COMMITTENTE

2.4.69.001

RFI
RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N 443/01

PROGETTO ESECUTIVO

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE

RIASSETTO DEGLI IMPIANTI DI GENOVA BRIGNOLE CONSEGUENTE AL SERVIZIO METROPOLITANO DA ESTENDERE FINO ALL'AREA DI TERRALBA, PREVEDENDO IL PROLUNGAMENTO DELLE ESISTENTI GALLERIE COLOMBO E S. TOMMASO E IL PARZIALE RIUTILIZZO DELLA GALLERIA DELLE GRAZIE

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA / DISCIPLINA	PROGR.	REV.
GCE1	04	E	69	RG	GE0001	001	A

	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ROMANO SALVAGNINI	Giugno 2008	POLIMENI		OCCIDENTE		MARCHESE

ITALFERR SpA
Dr. Geologo Francesco Marchese
Resp. U.O. Geologia
Ordine Geologi Lazio n. 179 es

File:		n. Elab

INDICE

1 INTRODUZIONE 3
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO 4
3 ASSETTO TETTONICO STRUTTURALE 6
4 STRATIGRAFIA 11
5 SISMICITA' 13
6 INDAGINI GEOGNOSTICHE 14
7 GEOMORFOLOGIA 17
8 IDROGEOLOGIA 19
8.1 Classi di permeabilità 19
8.2 Piezometria e circolazione idrica sotterranea 23
9 CONDIZIONI GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE ATTESE LUNGO IL TRACCIATO 27
10BIBLIOGRAFIA 33

1 INTRODUZIONE

La presente relazione descrive le risultanze dello studio geologico ed idrogeologico eseguito per il Progetto Esecutivo del potenziamento ferroviario metropolitano tra le stazioni di Genova Principe e Genova Brignole, che prevede la realizzazione di due gallerie a singolo binario con cameroni di interconnessione, per circa 1.5 km di linea, e una serie di opere all'aperto nell'area di Terralba.

Lo studio ha preso a riferimento dati ricavati da fonti bibliografiche e dai risultati di tre campagne di indagini geognostiche eseguite rispettivamente nel periodo luglio - settembre 2000, marzo - maggio 2004 e luglio – dicembre 2007, integrati da una serie di rilievi eseguiti in sito nelle aree interessate dal progetto.

Le risultanze dello studio, che ha consentito di caratterizzare le principali formazioni interessate dalle opere e individuare le criticità in fase costruttiva legate alla natura, condizioni dell'ammasso e presenza della falda acquifera, sono rappresentate nei seguenti elaborati cartografici:

- Carta geologica con elementi di geomorfologia, in scala 1:2.000 (2 tavole);
- Carta idrogeologica, in scala 1:2.000 (2 tavole);
- Profilo geologico della tratta in galleria, in scala 1:1.000 (1 tavola);
- Profilo geologico della tratta all'aperto, in scala 1:2.000/1:200 (1 tavola);
- Profilo idrogeologico della tratta in galleria, in scala 1:1.000 (1 tavola);
- Profilo idrogeologico della tratta all'aperto, in scala 1:2.000/1:200 (1 tavola);
- Carta e profilo geologico per l'uscita di emergenza sita a Piazza Corvetto, in scala 1:500 (1 tavola);
- Sezione geologica imbocco lato Brignole alla PK 5+373 BP, in scala 1:100 (1 tavola);
- Sezione geologica rampa di accesso alla piazzola di emergenza alla PK 5+500 B.P., scale varie (1 tavola);
- Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche, in scala 1:2.000 (2 tavole),

che costituiscono parte integrante del presente lavoro.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le opere in progetto si collocano nell'area urbana di Genova a ridosso della zona orientale del porto, tra questo, situato ad W-SW e il torrente Bisagno ad Est, ed interessano prevalentemente la formazione del Flysch di Monte Antola, appartenente al dominio appenninico settentrionale, e depositi alluvionali antichi e recenti.

L'Appennino Settentrionale (Ligure-Emiliano) presenta un assetto geologico-strutturale caratterizzato dalla sovrapposizione tettonica di due grandi insiemi, diversi tra loro per caratteri litologici, strutturali ed evoluzione paleogeografica:

- *l'Insieme Esterno Umbro-toscano*, costituito da uno zoccolo continentale (Placca Apula Adriatico-Padana Autc.) sottostante una serie di successioni sedimentarie mesozoico-terziarie;
- *l'Insieme Interno Ligure-emiliano*, determinato dalla sovrapposizione di più unità tettoniche generatesi in un oceano, l'Oceano Ligure-piemontese, e successivamente sovrascorse da ovest verso est sull'insieme Esterno; l'Oceano Ligure-piemontese separava il Continente iberico-europeo dal Continente apulo-africano, e i suoi margini rappresentavano l'avampaese, rispettivamente delle Alpi e degli Appennini.

L'Insieme Interno Ligure-emiliano vede la presenza di due domini distinti, separati tra loro da una discontinuità tettonica, ed entrambi caratterizzati dalla presenza di ofioliti:

– il Ligure Interno ha carattere oceanico e le ofioliti sono presenti in posizione primaria alla base della successione sedimentaria; comprende tre unità tettoniche sovrapposte: l'Unità Colli Tavarone-Serò, l'Unità Bracco-Val Gaveglia e l'Unità Gottero;

– il Ligure Esterno nel quale le ofioliti sono presenti come megaclasti rimaneggiati, e la serie sedimentaria è costituita dai livelli argillosi del creataceo medio-sup (Complessi di base) e dalle formazioni dei flysch a elmintoidi (Campaniano-Paleocene), nelle quali è compreso il Flysch di Monte Antola.

Questa Unità alloctona si estende su una vastissima area, occupando un settore di catena appenninica compreso tra la Val Polcevera ad Ovest ed il bacino del fiume Trebbia ad Est, fino alla costa ligure.

Si tratta di una potente successione flyschioide di calcari marnosi poggianti su un esiguo livello pelitico (Argilliti di Montaggio) che funge da livello di base.

Le formazioni dell'unità dell'Antola sono state interessate da scarso nullo metamorfismo, tuttavia sono evidenti quasi ovunque le tracce di almeno tre fasi plicative. Per tale motivo le argilliti del complesso di base affiorano oltre che alla base della formazione, anche in più punti all'interno della serie calcarea, probabilmente impilate al nucleo delle importanti pieghe presenti, a geometria subisoclinale. Questo comporta che gli spessori complessivi dell'Unità dell'Antola risultano moltiplicati e raggiungono potenze dell'ordine delle migliaia di metri. L'età dell'intera successione, dal complesso di base al tetto, è ascrivibile ad un intervallo di tempo compreso tra il Campaniano inf. ed il Paleocene basale.

Oltre alle unità tettoniche che costituiscono l'ossatura del tratto di catena alpino-appenninica su cui insiste l'area urbana genovese, nel settore in esame affiorano anche formazioni geologiche più recenti, non coinvolte nei movimenti orogenetici, che giacciono in discordanza rispetto ai terreni sottostanti.

Si tratta di depositi sedimentari pliocenici di mare aperto, noti in letteratura come Argille di Ortovero, costituiti da un complesso marnoso argilloso il cui limite è marcato da esili livelli di conglomerati. Questa formazione si ritrova molto spesso all'interno delle principali fosse tettoniche recenti, a testimonianza di un evento che ha interessato solo i settori più vicini alla attuale linea costa, discordanti sul Flysch di Monte Antola.

3 ASSETTO TETTONICO STRUTTURALE

La Liguria centrale si trova in una posizione chiave dal punto di vista geodinamico-strutturale, poiché rappresenta il punto di giunzione fra le Alpi occidentali e la catena appenninica settentrionale.

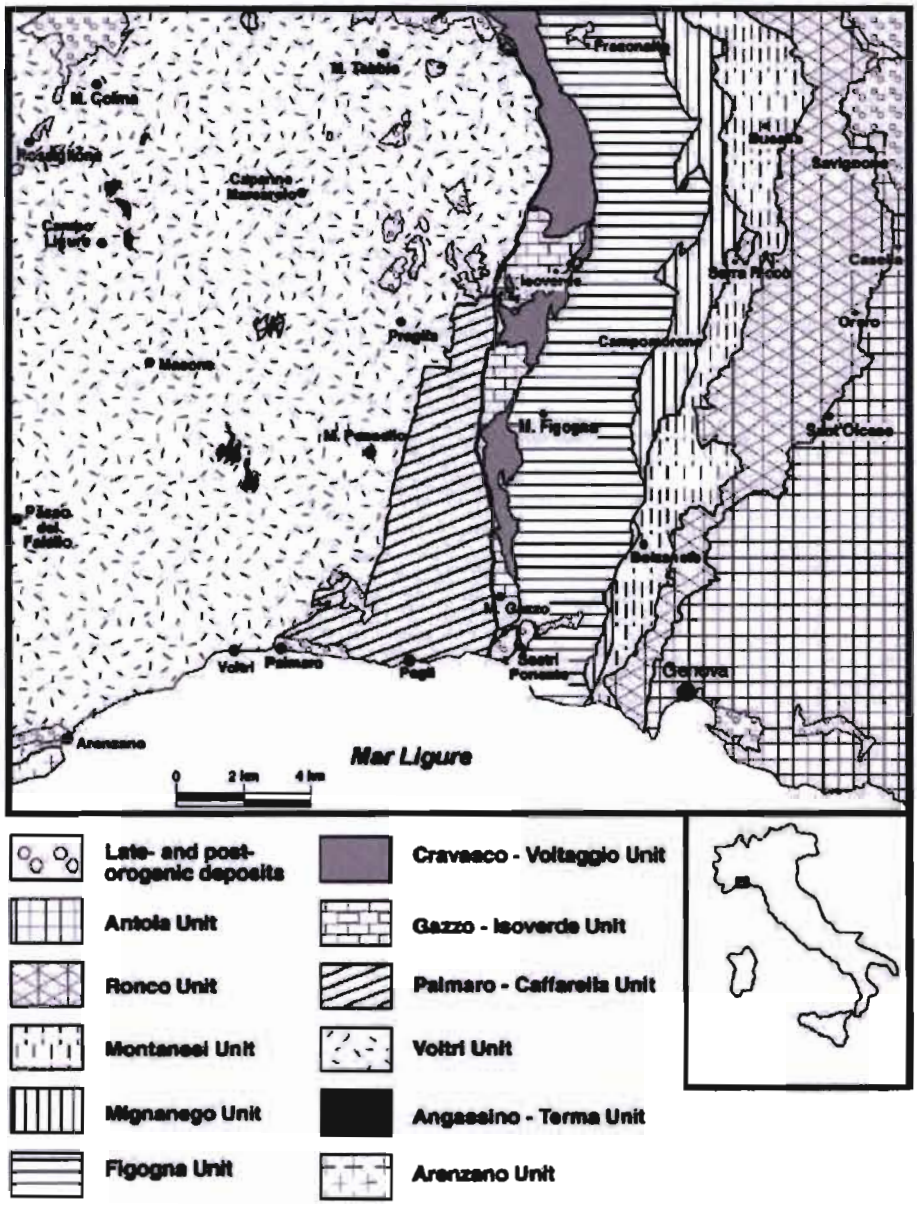


Figura 2: schema tettonico strutturale dell'area di Genova.

L'origine delle rocce che si rinvengono in quest'area (le unità del Gruppo di Voltri, la Zona Sestri-Voltaggio e l'areale del Flysch di M. Antola) risale al Cretaceo Superiore (60 - 80 milioni di anni fa) quando ebbe inizio il movimento convergente della placca africana verso la placca euro-asiatica.

Le terre emerse dei due continenti erano allora separate dal Bacino Ligure Piemontese, cioè un oceano alla base del quale era presente una copertura sedimentaria che ammantava il basamento oceanico. Questo movimento di avvicinamento continentale determinò la chiusura del bacino frapposto e l'inizio degli eventi tettogenetici alpini. La crosta oceanica del Bacino Ligure Piemontese sprofondò lungo piani di scivolamento (fase subduttiva) immergenti verso l'Africa (detta anche Insubria), restando soggetta ad un'azione metamorfica che provocò variazioni mineralogiche sostanziali. Le formazioni interessate vennero soggette ad elevate pressioni (7 - 10 kbar) e temperature medio basse (300 - 400°C), tipiche di profondità comprese tra i 30 e i 40 km.

Le coperture sedimentarie oceaniche in parte vennero coinvolte nello sprofondamento mentre altre sfuggirono alla subduzione corrugandosi contro il margine africano. Il movimento di convergenza continentale proseguì nell'Eocene Medio (40 milioni di anni fa) sino all'Eocene Superiore (35 mil.) quando avvenne la collisione tra placca africana e placca euro-asiatica. In queste fasi, i materiali derivanti dal Bacino Ligure Piemontese, furono riesumati dalle profondità e, totalmente modificati, dislocati in falde (unità strutturalmente differenziabili).

Il movimento della placca africana proseguì per alcuni milioni di anni dopo la collisione, penetrando profondamente il continente euro-asiatico e determinando rilevanti spostamenti e corrugamenti delle unità riesumate come l'Unita del Gruppo di Voltri. Tali dislocazioni, che determinarono la strutturazione delle Alpi, perdurarono per svariati milioni di anni e furono coinvolte da una successiva fase orogenetica che portò alla creazione degli Appennini ed alla distorsione della catena alpina in un arco.

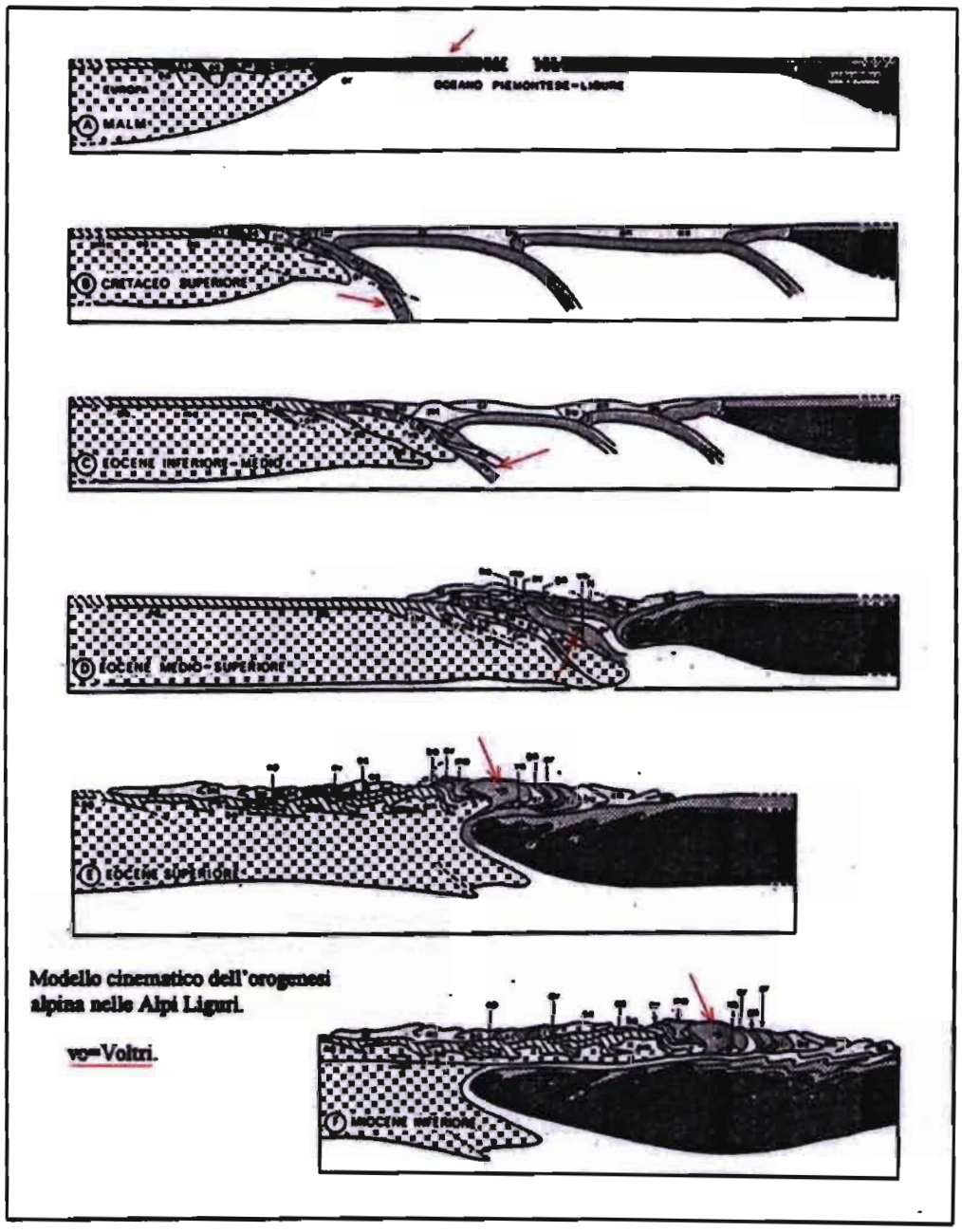


Figura 3: Modello cinematico dell'orogenesi Alpina nelle Alpi Liguri (Vanossi et alii, 1984).
Le frecce rosse evidenziano la posizione del Gruppo di Voltri nelle varie fasi evolutive.

In definitiva tutta l'area della Liguria centrale è riconducibile (Haccard et alii, 1972) al risultato di imponenti traslazioni della crosta oceanica ligure sulla zona piemontese, che ha determinato l'impilamento di un edificio a falde sovrapposte, nel quale i litotipi coinvolti dal processo di

metamorfismo conseguente spaziano da rocce basiche di fondale oceanico a rocce proprie della relativa copertura sedimentaria (come risulta dallo schema della precedente figura 3): esse sono sostanzialmente serpentiniti con associati metagabbri e corpi eclogitici, metasedimenti con associate metabasiti (calcescisti, quarzoscisti, micascisti, metagabbri, prasiniti), lherzoliti con subordinati lembi di pirossenite e dunite.

Successivamente, nel Terziario, si instaura nell'area in esame, come in tutto il margine tirrenico, un processo tettonico rigido distensivo che porta allo sprofondamento del golfo ligure. Il collasso avviene con la formazione di strutture a horst e graben orientate circa parallelamente alla costa.

Ciò determina una trasgressione marina che si spinge dentro le insenature e nelle valli longitudinali del margine tirrenico, dove avviene la deposizione di sedimenti marnosi, argillosi, sabbiosi e conglomeratici.

Sistemi successivi di faglie distensive plio-quaternarie vanno ad intersecare infine le strutture precedenti, generando sovente cattura e deviazione dei corsi d'acqua.

Da quanto detto, si delinea come il quadro tettonico dell'area in studio sia estremamente complicato, per il succedersi e l'intersecarsi di sistemi tettonici da prima prevalentemente compressivi e poi, successivamente, distensivi.

Conseguentemente, le unità del Gruppo di Voltri (come pure quelle della Zona Sestri-Voltaggio) appaiono sovente divise in singole scaglie tettoniche.

Secondo alcuni autori (Capponi, Crispini e Federico; 2007), sussisterebbero in corrispondenza del margine di giunzione alpino-appenninico evidenze di sistemi tettonici transpressivi che interesserebbero, in alcune zone, oltre al basamento anche le formazioni dell'Oligocene ma non quelle del Miocene.

Il sistema sarebbe principalmente rappresentato da una struttura transpressiva destra orientata circa in direzione NE-SW, centrata sul margine di giunzione fra il Gruppo di Voltri e la Zona Sestri-Voltaggio.

A tal proposito, è bene ricordare che, per la geologia strutturale, il confine fra Alpi e Appennini è rappresentato proprio dalla linea Sestri-Voltaggio, che quindi è riconosciuta come l'elemento di sutura tra le unità alpine e quelle a vergenza appenninica. Le Unità geologiche che costituiscono la Zona Sestri-Voltaggio risultano appoggiate tettonicamente ad ovest sul Gruppo di Voltri, mentre ad

est (Val Polcevera) su di esse si accavalla il Supergruppo Antola-Zatta costituito prevalentemente da flysch originatisi in seguito a torbide marnoso-calcaree di facies distale.

In linea generale, possiamo dire che le strutture legate alla tettonica compressiva cretacica-eocenica hanno direzione prevalentemente N-S (NNW-SSE e NNE-SSW) con immersione verso est, e sono caratterizzate da faglie inverse, sovrascorrimenti e strutture plicative duttili; queste ultime, da alcuni studi svolti su scistosità, lineazioni ed assi sarebbero associabili ad almeno tre fasi di deformazione (Capponi, Pacciani et alii, 1987).

Altresì, il sistema delle strutture tettoniche distensive (horst e graben) plioceniche avrebbe una direzione prevalente E-W (ENE-WSW e WNW-ESE).

In corrispondenza delle faglie si rinvengono sovente materiali decisamente cataclasati o addirittura milonitizzati, che bene testimoniano l'entità degli stress generatisi in corrispondenza delle aree tettonizzate.

Entrando nel dettaglio dell'area in esame i dati giaciturali ad oggi disponibili ricavati sia da bibliografia che da rilevamenti diretti di campagna hanno permesso di definire un modello di assetto geologico-strutturale, la cui accuratezza è però limitata dalla scarsa presenza di affioramenti presenti in area urbana.

Il substrato roccioso costituito da depositi flyschoidi carbonatici (Flysch di Monte Antola) presenta, in prossimità di Genova Principe, un assetto monoclinalico est-immergente inclinato di circa 20° con una direzione degli strati variabile compresa tra N-S e NE-SW; spostandosi in prossimità di Genova Brignole, sono osservabili strutture plicative anticlinaliche e sinclinaliche vergenti verso E o SE, oggetto di deformazioni duttili, con inclinazione degli strati anche fino a 70-80°. La presenza di queste strutture plicative è imputabile ad un aumento della componente marnosa e argillitica all'interno del Flysch di Monte Antola.

Proseguendo da Genova Brignole verso E fino in località Terralba il substrato flyschoide viene ricoperto dai depositi alluvionali antichi e recenti.

In linea con quanto riportato sopra si evidenziano lineamenti tettonici orientati WNW-ESE sepolti che non sembrano però interessare direttamente il tracciato in progetto.

4 STRATIGRAFIA

L'area interessata dalle opere in progetto è stata indagata attraverso una serie di campagne geognostiche che hanno consentito di definire una accurata ricostruzione stratigrafica. Le formazioni geologiche presenti, dalla più recente alla più antica, vengono descritte di seguito.

TERRENI DI RIPORTO (R)

Materiali di riporto eterogenei ed eterometrici costituiti prevalentemente da ghiaia in matrice sabbiosa e limosa con presenza di ciottoli e clasti poligenici, da angolari ad arrotondati, e frammenti di laterizi.

COLTRI ELUVIO-COLLUVIALI (dr)

Coperture detritiche costituite da clasti eterometrici a matrice sabbioso-limosa, talora pedogenizzati, sviluppatesi in situ a spese del substrato, spesso inglobanti elementi grossolani mobilizzati da processi di versante. *(Olocene)*.

DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI (A)

Depositi alluvionali presenti nell'alveo o in prossimità del Torrente Bisagno, quindi ancora in evoluzione, costituiti da ghiaie eterometriche e sabbie sciolte. *(Olocene)*

DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI E RECENTI (Aa)

Depositi alluvionali posti a quote più elevate rispetto all'alveo attuale del Torrente Bisagno, costituiti da ghiaie sabbiose in matrice limoso-argillosa. Sulla base della composizione granulometrica, questa formazione è stata distinta in due membri:

- Aal: depositi prevalentemente limoso-argillosi di colore marrone-grigio, a luoghi sabbioso-ghiaiosi; localmente sono presenti clasti eterometrici e poligenici da subangolari ad arrotondati;

- Aag: depositi prevalentemente ghiaiosi ad elementi poligenici ed eterometrici, da subangolari ad arrotondati, in matrice limoso-argillosa, a densità relativa variabile da moderatamente a molto addensata.

L'età di questi depositi è *Pleistocene-Olocene*.

ARGILLE DI ORTOVERO (ORV)

Sedimenti prevalentemente di mare aperto costituiti da argille marnose, marne, siltiti ad areanarie fini di colore da grigio cinereo a grigio-azzurro a giallastro, di aspetto massivo o con stratificazione poco evidente. Il limite è marcato da sottili livelli di conglomerati e, in corrispondenza delle principali linee tettoniche, da depositi caotici di frana sottomarina; il contatto con il sottostante Flysch di Monte Antola è di tipo discordante.

L'età di questa formazione è *Zancleano inferiore (Pliocene inferiore)*.

UNITA' DEL MONTE ANTOLA (FMA, FMAa)

L'unità dell'Antola comprende un "complesso di base" emipelagitico (Argilliti di Montoggio) su cui poggia in successione stratigrafica una sequenza torbiditica prevalentemente marnoso-calcarea (Flysch di Monte Antola).

Nell'area oggetto del presente lavoro è stato individuato esclusivamente il Flysch di Monte Antola (FMA), prodotto di una sedimentazione torbiditica in facies distale che ha determinato la deposizione di una sequenza ritmica costituita da calcari marnosi, talvolta siltosi, di colore grigio e strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree, alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici.

I dati di letteratura forniscono la seguente composizione litologica media: 5% arenarie, 20-30% calcareniti, 50-60% marne calcaree e calcari marnosi, 15% argilliti.

La formazione rocciosa si presenta da poco ad intensamente fratturata con giunti da ravvicinati a molto ravvicinati e patine di ossidazione ocracee; localmente la roccia si presenta intensamente alterata e ridotta in frammenti litoidi angolari a pezzatura ghiaiosa-ciottolosa in matrice sabbioso-limosa di colore marrone (FMAa).

L'età del Flysch di Monte Antola è *Campaniano superiore (Cretaceo superiore)*.

5 SISMICITA'

La zona interessata dalla linea ferroviaria in progetto ricade interamente nel territorio comunale di Genova che presenta un grado di sismicità decisamente basso.

Con riferimento alle recenti revisioni in materia di zonizzazione sismica (ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003), risulta che l'area in esame rientra nella zona sismica 4.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per una più approfondita ricostruzione dell'assetto geologico stratigrafico ed idrogeologico dell'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto sono state eseguite diverse campagne di indagini geognostiche, tra il 2000 ed il 2007, che hanno compreso l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo, prove in sito e prove di laboratorio su campioni.

Sulle carote estratte a consistenza litoide sono stati eseguiti rilievi geomeccanici utili alla caratterizzazione dell'ammasso roccioso secondo il criterio di classificazione di Bieniawski.

Le prove eseguite nei fori di sondaggio hanno compreso:

- prove penetrometriche dinamiche del tipo Standard Penetration Test (SPT), in corrispondenza dei terreni sciolti;
- prove di permeabilità di tipo Lugeon negli orizzonti litoidi e Lefranc negli orizzonti sciolti granulari.

I campioni di terreno e gli spezzoni di roccia prelevati sono stati sottoposti a prove di laboratorio.

Allo scopo di verificare e monitorare le falde acquifere presenti, molti sondaggi sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto (Norton).

Nelle tabelle di seguito riportate vengono elencate le indagini eseguite indicando per ogni punto indagato la codifica, la tipologia, l'ubicazione, la quota in m s.l.m., la lunghezza, l'eventuale strumentazione installata e l'anno di esecuzione.

Le ubicazioni di tutte le indagini eseguite nelle diverse fasi progettuali sono state riportate in uno specifico elaborato "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche", allegato alla presente relazione.

N°	Codifica sondaggio	Tipologia sondaggio	Ubicazione	Quota m.s.l.m.	Lunghezza (metri)	Strumenti in foro	Campagna geognostica (anno)
1	PN GCE1 G 2 6	sondaggio geognostico	salita di Carbonara	33,3	35,00	Piezometro t.a.	2007
2	PN GCE1 G 2 7	sondaggio geognostico	via Caffaro	59,7	65,00	Piezometro t.a.	2007
3	PN GCE1 G 2 8	sondaggio geognostico	Villa Gruber	92	80,00	Piezometro t.a.	2007
4	PN GCE1 G 2 9	sondaggio geognostico	Villa Gruber	90	82,00	Piezometro t.a.	2007
5	PN GCE1 G 3 0	sondaggio geognostico	via S. Bartolomeo degli Armeni	66	65,00	Piezometro t.a.	2007
6	PN GCE1 G 3 1	sondaggio geognostico	via Peschiera	35	35,00	Piezometro t.a.	2007
7	PN GCE1 G 3 2	sondaggio geognostico	Villetta Di Negro	45,3	50,00	Piezometro t.a.	2007
8	PN GCE1 G 3 3	sondaggio geognostico	via Martin Piaggio	37	30,00	Piezometro t.a.	2007
9	PN GCE1 F 3 4	sondaggio geognostico	piazza Corvetto	33,15	20,00	Piezometro t.a.	2007
10	NL1L G G 69	sondaggio geognostico	via Groppallo	29,,20	15,00	-	2004
11	NL1L G G 70	sondaggio geognostico	via Groppallo - edificio ex sede Confindustria	26,20	5,00	-	2004
12	X L331 G T 14	sondaggio geognostico	via Pertinace	63	60,00	Piezometro t.a.	2004
13	X L331 G T 13	sondaggio geognostico		60			2004
14	X L331 G T 12	sondaggio geognostico	corso Carbonara	71	70,00	Piezometro t.a.	2004
15	X L331 G T 10	sondaggio geognostico	viale Giuseppe Alberto Boffaro	46,3	45,00	Piezometro t.a.	2004
16	X L331 G T 09	sondaggio geognostico	via Palestro	63	60,00	Piezometro t.a.	2004
17	X L331 G T 08	sondaggio geognostico	via Felice Romani	30,4	35,00	Piezometro t.a.	2004
18	X L331 G T 07	sondaggio geognostico	via Groppallo	26,99	30,00	Piezometro t.a.	2004
19	X NL1L F G 22	sondaggio geognostico	area stazione F.S. Brignole	13,50	40,00	Piezometro t.a.	2004
	X NL1L F G 23						
20	3 NL1L F G 29	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie bassa"	11,60	5,00	-	2004
21	B1	sondaggio geognostico	via Caffaro	41	40,20	Piezometro t.a.	2000
22	B2	sondaggio geognostico	via Accinelli	81	66,10	Piezometro t.a.	2000
23	B3	sondaggio geognostico	corso Magenta	60	50,30	Piezometro t.a.	2000
24	B4	sondaggio geognostico	salita delle Battistine	56	34,40	Piezometro t.a.	2000
25	D5	sondaggio geognostico	galleria esistente "S. Tommaso"		10,00	-	2000
26	D4	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie bassa" piedritto destro - 900 mt. da imbocco		10,00	-	2000
27	D3	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie bassa" piedritto destro - 550 mt. da imbocco		10,00	-	2000
28	D2	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie bassa" piedritto destro - 250 mt. da imbocco		10,00	-	2000
29	D1	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie bassa" piedritto destro - 50 mt. da imbocco		10,00	-	2000

N°	Codifica indagine	Tipologia indagine	Ubicazione	Quota m.s.l.m.	Lunghezza (metri)	Strumenti in foro	Campagna geognostica (anno)
1	D2	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie basse" piedritto destro - 250 mt. da imbocco	13,20	10	-	2000
2	XL331 G T 08		via Felice Romani	32,30	35	Piezometro t.a.	2004
3	SEZ 3	sezione di indagine	galleria esistente "Delle Grazie basse"	83 mt.	da imbocco galleria	-	2007
4	SEZ 2			80 mt.	da imbocco galleria	-	2007
5	PN GCE1 G 31	sondaggio geognostico	via Felice Romani	37,80	35	Piezometro t.a.	2007
6	D1		galleria esistente "Delle Grazie basse" piedritto destro - 50 mt. da imbocco	14,77	10	-	2000
7	NL1L G G 70		via Groppallo - edificio ex sede Confindustria	34,30	5	-	2004
8	SEZ 1	sezione di indagine	galleria esistente "Delle Grazie basse"	40 mt.	da imbocco galleria	-	2007
9	SEZ GRA 3			42 mt.	da imbocco galleria	-	2004
10	NL1L G G 69	sondaggio geognostico	via Groppallo - edificio ex sede Confindustria	29,70	15	-	2004
11	SEZ GRA 2	sezione di indagine	galleria esistente "Delle Grazie basse"	28 mt.	da imbocco galleria	-	2004
12	SEZ GRA 1			18 mt.	da imbocco galleria	-	2004
13	3 NL1L FG 29	sondaggio geognostico	galleria esistente "Delle Grazie basse" piedritto sinistro	15,05	5	-	2004
14	SEZ A	sezione di indagine	galleria esistente "Delle Grazie basse"	12 mt.	da imbocco galleria	-	2007
15	SEZ B			9 mt.	da imbocco galleria	-	2007
16	SEZ C			6 mt.	da imbocco galleria	-	2007
17	X NL1L FG 22	sondaggio geognostico	area stazione F.S. Brignole	13,50	40	Piezometro t.a.	2004
18	XL331 G T 07		via Groppallo	28,99	30	Piezometro t.a.	2004
19	3 NL1L FG 30		muro sottostante via Montesano - edificio ARPAL	-	5	-	2004
20	3 NL1L FG 31		muro antistante stazione F.S. Brignole - via Montesano	14,80	5	-	2004
21	X NL1L FG 23		area stazione F.S. Brignole	11,80	35	Piezometro t.a.	2004
22	SEZ M 1	sezione di indagine	muro antistante stazione F.S. Brignole - via Montesano			-	2007
23	SC GCE1 F 37	sondaggio geognostico		13,87	10	-	2007
24	SC GCE1 F 36			13,97	15	-	2007
25	SEZ M 2	sezione di indagine				-	2007
26	SC GCE1 F 35	sondaggio geognostico	via Montesano	27,30	30	-	2007
27	SEZ M 3	sezione di indagine	muro antistante stazione F.S. Brignole - via Montesano			-	2007
28	XL331 A G 07	sondaggio ambientale	area stazione F.S. Brignole	13,45	15	Piezometro t.a.	2006
29	XL331 A G 08			13,50	15	Piezometro t.a.	2006
30	XL331 A G 05			13,50	9	Piezometro t.a.	2006
31	S6	sondaggio geognostico		13,50	30	Piezometro t.a.	2001
32	S2	sondaggio ambientale		13,45	6	-	2005
33	SL331 A G 10	sondaggio ambientale		13,50	10	-	2006
34	XL331 A G 09		via Borgo Incrociati	9,38	15	Piezometro t.a.	2006
35	XL331 A G 04		area stazione F.S. Brignole	13,45	15	Piezometro t.a.	2006
36	XL331 A G 06			13,43	15	Piezometro t.a.	2006
37	SL331 A G 12			13,68	2,5	-	2006
38	SL331 A G 10 bis			13,70	10	-	2006
39	X NL1L FG 24	sondaggio geognostico		13,75	35	Piezometro t.a.	2004
40	SL331 A G 13	sondaggio ambientale		13,67	2,5	-	2006
41	XL331 A G 11			13,66	15	Piezometro t.a.	2006
42	SL331 A G 14			13,66	2,5	-	2006
43	XL331 A G 01		via Ottvieri	10,00	12	Piezometro t.a.	2006
44	S1		area stazione F.S. Brignole	13,40	6	-	2005
45	S5	sondaggio geognostico		13,43	40	Piezometro t.a.	2001
46	XL331 A G 03	sondaggio ambientale		13,65	15	Piezometro t.a.	2006
47	SL331 A G 02			13,50	10	-	2006
48	S4	sondaggio geognostico		13,10	40	Piezometro t.a.	2001
49	SC GCE1 F 38		via Tolemaide	6,60	18	-	2007
50	X NL1L BG 43	sondaggio ambientale	area F.S. Terralba	10,00	20	Piezometro t.a.	2004
51	S3	sondaggio geognostico		10,00	30	Piezometro t.a.	2001
52	X NL1L BG 25			9,80	35	Piezometro t.a.	2004
53	3 NL1L PG 44	sondaggio diagnostico	viadotto Terralba	12,20	6,15	-	2004
54	3 NL1L PG 45			12,20	6	-	2004
55	3 NL1L PG 46			12,20	5	-	2004
56	S2	sondaggio geognostico	area F.S. Terralba	11,50	30	Piezometro t.a.	2001
57	X NL1L BG 26	sondaggio geognostico		13,40	35	Piezometro t.a.	2004
58	ST5	sondaggio ambientale		13,15	5	-	2007
59	X NL1L BG 42			13,90	15	Piezometro t.a.	2004
60	ST3			13,30	5	-	2007
61	X NL1L BG 41			14,04	15	Piezometro t.a.	2004
62	X NL1L BG 27	sondaggio geognostico		13,90	40	Piezometro t.a.	2004
63	ST4	sondaggio ambientale		14,05	5	-	2007
64	ST2			14,00	5	-	2007
65	ST1			14,00	10	Piezometro t.a.	2007
66	S1	sondaggio geognostico		14,10	40	Piezometro t.a.	2001
67	X NL1L BG 28			14,00	40	Piezometro t.a.	2004
68	X NL1L BG 40	sondaggio ambientale		13,94	15	Piezometro t.a.	2004

7 GEOMORFOLOGIA

L'ambito geomorfologico di inserimento dell'area in progetto è costituito da una fascia costiera pedemontana subpianeggiante interrotta verso N da una brusca rottura di pendio, che da luogo ad una morfologia collinare ad anfiteatro degradante a S verso il mare, solcata da incisioni vallive e fossi.

La morfologia dei rilievi e l'altimetria sono fortemente influenzate dalla litologia, con forme pianeggianti e poco acclivi in presenza di depositi sciolti argillosi o sabbioso-ghiaiosi, a quote prossime al livello del mare, ed un deciso aumento delle quote topografiche in corrispondenza degli affioramenti carbonatici, con morfologie sono più aspre e, nonostante l'intensa urbanizzazione, bene evidenti.

E' presente una struttura a forma di emiciclo, che costituisce un bacino idrografico che drena verso mare le acque meteoriche, movimentata dalla presenza di piccole dorsali ad andamento radiale, con una fitta rete di bacini secondari che convogliano le acque meteoriche raccolte, in rivi, in gran parte impostati lungo le principali discontinuità stratigrafiche o tettoniche.

Conseguentemente allo sviluppo urbano della città, già dal XIII sec. alcuni di questi rivi furono progressivamente incanalati e coperti (rivi tombinati) ed attualmente fanno parte integrante del sistema fognario urbano. Purtroppo l'andamento planimetrico ed altimetrico di molti rivi non è conosciuto con esattezza in quanto col passar dei secoli molti documenti ad essi relativi sono andati perduti ed inoltre il loro percorso, con lo sviluppo urbanistico della città, è stato più volte modificato. In base agli scarsi dati raccolti, questi rivi si dovrebbero sviluppare a profondità comprese tra i 5 ed i 15 m sotto il piano stradale e non dovrebbero pertanto interferire con il cavo delle costruende gallerie.

Muovendosi da Ovest verso Est il primo rivo tombinato che sarà sotto-attraversato dalle gallerie in progetto è il rivo S. Gerolamo che convoglia in un unico collettore le acque del Bacino di Vallechiara, e con un percorso piuttosto irregolare e tortuoso sfocia in mare in corrispondenza del Ponte Calvi.

Quindi viene intercettato il rivo S. Anna originato da diversi ruscelli delle alture omonime dei quali i due più importanti scorrono rispettivamente sotto l'attuale Via Caffaro e sotto la funicolare di S. Anna, unendosi all'altezza di P.za Portello andando a costituire un unico rivo (Bertoletti et alii, 1995).

Successivamente vengono intercettati altri due rivi denominati entrambi "Torbido" che scorrono rispettivamente sotto via Palestro e Via Assarotti e si uniscono in corrispondenza di P.za De Ferrari. Infine nella parte terminale della tratta all'aperto vengono intercettati altri due rivi denominati Rio Rovare e Rio Noce.

8 IDROGEOLOGIA

L'assetto idrogeologico è stata ricostruito in base al contesto geologico-strutturale, alle caratteristiche di permeabilità delle formazioni (desunte dalle prove di permeabilità eseguite nei fori di sondaggio) e all'andamento della circolazione idrica sotterranea (ricavata sulla base delle misure piezometriche).

8.1 Classi di permeabilità

Le caratteristiche geolitologiche e strutturali delle formazioni permettono di individuare quattro classi di permeabilità, alle quali è possibile assegnare un intervallo di variabilità del coefficiente di permeabilità K:

- A: Permeabilità Alta con $K \geq 1E\text{-}3$ m/sec
- MA: Permeabilità Medio Alta $1E\text{-}5 \leq K < 1E\text{-}3$ m/sec
- MB: Permeabilità Medio Bassa $1E\text{-}7 \leq K < 1E\text{-}5$ m/sec
- B: Permeabilità Bassa con $K < 1E\text{-}7$ m/sec.

Le numerose prove di permeabilità eseguite nei fori di sondaggio hanno permesso di attribuire con maggiore accuratezza la classe di permeabilità a ciascuna formazione intercettata.

In particolare, le prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite nei terreni di riporto, hanno fornito valori di conducibilità idraulica in massima parte compresi tra 1E-5 e 1E-4 m/sec, che corrispondono ad una classe di permeabilità medio alta, per porosità.

VALORI DI PERMEABILITA' DETERMINATI PER I RIPORTI (R)

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova *	Permeabilità K (m/sec)
XL331AG04	4.50-5.30	Riporti	ghiaia con sabbia limosa	LE	1.96E-6
XL331AG06	5.80-5.80	Riporti	ghiaia con sabbia limosa	LE	8.43E-5
XL331AG10bis	3.60-4.10	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.13E-5
	5.80-6.30	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.91E-5
XL331AG11	4.50-5.00	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.86E-5
	6.70-7.20	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.95E-5
XL331AG01	4.00-4.50	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	4.54E-5
XL331AG03	4.50-5.00	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	2.07E-5
SL331AG02	4.0-4.50	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.08E-4
	9.0-10.00	Riporti	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.85E-5

Anche ai depositi alluvionali attuali costituiti da ghiaie con sabbie è stata assegnata, sulla base delle sole caratteristiche granulometriche in assenza di prove dirette, una classe di permeabilità medio alta per porosità.

Nei depositi alluvionali antichi e recenti, costituiti prevalentemente da terreni argilloso limosi o limoso argillosi o sabbiosi (Aal), sono state eseguite 11 prove tipo Lefranc che hanno mostrato una grande variabilità dei valori di conducibilità idraulica, compresa tra 1E-5 e 1E-8 m/sec, da imputare al diverso assortimento granulometrico presente all'interno di questi depositi; i valori più frequenti di conducibilità idraulica sono comunque risultati compresi all'interno del range di permeabilità medio-bassa (1E-7 ≤ K < 1E-5 m/sec), per porosità.

VALORI DI PERMEABILITA' DETERMINATI PER I DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI E RECENTI (Aal)

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova	Permeabilità K (m/sec)
S3	11.00-12.00	Alluvioni Aal	argilla sabbiosa debolmemente limosa	LE	6.50E-6
XNL1LFG25	4.00-5.40	Alluvioni Aal	limo sabbioso argilloso	LE	6.59E-7
	8.50-12.00	Alluvioni Aal	limo sabbioso argilloso	LE	5.67E-8
S2	6.00-7.00	Alluvioni Aal	argilla limosa con inclusi ghiaiosi	LE	3.40E-6
XNL1LBG26	4.00-6.80	Alluvioni Aal	argilla limosa con inclusi ghiaiosi	LE	2.49E-8
	13.80-16.80	Alluvioni Aal	argilla limosa con inclusi ghiaiosi	LE	1.01E-8
	25.00-28.00	Alluvioni Aal	argilla limosa con inclusi ghiaiosi	LE	6.06E-8
XNL1LBG27	7.50-11.10	Alluvioni Aal	limo con argilla sabbioso	LE	7.22E-7
XNL1LBG28	4.50-6.20	Alluvioni Aal	limo argilloso sabbioso	LE	1.04E-8
	13.00-15.20	Alluvioni Aal	limo argilloso sabbioso con ghiaia	LE	3.63E-7
S1	10.00-11.00	Alluvioni Aal	argilla limoso sbbiosa	LE	4.80E-5

I risultati di 17 prove di permeabilità di tipo Lefranc eseguite sempre nei depositi alluvionali antichi e recenti, ma nelle frazioni costituite in prevalenza da ghiaia in matrice sabbioso-limosa, hanno fornito valori di conducibilità idraulica compresi in massima parte tra 1E-4 e 1E-5 m/sec, compatibili con una classe di permeabilità medio alta, per porosità.

VALORI DI PERMEABILITA' DETERMINATI PER I DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI E RECENTI (Aag)

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova	Permeabilità K (m/sec)
XL331AG06	9.80-9.80	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbia debolmente limosa	LE	6.39E-5
	14.50-15.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.70E-6
XL331AG10bis	9.50-10.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.35E-5
XNL1LFG24	4.50-6.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	5.36E-5
	19.50-21.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	4.14E-5
XL331AG11	9.50-10.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	2.58E-5
S5	9.00-10.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	2.80E-5
XL331AG01	7.50-8.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	3.59E-5
	10.50-11.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	6.74E-5
XL331AG03	10.00-10.70	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.50E-6
	14.50-15.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	4.78E-6
SCGCEF38	10.00-10,50	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	2.10E-5
S4	14.00-15.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.91E-4
S3	16.00-17.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbiadebolmente limosa	LE	1.40E-4
XNL1LFG25	19.00-20.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbia debolmente limosa	LE	1.72E-5
	28.50-29.50	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbia debolmente limosa	LE	1.16E-4
S2	20.00-21.00	Alluvioni Aag	ghiaia con sabbia debolmente limosa	LE	1.90E-4

Relativamente al Flysch del Monte Antola, le cui caratteristiche di permeabilità sono influenzate prevalentemente dal grado di fatturazione, le prove Lugeon effettuate nei fori di sondaggio hanno individuato un range di valori di conducibilità idraulica piuttosto ampio, compreso tra 1E-5 e 1E-9 m/sec, con una prevalenza dei valori compresi tra 1E-6 e 1E-7 m/sec, che corrispondono ad una classe di permeabilità medio-bassa, per fatturazione.

VALORI DI PERMEABILITA' DETERMINATI PER IL FLYSC DI MONTE ANTOLA (FMA)

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova	Permeabilità K (m/sec)
PNGCE1G26	15.60-17.60	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	4.87E-7
	33.00-38.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	8.48E-7
XL331GT14	43.00-45.00	Monte Antola	Calcare marnoso con intercalazioni arenacee ed argillose	LU	5.28E-6
XL331GT12	53.00-55.00	Monte Antola	Marna calcarea e arenarie	LU	1.17E-6
B2	58.00-63.00	Monte Antola	Calcare e calcare marnoso	LU	7.88E-9
PNGCE1G27	37.00-39.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.10E-6
	43.40-45.40	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	3.2E-7
	54.00-56.70	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	3.20E-8
B1	33.00-38.00	Monte Antola	Calcare e calcare marnoso	LU	1.81E-8
XL331GT10	42.00-45.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	9.99E-6
B4	29.40-34.40	Monte Antola	Calcare e calcare marnoso	LU	3.14E-8
B3	42.70-47.70	Monte Antola	Calcare e calcare marnoso	LU	1.06E-8
PNGCE1G28	63.00-64.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.40E-7
	73.00-74.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.30E-6
PNGCE1G29	54.00-56.40	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.52E-7
	60.00-62.50	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	5.70E-8
	70.30-12.30	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	4.50E-7
XL331GT09	34.00-36.00	Monte Antola	Calcare marnoso con intercalazioni arenacee	LU	1.09E-5
PNGCE1G30	36.70-38.70	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	6.20E-7
	43.00-46.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	6.50E-7
	53.50-55.50	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	2.00E-8
XL331GT08	7.60-8.60	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	5.84E-7
PNGCE1G31	16.00-18.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	6.00E-8
	27.00-29.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	4.10E-7
XNL1LFG22	24.00-27.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	2.30E-6
XL331GT07	12.00-14.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.41E-6
PNGCE1G32	30.00-32.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	3.45E-6
	38.00-40.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	1.41E-6
XNL1LFG24	27.00-30.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	3.57E-7
XNL1LBG26	31.00-35.00	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	7.16E-7
XNL1LBG28	20.00-23.10	Monte Antola	Calcare marnoso	LU	8.69E-8

Alle Argille di Ortovero, nelle quali le prove di conducibilità idraulica hanno quasi sempre fornito valori di permeabilità inferiori a 1E-7 m/sec, è stata attribuita una classe di permeabilità bassa, per porosità.

VALORI DI PERMEABILITA' DETERMINATI PER LA FORMAZIONE DELLE ARGILLE DI ORTOVERO (ORV)

Sondaggio	Tratto di prova da p.c. (m)	Formazione	Litologia del tratto provato	Tipo di prova	Permeabilità K (m/sec)
XNL1LFG23	4.00-8.00	Argille di Ortovero	Limo sabbioso	LE	3.49E-8
	16.00-21.00	Argille di Ortovero	Limo con argilla	LE	6.75E-9
	30.00-33.00	Argille di Ortovero	Limo con argilla	LE	3.37E-9
PNGCE1F33	23.00-24.00	Argille di Ortovero	Argilla limosa	LE	2.50E-8
PNGCE1F34	13.00-14.30	Argille di Ortovero	Argilla limosa debolmente ghiaiosa	LE	2,34E-07
S1	23.00-24.00	Argille di Ortovero	argilla compatta	LE	5.60E-8
XNL1LBG27	16.00-18.90	Argille di Ortovero	limo con argilla	LE	5.60E-7
	24.00-27.50	Argille di Ortovero	limo con argilla	LE	5.97E-9
	32.00-34.60	Argille di Ortovero	limo con argilla	LE	1.88E-8

8.2 Piezometria e circolazione idrica sotterranea

Per ricostruire l'andamento della circolazione idrica sotterranea, molti dei sondaggi eseguiti nel corso delle diverse campagne geognostiche sono stati attrezzati con piezometri di tipo Norton, sottoposti successivamente a cicli di monitoraggio del livello di falda nel tempo.

In larga parte i piezometri installati sono stati finestrati in un tratto compreso a cavallo del cavo delle gallerie naturali, in modo da monitorare i soli livelli acquiferi circolanti nel volume di terreno direttamente interessato dallo scavo delle gallerie; i rimanenti piezometri sono stati finestrati lungo tutto il foro, in modo da raccogliere anche le acque degli acquiferi superficiali non direttamente interessati dagli scavi.

Esaminando nel dettaglio le letture freatimetriche è possibile notare che, nelle zone caratterizzate dalla presenza del Flysch di Monte Antola, le quote piezometriche risultano in qualche caso molto variabili e non correlabili, anche se riferite a verticali molto prossime; questo a sottolineare, coerentemente con il tipo di acquifero, permeabile prevalentemente per fratturazione, come la

circolazione idrica non sia riferibile ad un unico livello di saturazione ma a più falde sovrapposte, in massima parte isolate le une dalle altre, localizzate nei livelli fratturati spesso parzialmente intasati da abbondanti vene di calcite di deposizione secondaria, che si possono spesso osservare nelle carote lapidee estratte nel corso delle perforazioni.

In linea di massima la circolazione idrica si dispone in profondità in corrispondenza di due livelli acquiferi principali: un primo livello superficiale, ubicato entro i 15-20 metri di profondità dal p.c., ed un secondo livello profondo, posizionato a profondità superiori ai 25-30 m dal p.c..

Il buon recupero percentuale delle carote di terreno, ottenuto durante le perforazioni di sondaggio, e le deboli manifestazioni idriche osservate, contenute nell'ambito di stillicidi locali, nel corso di sopralluoghi all'interno delle gallerie Delle Grazie Alta e Bassa, scavate entro questi materiali, lasciano supporre che gli apporti idrici durante i lavori di scavo saranno generalmente blandi; potranno intensificarsi solo a livello locale, durante l'attraversamento di alcune tratte singolari localizzate in corrispondenza di zone maggiormente fratturate e tettonizzate che, tra l'altro, non sono state rinvenute, nell'ambito del presente studio, nella tratta di interesse progettuale.

L'eterogeneità temporale delle letture effettuate nel corso delle diverse campagne di indagini geognostiche non ha consentito di ricostruire una superficie piezometrica riferibile in modo univoco ad uno stesso periodo di osservazione; si è pertanto deciso di ricostruire una superficie piezometrica relativa ai valori minimi di soggiacenza misurati nelle diverse campagne geognostiche, in modo da ottenere una rappresentazione della tavola d'acqua in condizioni di carico idraulico massimo atteso sui rivestimenti delle gallerie naturali, e quindi nelle condizioni peggiori per gli scavi e di conseguenza maggiormente cautelative ai fini della progettazione delle opere.

Confrontando i dati piezometrici è possibile distinguere zone nelle quali la circolazione idrica profonda, direttamente interessata dallo scavo delle gallerie, è isolata da quella superficiale, da zone dove sembra esserci una connessione idraulica tra acquifero superficiale e profondo; nel primo caso le quote piezometriche relative a punti di misura posizionati lungo la stessa verticale negli acquiferi profondi sono diverse da quelle di punti di misura posizionati negli acquiferi superficiali; nel caso di connessione idraulica tra acquifero superficiale e profondo, il livello piezometrico relativo a punti di misura ubicati a quote diverse lungo la stessa verticale si dispongono all'incirca alla stessa quota, che rappresenta la superficie freatica dell'acquifero superficiale.

ELENCO PIEZOMETRI E LETTURE DI FALDA

Piezometro	Tipo	Progressiva chilometrica	Quota boccaforo m s.l.m.	Tratto fenestrato da pc (m)	Periodo di riferimento letture	Soggiacenza massima da boccaforo (m)	Soggiacenza minima da boccaforo (m)	Quota falda massima m s.l.m.
PNGCE1G26	TA	3+750 BP	33,30	3-32	Gen 2008-Apr 2008	13,68	13,62	19,68
XL331GT13	TA	3+955 BD	60,00	10-15	Set 2004-Apr 2005	13,25	12,90	47,10
XL331GT14	TA	3+965BD	63,00	40-54	Set 2004-Apr 2005	12,25	10,20	52,80
XL331GT12	TA	3+845 BP	71,0	41-65	Set 2004-Apr 2005	24,40	18,4	52,60
B2	TA	3-965BP	80,0	33-66	Ott 2000-Dic 2001	15,58	14,65	65,35
PNGCE1G27	TA	4+240BD	59,70	3-62	Gen 2008-Apr 2008	39,35	38,10	21,60
B1	TA	4+200BP	41,00	25-40	Ott 2000-Dic 2001	6,45	6,37	34,63
XL331GT10	TA	4+365BP	46,30	30-45	Set 2004-Apr 2005	16,80	16,55	27,75
B4	TA	4+380BP	54,80	18-34	Ott 2000-Dic 2001	19,50	17,99	36,81
B3	TA	4+500 BD	80,00	23-50	Ott 2000-Dic 2001	23,65	20,95	59,05
PNGCE1G28	TA	4+610BD	101,20	12-80	Gen 2008-Apr 2008	30,15	28,25	72,95
PNGCE1G29	TA	4+695BD	90,00	3-79	Gen 2008-Apr 2008	10,29	9,66	80,34
XL331GT09	TA	4+720BD	63,00	30-54	Set 2004-Apr 2005	27,80	26,80	36,20
PNGCE1G30	TA	5+053BD	68,50	3-62	Gen 2008-Apr 2008	6,15	5,22	63,28
XL331GT08	TA	5+225BP	30,40	10-25	Set 2004-Apr 2005	13,50	12,70	17,70
PNGCE1G31	TA	5+295BP	35,00	3-32	Gen 2008-Apr 2008	15,13	13,75	21,25
XNL1LFG22	TA	5+365BP	14,50	3-40	Mar 2004-Set 2004	2,16	2,07	12,43
XL331GT07	TA	5+384BP	27,00	12-30	Set 2004-Apr 2005	12,90	12,80	14,20
PNGCE1G32	TA	P.za Corvetto	45,20	9-47	Gen 2008-Apr 2008	38,50	32,58	12,62
PNGCE1F33	TA	P.za Corvetto	37,00	3-30	Ott 2007-Apr 2008	4,78	4,35	32,65
PNGCE1F34	TA	P.za Corvetto	33,15	3-20	Ott 2007-Apr 2008	4,07	3,88	29,27
XNL1LFG23	TA	5+490BP	11,60	3-35	Mar 2004-Set 2004	4,58	4,49	7,11
XL331AG07	TA	5+647BP	13,45	1-15	Dic 2006-Mag 2007	7,90	6,90	6,55
XL331AG08	TA	5+650	13,50	1-15	Dic 2006-Mag 2007	7,60	4,73	8,77
XL331AG05	TA	5+672	13,50	1-9	Dic 2006-Mag 2007	6,30	5,20	8,30
XL331AG04	TA	5+699	13,45	1-15	Dic 2006-Mag 2007	10,30	5,90	7,55
XL331AG06	TA	5+720	13,43	1-15	Dic 2006-Mag 2007	12,20	7,70	5,73
XNL1LFG24	TA	5+750	13,75	3-35	Mar 2004-Set 2004	9,78	9,12	4,63
XL331AG11	TA	5+774	13,66	1-15	Dic 2006-Mag 2007	11,20	6,18	7,48
XL331AG01	TA	5+897	9,50	1-12	Dic 2006-Mag 2007	4,60	2,71	6,79
XL331AG03	TA	5+900	13,65	1-15	Dic 2006-Mag 2007	9,90	8,30	5,35
XNL1LBG43	TA	6+234	10,00	3-20	lettura unica Dic 2004		4,04	5,96
XNL1LFG25	TA	6+355	9,80	3-35	Mar 2004-Set 2004	5,08	4,60	5,20
XNL1LBG26	TA	6+770	13,40	3-35	Mar 2004-Set 2004	3,19	3,13	10,27
XNL1LB42	TA	6+838	13,90	3-15	lettura unica Dic 2004		3,06	10,84
XNL1LB41	TA	6+933	14,04	3-15	lettura unica Dic 2004		3,63	10,41
XNL1LBG27	TA	6+959	13,90	3-40	Mar 2004-Set 2004	3,06	2,92	10,98
XNL1LBG28	TA	ft	14,00	3-40	Mar 2004-Set 2004	3,13	2,89	11,11
XNL1LB40	TA	ft	13,20	3-15	lettura unica Dic 2004		0,75	12,45

TA= tubo aperto ft =fuori tracciato

Nell'area in progetto si distinguono due settori a circolazione idrica distinta, evidenziata da una diversa distribuzione delle curve isopiezometriche:

- un primo settore esteso da W verso E per circa 350 m, compreso tra le sezioni di innesto delle gallerie in progetto alle gallerie esistenti (progressive km 3+747 della galleria S. Tommaso e km 3+840 della galleria Colombo) e rivo S. Anna (via Caffaro), nel quale la falda è localizzata a quote comprese tra i 50 e i 65 m s.l.m.; la tavola d'acqua presenta uno spartiacque sotterraneo all'altezza di Corso Firenze, con flusso idrico che si muove da Corso Firenze (da E) verso l'inizio dell'intervento (verso W, ai km 3+747 e 3+840), e da Corso Firenze (da W) verso rivo S. Anna (verso E, a via Caffaro); i livelli piezometrici ricostruiti in qualche caso danno valori del carico idraulico sulla calotta superiori ai 25-30 metri, che non sono rappresentativi della effettiva situazione in profondità al livello del cavo galleria, in quanto sovrastimati per gli apporti idrici dovuti anche agli acquiferi superficiali che alimentano i piezometri;
- un secondo settore esteso ancora più ad E per ulteriori 1200 m circa, da rivo S. Anna (via Caffaro) fino all'imbocco lato Brignole, dove la falda è localizzata a quote comprese tra 35 e 15 m s.l.m.; anche qui la tavola d'acqua presenta uno spartiacque sotterraneo all'altezza di via Solferino , e la direzione del flusso idrico è rivolta da SE verso NW da Corso Solferino a rivo S. Anna, e da NW a SE da Corso Solferino all'imbocco lato Brignole, verso la valle del Bisagno; i carichi idraulici sulla calotta delle gallerie decrescono in questo settore passando da 20 fino a 0 metri in corrispondenza dell'imbocco.

I bassi valori di permeabilità risultanti dalle prove in sito eseguite nelle Argille di Ortovero e le misure di livello idrico effettuate in foro di sondaggio durante le perforazioni, confermano l'assenza di una circolazione idrica significativa all'interno di questa formazione che ha un preminente carattere di acquiclude.

Diversamente il materasso alluvionale, costituito da ghiaie (Aag) alternate a livelli e strati limo-argillosi (Aal), presenta un comportamento prevalente di acquifero essendo sede di una falda freatica posta tra i 10 e i 7 m s.l.m., che drena verso il Fiume Bisagno.

9 CONDIZIONI GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE ATTESE LUNGO IL TRACCIATO

Il progetto ferroviario in esame si sviluppa per i primi 1.5 Km circa con due gallerie a singolo binario (Galleria Colombo, Galleria San Tommaso) fino alla stazione di Brignole per poi proseguire all'aperto, attraversando il Fiume Bisagno, fino all'area di Terralba.

Tratta in galleria naturale

Lo scavo delle due gallerie interesserà in tutta la sua lunghezza la formazione del Flysch di M.te Antola.

Il materiale attraversato è costituita da calcari marnosi, talvolta siltosi, di colore grigio e strati di spessore fino a metrico di calcareniti, marne e marne calcaree alternate ad argilliti emipelagiche in strati centimetrici. I dati di letteratura individuano una composizione media percentuale costituita da 5% di arenarie, 20-30% di calcareniti, 50-60% di marne calcaree e calcari marnosi, 15% di argilliti.

La formazione rocciosa si presenta da poco ad intensamente fratturata con giunti da ravvicinati a molto ravvicinati e patine di ossidazione ocracee; localmente la roccia si può presentare intensamente alterata e ridotta a frammenti litoidi angolari a pezzatura ghiaiosa-ciottolosa in matrice sabbioso-limosa.

I dati giaciturali ad oggi disponibili ricavati dall'esame visivo delle carote estratte (inclinazione degli strati) e da rilevamenti diretti di campagna hanno permesso di definire un modello di assetto geologico-strutturale di riferimento che, seppure di accuratezza limitata per la scarsa presenza di affioramenti nell'area densamente urbanizzata, ha trovato comunque riscontro nelle informazioni derivanti dalla bibliografia e dalle condizioni geologico-strutturali osservate durante lavori di costruzione eseguiti nell'area (in corrispondenza di pareti di sbancamenti e scavi di fondazione per la costruzione di edifici di civile abitazione; lungo i fronti di scavo delle gallerie della Metropolitana di Genova).

Partendo da Genova Principe, i tracciati delle gallerie in progetto intercettano una struttura monoclinalica est-immergente inclinata di circa 20° e direzione variabile compresa tra N-S e NE-SW; a partire dalla prog. km 4+600 BP circa fino all'imbocco lato Brignole, la formazione rocciosa presenta una serie di strutture plicative anticlinaliche e sinclinaliche con direzioni assiali circa ortogonali al tracciato, generalmente variabile da NE-SW a E-W, ed inclinazione degli strati mediamente intorno ai 45-55° che negli ultimi 200 metri arriva fino a 70-80°. Tali strutture plicative

possono essere imputate ad una minore rigidezza e maggiore capacità di deformazione dell'ammasso per un aumento degli interstrati argillitici.

Lo spessore delle coperture varia da un massimo di 70 m ad un minimo di 20 metri in corrispondenza degli imbocchi.

La possibilità di manifestazioni idriche in galleria dipende dalla conducibilità idraulica del terreno, che aumenta laddove il materiale risulta maggiormente fratturato, e dall'assetto geologico strutturale.

In particolare, manifestazioni idriche più intense sono attese:

- nelle tratte in cui vengono sottopassati i principali rivi, spesso ritombati, che esercitano una funzione di raccolta e convogliamento delle acque superficiali;
- nella parte centrale del tracciato, dove massima è l'azione di richiamo delle acque dovuta al drenaggio operato dalle due gallerie esistenti (delle Grazie Bassa ed Alta) che risultano affiancate l'una all'altra;
- nelle zone dove la tettonica ha determinato un assetto locale a maggiore complessità strutturale (pieghe anticlinali e sinclinali);
- dove il livello di falda si pone a quote superiori ma prossime a quelle del cavo della galleria.

Queste condizioni potranno essere incontrate in massima parte nella seconda tratta del tracciato, a partire dai km 4+100 B.D della galleria S. Tommaso e 4+200 B.P. della galleria Colombo circa (rivo S. Anna - via Caffaro), fino all'imbocco lato Brignole (km 5+403 B.D, 5+ 373 B.P.).

In corrispondenza dell'imbocco lato Brignole delle gallerie naturali è stata ricostruita una sezione geologica, in base alle stratigrafie dei carotaggi radiali eseguiti all'interno della galleria delle Grazie Bassa e dei sondaggi eseguiti dal p.c., dalla quale risulta che nella prima tratta di 20-25 metri di galleria, a partire dall'imbocco lato Brignole con direzione Principe, il Flysch di Monte Antola si presenta alterato e frantumato e con caratteristiche geomeccaniche estremamente scadenti, che tendono a migliorare successivamente.

Il livello di falda è prossimo alla quota dell'arco rovescio (12 m s.lm.), per cui non costituisce condizione di particolare criticità.

Tratta all'aperto

Nella tratta all'aperto il tracciato intercetta nei primi 300 metri di lunghezza fino alla progressiva 5+700 circa il substrato litoide costituito dal Flysch di Monte Antola ricoperto da uno spessore di un

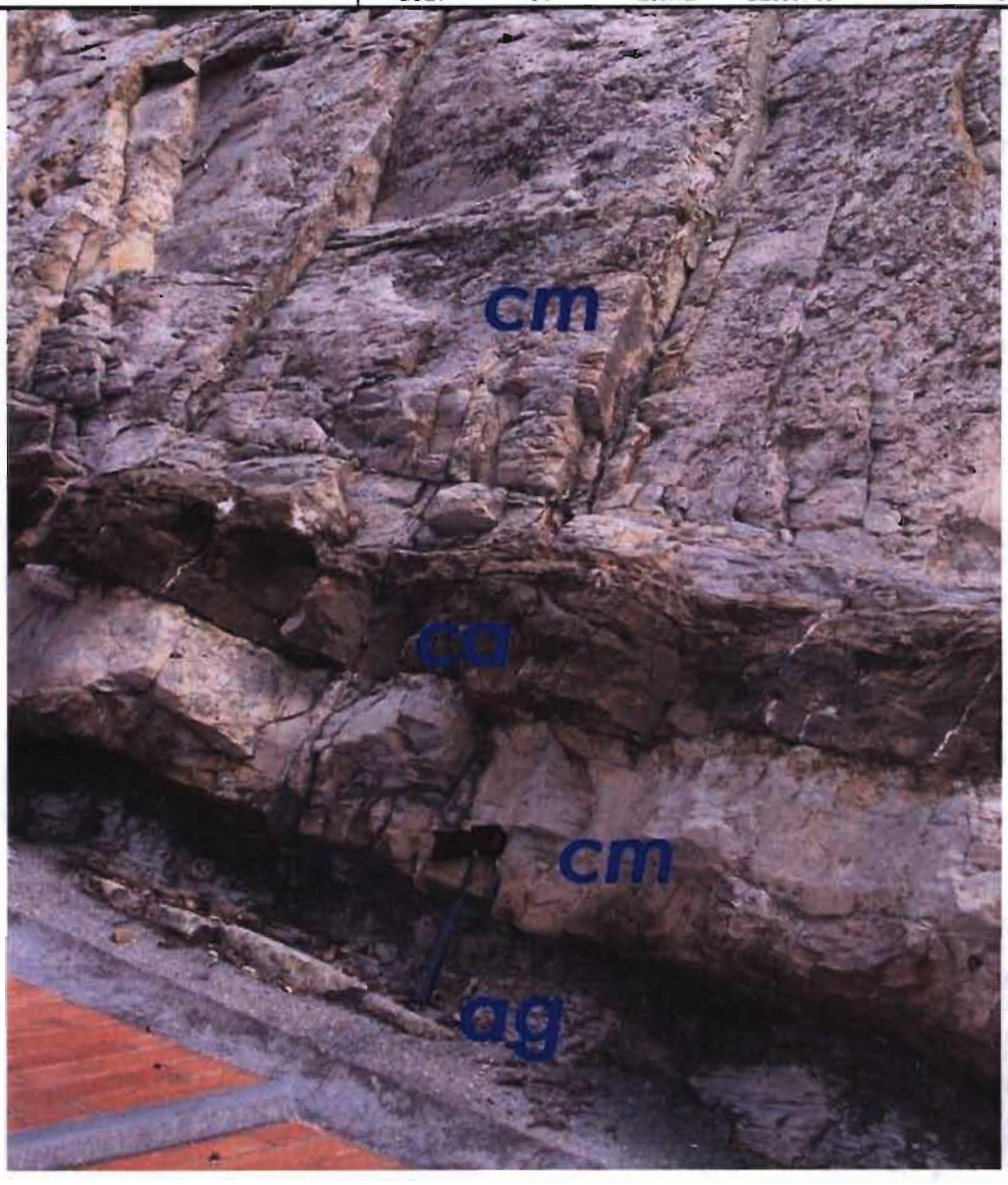
paio di metri di terreno di riporto. A seguire viene interessato un materasso alluvionale che presenta in affioramento i depositi ghiaioso-sabbiosi delle alluvioni antiche e attuali fino al km 5+900 circa, e successivamente fino a fine progetto, i depositi alluvionali antichi e recenti dove prevalgono i termini limoso-argillosi. Questi, negli ultimi 300 metri, poggiano su un substrato costituito dalle Argille di Ortovero. Le risultanze geognostiche hanno sempre individuato al di sopra del materasso alluvionale uno strato di materiali di riporto che raggiunge spessore considerevoli compresi tra i 4 e i 9 metri.

I dati piezometri rilevati nella zona hanno permesso di individuare un falda superficiale localizzata nei depositi alluvionali e a volte nei terreni di riporto, con quote piezometriche che si attestano tra i 12 e i 6 m s.lm. con direttrici di flusso orientate verso il Fiume Bisagno ed una soggiacenza minima di 4 metri da p.c.

Uscita di emergenza sita a Piazza Corvetto

Nell'ambito del presente progetto è previsto la realizzazione di un cunicolo di collegamento uscita di emergenza dalla galleria delle Grazie Bassa a Piazza Corvetto. Il cunicolo interesserà per i primi 20 metri il Flysch di Monte Antola per poi intercettare le Argille di Ortovero che sono ricoperte dai depositi alluvionali antichi e recenti a prevalenza limosa-argillosa.

Nello scavo in corrispondenza del Flysch di Monte Antola si dovrà tenere conto della presenza di una falda acquifera posta a quota 12.5 m s.l.m., mentre le venute d'acqua previste durante lo scavo delle Argille saranno probabilmente scarse e localizzate in corrispondenza degli orizzonti più permeabili. E'stata inoltre individuata una falda superficiale localizzata nei depositi alluvionali di cui si dovrà tenere conto per lo scavo del vano scale.



Affioramento del Flysch di Monte Antola presente all'interno del Castello di Abertis, si nota la stratificazione piano parallela con le intercalazioni di calcare marnoso (cm), calcarenite (ca) ed argillite (ag).



Affioramento del Flysch di Monte Antola in prossimità della zona di imbocco lato Brignole in cui è stata rilevata la seguente giacitura: N45E/75°SE.



Argille grigie molto consistenti (valori di pocket penetrometer > 6 Kg/cm^2) appartenenti alla formazione delle Argille di Ortovero.

10 BIBLIOGRAFIA

1. AA.W. (1994) –11 Itinerari delle Alpi Liguri – Guide geologiche regionali a cura della Società Geologica Italiana.
2. AA. W., (1997) – *Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova – Cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1:10.000* – Comune di Genova.
3. AA. W., (2007) – *Foglio n° 213/230 "Genova" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000* – APAT - Servizio Geologico d'Italia - Progetto CARG.
4. AA.W. (1994) – 10 Itinerari dell'Appennino ligure-emiliano – Guide geologiche regionali a cura della Società Geologica Italiana.
5. BERTOLETTI D., CARLINO F., TROILO C., (anno accademico 1995-96) "La città di sotto" Tesi di Laurea inedita.
6. LIMONCELLI B., MARINI M. (1969)– Condizioni geologico-strutturali, idrografiche e geomorfologiche del territorio urbano della città di Genova e loro riflessi applicativi. – Tamburini editore
7. MARINI M. (1980) – "Analisi strutturale e interpretazione paleogeografica e tettogenica dei Calcari di M.te Antola (Appennino Ligure)". Ofioliti, 6, 119-150.
8. NOSEGNO S., MONTALDO C. ET ALII, (1998) – Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova: cartografia geologica, geomorfologoca ed idrogeologica in scala 1:10.000-. A cura del Comune di Genova, Regione Liguria e AMGA.
9. RELAZIONE GEOLOGICA per lo S.I.A. del Progetto Definitivo della linea ferroviaria A.C. Genova – Milano Tratta "Terzo Valico" (Genova – Novi Ligure) – 1999.
10. RELAZIONE IDROGEOLOGICA per lo S.I.A. del Progetto Definitivo della linea ferroviaria A.C. Genova – Milano Tratta "Terzo Valico" (Genova – Novi Ligure) – 1999.