

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**RILEVATO DI LINEA III VALICO DA PK 28+667. 75 A PK 29+024.25**

**Geotecnica**

**Relazione geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing.P.P.Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	R B	R I 1 1 0 0	0 0 1	B

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	ALPINA <i>gl</i>	15/07/2013	ALPINA <i>Adriano Farig</i>	15/07/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	19/07/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B00	Revisione generale	ALPINA <i>Adriano Farig</i>	27/09/2013	COCIV <i>[Signature]</i>	27/09/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/09/2013	

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001-B00.DOCX
-----------	--

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001\_B00  
Relazione geotecnica

Foglio  
2 di 29

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 29</p>

## INDICE

INDICE.....		3
1.     PREMESSA.....		5
2.     SCOPO DEL DOCUMENTO.....		6
3.     NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....		6
3.1.   Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento .....		6
3.2.   Riferimenti bibliografici.....		7
3.3.   Documenti di riferimento.....		8
4.     CENNI DI GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....		9
4.1.   Formazione di Costa Areea (fC) .....		9
4.2.   Marne di Cessole (mC).....		11
4.3.   Depositi alluvionali (fl3).....		12
4.3.1. Depositi alluvionali recenti (fl3).....		12
4.4.   Depositi colluviali (c).....		12
4.5.   Depositi antropici di riporto (r).....		13
4.6.   Stratigrafia nell'area di progetto.....		13
4.7.   Geomorfologia nell'area di progetto .....		13
5.     SINTESI DEL QUADRO IDROGEOLOGICO.....		14
5.1.   Livelli piezometrici di riferimento.....		15
6.     CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE.....		17
6.1.   Prove geotecniche in sito.....		17
6.2.   Prove geotecniche di laboratorio .....		18
6.3.   Prove geofisiche .....		19
7.     UNITA' GEOTECNICHE E PROFILO GEOTECNICO .....		23
7.1.   Unità geotecniche .....		23
7.1.   Profilo geotecnico longitudinale.....		24
8.     SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA TRATTA.....		26
9.     PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO.....		27

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001\_B00  
Relazione geotecnica

Foglio  
4 di 29

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 5 di 29

## 1. PREMESSA

Il presente documento illustra gli aspetti geotecnici connessi alla progettazione esecutiva del Lotto 2 della tratta AV/AC Milano-Genova-III Valico dei Giovi e più in particolare del rilevato di Linea RI11 tra le progressive pk 28+667.75 e pk 29+024.25, in corrispondenza del tratto all'aperto compreso tra l'imbocco nord in artificiale della galleria di III Valico (WBS GA1J) e l'imbocco sud in artificiale della galleria Serravalle (WBS GA1K).

Nel tratto all'aperto tra le due gallerie, il tracciato di progetto presenta un'estensione complessiva di circa 1+027 km, sviluppandosi tra i comuni di Arquata Scrivia e Serravalle Scrivia, in provincia di Alessandria.

La ferrovia prevede la realizzazione di tre binari, due dei quali di corsa e uno centrale di precedenza, posti ad interasse 4.50 m.

Sul lato ovest, tra le pk 28+749 e pk 28+925 è previsto un piazzale di allargamento in rilevato per accogliere il Posto di Movimento di Libarna.

Per tutto lo sviluppo della WBS, al piede del rilevato lato est è presente la sistemazione del Fosso Pradella (WBS IN11) che sversa in un laghetto.

Il rilevato RI11 è caratterizzato da un'altezza media di circa 10.0 m dal piano campagna, con scarpate inclinate 2 (verticale) : 3 (orizzontale) e interposizione di una berma di larghezza 2.0 m posizionata a 6.0 m dal colmo del rilevato.

Il presente documento è stato redatto sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito della campagna di indagini per il Progetto Preliminare della linea ferroviaria e delle campagne di approfondimento successive propedeutiche allo sviluppo del Progetto Definitivo ed Esecutivo, e con riferimento a quanto riportato nella relazione geologica e nei profili geologici del progetto esecutivo.

Le analisi e le valutazioni condotte per la definizione della caratterizzazione geotecnica sono state effettuate con specifico riferimento a quanto riportato nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del progetto esecutivo nonché ai relativi documenti grafici (carta geologica e geomorfologica, carta idrogeologica, profili geologico-tecnici e sezioni trasversali).

A corredo della presente relazione è stato elaborato un profilo geotecnico longitudinale e delle sezioni geotecniche, in analogia a quanto riportato nei suddetti documenti di pertinenza geologica.

Gli elementi di sismicità e di classificazione sismica del lotto interessato dalle opere, nonché la definizione delle azioni sismiche e dei parametri da considerare per le valutazioni progettuali sono riportate nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica del PE.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 6 di 29

## 2. SCOPO DEL DOCUMENTO

Il presente documento ha lo scopo di fornire un inquadramento delle caratteristiche fisiche e geotecniche dei terreni attraversati dal tracciato ferroviario, con un particolare riferimento alle principali opere d'arte connesse al progetto della linea ferroviaria.

Il presente documento si articola nei seguenti punti:

- 1) descrizione delle caratteristiche geologiche salienti dell'area interessata dal tracciato e dei terreni costituenti il sottosuolo;
- 2) sintesi del quadro idrogeologico ed individuazione delle quote di falda significative ai fini dello sviluppo del progetto esecutivo;
- 3) descrizione delle campagne di indagini utilizzate per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni;
- 4) definizione delle unità geotecniche e descrizione del profilo geotecnico nelle sue caratteristiche salienti;
- 5) sintesi dei risultati della caratterizzazione geotecnica dei terreni, derivata sia dall'elaborazione delle prove in sito che di laboratorio;
- 6) individuazione dei *range* dei parametri geotecnici caratteristici generali di ciascuna unità geotecnica sulla base delle indagini disponibili.

## 3. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 3.1. Normative, raccomandazioni e strumenti territoriali di riferimento

La progettazione delle opere ferroviarie della tratta sarà redatta in ottemperanza dell'Art. 20 della Legge 28 febbraio 2008, n. 31, secondo i dettami normativi antecedenti all'emissione del Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, come anche confermato dalla Circolare 5 agosto 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. L'Art. 20 comma 3 recita *“Per le costruzioni e le opere infrastrutturali iniziate, nonché per quelle per le quali le amministrazioni aggiudicatrici abbiano affidato i lavori o avviato progetti definitivi o esecutivi prima dell'entrata in vigore della revisione generale delle norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture e trasporti 14 settembre 2005, continua ad applicarsi la normativa tecnica utilizzata per la redazione dei progetti, fino all'ultimazione dei lavori e all'eventuale collaudo”*.

I calcoli e le disposizioni esecutive sono pertanto conformi alle seguenti normative di legge:

- [1] D.M. 11.03.1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e le scarpate, i criteri generali, e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- [2] Circ. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 “Norme tecniche per terreni e fondazioni - Istruzioni applicative”.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 7 di 29</p>

- [3] D.M. 09/01/1996 – “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”.
- [4] Circ. LL.PP. 15 ottobre 1996 n. 252 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per il calcolo, l’esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al DM 09/01/1996.
- [5] D.M. 16/01/1996 – “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- [6] Circ. LL.PP. 10 aprile 1997 n. 65 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui al DM 16/01/1996.
- [7] Istruzioni relative alle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
- [8] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003. “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- [9] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316. “Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20.03.03”.
- [10] Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico PAI - (Autorità di Bacino del Fiume Po), approvato con DPCM 24/05/2001.
- [11] EN 1997 Eurocodice 7 “Geotechnical Design”.
- [12] RFI “Manuale di progettazione”;

### 3.2. Riferimenti bibliografici

- [13] Bruschi A. (2010) – “Prove geotecniche in situ – Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni” – Dario Flaccovio Editore.
- [14] Cestari F. (1990) - “Prove Geotecniche in sito” – ed. Geo-graph.
- [15] D’Appolonia D.J. (1970) - "Settlement of Spread Footings on Sand". In “Civil Engineering”, ASCE, Maggio 1968 – Marzo 1970.
- [16] Duncan J.M., Buchignani A.L. (1976) - "An engineering manual for settlement studies" Dipartimento di Ingegneria Civile – Università della California, Berkeley.
- [17] Elson W.K. (1984) - “Design of laterally loaded piles” - CIRIA Report n.103.
- [18] Gibbs H.J. & Holtz W.G. (1957) - “Research on Determining the Density of Sands by Spoon Penetration Testing” - Proc. IV ICSMFE, Londra.
- [19] Jamiolkowski, M., Ladd, C.C., Germaine, J.T. e Lancellotta, R. (1985) - “New developments in field and laboratory testing of soils”, Proc. 11a Conf. Int. di meccanica dei suoli e ing. delle fond., San Francisco, Volume 1, Balkema, Rotterdam, pp. 57-153.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 8 di 29</p>

- [20] Jamiolkowski M. et al. (1988) - "New correlations of penetration tests for Design Practice" - ISOPT, Orlando, Vol. 1, pag. 263.
- [21] Koutsoftas D.C. & Ladd C.C. (1985) - "Design Strength of an offshore clay" – Tesi di PhD Università del Texas - Austin (USA).
- [22] Matlock H. & Reese L.C. (1960) - "Generalized solutions for laterally loaded piles". Proc. American Society of Civ. Engrs. – Journal of Soil Mechanics and Foundations – Vol. 86, pp. 63-91.
- [23] NAVFAC-DM 7.1 (1971) - "Soil mechanics, foundations and earth structures – Design Manual". Dept. of the Navy – Naval Facilities Engineering Command.
- [24] NAVFAC-DM 7 (1982) - "Design Manual - Soil mechanics, foundations, and earth structures" Dept. of the navy - Naval Facilities Engineering Command.
- [25] Ohta Y. & Goto N. (1978) – "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristics soil indices" - Earthquake Eng. and Struc. Dyn., (6), pp. 167-187.
- [26] Schultze, E. & Menzenbach, E. (1961) "Standard Penetration Test and Compressibility of Soils" Atti della V Conf. Int. sulla meccanica dei suoli e l'ing. delle fond., Vol. 1, pp. 527-532.
- [27] Schmertmann, J. (1977) - "Guidelines for cone penetration test performance and design" Rep. No. FHWA-TS-78-209, Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [28] Skempton A.W. (1986) - "Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation" – Geotechnique, Vol. 36, pp. 425÷447.
- [29] Stroud, M.A. (1989) "The Standard Penetration Test-its Application and Interpretation". Institution of Civil Engineers Conference on Penetration Testing, Birmingham, United Kingdom. Thomas Telford, London, pp. 29-49.
- [30] Stroud M.A: & Butler F.G. (1975). "The Standard Penetration Test and the Engineering Properties of Glacial Materials". Proceedings Symposium on the Engineering Behaviour of Glacial Materials, Midland Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Birmingham (UK).
- [31] Terzaghi, K. & Peck, Rb. (1948) "Soil Mechanics in Engineering Practice", I e II edizione, John Wiley, New York.
- [32] EPRI EL-6800, "Manual on estimate Soil properties for foundation design" 1990.

### 3.3. Documenti di riferimento

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| [33] Relazione geotecnica delle tratte all'aperto        | IG5102ECVRBGE0001001A00 |
| [34] Relazione sismica delle tratte all'aperto           | IG5102ECVRHGE0001001A00 |
| [35] Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica | IG5102ECVRORI1100001A00 |
| [36] Carta geologica e geomorfologica                    | IG5102ECVG7RI1100001A00 |



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 9 di 29

[37] Carta idrogeologica e dei punti d'acqua	IG5102ECVG7RI1100002A00
[38] Profilo geologico	IG5102ECVFZRI1100001A00
[39] Sezioni geologico-stratigrafiche	IG5102ECVWZRI1100001A00
[40] Profilo geotecnico	IG5102ECVF7RI1100001A00
[41] Profilo sezioni geotecniche	IG5102ECVWARI1100001A00

#### 4. CENNI DI GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Il tracciato della linea ferroviaria si sviluppa a cavallo dei comuni di Arquata Scrivia e Serravalle Scrivia, nella piana alluvionale in sponda sinistra del Torrente Scrivia.

Gli affioramenti locali sono costituiti da depositi alluvionali continentali e marini che rappresentano la fase più recente del colmamento avvenuto nel Terziario e nel Quaternario del bacino Ligure-Piemontese.

Gli elementi di spicco del paesaggio sono costituiti dai terrazzamenti alluvionali che degradano verso nord costituiti da ghiaie più o meno grossolane, sabbie e limi che formano sedimenti stratiformi a terminazione lenticolare che, verso monte, poggiano su rocce marine più antiche costituenti il basamento appenninico.

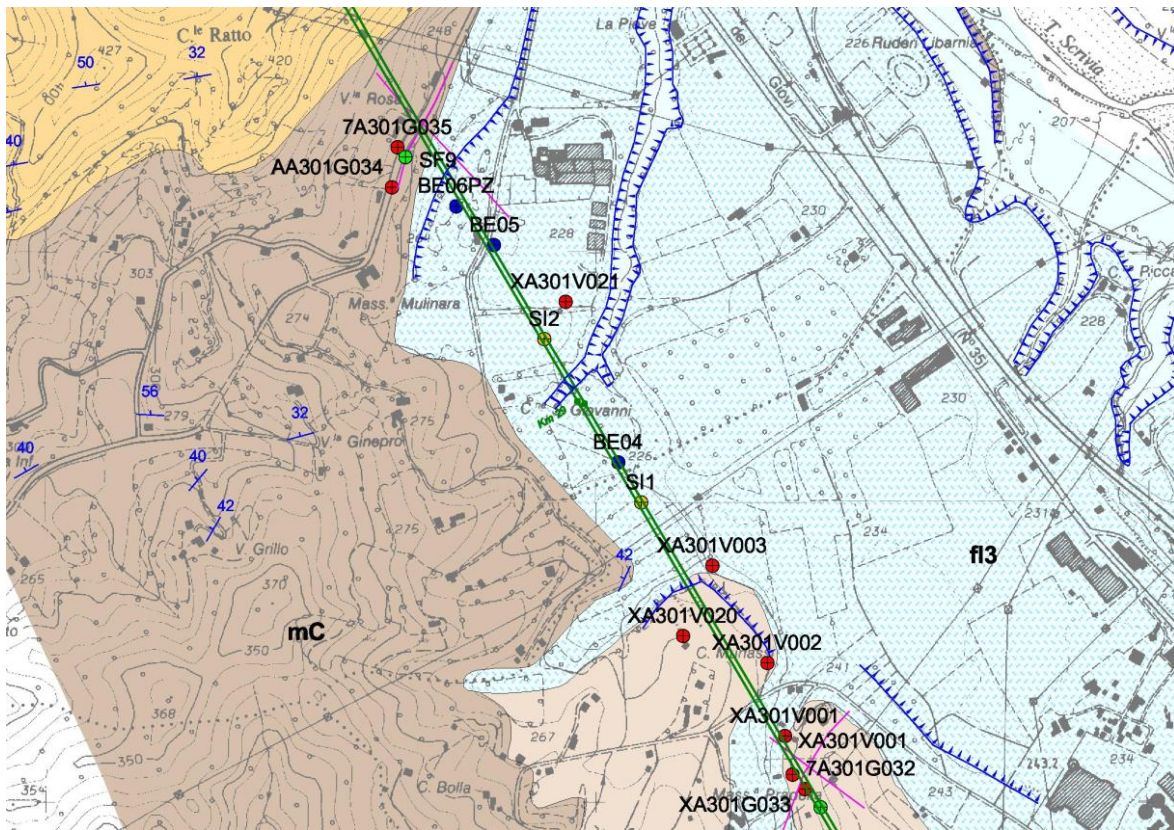
La Figura 4-1 illustra la carta geologica degli affioramenti in corrispondenza della Linea.

In sintesi le formazioni geologiche interessate dalle opere in progetto sono:

Sigla	Unità	Descrizione
f13	Depositi alluvionali recenti	Ghiaie e sabbie in matrice sabbioso limosa con modesta alterazione superficiale
mC	Marne di Cessole	Alternanze di marne biancastre con siltiti ed arenarie fini bitumate
fC	Formazione di Costa Areasa	Alternanze regolari di strati arenaceo pelitici, con prevalenza della frazione pelitica (spessore medio 1.5m) e di marne calcaree, debolmente siltose, in strati di spessore centimetrico-decimetrico







##### 4.1. Formazione di Costa Areasa (fC)

Ad Ovest della Valle Scrivia la Formazione di Costa Areasa (Burdigaliano – Langhiano) segue con normale contatto stratigrafico la Formazione di Rigoroso e passa con contatto in apparenza normale alle soprastanti Marne di Cessole. Ad Est della Valle Scrivia il contatto con le soprastanti Marne di Cessole si presenta invece attraverso una discordanza erosionale che, procedendo verso Est arriva ad elidere completamente la formazione (Ghibauda et al., 1985).





### LEGENDA CARTA DEGLI AFFIORRAMENTI E CARTA GEOLOGICA

#### DEPOSITI QUATERNARI

-  Detrito di falda (accumuli di maggiori dimensioni)
-  Depositi gravitativi, accumuli di frana
-  DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI (A)  
Ghiale in matrice sabbioso limosa non alterate
-  DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (FL3)  
Ghiale e sabbie in matrice sabbioso limosa con modesta alterazione superficiale
-  DEPOSITI ALLUVIONALI MEDI (FL2)  
Ghiale e sabbie in matrice sabbioso limosa con coltre di alterazione superficiale di spessore fino a 4 - 5 metri.
-  DEPOSITI ALLUVIONALI ANTICHI (FL1)  
Ghiale e sabbie in matrice sabbioso limosa molto alterati

#### Successione sedimentaria post - Fase Appenninica miocenica precoce

-  MARNE DI S. AGATA FOSSILI (mA) (Tortoniano)  
Alternanze decimetrico - metriche di marne debolmente siltose di colore grigio, peliti siltose di colore scuro o grigio nerastro, marne inglobanti frammenti intraformazionali delle due facies precedenti (membro superiore mA1); arenarie da fini a molto fini di colore grigio, con matrice pellica, con rare intercalazioni di strati di arenarie grossolane e microconglomerati (mA2). Depositi di scarpata.
-  ARENARIE DI SERRAVALLE (aS) (Serravalliano)  
Alternanze centimetrico - decimetriche di arenarie medio - grossolane bioclastiche, a stratificazione incrociata, con marne siltose, siltiti e arenarie fini, presenza di strati spessi di arenarie grossolane gradate e, localmente, di arenarie conglomeratiche e conglomerati. Depositi di piattaforma interna.
-  MARNE DI CESSOLE (mC) (Langhiano)  
Alternanze di marne siltose omogenee biancastre, con siltiti ed arenarie fini bioturbate. Depositi di piattaforma esterna

#### Successione sedimentaria pre - Fase Appenninica miocenica precoce


-  FORMAZIONE DI COSTA AREASA (fC) (Burdigaliano-Langhiano)  
Alternanze regolari di strati arenaceo pellici, con prevalenza della frazione pellica (spessore medio 1,5 m), e di marne calcaree, debolmente siltose, in strati di spessore centimetrico - decimetrico. Depositi di piano sottomarina.

Figura 4-1 Carta geologica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica <span style="float: right;">Foglio 11 di 29</span>

La formazione in esame risulta costituita da alternanze di strati arenaceo-pelitici-torbiditici e livelli di emipelagiti, con rapporto arenaria/pelite-emipelagite all'incirca pari o inferiore all'unità. La parte superiore (circa 200 m) è invece essenzialmente costituita da marne e peliti siltose con rare e sottili intercalazioni di arenarie. Lo spessore complessivo è di circa 600 metri (Ghibaudo et al., 1985).

La successione sedimentaria appare caratterizzata dalla associazione di due facies distinte: una pelitico-arenacea ed una marnoso-calcareo (Ghibaudo et al., 1985).

La facies pelitico-arenacea è costituita da strati torbiditici (spessi da 10cm a 3m) con prevalenza della porzione pelitica. Le arenarie sono da medio-grossolane a molto fini; le peliti sono siltose, grigio scure e omogenee, in livelli dallo spessore variabile e generalmente superiore ai corrispondenti livelli arenacei.

La facies marnoso calcarea, in livelli spessi da pochi cm a qualche decina di cm, si trovano intercalati negli strati pelitico arenacei sopra descritti. Si tratta di marne calcaree debolmente siltose, compatte, omogenee e con frattura concoide.

Tale associazione di facies è ritenuta indicativa di una deposizione avvenuta in ambiente di pianura sottomarina, mentre la parte superiore della formazione, essenzialmente pelitica, potrebbe rappresentare un ambiente di scarpata non attiva (Andreoni et al., 1981; Ghibaudo et al., 1985).

#### 4.2. Marne di Cessole (mC)

La formazione delle Marne di Cessole (Langhiano) presenta la massima potenza nel settore compreso tra la Val Lemme e la Val Scrivia, assottigliandosi poi verso NE in quanto la geometria è controllata dalla superficie di discordanza angolare presente alla base della formazione stessa ad Est dello Scrivia. Quindi mentre ad Ovest dello Scrivia la successione dalla geometria tabulare raggiunge spessori dell'ordine dei 1000 metri, ad Est, nei pressi della linea Villalvernia-Varzi, essa assume una geometria cuneiforme assottigliandosi fino ad uno spessore di circa 100 metri (Ghibaudo et al., 1985).

Litologicamente la formazione è rappresentata da marne siltose omogenee e siltiti a cui si intercalano arenarie fini bioturbate in strati sottili e rari livelli più calcarei o calcareo-marnosi. Limitatamente alla parte sommitale si osservano frequenti intercalazioni di arenarie medio-grossolane, in strati medi e spessi, che determinano la transizione alle soprastanti Arenarie di Serravalle (Ghibaudo et al., 1985). Dette intercalazioni arenacee sono più frequenti ad oriente della Val Scrivia e rappresentano una facies caratteristica denominata in letteratura come Membro di Monte Piasi.

Una sezione completa della formazione in esame permette di identificare quattro facies caratteristiche definibili, in base alla litologia dominante, dal basso verso l'alto come segue (Ghibaudo et al., 1985):

- facies marnoso-siltosa;
- facies siltosa (siltiti molto fini e compatte ricche in matrice argillosa);
- facies arenacea fine (arenarie quarzose fini alternate a marne siltose e siltiti);

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica <span style="float: right;">Foglio 12 di 29</span>

- facies arenacea.

Come già descritto le facies arenacee costituiscono la parte superiore della formazione, determinando un generale aumento della granulometria verso l'alto.

I depositi descritti vengono interpretati nel loro insieme come indicativi di un ambiente di piattaforma esterna, lontano dalle sorgenti litorali di materiale grossolano (Ghibaudo et al., 1985).

### 4.3. Depositi alluvionali (fl3)

I depositi alluvionali occupano con continuità il fondovalle nel tratto compreso tra Rigoroso e Novi Ligure mentre a nord di Novi Ligure i depositi alluvionali formano un ampio conoide alluvionale che si apre a ventaglio sulla pianura alessandrina.

I depositi alluvionali del settore vallivo, poco prima dello sbocco in pianura, sono costituiti da successioni che presentano una granulometria scarsamente differenziata con netta prevalenza di elementi clastici grossolani e sono connessi a due ordini di terrazzi principali:

- i terrazzi più antichi, sopraelevati di 50 ÷ 80 metri circa rispetto al fondovalle attuale, solo raramente sono associati a dei depositi e più frequentemente consistono esclusivamente in forme d'erosione (lombi pianeggianti e/o in leggera contropendenza);
- i terrazzi più recenti, sopraelevati di 10÷15 metri circa rispetto al fondovalle attuale, che sono costituiti da depositi ghiaiosi e ghiaioso sabbiosi, con spessori che possono variare dai pochi metri, in prossimità del raccordo con i fianchi vallivi, a 10÷15 metri circa in prossimità dell'asse vallivo principale. Questi depositi sono indicati in letteratura come depositi alluvionali recenti (fl3).

#### 4.3.1. Depositi alluvionali recenti (fl3)

I depositi alluvionali recenti sono costituiti prevalentemente da ghiaie, organizzate in corpi lenticolari mal definiti, in cui si rinvengono rare intercalazioni centimetrico decimetriche di sabbie limose e limoso-argillose.

La stratigrafia dei sedimenti alluvionali ascrivibili al "fluviale recente" è nota sulla base dei sondaggi eseguiti nell'ambito della progettazione preliminare e definitiva del tracciato, che evidenziano una successione di orizzonti differenziabili in relazione al diverso rapporto percentuale tra ghiaie, sabbie, limi e argille.

Il fluviale recente comprende terreni a granulometria grossolana con ghiaie nettamente prevalenti (70-80%) sulle sabbie (10-20%) e sulle parti più fini (limo e argilla) 10-20%.

### 4.4. Depositi colluviali (c)

Dalle indagini in sito e dai sondaggi, è emerso che nel settore interessato dall'opera, e lungo l'intero fianco vallivo compreso tra Rigoroso e Arquata Scrivia, è presente una coltre detritico colluviale, piuttosto potente, che ricopre in continuità la parte inferiore dei versanti ed il loro raccordo con il

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 13 di 29</p>

fondovalle, poggiando in parte anche sui depositi alluvionali recenti (fl3). Lo spessore dei depositi colluviali varia da pochi metri a 15÷20 m circa (in prossimità della base del versante).

Si tratta di depositi marnosi, argillosi e argilloso-siltosi, contenenti localmente frammenti centimetrico-decimetrici delle unità sottostanti da cui sono originati (Formazione di Costa Areasa, fC e Marne di Cessole, mC). Questi depositi si sono originati per effetto di processi chimico-fisici che hanno portato all'alterazione delle porzioni più superficiali delle unità sedimentarie del BTP affioranti nell'area. Questi depositi d'alterazione, per effetto della gravità si sono quindi accumulati nella parte inferiore dei fianchi vallivi, in prossimità del raccordo con le superfici terrazzate. Localmente il materiale colluviale è stato probabilmente spostato anche dai corsi d'acqua effimeri, presenti sui fianchi vallivi, in occasione di eventi piovosi particolarmente intensi, attraverso processi di tipo "mud-flow". Attualmente la maggior parte dei versanti risulta vegetata e non ci sono evidenze di processi gravitativi o di scivolamento in atto, come documentato dal catalogo dei fenomeni franosi IFFI.

#### 4.5. Depositi antropici di riporto (r)

I depositi antropici di riporto sono costituiti da materiali di varia natura, da grossolani a fini, e sono localizzati soprattutto in corrispondenza di settori precedentemente interessati da attività estrattive.

#### 4.6. Stratigrafia nell'area di progetto

Con riferimento alla WBS in oggetto, la zona di terrazzo alluvionale del Fluviale Recente fl3 (argille, argille limose e ghiaie alterate in matrice argilloso-limoso) ricopre il substrato locale rappresentato dalla formazione delle Marne di Cessole (marne siltose con intercalazioni di siltiti e arenarie fini) della Serie Oligo-Mio-Pliocenica del Bacino Terziario Piemontese.

#### 4.7. Geomorfologia nell'area di progetto

L'area interessata dallo sviluppo dell'opera si colloca al raccordo tra i versanti collinari che costituiscono il fianco sinistro della valle del T. Scrivia e il fondovalle.

La valle principale si sviluppa, nel tratto adiacente al tracciato, su una piana alluvionale terrazzata con andamento NW-SE, larga mediamente 1 km e caratterizzata da un gradiente morfologico con drenaggio mediamente orientato verso NE.

Geomorfologicamente l'area in esame non presenta particolari problematiche. Non sono segnalati dissesti nelle aree esaminate e il rilevamento del terreno ha mostrato buone condizioni di stabilità allo stato attuale.

Sul territorio sono presenti cave attualmente in stato di abbandono, attive in passato per l'estrazione di materiali sciolti.

Il settore interessato dall'opera in progetto oltre al normale uso agricolo del suolo che ne ha determinato la parziale regolarizzazione, è stato interessato, in passato anche da attività estrattive che localmente hanno del tutto modificato l'originaria morfologia dell'area.

Le principali attività che si sono potute documentare riguardano:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio 14 di 29</p>

- la Cava in località Mulinara, della quale sono ancora parzialmente visibili il fronte stesso, sviluppato a valle della SP 161 e l'adiacente piazzale di cava, in parte colmato con materiale di riporto. Attualmente l'area è occupata da insediamenti industriali che hanno probabilmente mascherato l'originaria estensione della cava e non si esclude quindi che nell'area circostante si possano trovare depressioni di origine antropica colmate da materiale di riporto e/o cumuli di riporto vegetati e non individuabili da una semplice indagine sul terreno.
- la Cava in località Cascina Muriassi, segnalata nel Foglio Alessandria della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000.

## 5. SINTESI DEL QUADRO IDROGEOLOGICO

Nell'area dell'intervento il contesto idrogeologico naturale è caratterizzato dalla presenza di terreni superficiali con grado di permeabilità variabile da basso a medio alto, rappresentati dalla coltre detritico – colluviale (col) e dai depositi alluvionali recenti (fl3), poggianti su di un substrato costituito da litofacies torbiditiche e marnose, caratterizzate da un grado di permeabilità variabile da basso a molto basso, costituito nella porzione centrale e settentrionale dell'area dalle marne di Cessole (mC) e nella porzione meridionale, in prossimità dell'imbocco Nord della Galleria di Linea, dalla formazione di Costa Areasa. L'area è anche interessata da una diffusa presenza di terreni di riporto eterogenei, rappresentati sia da cumuli ben individuabili, sia da possibili settori di riempimento di depressioni o vecchi scavi, con spessori fino ad alcuni metri, connessi con le trasformazioni antropiche cui si accenna più avanti.

L'area in questione è occupata in parte, verso nord, dalla zona industriale di Libarna ed è stata interessata in passato da attività estrattiva, sia delle marne di Cessole che presumibilmente nei depositi alluvionali ghiaiosi terrazzati, come si può ipotizzare per la presenza di alcuni laghetti di cava in cui affiora la falda. Nel complesso la morfologia dell'area è fortemente condizionata dall'attività antropica recente e passata, e questi condizionamenti si riflettono sul modello idrogeologico della zona.

In termini generali il modello prevede una circolazione idrica nel sottosuolo all'interno dei depositi superficiali (riporto, depositi colluviali e alluvionali, ad eventualmente o localmente nella parte superiore del substrato detensionata e alterata) e delimitata verso il basso dal substrato pelitico – marnoso sano poco permeabile, alimentata dall'infiltrazione nel versante collinare posto ad ovest del tracciato e condizionata dalle trasformazioni antropiche.

La falda presente nei depositi superficiali è assimilabile ad una falda libera, delimitata verso il basso dal substrato poco permeabile.

La Figura 5-1 illustra la carta idrogeologica in corrispondenza della Linea.

E' possibile evidenziare quanto segue:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 15 di 29

- i depositi alluvionali dell'area in esame (fl3) sono permeabili per porosità; a questi terreni, considerata la loro eterogeneità, è possibile attribuire il seguente range di permeabilità:  $10E^{-5}$  m/s÷ $10E^{-9}$  m/s.
- i depositi colluviali (col) sono permeabili per porosità; a questi terreni è possibile attribuire il seguente range di permeabilità:  $10E^{-7}$  m/s÷ $10E^{-8}$  m/s.
- depositi antropici di riporto sono permeabili per porosità; a questi terreni è possibile attribuire il seguente range di permeabilità:  $10E^{-4}$  m/s÷ $10E^{-6}$  m/s.
- la formazione delle Marne di Cessole è caratterizzata da una permeabilità bassa, medio bassa con valori di K compresi nel seguente range:  $10E^{-7}$  m/s÷ $10E^{-9}$  m/s.
- la formazione delle Marne di Cessole è caratterizzata da una permeabilità medio bassa con valori di K compresi nel seguente range:  $10E^{-6}$  m/s÷ $10E^{-8}$  m/s.

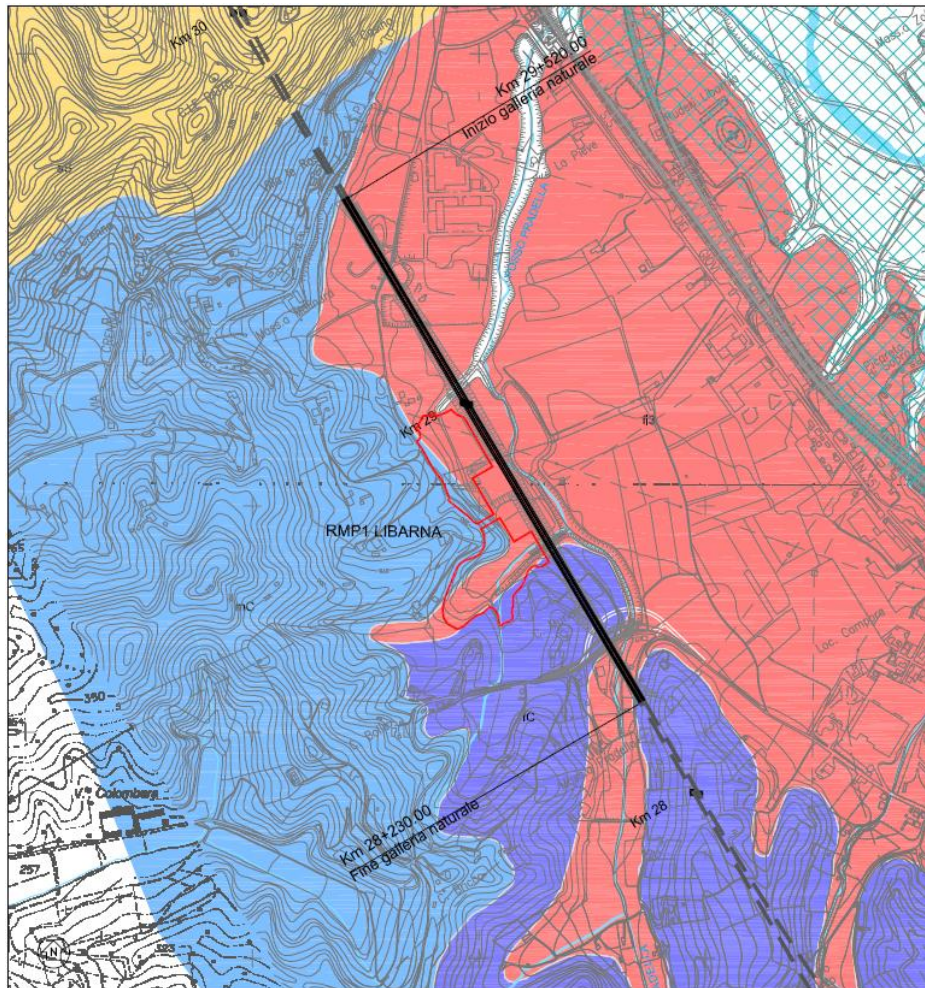
### 5.1. Livelli piezometrici di riferimento

Dall'analisi delle carte idrogeologiche si può constatare che nella parte di tracciato in esame l'azione drenante del corso d'acqua deforma le linee di flusso facendole convergere marcatamente verso il letto del Torrente Scriveria.

Dall'esame del sito emerge che la falda freatica è molto superficiale, con diffuse aree di affioramento, tra cui il laghetto di cava, e varie zone umide come per esempio al piede del versante al di sotto della Strada Provinciale della Crenna.

Le rilevazioni della soggiacenza della falda per la tratta di progetto sono state eseguite nei piezometri installati nelle campagne di indagini del PP, PD e PE.

L'analisi dei livelli piezometrici di riferimento di interesse progettuale è stata effettuata mettendo a confronto tutti i dati a disposizione, considerando sia i valori misurati con i piezometri durante le campagne di indagini in sito sia i livelli misurati durante le perforazioni di sondaggio e l'esecuzione dei pozzetti.



Depositi quaternari

**f13** Alluvioni ghiaioso - sabbiose con modesta alterazione superficiale (fluviale recente)

Successione del bacino terziario ligure-piemontese

**aS** Arenarie di Serravalle (Serravalliano)  
Arenarie medio-grossolane sovente in strati di spessore metrico, spesso con laminazione obliqua

**fC** Formazione di Costa areasa  
Alternanze regolari di marne in strati fino a metri ed arenarie in strati decimetrici

**mC** Marne di Cossolo (Langhiano)  
Marne siltose omogenee in banchi; nella parte superiore prevalgono arenarie bioturbate

Classi di permeabilità

- Classe I - II
- Classe II - III
- Classe III - IV
- Classe IV
- Classe IV - V

Classe	Descrizione qualitativa	Conducibilità idraulica (m/s)
I	alta	$> 10^{-3}$
II	alta/media	$10^{-3} - 10^{-5}$
III	media/bassa	$10^{-5} - 10^{-7}$
IV	bassa	$10^{-7} - 10^{-9}$
V	molto bassa	$< 10^{-9}$

Progetto Linea AC/AV Milano Genova

Tratto all'aperto  
(viadotto/rilevato/trincea)

Galleria naturale

Area di progetto

**Figura 5-1 Carta idrogeologica**



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 17 di 29

Dall'esame complessivo dei dati ad oggi disponibili è emerso che la falda è posta in prossimità del piano campagna, dove si rinviene a profondità comprese tra -2.0÷-4.0 m da p.c. circa.

Ai fini progettuali, il livello piezometrico di progetto è stato assunto a -2.0÷3.0 da p.c., a vantaggio di sicurezza, mentre per la definizione della falda di cantiere da utilizzare per il calcolo delle opere provvisoriale si è considerata una superficie di inviluppo della soggiacenza minima rilevata dall'insieme dei dati e collocata a -4.0÷-5.0 dal p.c, in corrispondenza circa del contatto con il substrato.

Entrambi i livelli sono riportati nei Profili Geotecnici.

## 6. CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati geognostici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze delle indagini in sito e di laboratorio realizzate nell'ambito delle campagne di indagini realizzate per il PP (2001-2002), PD (2004) e PE (Lotto 1 2012-2013) a supporto della progettazione preliminare, definitiva ed esecutiva della tratta ferroviaria in esame, allo scopo di verificare le condizioni geologico-geotecniche lungo il tracciato in progetto.

### 6.1. Prove geotecniche in sito

Nel presente documento si prendono in esame le risultanze della campagna di indagini afferente il tratto all'aperto compreso tra l'imbocco nord della galleria di III Valico e l'imbocco sud della galleria Serravalle, che si è articolata nelle seguenti attività:

- realizzazione di n.12 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, di profondità comprese tra 20 e 60 m dal piano campagna, con rilievo stratigrafico, esecuzione di prove in foro, prelievo di campioni indisturbati nei livelli coesivi e di campioni in roccia, rilievo della falda ed installazione di strumentazione di monitoraggio;

Per la documentazione tecnica relativa alle indagini realizzate nell'ambito della campagna indagini si rimanda alle relazioni tecniche a commento delle risultanze delle indagini redatte dalle ditte esecutrici.

**Tabella 6-1 Campagne indagini PP, PD e PE – Quadro riassuntivo dei sondaggi**

<b>SOND.</b>	<b>PROF. (m)</b>	<b>STRUMENTAZIONE</b>
<b>SC31</b>	40.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>XA301G033</b>	60.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>7A301G032</b>	60.00	---

<b>SOND.</b>	<b>PROF. (m)</b>	<b>STRUMENTAZIONE</b>
<b>XA301V001</b>	60.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>XA301V002</b>	40.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>XA301V020</b>	50.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>XA301V003</b>	40.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>XA301V021</b>	50.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>AA301G034</b>	50.00	Piezometro Tubo Aperto 2"
<b>7A301G035</b>	50.00	---
<b>SF09</b>	42.00	---
<b>SI40</b>	20	Piezometro Tubo Aperto 2"

## 6.2. Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici ed inviati al laboratorio geotecnico, sono state effettuate le seguenti prove ed attività:

- apertura, riconoscimento stratigrafico con scortecciatura del campione, descrizione litotipi, rappresentazione fotografia del campione;
- prove speditive di consistenza con pocket penetrometer e vane test;

Caratteristiche fisico-volumetriche:

- analisi granulometriche;
- limiti di Atterberg;
- valori di umidità naturale ( $w_n$ );
- valori di peso dell'unità di volume naturale ( $\gamma_{nat}$ );
- valori del peso specifico dei grani ( $G_s$ );

Caratteristiche di deformabilità e resistenza al taglio:

- prove di taglio diretto (TD) con determinazione dei parametri di picco;
- prova triassiale consolidata drenata (TRX-CID, tre provini per ciascuna prova);

- prova triassiale non consolidata non drenata (TRX-UU, tre provini per ciascuna prova);
- prove di compressione ad espansione laterale libera (ELL) su campioni di terreno;

Per i certificati di prova del laboratorio si rimanda ai documenti predisposti dalle ditte esecutrici.

### 6.3. Prove geofisiche

Le prove geofisiche sono consistite nell'esecuzione di sismica a rifrazione in corrispondenza dell'asse o nelle immediate vicinanze del tracciato di progetto in prossimità degli imbocchi delle gallerie. In particolare, sono state effettuate:

- n° 2 linee sismiche a rifrazione con elaborazione tomografica, linee 62 (230 m) e 63 (230 m) all'imbocco Nord della galleria di III Valico;
- n° 3 linee sismiche a rifrazione tomografiche, linee 64 (230 m), 65 (115 m) e 66 (230 m) all'imbocco Sud della galleria Serravalle;

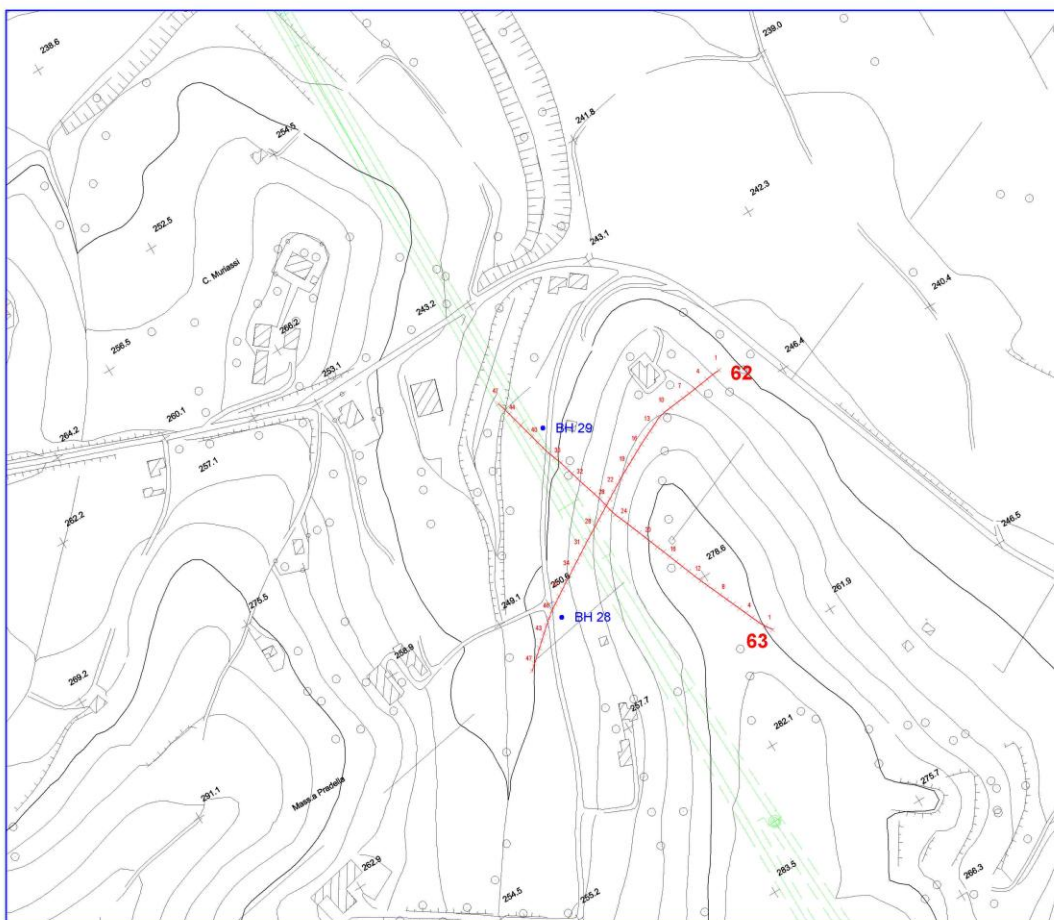
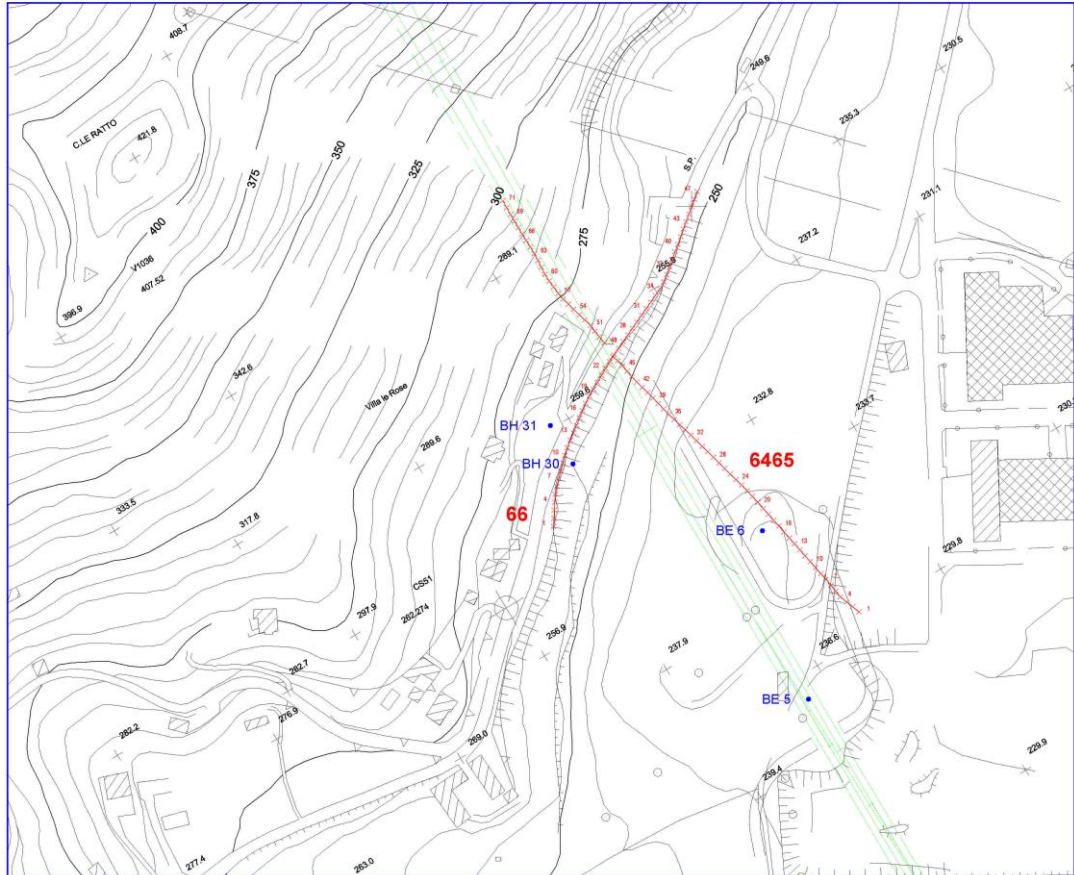


Figura 6-1 Ubicazione sismica a rifrazione imbocco Nord galleria di III Valico



**Figura 6-2 Ubicazione sismica a rifrazione imbocco Sud galleria Serravalle**

### Linea tomografica 62

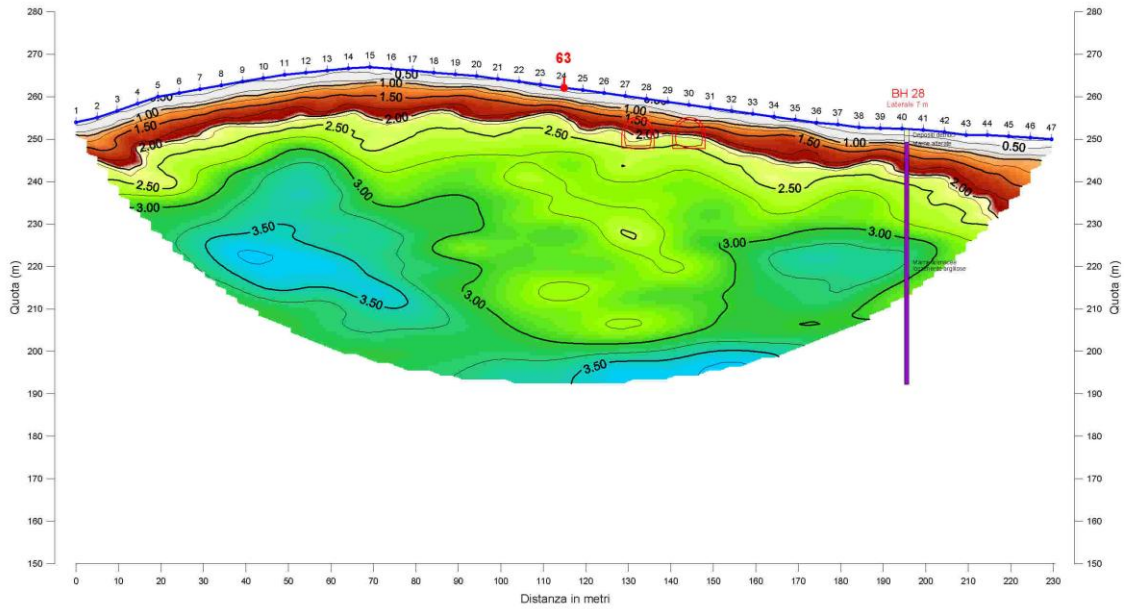


Figura 6-3 Linea tomografica 62

### Linea tomografica 63

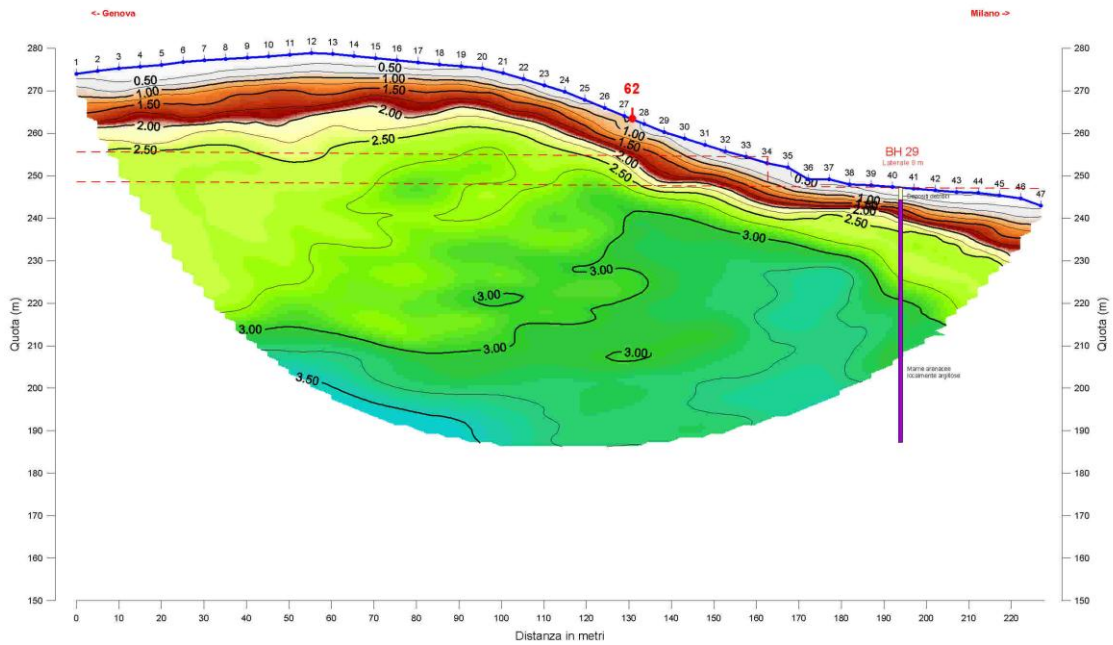
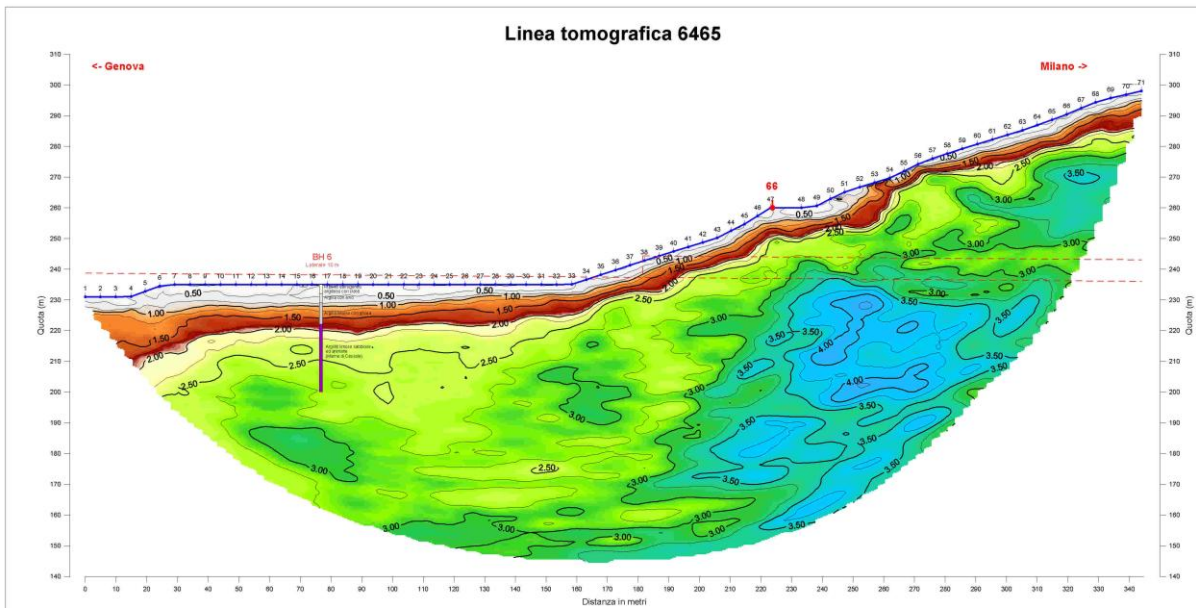
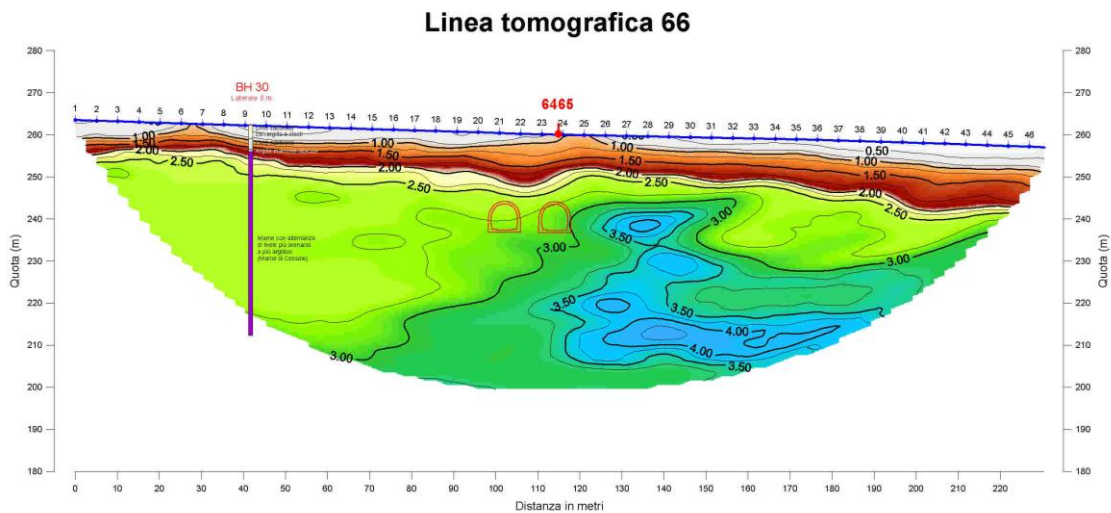


Figura 6-4 Linea tomografica 63



**Figura 6-5** Linea tomografica 64-65



**Figura 6-6** Linea tomografica 66

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 23 di 29

**Tabella 6-2 Campagna indagini - Quadro riassuntivo delle indagini geofisiche**

<b>NOME PROVA</b>	<b>TIPOLOGIA</b>	<b>LUNGHEZZA (m)</b>	<b>LOCALITÀ</b>
62	Linea sismica a rifrazione longitudinale all'asse	230	Arquata Scrivia
63	Linea sismica a rifrazione trasversale all'asse	230	Arquata Scrivia
64	Linea sismica a rifrazione	230	Serravalle Scrivia
65	Linea sismica a rifrazione	115	Serravalle Scrivia
66	Linea sismica a rifrazione	230	Serravalle Scrivia

Per i certificati di prova del laboratorio si rimanda ai documenti predisposti dalle ditte esecutrici.

## 7. UNITA' GEOTECNICHE E PROFILO GEOTECNICO

### 7.1. Unità geotecniche

Con riferimento ai risultati delle indagini geognostiche ed alle prove di laboratorio disponibili, e sulla base di quanto riportato nella relazione geologica e di caratterizzazione geotecnica allegata al progetto esecutivo, sono state individuate le unità geotecniche descritte nel seguito (Tabella 7-1).

**Tabella 7-1 Unità geotecniche e unità litotecniche corrispondenti**

<b>ID UNITA' LITOTECNICA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>ID UNITA' GEOTECNICA PD</b>	<b>ID UNITA' GEOTECNICA PE</b>
terreno vegetale e materiale di riporto (r)	Terreni vegetali e materiale di riporto antropico	UNITA' 1	r – Terreno vegetale e riporto antropico
sabbie fini limose poco addensate e limi sabbiosi (col)	Coltre detritico colluviale	UNITA' 2	c – limi sabbiosi e sabbie limose
alternanze di ghiaie e sabbie a strati limoso sabbiosi (fl3)	Alluvioni recenti – prevalenza materiale fine	UNITA' 3a	fl3_LS – Limo sabbioso
	Alluvioni recenti – prevalenza materiale grossolano	UNITA' 3b	fl3_GS – Ghiaia e sabbia
Marne di Cessole (mC)	Strato di alterazione del substrato	UNITA' 4a	mC_alt – Strato di alterazione di mC

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica
	Foglio 24 di 29

ID UNITA' LITOTECNICA	DESCRIZIONE	ID UNITA' GEOTECNICA PD	ID UNITA' GEOTECNICA PE
	Formazione di base	UNITA' 4b	mC – Marne di Cessole
Formazione di Costa Areaa (fC)	Strato di alterazione del substrato	UNITA' 5a	fC_alt – Strato di alterazione di fC
	Formazione di base	UNITA' 5b	fC – Formazione di Costa Areaa

Di seguito è riportata la descrizione completa di ciascuna unità geotecnica.

- **UNITÀ r:** terreni vegetali e materiale di riporto antropico; unità geotecnica prevalentemente incoerente.
- **UNITÀ c:** coltre detritico colluviale; unità geotecnica prevalentemente incoerente.
- **UNITÀ f13\_LS:** terreni costituiti prevalentemente da limi sabbiosi; unità geotecnica prevalentemente coesiva.
- **UNITÀ f13\_GS:** terreni costituiti prevalentemente da ghiaie e sabbie; unità geotecnica prevalentemente incoerente.
- **UNITÀ mC:** substrato roccioso Marne di Cessole;
- **UNITÀ mC\_alt:** strato di alterazione del substrato roccioso delle Marne di Cessole; unità geotecnica prevalentemente coesiva.
- **UNITÀ fC:** substrato roccioso Formazione di Costa Areaa;
- **UNITÀ fC\_alt:** strato di alterazione del substrato roccioso della Formazione di Costa Areaa; unità geotecnica prevalentemente coesiva.

Per una rappresentazione più dettagliata ed una corretta interpretazione della stratigrafia lungo il tracciato in progetto si rimanda al profilo geotecnico descritto nel seguente paragrafo, visibile nelle tavole redatte a corredo della presente relazione e codificate in calce al capitolo 1.

## 7.1. Profilo geotecnico longitudinale

Il profilo geotecnico longitudinale, realizzato a partire dal profilo geologico-tecnico attraverso l'interpolazione delle indagini geognostiche disponibili, sintetizza le informazioni di carattere stratigrafico e geotecnico relative ai terreni e alle rocce presenti mediamente nei primi 50 metri di profondità dal piano campagna. Sono state aggiunte le informazioni geotecniche disponibili, indicando per ciascun sondaggio la profondità della base di ogni unità geotecnica incontrata lungo la verticale (misurata da testa sondaggio), nonché il livello piezometrico di riferimento estrapolato dai dati disponibili e quello della falda di progetto e di cantiere.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica</p> <p>Foglio 25 di 29</p>

Dall'esame del profilo geotecnico emerge che lungo il tracciato il substrato di base è sempre presente a profondità dal piano campagna comprese tra -4.0 e -5.0 m. Esso costituisce il limite delle conoscenze geologico-geotecniche del volume di interesse per il progetto in esame.

La formazione di base è costituita dalle Marne di Cessole, ad eccezione dei primi 40 m circa della WBS RI11 in cui alle profondità suddette si rinviene la Formazione di Costa Aresca.

La sequenza stratigrafica è sempre caratterizzata dalla presenza dell'unità fl3 delle alluvioni recenti che giace immediatamente al di sopra dello strato di alterazione del substrato roccioso, con spessori variabili tra 3.0 e 4.0 m circa. L'unità fl3 è sormontata fino a piano campagna da circa 1.0 m di terreno di riporto dell'unità r.

Sulla base dei dati disponibili, la situazione stratigrafica del sito può essere così schematizzata:

- a partire da p.c. si incontra uno strato superficiale di materiale di riporto di spessore pari a circa a 1.0 m;
- al di sotto del riporto, si incontra uno strato di spessore pari a circa 3.0-4.0 m costituito principalmente da limo sabbioso, appartenente alla formazione fl3\_LS;
- al di sotto della formazione fl3\_LS è presente lo strato di alterazione delle marne di Cessole di spessore compreso tra 3.0 e 4.0 m (formazione mC\_alt);
- segue, fino alla massima profondità indagate, la formazione delle Marne di Cessole (formazione mC) costituita da alternanze di marne siltose con intercalazioni di siltiti e arenarie fini.

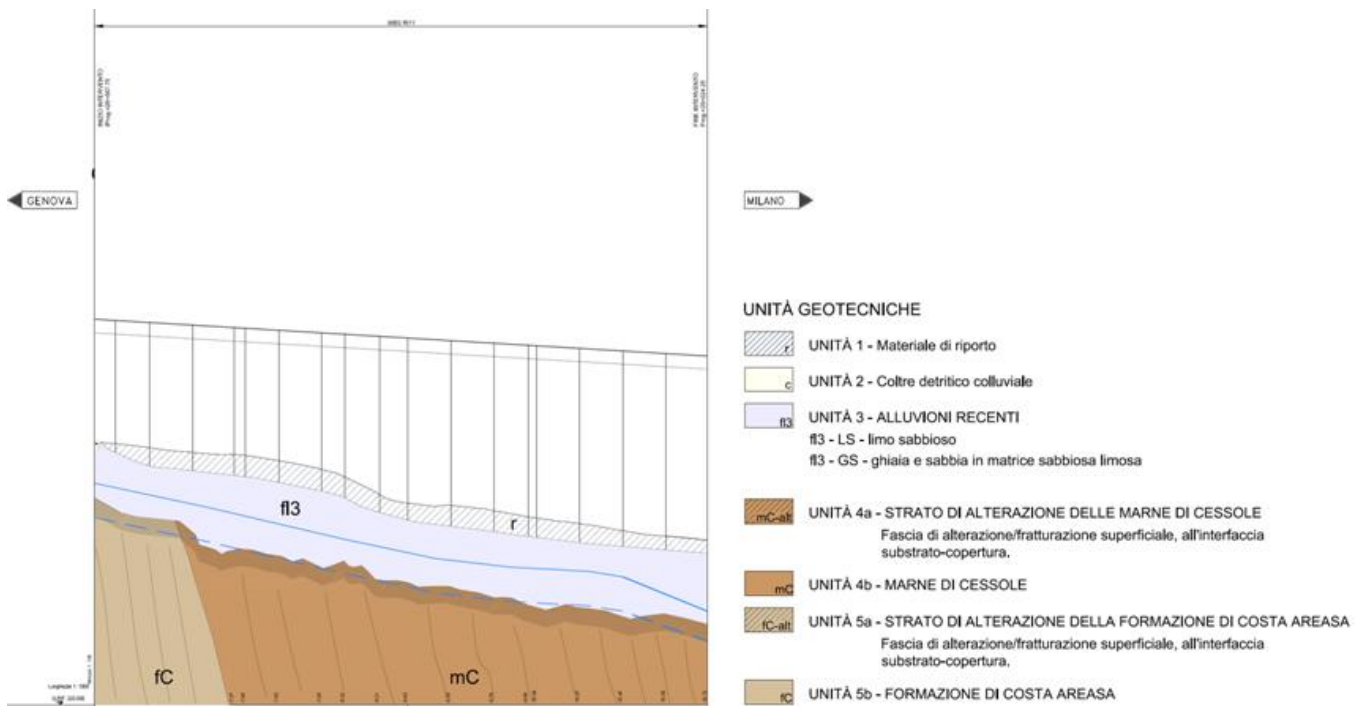


Figura 7-1 Profilo geologico RI11

## 8. SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA TRATTA

La caratterizzazione geotecnica/geomeccanica delle varie unità geotecniche interessate dal tracciato è basata sui risultati delle indagini sito e sulle prove di laboratorio, in base a quanto riportato nella "Relazione di caratterizzazione geotecnica della tratta all'aperto" [33], cui si rimanda per i dettagli relativi ai criteri utilizzati, alle elaborazioni effettuate e alla definizione dei *range* di parametri da assumere in sede di progettazione esecutiva delle opere.

Laddove i dati disponibili non siano risultati esaustivi ai fini della definizione dei range dei parametri, la stima si è riferita alla bibliografia tecnica disponibile e/o a dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi.

La tabella seguente sintetizza i valori di riferimento per le unità geotecniche interessate dalla tratta all'aperto tra le due gallerie.

**Tabella 8-1 Sintesi dei parametri geotecnici della tratta all'aperto**

r – Terreno vegetale e riporto antropico						
		$\gamma$	$c'$	$\phi$	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
1	r	18÷19	0	26÷30	-	-
c – Coltre detritico colluviale						
		$\gamma$	$c'$	$\phi$	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
2	c	18÷20	0÷10	25÷27	20÷30	10 <sup>-4</sup> ÷10 <sup>-6</sup>
fl3 – Depositi alluvionali recenti						
		$\gamma$	$c'$	$\phi$	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
3	fl3	19÷20	0÷30	25÷33	20÷60	10 <sup>-3</sup> ÷10 <sup>-6</sup>
mC – Marne di Cessole						
		$\gamma$	$c'$	$\phi$	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
4a	mC_alt	21÷22	20÷40	21÷23	50÷130	10 <sup>-6</sup> ÷10 <sup>-7</sup>
4b	mC	21÷22	30÷50	23÷25	250÷800	10 <sup>-8</sup> ÷10 <sup>-9</sup>
fC – Formazione di Costa Areasa						
		$\gamma$	$c'$	$\phi$	E	k
Unità	Descrizione	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kPa]	[°]	[MPa]	[m/s]
5a	fC_alt	21÷22	10÷30	21÷23	40÷130	10 <sup>-7</sup> ÷10 <sup>-8</sup>
5b	fC	21÷22	20÷40	23÷25	150÷450	10 <sup>-7</sup> ÷10 <sup>-8</sup>

## 9. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Per ciascuna unità geotecnica interessata dalla WBS RI11, nella tabella seguente sono riportati i parametri geotecnici di calcolo individuati nei *range* di riferimento del capitolo precedente:

*Parametri in condizioni drenate:*

$\gamma$                     Peso di volume naturale;

$\phi'$                     Angolo di attrito;

$c'$                     Coesione efficace;

$E'_0$                   Modulo elastico a piccole deformazioni;

$E'_{op}^{(1)}$               Modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno nel caso di opere di sostegno e fondazioni, pari a 1/3÷1/5 $E'_0$ ;

$E'_{op}^{(2)}$               Modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno nel caso di opere di fondazione flessibile (rilevati) pari a 1/5÷1/10 $E'_0$ ;

*Parametri in condizioni non drenate:*

$c_u$  Resistenza non drenata caratteristica;

$E_u$  Modulo elastico non drenato a breve termine per materiali coesivi;

UNITÀ	Parametri condizioni drenate						Parametri condizioni non drenate	
	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$E'_0$ [MPa]	$E'_{op}^{(1)}$ [MPa]	$E'_{op}^{(2)}$ [MPa]	$c_u$ [kPa]	$E_u$ [MPa]
<b>r</b>	19.0	0	26.0	---	---	---	---	---
<b>fl3_LS</b>	19.0	0	28.0	200	40	20	100	40
<b>mC_alt</b>	21	20	21.0	500	100	50	---	---
<b>mC</b>	21	30	23.0	2500	500	250	---	---

Per quanto riguarda la componente fine dell'unità fl3, nota la  $c_u$  da [33] ed il valore OCR dalla correlazione di Koutsoftas & Ladd (1985):

$$c_u = (0.22 \text{ OCR}^{0.8}) \sigma'_{vo}$$

il modulo di Young non drenato  $E_u$  è stato valutato attraverso l'abaco di Duncan & Buchigani (1976), riportato nella figura seguente.

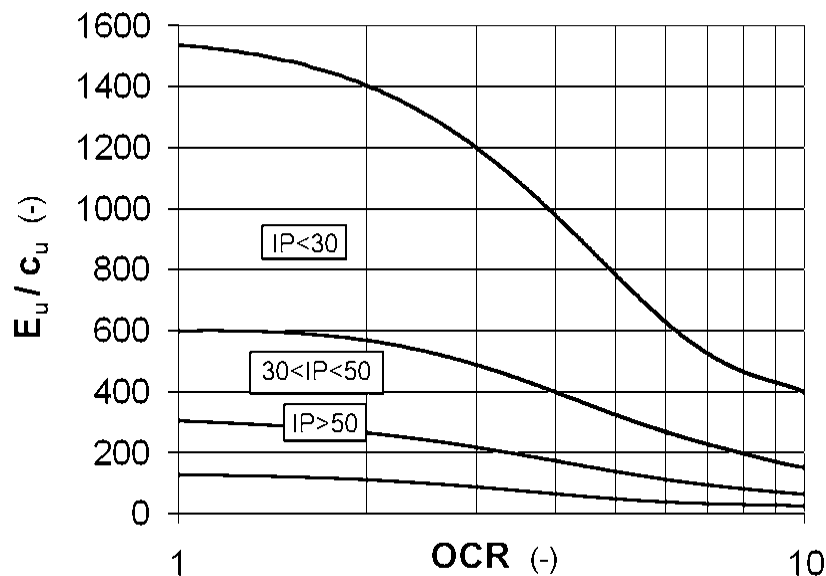


Figura 9-1 Abaco di Duncan e Buchigani (1976)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RB-RI11-00-001_B00 Relazione geotecnica <table border="1" data-bbox="1420 224 1532 293"> <tr> <td>Foglio 29 di 29</td> </tr> </table>	Foglio 29 di 29
Foglio 29 di 29		

In funzione dell'indice di plasticità IP e del grado di sovraconsolidazione OCR, si è assunto un rapporto  $E_u/c_u \approx 400$ .

Per quanto riguarda la valutazione dei parametri di consolidazione:

$c_v$  coefficiente di consolidazione primaria per materiali coesivi;

$\alpha$  coefficiente di consolidazione secondaria per materiali coesivi;

in mancanza di prove edometriche, per l'unità f13\_LS si è fatto ricorso alle correlazioni fornite da manuale NAVFAC-DM 7.1. (1971) per la valutazione di  $c_v$  in funzione del limite liquido ( $w_L \approx 40\%$ ) mediante l'espressione:

$$c_v = 0.009 (LL - 0.1) \quad [\text{cm}^2/\text{s}]$$

da cui:

UNITÀ	$c_v$ [cm <sup>2</sup> /sec]
f13_LS	2.7E-03