

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

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

### PROGETTO DEFINITIVO

### RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO - MONTELLO

**LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo**

### RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    P.K.    REV.

N B 1 R    0 9    D    6 9    R G    G E 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	R. Galbiati	Febbraio 2021	F. Paolucci <i>Dott. Francesco Paolucci</i>	Febbraio 2021	M. Berlingieri	Febbraio 2021	M. Comedini Febbraio 2021



File: NB1R09D69RGGE0001001A

n. Elab.:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b> .....	<b>11</b>
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	11
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>13</b>
4.1	ASSETTO STRUTTURALE .....	13
4.1.1	Assetto stratigrafico.....	16
4.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	25
<b>5</b>	<b>IDROGRAFIA</b> .....	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>37</b>
6.1	VALUTAZIONE DEL CICLO IDROGEOLOGICO DELLA FALDA .....	42
<b>7</b>	<b>VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI</b> .....	<b>47</b>
<b>8</b>	<b>INDAGINI</b> .....	<b>53</b>
8.1	PREMESSA .....	53
8.2	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019-2020 (PD RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLLO) .....	53
8.2.1	Indagini in Sito .....	53
8.2.2	Prove di laboratorio geotecnico.....	58
8.3	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2017-2018 (PFTE RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLLO) .....	61
8.3.1	Indagini in Sito .....	61
<b>9</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>65</b>
9.1	LINEA BERGAMO - PONTE SAN PIETRO (DA P.K. L.S. 22+700 A 21+900 E P.K. PD DA 0+000 A 7+744).....	65
9.2	DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLA COMPONENTE IDROGEOLOGICA E IDROGRAFICA .....	68

9.2.1	Permeabilità dei depositi.....	68
9.2.2	Andamento della falda.....	69
9.2.3	Campagna di monitoraggio idrogeologico 2019-2020 .....	71
<b>10</b>	<b>ANALISI DELLE CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE, IDRAULICHE E GEOLOGICHE .....</b>	<b>76</b>
10.1	CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE.....	76
10.2	CRITICITÀ DI CARATTERE IDRAULICO .....	79
10.2.1	Sintesi delle criticità per ciascuna area .....	84
10.3	CRITICITÀ DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO .....	87
10.3.1	Fenomeno degli “occhi pollini” .....	88
10.3.2	Evidenze stratigrafiche da sondaggi e prove SPT.....	90
10.3.3	Indagini tramite tomografie elettriche 3d.....	90
<b>11</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO .....</b>	<b>99</b>
11.1	PREMESSA .....	99
11.2	AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE .....	100
11.3	LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI D’INTERESSE LUNGO IL TRACCIATO .....	105
11.4	DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	106
11.4.1	Generalità.....	106
11.4.2	Vita utile e classe d’uso .....	107
11.4.3	Stati limite e probabilità di superamento.....	108
11.4.4	Accelerazione di riferimento su suolo rigido $a_g$ .....	110
11.4.5	Risposta sismica locale.....	114
11.5	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE .....	122
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>124</b>
<b>13</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>127</b>

**DOCUMENTI ALLEGATI**

Identificativo	Scala	Codifiche Italferr																				
		N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Planimetria ubicazione indagini	1:10.000	N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini bibliografiche	-	N	B	1	R	0	9	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geofisiche	-	N	B	1	R	0	9	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	0	0	0	1	A
Sondaggi e stratigrafie	-	N	B	1	R	0	9	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Prove di laboratorio	-	N	B	1	R	0	9	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A

**TAVOLE ALLEGATE**

Identificativo	Scala	Codifiche Italferr																				
		N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica 1/2	1:5.000	N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica 2/2	1:5.000	N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Profilo geologico 1/2	1:5.000/500	N	B	1	R	0	9	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Profilo geologico 2/2	1:5.000/500	N	B	1	R	0	9	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta idrogeologica 1/2	1:5.000	N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carta idrogeologica 2/2	1:5.000	N	B	1	R	0	9	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Profilo idrogeologico 1/2	1:5.000/500	N	B	1	R	0	9	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Profilo idrogeologico 2/2	1:5.000/500	N	B	1	R	0	9	D	6	9	F	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>6 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	6 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	6 di 128								

## 1 PREMESSA

Nel Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia è riportato il raddoppio della tratta Bergamo – Ponte S. Pietro esteso fino a Terno d’Isola.

Nel documento “Intesa sulle strategie e sulle modalità per lo sviluppo del SFR passeggeri, del trasporto merci e degli standard qualitativi per l’interscambio modale”, tra RFI e Regione Lombardia, è previsto il raddoppio della linea tra Montello-Bergamo-Ponte S. Pietro per potenziare i servizi attualmente esistenti tra Milano Porta Garibaldi e Bergamo.

RFI ha suddiviso gli interventi in diversi progetti con diversi scenari temporali di realizzazione. Tra questi, i seguenti sono tra i più importanti:

1. la realizzazione dell’apparato centrale computerizzato di Bergamo su ferro attuale;
2. il raddoppio della tratta Curno – Bergamo e la realizzazione del PRG di Ponte San Pietro;
3. la realizzazione del PRG di Bergamo;
4. il raddoppio della tratta Bergamo - Montello.

Sono altresì attualmente in corso di studio alcuni interventi correlati al progetto di raddoppio della linea Ponte S. Pietro – Bergamo – Montello, quali:

- potenziamento infrastrutturale dei bacini milanesi che prevede interventi puntuali di velocizzazioni delle sedi di incrocio d’orario tramite modifiche impiantistiche per la contemporaneità dei movimenti, realizzazione del sottopasso e incremento a 60km/h delle velocità degli itinerari deviati;
- nuovo collegamento con l’aeroporto di Bergamo che prevede una nuova linea a doppio binario diramata dall’attuale linea Bergamo – Brescia, opportunamente potenziata, con la realizzazione della nuova stazione Aeroporto.

Tra gli interventi sopra citati il progetto definitivo di “Raddoppio della tratta Curno – Bergamo e la realizzazione del PRG di Ponte San Pietro” vedeva l’inizio dell’intervento, parte armamento, alla p.k. 1+016,472 della linea ferroviaria Lecco-Brescia e l’inizio delle opere civili alla p.k. 1+255,494, subito dopo il sottopasso esistente di Via dei Caniana. L’inizio del raddoppio risultava, pertanto, alla p.k. 1+659,97 in corrispondenza della fine del tronchino di raddoppio di progetto. La fine del raddoppio si trovava alla p.k. 5+002,613, in corrispondenza del termine del tronchino del binario sud, mentre il termine delle opere civili era fissato alla p.k. 5+200,046 e la fine dell’intervento, cioè il punto in cui il binario si riconnetteva al binario esistente era fissato alla p.k. 5+845,520.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>7 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	7 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	7 di 128								

Successivamente alla consegna del progetto definitivo di Raddoppio sopra richiamato, la Direzione Commerciale di RFI, in sede di interlocuzioni per l'Assenso Funzionale di sua competenza, ha evidenziato la necessità di estendere il raddoppio verso Bergamo al fine di sopperire a criticità legate alla gestione operativa dell'esercizio.

La Committenza ha valutato che l'assetto previsto dal PD con raddoppio da 1+659,97 consente di perseguire i valori di capacità assoluta in accordo con quanto condiviso con Regione Lombardia per la stipula del nuovo Accordo Quadro del servizio del TPL, ma non riesce a garantire i livelli di qualità della circolazione richiesti.

Per quanto sopra, RFI ha chiesto il prolungamento del raddoppio della linea in ingresso a Bergamo (lato radice ovest), precisando che tale Progetto Definitivo dovrà essere organizzato in progettazioni multidisciplinari, coordinate ma indipendenti, così suddivise:

- Sottofase 1: OO.CC. Via dei Caniana e Via S. Bernardino + Prolungamento del raddoppio fino al km 0+923 circa;
- Sottofase 2: OO.CC. Via Autostrada e Via S. Giovanni Bosco + Inserimento del raddoppio in Radice Ovest con completamento dello stesso.

La presente relazione ha lo scopo di fornire un inquadramento delle opere oggetto del prolungamento del raddoppio di Sottofase 1. Il progetto delle opere di prolungamento del Raddoppio oggetto della presente relazione si basa sui seguenti assunti:

- a) l'esecuzione delle lavorazioni avverrà in interruzione totale dell'esercizio ferroviario da Ponte S. Pietro a Bergamo;
- b) le lavorazioni per l'esecuzione degli interventi di Sottofase 1 saranno temporalmente sovrapposti sfruttando la stessa finestra di interruzione totale dell'esercizio tra Ponte S. Pietro e Curno;
- c) la realizzazione della ACC di Bergamo su ferro attuale (oggetto di altro Appalto) avverrà prima della realizzazione delle opere di Raddoppio e prolungamento di Sottofase 1;
- d) la realizzazione della SSE di Ambivere Mapello avverrà prima dell'interruzione della linea nella tratta Ponte San Pietro - Bergamo.

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatta a supporto del Progetto Definitivo del "Prolungamento del raddoppio di Sottofase 1" sopra descritto.

Al fine di avere informazioni più accurate per l'area degli interventi di progetto, di per sé di ridotte dimensioni (Figura 3-2), si è esteso lo studio geologico (Capitolo 4 e 9), idrogeologico (Capitolo 6) e sismico (Capitolo 11) ad un'area più vasta (Figura 3-1) ovvero da Ponte San Pietro fino a Bergamo, passando per Mozzo e Curno.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLIO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>8 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	8 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	8 di 128								

Lo studio raccoglie e sintetizza informazioni attualmente disponibili derivanti sia da indagini geognostiche e geofisiche, realizzate nel 2017-2018 da Italferr nell'ambito della Progettazione di Fattibilità tecnico-economica, sia da indagini geognostiche realizzate nel 2019-2020 da Italferr per il presente Progetto Definitivo e sia da indagini acquisite dal Geoportale della Regione Lombardia.

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. Analisi delle criticità geologiche, geomorfologiche e idrauliche.
4. Descrizione delle indagini geognostiche pregresse.
5. Modello geologico di riferimento lungo il tracciato e nelle aree di approfondimento delle varianti di viabilità.
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 in scala 1:5.000, con relativi profili elaborati sulla base delle informazioni stratigrafiche e idrogeologiche disponibili lungo la tratta Ponte San Pietro-Bergamo.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>9 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	9 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	9 di 128								

## 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 nel 2018.
- 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 7 novembre 2003 - n. 7/14964, Disposizioni preliminari per l’attuazione dell’Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo

2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

- Regione Lombardia, Deliberazione di Giunta Regionale 30 marzo 2016 - n. X/5001, Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015).
- 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 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”.





**Figura 3-2 – Particolare dell'area di progetto: da via dei Caniana a Via dell'Autostrada (esclusa) (da Google Earth).**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio dell'area oggetto di questo studio 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 che 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.

L'area di progetto si trova a ridosso della fascia pedecollinare.

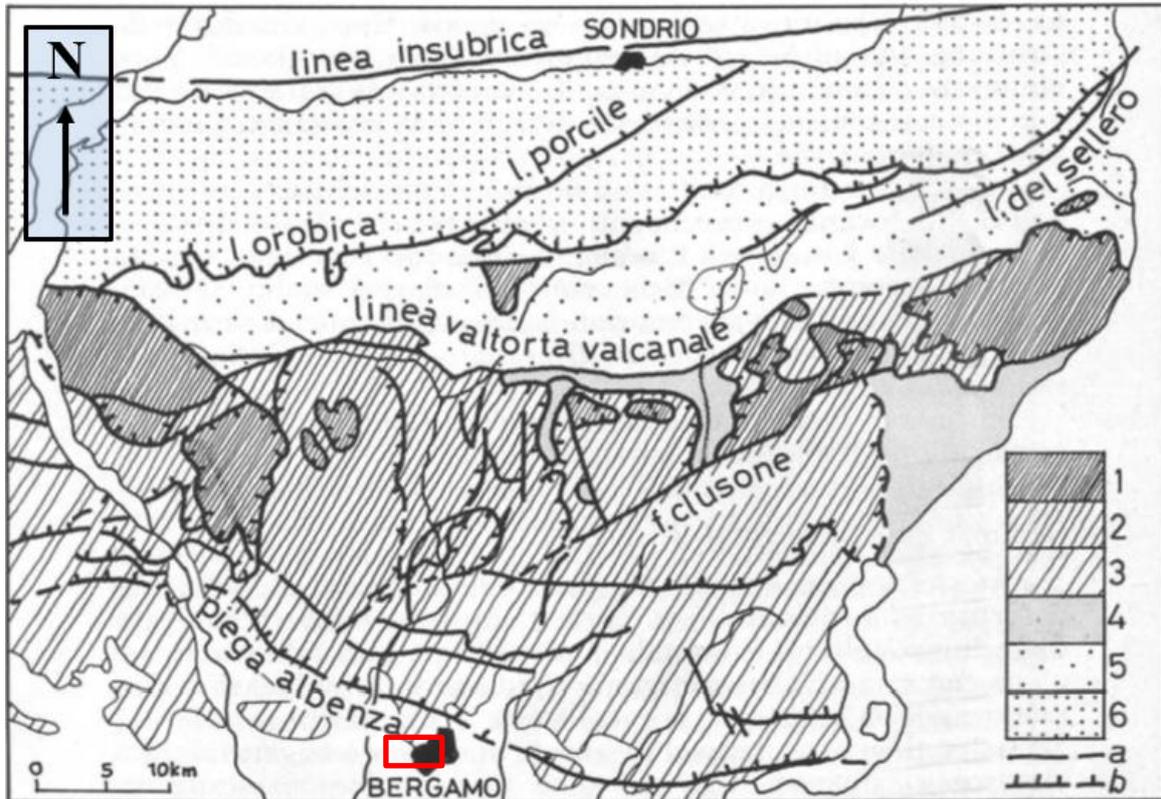
### 4.1 ASSETTO STRUTTURALE

Il territorio oggetto di studio è situato nella provincia tettonica delle Alpi e Prealpi Orobiche (Figura 4-1), 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 sono interessate unità appartenenti allo stesso dominio paleogeografico e non sono caratterizzate da significativi episodi di metamorfismo.

L'attuale assetto geologico delle Alpi e delle Prealpi è il risultato di un processo orogenetico molto articolato.

Sono distinte tre fasi per le diversità dei caratteri paleogeografici che le contraddistinguono, ma dominate da un 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. 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.



**Figura 4-1 – 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). In rosso l’area di studio.**

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 flyschoida, 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.

2. 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.
3. Attualmente il territorio è soggetto a processi morfologici naturali dovuti all'azione delle acque correnti ed all'azione della gravità, che possono determinare variazioni delle forme e quindi del paesaggio. Non va dimenticata l'azione dell'uomo che molto ha fatto, più della natura, nell'ultimo secolo.

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:

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) il Parautoctono e le unità alloctone: è ubicato nel settore centrale delle Prealpi Orobiche e ne costituisce l'unità strutturale fondamentale; è caratterizzato da uno stile strutturale a faglie e sovrascorrimenti che localmente provocano una duplicatura o triplicatura della sequenza carbonatica triassica.
- 5) 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* SSO 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, così come quelli del comune di Mozzo, appartengono, dal punto di vista strutturale, alla zona a pieghe e a faglie delle Prealpi. I comuni di Ponte San Pietro e Curno invece, appartengono interamente all'area della pianura padana e la loro geologia è caratterizzata principalmente dai depositi fluviali e fluvioglaciali, articolati secondo l'aspetto tipico dei terrazzi fluviali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

#### **4.1.1 Assetto stratigrafico**

Le unità litostratigrafiche che costituiscono il substrato roccioso appartengono al periodo Cretaceo medio-superiore. Sono unità di facies torbidityca 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 rappresentata anche dalle unità di bacino dei fiumi Adda, Brembo, Serio e Morla. 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 4-2) e 097 Vimercate (Figura 4-2), sono illustrate e descritte di seguito dalla più antica alla più recente. Nel presente paragrafo sono descritte nel dettaglio solo le unità/formazioni geologiche incontrate durante le campagne geognostiche.

#### ***Successione sedimentaria delle Alpi Meridionali***

##### ***Sass de la Luna (SDL)***

Il Sass de la Luna è un'unità litostratigrafica formale, costituita da una successione di marne e marne calcaree grigie.

Età: ALBIANO SUPERIORE

##### ***Flysch di Pontida (PTD)***

Esso è costituito da alternanze marnoso-arenacee a stratificazione da sottile a spessa, cui si alternano strati e banchi calcareo-marnosi potenti fino ad alcuni metri, talora gradati e con base conglomeratica. Esso presenta una associazione di facies relativamente monotona, costituita per la maggior parte da strati arenacei di origine torbidityca, incompleti alla base (Tbe), a geometria piano-parallela. Lo spessore massimo è valutato in 600 metri nell'area tipo Pontida - M. Brocchione del Foglio 097-Vimercate; nell'area del Foglio 098-Bergamo raggiunge al massimo i 100 metri di spessore e tende ad azzerarsi verso la Valle Adrara. Età: TURONIANO MEDIO – SUPERIORE.

##### ***Arenaria di Sarnico (SAR)***

La successione tipica dell'arenaria di Sarnico è costituita da un'alternanza di arenarie grigie in strati da sottili a spessi e di peliti; La successione ha uno spessore abbastanza uniforme distribuendosi con uno spessore massimo valutabile attorno ai 400 metri. Età: CONIACIANO.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLIO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>												
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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>17 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	17 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	17 di 128								

### ***Conglomerato di Sirone (CSH)***

Comprende una successione conglomeratico-arenacea alla cui base è localmente presente un membro transizionale all'arenaria di Sarnico, definito membro di Colle Brianza (CSH1). Nell'area del Foglio 098-Bergamo si registrano valori di 70-80 metri sul Colle di Bergamo, e variazioni in senso N-S all'altezza della valle del Cherio, dove il conglomerato di Sirone presenta uno spessore di 70-80 m nella Sinclinale Carobbio degli Angeli - Gandosso, e di non oltre 50 metri al M. Tomenone. Età: SANTONIANO.

### ***Flysch di Bergamo (FBG)***

Comprende una successione arenaceo-pelitica che, nella porzione medio-bassa, include il megastrato di Missaglia. La formazione è costituita da alternanze di arenarie e peliti in strati piano-paralleli da sottili a spessi talora organizzati in cicli di ispessimento verso l'alto. Esse sono associate a calcari a tessitura fine in strati piano paralleli a base calcarenitica, talora microconglomeratica, e a calcari marnosi in banchi anche di notevole spessore. Nel Foglio 098-Bergamo si sviluppa la parte compresa tra il conglomerato di Sirone alla base e il megastrato di Missaglia (FBG<sub>a</sub>) alla sommità, supposta in continuità laterale con la successione esposta sul versante meridionale della collina di Canto nella zona di Roncarro (Foglio 097-Vimercate).

Lo spessore dell'unità, tra Brianza e Bergamasca centrale, è stimato nell'ordine del migliaio di metri. Misurazioni dirette sono state eseguite a Roncarro e Montevecchia. Nella sezione di Roncarro la parte inferiore sottostante il Megastrato di Missaglia raggiunge i 370 metri; lo stesso intervallo sul Colle di Bergamo è valutabile in circa 320 metri. A Montevecchia la parte superiore sovrastante lo stesso megastrato è di circa 700 metri. Età: CAMPANIANO.

### ***Megastrato di Missaglia (FBG<sub>a</sub>)***

Si tratta di un orizzonte chiaramente bipartito, costituito da un *pebbly mudstone* nella parte inferiore, e da un megastrato calcareo s.s. nella parte superiore.

## **BACINO DEL SERIO**

### ***Conglomerati di Seriate (SRT)***

Conglomerati a supporto clastico, matrice arenacea, clasti arrotondati ben selezionati, cementazione da ottima sino a completamente litificati. 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. Età: CALABRIANO – PLEISTOCENE MEDIO.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>18 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	18 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	18 di 128								

### **Sintema di Torre Boldone (TBO)**

Ghiaie pedogenizzate in corpi stratoidi, con clasti residuali silicei arrotondati (depositi alluvionali). Età: PLEISTOCENE MEDIO.

### **Sintema di Scanzorosciate (SNZ)**

*Diamicton* massivo a supporto di matrice con clasti arrotondati (depositi alluvionali pedogenizzati). Età: 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 coperta dalla Unità di Cologno (Complesso del Serio, Supersintema di Grassobbio). Colore della matrice 7.5YR. 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. All’interno esse si presentano articolate in una serie di terrazzi di altezza fino a 2 metri, tra Grassobbio e Zanica essi disegnano un paleoalveo inciso fino a profondità di 2-3 metri. Età: PLEISTOCENE MEDIO – SUPERIORE?

### **Supersintema della Selva di Clusone (SU)**

Comprende depositi alluvionali (alluvioni fluvioglaciali): ghiaie stratificate a supporto di matrice sabbiosa fine con clasti sino a decimetrici, arrotondati; ghiaie in corpi stratoidi o lenticolari a supporto clastico, localmente

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>												
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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>19 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	19 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	19 di 128								

parzialmente cementate. Clasti prevalentemente carbonatici, subordinati silicoclasti dell'alta valle. Profilo di alterazione poco evoluto, colore 10YR. Età: PLEISTOCENE 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 coincidente con la superficie topografica. Profilo di alterazione in genere troncato o rimaneggiato dall'attività antropica, ove è stato possibile osservarlo i silicoclasti risultano molto più alterati dei clasti carbonatici della successione cretacea locale. Colore della matrice 7.5YR, per i terrazzi più alti ed esterni, a 10YR in prossimità dell'alveo olocenico. Il supersintema della Morla presenta più ordini di terrazzi e scarpate di altezza sino a 3 metri 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. PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE.

### **BACINO DEL BREMBO**

#### **Ceppo del Brembo (BRM)**

Conglomerato costituito da ghiaie a supporto clastico, con matrice arenacea; ciottoli, ben arrotondati, poligenici, di provenienza brembana (depositi fluviali). Intercalazioni basali di limi, argille e sabbie. Forte cementazione. Le strutture sedimentarie mostrano variazioni con la latitudine: a nord i conglomerati appaiono preferenzialmente organizzati in grossolani strati suborizzontali; più a sud prevale una stratificazione incrociata planare più definita e compaiono, con una certa frequenza, lenti e strati arenacei decimetrici, a prevalente stratificazione incrociata planare. La cementazione è forte, irregolare nelle parti basali; nei livelli meno o non cementati le rocce carbonatiche sono argillificate o decarbonatate fino a dimensioni di 2-3cm; su ciottoli maggiori è presente il cortex fino ad 1 cm di spessore. La composizione petrografica media vede prevalere le rocce carbonatiche (56%), seguite in proporzioni

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>												
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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>20 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	20 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	20 di 128								

simili da rocce cristalline e terrigene (23,7% e 20,2%, rispettivamente). Nell'ambito delle rocce sedimentarie terrigene prevalgono, in genere, le arenarie e i conglomerati a cemento siliceo del Verrucano Lombardo. Età: PLEISOCENE INFERIORE.

### **Sintema di Brembate (BEB)**

Ghiaie a supporto clastico (depositi fluvioglaciali). Superficie superiore caratterizzata da un profilo di alterazione evoluto, con spessore tra 5,5 e 8 m; colore 7.5YR. Copertura loessica sempre presente. L'unità è costituita da: - ghiaie a supporto clastico, con matrice prevalentemente limoso argillosa, con frazione sabbiosa variabile; colore 7.5YR, subordinatamente 10YR e 5YR. Ciottoli ben arrotondati, con prevalenza di forme discoidali ed ellissoidali, da centimetrici a decimetrici. Petrografia: prevalgono i litotipi brembani tipici, quali le arenarie e i conglomerati del Verrucano, vulcaniti e vulcanoclastiti della Formazione di Collio; in quantità minori sono presenti elementi del basamento cristallino sudalpino; i carbonati sono comunemente assenti o scarsi. Età: PLEISTOCENE MEDIO.

### **Unità di Ponte San Pietro (BPO)**

Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, carbonatica; ciottoli arrotondati, spesso discoidali, in prevalenza carbonatici; limi di esondazione a tetto: depositi fluvioglaciali. Profili d'alterazione relativamente poco evoluti, che raggiungono spessori compresi tra 1,4 e 2 metri, di colore prevalente 7.5YR. La copertura loessica è comunemente assente. La composizione petrografica delle ghiaie è caratterizzata da elevate percentuali di rocce carbonatiche (73,2%) e da quantità non elevate di rocce sedimentarie terrigene (14%) ed endogene/metamorfiche (12,8%). Alla sommità delle ghiaie possono essere presenti spessori pluridecimetrici (fino ad oltre 1 metro) di limi a diffusi ciottoli arrotondati; poiché il limite è, comunemente, graduale sono stati interpretati come top pelitico fluviale (limi di esondazione); è anche possibile che, in alcune situazioni, la loro origine possa essere ricondotta a pratiche agricole di spietramento. Prevale una grossolana stratificazione suborizzontale o, molto raramente, incrociata planare; discontinue lenti e livelli sabbioso ghiaiosi e pelitici. Localmente compare una debole e irregolare cementazione, che può interessare spessori metrici di ghiaie. Età: PLEISTOCENE MEDIO – PLEISTOCENE SUPERIORE.

### **Unità di Bonate (BTE)**

Ghiaie a supporto clastico, con ciottoli arrotondati e matrice sabbiosa (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da alfuoli con spessore di 2 metri circa; colori da 8 a 10YR. Copertura loessica non osservata.

La composizione petrografica indica una provenienza brembana, con prevalenza di carbonati, seguiti da rocce del basamento, rocce sedimentarie silicee e carbonatiche e vulcaniti. Verso il limite occidentale si osserva una

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>												
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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>21 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	21 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	21 di 128								

variazione petrografica: aumentano le rocce terrigene a cemento carbonatico e di basamento, diminuiscono le rocce carbonatiche (localmente assenti), le vulcaniti e le rocce terrigene silicee. Più ad ovest si passa a petrografie tipiche del supersintema di Besnate del bacino dell'Adda. Il passaggio tra le due unità è, pertanto, transizionale e avviene in una fascia della larghezza di qualche centinaio di metri. Età: PLEISTOCENE MEDIO – PLEISTOCENE SUPERIORE.

### **Supersintema di Lenna (LE)**

Tali depositi sono localizzati entro il bacino del Brembo, sia lungo la valle principale e i suoi affluenti sia in valloni minori nei massicci afferenti allo stesso bacino. Nell'area del Foglio 098-Bergamo è presente solamente il sintema di Zogno, costituito da depositi fluvioglaciali. I depositi fluvioglaciali sono costituiti da ghiaie organizzate in letti mal definiti a laminazione obliqua a scala metrica, supporto elastico con abbondante matrice sabbiosa grossolana e media, clasti arrotondati sino a 20cm di dimensione massima; presenti clasti isorientati e clasti embricati ove i letti siano meno inclinati; clasti prevalentemente carbonatici, con percentuale di metamorfiti, porfidi e arenarie intorno al 30%. Sabbie grossolane, più rare sabbie medie, prevalentemente in corpi lenticolari a laminazione incrociata, con lamine planari. Sabbie fini talora intercalate a limo, con laminazione pianoparallela da centimetrica a subcentimetrica. I depositi di versante sono costituiti da *diamicton* grossolanamente stratificati in banchi planari o in letti lenticolari clinostratificati, clasti sino a 80cm in abbondante matrice limoso sabbiosa. Età: PLEISTOCENE SUPERIORE.

### **BACINO DELL'ADDA**

#### **Sintema della Specola (PEO)**

*Diamicton* a supporto di matrice (depositi glaciali). Ghiaia a supporto di matrice con locali intercalazioni sabbiose (depositi fluvioglaciali). Copertura loessica a fragipan sempre presente. Età: PLEISTOCENE MEDIO.

#### **Supersintema di Besnate Indistinto (BE)**

Ghiaia a supporto di matrice, sabbie, limi (depositi fluvioglaciali). L'alterazione è moderata, con profili poco evoluti che si spingono fino alla profondità di 4 metri circa. Età: PLEISTOCENE SUPERIORE – MEDIO.

#### **Supersintema del Cherio (CH)**

Ghiaie a supporto elastico o di matrice con clasti da subarrotondati ad arrotondati; clasti prevalentemente carbonatici locali, in netto subordine i litotipi siliceo-quarzosi di provenienza camuna (depositi alluvionali); *diamicton* a supporto di matrice, clasti locali da subangolosi a subarrotondati e matrice argilloso-limosa (depositi di debris flow). Età: l'unità comprende depositi alluvionali terrazzati presenti entro il bacino del Cherio, e

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>22 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	22 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	22 di 128								

caratterizzati dalla presenza di silicoclasti di alimentazione camuna; la sua età può quindi estendersi entro tutto il PLEISTOCENE, dubitativamente dalla prima avanzata glaciale.

### **UNITÁ NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA**

#### **Supersintema di Palazzago (PA)**

Limi, limi argillosi e sabbie, ciottolosi; *diamicton* a clasti da subarrotondati a subspigolosi con matrice sabbiosa o limoso argillosa; orizzonti clastici (depositi di versante s.l., colluviali in prevalenza). Ghiaie a supporto sia clastico che di matrice; ciottoli da subarrotondati a subspigolosi delle formazioni locali (depositi fluviali). Pedogenesi variabile; colori prevalenti 7.5YR e 10YR; caratteri idromorfi comuni.

Il supersintema di Palazzago comprende depositi, principalmente colluviali e di conoide, legati agli eventi sedimentari avvenuti a partire dalle prime glaciazioni del Gelasiano, in aree non glacializzate nelle fasce di raccordo tra il margine prealpino e la pianura e nei settori più meridionali delle Prealpi.

La sovrapposizione di numerosi episodi colluviali ha generato spesse coltri di copertura sui versanti e alla loro base; i limiti dei differenti episodi sono indicati da orizzonti clastici discreti o da variazioni pedologiche. Sia la tessitura sia la composizione petrografica dei clasti è fortemente condizionata dalla litologia del substrato roccioso locale, costituito nella maggior parte dei casi dalle formazioni terrigene cretache e dalla successione calcareo selcifera giurassica; in misura assai minore si rinvencono elementi clastici extrabacinali, rimaneggiati dai depositi fluvioglaciali e fluviali più antichi. Età: GELASIANO – PLEISTOCENE SUPERIORE.

#### **Sintema del Po (POI)**

Ghiaie a supporto clastico, in prevalenti strati planari; sabbie e limi da massivi a laminati (depositi fluviali e di esondazione). Limi e argille, localmente idromorfi; alternanze di livelli fini e livelli ghiaiosi (depositi lacustri). Ghiaia e sabbia, limi con clasti sparsi (depositi di versante e colluviati). Blocchi (depositi di frana). Superficie limite superiore poco o non alterata, caratterizzata da entisuoli ed inceptisuoli. Età: PLEISTOCENE SUPERIORE - ATTUALE.

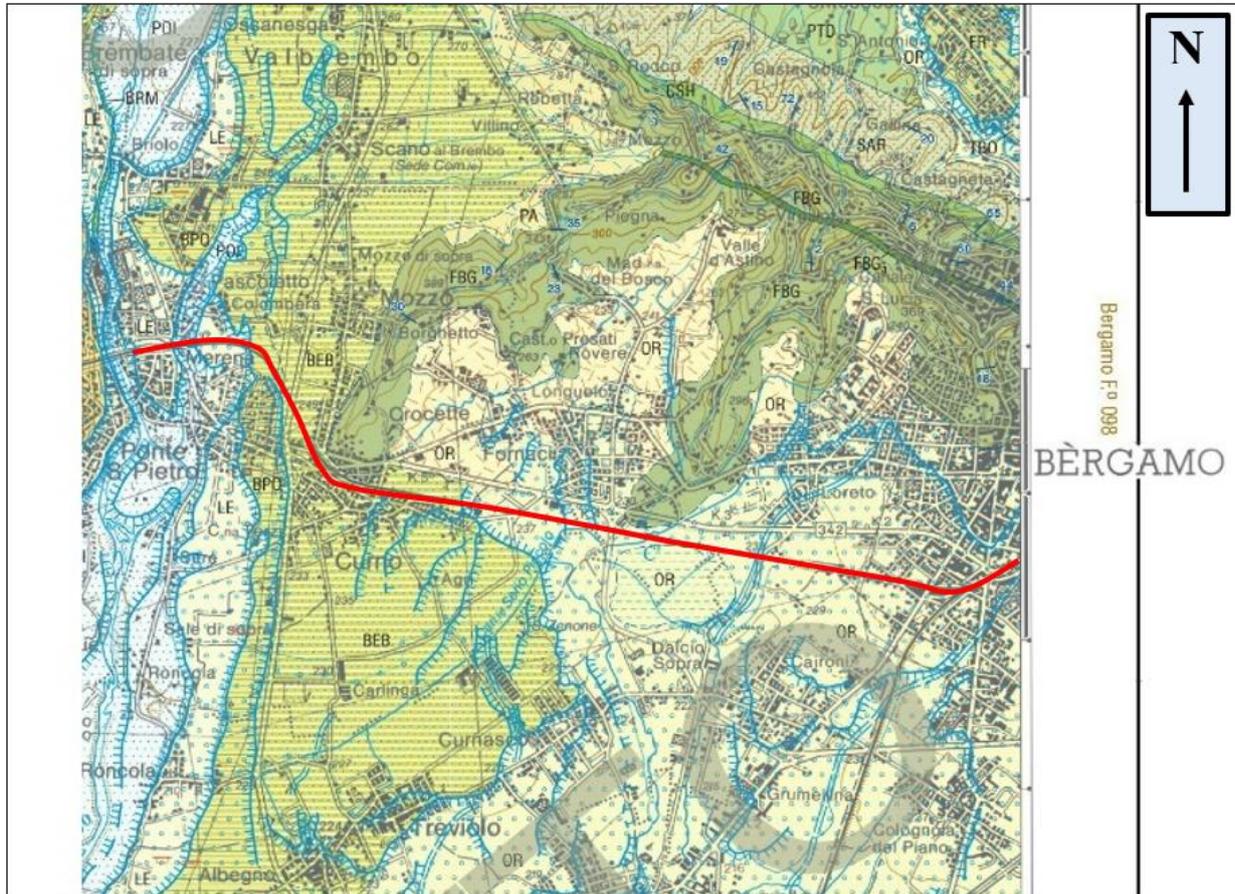
	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></p>												
<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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>23 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	23 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	23 di 128								

Il tracciato oggetto del presente studio ricade in due fogli della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

La parte di tracciato nel tratto Ponte San Pietro-Bergamo, a partire dal sottopasso di via Autostrada sino alla stazione di Bergamo, ricade nel foglio 098 "Bergamo" (Figura 4-3); mentre la parte di tracciato della linea ricadente nei comuni di Curno, Mozzo e Ponte San Pietro ricadono nel foglio 097 "Vimercate" (Figura 4-2).

Le unità attraversate dal tracciato a ovest del comune di Bergamo sono: il Sintema del Po (POI), il Supersintema di Lenna (LE), il Sintema di Brembate (BEB) e il Supersintema della Morla (OR).

A corredo del presente studio è stata elaborata la cartografia geologica di dettaglio in scala 1:5.000 dell'area di progetto che riporta le indagini realizzate a supporto della progettazione (elaborati da NB1R09D69G5GE0001001A a NB1R09D69G5GE0001002A).



- |     |  |       |                                       |
|-----|--|-------|---------------------------------------|
| —32 | Stratificazione dritta                                   | —+—+— | Orlo di scarpata antropica            |
| —20 | Stratificazione rovesciata                               | —+—+— | Orlo di scarpata di frana             |
| +   | Stratificazione orizzontale dritta                       | —+—+— | Orlo di terrazzo                      |
| —   | Stratificazione verticale con indicazione della polarità | —+—+— | Traccia di alveo fluviale abbandonato |
| —48 | Stratificazione a polarità sconosciuta                   | —+—+— | Cordone morenico                      |
| +   | Stratificazione orizzontale a polarità sconosciuta       | —+—+— | Dosso fluviale                        |
| —32 | Superficie di clivaggio o scistosità inclinata (S1)      | —+—+— | Cava attiva, inattiva                 |
| +   | Asse di pieghe   | —+—+— | Sorgente                              |
| —   | Contatto stratigrafico certo, incerto                    | —+—+— | Deposito antropico                    |
| —   | Faglia certa, incerta o sepolta                          | —+—+— | Discarica                             |
| —   | Contatto con area non rilevabile                         | —+—+— | Traccia di azione geologica           |

**SUPERSISTEMA DI BESNATE**

Depositi glaciali e fluvio-glaciali, caratterizzati da profili d'alterazione poco evoluti, che raggiungono spessori sino a 4 m. Copertura loessica sporadica. Forme ben conservate (cordoni morenici e piane fluvio-glaciali terrazzate).

**SUPERSISTEMA DI BESNATE INDISTINTO (BE)**

Ghiaie a supporto di matrice, ghiaie organizzate in livelli a supporto di matrice e clastico, sabbie, limi (depositi fluvio-glaciali). Alterazione moderata con profili poco evoluti che si spingono fino alla profondità di 4 m circa.

**UNITÀ DI PONTE SAN PIETRO (BPO)**

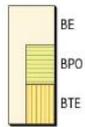
Ghiaie a supporto clastico con matrice sabbiosa e sabbioso limosa, carbonatica; ciottoli arrotondati, spesso discoidali, in prevalenza carbonatici; limi di esondazione a tetto (depositi fluvio-glaciali).

Profili d'alterazione relativamente poco evoluti, che raggiungono spessori compresi tra 1,4 e 2 m, di colore prevalente 7,5YR. La copertura loessica è comunemente assente.

**UNITÀ DI BONATE (BTE)**

Ghiaie a supporto clastico, con ciottoli arrotondati e matrice sabbiosa (depositi fluvio-glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da alfisucoli con spessore di 2 m circa; colori da 8 a 10YR. Copertura loessica non osservata.

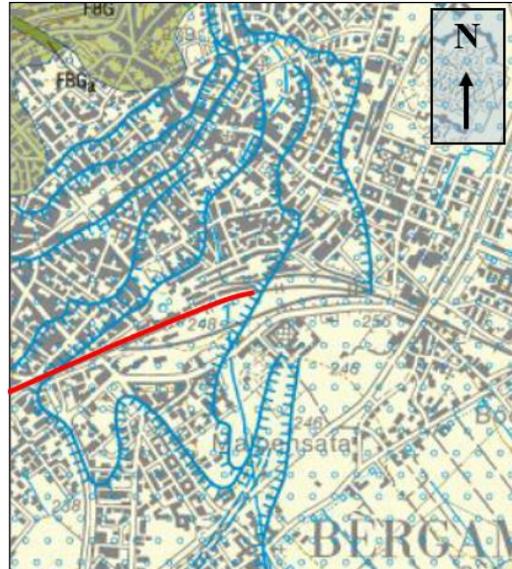
**PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE**



**SUPERSISTEMA DELLA MORLA**

Ghiaie a ciottoli 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). Profilo di alterazione di spessore variabile; morfologie conservate.  
**PLEISTOCENE MEDIO - OLOCENE (sino al XIV SECOLO)**

**Figura 4-2 - Stralcio non in scala della Carta Geologica e relativa legenda, Foglio 97 "Vimercate", scala 1: 50.000, ISPRA. In rosso si evidenzia la linea ferroviaria.**



**Figura 4-3 - Stralcio non in scala della Carta Geologica e relativa legenda, Foglio 98 “Bergamo”, scala 1: 50.000, ISPRA. In rosso si evidenzia la linea ferroviaria.**



**Figura 4-4 - Legenda della Carta Geologica e relativa legenda, Foglio 98 “Bergamo”, scala 1: 50.000, ISPRA.**

## 4.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Le aree di studio ricadono in un territorio pressoché pianeggiante, facente parte del bacino della Pianura Padana, a ridosso dei sistemi di pieghe e faglie che vanno a formare la fascia collinare al bordo delle Prealpi orobiche.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>26 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	26 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	26 di 128								

L'ampio bacino della Pianura Padana, intendendo con questo termine il territorio delimitato dall'affiorare del substrato pre-quadernario delle Alpi, delle Prealpi e degli Appennini, presenta caratteristiche climatiche, geologiche, paesaggistiche e antropiche assai peculiari e varie, nonostante la sua apparente omogeneità. Questa variabilità testimonia la complessità degli eventi naturali che si sono succeduti nel tempo, in particolare durante le ultime fasi della storia geologica, il Quaternario, e delle complesse interrelazioni con il fattore antropico.

La Pianura Padana è un ampio bacino sedimentario colmato da ingenti spessori di sedimenti sciolti di età quadernaria ed origine prevalentemente alluvionale. L'approfondimento del bacino avvenne in epoca pre-quadernaria, già dal Miocene medio, ed il sollevamento della catena appenninica portò alla formazione di un vasto golfo marino che iniziò a colmarsi di sedimenti. L'evoluzione plio-quadernaria della pianura si può dividere in tre fasi:

1. Sedimentazione di depositi continentali, deltizi e di piana costiera (Pliocene sup. -Pleistocene inf.; prima di 700.000 anni fa).
2. Sedimentazione di depositi governati dall'alternarsi delle fasi glaciali ed interglaciali pleistocenici (da circa 700.000 a 10.000 anni fa).
3. Cicli di sedimentazione ed erosione di età olocenica (post-glaciale), cui si accompagna l'impatto antropico (da circa 10.000 anni fa ad oggi).

Dal punto di vista morfologico e morfo-stratigrafico si possono distinguere alcuni grandi sistemi fisiografici principali. Procedendo da nord si incontra, presso il margine alpino ed allo sbocco delle principali vallate prealpine, il sistema di depositi glaciali che costituiscono gli apparati morenici del limite alpino (come ad esempio il lago di Como e Lecco, Iseo e Garda). Questo sistema è composto da una grande varietà di sedimenti di origine glaciale, proglaciale (fluvioglaciale, glaciolacustre, etc.) ed eolica, depositi durante le fasi di maggiore recrudescenza climatica del Pleistocene, quando i ghiacciai alpini si spingevano sino al margine della pianura trasportando e depositando materiali erosi nelle Alpi. Vi si trovano morfologie relitte e inattive, che testimoniano condizioni morfodinamiche, climatiche ed ambientali non in equilibrio con il sistema attuale. Depositi e forme sono databili al Pleistocene; le morfologie meglio conservate sono quelle relative all'ultima espansione glaciale – comunemente definito in letteratura come Würm – che raggiunse il suo massimo all'incirca 18.000 anni fa. Su questi depositi si sono sviluppati, dal momento del ritiro dei ghiacciai fino ad oggi, suoli derivanti dall'azione dei processi di alterazione pedogenetica; si tratta nella maggior parte dei casi di suoli profondi e discretamente alterati dall'evoluzione continuativa almeno degli ultimi 15.000 anni circa.

La porzione centrale della Pianura Padana è occupata dal sistema dei depositi alluvionali, che costituisce la pianura alluvionale vera e propria. Nel settore di pianura a nord del Po si riconosce, a fronte della eterogeneità di cui sopra,

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>27 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	27 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	27 di 128								

una certa omogeneità nella sequenza evolutiva. In corrispondenza del margine prealpino si individua un sistema di conoidi che va a raccordarsi con i complessi morenici delle glaciazioni più recenti, e che, procedendo verso l'area centro-padana, forma un ampio terrazzo rilevato rispetto agli alvei dei principali corsi d'acqua di provenienza alpina, sebbene con alcune significative eccezioni (il fiume Serio).

Questo terrazzo è tradizionalmente indicato dalla letteratura scientifica quale “Livello Fondamentale della Pianura”, la cui superficie, lievemente ondulata da una serie di dossi, è interrotta dalle incisioni dei principali tributari sinistri del Po che vanno a costituire un sistema di valli, il cui limite è sottolineato da scarpate erosive. In queste stesse valli è sovente possibile distinguere più terrazzi morfologici; vi affiorano depositi fluviali olocenici del cosiddetto "Alluvium attuale" ed "Alluvium medio": si tratta di sedimenti sciolti, con tessitura da ghiaiosa a limosa, al cui tetto si trovano suoli poco evoluti.

L'assetto fisiografico e stratigrafico della pianura alluvionale riflette i caratteri dell'evoluzione morfologica durante il Quaternario. Il modello evolutivo più recente ritiene, in linea generale, che il “livello fondamentale” (così come la conoide dell'Adige in cui si manifesta una situazione analoga) rappresenti l'ultima grande fase di riempimento del bacino padano, i cui più recenti episodi di accrescimento si sarebbero attuati alla fine del Tardiglaciale. Successivamente, nell'Olocene iniziale un'intensa fase erosiva portò i corsi d'acqua di provenienza alpina ad incidere linearmente i depositi del livello fondamentale, approfondendosi rispetto ad esso e dando origine alle valli. In tal modo la superficie del livello fondamentale, isolata dai fenomeni fluviali che avevano luogo nelle valli, è venuta a trovarsi in una situazione di sostanziale stabilità geomorfologica, soggetta ai soli processi pedogenetici e, a meno di alcune eccezioni, senza significativi fenomeni di sedimentazione.

Questa morfologia di tipo pianeggiante la si può riscontrare lungo tutto il tracciato oggetto di questo studio seppur con qualche variazione in alcuni punti. Il territorio del Comune di ponte San Pietro infatti, come si evince da Piano di Governo del Territorio vigente (PGT), è interessato dal passaggio di due corsi fluviali, il fiume Brembo e il Torrente Quisa. Entrambi i corsi fluviali hanno inciso la pianura andando a formare una serie di scarpate più o meno profonde.

Analizzando le cartografie tematica geomorfologiche redatte dai PGT dei comuni attraversati dalla linea è possibile dunque osservare che:

- Nella carta geomorfologica allegata al PGT del comune di Ponte San Pietro (Figura 4-5) gli elementi morfologici di maggior interesse risultano, come precedentemente descritto, le scarpate dei terrazzi fluviali. Si osserva in particolare come le scarpate diminuiscano di altezza man mano che ci si allontana dal Fiume Brembo; il passaggio laterale fra classi di altezza diversa avviene in modo graduale e non repentino.

Spesso, pur mantenendosi morfologicamente ben evidenti, alcune scarpate hanno assunto un forte carattere di artificiosità, essendo state intaccate dall'opera di rimodellamento umano.

In altri casi, soprattutto le scarpate che interessano direttamente i corsi d'acqua, sono state protette con muri, gabbionate e scogliere.

Questi interventi sono stati resi necessari onde evitare l'erosione laterale da parte dei corsi d'acqua stessi; talora queste difese sono state leggermente sopraelevate per evitare, durante le piene straordinarie, eventuale esondazione. Sempre dalla carta geologica e geomorfologica allegata al PGT di Ponte San Pietro si può osservare come il tratto ferroviario che attraversa il torrente Quisa intersechi dei terrazzi di altezza massima di circa 5 metri mentre, attraversando il Fiume Brembo, i relativi terrazzi fluviali, potenzialmente in erosione, presentano altezze superiori ai 10 metri nel tratto più profondo inciso dal fiume.

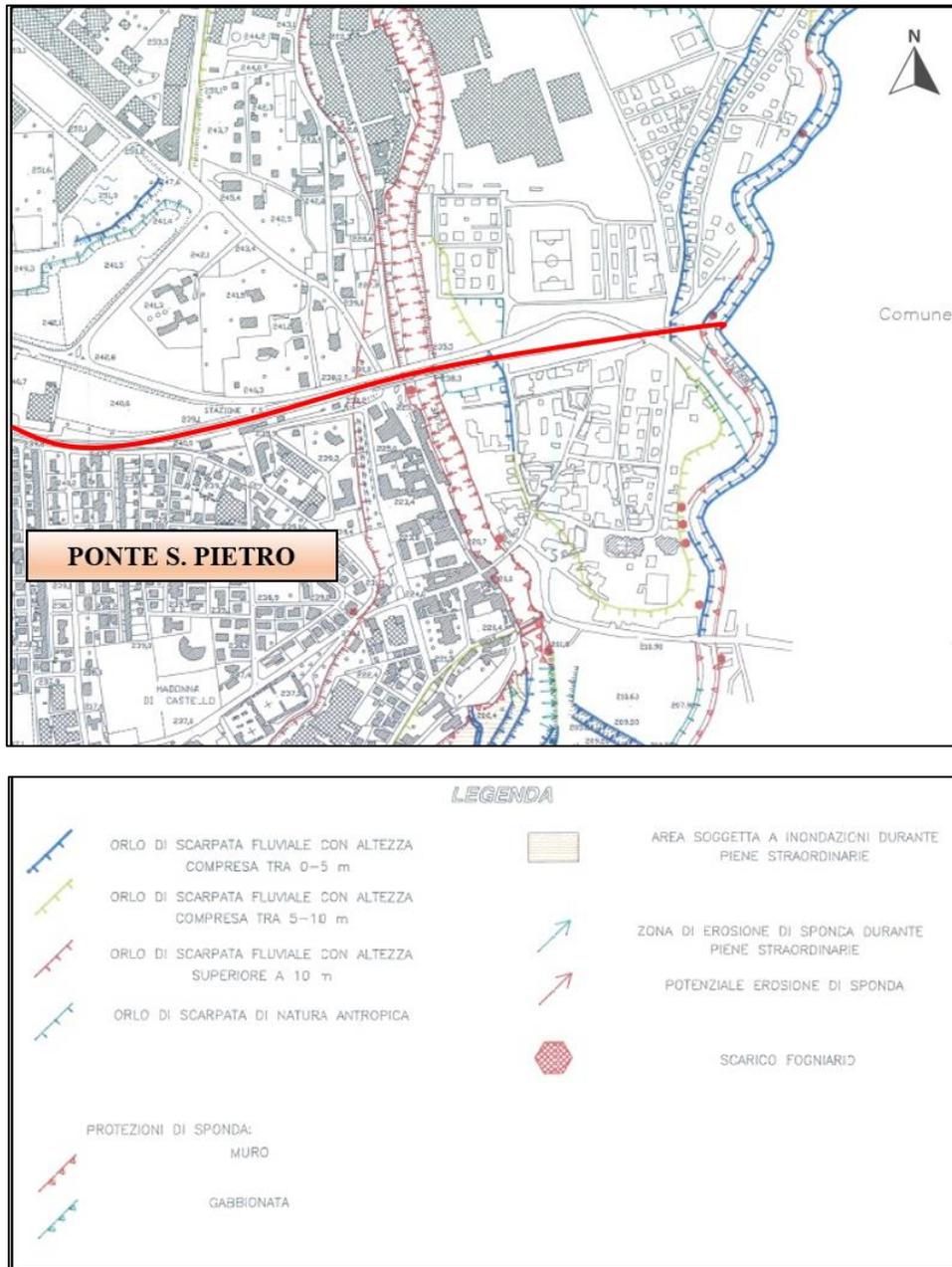
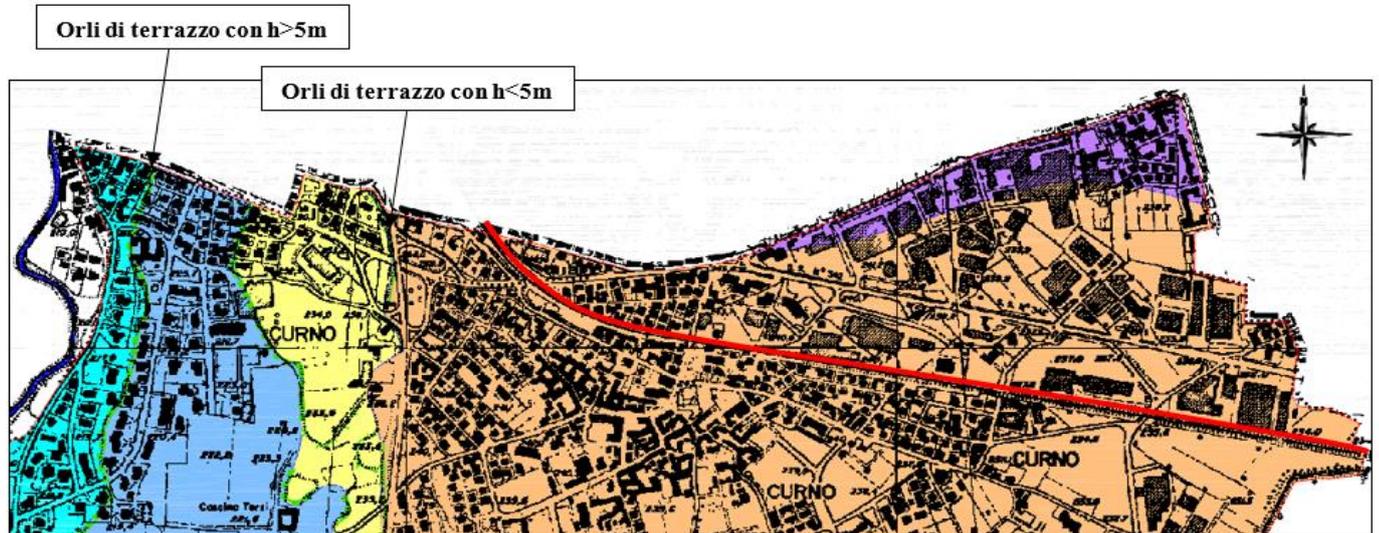


Figura 4-5 – Stralcio (non in scala) della Carta geomorfologica del PGT del Comune di Ponte San Pietro (tav. 3, 1: 5.000, 2011). In rosso la linea ferroviaria.

- Procedendo verso est, la stessa diminuzione di altezza dei terrazzi si osserva nella Carta geologica e geomorfologica del PGT del comune di Curno (Figura 4-6); analizzando la carta infatti si nota come verso il fiume Brembo i terrazzi vengano classificati ad altezza maggiore di 5 metri, mentre procedendo verso est, in direzione Bergamo, essi siano classificati ad altezza inferiore di 5 metri.



Unità geologiche

-  **Alluvioni attuali e recenti del Fiume Brembo** : aree pianeggianti anche attualmente esondabili, delimitate da scarpate erosive. Clottoli, ghiaie e sabbie in scarsissima matrice limosa, a supporto clastico; strato di alterazione assente. *Olocene recente e attuale*
-  **Alluvioni antiche del Fiume Brembo** : aree pianeggianti o debolmente ondulate delimitate da scarpate morfologiche. Depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi con clottoli non alterati, in scarsa matrice limosa, e supporto clastico. Strato di alterazione inferiore a 50 cm. *Pleistocene superiore*
-  **Complesso del Brembo - Unità di Treviglio** : aree pianeggianti o debolmente ondulate, delimitate da scarpate morfologiche. Alluvioni costituite da ghiaie e supporto clastico con clottoli in matrice sabbiosa e limosa. Strato di alterazione inferiore a 1.6 m. *Pleistocene superiore*
-  **Complesso di Palazzago** : aree pianeggianti o debolmente ondulate caratterizzate dalla presenza di depositi colluviali argillosi e limoso-argillosi a orizzonti con clasti residuali. *Pleistocene medio-superiore*
-  **Unità di Brembate** : aree pianeggianti caratterizzate dalla presenza di depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi con rari clottoli. In matrice argillosa e limosa più o meno abbondante, a supporto sia clastico che di matrice. Strato di alterazione sempre presente e maggiore di 1 m. *Pleistocene medio*
-  **Terreni di riporto** : area interessata da accumulo di materiale detritico di riporto, con modificazione dell'originaria struttura morfologica.

Elementi morfologici legati alle acque superficiali

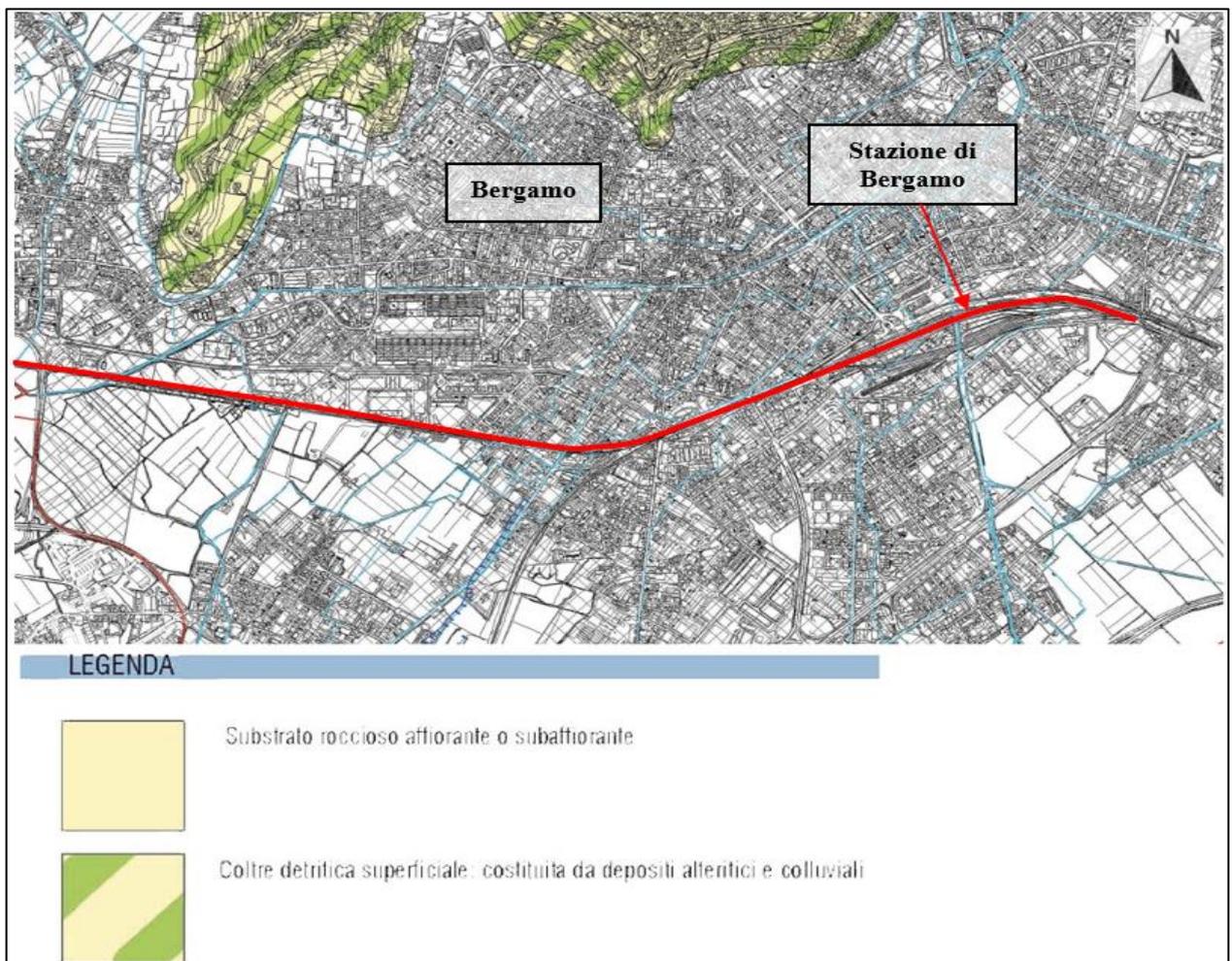
-  Orlo di terrazzo di origine fluviale (h>5m)
-  Orlo di terrazzo di origine fluviale (h<5m)
-  Sponda in erosione
-  Tracce di idrografia abbandonata

Forme antropiche

-  Orlo di terrazzo di origine antropica

**Figura 4-6 - Stralcio (non in scala) della Carta geologica e geomorfologica del PGT di Curno (tavola 1 1:5.000, 2010). In rosso la linea ferroviaria.**

- Per quanto concerne il comune di Bergamo, i principali elementi morfologici di interesse risultano, ancora una volta, le forme ed i processi legati alle acque correnti superficiali. La carta geomorfologica redatta dal PGT comunale (Figura 4-) evidenzia la rete idrografica piuttosto fitta attraversata dalla linea ferroviaria, il cui elemento principale risulta essere il Torrente Morla, in corrispondenza della stazione di Bergamo. Inoltre, vengono identificati anche in questo caso alcuni terrazzi morfologici, i quali tuttavia non interferiscono con la linea ferroviaria. Per quanto concerne tutte le forme di origine gravitativa, si osserva come la linea ferroviaria risulti a distanza ragguardevole dai versanti prealpini presenti in territorio comunale, dunque tali forme non risultano di interesse per il presente studio.



- **Figura 4-7 – Stralcio (non in scala) della Carta geomorfologica del PGT di Bergamo (tavola SG2 1:10.000, 2011). In rosso la linea ferroviaria.**

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>33 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	33 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	33 di 128								

## 5 IDROGRAFIA

Dal punto di vista idrografico le aree di studio intersecano o vengono lambite da dei corsi d'acqua, minori e non, appartenenti al bacino del Brembo e del Serio.

Il reticolo idrografico naturale dell'area di Bergamo (Figura 5-1 e 5-3) comprendente le aree di studio è formato, oltre che dal fiume Brembo, dai numerosi torrenti che scendono dai rilievi collinari, ed in particolare dal torrente Quisa (Ponte San Pietro e Mozzo) e dal Torrente Morla (Bergamo), oltre che da una rete di canali e rogge piuttosto fitta.

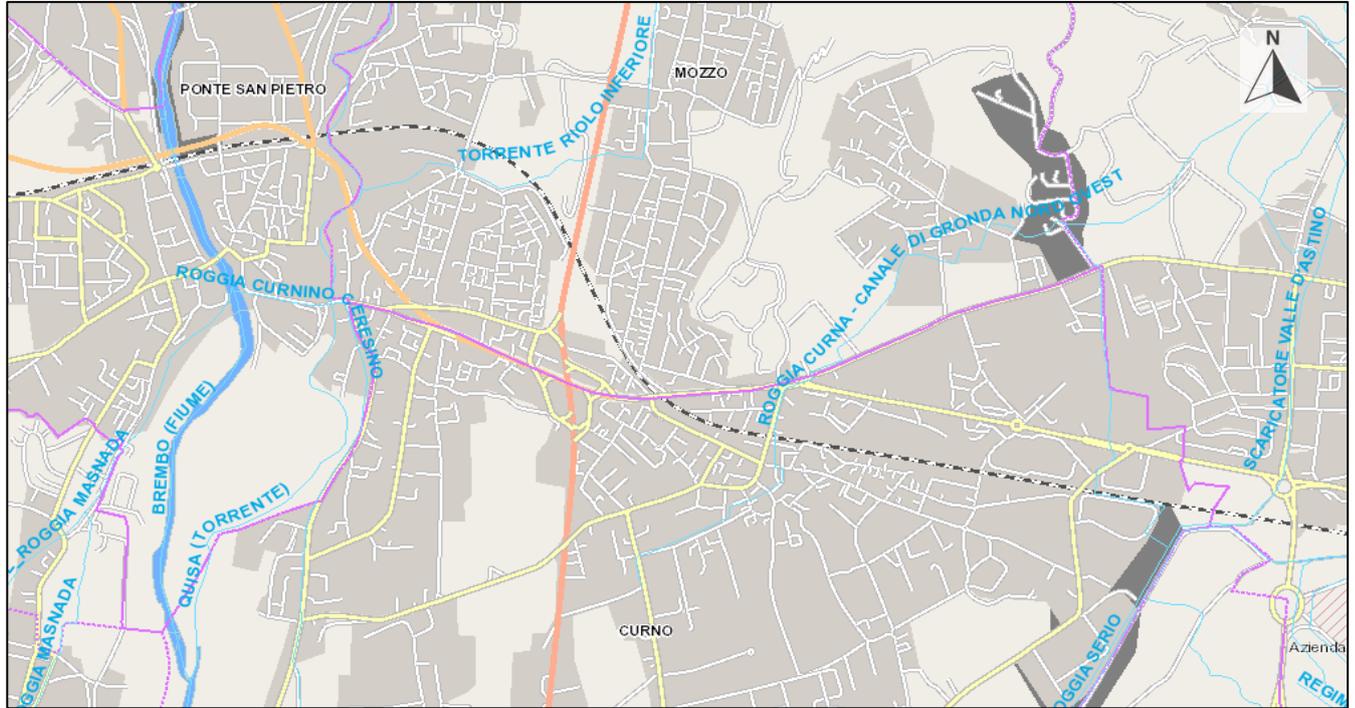
Qui di seguito viene riportata una breve descrizione dei 4 principali elementi idrografici del territorio corsi d'acqua dal punto di vista idrografico.

- 1) Il *Fiume Brembo* nasce nella porzione occidentale delle Alpi Orobie da numerosi torrenti che portano questo nome a monte di Lenna (Brembo di Carona, di Valleve, di Mezzoldo) nella zona fra il Pizzo dei Tre Signori e il Pizzo del Diavolo, e sbocca nel Fiume Adda a monte dell'abitato di Canonica d'Adda, dove sottende un bacino di circa 945 km<sup>2</sup>. Nell'alta valle il bacino è diviso in due rami principali dai contrafforti dei monti Pegherolo e Torcola, che disegnano un ampio ventaglio sorgentifero. Verso sud, a partire dal nodo di Lenna, la valle si restringe alternando alle strette forre le brevi pause delle conche e i fitti segnali di innesto delle valli laterali. A partire da Almenno il Brembo presenta un alveo per lo più monocursale subrettilineo, abbastanza stabile dal punto di vista altimetrico (anomalie si osservano solo in corrispondenza di aree soggette ad attività estrattiva), con moderata instabilità morfologica dell'alveo ed erosioni di sponda a tratti intense. Il regime idrologico del fiume è a deflusso perenne ma di tipo torrentizio, con portate di magra molto scarse e portata di massima piena spesso più elevate di quelle dell'Adda; si ricorda infatti che durante l'alluvione del 1987 il Brembo ha raggiunto, sempre presso Ponte San Pietro, una portata di circa 1000 m<sup>3</sup>/s; ciò è da imputarsi prevalentemente al fatto che a monte di tale fiume non è presente un bacino regolatore naturale che traduca le notevoli variazioni pluviometriche stagionali in variazioni di portata meno considerevoli. Nel comune di Ponte San Pietro il Brembo presenta sponde ben definite in quanto scorre incassato, rispetto al piano campagna, di circa 20- 30 metri, tra pareti verticali modellate nella formazione del ceppo Lombardo (Figura 5-2).

Nel corso dell'ultimo secolo, l'alveo del Fiume Brembo, che nel tratto del Comune di Curno si presenta piuttosto rettilineo, ha subito significative modificazioni. Ciò è stato dovuto sia per cause naturali legate alla normale e continua evoluzione che subiscono gli alvei dei fiumi in seguito ai fenomeni contemporanei di erosione e rideposizione, sia in seguito alla realizzazione dello sbarramento dell'ENEL in comune di Ponte San Pietro. Ciò ha comportato una migrazione verso est del letto fluviale, come risulta evidente anche

dal fatto che il limite comunale di Curno, che presumibilmente coincideva in origine con il percorso seguito dal Fiume Brembo, delimita oggi porzioni di territorio appartenenti alla sponda idrografica destra dello stesso Fiume. Oggi le sponde risultano per lo più ben protette da scogliere in massi ciclopici in buono stato di conservazione e di dimensioni che, per quanto detto precedentemente, possono essere anche notevoli.

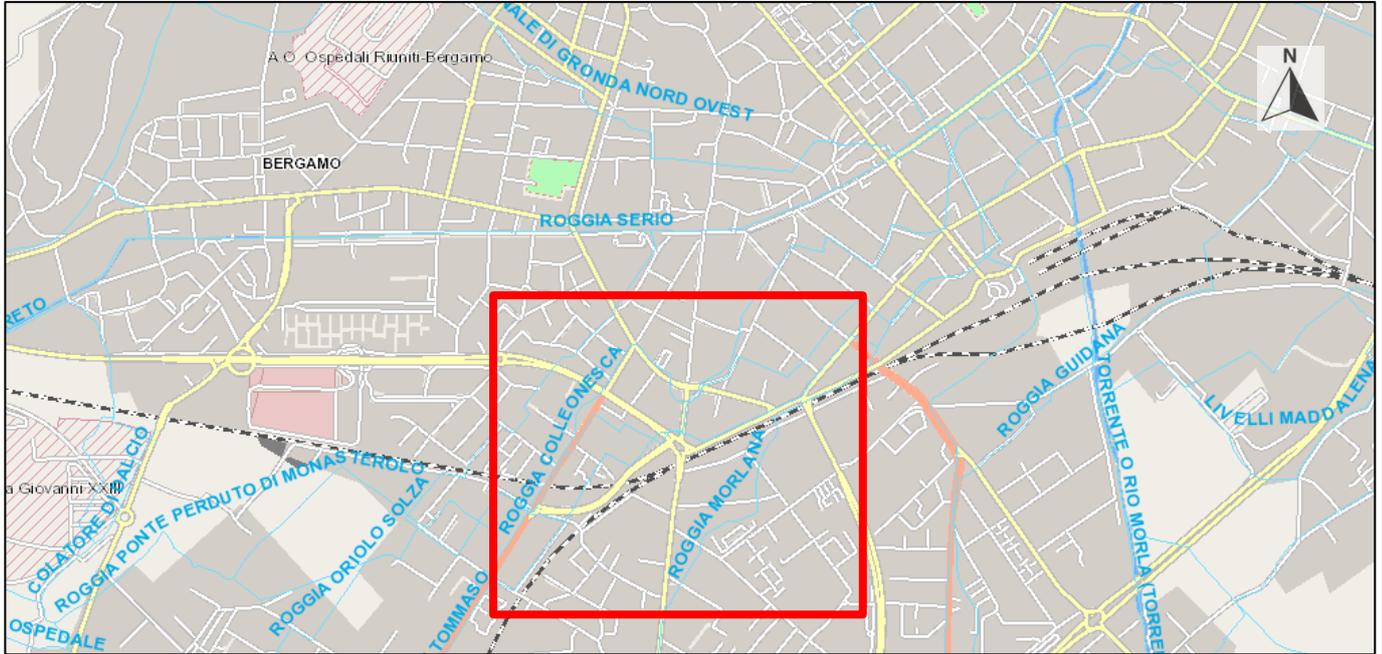
- 2) *Il torrente Quisa* individua grossomodo il confine di Bergamo con il comune di Sorisole, dove nasce, dai rilievi montuosi del Monte Canto Alto. Raccoglie le acque di numerosi sottobacini dell'area pedecollinare e allo sbocco nell'alta pianura assume un andamento irregolare, alternando tratti meandriiformi a tratti più regolari, rettilinei. trae origine da una serie di tributarie minori in bassa Val Brembana, localizzate nell'area di Azzonica–Sorisole, quindi percorre la valle di Petosino in direzione SEE-NNW e, in corrispondenza di Paladina, piega in direzione sud fiancheggiando Mozzo e congiungendosi al Brembo in corrispondenza di Ponte San Pietro (Figura 5-2).
  
- 3) *Il torrente Morla* attraversa da nord a sud l'intero territorio comunale di Bergamo. Esso nasce sulle pendici del Monte Solino, nel comune di Ponteranica, ed il suo bacino imbrifero, di circa 22 km<sup>2</sup>, 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, 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 meandriiforme e un buon grado di naturalità, che perde entrando nell'abitato dove assume il carattere di un canale scolmatore (Figura 5-4).



**Figura 5-1 – Reticolo idrografico intersecante la linea ferroviaria (linea tratteggiata) tra Ponte San Pietro, Mozzo e Curno (Geoportale Regione Lombardia, 2018).**



**Figura 5-2 – Fiume Brembo (a sinistra) e Torrente Quisa (a destra) presso i relativi ponti ferroviari di Ponte San Pietro.**



**Figura 5-3 - Reticolo idrografico intersecante la linea ferroviaria a Bergamo (Geoportale Regione Lombardia, 2018).  
Nel riquadro rosso l'area oggetto degli interventi di progetto.**



**Figura 5-4 – Torrente Morla presso la stazione di Bergamo.**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

## 6 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.

- 1) 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.
- 2) 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 descrizione risulta valida per l'area comunale di pianura di Bergamo e per quella di Curno (carte idrogeologiche dei PGT comunali riportate in Figura 6-1 e Figura 6-2).

Il sottosuolo di Mozzo presenta invece, da un punto di vista idrogeologico generale, i caratteri tipici dei territori posti in posizione di interfaccia fra le propaggini più meridionali dei rilievi prealpini ed i riempimenti fluvio-glaciali-alluvionali dell'alta pianura bergamasca. La zona orientale e nord-orientale del comune è occupata dai colli flyschoidi e presenta pertanto diffusa circolazione idrica in roccia, senza poter identificare un preciso acquifero. Si riscontra nella zona alta delle Carpiane un'area di emergenza idrica superficiale costituita da diffuse sorgenti non captate in forma di fontanili incipienti, la cui esatta configurazione tende a variare nel tempo. La zona occidentale è al contrario occupata dai depositi ghiaioso-sabbiosi del Quisa e del Brembo, che fungono, per almeno 20 metri dalla superficie topografica, da livelli acquiferi scarsamente protetti, potenzialmente sedi di falde libere o semiconfinata. Verso il basso, i depositi grossolani passano a lenti di conglomerato a conducibilità idraulica variabile, e solo localmente a livelli argillosi poco o non permeabili, che fungono da acquicludi o, al limite, da acquitardi. La distribuzione delle intercalazioni argillose entro le ghiaie è irregolare; in particolare verso ovest i depositi grossolani sono nettamente prevalenti anche ad oltre 20 metri di profondità e giungono ad appoggiare direttamente sul substrato roccioso, o passano alle bancate del ceppo brembano, mentre verso est, al contrario, i limi e le argille sono frequenti ed assumono il carattere di un grosso corpo lenticolare a partire dalla profondità di circa 30 metri dal piano campagna. Tale corpo tende ad ispessirsi procedendo ulteriormente verso oriente, laddove

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>38 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	38 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	38 di 128								

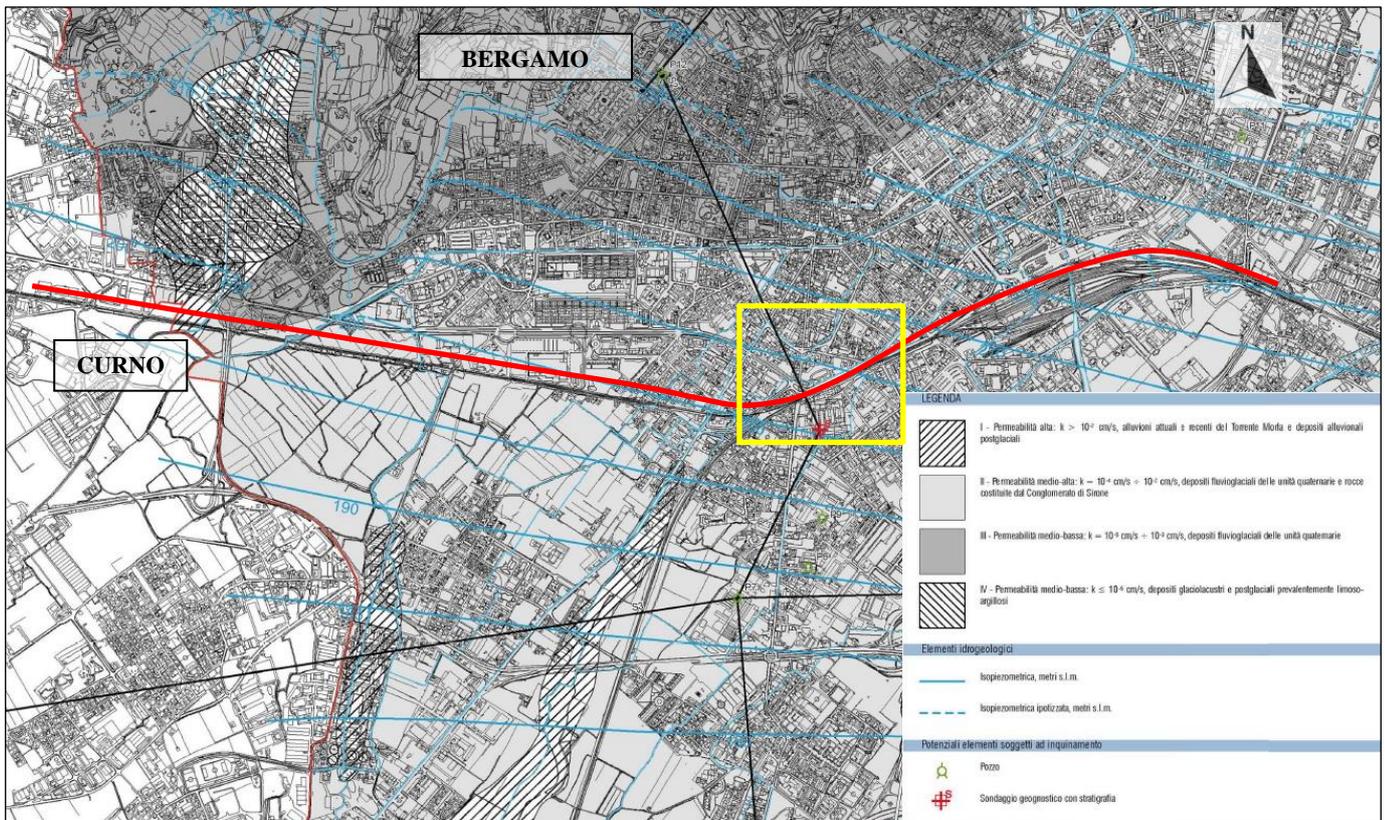
inizia a delinearci una situazione stratigrafica più regolare, con tre livelli sovrapposti di ghiaie superficiali, conglomerato ed argille ghiaiose. La zona sud-orientale (Fornaci) è dominata dai sedimenti argillosi del bacino lacustre di Longuelo e non è pertanto sede di significativi livelli acquiferi. La soggiacenza della prima falda mostra un andamento incostante, uniformandosi all’assetto idrogeologico del sottosuolo; in linea di massima, comunque, Mozzo è situato ad ovest (piana fluvioglaciale) lungo un asse di drenaggio sotterraneo orientato nord-sud, e ad est (colli – Borghetto) lungo uno spartiacque sotterraneo di modesta entità, orientato NE-SO. Tranne per l’estremità sud-orientale del territorio, le direttrici di drenaggio sotterraneo sono quindi orientate generalmente verso la valle del Quisa (Figura 6-2, valida per l’area nord del Comune di Curno e anche per l’area meridionale di Mozzo). I valori di soggiacenza riscontrati variano fra i 225 m s.l.m. a nord e i 205 m s.l.m. a sud, mostrando un dislivello di circa 20 metri in meno di 3 km, a delineare un gradiente idraulico medio pari allo 0,5‰ circa. La soggiacenza nella zona dei colli non è facilmente definibile a causa della presenza del substrato; in corrispondenza della cintura collinare, infatti, le isopiezometriche tracciate in carta sono volutamente interrotte.

Al fine di identificare le caratteristiche idrogeologiche dell’intera area di progetto si è provveduto a redigere una carta ed un profilo idrogeologico lungo la linea ferroviaria (elaborato da NB1R09D69NZGE0002001A a NB1R09D69NZGE0002002A) in cui vengono riportate le caratteristiche di permeabilità dei depositi, le isopieze relative alla falda, la rete idrografica ed i pozzi ad uso idropotabile censiti nell’area.

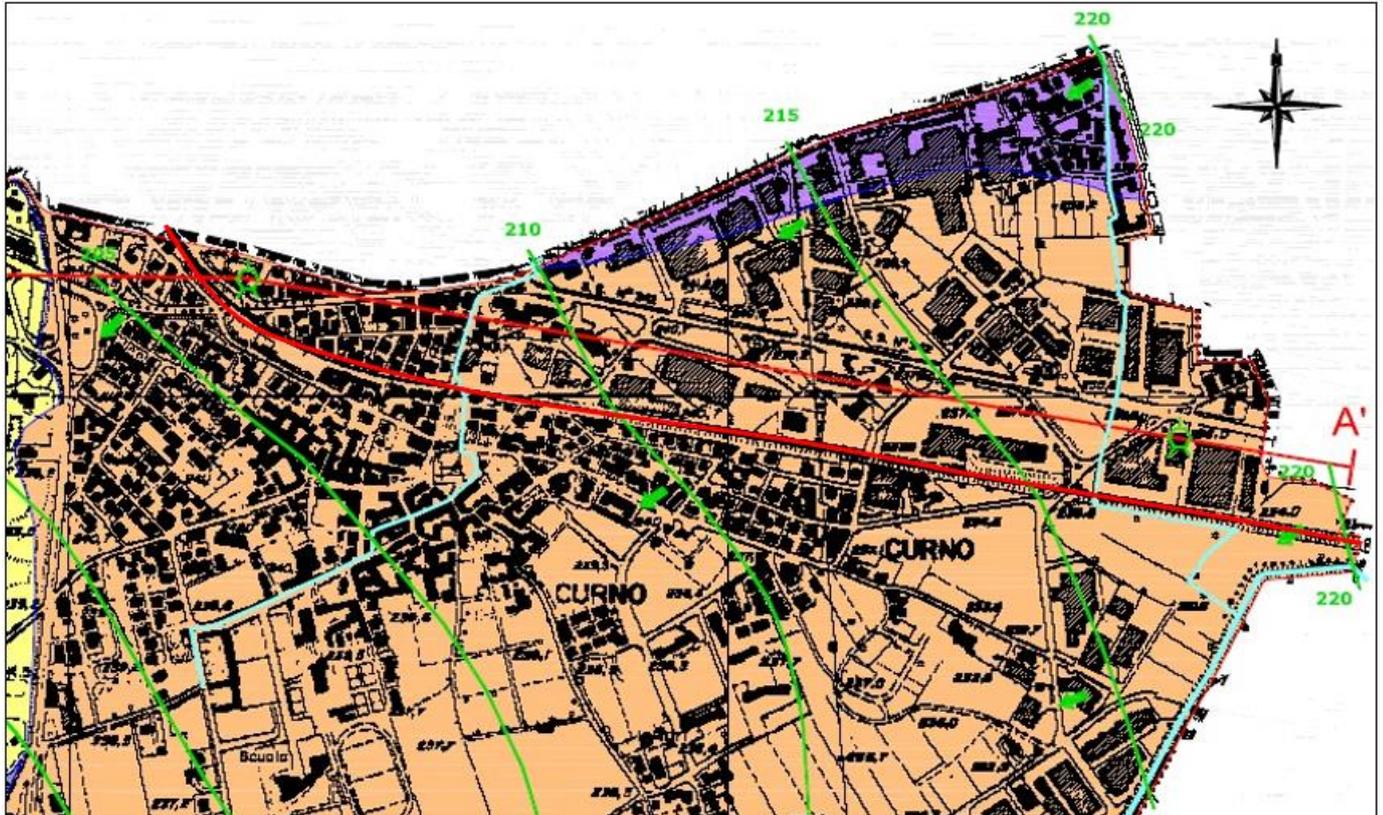
Per quanto riguarda la superficie piezometrica generale dell’area di studio, al fine di fornirne una sintesi del suo andamento, si fornisce di seguito una breve descrizione della cartografia idrogeologica allegata ai Piani di Governo del Territorio dei comuni attraversati. Si evidenzia come le linee isopieze riportate sulle varie cartografie dei PGT comunali non sempre risultino congruenti tra loro, non andando dunque a formare una superficie di falda uniforme sull’intero territorio sovracomunale qui considerato.

- In Figura 6-1 si riporta uno stralcio della cartografia tematica idrogeologica per il comune di Bergamo; la tratta in esame interseca le linee isopiezometriche comprese tra 220 m s.l.m. nell’area della stazione e 195 m s.l.m. nell’area presso il confine occidentale del comune, con direzione di deflusso della falda da NO a NNO -SSE. Sulla base di tale dato dunque la superficie di falda si ipotizza ad una profondità abbastanza costante di circa 30 metri dal piano campagna.
- In Figura 6-2 è riportato uno stralcio della cartografia idrogeologica del comune di Curno. Essa indica come la linea ferroviaria intersechi le linee isopieze da +200 a +205 m s.l.m., corrispondenti a valori di soggiacenza di circa 30 metri da p.c., con direzione del deflusso della falda NE-SO.

- In Figura 6-3 si può osservare che la linea ferroviaria, secondo la cartografia idrogeologica del comune di Ponte San Pietro, corre grossomodo parallelamente alle linee isopieze, ed in particolare tra la isopiezza +210 e la isopiezza +200, corrispondenti a valori di soggiacenza di circa 30 metri da p.c., e direzione di flusso della falda circa N-S.



**Figura 6-1 – Stralcio non in scala della Carta Idrogeologica (2011) allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo. Scala 1: 10.000. In rosso è riportata la linea ferroviaria. Nel riquadro in colore giallo ricadono gli interventi in progetto.**



Classi di Vulnerabilità

- 

Aree a vulnerabilità della falda mediana e alta; depositi alluvionali sabbiosi e ghiaiosi con ciottoli in matrice limosa, a supporto clastico, appartenenti al terrazzo alluvionale antico del fiume Brembo, Permeabilità del primo sottosuolo compresa fra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec, Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 40 m da p.c.; drenaggio molto buono,
- 

Aree a vulnerabilità della falda bassa : depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi con rari ciottoli in matrice limosa e argillosa, a supporto sia clastico che di matrice, appartenenti al Livello Fondamentale della Pianura, Permeabilità del primo sottosuolo compresa fra  $1 \times 10^{-4}$  e  $1 \times 10^{-3}$  cm/sec, Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 40 m da p.c.; drenaggio scarso con possibile sviluppo di falde sospese.
- 

Aree a vulnerabilità della falda bassa; depositi colluviali di natura argillosa e argilloso-limosa con rari clasti residuali a supporto di matrice. Permeabilità del primo sottosuolo inferiore a  $1 \times 10^{-4}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 30 m da p.c.; drenaggio pessimo con possibile sviluppo di falde sospese.

Elementi Idrogeologici

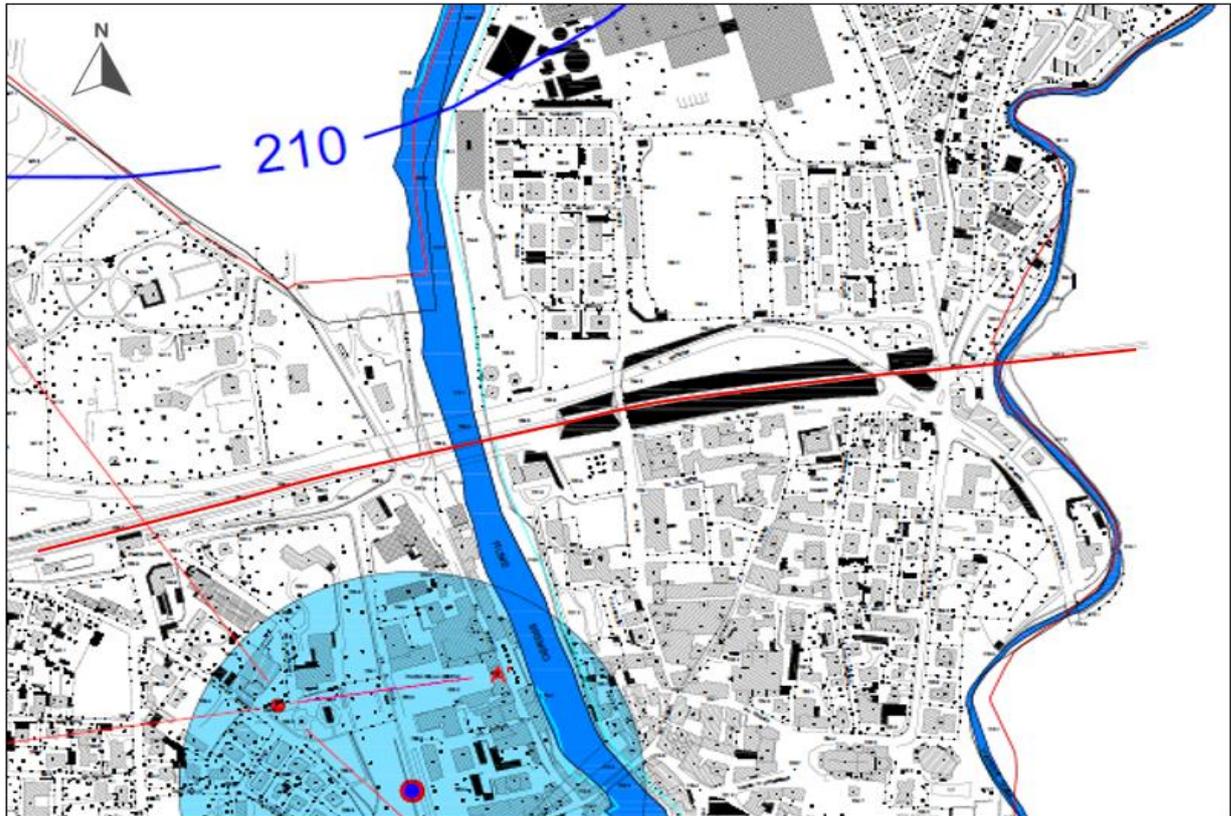
- 

Traccia di sezione Idrogeologica
- 

Linee Isoplezometriche della falda freatica (quota in m s.l.m.)
- 

Direzione di deflusso della falda freatica

**Figura 6-2 - Stralcio non in scala della Carta Idrogeologica del Piano di Governo del Territorio del comune di Curno. (Tavola 2, 1: 5.000, 2010). In rosso è evidenziata la linea ferroviaria.**



**Figura 6-3** Stralcio non in scala della Carta Idrogeologica (2016) allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Ponte San Pietro (Tavola 6, 1: 5.000, 2016). In rosso è riportata la linea ferroviaria.

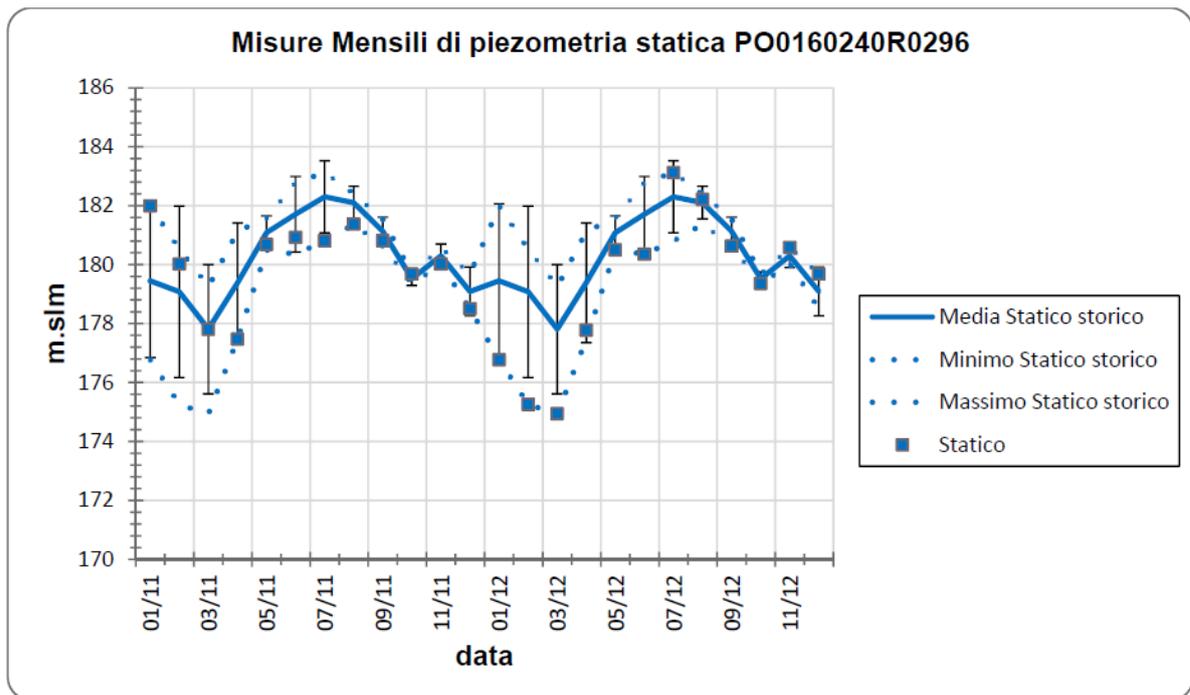
	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></p>												
<p>RELAZIONE 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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>42 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	42 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	42 di 128								

## 6.1 VALUTAZIONE DEL CICLO IDROGEOLOGICO DELLA FALDA

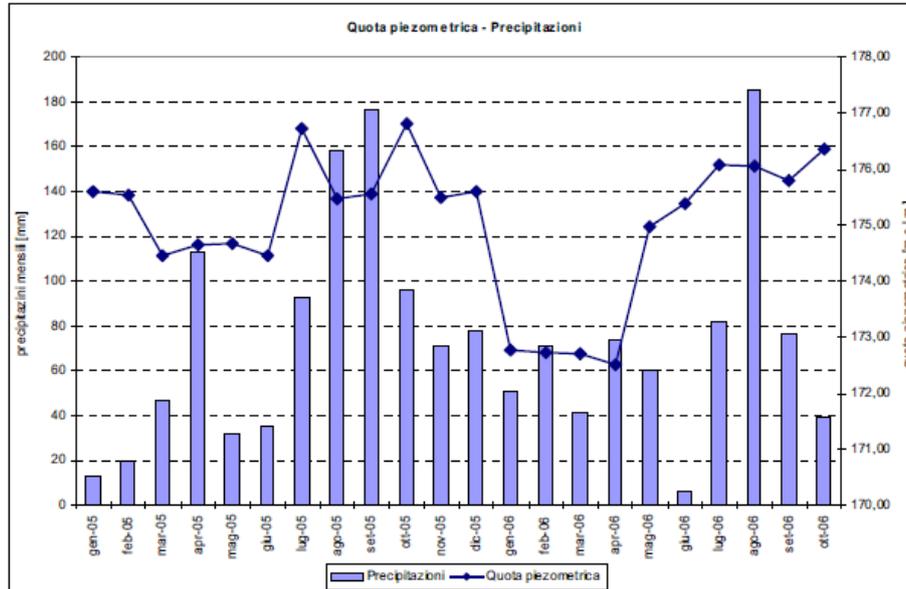
Ai fini del presente studio risulta importante analizzare le variazioni della falda freatica presente negli areali di studio, in modo da identificarne il ciclo idrogeologico annuale (“anno idrogeologico”), definendo quindi le fasi di piena, di magra e di morbida. Per fare ciò si prendono in considerazione 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 la 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 riportati in particolare alcuni dei grafici riassuntivi del rapporto ARPA relativi ai dati piezometrici di alcuni dei punti più significativi in relazione alle del presente studio, ed analizzati in modo da ricavare un’interpretazione in merito all’anno idrogeologico della falda.

- Piezometro PO0160240R0296 di Bergamo: sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 6- 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 6- 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 6- è possibile osservare come i 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 (comune ubicato a est di Bergamo, subito a nord della linea ferroviaria): sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 6- 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 PO0162090R1633 di Suisio (ubicato a sud-ovest di Ponte San Pietro): sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 6- è possibile osservare come i massimi piezometrici siano individuabili tra agosto e settembre del 2009, 2010 e del 2011 mentre i minimi nei mesi di maggio-giugno dei medesimi anni.
- Piezometro PO0162130R0002 di Terno d’Isola (ubicato a ovest di Ponte San Pietro): sulla base dei dati riportati nel grafico in Figura 6- è possibile osservare come i massimi piezometrici siano individuabili tra

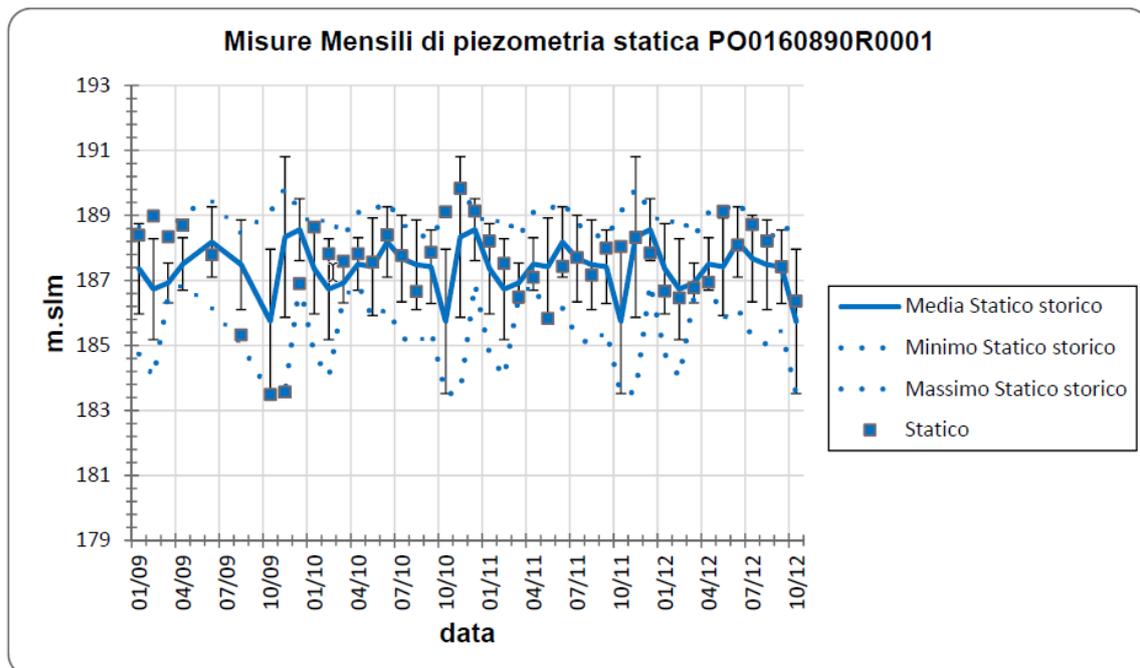
agosto e settembre del 2009, 2010 e del 2011 mentre i minimi nei mesi di febbraio-marzo dei medesimi anni.



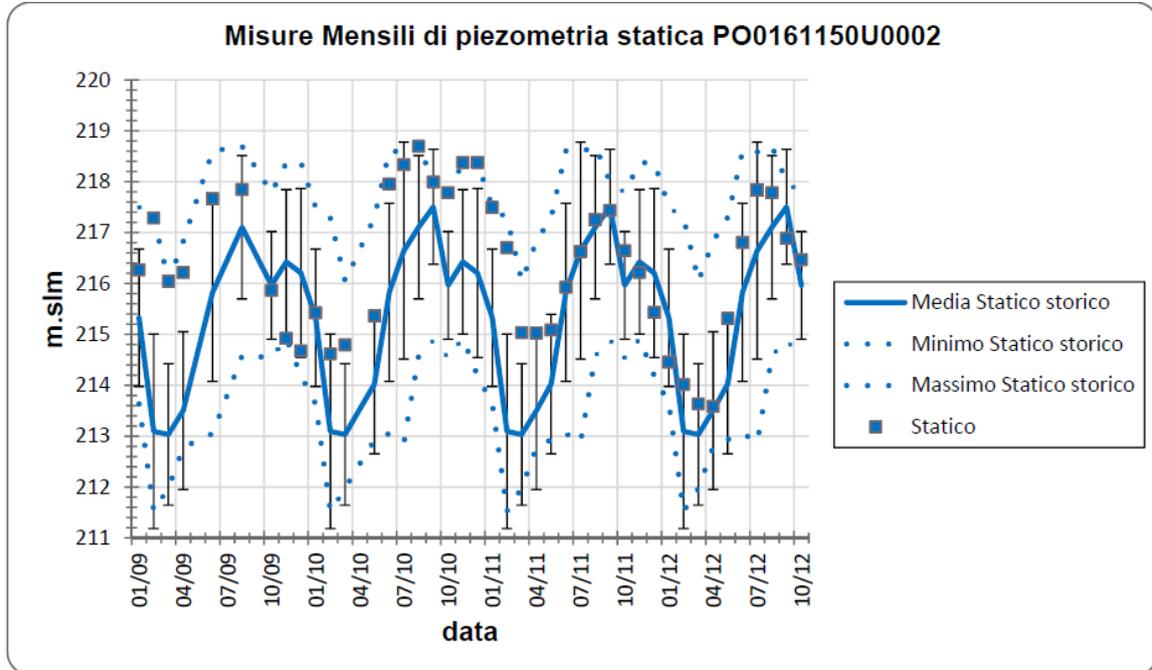
**Figura 6-4 – Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al piezometro PO01602470R0296 di Bergamo per il periodo da gennaio 2011 a dicembre 2012.**



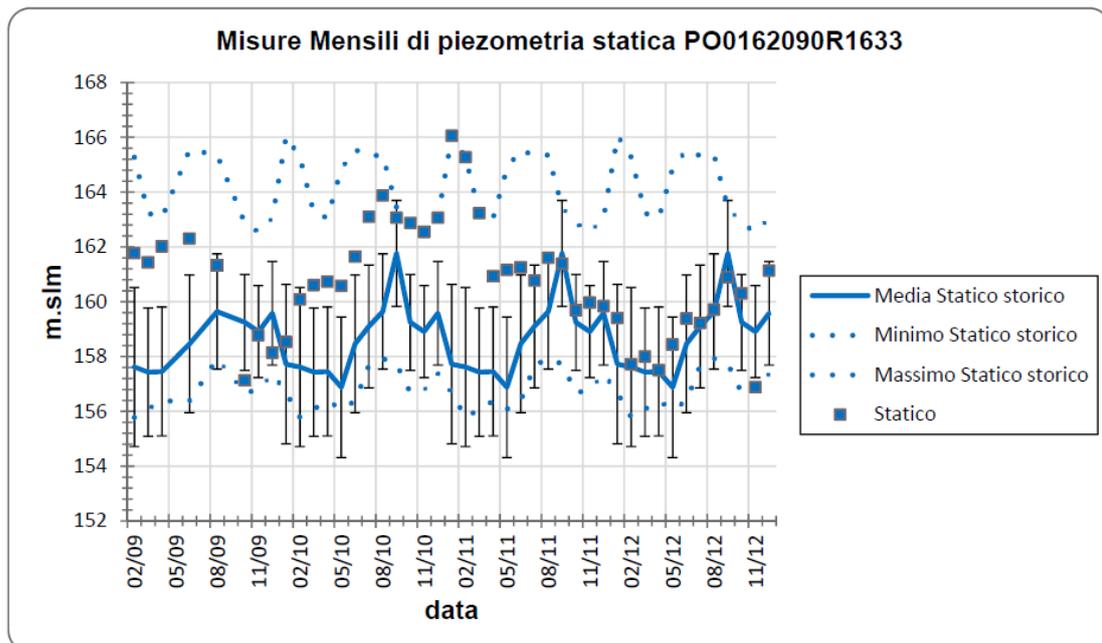
**Figura 6-5 - Confronto tra l'oscillazione della quota piezometrica, nel pozzo dell'Istituto Arti Grafiche, con le precipitazioni medie mensili, misurate alla stazione meteorologica sita in Via Garibaldi. (Relazione geologica PGT di Bergamo, 2011).**



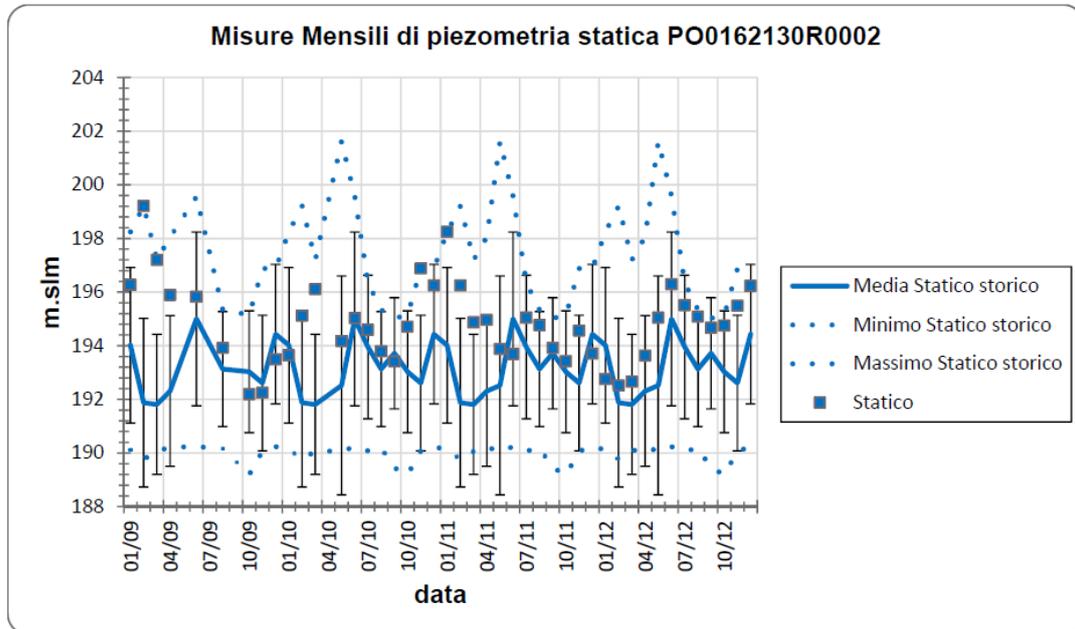
**Figura 6-6 – Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al pozzo PO0160890R0001 di Curno per il periodo da gennaio 2009 a novembre 2012.**



**Figura 6-7 – Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al piezometro PO0161150U0002 di Gorle per il periodo da gennaio 2009 a novembre 2012.**



**Figura 6-8 - Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al pozzo PO0162090R1633 di Suisio per il periodo da febbraio 2009 a dicembre 2012.**



**Figura 6-9 - Misure piezometriche rese disponibili da ARPA Lombardia relative al piezometro PO0162130R0002 di Terno d'Isola per il periodo da gennaio 2009 a dicembre 2012.**

Sulla base dei dati sopra esposti, 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-tardo invernale. Considerate le caratteristiche di intensa antropizzazione dell'area attraversata dalla linea ferroviaria Bergamo-Ponte San Pietro, ci si aspetta un contributo maggiore alla falda soprattutto dalle precipitazioni, mentre minore sarà il contributo degli apporti legati alla pratica irrigua considerato che le aree agricole sono poste a sud dell'area urbana di Bergamo.

Le considerazioni qui esposte vengono, in seguito (paragrafo 9.2.3), confrontate con i dati di monitoraggio piezometrico relativi ai piezometri installati lungo linea da Ponte San Pietro a Bergamo.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>47 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	47 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	47 di 128								

## 7 VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI

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. Trattandosi di elementi non sempre di facile acquisizione e la cui importanza può essere variamente stimata, alcuni Autori hanno proposto metodologie di calcolo basate su pochi parametri significativi.

Il Piano di governo del territorio di Bergamo ha redatto la cartografia della vulnerabilità dell'acquifero utilizzando il metodo DRASTIC. Si riporta in Figura 7-1 uno stralcio di tale carta; da essa si evince come il tracciato in progetto, nell'area di Bergamo ricada nella porzione centrale in classe 4 (vulnerabilità alta, 61-70%) e nella porzione a ovest in classe 5 (vulnerabilità mediamente alta, 51-60%).

Il testo della relazione geologica del comune di Bergamo riporta quanto segue per tali classi:

*“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.”*

Proseguendo verso ovest, anche il comune di Curno utilizza la metodologia sopracitata per determinare la vulnerabilità dell'acquifero, applicandola alle unità geologiche individuate. La determinazione delle varie classi di vulnerabilità si basa sull'analisi di parametri statici e dinamici.

### Parametri statici

L'importanza dei caratteri tessiturali del saturo, suolo e non saturo, è legata alla velocità con la quale un inquinante accidentalmente posto a contatto con la superficie del terreno si infiltra, raggiunge l'acquifero e si diffonde in esso.

La tessitura del saturo (acquifero) è stata ricavata dai logs stratigrafici dei pochi pozzi disponibili, considerando una composizione granulometria prevalentemente ghiaiosa e con conglomerato, mentre quella del non saturo è stata osservata in scavi e sbancamenti temporanei o ricavata dai profili penetrometrici e dai logs stratigrafici dei pochi sondaggi disponibili, considerando i diversi ambienti riconosciuti sul territorio comunale. Il valore del gradiente topografico (l'acclività) è stato ricavato applicando l'espressione  $y=0.4x+10$  (cfr. Aller et alii, 1985) al gradiente topografico medio della pianura. Tale parametro è importante in quanto determina la maggiore o minore possibilità di infiltrazione delle acque meteoriche, influenzando sulla velocità del ruscellamento superficiale.

## Parametri dinamici

La soggiacenza esprime la profondità della tavola d'acqua dal piano campagna e quindi la distanza che un inquinante deve percorrere nel non saturo quando la fonte d'inquinamento è superficiale. Il valore è stato ottenuto applicando l'espressione  $y = -0.3x + 10$  (cfr. Aller et alii, 1985) al valore di soggiacenza medio riscontrato nelle diverse aree del territorio comunale e desunto dalla piezometria già disponibile, ritenuta ancora ottimamente rappresentativa dell'attuale assetto delle acque sotterranee. Per quanto riguarda la tessitura del suolo, come per i valori riguardanti la tessitura del non saturo, si sono considerati i diversi ambienti riconosciuti sul territorio comunale. Infine l'alimentazione dell'acquifero freatico è stata ricavata considerando unicamente il contributo delle piogge (la pratica irrigua, responsabile di locali e repentini innalzamenti del tetto della falda, viene praticata per pochi mesi all'anno e solamente nei turni orari previsti nei diversi appezzamenti, cosicché l'infiltrazione, se considerata su superfici vaste, avviene a "macchia di leopardo", interessando in maniera temporale e arealmente discontinua diversi lotti di terreno), e quindi dell'infiltrazione efficace (ca. 200-250 mm), stimato in una frazione percentuale di queste ultime (ca. 30%). La seguente tabella riporta i valori numerici attribuiti a ciascun parametro per ognuna delle unità geologiche individuate.

Parametri Unità Geologiche	Complesso di Palazzago	Unità di Brembate	Complesso del Brembo	Alluvioni Antiche Del Brembo	Riporto	Alluvioni Attuali del Brembo
Soggiacenza	3-2	3-0.5	3-0.5	3-0.5	0	6
Alimentazione	4	4	4	4	4	4
Tessitura saturo	7	7	7	7	7	7
Tessitura suolo	6	6	8	8	9	10
Acclività	9	9	9	9	9	9
Tessitura non saturo	2	2	4	5	6	8
Permeabilità	1	1	1-3	1-3	2	3

## Pesi

Ciascun parametro concorre in modo differente alla definizione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero freatico, a seconda anche del tipo di utilizzo che può essere fatto del territorio. Così, è evidente che nel caso di una massiccia pratica agricola che preveda lo smaltimento di reflui di origine zootecnica o l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi, la presenza di un livello non saturo con bassa permeabilità costituisca senz'altro un fattore discretizzante per la capacità di protezione nei confronti della falda e assuma pertanto un peso maggiore. DRASTIC prevede l'assegnazione di un peso variabile da 1 a 5, distinguendo i pesi normali e i pesi agricoli; nella presente elaborazione si è scelto di utilizzare entrambi i pesi dando però la priorità ai pesi agricoli per i soli suoli comunali interessati da attività agricole.

**Tabella 7-1 Pesì Normali**

Soggiacenza	5
Alimentazione	4
Tessitura del saturo	3
Tessitura del suolo	2
Acclività	1
Tessitura del non saturo	5
Conducibilità idraulica	3

**Tabella 7-2 - Pesì Agricoli**

Soggiacenza	5
Alimentazione	4
tessitura del saturo	3
tessitura del suolo	5
Acclività	3
tessitura del non saturo	4
Conducibilità idraulica	2

La classe di vulnerabilità è stata quindi ottenuta sommando, in una griglia finale, i valori di ciascun parametro moltiplicati per i relativi pesi ed espressi in percentuale rapportandoli al punteggio massimo ottenibile (230); infine i valori ottenuti sono stati classificati nella seguente maniera:

1	Vulnerabilità massima	91-100%
2	Vulnerabilità estremamente alta	81-90%
3	Vulnerabilità molto alta	71-80%
4	Vulnerabilità alta	61-70%
5	Vulnerabilità mediamente alta	51-60%
6	Vulnerabilità mediamente bassa	41-50%
7	Vulnerabilità bassa	31-40%
8	Vulnerabilità molto bassa	21-30%
9	Vulnerabilità estremamente bassa	11-20%
10	Vulnerabilità minima	1-10%

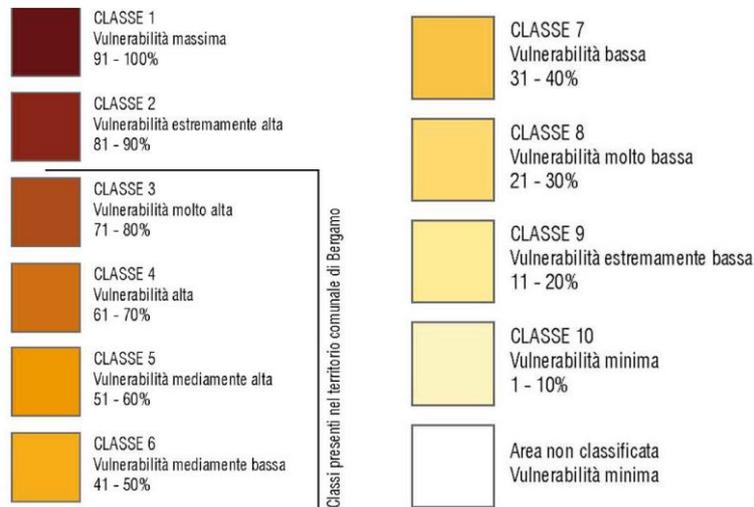
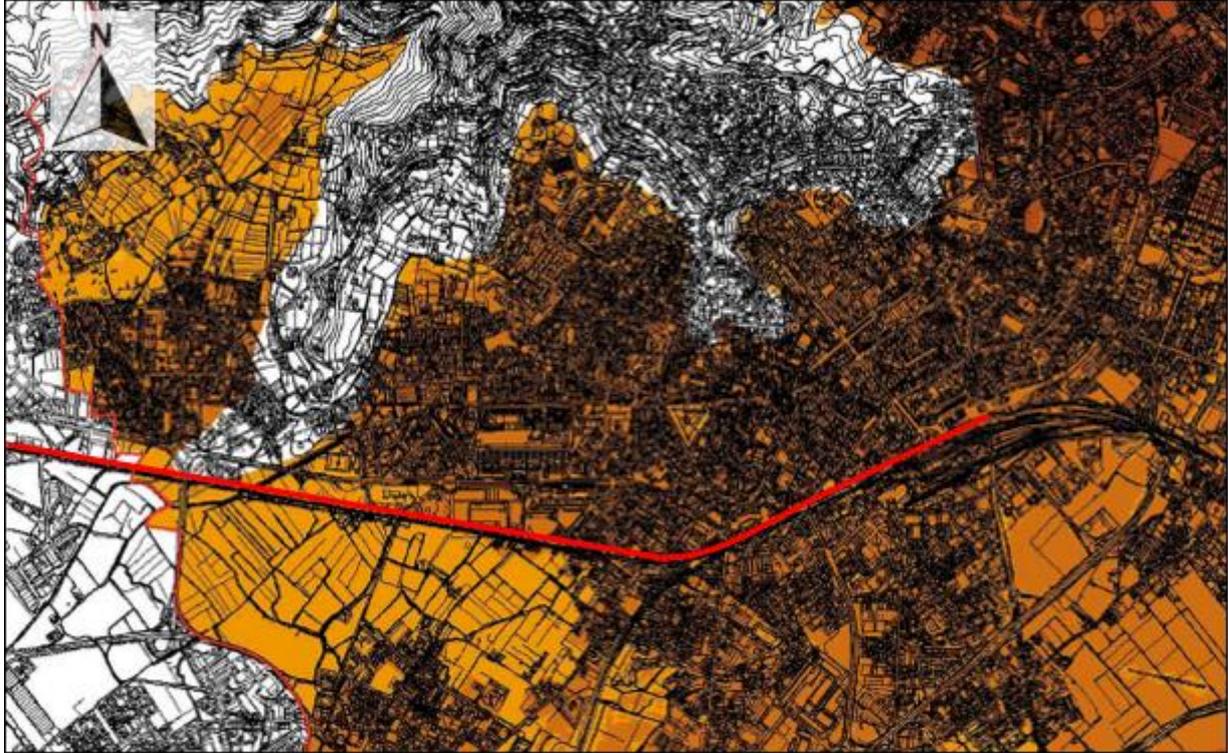
L'elaborazione fornisce i seguenti risultati:

Unità Geologiche	Grado di vulnerabilità con pesi normali		Grado di vulnerabilità con pesi agricoli	
	%	Classe vulnerabilità	%	Classe vulnerabilità
Complesso di Palazzago	36	bassa	51	mediamente bassa
Unità di Brembate	34	bassa	52-46	da med. alta a med. bassa
Complesso del Brembo	42	mediamente bassa	58	mediamente alta
Alluvioni Antiche del Brembo	44	mediamente bassa	60-56	mediamente alta
Riporto	43	mediamente bassa	60	mediamente alta
Alluvioni Attuali del Brembo	63	alta	79	molto alta

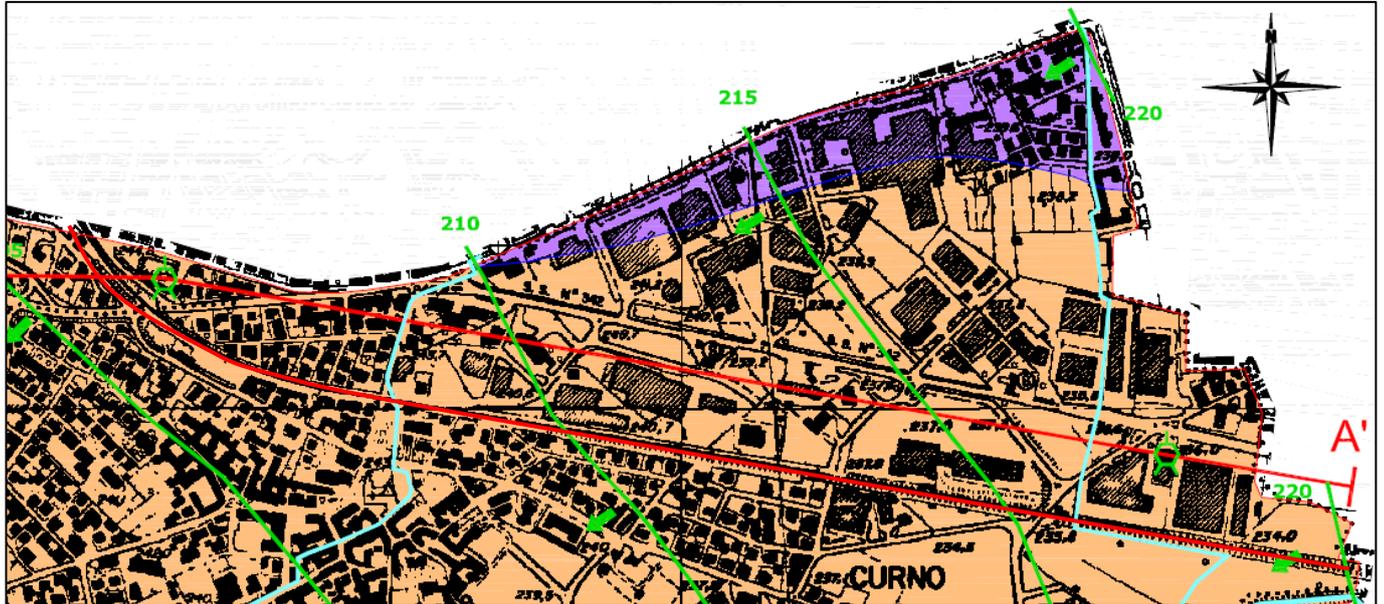
	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></p>												
<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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>50 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	50 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	50 di 128								

Il tracciato, nel comune di Curno, ricade nell'unità di Brembate quindi in una classe di permeabilità che va dal "basso" a "da mediamente alta a mediamente bassa".

Per quanto riguarda il comune di Mozzo, nei documenti del PGT non è incluso lo studio di vulnerabilità dell'acquifero; tuttavia, considerando che il tracciato, anche in questo comune, risulta impostato sull'unità di Brembate, si assegna cautelativamente la medesima classe di vulnerabilità del comune di Curno.



**Figura 7-1 – Stralcio (non in scala) con legenda della Carta della vulnerabilità dell’acquifero superficiale del PGT di Bergamo. In rosso è riportata la linea ferroviaria.**



- 

Aree a vulnerabilità della falda molto alta; depositi alluvionali terrazzati di natura ghiaiosa e sabbiosa con ciottoli e scarsissima matrice limosa, a supporto clastico, appartenenti al terrazzo alluvionale attuale e recente del fiume Brembo. Permeabilità del primo sottosuolo superiore a  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica mediamente < 10 m da p.c.; drenaggio ottimo.
- 

Aree a vulnerabilità della falda mediamente e alta; depositi alluvionali sabbiosi e ghiaiosi con ciottoli in matrice limosa, a supporto clastico, appartenenti al terrazzo alluvionale antico del fiume Brembo. Permeabilità del primo sottosuolo compresa fra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-2}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 40 m da p.c.; drenaggio molto buono.
- 

Aree a vulnerabilità della falda bassa; depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi con rari ciottoli in matrice limosa e argillosa, a supporto sia clastico che di matrice, appartenenti al Livello Fondamentale della Pianura. Permeabilità del primo sottosuolo compresa fra  $1 \times 10^{-4}$  e  $1 \times 10^{-3}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 40 m da p.c.; drenaggio scarso con possibile sviluppo di falde sospese.
- 

Aree a vulnerabilità della falda bassa; depositi colluviali di natura argillosa e argilloso-limosa con rari clasti residuali a supporto di matrice. Permeabilità del primo sottosuolo inferiore a  $1 \times 10^{-4}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica mediamente compresa tra 20 m e 30 m da p.c.; drenaggio pessimo con possibile sviluppo di falde sospese.
- 

Aree a vulnerabilità della falda mediamente alta; terreni rimaneggiati o di riporto di natura eterogenea. Permeabilità del primo sottosuolo superiore a  $5 \times 10^{-3}$  cm/sec. Soggiacenza della falda freatica prossima a 40 m da p.c.

**Figura 7-2 – Stralcio (non in scala) della Carta idrogeologica del PGT di Curno (con indicazione delle classi di vulnerabilità dell'acquifero). In rosso è riportata la linea ferroviaria.**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

## 8 INDAGINI

### 8.1 PREMESSA

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano:

- dalla campagna di indagini geognostica eseguita a supporto del PD “Raddoppio Ponte S. Pietro – Bergamo – Montello” (2019-2020);
- dalla campagna di indagini geognostica eseguita a supporto del PFTE “Raddoppio Ponte S. Pietro – Bergamo – Montello” (2017-2018);
- da stratigrafie di pozzi del database di Regione Lombardia e dai PGT comunali.

### 8.2 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019-2020 (PD RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELO)

#### 8.2.1 Indagini in Sito

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche, condotta tra il mese di settembre 2019 ed il mese di gennaio 2020, comprende l’esecuzione di n.18 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino alla profondità di 40 metri da p.c., di tomografie elettriche 2D e 3D, MASW e *Down Hole*.

Per lo studio dell’area di progetto non si sono considerate le indagini ricadenti ad Albano Sant’Alessandro e a Montello; pertanto sono state eliminate dalle successive tabelle riepilogative (n.3 sondaggi e n.5 MASW).

In Tabella 8-1 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 Lefranc, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati, rispettivamente, in Tabella 8-2,

Tabella 8-3 e Tabella 8-4.

**Tabella 8-1 – 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	
L1-S3	35	Settembre 2019	248.79	1553223.76	5059955.79	Piezometro PVC 3” a tubo aperto

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
L1-S4	30	Dicembre 2019	239.63	1562642.47	5058087.09	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S5	30	Gennaio 2020	239.39	1552049.95	5059599.61	PVC 3" Prova Down-hole
L1-S6	30	Gennaio 2020	238.07	1551634.28	5059484.45	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S7	35	Settembre 2019	236.50	1551381.85	5059296.43	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S8	32	Settembre 2019	236.50	1551197.57	5059306.32	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S9	30	Dicembre 2019	230.99	1550706.37	5059476.56	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S10	35	Settembre 2019	233.63	1549347.81	5059618.55	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S11	31.4	Settembre 2019	242.87	1547526.25	5059958.15	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S12	35	Settembre 2019	244.08	1547227.24	5060099.70	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S13	30	Ottobre 2019	237.94	1546839.64	5060768.71	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S14	40	Settembre 2019	220.80	1546249.20	5060911.89	PVC 3" Prova Down-hole
L1-S15	30	Ottobre 2019	227.27	1546120.23	5060887.39	Piezometro PVC 3" a tubo aperto
L1-S16	30	Settembre 2019	226.17	1545895.16	5060849.96	PVC 3" Prova Down-hole
L1-S17	40	Ottobre 2019	230.85	1545720.11	5060816.27	Piezometro PVC 3" a tubo aperto

In Tabella 8-2 e

Tabella 8-3 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi.

**Tabella 8-2 – Valori di Nspt registrati nei sondaggi Italferr 2019-2020 dal sondaggio L1-S3 al sondaggio L1-S10.**

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S3 (Nspt)	L1-S4 (Nspt)	L1-S5 (Nspt)	L1-S6 (Nspt)	L1-S7 (Nspt)	L1-S8 (Nspt)	L1-S9 (Nspt)	L1-S10 (Nspt)
1.4	-	-	-	-	16	-	-	-
1.5	-	25	-	-	-	15	-	15
2.5	-	-	32	-	-	-	-	-
3	13	18	13	29	17	19	10	-
3.5	-	-	-	-	-	-	-	23
3.7	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	20	R	16	22	-	28	11	28
4.6	-	-	-	-	14	-	-	-
4.8	-	-	-	-	-	-	-	-
5.4	-	-	-	-	-	-	-	-
6	31	56	16	13	-	75	7	29
6.4	-	-	-	-	16	-	-	-
7.1	-	-	-	-	-	-	-	-
7.5	40	50	11	7	24	-	-	-
7.7	-	-	-	-	-	-	-	24
8.5	-	-	-	10	-	-	-	-
9	23	-	18	-	R	R	10	25
10.5	-	41	-	-	-	-	-	-
11.5	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	18	19	37	50	R	28	49
12.5	-	-	-	-	-	-	-	-
12.8	18	-	-	-	-	-	-	-
14.6	-	-	-	-	-	-	-	-
15	22	17	19	42	24	R	22	45
16.5	-	-	-	-	-	32	-	-
17.8	-	-	-	-	-	-	-	R
18	40	-	25	34	16	69	16	-
21	50	R	29	-	31	R	-	R
21.5	-	-	-	-	-	-	R	-
24	R	R	-	-	39	69	12	R

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S3 (Nspt)	L1-S4 (Nspt)	L1-S5 (Nspt)	L1-S6 (Nspt)	L1-S7 (Nspt)	L1-S8 (Nspt)	L1-S9 (Nspt)	L1-S10 (Nspt)
26	-	-	-	-	-	25	-	-
27	R	R	-	-	R	-	R	R

**Tabella 8-3 - Valori di Nspt registrati nei sondaggi Italferr 2019-2020 dal sondaggio L1-S11 al sondaggio L1-S17.**

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S11 (Nspt)	L1-S12 (Nspt)	L1-S13 (Nspt)	L1-S14 (Nspt)	L1-S15 (Nspt)	L1-S16 (Nspt)	L1-S17 (Nspt)
1.4	-	9	-	-	-	-	-
1.5	-	-	-	R	-	9	-
3	24	-	R	R	R	19	-
3.2	-	-	-	-	-	-	26
3.5	-	19	-	-	-	-	-
4.5	R	23	R	-	R	23	-
4.8	-	-	-	-	-	-	29
6	R	-	75	R	R	26	59
6.6	-	26	-	-	-	-	-
7.5	R	32	-	-	-	32	56
8	-	-	-	-	R	-	-
9	R	25	-	R	-	25	R
10	-	-	23	-	-	-	-
11	-	-	-	-	R	-	-
12	15	R	R	R	-	R	R
14	-	-	-	-	R	-	-
15	R	22	R	R	R	22	R
18	R	55	R	R	R	R	R
21	R	43	R	R	R	R	-
21.5	-	-	-	-	-	-	R
23.4	-	-	-	-	-	-	R
24	R	R	R	R	R	R	-
27	-	R	R	-	R	-	-

In Tabella 8-4 e 6-5 si riportano i risultati delle prove Lefranc eseguite nei fori di sondaggio.

**Tabella 8-4 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite nei sondaggi Italferr 2019-2020 dal sondaggio L1-S3 al sondaggio L1-S10.**

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S3 (m/s)	L1-S4 (m/s)	L1-S7 (m/s)	L1-S8 (m/s)	L1-S9 (m/s)	L1-S10 (m/s)
2	-	-	-	-	-	1.50E-06
2.5	7.50E-06	-	-	-	-	-
2.8	-	-	-	-	4.7E-07	-
3	-	-	1.70E-05	-	-	-
5						
5.5	2.60E-06	-	-	-	-	1.80E-07
5.9	-	-	-	-	-	-
6.0	-	4.3E-06	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
7.8	-	-	-	6.70E-07	-	-
9	-	-	8.90E-06	-	-	-
10	-	6.7E-07			-	
15						
15.7	-	5.3E-07			-	

**Tabella 8-5 Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite nei sondaggi Italferr 2019-2020 dal sondaggio L1-S11 al sondaggio L1-S17.**

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S11 (m/s)	L1-S12 (m/s)	L1-S13 (m/s)	L1-S14 (m/s)	L1-S15 (m/s)	L1-S16 (m/s)	L1-S17 (m/s)
2.5	-	1.70E-05	-	-	-	1.90E-05	-
3.5	3.20E-05	-	-	-	-	-	-
5.2	-	2.40E-05	-	-	-	-	-
5.5	-	-		2.50E-05	-	1.10E-05	-
6	-	-	2.80E-05		-	-	-

Profondità Prova (m da p.c.)	L1-S11 (m/s)	L1-S12 (m/s)	L1-S13 (m/s)	L1-S14 (m/s)	L1-S15 (m/s)	L1-S16 (m/s)	L1-S17 (m/s)
7	-	-	-	-	perm. Elevata	-	-
11	-	-	perm. Elevata	-	perm. Elevata	-	-
11.4	-	-	-	-	-	-	2.00E-06
15	-	1.10E-05	-	-	-	-	-
15.9	-	-	-	-	-	2.80E-06	-
16	-	-	6.00E-05	-	-	-	-
17	-	-	-	-	perm. Elevata	-	-

### 8.2.2 Prove di laboratorio geotecnico

Si riporta in Tabella 8-6, Tabella 8-7 e Tabella 8-8, l'elenco delle prove di laboratorio geotecnico effettuate sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi.

**Tabella 8-6 - Prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi della campagna Italferr 2019-2020.**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CIU
L1-S03	CR1	4.5	x				
	CR2	7.5	x				
	CR3	9.8	x	x			
	CI1	10.4	x	x	x	x	x
	CR4	11	x	x			
	CI2	13.5	x	x	x		
	CR5	14.5	x	x			
	CR6	16.3	x	x			
	CR7	19.5	x	x			
	CR8	21.3	x	x			
	CR9	32.3	x	x			
L1-S07	CR1	4.5	x	x			
	CR2	7.5	x	x			
	CR3	10.5	x				

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CIU
	CR4	11.5	x				
	CR5	14.5	x				
	CR6	15.3	x				
	CR7	19.5	x				
	CR8	22.3	x	x			
	CR9	27.3	x	x			

**Tabella 8-7 - Prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi della campagna Italferr 2019-2020.**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CU
L1-S08	CR1	4.3	x	x			
	CR2	5.3	x	x			
	CI1	7.5	x	x			
	CR3	8.3	x	x			
	CR4	10.3	x	x			
	CR5	14.3	x	x			
	CI2	16.5	x	x	x		
	CR6	17.1	x	x			
	CR7	19.3	x	x			
	CR8	26.3	x	x			
L1-S10	CI1	3.5	x	x			
	CR1	4.5	x	x			
	CI2	6.5	x	x	x	x	
	CR2	7.5	x	x			
	CR3	10.5	x	x			
	CI3	13.5	x	x			
	CR4	14.5	x	x			
	CR5	18	x	x			
	CR6	19.5	x	x			
	CR7	20.8	x	x			
	CR8	25.3	x	x			
CR9	31.3	x	x				
L1-S11	CR1	4.3	x				
	CR2	7.3	x				
	CR3	9	x				

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CU
	CR4	10.3	x				
	CI1	13	x				
	CR5	14.3	x	x			
	CR6	15.8	x	x			
	CR7	17.7	x				
	CR8	19.3	x				
	CR9	25	x	x			
	CR10	26.5	x	x			

**Tabella 8-8 - Prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi della campagna Italferr 2019-2020.**

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CU
LI-S12	CR1	4.3	x				
	CR2	7.3	x				
	CR3	10.3	x				
	CR4	11.3	x				
	CR5	14.3	x				
	CR6	18.8	x	x			
	CR7	19.3	x				
	CR8	21.7	x	x			
	CR9	28.3	x	x			
LI-S14	CR1	4.5	x				
	CR2	7.5	x				
	CR3	9.3	x				
	CR4	10.5	x				
	CR5	12.8	x				
	CR6	14.5	x				
	CR7	19.5	x				
	CR8	22.3	x				
	CR9	26.3	x	x			
LI-S16	CR1	4.3	x				
	CR2	7.3	x				
	CR3	9.3	x				
	CR4	10.3	x				
	CR5	14.3	x	x			

Sondaggio	Campione	Profondità (m da p.c.)	Granulometria	Limiti di Atterberg	Edometrica	Taglio diretto	Triassiale CU
	CR6	17.8	x				
	CR7	19.3	x				
	CR8	21.3	x	x			

### 8.3 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2017-2018 (PFTE RADDOPPIO PONTE S. PIETRO – BERGAMO – MONTELLO)

#### 8.3.1 Indagini in Sito

A supporto della fase di progettazione PFTE è stata condotta una campagna di indagini geognostiche e geofisiche tra il mese di dicembre 2017 ed il mese di gennaio 2018, comprendente l'esecuzione di n.12 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a 50 metri da p.c. e indagini geofisiche.

Tra i 12 sondaggi non è stato considerato il sondaggio PNBGF1012 (ad Albano Sant'Alessandro) poiché fuori dall'area di studio.

In Tabella 8-9 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 del progetto 2018. I risultati delle prove SPT e Lefranc, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati, rispettivamente, in Tabella 8-9.

**Tabella 8-9 – Sondaggi campagna Italferr 2017-2018**

SONDAGGIO	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
PNBGF1F01	30	19/12/2017	236.42	1545492.189	5060778.801	Piezometro
DHBGF1P02	50	20/12/2017	227.3	1545873.292	5060908.715	Piezometro
PNBGF1V03	30	06/12/2017	226.3	1546243.697	5060951.835	Tubazioni rigide per prova Down-hole
PNBGF1O04	30	29/11/2017	229.8	1546679.427	5060943.812	Piezometro
PNBGF1C05	30	04/12/2017	242.6	1546983.065	5060593.755	Piezometro
PNBGF1O06	30	01/12/2017	244.8	1547167.362	5060216.415	Piezometro

PNBGF1007	30	13/12/2017	243.7	1547704.392	5060006.364	Piezometro
PNBGF1008	30	11/12/2017	235.8	1548528.158	5059851.656	Piezometro
DHBGF1C09	30	28/12/2017	235.1	1549119.353	5059727.744	Tubazioni rigide per prova Down-hole
PNBGF1010	30	02/12/2017	232.8	1550137.228	5059551.404	Piezometro
PNBGF1011	30	02/01/2018	254.1	1554199.039	5059671.290	Piezometro

In

Tabella 8-10 e Tabella 8-11 si riportano i risultati delle prove SPT eseguite nei sondaggi.

**Tabella 8-10 – Valori di Nspt registrati nei sondaggi da PNBGF1001 a PNBGF1006 (Italferr 2017-2018).**

Profondità Prova (m da p.c.)	PNBGF1F01 (Nspt)	DHBGF1P02 (Nspt)	PNBGF1V03 (Nspt)	PNBGF1O04 (Nspt)	PNBGF1C05 (Nspt)	PNBGF1O06 (Nspt)
1.5	-	81	-	29	-	-
3	R	-	23	-	21	9
4.5	-	R	-	R	-	-
6	19	-	54	-	34	62
7.5	-	-	-	R	-	-
9	50	-	76	-	50	82
10.5	-	-	-	R	-	-
12	R	-	R	-	30	R
15	R	-	R	-	-	R
18	R	-	R	-	-	R
21	R	-	R	-	-	R
24	R	R	R	-	-	R
27	-	-	-	65	-	-
29.5	-	-	R	R	-	37
30	-	R	-	-	-	-

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 09 D 69	<b>CODIFICA</b> RG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0001 001	<b>REV.</b> A

**Tabella 8-11 - Valori di Nspt registrati nei sondaggi da PNBGF1007 a PNBGF1011 (Italferr 2017-2018).**

Profondità Prova (m da p.c.)	PNBGF1007 (Nspt)	PNBGF1008 (Nspt)	DHBGF1C09 (Nspt)	PNBGF1010 (Nspt)	PNBGF1011 (Nspt)
1.5	8	-	-	2	-
3	-	14	8	-	70
4.5	10	-	-	14	-
6	-	78	R	-	7
7.5	17	-	-	5	-
9	-	R	-	-	R
10.5	12	-	-	9	-
12	-	46	-	-	R
13.5	-	-	-	8	-
15	37	54	-	-	R
18	60	60	-	69	R
21	R	53	-	33	R
24	48	27	-	R	-
29.5	R	11	-	47	-

In Tabella 8-12 e

Tabella 8-13 si riportano i risultati delle prove Lefranc eseguite nei fori di sondaggio.

**Tabella 8-12 – Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite nei sondaggi Italferr 2017-2018.**

Profondità Prova (m da p.c.)	PNBGF1F01 (m/s)	DHBGF1P02 (m/s)	PNBGF1V03 (m/s)	PNBGF1O04 (m/s)	PNBGF1O06 (m/s)	PNBGF1O07 (m/s)
8	-	-	-	-	5.37E-04	-
7	1.84E-07	-	-	-	-	-
10	-	-	9.14E-06	-	-	-
11.5	-	-	-	2.59E-05	-	8.09E-06
28.5	-	5.29E-06	-	-	-	-
44.5	-	1.20E-06	-	-	-	-

**Tabella 8-13 Valori di K (m/s) calcolati tramite prove Lefranc eseguite nei sondaggi Italferr 2017-2018.**

Profondità Prova (m da p.c.)	PNBGF1008 (m/s)	PNBGF1010 (m/s)	PNBGF1011 (m/s)
2	4.71E-07	2.46E-06	-
7	-	-	1.28E-05
12	-	-	-
16	7.85E-07	-	-

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>65 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	65 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	65 di 128								

## 9 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo viene effettuata una descrizione di dettaglio della stratigrafia lungo il tracciato in esame e delle aree dove sono previste le varianti di viabilità, con particolare riferimento ai profili geologici elaborati a partire dai sondaggi effettuati a supporto della progettazione.

Il profilo geologico relativo alla linea Bergamo-Ponte San Pietro è illustrato negli elaborati NB1R09D69FZGE0001001A e NB1R09D69FZGE0001002A.

Lungo la tratta da Bergamo a Ponte San Pietro, la linea ferroviaria corre interamente nella fascia di pianura lombarda a ridosso della fascia collinare ed è prevalentemente impostata su depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi appartenenti principalmente al Supersintema della Morla, alle alloformazioni di Bordogna, Brembate, e Bonate e agli allogruppi di Gorle e Palazzago.

Si fa notare come, vista l'estensiva urbanizzazione del territorio, pressoché l'intera area del tracciato ricade su variabili spessori di materiali antropici non riportati in carta geologica al fine di dare evidenza in superficie delle unità geologiche sottostanti tali materiali. Nei profili viene comunque riportato uno spessore variabile di antropico a seconda delle evidenze emerse dai sondaggi e dall'area considerata.

In sintesi, dunque la linea ricade sulle seguenti Unità:

- Da p.k. 0+000 a p.k. 4+620 Gruppo della Morla (OR);
- Da p.k. 4+620 a p.k. 6+200 Sintema di Brembate (BEB);
- Da p.k. 6+200 a p.k. 6+520 Unità di Ponte San Pietro (BPO);
- Da p.k. 6+520 a p.k. 6+890 Supersintema di Lenna (LE);
- Da p.k. 6+890 a p.k. 7+040 Sintema del Po (POI);
- Da p.k. 7+040 a p.k. 7+400 Supersintema di Lenna (LE);
- Da p.k. 7+400 a p.k. 7+480 Sintema del Po (POI);
- Da p.k. 7+480 a p.k. 7+515 Supersintema di Lenna (LE);
- Da p.k. 7+515 a p.k. 7+744 Unità di Bonate (BTE).

### 9.1 LINEA BERGAMO - PONTE SAN PIETRO (DA P.K. L.S. 22+700 A 21+900 E P.K. PD DA 0+000 A 7+744)

Facendo riferimento ai profili geologici da NB1R09D69N5GE0001001A a NB1R09D69N5GE0001002A, partendo dalla zona orientale di Bergamo e più precisamente dallo scalo della stazione, dove è stato eseguito il sondaggio L1-S3, alla p.k. 22+600 della linea storica, per spostarsi in direzione della stazione di Ponte San Pietro, la tratta, fino alla p.k. 4+880, è impostata sui depositi del Supersintema della Morla. I sondaggi che ricadono in quest'area mostrano

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>66 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	66 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	66 di 128								

un profilo prevalentemente ghiaioso-sabbioso con la presenza di importanti spessori di materiale fine (limo e argilla) più o meno estese. A profondità superiori ai 20 metri si incontra un livello conglomeratico alterato a variabile grado di fratturazione, rinvenuto a partire dal sondaggio L1-S4 sino al sondaggio L1-S9, verticali poste alle progressive km 0+400, 1+286, 1+468 e 2+030. Nel sondaggio L1-S4, dalla profondità di 18.8m da p.c. fino a fondo foro, si incontra uno strato di presunto conglomerato poligenico con un elevato grado di alterazione e molto fratturato, proseguendo, nel sondaggio L1-S7 vengono intersecati due livelli di conglomerato rispettivamente dai 29 ai 30 metri di profondità da piano campagna e dai 34 ai 35 metri di profondità da piano campagna mentre, nel sondaggio L1-S8 lo spessore aumenta, in quanto questo livello viene incontrato a 27 metri da piano campagna per arrivare fino a fondo foro, a 32 metri da p.c.. Infine, dal sondaggio L1-S9 si osserva una diminuzione dello spessore di questo livello conglomeratico che si interdigita con i più diffusi depositi ghiaiosi sabbiosi del gruppo della Morla.

Inoltre, si fa notare la presenza di uno strato argilloso-limoso presso la progressiva 1+500, che, passando per il sondaggio L1-S9 aumenta di spessore sino ad un massimo presso la progressiva 3+350 dove, il sondaggio L1-S10 ne mostra la presenza da 2 metri da p.c. fino a fondo foro, 35m da p.c.; si sottolinea come tale materiale fine includa spesso ghiaia dispersa nella matrice limo-argillosa. Questo livello si interdigita con i depositi ghiaioso sabbiosi fino al sondaggio PNBGF1010 posto alla p.k. 2+600, dove lo spessore del materiale fine si riduce a 7 metri (da 10 metri da p.c. a 17 metri da p.c.). Alla progressiva 3+650 il sondaggio DHBGF1C09 mostra, da 4m da p.c., uno spesso strato arenaceo attribuibile al Flysch di Bergamo, il quale però risulta essere un corpo isolato, non mostrando continuità laterale in altri sondaggi.

Dal sondaggio PNBGF1O08, alla p.k. 4+220, fino al sondaggio PNBGF1O07, posto alla p.k. 5+060, si osserva, al di sotto di ghiaie in matrice limosa, la presenza di uno strato argilloso dai 24m da p.c. fino ai 30m. Il sondaggio PNBGF1O08 evidenzia la presenza di due lenti ghiaiose a 30 e a 25 metri da p.c, aventi spessore di circa 1.5m.

Dal sondaggio PNBGF1O07 il tracciato attraversa i depositi dell'alloformazione di Brembate, in cui si riduce la presenza di livelli di materiale fine, mentre predominano i materiali ghiaioso-sabbiosi. Lo spessore di questa formazione è in media 10 metri da piano campagna, mentre al di sotto si rinviene ancora il Gruppo della Morla.

In particolare, la stratigrafia del sondaggio in esame, mostra un passaggio tra le due unità a 7.5 metri da piano campagna per continuare poi con uno spesso livello di ghiaia e sabbia con presenza di matrice fine. Questa successione stratigrafica si incontra fino alla p.k. 6+200 ed i sondaggi interessati sono L1-S11 (p.k. 5+200), L1-S12 (p.k. 5+540), PNBGF1O06 (p.k. 5+650) e il sondaggio PNBGF1C05 (p.k. 6+060). In particolare, i sondaggi L1-S11 e PNBGF1C05 mostrano la presenza del Flysch di Bergamo, a partire rispettivamente da 25.5 e 14.5 metri da p.c., in corpi che non mostrano continuità laterale.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>67 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	67 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	67 di 128								

Alla p.k. 6+300, il sondaggio L1-S13 mostra la presenza, nei primi metri, dell'Unità di Ponte San Pietro, per tornare poi, dai 4 metri da p.c. nell'alloformazione di Brembate e dai 6 metri, nuovamente nel gruppo della Morla fino ai 20 metri di profondità in cui si incontra il Ceppo del Brembo.

Dal sondaggio PNBGF1004 (p.k. 6+550) fino al sondaggio L1-S17 (p.k. 7+480) si osserva una stratigrafia piuttosto costante in cui, superficialmente, affiora il Supersinetma di Lenna, in eteropia verso est con il gruppo della Morla e costituita da ghiaie a supporto clastico, mentre al di sotto si incontra il Ceppo del Brembo, deposito fluviale a prevalenza di conglomerato clasto sostenuto con locale supporto di matrice arenacea. In questo tratto il tracciato attraversa i corpi fluviali del Torrente Quisa e del Fiume Brembo.

In sezione il Ceppo del Brembo si trova anche sottoforma di corpi ghiaiosi non cementati con presenza di lenti argillose continue dai 25-30 metri di profondità da piano campagna. In particolare, il sondaggio L1-S14, posto alla p.k. 6+950, mostra la presenza del Flysch di Bergamo a partire dai 30m da p.c. fino a fondo foro, a 40 metri di profondità, mentre i sondaggi L1-S16 (p.k. 7+300), DHBGF1P02 (p.k. 7+ 370) ed L1-S17 (p.k.7+ 480) mostrano la presenza di uno spesso strato di conglomerato dai 6/7 metri di profondità fino ad un massimo di 40 metri da p.c.. Questi conglomerati fanno parte dell'alveo del fiume Brembo che scorre in prossimità dei sondaggi appena citati. Inoltre, il sondaggio DHBGF1P02 mostra uno spessore delle lenti argillose, all'interno del Ceppo del Brembo, attorno agli 8 metri (tra i 35 e i 43 metri di profondità da p.c.), per proseguire al di sotto con le ghiaie clasto sostenute. Il tracciato si conclude poi presso stazione di Ponte S. Pietro (p.k. 7+744), dove il sondaggio PNBGF1F01 mostra la presenza dell'Alloformazione di Bonate, formato da ghiaie clasto sostenute con matrice sabbiosa, fino agli 8 metri di profondità da p.c. per proseguire nelle ghiaie del Supersintema di Lenna fino ai 19 m da p.c., e concludersi ai 30m di profondità nei conglomerati del Ceppo del Brembo.

Per quanto concerne la falda, sulla base delle letture piezometriche realizzate nei piezometri installati lungo la linea, essa risulta avere un andamento piuttosto discontinuo, variabile a seconda dell'assetto stratigrafico. In generale si riscontra la presenza di una falda continua a profondità via via decrescenti a partire dal territorio orientale della città di Bergamo sino a Ponte San Pietro, ove essa si raccorda agli elementi idrografici presenti, mentre nella porzione più occidentale del tracciato essa risulta individuabile solo localmente ed a profondità elevate, probabilmente connessa alla circolazione idrica nei conglomerati. Si riscontra la presenza di acque sotterranee talvolta a pochi metri da p.c. (L1-S8, L1-S10), tuttavia si ritiene che tali evidenze siano legate ad accumuli idrici sospesi al di sopra di importanti livelli a bassa permeabilità. Come accennato è stata realizzata una campagna di monitoraggio piezometrico a partire da novembre 2019, sia per quanto riguarda i piezometri realizzati in fase di Progetto di Fattibilità, sia, via via che venivano completati, per quanto riguarda i piezometri installati per il Progetto Definitivo P.S. Pietro-Bergamo-Montello. Si rimanda al paragrafo 9.2.3 per un'analisi di dettaglio dei dati registrati.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>68 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	68 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	68 di 128								

## 9.2 DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLA COMPONENTE IDROGEOLOGICA E IDROGRAFICA

### 9.2.1 Permeabilità dei depositi

Sulla base dei dati stratigrafici utilizzati per elaborare il modello geologico di riferimento, delle prove di permeabilità Lefranc, realizzate durante la campagna di indagine 2019-2020, e dei dati bibliografici a disposizione è stato elaborato un profilo idrogeologico lungo la linea (elaborati NB1R09D69N5GE0002001A e NB1R09D69N5GE0002002A). I profili idrogeologici evidenziano la permeabilità dei materiali presenti nelle aree di studio, oltre che la quota della falda rilevata durante la campagna di monitoraggio piezometrico eseguita tra ottobre 2019 e gennaio 2020 (paragrafo 9.2.3).

Partendo dallo scalo della stazione di Bergamo, dove è stato eseguito il sondaggio L1-S3, alla p.k. 22+600 della linea storica, per spostarsi in direzione della stazione di Ponte San Pietro, la tratta, fino alla p.k. 4+880, è impostata sui depositi del Supersistema della Morla. I sondaggi che ricadono in quest'area mostrano materiali prevalentemente a permeabilità medio-alta nel sondaggio L1-S3, con un livello a bassa permeabilità tra 6 e 13m da p.c., seguiti da spessori maggiori a permeabilità da bassa a medio-bassa nei sondaggi L1-S4 e L1-S5, L1-S5, ove i materiali limoso-argillosi con inclusi ghiaiosi risultano maggioritari. In profondità è stato rinvenuto un livello conglomeratico piuttosto continuo, rinvenuto sino al sondaggio L1-S9, a permeabilità medio-bassa. I sondaggi L1-S7 e L1-S8 mostrano maggior abbondanza di materiali ghiaiosi a permeabilità medio-alta sino a profondità tra i 19 ed i 22 metri, seguiti da livelli a permeabilità medio-bassa.

Il sondaggio PNBGF1O10 rileva la presenza di materiali a permeabilità medio-alta sino a 30 metri da p.c., intervallati da uno strato a permeabilità medio-bassa tra 10 e 15 metri da p.c., strato che, proseguendo lungo la linea, si inspessisce andando poi a rappresentare la totalità del profilo stratigrafico nel sondaggio L1-S10. A breve distanza il sondaggio DHBGF1C09 mostra, da 4 metri da p.c., uno spesso strato arenaceo a bassa permeabilità, il quale però risulta essere un corpo isolato, non mostrando continuità laterale in altri sondaggi. Dal sondaggio PNBGF1O08, alla p.k. 4+220, fino al sondaggio PNBGF1O07, posto alla p.k. 5+060, si osserva, al di sotto di materiali a permeabilità medio-elevata, la presenza di uno strato a bassa permeabilità dai 24 metri da p.c. fino ai 30 metri, ed in quest'ultimo sondaggio, uno spesso strato di ghiaie in matrice limosa a permeabilità medio-bassa. Il sondaggio PNBGF1O08 evidenzia la presenza di due lenti ghiaiose poste a 30 e a 25 metri da p.c, aventi spessore di circa 1.5 metri.

Dal sondaggio PNBGF1O07 il tracciato attraversa i depositi in cui si riduce la presenza di livelli di materiale fine, mentre predominano i materiali ghiaioso-sabbiosi a permeabilità medio-elevata. Questa successione stratigrafica si incontra fino alla p.k. 6+200 e i sondaggi interessati sono L1-S11 (p.k. 5+200), L1-S12 (p.k. 5+540), PNBGF1O06 (p.k. 5+650) e il sondaggio PNBGF1C05 (p.k. 6+060). In particolare, i sondaggi L1-S11 e PNBGF1C05 mostrano

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>69 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	69 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	69 di 128								

la presenza di materiali litoidi a bassa permeabilità, a partire rispettivamente da 25.5 e 14.5 m da p.c., in corpi che non mostrano continuità laterale.

Alla p.k. 6+300, il sondaggio L1-S13 mostra la presenza, di materiali a permeabilità medio-elevata fino ai 20 metri di profondità, alla quale si incontra il Ceppo del Brembo, a bassa permeabilità. Dal sondaggio PNBGF1O04 (p.k. 6+550) fino al sondaggio L1-S17 (p.k. 7+480) si osserva una stratigrafia piuttosto costante in cui, superficialmente, affiorano materiali a permeabilità medio-elevata, come confermato dalle prove di permeabilità Lefranc realizzate, mentre al di sotto si incontrano sia livelli limoso-argillosi a bassa permeabilità, sia materiali litoidi afferenti al Flysch di Bergamo ed al ceppo del Brembo. In particolare, il sondaggio L1-S14, posto alla p.k. 6+950, mostra la presenza del Flysch di Bergamo, dunque materiale caratterizzato da una permeabilità bassa per fratturazione a partire dai 30 m da p.c. fino a fondo foro, a 40 metri di profondità, mentre i sondaggi L1-S16 (p.k. 7+300), DHBGF1P02 (p.k. 7+370) ed L1-S17 (p.k. 7+480) mostrano la presenza di uno spesso strato di conglomerato dai 6/7 metri di profondità fino ad un massimo di 40 metri da p.c..

Il tracciato si conclude presso stazione di Ponte S. Pietro (p.k. 7+744), dove il sondaggio PNBGF1F01 mostra la presenza di materiali prevalentemente grossolani a permeabilità medio-elevata, fino a oltre 20 metri da p.c., e concludersi ai 30 metri di profondità nei conglomerati del Ceppo del Brembo a bassa permeabilità.

### 9.2.2 Andamento della falda

Per quanto concerne la falda, sono state eseguite le letture dei piezometri installati nei sondaggi realizzati sia in fase di progetto definitivo a partire dal novembre 2019, sia precedentemente in fase di progetto di fattibilità.

Le misure hanno restituito i seguenti valori di soggiacenza:

- 1) compresi tra 35 metri e 27 metri da p.c. tra le p.k. 0+000 e 1+350, dove l'assetto stratigrafico mostra la predominanza di depositi ghiaioso sabbiosi. Confrontando i valori di soggiacenza misurati con quelli ricavati dalle isopieze riportate sulla carta idrogeologica del PGT di Bergamo è possibile osservare come i valori misurati siano in linea con quelli del PGT presso l'area della stazione (piezometro L1-S3), per poi risultare via via superiori, con una differenza di circa 20 metri, presso il piezometro L1-S8.
- 2) compresi tra 3 metri e 12 metri da p.c. tra le p.k. 1+350 e 3+350, dove la maggior abbondanza di depositi argilloso-limosi probabilmente dà origine alla presenza di falde sospese, mentre non dà evidenza della falda rilevata nel tratto precedente. In tal caso si nota una differenza ragguardevole tra i dati misurati nei piezometri ed i dati teorici ricavati dalle isopieze della cartografia idrogeologica del PGT di Bergamo. In tal caso infatti si riscontra una differenza compresa tra 20 e 30 metri, differenza che, come sopra accennato, può essere spiegata se si considera che i valori di soggiacenza misurati nei piezometri si riferiscono ad una probabile falda sospesa, mentre i valori riferiti alle isopieze del PGT comunale sono riferiti alla falda principale di carattere regionale.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>70 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	70 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	70 di 128								

- 3) compresi tra i 19 metri ed i 22 metri da p.c. tra le p.k. 4+200 e 6+000, dove nuovamente la presenza di depositi più grossolani favorisce probabilmente la formazione di un'unica falda la cui superficie si attesta ad una quota abbastanza costante sino alla p.k. 5+000. Tale evidenza viene confermata dal confronto tra i dati di soggiacenza misurati nei piezometri ed i dati ricavati dalle isopieze della cartografia idrogeologica del PGT del comune di Curno. In tal caso infatti il dato relativo al piezometro PNBGF1O08 risulta conforme con il dato calcolato dalle isopieze. Risultano invece ancora divergenti i dati tra la p.k. 5+000 e 6+000, ove i dati misurati nei piezometri risultano superiori rispetto a quelli calcolati dalle isopieze di oltre 20 metri.
- 4) compresi tra 16 metri e 29 metri da p.c. tra le p.k. 6+000 e 7+700, dove la presenza di materiali litoidi in profondità, di spessi livelli di materiale argillo-limoso e dei due elementi idrografici maggiori dell'area (fiume Brembo e Torrente Quisa), determina un andamento della superficie piezometrica piuttosto irregolare. Ciò è confermato da un confronto con la cartografia idrogeologica del comune di Ponte San Pietro, sulla base della quale è possibile osservare, in prossimità del Brembo, una differenza tra i valori di soggiacenza misurati nei piezometri ed i valori calcolati a partire dalle linee isopieze della carta di 6-8 metri. Nell'area prossima al confine tra il comune di Ponte San Pietro e quello di Mozzo (tra le p.k. 6+000 e 7+000) non si hanno a disposizione dati relativi all'andamento della falda generale, dunque non è possibile effettuare un confronto con i dati di soggiacenza misurati.

Si rimanda al paragrafo 9.2.3 per il dettaglio di tutte le misure effettuate.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>71 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	71 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	71 di 128								

### 9.2.3 Campagna di monitoraggio idrogeologico 2019-2020

Tra ottobre 2019 e gennaio 2020 Italferr ha realizzato n. 11 nuovi piezometri a tubo aperto per il monitoraggio della falda lungo la linea Bergamo Ponte San Pietro. A valle dell’installazione, a partire da ottobre 2019, è iniziata una campagna di monitoraggio quantitativo della falda atta ad ottenere dati inerenti le oscillazioni della falda stessa in prossimità delle maggiori opere in progetto; oltre ai piezometri di nuova installazione sono stati rilevati anche 8 piezometri realizzati in precedenza per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica.

Si riportano in Tabella 9-1 i dati di soggiacenza e le quote piezometriche registrati sino al mese di settembre 2020.

I dati di soggiacenza e piezometria riportati in Tabella 9-1 vengono inoltre plottati nel grafico in Figura 9-1; tale grafico consente di visualizzare, per il periodo di monitoraggio che va da ottobre 2019 a settembre 2020, la variazione della falda in termini di soggiacenza da piano campagna attuale e quote assolute.

Analizzando i dati bibliografici e considerando i dati a disposizione, e considerando quanto esposto nel paragrafo 6.1, è possibile affermare che la falda oggetto di monitoraggio, nel periodo ottobre-dicembre, sia da considerarsi in regime di morbida, e progressivamente in transizione verso il regime di magra tardo invernale/inizio primavera. Si nota infatti come i valori minimi di soggiacenza (quota piezometrica massima) siano relativi al periodo autunnale, in questo caso a novembre, a valle di un periodo di precipitazioni piuttosto intense, mentre tali valori aumentano (quote piezometriche in diminuzione), nei mesi invernali.

In generale, a partire da maggio, la quota della falda inizia a risalire raggiungendo i valori massimi nei mesi di luglio e agosto.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 09 D 69	<b>CODIFICA</b> RG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0001 001	<b>REV.</b> A

	<b>L1-S8</b>		-19,55	-20	ASCIUTTO	-27,02	SPURGO	ASCIUTTO	ASCIUTTO	NON ACCESSIBILE	NON ACCESSIBILE	NON ACCESSIBILE	NON ACCESSIBILE
	<b>L1-S9</b>		NON TROVATO	Lucchettato	-1,68	-2,01	SPURGO	-3,52	-2,96	-1,61	-1,62	-1,56	-1,7
	<b>L1-S10</b>		NON ACCESSIBILE	-8,85	-9,01	-9,55	SPURGO	-10,32	-9,64	-8,62	-8,31	-8,42	-8,77
	<b>L1-S11</b>		-14,9	-9,42	-20,42	-20,84	SPURGO	-21,78	-21,51	-20,07	-18,29	-18,06	-20,53
	<b>L1-S12</b>		-16,05	-17,25	-18,12	-18,63	SPURGO	-19,52	-19,87	-18,33	-17,89	-17,58	NON ACCESSIBILE
	<b>L1-S13</b>		-19,3	-23,37	-23,83	-24,09	SPURGO	-25,36	-25,78	-24,52	-23,3	-23,25	-25,25
	<b>L1-S17</b>		-15,7	-8,41	-18,68	-18,96	SPURGO	-20,04	-19,69	-18,79	-18,34	-18,06	-19,06

**Tabella 9-1 - Letture piezometriche eseguite nei piezometri installati per il PFTE e per il PD del raddoppio della linea Ponte San Pietro – Bergamo - Montello (2019-2020), presenti nella fascia Ponte San Pietro-Bergamo.**

\* Valori possibilmente affetti da errore di lettura o influenzati dalla presenza di acqua di perforazione.

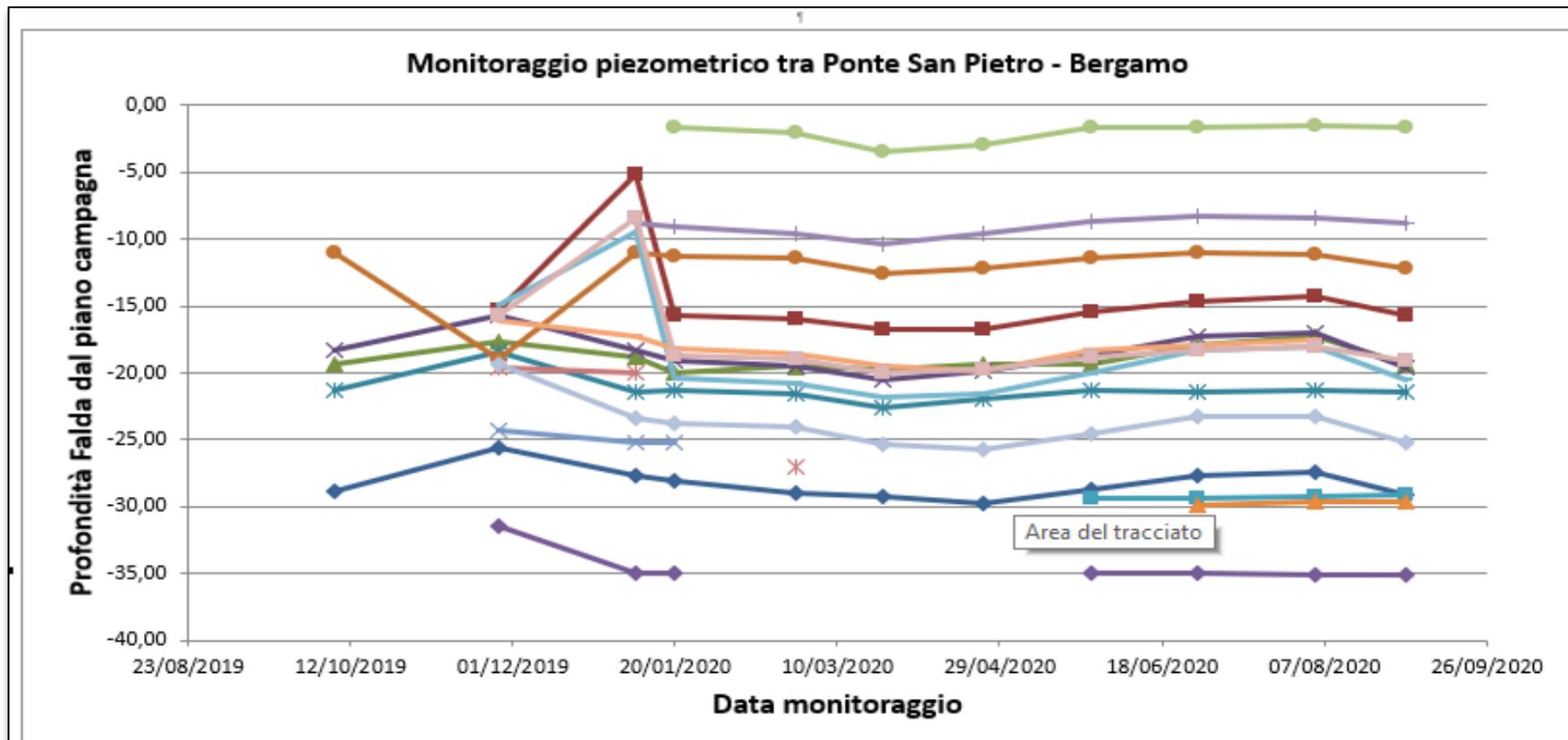


Figura 9-1 – Variazioni di soggiacenza da ottobre 2019 a settembre 2020 per tutti i piezometri oggetto di monitoraggio e installati sia in fase di PFTE che in fase di PD, nella fascia Ponte San Pietro-Bergamo.

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO**

**LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo**

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	75 di 128

 PNBGF1001	 PNBGF1V03	 PNBGF1004	 PNBGF1006
 PNBGF1008	 PNBGF1010		
	 L1-S3	 L1-S4	 L1-S6
 L1-S7	 L1-S8	 L1-S9	 L1-S10
 L1-S11	 L1-S12	 L1-S13	 L1-S17

**Legenda Figura 9-1.**

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>76 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	76 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	76 di 128								

## 10 ANALISI DELLE CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE, IDRAULICHE E GEOLOGICHE

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

### 10.1 CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE

I territori attraversati dal tracciato oggetto di studio, come già ampiamente descritto, appartengono all'area di pianura della provincia e del comune di Bergamo, ove gli elementi fonte di possibile criticità geomorfologiche risultano estremamente ridotti sia in numero che in entità. Essendo però a ridosso della catena dei colli e generalmente della fascia prealpina alcune zone possono mostrare alcune criticità sotto questo aspetto. Al fine di identificare possibili aree pericolose dal punto di vista geomorfologico e conseguenti aree classificate a rischio è stata analizzata sia la cartografia dei PGT comunali, che integra tali elementi, sia la cartografia PAI redatta ed aggiornata al 2020 che integra tutti gli studi di fattibilità geologica prodotti dai singoli comuni della Regione Lombardia.

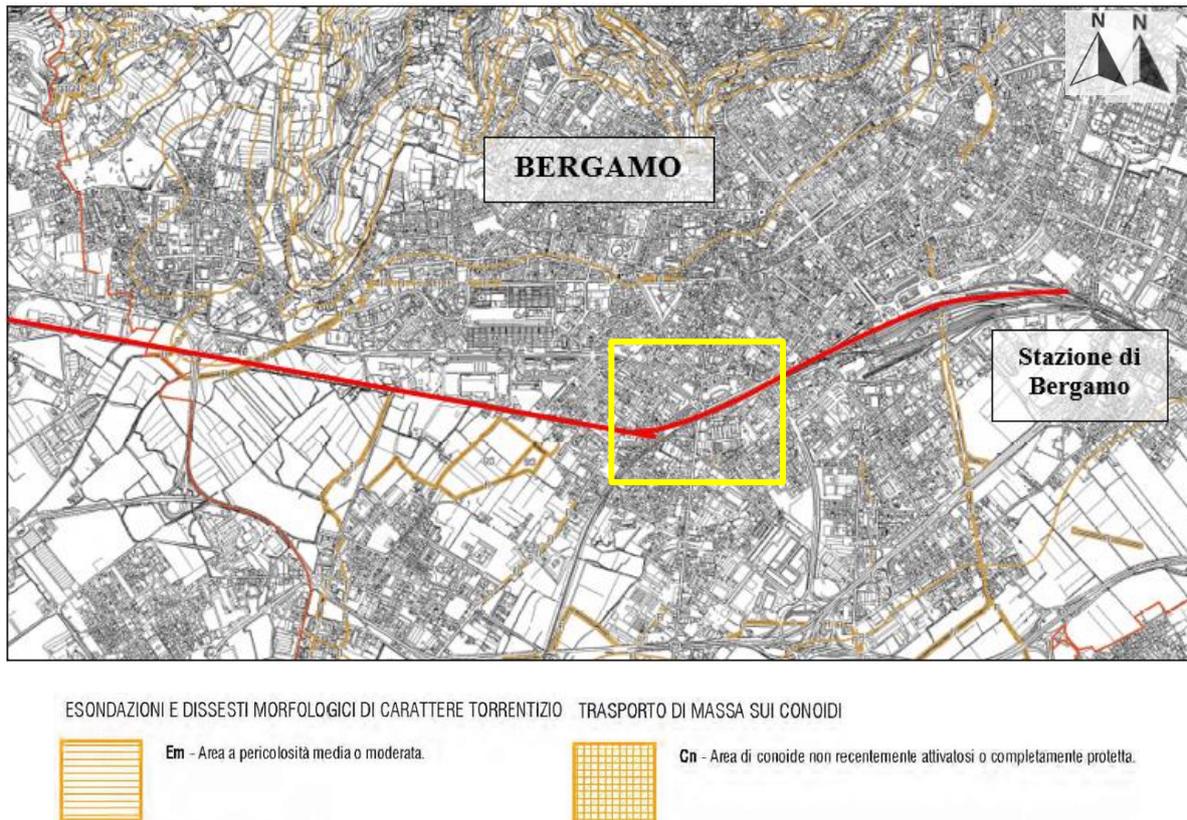
L'elaborato geologico del Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo definisce come segue le aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti:

- 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.

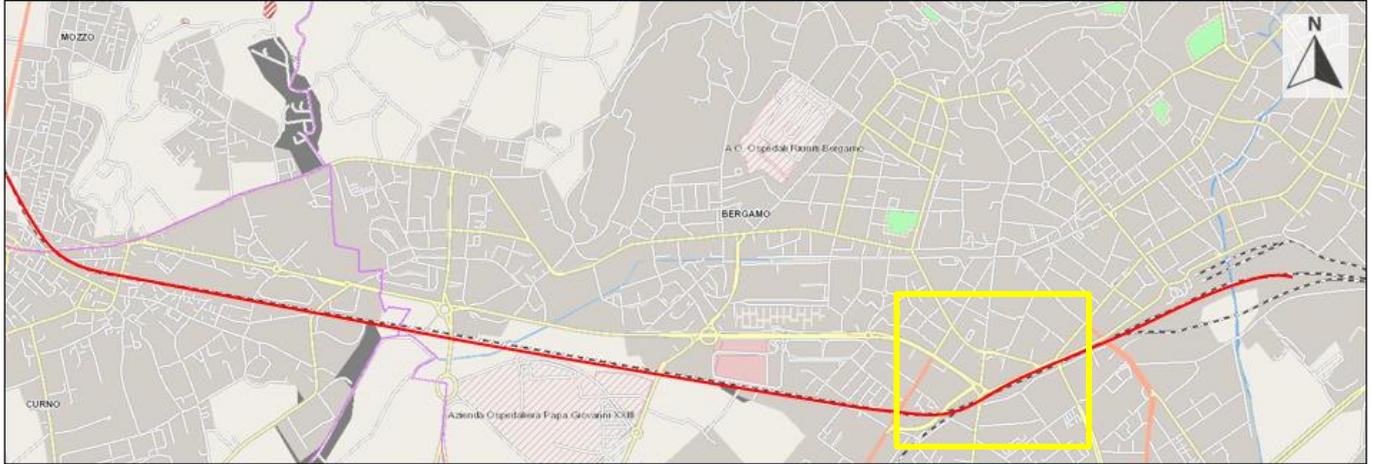
Analizzando dunque la cartografia tematica redatta dal PGT comunale di Bergamo (stralcio cartografico riportato in Figura 10-1) è possibile affermare che la tratta in progetto, sviluppandosi interamente su territorio pianeggiante e

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

lontano da aree di versante, non risulti interessata da tale tipologia di fenomeno. Analizzando inoltre la cartografia PAI essa conferma la totale assenza di potenziali fenomeni di dissesto nell'area.

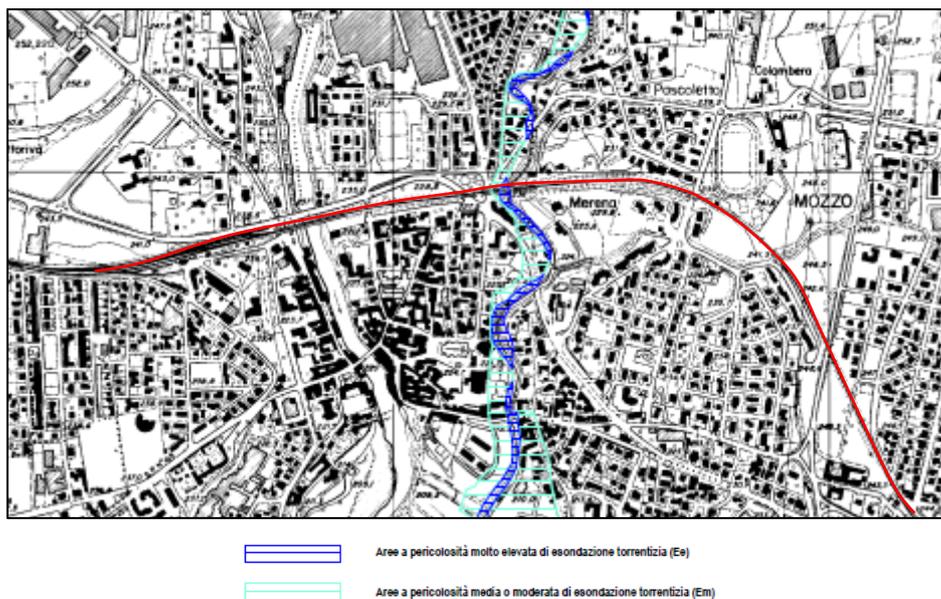


**Figura 10-1 – Stralcio, non in scala, della Carta di Sintesi (2011), e relativa legenda, allegata al Piano di Governo del Territorio del comune di Bergamo. Scala 1: 10.000. In rosso è riportato il tracciato ferroviario; nel riquadro in giallo l'area oggetto del presente progetto.**

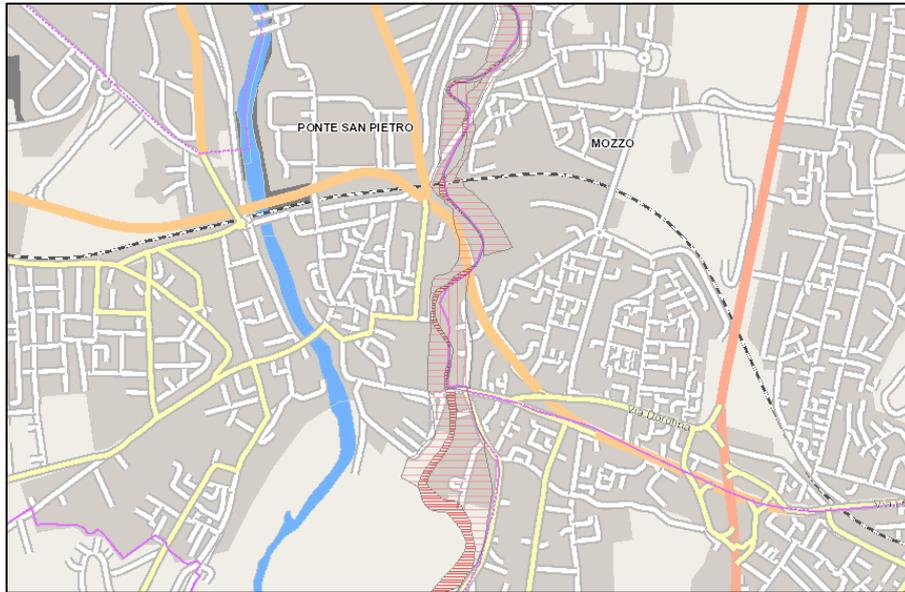


**Figura 10-2 -Stralcio della cartografia PAI dei dissesti dell’area di Bergamo (2020). In rosso è riportata la linea ferroviaria e nel riquadro in giallo l’area oggetto del presente progetto.**

Un’altra area che può essere interessata da elementi geomorfologici potenzialmente fonti di criticità è quella del comune di Ponte San Pietro dove gli elementi principali risultano essere i terrazzi fluvio-glaciali del Fiume Brembo. Analizzando la cartografia del dissesto con legenda uniformata PAI prodotta per il PGT di Ponte San Pietro, si nota come essa non individui fenomeni potenzialmente fonte di criticità geomorfologica, mentre individua fasce di esondazione dei torrenti (trattati separatamente in paragrafo dedicato).



**Figura 10-3 – Stralcio della Carta dei dissesti del comune di Ponte San Pietro. In rosso la linea ferroviaria.**



**Figura 10-4 - Stralcio della cartografia PAI dei dissesti dell'area di Curno, Mozzo e Ponte San Pietro (2020).**

## 10.2 CRITICITÀ DI CARATTERE IDRAULICO

Gli elementi di maggior criticità per il territorio attraversato dalla linea ferroviaria risultano senza dubbio gli elementi idrografici presenti, comprendenti, come già descritto nel capitolo 5, da fiumi, torrenti e canali.

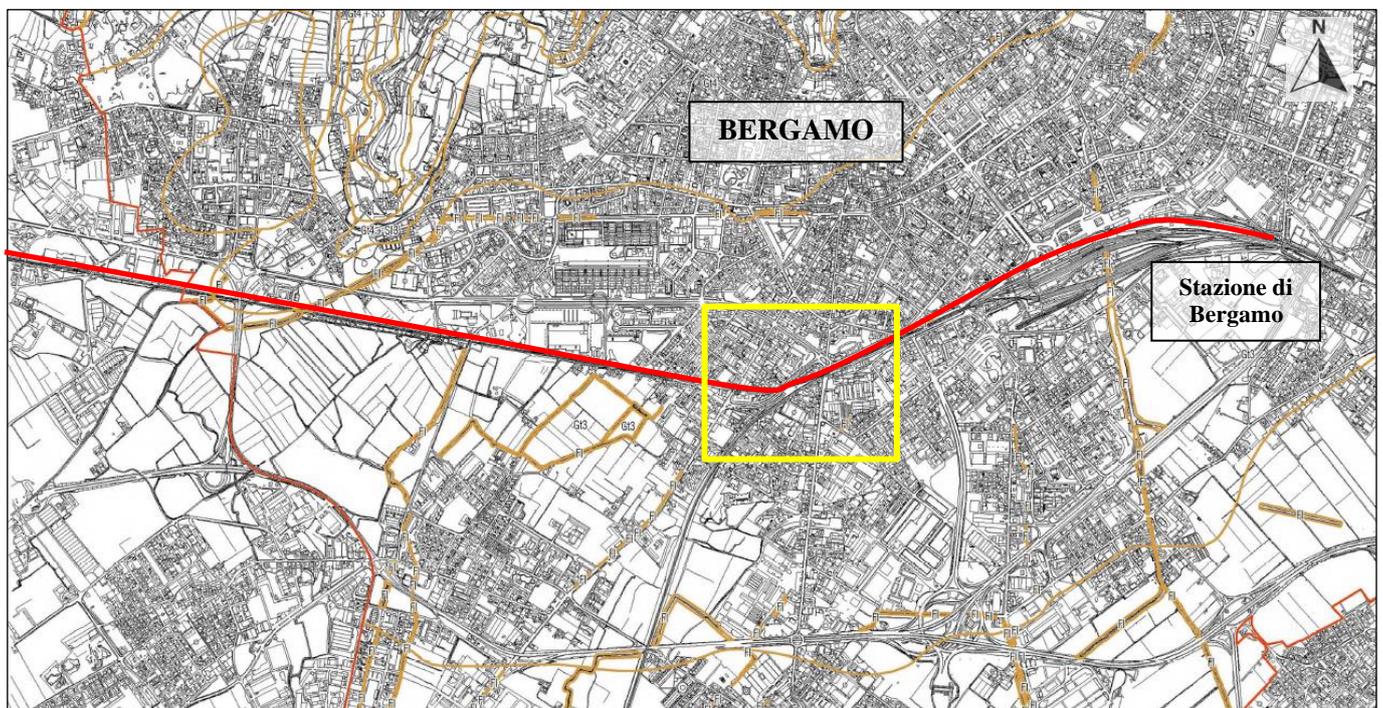
Al fine di fornire un quadro completo lungo la linea inerente alla pericolosità ed al rischio idraulico è stata consultata sia, come in precedenza, la cartografia tematica elaborata dai vari comuni nell'ambito del Piano di Governo del Territorio (dove disponibile), sia la cartografia tematica online aggiornata al 2015 e messa a disposizione sul geoportale web della regione Lombardia.

Nell' primo caso si riporta:

- uno stralcio della Carta di Sintesi del Piano di Governo del territorio del comune di Bergamo (Figura 10-5). Tale cartografia riporta le aree potenzialmente inondabili (In1). In particolare, si nota come essa non individui alcuna area di tale tipologia lungo il tracciato in progetto.
- Uno stralcio della Carta di Sintesi del Piano di Governo del territorio del comune di Curno (Figura 10-6), che individua aree vulnerabili dal punto di vista idraulico denominate es1: aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza (indicativamente con tempi di ritorno superiori a 80-100 anni). es2: aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente

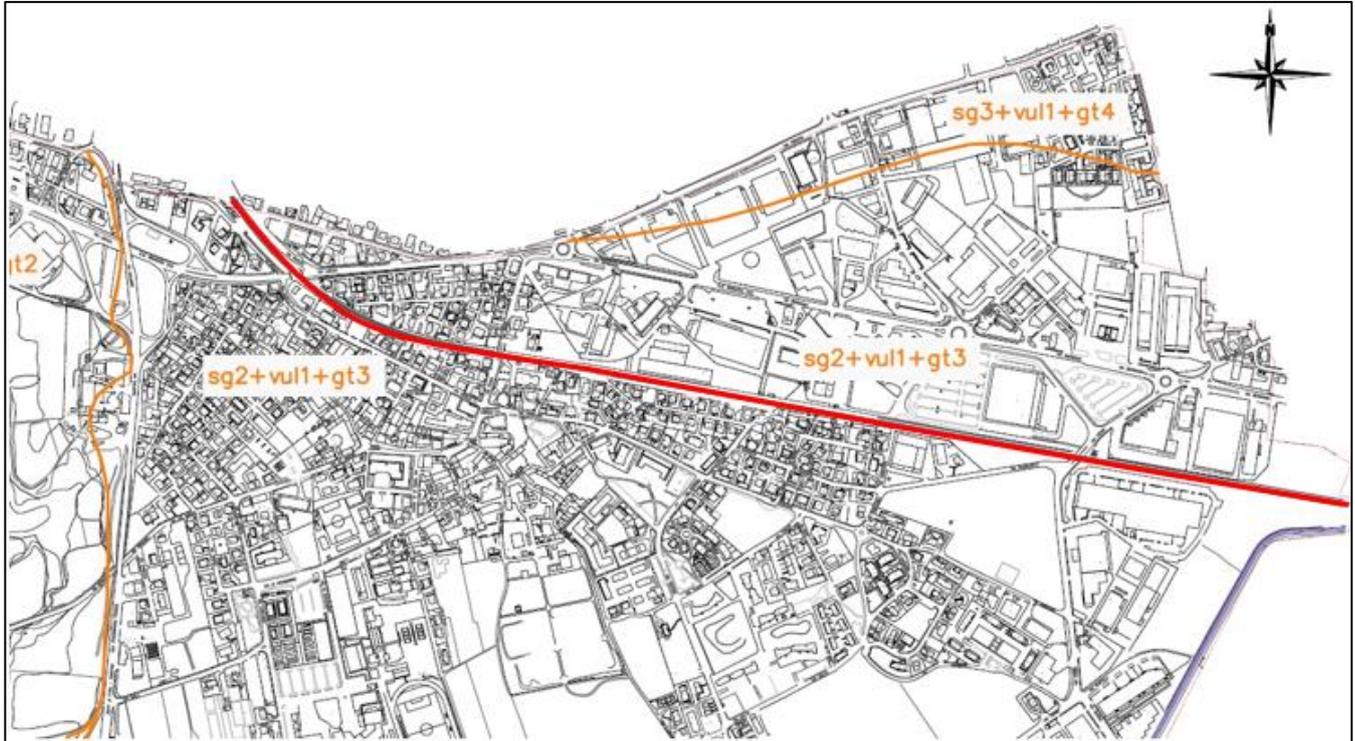
inondabili (indicativamente con tempi di ritorno inferiori a 20-50 anni). In particolare, si nota come essa non individui alcuna area di tale tipologia lungo il tracciato in progetto.

- Per quanto concerne il comune di Ponte San Pietro si fa riferimento alla Carta del Dissesto, riportata in Figura 10-3, che in effetti riporta anche le aree a pericolosità di esondazione torrentizia molto elevata (Ee) e media o moderata (Em). Analizzando dunque la cartografia, il tracciato in progetto interseca aree a pericolosità medi-moderata e molto elevata in corrispondenza del Torrente Quisa e del Fiume Brembo.



Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico	
In1	Area potenzialmente inondabile individuata con criteri geomorfologici; rischio di allagabilità e ristagno delle acque.
FI	Area adiacente a corsi d'acqua da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.

**Figura 10-5 – 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 è evidenziata la linea ferroviaria e nel riquadro in giallo l'area oggetto del presente progetto.**



Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico

- sg1** Aree con soggiacenza della falda freatica mediamente prossima a 40 m da p.c.
- sg2** Aree con soggiacenza della falda freatica mediamente compresa fra 20 e 40 m da p.c.
- sg3** Aree con soggiacenza della falda freatica mediamente compresa fra 20 e 30 m da p.c.
- sg4** Aree con soggiacenza della falda freatica mediamente inferiore a 10 m da p.c.
- vul1** Aree a vulnerabilità degli acquiferi bassa
- vul2** Aree a vulnerabilità degli acquiferi mediamente alta
- vul3** Aree a vulnerabilità degli acquiferi molto alta

Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico

- es1** Aree allagate in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minore frequenza
- es2** Aree ripetutamente allagate in occasione di precedenti eventi alluvionali o frequentemente inondabili

**Figura 10-6 - Stralcio, non in scala, della Carta di Sintesi del Piano di Governo del territorio del comune di Curno (2011), e relativa legenda, Scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.**

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>82 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	82 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	82 di 128								

Per quanto concerne la cartografia resa disponibile dal geoportale regionale, essa rappresenta un aggiornamento della precedente versione del 2013. Gli aggiornamenti sono il risultato del percorso partecipativo svolto nell'ambito dell'implementazione della Direttiva Alluvioni, nonché della disponibilità di nuovi o più recenti dati, sia riferiti alla pericolosità che al rischio.

I dati contengono i seguenti strati informativi:

- **PERICOLOSITA' DA ALLUVIONI:** Delimitazione delle aree interessate da eventi alluvionali per tre scenari di piena:
  - o frequente (TR 20-50 anni);
  - o poco frequente (TR 100-200 anni);
  - o raro (TR fino a 500 anni).

Le aree vengono individuate per ambiti territoriali:

- reticolo idrografico principale (RP);
  - reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM);
  - reticolo idrografico secondario di pianura (RSP);
  - aree costiere lacuali (ACL).
- **RISCHIO ELEMENTI PUNTUALI:** Rappresentazione della classe di rischio associata agli elementi puntuali presenti nelle aree interessate da eventi alluvionali. Vengono rappresentati i seguenti elementi:
    - o aree protette per l'estrazione di acqua a uso idropotabile (PTUA: 2006 + nuovi punti di estrazione da acque superficiali),
    - o beni culturali (dati SirBeC relativi alle architetture aggiornati al 2015 e con posizionamento corretto rispetto alla versione 2013), depuratori (dati SIRE Acque aggiornati a giugno 2015; sono esclusi gli impianti con potenzialità inferiore a 100 A.E.), dighe (medesimi dati delle mappe 2013: dati territoriali "Grandi dighe" aggiornati al 2000), impianti individuati nell'allegato I del D.L. 59/2005 (dati ARIR aggiornati a gennaio 2015 + impianti AIA aggiornati al 2014); inceneritori (medesimi dati delle mappe 2013: sistema informativo SILVIA confrontato con informazioni pubbliche), insediamenti ospedalieri (dati territoriali "Strutture Sanitarie" aggiornati a fine 2012; nel campo "NumAbit" è riportato il numero di posti letto), scuole (dati aggiornati al 2015; non sono presenti asili nido e università; nel campo "NumAbit" è riportato il totale delle persone presenti). Rispetto alla versione 2013, sono stati aggiunti i seguenti elementi: aree estrattive attive (dati territoriali "Catasto Cave" aggiornati al 2015), siti contaminati (dati territoriali "Siti bonificati e siti

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>83 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	83 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	83 di 128								

contaminati”, aggiornati al 2013), stazioni ferroviarie e stazione metropolitana (dati territoriali “Infrastrutture e mobilità”, aggiornati al 2015).

- **RISCHIO ELEMENTI LINEARI:** Nella versione 2013 non erano presenti elementi lineari, in quanto tutte le tipologie di elementi considerati erano state ricondotte alla geometria puntuale o poligonale. Nella predisposizione della versione 2015 si è invece scelto di mantenere la geometria lineare per il tema relativo alle infrastrutture stradali e ferroviarie. Oltre alla localizzazione delle stazioni ferroviarie e di quelle della metropolitana di cui sopra, dai dati territoriali “Infrastrutture e mobilità” sono stati estratti i temi relativi a strade principali, rete ferroviaria, intersezioni stradali, autostrade, strade secondarie e rete metropolitana.
- **RISCHIO ELEMENTI POLIGONALI:** Rappresentazione della classe di rischio associata agli elementi poligonali nelle aree interessate da eventi alluvionali. La copertura poligonale è costituita dal layer dell'uso del suolo (DUSAF).

Il rischio viene rappresentato con 4 classi:

- R4 (molto elevato);
- R3 (elevato);
- R2 (medio);
- R1 (moderato o nullo).

Le classi derivano dal confronto tra la classe di pericolosità e la classe di danno associata all'elemento esposto.

Si distinguono 4 classi di danno potenziale:

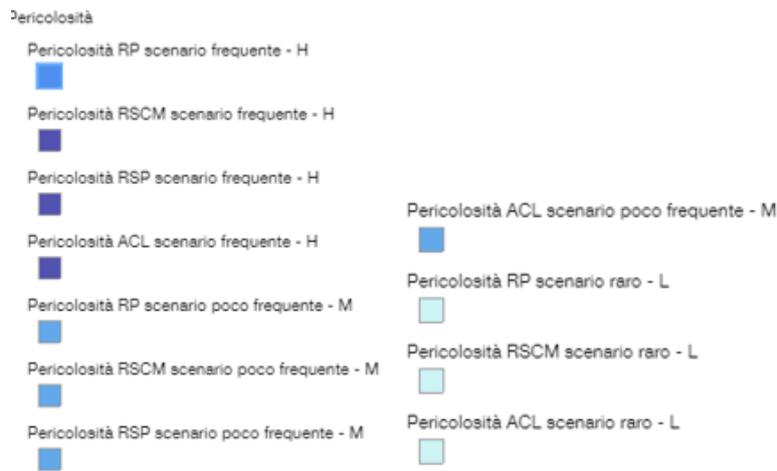
- D4 (molto elevato);
- D3 (elevato);
- D2 (medio);
- D1 (moderato o nullo).

Sono inoltre presenti nella cartografia le Aree a Rischio Significativo (ARS) distrettuali e regionali individuate nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) con associata la relativa scheda descrittiva e le misure specifiche contenute nel PGRA per la riduzione del rischio nelle aree medesime.

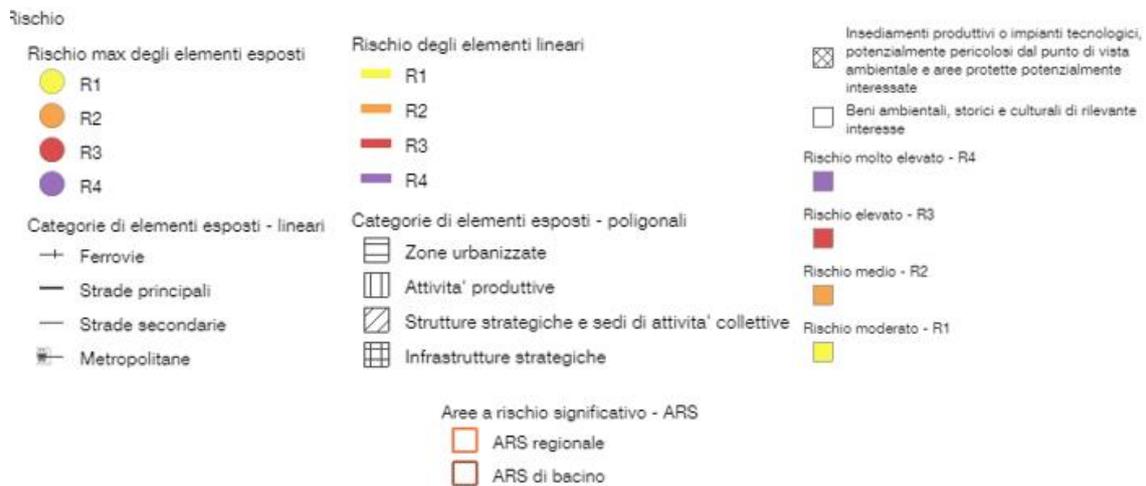
Nel giugno 2019 la cartografia è stata inoltre aggiornata con le "Aree soggette a valutazioni di dettaglio della pericolosità e del rischio" che riporta le aree classificate a rischio R4 (ambiti territoriali RP, RSCM, ACL) e R3 (ambiti territoriali RSP e ACL) per le quali i comuni sono tenuti a svolgere valutazioni dettagliate delle condizioni di pericolosità e rischio in quanto sono aree edificate che ricadono in aree allagabili per le piene frequenti o poco frequenti (cfr. d.g.r. 6738/2017).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Si riportano qui di seguito le legende relative alle cartografie di pericolosità e rischio idraulico e valide per tutti gli stralci riportati in seguito:



**Figura 10-7 – Legenda della cartografia della pericolosità idraulica (Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015).**



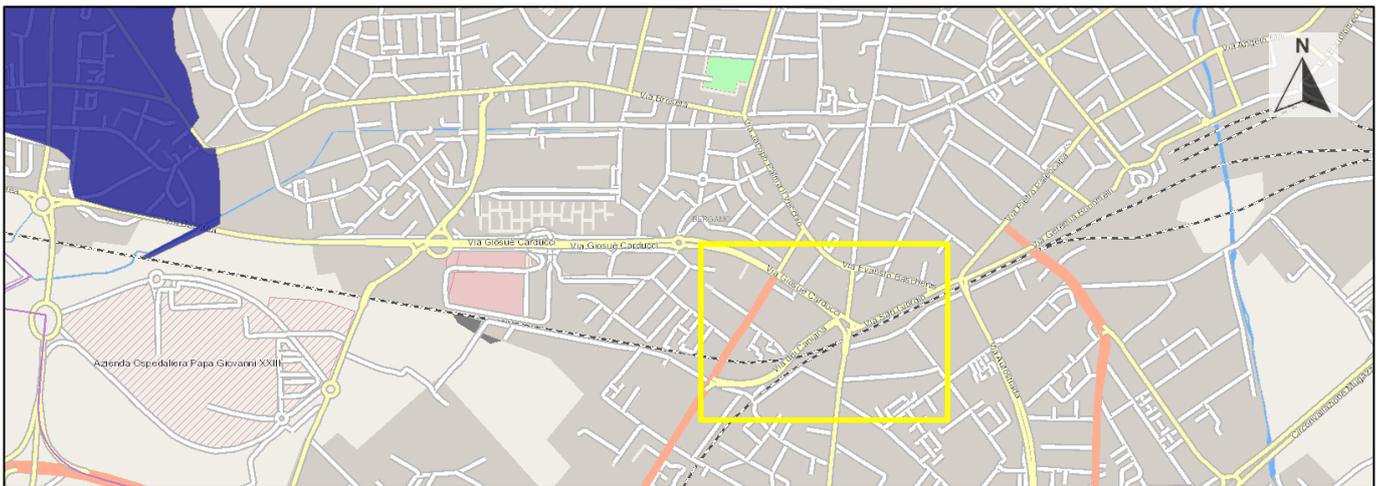
**Figura 10-8 - Legenda della cartografia del rischio idraulico (Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015).**

### 10.2.1 Sintesi delle criticità per ciascuna area

Analizzando dunque la cartografia di pericolosità e rischio si nota come:

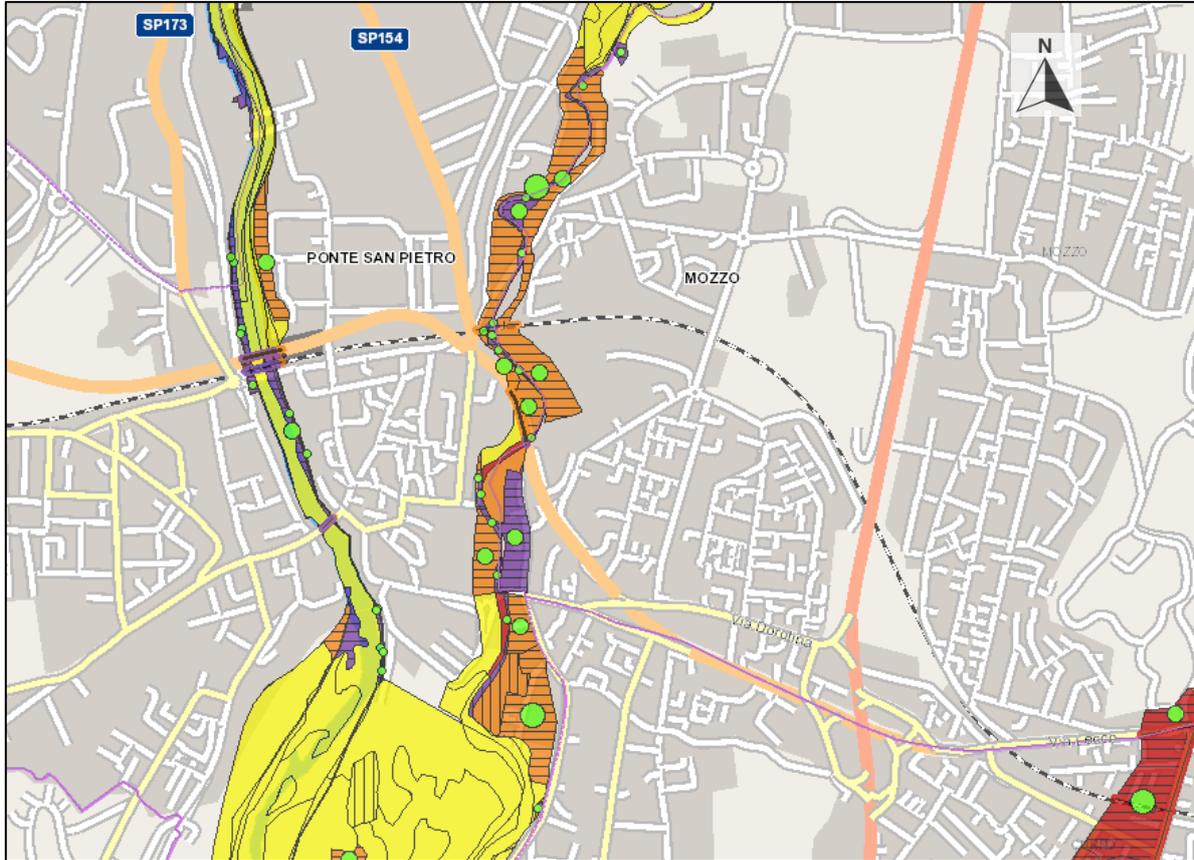
- Nell'area di Bergamo (Figura 10-, Figura 10-7) la linea ferroviaria non interseca aree a pericolosità e a rischio idraulico, eccezion fatta per l'area della Roggia di Piuggia di Loreto. La linea ferroviaria tuttavia non viene classificata a rischio in quest'area.

- Nell'area di Curno (Figura 10-8), la linea attraversa una fascia di circa 100 metri classificata a pericolosità idraulica elevata corrispondente alla Roggia Curna, e corrispondente rischio elevato. La linea ferroviaria stessa risulta classificata a rischio molto elevato (Figura 10-9).
- Nell'area di Ponte San Pietro la linea attraversa il Torrente Quisa ed il Fiume Brembo. Il primo è caratterizzato da una fascia a pericolosità bassa di circa 40m e corrispondente a rischio medio. La tratta ferroviaria in questo punto è impostata su viadotto, dunque si ritiene poco probabile un'interazione con eventuali piene del torrente. Nel secondo caso essa attraversa una fascia a pericolosità idraulica elevata e corrispondente rischio da basso a molto elevato. In questo caso la cartografia classifica il viadotto ferroviario ad elevato rischio.



**Figura 10-9 – Stralcio della cartografia della pericolosità idraulica (Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015), area di Bergamo e nel riquadro in giallo l'area oggetto del presente progetto.**





**Figura 10-9 - Stralcio della cartografia del rischio idraulico (Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2015), area di Mozzo e Ponte San Pietro.**

### 10.3 CRITICITÀ DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Per quanto concerne le criticità geologiche è possibile analizzare i dati resi disponibili dalla campagna indagini eseguita nel 2019-2020 ed da quella realizzata nel 2017 a supporto del progetto di fattibilità tecnico-economica sempre per il raddoppio ferroviario Ponte San Pietro-Bergamo-Montello (per maggior dettaglio si rimanda al paragrafo 6).

In particolare, grazie all'estensivo numero di verticali di sondaggio realizzate lungo tutta la tratta, ed alle relative prove SPT eseguite in foro, è possibile individuare possibili livelli di materiale particolarmente poco addensato o poco consistente, nonché la presenza di possibili cavità e zone di vuoto, con riferimento inoltre alla ricerca del cosiddetto fenomeno degli "occhi pollini", indagato con particolare dettaglio grazie a tomografie elettriche dedicate (si veda il successivo paragrafo).

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLIO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>88 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	88 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	88 di 128								

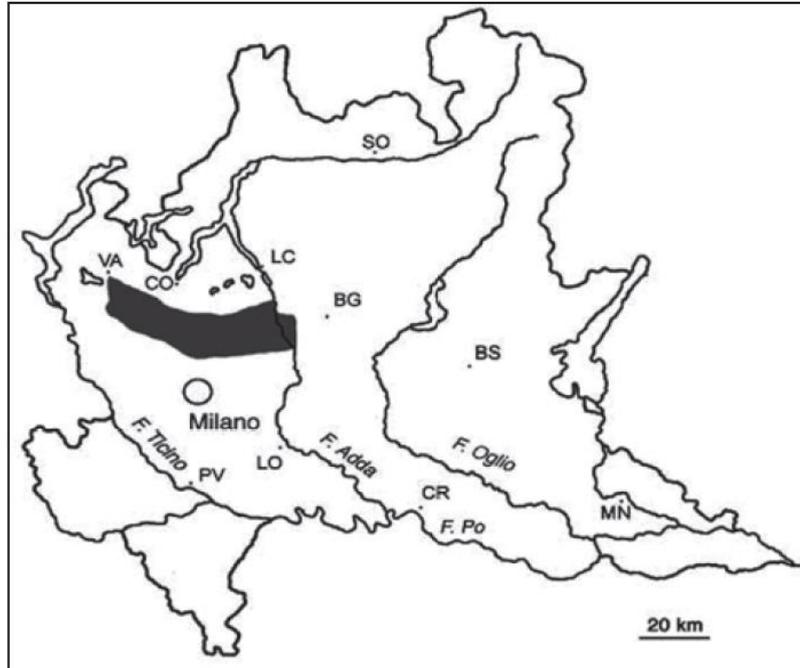
In generale, dall'analisi dei risultati si notano pochi casi riferibili a valori particolarmente bassi di  $N_{spt}$ , ed in particolare nel sondaggio PNBGF1010, a 1.5, 7.5, 10.5, 13.5 m da p.c. si registrano valori rispettivamente di 2, 5, 9, 8. Il valore di  $N_{spt}$  di 5, riscontrato a 7.5 m da p.c. e riferito a ghiaie sabbiose risulta particolarmente basso, mentre i rimanenti valori risultano in linea con le caratteristiche dei materiali rinvenuti in corso di perforazione. Per quanto riguarda i rimanenti sondaggi si notano in generale valori di  $N_{spt}$  nella norma per i materiali rinvenuti. Si rimanda alla Relazione Geotecnica per la caratterizzazione dei materiali.

Per quanto concerne la presenza di cavità si segnala la presenza di tale fenomeno soltanto nel sondaggio L1-S08 tra 27.0 e 27.80m da p.c. all'interno di conglomerato; vista la profondità di tale cavità si ritiene che essa non possa costituire elemento di criticità per l'opera.

### **10.3.1 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, legati ad una serie di fenomeni che interessano i depositi sedimentari superficiali e strettamente correlati all'infiltrazione e alla circolazione di acqua nel sottosuolo e alla litologia dei terreni in cui si possono manifestare.

Il fenomeno è tipico del territorio dell'alta pianura, ed in particolare nella fascia lombarda tra Ticino e Adda, 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.



**Figura 10-10 – 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 dato 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 disopra 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.

Bisogna tenere però conto che l'individuazione tramite indagini geotecniche non è facile; le prove penetrometriche sono eseguite in genere con una maglia troppo ampia per individuare e descrivere con precisione il fenomeno; si tenga presente infatti, che anche occhi pollini molto piccoli possono potenzialmente ingrandirsi una volta che è stata costruita l'opera e causare danni notevoli. Inoltre, la possibilità che le cavità siano parzialmente o totalmente riempite

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>90 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	90 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	90 di 128								

di materiale di crollo o sedimenti derivanti dalla circolazione idrica sotterranea può rendere difficile il riconoscimento delle cavità stesse solo dall'analisi delle prove penetrometriche.

Considerati i fattori scatenanti del fenomeno sopra descritti, il presente studio include un approfondimento effettuato in fase di indagine al fine di definire con dettaglio medio-elevato l'eventuale presenza di tali cavità lungo il tracciato oggetto di raddoppio. In particolare, l'analisi dei dati comprende:

- l'analisi dei risultati delle prove SPT effettuate sistematicamente nei fori di sondaggio;
- l'analisi delle evidenze stratigrafiche emerse in fase di perforazione;
- l'analisi dei risultati delle tomografie elettriche 3d realizzate lungo l'intera tratta oggetto di studio.

### **10.3.2 Evidenze stratigrafiche da sondaggi e prove SPT**

Dalle evidenze stratigrafiche fornite dalle campagne di indagini di Italferr eseguite nel 2017-2018 e nel 2019-2020, si evince come il sottosuolo della tratta in esame sia composto prevalentemente da:

- terreni ghiaioso sabbiosi quaternari di origine fluviale e fluvioglaciale, con presenza di lenti argillose;
- depositi flyschoidi appartenenti ai Fysch di Bergamo e Pontida;
- conglomerati da poco a mediamente alterati, appartenenti al Ceppo del Brembo.

Le evidenze stratigrafiche non hanno messo in luce cavità che possano far presupporre la presenza di occhi pollini.

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state inoltre eseguite delle prove SPT fino ad un massimo di 30 metri di profondità da p.c.. Mediamente le prove mostrano valori di  $N_{spt}$  alti ( $N_{spt} > 20$ ) con presenza di valori a rifiuto anche nei livelli più superficiali.

Tuttavia, si vuol far presente come, il sondaggio denominato PNBGF1010, situato nel comune di Bergamo all'altezza della p.k. 2+600, mostra dei valori di  $N_{spt}$  bassi ( $N_{spt} < 10$ ) fino a 13.5m di profondità da p.c.. Queste prove sono state condotte in materiali ghiaioso sabbiosi a contatto con uno strato limoso spesso circa 4.5m che potrebbe far pensare alla presenza di piccole cavità riempite per crollo.

### **10.3.3 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.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>91 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	91 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	91 di 128								

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 distinte 5 aree indagate tramite stendimenti di geoelettrica nei comuni di Bergamo e Curno, e denominate E3D\_A, E3D\_B, E3D\_C, E3D\_D e E3D\_E.

Dai risultati delle prove emergono le seguenti interpretazioni:

#### **Area A**

L'elaborazione dei dati di resistività acquisiti evidenziano una serie elettrostratigrafica per la maggior parte della sezione indagata con valori superiori a 70 ohm.m (colore arancio in Figura 10-11) che raggiungono e superano i 100 ohm.m (colore rosso), riferibili alla presenza di materiali con litologie più grossolane e/o di possibile natura litoide più o meno cementata (confermata dal sondaggio DHBGF1C09 che individua la presenza del Flysch di Bergamo sin dai primi metri dal p.c.). Nel settore centrale e occidentale dell'area indagata, tra le p.k. 3+770 e 3+960, tale unità resistiva si definisce con buona omogeneità e continuità sia verticale che laterale poco al di sotto del p.c. Nel settore orientale viceversa si registra una variabilità del comportamento elettrostratigrafico dei materiali con un maggiore presenza dell'unità conduttiva di copertura, con litologie fini, caratterizzata da valori < 40 ohm.m (colore azzurro-blu), sviluppata per spessori variabili da un minimo di 5.0m ad un massimo 15.0m in prossimità della p.k. 3+620. Al di sotto si registra il passaggio all'unità resistiva sopradescritta. Non si riscontrano anomalie riconducibili a cavità di dimensioni significative.





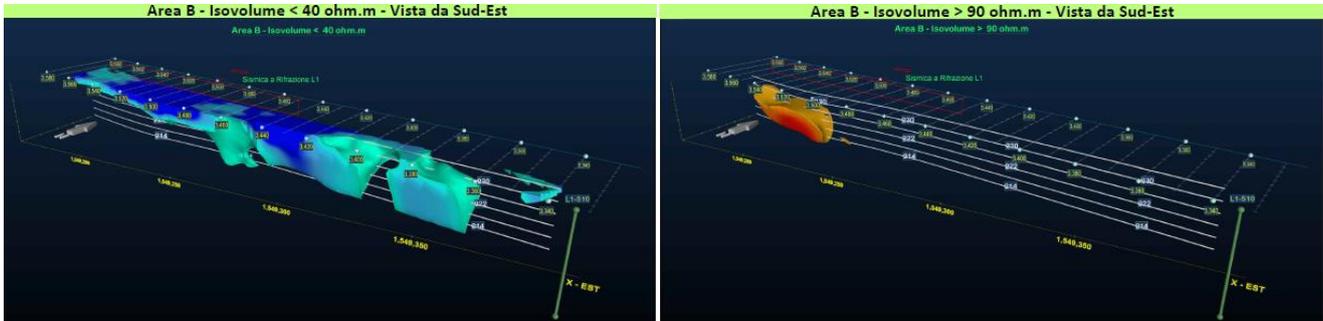


Figura 10-17 - Area B, sezioni tomografiche 3d con Isovolumi <40 Ohm.m e Isovolumi >90 Ohm.m.

### Area C

L'elaborazione dei dati di resistività acquisiti evidenziano valori costantemente inferiori a 70 ohm.m lungo tutto il settore indagato. Nel dettaglio ampi settori sono caratterizzati da valori inferiori a 40 ohm.m (colore azzurro-blu) riferibili a materiali con litologie fini e/o molto fini.

Lungo le sezioni si osservano variazioni laterali definite da corpi nucleiformi caratterizzati da valori di resistività compresi tra 40 e 70 ohm.m (colore verde) verosimilmente legati a locali incrementi di granulometria e/o ad un differente grado di consistenza dei materiali. Questi corpi si individuano mediamente oltre 5.0m di profondità dal p.c e presentano un'estensione laterale massima di circa 30.0m tra le p.k. 3210 e 3240m.

### ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA



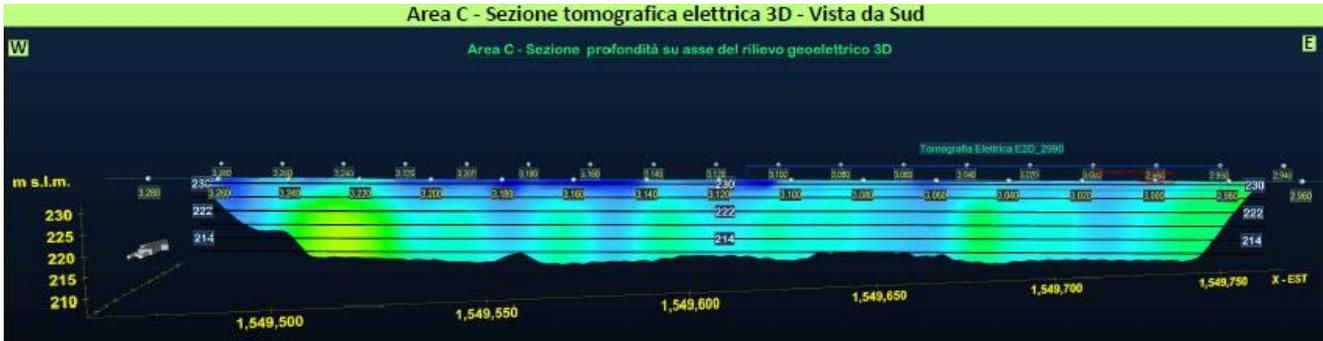


Figura 10-18 - Ubicazione dell'area C (sopra) e corrispondente sezione tomografica tridimensionale (sotto).

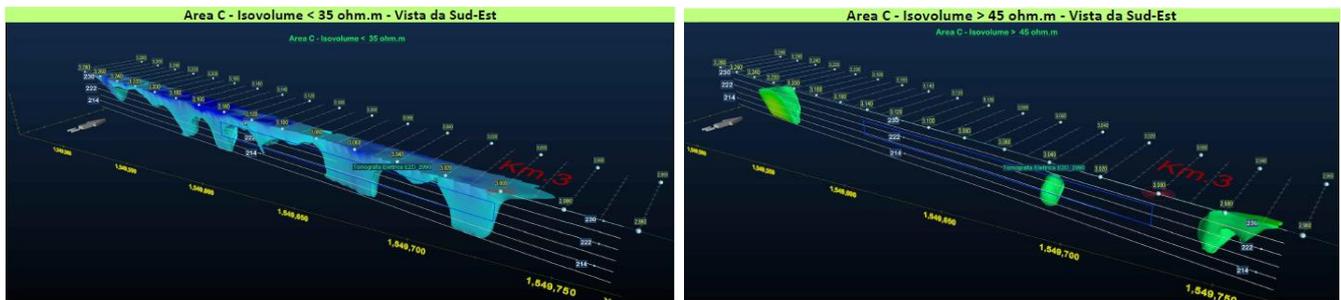


Figura 10-19 - Area C, sezioni tomografiche 3d con Isovolumi <35 Ohm.m e Isovolumi >45 Ohm.m.

### Area D

L'elaborazione dei dati di resistività acquisiti evidenziano una serie elettrostratigrafica piuttosto continua, omogenea e regolare lungo tutto il settore indagato.

Ad eccezione di alcune circoscritte porzioni superficiali soggette ad interferenze con elementi antropici, i valori di resistività elettrica si mantengono compresi tra 40 e 90 ohm.m (colore giallo-verde); tali valori sono riferibili alla presenza di materiali con litologie da fini a medie prevalenti con incrementi più grossolani (>80 ohm.m) maggiormente diffusi nella porzione orientale dell'area, in particolare tra le p.k. 2260 e 2290m.

ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA

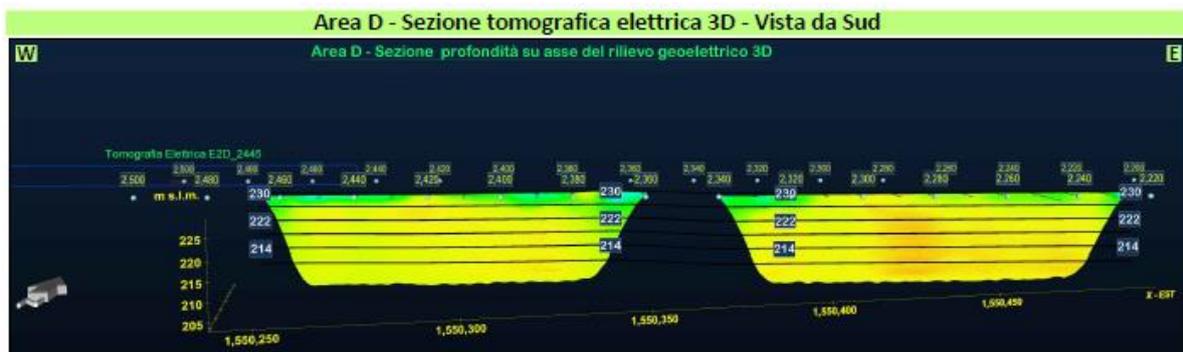


Figura 10-13 Ubicazione dell'area D (sopra) e corrispondente sezione tomografica (sotto).

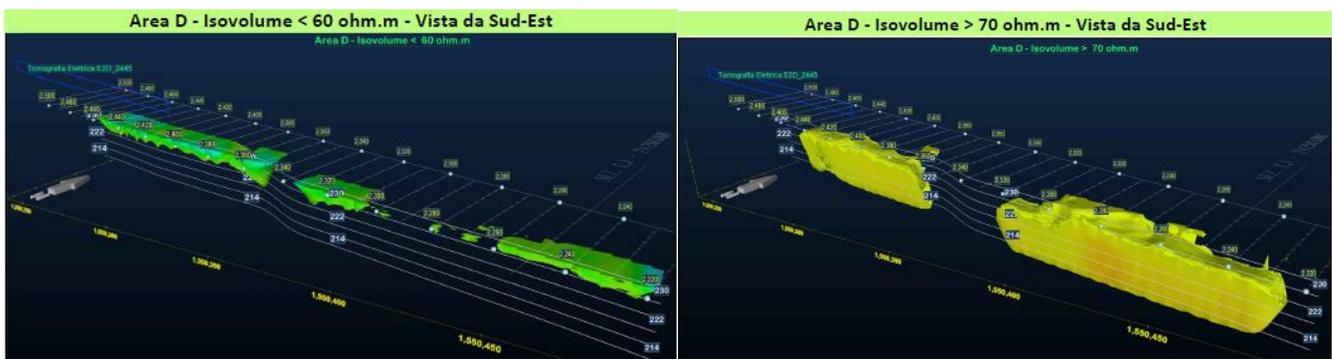


Figura 10-14 - Area D, sezioni tomografiche 3d con Isovolumi <60 Ohm.m e Isovolumi >70 Ohm.m.

### Area E

L'elaborazione dei dati di resistività acquisiti evidenziano una serie elettrostratigrafica con una significativa variazione laterali in prossimità della p.k. 4390m. Rispetto a tale progressiva si differenzia un settore orientale con valori di resistività superiori a 90 ohm.m (colore arancio-rosso) distribuiti in modo continuo ed omogeneo poco al di sotto dal p.c., riconducibili alla presenza di litologie medio-grossolane; nel settore occidentale, viceversa mediamente si registra un decremento dei valori di resistività che risultano mediamente compresi tra 50 e 80 ohm.m, indicativo della presenza di materiali con una maggiore componente medio-fine sviluppati anche in profondità. Tutte le sezioni costituenti il modello 3D del settore E, si possono suddividere in due porzioni.

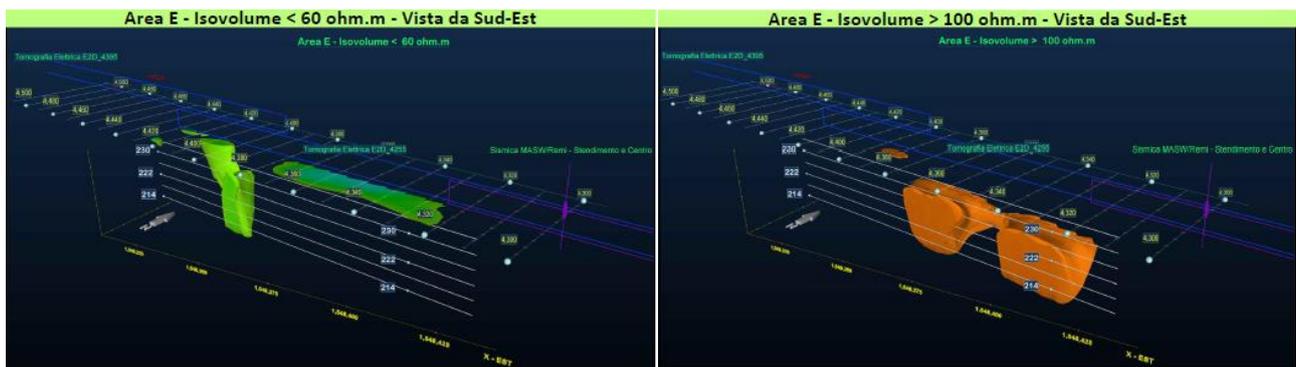
La prima, ossia dopo la p.k. 4390m, è costituita sostanzialmente da. Prima della p.k. 4390m invece, si registra un brusco passaggio a valori di resistività che superano i 90 ohm.m fino a raggiungere e di poco oltrepassare i 100 ohm.m (colore arancione rosso), segnando quindi una netta transizione a materiali di maggior grado granulometrico.

ESTRATTO PLANIMETRICO - TRACCIA SEZIONE ELETTRICA





**Figura 10-15 Ubicazione dell'area E (sopra) e corrispondente sezione tomografica (sotto).**



**Figura 10-16 - Area E, sezioni tomografiche 3d con Isovolumi <math>< 60 \text{ Ohm.m}</math> e Isovolumi <math>> 100 \text{ Ohm.m}</math>**

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 investigata; 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.

## 11 INQUADRAMENTO SISMICO

### 11.1 PREMessa

Nel seguito, si fornisce un inquadramento dal punto di vista della sismicità locale a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati nel sito di progetto nel corso di terremoti storici. Successivamente, facendo diretto riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni<sup>1</sup> (nel seguito NTC2018), verrà definita l'azione sismica in funzione delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento basato sulla vita nominale delle opere e della loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati. Con riferimento sempre alle indicazioni normative, la definizione dell'accelerazione di progetto si baserà sulla effettiva localizzazione delle opere.

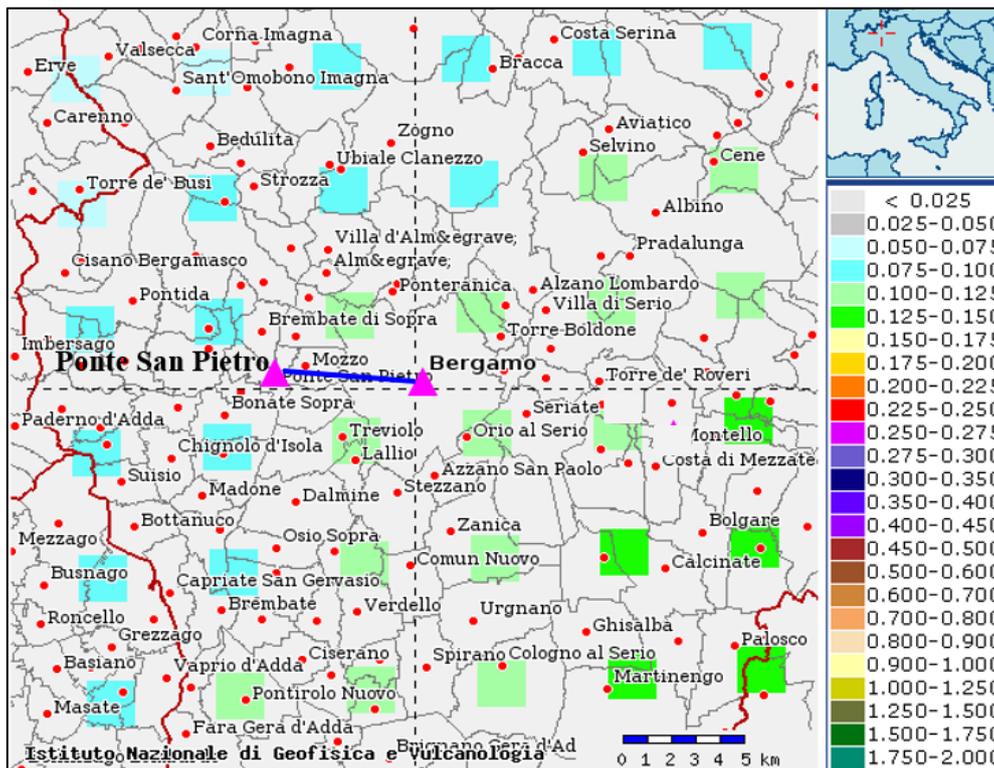


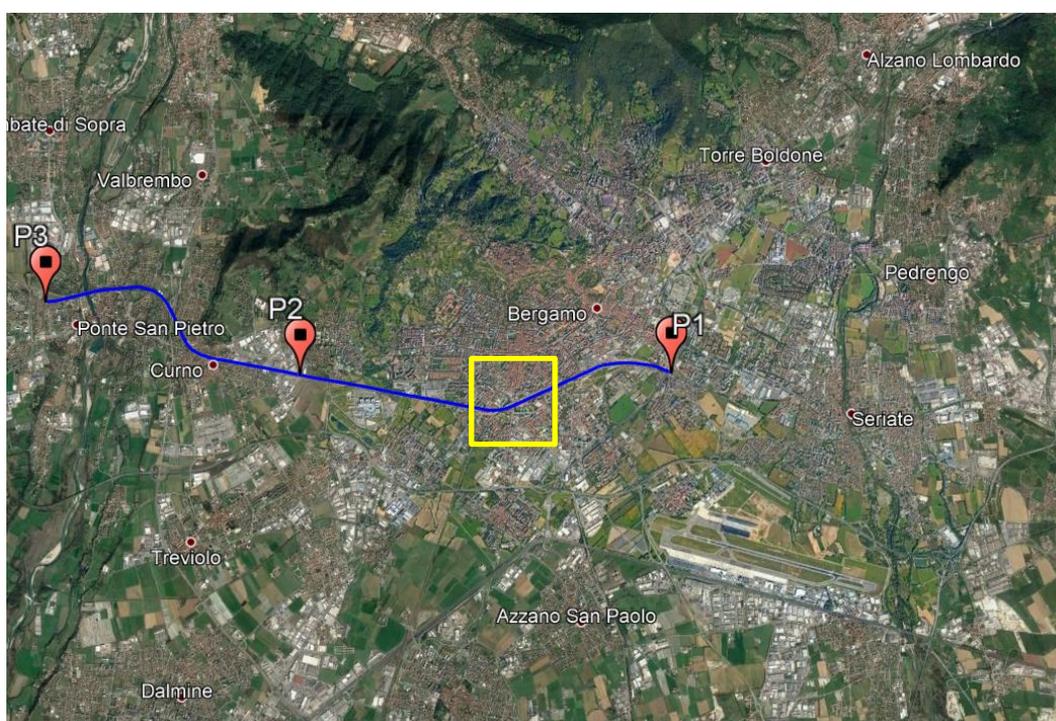
Figura 11-1 – Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno dell'tracciato di progetto (linea blu) e i siti di interesse (triangoli magenta) da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

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

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

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 fa qui riferimento alle tabelle in allegato alla edizione 2008 delle NTC, le quali 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 di progetto in Figura 11-1).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 11-2 dove vengono indicati i punti notevoli lungo il tracciato a delimitare zone a pericolosità sismica costante (vedi nel seguito).



**Figura 11-2 – Localizzazione della linea ferroviaria in blu. Nel riquadro giallo ricadono le opere oggetto del presente progetto.**

## 11.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

La stratigrafia della porzione di Pianura Padana interessata dalle opere in progetto è dominata dalla presenza di depositi di età pliocenica – quaternaria, con 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 va a costituire un cuneo, spinto dalle due precedenti). La cinematica del complesso è governata da una compressione lungo l'allineamento NS che

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>101 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	101 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	101 di 128								

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 nord degli Appennini e verso sud (in prossimità del sito di progetto) della Catena Alpina.

In termini strettamente sismologici, la Figura 11-3 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida et al., 2016). 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 di cui 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 dalla zona dell'Appennino Tosco-Emiliano (ad es. il recente terremoto dell'Emilia nel 2012).

Il modello sismotettonico ZS9 individua, nell'area del NE, 3 zone a sismicità diffusa: ZS904 (non inclusa in figura), ZS905 e ZS906. Tra queste, la ZS905 racchiude un'area le cui caratteristiche di sismicità in termini di magnitudo massime (~6.5) e frequenza degli eventi è nettamente superiore rispetto alle altre, come evidente dalla distribuzione degli epicentri di Figura 11-3. Fra gli eventi più significativi della storia recente in quest'area, si ricorda il terremoto dei Friuli del 1976. 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  $M_w = 5.9$  (cerchietto in giallo nella 907 in Figura 11-3).

La ZS911, localizzata più a sud, delimita l'estremità settentrionale dell'arco appenninico, oltre a comprendere l'arco di Pavia. Si ipotizza che le strutture di questa zona abbiano una funzione di "svincolo" cinematico del sistema in migrazione (Gruppo di Lavoro, 2004).

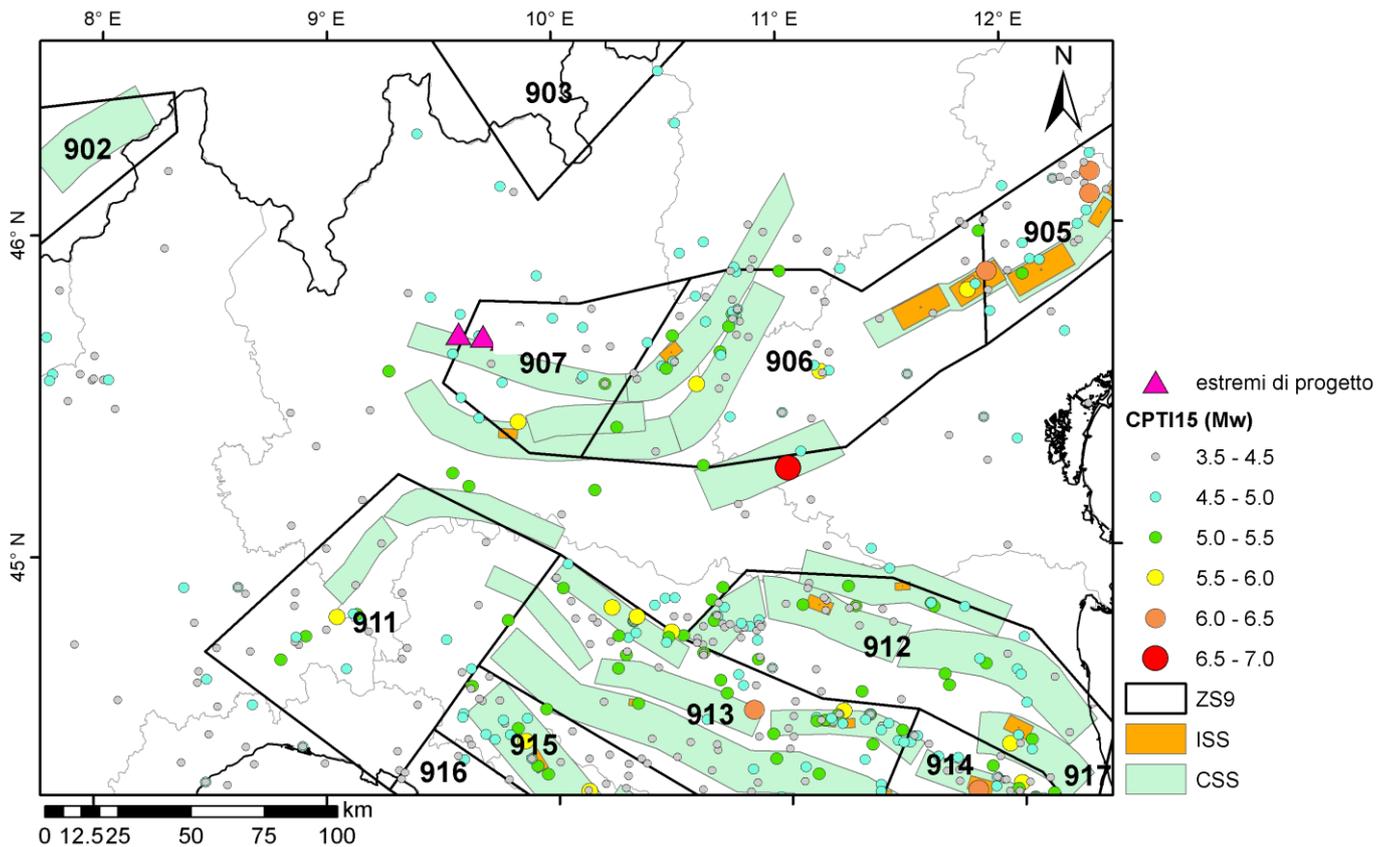


Figura 11-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchi colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

Procedendo sempre verso sud le zone sismogenetiche seguono longitudinalmente l'asse appenninico. La ZS912 che appartiene alla porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale include il terremoto dell'Emilia 2012 (le scosse di 20 e 29 maggio con  $M_w$  di 6.1 e 5.9, rispettivamente) e il terremoto del 15 Ottobre 1996 di Reggio con  $M_w = 5.4$ . A questa area sismogenetica è stata assegnata una magnitudo massima pari a 6.14.

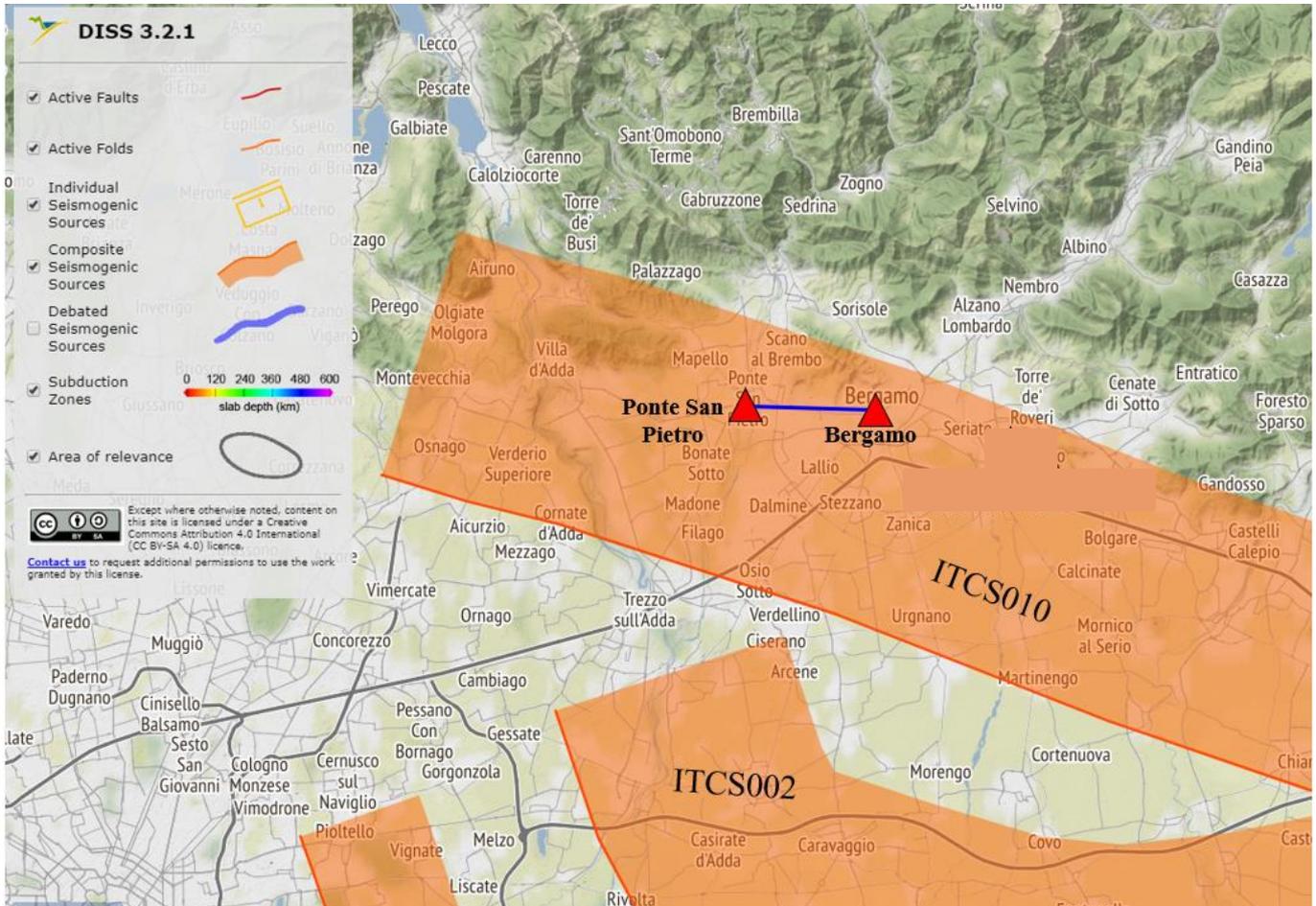
A nord, nell'area pedemontana fra i laghi di Como e Maggiore, al fronte della catena Subalpina, la pericolosità sismica viene considerata praticamente insignificante e nessuna sorgente sismogenetica è stata pertanto associata nel

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>103 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	103 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	103 di 128								

modello sismotettonico ZS9 a questa area. L'area 903, appositamente definita, è stata vincolata in termini sia di parametri che dai cataloghi dei terremoti, per unire la maggiore sismicità di quell'area, che non dà specifiche informazioni geologiche.

Infine, a nord-ovest 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 ( $M_w = 6.1$ ).

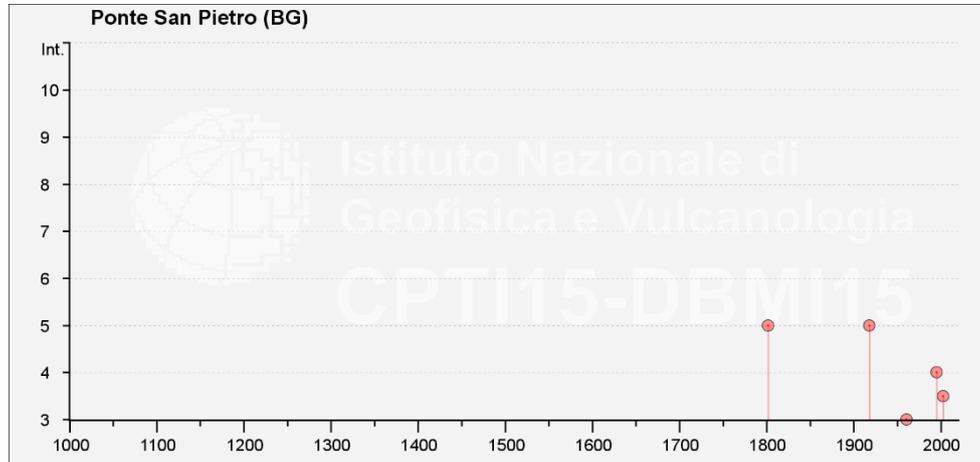
I lineamenti di faglia più prossimi al sito di progetto (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 11-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno dei quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). In particolare, a sud di Como si evidenziano i lineamenti Western S-Alps external Thrust (ITCS002) con andamento E-O 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>).



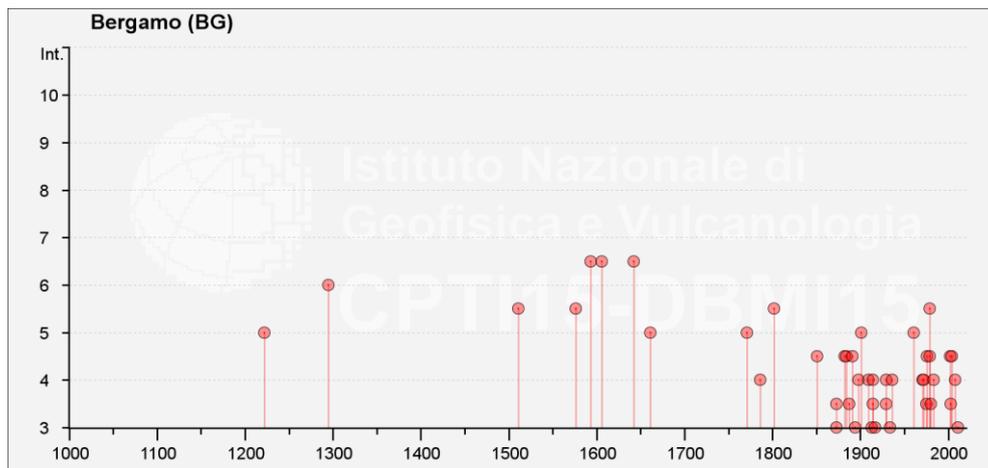
**Figura 11-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2), rilevanti per il tracciato ferroviario (linea blu) e i siti di interesse (triangoli rossi).**

Per comporre un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, 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, la Figura 11-5 e la Figura 11-6 mostrano la storia sismica associata al comune di Ponte San Pietro e Bergamo in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al tracciato sia medio-bassa, e che le intensità sismiche massime avvertite a Ponte San Pietro risultino nell’ordine di  $I_S=5$  e a Bergamo nell’ordine di  $I_S=6-7$  in conseguenza degli eventi di Bergamo del 1593 e 1606 e della Pianura Padana del 1642.

Da quanto sopra si evince come sia associabile al tracciato di progetto ed una sismicità complessivamente moderata.



**Figura 11-5 – Storia sismica del comune di Bergamo (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).**



**Figura 11-6 – Storia sismica del comune di Bergamo (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).**

### 11.3 LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI D'INTERESSE LUNGO IL TRACCIATO

Con il fine di fornire un inquadramento complessivo dell'azione sismica lungo il tracciato sede delle opere in progetto, sono stati individuati 3 punti di interesse in corrispondenza di Bergamo, un punto intermedio sulla linea ferroviaria e a Ponte San Pietro (Figura 11-2). In Tabella 11-1, viene elencato:

- l'identificativo del punto.
- La latitudine e longitudine del punto/zona di interesse.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

**Tabella 11-1 –Identificazione e coordinate geografiche dei punti di interesse lungo il tracciato per la definizione dell’azione sismica di progetto.**

ID	Comune di riferimento	Latitudine	Longitudine
P1 (punto di inizio)	Bergamo	45.690380	9.690261
P2 (punto intermedio)	Curno	45.690004	9.625412
P3 (punto finale)	Ponte San Pietro	45.698807	9.580907

## 11.4 DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA DI PROGETTO

### 11.4.1 Generalità

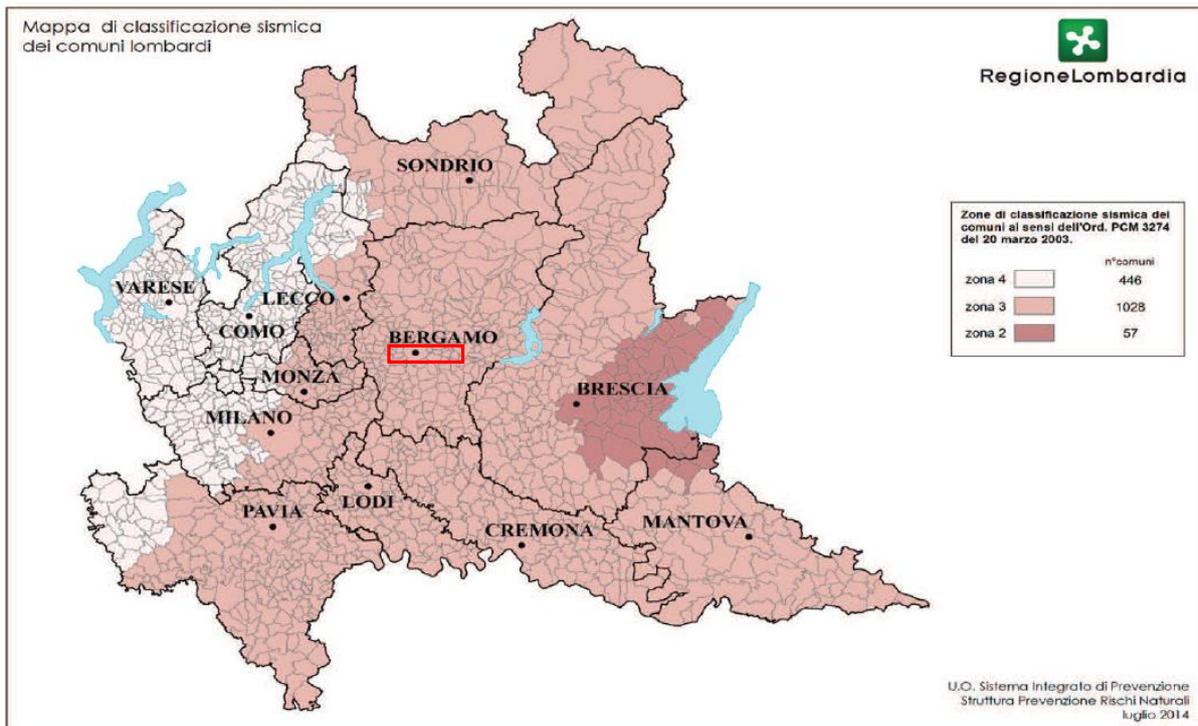
L’azione sismica di progetto viene qui definita secondo quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l’azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, 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.

Con l’entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, viene effettuata una suddivisione del territorio nazionale su base sismica. Per la Regione Lombardia la nuova zonizzazione sismica approvata con la DGR n. X/5001 del 30/03/2016 e le disposizioni previste dalla LR n. 33/2015 del 12/10/2015 sono divenute efficaci dal 10/04/2016. (Figura 11-). Sulla base della zonizzazione sismica aggiornata, il tracciato in progetto ricade interamente all’interno di comuni appartenenti alla zona sismica 3.

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. 11.4.2) sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, nel par. 11.4.3 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 11-1 precedente (cfr. par.11.4.4). La determinazione della categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili sarà oggetto del par. 11.4.5, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.



**Figura 11-7 – Mappa della classificazione sismica regionale. L'area di progetto è indentificata in rosso.**

#### 11.4.2 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.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>108 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	108 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	108 di 128								

- $V_N \geq 50$  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, ai fini della definizione dell'azione sismica, i progettisti hanno assunto:

$$V_N = 50 \text{ anni}$$

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, sulla base delle indicazioni dei progettisti, l'infrastruttura ferroviaria appartiene alla Classe d'Uso II (coefficiente d'uso  $C_U = 1.0$ ), ossia:

*“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.”*

Per le opere connesse alla viabilità stradale, ritenute fondamentali per i fini di Protezione civile a valle di un terremoto, si assumerà Classe d'Uso III (coefficiente d'uso  $C_U = 1.5$ ):

*“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, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento  $V_R$  pari a:

- $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$  (opere ferroviarie).
- $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75 \text{ anni}$  (viabilità stradale).

#### **11.4.3 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  $P_{V_R}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

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

- 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità 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 rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

**Tabella 11-2 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.**

Stato limite di riferimento		Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_R$	
		Opere ferroviarie	Opere di viabilità stradale
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	30	45

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Stato limite di riferimento		Periodo di ritorno dell'azione sismica $T_R$	
		Opere ferroviarie	Opere di viabilità stradale
	Stato limite di danno (SLD)	50	75
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	475	712
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	975	1462

Le probabilità di superamento cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente per ciascuno degli stati limite considerati (cfr. Tabella 3.2.I NTC2018) sono indicati nella Tabella 11-2.

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:

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

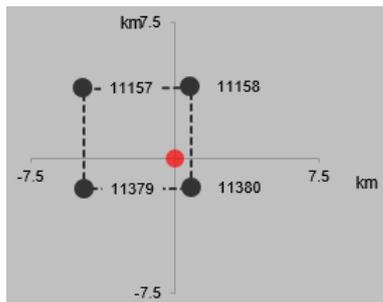
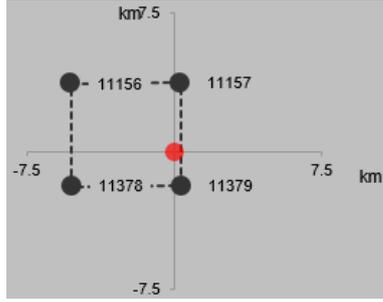
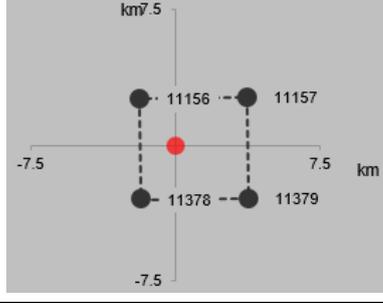
Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 11-2.

#### 11.4.4 Accelerazione di riferimento su suolo rigido $a_g$

Nell'allegato del Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (riferita dalle NTC2018) 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) sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia (individuati dalle loro coordinate, cfr. Tabella 11-1) si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. In Tabella 11-3 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 001 001	REV. A

**Tabella 11-3 – Nodi del reticolo di riferimento nell’intorno di punti scelti lungo il tracciato. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.**

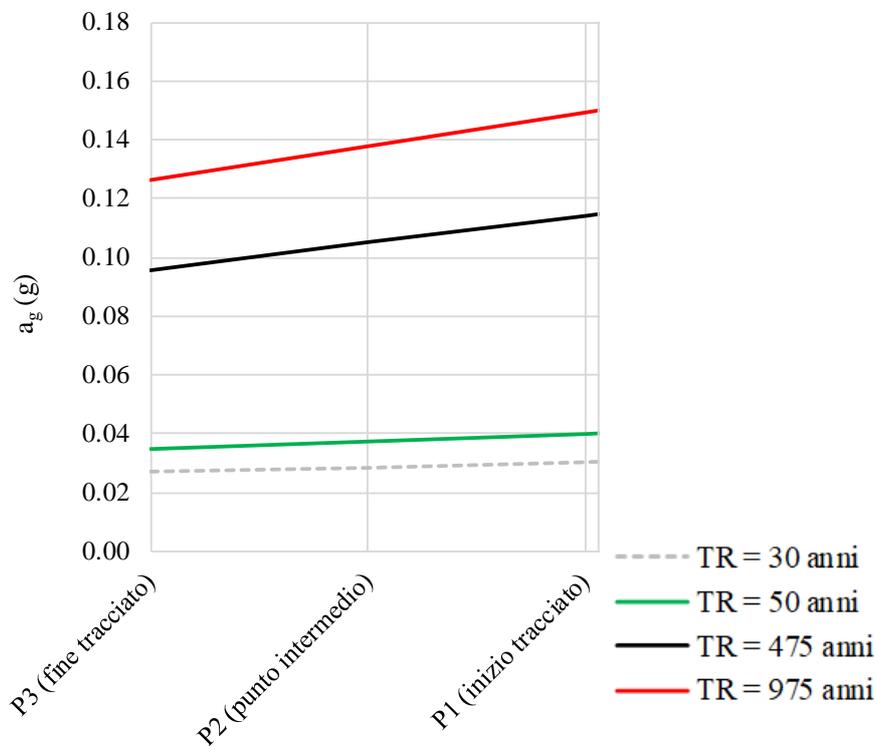
Nome di sito	Comune di riferimento	Latitudine	Longitudine	Localizzazione punti di griglia
P1 (punto iniziale)	Bergamo	45.690380	9.690261	
P2 (punto intermedio)	Curno	45.690004	9.625412	
P3 (punto finale)	Ponte San Pietro	45.698807	9.580907	

Il confronto fra i valori del parametro  $a_g$  valutato in corrispondenza dei punti di riferimento lungo il tracciato per diversi stati limite (Figura 11- e Figura 11-, rispettivamente per opere connesse alla linea ferroviaria e opere stradali) mostra come la variabilità dell’input sismico lungo la linea ferroviaria sia limitata per corti periodi di ritorno, mentre cresce apprezzabilmente per valori del periodo di ritorno più lunghi.

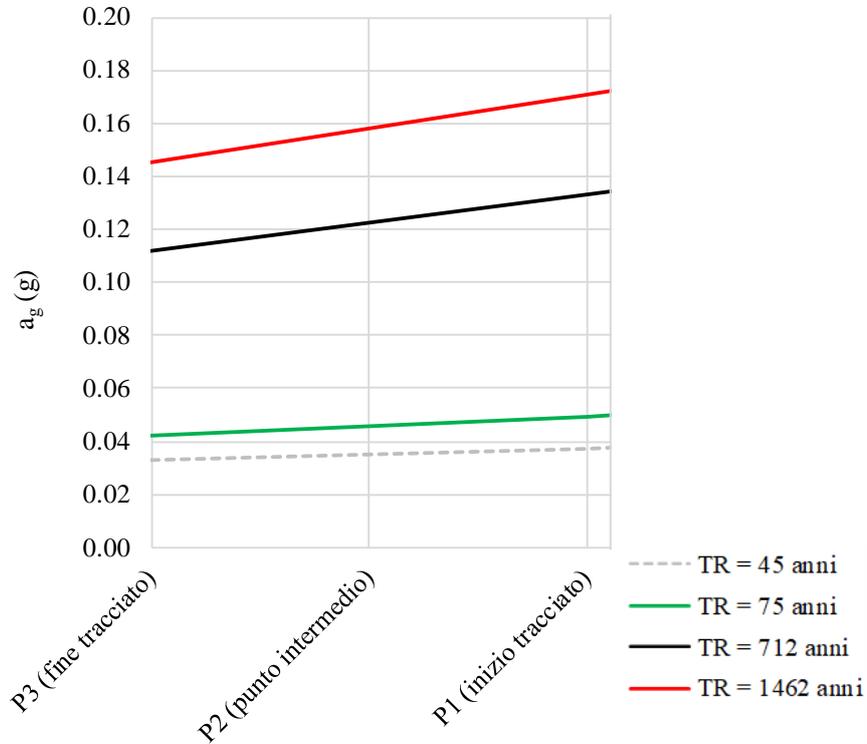
In conclusione, sono state individuate quattro sezioni della linea per la definizione della pericolosità sismica di progetto:

- Il tratto A1: dal punto P1 (Prog. 00+000 km del tratto Bergamo – Ponte San Pietro) al P2 (Prog. 4+000 km del tratto Bergamo – Ponte San Pietro) con P1 come il punto di riferimento.
- Il tratto A2: dal punto P2 (Prog. 4+000 km del tratto Bergamo – Ponte San Pietro) al P3 (Prog. 7+744 km del tratto Bergamo – Ponte San Pietro) con P2 come il punto di riferimento.

Il risultato dell'interpolazione per i parametri  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_{c*}$  è riportato in Tabella 11-4 (linea ferroviaria) e Tabella 11-5 (viabilità stradale).



**Figura 11-8 – Variazione del parametro di accelerazione su suolo rigido orizzontale  $a_g$  lungo il tracciato, per diversi periodi di ritorno di riferimento. Linea ferroviaria ( $V_R = 50$  anni).**



**Figura 11-9 – Variazione del parametro di accelerazione su suolo rigido orizzontale  $a_g$  lungo il tracciato, per diversi periodi di ritorno di riferimento. Viabilità stradale ( $V_R = 75$  anni).**

**Tabella 11-4 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)). Linea ferroviaria ( $V_R = 50$  anni).**

Nome di sito	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_o$ (-)	$T_c^*$ (s)
Tratto A1 (Punto di riferimento: P1)	SLO	30	0.031	2.431	0.198
	SLD	50	0.040	2.472	0.217
	SLV	475	0.114	2.416	0.270
	SLC	975	0.149	2.466	0.275
Tratto A2 (Punto di riferimento: P2)	SLO	30	0.029	2.443	0.199
	SLD	50	0.037	2.484	0.213
	SLV	475	0.105	2.419	0.271
	SLC	975	0.138	2.456	0.277

**Tabella 11-5 – Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)). Viabilità stradale ( $V_R = 75$  anni).**

Nome di sito	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_o$ (-)	$T_c^*$ (s)
Tratto A1 (Punto di riferimento: P1)	SLO	45	0.038	2.464	0.212
	SLD	75	0.050	2.416	0.235
	SLV	712	0.133	2.444	0.273
	SLC	1462	0.171	2.486	0.281
Tratto A2 (Punto di riferimento: P2)	SLO	45	0.035	2.477	0.210
	SLD	75	0.045	2.450	0.231
	SLV	712	0.123	2.440	0.274
	SLC	1462	0.158	2.478	0.281

#### 11.4.5 Risposta sismica locale

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  $S_T$ ):

$$S = S_S \cdot S_T$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

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:

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

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.

Per questo studio, è stata utilizzata i risultati della campagna di indagini geofisiche che ha compreso l'esecuzione di prove MASW in numero di 13 lungo il tracciato e 2 prove *Down-Hole*. I risultati delle prove (per i dettagli delle quali si rimanda agli elaborati specifici) sono riportati in Tabella 11-6 in termini di valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$ . I valori di  $V_{s,eq}$  risultano compresi nell'intervallo 359 – 555 m/s e di conseguenza in accordo alla Tabella 11-7, il sito di progetto è classificabile nella categoria di suolo B con solo una eccezione di categoria di suolo C per la prova M9 ( $V_{s,eq}$  pari a 359 m/s). Tuttavia, in via di semplicità, si assumerà la categoria di suolo B per tutto il tracciato di progetto.

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

$$S_s = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g / g \leq 1.20$$

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 11-8 (linea ferroviaria) e Tabella 11-9 (viabilità stradale).

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>116 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	116 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	116 di 128								

**Tabella 11-6 – Risultati delle prove geofisiche in termine di  $V_{S,eq}$  e categoria di sottosuolo.**

Sigla Prova	$V_{seq}$ (m/sec)	Categoria di suolo
M4	443	B
M5	445	B
M6	405	B
M7	432	B
M8	365	B
M9	359	C
M10	414	B
M11	387	B
M12	412	B
M13	464	B
M14	429	B
M15	555	B
M16	429	B
DH-1	468	B
DH-2	364	B

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	<b>COMMESSA</b> NB1R	<b>LOTTO</b> 09 D 69	<b>CODIFICA</b> RG	<b>DOCUMENTO</b> GE 0001 001	<b>REV.</b> A

**Tabella 11-7 – 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	Depositi 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	Depositi 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.

**Tabella 11-8 – 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)). Linea ferroviaria ( $V_R = 50$  anni).**

Nome di sito	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$S$ (-)	$a_{max}$ (g)
Tratto A1 (Punto di riferimento: P1)	SLO	30	0.031	1.2	0.037
	SLD	50	0.040	1.2	0.048
	SLV	475	0.114	1.2	0.137
	SLC	975	0.149	1.2	0.179
Tratto A2 (Punto di riferimento: P2)	SLO	30	0.029	1.2	0.034
	SLD	50	0.037	1.2	0.044
	SLV	475	0.105	1.2	0.126
	SLC	975	0.138	1.2	0.166

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

**Tabella 11-9 – 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, CSLPP (2009)). Viabilità stradale ( $V_R = 75$  anni).**

Nome di sito	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	S (-)	$a_{max}$ (g)
Tratto A1 (Punto di riferimento: P1)	SLO	45	0.038	1.2	0.045
	SLD	75	0.050	1.2	0.059
	SLV	712	0.133	1.2	0.160
	SLC	1462	0.171	1.2	0.205
Tratto A2 (Punto di riferimento: P2)	SLO	45	0.035	1.2	0.042
	SLD	75	0.045	1.2	0.055
	SLV	712	0.123	1.2	0.147
	SLC	1462	0.158	1.2	0.190

In aggiunta a quanto determinato, in Allegato 5 alla DGR n. IX/2616 è riportata la metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale, in adempimento a quanto previsto dalle NTC2008 (e quindi, dalle NTC2018), dalla DGR n. 14964 del 7 novembre 2003 e dal DDUO n. 19904 del 21 novembre 2003. In particolare, per il caso in esame, risulta obbligatorio il Livello 2 di approfondimento, ossia la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi in termini di valore di Fattore di Amplificazione ( $F_a$ ). Se i valori ottenuti sono superiori ai valori di soglia di cui allo studio pilota del Politecnico di Milano, allegato alla DGR n. IX/2616 (vedi tabella seguente), si dovrà procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore (nello specifico, anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerebbe quello relativo alla categoria di suolo C).

Per le sole opere di viabilità stradale descritte in Tabella 11-10 viene effettuata la verifica sopracitata. I fattori di amplificazione soglia  $F_{a,soglia}$  per i comuni nei quali sono localizzate le opere di interesse sono illustrati nella tabella medesima. I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di  $F_a$  sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale.

Per l'opera VI04 localizzata nel comune di Bergamo, sulla base delle indicazioni dello 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), e della carta allegata SG10 del fattore di amplificazione sismica  $F_a$  (cfr. estratto di Figura 11-7), i valori di soglia definiti dalla Regione Lombardia per 0.1 – 0.5 s ( $F_{a,soglia} = 1.5$  per la Categoria B) risultano superati ( $F_a = 1.6$ ).

**Tabella 11-10 – Le opere lungo il tracciato per i quali risulta obbligatorio il Livello 2 di approfondimento sulla base Delibera di Giunta Regionale della Regione Lombardia (DGR IX/2616) del 30/11/2011 e i fattori di amplificazione soglia per i comuni nei quali sono localizzate.**

Denominazione Opera	Prog. km	Comune	$F_{a,soglia}$ per suolo tipo B	
			0.1 - 0.5 s	0.5 - 1.5 s
VI04	01+247 (Linea Bergamo - Ponte San Pietro)	Bergamo	1.5	1.7



**Figura 11-7 – Estratto della carta del fattore di amplificazione  $F_a$  (PGT del Comune di Bergamo) per periodo 0.1 – 0.5 s, nell'intorno dell'area interessata dall'opera VI04 (il circolo rosso).**

Applicando le formule proposte per la scheda litologia selezionata, si calcola il fattore di amplificazione,  $F_a$ , per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s. Per la scelta della curva di fattore di amplificazione  $F_a$  da utilizzarsi, si deve fare riferimento a  $V_s$  e spessore del primo strato. Viene scelta la curva 2. Dalla tabella presente nella scheda di valutazione (riportata qui di seguito), andrà selezionata pertanto la curva 2:

		Profondità primo strato (m)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Velocità primo strato (m/s)	200				1	1	1	1	1	1	1	1	1						
	250				2	2	2	2	2	2	2	1	1	1					
	300				2	2	2	2	2	2	2	2	2	2					
	350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2				
	400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
	450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Il periodo del profilo stratigrafico T per ognuno delle opere viene calcolato con la relazione seguente:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^N h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^N V_{S,i} \times h_i}{\sum_{i=1}^N h_i} \right)}$$

dove  $h_i$  e  $V_{S,i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato  $i$ -esimo del modello stratigrafico.

Applicando le formule di cui alla scheda di valutazione suddetta, per il periodo proprio di sito T calcolato, si ottiene il fattore di amplificazione,  $F_a$ , per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s come è illustrato in Tabella 11-11.

I valori di soglia per 0.1 – 0.5 s risultano superati. Tuttavia, in via di semplicità, per tutte le opere in sostituzione della Categoria B si utilizza la definizione dell'azione sismica di Categoria superiore C. 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):

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b>					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA.	COMMESSA NB1R	LOTTO 09 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

I valori dell'azione sismica di progetto  $a_{max}$  per l'opera stradale sopramenzionata sono riportati in Tabella 11-12.

**Tabella 11-11 – L'opera lungo il tracciato ferroviario per la quale risulta obbligatorio il Livello 2 di approfondimento sulla base Delibera di Giunta Regionale della Regione Lombardia (DGR IX/2616) del 30/11/2011 con le loro litologie prevalenti e i fattori di amplificazione calcolati per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.**

Denominazione Opera	Prog. km	La litologia prevalente	$F_{a,0.1-0.5}$	$F_{a,0.5-1.5}$
VI04	01+247 (Linea Bergamo - Ponte San Pietro)	Limoso-Sabbiosa tipo 1	1.60	1.20

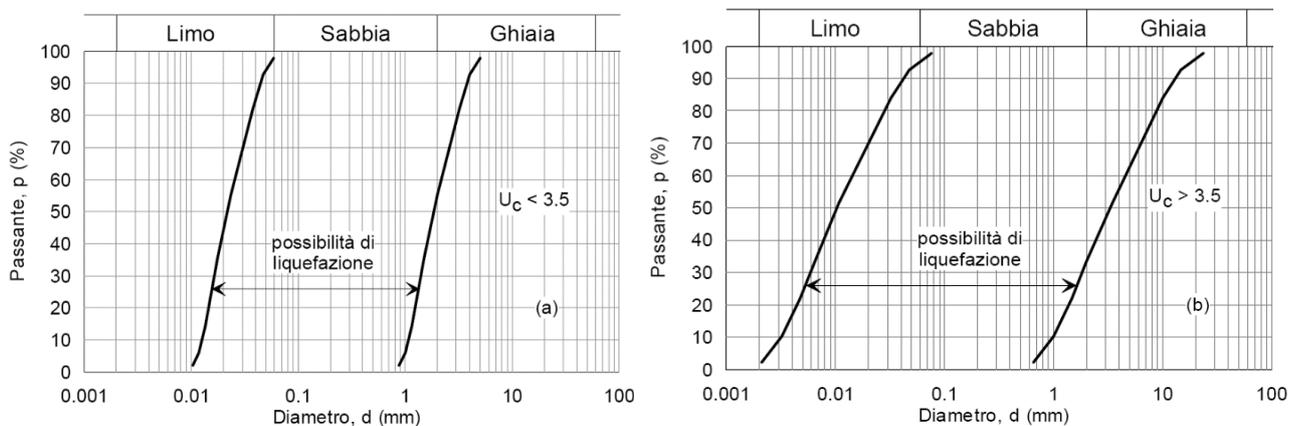
**Tabella 11-12 – Valori di  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), dei coefficienti di sito S ( $S_T=1$ ) e di accelerazione di progetto  $a_{max}$  per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLPP (2009)). Viabilità stradale ( $V_R = 75$  anni).**

Nome di Opera	SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	S (-)	$a_{max}$ (g)
VI04 Prog. 01+247 km (Linea Bergamo - Ponte San Pietro)	SLO	45	0.038	1.500	0.056
	SLD	75	0.050	1.500	0.074
	SLV	712	0.133	1.500	0.200
	SLC	1462	0.171	1.445	0.247

## 11.5 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 0.1 g;
- 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  $q_{cIN} > 180$  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  $q_{cIN}$  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 rappresentate in Figura 11-8 per coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 11-8 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx:  $U_c < 3.5$ , dx:  $U_c > 3.5$ ).**

In linea di principio, nessuno dei suddetti motivi di esclusione risulta verificato a priori, per cui dovrà essere effettuata una verifica del fenomeno di liquefazione in condizioni sismiche, oggetto della Relazione Geotecnica.

Per la definizione del valore di magnitudo di riferimento per le verifiche a liquefazione, oltre al quadro sismo-tettonico esposto ai paragrafi precedenti, può essere considerata l'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2018, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1 (vedi Figura 11-9), qui considerata per il punto P5.

Tenuto conto della Classe d’Uso II (linea ferroviaria), la valutazione del potenziale di liquefazione è stata condotta per il periodo di ritorno dell’azione sismica pari a quello dello stato limite SLV, ossia 475 anni. I risultati di tale analisi, svolta per il punto di griglia più prossimo al punto P5 (N. 11381) per un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) mostrano come siano dominanti terremoti con valori di magnitudo compresi tra 4.0-5.5 ed epicentro a distanza 0-20 km. I valori medi di magnitudo e distanza da analisi di disaggregazione sono rispettivamente  $M=4.74$  e  $d=9.36$ .

Sulla base della sismicità storica, la magnitudo di riferimento da considerare risulta generalmente più elevata. Tenendo conto dei terremoti con maggiore risentimento nell’area di progetto (cfr. paragrafi precedenti), è ragionevole assumere, una magnitudo di riferimento per la verifica a liquefazione pari a 5.8.

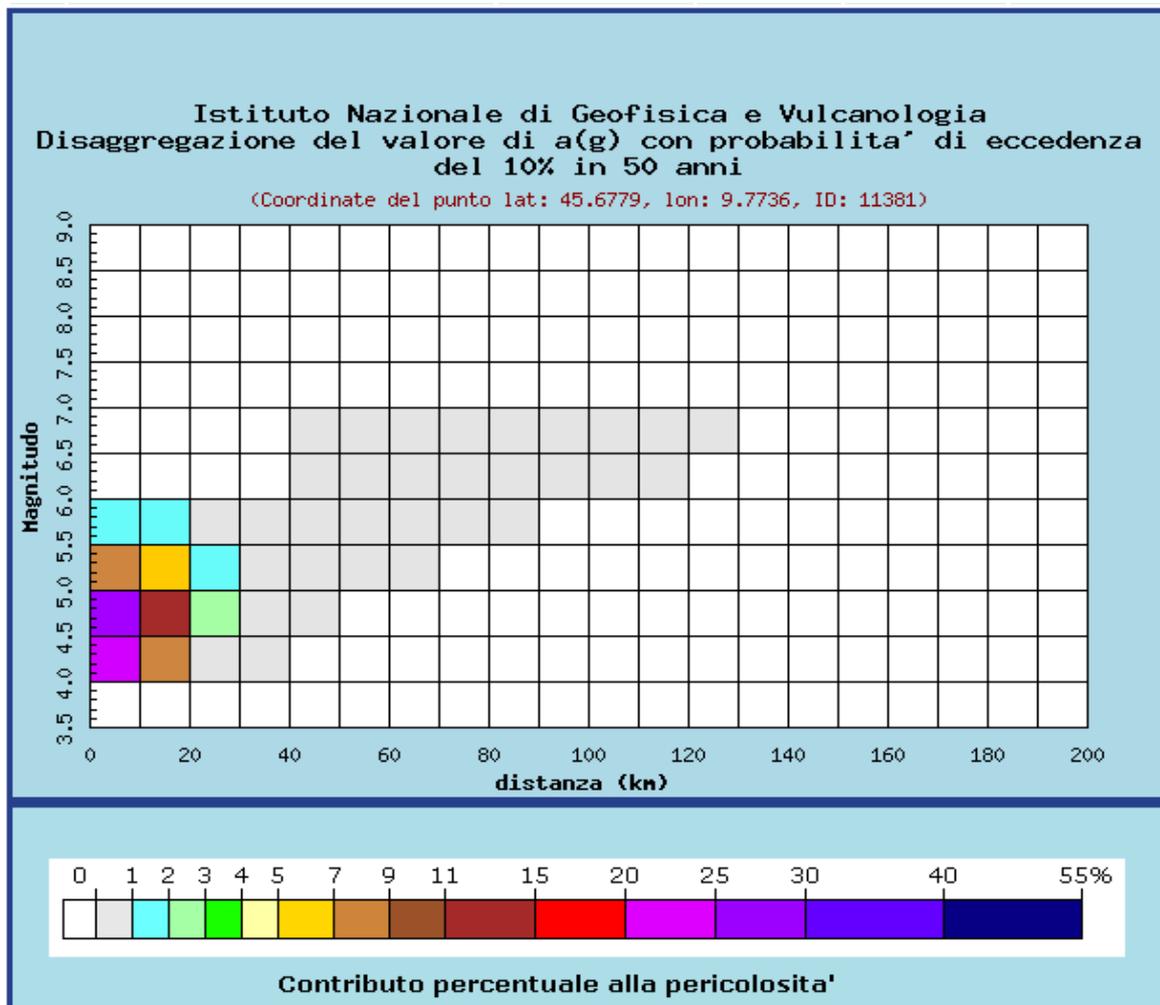


Figura 11-9 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità per il punto di griglia 11381 (per  $T_R$  475 anni, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)).

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>124 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	124 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	124 di 128								

## 12 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- la tratta ferroviaria esaminata si sviluppa nel settore centrale della regione Lombardia, ed in particolare ricade nel comune di Bergamo tra via dei Caniana e via dell’Autostrada. Lo studio geologico, per avere un set di informazioni più dettagliate, è stato esteso dalla stazione di Bergamo fino al paese di Ponte San Pietro (BG).
- Il territorio in esame 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 sono interessate unità appartenenti allo stesso dominio paleogeografico e non si sono verificati significativi episodi di metamorfismo.
- Dal punto di vista stratigrafico i terreni presenti sono costituiti da:
  - da p.k. 0+000 a p.k. 4+620: Gruppo della Morla, in particolare materiali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi in matrice limosa con la presenza di importanti spessori di materiale fine (limo e argilla) più o meno estesi e presenza di livelli conglomeratici continui a partire da 19 metri dal piano campagna. Alla progressiva 3+620 uno dei sondaggi ha individuato la presenza di arenarie appartenenti al Flysch di Bergamo.
  - Da p.k. 4+620 a p.k. 6+200: Sintema di Brembate, in particolare materiali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi in matrice limosa con livelli di materiale fine più rari. Materiale marnoso e arenaceo afferente al Flysch di Bergamo è stato rinvenuto presso le progressive 5+200 e 6+100 rispettivamente a 25 e 14 metri da p.c..
  - Da p.k. 6+200 a p.k. 6+520: Unità di Ponte San Pietro, materiali ghiaioso-sabbiosi, sovrastanti materiali del Gruppo della Morla e probabilmente, più in profondità, conglomerati appartenenti al Ceppo del Brembo.
  - Da p.k. 6+520 a p.k. 7+400: Supersintema di Lenna, materiali sabbioso-ghiaiosi sovrastanti conglomerati del Ceppo del Brembo a partire da 10 metri da p.c., talvolta incisi e coperti da depositi ghiaiosi del Sintema del Po, in corrispondenza degli alvei del Torrente Quisa e del Fiume Brembo, e coperti, a fine tratta, da ghiaie dell’Unità di Bonate.
- Dal punto di vista geomorfologico l’area 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 2Km, da una quota di 246,3m s.l.m, fino ad una quota di 231,7m s.l.m. La morfologia originaria del territorio risulta quasi del tutto obliterata dalle attività antropiche (urbane ed agricole), così come la rete idrografica completamente adattata al contesto antropizzato. Le morfologie maggiormente evidenti e preservate dall'antropizzazione riguardano i terrazzi fluvio-glaciali localizzati presso Curno, Mozzo e Ponte San Pietro e riferiti al Torrente Quisa e al Fiume Brembo. Essi decrescono in altezza muovendosi in direzione est, ovvero allontanandosi dall'alveo attuale dei due elementi idrografici.

- Dal punto di vista idrografico il reticolo idrografico naturale dell'area di Bergamo è formato, oltre che dal fiume Brembo, dai numerosi torrenti che scendono dai rilievi collinari, ed in particolare dal Torrente Quisa (Ponte San Pietro e Mozzo) e dal Torrente Morla (Bergamo), oltre che da una rete di canali e rogge piuttosto fitta.
- 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 di acquiferi principali: un sistema superficiale, con falda libera, ed uno inferiore con falda confinata. Allo scopo di acquisire le necessarie informazioni sulle condizioni idrogeologiche, sono state svolte prove di permeabilità nei sondaggi geognostici eseguiti ed alcuni di questi sono stati attrezzati con piezometro per il monitoraggio della quota della falda. L'area di progetto è composta da sedimenti caratterizzati da una permeabilità da medio alta, con una conducibilità idraulica compresa tra  $10^{-6}$  m/sec e  $10^{-4}$  m/sec, nei materiali ghiaioso-sabbiosi, medio-bassa nei materiali a matrice limosa particolarmente abbondante, e bassa nei depositi argilloso-limosi ed in quelli litoidi marnoso-arenacei. La falda è stata monitorata nei piezometri installati per il progetto, sia in fase di fattibilità che definitiva; essa risulta avere un andamento piuttosto discontinuo, variabile a seconda dell'assetto stratigrafico. In generale si riscontra la presenza di una falda continua a profondità via via decrescenti a partire dal territorio orientale della città di Bergamo sino a Ponte San Pietro, dove essa si raccorda agli elementi idrografici presenti, mentre nella porzione più occidentale del tracciato essa risulta individuabile solo localmente ed a profondità elevate, probabilmente connessa alla circolazione idrica nei conglomerati. Si riscontra la presenza di acque sotterranee talvolta a pochi metri dal piano campagna (sondaggi L1-S8, L1-S10), tuttavia si ritiene che tali evidenze siano legate ad accumuli idrici sospesi al di sopra di importanti livelli a bassa permeabilità.
- 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

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLLO</b></p> <p><b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>126 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	126 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	126 di 128								

tracciato ferroviario 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 geomorfologica, idraulica e geologica, in seguito alla presa visione della cartografia del PGT del comune di Bergamo e dell’Autorità di bacino del fiume Po, è possibile affermare che:
  - la tratta ferroviaria, sviluppandosi interamente su territorio pianeggiante, non risulta interessata da fenomeni di dissesto e non attraversa aree classificate a rischio geomorfologico. Possono essere considerati elementi di attenzione da questo punto di vista le scarpate dei terrazzi fluvio-glaciali del Fiume Brembo e del Torrente Quisa, che raggiungono altezze anche superiori ai 5 metri; essi ad ogni modo risultano ampiamente rimodellati dall’azione antropica.
  - Dal punto di vista del rischio idraulico, secondo la cartografia tematica del PGT di Bergamo, la linea ferroviaria interseca fasce a pericolosità idraulica quali quella del Fiume Brembo, del Torrente Quisa e della Roggia Curna.
  - Dal punto di vista geologico sono stati considerati i dati stratigrafici e geotecnici a disposizione per verificare l’eventuale presenza di livelli di materiale geotecnicamente scadente, la presenza di eventuali cavità e la 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 elaborate, è possibile escludere particolari criticità di questo tipo.
- Dal punto di vista sismico il sito risulta caratterizzato da una sismicità moderata. Sulla base delle indagini geofisiche, il sito di progetto è classificabile in categoria di suolo B. Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, nessuno dei motivi di esclusione risulta verificato a priori, per cui dovrà essere effettuata una verifica del fenomeno di liquefazione che sarà oggetto della relazione geotecnica.

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b>  <b>LOTTO 9: Opere Civili e Impianti Tecnologici di Piazzale per il completamento del raddoppio della linea Ponte SP – Bergamo e per lo spostamento provvisorio della linea Treviglio - Bergamo</b></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>NB1R</td> <td>09 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>127 di 128</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	127 di 128
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NB1R	09 D 69	RG	GE 0001 001	A	127 di 128								

### 13 BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. - Piani di Governo del Territorio, Componenti geologica, idrogeologica e sismico, Relazione geologica e cartografia di piano, Comune di Bergamo, Comune di Curno, Comune di Mozzo, Comune di Ponte San Pietro.
- 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.
- Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000, F097 Vimercate, 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.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: *A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., (2005) – *Seismogenic source potentially responsible for earthquakes with M ≥ 6 in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. Geophys. J. Int., 161, 739-762.
- Galadini F., Galli P., Molin D., Ciurletti D. (2001), *Searching for the seismogenic source of the 1117 earthquake in northern Italy: a multi- disciplinary approach*. In: Glade, T., Albini, P., Frances, F. (Eds.), *The use of historical data in natural hazards assessment*. Kluwer Academic publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 3–27.

- 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.
- Gruppo di Lavoro CPTI (2004). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, versione 2004 (CPTI04). INGV Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI/>.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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

Relazione geologica, geomorfologica e idrogeologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM1V	00 R 69	RG	GE 0001 001	A	130 di 48