

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 36+585.21 A PK 37+395.19**

**Geotecnica**

**Relazione geotecnica**

|  |                      |
|--|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR                               | DIRETTORE DEI LAVORI |
| Consorzio<br><b>Cociv</b><br>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 3 0 0      | 0 0 1  | A    |

Progettazione :

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

|           |  |
|-----------|--|
| n. Elab.: | File: IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001-A00.DOCX |
|-----------|--|

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RB-R113-00-001\_A00  
Relazione geotecnica

Foglio  
2 di 23

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>3 di 23  |

## INDICE

|   |  |    |
|---|--|----|
| INDICE.....   |  | 3  |
| 1.     PREMESSA .....   |  | 5  |
| 2.     SCOPO DEL DOCUMENTO.....   |  | 5  |
| 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.   Argille di Lugagnano (aL).....   |  | 10 |
| 4.2.   Depositi alluvionali .....   |  | 12 |
| 4.2.1. Depositi alluvionali recenti (fl3) .....                                 |  | 12 |
| 4.2.2. Depositi alluvionali medi (fl2) .....                                    |  | 12 |
| 4.3.   Stratigrafia nell'area di progetto.....                                  |  | 13 |
| 4.4.   Geomorfologia nell'area di progetto .....                                |  | 13 |
| 5.     SINTESI DEL QUADRO IDROGEOLOGICO.....                                    |  | 13 |
| 5.1.   Livelli piezometrici di riferimento.....                                 |  | 14 |
| 6.     CAMPAGNE DI INDAGINI GEOGNOSTICHE .....                                  |  | 15 |
| 6.1.   Prove geotecniche in sito.....   |  | 15 |
| 6.2.   Prove geotecniche di laboratorio .....                                   |  | 16 |
| 7.     UNITA' GEOTECNICHE E PROFILO GEOTECNICO .....                            |  | 16 |
| 7.1.   Unità geotecniche .....  |  | 16 |
| 7.1.   Profilo geotecnico longitudinale.....                                    |  | 18 |
| 8.     SINTESI DELLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLA TRATTA.....             |  | 19 |
| 9.     PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....                                    |  | 20 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RB-R113-00-001\_A00  
Relazione geotecnica

Foglio  
4 di 23

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>            |
|   | <p>IG51-02-E-CV-RB-R113-00-001_A00<br/>Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>5 di 23</p> |

## 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 R113 tra le progressive pk 36+585.21 e pk 37+395.19, in corrispondenza del tratto all'aperto in uscita dall'imbocco nord in artificiale della galleria Serravalle (WBS GA1L) fino al cavalcaferrovia della SP153 (WBS IV13).

Il tracciato di progetto presenta un'estensione complessiva di circa 0+810 km, sviluppandosi nel comune di Novi Ligure, in provincia di Alessandria.

La ferrovia prevede la realizzazione di due binari, posti ad interasse variabile da un massimo di 9.9 m ad un minimo di 4.50 m.

Il rilevato R113 è caratterizzato da un'altezza media di circa 3.0 m dal piano campagna, con scarpate inclinate 2 (verticale) : 3 (orizzontale).

Sul lato est, tra le pk 36+600 e pk 36+689.65 trova ubicazione la Piazzola di Sicurezza dell'imbocco Nord della galleria Serravalle.

Alle pk 36+708.824 e pk 36+903.888 sono previsti due sottoattraversamenti idraulici: un tombino scatolare 4.0 m x 3.0 m (WBS IN14) ed un tombino scatolare 2.0 m x 2.0 m.

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.

## 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:

|   |   |
|---|---|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br>        |
|   | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica <span style="float: right;">Foglio<br/>6 di 23</span> |

- 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”.
- [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”.

|   |  |
|---|--|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>            |
|   | <p>IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br/>Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>7 di 23</p> |

- [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.
- [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).

|   |   |
|---|---|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br>        |
|   | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica <span style="float: right;">Foglio<br/>8 di 23</span> |

- [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.

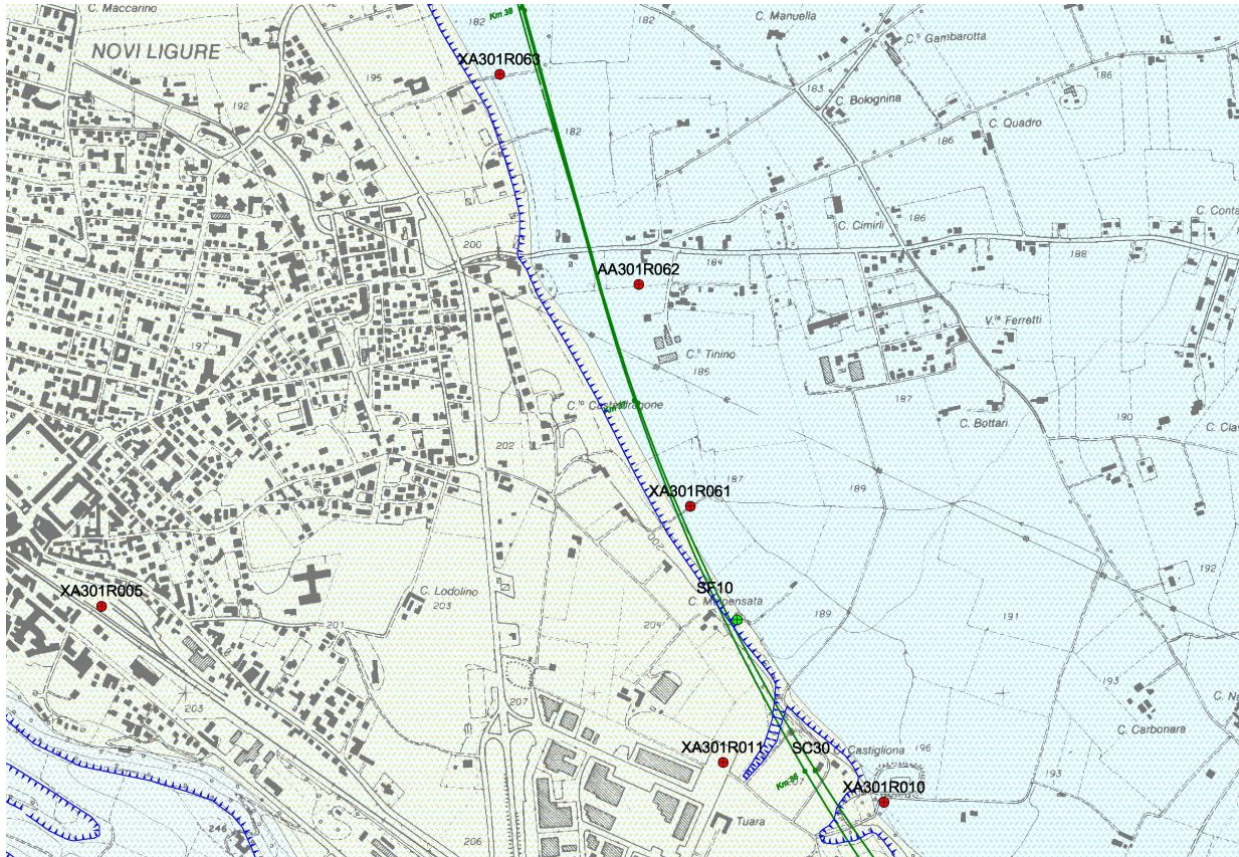
### 3.3. Documenti di riferimento

- |  |                         |
|--|-------------------------|
| [33] Relazione geotecnica delle tratte all'aperto        | IG5102ECVRBGE0001001A00 |
| [34] Relazione sismica delle tratte all'aperto           | IG5102ECVRHGE0001001A00 |
| [35] Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica | IG5102ECVRORI1300001A00 |
| [36] Carta geologica e geomorfologica                    | IG5102ECVG7RI1300001A00 |
| [37] Carta idrogeologica e dei punti d'acqua             | IG5102ECVG7RI1300002A00 |
| [38] Profilo geotecnico                                  | IG5102ECVF7RI1300001A00 |
| [39] Profilo sezioni geotecniche                         | IG5102ECVWARI1300001A00 |



## 4. CENNI DI GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA







Il tracciato della linea ferroviaria si sviluppa nel comune di Novi Ligure, nella piana alluvionale in sponda sinistra del Torrente Scrivia.



La

### LEGENDA CARTA DEGLI AFFIORAMENTI E CARTA GEOLOGICA

#### DEPOSITI QUATERNARI

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

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>10 di 23   |

## SUCCESSIONI SEDIMENTARIE EPISUTURALI POST - FASE MESOALPINA

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



ARGILLE DI LUGAGNANO (aL) (Pliocene)  
 Marna argillose grigie, omogenee, passanti verso il basso a sabbie in strati medi e spessi di colore giallastro. Depositi di piattaforma.

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

Gli elementi di spicco del paesaggio sono costituiti dai terrazzamenti alluvionali del settore di pianura adiacente ai rilievi appenninici, costituiti da potenti successioni che, nell'area compresa tra Novi Ligure e Tortona, presentano una granulometria scarsamente differenziata con netta prevalenza di elementi clastici grossolani.

I depositi alluvionali presenti nell'area di progetto sono correlati all'azione di erosione, trasporto e sedimentazione del T. Scrivia, che ne ha condizionato la deposizione su diversi ordini di terrazzi; nel settore a ridosso dei rilievi, sul versante sinistro della Valle Scrivia (settore a N di Arquata Scrivia) i depositi alluvionali poggiano in discordanza sulle successioni sedimentarie Plio-Pleistoceniche.

I depositi alluvionali sono prevalentemente distribuiti in sinistra orografica Scrivia e occupano con continuità il fondovalle nel tratto compreso tra Rigoroso e Novi Ligure; a nord di Novi Ligure i depositi alluvionali formano un corpo corrispondente al conoide alluvionale più recente.

I terrazzi più antichi, indicati nella cartografia geologica con fl1, sono localizzati a sud di Novi, a quote intorno ai 250 m. Essi sono solcati da un reticolo idrografico a pattern sub-parallelo, orientato a NW secondo la linea di massima pendenza della superficie topografica. L'elevata densità del drenaggio e le forme particolarmente incise sono in accordo con la presenza in superficie di terreni impermeabili dovuti a una pedogenesi diffusa.

La serie di terrazzi di quota 210 m sui quali sorge l'abitato di Novi Ligure è attribuita ad un "fluviale medio" (fl2). Anche questi terrazzi sono caratterizzati da una superficie topografica che digrada verso NW fino ad arrivare intorno ai 180 m di quota a W di Novi. Questa superficie è attraversata da un esiguo numero di impluvi, a testimonianza di una maggiore permeabilità verosimilmente correlabile a una pedogenesi meno sviluppata rispetto ai terreni fl1.

I depositi alluvionali più recenti, indicati con fl3, occupano tutta l'area posta a ridosso del T. Scrivia compresa tra l'imbocco nord della galleria di Serravalle e Tortona. Sono pressoché privi di una rete idrica superficiale in quanto la maggior parte dell'acqua di precipitazione e ruscellamento superficiale si infila immediatamente, andando ad alimentare l'acquifero.

L'area indagata si trova a una quota compresa tra 185 m e 190 m, in un settore di pianura appena a valle di una scarpata fluviale, ubicata ad Ovest del tracciato dell'opera (Figura 4-1). La scarpata separa la superficie di terrazzo dalla piana alluvionale inferiore con un dislivello di circa 13÷15 m. In questo settore la scarpata ha una direzione media NNW e una pendenza attorno al 15%. A monte della scarpata le superfici sono sostanzialmente pianeggianti in prossimità dell'opera e debolmente pendenti verso NNW a valle.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>11 di 23   |

Dal punto di vista litostratigrafico, lungo il tracciato in esame, al di sotto di una sottile coltre di terreno agricolo o colluviale, ad Ovest della scarpata sub-affiorano i terreni appartenenti ai depositi alluvionali riferibili al Fluviale Medio (f12; depositi ubicati sul terrazzo fluviale), mentre ad Est sub-affiorano i terreni riferibili al Fluviale Recente (f13; depositi ubicati nell'attuale piana alluvionale dello Scrivia). Il substrato è rappresentato dalle argille di Lugagnano, costituite da silt argillosi grigio-azzurri con locali intercalazioni sabbiose e arenitiche fini. Nella porzione superiore al passaggio con i depositi fluviali le argille presentano frequentemente un livello di alterazione limoso color ocra.

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

| Sigla | Unità                        | Descrizione   |
|-------|------------------------------|---|
| f12   | Depositi alluvionali medi    | Ghiaie e sabbie in matrice sabbioso limosa con coltre di alterazione superficiale di spessore fino a 4÷5 m                                |
| f13   | Depositi alluvionali recenti | Ghiaie e sabbie in matrice sabbioso limosa con modesta alterazione superficiale   |
| aL    | Argille di Lugagnano         | Marne argillose grigie, omogenee, passanti verso il basso a sabbie in strati medi e spessi di colore giallastro. Depositi di piattaforma. |

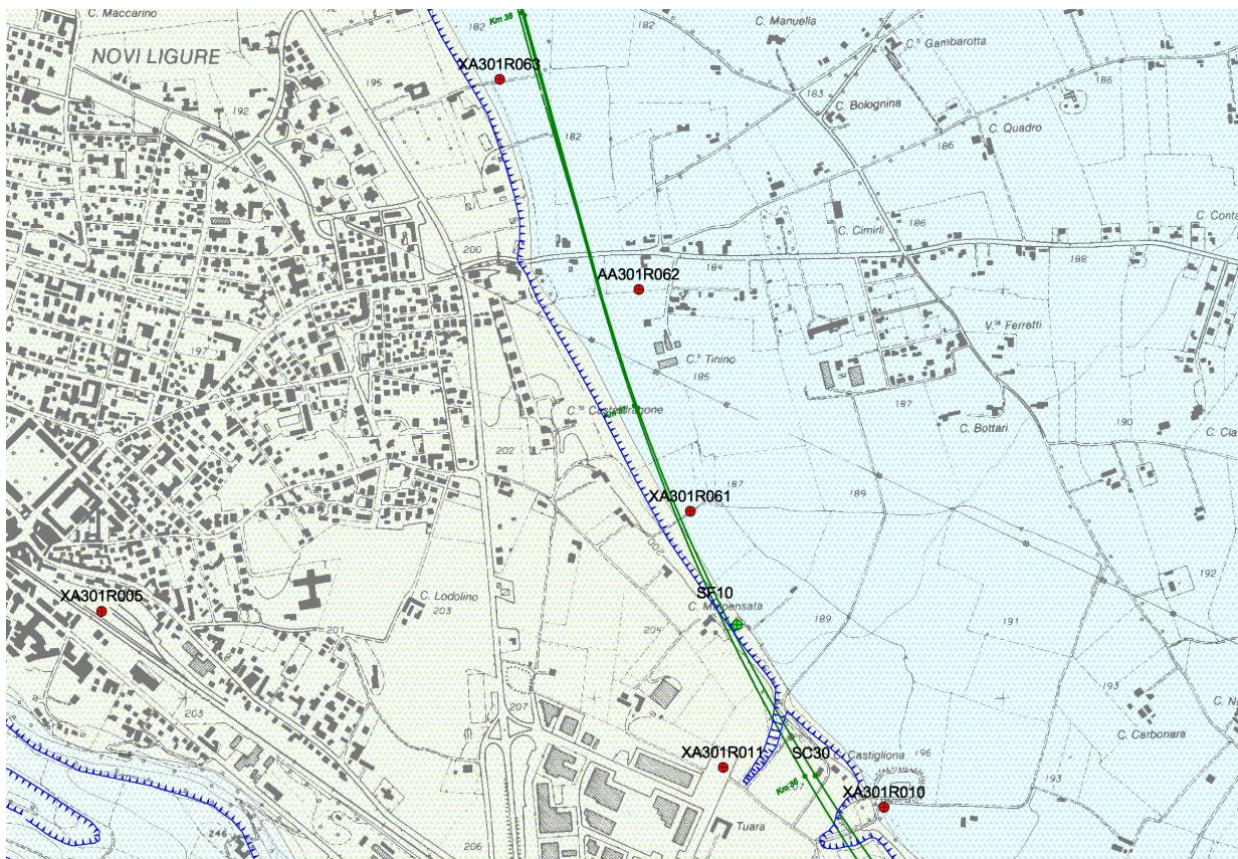
#### 4.1. Argille di Lugagnano (aL)

La formazione delle Argille di Lugagnano o Argille Azzurre rappresenta il termine basale della successione pliocenica e raggiunge uno spessore massimo di circa 250 m. L'unità è costituita da marne e marne calcaree di colore beige o grigio-azzurro, con stratificazione mal definita, localmente sottolineata da livelli con maggior contenuto in sostanza organica. Si mostrano localmente bioturbate e contengono resti di bivalvi, gasteropodi, echinidi, pteropodi, associazioni a foraminiferi planctonici e bentonici ed abbondanti frustoli vegetali. Nella porzione inferiore si rinvengono arenarie e conglomerati, che costituiscono corpi lenticolari, potenti fino a qualche metro. All'incirca i due terzi superiori della successione sono costituiti da marne siltose e siltiti e i sedimenti più prossimi al limite superiore mostrano un netto aumento della frazione terrigena e una concomitante diminuzione nell'abbondanza del contenuto fossilifero.

I depositi marnosi, che costituiscono circa un terzo della formazione a partire dalla sua base, sono riferibili a un ambiente bacinale profondo mentre i depositi marnoso-siltosi, che costituiscono i due terzi superiori della formazione sono attribuibili a un ambiente di scarpata, fino al limite con la piattaforma esterna.







Sulla base della associazioni a foraminiferi planctonici le Argille Azzurre sono riferibili allo Zancleano (Pliocene inferiore).

A nord dell'allineamento Serravalle Scrivia-Zerbe e fino a Novi Ligure, le argille affiorano in maniera discontinua poiché sono estesamente ricoperte dai sedimenti alluvionali recenti.



### LEGENDA CARTA DEGLI AFFIORAMENTI E CARTA GEOLOGICA

#### DEPOSITI QUATERNARI

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

#### SUCCESSIONI SEDIMENTARIE EPISUTURALI POST - FASE MESOALPINA

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


- |   |   |
|---|---|
|  | ARGILLE DI LUGAGNANO (aL) (Pliocene)<br>Marne argillose grigie, omogenee, passanti verso il basso a sabbie in strati medi e spessi di colore giallastro. Depositi di piattaforma. |
|---|---|

Figura 4-1 Carta geologica

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>13 di 23   |

## 4.2. Depositi alluvionali

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.

Dal punto di vista litostratigrafico i depositi alluvionali terrazzati presentano una certa omogeneità: si tratta di depositi prevalentemente ghiaiosi, a tessitura massiva o scarsamente stratificata, in cui si rinvengono rare intercalazioni lenticolari e di modesto spessore, costituite da sabbie limose e limoso-argillose.

La stratigrafia dei sedimenti alluvionali ascrivibili al fluviale medio fl2 e al fluviale fl3 recente è nota sulla base dei sondaggi eseguiti nell'ambito della progettazione definitiva del tracciato, che evidenziano una successione di orizzonti differenziabili in relazione al diverso rapporto percentuale tra ghiaie, sabbie, limi e argille.

Nell'ambito del "fluviale medio" (fl2) si evidenzia in generale una maggiore percentuale di frazione fine limosa (come matrice) rispetto ai depositi fl3, che costituiscono i depositi più recenti; tale percentuale può in alcuni casi superare il 30%.

### 4.2.1. Depositi alluvionali recenti (fl3)

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

La litofacies è distribuita su gran parte dell'area di pianura interessata dal tracciato del III Valico. Nel tratto meridionale, a ridosso dell'imbocco nord della Galleria di Serravalle, si evidenziano modesti spessori (circa 4 m) di ghiaie sabbioso-limose che ricoprono la formazione delle Argille Azzurre. Verso nord, in corrispondenza della progressiva 37+500 ca., si osserva un rapido incremento dello spessore dei sedimenti, che passa da 3-4 m a oltre 30 m; tale spessore aumenta ulteriormente verso nord.

### 4.2.2. Depositi alluvionali medi (fl2)

Il fluviale medio fl2 comprende terreni a granulometria grossolana con contenuto in ghiaia prevalente (circa il 50%, localmente inferiore) sulle sabbie (20-30%) e sulle parti fini che raggiungono percentuali comunque significative (20-30%).

Questi sedimenti che si differenziano dai precedenti anche per la maggiore alterazione dei clasti, con conseguente riduzione della tessitura, affiorano estesamente in corrispondenza del terrazzo di Novi Ligure. Lo spessore della coltre di alterazione superficiale non supera in genere i 5-6 m.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>14 di 23   |

### 4.3. Stratigrafia nell'area di progetto

Con riferimento alla WBS in oggetto, la zona di terrazzo alluvionale del Fluviale Recente fl3 ricopre il substrato locale rappresentato dalla formazione delle Argille di Lugagnano della successione dei basini sin-orogenetici post-messiniani.

### 4.4. Geomorfologia nell'area di progetto

L'area indagata si trova a una quota compresa tra 185 m e 190 m, in un settore di pianura appena a valle di una scarpata fluviale, ubicata ad Ovest del tracciato dell'opera. La scarpata separa la superficie di terrazzo dalla piana alluvionale inferiore con un dislivello di 13-15 m. In questo settore la scarpata ha una direzione media NNW e una pendenza attorno al 15%. A monte della scarpata le superfici sono sostanzialmente pianeggianti in prossimità dell'opera e debolmente pendenti verso NNW a valle.

L'unico corso d'acqua presente in questo settore è rappresentato dal rio che passa in prossimità della Cascina Barbellotta e che corre parallelamente alla linea ferroviaria esistente in direzione Novi Ligure (direzione NW-SE). Sono anche presenti alcuni canali che corrono lungo la base della scarpata e trasversalmente ad essa; tuttavia, questi sono attivi solo in corrispondenza di periodi pioggia prolungata o intensa, mentre rimangono prevalentemente secchi per la maggior parte dell'anno.

L'opera definitiva prevede la realizzazione di due tombini scatolari che attraverseranno il rilevato e che permetteranno la regimazione delle acque superficiali convogliando le acque verso la base della scarpata.

Dalla consultazione del catalogo IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi italiani) e dei documenti del PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico), non emergono particolari situazioni di instabilità relative all'area d'indagine, né vincoli legati all'andamento delle fasce di rispetto fluviali.

## 5. SINTESI DEL QUADRO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico, il settore in cui ricade la WBS è caratterizzato dalla presenza di un acquifero superficiale a falda libera costituito da depositi alluvionali di pianura. Il substrato impermeabile o molto poco permeabile è invece costituito dalle Argille di Lugagnano. I depositi sui quali sarà costruito il rilevato ferroviario sono quelli riferibili al Fluviale Recente (fl3).

Nel sondaggio XA301R062, la caratterizzazione della permeabilità delle Argille di Lugagnano tramite test in foro ha definito permeabilità molto basse dell'ordine  $5 \times 10^{-10} - 1 \times 10^{-9}$  m/s.

Nella zona in cui ricade la WBS RI13 non è disponibile alcuna prova idraulica che fornisca un riscontro diretto sulla permeabilità della falda ospitata nei depositi fl3. E' tuttavia possibile fare riferimento alle prove in foro effettuate nei depositi fl3 in altri settori di pianura. Tali prove, eseguite in settori che hanno distanze anche di qualche chilometro rispetto alla zona di studio, definiscono un intervallo piuttosto ampio di valori, compresi tra  $1 \times 10^{-6}$  e  $1 \times 10^{-3}$  m/s; probabilmente, una delle prove più rappresentative è costituita da quella effettuata nel sondaggio XA301R010 (uno dei più prossimi

|   |  |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |
|   | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|   | Foglio<br>15 di 23   |

al settore di intervento), in cui la permeabilità è di  $5 \times 10^{-6}$  m/s. Ulteriori indicazioni sulle permeabilità di tali depositi derivano dai test di pompaggio a lunga durata eseguiti qualche km più a Nord nell'ambito del Progetto Definitivo, i quali definiscono permeabilità comprese tra  $2 \times 10^{-4}$  e  $3 \times 10^{-6}$  m/s.

I depositi del Fluviale Medio fl2 hanno una permeabilità variabile da settore a settore, comunque generalmente medio-bassa e localmente medio-elevata (in genere comunque minore rispetto a quella dei depositi fl3). Il dato di riferimento sulla loro permeabilità è desumibile dal sondaggio XA301R011, che è quello più vicino sul quale sia stata effettuata una prova idraulica. Il risultato di tale prova indica una permeabilità di  $1.3 \times 10^{-7}$  m/s.

Le Argille di Lugagnano presentano invece permeabilità dell'ordine di  $1 \times 10^{-8}$  –  $1 \times 10^{-9}$  m/s.

Si evidenzia infine la presenza di numerosi pozzi presenti nelle vicinanze della WBS RI13, principalmente sul lato Ovest.

### 5.1. Livelli piezometrici di riferimento

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.

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 -1.0÷-3.0 m da p.c.

Data la scarsità di dati di monitoraggio piezometrico disponibili, nelle diverse tratte dell'opera è stato possibile definire solamente la seguente soggiacenza media della falda rispetto al piano campagna:

- da pk 36+585.21 a 36+700.00: tra 0.5 m e 3 m;
- da pk 36+700.00 a 36+900.00: tra 2.5 m e 3 m;
- da pk 36+900.00 a 37+395.19: tra 2.0 e 2.5 m.

L'unico dato di monitoraggio che permetta una stima delle oscillazioni del livello di falda durante il ciclo stagionale è quello relativo al piezometro XA301R061, ubicato nella prima tratta tra quelle sopra riportate, e che riporta una fluttuazione massima dell'ordine di 2.0 m tra il livello minimo e massimo.

Ai fini progettuali, come livello piezometrico di progetto si è assunto il limite inferiore degli intervalli di soggiacenza precedentemente definiti in ciascuna tratta; la falda di cantiere, da utilizzare per il calcolo delle opere provvisoriale, è stata assunta invece al limite superiore.

Entrambi i livelli sono riportati nei Profili Geotecnici.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>16 di 23   |

## 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 in uscita dall'imbocco nord della galleria Serravalle fino al cavalcaferrovia SP 153, che si è articolata nelle seguenti attività:

- realizzazione di n.2 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (XA301R061 e XA301R062), di profondità comprese tra 30 e 40 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;

Oltre a questi due sondaggi sono state anche consultate le stratigrafie dei sondaggi SF10 (ubicato più a Sud nel settore dell'Imbocco Nord della Galleria Serravalle) e di XA301R063 (ubicato più a Nord in corrispondenza della WBS RI14); questo confronto con sondaggi ubicati anche in zone più distali consente di avere una visione più dettagliata del quadro geologico particolare attorno al settore della WBS oggetto della presente relazione

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.<br/>(m)</b> | <b>STRUMENTAZIONE</b>     | <b>PROVE IN FORO n.° (m)</b>                     | <b>PROVA<br/>PRESSIOMETRICA<br/>n° (m)</b> |
|------------------|----------------------|---------------------------|--|--|
| <b>XA301R061</b> | 30.0                 | Piezometro Tubo Aperto 2" | n. 2 Prova Lefranc<br>(8.0-9.0)<br>(12.0-13.5)   | ---  |
| <b>XA301R062</b> | 40.00                | ---                       | n. 2 Prove Lefranc<br>(9.50-11.0)<br>(24.0-25.0) | n. 2<br>(14.20)<br>(23.00)                 |
| <b>XA301R063</b> | 30.00                | ---                       | n.1 Prova Lefranc<br>(5.50-6.50)                 | ---  |
| <b>SF10</b>      | 25.00                | ---                       | n. 1 Prova Lugeon<br>(14.0-20.0)                 | n. 1<br>(22.0 m)                           |



|   |   |
|---|---|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>             |
|   | <p>IG51-02-E-CV-RB-R113-00-001_A00<br/>Relazione geotecnica</p> <p style="text-align: right;">Foglio<br/>17 di 23</p> |

## 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);

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**

| ID UNITA' LITOTECNICA  | DESCRIZIONE   | ID UNITA' GEOTECNICA PD | ID UNITA' GEOTECNICA PE                  |
|--|---|-------------------------|--|
| terreno vegetale e materiale di riporto (r)                  | Terreni vegetali e materiale di riporto antropico   | UNITA' 1                | r – Terreno vegetale e riporto antropico |
| alternanze di ghiaie e sabbie a strati limoso sabbiosi (f12) | Alluvioni medie – prevalenza materiale fine         | UNITA' 2a               | f12_LA – Limo argilloso                  |
|  | Alluvioni medie – prevalenza materiale grossolano   | UNITA' 2b               | f12_SL – Sabbia limosa                   |
| alternanze di ghiaie e sabbie a strati limoso sabbiosi (f13) | Alluvioni recenti – prevalenza materiale fine       | UNITA' 3a               | f13_LS – Limo sabbioso                   |
|  | Alluvioni recenti – prevalenza materiale grossolano | UNITA' 3b               | f13_GS – Ghiaia e sabbia                 |
| Argille di Lugagnano (aL)                                    | Strato di alterazione del substrato                 | UNITA' 4a               | aL_alt – Strato di alterazione di aL     |
|  | Formazione di base                                  | UNITA' 4b               | aL – Argille di Lugagnano                |

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 f12\_LA:** terreni costituiti prevalentemente da limi argillosi; unità geotecnica prevalentemente coesiva.
- **UNITÀ f12\_SL:** terreni costituiti prevalentemente da sabbie limose; 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 aL:** substrato roccioso Marne di Cessole;
- **UNITÀ aL\_alt:** strato di alterazione del substrato roccioso delle Marne di Cessole; unità geotecnica prevalentemente coesiva.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>19 di 23   |

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 30 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.

Dall'esame del profilo geotecnico emerge che lungo il tracciato il substrato di base delle Argille di Lugagnano 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 sequenza stratigrafica è 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÷1.5 m di coperture costituite da coltri detritico-colluviali o da suoli da coltivo.

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÷1.5 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 Argille di Lugagnano di spessore compreso tra 2.0 e 3.0 m (formazione aL\_alt);
- segue, fino alla massima profondità indagate, la formazione delle Marne di Cessole (formazione aL) costituita da alternanze di marne siltose con intercalazioni di siltiti e arenarie fini.

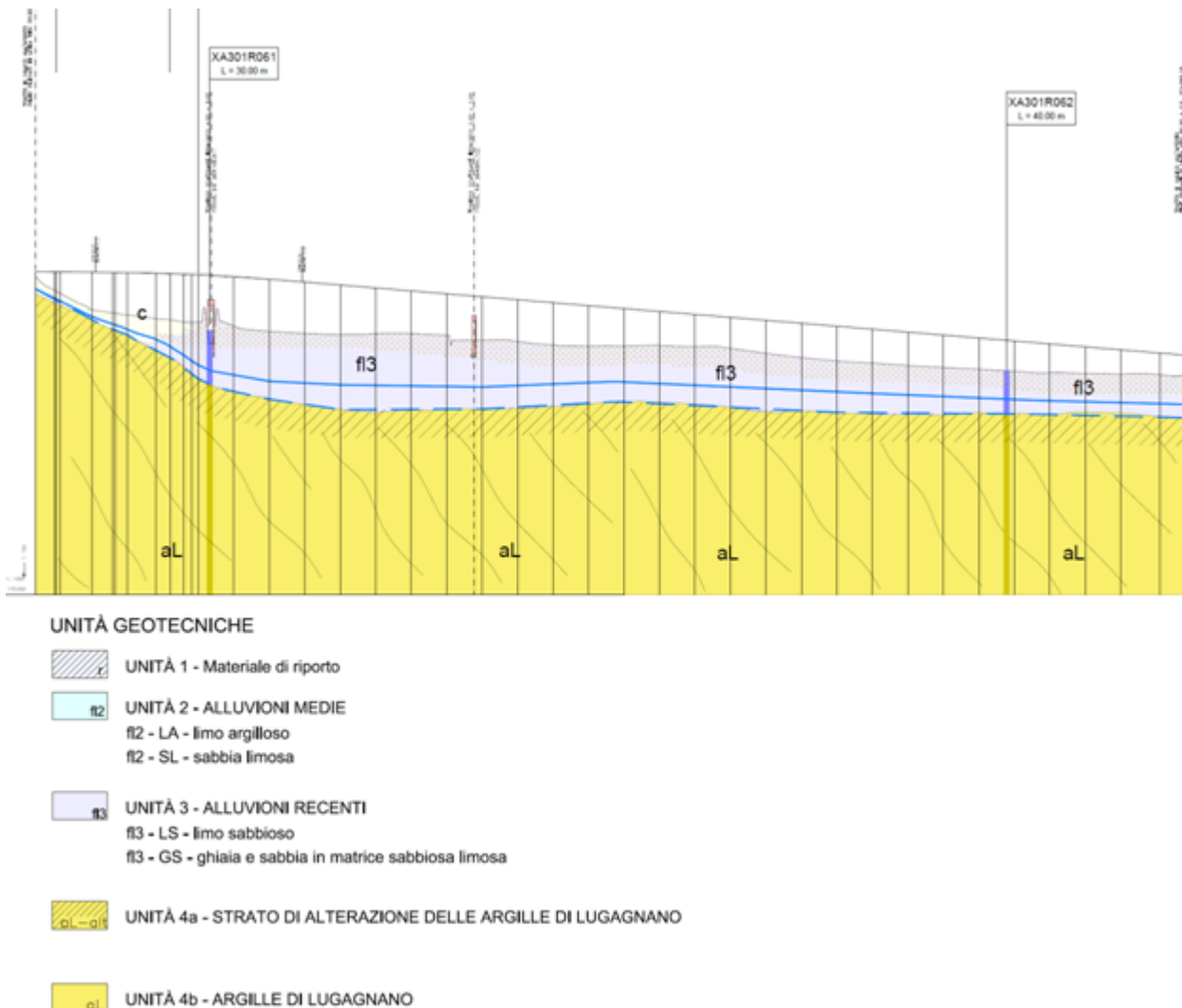


Figura 7-1 Profilo geologico RI13

## 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.

|  |  |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
|  | IG51-02-E-CV-RB-RI13-00-001_A00<br>Relazione geotecnica  |
|  | Foglio<br>21 di 23   |

La tabella seguente sintetizza i valori di riferimento per le unità geotecniche interessate dalla WBS in oggetto.

Tabella 8-1 Sintesi dei parametri geotecnici

| 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  | 10÷15  | -                                   |
| c – Coltre detritico colluviale          |             |                      |         |        |        |                                     |
|  |             | $\gamma$             | $c'$    | $\phi$ | E      | k                                   |
| Unità                                    | Descrizione | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa]   | [°]    | [MPa]  | [m/s]                               |
| 2a                                       | fl2 (S)     | 18÷19                | 5÷15    | 29÷35  | 20÷50  | 10 <sup>-6</sup> ÷10 <sup>-4</sup>  |
| 2b                                       | fl2 (L/A)   | 21÷23                | 30÷40   | 22÷26  | 40÷60  | 10 <sup>-8</sup> ÷10 <sup>-7</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>-6</sup> ÷10 <sup>-3</sup>  |
| aL – Argille di Lugagnano                |             |                      |         |        |        |                                     |
|  |             | $\gamma$             | $c'$    | $\phi$ | E      | k                                   |
| Unità                                    | Descrizione | [kN/m <sup>3</sup> ] | [kPa]   | [°]    | [MPa]  | [m/s]                               |
| 4a                                       | aL_alt      | 19÷21                | 20÷80   | 26÷29  | 70÷100 | 10 <sup>-9</sup> ÷10 <sup>-8</sup>  |
| 4b                                       | aL          | 19÷21                | 100÷300 | 21÷25  | 150    | 10 <sup>-10</sup> ÷10 <sup>-9</sup> |

## 9. PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

Per ciascuna unità geotecnica interessata dalla WBS RI13, 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  $1/3 \div 1/5 E'_0$ ;
- $E'_{op}^{(2)}$                Modulo di Young operativo associato al livello di deformazione raggiunto dal terreno nel caso di opere di fondazione flessibile (rilevati) pari a  $1/5 \div 1/10 E'_0$ ;

*Parametri in condizioni non drenate:*

$c_u$  Resistenza non drenata caratteristica;

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

**Tabella 9-1 Parametri geotecnici di calcolo**

| UNITÀ  | Parametri condizioni drenate     |               |                |                 |                          |                          | Parametri condizioni non drenate |                |
|--------|----------------------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|----------------|
|        | $\gamma$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | $c'$<br>[kPa] | $\phi'$<br>[°] | $E'_0$<br>[MPa] | $E'_{op}^{(1)}$<br>[MPa] | $E'_{op}^{(2)}$<br>[MPa] | $c_u$<br>[kPa]                   | $E_u$<br>[MPa] |
| r      | 19.0                             | 0             | 26.0           | ---             | ---                      | ---                      | ---                              | ---            |
| fl2_LA | 19.0                             | 30.0          | 23.0           | 250             | 50                       | 25                       | 120                              | 48             |
| fl3_LS | 19.0                             | 0             | 28.0           | 200             | 40                       | 20                       | 100                              | 40             |
| aL_alt | 21.0                             | 20            | 26.0           | 1000            | 100                      | 50                       | 300                              | 120            |
| aL     | 21.0                             | 100           | 21.0           | 1500            | 300                      | 150                      | 400                              | 160            |

Per quanto riguarda i materiali con componente fine preponderante, nota la  $c_u$  da [33] ed il valore OCR dalla correlazione di Koutsoftas & Ladd (1985):

$$c_u = (0.22 \text{ OCR}^{0.8}) \sigma'_{v0}$$

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

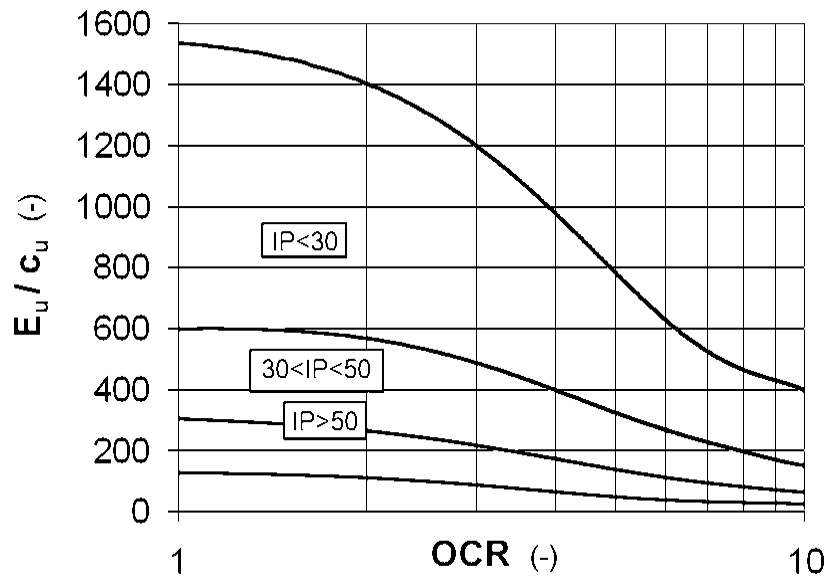


Figura 9-1 Abaco di Duncan e Buchigani (1976)

Per quanto riguarda la valutazione del coefficiente di consolidazione si è fatto riferimento ai risultati delle prove edometriche eseguite nel sondaggio SF10 per la caratterizzazione delle unità fL2\_LA ed aL, mentre per l'unità fI3\_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:

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

I valori dei coefficienti di consolidazione primaria per materiali coesivi sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 9-2 Parametri di consolidazione

| UNITÀ  | $c_v$ [ $\text{cm}^2/\text{sec}$ ] |
|--------|------------------------------------|
| fI2_LA | 2.9E-03                            |
| fI3_LS | 2.7E-03                            |
| aL_alt | 2.4E-03                            |