

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J81D19000000009

U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO –
“AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE
ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

N M 2 7 0 1 D 6 9 R G G E 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F. Paolucci <i>Dott. Francesco Paolucci</i>	Giugno 2020	R. Briganti <i>[Signature]</i>	Giugno 2020	I. Legramandi	Giugno 2020	M. Comedini Giugno 2020



File: .doc NM2701D69RGGE000001A

n. Elab.:

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

2 di 116

INDICE

1	PREMESSA	7
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	10
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	10
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	14
3.3	ASSETTO STRUTTURALE	14
3.3.1	<i>Assetto stratigrafico.....</i>	<i>17</i>
3.4	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
3.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO	24
3.5.1	<i>Idrografia.....</i>	<i>24</i>
3.5.2	<i>Inquadramento idrogeologico</i>	<i>26</i>
3.5.3	<i>Valutazione del ciclo idrogeologico della falda.....</i>	<i>29</i>
3.6	VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO	34
4	ANALISI DELLE CRITICITÀ GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE.....	36
4.1	CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE	36
4.2	CRITICITÀ IDRAULICHE.....	40
4.3	CRITICITÀ DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO	42
4.3.1	<i>Fenomeno degli “occhi pollini”</i>	<i>43</i>
4.3.2	<i>Indagini tramite tomografie elettriche 3d.....</i>	<i>45</i>

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

3 di 116

4.3.3	<i>Sintesi delle risultanze</i>	67
5	INDAGINI	68
5.1	PREMESSA	68
5.2	CAMPAGNA INDAGINI AEROPORTO DI ORIO AL SERIO (2010)	70
5.3	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PFTE E PD RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO (2017 – 2018 – 2019)	70
5.4	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PFTE COLLEGAMENTO BERGAMO-ORIO AL SERIO (2018 – 2019)	72
5.5	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PD COLLEGAMENTO BERGAMO-ORIO AL SERIO (2019-2020)	73
5.6	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2020 PD SOPPRESSIONE PL E REALIZZAZIONE SOTTOVIA DI VIA PIZZO RECASTELLO	79
5.7	POZZI PER ACQUA (BANCA DATI DELL'ISPRA)	80
6	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DI DETTAGLIO	81
7	INQUADRAMENTO SISMICO	84
7.1	PREMESSA	84
7.2	INQUADRAMENTO SISMOLOGICO	86
7.3	LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI D'INTERESSE LUNGO IL TRACCIATO	91
7.4	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	92
7.4.1	<i>Generalità</i>	92
7.4.2	<i>Vita utile e classe d'uso</i>	93
7.4.3	<i>Stati limite e probabilità di superamento</i>	93

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	4 di 116

7.4.4	Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g	95
7.4.5	Risposta sismica locale.....	98
7.5	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	102
8	CONCLUSIONI.....	103
9	BIBLIOGRAFIA	105

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>7 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	7 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	7 di 116								

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatta nell’ambito della Progettazione Definitiva del “Nuovo collegamento ferroviario tra la stazione di Bergamo e l’Aeroporto Internazionale “il Caravaggio” di Orio al Serio (BG)”.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti da indagini geognostiche realizzate nel 2019-2020 da Italferr nell’ambito del presente PD e comprendenti n. 10 sondaggi geognostici (denominati con la sigla PDOR), tomografie elettriche in acquisizione 2D e 3D, n. 8 prove geofisiche di tipo MASW (M1-M8) e n. 1 prova di sismica passiva di tipo HVSr (HV1); da indagini geognostiche realizzate da Italferr tra il 2018 ed il 2019 nell’ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica dello stesso incarico e comprensive di n. 3 sondaggi geognostici e n. 3 prove geofisiche di tipo MASW; da indagini geognostiche eseguite da Italferr tra il 2017 e il 2019 in ambito del PFTE e del PD “Raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo-Montello”; da indagini geognostiche realizzate per il Progetto Preliminare “Soppressione PL e realizzazione Sottovia di via Pizzo Recastello” comprendenti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, da indagini geognostiche realizzate nel 2010 per la realizzazione del “Parcheggio multipiano dell’Aeroporto Orio al Serio” utilizzate per la progettazione esecutiva di intervento di ampliamento del terminal passeggeri dell’Aeroporto Orio al Serio-Lotto 1b e comprendenti n. 3 sondaggi ambientali e da fonti bibliografiche (banca dati dell’ISPRA) che comprendono n. 3 pozzi per acqua.

In sintesi, nei paragrafi seguenti, verranno approfondite le seguenti tematiche:


1. Inquadramento geografico.
2. Inquadramento generale dell’area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici.
3. Cartografia delle criticità geologiche, geomorfologiche e idrauliche.
4. Descrizione delle indagini geognostiche pregresse;
5. Descrizione stratigrafica di dettaglio lungo il tracciato.
6. Inquadramento sismico dell’area, definizione dell’azione sismica e della magnitudo di riferimento.

A corredo della presente relazione è stata redatta la cartografia geologica e idrogeologica di riferimento con relativi profili elaborati sulla base delle informazioni stratigrafiche e idrogeologiche disponibili lungo la tratta.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>8 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	8 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	8 di 116								

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- RFI DTC SI AG MA IFS 002 A del Dic. 2018: Manuale di progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 – Geologia.
- Tariffa IG di RFI in vigore.
- Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta regionale 30 novembre 2011–n. IX/2616 - Aggiornamento dei ‘Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12’, approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374”.
- Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta Regionale 19 giugno 2017-n. X/6738 - Disposizioni concernenti l’attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>9 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	9 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	9 di 116								

dell'emergenza.

- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 22-12-2018 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>10 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	10 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	10 di 116								

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L’area di progetto si sviluppa nel settore centrale della regione Lombardia, tra la parte orientale del comune di Bergamo e il comune di Orio al Serio (BG).

In particolare, il tracciato oggetto di studio si sviluppa per 5,356 km a partire dalla stazione di Bergamo, deviando dalla linea storica verso SSO dopo circa 1 km, ed immettendosi in galleria artificiale tra le p.k. 2+650 e 3+625 al di sotto dei due rami della roggia Morla e della S.S. 671, deviando successivamente di nuovo in direzione ESE parallelamente all’autostrada A4 e collegandosi al terminal aeroportuale di Orio al Serio.

La città di Bergamo è situata al centro della provincia di cui è capoluogo ed è inquadrata nelle sezioni C5b2 e C5b3 della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia. Il territorio comunale si estende per 40,4 km² nella zona di raccordo tra i rilievi più meridionali della Catena Alpina e l’ampio bacino alluvionale della Pianura Padana. Si tratta di un territorio morfologicamente vario, caratterizzato a nord da un paesaggio collinare tipico delle aree prealpine e a sud da morfologie pianeggianti dell’ambiente padano. Il Comune di Orio al Serio è situato a sud-est del capoluogo, nella parte centrale della Provincia di Bergamo, immediatamente a ridosso della cintura urbana della città di Bergamo, con cui confina a nord-ovest. Esso ha una superficie di circa 3,03 Km².

Il territorio dei due comuni è interessato dalla presenza di importanti infrastrutture di trasporto che ne hanno indubbiamente condizionato lo sviluppo, anche dal punto di vista morfologico: le più importanti sono l’aeroporto di Bergamo – Orio al Serio, che occupa gran parte del territorio comunale di Orio al Serio, prevalentemente nella parte centrale, e l’autostrada A4 Milano – Venezia che corre in direzione est-ovest nella parte sud di Bergamo, isolando tutta la porzione sud del territorio (le località anzidette e il centro commerciale “Orio Center”) dal resto dell’ambito comunale.

Il percorso relativo all'opera in progetto è individuato in

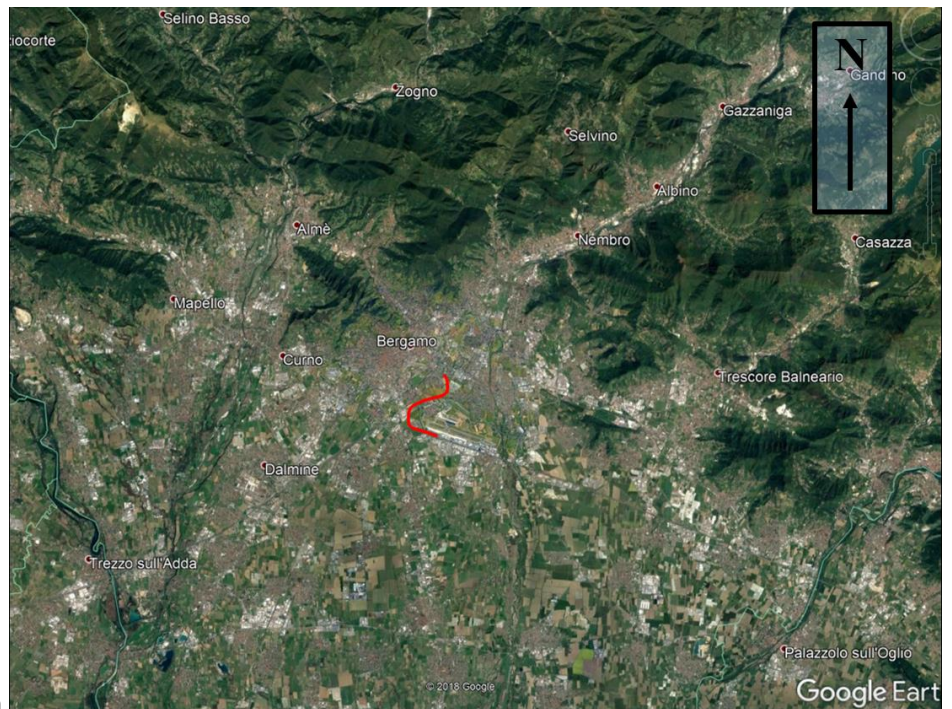
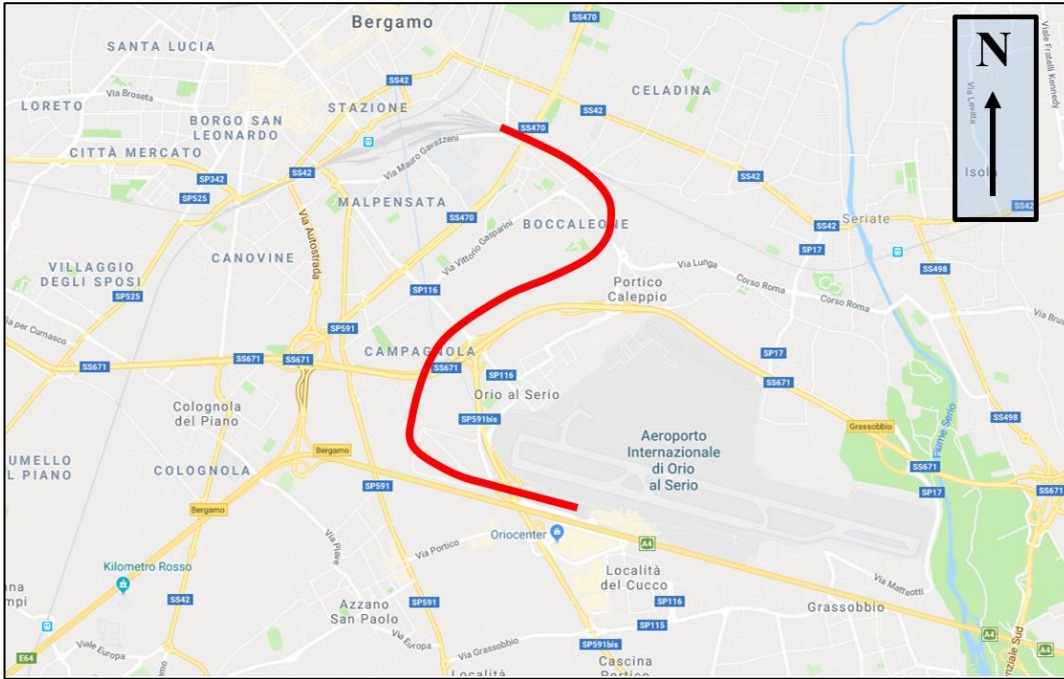



Figura 3-1 su cartografia stradale, in

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>12 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	12 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	12 di 116								

Figura

3-2

e



Figura 3-3 su immagine aerea, mentre in Figura 3-4 si riporta la planimetria di progetto.

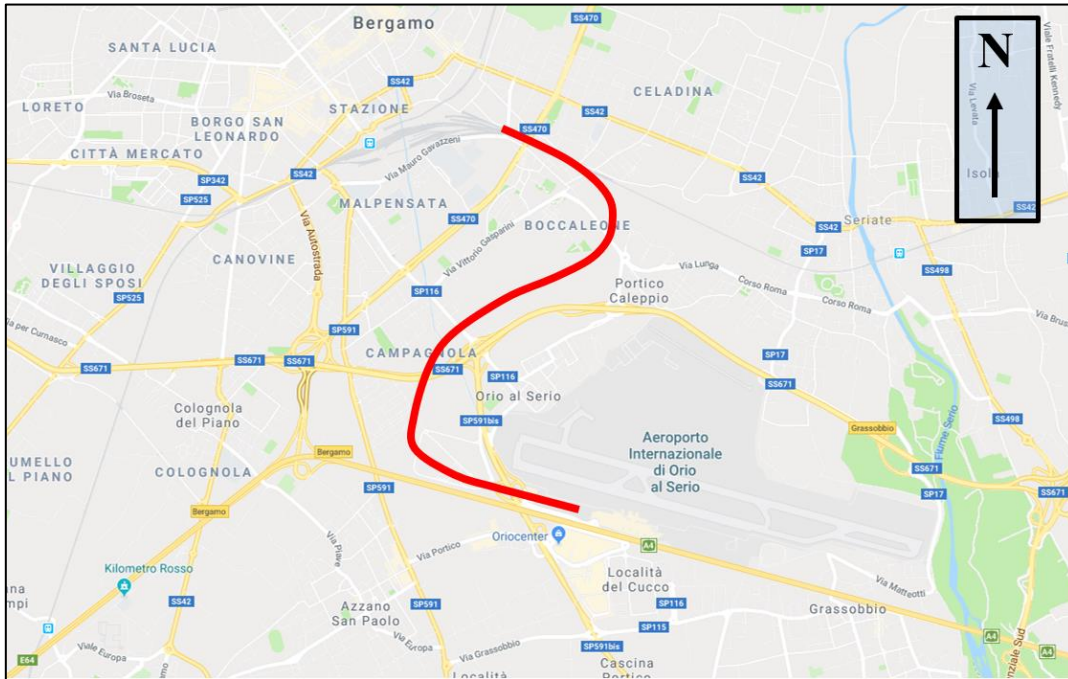


Figura 3-1 – Tracciato di progetto su cartografia stradale (Google Maps). In rosso il tracciato in progetto.

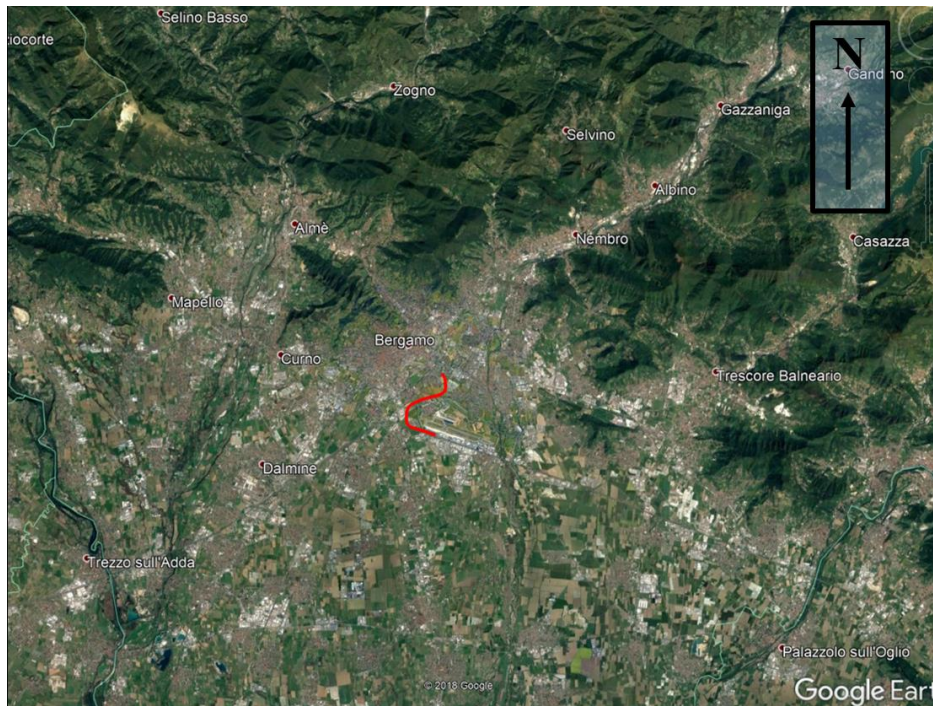


Figura 3-2 - Immagine aerea dell'area di pianura della provincia di Bergamo, in rosso si evidenzia il tracciato oggetto di studio. (Immagine da Google Earth).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	14 di 116



Figura 3-3 - Immagine aerea dell'area tra la città di Bergamo e l'aeroporto di Orio al Serio, in rosso si evidenzia il tracciato oggetto di studio. (Immagine da Google Earth).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	16 di 116

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio dell’area di Bergamo è suddivisibile in due settori distinti dal punto di vista geologico e geomorfologico. La zona dei colli appartiene alla porzione più meridionale delle Prealpi Lombarde ed è formata da rocce di età cretacea, fagliate e piegate. La fascia pedecollinare e la pianura sono costituite da ampie falde di depositi quaternari originati dallo smantellamento sin-orogenetico e post-orogenetico delle rocce del substrato roccioso.

3.3 ASSETTO STRUTTURALE

Il territorio oggetto di studio è situato nella provincia tettonica delle Alpi e Prealpi Orobiche (Figura 3-5), a loro volta comprese nelle Alpi Meridionali. Le Alpi Meridionali sono caratterizzate da uno stile tettonico a pieghe e sovrascorrimenti, differente da quello dell’edificio alpino vero e proprio in quanto ha interessato unità appartenenti allo stesso dominio paleogeografico e non ha determinato significativi episodi di metamorfismo.

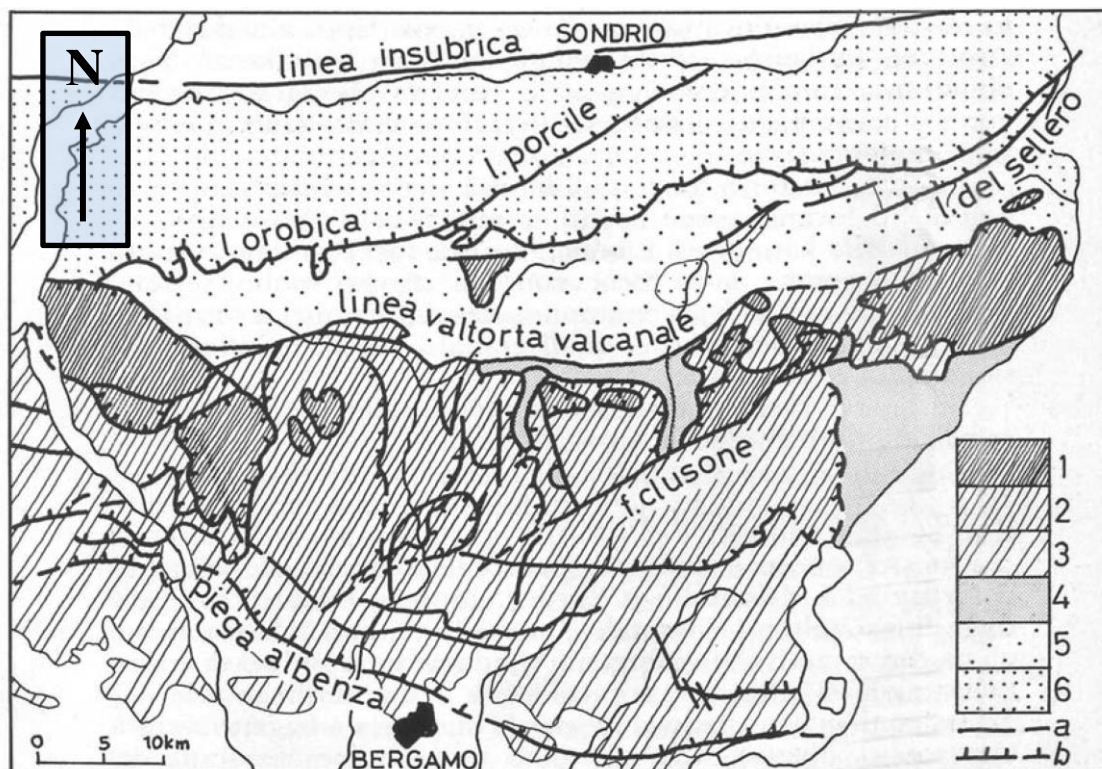


Figura 3-5 – Carta strutturale delle Alpi e Prealpi Bergamasche. 1 - Zona delle unità alloctone superiori e delle unità Grigna e Pegherolo, 2 - Zona del Parautoctono e delle unità alloctone inferiori, 3 - Zona a pieghe-faglie delle Prealpi, 4 - Zona dell’Autoctono e delle scaglie Valtorta- Valcanale, 5 - Zona delle Anticlinali Orobiche, 6 - Zona del basamento Orobico a faglie, sovrascorrimenti, e pieghe faglie (Semplificato e modificato da Jadoul e Gaetani, 1979).

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>17 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	17 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	17 di 116								

Più in dettaglio le Alpi e Prealpi Orobiche sono suddivise in cinque settori, estesi in senso est-ovest, con differenti caratteristiche strutturali, di seguito elencate:

- il Basamento orobico: situato lungo il fianco idrografico destro della Valtellina. È caratterizzato da deformazioni del basamento cristallino con un sovrascorrimento sudvergente sopra la serie sedimentaria permo-triassica.
- l’Anticlinale Orobica: ubicata nel settore settentrionale della provincia di Bergamo. Presenta un sistema di pieghe e sovrascorrimenti che interessa la copertura sedimentaria permo-triassica.
- la Scaglia Valtorta-Valcanale: si trova in una stretta fascia a sud della linea Valtorta-Valcanale. I litotipi triassici che la costituiscono sono sovrascorsi, raddrizzati e tettonizzati.
- il Parautoctono e le unità alloctone: è ubicato nel settore centrale delle Prealpi Orobiche e ne costituisce l’unità strutturale fondamentale. E’ caratterizzata da uno stile strutturale a faglie e sovrascorrimenti che localmente provocano una duplicatura o triplicatura della sequenza carbonatica triassica.
- il settore a pieghe-faglie (Flessura Pedemontana): ubicato nel settore meridionale delle Prealpi Orobiche fino al margine della pianura. È caratterizzato da uno stile a pieghe e a pieghe-faglie, con disposizione dei piani assiali prevalente est-ovest. In questa parte delle Prealpi Orobiche la Flessura Pedemontana è ben rappresentata dall’anticlinale dell’Albenza e da diverse pieghe minori associate, dritte o rovesciate, ed è costituita da una cintura di pieghe *en echelon* SSW vergenti e faglie con immersione regionale N/110-120. Verso ovest, l’unità è interrotta lateralmente dalla faglia Roncola-Catremerio, situata pochi chilometri a sud di Costa Valle Imagna.

I rilievi della città di Bergamo appartengono, dal punto di vista strutturale, alla zona a pieghe e a faglie delle Prealpi.

L’età delle formazioni rocciose è quella della loro messa in posto. Tramite la loro composizione litologica e la similitudine con ambienti attuali è stato possibile riconoscere l’ambiente deposizionale nel quale si sono depositi i sedimenti e la conformazione paleogeografica dei continenti. Sono distinte tre fasi per le diversità dei caratteri paleogeografici che le contraddistinguono, ma la fase dominante è costituita dall’ambiente marino nel quale avviene la sedimentazione dei depositi che oggi formano l’”ossatura” dei rilievi montuosi.

1. Durante il Giurassico la sedimentazione avviene in un ambiente anorogenico con tendenza alla subsidenza e conseguente formazione di successioni di piattaforma peritidale, di mare poco profondo e batiale. La regione è interessata da un progressivo e costante approfondimento e dall’instaurarsi di condizioni di tipo pelagico.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

18 di 116

La transizione dal Giurassico superiore al Cretaceo è caratterizzata dal passaggio da litologie prevalentemente carbonatiche a rocce di tipo flyschoidi, che diverranno predominanti in gran parte del Cretaceo.

A partire dal Cretaceo medio-inferiore (Albiano, circa 95 milioni di anni), con l'inizio della deposizione del Sass de la Luna (affiorante nel territorio di Bergamo), la serie stratigrafica comincia a presentare natura flyschoidi, dovuta all'instaurarsi della fase orogenetica (fase eoalpina), allo smantellamento della catena in emersione ed alla deposizione di sedimenti al fondo del bacino mediante correnti di torbida. Nella successione stratigrafica affiora a Bergamo il Flysch di Pontida, che conferma il perdurare delle condizioni iniziate nel cretaceo inferiore.

Nel Cretaceo medio-superiore, un ambiente marino costiero e peritidale, porta alla formazione di una successione sedimentaria prevalentemente carbonatica in un intervallo temporale compreso tra l'Albiano superiore e il Turoniano medio-superiore. Con l'inizio del Cretaceo superiore si ritrovano i primi flysch silicoclastici, alimentati da zone in erosione situate al di fuori del bacino stesso, come testimoniato dalla presenza di clasti di minerali metamorfici formati durante le fasi orogenetiche del Cretaceo inferiore nel settore delle Alpi occidentali. La sequenza affiorante è chiusa a tetto da unità bacinali della fine del Cretaceo e del Paleogene, anch'esse di tipo torbiditico e pelagico, costituite da arenarie di piattaforma risedimentate e intercalate a fanghi rossi e che affiorano limitatamente nella parte più occidentale della provincia.

Durante il Cretaceo si sono verificati i primi eventi compressivi dell'orogenesi alpina, le cui prove derivano dall'esistenza di sovrascorrimenti attraversati in discordanza da filoni dell'inizio del Paleocene e dalla presenza di un bacino allungato in direzione E-O al margine della catena, formatosi contemporaneamente all'impilamento di sovrascorrimenti durante l'evento compressivo cretaceo, a causa del forte carico litostatico prodotti.

2. Le successioni rocciose depostesi durante il Miocene non si ritrovano mai in affioramento nel territorio bergamasco. In analogia con le sequenze affioranti nelle zone limitrofe, i sedimenti di questo periodo testimoniano il procedere dei movimenti orogenici che sembrano terminare nel Miocene superiore.
3. A partire dal Pliocene l'evoluzione del settore orobico è dominata da movimenti di sollevamento generalizzato, causati dai fenomeni di riequilibrio isostatico attivi in tutta la catena alpina. Da un punto di vista strutturale non è tuttavia da dimenticare la presenza di molte faglie prevalentemente a carattere distensivo e trascorrente, attive negli ultimi milioni di anni.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>19 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	19 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	19 di 116								

4. Nel Pleistocene inferiore e fino al Pleistocene superiore, circa 18.000 anni fa, si mantengono condizioni paleogeografiche continentali, durante le quali l'evoluzione del territorio ed i processi morfogenetici sono dovuti alle avanzate ed ai ritiri delle “lingue” glaciali.
5. L'ultimo periodo glaciale “Wurm” termina circa 11.000 anni fa, all'inizio dell'Olocene, ed ha inizio la fase postglaciale attualmente in corso. L'assetto attuale del territorio bergamasco in tale epoca è il risultato del trasporto e deposizione da parte dei fiumi e torrenti di abbondanti depositi fluvioglaciali e alluvionali che hanno modellato l'area pedemontana formando l'attuale morfologia dell'alta pianura. Negli ultimi secoli infine l'azione antropica ha profondamente rimodellato il paesaggio, soprattutto per quanto riguarda la rete idrografica.

3.3.1 Assetto stratigrafico

Le unità litostratigrafiche che costituiscono il substrato roccioso appartengono al periodo Cretaceo medio-superiore. Sono unità di facies torbidity generate dall'azione di correnti sottomarine ad elevata velocità e ad alta densità, in grado di rimuovere ingenti quantità di sedimenti di acque basse e litoranee e di ridepositarli in zone più profonde.

L'affioramento del substrato è generalmente concentrato nel settore nord-occidentale, oppure non riconoscibile a causa dell'estesa copertura detritica quaternaria. La coltre detritica è costituita da materiale incoerente distinto sulla base dell'età relativa nonché dei meccanismi di deposizione ed è formata prevalentemente da terreni di origine fluvioglaciale. Le unità geologiche presenti nella zona di progetto identificate nel foglio CARG 098 Bergamo (Figura 3-6) sono illustrate e descritte di seguito dalla più antica alla più giovane.

BACINO del SERIO

Conglomerati di Seriate (SRT)

Conglomerati a supporto clastico, matrice arenacea, clasti arrotondati ben selezionati, cementazione da ottima sino a completamente litificati. Presenti sia litosomi a clasti carbonatici e silicei sia a clasti carbonatici prevalenti, separati da un paleosuolo (depositi alluvionali). Il limite inferiore non è osservato, mentre il limite superiore è di tipo erosionale, su cui poggiano depositi dei supersintemi della Selva di Clusone, Grassobbio e di Gorle. Lungo l'alveo del Serio, inoltre, il litosoma conglomeratico è coperto dai depositi del sistema del Po, spesso in placche discontinue non cartografate in questa scala. I conglomerati di Seriate riuniscono almeno due litosomi conglomeratici di facies alluvionale ad alimentazione seriana, diversi per significato paleogeografico e stratigrafico, ma non distinguibili alla scala della carta. Si distinguono due membri: *Conglomerati inferiori*: conglomerati massivi a supporto di matrice

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>20 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	20 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	20 di 116								

arenacea, clasti ben arrotondati, di dimensioni medio-grandi; prevalenti clasti carbonatici (71% a Grassobbio, Corbari et alii, 2000), cementazione da ottima sino a litificati. Alla sommità sono presenti livelli discontinui di ghiaie a supporto di matrice limoso-argillosa pedogenizzata, con alterazione sia dei clasti carbonatici che di quelli silicatici. *Conglomerati superiori*: conglomerati a supporto clastico o di matrice arenacea, rozzamente stratificati, a clasti arrotondati, spesso a disco; prevalenti silicoclasti terrigeni e metamorfici dell’alta valle, di poco subordinati i clasti carbonatici; cementazione da ottima sino a completa litificazione. Poggianti, ove visibile, sui conglomerati inferiori a carbonati prevalenti. Questi due corpi rappresentano quindi due fasi distinte di sedimentazione del corso d’acqua principale, separate da un’importante fase di emersione, durante la quale si assiste a monte ad un significativo cambiamento nell’alimentazione. Età: CALABRIANO – PLEISTOCENE MEDIO.

Supersintema di Gorle (RL)

Conglomerati in strati orizzontali, supporto clastico, clasti calcarei e silicei arrotondati, cementazione da buona ad ottima; ghiaie a clasti arrotondati, sabbie e limi (depositi alluvionali). Profilo di alterazione di spessore variabile, morfologie conservate. Esso affiora dallo sbocco della valle principale sino a sud di Seriate e in senso O-E dal margine orientale di Bergamo sino alla piana tra Scanzorosciate ed Albano Sant’Alessandro. Stratigraficamente il Supersintema di Gorle è giustapposto alla superficie erosionale che tronca i depositi del sintema di Scanzorosciate, annegandone la superficie nella porzione più prossimale. Fra Seriate e Villa di Serio al disotto del Supersintema di Gorle sono presenti conglomerati riferibili al gruppo di Seriate. Il limite inferiore non è osservabile mentre il limite superiore coincide con la superficie topografica oppure risulta troncato dalla superficie erosionale entro cui sedimentano i depositi alluvionali del Supersintema di Grassobbio. Copre in continuità morfologica l’Unità di Torre Boldone (Complesso di Ponte della Selva, Supersintema della Morla) ed è coperto dalla Unità di Cologno (Complesso del Serio, Supersintema di Grassobbio). Si riconoscono più ordini di terrazzi e scarpate di altezza sino a 4 metri che si attenuano verso sud. Età: PLEISTOCENE MEDIO.

Supersintema di Grassobbio (BB)

Ghiaie a clasti arrotondati, sabbie e limi (depositi alluvionali). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie ben conservate. Cementazione da assente a buona. Esso affiora da Seriate sino al margine meridionale del foglio. L’unità poggia entro la superficie erosionale che tronca i depositi del Supersintema di Grassobbio; lungo le scarpate del Serio, tra Gorle e Seriate, sotto ad essa sono riconoscibili conglomerati attribuiti al gruppo di Seriate. Il limite superiore coincide con la superficie topografica o è troncato dalla superficie erosionale entro la quale sedimentano i depositi alluvionali del Supersintema della Selva di Clusone. Si riconoscono ghiaie in corpi stratoidi o lenticolari a supporto di matrice sabbiosa fine o a supporto clastico con clasti sino a decimetrici, arrotondati. Intercalati sabbie e

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 21 di 116

limi in sequenze laminate e gradate. Lungo le scarpate del Serio si osservano superfici erosionali con paleosuoli intercalati a cementazione da buona ad ottima. Questo supersintema costituisce zone di alto simmetriche rispetto all'alveo attuale del Serio e fanno da spartiacque, rispettivamente, con l'area di pertinenza della Morla e con quella della valle dello Zerra. All'interno esse si presentano articolate in una serie di terrazzi di altezza fino a 2 metri; tra i centri di Grassobbio e Zanica essi disegnano un paleoalveo inciso fino a profondità di 2-3 metri.

Età: PLEISTOCENE MEDIO –SUPERIORE?

BACINO della MORLA

Supersintema della Morla (OR)

Ghiaie a clasti arrotondati della successione cretacea e, di poco subordinati, silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali), argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Profilo di alterazione di spessore variabile, morfologie conservate. Esso affiora nella valle della Morla a nord dei Colli di Bergamo e fra Bergamo bassa fino a Boccaleone, ad est, e Azzano San Paolo, a sud. I depositi appartenenti a questo sintema si giustappongono, da nord verso sud, alle superfici erosionali che troncano i depositi dei sintemi di Torre Boldone, di Scanzorosciate, di Gorle e del supersintema di Grassobbio, annegandone localmente la superficie. Il limite superiore coincide con la superficie topografica. Profilo di alterazione in genere troncato o rimaneggiato dall'attività antropica, dove è stato possibile osservarlo i silicoclasti risultano molto più alterati dei clasti carbonatici della successione cretacea locale. Il Ssupersintema della Morla presenta più ordini di terrazzi e scarpate di altezza sino a 3m entro la valle a nord di Bergamo che si attenuano verso sud. Esso riunisce una serie di episodi deposizionali distinti in base alla morfologia, caratterizzata da un'evidente gradonatura, “fossilizzata” dagli interventi edilizi fino all'inizio del secolo scorso. In corrispondenza di Orio al Serio le morfologie risparmiate dall'aeroporto, confrontate con la cartografia precedente, permettono di riconoscere una superficie più alta, rispetto alle altre presenti in zona, correlabile per quota al Supersintema di Grassobbio. Età: La deviazione del corso della Morla appare successiva alla deposizione del Supersintema di Grassobbio, pertanto è ascrivibile al PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE.

Il tracciato oggetto del presente studio, evidenziato in rosso in Figura 3-6, interseca, per tutta la sua lunghezza, i depositi appartenenti al Supersintema della Morla “OR”, caratterizzati da depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi.

A corredo del presente studio è stata elaborata la cartografia geologica in scala 1: 5.000 dell'area di progetto con le indagini realizzate a supporto della progettazione (documento NM2700D69G5GE0001001A).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

22 di 116

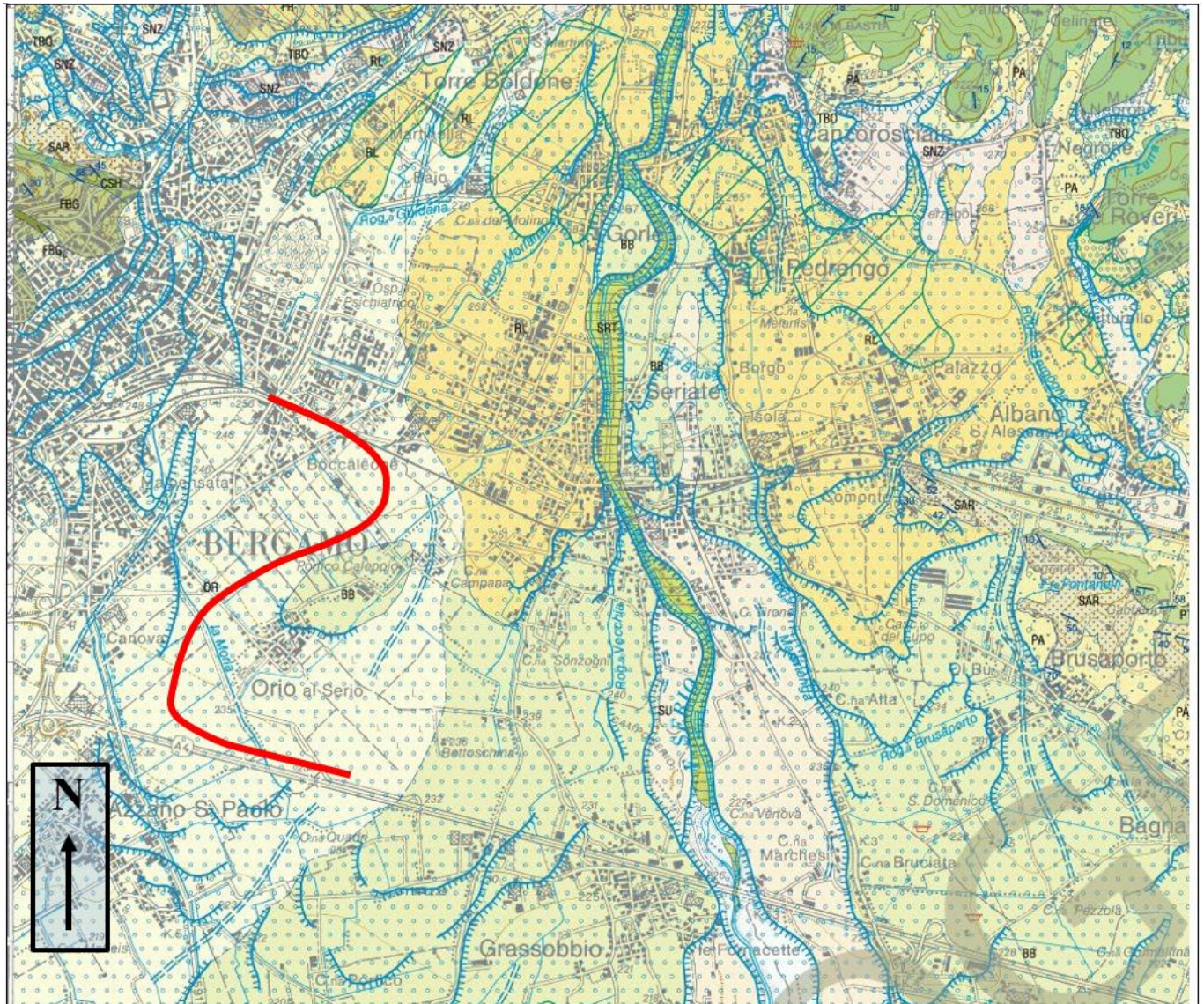


Figura 3-6 - Stralcio non in scala della Carta Geologica e relativa legenda, Foglio 98 “Bergamo”, scala 1: 50.000, ISPRA. In rosso si evidenzia il tracciato oggetto di studio.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>23 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	23 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	23 di 116								

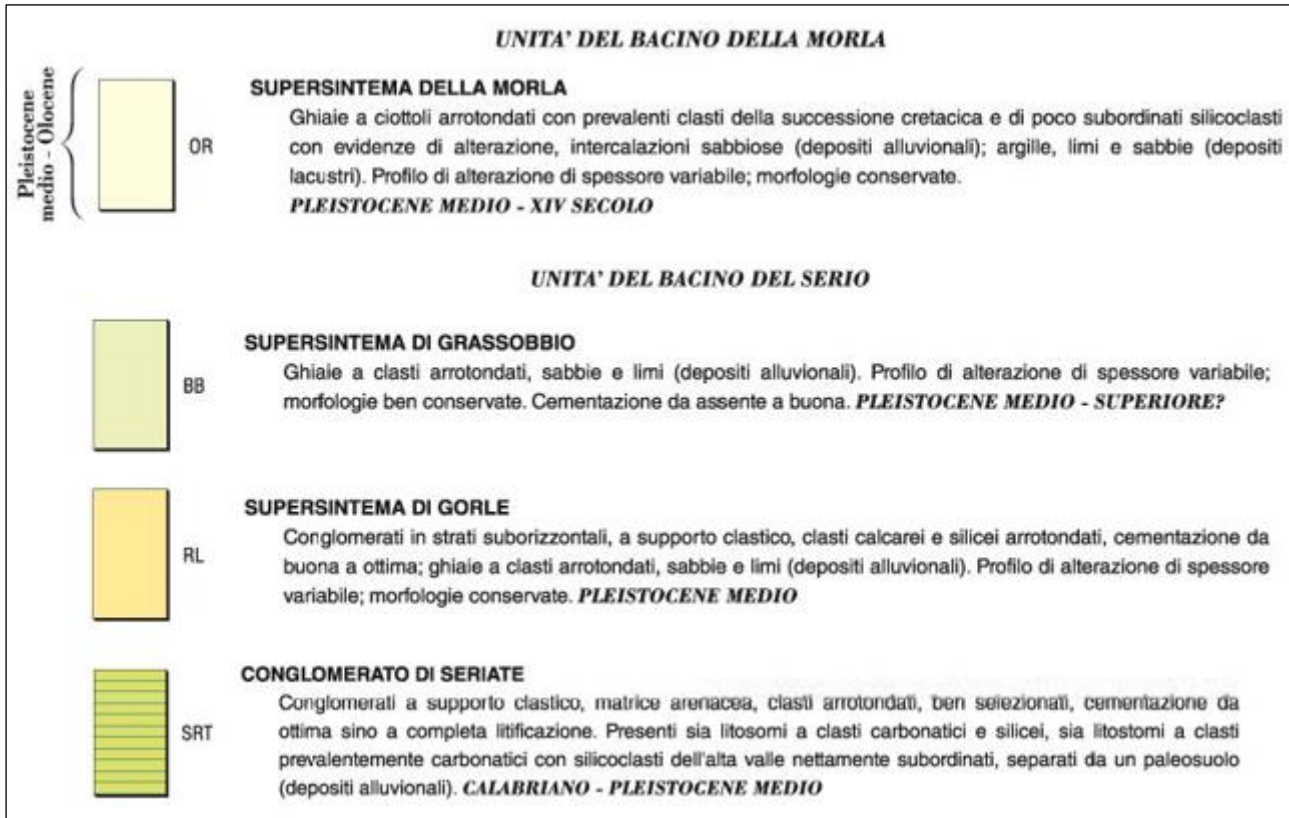


Figura 3-7 – Legenda della Carta Geologica, Foglio 98 “Bergamo”, scala 1: 50.000, ISPRA, per le unità geologiche presenti nell’area di progetto.

3.4 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Pur essendo molto prossimo al comune di Seriate, presso cui cominciano ad elevarsi i primi rilievi collinari del sistema montuoso orobico, il territorio orientale del comune di Bergamo presenta già in maniera marcata le caratteristiche morfologiche e topografiche dei comuni di alta pianura, con un assetto tipicamente pianeggiante a cui

si deve aggiungere una notevole componente antropica (

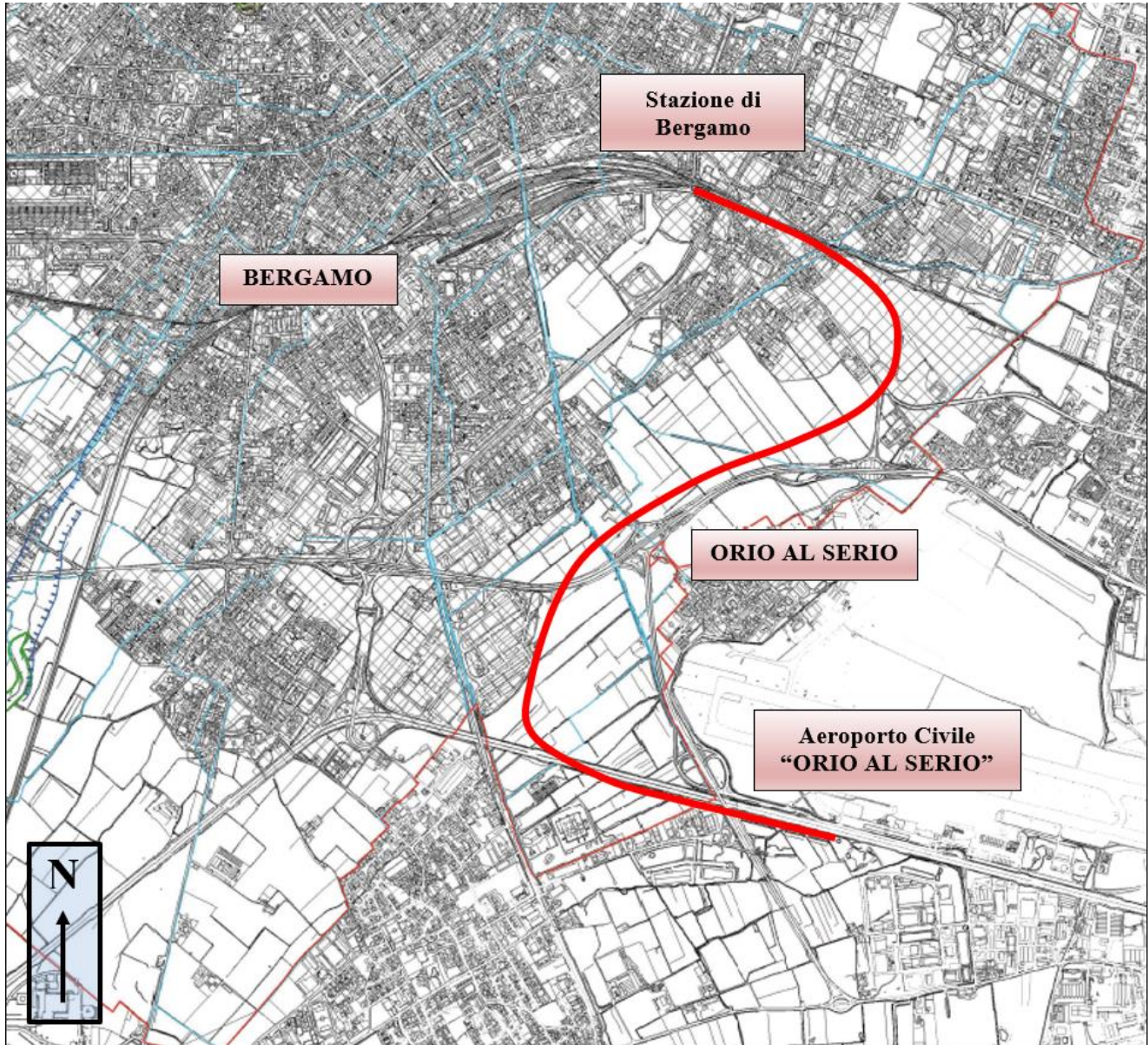



Figura 3-8) per quanto riguarda l'utilizzo del suolo che ha contribuito ad accentuare il carattere pianeggiante della zona. Buona parte del territorio di Bergamo (circa 25 km²) è occupato dagli insediamenti urbani e dal relativo intreccio di infrastrutture viarie. Il reticolo idrografico è stato quello che ha subito il maggior impatto dovuto allo sviluppo urbano, perdendo, per buona parte del suo sviluppo, il carattere di naturalità.

La morfologia tipicamente pianeggiante, interrotta localmente da piccoli dislivelli in corrispondenza di orli di terrazzi fluviali, è evidenziata dal blando degrado delle quote topografiche in direzione N-S (come peraltro avviene in tutta

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</p> <p>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>25 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	25 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	25 di 116								

la zona). Si passa, in uno spazio di 2 km, da una quota di 246,3 m s.l.m. al confine con il comune di Seriate (posto a nord dell’area di progetto) fino ad una quota di 231,7 m s.l.m. in corrispondenza della località Nuova Betosca al confine con Zanica (a sud dell’area di progetto).

Le uniche variazioni topografiche, una volta significative, ma comunque sempre contenute nell’ordine dei 2-3 metri, erano individuabili in corrispondenza degli orli dei terrazzi fluviali situati nella zona est del territorio comunale, al confine con il comune di Seriate; si deve comunque evidenziare che tali terrazzamenti sono stati completamente obliterati dai lavori che hanno interessato, nel corso degli anni, il sedime aeroportuale dell’aeroporto di Bergamo-Orio al Serio, con la loro conseguente eliminazione nella zona di confine est con i Comuni di Seriate e Grassobbio. E’ opportuno evidenziare che su gran parte delle zone del territorio risulta ormai impossibile riconoscere non solo eventuali elementi morfologici originari (si consideri che circa due terzi del territorio sono occupati dal sedime aeroportuale, dove successivi spianamenti per edificazioni varie e prolungamenti della pista hanno causato le obliterazioni precedentemente citate; il resto del territorio risulta completamente edificato), ma anche i suoli originari e i loro caratteri tessiturali.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>26 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	26 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	26 di 116								

Più nel dettaglio, si analizza la cartografia geomorfologica allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo (stralcio riportato in

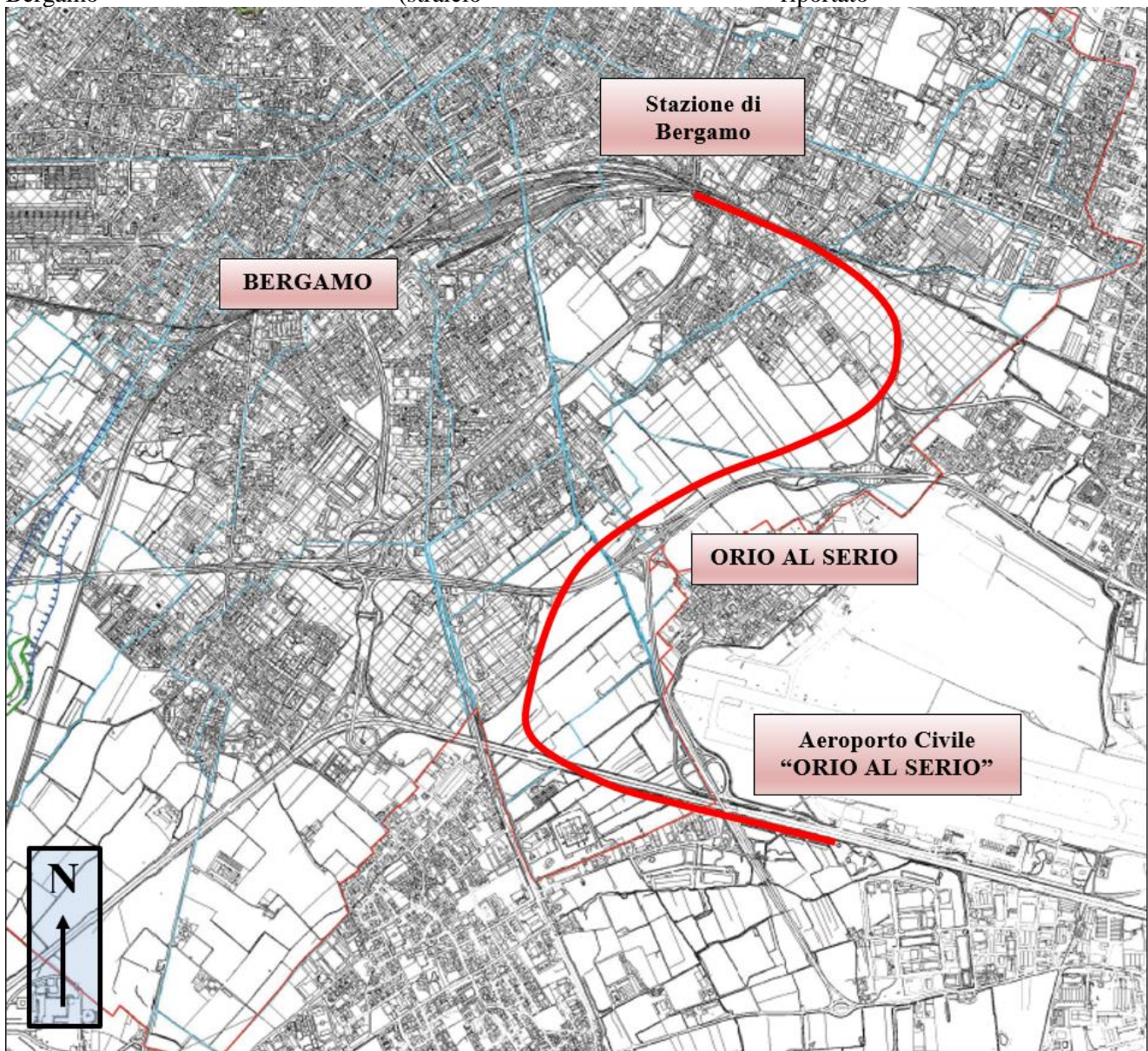


Figura 3-8); è possibile osservare come la tratta interessata dal presente studio (evidenziata in rosso nella suddetta figura) intersechi un territorio interamente antropizzato, comprendente sia aree intensamente urbanizzate (strutture urbane ed infrastrutture stradali) che aree agricole.

Come già descritto, il reticolo idrografico è stato quello che ha subito il maggior impatto dovuto al progresso urbano, perdendo per buona parte del suo sviluppo il carattere di naturalità. Come è possibile notare in carta il tracciato

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

27 di 116

interseca la rete di canali e rogge presenti nel territorio a scopo agricolo, ed in particolare i vari rami della Roggia Morla (per maggior dettaglio si veda il successivo paragrafo 3.5).

L'area non presenta ulteriori morfologie significative.

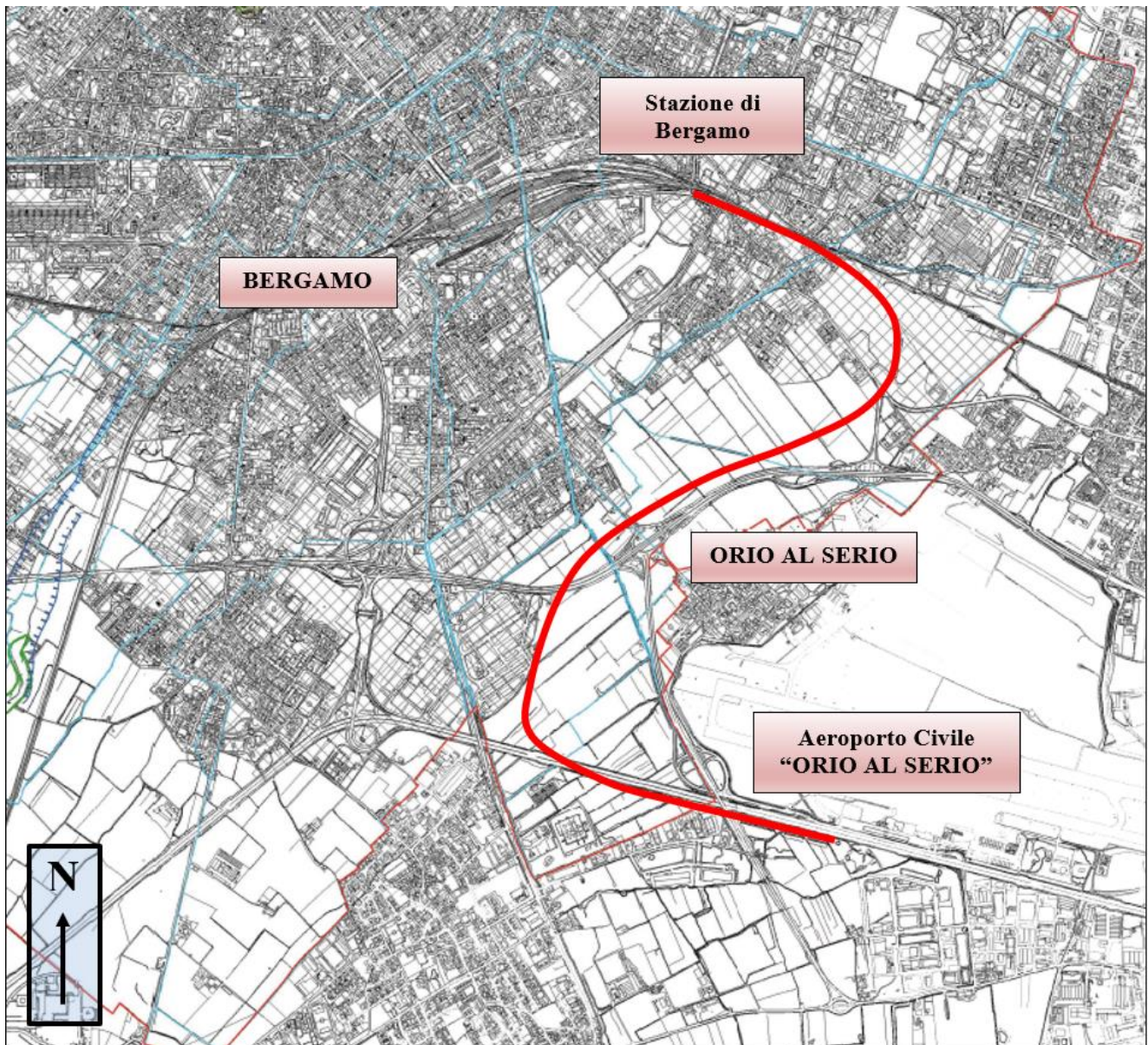


Figura 3-8 – Stralcio non in scala della Carta Geomorfologica (2011) allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo. Scala 1: 10.000. In rosso si evidenzia il tracciato di progetto.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>28 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	28 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	28 di 116								

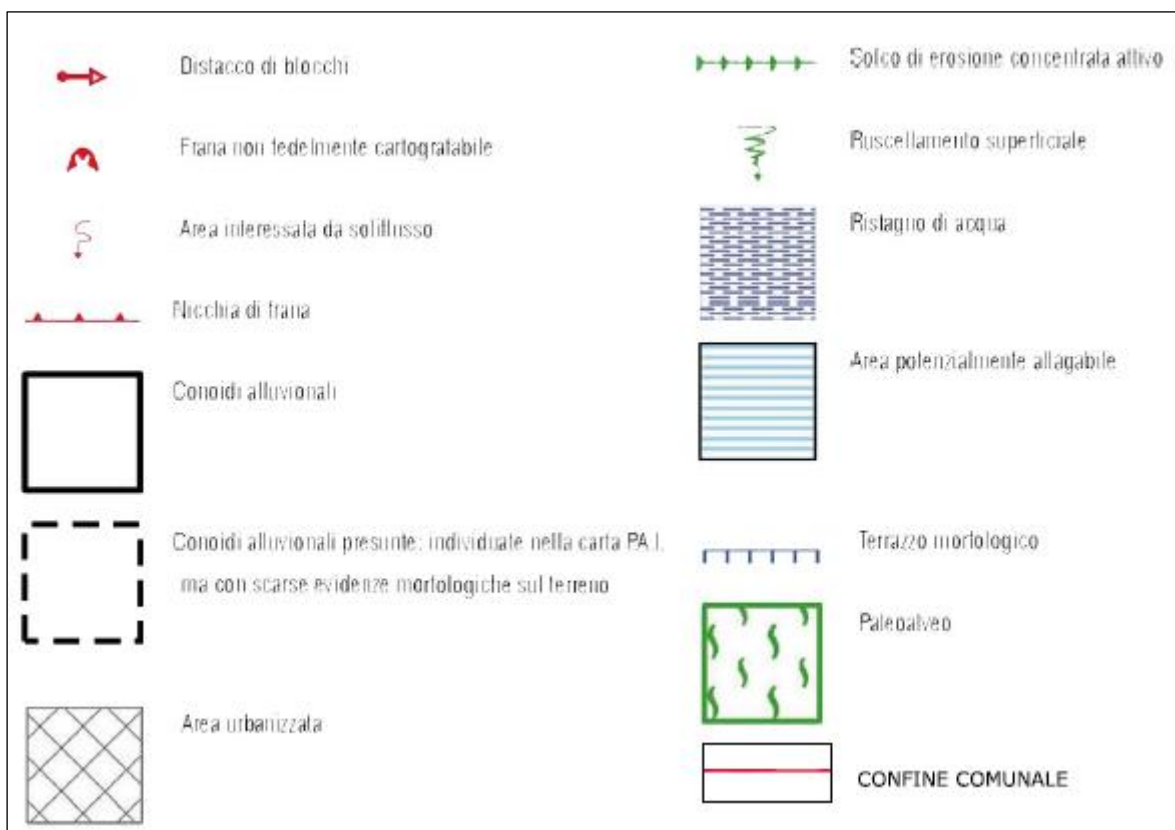


Figura 3-9 – Legenda Stralcio della Carta Geomorfologica (2011) allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo.

3.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO E IDROGRAFICO

3.5.1 Idrografia

Il reticolo idrografico naturale del comune di Bergamo è formato dai numerosi torrenti, a volte poco più di ruscelli, che scendono dai rilievi collinari, dal torrente Quisa e, per un breve tratto, dal Torrente Morla, i quali sono riportati in Figura 3-10.

- *Il torrente Morla.* Il corso d'acqua di maggiore estensione è il torrente Morla che attraversa da nord a sud l'intero territorio comunale. Esso nasce sulle pendici del Monte Solino, nel comune di Ponteranica, ed il suo bacino imbrifero, di circa 22 km², comprende i territori di Ponteranica, Sorisole, Bergamo ed Orio al Serio. Lungo il suo corso riceve il contributo del torrente Tremana, in prossimità di Viale Giulio Cesare a Bergamo,

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	29 di 116

e del torrente Gardellone che drena un piccolo bacino a monte dell’abitato di Torre Boldone. Nel tratto iniziale il torrente ha un andamento prevalentemente meandriforme e un buon grado di naturalità, che perde entrando nell’abitato dove assume il carattere di un canale scolmatore.

- Il torrente Quisa.* Il torrente Quisa individua grossomodo il confine di Bergamo con il comune di Sorisole, dove nasce, dai rilievi montuosi del Monte Canto Alto. Raccoglie le acque di numerosi sottobacini dell’area pedecollinare e allo sbocco nell’alta pianura assume un andamento irregolare, alternando tratti meandriformi a tratti più regolari, rettilinei. A valle del Colle di Sombreno, il Quisa si dispone parallelamente al fiume Brembo nel quale confluisce a sud del paese di Ponte San Pietro.

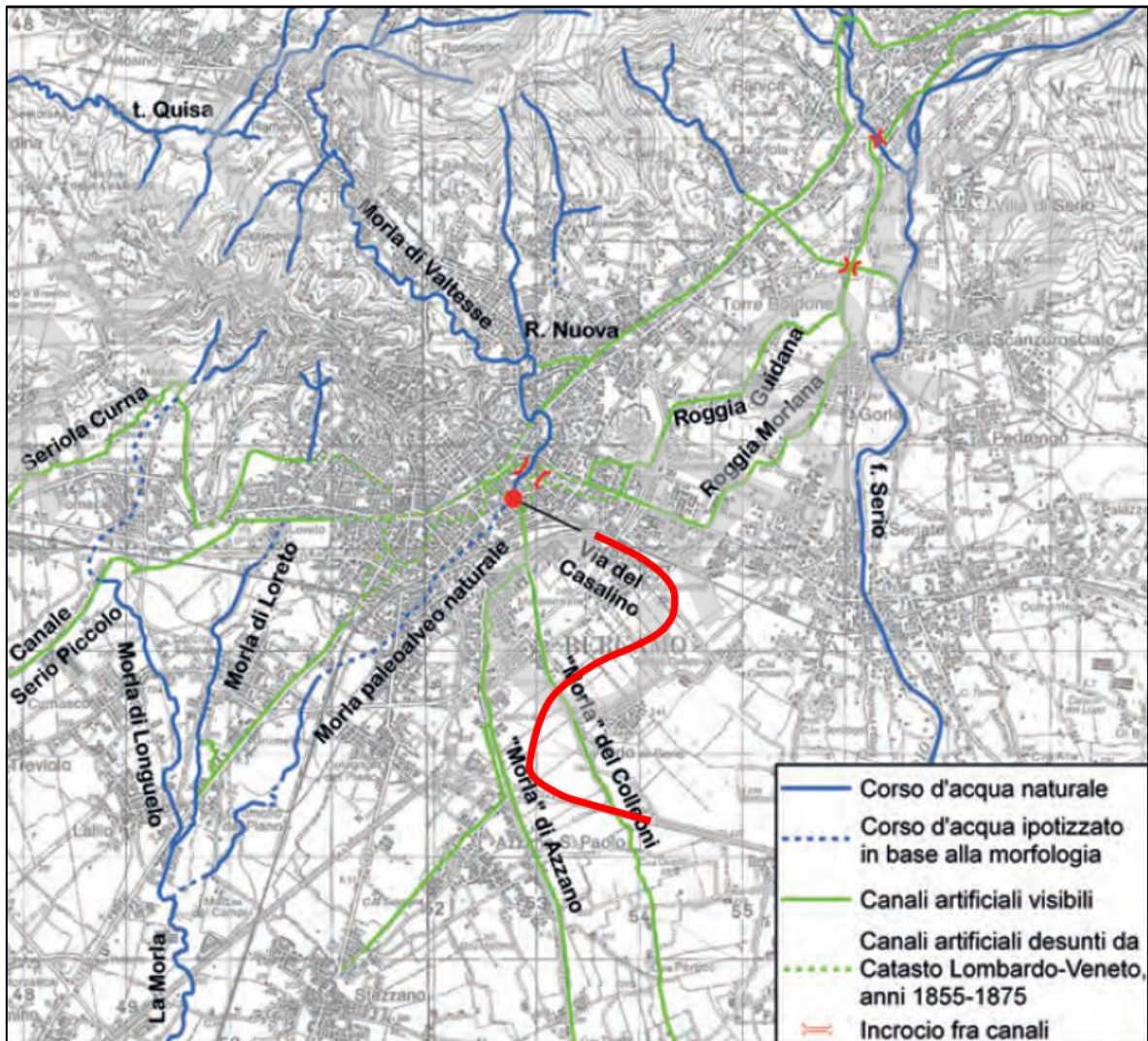


Figura 3-10 – Percorso della Morla e dei suoi affluenti (in blu). In rosso è stato evidenziato il tracciato in esame.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>30 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	30 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	30 di 116								

3.5.2 Inquadramento idrogeologico

La successione stratigrafica dei depositi presenti nel sottosuolo della Provincia di Bergamo individua due unità idrogeologiche corrispondenti a due sistemi acquiferi principali: un sistema superficiale, con falda libera/semiconfinata, ed uno inferiore con falda confinata.

- L'unità superiore è formata da ghiaie e sabbie passanti con la profondità a conglomerati ed arenarie, con intercalazioni di limi ed argille; lo spessore medio è di 80-100 metri ed il limite inferiore è posizionato convenzionalmente in corrispondenza delle prime intercalazioni metriche di argille che abbiano continuità orizzontale.
- L'unità inferiore è costituita da più livelli permeabili ghiaiosi ma soprattutto conglomeratici, porosi e fessurati, separati da setti argillosi; con la profondità si registra un progressivo aumento della componente argillosa: i livelli conglomeratici sono sede di falde confinate captate, a scopo idropotabile, nei comuni a sud di Bergamo.

L'unità idrogeologica superiore è formata da uno strato superficiale, di spessore compreso tra i 20 e i 30 metri, costituito da ghiaie e sabbie intercalate da livelli argillosi anche metrici; segue, fino al letto dell'unità, intorno agli 80-100 metri dal piano campagna, una successione di conglomerati e arenarie localmente fessurate, intercalate da livelli ghiaiosi compatti e/o livelli argilloso limosi. Questa unità idrogeologica è dunque quella di maggior interesse ai fini progettuali del presente studio.

Al fine di descrivere le caratteristiche idrogeologiche dell'area di progetto si è provveduto a redigere una carta ed un profilo idrogeologico lungo la linea (rispettivamente elaborato NM2700D69G5GE0002001A e NM2700D69FZGE0002001A) in cui sono state riportate le caratteristiche di permeabilità dei depositi, le isopieze relative alla falda, la rete idrografica ed i pozzi ad uso idropotabile censiti nell'area.

Per quanto riguarda la soggiacenza della falda, le indagini geognostiche eseguite a supporto del presente studio (paragrafo 5), spinte sino ad una profondità massima di 40 m da piano campagna, hanno individuato la presenza di quest'ultima nei sondaggi PDOR-S1 e PDOR-S4, rispettivamente alla profondità di 29,08 e 29,18 m.

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

31 di 116

Si è inoltre analizzata la cartografia idrogeologica allegata al PGT del comune di Bergamo. In

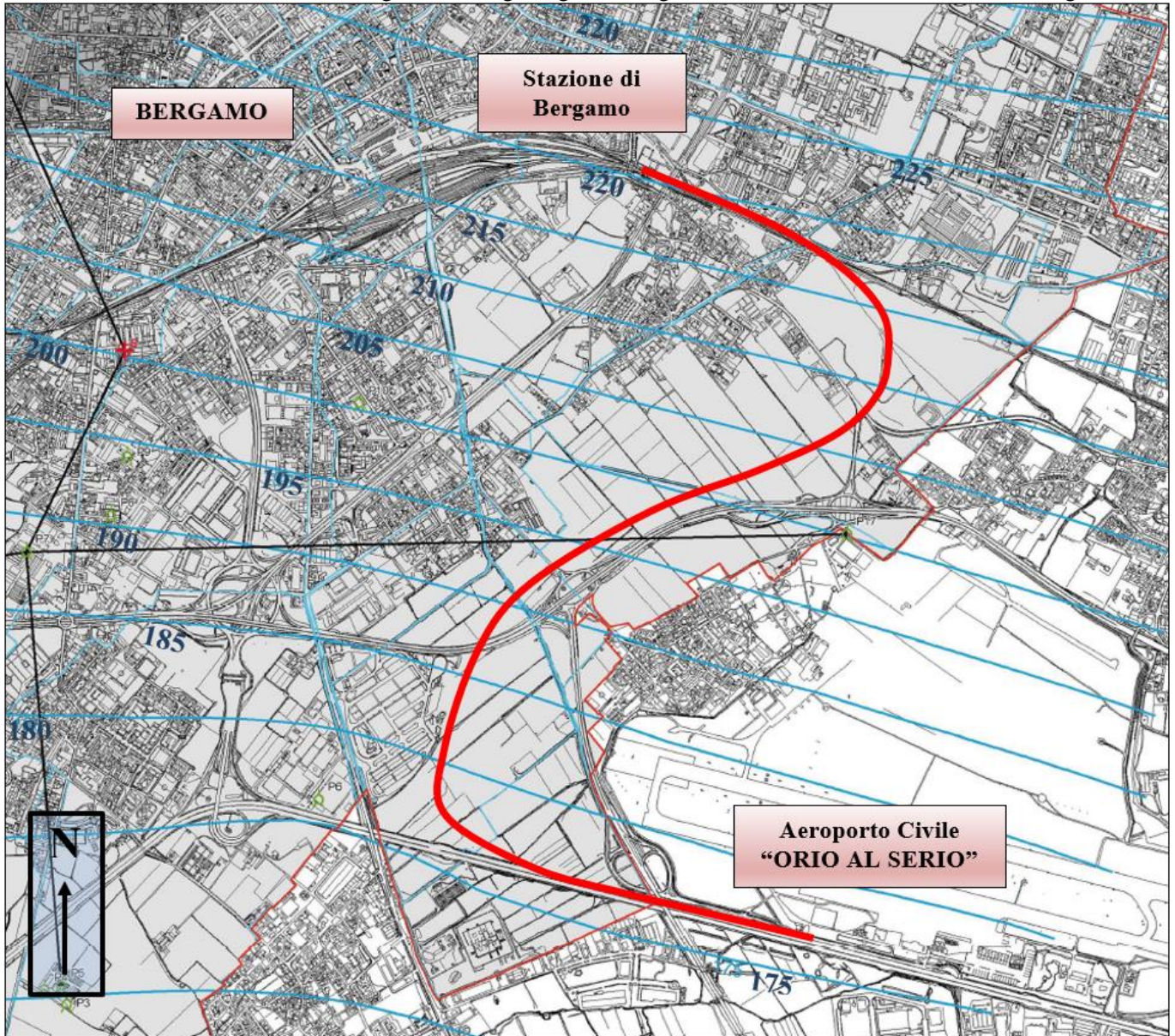


Figura 3-11 dunque si riporta uno stralcio di tale carta per l'areale di progetto; la tratta in esame interseca le linee piezometriche comprese tra 225 m s.l.m. (a nord) e 175 m s.l.m. (a sud), con un deflusso delle acque di falda in direzione tipicamente nord-sud. Sulla base di tale dato, la superficie di falda si ipotizza ad una profondità compresa fra 30m da p.c. (in corrispondenza della stazione di Bergamo) e 60 m da p.c. (in prossimità dell'Aeroporto Orio al Serio). Quest'ultima profondità risulta non coincidere con i dati ottenuti dalle misure piezometriche rilevate durante la campagna indagini del presente Progetto Definitivo.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>32 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	32 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	32 di 116								

Allo scopo di acquisire le necessarie informazioni sulle caratteristiche di permeabilità dei materiali nell’area di interesse del tracciato, durante l’esecuzione dei sondaggi geognostici sono state effettuate prove di permeabilità in foro. La prova Lefranc eseguita nel sondaggio S11 (PFTE “Raddoppio della tratta Ponte S. Pietro-Bergamo-Montello) alla profondità di 7 metri, ha determinato un valore della conducibilità idraulica pari a 1.28E-05 m/s. Le prove di permeabilità di tipo Lefranc, eseguite nei sondaggi S2 e S3 (realizzate nell’ambito del PFTE), hanno restituito valori della conducibilità idraulica, rispettivamente, di 2.63E-05 m/sec (a 8.5m di profondità) e 9.5E-06 m/sec (alla profondità di 10.2m). I valori di permeabilità ottenuti sono coerenti sia con il materiale rinvenuto nel sondaggio S2 nel primo caso (sabbia limosa), sia con il materiale rinvenuto nel sondaggio S3, indicato come cementato. Per quanto riguarda le prove di permeabilità, eseguite nei sondaggi realizzati per la progettazione definitiva, esse danno i seguenti valori di conducibilità idraulica: per i sondaggi PDOR-S1 e PDOR-S2 la prova è stata effettuata tra 1.5 e 2 m di profondità, restituendo valori di conducibilità idraulica, rispettivamente, di 4.83E-05 m/s e 3.62E-05 m/s; il sondaggio PDOR-S3 è stato sottoposto a prove di permeabilità alle profondità di 2 metri ($k=2.37E-05$ m/s) e 25 metri ($k=8.00E-06$ m/s); nel sondaggio PDOR-S4 le prove sono state eseguite a 2.5 e 25.5 metri di profondità, ottenendo valori di conducibilità idraulica pari a 8.26E-05 m/s e 1.08E-05 m/s.

Il sondaggio PDOR-S5, soggetto a prove alle profondità di 2 e 6.5 metri, mostra valori di k pari a 3.57E-06 e 6.81E-05 m/s, mentre le prove per il sondaggio PDOR-S5bis sono state predisposte alle profondità di 2, 6 e 10 metri, restituendo valori di k , rispettivamente, pari a 3.27E-05 m/s, 7.2E-04 m/s e 7.91E-05 m/s; i sondaggi PDOR-S6 e PDOR-S7 sono stati soggetti a prove di permeabilità a tre differenti profondità di 2, 6 e 9 metri dalle quali è stato possibile ricavare un valore della conducibilità idraulica, per ogni profondità, pari a 3.24E-08 m/s, 6.74E-06 m/s e 3.89E-05 m/s per il sondaggio PDOR-S6 e pari a 5.16E-05, 4.95E-05 e 4.46E-06 m/s per il sondaggio PDOR-S7; gli ultimi due sondaggi, PDOR-S8 e PDOR-S9, sono stati soggetti entrambi a prove di permeabilità alle profondità di 2 metri, restituendo valori di k , rispettivamente, di 1.22E-04 m/s e 4.73E-05 m/s.

Si ricorda come le prove di permeabilità in foro abbiano carattere puntuale e siano rappresentative di spessori ridotti di materiale.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

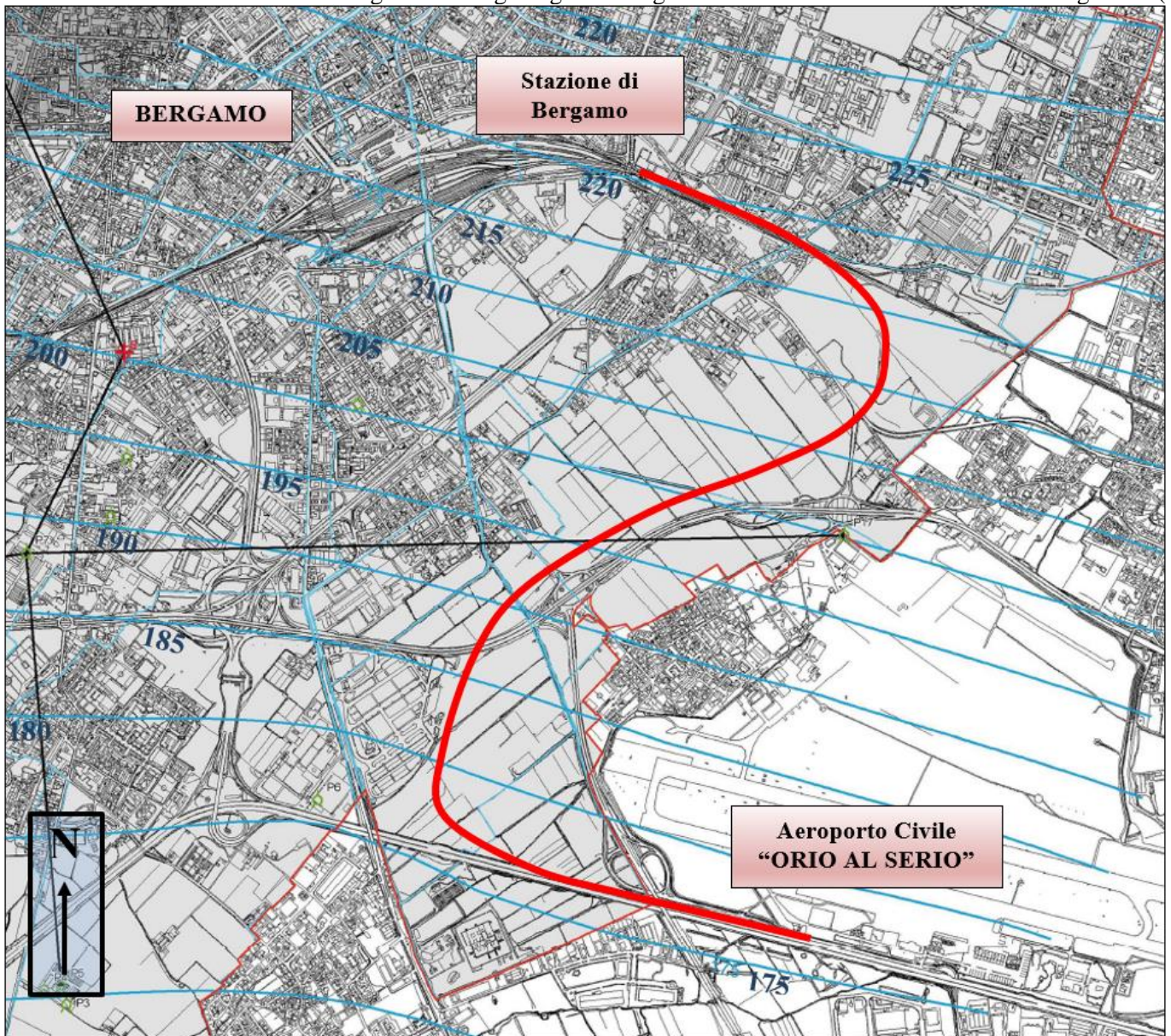
RG

GE 0000 001

A

33 di 116

Per avere un quadro più ampio sulle caratteristiche di permeabilità dei materiali presenti nell'area di studio, è stata nuovamente analizzata la cartografia idrogeologica allegata al PGT del comune di Bergamo (



RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

34 di 116

Figura 3-11). Da tale cartografia si evince come il tracciato intersechi sedimenti caratterizzati da una permeabilità medio alta, che presentano una conducibilità idraulica definita di Classe II (

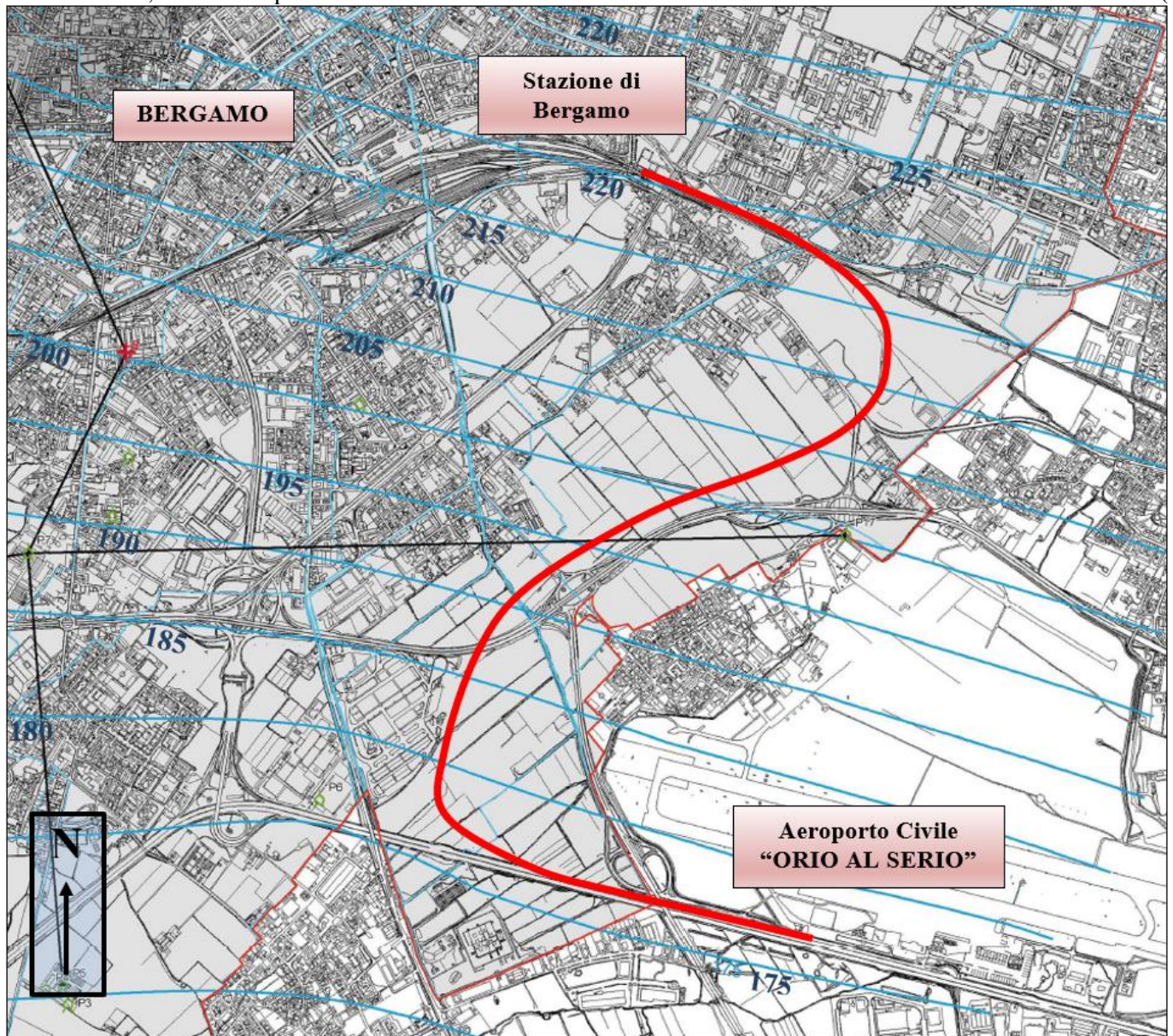


Figura 3-11 e Figura 3-12) compresa tra $10E-6$ e $10E-4$ m/s, dunque coerenti con i valori ottenuti tramite prove in foro.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

35 di 116

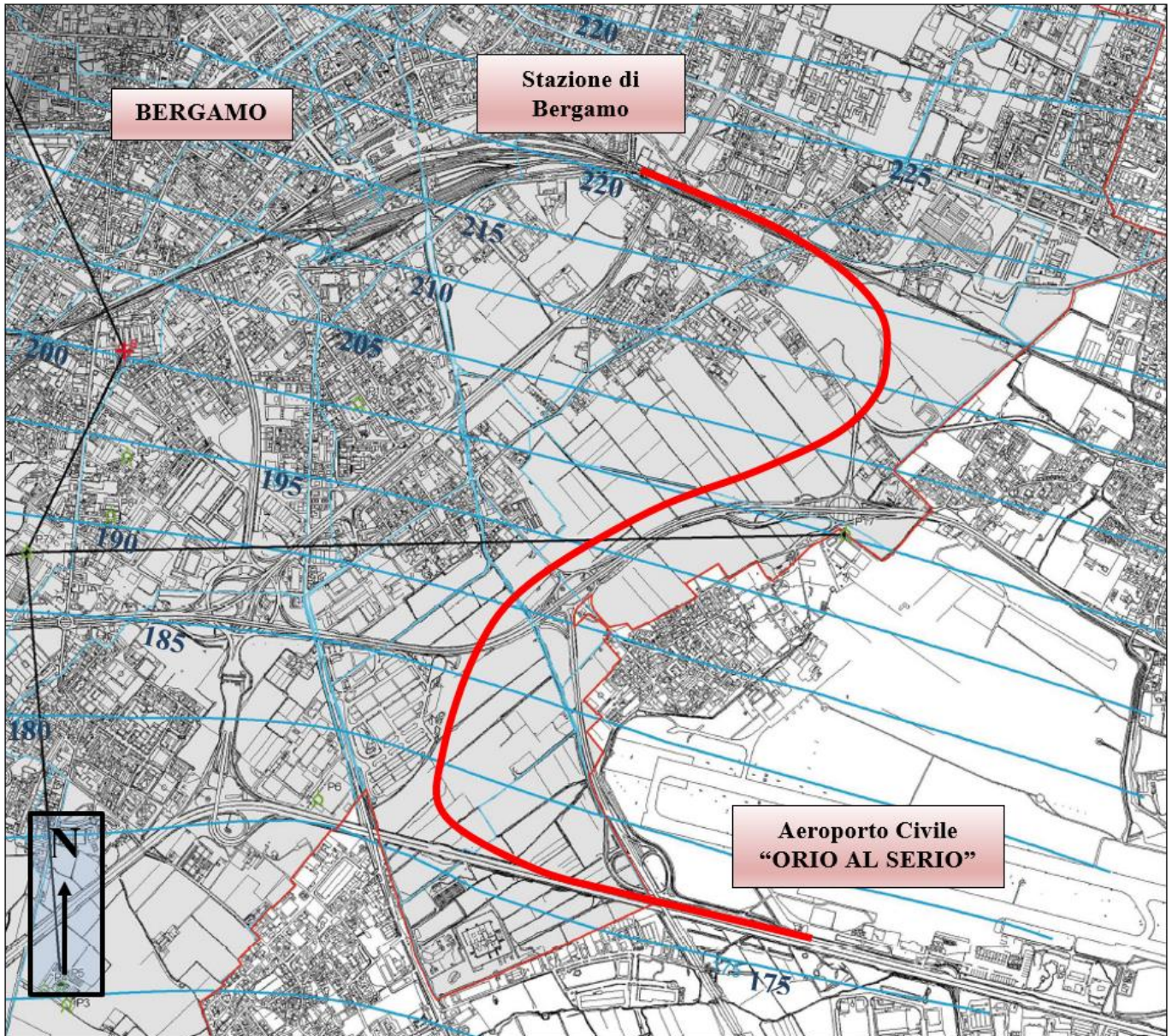



Figura 3-11 – Stralcio non in scala della Carta Idrogeologica (2011 allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo. Scala 1: 10.000. La linea in rosso indica il tracciato della ferrovia in progetto.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

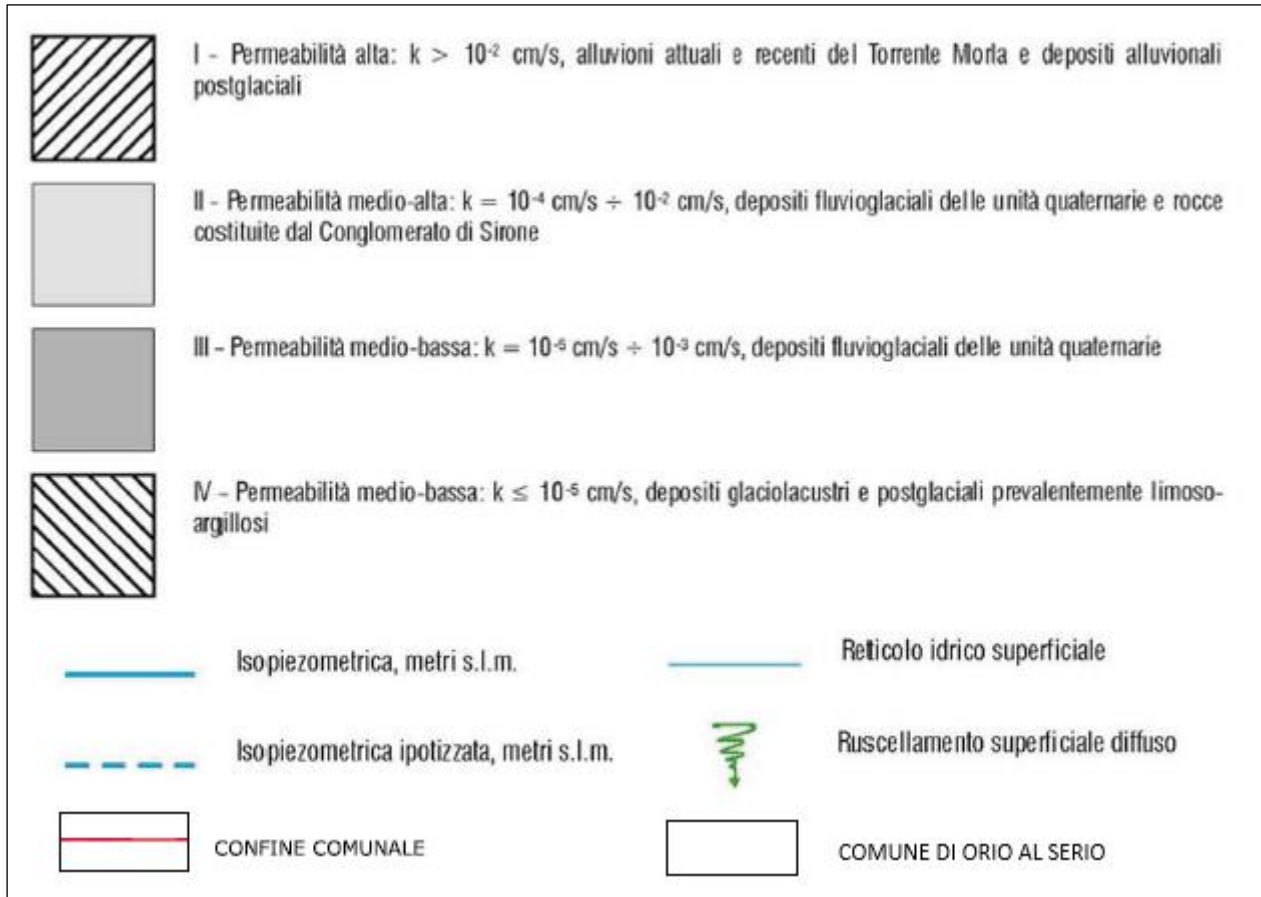


Figura 3-12 – Legenda della Carta Idrogeologica (2011) allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo.

3.5.3 Valutazione del ciclo idrogeologico della falda

Ai fini del presente studio risulta importante analizzare le variazioni della falda freatica presente negli areali di studio, in modo da identificarne il ciclo idrogeologico annuale (“anno idrogeologico”), definendo quindi le fasi di piena, di magra e di morbida. Per fare ciò si prendono in considerazione i dati resi disponibili da ARPA Lombardia per la provincia di Bergamo, ed in particolare il “Il Rapporto annuale 2012 sullo stato delle acque sotterranee della Provincia di Bergamo”. Tale rapporto contiene utili informazioni inerenti alla rete di pozzi e piezometri dislocati sul territorio bergamasco e periodicamente oggetto di monitoraggio qualitativo/quantitativo da parte di ARPA Lombardia. Qui di seguito vengono stralciati in particolare alcuni dei grafici riassuntivi riportati nel rapporto (da Figura 3-13 a **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) relativi ai dati piezometrici di alcuni dei punti più significativi per le aree oggetto del presente studio, ed analizzati in modo da ricavare un’interpretazione in merito, come sopra accennato, all’anno idrogeologico della falda.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

37 di 116

- Piezometro PO0160240R0296 di Bergamo: sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 3-13 è possibile osservare come il massimo piezometrico sia in corrispondenza dei mesi di agosto-settembre 2011 e 2012, mentre i minimi tra marzo e aprile 2011 e 2012. Un andamento similare viene riportato nel grafico in Figura 3-14 stralciato dalla relazione geologica del PGT della città di Bergamo, il quale evidenzia i massimi piezometrici nei mesi di settembre-ottobre del 2005 e del 2006 ed i minimi tra febbraio e marzo 2006.
- Pozzo PO0160890R0001 di Curno: sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 3-15 è possibile osservare come siano presenti dei massimi piezometrici assoluti e relativi. I massimi assoluti sembrano essere identificabili nei mesi di novembre-dicembre 2009, 2010 e 2011, intervallati da massimi relativi nei mesi di maggio-giugno 2009, 2010, 2011 e da minimi nei mesi di ottobre-novembre dei medesimi anni.
- Piezometro PO0161150U0002 di Gorle: sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 3-16 è possibile osservare come i massimi piezometrici siano collocati tra agosto e settembre 2009, 2010 e 2011, seguiti da massimi relativi ad ottobre degli stessi anni, mentre i minimi sono individuabili tra i mesi di febbraio e di marzo.
- Pozzo PO0161390R0001 di Montello: sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 3-17 è possibile osservare come i massimi piezometrici siano individuabili nei mesi di maggio-giugno 2011 e 2012, con picchi tuttavia anche nei mesi di novembre 2011 e dicembre 2012, mentre i minimi sarebbero individuabili tra agosto e settembre dei medesimi anni. L’andamento risulta dunque poco correlabile con gli altri punti di misura.

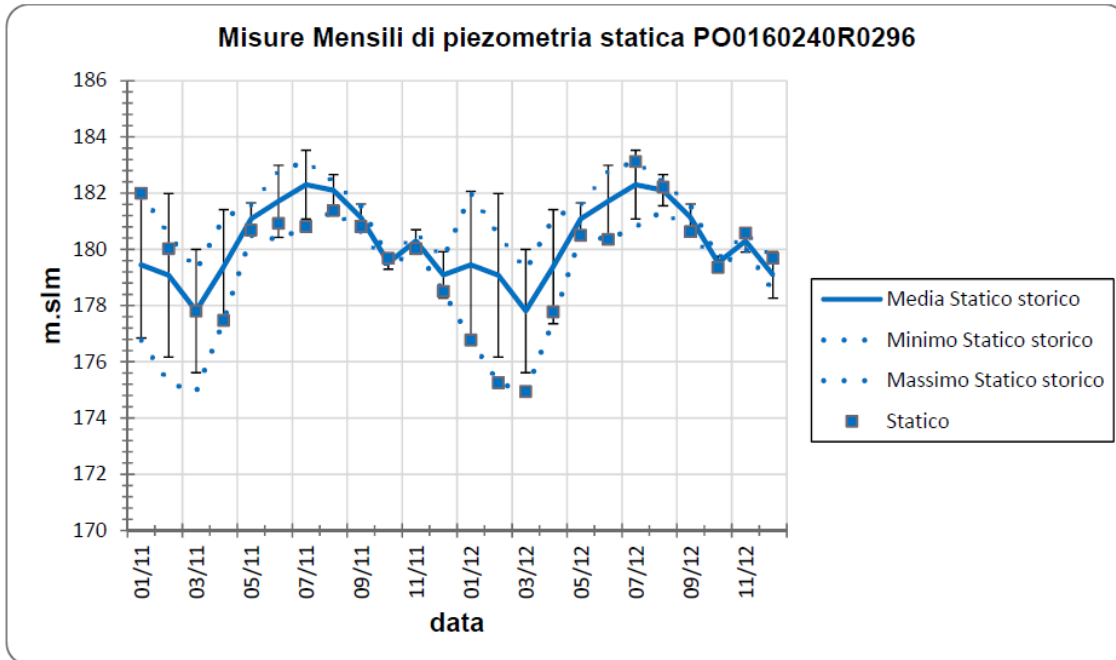


Figura 3-13 – Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al piezometro PO01602470R0296 di Bergamo per il periodo da gennaio 2011 a dicembre 2012

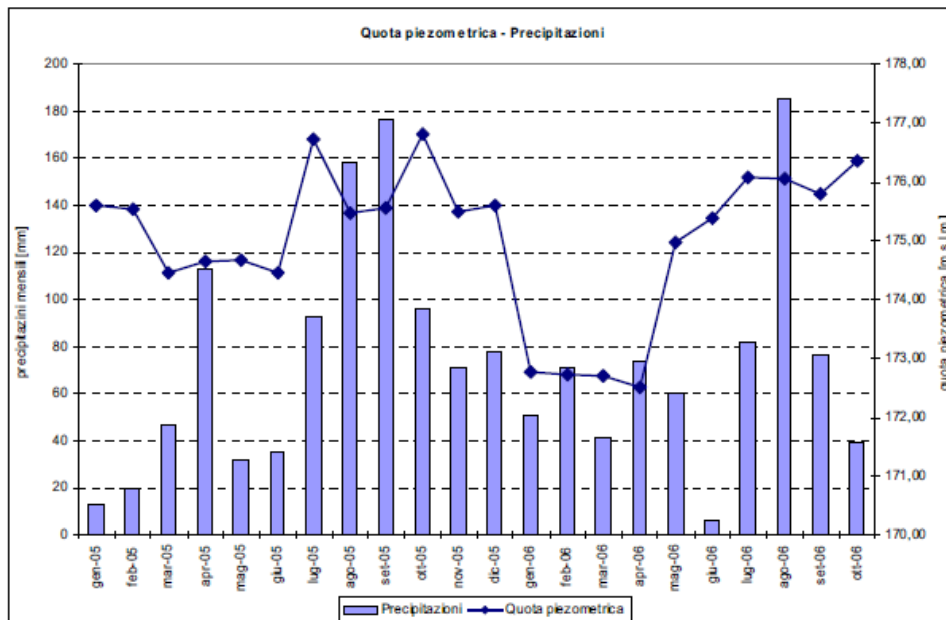


Figura 3-14 – Confronto tra l’oscillazione della quota piezometrica, nel pozzo dell’Istituto Arti Grafiche, con le precipitazioni medie mensili, misurate alla stazione meteorologica sita in Via Garibaldi. (Relazione geologica PGT di Bergamo, 2011).

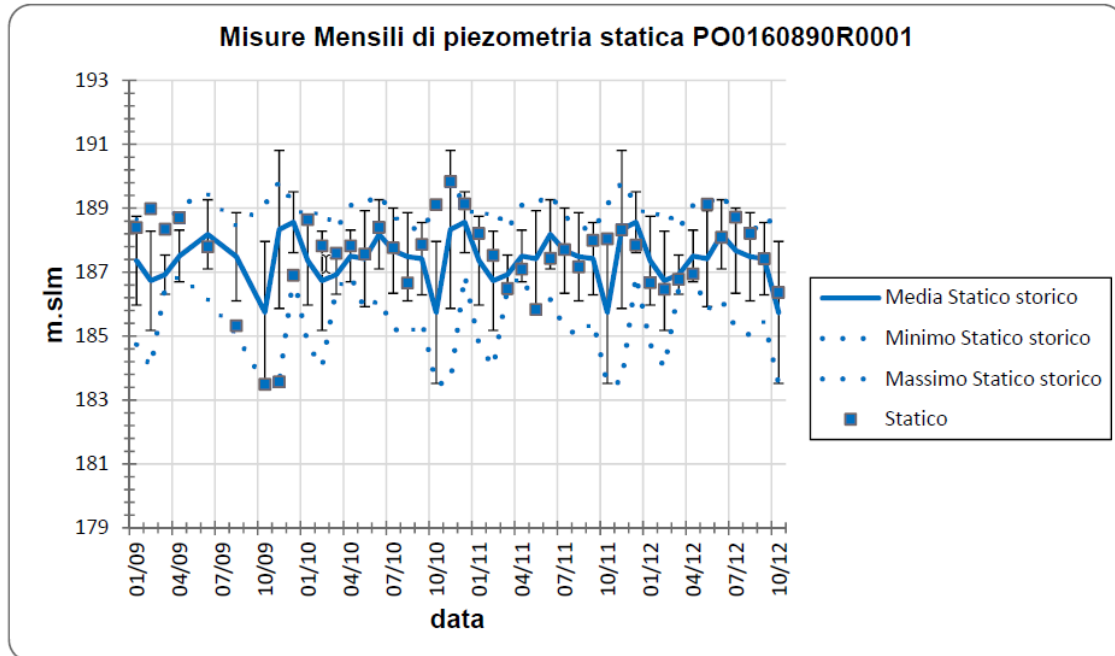


Figura 3-15 - Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al pozzo PO0160890R0001 di Curno per il periodo da gennaio 2009 a novembre 2012.

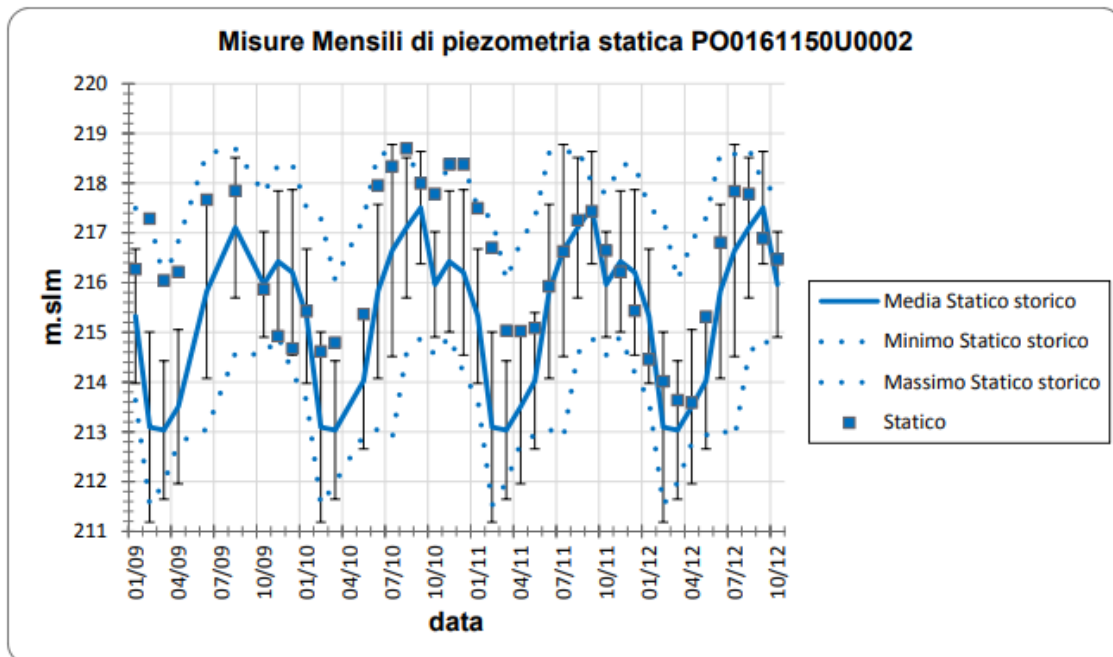


Figura 3-16 – Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al pozzo PO0161150U0002 di Gorle per il periodo da gennaio 2009 a novembre 2012.

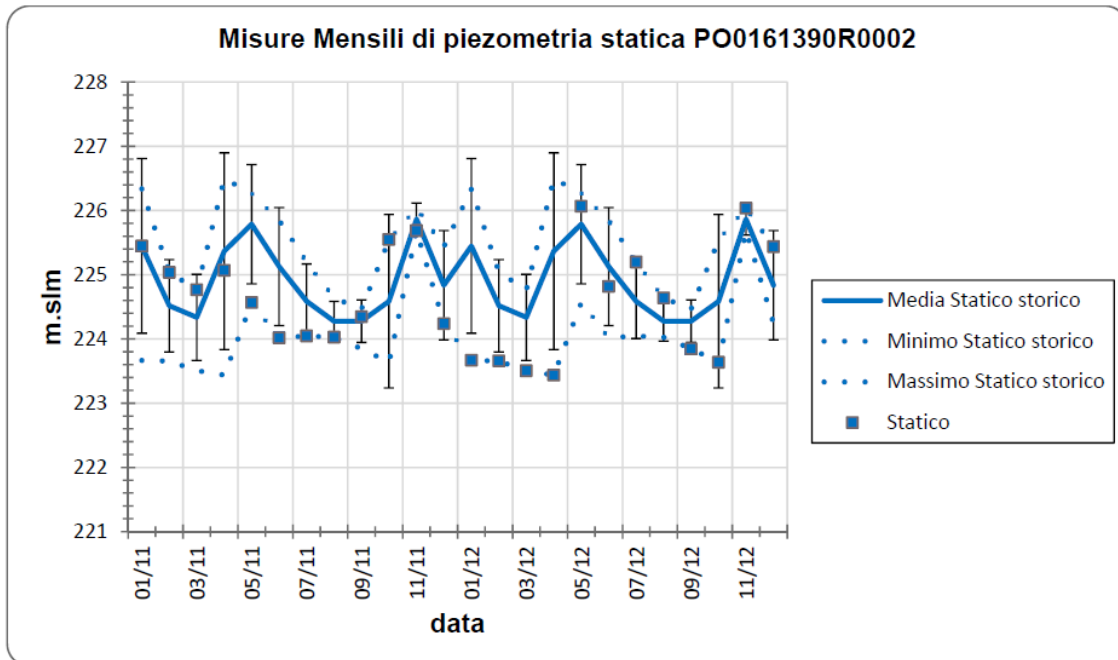


Figura 3-17 - Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al pozzo PO0161390R0001 di Montello per il periodo da febbraio 2009 a dicembre 2012.

Sulla base dei dati sopra esposti dunque, anche se tali dati non risultano completamente uniformi probabilmente a causa di condizioni locali (regime di emungimento dei pozzi, regime delle precipitazioni) è possibile affermare che alla scala stagionale le variazioni dei livelli piezometrici mostrano una ciclicità connessa probabilmente all'apporto legato alla pratica irrigua, effettuata tra maggio-giugno ed agosto, con conseguente massimo piezometrico tra fine agosto e settembre, e al contributo delle precipitazioni che indicano due periodi di massima ad aprile-maggio e ad ottobre-novembre.

È possibile dunque definire un regime di piena della falda nel periodo tardo-estivo – inizio autunnale, ed un periodo di magra nel periodo invernale o tardo invernale. Considerate le caratteristiche di intensa antropizzazione dell'area in esame, ci si aspetta un contributo minore degli apporti legati alla pratica irrigua rispetto ad aree agricole di pianura a sud dell'area urbana di Bergamo, mentre risulteranno più influenti gli apporti delle precipitazioni che alimentano la falda.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 41 di 116

3.6 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

Per vulnerabilità degli acquiferi si intende la suscettibilità dell'acquifero ad assorbire elementi inquinanti provenienti dalla superficie per infiltrazione. La valutazione della vulnerabilità richiede la conoscenza dettagliata di diversi elementi: le geometrie ed i parametri idraulici delle unità costituenti il sottosuolo; i meccanismi di alimentazione delle falde; i processi di interscambio tra l'inquinante, il non saturo, l'acquifero e le falde.

Il Piano di governo del territorio di Bergamo ha redatto la cartografia della vulnerabilità dell'acquifero utilizzando il metodo DRASTIC. Si riporta in Figura 3-18 uno stralcio di tale carta; da essa si evince come il tracciato in progetto ricada nella porzione nord in classe 5 (vulnerabilità mediamente alta, 51-60%) e nella porzione a sud in classe 4 (vulnerabilità alta, 61-70%).

Il testo della Relazione geologica del comune riporta quanto segue per la classe 4 e 5:

“Pur non trovandosi in condizioni estreme delle classi a maggiore vulnerabilità, la dizione "mediamente alta – alta" deve richiamare ad una certa attenzione nella gestione della risorsa idrica superficiale da parte delle utenze private e ad un'adeguata politica di controllo di soggetti privati produttori reali o potenziali di inquinamento.”

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

42 di 116

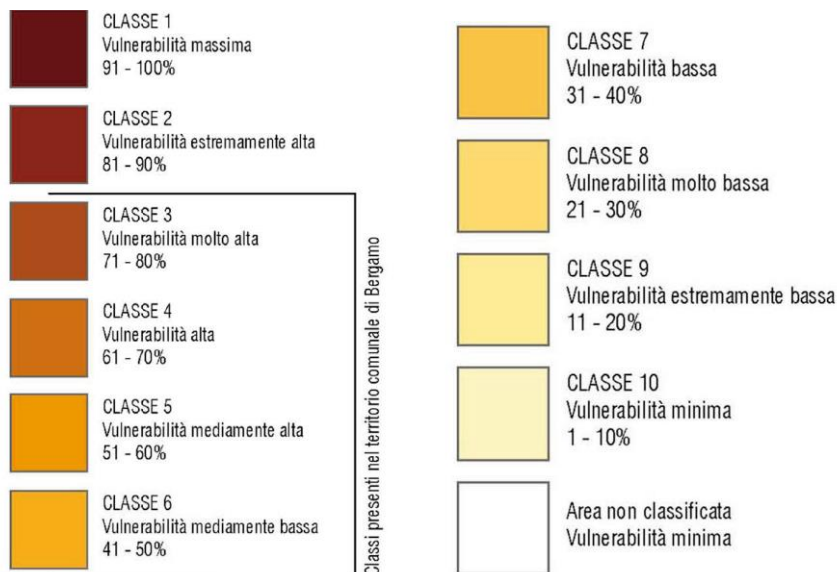
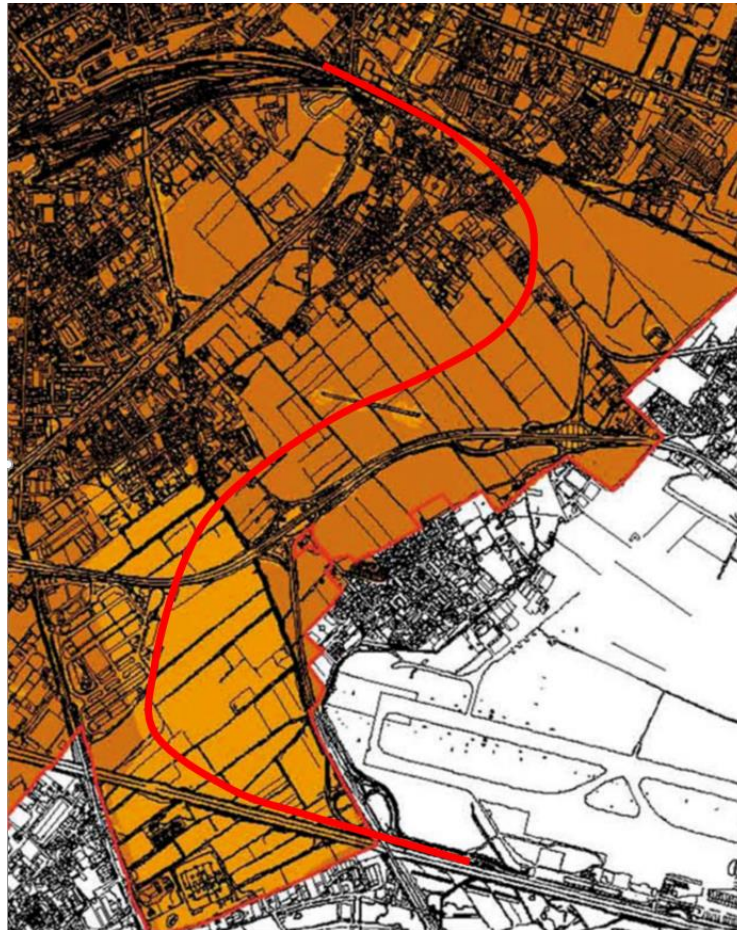


Figura 3-18 – Stralcio (non in scala) con legenda della Carta della vulnerabilità dell’acquifero superficiale del PGT di Bergamo.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>43 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	43 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	43 di 116								

4 ANALISI DELLE CRITICITA' GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE

Nel presente paragrafo si analizzano le possibili criticità di carattere geomorfologico, idraulico e geologico negli areali interessati dal presente progetto.

4.1 CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE

Per quanto concerne i rischi di natura geologico-geomorfologica è stata analizzata la cartografia redatta dal Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo. L'elaborato geologico del Piano di Governo del Territorio definisce come segue le Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti:

Cr: aree soggette a crolli di massi; si tratta di pareti di limitate dimensioni che presentano, per la loro verticalità e la geometria del sistema di discontinuità che pervadono l'ammasso roccioso, la possibilità di distacco di blocchi.

S11: aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche fini (argilla e limo) su pendii ad elevata acclività.

S12: aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii mediamente acclivi. Lo spessore della copertura detritica è minore rispetto a S11.

S13: aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti di coperture detritiche a tessitura mista su pendii a bassa acclività.

Tor: aree di pertinenza torrentizia le cui dinamiche sono governate dallo scorrimento di acque all'interno di solchi di ruscellamento concentrato. Le criticità sono causate dall'erosione accelerata delle sponde e possibilità di innesco di scivolamenti superficiali dei depositi sia coesivi che incoerenti. Sono comprese le fasce perimetrali le incisioni torrentizie lungo i versanti collinari. Appartengono a questa classe anche le aree potenzialmente interessate da flussi di detrito in corrispondenza di conoidi pedemontane al raccordo versante pianura.

Analizzando la cartografia tematica redatta dal PGT comunale di Bergamo (Figura 4-1) è possibile affermare che la tratta in progetto, sviluppandosi interamente su territorio pianeggiante e lontano da aree di versante, non risulta interessata da tale tipologia di fenomeno.

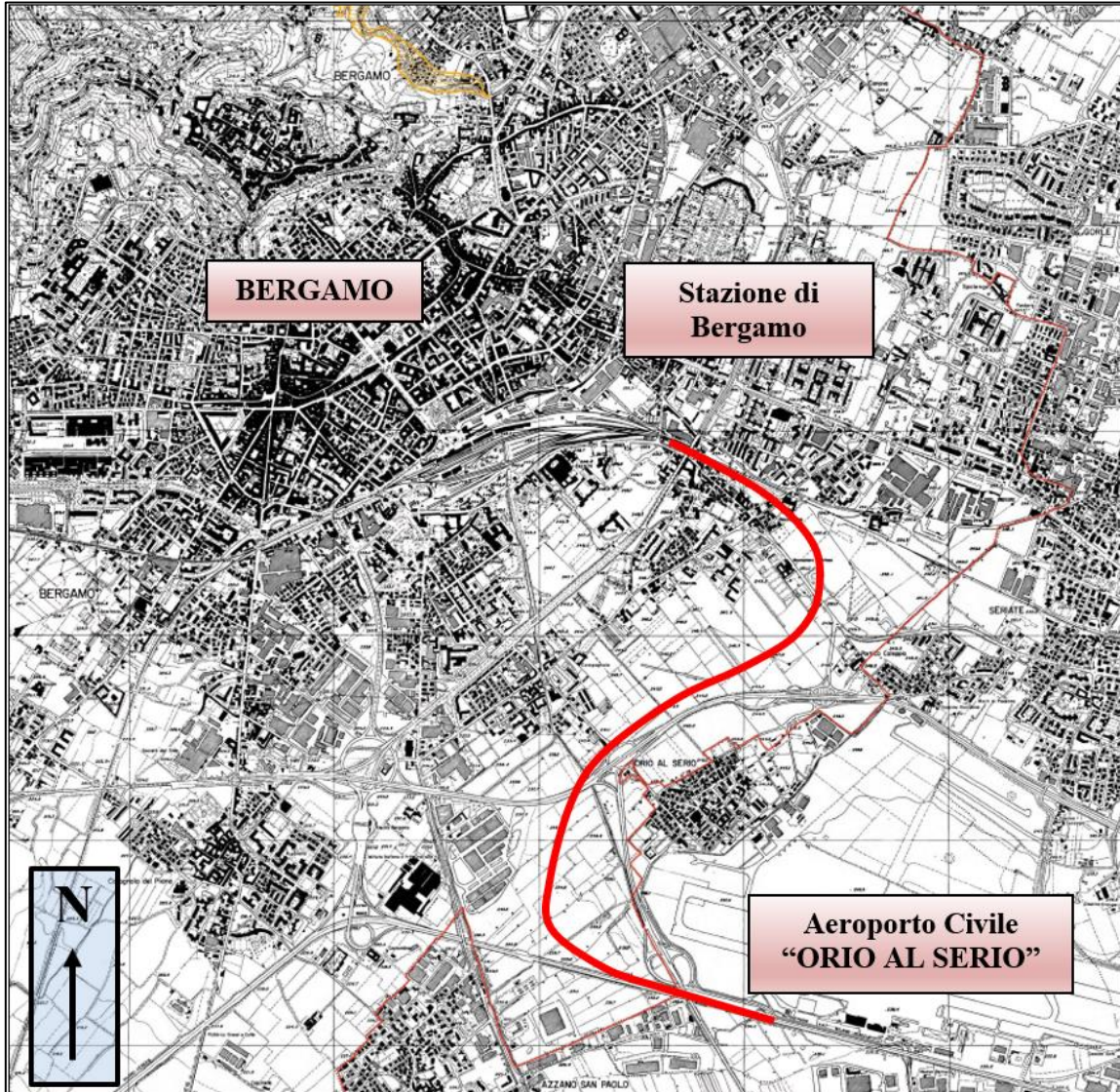


Figura 4-1 – Stralcio, non in scala, della Carta di Sintesi (2011), e relativa legenda, allegata al Piano di Governo del territorio del comune di Bergamo. Scala 1: 10.000. In rosso si evidenzia il tracciato oggetto di studio.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>45 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	45 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	45 di 116								

È stata inoltre consultata la cartografia online del Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del Po (P.A.I.) (Figura 4-2) nella versione vigente, aggiornata, rispetto alla versione PAI originale approvata con DPCM 24 maggio 2001, secondo le procedure definite nel PAI e nelle disposizioni regionali attuative del PAI in campo urbanistico. In particolare, la cartografia disponibile mostra i contenuti dei seguenti elaborati:

- Elaborato 1 - Allegato 4 “Delimitazione delle aree in dissesto” contenente la delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, dei fenomeni di dissesto che caratterizzano il reticolo idrografico di montagna: conoidi (Ca, Cp, Cn), esondazioni di carattere torrentizio (Ee, Eb, Em), frane (Fa, Fq, Fs) e valanghe (Va, Vm).
- Elaborato 2 – Allegato 4.1 “Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato”, contenente la perimetrazione e la zonizzazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr).

Per entrambe le cartografie l’area di progetto non interseca elementi fonti di particolare criticità.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

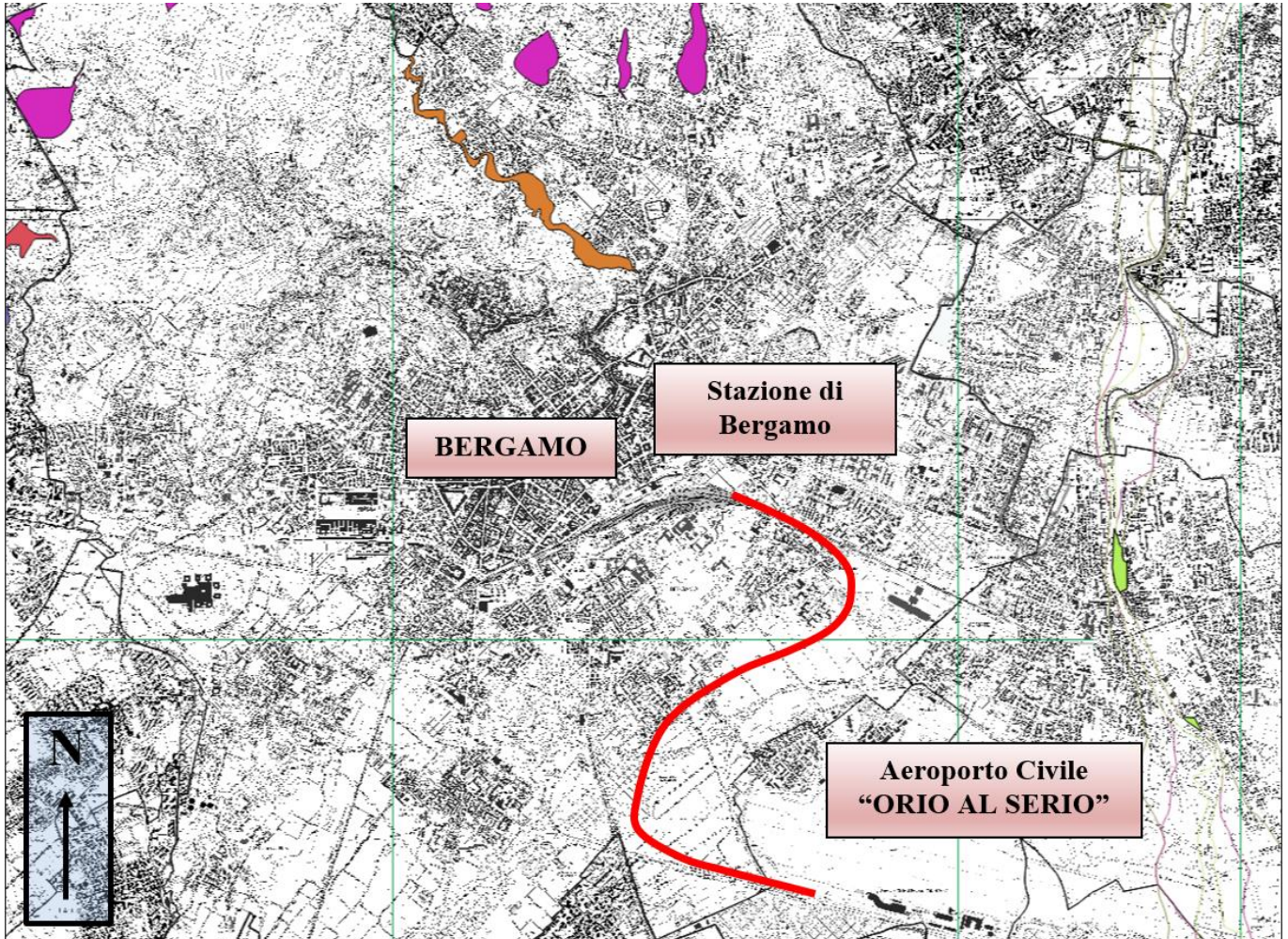
01 D 69

RG

GE 0000 001

A

46 di 116






















	Area a pericolosità elevata (Eb)/Modifiche e integrazioni
	Area a pericolosità media o moderata (Em)/Modifiche e integrazioni
	Area a pericolosità media o moderata (Vm)/Modifiche e integrazioni
	Area a pericolosità molto elevata (Ee)/Modifiche e integrazioni
	Area a pericolosità molto elevata o elevata (Va)/Modifiche e integrazioni
	Area di conoide attivo non protetta (Ca)/Modifiche e integrazioni
	Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)/Modifiche e integrazioni
	Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cm)/Modifiche e integrazioni
	Area di frana attiva (Fa)/Modifiche e integrazioni
	Area di frana quiescente (Fq)/Modifiche e integrazioni
	Area di frana stabilizzata (Fs)/Modifiche e integrazioni
	CONOIDI: Zona 1
	CONOIDI: Zona 2
	ESONDAZIONI: Zona 1
	ESONDAZIONI: Zona 2
	ESONDAZIONI: Zona B-Pr
	ESONDAZIONI: Zona I
	FRANE: Zona 1
	FRANE: Zona 2

Figura 4-2 – Stralcio non in scala della carta della pericolosità, e relativa legenda, allegata al Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del Bacino del Po (P.A.I.).

4.2 CRITICITÀ IDRAULICHE

Per quanto concerne potenziali criticità di natura idraulica, sempre la Carta di Sintesi sopra citata e riportata in Figura 4-3, evidenzia le aree vulnerabili dal punto di vista idraulico. Dalla Figura 4-3, in cui è stata evidenziata in rosso la tratta in progetto, si evince che l’area di studio interseca aree vulnerabili dal punto di vista idraulico, in particolare aree adiacenti ai corsi d’acqua da mantenere a disposizione per consentire l’accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.

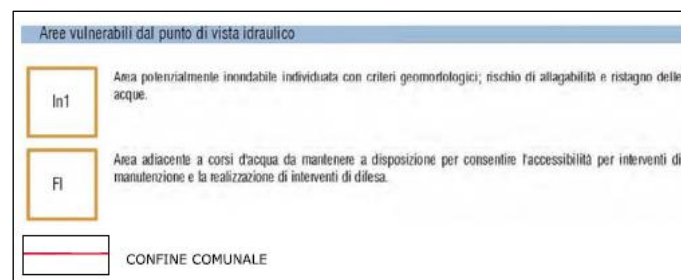
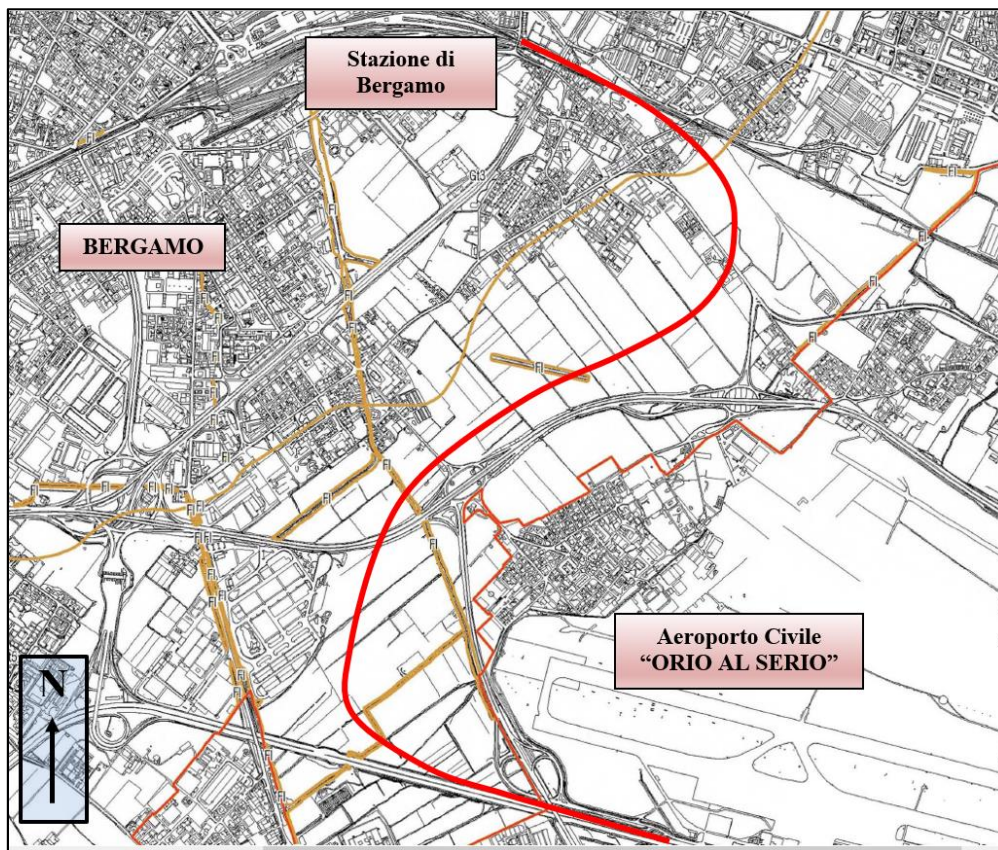


Figura 4-3 – Stralcio, non in scala, della Carta di Sintesi del Piano di Governo del territorio del comune di Bergamo (2011), e relativa legenda, Scala 1: 10.000. In rosso si evidenzia il tracciato oggetto di studio.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

È stata inoltre analizzata la cartografia della pericolosità da alluvione redatta nell’ambito del Piano di Gestione Rischio Alluvioni nel bacino del Fiume Po (PGRA). Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, in particolare dal D.Lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l’ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d’acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA-Po).

Il PGRA-Po in particolare contiene:

- la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio; una diagnosi delle situazioni a maggiore criticità (SEZIONE A).
- il quadro attuale dell’organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità (SEZIONE B).
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione (SEZIONE A) e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi (SEZIONE B).

In particolare, la classificazione della pericolosità delle aree utilizzata dal piano è la seguente:

Mappe di pericolosità - scenari

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale			
Scenario	Tempo di ritorno		RP	RSCM*	RSP	ACL
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 anni (frequente)	P3 elevata	10-20 anni	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 anni (poco frequente)	P2 media	100-200 anni	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500 anni	Em, Cn		Massimo storico registrato

* Legenda PAI

Figura 4-4 – Tabella di classificazione della pericolosità da alluvione del PGRA, da “Le mappe di pericolosità e di rischio di alluvioni - Metodologia e esempi R. Occhi, M. Credali, C. Ugnani D.G. Territorio, Urbanistica e Difesa del suolo”.

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

49 di 116

In Figura 4-5 si riporta uno stralcio della cartografia redatto nell’ambito del PGRA nel bacino del Fiume Po per l’area di progetto. Come è possibile osservare la tratta in progetto non interseca alcuna area allagabile. La fascia fluviale più vicina è quella del Serio, posta a circa 2.5 km dalla parte terminale del tracciato.

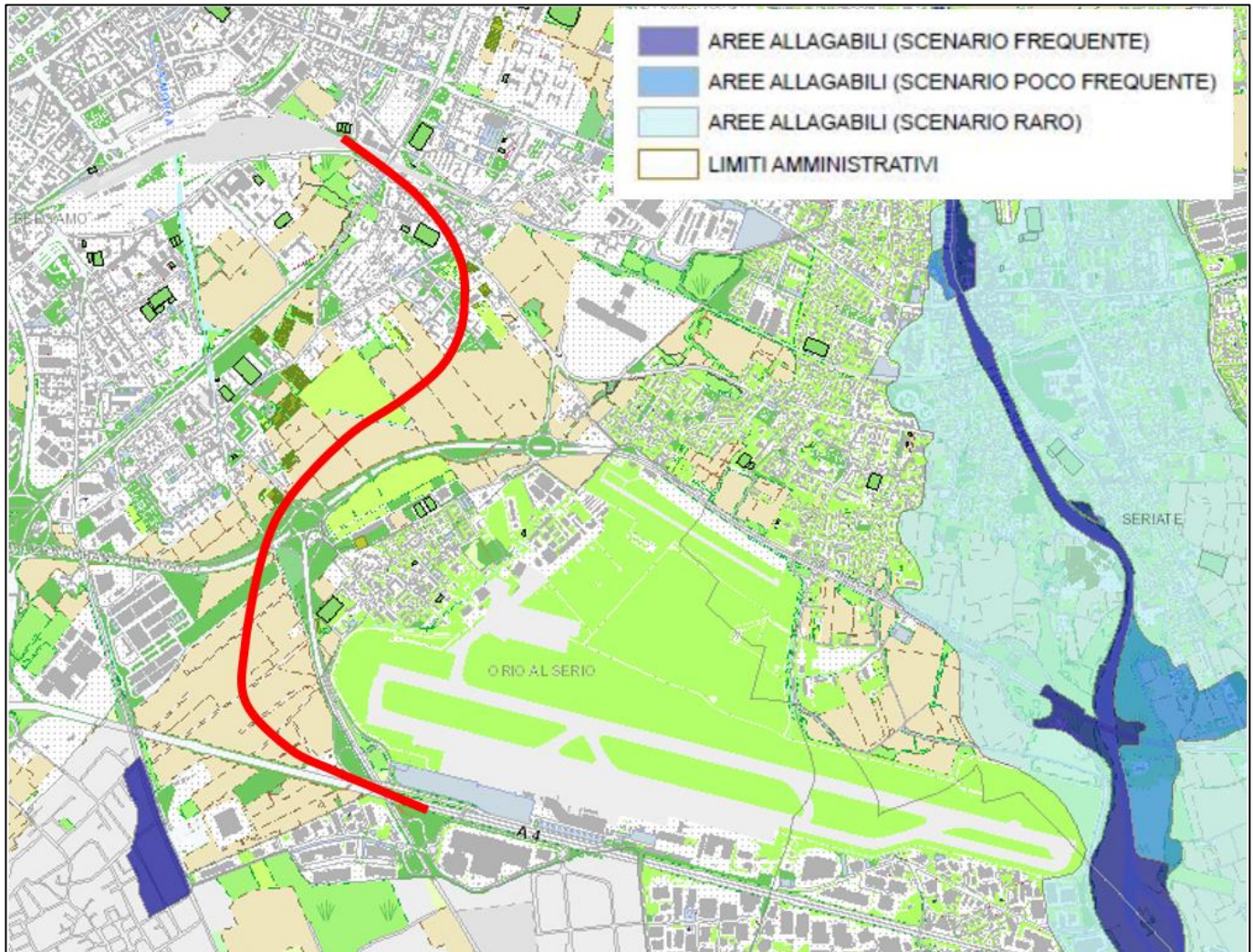


Figura 4-5 – Stralcio della cartografia della Pericolosità idraulica del PGRA dell’Autorità di Bacino del fiume Po. In rosso si evidenzia il tracciato di progetto.

4.3 CRITICITÀ DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Dal punto di vista delle criticità geologiche è possibile analizzare i dati resi disponibili dalle campagne indagini eseguite nel 2019 a supporto del PFTE e a supporto della presente Progettazione Definitiva (per maggior dettaglio si

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>50 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	50 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	50 di 116								

rimanda al paragrafo 7). Si evidenzia in particolare la presenza di valori di N_{spt} molto bassi nei sondaggi S2 a 4.5 e 9 metri, PDOR-S5 a 4.5, 6 e 30 metri, PDOR-S5bis a 6 e 9 metri e PDOR-S8 a 24 metri di profondità, indice di livelli di materiale medio fine particolarmente sciolto; tali bassi valori sono correlabili alle basse consistenze dei materiali. Ulteriori bassi valori di N_{spt} si sono riscontrati nei sondaggi PDOR-S2 a 9 metri e PDOR-S3 a 6.4 metri di profondità, la cui stratigrafia definisce presenza di ghiaia con sabbia limosa, quindi i valori ottenuti sono legati alla presenza di strati di matrice fine.

Valori bassi di N_{spt} potrebbero essere dovuti alla quantità di acqua utilizzata in fase di perforazione che può aver inficiato i risultati. Dalle evidenze stratigrafiche non si è osservata la presenza di cavità.

4.3.1 Fenomeno degli “occhi pollini”

Con il termine occhi pollini si intendono degli sprofondamenti del terreno, di estensione orizzontale e verticale variabile e che possono interferire con le attività antropiche; sono legati ad una serie di fenomeni che interessano i depositi sedimentari superficiali e sono strettamente correlati all’infiltrazione e alla circolazione di acqua nel sottosuolo e alla litologia dei terreni.

Il fenomeno è tipico del territorio dell’alta pianura, ed in particolare nella fascia lombarda tra il Ticino e il fiume Adda (Figura 4-6), ed è associato allo sviluppo di cavità sia in depositi sedimentari cementati (ad esempio, il ceppo) sia in depositi sedimentari non cementati (ad esempio, ghiaie alterate e/o depositi a tessitura fine) per i quali la coesione permette il mantenimento di cavità al loro interno. Le cavità possono essere parzialmente o totalmente riempite di materiale di crollo e/o sedimenti derivanti dalla circolazione idrica sotterranea; la loro genesi avviene per il processo noto come *piping*, che consiste nell’asportazione granulo a granulo di materiale da parte delle acque di infiltrazione diretta circolanti dalla superficie e verso la profondità, generalmente in situazioni in cui depositi meno permeabili sovrastano depositi con grado di permeabilità maggiore. Ad esempio, le ghiaie alterate fungono da livello a bassa permeabilità, mentre il conglomerato sottostante funge da materiale permeabile in quanto spesso disomogeneo, con un reticolo di cavità prodotte da carsismo, fessure e livelli poco cementati che permettono il transito di acqua con materiale in sospensione.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	51 di 116

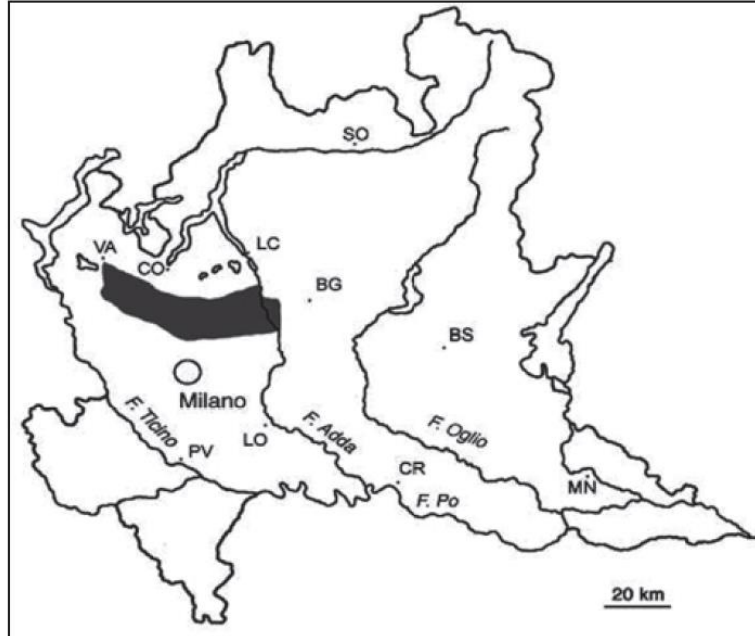


Figura 4-6 – Distribuzione areale del fenomeno degli occhi pollini (Strini 2004).

Gli occhi pollini evolvono in due direzioni. Da una parte l’acqua che si infiltra asporta il materiale fine e ingrandisce il vuoto esistente; dall’altro, oltre una certa dimensione, la cavità evolve per crollo, in quanto la coesione data dall’alterazione non è sufficiente a sostenere la volta oltre un certo limite. L’eventuale crollo del diaframma superficiale può avvenire anche per sollecitazioni in caso di forti precipitazioni, effetto “leva” delle radici delle piante mosse dal vento o per sollecitazioni antropiche come sovraccarico per costruzioni e passaggio di mezzi e/o vibrazioni. Il motore principale di innesco ed evoluzione è, in ogni caso, una variazione del regime idraulico nel sottosuolo che può essere data sia da cause naturali sia da cause antropiche. La presenza degli occhi pollini nel sottosuolo viene generalmente rilevata grazie alla scarsa resistenza all’avanzamento delle sonde penetrometriche, dato che solitamente le cavità sono distinguibili per una resistenza nulla o quasi nulla. Si nota frequentemente che anche al di sopra delle cavità i terreni presentano cadute di resistenza, fino quasi alla superficie, producendo importanti fenomeni di detensionamento anche a diversi metri di distanza dai vuoti stessi.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 52 di 116

4.3.2 Indagini tramite tomografie elettriche 3d

La metodologia “geoelettrica” rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la ricostruzione delle strutture presenti nel sottosuolo con particolare riferimento alle tematiche legate alla caratterizzazione delle diverse formazioni geolitologiche. I recenti sviluppi dell’elettronica e delle procedure di acquisizione dati gestite via software, hanno consentito di applicare questa metodologia, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistiche e dettaglio un tempo impensabili.

Il parametro di base è la “resistività elettrica”, proprietà fisica che esprime la “resistenza” che i materiali offrono al passaggio della corrente elettrica.

Le misure geoelettriche consentono, valutando le deformazioni del flusso di corrente indotte dalle proprietà fisiche dei materiali, di caratterizzare i materiali stessi e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività che caratterizza i materiali costituenti il sottosuolo, è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- natura litologica (conducibilità intrinseca dei componenti di base);
- porosità e/o fratturazione e quindi forma, dimensione e continuità dei pori;
- percentuale di presenza di fluidi interstiziali (essenzialmente presenza di acqua);
- grado di salinità dell’acqua di saturazione;
- presenza di matrice fine.

Lungo la tratta oggetto di questo studio sono state raggruppate 9 aree di rilievo Tomografico Elettrico in acquisizione 3D denominate da E3D_A a E3D_I (Figura 4-8, Figura 4-9, Figura 4-10 e Figura 4-11) e n. 12 profili Tomografici Elettrici in acquisizione 2D, denominati con sigle da E2D_L1 a E2D_L11 (Figura 4-7, Figura 4-8, Figura 4-9, Figura 4-10 e Figura 4-11) nel comune di Bergamo. Si faccia riferimento all’elaborato NM2700D69IGGE0000001A-Indagini geofisiche e ai suoi allegati.

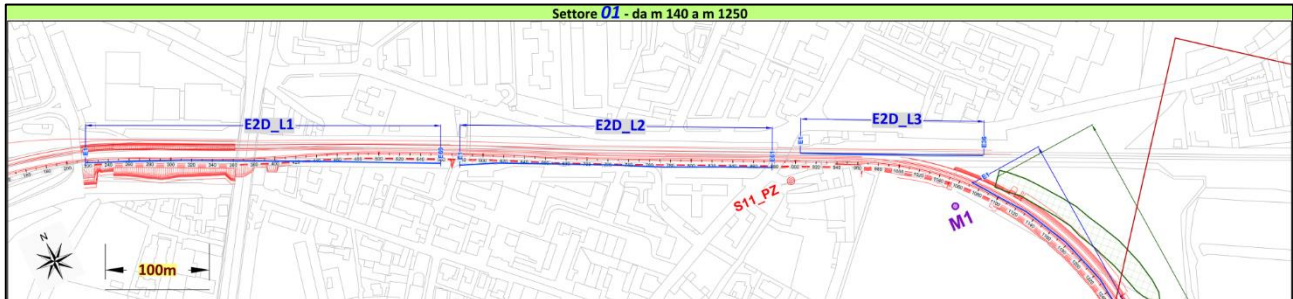


Figura 4-7 – Estratto ubicazione indagini geofisiche – Settore 01 (da m 140 a m 1250).

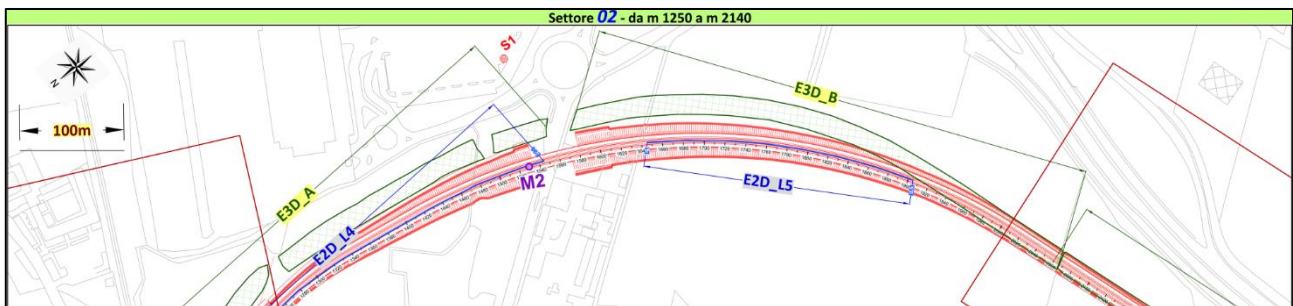


Figura 4-8 – Estratto ubicazione indagini geofisiche – Settore 02 (da m 1250 a m 2140).

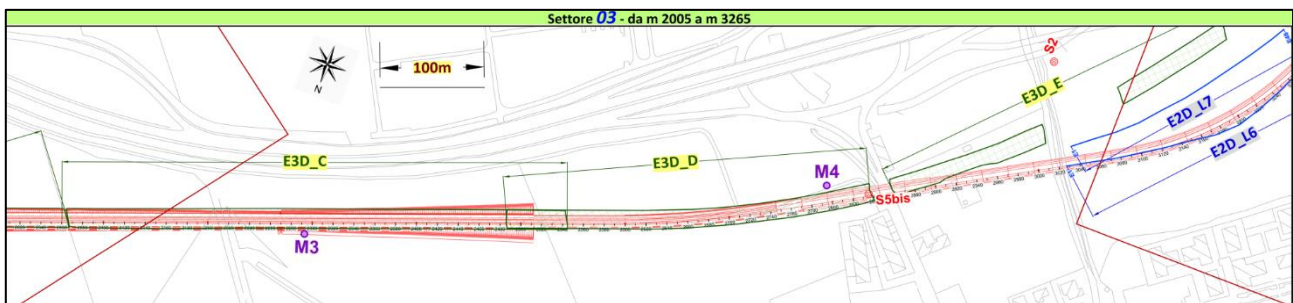


Figura 4-9 – Estratto ubicazione indagini geofisiche – Settore 03 (da m 2005 a m 3265).

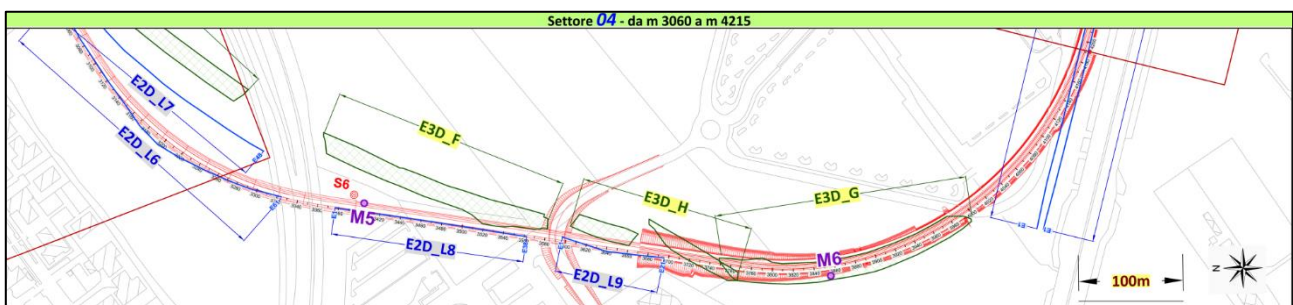


Figura 4-10 – Estratto ubicazione indagini geofisiche – Settore 04 (da m 3060 a m 4215).

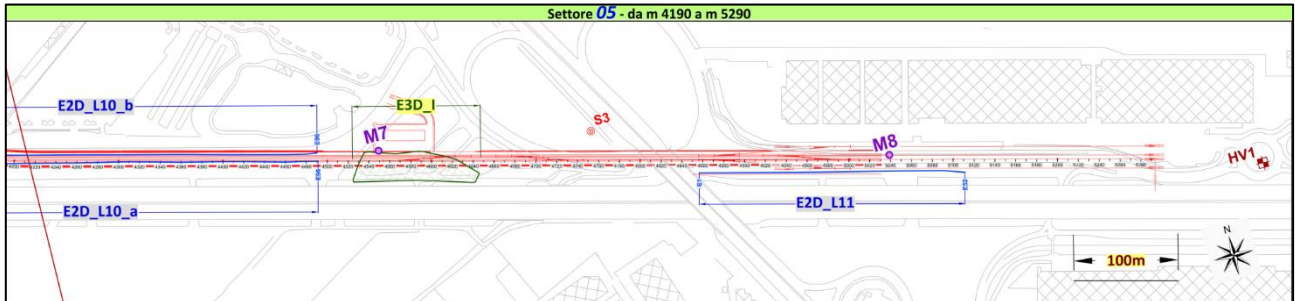


Figura 4-11 – Estratto ubicazione indagini geofisiche – Settore 05 (da m 4190 a m 5290).

Dai risultati delle prove emergono le seguenti interpretazioni.

ANALISI 2D

E2D-L1 (da pk 220 m a pk 560m)



Figura 4-12 – Ubicazione su foto aerea E2D_L1.

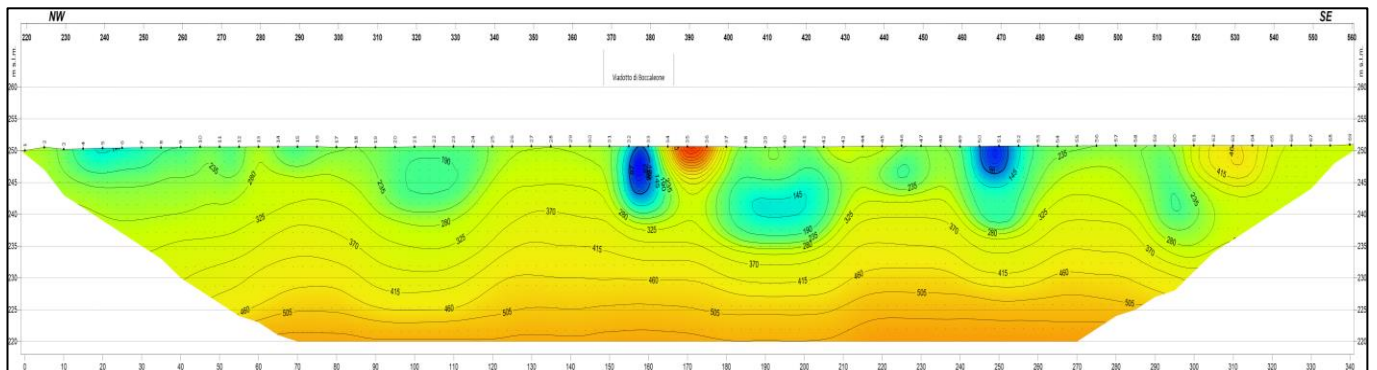



Figura 4-13 – Sezione E2D_L1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

I valori di resistività evidenziano una serie elettrostratigrafica piuttosto continua e regolare lungo tutto il settore indagato. In generale la sezione registra, a partire dal p.c. fino ad almeno 15-18 metri dal p.c., valori di resistività compresi tra 150 e 400 ohm.m (colori verde-giallo) sono riferibili a litologie medio fini prevalenti. Alla base della sezione, per profondità mediamente superiori a 19 m dal p.c., laddove i valori di resistività elettrica superano i 400-500 ohm.m (colore arancione), è possibile presumere un passaggio a materiali grossolani prevalenti e/o ad elementi conglomeratici a diverso grado di cementazione. Le locali anomalie positive (>750 ohm.m, colore rosso) e negative (<100 ohm.m, colore blu) sono indicative di interferenze di natura antropica causate dalla vicinanza dei binari ferroviari e delle pile del viadotto stradale (progr. 370-400 m).

E2D-L2 (da pk. 578 a 878)



Figura 4-14 – Ubicazione su foto aerea E2D_L2.

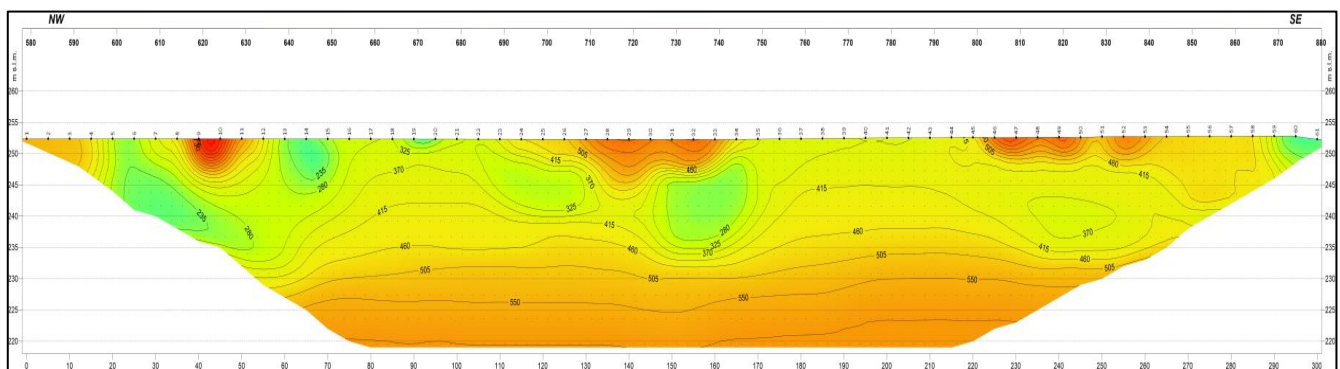


Figura 4-15 – Sezione E2D_L2.

La sezione si presenta simile alla precedente (L1) con una prima unità, sviluppata fino a circa 20 m dal p.c. caratterizzata da resistività compresa tra 230 e 500 ohm.m. I valori più bassi dell'unità (230-350 ohm.m, colore verde-giallo) rappresentano settori dove prevalgono materiali a granulometria medio-fine. Localmente le resistività incrementano fino a 500 ohm.m (colore giallo-arancione) indicando verosimilmente un graduale passaggio a litologie

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

medio-grossolane. I nuclei resistivi (>500 ohm.m – colore arancione-rosso) sono riferibili a possibili interferenze di natura antropica (il profilo è stato eseguito in vicinanza di una muratura).

L’unità sottostante, rappresentata da valori di resistività superiori a 500 ohm.m (colore arancione – rosso), segna il passaggio a materiali a granulometria prevalentemente grossolana e/o a possibili livelli conglomeratici a diverso grado di cementazione.

E2D-L3 (da pk. 905 a 1080)



Figura 4-16 – Ubicazione su foto aerea E2D_L3.

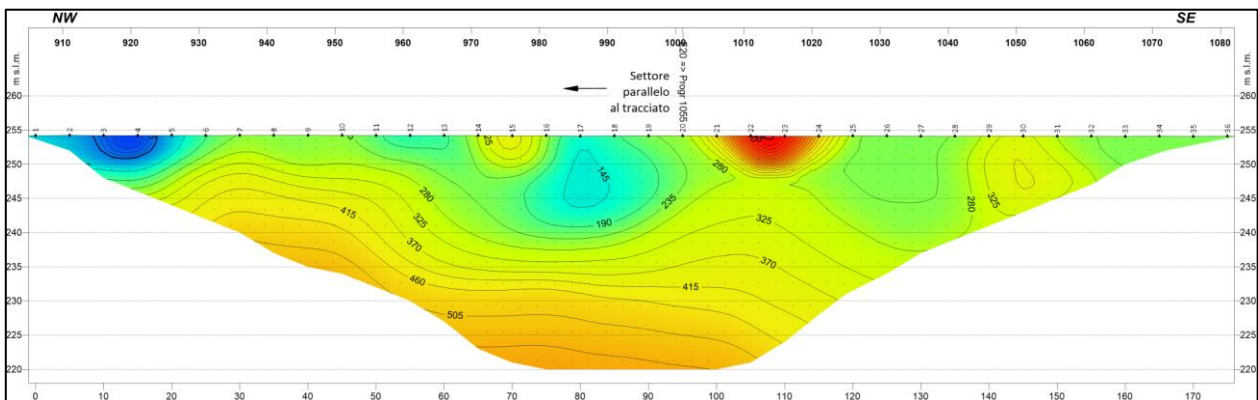


Figura 4-17 – Sezione E2D_L3.

In questa sezione lo spessore dell’unità mediamente conduttiva superiore, con resistività comprese tra 150 e 350 ohm.m (colore azzurro – verde giallo) da associare a materiali a grana medio-fine prevalenti, si presenta con spessori più variabili: da un minimo di 4.0, nel lato NW, ad un massimo di 15-18 m dal p.c., nel tratto centrale e verso SE.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Al di sotto i valori di resistività elettrica incrementano da 350 a 500 ohm.m (colore giallo-arancione), segnando quindi un progressivo passaggio a materiali a granulometria medio-grossolana. A partire da circa 28.0 m dal p.c., in particolare, i valori superano i 500-600 ohm.m (colore arancione-rosso). La tipologia prevalente di materiali associabili a questa unità è quella grossolana inglobante verosimilmente livelli conglomeratici a differente grado di cementazione. Anche in questo caso le locali anomalie superficiali (nuclei blu e rosso), sono riferibili a interferenze di natura antropica.

E2D-L4 (da pk. 1070 a 1545)



Figura 4-18 – Ubicazione su foto aerea E2D_L4

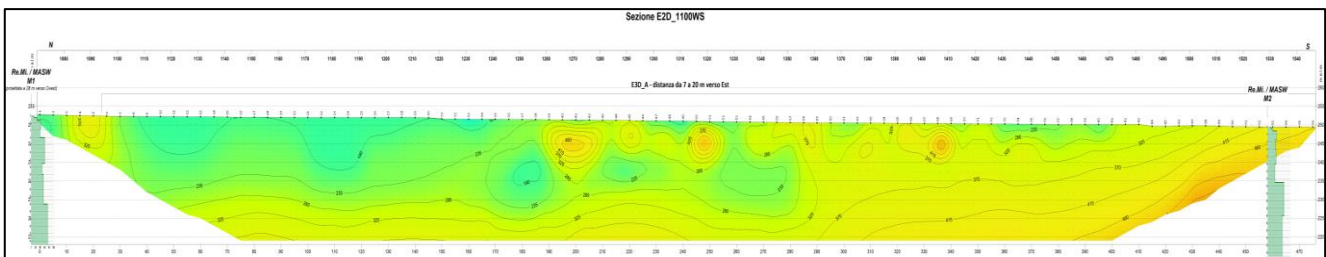


Figura 4-19 – Sezione E2D_L4

L’elaborazione dei dati di resistività acquisiti evidenziano una serie elettrostratigrafica piuttosto eterogenea nell’andamento dei valori di resistività elettrica registrati, soprattutto in senso laterale lungo tutto il settore indagato. I valori di resistività elettrica rimangono complessivamente compresi tra 200 e 500 ohm.m. I settori caratterizzati da resistività comprese tra 200 e 350 ohm.m (colore verde-giallo), si associano ad una maggior presenza di materiali medio-fini, al contrario le parti ove i valori superano i 350 ohm.m sino a 500 ohm.m (colore giallo-arancione) sono riferibili ad una prevalenza di granulometrie medio-grossolane. In particolare, il settore meridionale della sezione, oltre la pk 1470, mostra un graduale incremento d’estensione dei valori a più alta resistività (colore arancione).

E2D-L5 (da pk. 1645 m a 1905 m)

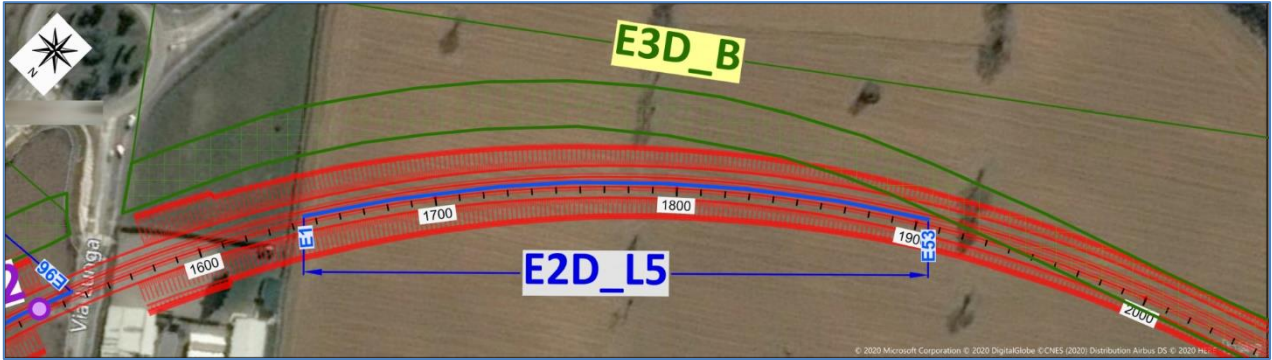


Figura 4-20 – Ubicazione su foto aerea E2D_L5.

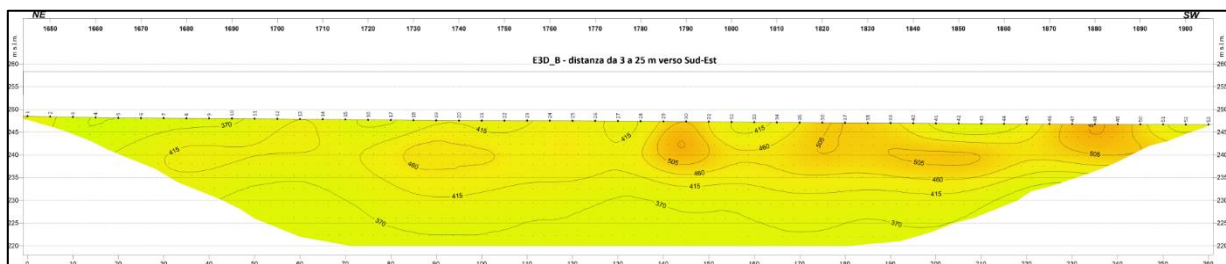


Figura 4-21 – Sezione E2D_L5.

Si definisce una serie elettrostratigrafica piuttosto omogenea lungo tutto il tratto indagato. Nel complesso i valori di resistività elettrica si mantengono compresi tra 350 e 500 ohm.m (colore giallo-arancione) per buona parte della sezione, indicativi di una prevalenza di materiali a litologia medio-grossolana. Locali incrementi dei valori (>500 ohm.m - colore arancione), in posizione sub-superficiale, sono indicativi di lenti nelle quali è maggiore la presenza della frazione grossolana.

E2D-L6 (da pk. 3027 m a 3327 m)

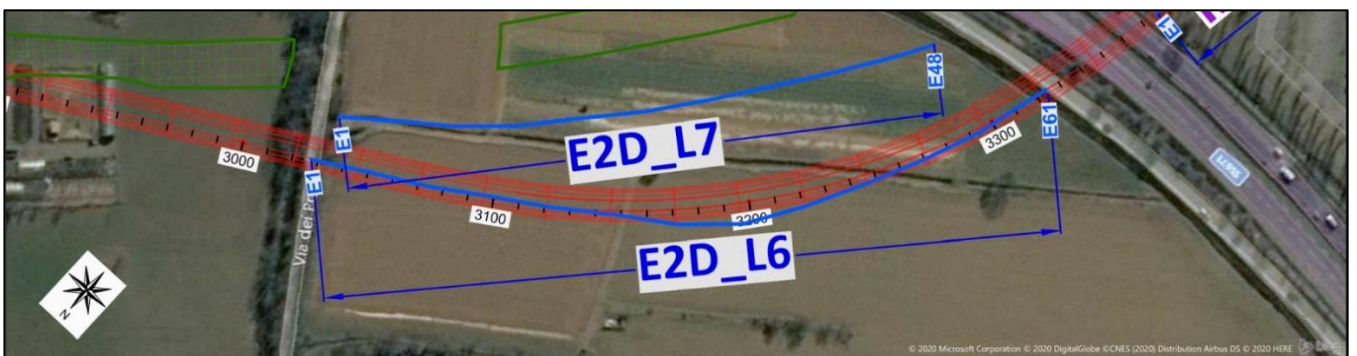
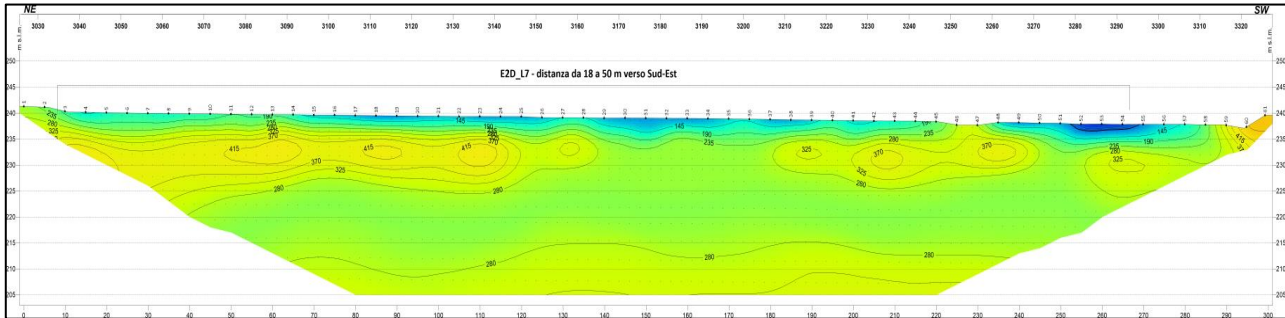


Figura 4-22 – Ubicazione su foto aerea E2D_L6.


Figura 4-23 – Sezione E2D_L6.

La sezione si presenta ancora piuttosto regolare ma con valori di resistività elettrica mediamente inferiori alle sezioni precedenti, indicativo di una sopraggiunta variazione della litologia di base. La sezione è infatti stata registrata nel settore sud dell’area d’intervento. I valori complessivamente compresi tra 150 e 300 ohm.m (colore azzurro -verde) sono indicativi di una predominanza di materiali a granulometria medio-fine. Nel dettaglio, dal tratto NE della sezione fino alla progr. 3160 m e tra la progr. 3210 e 3270 m, a partire da circa 5.0 m dal p.c. e per uno spessore compreso tra 5.0 e 10.0 m, i valori di resistività elettrica raggiungono e talvolta superano i 400 ohm.m (colore giallo–arancione) indicativi di un incremento della presenza di lenti a granulometria grossolana. Analogamente, per brevi tratti superficiali (1-2 m dal p.c) si registrano valori di resistività elettrica inferiori a 150 ohm.m (colore azzurro-blu), dovuti a copertura limoso argillosa. Valori progressivamente più bassi sono presenti su tutta la sezione anche oltre 30 m dal p.c., segnando il passaggio a livelli con litologia fine prevalente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

E2D_L7 (da pk. 3035 m a 3293 m)



Figura 4-24 – Ubicazione su foto aerea E2D_L7.

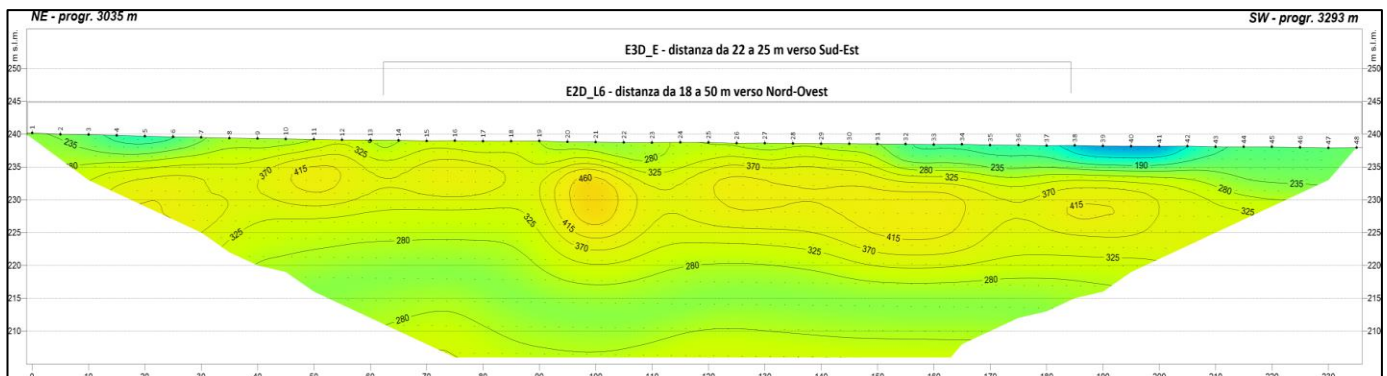


Figura 4-25 – Sezione E2D_L7.

La sezione, parallela alla precedente, evidenzia una successione elettrostratigrafica simile ma nel complesso con valori di resistività più elevati, indicativi di una generale maggiore presenza di materiali grossolani. Nel dettaglio, la parte superficiale, dopo un primo orizzonte, più prossimo alla superficie ove i valori di resistività rimangono su valori compresi tra 150 e 300 ohm.m (colore azzurro – verde) e quindi associabili a materiali relativamente più fini (sabbie e limi), a partire da una profondità compresa tra 3 e 8 m dal p.c, si registrano valori superiori a 300 ohm.m sino a 450 ohm.m (colore giallo – arancione) indicativi di una maggior presenza della frazione medio-grossolana. Quest’ultima unità si ritrova fino a circa 15.0 m dal p.c. nel settore NE, mentre si approfondisce fino a 20.0 m dal p.c. nel tratto centrale e SO.

Oltre i 15-20 metri, le resistività decrescono gradualmente sino a <250 ohm.m (colore verde), segnando quindi un ritorno a litologie medio-fini prevalenti

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

E2D-L8 (da progr. 3377 m a 3562 m)



Figura 4-26 – Ubicazione su foto aerea E2D_L8.

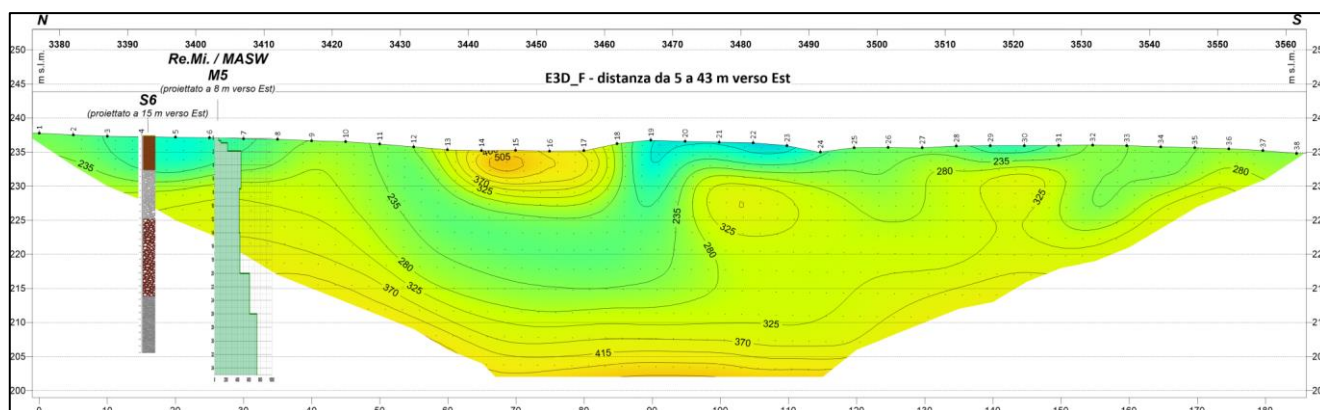


Figura 4-27 – Sezione E2D_L8.

La sezione L8 mostra un range di valori, compresi tra 150 e 450 ohm.m, simile alle due sezioni precedenti (L6 e L7) ma con una differente distribuzione dei materiali. Nel dettaglio la parte superficiale, eccetto una situazione locale tra le progr. 3435 e 3455 m e dovuta alla presenza di una carreggiata stradale intersecante il profilo in quel tratto, è caratterizzata da resistività comprese tra 150 e 300 ohm.m (colore azzurro-verde) indicative di materiali medio-fini prevalenti. Quest'unità presenta spessore variabile di circa 10 m prima della pk. del tracciato 3420m, raggiunge il suo massimo tra le pk. 3430 e 3470m ove si approfondisce sino a oltre 20 m dal p.c. e per poi risalire progressivamente attestandosi in media ad una profondità di 8 m a partire dalla pk. 3480m fino alla fine della sezione. In profondità i valori di resistività incrementano oltre 350 ohm.m sino a valori massimi di 500 ohm.m (colore da giallo-arancione), indicando la presenza di un aumento della frazione medio-grossolana dei materiali alluvionali (dato confermato dal sondaggio PDOR-S6).

E2D-L9 (da pk. 3597 m a 3697 m)

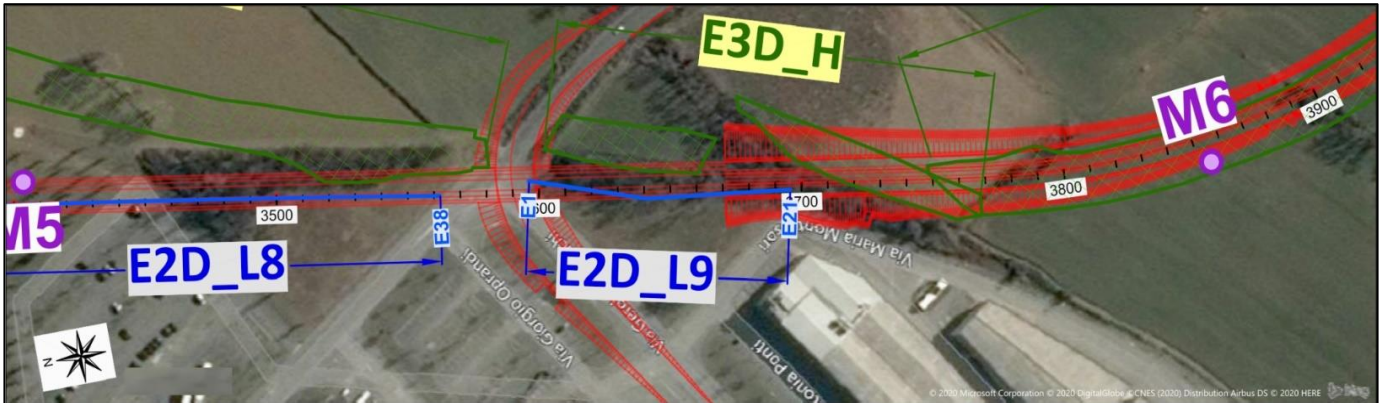


Figura 4-28 – Ubicazione su foto aerea E2D_L9.

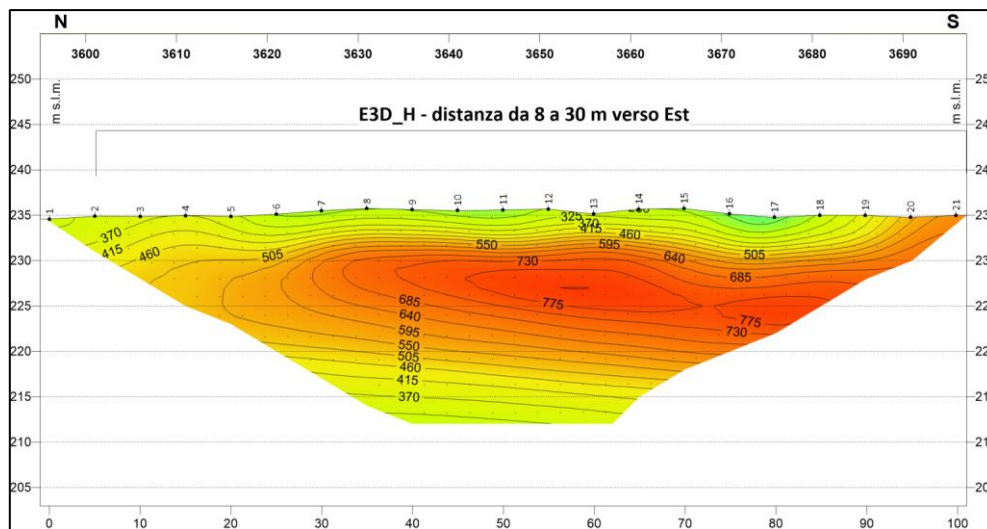



Figura 4-29 – Sezione E2D_L9.

La sezione L9 mostra una decisa prevalenza di materiali resistivi, con valori compresi tra 500 e 800 ohm.m (colore arancione-rosso), indicativi di materiali a prevalente granulometria grossolana e/o a livelli conglomeratici a diverso grado di cementazione. L'unità si presenta già a partire da circa 5 metri dal p.c. e si sviluppa sino a 15-20m profondità.

La copertura superficiale, piuttosto uniforme, con resistività inferiori (colore giallo- verde) è associabile a materiali con granulometria medio-fine.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

E2D-L10a (da pk. 4017 m a 4492 m)



Figura 4-30 – Ubicazione su foto aerea E2D_L10a.

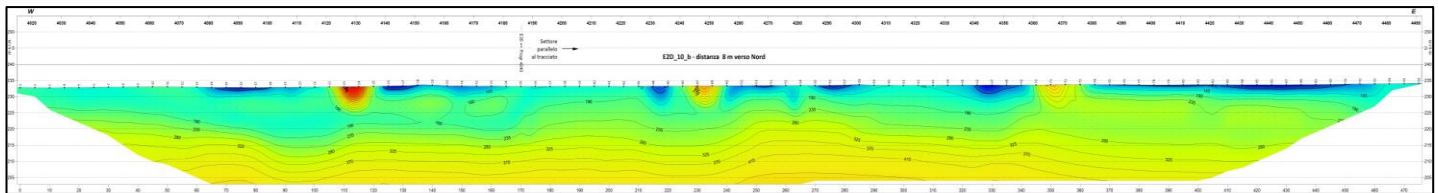


Figura 4-31 – Sezione E2D_L10a.

La sezione L10a mostra una sequenza elettrostratigrafica complessivamente continua e regolare lungo tutto il tratto indagato. Si nota essenzialmente la sovrapposizione di due unità, una superficiale, presente fino a circa 15.0 m dal p.c. è caratterizzata da resistività inferiori a 250 ohm.m (colore azzurro-verde) riferibile a materiali a litologia fine prevalente, e una sottostante, con valori di resistività maggiori di 300, fino a 450 ohm.m (colore giallo-arancione), che segna quindi un progressivo passaggio a materiali granulometricamente medio-grossolani.

Come in altre sezioni, le locali anomalie più prossime alla superficie (<100 ohm.m - colore blu e > 500 ohm.m – colore arancione-rosso), sono da riferire alle interferenze con strutture di natura antropica (es. tra gli elettrodi 26-28 e 55-57 sono presenti diversi canali di drenaggio superficiale delle acque).

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

E2D-L10b (da pk. 4017 m a 4492 m)

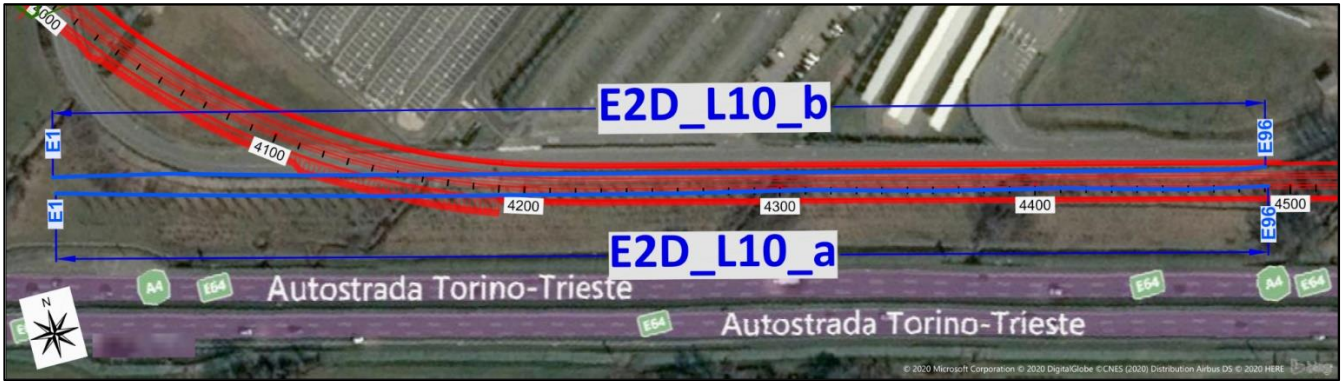


Figura 4-32 – Ubicazione su foto aerea E2D_L10b.

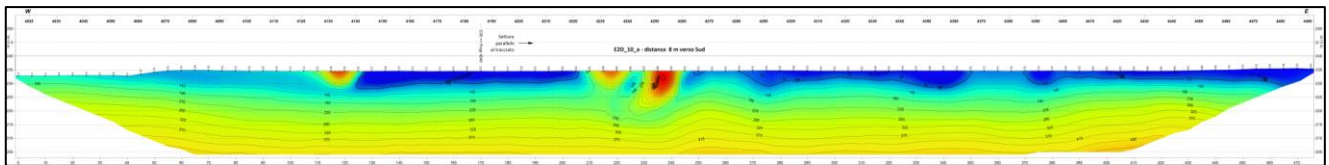


Figura 4-33 – Sezione E2D_L10b.

La sezione L10b, si mostra analoga alla parallela L10a con materiali di copertura relativamente conduttiva (<250 ohm.m) quindi di natura essenzialmente fine per uno spessore medio di 15-17m (colore azzurro -verde), sovrapposti a una unità di materiali più grossolani indicati dall’aumento dei valori di resistività oltre 350 ohm.m (colore giallo).

Anche in questo caso, i locali contrasti di resistività sono riferibili alla presenza di strutture antropiche vista la attigua presenza della carreggiata stradale e dei relativi manufatti associati (guard-rail, ecc.).

E2D L11 (da pk. 4857 m a 5112 m)



Figura 4-34 – Ubicazione su foto aerea E2D_L11.

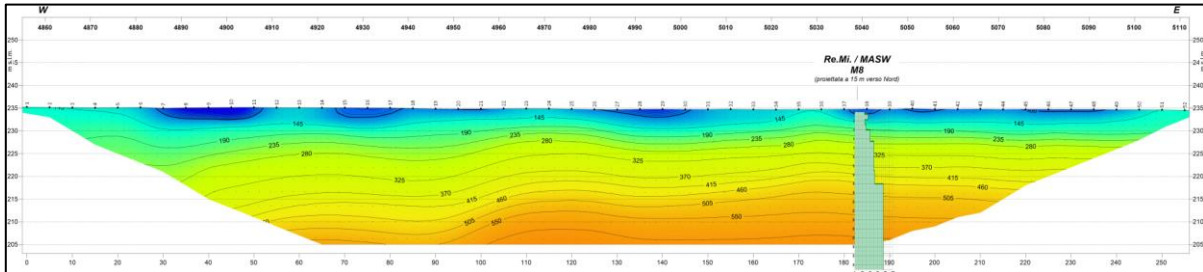


Figura 4-35 – Sezione E2D_L11.

La sezione L11, conferma la sovrapposizione di due unità principali: una medio conduttiva superficiale, con valori di resistività elettrica compresi tra 150 e 300 ohm.m (colore azzurro -verde), riferibili a materiali a granulometria medio-fine prevalente, e una resistiva profonda presente a partire da circa 15 m di profondità, con valori che bruscamente crescono oltre i 350 ohm.m (colore giallo), indicando quindi un passaggio netto a materiali con granulometria grossolana (500 ohm.m – colore arancione), e/o ad elementi conglomeratici a diverso grado di cementazione.

La porzione più superficiale è a tratti caratterizzata da valori di resistività inferiori ai 100 ohm.m (colore blu), anche in questo caso, la prossimità della carreggiata stradale suggerisce l’attribuzione di tali anomalie ad interferenze di natura antropica.

ANALISI 3D

Area E3D-A (da pk. 1093 m a 1553 m)

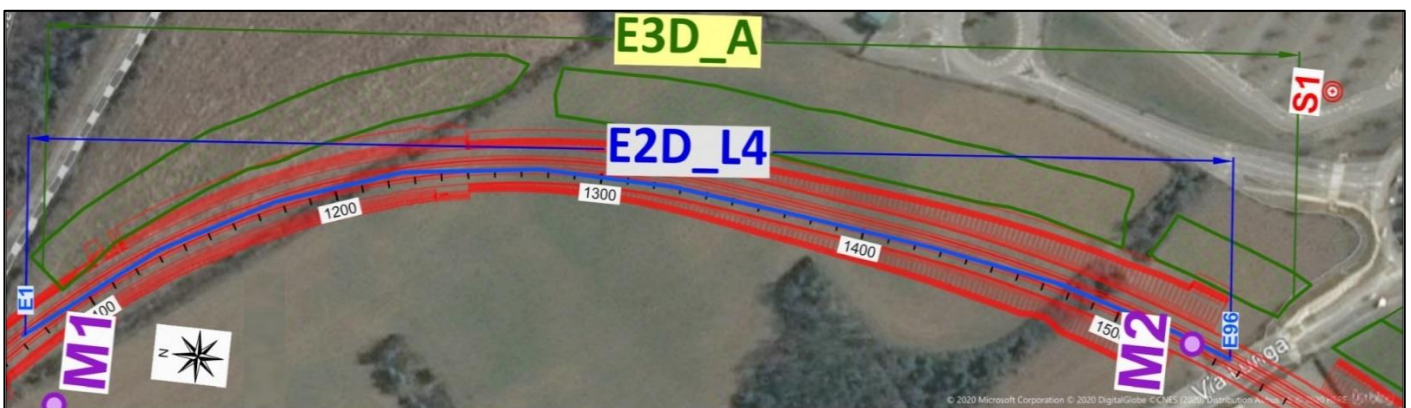



Figura 4-36 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_A

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

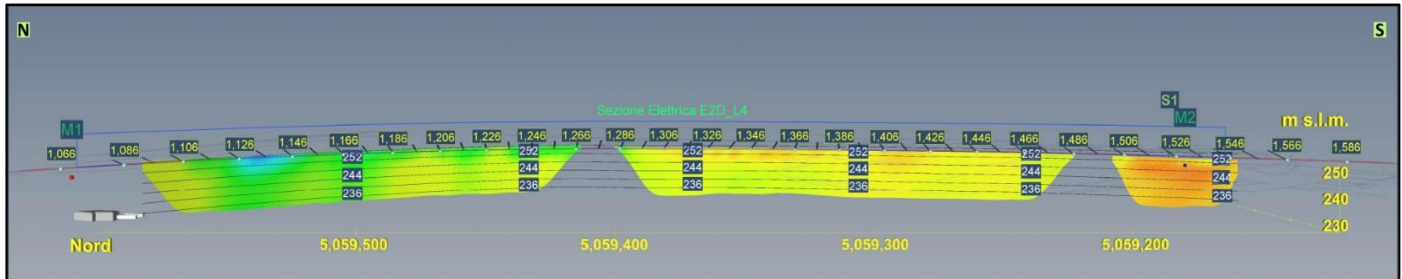


Figura 4-37 -- Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all'area E3D_A, vista da ovest.

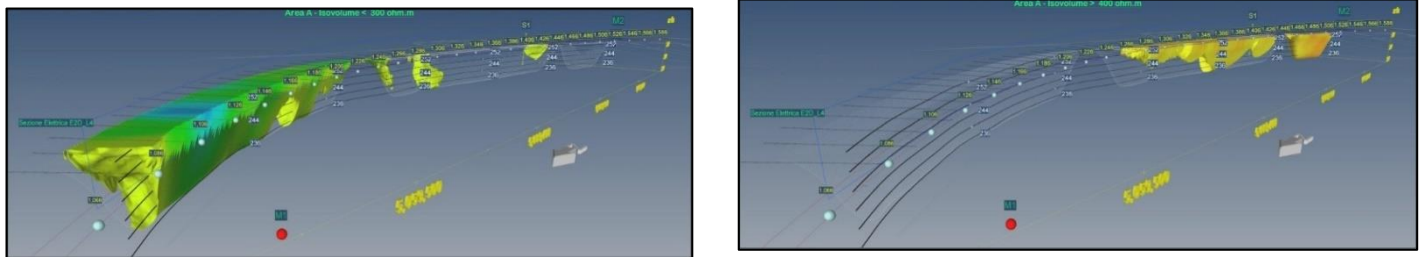



Figura 4-38 – Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (sinistra) e >400 ohm.m (destra) relativi all'area E3D_A, viste da Nord-Ovest.

L'area mostra in generale un progressivo incremento dei valori di resistività da nord a sud. Nel primo tratto (nord), compreso tra le pk. 1093 m e 1270 m, i valori di resistività elettrica si mantengono complessivamente compresi tra 150 e 350 ohm.m (colore verde- giallo), indicativi di materiali a granulometria medio-fine prevalente.

Nel secondo tratto, compreso tra le progressive 1280 m e 1490 m, i valori aumentano tra 350 e 500 ohm.m (colore giallo-arancione) riferibili a materiali medio-grossolani prevalenti, eccetto locali nuclei laddove i valori scendono leggermente di sotto dei 300 ohm.m (colore giallo), associabili a circoscritte diminuzioni della granulometria dei materiali. Nell'ultimo tratto, compreso tra le pk. 1500 m e 1553 m, i valori aumentano ulteriormente attestandosi complessivamente tra 500 e 700 ohm (colore arancione-rosso), indicando materiali a granulometria grossolana prevalente e/o a livelli conglomeratici.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Area E3D-B (da pk. 1576 m a 2065 m)

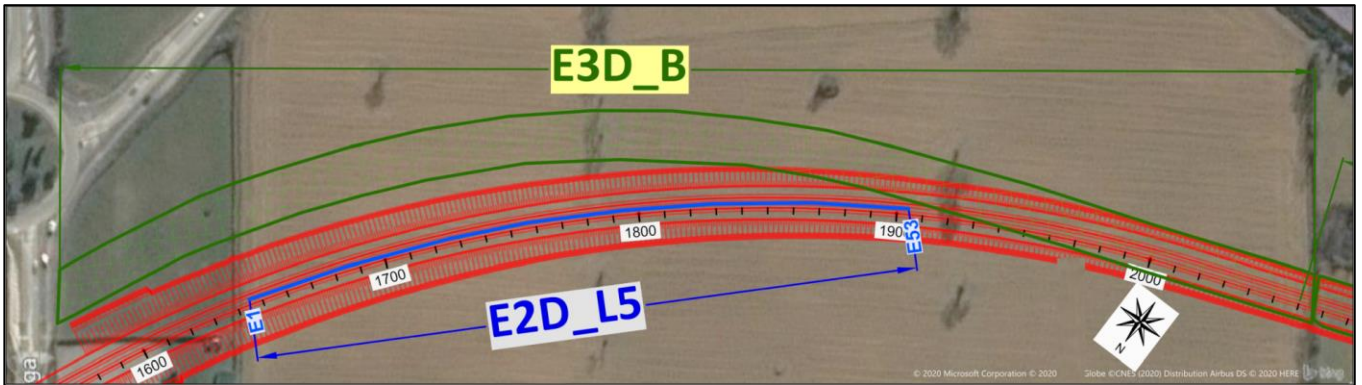


Figura 4-39 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_B.

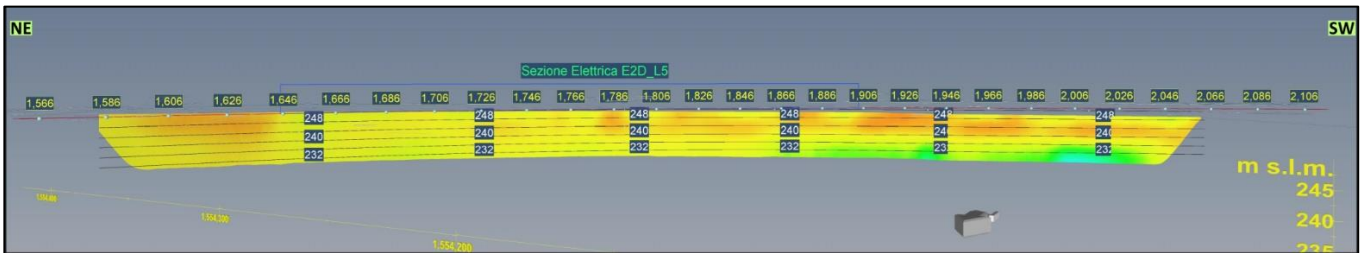


Figura 4-40 – Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all’area E3D_B, vista da Nord-Ovest.

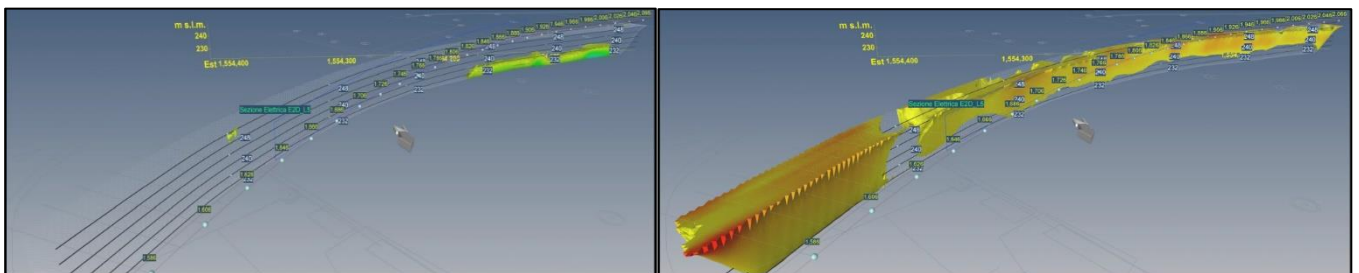


Figura 4-41 – Isovolumi di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi all’area E3D_B, viste da Nord.

L’area mostra in generale valori medio-alti di resistività, con particolare riferimento ai livelli di copertura mentre, nell’ambito del substrato, si individua una progressiva riduzione dei valori nel tratto terminale dell’area, in direzione SW. I valori di resistività elettrica si mantengono complessivamente compresi tra 350 e 500 ohm.m (colore giallo-arancione) su ampi settori, riferibili quindi ad una predominanza di materiali medio-grossolani. Nel dettaglio, tra le pk. 1870 m e 2030 m, a partire da circa 15.0 m dal p.c si registrano resistività inferiori a 300 ohm.m (colore verde-giallo) fino a valori prossimi a 150 ohm.m (colore azzurro), indicativi di un locale passaggio a materiali medio-fini

prevalenti. Viceversa, per alcuni tratti superficiali (5.0-10.0 m dal p.c.), si osservano valori superiori a 500-600 ohm.m (colore arancione-rosso), riferibili alla presenza di lenti a granulometria grossolana.

Area E3D-C (da pk. 2066 m a 2541 m)



Figura 4-42 – Ubicazione su foto aerea dell'area E3D_C.

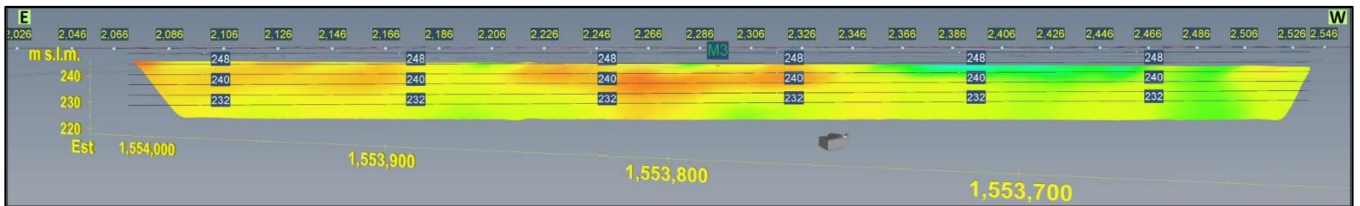


Figura 4-43 – Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all'area E3D_C, vista da Nord.

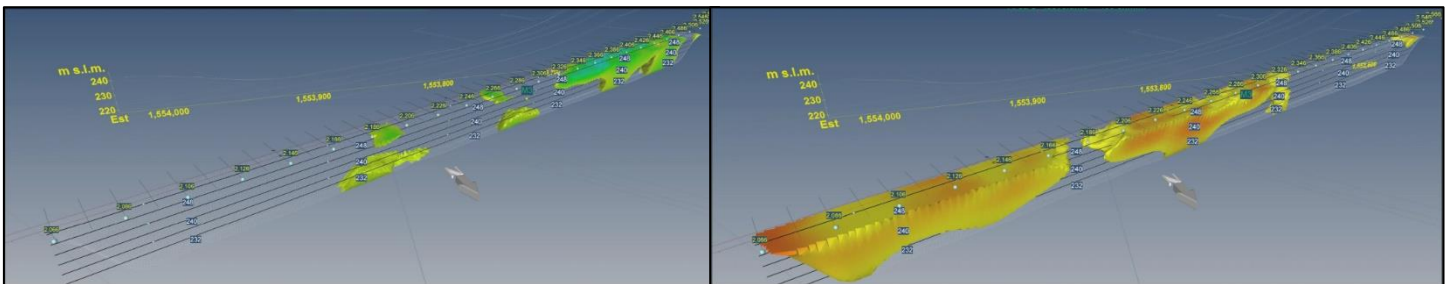



Figura 4-44 – Isovolumi di resistività elettrica < 300 ohm.m (sinistra) e >400 ohm.m (destra) relativi all'area E3D_C, viste da NE.

L'area mostra in generale un incremento dei valori di resistività da est a ovest, che nello specifico indicano un passaggio piuttosto brusco tra i due domini. Nel dettaglio, infatti, si differenzia un settore centro-orientale, fino alla pk. 2350 m, caratterizzato da valori di resistività elettrica complessivamente superiori a 400 ohm.m (colore giallo) fino a valori massimi di 700 ohm.m (colore arancione-rosso). Questi settori caratterizzati dai valori di resistività maggiori (da 500 a 700 ohm.m – colore arancione-rosso), si ritrovano soprattutto tra le pk. 2225 m e 2350 m a partire

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

mediamente entro i primi 5 m dal p.c. fino a 15-20 m dal p.c. Nel complesso la porzione centro-orientale della sezione è da riferire a materiali da prevalentemente medio-grossolani a grossolani e/o a livelli conglomeratici nelle porzioni più resistenti. Tuttavia, si ritrovano localmente corpi superficiali o profondi caratterizzati da valori di resistività di poco inferiori a 300 ohm.m (colore verde-giallo), associabili a materiali con litologie medio-fini prevalenti. Il settore occidentale della sezione, oltre la pk. 2350 m, fa registrare complessivamente valori inferiori a 350 ohm.m fino a 150 ohm.m (colore giallo-verde), tali da presumere un graduale passaggio a materiali a granulometria medio-fine prevalente.

Area E3D-D (da pk. 2485 m a 2835 m)

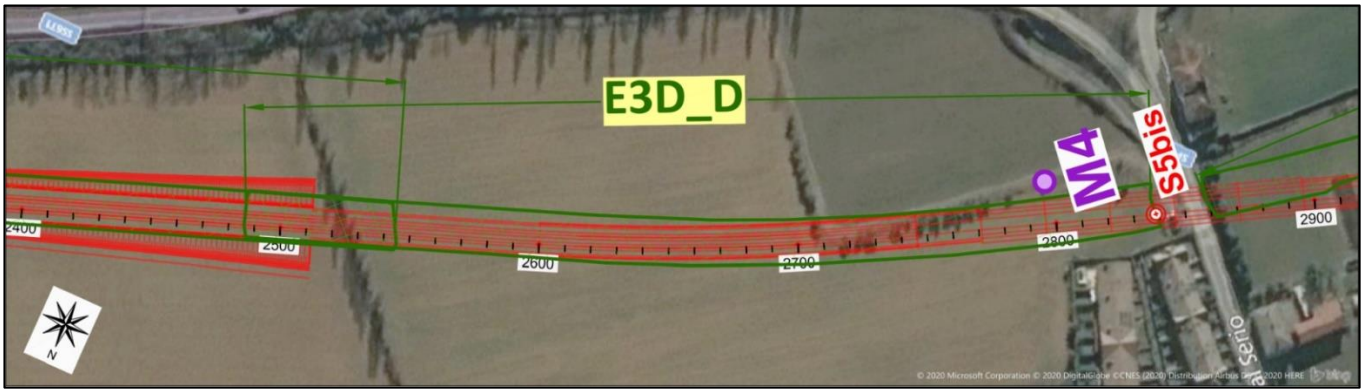


Figura 4-45 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_D.



Figura 4-46 - Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all’area E3D_D, vista da Nord.

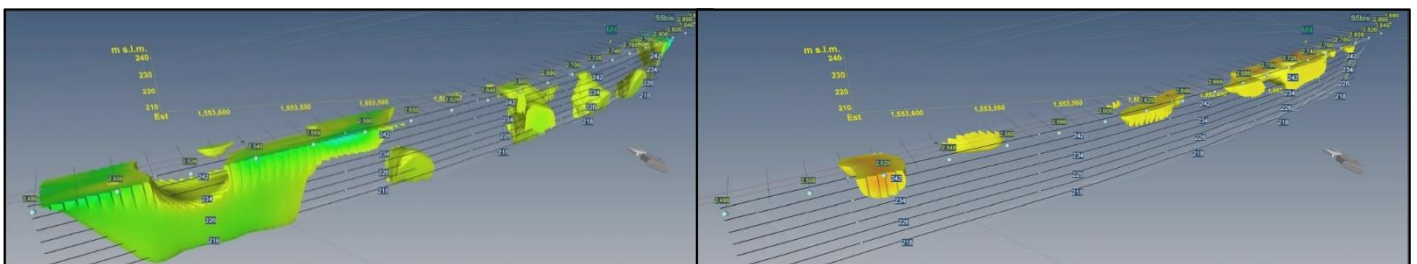


Figura 4-47 – Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi all’area E3D_D, viste da NE.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

L’elaborazione dei dati di resistività evidenzia una serie elettrostratigrafica, per la maggior parte della sezione indagata, con valori inferiori a 350 ohm.m fino a 150 ohm.m (colore giallo-verde), associabili quindi a materiali con litologia medio-fine prevalente. In taluni settori, a partire dalla superficie fino a profondità massime di 12-13 m dal p.c., si registrano valori di resistività elettrica superiori a 400-500 ohm.m (colore giallo-arancione), riferibili a locali porzioni caratterizzate da materiali a litologie medio-grossolane.

Area E3D-E (da pk. 2860 m a 3237 m)



Figura 4-48 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_E.

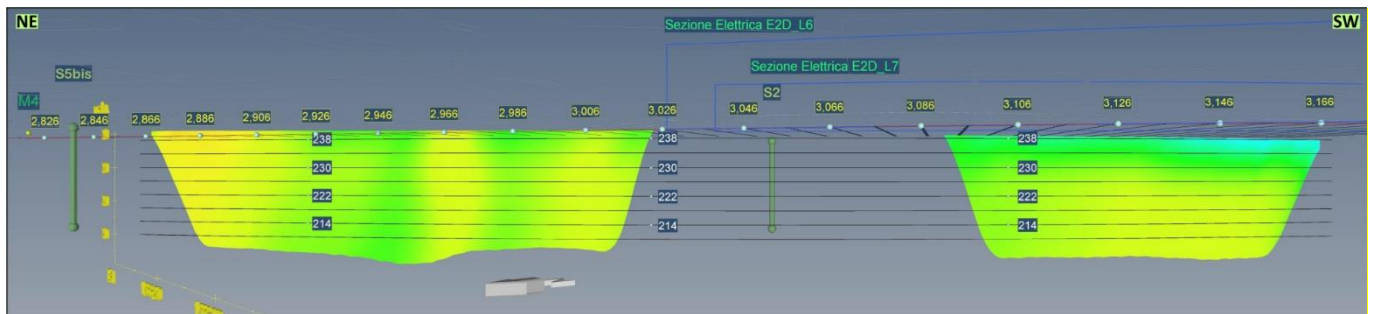


Figura 4-49 – Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all’area E3D_E, vista da Nord-Ovest.

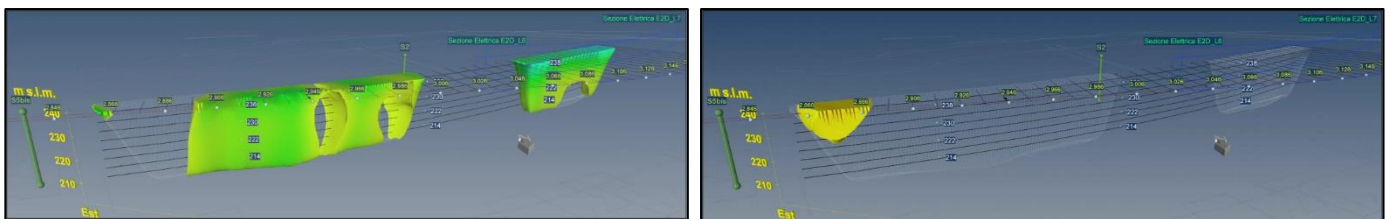


Figura 4-50 – Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi all’area E3D_E, viste da Nord.

I valori di resistività si mantengono piuttosto uniformi con valori compresi tra 150 e 350 ohm.m (colore verde-giallo), indicativi di una decisa predominanza di materiali a granulometria medio-fine.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Solamente nel tratto iniziale a NE, compreso tra le pk. 2860 e 2880 m e fino a profondità medie di 14-15 m dal p.c., la resistività incrementa a 400-500 ohm.m (colore giallo-arancione). Tale intervallo di valori è da associare a materiali di maggior grado granulometrico riferibili a litologie medio-grossolane prevalenti.

E3D-F (da pk. 3353 m a 3583 m)

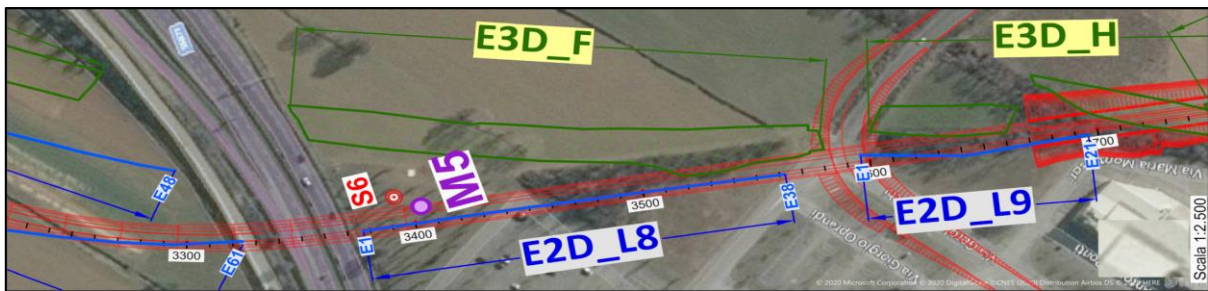


Figura 4-51 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_F.

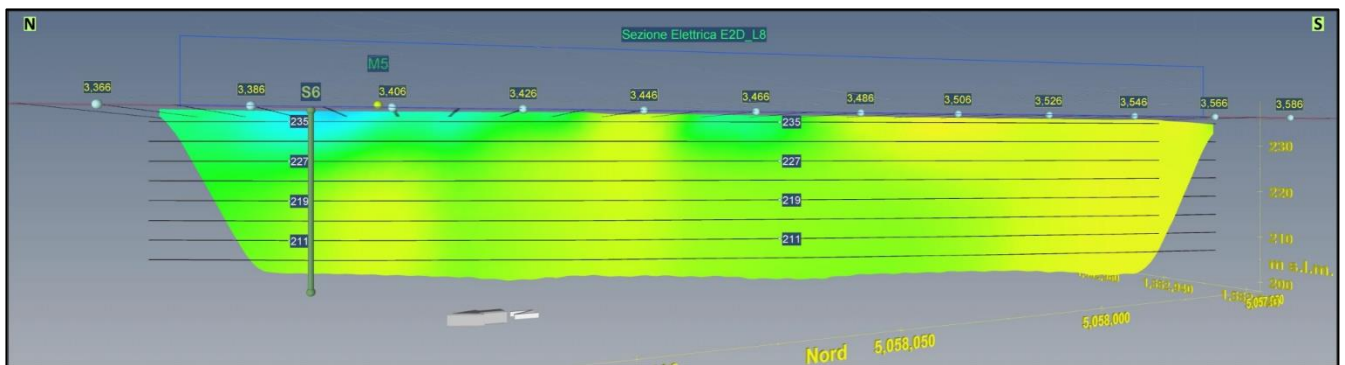


Figura 4-52 - Sezione dei valori di resistività elettrica relativa all’area E3D_F, vista da Ovest.

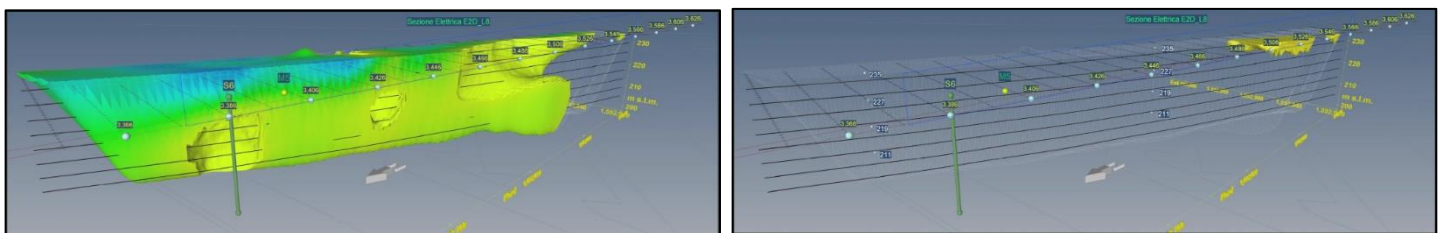


Figura 4-53 - Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi all’area E3D_F, viste da NO.

L’area mostra in generale un progressivo aumento dei valori di resistività da N a S. Nel complesso, i valori si mantengono comunque compresi tra 350 e 150 ohm.m (colore giallo -verde), indicando una prevalenza di materiali medio-fini. Localmente si registrano, nelle porzioni superficiali, scostamenti nell’intervallo di tali valori. In particolare, nel tratto iniziale, tra le pk. 3390 - 3400 m e intorno alla pk. 3410 m dal p.c. per una profondità massima

di 5.0/6.0 m dal p.c., i valori di resistività scendono fino a valori prossimi a 100 ohm.m (colore azzurro-blu), indicando una locale predominanza di materiali fini. Al contrario nel tratto meridionale della sezione, oltre la pk. 3480 m, e fino al termine del profilo, a partire dapprima dal p.c. fino a 6-7 m dal p.c. e dopo la pk. 3520 m per tutta la verticale indagata, si registrano valori di resistività elettrica compresi complessivamente tra 350 e 450 ohm.m (colore giallo), riferibili ad una prevalenza di litologie medio-grossolane.

Aree E3D-H e E3D-G (da pk. 3602 m a 3988 m)



Figura 4-54 – Ubicazione su foto aerea delle aree E3D_H e E3D_G.

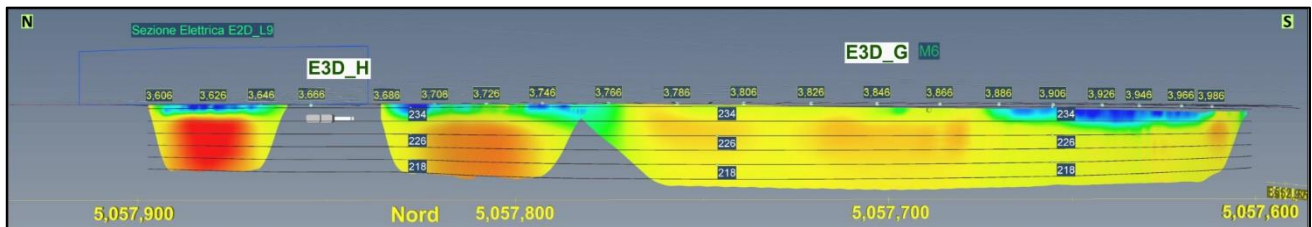


Figura 4-55 – Sezioni dei valori di resistività elettrica relative alle aree E3D_H e E3D_G, vista da Ovest.

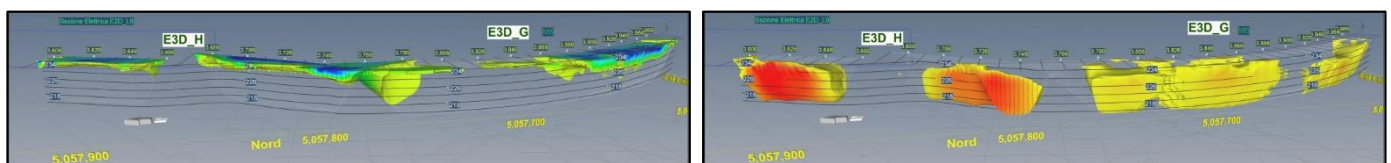



Figura 4-56 – Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi alle aree E3D_H e E3D_G, viste da Nord-Ovest.

Data la prossimità delle aree e la loro parziale sovrapposizione nel tratto centrale, i risultati sono commentati in modo congiunto. Nel complesso si osserva quindi una generale predominanza di resistività medio-alte con massimi riscontrati nell’Area H e nel tratto iniziale dell’Area G. Questa unità resistiva principale si presenta ricoperta con discontinuità da una sottile coltre conduttiva. In dettaglio, per quanto concerne l’area E3D_H e l’area E3D_G, per il tratto iniziale (pk. 3602-3768 m), si registrano valori di resistività elettrica decisamente elevati (800-1000 ohm.m - colore arancione rosso); valori associabili ad una predominanza di granulometrie grossolane eventualmente associate

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

a elementi conglomeratici. In questo ambito, solo la parte superficiale, entro i primi 5 metri dal p.c., fa registrare resistività inferiori (< 300 ohm.m - colore verde -azzurro), raggiungendo localmente i 70 ohm.m (colore blu). Tale orizzonte superficiale è da attribuire a materiali con litologia da fine prevalente.

E3D-I (da progr. 4530 m a 4645 m)



Figura 4-57 – Ubicazione su foto aerea dell’area E3D_I.

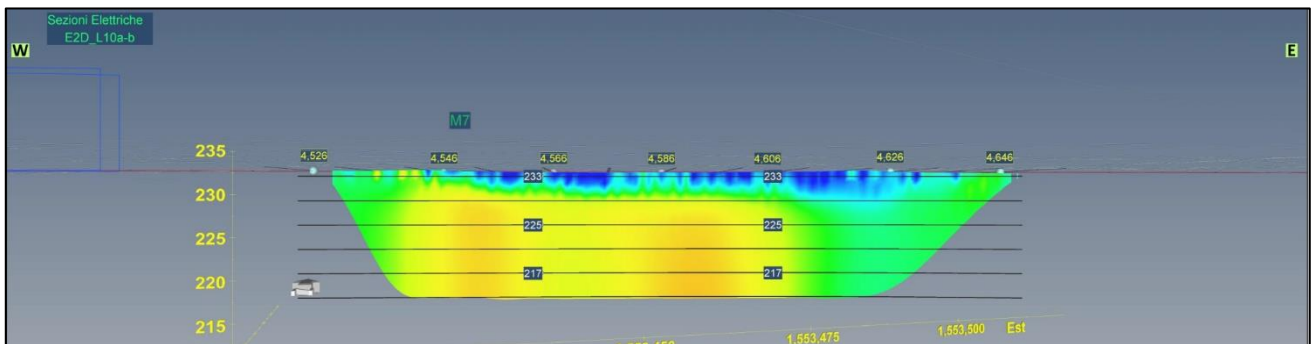


Figura 4-58 - Sezione dei valori di resistività elettrica all’area E3D_I, vista da Sud.

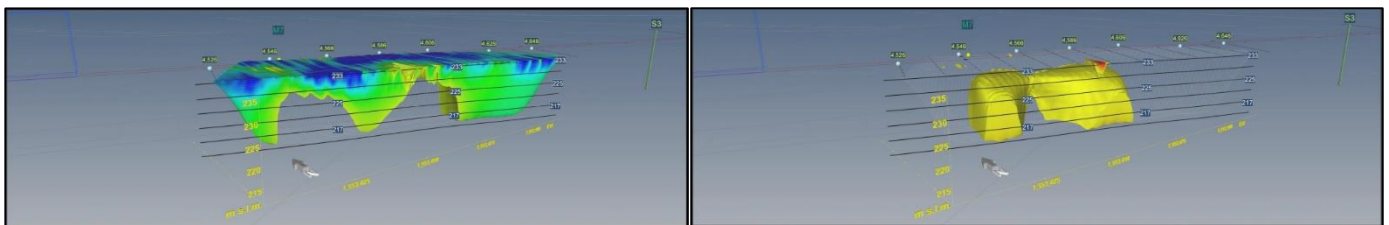


Figura 4-59 – Isovolumi dei valori di resistività elettrica < 300 ohm.m (a sinistra) e >400 ohm.m (a destra) relativi all’area E3D_I, viste da Sud-Est.

L’area mostra in generale la sovrapposizione di una unità conduttiva superficiale ad una unità profonda mediamente resistiva che a sua volta mostra una progressiva riduzione dei valori nel tratto finale, in direzione est. In dettaglio, si osserva come tra le pk. 4530 e 4585 m a partire da 5-6 metri dal p.c., i valori di resistività elettrica si mantengono

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>74 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	74 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	74 di 116								

complessivamente superiori a 350 ohm.m (colore giallo -giallo) fino superare localmente i 500 ohm.m (colore arancione). Tale settore è quindi da associare a materiali con litologie medio-grossolane prevalenti.

Oltre la pk. 4585 m fino alla fine del tratto indagato e nel resto della sezione, i valori di resistività elettrica rimangono inferiori a 300 ohm.m (colore verde), nelle parti più superficiali a tratti si registrano resistività inferiori a 150 ohm.m (colore azzurro) sino a raggiungere valori minimi di 70 ohm.m (colore blu). Tali porzioni sono quindi riferibili a materiali di copertura a granulometria da fine

4.3.3 Sintesi delle risultanze

Dall’interpretazione delle sezioni tomografiche, dunque, non si evidenzia la presenza di anomalie di resistività tali da indicare la possibile presenza di cavità ipogee riconducibili al fenomeno degli occhi pollini lungo la tratta Bergamo-Aeroporto Orio al Serio; le sezioni inoltre risultano in buon accordo con i dati stratigrafici emersi dai sondaggi e confermano sostanzialmente il profilo geologico elaborato a supporto del presente studio.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>75 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	75 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	75 di 116								

5 INDAGINI

5.1 PREMESSA

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano:

- dalla campagna indagini in sito del 2010 per la realizzazione del parcheggio multipiano dell’Aeroporto Orio al Serio, utilizzate in seguito per la progettazione esecutiva di intervento di ampliamento del terminal passeggeri dell’Aeroporto Orio al Serio-Lotto 1b, costituita da n. 3 sondaggi ambientali.
- Da n. 1 sondaggio a carotaggio continuo realizzato durante la campagna indagini in sito (2017-2018) eseguita a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica “Raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo-Montello” e n. 1 sondaggio eseguito durante la campagna indagini in sito (2019) a supporto del Progetto Definitivo “Raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo-Montello”.
- Dalla campagna di indagini in sito (2018-2019) eseguita a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica del presente lavoro costituita da n. 3 sondaggi a carotaggio continuo e da n. 3 prove geofisiche di tipo MASW (MASW1-MASW3).
- Dalla campagna indagini in sito (2019-2020) eseguita a supporto della Progettazione Definitiva del presente lavoro, costituita da n. 10 sondaggi (denominati con la sigla PDOR) a carotaggio continuo e da n. 8 prove geofisiche di tipo MASW (M1-M8), down hole, tomografia elettrica 2D e 3D.
- Dalla campagna indagini in sito (2020) eseguita a supporto del Progetto Definitivo per la “Soppressione PL e realizzazione Sottovia di via Pizzo Recastell a Bergamo” comprendente n. 2 sondaggio a carotaggio continuo e n. 2 MASW.
- Da stratigrafie di pozzi per acqua reperite tramite il Geoportale della Regione Lombardia e dell’ISPRA.

Le indagini geognostiche e geofisiche, sopraelencate, sono riportate in Figura 5-1.

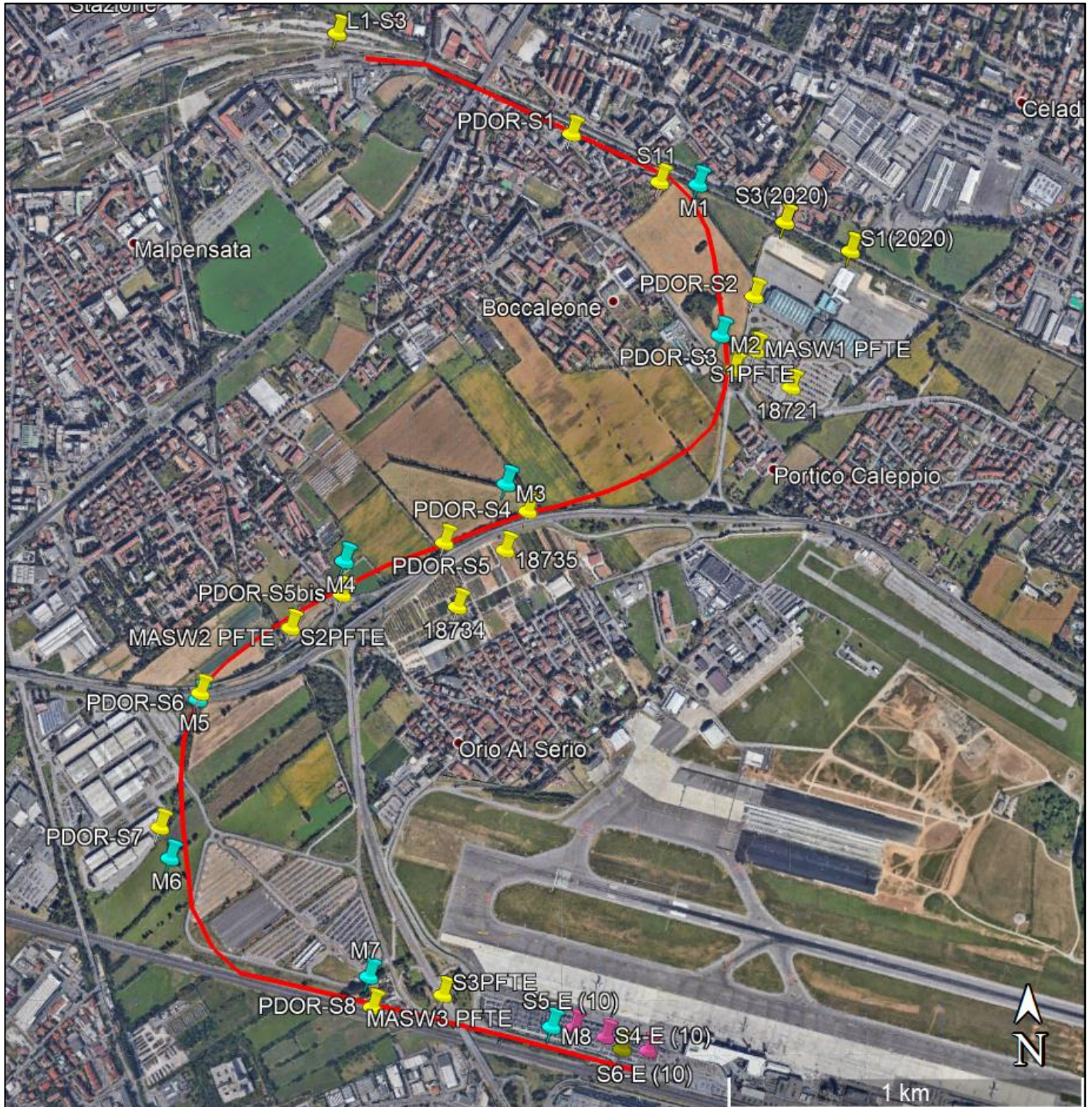


Figura 5-1 – Immagine aerea con localizzazione delle indagini geognostiche e geofisiche a supporto della presente fase progettuale. In rosso è stato evidenziato il tracciato di progetto (Immagine da Google Earth).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

5.2 CAMPAGNA INDAGINI AEROPORTO DI ORIO AL SERIO (2010)

A supporto del presente progetto sono stati utilizzati n. 3 sondaggi ambientali spinti sino a 15 m di profondità, eseguiti per la realizzazione del parcheggio multipiano dell’Aeroporto Orio al Serio nel 2010, utilizzate in seguito per la progettazione esecutiva di intervento di ampliamento del terminal passeggeri dell’Aeroporto Orio al Serio-Lotto 1b (2019) da SACBO S.p.A. In Tabella 5-1 si riporta l’identificativo dei sondaggi effettuati, la profondità, la data di esecuzione, la quota e le coordinate UTM Zone 32 N, mentre i risultati delle prove SPT, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati Tabella 5-2.

Tabella 5-1 – Sondaggi (2010)

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
				E	N
S4E(10)	15	2010	234	554066.89	5057182.25
S5E(10)	15	2010	233	553978.92	5057208.49
S6E(10)	15	2010	234	554187.07	5057145.41

Tabella 5-2 – Valori di N_{spt} registrati nei sondaggi S4E(10) e S6E(10)

Profondità (m da p.c.)	S4E(10)	S6E(10)
2.00	50	R
4.00	R	R
7.00	R	R
11.00	R	4

5.3 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PFTE E PD RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO (2017 – 2018 – 2019)

In ausilio alla Progettazione Definitiva sono stati utilizzati n. 2 sondaggi a carotaggio continuo realizzati durante la campagna indagini a supporto del PFTE “Raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo-Montello” (sondaggio S11) e del PD “Raddoppio della tratta Ponte San Pietro-Bergamo-Montello” (sondaggio L1-S3).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

In Tabella 5-3 si riporta l'identificativo dei sondaggi effettuati, la profondità, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM Zone 32 N e l'attrezzatura relativa ai sondaggi. I risultati delle prove SPT e Lefranc, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati rispettivamente in

Tabella 5-4 e

Tabella 5-5.

Tabella 5-3 – Sondaggio campagna Italferr 2017-2018 (PFTE) e 2019 (PD)

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
S11	30	Gennaio 2017	255.91	554196.00	5059576.00	Piezometro PVC 2" a tubo aperto
L1-S3	35	Settembre 2019	248.79	553289.00	5059984.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto

Tabella 5-4 – Valori di N_{spt} registrati nei sondaggi 2017-2018 (PFTE) e 2019 (PD)

Profondità (m da p.c.)	S11	L1-S3
3	70	13
4.5		20
6	7	31
7.5		40
9	R	23
12	R	
12.8		18
15	R	22
18	R	40
21	R	50
24		R
27		R

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Tabella 5-5 – Valore di K (m/s) calcolato tramite prova Lefranc eseguita in foro di sondaggio

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S11	7	1.28E-05
L1-S3	2.5	7.50E-06

5.4 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PFTE COLLEGAMENTO BERGAMO-ORIO AL SERIO (2018 – 2019)

A supporto della progettazione preliminare del nuovo collegamento ferroviario tra la stazione di Bergamo e l’Aeroporto Orio al Serio è stata condotta una campagna di indagini geognostiche e geofisiche tra il mese di luglio 2018 ed il mese di giugno 2019, comprendente l’esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a 30 m da p.c. e n. 3 prove M.A.S.W.

In Tabella 5-6 si riporta la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM Zone 32 N e l’attrezzatura installata. I risultati delle prove SPT e le indagini di tipo MASW eseguite sono riportate, rispettivamente, in Tabella 5-7 e Tabella 5-8, mentre in

Tabella 5-9 sono mostrati i valori restituiti dalle prove Lefranc.

Tabella 5-6 – Sondaggi campagna Italferr 2018-2019

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
S1	30	Luglio 2018	251.4	554467.78	5059107.81	Piezometro PVC 3” a tubo aperto
S2	30	Marzo 2019	248.6	553173.03	5058322.84	Piezometro PVC 3” a tubo aperto
S3	30	Marzo 2019	235.3	553609.35	5057296.14	Piezometro PVC 3” a tubo aperto

In Tabella 5-7 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Tabella 5-7 – Valori di N_{spt} registrati nei sondaggi Italferr 2018-2019

Profondità (m da p.c.)	S1	S2	S3
4.5	6	2	57
9	R	2	70
13.5	16	23	35
18	R	12	47
19.5			52
22.5	R	21	60

Tabella 5-8 – Risultati delle prove MASW

PROVE GEOFISICHE					
ID	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		V _{seq} (m/s)	Categoria suolo (NTC 2018)
		E	N		
MASW-1	249	554467.00	5059107.00	437	B
MASW-2	242	553173.00	5058322.00	407	B
MASW-3	235	553609.00	5057296.00	432	B

In

Tabella 5-9 si riportano i risultati delle prove Lefranc eseguite nel foro di sondaggio.

Tabella 5-9 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S2	8,5	2.63E-05
S3	10.2	9.50E-06

5.5 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR PD COLLEGAMENTO BERGAMO-ORIO AL SERIO (2019-2020)

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

A supporto della Progettazione Definitiva per il nuovo collegamento ferroviario tra la stazione di Bergamo e l'Aeroporto Orio al Serio è stata condotta una campagna di indagini geognostiche e geofisiche tra ottobre 2019 e febbraio 2020, comprendente l'esecuzione di n. 10 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a 40 m da p.c., n. 8 prove MASW, n.1 Down Hole e tomografie elettriche 2D e 3D.

In Tabella 5-10 si riporta la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM Zone 32 N e l'attrezzatura relativa ai sondaggi eseguiti a supporto della progettazione definitiva. I risultati delle prove SPT, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, e le informazioni sulle prove geofisiche di tipo MASW sono riportati, rispettivamente, in Tabella 5-11 e Tabella 5-12, mentre in Tabella 5-13 sono riportati i risultati delle prove di permeabilità di tipo Lefranc.

Tabella 5-10 – Sondaggi campagna Italferr 2019-2020

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
PDOR-S1	30	28-29/11/2019 2018	252.07	553948.00	5059708.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S2	30	25-26/11/2019	250.76	554463.00	5059259.00	-
PDOR-S3	40	18-22/11/2019	249.23	554408.00	5059054.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S4	30	5-6/12/2019	242.58	553835.00	5058654.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S5	30	6-9/12/2019	242.49	553602.00	5058564.00	-
PDOR-S5bis	40	3-5/12/2019	242.32	553316.00	5058416.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S6	40	21-25/02/2020	237.51	552921.00	5058137.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S7	30	13-14/11/2019	233	552810.00	5057759.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
PDOR-S8	30	11-13/11/2019	233.95	553412.00	5057260.00	-
PDOR-S9	30	29-31/10/2019	234	554115.00	5057149.00	Piezometro PVC 3" a tubo aperto

In Tabella 5-11 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi.

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	82 di 116

Tabella 5-11 – Valori di N_{spt} registrati nei sondaggi Italferr 2019

Profondità (m da p.c.)	PDOR-S1	PDOR-S2	PDOR-S3	PDOR-S4	PDOR-S5	PDOR-S5bis	PDOR-S6	PDOR-S7	PDOR-S8	PDOR-S9
1,5	57	R		31	28	26				
3	35	R	53		9	29	15		R	R
4,5		16		R	3	19		R	R	
6	18	13		36	5	4	9	R	R	R
6,4			6							
9	R	7	R	30	R	3	25	R	R	R
12	27	R		22	15	R	26	19	R	R
15	28	R	41	31	R	17	24	24	20	R
18	14	R	R	R	21	24	28	65		R
21						21	30			
24	R	47	R	R	R	R	R	R	2	R
27			R							
30			R		4		R			

Tabella 5-12 - Risultati delle prove MASW

PROVE GEOFISICHE					
ID	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		V _{Seq} (m/s)	Categoria suolo (NTC 2018)
		E	N		
M1	252	554303.82	5059570.77	504	B
M2	249	554370.44	5059150.28	449	B
M3	243	553774.71	5058730.23	539	B
M4	241	553322.38	5058510.80	517	B
M5	237	552914.11	5058119.82	433	B
M6	234	552839.97	5057673.31	518	B
M7	235	553401.18	5057346.97	499	B
M8	234	553916.00	5057210.00	520	B

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

In Tabella 5-13 si riportano i risultati delle prove Lefranc eseguite nel foro di sondaggio.

Tabella 5-13 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
PDOR-S1	1.5	4.83E-05
PDOR-S2	1.5	3.62E-05
PDOR-S3	2	2.37E-05
	25	8.00E-06
PDOR-S4	2.5	8.26E-05
	25.50	1.08E-05
PDOR-S5	2	3.57E-06
	6.50	6.81E-05
PDOR-S5bis	2	3.27E-05
	6	7.2E-04
	10	7.91E-05
PDOR-S7	2	3.24E-08
	6	6.74E-06
	9	3.89E-05
PDOR-S8	2	1.22E-04
PDOR-S9	2	4.73E-05

Infine, in Tabella 5-13b si riportano i campioni, prelevati durante i sondaggi, per le prove geotecniche di laboratorio.

Tabella 5-14 – Sintesi dei campioni di terreno sottoposti a prove di laboratorio geotecnico

Sondaggio	Campione	Profondità (da-a m da p.c.)
S01	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
 IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	84 di 116

Sondaggio	Campione	Profondità (da-a m da p.c.)
	CR3	9,00-9,50
	CR4	12,00-12,50
	CR5	15,00-15,50
	CR6	19,50-20,00
S02	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50
	CR3	9,00-9,50
	CR4	12,00-12,50
	CR5	14,00-14,50
S03	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50
	CR3	9,00-9,50
	CR4	12,00-12,50
	CR5	15,00-15,50
	CR6	21,20-21,70
S04	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50
	CR3	9,00-9,50
	CR4	12,00-12,50
	CR5	15,00-15,50
S05	CR1bis	1,00-1,50
	CR1ter	2,50-3,00
	CR1quater	4,00-4,50
	CR1	6,00-6,50
	CR2	9,00-9,50
	CR3	12,00-12,50
	CR4	15,00-15,50
	CR5	18,00-18,50
	CR6	24,00-24,50
	CR7	28,00-28,50
S05bis	CR1bis	1,00-1,50
	CR1ter	2,50-3,00
	CR1quater	4,00-4,50
	CR1	6,00-6,50

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

85 di 116

Sondaggio	Campione	Profondità (da-a m da p.c.)
	CR2	9,00-9,50
	CR3	12,00-12,50
	CR4	15,00-15,50
	CR5	18,00-18,50
S06	CR1	2,50-3,00
	CR2	3,00-3,50
	CR3	4,00-4,50
	CR4	6,00-6,50
	CR5	9,00-9,50
	CR6	12,10-12,60
	CI1	13,00-13,50
	CR7	16,50-17,00
	CR8	18,00-18,50
	CI2	20,50-21,00
S07	CR1bis	2,50-3,00
	CR1ter	4,00-4,50
	CR1	6,00-6,50
	CR2	9,00-9,50
	CR3	12,00-12,50
	CR4	15,00-15,50
	CR5	18,00-18,50
CR6	24,00-24,50	
S08	CR1bis	1,00-1,50
	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50
	CR3	9,00-9,50
	CR4	15,00-15,50
	CR4bis	17,00-17,50
	CR5	24,10-24,50
S09	CR1	3,00-3,50
	CR2	6,00-6,50
	CR3	9,00-9,50
	CR4	12,00-12,50
	CR5	15,00-15,50

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Sondaggio	Campione	Profondità (da-a m da p.c.)
	CR6	20,00-20,50

5.6 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2020 PD SOPPRESSIONE PL E REALIZZAZIONE SOTTOVIA DI VIA PIZZO RECASTELLO

In ulteriore ausilio al PD in oggetto, si è tenuto conto delle indagini eseguite nel 2020 da Italferr per il Progetto Definitivo relativo alla Soppressione PL e realizzazione Sottovia di via Pizzo Recastello, comprendente di n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a 30 m di profondità. In

Tabella 5-15 si riporta la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM Zone 32 N e l'attrezzatura relativa ai sondaggi eseguiti da Italferr nel 2020. I risultati delle prove SPT e Lefranc, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati rispettivamente in

Tabella 5-16 e Tabella 5-17.

Tabella 5-15 – Sondaggi campagna Italferr 2020

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
S1(2020)	30	20/05/2020	251.07	554731.97	5059387.97	Piezometro PVC 3” a tubo aperto
S3(2020)	30	22/05/2020	254	554547.37	5059467.09	Down-hole

Tabella 5-16 – Valori di N_{spt} registrati nei sondaggi Italferr 2020

Profondità (m da p.c.)	S1(2020)	S3(2020)
2.00	R	12
4.00	R	6
6.00	6	22
8.00	12	16
10.00	58	R
12.00	R	35
14.00	11	37

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Profondità (m da p.c.)	S1(2020)	S3(2020)
16.00	47	36
18.00	61	8
20.00	36	16
22.00	12	R
24.00	9	R
26.00	2	
28.00	22	
30.00	32	

Tabella 5-17 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite in foro di sondaggio

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)
S1(2020)	1.5	4.81E-04
S3(2020)	3.00	3.2E-04

5.7 POZZI PER ACQUA (BANCA DATI DELL'ISPRA)

A supporto del presente studio sono state considerate, inoltre, le stratigrafie di pozzi per acqua ottenute tramite la banca dati dell'ISPRA, la cui profondità, data di esecuzione, quota e coordinate sono state riportate in Tabella 5-18.

Tabella 5-18 – Pozzi per acqua (banca dati dell'ISPRA)

POZZO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
				E	N
18721	67	2001	251	554569.52	5059006.36
18734	108	2000	241.6	553640.43	5058384.70
18735	102	2000	241.6	553773.11	5058544.74

PROGETTO DEFINITIVO

**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO –
“AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE
ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	88 di 116

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 89 di 116

6 DESCRIZIONE STRATIGRAFICA DI DETTAGLIO

Nel presente capitolo viene effettuata una descrizione di dettaglio della stratigrafia lungo il tracciato della linea in progetto, con particolare riferimento ai profili geologici elaborati a partire dai sondaggi effettuati a supporto della progettazione. Tale profilo viene riportato nell’elaborato NM2700D69FZGE0001001A – Profilo geologico.

Lungo tutta la tratta in esame (estesa 5.3 km), la linea ferroviaria in progetto attraversa la pianura lombarda ed è interamente impostata su depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi appartenenti al Supersistema della Morla (precedentemente descritto al par. 3.3.1).

Facendo riferimento al profilo geologico sopracitato e partendo dalla zona orientale di Bergamo, per spostarsi in direzione dell’Aeroporto “Orio al Serio”, immediatamente prima dell’inizio della tratta il profilo stratigrafico può essere ricostruito grazie al sondaggio S3 eseguito a supporto del progetto definitivo del raddoppio della linea Ponte San Pietro-Bergamo; esso individua, materiali ghiaioso-sabbiosi sino a 9 m da piano campagna, seguiti da un livello argilloso-limoso, e nuovamente da materiali ghiaioso-sabbiosi sino alla massima profondità investigata di 35 metri da p.c.. Successivamente la tratta interseca il sondaggio PDOR-S1 (pk 0+600) che intercetta, oltre 0.8 m di materiale di riporto, terreno ghiaioso, sabbioso e limoso fino a 22 m di profondità, identificando il Supersistema della Morla. Oltre quest’ultima profondità, sino a 30 m, è presente del conglomerato (Conglomerati di Seriate). Proseguendo lungo la tratta vengono intersecati i sondaggi S11 e PDOR-S2 (localizzati, rispettivamente, in prossimità della pk 0+900 e 1+300). Entrambe le indagini definiscono nella prima tratta della verticale di sondaggio del materiale ghiaioso sabbioso, a tratti limoso, appartenente al Supersistema della Morla (S11 fino a circa 17 m, mentre PDOR-S2 fino a 19.5 m di profondità) e presenza di conglomerato (Conglomerati di Seriate) fino alla massima profondità investigata di 30 metri.

Successivamente la tratta interseca il sondaggio S1, PDOR-S3 ed il pozzo per acqua 18721 nell’intorno della pk 1+600. Il primo identifica, al di sotto di materiale di riporto, terreno ghiaioso, sabbioso e limoso fino 22 metri di profondità, intervallato da limo argilloso fra 13 e 19 m da p.c.. Questo primo spessore appartiene al Supersistema della Morla. Procedendo sino alla massima profondità investigata (30 m) il sondaggio definisce la presenza di conglomerati con alternanza di ghiaia (Conglomerati di Seriate). Il sondaggio PDOR-S3 identifica materiale ghiaioso e sabbioso, con presenza di limo tra 0.8 e 5.4 m di profondità, fino a 17 m definendo la presenza del Supersistema della Morla, seguito dal Conglomerato di Seriate negli ultimi 13 metri di terreno investigati. Il pozzo 18721, come i sondaggi precedenti, definisce la presenza di materiale ghiaioso e sabbioso appartenente alla Supersistema della Morla fino a 27m di profondità, seguito dai conglomerati di Seriate.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>90 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	90 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	90 di 116								

Tra le progressive 2+250 e 2+600 sono presenti i sondaggi PDOR-S4, PDOR-S5 ed i pozzi 18735 e 18734. Il terreno investigato dai primi due sondaggi è caratterizzato da materiale ghiaioso, sabbioso e limoso appartenente al Supersintema della Morla, sino alla profondità di 16.5m per il PDOR-S4 e 28m per il PDOR-S5. Oltre queste ultime due profondità, i sondaggi identificano la presenza del Conglomerato di Seriate; mentre i pozzi per acqua 18735 e 18734 identificano sabbia e ghiaia intervallata da conglomerati lungo tutta la verticale investigata, ad eccezione del pozzo 18735 che definisce uno spessore di argilla tra 20 e 38 metri di profondità.

Fra le pk 2+650 e 3+625, tra le quali è in progetto la galleria, sono stati eseguiti i sondaggi PDOR-S5bis, S2 e PDOR-S6 (nell'intorno, rispettivamente, delle pk 2+850, pk 3+075 e pk 3+400). Il sondaggio PDOR-S5bis si sviluppa verticalmente per una lunghezza di 40 m. Fino a 6 m di profondità il terreno investigato dal sondaggio è caratterizzato da limo argilloso e sabbioso, intervallato tra 1.9 e 4 m da sabbia con ghiaia. Procedendo in profondità il sondaggio definisce la presenza di ghiaia fino a 13 m (con presenza di vuoto tra 7.2 e 9 m di profondità a causa del non recupero di materiale privo di consistenza) per poi passare a limo sabbioso sino a 22.8 m di profondità; questo spessore è attribuibile al Supersintema della Morla. Da quest'ultima profondità, per uno spessore di 15.6 m, il terreno si presenta caratterizzato da conglomerati che poggiano su limo sabbioso con ghiaia sino alla massima profondità investigata (40 m). Questi definiscono i Conglomerati di Seriate. Lungo la verticale del sondaggio S2, al di sotto di 1.8 m di materiali di riporto, è presente sabbia limosa con ghiaia fino a circa 13.4 m di profondità, seguito da 11.5 m di argilla che poggia su un terreno caratterizzato da alternanza di conglomerati e sabbia sino alla massima profondità investigata (30 m). Il sondaggio PDOR-S6, oltre i primi 10 cm di terreno vegetale, definisce la presenza di uno spessore 4.9 m di limo sabbioso localmente argilloso, a tratti sabbia limosa con ghiaia, seguita da sabbia limosa con ghiaia sino a 9.5 m da p.c.. Oltre quest'ultima profondità, il terreno investigato dal sondaggio è caratterizzato da ghiaia (2.5 m di spessore), limo sabbioso (11.5 m di spessore) e alternanza di livelli di conglomerati bene cementati con intercalazione di livelli di scaglie e frammenti di conglomerato con ghiaia limosa sabbiosa sino alla massima profondità indagata dal sondaggio (40 m). La galleria, in progetto lungo la tratta, interseca per la maggior parte del tragitto materiale caratterizzato da ghiaia e sabbia, ad eccezione di alcuni livelli in cui è presente terreno definito da sabbie limose e limo argilloso.

Oltre la galleria in progetto, pk 3+750, è stato eseguito il sondaggio PDOR-S7, spinto fino alla profondità di 30 m. Oltre i primi 0.7 m di materiale di riporto, il sondaggio interseca materiale caratterizzato da ghiaia e sabbia limosa fino a 11.3 m di profondità. Da quest'ultima profondità sono presenti 0.3 m di argilla limosa, poggianti su uno spessore di limo sabbioso di 13.8 m. Questi primi 25.4 m definiti dal sondaggio sono ascrivibili al Supersintema di Morla. Gli ultimi 4.6 m investigati dal sondaggio PDOR-S7, caratterizzati da conglomerati, sono attribuibili ai Conglomerati di Seriate.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>91 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	91 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	91 di 116								

Il profilo stratigrafico relativo all'ultima parte del tracciato (p.k. da 4+000 a 5+250) viene ricostruito tramite le stratigrafie dei sondaggi PDOR-S8, S3 e PDOR-S9, e tramite i sondaggi ambientali dell'aeroporto S5-E e S4-E. Il primo, situato presso la pk 4+500, raggiunge la profondità di 30 m intercettando il Supersintema della Morla sino a 21.6 m di profondità, caratterizzato da materiale ghiaioso, sabbioso e limoso, ed i Conglomerati di Seriate intervallati da uno spessore di limo sabbioso-ghiaioso tra le profondità di 21.4 e 24 m. Proseguendo in direzione dell'Aeroporto di Orio al Serio, la tratta in esame è stata investigata dagli ultimi due sondaggi S3 e PDOR-S9, e più superficialmente dai sondaggi S5-E ed S4-E. Il primo (pk 4+750) si sviluppa verticalmente per una profondità di 30 m da p.c.. Esso definisce, al di sotto di materiale di riporto, la presenza di limo argilloso (con spessore di 1.4 m), ghiaia con sabbia (fino a 11.5 m di profondità) e limo argilloso sino a 23 m. Questi strati, appartenenti al Supersintema della Morla, poggiano sui conglomerati di Seriate fino alla massima profondità investigata dal sondaggio. Il secondo (pk 5+250), al di sotto di 0.3 m di materiale di riporto, è caratterizzato da sabbia e ghiaia (0.3 m di spessore), limo argilloso (con spessore di 0.9 m), sabbia debolmente limosa sino a 2.6 m da p.c. e ghiaia medio-grossolana per uno spessore di 0.4 m. Dalla profondità di 3 m, sino a 24 m, il terreno investigato dal sondaggio definisce la presenza di alternanze di strati costituiti da ghiaia e sabbia limosa. Questi primi 24 m di materiale sono attribuibili al Supersintema della Morla, mentre i restanti 6 m, costituiti da conglomerato, sono ascrivibili ai Conglomerati di Seriate. I sondaggi ambientali considerati si spingono solo a 15 m da p.c., individuando principalmente materiali ghiaioso sabbiosi riferiti al Supersintema della Morla con alcuni sottili livelli più fini.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>92 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	92 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	92 di 116								

7 INQUADRAMENTO SISMICO

7.1 PREMESSA

Nel seguito, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati al sito di progetto nel corso di terremoti storici, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale. Successivamente, facendo diretto riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica funzione delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere, la loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati.

Con riferimento sempre alle indicazioni normative, la definizione dell'accelerazione si baserà altresì sulla localizzazione delle opere. Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1); si farà riferimento alle tabelle in allegato alla edizione 2008 delle NTC, le quali (non aggiornate nella nuova edizione delle Norme) elencano i valori di accelerazione massima al suolo, oltre ai parametri spettrali, in corrispondenza dei punti di una griglia di apertura 5x5 km a coprire il territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area dei comuni di Bergamo e Orio al Serio, nell'intorno del tracciato in Figura 7-1).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 7-2 dove vengono altresì indicati i punti sede di indagini geofisiche e geotecniche.

¹ Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20.02.2018 – Supplemento Ordinario n. 8.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

NM27

01 D 69

RG

GE 0000 001

A

93 di 116

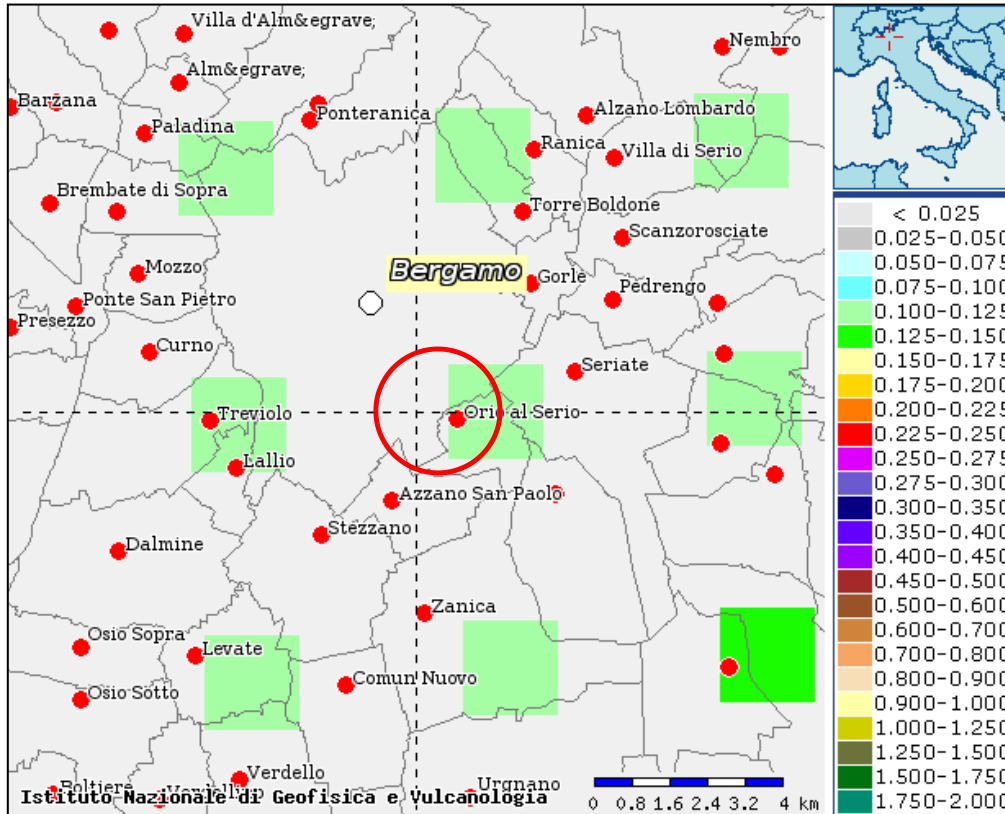


Figura 7-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno dell'area di progetto (cerchio rosso) da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

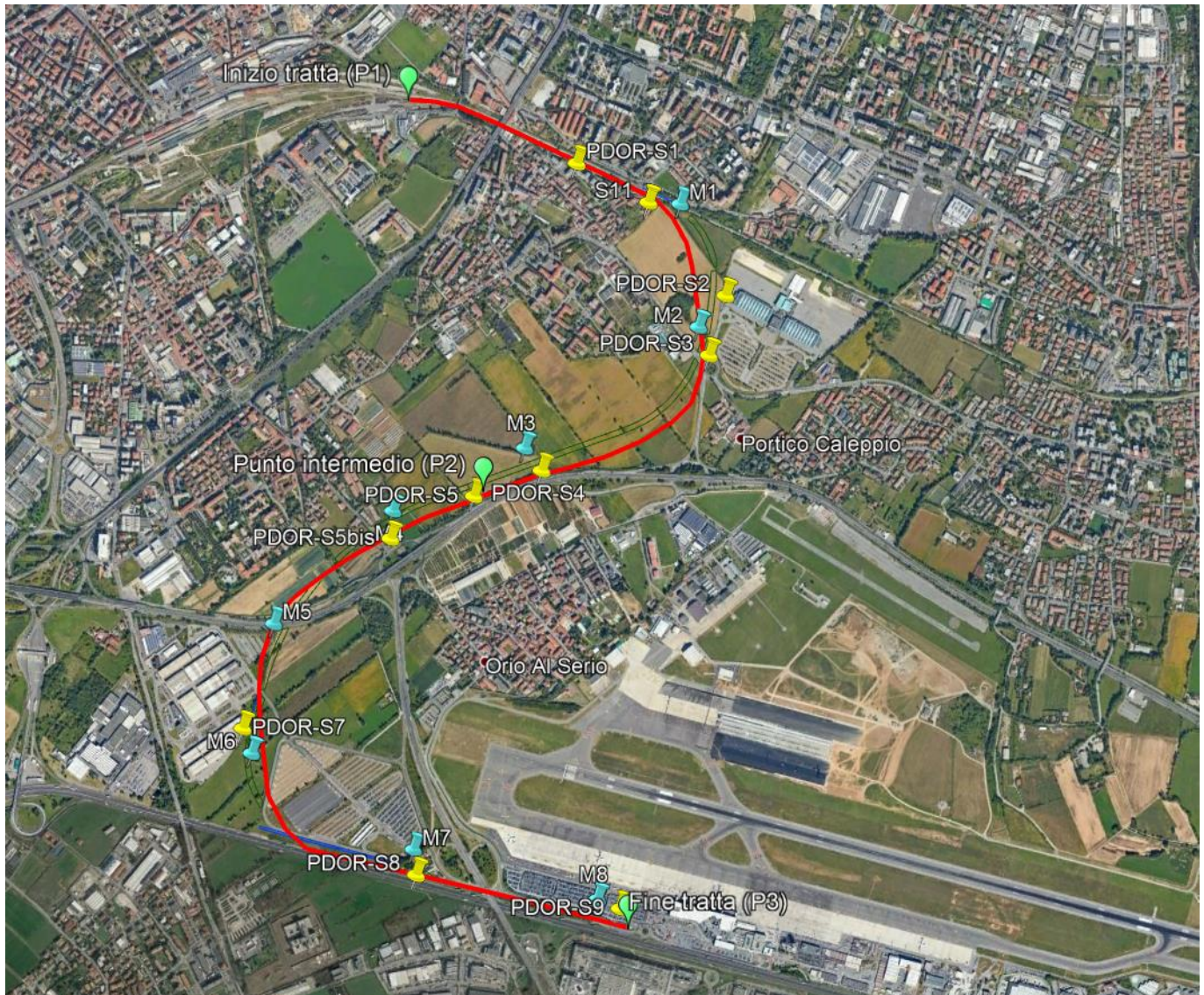


Figura 7-2 – Localizzazione del tracciato con indicazione di sondaggi e prove geofisiche MASW (M1-M8) eseguite.

7.2 INQUADRAMENTO SISMOLOGICO

La stratigrafia della porzione di Pianura Padana interessata dalle opere in progetto è dominata dalla presenza di depositi di età pliocenica – quaternaria, per spessori di alcune centinaia di metri al di sopra del substrato inferiore. Dal punto di vista tettonico, il sistema strutturale della Pianura e delle zone collinari deriva dall’interazione tra l’arco Appenninico a sud, quello Alpino a nord e la placca adriatica a est (quest’ultima a costituire un cuneo, spinto dalle due precedenti). La cinematica del complesso è governata da una compressione lungo l’allineamento NS che

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 95 di 116

influenza tutto il Nord Italia, così come documentato dai meccanismi focali degli eventi sismici più recenti, e da rilievi GPS dei movimenti della superficie. Tale evoluzione, iniziata durante il periodo Cenozoico, è tuttora in corso: si può sicuramente concludere che la sismicità del Nord Italia è principalmente governata dai moti compressivi generati dalla spinta verso N degli Appennini e verso S (in prossimità del sito di progetto) della Catena Alpina.

La Figura 7-3 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (Rovida et al., 2016) relativa al nord Italia. Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell’attuale mappa di pericolosità del territorio italiano associata alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018). Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) e sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Si osserva come la definizione delle zone sismogenetiche ZS9 corrisponda sia alla distribuzione delle faglie sul territorio nazionale, sia alla distribuzione degli epicentri dei terremoti e delle magnitudo. Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia dettate dalla sismicità storica. Soprattutto, è possibile osservare come gli eventi di maggiore magnitudo siano localizzati in corrispondenza dell’arco alpino, ed in particolare al bordo tra la zona prealpina e le pianure lombarda e friulana. Rilevanti contributi alla sismicità del Nord Italia provengono anche dalle aree dell’Appennino Tosco-Emiliano, con particolare riferimento al terremoto dell’Emilia nel 2012.

Il modello sismo-tettonico ZS9 individua, nell’area del NE, 3 zone a sismicità diffusa: ZS904, ZS905 e ZS906. Tra queste, la ZS905 presenta caratteristiche di sismicità in termini di magnitudo massime (~6.5) e frequenza degli eventi nettamente superiore rispetto alle altre come evidente dalla distribuzione degli epicentri di Figura 7-3. Fra i terremoti storici più significativi qui assegnabili, si ricorda la serie del Friuli 1976. Generalmente, i terremoti di questa regione sono ben vincolati e associati, in letteratura, a specifiche sorgenti sismiche sulla base di dati geologici affidabili. Procedendo verso ovest, la ZS906 include terremoti originati nella pianura del Po i cui dati sono sicuramente più scarsi e di affidabilità incerta, come ad esempio l’evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$, la cui sorgente non è stata ancora definita in letteratura (Galadini et al., 2001) e del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse.

La ZS907, dove si sviluppa la tratta investigata, include la parte meridionale delle province di Bergamo e Brescia ed è caratterizzata da una sismicità medio-bassa, con la sola eccezione del terremoto di Soncino del 1802 di $M_w = 5.9$ (cerchio in giallo nella ZS907 in Figura 7-3).

La ZS911, localizzata più a sud, delimita l’estremità settentrionale dell’arco appenninico, oltre a comprendere l’arco di Pavia. Quest’area è fra le più influenti per la sismicità del tracciato ferroviario in progetto vista la prossimità

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>96 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	96 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	96 di 116								

geografica. Si ipotizza che le strutture di questa zona abbiano una funzione di “svincolo” cinematico del sistema in migrazione (Gruppo di Lavoro, 2004).

Procedendo sempre verso sud le zone sismogenetiche seguono longitudinalmente l’asse appenninico, perdendo di interesse in termini di effetti potenziali al sito di progetto al crescere della distanza. Si evidenzia la ZS915 contenente eventi di magnitudo superiore a 6, fra cui il terremoto della Garfagnana del 1920 (Guidoboni et al., 2007).

A nord, nell’area pedemontana fra i laghi di Como e Maggiore, al fronte della catena Subalpina, la pericolosità sismica viene considerata praticamente insignificante e nessuna sorgente sismogenetica è stata pertanto associata nel modello sismo-tettonico ZS9 a questa area. L’area 903, appositamente definita, è stata vincolata in termini di parametri più dai cataloghi di terremoti, per unire la maggiore sismicità di quell’area, che non dà specifiche informazioni geologiche.

Infine, a NO si incontra la ZS902, la cui geometria è stata basata sulla distribuzione degli epicentri del catalogo CPTI, con concentrazione di alcuni terremoti di maggiore energia. La zona ha una magnitudo massima di 6.14 in quanto include in particolare la sorgente del Vallese che ha generato i terremoti del 1755 ($M_w=5.9$) e del 1946 ($M_w=6.1$).

A ovest, lungo il confine fra Italia e Francia, sono identificate le ZS901, ZS908, ZS909 e ZS910 le quali presentano una sismicità diffusa di intensità modesta, a distanze ragguardevoli dal sito di progetto.

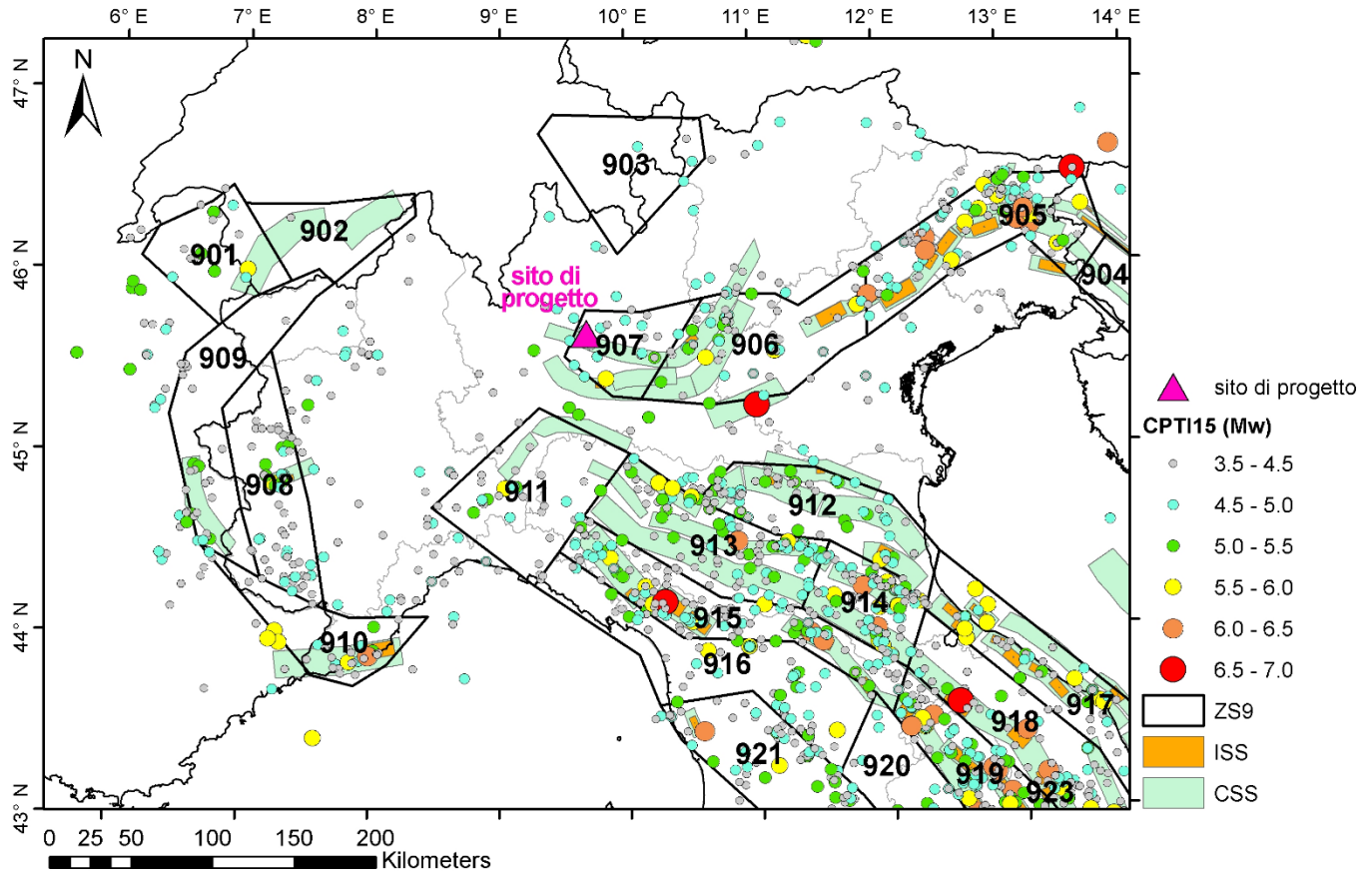


Figura 7-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell’intorno dell’area di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

I lineamenti di faglia sottostanti al tracciato ferroviario oggetto dello studio (vedi l’estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 7-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all’interno dei quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). In dettaglio, a sud di Como si evidenziano i lineamenti Western S-Alps external Thrust (ITCS002) con andamento EO e Western S-Alps Internal Thrust (ITCS010) con andamento NE-SO con magnitudo 6.1 e 5.5 rispettivamente. Sulla base delle indicazioni del catalogo delle Faglie Capaci ITHACA, curato da ISPRA, non sono state individuate lineazioni potenzialmente interagenti con il tracciato sede delle opere di progetto. (<http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci>).

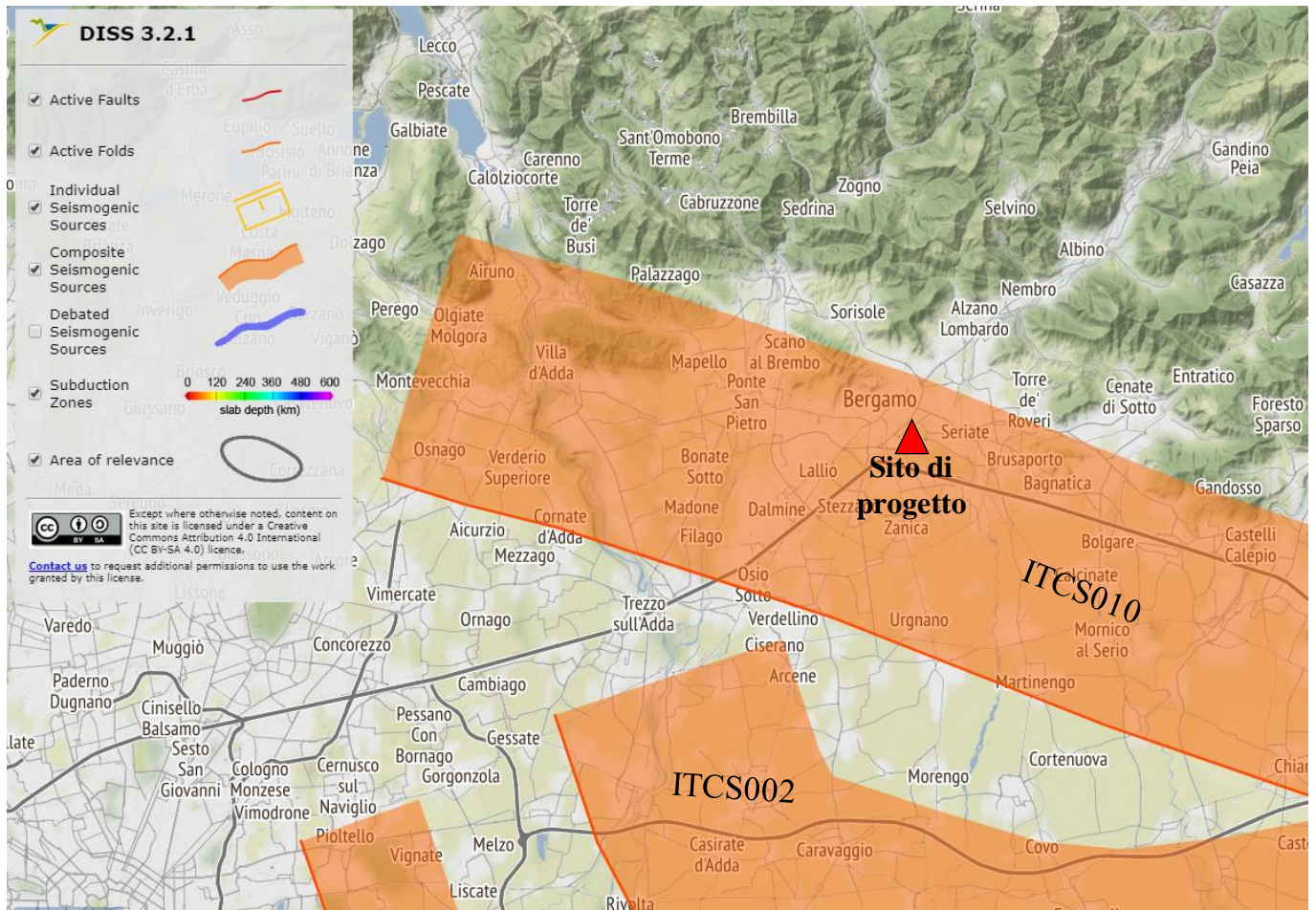


Figura 7-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2), rilevanti per il sito di progetto (triangolo rosso).

Per completare quanto sopra descritto, e quindi restituire un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di progetto, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), il quale contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, l’estratto di

Figura 7-5 mostra la storia sismica associata al comune di Bergamo, dove si sviluppa la maggior parte del tracciato, in termini di intensità macrosismica (IS). Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia medio-bassa, e che le intensità sismiche massime avvertite a Bergamo risultino nell’ordine di IS=6-7 in conseguenza degli eventi di Bergamo del 1593 e 1606 e della Pianura Padana del 1642.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

P2 (punto intermedio)	Bergamo	45.679168	9.688888
P3 (fine tracciato)	Orio al Serio	45.665613	9.695270

7.4 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO

7.4.1 Generalità

L’azione sismica di progetto viene qui definita secondo quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell’azione sismica si concretizza nella determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ “ancorato” al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c*} periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima determinato il periodo di riferimento per l’azione sismica (par. 7.4.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel paragrafo 7.4.3 saranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell’azione sismica da considerare determinata a sua volta per suolo rigido ed in corrispondenza dei punti definiti nella Tabella 7-1 precedente (cfr. par. 0).

La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l’interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 7.4.5, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l’azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>101 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	101 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	101 di 116								

7.4.2 Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il numero di anni durante i quali essa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali.
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame (opera ordinaria), ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame, sempre sulla base delle indicazioni dei progettisti, le opere appartengono alla Classe d'Uso III, ossia:

“Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.”.

Pertanto, sulla base delle indicazioni NTC2018, alla Classe d'Uso III corrisponde un coefficiente d'uso C_U pari a:

$$C_U = 1.5$$

L'azione sismica di verifica delle opere viene quindi definita in relazione ad un periodo di riferimento V_R ottenuto, per ciascun tipo di opera, moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame:

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

7.4.3 Stati limite e probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite relativi all'opera da verificare ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1, risultano:

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>102 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	102 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	102 di 116								

- Stati Limite Ultimi (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

- Stati Limite di Esercizio (SLE):

- Stato Limite di immediata Operatività **SLO**: a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso.
- Stato Limite di Danno **SLD**, a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Sarà compito del progettista delle singole opere selezionare le prestazioni della struttura da verificare per ogni SL considerato.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Le probabilità di superamento cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati (cfr. Tab 3.2.I NTC2018) risultano:

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento in V_R	
Esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Ultimi	SLV	10 %
	SLC	5 %

Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

dall'applicazione della quale si ottiene:

Stato Limite		P_{VR} %	T_R anni
SLE	SLO	81%	68
	SLD	63%	113
SLU	SLV	10%	1068
	SLC	5%	2193

7.4.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al testo dell'edizione delle Norme del 2008 (riferita dalle NTC2018) è presente una tabella nella quale i valori a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_o (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_{c^*} (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) vengono assegnati in corrispondenza di una griglia di punti distribuiti sull'intero territorio nazionale. I corrispondenti valori di pericolosità sismica situati in punti intermedi della

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 104 di 116

griglia (individuati dalle loro coordinate, cfr. Tabella 7-1) si ottengono per interpolazione sui quattro punti di griglia ad essi adiacenti.

In Tabella 7-2 si localizza il punto considerato rispetto ai nodi della griglia dei valori di pericolosità, ottenuto attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009).

Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_o e T_{c*} è riportato in Tabella 7-3 ($V_R=112.5$ anni). Si osserva una sostanziale uniformità dei valori di pericolosità sismica lungo il tracciato. Sulla base di tale considerazione, i valori leggermente superiori di pericolosità sismica calcolati per il punto P3 (fine tracciato) verranno applicati nel seguito per tutte le opere in progetto, indipendentemente dalla loro collocazione.


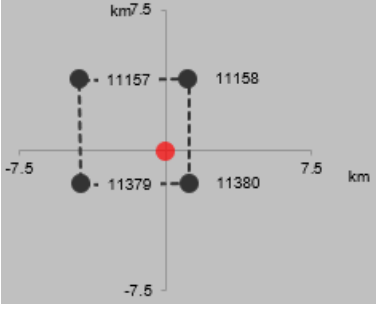
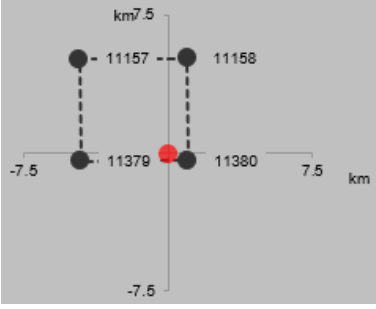
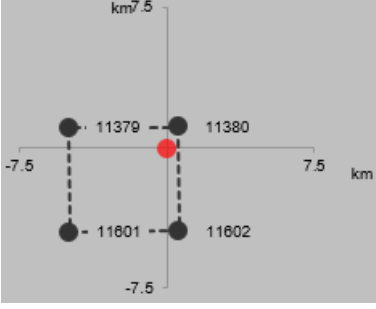
	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>105 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	105 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	105 di 116								

Tabella 7-2 – Associazione dei punti di interesse di Tabella 7-1 ai nodi della griglia di rappresentazione dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NT2008.

ID	Comune di riferimento	Punti della griglia adiacenti (da Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP, 2009)
P1 (inizio tracciato)	Bergamo	
P2 (punto intermedio)	Bergamo	
P3 (fine tracciato)	Orio al Serio	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Tabella 7-3 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 112.5$ anni.

Nome di sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
P1	SLO	68	0.046	2.426	0.231
	SLD	113	0.060	2.427	0.247
	SLV	1068	0.153	2.470	0.277
	SLC	2193	0.194	2.505	0.286
P2	SLO	68	0.047	2.419	0.231
	SLD	113	0.061	2.422	0.249
	SLV	1068	0.156	2.472	0.276
	SLC	2193	0.197	2.506	0.286
P3 (riferimento)	SLO	68	0.048	2.413	0.232
	SLD	113	0.062	2.417	0.249
	SLV	1068	0.158	2.474	0.276
	SLC	2193	0.200	2.508	0.286

7.4.5 Risposta sismica locale

Sulla base della classificazione di cui alla Carta della Pericolosità Sismica Locale (Tavola 3 del P.G.T. del Comune di Orio al Serio; Tavola SG9, Studio Geologico e Idrogeologico, Comune di Bergamo), il tracciato si snoda in un'area classificabile, nei termini di Scenario di Pericolosità Sismica Locale, come Z4a, ossia:

Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

Le NTC2018 definiscono il fattore di sito S come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_S \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si conduce in base alle condizioni stratigrafiche ed al valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definito dall'espressione:

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>107 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	107 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	107 di 116								

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

- h_i = spessore dell’i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche eseguita presso il sito di progetto ha compreso l’esecuzione di prove MASW in numero di 8 (M1-M8 in Figura 7-2). I risultati delle prove MASW (per i dettagli delle quali si rimanda all’elaborato NM2701D69IGGE0000001A) restituiscono valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 433 e 539 m/s; pertanto, il sito di progetto risulta classificabile all’interno della categoria di suolo di tipo B (

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A	FOGLIO 108 di 116

Tabella 7-4).

Sulla base delle indicazioni di cui allo studio Geologico e Idrogeologico allegato al PGT del comune di Bergamo (con particolare riferimento al Cap. 6 Analisi della sismicità del territorio, Analisi di II Livello), ed alla carta allegata SG10 del fattore di amplificazione sismica F_a (cfr. estratto di Figura 7-6), i valori di soglia definiti dalla Regione Lombardia ($F_a = 1.5$ per la Categoria B) risultano superati per quota parte del tracciato. Pertanto, in sostituzione della Categoria B si dovrà utilizzare la definizione dell'azione sismica di Categoria superiore (C). Tale assunzione cautelativa è qui estesa anche alla breve porzione di tracciato afferente al Comune di Orio al Serio.

Il coefficiente S_S per la categoria di sottosuolo C si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 \cdot 0.60 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.50$$

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>109 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	109 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	109 di 116								

Tabella 7-4 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).

Suolo	Descrizione geotecnica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	110 di 116

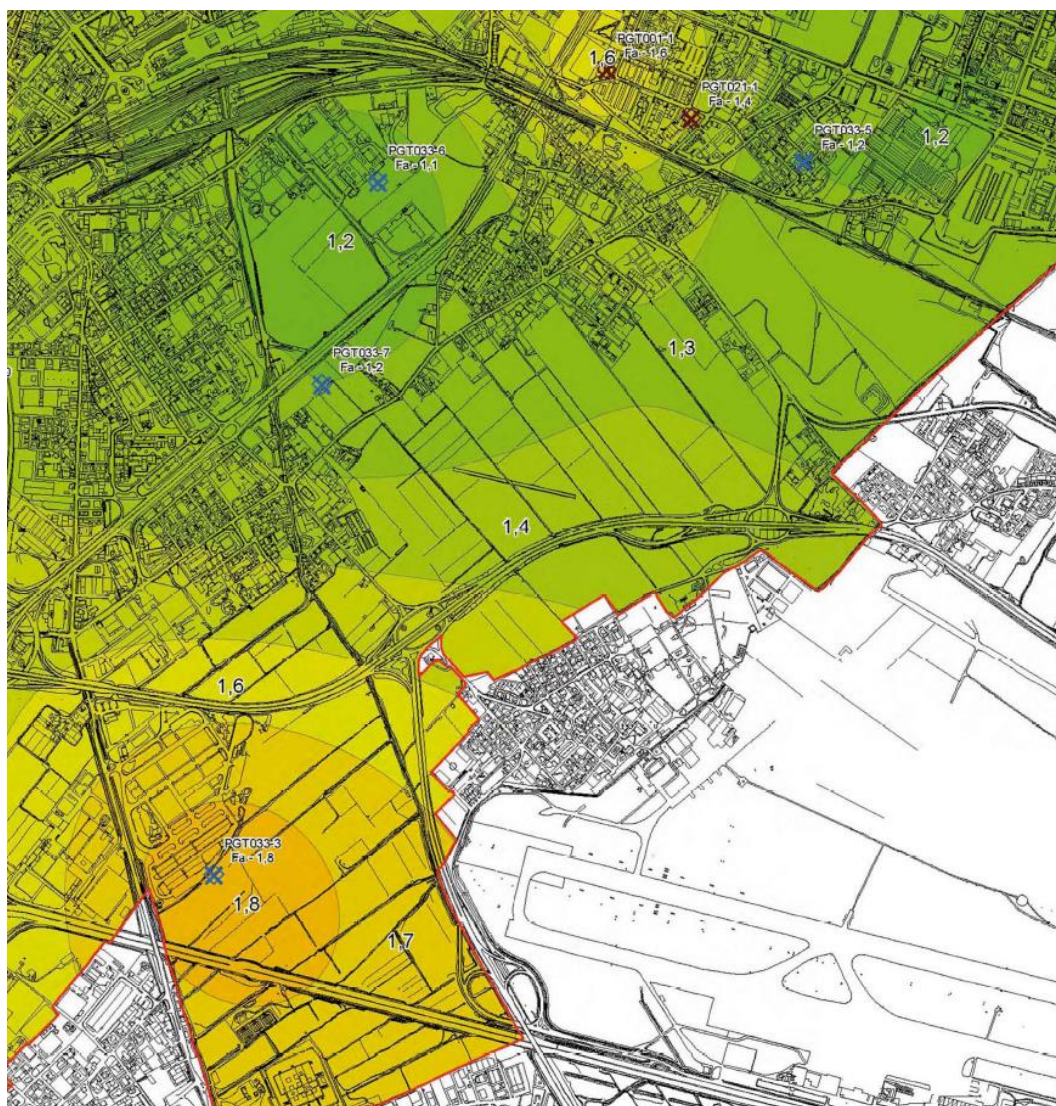


Figura 7-6 – Estratto della carta del fattore di amplificazione F_a (PGT del Comune di Bergamo), nell'intorno dell'area interessata dal tracciato.

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il sito di progetto si colloca su superficie sostanzialmente pianeggiante (cat. T1 - Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, in accordo alla Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Sulla base di quanto sopra, i valori del fattore di sito S e dell'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ per i periodi di ritorno corrispondenti ai diversi stati limite vengono riportati in Tabella 7-5.

	PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM27	LOTTO 01 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0000 001	REV. A

Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 7-5 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e di accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per il sito di progetto (categoria C).

SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLO	68	0.048	1.500	0.072
SLD	113	0.062	1.500	0.093
SLV	1068	0.158	1.465	0.232
SLC	2193	0.200	1.398	0.280

7.5 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa qualora si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1g.
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve che delimitano il campo di suscettibilità, fornite nelle NTC2018.

Sulla base delle informazioni disponibili, la falda si colloca lungo tutto il tracciato a più di 29 metri di profondità. Pertanto, in accordo al criterio di esclusione di cui al punto 2, la verifica a liquefazione non è necessaria ed il sito è classificabile come stabile rispetto a tale fenomeno.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>112 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	112 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	112 di 116								

8 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- la linea ferroviaria di progetto si sviluppa nel settore centrale della regione Lombardia, tra la parte orientale del comune di Bergamo ed il comune di Orio al Serio (BG).
- Il territorio oggetto di indagine appartiene alla pianura lombarda ed è situato nella provincia tettonica delle Alpi e Prealpi Orobiche, a loro volta comprese nelle Alpi Meridionali. Le Alpi Meridionali sono caratterizzate da uno stile tettonico a pieghe e sovrascorrimenti, differente da quello dell’edificio alpino vero e proprio in quanto ha interessato unità appartenenti allo stesso dominio paleogeografico e non ha determinato significativi episodi di metamorfismo.
- Dal punto di vista stratigrafico i terreni presenti nell’area di progetto sono costituiti da ghiaie a clasti arrotondati con prevalenti clasti della successione cretacea e, di poco subordinati, silicoclasti con evidenze di alterazione, intercalazioni sabbiose (depositi alluvionali), argille, limi e sabbie (depositi lacustri). Questi depositi appartengono al Supersistema della Morla.
- Dal punto di vista geomorfologico l’area di studio presenta in maniera marcata le caratteristiche morfologiche e topografiche delle aree di alta pianura, con un assetto tipicamente pianeggiante a cui si deve aggiungere una notevole componente antropica per quanto riguarda l’utilizzo del suolo che ha contribuito ad accentuare il carattere pianeggiante della zona. La morfologia tipicamente pianeggiante è evidenziata dal blando degrado delle quote topografiche in direzione nord-sud. Si passa, in uno spazio di 2 km, da una quota di 246,3 m s.l.m, fino ad una quota di 231,7 m s.l.m. La morfologia originaria del territorio risulta quasi del tutto obliterata dalle attività antropiche (urbane ed agricole), così come la rete idrografica che è completamente adattata al contesto antropizzato. Per tale motivo non si segnala la presenza di particolari morfologie.
- Dal punto di vista idrografico il reticolo idrografico naturale del comune di Bergamo è formato dai numerosi torrenti, a volte poco più di ruscelli, che scendono dai rilievi collinari, dal torrente Quisa e, per un breve tratto, dal torrente Morla. Quest’ultimo in particolare viene più volte intercettato dal tracciato in progetto.
- Dal punto di vista idrogeologico la successione stratigrafica dei depositi presenti nel sottosuolo della Provincia di Bergamo individua due unità idrogeologiche corrispondenti a due sistemi acquiferi principali: un sistema superficiale, con falda libera, ed uno inferiore con falda confinata. Allo scopo di acquisire le necessarie informazioni sulle condizioni idrogeologiche nell’area di interesse del tracciato, i sondaggi geognostici eseguiti a supporto del presente studio sono stati attrezzati per l’esecuzione di rilievi piezometrici

e sono state eseguite prove di permeabilità. Il livello di falda è stato intercettato a circa 29 m di profondità. L'area di progetto è composta da sedimenti caratterizzati da una permeabilità medio alta, con una conducibilità idraulica compresa tra 10^{-6} e 10^{-4} m/s; tale dato risulta coerente con le prove di permeabilità in foro realizzate.

- Per quanto concerne la vulnerabilità dell'acquifero superficiale il Piano di Governo del Territorio di Bergamo ha redatto la cartografia tematica utilizzando il metodo DRASTIC. Da tale cartografia si evince come il tracciato in progetto ricada nella porzione nord in classe 5 (vulnerabilità mediamente alta, 51-60%) e nella porzione a sud in classe 4 (vulnerabilità alta, 61-70%).
- Dal punto di vista delle criticità di natura geomorfologico, idraulico e geologico, in seguito alla presa visione della cartografia resa disponibile dal PGT del comune di Bergamo e dell'Autorità di bacino del fiume Po, è possibile affermare che:
 - la tratta in progetto, sviluppandosi interamente su territorio pianeggiante, non risulta interessata da fenomeni di dissesto e non attraversa aree classificate a rischio geomorfologico.
 - Dal punto di vista del rischio idraulico, essa non è compresa in aree allagabili; infatti la fascia fluviale più vicina è quella del fiume Serio situato a 2.5 km, verso est, dalla parte terminale del tracciato.
 - Dal punto di vista geologico sono stati considerati i dati stratigrafici e geotecnici a disposizione per verificare l'eventuale presenza dei fattori scatenanti il fenomeno dei cosiddetti "occhi pollini". Sulla base delle evidenze stratigrafiche, delle prove SPT eseguite sistematicamente, e delle stese tomografie geoelettriche 3D e 2D elaborate, è possibile escludere particolari criticità di questo tipo.
- Dal punto di vista stratigrafico, il tracciato in esame è impostato interamente sui depositi alluvionali del Supersistema della Morla caratterizzati da ghiaie, sabbie e limi. Questi poggiano su alternanza di conglomerati e ghiaie appartenenti al Conglomerato di Seriate.
- Dal punto di vista sismico il sito risulta caratterizzato da sismicità moderata. La categoria di suolo passa da B a C sulla base dei risultati delle prove geofisiche eseguite e le indicazioni della Regione Lombardia.
- Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, la profondità della falda, superiore a 29 metri lungo tutto il tracciato, porta a considerare il sito di progetto come stabile.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>114 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	114 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	114 di 116								

9 BIBLIOGRAFIA

- Basili, R., and V. Kastelic (2011). D3.4 – *Database of active faults and seismogenic sources*, SHARE, 31.05.2011.
- Bersezio R., Bini A., Ferliga C., Gelati R. (2012) – *Note Illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1: 50.000 – Foglio 098 – Bergamo*. Servizio Geologico d’Italia.
- Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000. F098 Bergamo, Progetto CARG.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- Corbari et alii (2000) – *Bacino del Serio*. In “Carta Geologica della Provincia di Bergamo: note illustrative”, a cura di Jadoul F., Forcella F., Bini A., Ferliga C., Servizio Territorio della Provincia di Bergamo, Bergamo, pp. 118-140.
- Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., (2005) – *Seismogenic source potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. *Geophys. J. Int.*, **161**, 739-762.
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu, G. Valensise, G. Grünthal, F. Cotton, S. Akkar, R. Basili, M. Stucchi, A. Rovida, D. Stromeyer, R. Arvidsson, F. Meletti, R. Musson, R., K. Sesetyan, M. B. Demircioglu, H. Crowley, R. Pinho, K. Pitilakis, J. Douglas, J. Fonseca, M. Erdik, A. Campos-Costa, B. Glavatovic, K. Makropoulos, C. Lindholm, T. Cameelbeeck (2013). *Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource*, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE, 2013.
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. *Seismol. Res. Lett.*, **82**, 519-525.
- Jadoul F. & Gaetani M. (1979) – *The structure of Bergamasc Alps*. *Rend. Acc. Naz. Lincei Cl. Sc. Mat. Fis. Nat.*, vol88, n. 1, pp. 1-10, Milano.
- Kastelic, V. P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, M. M. Tiberti, G. Valensise (2012). *Seismogenic sources in the Adriatic Domain*, *Marine and Petroleum Geology* (2012) 1-23.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO” LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</p>												
<p>RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0000 001</td> <td>A</td> <td>115 di 116</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	115 di 116
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	115 di 116								

- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Lorenzo C., Consonni M, Colombo L., Gattinoni P. (2015), Problemi di stabilità per le infrastrutture nelle aree interessate da cavità (occhi pollini) nei sedimenti pleistocenici della pianura lombarda.
- Mantovani E., Babbucci D., Albarello D., Mucciarelli M. (1990). *Deformation pattern in the central Mediterranean and behavior of the African-Adriatic promontory*. *Tectonophysics*, 179, 63-79, Mantovani E., La previsione della pericolosità sismica in Italia. *Le Scienze*, 257, 16-25, 1990.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. *Tectonophysics*, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Meletti C. and Valensise G. (2004). *Zonazione sismogenetica dell’Italia e aree adiacenti ZS9*. INGV internal document, available on World Wide Web at <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.
- Mongelli, F., Zito, G., Della Vedova, B., Pellis, G., Squarci, P. and Taft, L. (1991). *Geothermal regime of Italy and surrounding seas, in Exploration of the deep continental crust*, V. Cermak and L. Rybach eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Norme Tecniche per la Costruzione D.M. 17 gennaio 2018.
- Piano di Governo del Territorio, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione Illustrativa, Comune di Bergamo.
- Piano di Governo del Territorio, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione Illustrativa, Comune di Orio al Serio.
- Piano per l’Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI), Regione Lombardia.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01 D 69	RG	GE 0000 001	A	116 di 116

- Rovida, A., Camassi, R., Gasperini P. e Stucchi, M. (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolta C. (1989). *Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review*. Boll. Geof. Teor. Appl., 31, 109-136.
- Strini A. (2004) - Erosione Sotterranea e sprofondamenti nell’alta pianura Lombarda: gli “Occhi Pollini”. Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes.
- Valensise, G. and Pantosti, D. (a cura di) (2001). *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0)*. Ann. Geofis. 44, Suppl. 1, con CD-ROM.