



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

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


PROGETTO DEFINITIVO

GEOLOGIA

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA
E DI INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

IL GEOLOGO Dott. Vittorio Boerio Ord. Geologi Lombardia N. 794 RESPONSABILE UFFICIO GEO	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.			
-	1	1001302		STPGE00001				-		

 ingegneria europea	RESPONSABILE PROGETTO GENOVA Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI : Dott. Polattini – Dott. Tarbini
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : Dott. Polattini – Dott. Tarbini
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UNITA' STP Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

VISTO DEL COMMITTENTE  R.U.P. – Ing. Andrea Frediani	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
--	--

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE	7
3.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI.....	7
3.2	ATTIVITÀ CONOSCITIVE.....	10
3.3	REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA.....	11
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE GENERALE.....	13
5	INQUADRAMENTO TETTONICO	18
6	STRATIGRAFIA.....	20
6.1	UNITÀ TETTONICA ANTOLA	20
6.1.1	<i>Formazione di Antola (FAN)</i>	21
6.2	UNITÀ TETTONICHE LIGURI INTERNE - UNITÀ TETTONICA PORTELLO	22
6.2.1	<i>Formazione di Monte Lavagnola (FLV)</i>	23
6.3	UNITÀ TETTONICHE LIGURI INTERNE - UNITÀ TETTONICA GOTTERO	25
6.3.1	<i>Ardesie di Monte Verzi (AMV)</i>	26
6.3.2	<i>Scisti Manganesiferi (SMG)</i>	28
6.3.3	<i>Argille a Palombini (APA)</i>	32
6.4	DEPOSITI QUATERNARI	32
6.4.1	<i>Alteriti</i>	33
6.4.2	<i>Depositi di versante</i>	33
6.4.3	<i>Accumuli di frana</i>	34
6.4.4	<i>Depositi alluvionali</i>	34
7	STRUTTURA.....	36

7.1	UNITÀ TETTONICA PORTELLO.....	36
7.2	UNITÀ TETTONICA GOTTERO	37
7.3	UNITÀ TETTONICA ANTOLA.....	38
8	GEOMORFOLOGIA.....	40
8.1	ZONAZIONE GEOMORFOLOGICA.....	40
8.2	FORME E DEPOSITI.....	41
8.2.1	<i>Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio</i>	<i>41</i>
8.2.2	<i>Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque.....</i>	<i>42</i>
8.2.3	<i>Forme e depositi antropici.....</i>	<i>42</i>
8.3	ACCLIVITÀ	43
9	IDROGEOLOGIA GENERALE	45
9.1	QUADRO CLIMATICO	45
9.2	DATABASE DEI PUNTI D'ACQUA.....	51
9.3	DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI PUNTI D'ACQUA	55
9.4	INTERPRETAZIONE DEI DATI IDROCHIMICI E CHIMICO-ISOTOPICI	60
9.5	INTERPRETAZIONE DEGLI ELEMENTI GEOLOGICO - STRUTTURALI E RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO GENERALE	65
9.5.1	<i>Strutture tettoniche di rilevanza per la circolazione sotterranea</i>	<i>65</i>
9.5.2	<i>Carsismo</i>	<i>66</i>
9.6	INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE	67
9.6.1	<i>Planimetria dei complessi idrogeologici</i>	<i>69</i>
9.6.2	<i>Profilo idrogeologico.....</i>	<i>70</i>
9.7	PERMEABILITÀ	70
9.8	PIEZOMETRIA.....	73
10	VERIFICA DI IFFI, REGIONE, PIANO STRUTTURALE E ADB.....	75
11	INDAGINI GEOGNOSTICHE	85

11.1	INDAGINI PROGETTO PRELIMINARE 2011	85
11.1.1	<i>Rilievi geomeccanici</i>	87
11.2	INDAGINI PROGETTO DEFINITIVO 2013.....	87
12	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE.....	91
12.1	SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2006)	91
12.2	SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 AL 2014)	94
12.3	FAGLIE CAPACI	96
12.4	STRUTTURE SISMOGENETICHE.....	98
12.5	ZONAZIONE SISMICA.....	100
12.6	CLASSIFICAZIONE SISMICA	101
13	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	105
14	PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO	113
15	BIBLIOGRAFIA.....	118

1 INTRODUZIONE

Il presente studio geologico – geomorfologico è stato condotto nell’ambito della progettazione definitiva del collegamento fra l’autostrada A12 (svincolo di Rapallo) e la Strada Provinciale 225 (denominata “Fontanabuona”), lungo l’asse della Val Lavagna.

Il nuovo collegamento prevede la realizzazione di un asse viario, di lunghezza complessiva pari a 5550 m circa, sviluppato per lo più in galleria; il collegamento è completato mediante l’adeguamento della viabilità esistente per circa 1700 m, cioè fino al raccordo con la S.P. 225 della Val Lavagna.

La presente relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità ed un capitolo di inquadramento idrogeologico, che espone un quadro conoscitivo utilizzabile come punto di partenza per studi quantitativi di idrologia sotterranea.

La definizione dell’accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione, la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere, delle sezioni di scavo e delle tipologie d’avanzamento in galleria non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell’ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area rilevata costituisce una fascia ampia circa 1 km a cavallo del tracciato del tunnel Fontanabuona; essa si sviluppa con andamento N-S dall'entroterra di Rapallo, dall'area di parcheggio Caravaggio, fino alla Val Lavagna, entro il territorio del comune di Moconesi.

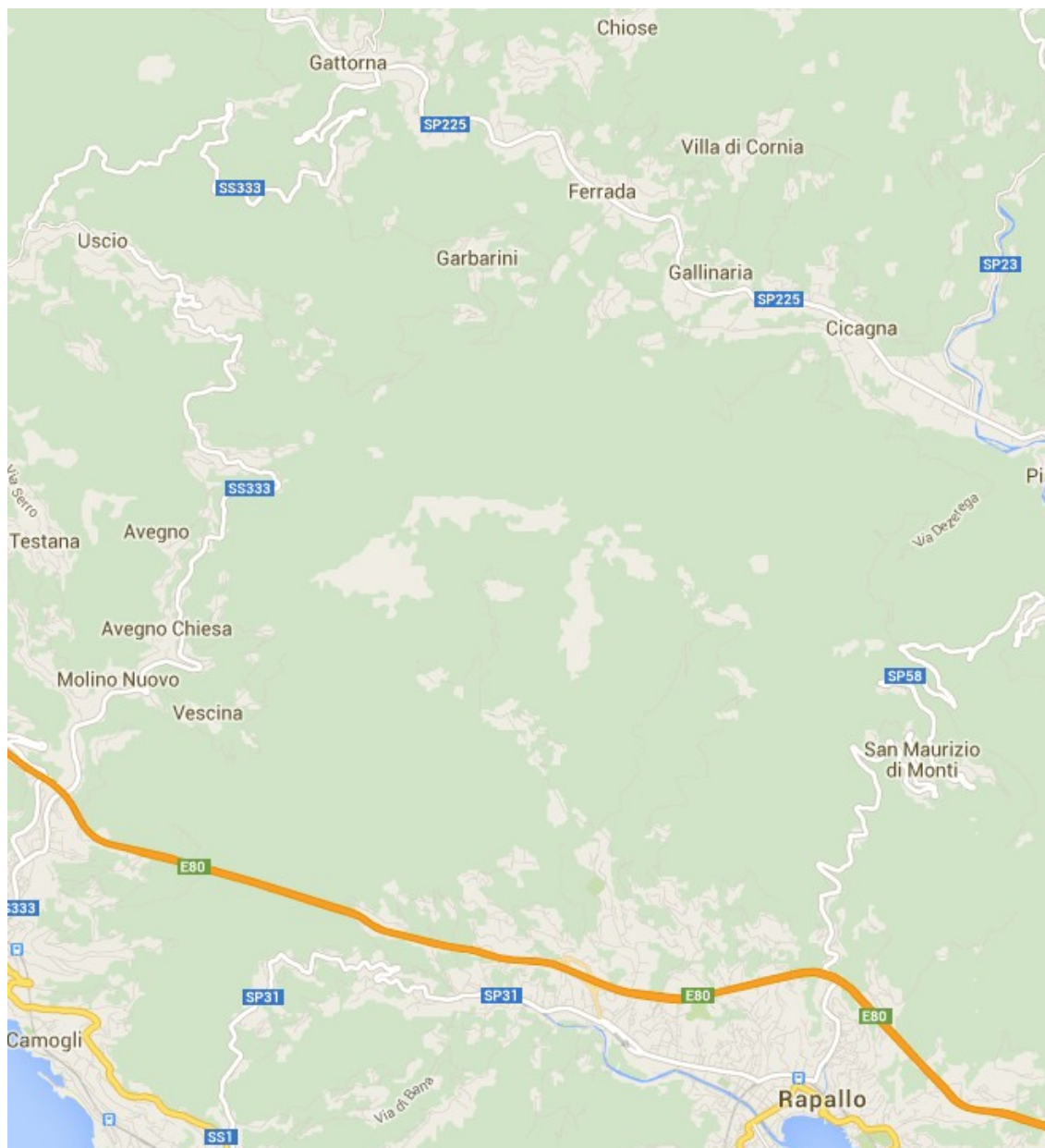


Figura 1 - Inquadramento geografico.

La porzione meridionale dell'area, nella valle del Torrente S.Maria presso Casalino, si trova alla quota di circa 24 m sul livello del mare, mentre la porzione settentrionale,

in Val Lavagna, si trova a quote di poco inferiori ai 120 m; lo spartiacque delineato dalla cresta M.Borgo – Passo della Serra raggiunge la quota di 729 m.

Il settore N è attraversato dal Torrente Lavagna, con andamento generale circa ENE-WSW e affluenti orientati N-S sul versante settentrionale (come il Torrente Liteggia). Il versante meridionale è più articolato con corsi d'acqua orientati N-S (Torrente S. Pietro), E-W (Torrente S. Maria) e NW-SE (Torrente Foggia). Le creste principali sono orientate E-W e N-S.

3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

3.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

Durante la prima fase conoscitiva sono stati reperiti tutti i dati disponibili presso vari Enti pubblici e di ogni altro dato disponibile e significativo per l'elaborazione di un modello concettuale dell'area.

I dati di base utili all'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000: Foglio 83 – Rapallo; Foglio 94 – Chiavari corredati dalle Note illustrative (1969);
- Carta Geologica a scala 1:50.000 (CARG): La sezione in scala 1:10.000 è reperibile sul sito della Regione Liguria, sezione 214-2 "Bargagli" corredate da Note illustrative e disponibile in formato shape al sito: http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?%20modalita=LIGHT&cod_repertorio=03&ambiente=I&utente=&ruolo=&idCanale=Geologia;
- Inventario dei fenomeni franosi in Italia – Progetto IFFI: censimento delle frane relative alla zona in oggetto disponibile in formato shape al sito: http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraWebGis/IndiceCarte.asp?%20modalita=LIGHT&cod_repertorio=03&ambiente=I&utente=&ruolo=&idCanale=Territorio (i dati sono stati scaricati il 7 Novembre 2014);
- Cartografia tematica appartenente al Piano di Bacino Ambito 15 (carta della suscettività al dissesto, carta delle fasce fluviali, carta del rischio idraulico, carta del rischio geologico, carta della franosità reale) disponibile al seguente link: <http://cartogis.provincia.genova.it/cartogis/pdb/ambito15/cartografia.htm>;
- Cartografia tematica appartenente al Piano di Bacino del Torrente Lavagna (carta della suscettività al dissesto e delle aree inondabili, carta del rischio, carta di dettaglio dei movimenti franosi) disponibile al seguente link: <http://cartogis.provincia.genova.it/cartogis/pdb/lavagna/>;
- Studio Geologico elaborato per il piano regolatore del Comune di Tribogna e dati geologici con rispettivi monitoraggi relativi a dissesti studiati e ripristinati entro il territorio comunale;
- Studio Geologico elaborato per il piano regolatore del Comune di Cicagna;
- Piani di Coordinamento Provinciale di Genova (PTCP).

Per la ricostruzione stratigrafica del sottosuolo:

- Campagne d'indagine di precedenti progetti inerenti l'area d'interesse (2011);
- Campagne d'indagine appositamente eseguite per il progetto definitivo lungo l'area d'interesse (2013).

Per l'inquadramento climatico e idrogeologico sono state svolte le seguenti attività e/o sono stati analizzati i seguenti documenti:

- http://www.nimbus.it/liguria/rlm15/clima_liguria.htm (portale di meteorologia e clima);
- 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;
- Provincia di Genova - Direzione Ambiente, Servizio Acque e rifiuti, Ufficio Derivazioni Idriche;
- ARPAL Dipartimento Provinciale di Genova - Settore Ciclo delle Acque;
- ASL4 Chiavarese;
- Regione Liguria - Dipartimento Ambiente Settore Ciclo Integrato e Gestione delle Risorse Idriche; Sportello Cartografico SITAR - Sistemi Informativi Territoriali e Ambientali Regionali 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;
- Repertorio cartografico della Regione Liguria (<http://www.cartografia.regione.liguria.it>) dove è stato possibile acquisire file tematici relativi ad "aree carsiche", "grotte e carsismo". I punti censiti sono 1229, di cui nessuno ricade in corrispondenza dell'area di indagine;
- 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. Questo documento 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;
- 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. Questo documento 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;

- 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. Questo documento contiene una raccolta di dati che hanno costituito un catasto delle sorgenti dove vengono distinte quelle captate dalle non captate in specifica cartografia;
- Per le sorgenti captate: 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 invece riferimento al Piano Urbanistico Comunale della Città di Rapallo (Progetto Preliminare Carta Idrogeologica in scala 1:5000) e Tavole in scala 1:25000 della Carta Tecnica Regionale;
- Censimento delle sorgenti idriche dell'intero territorio regionale presso lo Sportello Cartografico della Regione Liguria i punti censiti sono circa 9295, sono georeferenziati in coordinate Gauss Boaga e vengono forniti su supporto informatico Il data base correlato non contiene informazioni generali o specifiche dei singoli punti e, a ottobre 2014, non risultava aggiornato rispetto al 2011 (Progetto Preliminare) per quanto riguarda le informazioni relative all'area di interesse;
- 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 relativi a 102 sorgenti, 22 pozzi e 115 captazioni da acque superficiali (Piccole Derivazioni caratterizzate da portata fino ad 1 modulo = 100 l/s);
- 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 per la redazione del Progetto Preliminare nel 2011 l'ubicazione in coordinate geografiche di 15 captazioni da pozzo oggetto di monitoraggio che interessano l'acquifero del fondovalle del Torrente Lavagna. Tali punti sono rimasti invariati; 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, 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. 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;

- 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 rispetto al 2011 (Progetto Preliminare);

3.2 ATTIVITÀ CONOSCITIVE

La redazione del presente lavoro si è svolta mediante lo sviluppo delle seguenti attività specifiche:

- analisi aerofotogrammetrica finalizzata sia al controllo delle interpretazioni geomorfologiche pregresse ed alla loro integrazione, sia al riconoscimento dei principali lineamenti tettonici dell'area;
- rilevamento geologico di dettaglio in scala 1:5000, volto al riconoscimento dei litotipi presenti, alla definizione del loro assetto tettonico con riconoscimento e misura di elementi fragili e duttili presenti in affioramento;
- rilievo geomorfologico con verifica delle risultanze dell'analisi aerofotogrammetrica ed integrazione dati;
- sopralluogo lungo gallerie esistenti (galleria idraulica della Società Idrotigullio) per verificare la presenza di eventuali settori non rivestiti atti a fornire ulteriori informazioni sulle caratteristiche litologiche, geomeccaniche e idrogeologiche degli ammassi;
- verifica della presenza e posizione di sorgenti e pozzi ricavati da censimenti pregressi ed integrazione di nuovi dati, attraverso rilevamento di terreno con misurazione diretta di parametri fisico - chimici (PH, conducibilità e temperatura) e di portata;
- realizzazione di apposite campagne geognostiche (2011-2013) in sito (sondaggi, geofisica e rilievi geomeccanici) ed in laboratorio;

- analisi di tutte le stratigrafie dei sondaggi realizzati per integrare i dati di superficie.

3.3 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA

Sulla base delle attività conoscitive svolte e di tutti i dati bibliografici raccolti, è stato possibile ricostruire il quadro geologico dell'area di studio, relativamente ad una fascia estesa a tutto il tracciato e con larghezza pari a circa 1 km; in particolare sono stati redatti i seguenti elaborati tematici alla scala 1:5000:

- carta geologica (GEO0002-0003);
- profilo geologico in asse al tracciato dell'opera principale (GEO0010);
- sezioni geologiche trasversali all'asse (GEO0010);
- carta geomorfologica (GEO0004-0005);
- carta dei vincoli (GEO0006-0007);
- planimetria di ubicazione delle indagini (GEO0008-0009);
- carta dei complessi idrogeologici con ubicazione dei pozzi e delle sorgenti (GEO0011-0012);
- profili idrogeologici e sezioni (GEO0013);

Per le attività di terreno e per la fase di digitalizzazione dei dati si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 in formato vettoriale. Questa base garantisce la massima accuratezza del dato, compatibilmente con il fattore di scala, nei confronti delle reti geodetiche locali.

La carta geologica rappresenta la distribuzione planimetrica delle litologie riconosciute sul terreno, distinguendo le aree in affioramento da quelle dove l'ammasso roccioso è sub - affiorante (ricoperto da modesti spessori di suolo o di detrito) e pertanto non direttamente osservabile. Sono state indicate anche le giaciture dei piani di strato e dei piani di faglia principali; per quanto attiene agli elementi strutturali ed al loro assetto, è opportuno evidenziare che la loro ubicazione in planimetria ed in profilo talora può presentare un certo grado di indeterminatezza, in ragione della discontinuità degli affioramenti.

Le evidenze di campagna riguardanti le rocce di substrato sono state inquadrate nell'ambito di un modello stratigrafico conforme a quello adottato dalla cartografia ufficiale CARG; inoltre, sono stati cartografati anche i depositi quaternari più significativi dal punto di vista dello spessore e della distribuzione areale. In particolare, sono stati distinti i depositi di frana attivi da quelli quiescenti e le forme legate ad evoluzione erosiva e non parossistica dei versanti.

La carta geomorfologica rappresenta una sintesi dei dati bibliografici, degli elementi derivabili dalla fotointerpretazione e di tutte le forme osservate in sito. Sono state inserite anche le campiture che delimitano le aree a differente acclività; ottenendo in tale maniera anche una carta delle acclività, che è stata generata a partire da un DTM vettoriale in scala 1:5000 (Regione Liguria).

La carta dei vincoli è stata redatta utilizzando la documentazione ufficiale: cartografia IFFI (SIT Regione Liguria), suscettività al dissesto e fasce fluviali (Piani di bacino Ambito 15 e Torrente Lavagna).

La carta dei complessi idrogeologici riporta gli elementi idrologici e idrogeologici principali tra cui la distribuzione dei punti d'acqua (pozzi e sorgenti) identificati nell'area con indicazione delle loro portate, il grado di permeabilità del substrato roccioso e dei principali depositi superficiali, l'estensione delle unità idrogeologiche identificate, il reticolo idrografico e gli spartiacque tra i bacini.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRUTTURALE GENERALE

L'Appennino Settentrionale, in cui si inserisce l'area di progetto, è costituito da un complesso impilamento di unità tettoniche, le cui caratteristiche litostratigrafiche e strutturali riflettono l'evoluzione geodinamica sviluppatasi attraverso fasi di rifting e di spreading triassico-giurassiche che hanno portato all'individuazione del Dominio oceanico Ligure-Piemontese, situato tra i margini continentali delle placche europea ed adriatica.

Le successive fasi convergenti, attive fin dal Cretacico superiore, hanno determinato dapprima la progressiva chiusura del Dominio Ligure-Piemontese, tramite la subduzione di litosfera oceanica e nell'Eocene medio la collisione continentale.

A partire dall'Oligo-Miocene, si è assistito ad una deformazione di tipo esclusivamente intracontinentale, che ha interessato il margine della placca Adria, con una progressiva migrazione del fronte compressivo verso est.

L'Appennino Settentrionale è quindi caratterizzato dalla sovrapposizione tettonica dell'insieme alloctono delle Liguri, di origine oceanica, sull'insieme Umbro-Toscano, che rappresenta la copertura deformata e scollata dell'avampaese continentale adriatico. Queste coperture affiorano prevalentemente nella parte meridionale dell'Appennino Settentrionale (Toscana ed Umbria), mentre le Unità Liguri sono ben rappresentate soprattutto nell'Appennino Ligure-emiliano, dove sono estese dal Mar Ligure fino alla Pianura Padana (cfr. Fig.2 e Fig. 3).

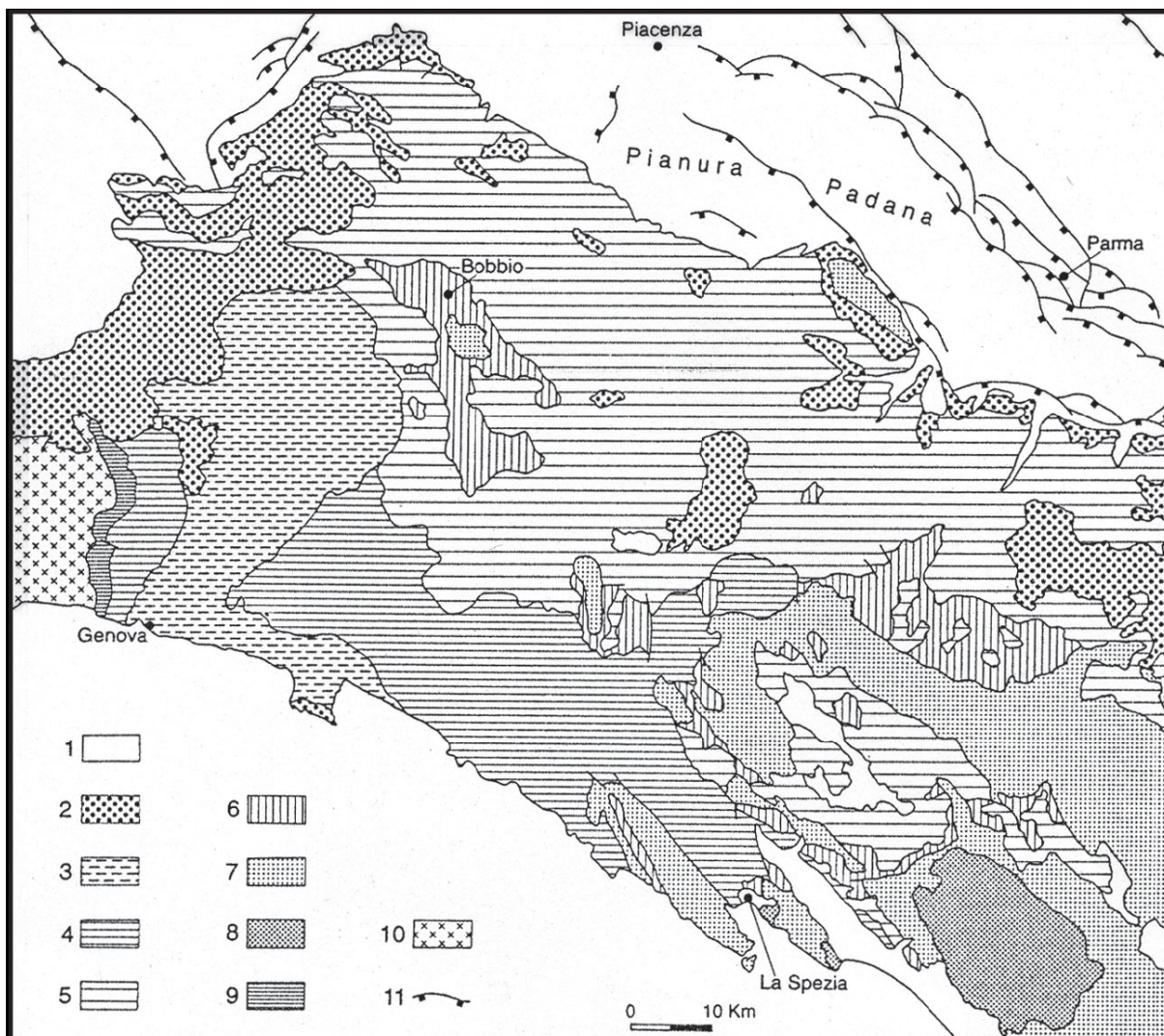


Figura 2 - Schema tettonico dell'Appennino Settentrionale. 1- Depositi Plio-Quaternari; 2- Successione Epiligure e Successione del Bacino Terziario Piemontese; 3- Unità Antola; 4- Unità Liguri Interne; 5- Unità Liguri Esterne; 6- Unità Subliguri; 7- Unità Toscane; 8- Complesso Metamorfoico Apuano; 9- Unità della Zona Sestri-Voltaggio; 10- Unità del Gruppo di Voltri; 11- Principali sovrascorrimenti sepolti.

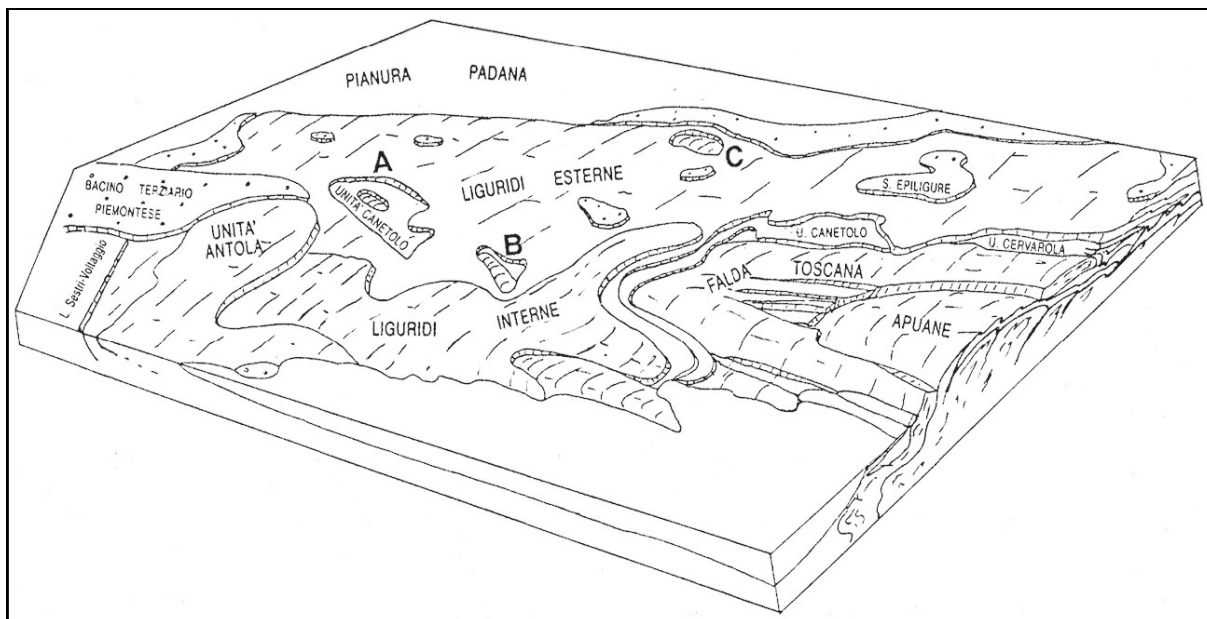


Figura 3 - Block-diagram dell'Appennino Settentrionale. A- Finestra tettonica di Bobbio; B- Finestra tettonica di Monte Zuccone; C- Finestra tettonica di Salsomaggiore. Da Elter (1994) modificato.

Nell'ambito dell'area di progetto affiorano unicamente Unità Liguri appartenenti al Dominio Ligure Interno, in particolare si tratta delle Unità tettoniche Gottero e Portello, oltre all'Unità tettonica Antola, il cui dominio di appartenenza è ancora oggetto di discussione.

Le unità tettoniche del *Dominio Ligure Interno* hanno un'origine oceanica, come dimostrato dalla presenza di ofioliti alla base delle successioni sedimentarie. In particolare, le Argille a Palombini del Santoniano, presenti nella successione dell'Unità Gottero e dell'Unità Portello, rappresentano generalmente la copertura sedimentaria di un substrato ofiolitico.

Nell'Unità Gottero le Argille a Palombini passano verso l'alto ai depositi torbiditici silicoclastici del Gruppo degli Scisti della Val Lavagna (Campaniano - Maastrichtiano inferiore) e delle Arenarie del Monte Gottero (Maastrichtiano inferiore - Paleocene inferiore), che però non affiorano nell'area oggetto di studio; così come non sono presenti le Argilliti di Giaiette del Paleocene inferiore.

Questa successione è tipica di una litosfera oceanica prossima ad una zona di subduzione; infatti si riscontra un passaggio graduale dai depositi di piana bacinale ai depositi di fossa e poi di scarpata inferiore. Lo stesso tipo di evoluzione stratigrafica è

riconoscibile anche nell'Unità Portello, dove le Argille a Palombini di età Santoniano - Campaniano inf. passano gradualmente alla Formazione di Ronco (Campaniano inferiore), che è costituita da torbiditi miste carbonatico/silicoclastiche. La successione si completa con depositi del tutto assimilabili alle Argilliti di Giaiette, che nel caso specifico sono rappresentati dalla Formazione di Monte Lavagnola, di probabile età paleocenica inferiore.

Un'importante caratteristica delle successioni Liguri Interne è rappresentata dalla loro evoluzione pre-oligocenica, che comprende più fasi deformative associate a un metamorfismo di grado molto basso, variabile dall'anchizona all'epizona. Questa evoluzione strutturale sembra essere dovuta al coinvolgimento delle Unità Liguri Interne in una zona di subduzione, con successiva esumazione.

Nelle Liguridi Esterne, invece, non si rinviene mai la base delle successioni sedimentarie, che risultano sempre scollate in corrispondenza dei complessi sedimentari del Cretacico superiore, i cosiddetti "Complessi di base".

Nel Campaniano inizia la sedimentazione delle torbiditi calcaree più distali, ovvero del Flysch ad Elmintoidi; la deformazione di questi depositi sembrerebbe correlabile con le fasi deformative pre-Gosau nelle Alpi.

Nel Cretacico superiore il Dominio Ligure Esterno risulta pertanto caratterizzato dall'associazione di due diversi tipi di deposito: uno più prossimale, rappresentato dai complessi sedimentari clastici grossolani e uno più distale, rappresentato dalle torbiditi calcaree del Flysch ad Elmintoidi, la cui origine è connessa con la tettonica che ha interessato alcuni settori delle Alpi. I complessi sedimentari clastici grossolani derivano invece da aree interne al Dominio Ligure Esterno, interessate anch'esse da una intensa attività tettonica.

Nell'Eocene medio anche le Unità Liguri Esterne sono caratterizzate da una evoluzione deformativa legata alle fasi di chiusura del bacino oceanico Ligure-Piemontese ed alla successiva collisione continentale; questa evoluzione è contraddistinta da più fasi deformative sviluppatesi a livelli strutturali superficiali.

L'Unità Antola è caratterizzata da una successione di tipo ligure esterno, costituita da un complesso di base del Cretacico superiore, rappresentato da peliti varicolori prive di depositi clastici grossolani (Argilliti di Montoggio), che passano stratigraficamente ad un Flysch ad Elmintoidi del Campaniano - Maastrichtiano (Formazione di Monte Antola) sormontato a sua volta da peliti del Paleocene (Argilliti di Pagliaro). Tuttavia, l'Unità Antola, soggetta a più deformazioni plicative sviluppatesi in assenza di metamorfismo, si trova al di sopra delle Unità Liguri Interne e per questo motivo sulla sua collocazione paleogeografica esistono ipotesi discordanti.

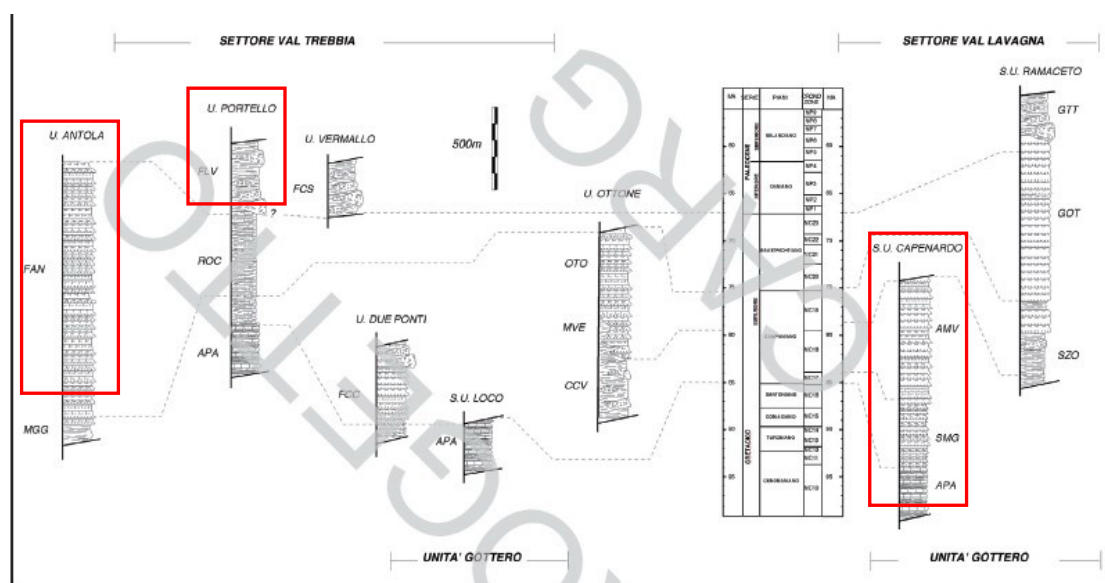


Fig. 4 - Schema stratigrafico delle successioni relative alle Unità tettoniche Liguri.

Figura 4 - Schema stratigrafico delle Unità Liguri (da CARG)

5 INQUADRAMENTO TETTONICO

In questo studio si è scelto di adottare la suddivisione delle unità come definite dal Foglio CARG, ancora in fase di pubblicazione. L'Unità tettonica Antola è stata associata al Dominio Ligure Esterno, anche se la questione è tutt'ora oggetto di discussione, soprattutto a causa del diverso grado di deformazione e di metamorfismo. Per quanto riguarda le Unità Liguri Interne, si è fatto riferimento ai risultati derivanti dai nuovi rilievi eseguiti nell'ambito del Progetto CARG poiché si è trovato migliore riscontro con i dati di terreno.

In generale le faglie sono raramente individuabili in affioramento ma vengono più frequentemente dedotte dalla geometria dei versanti e dai limiti geologici.

Il motivo strutturale principale dell'area in cui si inserisce il progetto è determinato dalla sovrapposizione tettonica dell'Unità Antola sulle Unità Liguridi Interne (Unità Portello e Gottero). Tale elemento, a scala più ampia, taglia i contatti tettonici che delimitano le Unità Liguridi Interne ed è di età pre-Oligocenica. Il contatto interessa direttamente il tracciato e si realizza con un sovrascorrimento orientato, nell'area di rilevamento, circa E-W e tagliato da faglie NNE-SSW.

Le unità tettoniche citate comprendono sia sedimenti bacinali argillitici, sia sedimenti flyschoidi; le scaglie tettoniche risultano separate fra loro da piani a basso angolo immergenti verso SW. La vergenza dei thrust è top-to-NE.

I sovrascorrimenti risultano tagliati e dislocati da faglie trascorrenti o normali, orientate tra E-W e ENE-WSW e dalle loro coniugate con andamento circa N-S.

Queste strutture tardive, generalmente sub-verticali, si manifestano mediante fasce cataclasate di ampiezza decametrica.

Le faglie sono caratterizzate da strutture coniugate a basso angolo WSW-ENE, WNW-ESE e E-W, che presentano diffusa evidenza morfologica ed interessano trasversalmente tutte le unità strutturali.

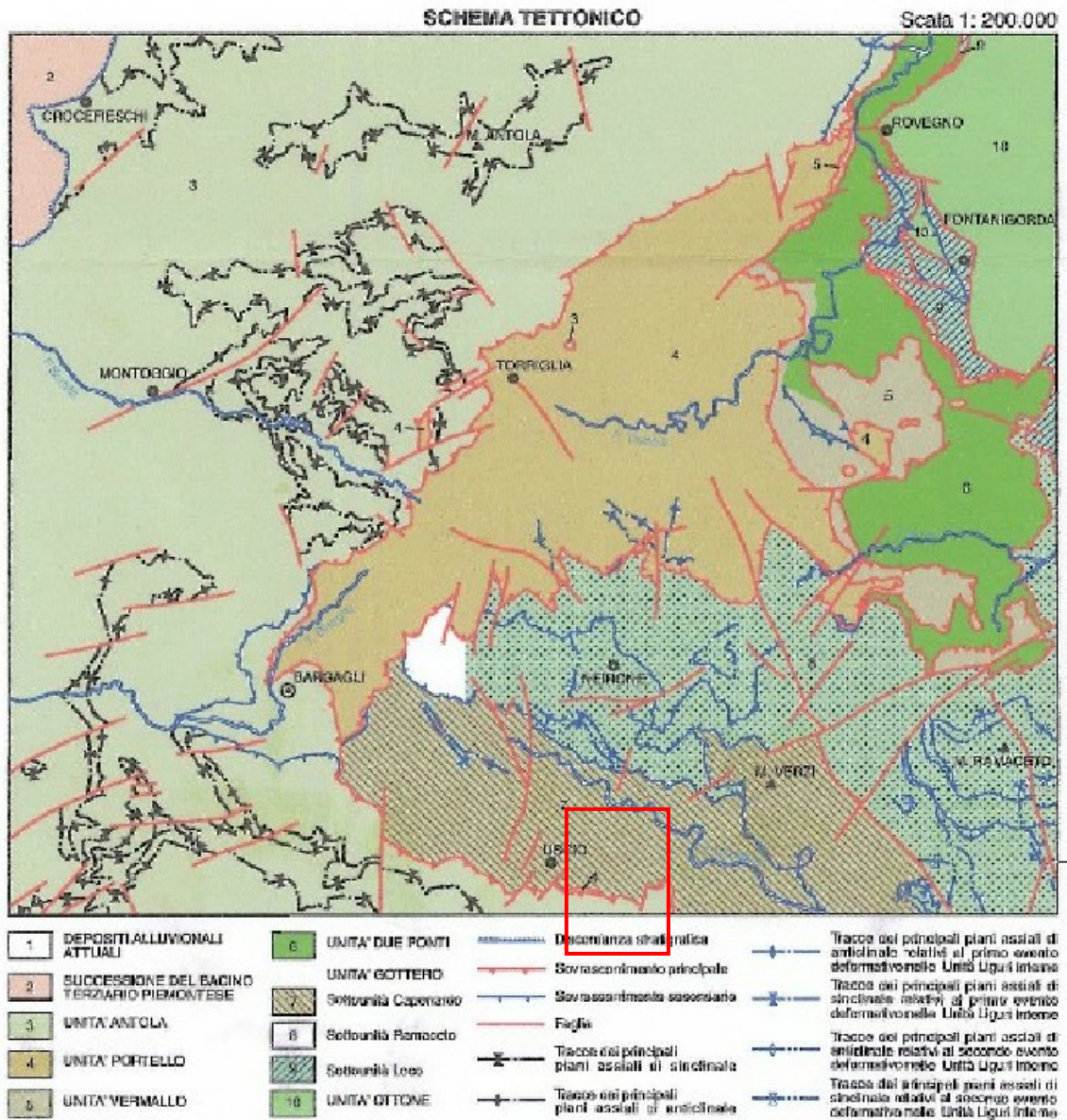


Figura 5 - Schema tettonico da CARG - Foglio 214 Bargagli

6 STRATIGRAFIA

Gli ammassi rocciosi presenti nell'area di rilievo appartengono genericamente al Dominio dei Flysch Appenninici, costituito da unità sia di bacino profondo, sia flyschoidi in senso stretto. Tali unità, in apparenza molto omogenee dal punto di vista litologico e tessiturale, sono state in passato trattate come un unico insieme denominato "Argille a Palombini" o "Flysch di Busalla". Studi recenti hanno invece contribuito a definire una migliore suddivisione delle unità che, sebbene difficoltosa sul campo, consente una migliore analisi della struttura geologica.

I due principali raggruppamenti che sono stati definiti sono le Unità Liguridi Interne e le Unità Liguridi Esterne, con riferimento alla loro posizione paleogeografica rispetto al bacino ed all'avampaese; ogni unità principale è costituita da più Unità Tettoniche, di cui solo alcune affiorano nell'area esaminata.

Ogni unità tettonica può contenere più formazioni; a queste unità liguridi interne ed esterne si sovrappone l'Unità Tettonica Antola, che risulta tutt'ora di incerta attribuzione paleogeografica.

6.1 UNITÀ TETTONICA ANTOLA

In Appennino settentrionale l'Unità Antola si trova al tetto dell'edificio a falde affiorante nell'area considerata il confine tra Alpi ed Appennino. Questa unità è tradizionalmente attribuita alle Liguridi Esterne, interpretabile come espressione del bacino oceanico ligure-piemontese e della sua transizione al margine continentale della placca Adria. La corrispondenza di sequenza e di intervalli biostratigrafici documentati, consente di azzardare una correlazione con i Flysch ad elmintoidi (Unità di M.Cassio) affioranti nell'Appennino settentrionale esterno; in tal modo si suggerirebbe che l'unità del M. Antola possa essere associata alle successioni flyschoidi del bacino ligure esterno.

Questa correlazione, implica che, per raggiungere l'attuale livello strutturale al tetto della catena nord-appenninica, l'Unità di Antola dovrebbe aver subito una antica fase tettonica Europa-vergente. Tuttavia, l'Unità Antola, caratterizzata da più deformazioni plicative sviluppatesi in assenza di metamorfismo, si trova al di sopra delle Unità

Liguri Interne e per questo motivo sulla sua collocazione paleogeografica esistono ipotesi discordanti.

Nell'area d'interesse l'Unità di Antola non si associa al complesso basale (Argillite di Montoggio), perché evidentemente risulta tranciato dal piano di scorrimento basale; pertanto sono presenti solamente i depositi torbiditici carbonatici intermedi, che rappresentano la Formazione di Monte Antola, secondo la notazione CARG.

Le giaciture degli strati immergono mediamente verso i quadranti meridionali, sono disturbate solamente da pieghe ad ampio raggio e da ondulazioni a scala metrica.

6.1.1 Formazione di Antola (FAN)

Si tratta di sequenze di torbiditi carbonatiche, in prevalenza calcareo-marnose, talvolta siltose, con orizzonti fini prevalentemente marnosi, calcareniti e calcareniti marnose grigio chiare, biancastre in alterazione, marne e marne calcaree in strati planari, da decimetrici fino a plurimetrici, intercalati da strati marnoso - siltitici, ed in misura minore argillitici, in strati centimetrici fino a decimetrici. Il rapporto calcareniti/siltiti è variabile da inferiore ad 1 a maggiore di 20; lo spessore totale della Formazione raggiunge i 2000 m.

Negli orizzonti calcareo-marnosi più massivi il disturbo tettonico rende di difficile lettura la stratificazione, che invece di solito appare ben evidente. Il comportamento rigido degli orizzonti calcarei è manifesto nelle aree di cerniera delle pieghe, dove sono frequenti le fratture radiali, quasi sempre sature da calcite.

Gli orizzonti calcarei basali, immediatamente soprastanti la di Formazione di Val Lavagnola, risultano normalmente di elevato spessore ed intensamente fratturati; determinano un buon rilievo morfologico in corrispondenza delle creste (passo Spinarola, Serra e sulle creste in Val Liteglia); il contatto con la Formazione di Val Lavagnola è spesso marcato anche da un netto cambio di pendenza del versante.

Età da CARG: Campaniano inf. - Maastrichtiano inf.



Figura 6 - Affioramento della Formazione del Monte Antola.

6.2 UNITÀ TETTONICHE LIGURI INTERNE - UNITÀ TETTONICA PORTELLO

L'unità Portello è geometricamente compresa fra l'Unità Vermallo e l'Unità Antola, con la quale viene in contatto attraverso un importante sovrascorrimento, caratterizzato dalla presenza di scaglie tettoniche visibili nella zona di Torriglia lungo la strada per Garaventa.

L'assetto tettonico dell'Unità Portello è sostanzialmente normale anche se non manca la presenza di settori a giacitura rovesciata. Lo spessore totale apparente dell'unità è di circa 750 m.

L'Unità Portello è stata cartografata dagli Autori del F.83 Rapallo della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (Servizio Geologico d'Italia, 1968) in parte come appartenente agli Scisti di Val Lavagna, o alla Formazione di Ronco (Unità Gottero) ed in parte come complesso di base dell'Unità Antola.

Secondo Marini (1992) la successione di questa unità fa parte del settore NW dell'Unità Gottero, ed è quindi parzialmente eteropica con l'insieme Scisti Zonati - Arenarie di Monte Gottero. In un lavoro precedente, lo stesso Marini interpretava gran parte dell'Unità Portello come "Elemento delle Ardesie".

L'Unità Portello è caratterizzata da depositi pelagici nella parte bassa (Argille a Palombini), seguiti da una potente successione torbidityca (Formazione di Ronco) e da depositi clastici grossolani con ofioliti (Formazione di Monte Lavagnola). Nell'area di nostro interesse, l'unità Portello è rappresentata solamente dalla Formazione di Monte Lavagnola, che è presente come una scaglia di spessore ridotto (poche decine di metri) associata al sovrascorrimento basale della formazione di Monte Antola, che la giustappone alla successione dell'Unità Tettonica Gottero.

6.2.1 Formazione di Monte Lavagnola (FLV)

E' costituita da argilliti grigio scure, generalmente prive di strutture sedimentarie. Può contenere anche intercalazioni lenticolari di brecce mono e poligeniche a matrice argillitica con clasti angolari e subangolari di calcari riferibili alla Formazione delle Argille a Palombini e in modo subordinato clasti derivanti da una sequenza ofiolitica (FLVa).

La Formazione di Monte Lavagnola rappresenta il deposito di chiusura dell'intera successione ed è costituita da un insieme di torbiditi sottili, a composizione silicoclastica e di pebbly mudstone, pebbly sandstone, slide block, riferibili principalmente alla formazione delle Argille a Palombini.

Le torbiditi silicoclastiche sono costituite da strati sottili costituiti da silti e da arenarie finissime, che si alternano a strati medi e spessi di peliti prive di CaCO₃. Gli strati non mostrano continuità laterale nemmeno alla scala dell'affioramento. Lo spessore di queste torbiditi è generalmente sottile ed il rapporto a/p è <1. La composizione silicoclastica degli strati più grossolani è caratterizzata principalmente dalla presenza di frammenti monocristallini di quarzo, feldspati e fillosilicati.

Associati a questa formazione sono presenti corpi di pebbly-mudstone e pebbly-sandstone (FLVa) derivati principalmente da una sequenza ofiolitica e dalla relativa copertura sedimentaria. Sono presenti inoltre lenti di argilliti varicolori e di sporadici clasti e blocchi di arenarie riferibili alle Arenarie di Monte Gottero.

Lo spessore massimo riconosciuto è di 150 m. Nell'area di nostro interesse sono stati individuati svariati affioramenti in posizione inferiore rispetto al sovrascorrimento della Formazione di Monte Antola, in particolare, presso il Passo di Spinarola, in Val Liteggia e a Serra.

Le facies prevalenti sono quelle fini, costituite da argillocisti nerastri e di colore grigio verde in alterazione, fittamente laminati e intensamente tettonizzati.

Età da CARG: Paleocene?



Figura 7 - Affioramento della Formazione del Monte Lavagnola.

6.3 UNITÀ TETTONICHE LIGURI INTERNE - UNITÀ TETTONICA GOTTERO

L'Unità tettonica Gottero è costituita da una spessa successione sedimentaria che comprende in primo luogo le Argille a Palombini (Santoniano), le quali passano stratigraficamente ai depositi torbiditici silicoclastici e carbonatici rappresentati dagli Scisti Mangesiferi (Santoniano - Campaniano inferiore) dalle Ardesie di Monte Verzi (Campaniano inferiore), dagli Scisti Zonati (Campaniano superiore - Maastrichtiano inferiore) e dalle Arenarie del Monte Gottero (Maastrichtiano inferiore -Paleocene inferiore).

Gli Scisti Mangesiferi e le Ardesie di Monte Verzi, nell'ambito del CARG, sono stati elevati al rango di formazioni, appartenenti al Gruppo degli Scisti della Val Lavagna.

L'Unità Gottero è tettonicamente sormontata dall'Unità Portello mediante un piano a basso angolo che taglia la stratificazione e che risulta sostanzialmente parallelo al clivaggio principale. Nell'area rilevata il contatto avviene tra la Formazione di Monte Lavagnola e le Ardesie di Monte Verzi e la superficie di contatto appare localmente verticalizzata (vedi GEO0010).

La successione stratigrafica dell'Unità Gottero è stata interpretata come risultato della sedimentazione prima pelagica e poi torbiditica di mare profondo, al di sopra della litosfera oceanica del Dominio oceanico Ligure-Piemontese, che è rappresentata dalla sequenza ofiolitica giurassica.

All'interno dell'Unità Gottero, per motivi legati alla evoluzione tettonica successiva, risulta bene sviluppata solo la parte torbiditica della successione, mentre è meno sviluppata la successione emipelagica, che risulta limitata alle sole Argille a Palombini.

A causa dell'intensa tettonizzazione questa successione presenta degli spessori difficilmente valutabili che comunque possono essere stimati tra i 1500 e i 2000m.

Il Foglio CARG distingue tre Sottunità: Loco, Ramaceto e Capenardo; le Formazioni presenti nell'area - Argille a Palombini, Scisti Mangesiferi e Ardesie di Monte Verzi

- vengono attribuite alla Sottounità Tettonica Capenardo e sono frequentemente raggruppate sotto la definizione “Gruppo degli Scisti della Val Lavagna”.

6.3.1 Ardesie di Monte Verzi (AMV)

Si tratta di torbiditi pelitico-arenacee caratterizzate dall'alternanza di strati silicoclastici medio spessi e di strati calcareo-marnosi spessi e molto spessi, questi ultimi noti con il nome di “Ardesie” o “Lavagna”. Litologicamente sono costituite da marne, marne calcaree e calcari marnosi in strati gradati da medi a molto spessi, generalmente a base arenitica fine, con intercalazioni di peliti non carbonatiche in strati molto sottili; subordinatamente areniti a composizione arcossica alternate a peliti in strati gradati di spessore da medio a sottile.

La formazione delle Ardesie di Monte Verzi ha uno spessore di circa 400 m ed appartiene alla Sottounità Capenardo, che affiora su entrambi i lati della media e bassa Val Lavagna.

La base della successione è caratterizzata dal passaggio stratigrafico con gli Scisti Manganesiferi, mentre il tetto mostra un passaggio stratigrafico graduale agli Scisti Zonati (Casnedi, 1982). Nell'area rilevata il limite inferiore è piuttosto netto e in buona parte ripreso dalla tettonica, mentre il limite superiore non è mai visibile, in quanto eliso dal piano basale di sovrascorrimento dell'Unità Tettonica Portello, con la formazione di Monte Lavagnola interposta tra le Ardesie di Monte Verzi e la Formazione di Monte Antola,

La successione stratigrafica delle Ardesie di Monte Verzi è caratterizzata dalla presenza di due differenti tipi di strato torbiditico, uno a composizione silicoclastica ed uno a composizione calcareo-marnosa. La litofacies tipica è data dall'interferenza di questi due tipi di strato, mentre le differenti litofacies riconosciute al suo interno (Marini, 1993) derivano dalle diverse combinazioni fra questi due tipi di strato prodotte dalle variazioni nella sedimentazione dei due differenti tipi di torbidite.

Sulla base di studi recenti (Casnedi, 1982; Marroni, 1990) la parte silicoclastica di questa litofacies pare nettamente prevalente sulla parte calcareo-marnosa che

sembra volumetricamente più importante a causa del maggior spessore degli strati e dell'intensa attività estrattiva dell'ardesia (Elter, Marroni e Pandolfi, in stampa).

Gli strati silicoclastici presentano una composizione della frazione arenitica del tutto comparabile con quelle degli Scisti Manganiferi e delle Arenarie di Monte Gottero. Il trend coarsening upward riconosciuto negli Scisti Manganiferi prosegue all'interno di questa litofacies, relativamente agli strati a composizione silicoclastica e si assiste ad un ulteriore cambiamento delle facies indicative di ambienti sempre più prossimi all'area sorgente. Lo spessore di questi strati varia da sottile a spesso, ma sono presenti anche strati di spessore nettamente superiore al metro (fino a 5 m nelle sezioni di Monte Verzi e di Orero). Il rapporto a/p è generalmente minore o molto minore di 1.

Gli strati di "ardesie" si riconoscono facilmente per la presenza di una frazione pelitica a composizione calcareo-marnosa molto potente e nettamente prevalente sulla frazione arenitica ($a/p \ll 1$). Lo spessore degli strati varia da medio a spesso fino a molto spesso (alcuni strati sfruttati per l'estrazione dell'ardesia superano i 10m). La frazione arenitica ha granulometria che difficilmente raggiunge la taglia dell'arenite media, solitamente si tratta di areniti fini o finissime. La composizione di questi strati è di tipo misto dominata da quarzo e fillosilicati monocristallini, ma con presenza importante di frammenti carbonatici micritici (>20% dell'ossatura) del tutto assenti negli strati silicoclastici. Il tetto della frazione pelitica è talvolta caratterizzato da livelli emipelagici di spessore <5cm privi di CaCO_3 .

L'età di questa successione è stata determinata da Marroni & Perilli (1990) nella località tipo in base a una ricca associazione a Nannofossili Calcarei provenienti dalla frazione pelitica delle ardesie.

Età da CARG: Campaniano



Figura 8 - Affioramento delle Ardesia di Monte Verzi, in corrispondenza di un torrente.

6.3.2 Scisti Manganesiferi (SMG)

La Formazione degli Scisti Manganesiferi, parzialmente riferibili al Membro di Scurtabò, (Braga et alii, 1973), nonché alle Argilliti di Montanesi, (Marini, 1990), affiora estesamente in Val Lavagna nel settore compreso fra i paesi di Carasco e Gattorna, con spessori fino a 300 m.

Sono costituiti da argilliti scure manganesifere, siltiti ed areniti fini in strati gradati medi e spessi; verso l'alto sono presenti intercalazioni di areniti medie e grossolane, a composizione subarcosica, e peliti in strati gradati medi.

Gli Scisti Manganesiferi sono una successione torbiditica pelitico-arenacea a composizione esclusivamente silicoclastica; macroscopicamente gli affioramenti presentano dominanza di metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di metaareniti fini in strati decimetrici.

Il limite inferiore della formazione è rappresentato dal contatto con la Formazione delle Argille a Palombini, mentre il limite superiore è rappresentato dal contatto con le Ardesie di Monte Verzi. L'intera successione, che mostra spessori apparenti di almeno 400 m, è caratterizzata da un trend coarsening upward molto netto.

La parte basale della successione è caratterizzata da strati torbiditici con spessori da sottile a spesso, che possono raggiungere e superare il metro. Il rapporto a/p è sempre minore di 1 e le granulometrie delle basi torbiditiche sono sempre comprese fra l'arenite fine e finissima. La continuità laterale è buona per gli strati più spessi, mentre non è valutabile per gli strati più sottili a causa di una intensa deformazione tettonica. Sono state riconosciute concrezioni all'interno della frazione pelitica in livelli di concentrazione dei carbonati dello spessore massimo di qualche cm.

Nella porzione basale della successione, si evidenzia la diffusa presenza di patine manganesifere, che conferiscono il tipico aspetto ed il nome a questa formazione.

La parte media e superiore della successione è caratterizzata da un graduale aumento della granulometria massima, che passa da fine a media ed in alcuni casi a medio-grossolana. La frazione arenitica di questi strati silicoclastici è classificabile come arcose o subarcose e la composizione modale è confrontabile con quella delle Arenarie di Monte Gottero. Lo spessore degli strati non aumenta molto, mentre il rapporto a/p aumenta e si avvicina ad 1.

L'età Santoniano superiore-Campaniano inferiore attribuita agli Scisti Manganesiferi è stata ricavata indirettamente da Marroni & Perilli (1990) in base all'età delle Argille a Palombini e delle sovrastanti Ardesie di Monte Verzi.

Gli Scisti Manganesiferi affiorano diffusamente in tutto il fondovalle del Torrente Lavagna e nel tratto inferiore del Torrente Liteglia. Al di fuori delle incisioni dei rii e dei tagli stradali l'unità si presenta intensamente pedogenizzata, con coperture dei suoli fino a 3 m.

Secondo gli Autori (Elter, Marroni & Pandolfi, in stampa), in generale, il limite superiore di questa formazione risulta di difficile collocazione a causa di un passaggio alle Ardesie di Monte Verzi molto graduale. Nell'area rilevata sembra

essere invece generalmente piuttosto netto; in particolare nella parte occidentale, dalla valle del Torrente Liteglia fino alla cresta del passo Spinarola, oltre ad essere netto è anche discordante rispetto alla giacitura generale.

Età da CARG: Campaniano inf.



Figura 9 - Affioramento degli Scisti Manganiferi presso la SP 22.



Figura 10 - Livello di pirite (sondaggio FB 18.)



Figura 11 - Siltite con minerali manganesiferi (sondaggio FB 20)

6.3.3 Argille a Palombini (APA)

Affiorano estesamente nel fondovalle dell'alta Val Lavagna, dove il loro spessore massimo apparente non supera i 200 m.

Sono costituiti da alternanze regolari di calcilutiti, talvolta a base arenitica, in strati medi e di peliti scure in strati medi e spessi; verso la parte sommitale si rinvengono marne e marne calcaree in strati medi e spessi e areniti fini in strati sottili. L'ambiente di deposizione è di piano bacinale.

Alla base degli strati più spessi, sono stati riconosciuti frammenti carbonatici solitamente costituiti da grainstone a peloidi, ooliti e bioclasti; in modo subordinato sono presenti granuli monocristallini di quarzo, feldspati, fillosilicati e frammenti di quarzo micro - e fine cristallino.

Le torbiditi silicoclastiche diventano sempre più frequenti quando ci si avvicina al contatto con la Formazione degli Scisti Mangesiferi che, secondo Marroni & Perilli (1990), è di tipo stratigrafico.

Affiorano localmente lungo la SP22, dove sono caratterizzate da peliti prevalenti con livelli sottili, spesso boudinati, di calcari micritici; il contatto con i sovrastanti Scisti Mangesiferi è sovente verticalizzato e tettonizzato.

Età da CARG: Aptiano - Santoniano

6.4 DEPOSITI QUATERNARI

L'area rilevata è caratterizzata da coperture detritiche di spessore talora significativo e legato principalmente a fasi di evoluzione fisiografica antica e dunque non più attuale. Sono presenti infatti depositi alluvionali e di versante con livelli di base dell'erosione superiori da 5 a 50 m rispetto a quello attuale.

6.4.1 Alteriti

In alcune aree a bassa acclività, soprattutto su creste ampie a bassa pendenza, i suoli sviluppatisi per alterazione non hanno subito fenomeni di trasporto, per cui possono essere definiti alteriti in senso stretto. In queste aree non sono presenti affioramenti litoidi. Lo spessore è sconosciuto ma certamente può superare i 3 metri.

Nel settore meridionale sono invece presenti alteriti ben sviluppate su paleosuperfici di fondovalle correlabili al Torrente Santa Maria; sono riconoscibili almeno due livelli di paleosuperfici, a 50 e 55 m sul livello del mare, cioè oltre 25 m sopra il corso attuale del torrente, dove non si evidenziano depositi; potrebbe trattarsi quindi di terrazzi erosionali in roccia, sui quali si è sviluppata la pedogenesi con spessori rilevanti (in assenza di dati si ipotizza uno spessore superiore ai 6 m, in base a quanto osservabile in alcune incisioni).

6.4.2 Depositi di versante

Hanno caratteri differenti a seconda della litologia del substrato.

In presenza dei litotipi argillitici e flyschoidi delle unità Portello e Gottero le coperture di detrito nella parte bassa dei versanti è costituita tipicamente da diamicton a supporto di matrice limoso – sabbioso - argillosa che superano generalmente i 3 m di spessore. Si evidenziano alternanze di clasti più grossolani e spigolosi intercalati a depositi più fini.

Sui rilievi impostati nella Formazione di Monte Antola sono presenti depositi di versante costituiti da diamicton a matrice limoso-sabbiosa con argille e clasti soprattutto calcareo marnosi; frequentemente si osservano sparsi blocchi e dove sono maggiori le pendenze sono frequenti grandi blocchi, con diametro fino metrico, imballati nel diamicton.

Sono presenti anche accumuli di grossi blocchi con matrice scarsa o nulla, non attribuibili a specifiche frane ma più in generale a meccanismi di arretramento per crolli limitati sui versanti.

La maggior parte di questi depositi non arriva ai fondovalle ma appare troncata da una fase di approfondimento delle incisioni vallive; localmente si ha poi un rimaneggiamento del deposito principale che arriva ad interessare il fondovalle attuale.

Questi depositi possono essere ascritti ipoteticamente a fasi pleistoceniche antiche o tardo-plioceniche.

6.4.3 Accumuli di frana

Sono presenti corpi di frana, evidenziati in cartografia, solitamente di dimensioni ridotte, le cui caratteristiche granulometriche sono legate alla tipologia di substrato entro il quale si sviluppano.

Per la maggior parte i depositi di frana sono stati soggetti ad interventi di sistemazione morfologica.

6.4.4 Depositi alluvionali

I depositi alluvionali sono ben espressi solamente nel settore nord dell'area rilevata, lungo il corso del torrente Lavagna e nel settore meridionale, lungo il Torrente S. Maria a Rapallo.

Val Lavagna

Sono presenti almeno due ordini di terrazzi alluvionali, con copertura di sabbie e ghiaie con matrice limosa, fortemente alterate, per spessori medi tra i 5 e i 7 m.

Il deposito alluvionale principale si trova circa a 10 m di quota sul fiume attuale e costituisce il ripiano su cui sono collocati i centri abitati; il livello più alto a cui si ritrovano depositi alluvionali è circa 50 m più in alto, anche se resta mal definito.

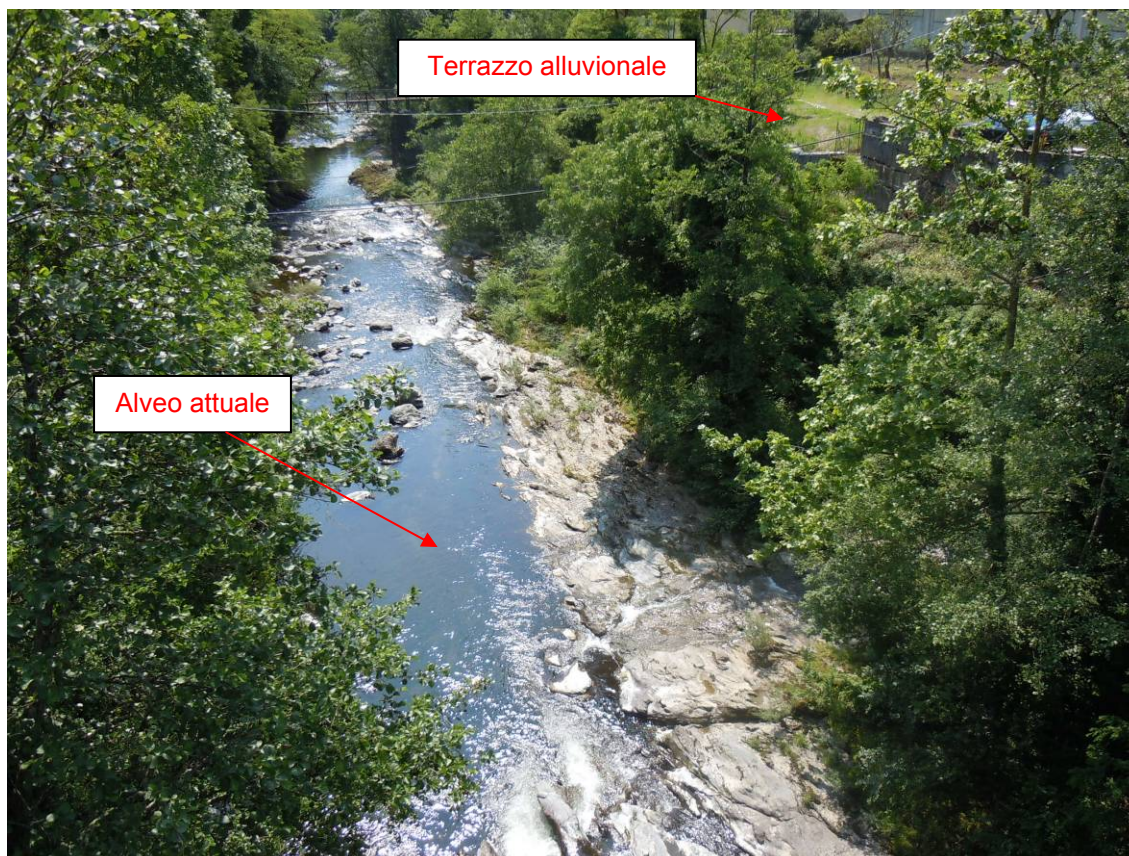


Figura 12 - Torrente Lavagna. Sulla destra terrazzo alluvionale.

Tutti questi depositi si raccordano a falde di detrito di versanti ed alle conoidi di deiezione collocate allo sbocco delle vallecole.

I depositi alluvionali attuali sono limitati all'alveo dei torrenti, hanno granulometria che va dalle ghiaie medie alle ghiaie grossolane, ma gli spessori risultano ridottissimi e sono discontinui sul letto roccioso del fiume.

Torrente Santa Maria:

Sono riconoscibili solo depositi attuali ed un deposito ascrivibile ad una fase precedente, più alta di circa due metri rispetto al fondovalle. Sono costituiti perlopiù da termini fini: sabbie, ghiaie fini e limi; il livello più alto si raccorda ai conoidi di deiezione delle vallecole laterali.

Negli altri corsi d'acqua a carattere torrentizio (es. Torrente Liteggia) sono presenti depositi di ghiaie fini e medie sottili e discontinui sul substrato roccioso.

7 STRUTTURA

Come già accennato, il motivo strutturale principale dell'area in cui si inserisce il progetto è determinato dalla sovrapposizione tettonica dell'Unità Antola sulle Unità Liguridi Interne (Unità Portello e Gottero).

Le Unità Liguridi Interne sono caratterizzate da un assetto strutturale acquisito durante il coinvolgimento di queste unità in una zona di subduzione sviluppatasi durante le fasi di chiusura del Bacino Ligure-Piemontese. Su queste deformazioni si sono successivamente sovrimate delle fasi deformative legate alla tettonica intracontinentale oligo-miocenica. Sono presenti almeno quattro fasi di piegamento sovrapposte ed associate a sovrascorrimenti.

Gli Scisti Manganiferi, le Ardesie di Monte Verzi e la Formazione di Monte Lavagnola, hanno caratteri metamorfici evidenti - di grado sempre bassissimo - e sono interessate da un clivaggio pervasivo; in particolare le Ardesie di monte Verzi sono caratterizzate da un clivaggio disposto a basso angolo rispetto alla stratificazione, parallelo al contatto con gli Scisti Manganiferi, che in quest'area appare prevalentemente tettonico.

Anche la Formazione dell'Antola, sebbene non mostri caratteri metamorfici, è interessata da clivaggio pervasivo che localmente arriva a mascherare la giacitura negli affioramenti di ridotte estensioni.

7.1 UNITÀ TETTONICA PORTELLO

L'Unità Portello ha avuto un'evoluzione strutturale caratterizzata da almeno tre fasi deformative principali.

La fase più antica (D1) presenta pieghe sub-isoclinali, con cerniere arrotondate e leggermente ispessite e fianchi raramente boudinati.

La fase D2 è caratterizzata da pieghe da chiuse ad aperte (40°-150°) con dimensioni fino ad ettometriche. L'ultima fase (D3) è contraddistinta da pieghe concentriche

aperte (60° - 150°) con cerniere arrotondate e piano assiale subverticale, assi suborizzontali).

Il contatto tettonico alla base dell'Unità Portello si realizza durante la fase D2 quindi l'evoluzione comune con le altre Liguridi Esterne si realizza solo dopo la fine della fase D2.

7.2 UNITÀ TETTONICA GOTTERO

All'interno dell'Unità tettonica Gottero sono stati riconosciute tre fasi deformative principali.

La prima fase D1 è caratterizzata da pieghe isoclinali e sub-isoclinali da decimetriche a decametriche. Le pieghe hanno cerniere arrotondate/subarrotondate, sono non cilindriche e contraddistinte da fenomeni di boudinage nei livelli più competenti lungo i fianchi delle pieghe

In seconda fase (D2) si sviluppano pieghe da molto chiuse ad aperte con dimensioni da metriche ad ettometriche. La geometria è di tipo parallelo, con piano assiale suborizzontale; caratterizzate da estesi fianchi rovesciati con direzione NE.

La fase D3 è caratterizzata da pieghe aperte o molto aperte con piano assiale subverticale, molto blande.

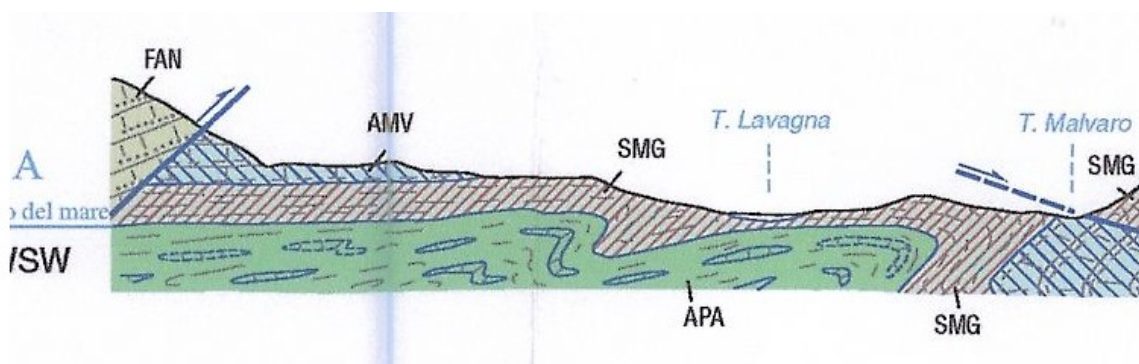


Figura 13 - Stralcio sezione geologica da CARG - Foglio 214 Bargagli

Entro le unità tettoniche delle liguridi interne si evidenziano linee orientate NE-SW e NW-SE, con rigetti modesti e probabilmente caratterizzate da andamento trascorrente. Le coniugate di questo sistema contribuiscono a definire il controllo morfologico del versante meridionale della Val Lavagna.

7.3 UNITÀ TETTONICA ANTOLA

All'interno dell'Unità Antola è stata riconosciuta una storia plicativa caratterizzata da due fasi deformative principali. La fase D1 è caratterizzata da pieghe da chiuse ad aperte (30° - 80°) con dimensioni da metriche a chilometriche. Queste pieghe sono caratterizzate da fianchi rovesciati e piani assiali debolmente inclinati, sono asimmetriche ed hanno senso di rovesciamento verso NE.

La fase deformativa D2 è caratterizzata da pieghe blande, a piano assiale da subverticale a mediamente inclinato e con direzione assiale circa N-S che ripiegano gli assi delle pieghe di prima fase.

L'ammasso costituito dalla Formazione di Monte Antola è interessato da differenti sistemi di faglie. L'elemento di maggiore interesse emerso dal rilievo è la presenza di sistemi di faglie orientati circa ENE-WSW e secondariamente WNW-ESE, visibili principalmente in aree di cresta, che costituiscono un sistema coniugato a basso angolo sulla direzione E-W. Tali piani presentano una giacitura sub-verticale e interessano in profondità l'ammasso dell'Antola.

Sono presenti lineamenti orientati NNE-SSW che si sovrappongono ai precedenti, dando evidenza morfologica che si esplica in allineamenti di creste e valli; questi lineamenti si associano a deformazioni plicative, visibili in corrispondenza delle creste, che ne delineano un carattere essenzialmente trascorrente; poche tracce su piani visibili presso il Santuario della Madonna di Caravaggio sembrano indicare un movimento destrorso.

In tutte le unità tettoniche è stata riconosciuta una fase deformativa tarda caratterizzata da pieghe blande a piano assiale da subverticale a molto inclinato, caratterizzate da joints sub verticali.

In tutte le unità tettoniche è stata riconosciuta una fase deformativa tarda caratterizzata da pieghe blande a piano assiale da subverticale a molto inclinato, caratterizzate da joints sub verticali.

8 GEOMORFOLOGIA

La stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili che eventualmente interessano l'infrastruttura, nonché la definizione degli interventi di minimizzazione / stabilizzazione e messa in sicurezza dell'infrastruttura non è oggetto della presente relazione.

8.1 ZONAZIONE GEOMORFOLOGICA

L'area rilevata è suddivisibile in 3 fasce geomorfologiche:

- la valle del torrente Lavagna, impostata sul metapeliti l.s.
- il rilievo dello spartiacque, impostato sulla Formazione del Monte Antola
- la valle del torrente S. Maria, impostata sulla Formazione del Monte Antola.

Valle del torrente Lavagna

L'asse vallivo è caratterizzato dai livelli terrazzati di fondovalle con scarpate erosionali; il tratto rettilineo del fiume è verosimilmente impostato su lineamenti strutturali non evidenti a scala degli affioramenti.

Su alcune creste perpendicolari all'asse vallivo si evidenziano resti di paleosuperfici localizzate intorno a q. 150 m s. l. m.

Rilievo dello spartiacque

La dorsale dello spartiacque, impostata sulla Formazione del Monte Antola, è caratterizzata da rilievi ad alta energia; predominano le forme montuose piramidali con i versanti modellati a facce triangolari. I rilievi sono collegati da creste con buona continuità morfologica. L'acclività è elevata, prevalentemente superiore al 50%.

Valle del torrente S. Maria

La parte più meridionale dell'area è interessata dalla valle del Torrente S. Maria, ad andamento circa WNW-SSE, parallelo alla costa.

Il versante settentrionale della valle è acclive e costituisce il limite della fascia del rilievo dello spartiacque, mentre il versante meridionale ha morfologie blande, poco acclivi, interessate da ampie paleosuperfici residuali.

8.2 FORME E DEPOSITI

La caratterizzazione geomorfologica dell'area è stata affrontata utilizzando come base di partenza le cartografie dei piani di bacino e dell'IFFI ed eseguendo una loro verifica, sia tramite fotointerpretazione in stereoscopia, sia mediante rilevamento in sito con la finalità di discriminare e riconoscere l'insieme delle forme e dei fenomeni che possano avere interesse pratico nei confronti della realizzazione delle opere in progetto.

Le forme ed i processi geomorfologici riconosciuti e riportati in cartografia, sono riferiti alle seguenti categorie:

- Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio;
- Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque;
- Forme e depositi antropici

8.2.1 Forme e depositi dovuti all'azione della gravità e processi di pendio

Nella carta geomorfologica sono riportati i depositi superficiali. La definizione della tipologia, l'estensione areale e il grado di attività deriva da un'analisi della cartografia tematica (vedi capitolo 10) dall'analisi delle foto aeree e da verifiche in sito.

Sono stati riportati:

- orli di scarpata, nicchie di frana, contropendenze;
- depositi di frana (attive e quiescenti) suddivise per tipologia di movimento;
- DGPV;
- conoidi alluvionali;
- aree con movimenti superficiali lenti;

- frane di limitate dimensioni.

I depositi di frana sono accumuli di materiali eterogenei ed eterometrici, non elaborati e non classati, con evidenze di movimento in atto o recente (frana attiva) o privo di evidenze in atto (quiescente).

Dal punto di vista tipologico, i diversi meccanismi di dissesto risultano prevalentemente legati alla natura geologica dei terreni coinvolti, in particolare è possibile riconoscere:

- aree con substrato flyschoidale prevalentemente carbonatico - arenaceo - marnoso con interstrati pelitici. Sono soggette a fenomeni di scivolamento e traslazione (anche lungo le superfici di strato) in ragione della presenza di interlivelli argillosi e dell'elevato grado di fratturazione. Frequenti i dissesti per crollo. I movimenti di versante inoltre possono essere complessi.
- aree con substrato rappresentato da unità a prevalente componente argillosa. I minerali argillosi in presenza d'acqua causano un rapido decadimento delle già scadenti caratteristiche meccaniche d'ammasso e favoriscono l'instaurarsi di deformazioni gravitative diffuse, colamenti e di soliflussi.

8.2.2 Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque

I depositi alluvionali recenti sono minimali e poco caratterizzati morfologicamente. I terrazzi erosionali e i depositi più antichi sono invece caratterizzati da scarpate erosionali importanti.

Anche i conoidi alluvionali e di deiezione che si raccordano alle piane alluvionali alte non sono più attivi (sia lungo il t. Lavagna sia lungo il T. S. Maria).

8.2.3 Forme e depositi antropici

L'area di studio è stata soggetta ad intense coltivazioni, che in passato hanno fatto ricorso ai terrazzamenti; la presenza di importanti terrazzamenti costruiti a secco con pietrame, anche di grandi dimensioni, ha contribuito al rallentamento dell'evoluzione dei versanti. Sui terrazzamenti abbandonati è ricresciuto ovunque un bosco con fusti di grande altezza. Data l'estrema diffusione, la presenza dei terrazzi non è stata evidenziata in cartografia.

Depositi antropici importanti sono costituiti anche dai riporti del sistema autostradale esistente, con particolare riferimento a quelli presenti in corrispondenza dell'uscita Rapallo, dove la valle è stata riempita per uno spessore anche superiore ai 20m.

8.3 ACCLIVITÀ

Ad integrazione della carta geomorfologica è stata inserita come sfondo una carta dell'acclività. Questo tematismo risulta utile in quanto il parametro pendenza può avere implicazioni nei confronti della valutazione della propensione al dissesto dei versanti e nella valutazione delle cause che hanno generato i dissesti riconosciuti.

La carta è stata ricavata in modalità semi-automatica dai fogli del DTM della Regione Liguria con passo a 5 m. Ogni foglio del DTM fornito dalla Regione, derivato dalla Carta Tecnica Regionale 1:5.000 in formato vettoriale, è stato ricavato autonomamente dalla sezione cartografica centrata, con l'aggiunta di un certo margine; pertanto l'unione dei fogli che coprono l'area interessata dai tracciati in studio ha richiesto interventi manuali di correzione mediata sulle fasce di sovrapposizione. Dal singolo DTM così ottenuto è stata estratta automaticamente la Carta delle Acclività in continuo tramite due software: ArcGis (ESRI) ed ILWIS (ITC).

La suddivisione in classi di acclività utilizzata come sfondo alla carta geomorfologia è riportata in tabella 1:

<i>CLASSE DI PENDENZA</i>	<i>INCLINAZIONE PENDIO</i> (°)
Classe 1	0° - 8°
Classe 2	8° - 20°
Classe 3	20° - 30°
Classe 4	30° - 40°
Classe 5	40° - 50°
Classe 6	50° - 70°

CLASSE DI PENDENZA	INCLINAZIONE PENDIO (°)
Classe 7	70° - 90°

Tabella 1 – Suddivisione delle classi di pendenza.

La Classe 1 termina in corrispondenza del limite di pendenza di una strada ragionevolmente carrozzabile; i passi successivi sono stati individuati per una distribuzione omogenea, tenendo conto dell'assetto del territorio.

9 IDROGEOLOGIA GENERALE

Il presente capitolo è dedicato alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera.

Lo studio idrogeologico eseguito ha compreso le seguenti attività:

- il censimento dei punti d'acqua (pozzo e sorgenti) presenti nell'area;
- la definizione delle caratteristiche dei punti d'acqua;
- l'individuazione dell'assetto idrogeologico e la definizione delle Unità idrogeologiche;
- la stima della permeabilità degli ammassi rocciosi.

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione.

9.1 QUADRO CLIMATICO

Il territorio della provincia di Genova è quello che, nel compartimento ligure, intercetta una più variegata distribuzione delle precipitazioni (vedi figura XX). Si passa, infatti, da 874 mm annui del Santuario della Madonna delle Grazie (n° 61), nei pressi di Voltri, a 2333 mm di Parazzuolo (n° 102), nella porzione orientale della provincia, nell'alta valle dell'Aveto, appena oltrepassato il displuvio appenninico. In questa provincia si misura il massimo gradiente pluviometrico della regione. Le stazioni costiere di Arenzano (n° 58) e Madonna delle Grazie, raccolgono meno di 1000 mm, mentre quelle di Mele (n° 60) e Fiorino (n° 59), poste rispettivamente a 2,2 e 4,8 km dal litorale, sommano tra 1600 e 1650 mm ogni anno. Ricordiamo che qui ci troviamo nell'area in cui lo spartiacque si avvicina maggiormente alla costa: Punta Martin, 1001 m s.l.m., si trova, in linea d'aria, a 6,4 km dal mare. Oltre, procedendo verso l'interno, si entra nella valle del torrente Stura, affluente dell'Orba, dove è ubicato Masone (n° 62), paese che, a detta popolare, è il più piovoso del genovesato. In realtà Masone risulta ricevere 1661 mm annui ed è sicuramente la località abitata più piovosa del tratto di Liguria a ovest della Zona Sestri-Voltaggio, confine geologico tra

Alpi e Appennini, ma è superato da numerosi altri centri posti a oriente del capoluogo, situati nelle parti più interne delle valli di entrambi i versanti.



Figura 14 - Ubicazione stazioni meteo e ricostruzione isoiete.

In questa provincia troviamo anche il tratto più piovoso della costa ligure. La massima precipitazione litoranea si ha nella città di Genova (n° 84) con 1340 mm misurati presso l'osservatorio dell'Università in Via Balbi, il più antico della regione, fondato nel 1832. A esclusione di un sottile tratto, dalla confinante provincia di Savona fino al cambiamento di direzione della linea di costa (da sud-ovest/nord-est a nord-ovest/sud-est), la quantità di piogge supera ovunque 1000 mm, essendo compresa tra i già citati 1340 mm di Genova Università e i 1097 mm di Nervi (n° 92).

Provincia di GENOVA															
N° stazione	LOCALITA' medie 1961/1990	altitudine m	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	anno
56	Sciarborasca	112	127	128	143	137	117	77	34	88	116	179	134	84	1364
57	Lerca	110	82	80	98	96	75	55	28	68	84	138	99	67	968
58	Arenzano	60	76	83	99	102	79	43	24	64	97	159	98	58	984
59	Fiorino	236	106	119	168	168	143	100	54	118	158	235	148	84	1600
60	Mele	278	136	141	177	167	136	94	49	108	128	232	173	107	1648
61	Madonna delle Grazie	159	51	67	82	91	75	59	27	68	75	140	88	49	874
62	Masone	433	135	126	177	165	156	70	51	102	114	252	198	113	1661
63	Rossiglione	270	105	125	143	143	112	54	35	86	122	228	189	93	1433
64	Genova Sestri	3	112	93	99	96	74	53	27	78	95	187	119	83	1116
65	Monte Capellino	600	120	107	121	126	104	75	49	92	121	222	173	117	1426
66	Passo dei Giovi	475	83	88	123	103	84	50	43	90	107	185	168	97	1221
67	Mignanego	250	87	91	109	118	93	60	48	80	111	180	159	84	1221
68	Pontedecimo	80	100	107	122	117	89	66	40	69	103	180	168	98	1259
69	Isoverde	270	141	137	156	148	127	94	57	101	132	239	188	125	1644
70	Madonna della Guardia	814	115	126	134	145	125	94	46	81	134	276	187	123	1587
71	Bolzaneto	47	107	105	109	114	88	50	36	66	89	240	142	97	1243
72	Crocetta d'Orero	460	109	100	106	117	93	65	62	92	116	200	152	106	1317
73	Valleregia	360	110	106	126	130	106	61	47	81	122	211	171	97	1368
74	Lavezze	652	155	156	170	158	132	89	56	81	142	229	188	121	1677
75	Laccio	600	203	148	173	168	145	95	67	104	141	246	222	177	1889
76	Caiasca	620	158	136	154	162	124	91	71	97	124	229	200	155	1701
77	Sanguinetto	678	172	140	155	156	133	87	65	100	133	235	199	163	1737
78	Val Noci	544	162	137	147	140	117	78	58	83	113	209	189	149	1582
79	Crocefieschi	742	147	117	135	138	117	70	67	89	117	218	181	134	1531
80	Busalla	360	126	117	132	131	103	71	55	86	122	218	182	122	1465
81	Chiappari	535	132	114	127	113	109	66	49	101	111	207	190	113	1431
82	Vallenzone	721	119	114	122	130	103	58	64	82	103	215	182	125	1418
83	Isola del Cantone	300	99	96	116	107	89	56	41	83	91	171	169	100	1219
84	Genova Università	21	143	113	118	115	81	61	34	84	101	217	152	122	1340
85	Scoffera	678	174	152	160	182	138	96	59	103	122	210	217	155	1768
86	Viganego	400	192	154	164	158	119	86	48	99	138	214	176	163	1709
87	Prato	89	161	121	136	136	108	69	45	108	116	206	183	151	1540
88	Molassana	131	135	111	144	129	98	68	63	88	113	222	176	130	1475
89	Ponte Carrega	26	120	105	118	121	83	63	46	86	111	200	153	115	1322
90	Genova Sezione Idrografica	2	137	99	118	110	75	56	33	65	98	185	159	126	1262
91	Sant'Ilario	210	154	118	110	112	81	57	41	57	112	152	147	115	1258
92	Nervi	45	122	79	95	105	75	57	41	64	97	140	116	106	1097
93	Colonia Arnaldi	600	217	170	187	168	134	89	63	103	131	205	207	167	1842
94	Caprile	1001	166	136	157	160	142	101	71	96	126	235	210	149	1747
95	Propata	996	188	142	173	175	151	103	76	109	136	253	238	172	1917
96	Bavastrelli	960	174	143	163	176	146	102	68	112	135	252	227	166	1863
97	Vaccarezza	1106	174	130	156	153	146	102	79	102	127	234	211	148	1762
98	Giardino Rondanina	1020	160	128	154	151	137	96	67	91	132	232	208	144	1699
99	Diga del Brugneto	812	184	148	162	170	142	98	71	99	132	238	236	169	1850
100	Rovegno	660	140	111	138	145	111	86	70	86	121	212	181	118	1518
101	Loco Carchelli	610	143	111	137	142	118	91	64	97	130	211	216	127	1587
102	Parazuolo	819	241	173	218	222	171	117	76	115	175	291	303	232	2333
103	Cabanne	812	181	149	194	188	152	104	75	110	152	250	270	190	2015
104	Santo Stefano d'Aveto	1014	135	101	131	135	117	90	70	102	121	181	203	122	1507
105	San Pietro di Novella	13	147	123	129	126	83	85	45	79	124	191	153	131	1416
106	Santa Margherita Ligure	3	148	122	112	106	68	73	29	71	107	175	150	127	1289
107	Chiavari	5	116	98	94	86	66	59	26	68	96	160	124	109	1100
108	Ognio	400	235	179	193	216	144	107	73	124	139	246	243	184	2083
109	Neirone	332	209	162	165	183	124	98	65	106	125	208	209	147	1800
110	Favale di Malvaro	380	158	114	131	130	114	92	65	98	129	194	210	131	1566
111	Piana di Soglio	75	178	140	161	138	90	77	49	94	120	194	183	134	1560
112	San Martino del Monte	309	147	119	121	114	85	66	45	80	109	188	147	114	1337
113	Tigliolo	293	206	157	164	151	120	98	64	98	156	212	223	175	1822
114	Giacopiane	1016	185	146	161	167	139	105	82	109	166	232	242	159	1893
115	San Michele	170	163	124	129	129	93	82	61	90	111	180	178	128	1468
116	Cichero	480	223	168	179	169	123	102	78	114	165	237	213	171	1942
117	Statale	570	244	197	193	178	133	90	69	104	152	221	266	197	2045
118	Cassagna	432	184	148	155	135	108	97	61	119	137	214	190	169	1718
119	Chiesanuova Garibaldi	110	169	132	135	132	98	73	49	95	143	202	177	137	1541
120	Panesi	25	119	107	109	98	69	61	30	64	93	151	130	104	1134
121	Castiglione Chiavarese	300	145	131	118	108	86	55	31	84	88	155	167	114	1282
122	Monte Zatta	1125	207	166	202	172	151	110	65	109	152	228	260	215	2037

Tabella 2 –Precipitazioni medie mensili e annue (Provincia di Genova)

Su tutto il territorio, già a quote collinari, le piogge superano mediamente i 1500 mm. Tra i 500 e i 1000 metri di altitudine si raggiungono i valori medi più elevati. Sui

primi contrafforti affacciati sul mare della Val Cerusa, nella zona del Faiallo, Bric Dente e Passo del Turchino e, dal capoluogo fino all'altezza del Promontorio di Portofino, si registrano i maggiori apporti piovosi del versante marittimo. I valori di 2000 millimetri di altezza di precipitazione vengono superati nelle parti orientali più elevate della provincia, nei gruppi montuosi dello Zatta e dell'Aiona, ai confini con le province di Parma e Spezia: sul Monte Zatta (n° 122), a 1125 metri s.l.m., 2037 mm. Lungo l'alta valle del torrente Aveto, come già accennato, si raggiunge il valore massimo di tutta la regione a Parazzuolo, paese ubicato su un esteso pianoro a circa 800 metri di altezza.

Un'altra isola con quantità superiori a 2000 mm si riscontra alla testata della Val Fontanabuona. Questa conca valliva, che sbocca sul mare alla foce del Torrente Entella, tra Chiavari e Lavagna, ha dapprima andamento secondo i meridiani ma, dopo circa 5 km, incuneandosi verso ovest, si dispone parallela alla costa e diventa sempre più angusta, fino a raggiungere il versante orientale del Passo della Scoffera. Separata dal mare da una cresta montuosa alta mediamente 600 metri, si ritrova, ripido, alle spalle il compatto spartiacque marittimo-padano, con un'altitudine media di 1300 metri. La peculiare posizione geografica di questa vallata, situata nella Riviera di Levante, comporta la predisposizione naturale a ricevere frontalmente i flussi umidi sud-occidentali. Gli sbarramenti montuosi, e in particolare quello dello spartiacque, delimitano una sorta di bacino chiuso, obbligando l'aria umida, che affluisce nella valle dallo sbocco al mare, a incunarsi e, sollevandosi, a scaricare la grande quantità di vapor acqueo in essa contenuta sotto forma di precipitazioni. Ciò consente di raccogliere, alla testata della valle, ragguardevoli somme di pioggia. A Ognio (n° 108), 400 m s.l.m., cadono mediamente 2083 mm all'anno. Anche le valli secondarie presentano andamenti analoghi: Giacopiane (n° 114), 1016 m s.l.m., nella Valle Sturla, 1893 mm, Statale (n° 117), 570 m s.l.m., nella Val Graveglia, 2045 mm. Nel grafico seguente vengono rappresentate le pluviometrie più prossime al tracciato oggetto di studio rappresentate come medie mensili dal 1961 al 1990.

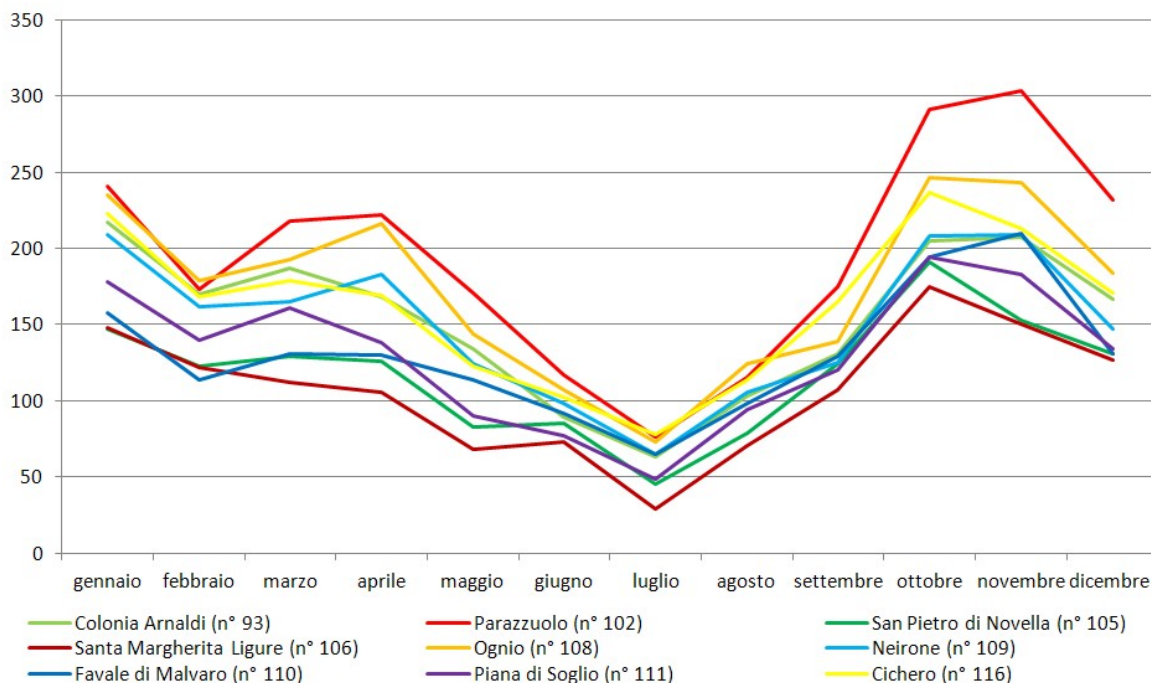


Figura 15 - Ubicazione stazioni meteo e ricostruzione isoiete nell'area di interesse.

Osservando la figura rappresentante la ricostruzione delle isoiete, si nota una netta frattura nella distribuzione di queste ultime in corrispondenza del capoluogo. Qui, infatti, la Val Polcevera, la più ampia del genovesato, si inoltra fino al confine

piemontese con precipitazioni piuttosto uniformi lungo tutto il suo asse. Più a est, i rilievi, che si avvicinano nuovamente alla linea di costa, ricevono precipitazioni che, in breve spazio, raggiungono quantitativi molto elevati. Le isoiete si susseguono rapidamente: quella di 1800 mm racchiude un'ampia porzione di territorio, anche a breve distanza dalla costa. A 6,2 km dal litorale la Colonia Arnaldi (n° 93) raccoglie 1842 mm.

N° stazione	Valle Bisagno	altitudine m	mm anno	Gradiente pluviometrico
90	Genova Sez. Idrogr.	2	1262	75 mm/100 m
88	Molassana	131	1475	
85	Scoffera	678	1768	
N° stazione	Valle Fontanabuona	altitudine m	mm anno	Gradiente pluviometrico
120	Panesi	25	1134	253 mm/100 m
112	San Martino del Monte	309	1337	
108	Ognio	400	2083	
N° stazione	Valle Scrivia	altitudine m	mm anno	Gradiente pluviometrico
83	Isola del Cantone	300	1219	137 mm/100 m
80	Busalla	360	1465	
77	Sanguineto	678	1737	
N° stazione	Valle Trebbia	altitudine m	mm anno	Gradiente pluviometrico
100	Rovegno	660	1518	119 mm/100 m
99	Diga del Brugnato	812	1850	
95	Propata	996	1917	

Tabella 3 – Gradiente pluviometrico in alcune valli della provincia di Genova

La contingenza pluviometrica accennata risulta ben riscontrabile se osserviamo la tabella relativa ai gradienti. La Fontanabuona, con 253 mm ogni 100 m di quota, rappresenta la valle con il maggior gradiente pluviometrico della regione. Tale configurazione è anche ben rappresentata sulla carta delle isoiete: dal mare, a Chiavari (n° 107), fino alla località più interna, il territorio vallivo, nella sua lunghezza di 24 km, è attraversato da ben 9 isoiete (tracciate ogni 100 mm di precipitazione). Nella valle genovese del Bisagno si ritorna a gradienti meno accentuati mentre, esaminando le conche vallive che defluiscono verso il Po, osserviamo che sia la Valle Scrivia che la Val Trebbia presentano gradienti piuttosto elevati, anche se non raggiungono valori estremi.

Provincia di Genova			
<i>Numero stazioni</i>	<i>Intervalli di altitudine m</i>	<i>mm/anno</i>	<i>Gradiente pluviometrico</i>
10	0 - 50	1232	145 mm/100 m
4	51 - 100	1280	
9	101 - 250	1308	
18	251 - 500	1569	
14	501 - 750	1654	
6	751 - 1000	1927	
6	oltre 1000	1774	

Tabella 4 – *Variazione della quantità di pioggia con l'altitudine. Provincia di Genova*

Il gradiente pluviometrico medio per l'intera provincia, 145 mm/100m, che risulta essere di gran lunga superiore a quello delle province occidentali, conferma il grande apporto precipitativo che contraddistingue la provincia già da presso alla linea di costa e, in particolare, i contrafforti montuosi a est dell'ansa settentrionale del Golfo di Genova, ben nota fucina di ciclogenese.

9.2 DATABASE DEI PUNTI D'ACQUA

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 - quantitative 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 o 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 procedendo 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 Litteggia

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 è risultata indispensabile per definire con precisione caratteristiche ed ubicazione delle captazioni.

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.

Il tracciato in progetto interessa differenti comuni a cui fanno riferimento diversi gestori del servizio idrico.

Mediterranea delle Acque gestisce le opere di presa del Comune di Tribogna; l'acquedotto sfrutta le acque che defluiscono nel subalveo del Torrente Litteggia 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 al fine dell'organizzazione di un database ha portato allo svolgersi delle seguenti attività per ciascun punto d'acqua:

- 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;
- censito con sigla alfanumerica e con numerazione progressiva a partire dal numero 500.

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...

Nel corso delle attività svolte in sito sono state individuate complessivamente 56 sorgenti. 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. 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).

9.3 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEI PUNTI D'ACQUA

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 µm 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 2 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	Lagoscuro
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 5 – Stazioni di campionamento

Nella tabella 3 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 (NO ₃ ⁻)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Nitriti (NO ₂ ⁻)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.005 mg/l
Fosfati (PO ₄ ³⁻)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi anioni mediante cromato-grafia ionica con soppressione del fondo.	<0.01 mg/l
Solfati (SO ₄ ²⁻)	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
Ammoniaca (NH ₄ ⁺)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.005 mg/l
Calcio (Ca ²⁺)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Magnesio (Mg ²⁺)	mg/l	Filtrazione a 0,2 mm	Analisi cationi mediante cromato-grafia ionica.	<0.01 mg/l
Carbonati (CO ₃ ²⁻)	mg/l	-	Titolazione volumetrica.	<0.01 mg/l
Bicarbonati (HCO ₃ ⁻)	mg/l	-	Titolazione volumetrica.	<0.01 mg/l

Tabella 6 – Parametri di misura, metodo analitico e limiti di rilevabilità

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

- Epstein S., Mayeda T.K. (1953) - Variations of the 18O/16O 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 4 e nella tabella 5 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 7 – 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 8 – Quadro di riepilogo delle analisi isotopiche

9.4 INTERPRETAZIONE DEI DATI IDROCHIMICI E CHIMICO-ISOTOPICI

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 ("zonalità idrochimica verticale").

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.

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, di norma indicativo 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, dove l'acqua contiene 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

In figura 16 e 17, viene riportata una visione d'insieme dell'area di progetto con la rappresentazione dei valori di conducibilità elettrica specifica delle sorgenti e di temperatura delle acque sorgive (misure effettuate in agosto – settembre 2011).

Per quanto riguarda la composizione isotopica delle acque naturali, si osserva che il parametro principalmente influente 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.

Le acque meteoriche che invece 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.

Per il dettaglio sull'interpretazione dei dati chimici ed isotopici si rimanda alla relazione di progetto IDR0001.

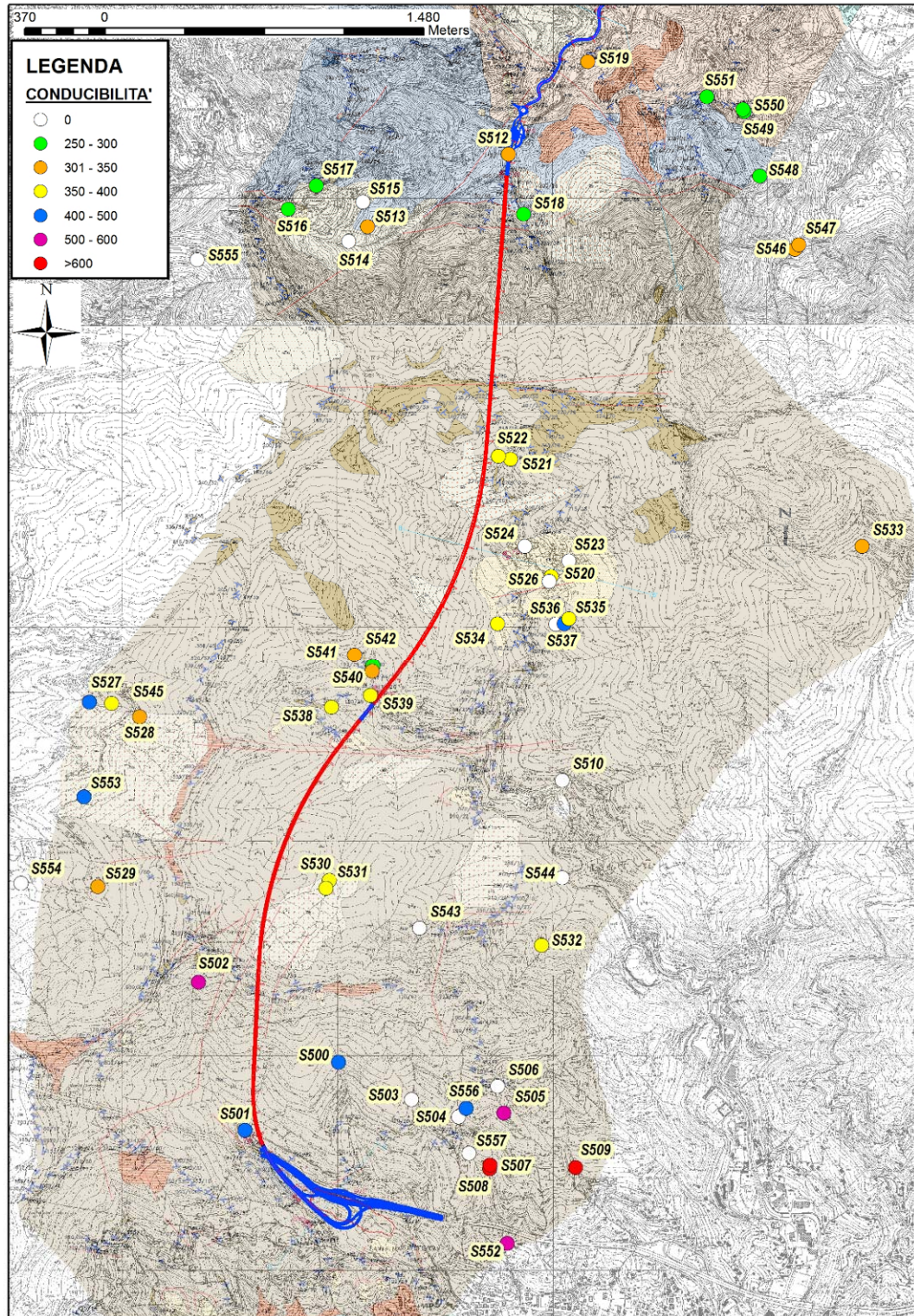


Figura 16 - Valori di conducibilità elettrica specifica delle sorgenti (misure agosto - settembre 2011 e ottobre - novembre 2014).

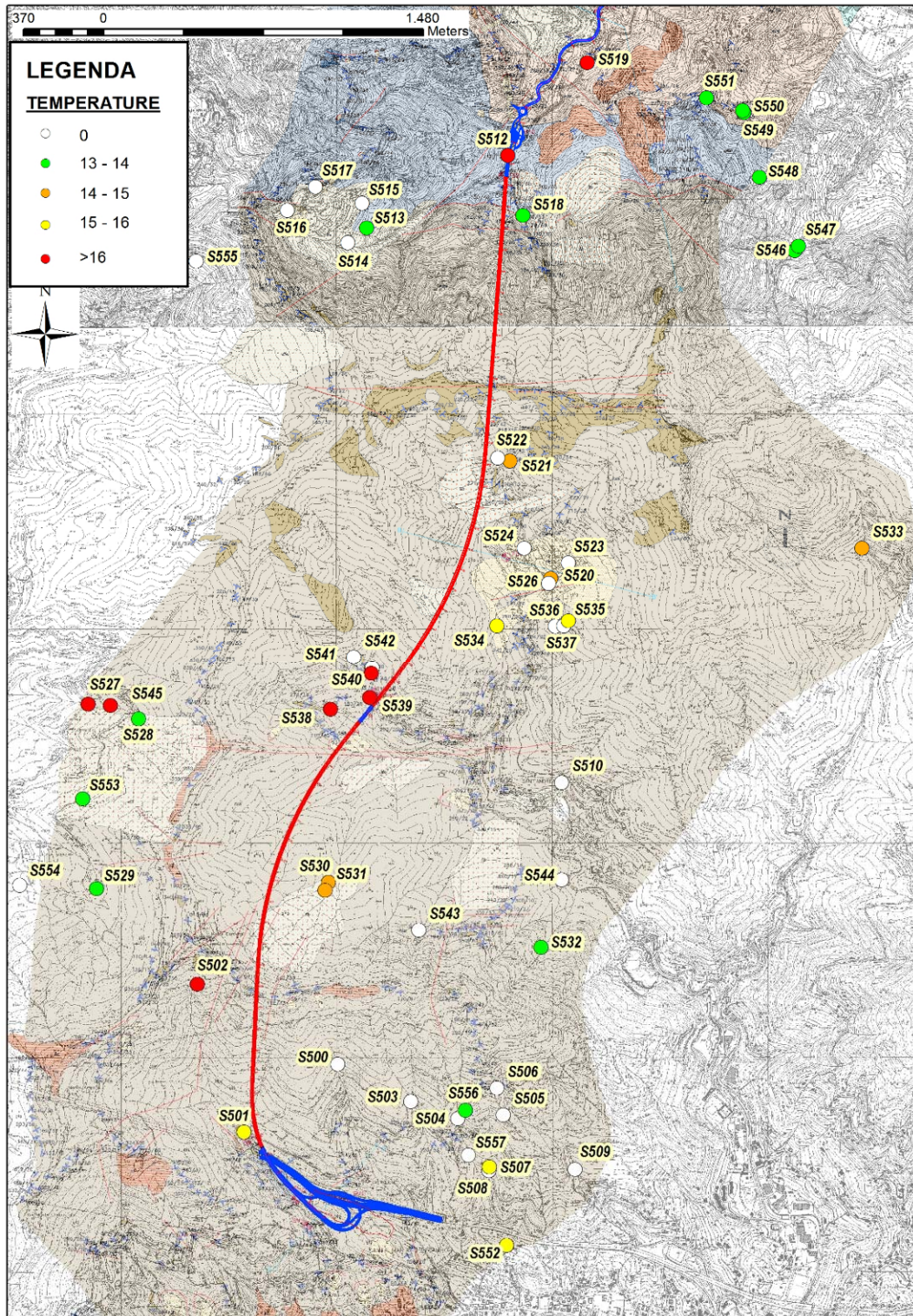


Figura 17 - Valori di temperatura delle acque sorgive (misure agosto – settembre 2011 e ottobre - novembre 2014).

9.5 INTERPRETAZIONE DEGLI ELEMENTI GEOLOGICO - STRUTTURALI E RICOSTRUZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO GENERALE

9.5.1 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 geologica di progetto (cfr. GEO002-GEO003), 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;
- un sistema locale caratterizzato da strutture orientate E – W.

Il sistema NW – SE è caratterizzato da faglie che mostrano un controllo strutturale sull'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, dove si osserva il protrarsi della struttura sino al 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 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.

Per il dettaglio sulla correlazione tra strutture fragili, ubicazione e tipologia delle sorgenti si rimanda alla relazione di progetto IDR0001.

9.5.2 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 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.

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

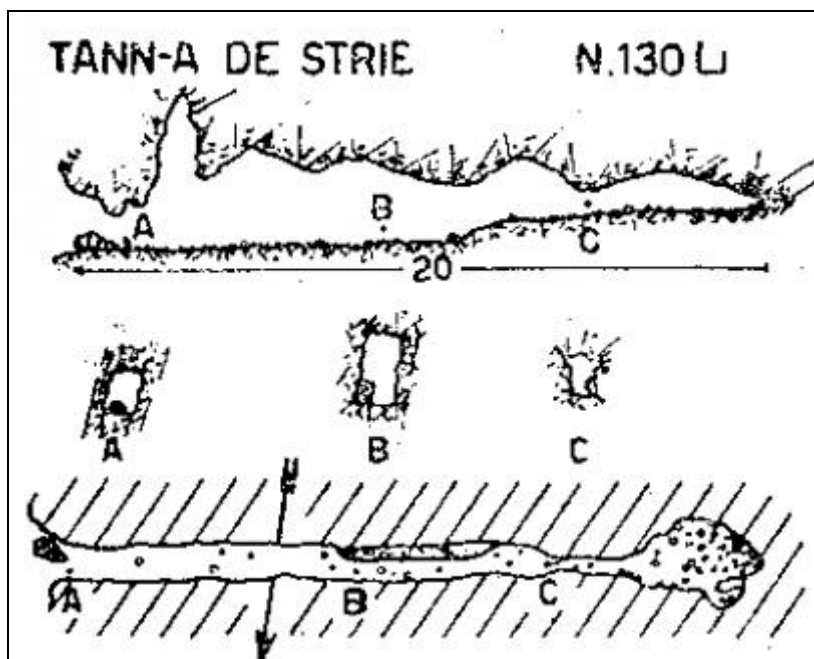


Figura 18 - Rilievo schematicizzato della "Grotta delle streghe" (tratto da: www.openspeleo.org) entro la formazione dei calcari del Monte Antola presso Foggia (Rapallo).

9.6 INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE

La quantità d'acqua immagazzinata nel sottosuolo e la presenza di falde acquifere sono legate, oltre che a fattori esogeni (precipitazioni, assetto morfologico ed orografico) anche a fattori endogeni (caratteristiche di permeabilità delle formazioni di substrato e loro rapporti geometrici – spaziali).

Scopo di questa parte del lavoro, è l'individuazione e classificazione delle Unità idrogeologiche presenti nell'area di indagine in relazione al grado e tipo di permeabilità delle formazioni esistenti. Per far ciò sono state prese in considerazione tutte le informazioni relative alla litologia, al livello di tettonizzazione, alle strutture rilevate, ai dati forniti dalle misure di permeabilità eseguite nei sondaggi perforati lungo il tracciato, alla presenza e caratteristiche dei punti d'acqua ed a quanto riportato in letteratura.

Sulla base di tali dati è stato possibile ricostruire il modello concettuale di circolazione delle acque sotterranee e redigere una carta dei complessi idrogeologici nella quale sono stati individuate 5 Unità idrogeologiche divise in tre gruppi riconducibili al tipo di permeabilità (per porosità – primaria; per fessurazione-secondaria; per carsismo) ed

in quattro classi riconducibili alla permeabilità media (Molto Alto - Alto, Medio, Basso, Molto Basso).

In linea generale si ritiene che gli ammassi rocciosi che verranno incontrati abbiano caratteristiche di permeabilità da medie a basse e che la circolazione idrica sotterranea nel substrato roccioso avvenga prevalentemente lungo i sistemi di faglie principali.

Per l'individuazione del grado di permeabilità sono state anche analizzate le prove Lugeon disponibili (vedi tabella 9).

Negli elaborati di progetto (GEO0011-12 e GEO0013) vengono distinte le seguenti unità (figura 31):

A - Unità costituite da depositi sciolti la cui permeabilità primaria viene determinata dalla porosità. Vi appartengono: i depositi antropici (riporti, rilevati, argini, discariche, etc.), i depositi alluvionali recenti, antichi e di conoide che hanno comportamento acquifero ed i depositi di frana unitamente alle DGPV, al detrito di versante, alle alteriti ed all'eluvio-colluvio che hanno comportamento variabile.

B - Unità 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 (APA e LAV) o scistose (SCM) più i litotipi flyschoidi delle Ardesie di Monte Verzi (AMV).

C - Unità con permeabilità mista per fratturazione e carsismo, condizione in cui ricadono i litotipi flyschoidi dei Calcari del Monte Antola (FAN) caratterizzati dallo sviluppo di fenomeni carsici generalmente limitati e localizzati, in cui la permeabilità per fratturazione può eventualmente risultare incrementata da locali fenomeni chimico-dissolutivi.

9.6.1 Planimetria dei complessi idrogeologici

La carta dei complessi idrogeologici (GEO0011 e GEO0012) è stata elaborata con finalità di inquadramento e caratterizzazione complessiva delle diverse unità acquifere.

	Unità idrogeologiche	Unità geologiche		Grado di permeabilità (Classificazione da CIRIA 2000)					
				Molto alto- Alto 10^{-2} m/s	Medio 10^{-4} m/s	Basso 10^{-5} m/s	Molto basso 10^{-6} m/s	Impermeabile 10^{-10} m/s	
Permeabilità primaria per porosità	Unità dei depositi antropici (riporti, rilevati, argini, discariche, etc)	Depositi antropici	I		—————				
	Unità a comportamento acquifero	Depositi alluvionali recenti, antichi e di conoide	II	—————	—————				
	Unità a comportamento variabile	Depositi di frana attiva e quiescente, DGPV, detrito di versante, alteriti ed eluvio-colluviali	III			—————			
Permeabilità secondaria per fratturazione	Unità a permeabilità variabile in relazione al grado di fratturazione e alle variazioni litologiche	AMV	IV			—————	—————		
	Unità a conducibilità idraulica molto bassa/semipermeabile	SCM - APA - FLV	V					—————	
Permeabilità mista per fratturazione e carsismo	Unità a permeabilità mista per fratturazione e carsismo	FAN	VI	—————		—————			

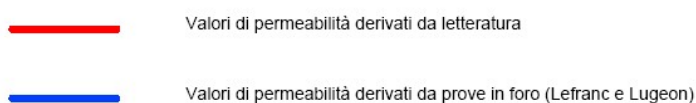


Figura 19 - Legenda relativa alla classificazione delle unità idrogeologiche.

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 luglio – settembre 2011 e ottobre-novembre 2014), delle sorgenti censite;

- la localizzazione dei piezometri realizzati nelle diverse campagne di indagine;
- la distinzione delle unità idrogeologiche con riferimento alla tabella riportata di seguito

9.6.2 Profilo idrogeologico

Il profilo idrogeologico longitudinale (GEO0013) riporta, attraverso un'opportuna simbologia, i seguenti elementi:

- le unità geologiche - idrogeologiche, in coerenza con il profilo geologico di progetto (GEO0010);
- la localizzazione e profondità dei piezometri;
- tabella riportante valori bibliografici e derivanti da prove in sito per le unità idrogeologiche individuate;

9.7 PERMEABILITÀ

La permeabilità delle litologie identificate durante il rilevamento è stata definita sulla base di dati bibliografici e dei risultati di prove di permeabilità in situ.

<i>Sondaggio</i>	<i>Campagna</i>	<i>Profondità (m da pc)</i>	<i>Unità geologica</i>	<i>U.L.</i>	<i>k (AGI) [m/sec]</i>
SV1	Terra 2013	21.00-23.40	FAN	1.14	1.14E-07
SV2	Terra 2011	23.00 - 27.75	FAN	0.59	5.90E-08
SV3	Terra 2013	10.00-12.40	FAN	13.04	1.30E-06
SV4	Terra 2011	9.00 - 13.30	FAN	6.53	6.53E-07
SV5	Terra 2011	9.00 - 13.20	FAN	3.39	3.39E-07
SV6	Terra 2013	9.00-11.00	FAN	14.08	1.41E-06
SV7	Terra 2013	10.40-12.90	FAN	4.48	4.48E-07
FB1	Terra 2011	17.30 - 20.30	FAN	0.82	8.20E-08

Sondaggio	Campagna	Profondità (m da pc)	Unità geologica	U.L.	k (AGI) [m/sec]
FB3	Terra 2013	24.00-25.80	FAN	21.3	2.13E-06
FB4	Terra 2013	5.00-6.60	FAN	8.75	8.75E-07
FB5	Terra 2013	11.00-13.15	FAN	2.77	2.77E-07
FB6	Terra 2011	37.00 - 40.80	FAN	0.24	2.40E-08
FB7	RCT 2011	127.50 - 132.50	FAN	1.8	1.80E-07
FB7	RCT 2011	133.45 - 138.45	FAN	0.87	8.70E-08
FB9quater	Vicenzetto 2013	242.00-247.00	FAN	0.23	2.30E-08
FB9quater	Vicenzetto 2013	261.00-265.80	FAN	0.25	2.50E-08
FB9quater	Vicenzetto 2013	40.00-45.00	AMV	2.62	2.62E-07
FB9quater	Vicenzetto 2013	85.50-90.60	AMV	8.08	8.08E-07
FB9quater	Vicenzetto 2013	140.00-145.00	AMV	10.4	1.04E-06
FB9	RCT 2011	10.50 - 15.80	AMV	1.16	1.16E-07
FB10	RCT 2011	25.50 - 30.50	AMV	0.2	2.00E-08
FB10	RCT 2011	60.00 - 65.00	AMV	0.35	3.50E-08
FB11	Terra 2013	5.00-6.80	AMV	73.99	7.40E-06
FB12	Terra 2013	10.00-12.20	AMV	25.21	2.52E-06
FB15	RCT 2011	6.50 - 11.50	SCM	0.08	8.00E-09
FB16	RCT 2011	19.00 - 24.00	SCM	0.45	4.50E-08
FB14	Vicenzetto 2013	12.00-16.7	SCM	-	1.00E-11

Sondaggio	Campagna	Profondità (m da pc)	Unità geologica	U.L.	k (AGI) [m/sec]
FB18	Vicenzetto 2013	12.00-16.7	SCM	-	1.00E-11
FB20	Vicenzetto 2013	10.00-15.00	SCM	0.32	3.20E-08
FB21	Vicenzetto 2013	9.00-13.70	SCM	-	1.00E-11

Tabella 9 - Risultati delle prove di permeabilità Lugeon

Al fine di inquadrare le diverse unità dal punto di vista idrogeologico si propongono le permeabilità medie riferibili agli ammassi rocciosi nel loro insieme. Tali classi di permeabilità risultano comunque soggette a variazioni anche significative ad esempio in corrispondenza delle strutture principali (es. faglie).

Unità geologica	K (m/s)		
	media	max	Min
FAN	5.02E-07	2.13E-06	2.30E-08
AMV	1.53E-06	7.40E-06	2.00E-08
SCM - FLV	2.83E-08	4.50E-08	1.00E-11

Tabella 10 - Valori di K medi, massimi e minimi ricavati per le differenti unità litologiche sulla base delle prove Lugeon

Per quanto concerne la comprensione delle differenze riscontrabili tra il grado di permeabilità qualitativo ed i valori di K desunti dalle prove in sito o dalla letteratura, è necessario evidenziare che le prove Lugeon sono espressione di una permeabilità puntuale e che possono essere eseguite solamente in corrispondenza di tratti di perforazione stabili; pertanto non tengono conto del comportamento idraulico delle porzioni d'ammasso maggiormente fratturato e permeabile. Tentare di eseguire le prove Lugeon in corrispondenza di tratti molto fratturati, oltre ad implicare rischi di danneggiamento per le attrezzature, fornirebbe risultanze scarsamente attendibili, in

quanto gli otturatori atti ad isolare le camere di prova verrebbero facilmente sifonati dall'acqua iniettata ad elevata pressione.

Infine si ricorda che l'impiego di acqua nelle fasi di perforazione e di prova verosimilmente può determinare il rammollimento dei terreni argillitici; tale accadimento è in grado di determinare una non perfetta tenuta degli otturatori e l'instaurarsi di moti di filtrazione che, viste le basse permeabilità in gioco, possono condurre alla sovrastima dei valori di K nell'ambito delle argilliti.

9.8 PIEZOMETRIA

Nella tabella 11 vengono riportati tutti i dati piezometrici disponibili misurati in differenti periodi tra il 2011 ed il 2014; i piezometri realizzati sono tutti a tubo aperto.

SONDAGGIO	DATA LETTURA	STRUMENTAZIONE INSTALLATA	LUNGHEZZA (m da p.c.)	MISURA (m da p.c.)	NOTE
FB1	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	40.00	14.10	
	06/10/2014			16.50	
	14/06/2012			15.85	
	07/03/2012			13.36	
	03/10/2011			16.15	
FB3	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	45.00	26.75	
FB4	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	40.00	10.75	
FB5	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	40.00	saturo	
FB6	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	55.00	23.70	
	06/10/2014			23.95	
	14/06/2012			25.16	
	07/03/2012			24.00	
	03/10/2011			24.35	
FB7	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	150.00	64.80	
	14/06/2012			63.42	
	07/03/2012			62.55	
	03/10/2011			59.60	
	29/09/2011			52.20	
FB9	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	40.00	5.40	
	06/10/2014			6.05	
	14/06/2012			14.15	
	07/03/2012			5.20	
	03/10/2011			6.07	
	30/09/2011			6.05	
FB10	07/03/2012	Piezometro a tubo aperto	70.00	ND	sotterrato/sommerso
	03/10/2011			5.51	
	30/09/2011			5.48	
	01/08/2011			8.03	

SONDAGGIO	DATA LETTURA	STRUMENTAZIONE INSTALLATA	LUNGHEZZA (m da p.c.)	MISURA (m da p.c.)	NOTE
FB11	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	30.00	5.05	
	06/10/2014			5.95	
	18/07/2013			4.55	
	06/06/2013			3.95	
FB12	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	30.00	ND	sotterrato
	18/07/2013			21.10	
	06/06/2013			18.73	
FB14	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	30.00	ND	sotterrato
	06/06/2013			6.38	
	24/04/2013			4.66	
FB17	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	35.00	8.30	
	06/10/2014			ND	
	14/06/2012			8.70	
	07/03/2012			8.24	
	03/10/2011			8.60	
FB18	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	35.00	ND	sotterrato/coperto
	06/06/2013			6.02	
	24/04/2013			5.51	
FB20	27/10/2014	Piezometro a tubo aperto	20.00	7.45	ripulito/sotto vegetazione
	06/10/2014			ND	sotterrato/coperto
	06/06/2013			9.70	
	24/04/2013			5.65	
FB21	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	25.00	ND	sotterrato/coperto
	06/06/2013			2.98	
	24/04/2013			2.81	
SV1	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	35.00	15.05	
SV2	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	35.00	19.10	
	14/06/2012			18.88	
	07/03/2012			18.38	
	03/10/2011			17.45	
SV3	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	35.00	24.80	
SV4	07/03/2012	Piezometro a tubo aperto	40.00	ND	non raggiungibile
	03/10/2011			21.30	
SV5	06/10/2014	Piezometro a tubo aperto	40.00	25.10	
	14/06/2012			20.02	
	07/03/2012			13.92	
	03/10/2011			18.70	
SV6	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	35.00	19.45	
SV7	18/07/2013	Piezometro a tubo aperto	35.00	7.25	
	25/06/2013			6.70	

Tabella 11 - Riepilogo dati piezometrici disponibili nel periodo 2011 – 2014.

10 VERIFICA DI IFFI, REGIONE, PIANO STRUTTURALE E ADB

Per la realizzazione della carta dei vincoli si è fatto riferimento a diverse fonti ed in particolare alle informazioni contenute nei Piani di Bacino (Stralcio sul rischio idrogeologico in adempimento all'art.1, comma1, del decreto-legge 11 giugno 1998, n. 180, convertito, con modificazioni, nella legge 3 agosto 1998 n 267), redatti dalla Provincia di Genova.

Nella seguente figura è riportato il quadro d'unione dei Piani di Bacino.

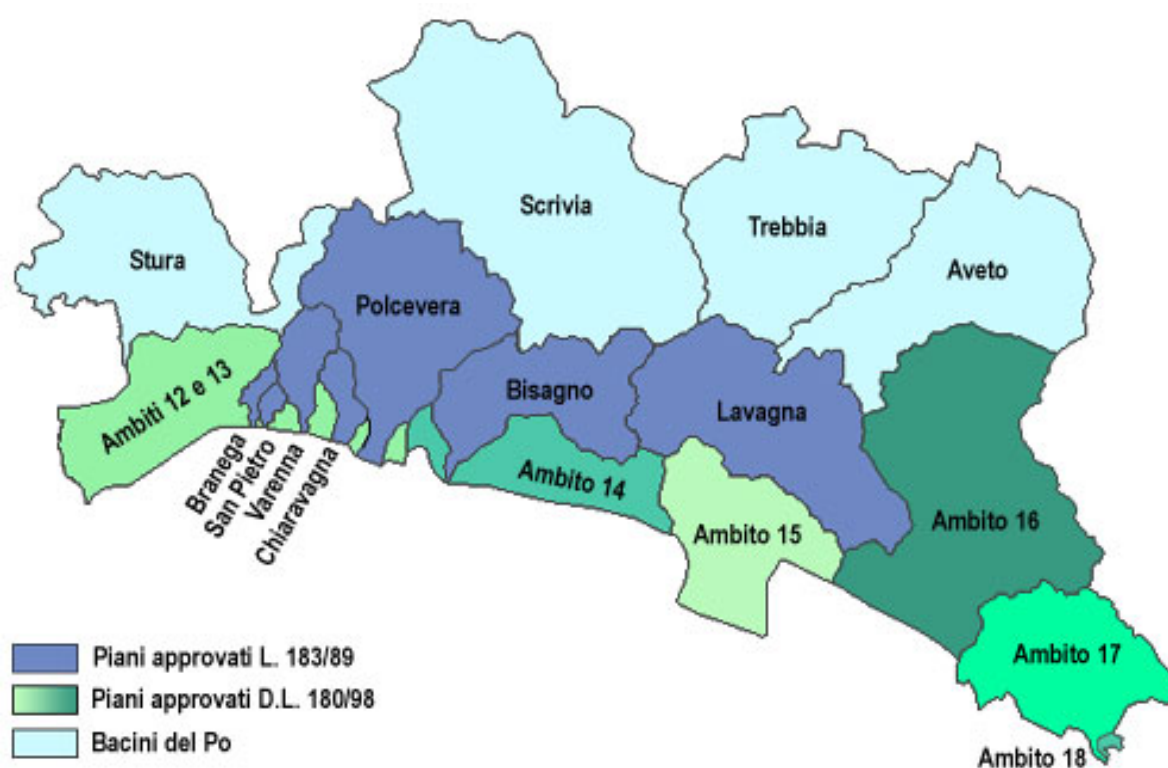


Figura 20 - Suddivisione dei Bacini idrografici in Liguria.

Per l'area in esame, sono stati utilizzati i seguenti Piani di Bacino:

- Ambito 15;
- Bacino del torrente Lavagna.

Di seguito si riportano gli estratti per ciascun Piano di Bacino che ricoprono l'area di interesse (tavole 231030 e 214150)

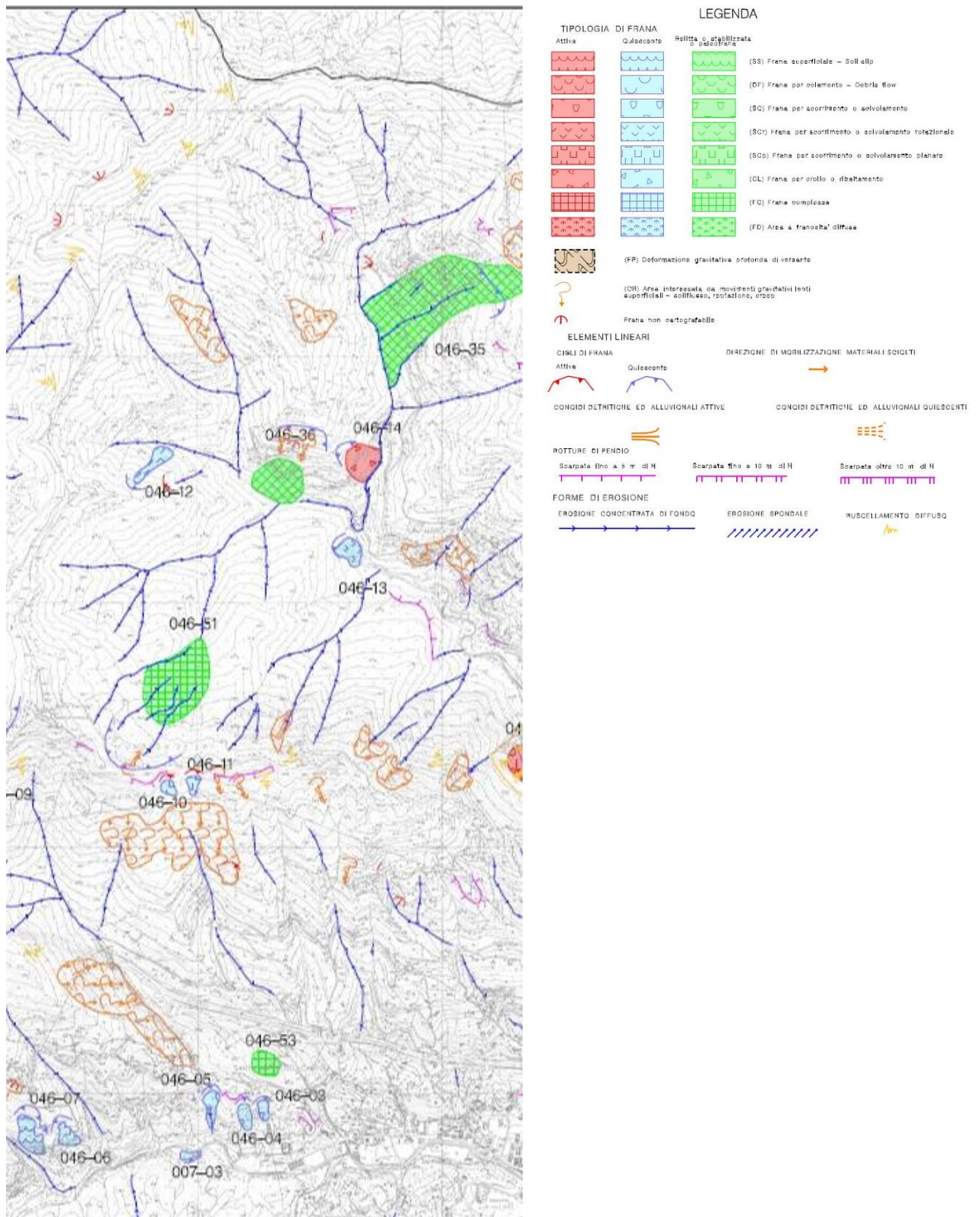
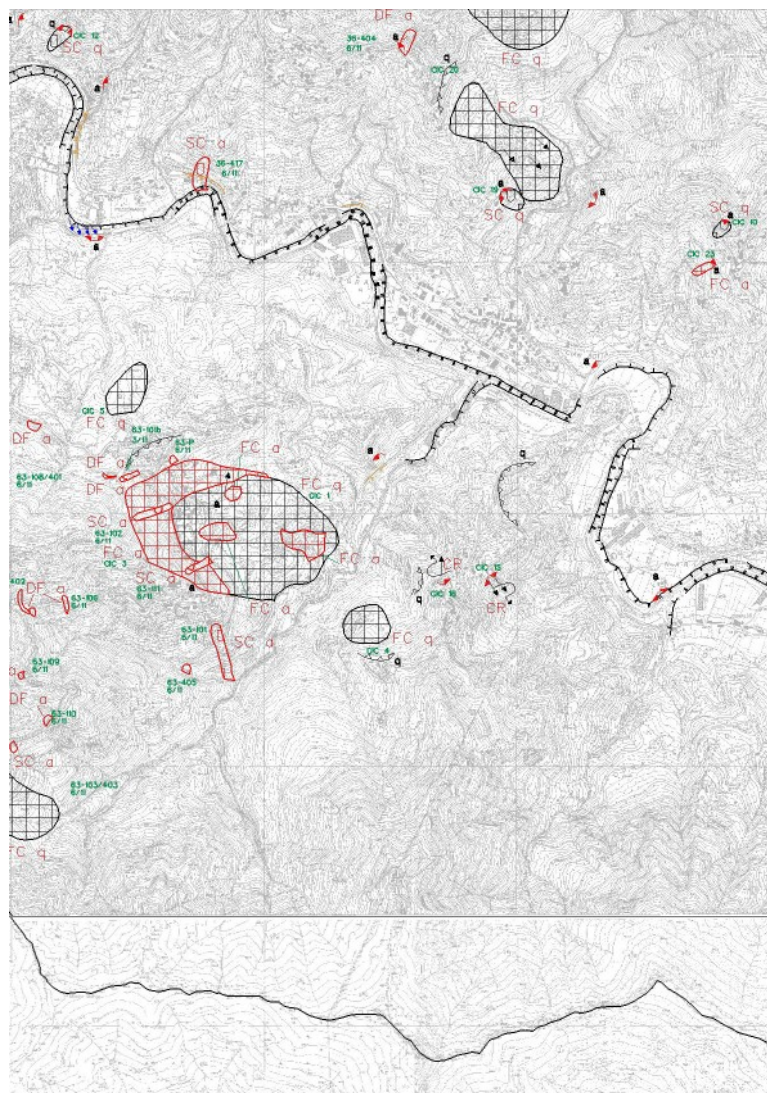


Figura 21 - Estratto carta della franosità reale con la rispettiva legenda (Piano di Bacino Ambito 15, tavola 231030 aggiornata l'8 novembre 2014)



LEGENDA

a	q	
		di FRANA PER COLAMENTO (oltre Nov)
		di FRANA PER SCORRIENTO O SCIVOLAMENTO
		di FRANA PER CROLLO O RIBALTAMENTO
		di FRANA COMPLESSA
		FRANA RELTA O FRANA CON PORZIONI RELTTE
		di MOVIMENTI ORIZZONTALI SUPERFICIALI
		CICLO DI FRANA ATTIVO
		CICLO DI FRANA QUIESCENTE
		SCARPATA FINO A 8 M DI ALTEZZA
		SCARPATA FINO A 10 M DI ALTEZZA
		SCARPATA OLTR E 10 M DI ALTEZZA
		EROSIONE SPONDALE
		EROSIONE CONCENTRATA D FONDO
		EROSIONE PER RUSCELLAMENTO DIFFUSO
		DIREZIONI DI MOBILTA NEI MATERIALI SCOLTI
		DAV 14
		CODICE IDENTIFICATIVO PENOVENO "RANCO"

Figura 22 - Estratto carta della franosità reale con la rispettiva legenda (Piano di Bacino Torrente Lavagna, tavole 231030 e 214150 aggiornate il 5 agosto 2012)

Per ciascuno dei bacini sopraelencati all'interno della cartografia di progetto (GEO006-007) è stata riportata la carta della suscettività al dissesto. Si evidenzia come i dati appartenenti ai due Piani di Bacino considerati non siano omogenei per tutta l'area in quanto gli aggiornamenti della cartografia tematica ha subito aggiornamenti in anni diversi (Ambito 15 del 18 novembre 2013 - Bacino del torrente Lavagna 5 agosto 2012).

Nella planimetria sono stati anche riportati i seguenti elementi:

- corpi di frana, da IFFI - SIT Regione Liguria, suddivisi in tipologia (DGPV, crollo/ribaltamento, colamento rapido, colamento lento, scivolamento rotazionale/traslattivo, complessa e aree soggette a frane superficiali diffuse) e stato (attivo/riattivato/sospeso, quiescente generico, stabilizzato generico, n.d.)
- fasce fluviali appartenenti al Piano di bacino Ambito 15 suddivise in Fascia A (zona interessata dall'alveo attuale del corso d'acqua e zone soggette ad esondazioni con tempo di ritorno pari a 50 anni); Fascia B (zone soggette ad esondazioni con tempo di ritorno pari a 200 anni) e Fascia C (zone soggette a piene catastrofiche con tempo di ritorno pari a 500 anni).

Per quanto concerne le fasce fluviali la cartografia tematica del Torrente Lavagna non evidenzia fasce nel tratto d'interesse come evidenziato in rosso in figura 29 mentre, per l'Ambito 15 è stata utilizzata la tavola 3 (vedi figura 30)

PIANO DI BACINO
 AMBITO 15
 Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico
 di cui all'art. 1, comma 1 del D.L. 1106/1998 n. 180
 convertito in legge 03/08/1998 n.267 e s.m.l.



CARTA DELLE FASCE FLUVIALI

Figura 23 - Schematizzazione carta delle fasce fluviali (Piano di Bacino Ambito 15)

**Il Piano di Bacino del
 Torrente Lavagna**

Tav. 19 Carta delle fasce fluviali

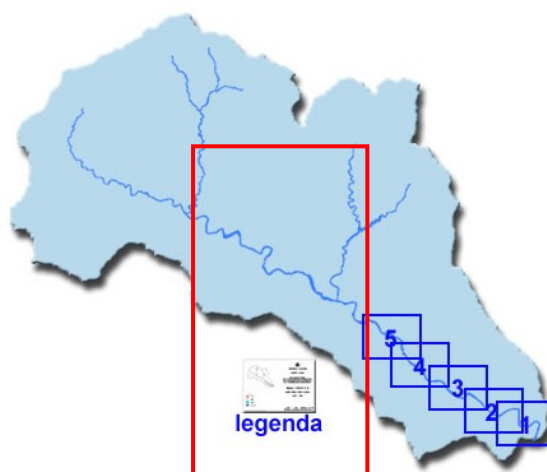


Figura 24 - Schematizzazione carta delle fasce fluviali (Piano di Bacino Torrente Lavagna)

In particolare sui documenti degli Enti è stata segnalata una DGPV come interferente con la porzione di tracciato che identifica la riqualificazione della S.P.22 dal km 0+155 al km 0+855. Tale fenomeno viene perimetrato e identificato come DGPV all'interno dell'Inventario dei fenomeni franosi (IFFI). All'interno del PAI lo stesso

areale viene definito come frana complessa con una perimetrazione meno estesa rispetto a quella dell'IFFI (vedi figura 24). In ultimo il Carg (vedi figura 14) identifica delle porzioni a monte a valle come "spostamento a blocco" ed una porzione di frana attiva. All'interno del Piano Urbanistico Comunale di Tribogna (carta geomorfologica) la stessa area viene perimetrata con frane di minore estensione definite come quiescenti o paleofrane, viene anche individuato un ciglio di distacco che corrisponde grossomodo al limite superiore che identifica la DGPV nella carta geomorfologica di progetto (GEO005)

Si è scelto di riportare la DGPV come identificata all'interno dell'IFFI. Questo in quanto l'IFFI risulta essere la documentazione più aggiornata rispetto alle altre due fonti bibliografiche (PAI Torrente Lavagna, Carg, PUC Tribogna) ed inoltre in generale riporta più informazioni rispetto alle altre.



Figura 25 - Estratto Foglio CARG 214 e Legenda Foglio CARG 214

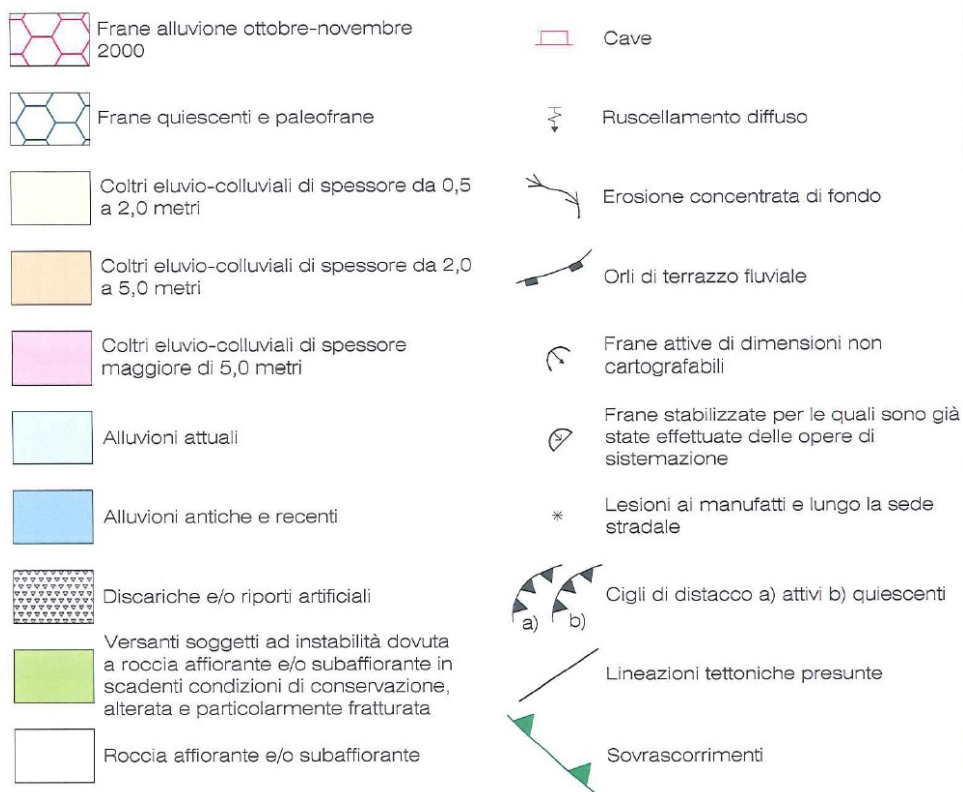
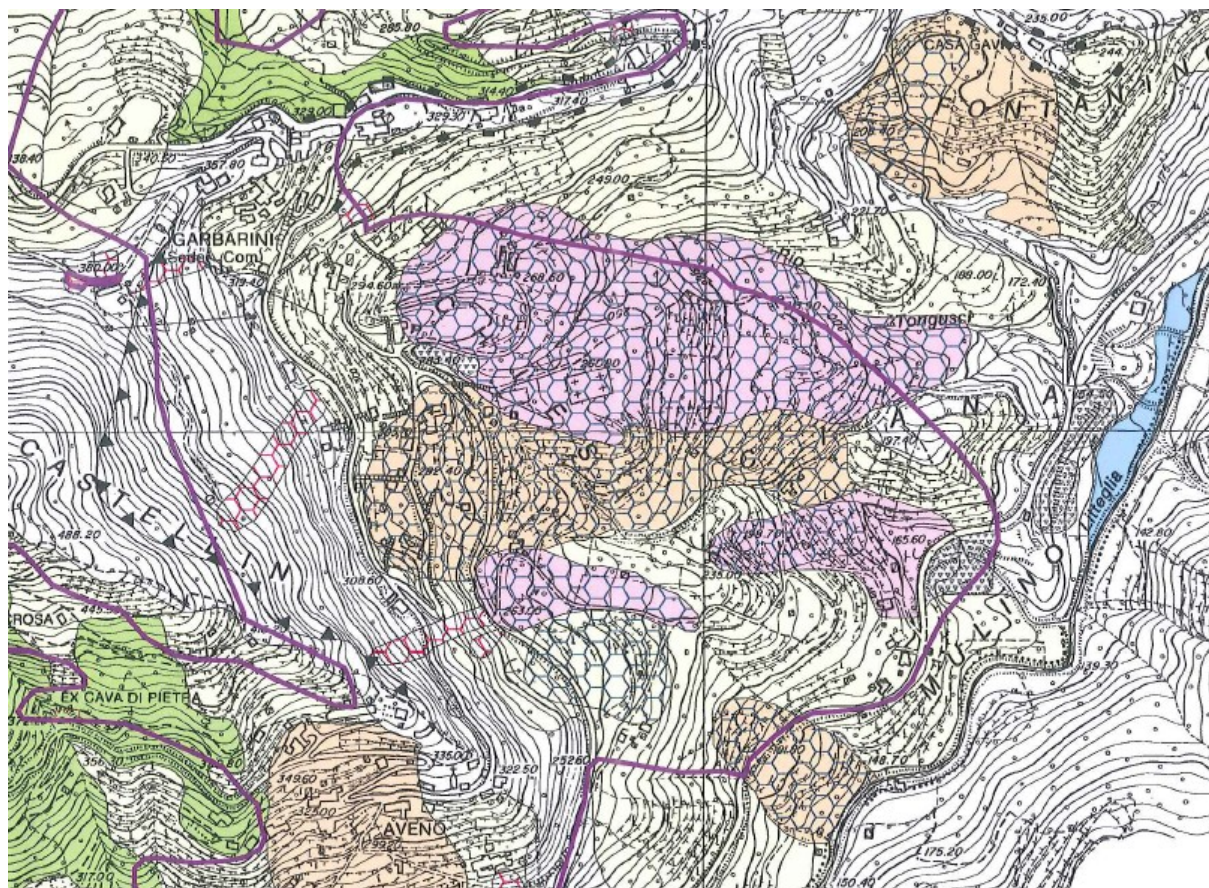


Figura 26 - Estratto Carta geomorfologica PUC Tribogna e rispettiva legenda

Nello studio di fattibilità denominato "*Studio delle soluzioni infrastrutturali più idonee per il collegamento fra la Val Fontanabuona e Rapallo*" redatto da FILSE S.p.A. per Sviluppo Genova, tra le carte tematiche prodotte c'è una carta geomorfologica datata 19 febbraio 2009.

All'interno di tale documento viene cartografata una DGPV anche in prossimità dell'imbocco nord della galleria Caravaggio; tale dissesto non trova riscontro in alcuna fonte bibliografica considerata (PAI Ambito 15, IFFI).

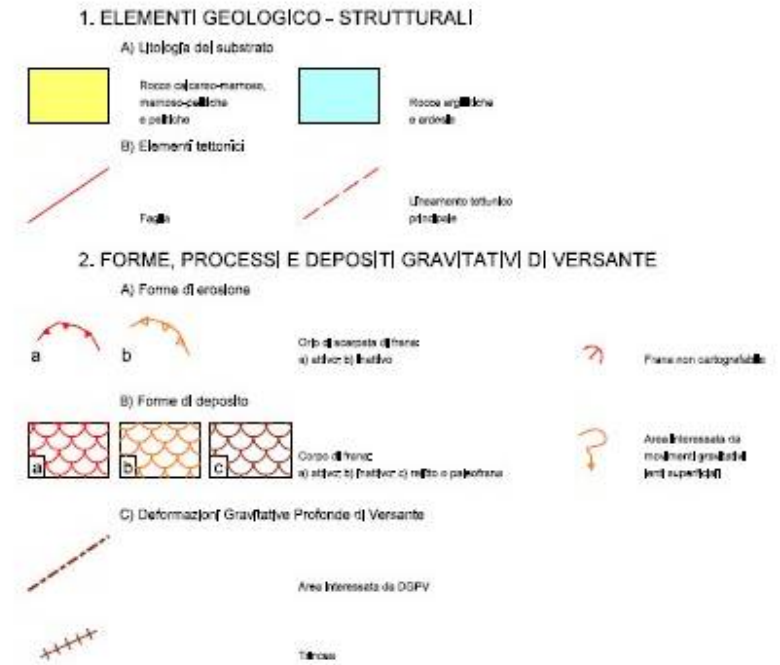
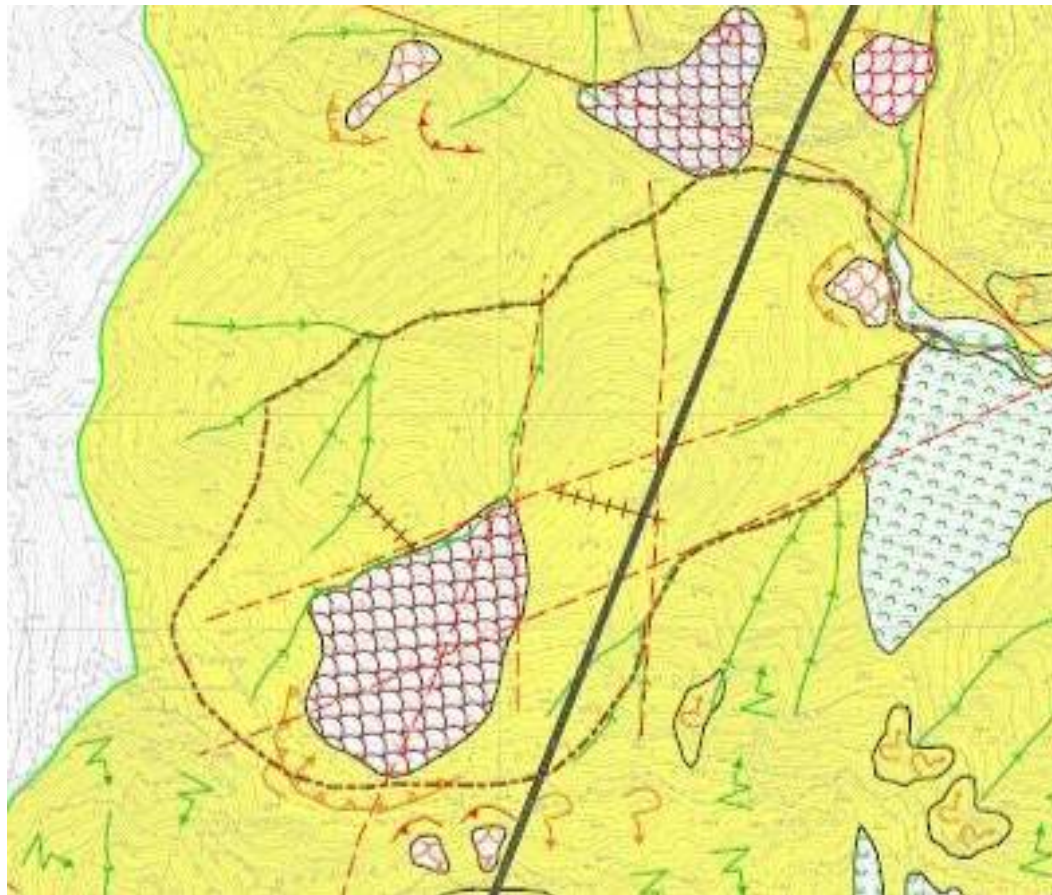


Figura 27 - Estratto dalla tavola Carta geomorfologica G05 e rispettiva legenda appartenente allo Studio delle soluzioni infrastrutturali più idonee per il collegamento fra La Val Fontanabuona e Rapallo redatta da FILSE spa per Sviluppo Genova (19/02/2009)

11 INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati considerati riguardano le diverse campagne geognostiche eseguite lungo il tratto di interesse.

L'ubicazioni delle indagini geognostiche sono riportate nell'elaborato allegato in scala 1:5000 utilizzando simbologia differente in relazione alla tipologia di indagine ed alla fonte (GEO008-GEO009).

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dagli ingegneri responsabili degli uffici opere all'aperto (APE) e tunnelling (TUN) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce; dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

11.1 INDAGINI PROGETTO PRELIMINARE 2011

Nell'ambito del progetto preliminare è stata eseguita una campagna geognostica che ha compreso le seguenti attività:

- sondaggi a carotaggio continuo con realizzazione di indagini e prove geotecniche - geomeccaniche in sito (per un totale di 610 m). Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove SPT, prove dilatometriche e prove di permeabilità Lugeon. Nei fori di sondaggio sono stati poi installati piezometri a tubo aperto o inclinometri.

Impresa	Sondaggio	Tipologia	Orientazione	Profondità (m)	Prove	Strumentazione installata
RCT	FB7	carotaggio continuo	verticale	150	1 prova dilatometrica 2 prove Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB9	carotaggio continuo	verticale	40	1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto

Impresa	Sondaggio	Tipologia	Orientazione	Profondità (m)	Prove	Strumentazione installata
	FB10	carotaggio continuo	verticale	70	SPT 1 prova dilatometrica 2 prove Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB15	carotaggio continuo	verticale	30	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Inclinometro
	FB16	carotaggio continuo	verticale	75	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Inclinometro
TERRA	SV2	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	SV4	carotaggio continuo	verticale	40	SPT 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	SV5	carotaggio continuo	verticale	40	1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB1	carotaggio continuo	verticale	40	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB6	carotaggio continuo	verticale	55	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB17	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova Lefranc	Piezometro a tubo aperto

- indagini geofisiche a rifrazione tomografica con acquisizione sia di V_p sia di V_s : sono state inoltre eseguite n° 10 stese geofisiche per un totale di 3216 m lineari indagati ($V_p + V_s$);
- rilievi geomeccanici degli affioramenti: sono stati eseguiti n° 10 rilievi in sito, che hanno previsto anche l'esecuzione di prove di resistenza a carico puntuale (PLST), utile a stimare sperimentalmente la resistenza della matrice rocciosa in modo speditivo;

- prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi, per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali e determinarne l'eventuale conformità al riutilizzo come inerti o per calcestruzzi;
- analisi ambientali su campioni prelevati dai sondaggi (al fine di determinare le caratteristiche dei vari litotipi presenti nell'area).

11.1.1 Rilievi geomeccanici

Per quanto attiene alla caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, sono stati eseguiti n° 10 rilievi in sito (GEO025), che hanno previsto anche l'esecuzione di prove di resistenza a carico puntuale (PLST) e cioè di una metodologia di prova speditiva, utile a stimare sperimentalmente la resistenza della matrice rocciosa.

Gli affioramenti rocciosi prescelti sono statisticamente rappresentativi delle condizioni geomeccaniche che interessano le opere di progetto e per ciascuno di essi sono state determinate:

- le orientazioni delle famiglie di discontinuità;
- le caratteristiche fondamentali di ciascuna famiglia (spaziatura, persistenza, apertura, alterazione, JCS, JRC) e la loro variabilità;
- le classi di appartenenza degli affioramenti rocciosi, con riferimento alle principali classificazioni geomeccaniche (RMR, GSI, Q);
- i parametri fondamentali d'ammasso riferiti al singolo affioramento attraverso le formule di correlazione di letteratura (m_b , s , σ_{cm} , E , c , ϕ);
- la variabilità indotta nei parametri d'ammasso dalla variabilità naturale dei dati d'ingresso (simulazione statistica tipo Monte Carlo).

La definizione della caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi delle aree omogenee non è oggetto della presente relazione.

11.2 INDAGINI PROGETTO DEFINITIVO 2013

Nell'ambito del progetto definitivo è stata eseguita, nei mesi da aprile a agosto, una campagna geognostica che ha compreso le seguenti attività:

- sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo (per un totale di 945 m), in corrispondenza degli imbocchi o di opere all'aperto, con realizzazione di indagini e prove geotecniche - geomeccaniche in sito. Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove SPT, prove dilatometriche e pressiometriche, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, rilievo geomeccanico delle carote, prelievo ed analisi dei fluidi di perforazione. Nei fori di sondaggio sono stati poi installati piezometri a tubo aperto o tubi PVC per esecuzione di Cross Hole.

Impresa	Sondaggio	Tipologia	Orientazione	Profondità (m)	Prove	Strumentazione installata
TERRA	SV1	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	SV3	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	SV6*	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	SV7*	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB1 bis	distruzione	verticale	40	Prova Cross Hole	-
	FB1 ter	distruzione	verticale	40	Prova Cross Hole	-
	FB 3*	carotaggio continuo	verticale	45	1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB 4*	carotaggio continuo	verticale	40	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB 5*	carotaggio continuo	verticale	40	1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto

Impresa	Sondaggio	Tipologia	Orientazione	Profondità (m)	Prove	Strumentazione installata
	FB11	carotaggio continuo	verticale	30	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB12	carotaggio continuo	verticale	30	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
VICENZETTO	FB9 bis	distruzione	verticale	40	Prova Cross Hole	-
	FB9 ter	distruzione	verticale	40	Prova Cross Hole	-
	FB9quater	carotaggio continuo	orizzontale	350	5 prove Lugeon misura orizzontalità	Piezometro orizzontale con 2 manometri
	FB14	carotaggio continuo	verticale	30	SPT 1 prova pressiometrica 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB18	carotaggio continuo	verticale	35	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB 20	carotaggio continuo	verticale	20	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto
	FB 21	carotaggio continuo	verticale	25	SPT 1 prova dilatometrica 1 prova Lugeon	Piezometro a tubo aperto

* Sondaggi eseguiti con sonda elicotterabile



Figura 28 - Installazione con elicottero in zona Arboccò

- indagini geofisiche a rifrazione tomografica con acquisizione sia di Vp sia di Vs: sono state inoltre eseguite n° 17 stese geofisiche per un totale di circa 6580 m lineari indagati (Vp + Vs);
- prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi, per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali. Per i campioni di terreno sono state eseguite prove di identificazione (limiti di consistenza e granulometrie; sui campioni lapidei sono state eseguite prove per la determinazione dei parametri fisici, Vp e Vs, ricostruzione della curva di involucro secondo Hoek e Brown, prove di taglio su giunto e prove diffrattometriche per accertare la presenza di minerali rigonfianti (argille).

12 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato e un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore. La definizione dell'accelerazione di riferimento non è oggetto della presente relazione.

I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2006: Database DMI 2011 (Database Macrosismico Italiano) dell'Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia (a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna) disponibile on-line all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>
- Sismicità recente (dal 2005 al 2013): Database ISIDE (Italian Seismic Instrumental and parametric Data-basE) dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults) dell' Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale , disponibile on-line all'indirizzo <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/main/home.page>
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (Database of Individual Seismogenic Sources) disponibile all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione sismica regione Liguria <http://www.regione.liguria.it/argomenti/territorio-ambiente-e-infrastrutture/protezione-civile/rischio-sismico/prevenzione-del-rischio-sismico/classificazione-sismica-regionale.html>
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>

12.1 SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2006)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato vengono esaminati i dati riportati nel D.M.I. 2011 che contiene 86.071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a 1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPTI11; i dati sono riferiti a 15.416 località di cui 14.150 in territorio italiano.

In particolare sono stati estratti i dati disponibili per i Comuni di Tribogna, Cicagna, Rapallo.

Nelle tabelle seguenti viene riportato l'elenco dei terremoti con i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento.

Seismic history of Tribogna (Garbarini) [44.415, 9.193] Total number of earthquakes: 4					
---	--	--	--	--	--

Effects Is	Anno Me Gi Or	Earthquake occurred:				Mw
		Area epicentrale	nP	Io		
4	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09	
NF	2002 11 13 10:48	Franciacorta	770	5-6	4.29 ±0.09	
NF	2005 04 13 18:46	Valle del Trebbia	165	5	4.05 ±0.18	
NF	2005 04 18 10:59	Valle del Trebbia	286	5	3.98 ±0.09	

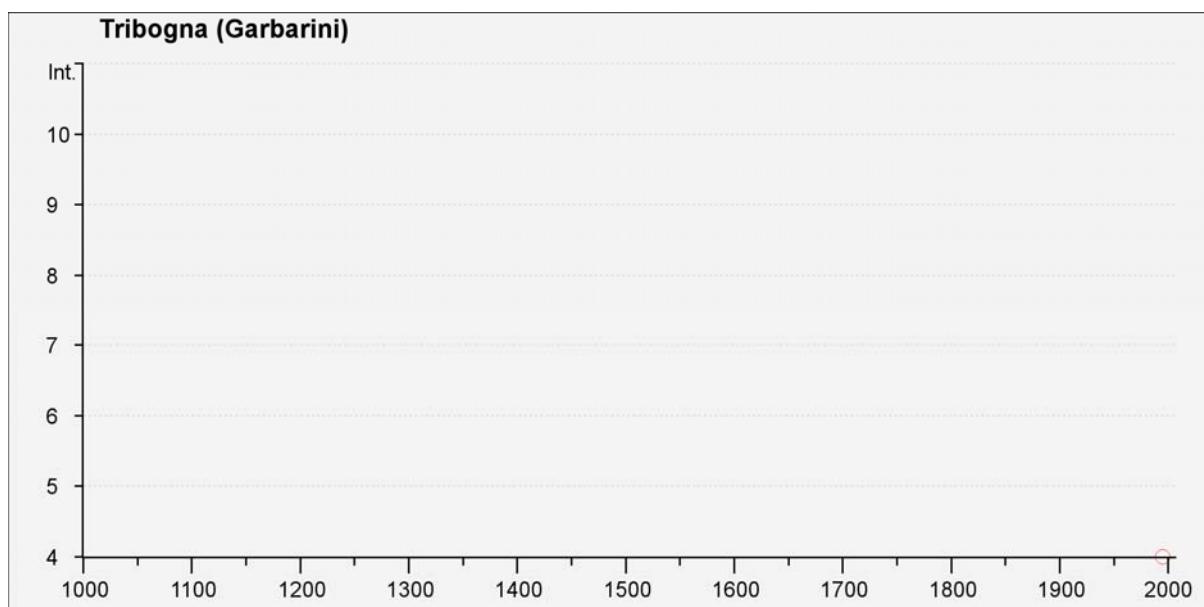


Figura 29 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Tribogna

Le intensità sismiche massima osservate per il Comune di Tribogna sono di IS= 4.

Seismic history of Cicagna
[44.409, 9.236]
 Total number of earthquakes: 6

Effects Is	Anno Me Gi Or	Earthquake occurred:			Mw
		Area epicentrale	nP	Io	
4-5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
3	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
NF	2000 08 21 17:14	Monferrato	597	6	4.86 ±0.09
NF	2005 04 13 18:46	Valle del Trebbia	165	5	4.05 ±0.18
NF	2005 04 18 10:59	Valle del Trebbia	286	5	3.98 ±0.09

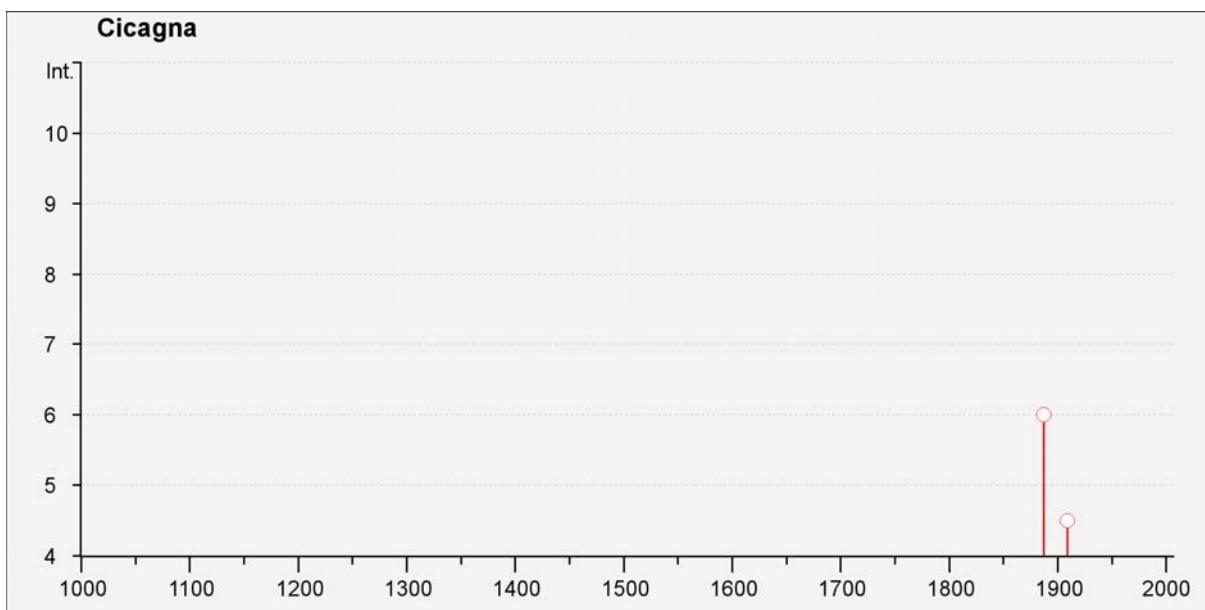


Figura 30 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Cicagna

Per il Comune di Cicagna le intensità massime hanno raggiunto IS = 4-5.

Seismic history of Rapallo
[44.349, 9.230]
 Total number of earthquakes: 16

Effects Is	Anno Me Gi Or	Earthquake occurred:			Mw
		Area epicentrale	nP	Io	
6	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
3-4	1903 07 27 03:46	LUNIGIANA	79	7-8	5.25 ±0.17
NF	1906 11 10 17:55	Appennino ligure	49	5-6	4.44 ±0.28
5	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
3	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	30	6	5.02 ±0.22
2	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
4	1927 10 28 21:49	BEDONIA	51	6	4.88 ±0.21
2-3	1930 10 30 07:13	SENIGALLIA	263	8	5.81 ±0.09
4	1951 05 15 22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
5	1963 07 19 05:45	Mar Ligure	463		6.02 ±0.14
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
3	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
NF	1998 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 ±0.09
NF	2005 04 13 18:46	Valle del Trebbia	165	5	4.05 ±0.18
NF	2005 04 18 10:59	Valle del Trebbia	286	5	3.98 ±0.09

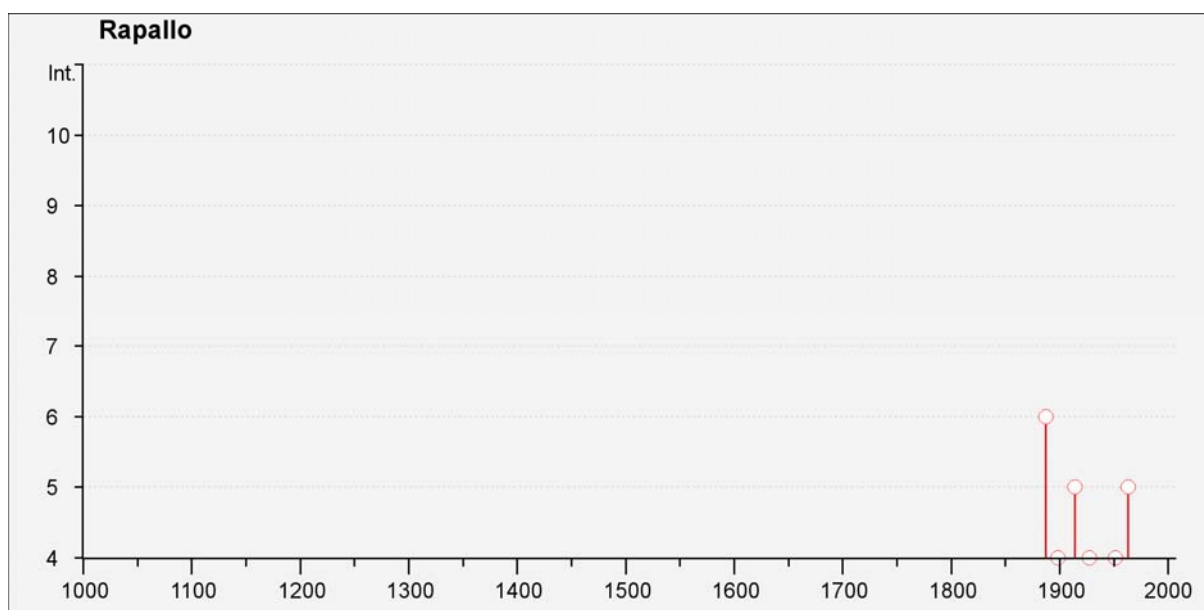


Figura 31 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2006 nel Comune di Rapallo

Per il Comune di Rapallo le intensità massime hanno raggiunto IS = 6.

12.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 AL 2014)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di interesse dal 16 aprile 2005 al 6 novembre 2014, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV

considerando un'area di raggio 200 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Rapallo.

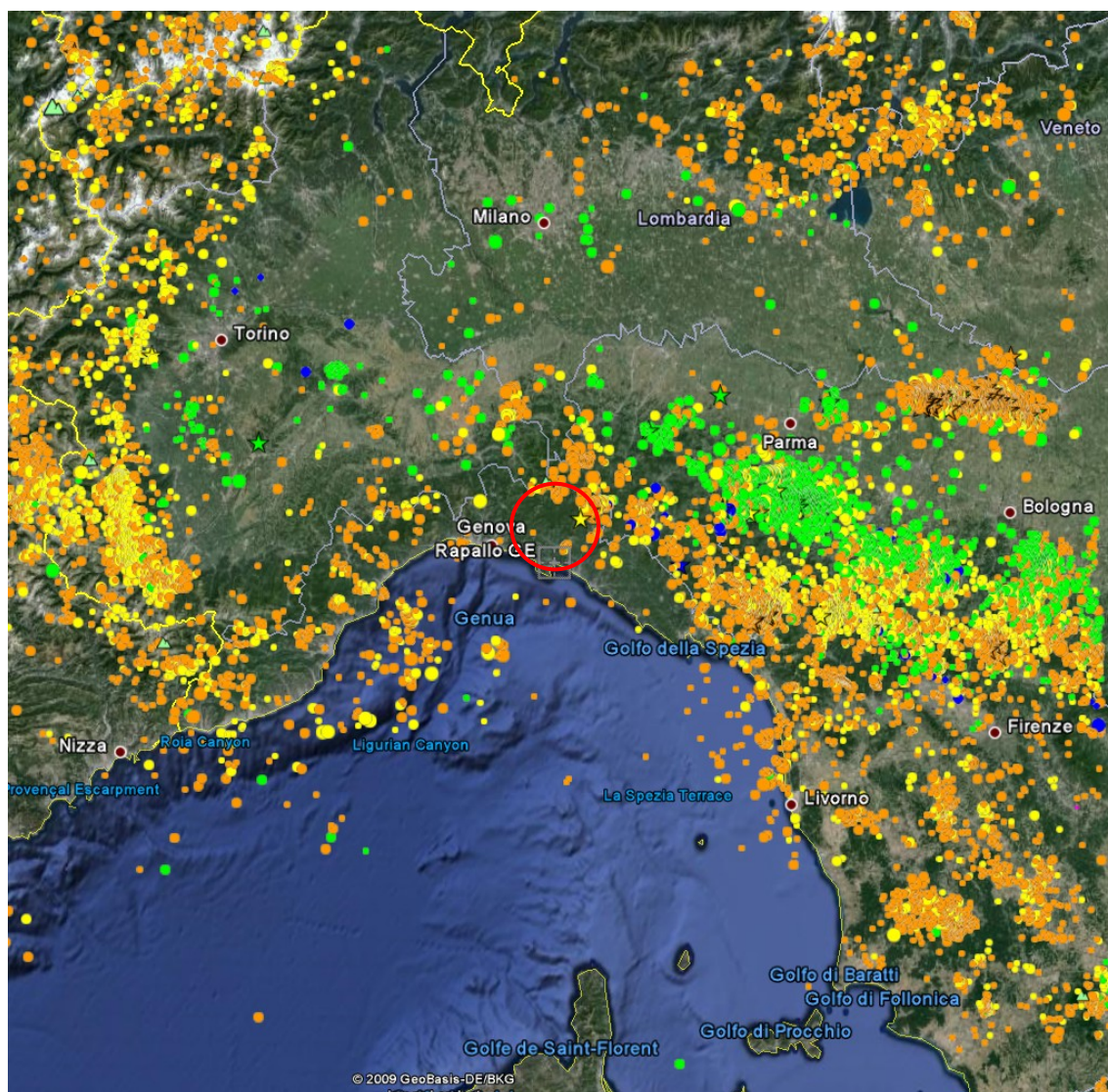


Figura 32 - Database ISIDE - Periodo 2005-novembre 2014

Dalla planimetria precedente si distinguono le seguenti aree sorgenti:

- la prima lungo l'arco appenninico da Alessandria alla Toscana (in quest'area avvengono i terremoti con maggior profondità e magnitudo)

- la seconda è ubicata nella Liguria occidentale, distribuiti lungo l'arco alpino fino all'area del Garda
- sono presenti anche alcuni epicentri mare a S del capoluogo ligure
- nell'immagine si notano anche i recenti sismi che hanno colpito la regione Emilia

12.3 FAGLIE CAPACI

Il termine “faglie capaci” è utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA “ITaly HAZard from Capable faults”, disponibile on-line all'indirizzo <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/catalog/main/home.page>.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Dall'analisi del suddetto catalogo si rileva la presenza di alcune faglie capaci molto prossima all'area di progetto.



Figura 33 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA nell'area rapallese

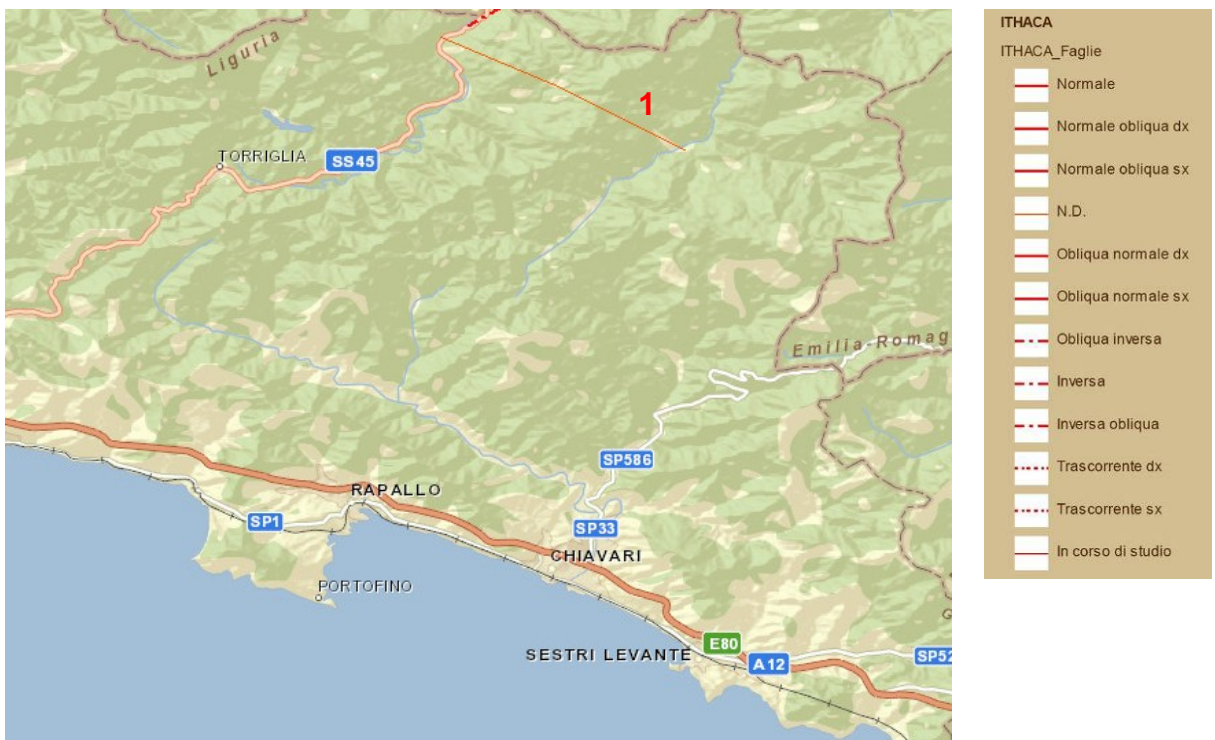


Figura 34 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA nell'area rapallese, dettaglio: le singole faglie vengono riassunte nella tabella seguente

	1
FAULT NAME	Oramara
FAULT CODE	60500
MACROZONE	3
REGION NAME	Toscana
SYSTEM NAME	Oramara
RANK	-
AVERAGE STRIKE	120
DIP	0
LENGTH (Km)	12
GEOMETRY	-
SEGMENTATION	-
DEPTH (Km)	0
LOCATION RELIABILITY	-
LAST ACTIVITY	-
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability
RECURRENCE INTERVAL (yr)	0
SLIP-RATE (mm/yr)	0
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH	0
MAX CREDIBLE SLIP (m)	0
KNOWN SEISMIC EVENTS	-
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)	-
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)	-
STUDY QUALITY	LOW

12.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto si snoda in un'area a sismicità posta ad ovest dell'area sismogenetica "Lunigiana" (ITCS03636) e "Pontremoli"(ITIS085). La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime all'area di interesse (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.



Figura 35 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3.

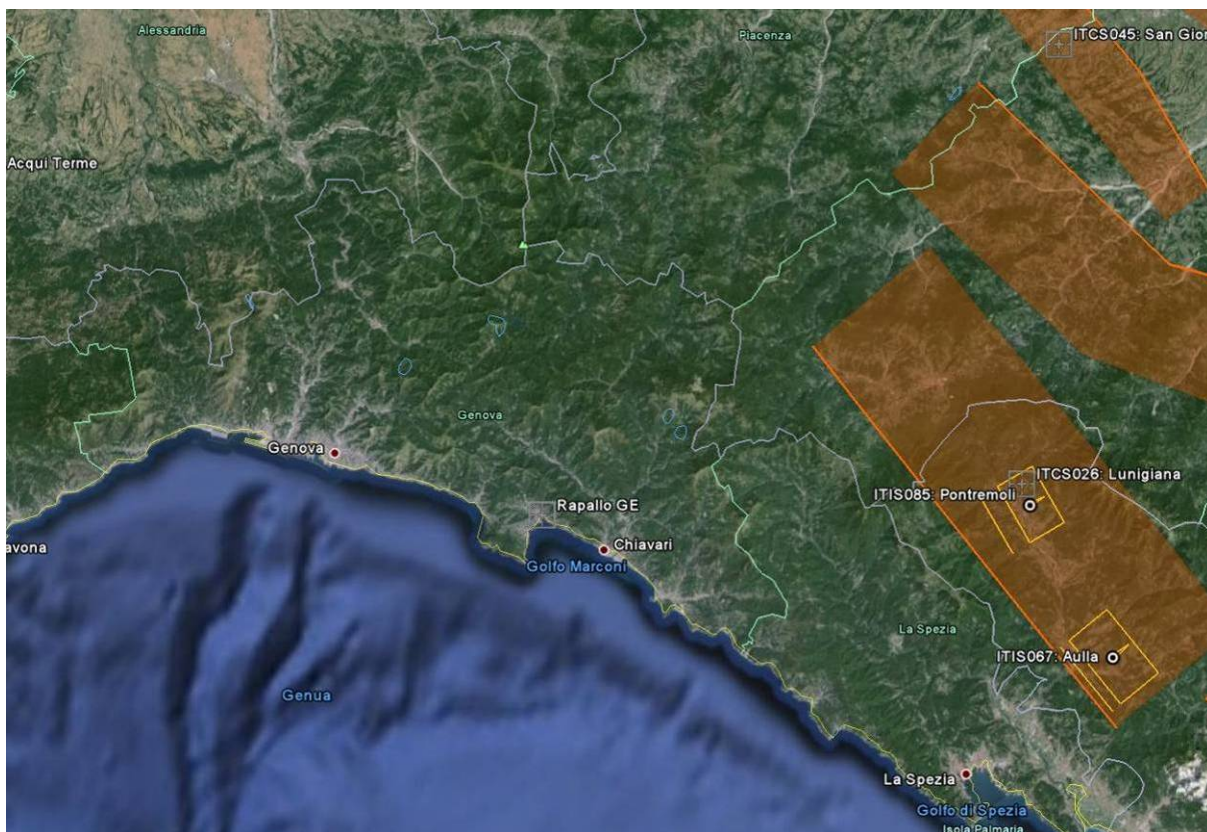


Figura 36 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse, dettaglio - Database DISS3.

12.5 ZONAZIONE SISMICA

Il territorio nazionale è caratterizzata da una sismicità che si distribuisce lungo fasce (zone sismogenetiche) a caratteristiche sismiche omogenee, variamente orientate.

La zonazione ZS9 (INGV, 2004), già evoluzione di zonazioni precedenti (ZS4, 2000) mette in risalto la disposizione di tali fasce; essa è stata elaborata in modo da soddisfare alcuni requisiti fondamentali, tra i quali è opportuno citare:

- la possibilità di fornire, per ogni ZS, una stima di profondità dei terremoti utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale;

fornire, per ogni ZS, un meccanismo di fagliazione prevalente utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate su tale meccanismo, mediante i coefficienti proposti tramite appositi algoritmi.

I dati di sismicità ottenuti dai database di riferimento sono stati gestiti in associazione agli elementi descritti attraverso la zonazione ZS9, allo scopo di predisporre gli elementi di ingresso per il calcolo della pericolosità sismica sull'intero territorio nazionale.

L'arco alpino Nord Orientale rappresenta il settore in cui è osservata la massima convergenza tra le placche adriatica ed europea, caratterizzato dalle strutture a pieghe sud-vergenti del Sudalpino orientale, e faglie inverse associate.

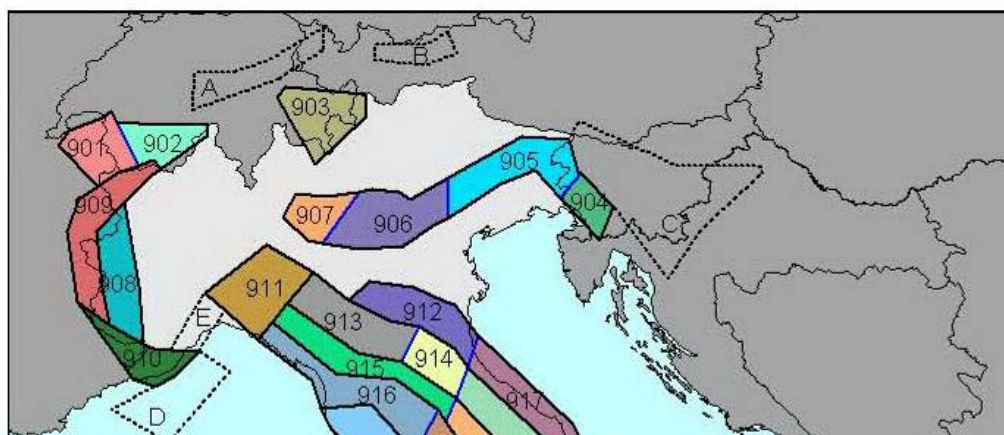


Figura 37 - Zonazione sismogenetica dell'Italia centro settentrionale (INGV, 2004). I limiti di colore blu separano zone con analogo significato cinematico, che differiscono principalmente per le caratteristiche di sismicità.

12.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003, si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di

fatto, sparisce il territorio “non classificato”, che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l’obbligo della progettazione antisismica.

L’appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l’adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

	Caratteristiche	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$ag > 0.25$
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0.15 < ag \leq 0.25$
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	$0.05 < ag \leq 0.15$
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	$ag \leq 0.05$

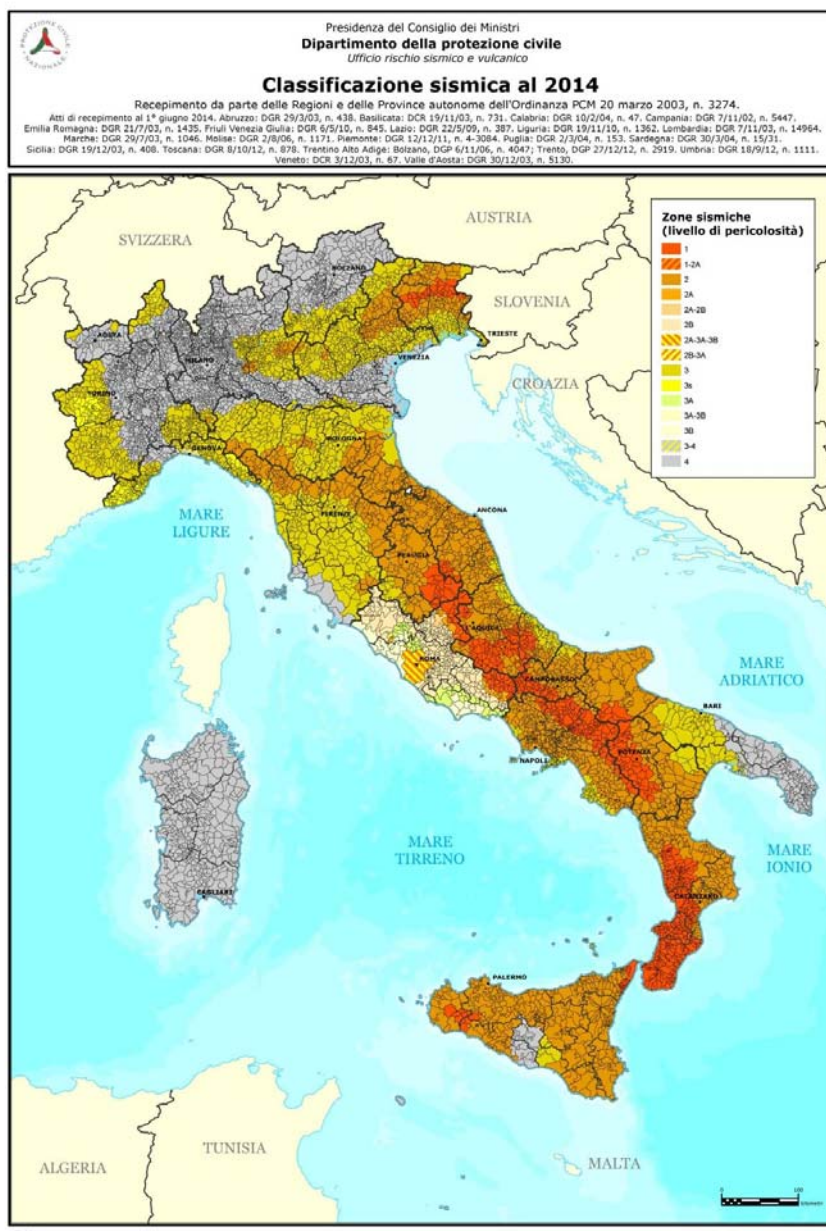


Figura 38 - Classificazione Sismica al 2014 (Dipartimento di Protezione Civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico)

La normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Liguria con Delibera della Giunta Regionale n. 1362 del 19 novembre 2010.

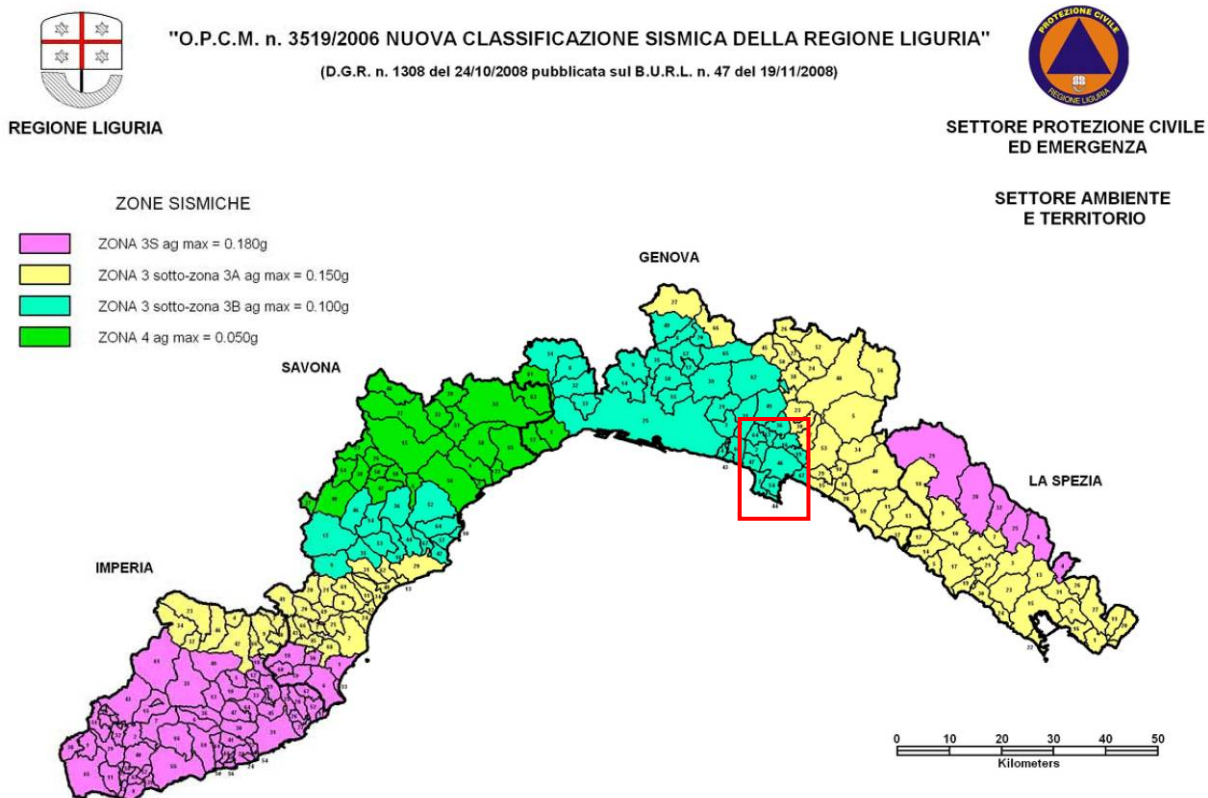


Figura 39 - Mappa della classificazione sismica della Regione Liguria

In conformità alle normative, il comune interessato dal progetto ricade nella seguente zone sismiche:

Regione	Province	Denominazione	Classificazione_2014
Liguria	Genova	Tribogna	3
Liguria	Genova	Cicagna	3
Liguria	Genova	Rapallo	3

13 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

In questo paragrafo vengono descritti gli aspetti geologici di maggiore interesse ingegneristico in riferimento al tracciato di progetto (cfr. profilo geologico - GEO0010).

Area Svincolo su A12

Il nuovo svincolo di interconnessione con l'Autostrada A12, che prevede la realizzazione di ampi rilevati e di rampe di interconnessione in viadotto collocati in prossimità dell'autostrada esistente, sottende un contesto geologico caratterizzato da condizioni di sub-affioramento della Formazione del Monte Antola. Intatti, il substrato lapideo risulta affiorante sia in corrispondenza del fondovalle sia sui versanti mentre è ricoperto da estesi riporti in prossimità dall'area di parcheggio Caravaggio (spessore di quasi 17 m in SV2) e in corrispondenza dell'attuale sede autostradale.

In carreggiata W sono presenti muri di controripa ed imponenti contrafforti con reti ricoperte da cemento; lungo il cordolo del muro si notano "scavernamenti" localizzati (probabilmente connessi ad un improprio drenaggio delle acque) mentre le reti risultano scoperte in alcuni punti in maniera tale da consentire la visione del substrato sottostante.

Al di sopra dell'autostrada, lungo la strada comunale, si rileva la presenza di lesioni nell'asfalto e di alcuni manufatti.

Sulla base della documentazione prodotta dagli Enti, non si segnalano dissesti in quest'area, ma gli elementi di cui sopra sono devono essere tenuti in debita considerazione, poiché indicano la presenza di un versante "delicato" dal punto di vista della stabilità. Il che assume grande importanza anche in considerazione della diffusa presenza di edifici abitati.



Figura 40 - Roccia affiorante al di sopra del muro di controripa dell'Autostrada.



Figura 41 - Contrafforti



Figura 42 - Scavernamento dietro il muro di controripa



Figura 43 - Lesioni nell'asfalto lungo la strada comunale al si sopra dell'A12



Figura 44 - Lesioni lungo la strada comunale al si sopra dell'A12

Asse principale

Superata l'attuale sede autostradale il nuovo collegamento viario prevede la realizzazione di due gallerie separate da un breve tratto all'aperto.

La prima galleria - Galleria Caravaggio - è di lunghezza pari a circa 2100 m e si prevede che verrà scavata all'interno delle sequenze calcareo marnose appartenenti alla Formazione di Monte Antola, sotto ricoprimenti massimi di circa 400 m (minimo circa 75 m alla progressiva 2+050).



Figura 45 - Area imbocco S Galleria Caravaggio

Le giaciture dei piani di strato, risultano prevalentemente orientate verso Sud e sono caratterizzate dalla presenza di pieghe isoclinali alla mesoscala, con assi orientati grossomodo E-W. Si pone l'accento sulla sfavorevole giacitura dei piani di strato proprio in corrispondenza dell'imbocco meridionale ove si riscontra la presenza di strati fortemente inclinati a franapoggio e dove si nota la presenza di una zona contraddistinta da presenza d'acqua e da drenaggio difficoltoso (un canneto rappresenta un segnale inequivocabile in tal senso).

Alle progr. km 1+310, 1+570, 2+360 e 2+385 circa, si prevede che verranno attraversate 4 zone di faglia a giacitura sub-verticale e direzioni NNE-SSW (le prime due), E-W (le rimanenti due). In corrispondenza di queste strutture tettoniche si prevede lo sviluppo di fasce contraddistinte da intensa fratturazione con cataclasi; lo spessore atteso per queste fasce è decametrica.

Tra le progr. km 2+550 e 2+650 circa avviene l'attraversamento di un asse vallivo, in prossimità della frazione di Arbocò.

Tra le progr. km 2+660 e km 5+330 circa il tracciato si sviluppa nuovamente in sotterraneo (Galleria Fontanabuona, lunghezza 2580 circa), ed interessa dapprima le sequenze calcareo-marnose della Formazione di Monte Antola (FAN) e poi, a partire dalla progr. km 5+030 circa, le argilliti della Formazione di Monte Lavagnola e quindi da progr. 5+075 le successioni di marne calcaree appartenenti alla Formazione delle Ardesie di Monte Verzi (AMV). Il passaggio tra le formazioni FAN e AMV si attua a mezzo di un piano di sovrascorrimento a vergenza settentrionale con immersione verso i quadranti meridionali lungo il quale si rinviene la presenza di una scaglia tettonica di spessore nell'ordine dei 45 m, misurati alla quota di scavo. Si tratta di meta-siltiti e meta-argilliti appartenenti alla Formazione di Monte Lavagnola; tali ammassi rocciosi si trovano in condizioni di intensa tettonizzate. Alla progr. km 4+265 circa verrà attraversata una zona di faglia a giacitura subverticale e direzione E-W, in corrispondenza della quale è prevedibile lo sviluppo di una fascia di intensa fratturazione e cataclasi di ampiezza deca metrica.

Anche in corrispondenza di questa seconda galleria, particolare attenzione dovrà essere prestata all'imbocco meridionale, che si imposta in un substrato lapideo contraddistinto da geometrie sfavorevoli.

Il tratto terminale dell'asse principale si svilupperà all'aperto in corrispondenza del Torrente Litegia, dove si riscontra nuovamente la presenza di roccia subaffiorante (Ardesie) sul fondovalle. Lungo i versanti si rileva la presenza di dissesti (per lo più colate) attivi.

Adeguamento SP22 (cfr. profilo geologico - GEO0010).

Nel tratto terminale (verso Fontanabuona) il progetto interessa un settore in cui sono presenti ammassi rocciosi prevalentemente pelitici, appartenenti alla Formazione degli Scisti Mangesiferi e delle Argilliti a Palombini. Le Argille a Palombini, in quest'area, sono presenti nel nucleo di una struttura anticlinale rovesciata con vergenza verso NE, interessata da pieghe di trascinamento che portano, lungo la SP22, a molteplici passaggi tra le due formazioni.

Nel tratto compreso tra le progr. km 0+135 e 0+855 circa, viene intersecata una estesa DGPV (deformazione gravitativa profonda di versante) segnalata su base geomorfologica da IFFI e dagli Enti. Non è possibile definire lo spessore del materiale coinvolto nella DGPV e nemmeno il suo stato di attività, poiché questo tipo di fenomeni sono caratterizzati da deformazioni estremamente lente, che avvengono lungo fasce deformative che possono essere anche molto ampie e, per questo motivo, tali da non essere accompagnate da evidenze che possano essere riscontrate nei sondaggi e con i metodi d'indagine geofisica (talvolta si tratta di un "normale" reticolo fessurativo).

Da progressiva 1+365 circa, al di sopra degli Scisti, sono presenti i depositi connessi con le alluvioni terrazzate del Torrente Lavagna. Sul versante in destra idrografica del T. Lavagna è presente una forra con scisti affioranti lungo il torrente Liteglia e lo spessore delle alluvioni risulta ridotto a pochi metri. Sul versante in sinistra, in corrispondenza dell'abitato di Ferrada, il terrazzo alluvionale ha una maggiore estensione e lo spessore delle alluvioni raggiunge anche i 10 m (FB17).

Al di sotto del terrazzo alluvionale, in sinistra idrografica, si ipotizza un passaggio dagli Scisti Mangesiferi alle Ardesie di Monte Verzi; infatti, confrontando le stratigrafie dei due sondaggi FB17 ed FB21, seppur realizzati a breve distanza, si nota la presenza di scisti nel primo e di una breccia argillitica nel secondo.

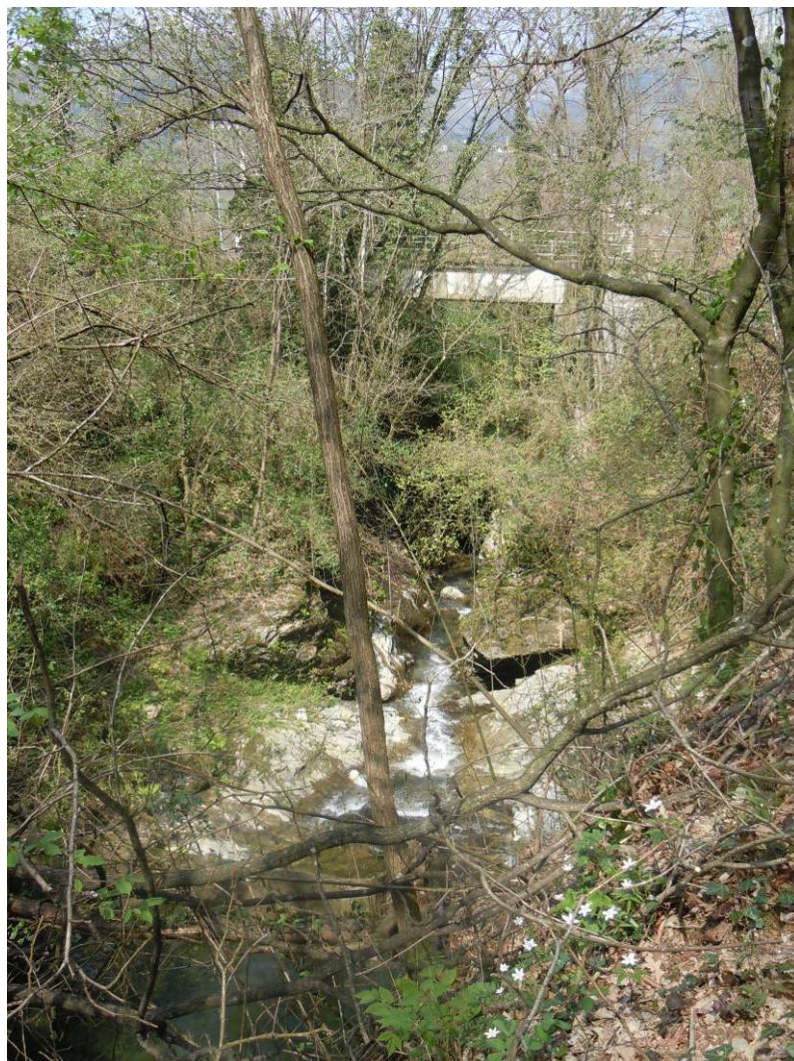


Figura 46 - Forra in prossimità del ponte di Ferrada

La definizione delle caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico finalizzato alla progettazione degli interventi di stabilizzazione, di ripristino di opere d'arte e di sostegno, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere, delle sezioni di scavo e delle tipologie d'avanzamento in galleria non è oggetto della presente relazione.

14 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono alcune criticità geologiche che a giudizio del geologo possono avere grande influenza per la progettazione delle opere; resta comunque inteso che gli elaborati geologici devono essere considerati con estrema attenzione nella loro interezza, poiché la sensibilità del geologo non sempre coincide con quella dell'ingegnere e pertanto alcune segnalazioni contenute negli elaborati GEO possono assumere grande rilevanza anche nel caso in cui non siano ribaditi nell'ambito del presente capitolo.

Le principali criticità geologiche che possono avere influenza sulla realizzazione delle opere sono le seguenti:

- l'ubicazione degli elementi strutturali è soggetta ad un certo grado di indeterminatezza in ragione della frammentaria esposizione rocciosa, dell'elevata acclività che rende alcuni tratti di versante impenetrabili e della presenza di estese coperture di vario tipo. Attorno alle zone di faglia ed alle strutture tettoniche principali è probabile la presenza di elevati battenti idrici (venute d'acqua eventualmente anche in pressione) e di zone di disturbo associate a fratture più o meno ricementate da calcite. In ragione di quanto sopra, le zone di faglia frattura potrebbero interessare anche altri settori lungo il tracciato in aggiunta a quelli indicati;
- la presenza di edifici e manufatti in prossimità di opere, imbocchi, in zone a bassa copertura della galleria o interessate da frane, rappresenta un elemento da considerare con la massima attenzione, in quanto una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione degli scavi, emungimenti, riporti, ecc. può generare lesioni;
- giacitura degli strati e/o delle discontinuità sfavorevole per la realizzazione delle opere in corrispondenza di alcuni imbocchi e lungo l'asse della galleria;
- presenza di materiali con scadenti caratteristiche geomeccaniche in (zone di faglia o ai contatti tettonici, livelli argillitici talora tettonizzati);

- presenza di fratture riempite di materiale o materiale alterato in vicinanza degli imbocchi o in zone a bassa copertura;
- venute d'acqua in galleria in corrispondenza di livelli fratturati o di discontinuità (per la valutazione dell'influenza dello scavo delle gallerie sulle risorse idriche si rimanda alla relazione IDR0001);
- presenza di carsismo all'interno della Formazione di Monte Antola, segnalata in aree vicine a quella del progetto, anche se non riscontrato direttamente nel corso dei rilevamenti e dei sondaggi;
- possibile presenza di livelli con elementi ofiolitici all'interno della Formazione di Lavagnola, segnalate da CARG per aree limitrofe;
- presenza localizzata di livelli di materiali fine che possono essere soggetti a cedimenti;
- possibile presenza nei rilevati esistenti di materiale di scarse caratteristiche geotecniche, oppure di materiale contraddistinto da caratteristiche geotecniche variabili;
- interferenza del tracciato e delle opere ad esso connesse con alcune frane di vario grado di attività e tipologia (es. zone di rimodellamento morfologico e dissesto classificato come DGPV lungo la SP22). Anche nei casi in cui tali fenomeni dimostrano di aver raggiunto un loro equilibrio o in cui sono solo limitrofi alle opere in progetto, occorre considerare che, a seguito di particolari eventi naturali (es. sismi o piogge eccezionali) o di consistenti interventi antropici (es. scavi), l'equilibrio può alterarsi e portare alla riattivazione e regressione dei dissesti presenti o alla generazione di nuovi fenomeni, in particolar modo dove sono presenti materiali con caratteristiche meccaniche scadenti;
- presenza di aree con soliflusso e segnali di instabilità in prossimità dell'imbocco S della Galleria Caravaggio (contrafforti lungo A12, lesioni sui manufatti in aree sovrastanti l'autostrada, etc). Tali segnali di instabilità,

seppur localizzati, devono essere considerate con cautela a causa della possibile evoluzione dei fenomeni;

- presenza di lesioni nella pavimentazione della strada che attraversa l'abitato di Arbocò. Tali elementi, seppur legati a situazioni locali e alle modalità costruttive della stradina, sono da considerare con attenzione sia per le opere di imbocco sia per le viabilità di cantiere;



Figura 47 - Lesioni lungo la strada di Arbocò



Figura 48 - Lesioni lungo la strada di Arbocò

- rischio di caduta di elementi lapidei di varia dimensione (anche scivolamenti lungo strato ove la giacitura di stratificazione/discontinuità è a franappoggio) in corrispondenza di zone con substrato affiorante o subaffiorante, in particolar modo nei punti in cui per esigenza progettuale i versanti dovranno essere “tagliati”;
- attraversamento di corsi d'acqua soggetti a bruschi cambiamenti di portata durante le precipitazioni più intense. Nel corso di un sopralluogo effettuato a novembre 2014, si è rilevata la presenza di un piccolo invaso generatosi a tergo di un ponticello lungo una strada secondaria della SP22, a testimonianza del fatto che attualmente non è sempre garantito il corretto deflusso delle

acque meteoriche, talora anche come conseguenza di una mancata manutenzione di alvei e opere idrauliche;

- buona parte dei torrenti mostrano evidenze di un'attività erosiva con formazione di cascate, pozze d'acqua, strutture assimilabile alle "marmitte dei giganti", rocce affioranti in alveo. Tale fenomeno dovrà essere valutato nel caso in cui si prevedano ritombamenti delle linee di deflusso naturale delle acque;
- presenza di sorgenti ed opere di presa in prossimità delle opere (per la valutazione dell'influenza del progetto sulle risorse idriche si rimanda alla relazione IDR0001).

Per quanto concerne una descrizione degli impatti sulla risorsa idrica si rimanda all'elaborato di progetto IDR0001.

Esistono dunque i presupposti per confermare la fattibilità geologica dell'opera, purché il progettista riservi particolare attenzione alle pericolosità segnalate nelle cartografie tematiche prodotte dagli enti citati nel corso della presente relazione (capitolo 10), alla variabilità intrinseca degli elementi geologici (fratturazione e presenza materiali con scadenti caratteristiche meccaniche) e verifichi puntualmente la stabilità del sistema opera – terreno. Più in generale, la fattibilità geologica è subordinata al fatto che il progetto ingegneristico tenga conto di tutte le normative vigenti, del quadro geologico presentato e del suo campo di variabilità.

15 BIBLIOGRAFIA

- Andri E. & Fanucci F. (1973) - *Osservazioni sulla litologia e sulla stratigrafia dei Calcari a Calpionelle liguri (Val Graveglia - Val di Vara)*. Boll. Soc. Geol. It., **92**: 161-192.
- Braga G., Casnedi R., Galbiati B. & Marchetti G. (1973) - *Carta geologica della Val di Vara (Appennino di La Spezia)*. Atti Ist. Geol. Univ. Pavia, 23.
- Casnedi R. (1982) - *Sedimentazione e tettonica delle Unità Liguridi dell'Appennino Nord-Occidentale*. Atti Ist. Geol. Pavia, 30: 42-66.
- Cobianchi M. & Villa G. (1992) - *Biostratigrafia del Calcare a Calpionelle e delle Argille a Palombini nella sezione di Statale (Val Graveglia, Appennino ligure)*. Atti Tic. di Sc. della Terra, 35: 199-211. commissione Per la cartografia Geologica e Geomorfologica-cnr (1992) - *Carta Geologica d'Italia - 1:50.000. Guida al rilevamento*. Quaderni serie III, 1. Servizio Geologico Nazionale.
- Decandia F.A. & Elter P. (1972) - *La zona ofiolitifera del Bracco nel settore compreso tra Levante e la Val Graveglia (Appennino Ligure)*. Mem. Soc. Geol. It., 11: 503-530.
- Ducci M., Lazzaroni F., Marroni M., Pandolfi L. & Taini A. (1997) - *Tectonic framework of the northern Ligurian Apennine, Italy*. Comptes Rendus de l'Académie de Sciences, 324: 317-324.
- Elter P., Marroni M. & Pandolfi L. (in stampa) - *Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1 : 50.000 – foglio 214 Bargagli*. ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, in stampa.
- Guida geologica regionale “Alpi Liguri” (1990) a cura della Società Geologica Italiana - coord. del volume Vanossi M., BE.MA editrice.
- Marini M. (1990) - *Nuovi dati su stratigrafia e paleogeografia dell'Elemento di Ronco (Appennino Ligure)*. Boll. Soc. Geol. It., 109: 481-499.
- Marini M. (1992) - *L'Unità del M. Gottero fra la Val Trebbia e Sestri Levante (Appennino Ligure): nuovi dati di analisi di bacino e ipotesi di evoluzione sedimentaria*. Boll. Soc. Geol. It., 111: 3-23
- Marini M. (1993) - *Litologia, stratimetria e sedimentologia delle Ardesie del Monte Verzi (Unità del M. Gottero Auct., Appennino Ligure)*. Boll. Soc. Geol. It., 112: 333-352
- Marroni M. (1990) - *Le Unità Liguri Interne tra l'Alta Val di Vara e il Mar Ligure (Appennino Settentrionale): evoluzione di un settore del Dominio Ligure-piemontese*. Tesi di Dottorato, Università di Pisa, pp. 357.
- Marroni M. & Perilli N. (1990a) - *The age of the ophiolite sedimentary cover from the Mt. Gottero Unit (Internal Ligurid Units, Northern Apennines): New data from*

calcareous nannofossils. *Ofioliti*, 15: 251-269.

Note illustrative Carta Geologica a scala 1:50.000 (CARG) - Foglio n. 214 "Bargagli";

Pandolfi L. & Marroni M. (1996) - Litostratigrafia ed assetto strutturale delle Unità Liguri Interne nel settore dell'alta Val Trebbia ed alta Val d'Aveto (Appennino Ligure). *Boll. Soc. Geol. It.*, 115:673-688.