell'area immediatamente ad Est di Arbocò tra il rio Gallo ed il rio Serra sono state individuate delle risorgive unicamente in corrispondenza delle incisioni.

La sorgente S 538 forma una "polla" in corrispondenza del rio del Gallo (Foto 7 e Foto 8). Proseguendo più a monte il rio è asciutto quindi il deflusso di base viene assicurato, almeno in condizioni di magra, solamente da questa sorgente. La venuta idrica è presumibilmente originata per soglia di permeabilità. Una sorgente molto simile come modalità di affioramento è la S 542 individuata in un affluente del rio Serra che, almeno nel suo tratto prossimo alla confluenza nel Serra, presenta orientamento circa parallelo a quello del rio del Gallo. Entrambe queste incisioni hanno orientazione E - W in apparente accordo con il sistema di faglie indicato nella cartografia geologica di progetto.



Linea di adduzione sospesa da presa in alveo



Foto 6 - Linea di adduzione da presa sul rio del Gallo (S 538) in attraversamento sospeso sull'incisione del rio Serra.

Foto 7 - Polla d'acqua formata dalla sorgente S 538 in corrispondenza del rio del Gallo.

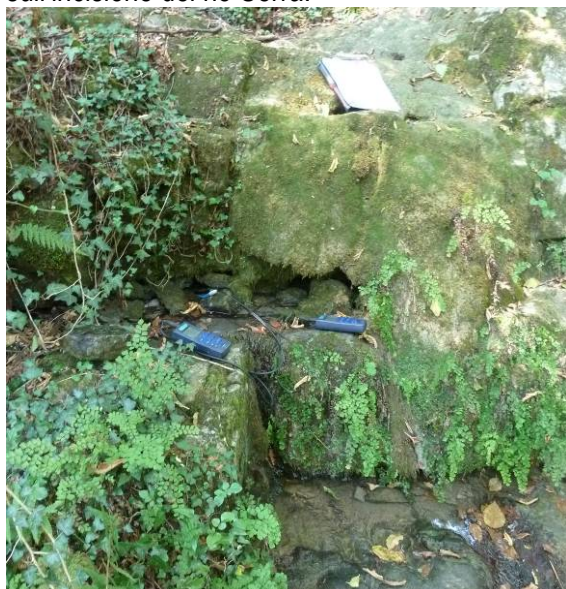


Foto 8 - Punto di emergenza della sorgente S 538 a lato della polla.

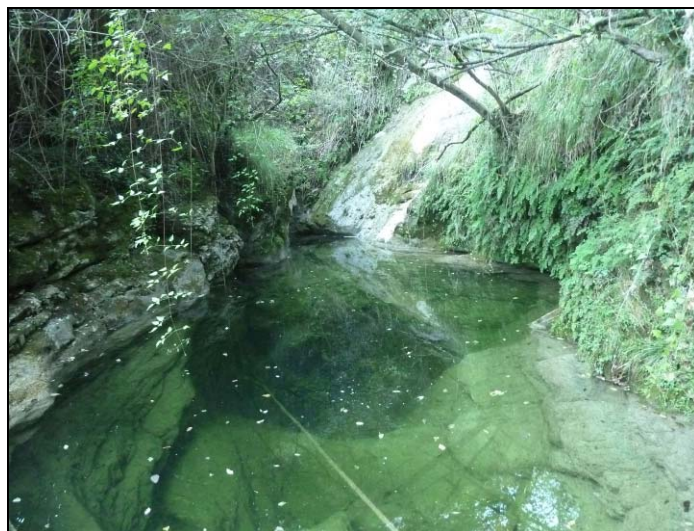


Foto 9 - Polla nel rio Serra formata dalla sorgente S 541 entro forme di erosione tipo "marmitte dei giganti"

La portata delle sorgenti S 538 e S 542 è confrontabile e relativamente bassa (0.05 - 0.06 l/s) il chimismo non evidenzia particolari differenziazioni da quello riscontrato sulla maggior parte delle captazioni controllate.

Lungo il rio Serra è stata osservata la presenza di deflussi relativamente più abbondanti rispetto ai quantitativi presenti sulle altre incisioni dell'area. E' stata eseguita infatti una misura presso l'attraversamento che più o meno coincide con l'imbocco Sud della galleria Val Fontanabuona e sono stati misurati 0.7 l/s. Tale apporto proviene tutto dall'alimentazione sotterranea e, oltre che alla suddetta S 542, deriva principalmente dagli apporti delle sorgenti S 540 e S 541. Per tali sorgenti non si è osservata una emergenza idrica puntuale, come quelle precedentemente descritte per i punti S 538 e S 542, ma affioramenti diffusi per un certo tratto lineare con formazione di polle profonde anche alcuni metri entro forme di erosione del rio (Foto 9); la portata del rio Serra si incrementa quindi, in questo tratto, più gradualmente.

Il chimismo delle due venute idriche, S 540 ed S 541, risulta lievemente differente; a monte, sulla S 541, si evidenzia un lieve calo del grado di mineralizzazione (conducibilità 290 uS/cm); sulla S 540 invece, la conducibilità si incrementa (340 uS/cm). Va inoltre osservato che le acque delle due sorgenti non si miscelano in superficie; infatti i deflussi di S 541 che ammontano a circa 0.3 l/s scompaiono nella roccia prima di raggiungere la zona di affioramento della S 540 la cui portata è risultata essere uguale a 0.35 l/s; circa 200 m più a valle è stata eseguita un'altra misura di portata che evidenzia una portata complessiva di circa 0.7 l/s che parrebbe essere la somma delle due sorgenti precedenti più un lieve incremento. A conferma dell'avvenuto mescolamento delle acque delle due venute il valore della conducibilità è risultato essere circa intermedio rispetto alle misure delle singole sorgenti (320 uS/cm - Figura 22).

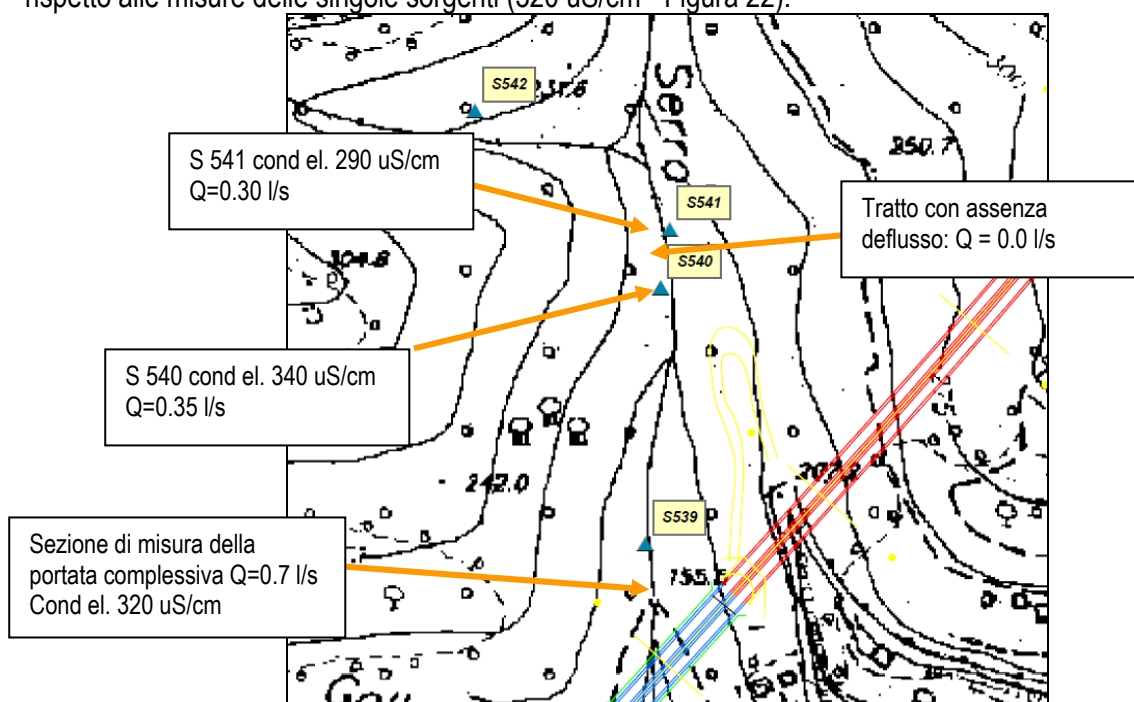


Figura 22 - Schema delle venute idriche in corrispondenza del rio Serra presso Arboccò osservato in periodo di magra (agosto settembre 2011).

Un'ulteriore sorgente (S 539) forma una piccola polla in sinistra all'incisione. La rilevanza in termini di contributo idrico di questa risorgiva appare tuttavia decisamente minore.

L'individuazione di zone di risorgiva lungo lo sviluppo del rio Serra e le modalità di affioramento delle stesse venute sono indicative della presenza di una circolazione idrica significativa anche in considerazione degli

ordini di grandezza dei valori di portata che caratterizzano il contesto di indagine. Tale circolazione si allinea in direzione NNW - SSE con orientazione parallela all'incisione del rio Chignero; tale andamento risulta complessivamente non molto diverso dall'andamento regionale NW SE.

- Area Greppi (destra Torrente Foggia)

Il settore considerato comprende il versante destro del Torrente Foggia nel tratto tra la confluenza del rio del Gallo ed il limite orientale dell'area di indagine ed è caratterizzato da una serie di incisioni la cui orientazione è NE - SW.

Il versante, probabilmente per la sua esposizione a Nord, non è mai stato abitato, neanche in passato, ed è pertanto completamente ricoperto da aree boscate. Sono rari i sentieri che vengono frequentati quasi esclusivamente in occasione del periodo di caccia.

Analogamente a quanto finora descritto per le altre aree, le 5 sorgenti individuate sono tutte localizzate in corrispondenza delle incisioni morfologiche.

Mentre le sorgenti S 543 e 544 sono delle venute a carattere stagionale, sprovviste di opera di presa ed attualmente non utilizzate, le sorgenti S 530, 531 e 532 costituiscono una rilevante risorsa nel panorama idrogeologico indagato.

Le sorgenti S 530 - 531 (anche denominate Bisson) sono due venute idriche distinte affioranti a quote diverse sulla stessa incisione ma di caratteristiche idrogeochimiche identiche. Prima che l'abitato di S. Andrea di Foggia venisse collegato all'acquedotto di Rapallo, queste sorgenti venivano utilizzate per l'approvvigionamento idropotabile della frazione. Una tubazione in acciaio zincato è ancora attiva e percorre tutto il fondo dell'incisione risalendo per gravità fino a S. Andrea. Attualmente viene captata solo la S 530 che rifornisce un piccolo consorzio di tre abitazioni che sfruttano l'acqua a scopo irriguo; i flussi della S 531 alimentano il fosso altrimenti completamente asciutto in periodo di magra.

La sorgente S 532 veniva anch'essa captata per integrare il fabbisogno di S. Andrea ma attualmente non viene più utilizzata.

La portata complessiva delle sorgenti S 530 - 531 ammonta a circa 0.80 l/s (0.5 l/s la S 530 e circa 0.3 l/s S 531); alla luce delle valutazioni eseguite nel contesto locale e considerando anche il periodo di magra, si tratta di un valore considerevole. Secondo quanto riportato nella cartografia geologica di progetto esiste un locale sistema di faglie ad orientamento circa NE - SW coincidente con l'andamento delle incisioni locali.

L'entità dei deflussi riscontrata potrebbe tuttavia far pensare ad una circolazione anche più importante, magari correlata a lineazioni strutturali concordi con l'andamento regionale. Dal punto di vista morfologico è abbastanza singolare la presenza di una contropendenza, ben evidenziata dalla isoipse della cartografia CTR e comunque intuibile sul campo, in corrispondenza del versante in destra appena soprastante la zona di risorgiva (Foto 10). La particolarità morfologica potrebbe essere collegata alla presenza di qualche struttura tettonica anche di importanza rilevante.

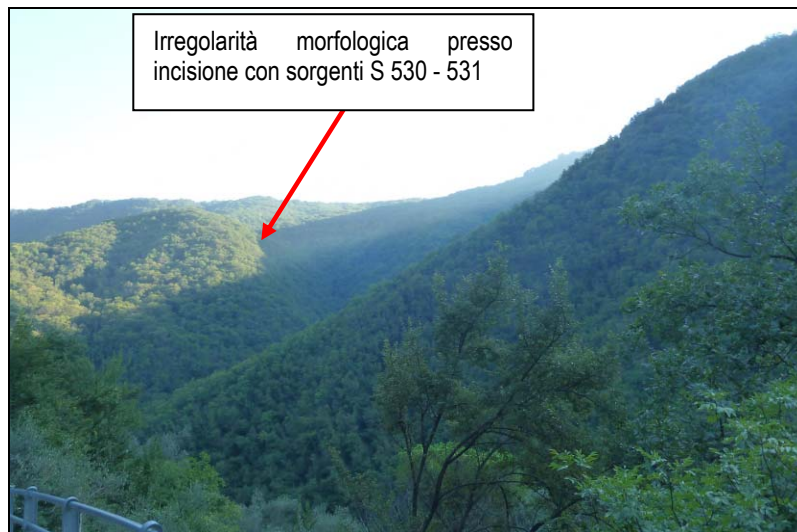


Foto 10 - Versante in destra Torrente Foggia incisione dove si trovano le sorgenti S 530 - 531 e morfologia caratterizzata da una contropendenza in cresta ai rilievi.

In tal senso, in attesa di approfondimenti geostrutturali, si potrebbe ipotizzare la presenza di una faglia con il consueto andamento regionale (NW - SE) responsabile della contropendenza e che interseca il sistema locale ad andamento NE - SW. Un ulteriore sviluppo di tale ipotesi potrebbe prevedere l'individuazione di una struttura più importante che interesserebbe anche il versante opposto rivolto verso Sud - Est a partire dall'incisione del rio Savagna. In effetti sulla carta geolitologica del Piano di Bacino in Ambito 15 viene proprio riportata una faglia presunta in corrispondenza del rio Savagna (Figura 23). Non è pertanto inverosimile l'ipotesi che tale struttura prosegua verso Nord Ovest, ripercorrendo in parte l'andamento di una faglia individuata nella carta di progetto ed andando a ricollegarsi con le evidenze morfologiche citate prima (Foto 10).

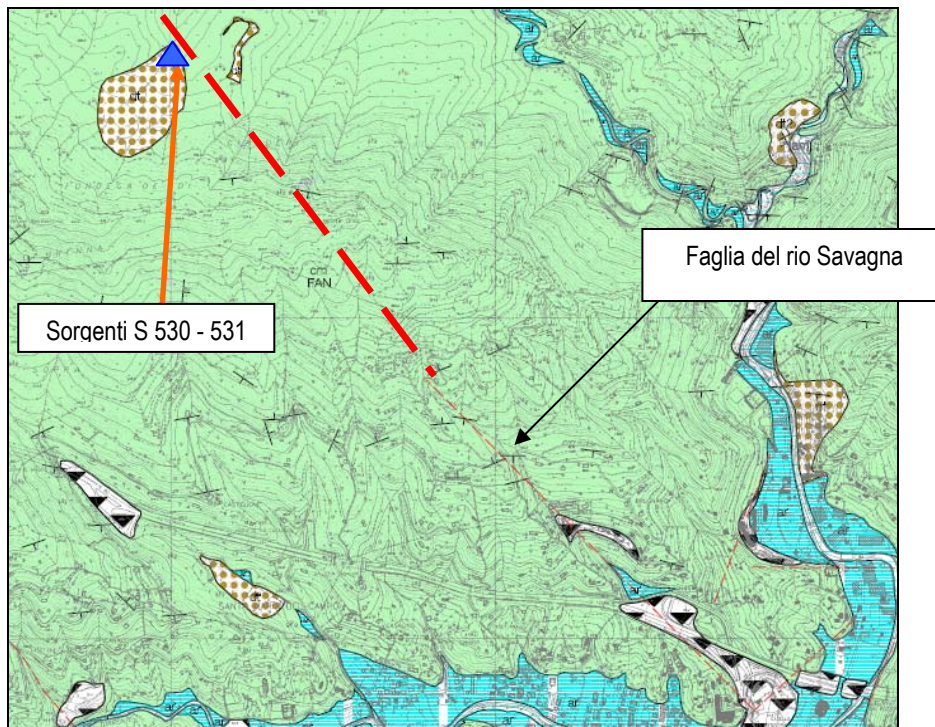


Figura 23 - Stralcio della carta geolitologica del Piano di Bacino in Ambito 15 con ipotesi di proseguimento della faglia del rio Savagna.

La sorgente S 532 affiora in corrispondenza di una incisione orientata anch'essa NE- SW; ha composizione chimica quasi identica alle sorgenti S 530-531 ed è caratterizzata da una portata relativamente elevata (0.5 l/s) in relazione al contesto locale.

Ad eccezione dei fossi con le sorgenti S 530 - 532 non è stato rilevato alcun deflusso in alveo nelle incisioni che caratterizzano il versante destro del Torrente Foggia nel settore indagato.

- Area Lupara - Vescina - Salto Chiesa (versante Recco - Avegno)

Le indagini sulle sorgenti e le loro possibilità di interferenza con lo scavo della galleria Caravaggio sono state estese anche al versante rivolto verso i comuni di Avegno e Recco, sebbene le distanze dal tracciato siano abbastanza elevate e sebbene il bacino idrogeologico possa essere distinto se si considera che bacino idrogeologico ed idrografico siano circa coincidenti.

L'area è caratterizzata dalla presenza di una viabilità locale a mezza costa lungo la quale si trovano alcune abitazioni oppure gruppi di case isolati. Tutte le utenze sono allacciate all'acquedotto; sono state censite 7 captazioni in totale, tutte private, di cui due (S 529 e S 545) sono al servizio di piccoli consorzi privati per utilizzo essenzialmente irriguo.

Le sorgenti sono alimentate da una circolazione che avviene in strutture a direzione E - W allineate alle incisioni morfologiche. Tali strutture, come evidenziato nella cartografia di progetto arrivano, in alcuni casi, ad interessare il tracciato della galleria.

Delle sorgenti considerate la più importante risulta la S 545 caratterizzata da valori di portata maggiori di 0.1 l/s. Valori complessivamente confrontabili caratterizzano la S 529,. Le altre sono caratterizzate da potenzialità più ridotte (circa 0.01 l/s) e da condizioni molto precarie delle opere di presa.

- Area Chignero

In analogia con gli altri centri abitati di Arbocò e S. Andrea di Foggia anche la zona di Chignero è caratterizzata, salvo rare eccezioni, da urbanizzazione concentrata attorno al nucleo storico del paese, mentre la zona circostante è caratterizzata, come altrove, da versanti prevalentemente boscosi.

L'abitato di Chignero è raggiunto dall'acquedotto che per mezzo di impianti di rilancio riempie serbatoi posti nella zona più alta dell'abitato in maniera da provvedere alla distribuzione per gravità. Non vi sono abitazioni non collegate all'acquedotto.

Sono state censite 10 sorgenti nell'area di cui 8 private e 2 pubbliche. Una di queste (S 534) viene attualmente utilizzata dall'acquedotto per integrarne gli apporti dal basso, l'altra (S 520) non costituisce più una risorsa dell'acquedotto e viene quindi utilizzata da privati per uso irriguo.

La risorsa più importante è rappresentata dalla S 534 sia per l'elevato valore socio economico derivante dallo sfruttamento idropotabile sia per la notevole potenzialità della risorsa nel contesto locale. La portata determinata circa a metà settembre 2011 è risultata infatti prossima ad 1 l/s (0.92 l/s).

La sorgente, come tutte le principali risorse individuate entro la formazione del Monte Antola, è localizzata in corrispondenza di un'incisione (rio Chignero - Foto 11). La captazione può essere alimentata da una circolazione preferenziale lungo un allineamento circa NNW - SSE che segue l'andamento dell'incisione; non possono tuttavia essere esclusi apporti dal versante in sinistra, dove è riportata la presenza di una faglia locale con andamento circa parallelo alle locali incisioni e, soprattutto, la presenza di un'estesa coltre di materiale eterogeneo (roccia molto fratturata oppure alterata, limi sabbiosi con ghiaie, scaglie calcaree ecc.) che potrebbe essere sede di acquifero.



Foto 11 - Punto di emergenza della sorgente S 534 in corrispondenza del rio Chignero.



Foto 12 - Rio Chignero.

Un'alimentazione in direzione Nord - Sud verrebbe suggerita dalle analisi idrogeochimiche. La composizione delle acque della sorgente S 534 risulterebbe infatti più simile a quella osservata in corrispondenza della S

521 che della S 520, la cui emergenza avviene presso l'abitato di Chignero. Inoltre la estesa copertura detritica (circa 30 m) rilevata dal sondaggio FB7 non è risultata acquifera, almeno nel periodo di magra in cui sono state eseguite le indagini. Il livello piezometrico nel sondaggio è stato osservato infatti a profondità maggiori di 50 m dal piano campagna.

Un'alimentazione proveniente da monte in corrispondenza dell'allineamento NNW - SSE porterebbe a rendere possibile l'interferenza tra lo scavo della galleria ed il sistema di circolazione idrica sotterranea determinando un maggior rischio di impatto per la captazione.

Sul versante su cui sorge l'abitato di Chignero si concentra un certo numero di captazioni private le cui potenzialità sono complessivamente abbastanza ridotte. Diversamente da quanto osservato nelle altre zone descritte, l'affioramento delle sorgenti non avviene esclusivamente in corrispondenza delle incisioni ma, ad eccezione della S 520, risulta più diffuso sul versante. A tale proposito è probabile un ruolo di regolazione dei deflussi idrici da parte della spessa coltre detritica e delle strutture franate che disperdono le acque rendendo più casuale il punto di emergenza delle acque.

Delle sorgenti censite sono risultate asciutte la S 524, S 523, S 536 ed S 537. La S 520, sebbene un tempo sfruttata dall'acquedotto, è caratterizzata da portata abbastanza ridotta (0.04 l/s); un po' più rilevante la potenzialità della S 535 (0.05 l/s) soprattutto perché si tratta di una sorgente non captata la cui emergenza si perde in vari punti sul versante e non è stato possibile raccogliere tutte le venute per la misura. Sicuramente con la realizzazione di una efficace opera di presa potrà essere razionalizzata la potenzialità della sorgente. In tal senso esiste la volontà di sfruttamento della risorsa a servizio di un agriturismo in progetto.

Le sorgenti S 521 - 522 non sono rilevanti per la loro potenzialità (la somma delle portate è inferiore a 0.1 l/s) ma per il fatto che permettono l'approvvigionamento irriguo e domestico di una abitazione. Le risorgive, situate entro incisioni morfologiche, captano la circolazione idrica che avviene lungo un allineamento che potrebbe facilmente essere interessato dallo scavo della galleria Val Fontanabuona.

L'area considerata non è caratterizzata dalla presenza di importanti flussi superficiali; sul rio Chignero presso la sorgente S 534 (Foto 12) è stata stimata una portata di circa 0.2 l/s. Tutte le incisioni situate sul versante dove sorge l'abitato di Chignero sono invece risultate completamente prive di acqua.

- Area Liteggia

Le indagini si sono concentrate nella parte alta del bacino del Torrente Liteggia che verrà interessato dallo scavo della galleria Val Fontanabuona e dalle relative opere previste allo sbocco.

Analogamente a quanto osservato sul versante rapallese, anche verso la Val Fontanabuona l'urbanizzazione è concentrata attorno ai principali nuclei storici abitati, mentre i versanti, ormai spopolati, sono completamente ricoperti di vegetazione boschiva.

Tutti i centri abitati sono raggiunti dall'acquedotto e non vi sono abitazioni isolate non servite.

Presso l'abitato di Liteggia sono state censite 5 sorgenti, due private e tre a servizio dell'acquedotto comunale di Tribogna e della Colonia Arnaldi. Delle tre sorgenti pubbliche S 513, 514 e 515 la più importante è la S 513, la cui portata viene equamente ripartita tra l'acquedotto comunale e la Colonia Arnaldi.

Al momento dell'esecuzione dei sopralluoghi (22/08/2011) le sorgenti S 514 e 515, le cui opere di presa di presa sono situate in corrispondenza di incisioni del versante, sono risultate completamente asciutte al pari degli adiacenti fossi. Al contrario, la sorgente S 513, situata sul versante tra due incisioni, era caratterizzata da una portata di 0.7 l/s, valore che risulta considerevole per il contesto idrogeologico di indagine ed il periodo della misura.

Anche le sorgenti S 516 ed S 517 sono risultate asciutte. E' pertanto evidente che le captazioni presenti nell'area sono alimentate da circuiti molto differenti.

L'area è caratterizzata dalla presenza di materiale franato che forma una estesa coltre detritica. La concentrazione di captazioni in una zona realmente limitata suggerisce che possa verificarsi una certa circolazione idrica entro la coltre eterogenea; tuttavia, anche per analogia con quanto osservato presso Chignero, non è affatto sicuro che tale coltre ospiti delle falde perenni e diffuse su tutta la sua estensione.

Si osserva inoltre anche che il detrito presente maschera il contatto tettonico tra la formazione del Monte Antola in sovrapposizione alle argilliti di Monte Lavagnola ed alle Ardesie di Monte Verzi. La presenza della struttura tettonica, che mette a contatto due litotipi con grado di permeabilità differente, costituisce una soglia di permeabilità lungo la quale si possono verificare emergenze idriche in analogia a quanto riportato nello schema di Figura 24.

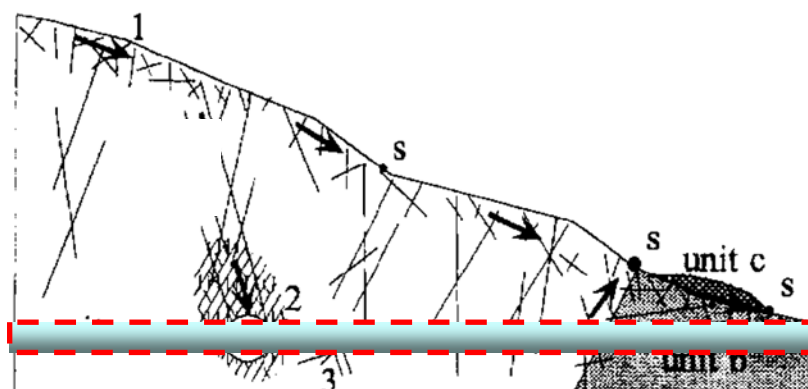


Figura 24 - Esempificazione delle modalità di deflusso in corrispondenza del contatto tettonico tra formazione di Monte Antola (parte chiara) ed argilliti - ardesie (parte più scura). In tratteggiato rosso il tracciato schematizzato della galleria in progetto.

Alla luce di queste considerazioni si può ipotizzare che le sorgenti stagionali siano verosimilmente alimentate da una circolazione superficiale che ha prevalentemente luogo, stagionalmente, entro la coltre detritica; mentre la sorgente S 513 viene alimentata anche da circuiti più importanti, legati ad una circolazione idrica in corrispondenza del contatto tettonico.

Le evidenti affinità idrogeochimiche tra la sorgente S 513 e la sorgente S 518, posizionata su un affluente del tratto iniziale del rio Liteglia proprio al contatto Monte Antola - argilliti di Lavagnola avvalorano l'ipotesi di una circolazione relativamente continua in corrispondenza del limite strutturale..

- Area Lagonero - Torrente Litteglia

L'area di fondovalle del Torrente Litteglia verrà interessata dalle opere in rilevato allo sbocco della galleria Val Fontanabuona; la stessa area è però anche caratterizzata dalla presenza di importanti opere di presa degli acquedotti di Tribogna (S 512) e Cicagna (S 519).

Entrambe le opere di presa comunali sono di fatto delle derivazioni dal sub alveo del corso d'acqua. Soprattutto nel corso della stagione secca il torrente è privo di apporti superficiali ed il deflusso di base viene garantito esclusivamente dagli apporti di falda.

La captazione S 512 è situata alla confluenza di due rami principali, uno orientato circa NE - SW ed allineato con l'andamento del tratto più a valle del Litteglia, l'altro orientato NW - SE secondo l'andamento regionale più consueto. La captazione è situata proprio in corrispondenza della confluenza tra i due rami dove il fondovalle si allarga e l'accumulo di materiale sciolto permette un certo effetto di invaso e di filtrazione naturale dei flussi (Foto 13) qualche decina di m più a valle un bottino di presa raccoglie i flussi che vengono quindi adottati ad un impianto di rilancio verso le utenze del Comune di Tribogna.



Foto 13 - Punto di confluenza dei due rami del Torrente Litteglia in cui vengono captate le acque che fluiscono nel sub alveo.

Considerato che l'attuale zona di presa verrà sepolta dalle opere del rilevato di sbocco della galleria è stato necessario svolgere un rilievo dettagliato della zona al fine di comprendere le modalità di alimentazione del corso d'acqua e prevedere così delle opportune opere di salvaguardia della captazione idrica.

I due rami del corso d'acqua sono stati percorsi per un certo tratto al fine di accertare punti e modalità degli apporti di falda. Sul ramo di destra è stato individuato un settore di ricarica localizzato poco sopra la quota massima delle opere di rilevato. Tale settore, che coincide con il limite tettonico tra formazione di Monte Antola e Argilliti di Lavagnola, si estende linearmente lungo il corso d'acqua e solo in un punto è risultata evidente la presenza di una sorgente puntuale (S 518 - Foto 14) per altro caratterizzata da portata modesta (0.06 l/s). Considerata la vicinanza dello scavo che interesserà il contatto tettonico sarà molto probabile il drenaggio della risorsa da parte della galleria.

L'alimentazione del ramo di sinistra proviene invece da quote decisamente superiori a quelle a cui arriva l'intervento di riempimento e si colloca nella zona a valle del gruppo di sorgenti S 513 - 515 sempre in corrispondenza del suddetto limite tettonico.

La captazione S 519 deriva i flussi di sub alveo in corrispondenza di una briglia (Foto 15) raccogliendo gli apporti del flusso di base derivante da versanti non più interessati dalle opere in galleria. La captazione dovrà comunque essere salvaguardata dalle problematiche di interferenza accidentale delle lavorazioni con i deflussi del Torrente Liteglia.

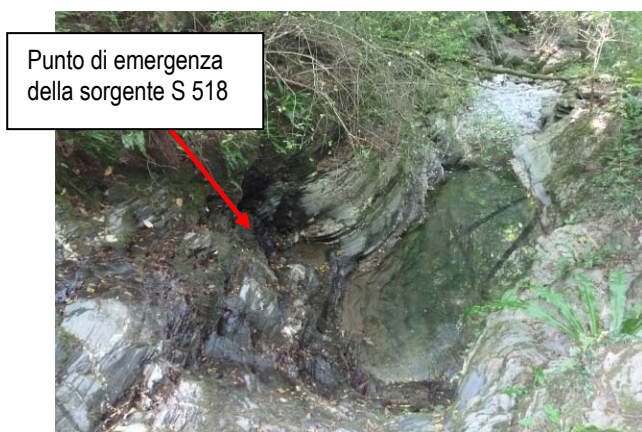


Foto 14 - Punto di emergenza della sorgente S 518 in corrispondenza del ramo in destra del Torrente Liteglia.



Foto 15 - Presa in sub alveo dell'acquedotto di Cicagna (S 519).

In fase di aggiornamento ed integrazione del censimento (ottobre – novembre 2014), sono state anche ispezionate alcune sorgenti ubicate sul versante in destra alla valle del Liteglia presso le località Chichizola e Serre. In particolare sono state censite le sorgenti S546 e S547 dell'acquedotto comunale di Cicagna gestite da Idrotigullio. Tali captazioni integrano gli apporti della presa in subalveo (S519), la loro rilevanza nell'ambito dell'approvvigionamento idrico locale è tuttavia decisamente minore rispetto alla presa principale. Nell'area di Serra sono state anche censite anche alcune captazioni idriche private (S548 – S551) adibite ad utilizzo quasi esclusivamente irriguo e di complessiva limitata rilevanza socio – economica.

5.3.4 Dati piezometrici

Nella Tabella 16 vengono riportati tutti i dati piezometrici disponibili misurati in differenti periodi tra il 2011 ed il 2014. I piezometri, di tipo a tubo aperto, interessano principalmente l'area di imbocco Sud della galleria Caravaggio (lato Rapallo), l'area di Arbocò tra l'imbocco Nord della Caravaggio e quello Sud della galleria Fontanabuona e l'area sul Liteglia verso la Valfontanabuona.

Lungo il tracciato delle gallerie è disponibile il sondaggio profondo 150.50 m (FB7) entro la successione, dei Calcari del Monte Antola, mentre con il sondaggio orizzontale FB9quater da 350 m (rif. paragrafo 6.2) eseguito a partire dall'imbocco Nord della galleria Valfontanabuona, sono state indagate le principali variazioni del contesto litologico-strutturale interessato dallo scavo delle gallerie.

Nell'area di raccordo con l'esistente A12 il gruppo di piezometri SV1 - 5 evidenzia livelli di falda attestati attorno a 15 – 20 m dal piano campagna con circolazione idrica che avviene all'interno dei sistemi di fratture

dei calcari marnosi del Monte Antola. Tali piezometri sono rappresentativi della circolazione più superficiale di versante la cui direzione di deflusso converge verso l'asse di drenaggio preferenziale rappresentato dall'incisione del rio Tangon. Il piezometro SV7 è situato proprio in corrispondenza del fondovalle ed intercetta la circolazione di falda a quota più vicina al piano campagna (6 – 7 m).

Nell'area della finestra di Arbocò i piezometri FB3 e FB4, ubicati rispettivamente in destra ed in sinistra del rio del Gallo, intercettano falde di versante probabilmente collegate ad un asse drenante che coincide con la stessa incisione morfologica. Il piezometro FB6 sembra intercettare anch'esso una falda di versante a circa 25 m dal pc.

Differisce sensibilmente invece il piezometro FB5, realizzato vicino all'incisione del rio Serra ad una quota di 159 m s.l.m.. Nel corso della perforazione del sondaggio infatti a circa 25 m dal pc (quota 124 m s.l.m.) è stata riscontrata la presenza di una falda in pressione con risalita di acqua fino al piano campagna. E' presumibile che in corrispondenza dell'incisione del rio Serra vi sia un circuito idrico localizzato, non in contatto con l'acquifero interessato dalle perforazioni dei sondaggi vicini (FB3, FB4), che arrivano ad interessare anche quote inferiori a FB5. Il sondaggio FB6 e lo scavo in progetto della stessa galleria non si approfondiscono a quota tale da poter intercettare la falda in pressione riscontrata in FB5.

Il sondaggio FB7 è fuori asse di circa 200 m rispetto alla galleria. La falda è attestata a circa 60 m dal pc ed è in pressione in quanto il piezometro è filtrato nel tratto compreso tra 120 e 150 m di profondità. Il sondaggio evidenzia la presenza di orizzonti acquiferi in pressione anche alla profondità di scavo della galleria. Tuttavia, come emerge dall'analisi delle stratigrafie e degli elevati indici RQD valutati sulle carote estratte, non sono state riscontrate estese successioni di livelli fratturati tali da costituire importanti vie preferenziali di circolazione idrica.

Presso l'imbocco Nord della galleria Valfontanabuona il gruppo di piezometri FB9, 10, 11, 12 e 14 interessa l'area di fondovalle; i livelli piezometrici sono rappresentativi della circolazione che avviene in corrispondenza dell'asse di drenaggio preferenziale rappresentato dall'incisione del Torrente Liteglia. Il piezometro FB20 è situato in posizione altimetricamente più elevata ed è rappresentativo della falda di versante che alimenta l'incisione principale.

I piezometri FB18 e FB21 sono ubicati appena a valle dello sbocco del Liteglia nel fondovalle principale del Torrente Lavagna dove intercettano la falda di subalveo. Il piezometro FB18 intercetta ancora la circolazione idrica relativa al fondovalle del Liteglia.

Area	Codice	quota (m s.l.m.)	profondità (m)	Tratto filtrato (m)	Unità litologica	01/08/11	29/09/11	03/10/11	07/03/12	14/06/12	24/04/13	06/06/13	25/06/13	18/07/13	06/10/14	27/10/14
Viadotto Arboccò	FB3	181.36	45.00	3 - 45	FAN									26.75		
	FB4	150.50	40.00	3 - 40	FAN									10.75		
	FB5	159.01	40.00	3 - 40	FAN									saturo		
	FB6	207.00	55.00	3 - 55	FAN			24.35	24.00	25.16					23.95	23.70
galleria Font.	FB7	330.00	150.50	119 - 150	FAN		52.20	59.60	62.55	63.42					64.80	
Imbocco Nord Fontanabuona	FB9	202.00	40.00	3 - 40	AMV		6.05	6.07	5.20	14.15					6.05	5.40
	FB10	185.00	71.00	3 - 71	AMV	8.03	5.48	5.51								
	FB11	182.61	30.00	3 - 30	AMV							3.95		4.55	5.95	5.05
	FB12	185.84	30.00	3 - 30	SCM							18.73		21.10	nr	
	FB14	194.09	30.00	3 - 30	SCM						4.66	6.38		nr	nr	
	FB20	199.29	20.00	3 - 20	SCM						5.65	9.70		nr	nr	7.45
fondovalle Lavagna	FB17	118.00	35.00	3 - 35	All - SCM			8.60	8.24	8.70					nr	8.30
	FB18	122.14	35.00	3 - 35	SCM						5.51	6.02			nr	
	FB21	115.80	25.00	3 - 25	All - SCM						2.81	2.98				
Imbocco Sud Caravaggio	FB1	140.00	40.00	3 - 40	FAN			16.15	13.36	15.85					16.50	14.1
	SV1	114.80	35.00	3 - 35	FAN									15.05		
	SV2	108.00	35.00	3 - 35	FAN			17.45	18.38	18.88					19.10	
	SV3	109.60	35.00	3 - 35	FAN									24.80		
	SV4	110.00	40.00	3 - 40	FAN			21.30								
	SV5	125.00	40.00	3 - 40	FAN			18.70	13.92	20.02					25.10	
	SV6	76.17	35.00	3 - 35	FAN									19.45		
SV7	52.35	35.00	3 - 35	FAN								6.70	7.25			

Tabella 16 – Riepilogo dati piezometrici disponibili nel periodo 2011 – 2014.

5.4 Caratterizzazione complessiva dei circuiti di alimentazione di punti d'acqua potenzialmente interferenti con le opere in galleria

In un massiccio fratturato a bassa permeabilità, la circolazione sotterranea segue di norma un andamento parietale, in cui vi è una sostanziale coincidenza tra spartiacque sotterranei e superficiali, ovvero la congruenza tra bacini imbriferi principali e bacini idrogeologici.

Ancora a livello di schema complessivo, la circolazione in “falda di versante” avviene secondo una “zonazione idrogeologica verticale”, di cui si è fatto cenno in riferimento alla *stratificazione idrochimica delle acque*, da cui, a livello ancora di massima schematizzazione dei fenomeni, la possibilità di suddivisione tra:

- una circolazione corticale epidermica (“local” in Figura 25) nella fascia di decompressione delle fratture, di norma particolarmente attiva orientativamente nei primi 20-50 m dal piano campagna, con regime dei circuiti fortemente variabile in funzione della ricarica stagionale ma influenzata sostanzialmente anche delle precipitazioni brevi e intense;
- una circolazione più profonda (“intermediate” e “regional”), generalmente più lenta e con tempi di residenza sotterranei più elevati, scarsamente variabile o influenzata solo dai cicli di ricarica stagionali. Tale circolazione è più attiva nei settori tettonizzati, e prevalentemente nelle dislocazioni in regime trascorrente o distensivo, dove la fratturazione risulta maggiormente pervasiva in profondità.

La definizione per gruppi di sorgenti omogenei delle modalità di alimentazione, ovvero della zonazione verticale del circuito idrogeologico, è un elemento fondamentale per la valutazione del rischio di depauperamento connesso alla realizzazione delle opere in galleria, e costituisce pertanto un fattore di principale rilevanza nei metodi di valutazione basati su indici quantitativi in funzione delle variabili predisponenti l’impatto sulla risorsa (cfr. successivo punto 7).

Per tale motivo, si è proceduto, sulla scorta dei risultati delle indagini sperimentali effettuate, geologico-strutturali, di caratterizzazione idrochimica, chimico-isotopica, chimico-fisica e di portata, a valutare dove possibile le caratteristiche del circuito di alimentazione, in funzione del suddetto schema di zonazione verticale.

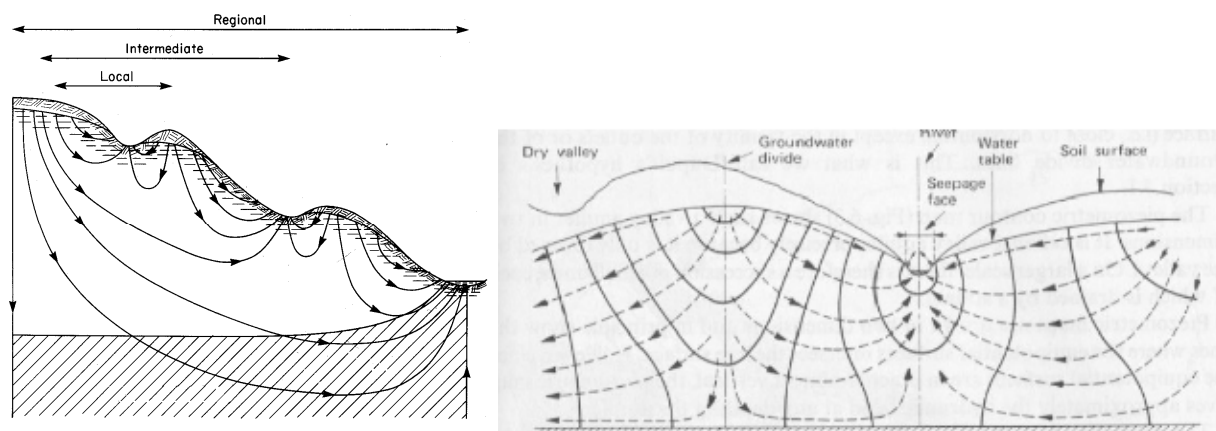


Figura 25 - Schema generale di circolazione idrica entro un complesso fratturato a bassa permeabilità.

Per le sorgenti censite si è cercato, dove tale valutazione è stata ritenuta adeguatamente supportata da elementi oggettivi, di definire la tipologia prevalente del circuito di alimentazione, sulla base dello schema semplificato di zonizzazione verticale, ovvero "locale" (superficiale), "intermedia", "profonda.

In particolare tale valutazione è stata effettuata sovrapponendo tutti gli elementi conoscitivi precedentemente acquisiti, derivanti dall'interpretazione congiunta dei dati idrochimici, chimico-isotopici, chimico-fisici di base geologico - strutturali.

5.4.1 Elementi indicativi di circolazione "locale" (superficiale)

- Composizione isotopica delle acque
quota isotopica di ricarica prossima alla quota di risorgenza.

- Parametri chimici.

Sulla base dei dati di chimismo delle acque, sono stati considerati indicativi di circuiti brevi e superficiali gli indici di una maturità idrochimica delle acque, nell'ambito della linea evolutiva da facies bicarbonato-calcica verso facies più tipicamente clorurato e solfato calciche e i relativi rapporti caratteristici tra specie ioniche.

- Capacità di immagazzinamento acquifero

Vengono considerate indicative di circuiti superficiali, acquiferi con portata estive (misure agosto - settembre 2011) molto basse, tali da evidenziare scarso immagazzinamento e capacità di regolazione. E' stato preso a riferimento di tale condizione il valore di $Q < 2$ - l/min per le unità prevalentemente flyshoidi oggetto di indagine.

- Parametri chimico-fisici

E' stata considerata indicativa di circuiti "giovani" ovvero con alimentazione da circuiti brevi e superficiali, la risorgenza di acque con bassa mineralizzazione. E' stato preso a riferimento di tale condizione, una conducibilità elettrica specifica delle acque inferiore al valore media - dev. Standard, corrispondente a $C < 340$ μ S/cm.

- Evidenze geologiche-morfologiche di circuiti superficiali rilevate in sito

Si tratta di osservazioni specifiche, riportate nel campo note del database, effettuate nel corso dei sopralluoghi di censimento e caratterizzazione delle sorgenti, quali in particolare: sorgenti diffuse in detrito o corpi frana, circolazioni di subalveo o riemersione di corpi idrici superficiali, ecc..

- Estensione del giudizio attribuito a sorgenti limitrofe e con caratteristiche analoghe, tali da costituire un "gruppo" omogeneo connesso al medesimo circuito idrogeologico di alimentazione.

5.4.2 Elementi indicativi di circolazione "intermedia" e "profonda"

- Composizione isotopica delle acque:
quota isotopica di ricarica largamente superiore alla quota di risorgenza.

- Parametri chimici.

Sulla base dei dati di chimismo delle acque, sono stati considerati indicativi di circuiti da intermedi a profondi gli indici di una maturità idrochimica delle acque, nell'ambito della linea evolutiva da facies bicarbonato-calcio verso facies più tipicamente clorurato e solfato calciche e i relativi rapporti caratteristici tra specie ioniche.

- Capacità di immagazzinamento acquifero

Vengono considerate indicative di alimentazione da circuiti intermedi e profondi superficiali, la permanenza di portate rilevante, in rapporto alle medie locali nelle condizioni di magra estive (misure agosto - settembre 2011), tali da evidenziare elevato immagazzinamento e capacità di regolazione. E' stato preso a riferimento di tale condizione il valore di $Q > 7$ l/min.

- Parametri chimico-fisici

E' stata considerata indicativa di circuiti "evoluti" ovvero con alimentazione da circuiti ben sviluppati in condizioni di zonalità verticale almeno "intermedie" o "profonde", la risorgenza di acque medio mineralizzate. E' stato preso a riferimento di tale condizione una conducibilità elettrica specifica delle acque $C > 450$ μ S/cm.

- Evidenze geologico strutturali.

Sono stati considerati "intermedi" o "profondi" i circuiti per i quali sia fortemente probabile un ruolo di alimentazione da parte di linee tettoniche regionali. Eventuali osservazioni in campo sugli elementi strutturali e sul ruolo degli stessi derivanti da osservazioni in campo (es. sorgenti per soglie di permeabilità) sono riportate nel campo note del database medesimo.

- Estensione del giudizio attribuito a sorgenti limitrofe e con caratteristiche analoghe, tali da costituire un "gruppo" omogeneo connesso al medesimo circuito idrogeologico di alimentazione.

5.5 Planimetria dei complessi idrogeologici e profilo idrogeologico longitudinale in asse alle opere autostradali

5.5.1 Planimetria dei complessi idrogeologici

La planimetria dei complessi idrogeologici è stata elaborata con finalità di inquadramento e caratterizzazione complessiva delle diverse unità acquifere.

La cartografia riporta:

- gli elementi strutturali di tettonica fragile influenti sulla circolazione idrica sotterranea (faglie principali e vicarianti, zone di taglio);
- la localizzazione e classe di portata, in regime di magra (misure estive luglio - settembre 2011), delle sorgenti censite;
- la localizzazione dei piezometri realizzati nelle diverse campagne di indagine;
- una distinzione delle unità idrogeologiche con riferimento alle distinzioni riportate nello stralcio di legenda in Figura 26.

Nella carta dei complessi idrogeologici vengono pertanto distinti, sulla base della ricostruzione geologica di progetto, i settori di sub affioramento del substrato litologico dalle coperture alluvionali o detritiche, queste ultime caratterizzate da differente permeabilità primaria per porosità. Relativamente ai litotipi del substrato, vengono distinte le seguenti unità. Per l'individuazione del grado di permeabilità sono state anche analizzate le prove Lugeon disponibili (Tabella 17).

A - Unità sostanzialmente “omogenee”, in cui la conducibilità idraulica dipende unicamente dal grado di fratturazione e dalla presenza e tipologia di materiali di intasamento, da frizione o alterazione delle pareti dei giunti. Fanno parte di questa categoria le unità argillitiche sostanzialmente impermeabili degli scisti manganeseferi (SMG) e della formazione di Monte Lavagnola (FLV).

B - Unità caratterizzate da una sostanziale variabilità litologica al proprio interno, in cui sono posti a contatto materiali a differente comportamento reologico da cui differente grado di fratturazione e conducibilità idraulica, con conseguente presenza di limiti di permeabilità nell’ambito della medesima unità. Fanno parte di questa tipologia i litotipi flyschoidi delle Ardesie di Monte Verzi (AMV).

C - Unità con permeabilità mista per fratturazione e carsismo, condizione in cui ricadono i litotipi flyshoidi dei Calcari del Monte Antola (FAN) caratterizzati da un limitato e localizzato sviluppo dei fenomeni carsici ed in cui la permeabilità per fratturazione può eventualmente risultare incrementata da fenomeni chimico-dissolutivi.

C	Unità idrogeologiche	Unità geologiche	Grado di permeabilità (Classificazione da CIRIA 2000)					
			Molto alto-Alto	Medio	Basso	Molto basso	Impermeabile	
			10 ⁻¹⁰ m/s	10 ⁻⁹ m/s	10 ⁻⁸ m/s	10 ⁻⁷ m/s	10 ⁻⁶ m/s	10 ⁻⁵ m/s
Permeabilità primaria per porosità	Unità dei depositi antropici (riporti, rilevati, argini, discariche, etc)	Materiale di riporto Depositati di versante Cinture di versante						
	Unità a comportamento acquifero	Depositi alluvionali						
	Unità a comportamento acquifero							
	Unità a comportamento acquicludo							
Permeabilità secondaria per fratturazione	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione							
	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	AMV						
	Unità a conducibilità idraulica molto bassa/semipermeabile	SMG						
Permeabilità mista per fratturazione e carsismo	Unità a permeabilità mista per fratturazione e carsismo	FAN						

Figura 26 - Legenda relativa alla classificazione delle unità idrogeologiche.

Unità idrogeologiche (substrato)	media	max	min	num
Unità a comportamento acquifero	4,31E-04	-	-	1
permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	1.00E-06	4.50E-06	4.60E-08	6
unità a conducibilità idraulica molto bassa/semipermeabile	2,34E-07	1.90E-06	0,00E-00	9
unità a permeabilità mista per fratturazione e carsismo	8.37E-07	2.40E-06	5.00E-08	15

Tabella 17 - Valori di permeabilità per le diverse unità idrogeologiche ricavate dalle prove di iniezione Lugeon.

5.5.2 Profilo longitudinale in asse alle opere autostradali

Il profilo longitudinale, che costituisce l'elaborato di riferimento a supporto alle scelte progettuali, riporta attraverso opportuna simbologia i seguenti elementi:

- le unità geologiche - idrogeologiche, in coerenza con il profilo geologico di progetto;
- la localizzazione e tipologie dei piezometri;
- le quote piezometriche misurate;
- i risultati delle prove di permeabilità per iniezione tipo Lugeon;

Nella fincatura alla base del profilo vengono inoltre riportati i seguenti elementi di sintesi e di supporto alla progettazione:

- conducibilità idraulica di riferimento dell'ammasso roccioso alla quota di scavo;
- stima orientativa della portata cumulata teorica in regime stabilizzato con il metodo di Heuer;
- tratti per cui si ritiene possibile l'attivazione di venute idriche improvvise in avanzamento, in riferimento alle seguenti distinte condizioni:
 - rapido svuotamento di fasce cataclastiche;
 - afflusso in corrispondenza di soglie o limiti di permeabilità;
 - intercettazione possibile di condotti carsici in pressione;

Riguardo agli elementi suindicati, sono necessarie alcune precisazioni sul metodo di elaborazione, e significato e sui limiti di attendibilità delle indicazioni riportate:

- la stima di K (m/s) si riferisce ad un valore cautelativo di riferimento per la stima delle portate con il metodo di Heuer, e può non risultare dunque rappresentativo di situazioni locali, sia di particolare frantumazione sia nel campo opposto, di tratti integri in cui la permeabilità per fratturazione può risultare pressoché nulla;
- come noto la stima della portata drenabile da una galleria profonda rappresenta un elemento di forte incertezza ed aleatorietà. Nel caso in esame la valutazione si è basata sul metodo di Heuer; i risultati costituiscono pertanto la migliore applicazione di una tecnica valutativa tra le più sperimentate ed accreditate per un elemento che rimane comunque difficilmente valutabile in modo preciso e deterministico. Non è peraltro significativa la definizione della portata con criterio probabilistico, in termini di analisi di sensitività, in quanto il parametro incerto è costituito dalla permeabilità K derivante dalle prove Lugeon, che presenta anche per la medesima unità litologica una rilevante dispersione, in assenza di una distribuzione statistica significativa.

6. VALUTAZIONE QUALITATIVA DELLE INTERFERENZE ATTESE FRA OPERE DI PROGETTO ED ACQUE SOTTERRANEE

6.1 Valutazione delle interferenze prodotte da gallerie in contesti geologici e strutturali simili

6.1.1 Gallerie esistenti dell'Autostrada A 12

Secondo quanto riportato dal Foglio "Rapallo" della Carta Geologica d'Italia il tratto dell'Autostrada A12 compreso tra Chiavari e Genova interessa esclusivamente i litotipi della formazione di Monte Antola. Nella Tabella 18 vengono elencate le gallerie e vengono riportate osservazioni speditive relative alla presenza di venute idriche eseguite transitando con l'auto in galleria. Tali valutazioni di massima sono state calibrate sulla base di quanto osservato direttamente nella galleria Monte Sperone, dove nell'ambito di un incarico di mappatura del sistema di raccolta e smaltimento delle acque drenate dalla galleria, è stato possibile osservare da vicino e nel dettaglio la dinamica delle venute idriche.

Le valutazioni sono state eseguite nel mese di agosto, in periodo di magra accentuata e sono consistite in una semplice indicazione della presenza o meno di acqua in corrispondenza di pareti e canalette alla base dei piedritti. Queste osservazioni, il cui valore rimane comunque puramente indicativo, sono state codificate nel seguente modo:

- A = assenza di acqua, di gocciolamento e di umidità sulle pareti e sulla canaletta dei piedritti;
- U = tracce evidenti di umidità e di percolazione acque sulle pareti, gocciolamento;
- H = venute idriche dalla calotta, accumuli di acqua e deflusso a lato galleria.

Denominazione galleria	Lunghezza (m)	Stima sulla presenza di venute idriche	
		Carreggiata Nord	Carreggiata Sud
Monte Sperone	1670	H	H
Monte Veilino	590	H	H
Monte Quezzi	1320	U + H	U + H
Monte Camaldoli	1321	U + H	H
Apparizione	1063	H verso gli imbocchi	U + H
Colle degli Ometti 1	340	U	U
Colle degli Ometti 2	300	U + H	U
Monte Moro	930	U	U
Costa di Monte Moro	240	A	A
Monte Giugo	1680	H	U + H
Sessarego	540	A	U
Monte Castelletti	1330	U	U
Castelletto	1997	A	A
Giovanni Maggio	1810	A	A
Rio Casalino	110	A	A
Rapallo	220	A	A
S. Agostino 1	260	U + H	A
S. Agostino 2	390	U + H	A
S. Bartolomeo	610	U + H	U
Ciapon	290	A	U
Della Maddalena	1460	H verso imbocco Gen	U
Dell'Anchetta	1470	U verso imbocchi	U

Tabella 18 - Gallerie esistenti sulla Autostrada A12 e osservazioni speditive sulla presenza di acqua.

La misurazione dei deflussi drenati dalle gallerie esistenti consentirebbe di ottenere riscontri sperimentali di importanza rilevante a supporto della quantificazione delle interferenze determinate dalle opere in progetto.

Tuttavia tali misurazioni necessiterebbero di attività aggiuntive che esulano dal presente studio. Al fine di misurare correttamente i deflussi nelle gallerie esistenti occorre infatti:

- Conoscere preventivamente esistenza, estensione e completezza dei sistemi di drenaggio e smaltimento delle acque infiltrate.
- Avere la possibilità di accedere in sicurezza sui punti di misura e consentire l'esecuzione dei rilievi senza rischi per gli operatori e per il traffico veicolare presente.

Come accennato precedentemente tali condizioni si sono potute verificare solamente per la galleria Monte Sperone nell'ambito di un incarico specifico. Di seguito pertanto si descrive quanto emerso da tali rilievi.

La galleria della Autostrada A 12 "Monte Sperone" ha uno sviluppo di 1670 m con spessori di copertura in calotta fino a circa 300 m.

La situazione geologica e di tracciato è sufficientemente rappresentativa delle condizioni che verranno incontrate nelle gallerie in progetto. La galleria Monte Sperone esistente (Figura 27) interessa infatti principalmente la formazione del Monte Antola (FAN) e, solo per un breve tratto in prossimità dell'imbocco lato Genova, l'unità marnoso - arenacea di Ronco (ROC).

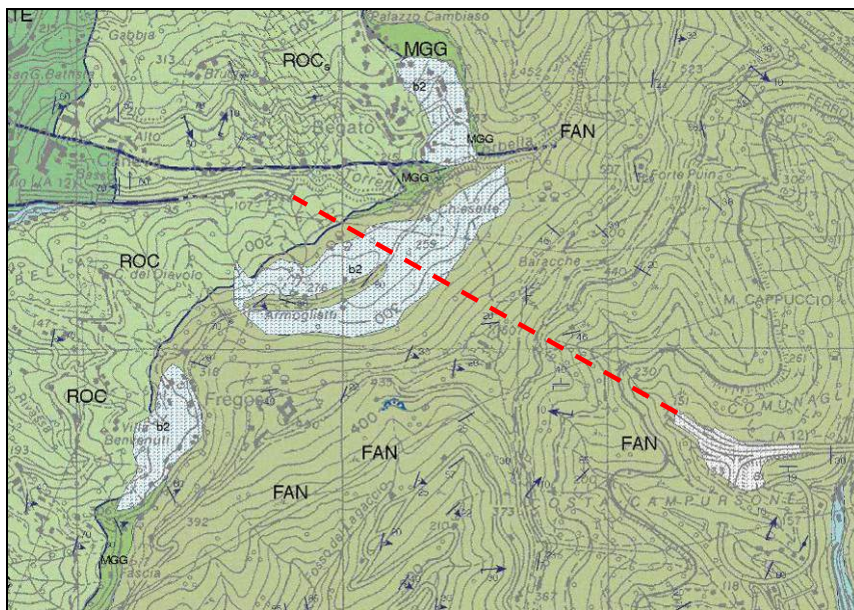


Figura 27 - Stralcio della carta geologica CARG Foglio Genova. La linea tratteggiata rossa evidenzia il tracciato della galleria Monte Sperone.

Sono state effettuate due misure in periodi idrologicamente differenti; in data 22/02/11 è stata misurata una portata totale in uscita di circa 7.0 l/s mentre il 04/08/2011 è stata misurata una portata complessiva di circa 2.5 l/s. I dati evidenziano quindi forti oscillazioni dovute alle variazioni stagionali.

6.1.2 Gallerie dell'acquedotto di Santa Margherita Ligure

La galleria dell'acquedotto di S.Margherita Ligure permette il passaggio delle condotte idriche di adduzione dal campo pozzi di Pian di Coreglia in Val Fontananbuona, alla rete idrica di distribuzione per i comuni di Rapallo e S.Margherita Ligure

Nella Figura 28 viene riportata la posizione schematica della galleria dell'acquedotto in relazione alla posizione del tracciato sulla base del Foglio "Rapallo" della Carta Geologica.

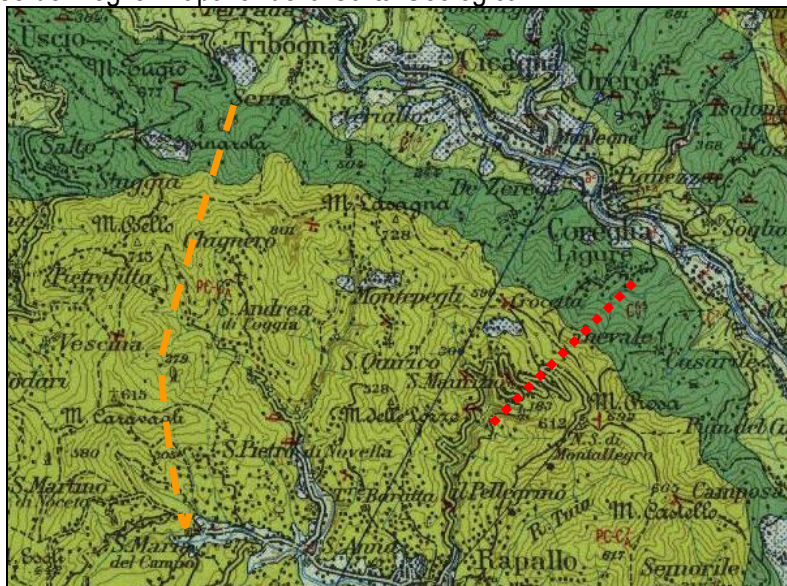


Figura 28 - Posizione del tracciato delle gallerie in progetto (linea tratteggiata arancio) e della galleria dell'acquedotto (linea tratteggiata rossa).

La galleria dell'acquedotto presenta alcune analogie significative con il tracciato della galleria autostradale Val Fontanabuona sia in relazione allo spessore in calotta (spessore massimo di circa 510 m contro circa 450m) che per il contesto geologico. Il tracciato del tunnel acquedottistico interessa infatti il contatto tettonico tra i litotipi dell'Unità Antola e quelli delle Unità Portello e Gottero. Tale contatto è una delle strutture che, rappresentando un limite di permeabilità, ha una certa rilevanza nello schema di circolazione idrica che caratterizza l'area in esame.

L'accesso alla galleria è avvenuto nella seconda metà di ottobre in condizioni di massimo esaurimento delle falde e di assenza prolungata delle precipitazioni.

Al fine di caratterizzare la zona di contatto tra le unità geologiche differenti è stato previsto di eseguire misurazioni sul fondo della galleria, a differenti progressive, per valutare gli eventuali incrementi degli apporti lungo lo sviluppo. La galleria si sviluppa per circa 2400 m, le progressive di avanzamento iniziano dall'imbocco sul lato di Rapallo. Le misure sono state eseguite sia per via correntometrica utilizzando un micromulinello (Foto 16), sia con metodo volumetrico per valutare gli apporti delle venute idriche dalle fratture nelle pareti rocciose oppure dai drenaggi (Foto 17).



Foto 16 - Punto di misura della portata correntometrica alla progressiva km 1+950.



Foto 17 - Operazioni di misura della portata dalle venute idriche attraverso fratture oppure drenaggi.

Nella Tabella 19 vengono riportati i risultati delle determinazioni correntometriche.

Progressiva (km)	Portata (l/s)
0.015	23.4
0.510	1.5
1.550	1.3
1.950	1.2

Tabella 19

Le valutazioni volumetriche sono state ripetute su diverse fratture lungo la galleria ma hanno fornito valori decisamente bassi di portata, comunque sempre inferiori a 0.1 l/s.

Dalle misurazioni eseguite emerge che gli apporti più significativi avvengono in corrispondenza del contatto tettonico. Gli apporti in galleria si osservano a partire dalla progressiva km 2+150 mentre gli ultimi 150 - 200 m verso l'imbocco in Val Fontanabuona risultano quasi asciutti. Nello sviluppo della galleria entro i litotipi della formazione del Monte Antola non si osservano significativi incrementi della portata come anche osservabile dall'esiguità degli apporti sulle pareti dello scavo. Il dato molto elevato misurato allo sbocco verso Rapallo (progr km 0+015) è falsato dalle precipitazioni di intensità critica avvenute nella notte tra 25 - 26/10/11. Il settore più superficiale della galleria intercetta infatti delle circolazioni superficiali che evidentemente risentono istantaneamente degli apporti pluviometrici.

Le misure eseguite sono rappresentative di condizioni idrologiche molto particolari coincidenti, nella fattispecie, con il culmine dell'esaurimento della circolazione idrica più profonda che non aveva ancora risentito degli apporti superficiali.

In accordo con quanto verificato in altri contesti (vedi galleria Monte Sperone) la variabilità stagionale dei flussi acquiferi in litotipi come i calcari del Monte Antola appare piuttosto elevata; al fine di ottenere indicazioni significative in termini previsionali occorrono specifiche campagne di monitoraggio da eseguirsi in periodi idrologicamente rappresentativi per comprendere il regime delle circolazioni interessate dalla galleria.

6.2 Analisi del sondaggio orizzontale eseguito sulla galleria Val Fontanabuona e della determinazione della permeabilità tramite prove Lugeon

Nell'ambito della campagna di indagini condotta nel periodo aprile – giugno 2013 è stato realizzato un sondaggio orizzontale approfondito 350 m a partire dall'imbocco lato Val Fontanabuona. Lo sviluppo in orizzontale del sondaggio viene rappresentato sul profilo idrogeologico (elaborato IDR010) dove viene anche riportato il valore della permeabilità determinato con le prove Lugeon alle differenti profondità e le misure di portata eseguite.

La perforazione eseguita tra l'08/05/2013 ed il 29/05/2013 ha avuto lo scopo di indagare la zona di contatto tettonico tra le differenti unità geologico strutturali di Gottero (AMV), Portello (FLV) e Antola (FAN). Infatti, come anche accennato precedentemente al paragrafo 5.3, la struttura tettonica, caratterizzata da litotipi con differenti caratteristiche idrogeologiche, determina la presenza di una soglia di permeabilità con possibilità di emergenze idriche anche per la presenza di orizzonti maggiormente fratturati.

Nel corso dell'esecuzione della perforazione è stata rilevata una prima venuta idrica a circa 44 m da bocca foro dove la portata è risultata pari a circa 0.2 l/s. Successivamente, a 176 m da bocca foro, circa in corrispondenza del contatto tettonico tra AMV e FLV, è stata rilevata una venuta idrica con portata pari a 2 l/s. Non lontani dal contatto tra FLV e FAN, alla profondità di 209 m, è stata eseguita un'altra misura di portata che è risultata pari a 1.43 l/s. Alla profondità di 350 m, ossia al termine del sondaggio, la portata rilevata a bocca foro è risultata uguale alla precedente misura, ovvero 1.43 l/s.

L'analisi della fratturazione degli ammassi rocciosi attraversati dalla perforazione evidenzia come la venuta idrica più importante, rilevata a 176 m dalla bocca foro, interessi un tratto di alcuni metri di spessore totalmente fratturato (RQD uguale a zero); nelle immediate vicinanze, tra 185 e 190 m da bocca foro, si individua un altro settore molto fratturato, per uno spessore significativo (circa 5 m) praticamente al contatto con le Ardesie (AMV) e le argilliti (FLV). Nel tratto di perforazione compreso tra 200 e 230 m dal bocca foro sono presenti altri tratti completamente fratturati con RQD per diversi m uguale a zero. A partire da 230 fino a 350 m dal bocca foro non si individuano più settori soggetti a fratturazione e, contestualmente, non sono state infatti più rilevate venute idriche in avanzamento.

In base a quanto riportato dall'avanzamento del sondaggio sostanzialmente le venute d'acqua risulterebbero localizzate prevalentemente prima del banco argillitico rinvenuto a partire da circa 185 m da bocca foro.

Il sondaggio è stato attrezzato con due piezometri a tubo aperto con otturatore, Uno posto tra 163 e 164 m da bocca foro, l'altro tra 20 – 21 m. Il 18/06/2013 in corrispondenza della testa dei singoli piezometri sono state eseguite determinazioni della portata risultate 0.55 l/s sull'otturatore a 21 m e 0.37 l/s su quello a 164. Tale dato evidenzia una diminuzione rispetto ai valori riscontrati al momento dell'avanzamento dello scavo che sono tipici del contesto prettamente transitorio. In fase di esecuzione del piano di monitoraggio le misurazioni dovranno essere ripetute per valutare la loro persistenza e le oscillazioni in relazione all'andamento pluviometrico.

Nella Tabella 20 sono stati raccolti i risultati di tutte le determinazioni della permeabilità eseguite per mezzo delle prove Lugeon e realizzate nell'ambito di due differenti campagne in fase di progettazione preliminare (2011) e definitiva (2013).

Nella stessa tabella vengono anche riportati i dati di RQD minimo e massimo riscontrati nel tratto di prova ed il dato dell'RQD medio.

SONDAGGIO	Unità litologica	% RQD	% RQD medio	Profondità (m da pc)	U L	K (m/s)
FB9	AMV	80 - 100 %	88	10.50 - 15.80	1.53	1.53E-07
FB9 quater	AMV	78 - 100 %	92	31.00 - 36.00	2.70	3.12E-07
FB9 quater	AMV	50 - 100 %	77	85.50 - 90.50	7.20	7.46E-07
FB9 quater	AMV	12 - 90 %	55	140.00 - 145.00	8.90	1.20E-06
FB10	AMV	90 - 100 %	94	25.50 - 30.50	0.46	4.60E-08
FB10	AMV	95 - 100 %	98	60.00 - 65.00	0.50	5.00E-08
FB11	AMV	20 - 40 %	30	5.00 - 6.80	45.0	4.50E-06
SV1	FAN	70 - 80 %	75	21.00 - 23.40	2.10	2.10E-07
SV2	FAN	70 - 100%	88	23.00 - 27.75	1.00	1.00E-07
SV3	FAN	60 - 90 %	75	10.00 - 12.35	21.0	2.10E-06
SV4	FAN	30 - 80%	62	9.00 - 13.30	13.0	1.30E-06
SV5	FAN	50 - 80 %	71	9.00 - 13.20	7.00	7.00E-07
SV6	FAN	80 - 90 %	85	9.00 - 11.00	22.5	2.25E-06
SV7	FAN	30 - 90 %	60	10.40 - 12.90	5.00	5.00E-07
FB1	FAN	70 - 80 %	75	17.30 - 20.30	1.20	1.20E-07
FB3	FAN	50 - 70 %	60	24.00 - 25.80	24.0	2.40E-06
FB4	FAN	60 - 80 %	70	5.00 - 6.60	15.0	1.50E-06
FB5	FAN	80 - 90 %	85	11.00 - 13.15	2.20	2.20E-07
FB6	FAN	80 - 100 %	93	37.00 - 40.80	0.50	5.00E-08
FB7	FAN	90 - 100 %	89	127.50 - 132.50	1.80	1.80E-07
FB7	FAN	90 - 100 %	86	133.45 - 138.45	0.83	8.30E-08
FB9 quater	FLV	92 - 100 %	97	261.00 - 265.80	0.25	3.50E-08
FB9 quater	FLV	100%	100	242.00 - 247.00	0.22	2.74E-08
FB12	SCM	20 - 40 %	30	10.00 - 12.15	19.0	1.90E-06
FB14	SCM	60 - 90 %	85	16.00 - 20.70	0.00	0.00E+00
FB15	SCM	75 - 95 %	85	6.50 - 11.50	0.10	1.00E-08
FB16	SCM	70 - 100 %	90	19.00 - 24.00	1.12	1.12E-07
FB18	SCM	60 - 90 %	73	12.00 - 16.70	0.00	0.00E+00
FB20	SCM	0 - 55 %	18	10.00 - 15.00	0.34	2.42E-08
FB21	SCM	40 - 80 %	59	9.00 - 13.70	0.00	0.00E+00

Tabella 20 - Risultati delle prove di permeabilità Lugeon. In campo bianco i valori riferiti alle prove della campagna 2011, in azzurro le prove del 2013. I dati di permeabilità evidenziati in grassetto sono relativi a prove eseguite in settori decisamente corticali (0 – 13 m da piano campagna).

Nella Tabella 21 e nel relativo istogramma di Figura 29, sono riportati i dati medi, minimi e massimi relativi all'intero campione dei dati di prova, in riferimento alle singole unità litologiche.

Valori relativamente elevati della conducibilità idraulica superiori all'ordine di 10^{-6} m/s (compresi tra $1.30E-06$ e $2.25E-06$ m/s) sono stati riscontrati soprattutto per l'unità di Monte Antola (FAN) nei sondaggi FB4, SV3, SV4 e SV6, ma anche per le Ardesie di Monte Verzi (AMV) e per gli Scisti Manganesiferi (SCM) seppur in un solo sondaggio (rispettivamente FB11 e FB12). Tali valori sono sempre correlabili a prove eseguite in settori corticali (profondità < 13 m) di decompressione, generalmente frantumati.

Alla luce di questa osservazione nella Figura 30 il dato medio di permeabilità viene riferito ad un campione di dati delle prove Lugeon che esclude i valori massimi misurati nella fascia più corticale. Ne deriva un valore medio più rappresentativo delle condizioni profonde riscontrabili al livello del piano di scavo delle gallerie.

K (m/s)				
Unità litologica	media	min	Max	Nr. prove
FAN	8.37E-07	5.00E-08	2.40E-06	15
SCM	2.92E-07	0.00E+00	1.90E-06	7
AMV	1.00E-06	4.60E-08	4.50E-06	6
FLV	3.12E-08	2.74E-08	3.50E-08	2

Tabella 21 - Valori di K medi, massimi e minimi ricavati per le differenti unità litologiche sulla base delle prove Lugeon (il campo "nr. prove" indica il numero di test disponibili per ogni singola unità).

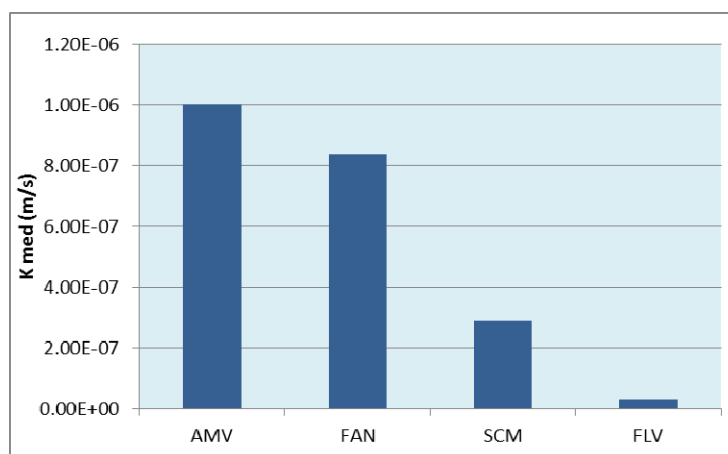


Figura 29 - Valore medio di conducibilità idraulica K sulla base delle prove Lugeon in riferimento alle differenti unità litologiche testate.

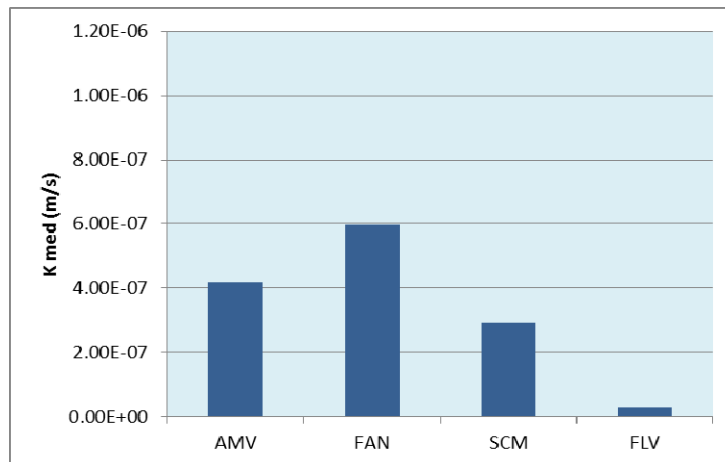


Figura 30 - Valore medio di conducibilità idraulica K sulla base delle prove Lugeon in riferimento alle differenti unità litologiche testate con esclusione delle prove riferite ai settori molto corticali (profondità di prova < 12 m).

Nella Figura 31 si è cercato di individuare una correlazione tra i valori di permeabilità calcolata tramite prova Lugeon e l'RQD medio del tratto indagato. Effettivamente i tratti caratterizzati dagli RQD più elevati sono sostanzialmente impermeabili, mentre si osserva un graduale incremento del k allo scadere della qualità dell'indice.

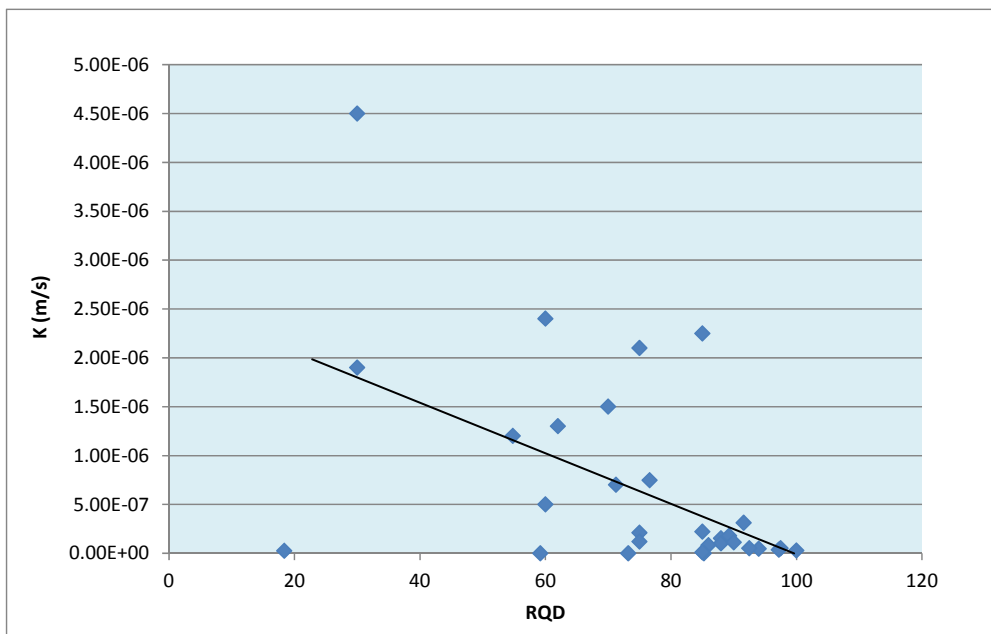


Figura 31 – Diagramma di correlazione tra i valori di permeabilità calcolata tramite prova Lugeon e l'RQD medio del tratto indagato.

6.3 Valutazione con il metodo empirico di Heuer (2005)

L'approccio proposto vede l'applicazione di un metodo semiempirico (Heuer 1995, 2005) che, partendo da un'analisi statistica dei risultati delle prove di permeabilità in foro eseguite sui vari complessi rocciosi propone una valutazione delle venute d'acqua al fronte, in funzione del carico idraulico a cui è soggetta la galleria.

La correlazione tra permeabilità Lugeon dell'ammasso e venute idriche è basata su una relazione diretta supportata da numerose casistiche studiate relative a tunnel in ammassi rocciosi fratturati, suddivisi in opere superficiali e profonde sulla base del rapporto tra l'altezza di copertura H e il diametro D della galleria stessa.

Le portate stimate con il metodo di Heuer si riferiscono ai valori stabilizzati, ovvero alle portate che si misurano successivamente alla fase transitoria di maggior afflusso registrate in avanzamento al fronte di scavo.

Il metodo di Heuer trova la migliore applicazione per la stima delle venute idriche da circolazione in rete di fratture entro un ammasso in prima approssimazione omogeneo dal punto di vista idraulico. La metodologia presenta invece maggiori limiti per quanto riguarda la valutazione dei contributi dalle zone di faglia, ovvero da settori lineari localizzati di drenaggio, per i quali il contributo, difficilmente valutabile a priori, può risultare sottostimato.

La stima è stata effettuata utilizzando valori caratteristici del coefficiente K ricavato dalle prove Lugeon, attribuiti alle unità lito-strutturali ed alle specifiche condizioni di fratturazione/tettonizzazione così come riportato nella Tabella 20.

Le prove in foro, escludendo i valori di fascia corticale, riguardano prevalentemente campi di profondità tra i 50 e i 150 m da p.c.. E' necessario pertanto valutare la riduzione di permeabilità nei livelli profondi per serraggio delle fratture, e l'opposto fenomeno di incremento per decompressione superficiale, correlabile al carico litostatico.

Per questo motivo, come previsto anche dal metodo di Heuer e comunque da qualsiasi approccio quantitativo all'idraulica nel mezzo fratturato, è stato valutato un fattore moltiplicativo RF della conducibilità idraulica. Nel campo di profondità interessato dalla galleria tale fattore RF è compreso tra 1,8 e 0,5 (cfr. Figura 32).

L'applicazione del metodo di Heuer si basa sul diagramma sperimentale riportato in Figura 33, in cui sono riportati, per differenti campi di valori del rapporto H/D, le portate unitarie in galloni/min / 1000 ft tunnel / ft carico idraulico (in sinistra nel grafico è indicato il fattore di conversione in unità mks).

Le portate sono state calcolate utilizzando il fattore di correzione RF della conducibilità idraulica in funzione della profondità (Figura 33).

I valori di carico idraulico sono stati ricavati dai dati piezometrici riportati sulle stratigrafie dei sondaggi, dove disponibili e significativi. Più frequentemente, dove si riscontra la presenza diffusa di sorgenti in superficie per sfioro della rete piezometrica o soglia di permeabilità, si è considerato, come da modello concettuale, una connessione con la circolazione al livello del piano di scavo, da cui carichi piezometrici prossimi agli spessori di copertura (o almeno pari all'80% dello spessore di copertura in calotta). Tale assunzione è ritenuta accettabile in letteratura per ambiti quali quello in esame (Heuer, 1995) ed è in ogni caso da ritenere accettabile vista la molto maggiore rilevanza dei valori di K_{Lugeon} rispetto alle altezze d'acqua sulle portate calcolate con il metodo semiempirico.

Le portate calcolate con il metodo di Heuer descritto per le gallerie Caravaggio e Val Fontanabuona ammontano rispettivamente a 5.7 e 7.9 l/s per un totale di 13.5 l/s. Tali valori sono il risultato della sommatoria degli apporti di singoli tratti della lunghezza di 50 m per ciascuno dei quali è stato valutato il contributo sulla base della metodologia descritta. Nella Figura 34 è riportato il grafico delle portate cumulate entro la galleria. I

valori risultano nel complesso coerenti con quanto osservato per lo sviluppo di opere in galleria di simile contesto litologico e strutturale.

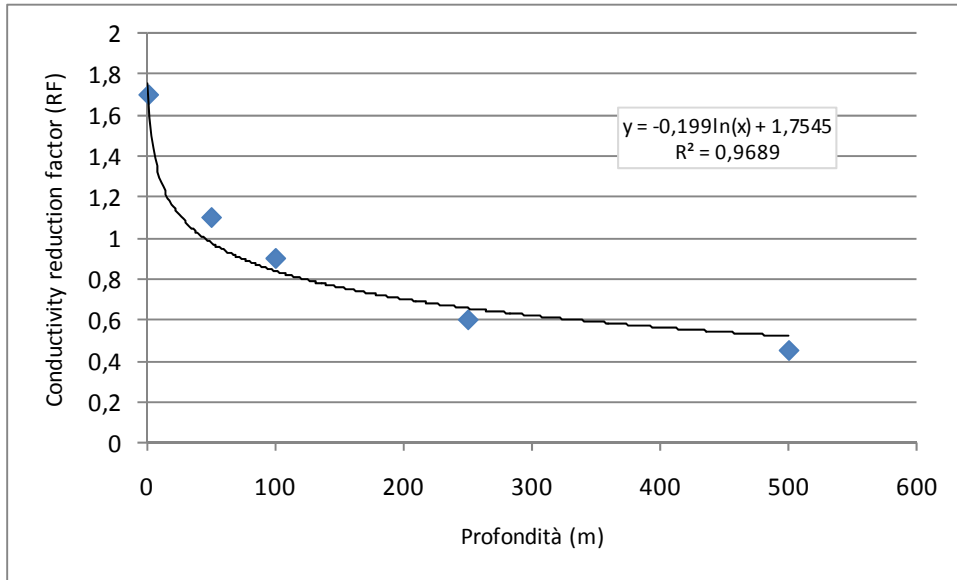


Figura 32 - Fattore teorico di riduzione della conducibilità idraulica in funzione del serraggio delle fratture in funzione del carico litostatico.

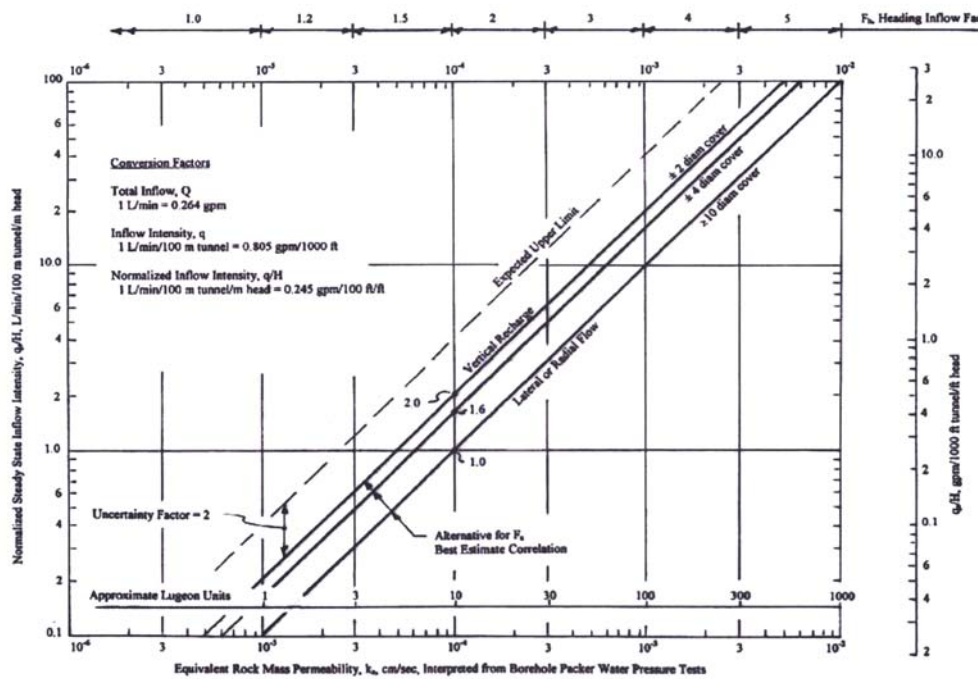


Figura 33 - Corrispondenza tra venute d'acqua stabilizzate dietro al fronte di avanzamento (in l/min/100m tunnel/m carico) e permeabilità del massiccio roccioso (in cm/s) determinata per mezzo di test idraulici (Heuer, 2005).

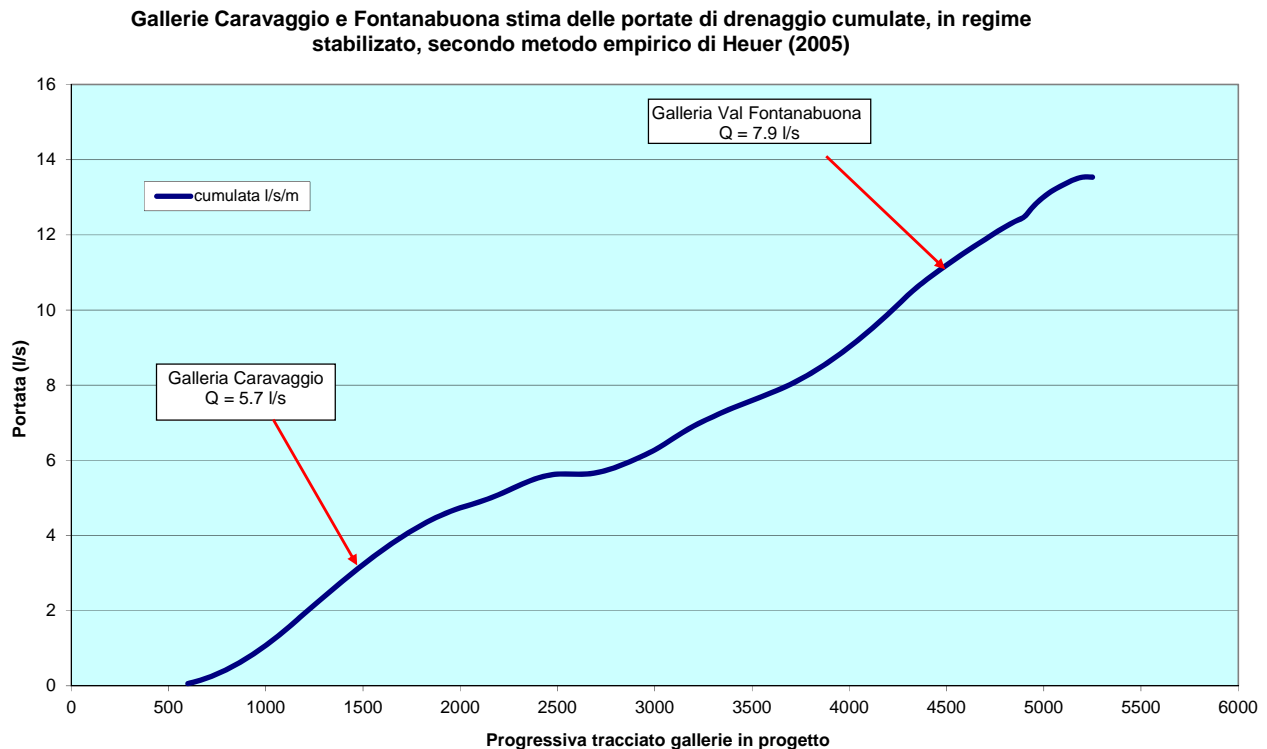


Figura 34 - Gallerie Caravaggio e Val Fontanabuona: stima delle portate di drenaggio cumulate, in regime stabilizzato, mediante il metodo empirico di Heuer (2005).

7. ANALISI DEGLI IMPATTI SULLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA E SUPERFICIALE

7.1 Approccio metodologico

Il rischio di interferenza sulla risorsa idrica indotto dalla realizzazione di un'opera in galleria può normalmente essere espresso, a partire dagli studi idrogeologici e dalle applicazioni di modelli, in termini per lo più probabilistici. Solo in presenza di indicazioni univoche sono possibili formulazioni deterministiche del giudizio di rischio, ovvero tali da consentire di escludere l'impatto o viceversa il non impatto dell'opera su una specifica sorgente o pozzo di captazione.

Il carattere probabilistico delle valutazioni si riflette sulla tipologia di giudizio di norma adottato nelle cartografie del rischio redatte in fase di progettazione, dove l'interferenza viene di norma espressa in scala crescente nel campo da "molto bassa" a "moderata", "elevata", "molto elevata", ecc..

In tal senso, sono stati recentemente messi a punto indici quantitativi per la valutazione del rischio di depauperamento delle risorse idriche. Tali indici si basano sull'analisi quantitativa e parametrica delle diverse variabili predisponenti l'impatto con le opere in galleria (es. distanza dall'opera, altezze di copertura, intercettazione con di sistemi di faglie idroconduttrici, ecc.) e sulla combinazione secondo un sistema di "pesi" a definire un "punteggio" per ogni captazione, indicativo del rischio di depauperamento.

Tali metodologie hanno il grande pregio di consentire una valutazione secondo criteri oggettivi, portando peraltro unicamente, attraverso il sistema dei “punteggi” ad una “graduatoria” che esprime ancora in termini relativi la probabilità che tale interferenza abbia luogo.

L'applicazione di modelli numerici, consente di integrare le valutazioni secondo un approccio anch'esso obbligatoriamente probabilistico, per la grande incertezza della parametrizzazione profonda in acquiferi fratturati eterogenei, che rende necessaria l'effettuazione quanto meno di simulazioni parametriche, ovvero basate su soluzioni rispondenti al campo di variabilità possibile dei parametri di input.

Tale approccio necessariamente “probabilistico” contrasta di norma con la necessità di offrire risposte “certe”, ovvero “deterministiche”, a supporto dell'effettiva valutazione delle risorse a rischio, con particolare riferimento alle fonti acquedottistiche primarie, e delle relative proposte operative di reintegro delle risorse stesse.

Conseguentemente, la valutazione del rischio di depauperamento non può essere effettuata esclusivamente sulla base di un rischio inteso come “probabilità” di interferenza, ma anche in cautelativo riferimento all'uso attuato, in progetto o potenziale della singola risorsa. Quanto sopra per evitare di porre l'attenzione (in termini di monitoraggio e piano delle risorse alternative) su fonti a maggior rischio, ma francamente di scarso interesse per l'uso attuato o attuabile della risorsa, non tenendo in considerazione risorse con probabilità di impatto anche largamente inferiori ma di valenza strategica.

In conseguenza, come da pratica comune in questo tipo di studi, l'attribuzione di un “rischio di depauperamento” è stata effettuata per ogni punto d'acqua a partire dalla sovrapposizione degli elementi interpretativi di tipo tecnico-idrogeologico a quelli “oggettivi” riferiti alla rilevanza strategica della risorsa (uso attuato, potenziale, presenza o assenza di risorse sostitutive in loco, rilevanza complessiva nel sistema di approvvigionamento locale).

Ne deriva una procedura operativa distinta nelle seguenti fasi:

- a - definizione per tutte le sorgenti di un indice di vulnerabilità “a punteggio”, sulla base di metodi probabilistici di analisi delle variabili predisponenti l'impatto con le opere in sotterraneo;
- b - affinamento della valutazione per singoli punti rilevanti, sulla base anche, dove significative, delle simulazioni con modelli di flusso;
- c - valutazione di un “indice d'uso” in funzione della rilevanza del punto d'acqua nel sistema acquedottistico locale;
- d - definizione di un “indice di rischio definitivo” sulla base dell'indice di vulnerabilità “a punteggio” e dell' “indice d'uso”.

Tale procedura è coerente con le usuali metodologie internazionali di valutazione in campo ambientale, dove il rischio R si considera dipendente dalla pericolosità H (“hazard”) ovvero probabilità che un fenomeno abbia luogo e dal valore esposto V, secondo una relazione del tipo:

$$R = H \times V$$

Tale procedura consente, nella fase di definizione delle risorse alternative, di calibrare le azioni sulla base dello specifico “valore esposto”, ovvero della rilevanza nel sistema di approvvigionamento locale pubblico e privato.

7.2 Valutazione di un indice quantitativo di rischio

7.2.1 Metodologia utilizzata

Tra le metodologie disponibili in letteratura per la valutazione del rischio di depauperamento delle sorgenti causato dallo scavo delle gallerie naturali, è stato applicato l'approccio seguito dal metodo DHI (Drawdown Hazard Index)⁴, che considera le seguenti variabili:

- frequenza di fatturazione;
- permeabilità del massiccio;
- spessore della copertura;
- ampiezza della zona plastica;
- distanza dal tunnel;
- intersezione con zone di faglia o carsiche;
- tipo di sorgente;
- effetto topografico.

Tale approccio, comprendendo un vasto ed esaustivo ventaglio di fattori che possono determinare il rischio isterilimento di una sorgente, è stato ritenuto valido e applicabile al contesto in esame. La metodologia è stata anche recentemente applicata per la valutazione del rischio per le sorgenti connesso alla realizzazione delle gallerie autostradali della Gronda di Genova.

Le metodologie di analisi basate sulla sovrapposizione delle variabili predisponenti l'interferenza con le gallerie in progetto, consentono, come precedentemente citato, una valutazione con criteri oggettivi ed univoci della probabilità di isterilimento, e possono pertanto risultare molto utili per valutazioni riferite, in particolare, ad un elevato numero di punti d'acqua in condizioni di possibile interferenza con la medesima galleria.

Peraltro, proprio per le approssimazioni e "standardizzazioni" dei parametri su cui si basa la metodologia, l'applicazione deve essere intesa come un primo step valutativo su cui impostare l'effettiva analisi di rischio attraverso le attività precedentemente descritte (cfr. par. 7.1 punti a-d).

I singoli coefficienti attribuiti dal metodo alle variabili predisponenti l'impatto con le opere in galleria sono riportati nello schema di Figura 35 e Figura 36.

I "pesi" attribuiti alle singole variabili, per la definizione dell'valore DHI sono espressi dalla seguente relazione, indicata dagli Autori sulla base di un campione significativo di osservazioni relative all'interferenza indotta dalle gallerie sul sistema delle sorgenti:

⁴ Dematteis A., Kalamaras G., Eusebio A.: "A system approach for evaluating springs drawdown due to tunneling", International Tunnelling Association, 2001 World Tunnel Congress, Milano 11-13 giugno 2001. Atti, Vol.1, Session 1-4.

Torri R., Dematteis A., Delle Piane L.: "Drawdown hazard of sgprings and wells in tunneling: predictive model and verification" 2007.

$$DHI = (41*FF + 22*MK + 17*OV + 20*PZ) * (IF + 1) * (ST + 1) * (DT + 1)$$

L'indice DHI per ogni singola sorgente viene espresso come rapporto tra il valore effettivo ricavato dalla suddetta espressione ed il valore massimo:

$$DHI_{Index} = DHI / DHI_{max} (0,045 \div 1)$$

VARIABILI DEL SISTEMA								
Distanza di Tunnel	Intersezione con Faglie maggiori	Tipo di Sorgente	Effetto Topografico	Frequenza di Fratturazione	Permeabilità del Massiccio	Spessore della copertura	Ampiezza della Zona Plastica	
DT	IF	TS	ET	FF	MK	OV	PZ	
<i>Massimo teorico</i>	1,9	2	2	2	1	0,9	1	
DEFINIZIONE DEI VALORI DELLE VARIABILI	Dist Ass < 200m = 1,9	intersezione con faglie che tagliano la galleria = 2	sorgente profonda (alimentata dal substrato roccioso) = 2	variabile tra 1 e 2, cfr. tabella nel testo	faglie principali e/o zone di fratturazione = 1	permeabilità molto alta = 0,9 (Form.: 1)	copertura < 50m = 0,9	zona plastica > diametro galleria = 1
	200m < Dist Ass < 500m = 1,5	nessuna intersezione = 1	sorgente mista = 1,5		faglie minori = 0,8	permeabilità alta = 0,75 (Form.: Q, 3)	50m < copertura < 100m = 0,5	zona plastica < diametro galleria = 0
	500m < Dist Ass < 1000m = 1,2		sorgente superficiale (alimentata da depositi quaternari) = 1		assenza = 0,1	permeabilità medio alta = 0,625 (Form.: 4b)	100m < copertura < 500m = 0,2	
	1000m < Dist Ass < 5000m = 1,1					permeabilità media = 0,5 (Form.: 2, 4a, 6b)	copertura > 500m = 0,1	
	Dist Ass > 5000m = 0					permeabilità bassa = 0,2 (Form.: 5, 6, 7, 8b)		
						permeabilità da bassa a molto bassa = 0,1 (Form.: 8a)		

Figura 35 - Indice di isterilimento ("Drawdown Hazard Index"): Schema di valutazione delle variabili di riferimento.

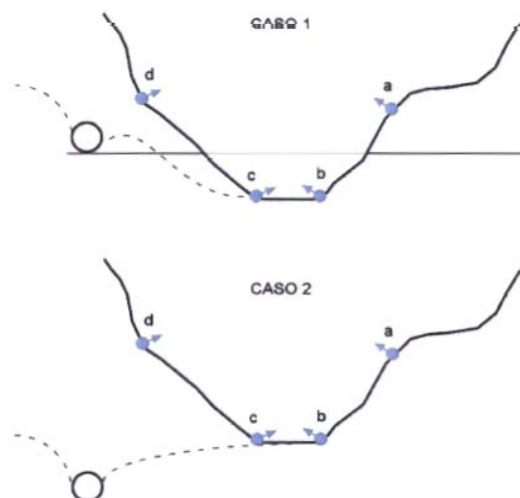


Figura 36 - Esempificazione dei casi per la valutazione dell'effetto topografico.

7.2.2 Risultati

I risultati del calcolo relativo all'“indice di isterilimento”, ovvero della probabilità di interferenza con le opere in progetto, sono rappresentati nell'elaborato cartografico IDR 0006 ed in Figura 39 .

Come precedentemente sottolineato l'indice DHI può variare nel campo $0,045 \div 1$.

Nel caso specifico sono stati calcolati valori fino a 0,42 che in termini qualitativi evidenziano un rischio massimo da “medio” a “medio-elevato”.

La valutazione si riferisce alla condizione di drenaggio libero delle gallerie.

7.3 Elaborazione del profilo definitivo del rischio di impatto relativo alle sorgenti presenti lungo il tracciato delle opere in progetto

Per la valutazione del rischio di impatto ($R = H \times V$) a partire dalla probabilità di interferenza (H), sono state considerate le categorie di “valore esposto” (V) riportate nella successiva Tabella 22. Tali valori sono presentati nella cartografia dell'elaborato IDR 0007 ed in Figura 40.

Le suddette categorie corrispondono ad utilizzi attuati, previsti o potenziali delle singole sorgenti o pozzi, a cui corrisponde un “valore strategico” ovvero una rilevanza nel sistema di approvvigionamento locale. La tabella riporta in una scala decrescente il relativo coefficiente di valore V, compreso nel campo $2 \div 0,2$.

Tale coefficiente, a partire dalla probabilità di interferenza H consente di “rivalutare” il rischio R, con $V > 1$ per fonti di rilevanza strategica, mentre risulta $V < 1$ per fonti di scarsa o nulla rilevanza.

codice	Descrizione	Coefficiente funzione del “valore esposto”
1	fonti di alimentazione di acquedotti pubblici, o con previsione/progetto di utilizzo per la medesima finalità	2,0
2	fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, o ad uso privato domestico, in aree non raggiunte dalla rete di pubblico acquedotto	1,5
3	fonti di alimentazione di acquedotti privati consortili, in aree servite dalla rete di pubblico acquedotto o agevolmente allacciabili a partire dalla rete esistente	1,0
4	Sorgenti non captate, con portata di magra rilevante (convenzionalmente $Q > 90$ l/min sulla base delle misure luglio - settembre 2011), tale da poter essere considerate risorse strategiche potenzialmente captabili ad uso pubblico	1,0
5	fontane pubbliche in aree già servite da pubblico acquedotto (in cod. 4 se $Q > 90$ l/min)	0,7
6	sorgenti private ad uso domestico in aree servite da pubblico acquedotto	0,6
7	Sorgenti non captate caratterizzate da permanenza delle portate anche in regime di magra (convenzionalmente $Q > 5$ l/min sulla base delle misure luglio - settembre 2011)	0,4
8	sorgenti non captate, con regime stagionale o comunque portata molto bassa, $Q < 5$ l/min	0,2

Tabella 22 - Coefficienti funzione del “valore esposto” per l'analisi di rischio.

7.4 Quadro di sintesi degli impatti

Nella successiva Tabella 23 è riportato l'elenco delle sorgenti con la valutazione del "rischio".

La potenzialità complessiva in regime di magra delle sorgenti a rischio può essere stimata in circa 8 l/s, (somma delle portate misurate e valutate sulla base del contributo medio dove non è stata possibile la misura diretta).

Dalla medesima Tabella 23, e dal confronto delle cartografie degli elaborati IDR 0006 e IDR 0007 (rispettivamente riportati negli stralci della Figura 39 e Figura 40), si evidenzia come la condizione di rischio riguardi prevalentemente risorse al servizio di acquedotti pubblici oppure privati consortili e subordinatamente al servizio di singole abitazioni.

Nell'analisi del rischio non sono state comprese le opere di presa superficiali in quanto si ritiene che il rischio di impatto sulla parte di bacino afferente alle opere sia basso e quindi complessivamente trascurabile al punto di presa.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua potranno presentarsi problematiche di interferenza parziale con il deflusso di base del rio Chignero nella zona di Arboccò. Le criticità principali rimangono tuttavia quelle relative al sistema "Lagoscuro – Litteglia" soprattutto in relazione alla possibile interferenza della galleria con il flusso di base dei rami destro e sinistro del Torrente Liteglia (Sezioni 30 e 31).

Con riferimento ai settori individuati nell'analisi particolareggiata delle modalità di circolazione idrica delle sorgenti potenzialmente a rischio (cfr. paragrafo 5.3.2) le condizioni di rischio maggiore derivanti dall'analisi degli impatti possono essere principalmente riscontrate nelle seguenti aree (Figura 41):

- **Area Greppi (destra Torrente Foggia).** Le criticità maggiori sono correlate alla presenza delle sorgenti S 530 - 531, che, seppur non più utilizzate per approvvigionamento idropotabile, vengono sfruttate da un consorzio privato.
- **Area Chignero.** Le criticità interessano la sorgente S 534 che integra il fabbisogno idropotabile delle frazioni Chignero e S.Andrea di Foggia.
- **Area Liteglia.** Le criticità riguardano essenzialmente le captazioni pubbliche sul versante a servizio dell'acquedotto del Comune di Tribogna e della Colonia Arnaldi.
- **Area Lagoscuro - Litteglia.** Settore di fondovalle soggetto a rischio soprattutto per le opere in alveo a servizio del Comune di Tribogna e per la presa sfruttata dall'acquedotto di Cicagna al cui parziale rischio di depauperamento quantitativo si aggiunge quello qualitativo correlato all'interferenza con le aree di cantiere.

Nelle aree Greppi, Chignero e Liteglia le captazioni a rischio integrano il fabbisogno già fornito dagli apporti di rete; eventuali criticità potranno quindi essere affrontate semplicemente con l'incremento della fornitura dalla rete esistente le cui fonti di alimentazione principale provengono da zone non soggette a rischio.

Tale soluzione è solitamente preferita anche dagli stessi gestori, più favorevoli alla centralizzazione delle risorse di approvvigionamento che a gestire captazioni disperse.

L'eventuale interferenza con le opere autostradali in progetto è invece più critica nel settore di fondovalle dell'area Lagoscuro – Litteglia, dove si trovano le importanti prese degli acquedotti a servizio del Comune di Tribogna (sorgente S 512) e di Cicagna (presa in subalveo S 519, che provvede all'approvvigionamento della frazione Serra).

Per quest'area sono stati previsti specifici progetti di intervento (elaborati IDR0012 - 0013) che prevedono, tra l'altro, lo spostamento più a monte delle opere di presa della sorgente S 512 che interferiranno fisicamente con il cantiere allo sbocco della galleria.

Nel caso in cui il drenaggio causato dallo scavo della galleria, dovesse interessare anche le aree di ricarica della captazione S 512, l'approvvigionamento idrico alternativo potrà essere garantito dagli apporti drenati dalla stessa galleria. Tale soluzione dovrà prevedere un sistema di captazione costruito appositamente per l'approvvigionamento idropotabile, svincolato quindi dalle opere di drenaggio perimetrale della galleria. Nella Figura 37 e nella Figura 38 vengono presentate tipologie esemplificative di opere di captazione in galleria stradale.

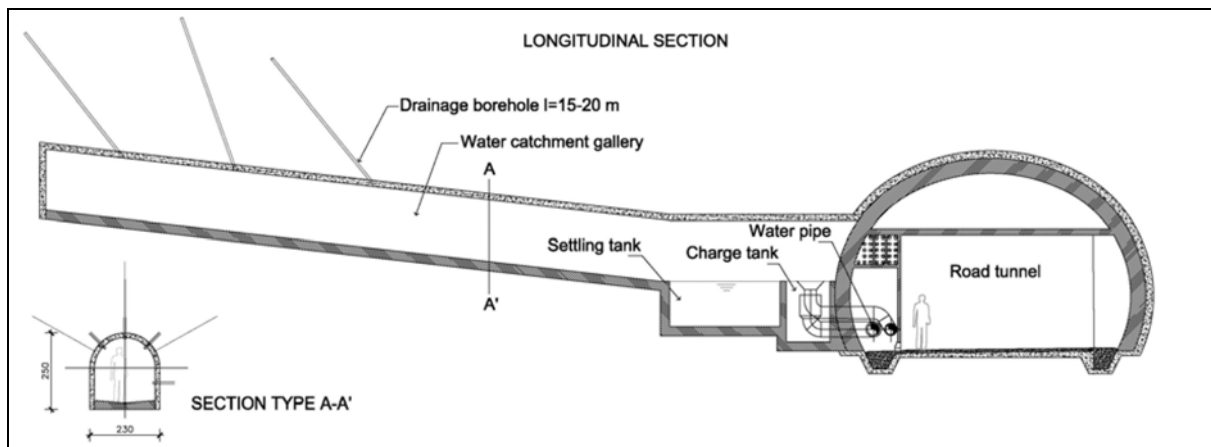


Figura 37 - Tratta da “Water Resources Management in Tunneling: insights in the decision making process to improve tunnels environmental sustainability – Dematteis, Torre, Looser”.

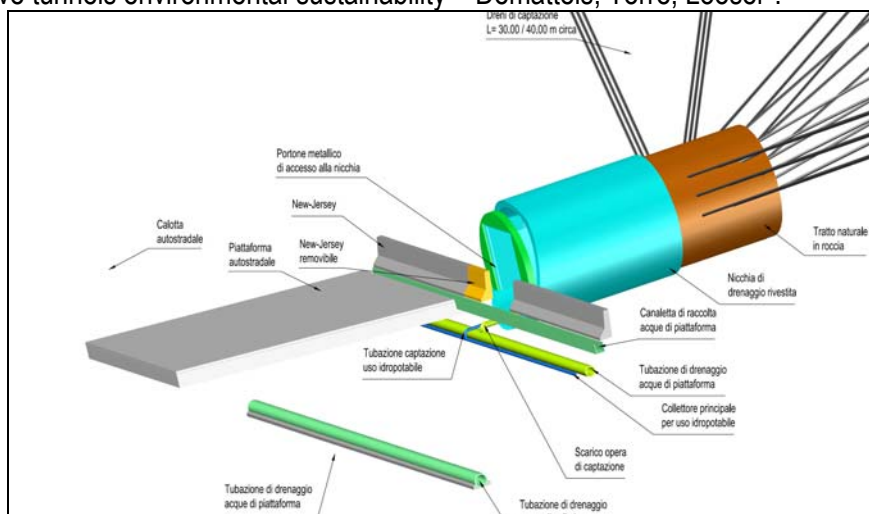


Figura 38 - Esempificazione di un opera di presa in galleria.

La sorgente S 519 capta i deflussi di sub alveo alimentati da versanti non interessati dalla galleria. Il rischio di impatto è pertanto limitato agli aspetti qualitativi. In particolare le acque del Torrente Liteglia che alimentano la captazione dovranno essere salvaguardate dalle problematiche di interferenza accidentale con le lavorazioni di cantiere in fase di corso d'opera e con gli scarichi di piattaforma oppure gli sversamenti accidentali in fase di esercizio.

Il sistema definitivo di drenaggio delle acque di piattaforma dovrà prevedere il collettamento degli scarichi a valle della presa come già previsto negli elaborati di progetto (IDR330). Analogamente, anche in fase di realizzazione delle opere, le acque di ruscellamento delle aree di cantiere dovranno essere efficacemente regimate e collettate a valle della presa per evitare qualsiasi apporto di acque di scarsa qualità con i deflussi in alveo.

A scopo cautelativo dovrà comunque essere predisposto un sistema di approvvigionamento alternativo costituito da serbatoi periodicamente riempibili con autocisterne, per fronteggiare eventuali e temporanee situazioni di criticità dovute a interferenza con le lavorazioni nella fase di costruzione dell'opera.

Codice	Denominazione area riferimento	Q (l/min)	DHI index	COD uso (*)	note utilizzo	R = H*V
S500	Castiglione – Casalino	0.44	0.224282	6	uso domestico - irriguo; alimenta 1 abitazione con 4 persone	0.1346
S501	Castiglione – Casalino	0.00	0.130431	8	non utilizzata	0.0261
S502	Castiglione – Casalino	0.00	0.269139	8	non utilizzata	0.0538
S503	Castiglione – Casalino		0.075088	6	uso domestico - irriguo; alimenta 1 abitazione 3 famiglie	0.0451
S504	Castiglione – Casalino		0.075088	6	uso irriguo 1 abitazione	0.0451
S505	Castiglione – Casalino	0.00	0.071675	6		0.0430
S506	Castiglione – Casalino		0.054593	6	non utilizzata	0.0328
S507	Castiglione – Casalino	3.30	0.141675	6	uso domestico - irriguo	0.0850
S508	Castiglione – Casalino	0.60	0.141675	6	uso domestico - irriguo	0.0850
S509	Castiglione – Casalino	1.60	0.141675	6	uso irriguo; fontanella di un condominio	0.0850
S510	Chignero		0.098947	6	uso irriguo 1 abitazione	0.0594
S512	Lagoscuro – Torrente Litteglia	127.00	0.225478	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; gestore Mediterranea dele Acque	0.4510
S513	Liturgia	42.00	0.281579	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; gestore Mediterranea dele Acque	0.5632
S514	Liturgia	0.00	0.225263	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; gestore Mediterranea dele Acque	0.4505
S515	Liturgia	0.00	0.225263	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; gestore Mediterranea dele Acque	0.4505
S516	Liturgia	0.00	0.070837	6	uso irriguo	0.0425
S517	Liturgia	0.00	0.074211	6	uso irriguo	0.0445
S518	Lagoscuro – Torrente Litteglia	3.70	0.163038	1	emergenza idrica non captata	0.3261
S519	Lagoscuro – Torrente Litteglia	28.00	0.171053	1	Acquedotto pubblico di Cicagna; gestore Idrotigullio	0.3421
S520	Chignero	2.10	0.27512	5	uso irriguo 2 abitazioni	0.1926
S521	Chignero	1.70	0.260167	6	uso irriguo 1 abitazione	0.1561
S522	Chignero	1.10	0.260167	6	uso irriguo 1 abitazione	0.1561
S523	Chignero	0.00	0.064992	6	non utilizzata	0.0390
S524	Chignero	0.00	0.064992	6	fontanella pubblica	0.0390
S526	Chignero		0.064992	6	uso irriguo 1 abitazione	0.0390
S527	Lupara - Vescina		0.089593	3	uso irriguo 1 abitazione	0.0896
S528	Lupara - Vescina		0.071491	3	uso irriguo per consorzio privato (complessivi 10 persone)	0.0715
S529	Lupara - Vescina		0.071491	3	uso irriguo alcune abitazioni	0.0715
S530	Greppi - (destra Torrente Foggia)	30.00	0.336423	3	uso irriguo 3 abitazioni	0.3364
S531	Greppi - (destra Torrente Foggia)	16.20	0.336423	3	non utilizzata	0.3364
S532	Greppi - (destra Torrente Foggia)	32.00	0.068242	7	non utilizzata	0.0273
S533	Chignero	60.00	0.068242	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; Acque Potabili S.p.A.	0.1365
S534	Chignero	55.00	0.425389	1	Acquedotto pubblico di Tribogna; Acque Potabili S.p.A.	0.8508
S535	Chignero	3.10	0.057193	6	non utilizzata ma esiste progetto sfruttamento per agriturismo in progetto	0.0343
S536	Chignero	0.00	0.064992	6	non utilizzata ma esiste progetto sfruttamento per agriturismo in progetto	0.0390
S537	Chignero	0.00	0.064992	6	non utilizzata ma esiste progetto sfruttamento per agriturismo in progetto	0.0390
S538	Arboccò	2.90	0.163038	8	uso irriguo 1 abitazione	0.0326
S539	Arboccò		0.130431	8	emergenza idrica non captata	0.0261
S540	Arboccò	21.20	0.163038	7	emergenza idrica non captata	0.0652
S541	Arboccò	16.50	0.130431	7	emergenza idrica non captata	0.0522
S542	Arboccò	3.80	0.11244	8	emergenza idrica non captata	0.0225
S543	Greppi - (destra Torrente Foggia)	0.00	0.057193	8	emergenza idrica non captata	0.0114
S544	Greppi - (destra Torrente Foggia)	0.00	0.071675	8	emergenza idrica non captata	0.0143
S545	Lupara - Vescina	8.40	0.071491	3	uso irriguo per consorzio privato	0.0715
S546	Chichizola		0.118062	1	Acquedotto pubblico di Cicagna; gestore Idrotigullio	0.2361
S547	Chichizola		0.118062	1	Acquedotto pubblico di Cicagna; gestore Idrotigullio	0.2361
S548	Serra	24.5	0.068242	6	uso irriguo	0.0409
S549	Serra		0.089593	6	uso irriguo	0.0538
S550	Serra		0.089593	6	uso irriguo	0.0538
S551	Serra		0.068242	6	uso irriguo	0.0409
S552	Casalino	0.00	0.089593	6	uso irriguo 1 abitazione	0.0538
S553	Steneri		0.057193	6	non utilizzata	0.0343
S554	Steneri		0.118062	6	uso domestico - irriguo	0.0708
S555	Salto Chiesa		0.054593	6	uso irriguo	0.0328
S556	Turin		0.08189	6	non utilizzata	0.0491
S557	Via Sotto Croce		0.123684	6	uso irriguo	0.0742

Tabella 23 - Quadro di riepilogo dell'analisi di rischio della risorsa. (*) cfr Tabella 22.

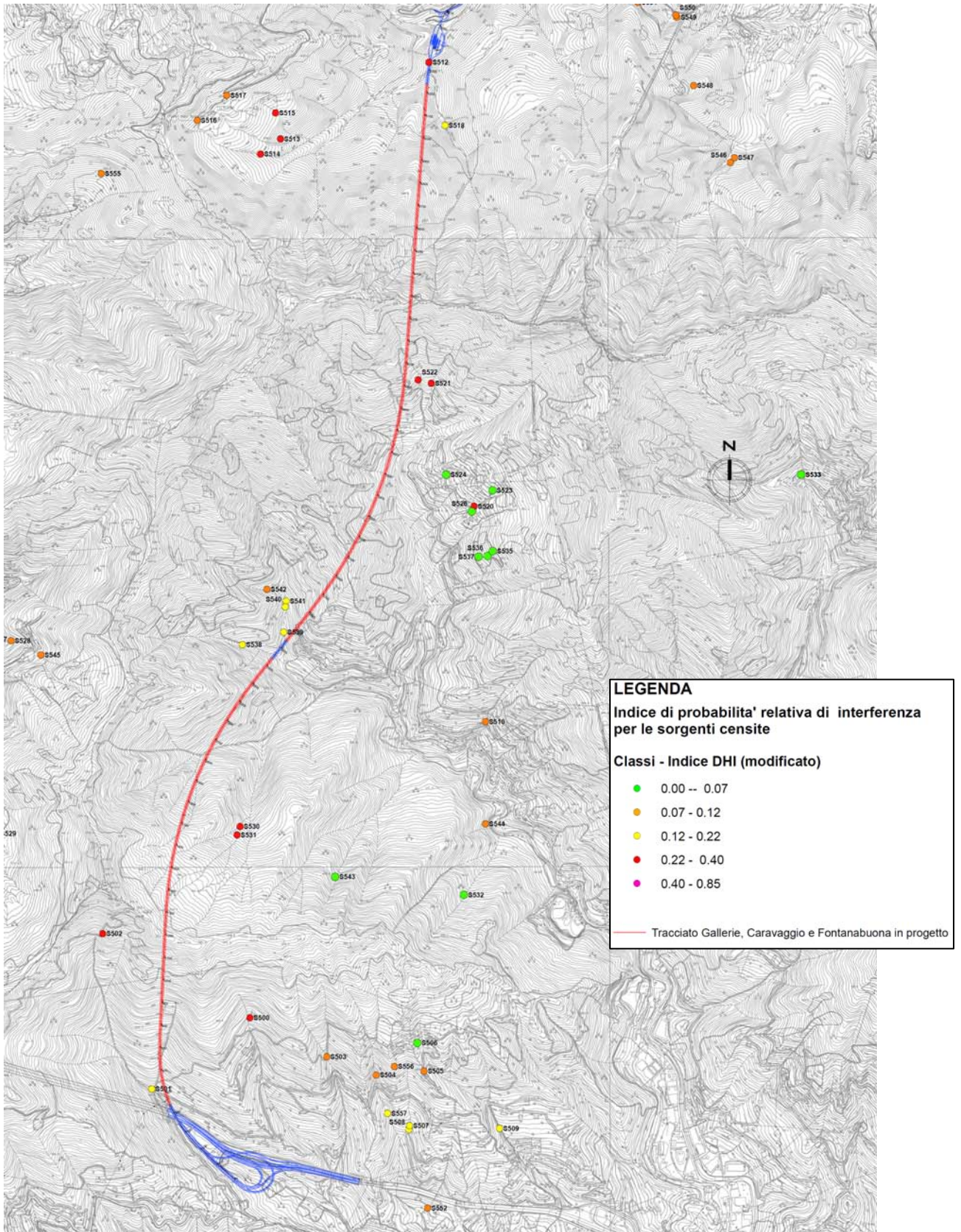


Figura 39 - Indice di probabilità relativa di interferenza (DHI).

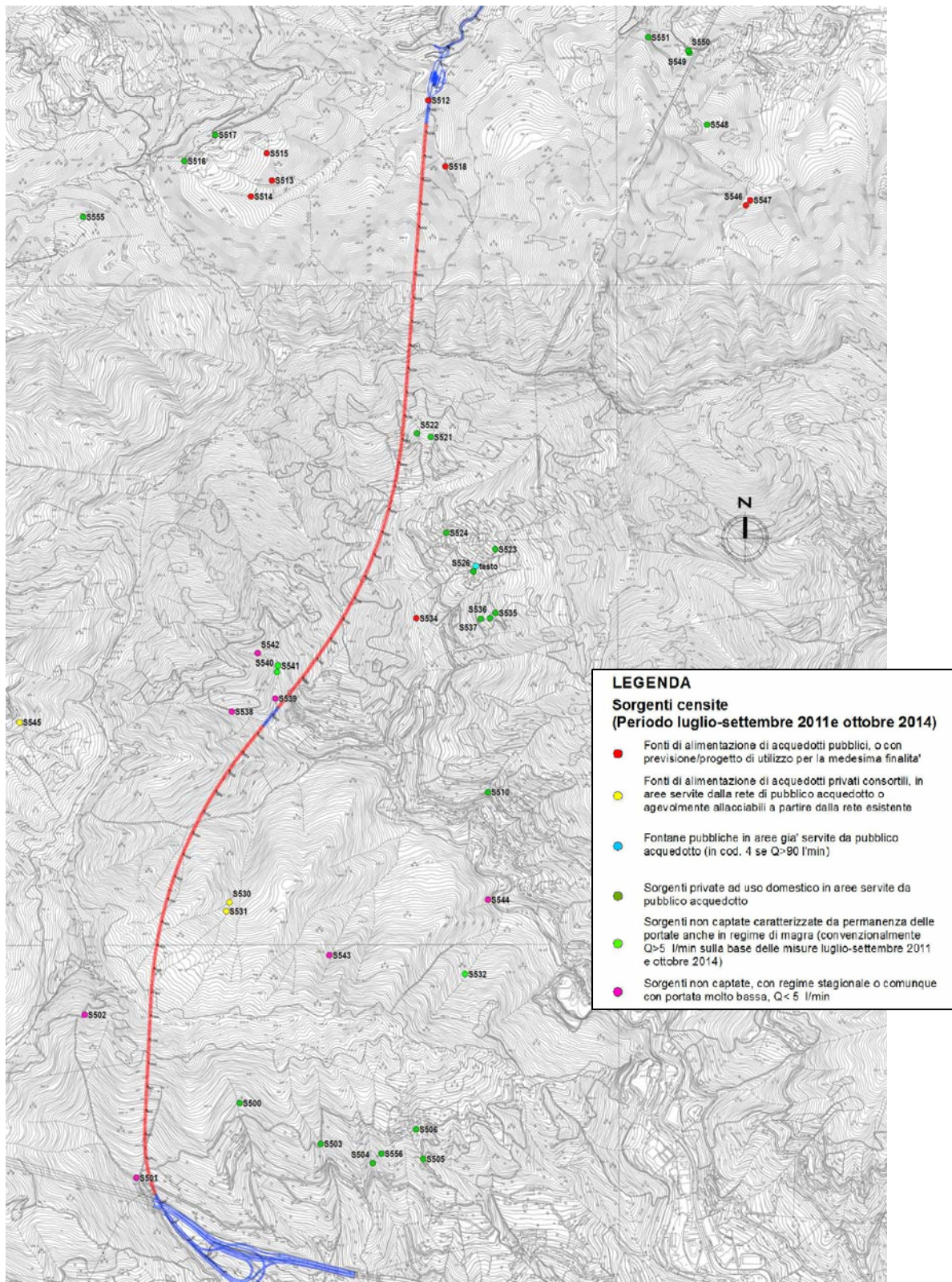


Figura 40 - Indice Utilizzo e valore strategico delle sorgenti censite.

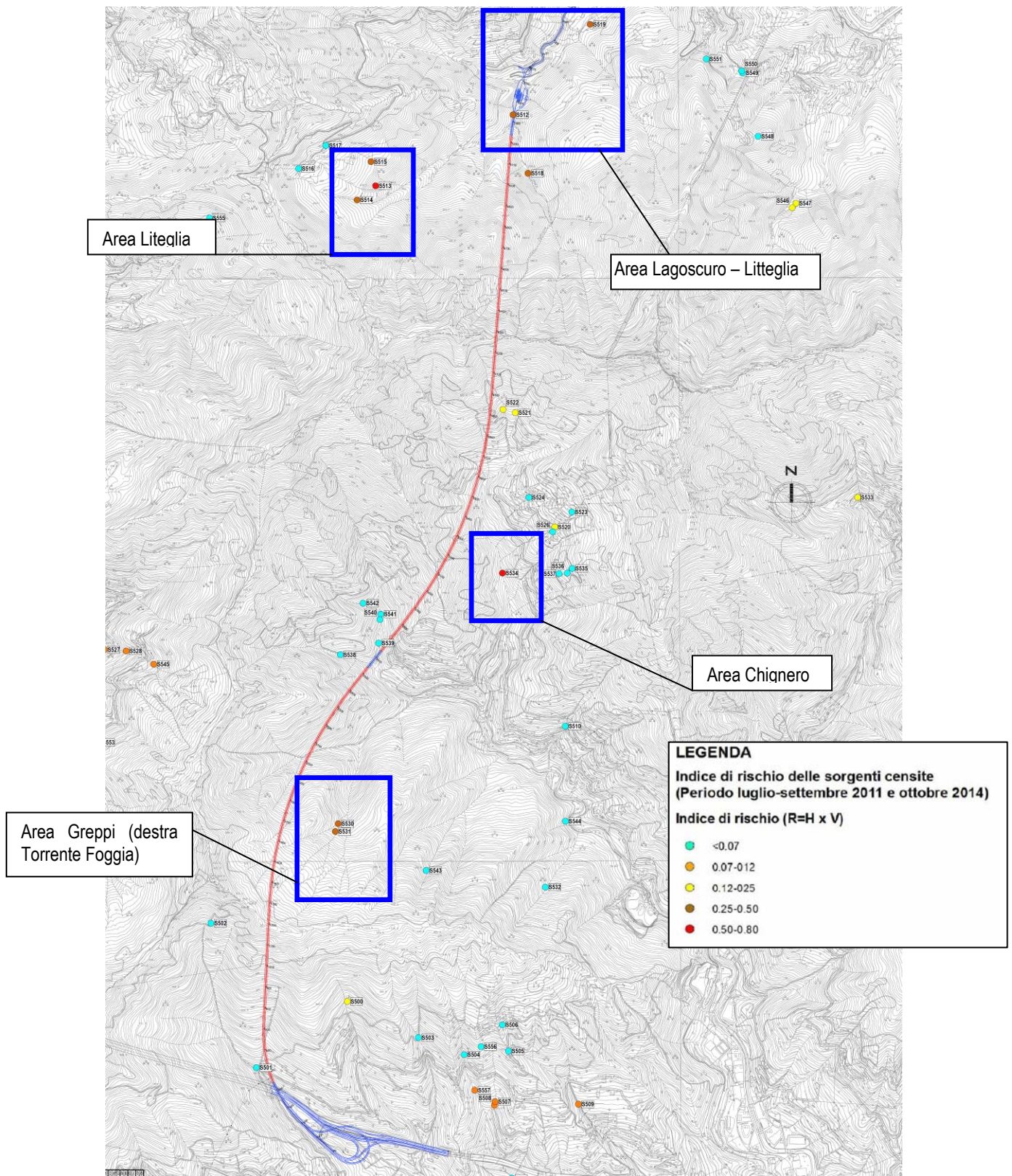


Figura 41 - Indice di rischio ($R = H \times V$) per le sorgenti censite ed individuazione delle aree a maggior rischio di impatto (rettangoli blu).

ALLEGATO 1

**Censimento delle sorgenti idriche - Sportello
Cartografico della Regione Liguria**

ALLEGATO 2

**Elenco delle concessioni - Provincia di Genova -
Direzione Ambiente, Servizio Acque e rifiuti, Ufficio
Derivazioni Idriche**

ALLEGATO 3

**Censimento captazioni da pozzo oggetto di
monitoraggio ARPAL**

ALLEGATO 4

**Censimento delle sorgenti nell'alto bacino del
Torrente Bisagno. Provincia di Genova -
Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue
Risorse (Università di Genova)**

ALLEGATO 5

**Censimento delle grotte - Sportello Cartografico
della Regione Liguria**

ALLEGATO 6

**Stralcio degli Annali Idrologici 1932 - 2002 relativi
alle stazioni di interesse per l'area del tunnel
Fontanabuona**

ALLEGATO 7

**Dipartimento per lo Studio del Territorio e delle sue
Risorse (Università di Genova). Data base analisi
chimiche**

ALLEGATO 8

**Data base analisi chimiche dei pozzi oggetto di
monitoraggio ARPAL**

ALLEGATO 9

Certificati di misura delle analisi chimiche

ALLEGATO 10

Certificati di misura delle analisi isotopiche

ALLEGATO 11

Schede censimento corpi idrici superficiali