

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J84H17000930009

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

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

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

N M 2 5 0 3 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 Esecutiva	F. Paolucci <i>Dot. Francesco Paolucci</i>	Aprile 2020	R: Briganti <i>RL</i>	Aprile 2020	M. Berlingieri <i>MB</i>	Aprile 2020	M. Comedini Aprile 2020

File: NM2503D69RGGE0001001A.doc

n. Elab.:

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	2 di 222

INDICE

1	PREMESSA	25
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	28
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	30
4	ASSETTO GENERALE	33
4.1	INQUADRAMENTO STRUTTURALE	33
	<i>Terziario - Eocene e Miocene.....</i>	<i>33</i>
	<i>Terziario – Pliocene.....</i>	<i>34</i>
	<i>Quaternario – Pleistocene.....</i>	<i>34</i>
4.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	35
4.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	43
	<i>Geomorfologia dell'area di progetto.....</i>	<i>47</i>
4.4	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	57
4.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	67
4.6	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO DELLE AREE DI PROGETTO.....	72
	<i>Comune di Piadena.....</i>	<i>73</i>
	<i>Le misure del pozzo PO0190710U0713 sono molto poche e pertanto non è stato riportato il diagramma delle misure mensili poiché non significative.....</i>	<i>75</i>
	<i>Comune di Tornata.....</i>	<i>78</i>

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	3 di 222

<i>Comune di Bozzolo</i>	80
<i>Comune di Marcaria</i>	82
<i>Comune di Castellucchio</i>	85
<i>Comune di Curtatone</i>	87
<i>Comune di Mantova</i>	90
5 ANALISI DELLE CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE	96
5.1 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA	97
5.2 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO	97
<i>Cartografia generale dell'autorità di bacino del fiume Po</i>	98
<i>Analisi della cartografia della pericolosità e del rischio idraulico</i>	103
6 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO	115
7 VINCOLI DI DIFESA DEL SUOLO E FATTIBILITÀ GEOLOGICA	122
7.1 COMUNE DI PIADENA	122
7.2 COMUNE DI TORNATA	122
7.3 COMUNE DI BOZZOLO	125
7.4 COMUNE DI MARCARIA	125
7.5 COMUNE DI CASTELLUCCHIO	125
7.6 COMUNE DI CURTATONE	125
7.7 COMUNE DI MANTOVA	125

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>4 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	4 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	4 di 222								

8	INDAGINI	129
8.1	PREMESSA	129
8.2	FONTI BIBLIOGRAFICHE (DB REGIONE LOMBARDIA ED ENSER)	129
	<i>Prove derivanti dall'archivio ENSER (2007)</i>	129
	<i>Prove derivanti dal Database Geognostico Regione Lombardia</i>	130
8.3	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2018 (PFTE RADDOPPIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA).....	131
8.4	CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019-2020 (PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA PIADENA – MANTOVA, LOTTO 3)	132
8.5	PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	152
9	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	153
9.1	MODELLO GEOLOGICO DELLE AREE DELLE PRINCIPALI OPERE D'ARTE	160
	<i>NV22 – Cavalcaferrovia p.k.56+514</i>	160
	<i>NV 23 – Cavalcaferrovia 59+573 (LS)</i>	160
	<i>NV 24 – Cavalcaferrovia 64+080</i>	161
	<i>NV 25 – Cavalcaferrovia 65+363</i>	161
	<i>NV 26 – Cavalcaferrovia 68+187</i>	162
	<i>NV 27 – Sottovia 69+650</i>	162
	<i>NV 28 – Cavalcaferrovia 74+767</i>	163
	<i>NV 29 – Cavalcaferrovia 76+184</i>	163

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	5 di 222

<i>NV 30 – Cavalcaferrovia 78+061.....</i>	<i>163</i>
<i>NV 31 – Cavalcaferrovia 79+398.....</i>	<i>164</i>
<i>NV 32 – Cavalcaferrovia 82+088.....</i>	<i>164</i>
<i>NV 33 – Cavalcaferrovia 84+555.....</i>	<i>164</i>
<i>NV 34 – Cavalcaferrovia 87+685.....</i>	<i>165</i>
9.2 DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLA COMPONENTE IDROGEOLOGICA E IDROGRAFICA.....	166
<i>Permeabilità dei depositi</i>	<i>166</i>
<i>Campagna di monitoraggio idrogeologico 2019-2020.....</i>	<i>169</i>
10 INQUADRAMENTO SISMICO	188
10.1 PREMESSA	188
10.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE	190
10.3 LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI D'INTERESSE LUNGO IL TRACCIATO	196
10.4 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	196
<i>Generalità</i>	<i>196</i>
<i>Vita utile e classe d'uso</i>	<i>198</i>
<i>Stati limite e probabilità di superamento.....</i>	<i>200</i>
<i>Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g</i>	<i>201</i>
<i>Risposta sismica locale</i>	<i>206</i>
10.5 ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	216

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	6 di 222

11 SINTESI DELLE CRITICITA' RISCONTRATE LUNGO LA LINEA	219
12 CONCLUSIONI	221
13 BIBLIOGRAFIA.....	227
ALLEGATO A – PROVE DI LABORATORIO	231
ALLEGATO B – INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO	244
ALLEGATO C – LETTURE PIEZOMETRICHE	251

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>7 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	7 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	7 di 222								

INDICE DELLE FIGURE

Figura 3-1 – Immagine aerea del tracciato ferroviario, evidenziato in rosso, oggetto della Progettazione Definitiva. (Google Earth).	30
Figura 3-2 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Piadena (CR) e Bozzolo (MN).....	31
Figura 3-3 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Bozzolo (MN) e Castellucchio (MN).	31
Figura 3-4 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Castellucchio (MN) e Mantova.	32
Figura 4-1 – Schema strutturale della Pianura Padana (da Pieri e Groppi, 1981), isobate del tetto del Pliocene in migliaia di metri. Nel cerchio rosso l’area di studio.	35
Figura 4-2 – Stralcio non in scala del Foglio 61 “Cremona” del Servizio Geologico d’Italia Scala 1: 100.000. In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.....	37
Figura 4-3 – Stralcio della Legenda del Foglio 61 “Cremona” del Servizio Geologico d’Italia.	38
Figura 4-4 – Stralcio non in scala del Foglio 62 “Mantova” del Servizio Geologico d’Italia Scala 1: 100.000. In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.....	39
Figura 4-5 – Stralcio della Legenda del Foglio 62 “Mantova” del Servizio Geologico d’Italia.	40
Figura 4-6 – Sezione stratigrafica del Fiume Oglio. Presso l’abitato di Piadena si sviluppa il tracciato ferroviario (Carta Geologica d’Italia 1: 100.000, F61 “Cremona”).	41
Figura 4-7 – Stralcio della Carta geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Piadena. Anno 2012. Scala 1: 10.000. In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.....	48
Figura 4-8 – Stralcio della Legenda della Carta geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Piadena.....	49

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>8 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	8 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	8 di 222								

Figura 4-9 – Stralcio della Carta e della legenda geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Tornata (Anno 2009, scala 1: 10.000). In rosso si evidenzia la linea ferroviaria.	50
Figura 4-10 – Stralcio della Carta e della legenda idro – geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Bozzolo (Anno 2011, scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.	51
Figura 4-11 – Stralcio della Carta idro – geomorfologica (nord) redatta PGT del Comune di Marcaria (Anno 2009, scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.	52
Figura 4-12 – Stralcio della Legenda della Carta idro – geomorfologica (nord) redatta dal PGT del Comune di Marcaria.	53
Figura 4-13 – Carta geomorfologica semplificata del territorio comunale di Castellucchio (Anno 2011).	54
Figura 4-14 – Stralcio della Carta e della legenda idro – geomorfologica-Nord redatta dal PGT del Comune di Curtatone. Anno 2010 e scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.....	55
Figura 4-15 – Stralcio della Carta e della legenda litologica e geomorfologica con elementi geopedologici redatta dal PGT del Comune di Mantova (Anno 2012 e scala 1: 10.000). In rosso il tracciato ferroviario.....	56
Figura 4-16 – Stralcio, non in scala, della carta fisica della Pianura Padana. Il rettangolo rosso evidenzia l’area di studio.	57
Figura 4-17 – Stralcio, non in scala, dei corsi d’acqua principali nell’area di studio (evidenziata in rosso) e dei suoi affluenti.	59
Figura 4-18 – Stralcio non in scala della cartografia del “Reticolo Idrico Unificato della Regione Lombardia” nella tratta da Piadena (CR) a Mantova.....	60
Figura 4-19 – Schema dei rapporti stratigrafici (Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002).	71

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>9 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	9 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	9 di 222								

- Figura 4-20 – Stralcio della carta idrogeologica, scala 1: 10.000, redatta dal PGT del comune di Piadena, anno 2012. In rosso è riportata la linea ferroviaria. Il cerchio rosso indica l'ubicazione del pozzo PO019071NRA001.....76
- Figura 4-21 – Stralcio della legenda della carta idrogeologica allegata al PGT del comune di Piadena. 77
- Figura 4-22 – Misure mensili di soggiacenza statica nel pozzo PO019071NRA001 di Piadena.....77
- Figura 4-23 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Tornata, anno 2009 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.79
- Figura 4-24 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del Comune di Tornata.....80
- Figura 4-25 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Bozzolo, anno 2011 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.81
- Figura 4-26 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del comune di Bozzolo.81
- Figura 4-27 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Marcaria, anno 2009 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.83
- Figura 4-28 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del comune di Marcaria.84
- Figura 4-29 - Misure mensili di soggiacenza statica misurata nel pozzo PO0200310R0062 di Marcaria 84
- Figura 4-30 – Stralcio della Carta idrogeologica semplificata del territorio comunale di Castellucchio, anno 2011. In colore rosso la linea ferroviaria.86
- Figura 4-31 – Stralcio della legenda idrogeologica della carta del territorio di Castellucchio.86
- Figura 4-32 – Stralcio della Carta Idrogeologica-Nord redatta dal PGT del comune di Curtatone, anno 2010 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.....88
- Figura 4-33 – Stralcio della legenda idrogeologica-Nord redatta dal PGT del comune di Curtatone.....89
- Figura 4-34 – Misure mensili di soggiacenza statica del pozzo PO0200210R0045 di Curtatone.....89

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>10 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	10 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	10 di 222								

Figura 4-35 – Carta dei deflussi degli acquiferi superficiali (sett. 1990). Con la linea blu tratteggiata si riporta il presunto spartiacque idrogeologico tra il bacino del Mincio, a nord, e quello del Po, a sud.91

Figura 4-36 – Stralcio (non in scala) della carta della soggiacenza dal PGT del comune Mantova, anno 2012.93

Figura 4-37 – Stralcio della Carta idrogeologica, e relativa legenda, redatta per il PGT del comune di Mantova, anno 2012 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria. Il cerchio rosso indica l'ubicazione del piezometro di controllo PO020030NU004 le cui misure sono riportate in Figura 4-37.94

Figura 4-38 – Misure mensili di soggiacenza statica del piezometro PO020030NU004 di Mantova.95

Figura 5-1 – Stralcio della Carta delle Aree a Rischio Significativo (ARS) del Bacino del Po. In rosso la linea ferroviaria..... 101

Figura 5-2 – Stralcio della Carta delle estensioni complessive delle aree allagabili. In rosso la linea ferroviaria.102

Figura 5-3 -Stralcio della Carta degli elementi areali, lineari e puntuali a rischio. In rosso la linea ferroviaria.103

Figura 5-4 – Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Piadena e Tornata..... 104

Figura 5-5 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Tornata e Bozzolo.105

Figura 5-6 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Bozzolo e Marcaria..... 105

Figura 5-7 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Castellucchio.106

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>11 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	11 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	11 di 222								

Figura 5-8 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Mantova.	107
Figura 5-9 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Piadena.	108
Figura 5-10 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Tornata e Bozzolo. Il riquadro blu viene ingrandito in Figura 5-11.	109
Figura 5-11 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area presso l'attraversamento del fiume Oglio.	110
Figura 5-12 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Marcaria.	111
Figura 5-13 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Castellucchio e Curtatone.	112
Figura 5-14 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Mantova. L'area nel riquadro blu viene ingrandita in Figura 5-15.	112
Figura 5-15 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Dettaglio dell'area della stazione di Mantova.	113
Figura 5-16 – Delimitazione delle fasce fluviali del PAI vigente (Geoportale Regione Lombardia) presso il fiume Oglio.	114
Figura 5-17 – Delimitazione delle fasce fluviali del PAI vigente (Geoportale Regione Lombardia) presso il fiume Mincio.	114
Figura 6-1 - Schema attributivo delle classi di vulnerabilità secondo il metodo GNDICI-CNR.	116

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>12 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	12 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	12 di 222								

Figura 6-2 – Stralcio della carta idrogeologica (Tavola 4) del PGT di Piadena. In rosso la linea ferroviaria.	118
Figura 6-3 – Stralcio della Carta idrogeologica (Tavola 4) del PGT di Tornata. In rosso la linea ferroviaria.	118
Figura 6-4 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Bozzolo. In rosso la linea ferroviaria.	119
Figura 6-5 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Marcaria. In rosso la linea ferroviaria.	119
Figura 6-6 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Curtatone. In rosso la linea ferroviaria.	120
Figura 6-7 – Stralcio della Carta idrogeologica e della vulnerabilità (Tavola 4) del PGT di Mantova. In rosso la linea ferroviaria.	121
Figura 7-1 – Stralcio (non in scala) della Carta dei vincoli geologici del Piano di Governo del Territorio del Comune di Piadena (scala 1:10.000, settembre 2012). In rosso la linea ferroviaria.....	123
Figura 7-2 – Stralcio della legenda della carta dei vincoli geologici del Piano di Governo del Territorio del comune di Piadena.....	123
Figura 7-3 – Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli geologici redatta nell’ambito dello Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Tornata (scala 1:10.000, gennaio 2009). In rosso la linea ferroviaria.	124
Figura 7-4 - Stralcio della legenda della carta dei vincoli geologici redatta nell’ambito dello Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Tornata.....	124
Figura 7-5 – Stralcio (non in scala) della Carta dei vincoli redatta nell’ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Bozzolo (1:10.000, giu. 2011). In rosso la linea ferroviaria.	126

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>13 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	13 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	13 di 222								

Figura 7-6 - Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Castellucchio (1:10.000, giugno 2011). In rosso la linea ferroviaria.....127

Figura 7-7 - Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Mantova (1:10.000, giugno 2012). In rosso la linea ferroviaria.128

Figura 9-1 –Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Piadena e Mantova.183

Figura 9-2 –Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Piadena e Bozzolo.184

Figura 9-3 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Bozzolo e il Fiume Oglio.....185

Figura 9-4 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra il Fiume Oglio e Castellucchio.....186

Figura 9-5 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Castellucchio e Mantova.187

Figura 9-3 Quote piezometriche misurate tra ottobre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra il fiume Oglio e Mantova.187

Figura 10-1 Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno dell'tracciato di progetto (linea blu) da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).189

Figura 10-2 – Localizzazione delle opere in progetto assieme ai punti notevoli lungo il tracciato a delimitare zone a pericolosità sismica costante.....190

Figura 10-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno dell'area di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchietti colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>14 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	14 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	14 di 222								

Italiani (CPT115). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.192

Figura 10-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “*Database of Individual Seismogenic Sources*” (DISS 3.2), rilevanti per il tracciato di progetto (linea blu).194

Figura 10-5 – Storia sismica del comune di Piadena (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).195

Figura 10-6 – Storia sismica del comune di Mantova (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016). ...195

Figura 10-7 – Mappa della classificazione sismica regionale. Il tracciato di progetto è indentificato in rosso.197

Figura 10-8 – Variazione del parametro di accelerazione su suolo rigido orizzontale a_g lungo il tracciato, per diversi periodi di ritorno di riferimento per $V_R = 50$ anni.204

Figura 10-9 – Profilo V_s per le opere NV22 e NV35 sui risultati della prova MASW R1 e di calcolo sovrapposti ai profili di riferimento per le diverse litologie prevalenti (DGR IX-2616 del 30/11/2011).212

Figura 10-10 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx: $U_c < 3.5$, dx: $U_c > 3.5$).217

Figura 10-11 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità per il punto di griglia 13837 (per T_R 949 anni, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)).218

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>15 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	15 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	15 di 222								

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 8-1 – Indagini Società ENSER S.r.l.....	129
Tabella 8-2 – Indagini Data base Regione Lombardia.....	130
Tabella 8-3 – Prove Campagna Italferr 2018.....	131
Tabella 8-4 – Sondaggi campagna Italferr 2019-2020.....	133
Tabella 8-5 – Prove SCPTU campagna di indagine Italferr 2019-2020.	137
Tabella 8-6 – Prove CPT campagna di indagine Italferr 2019-2020.	137
Tabella 8-7 – Risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione dei sondaggi Italferr 2019....	138
Tabella 8-8 – Valori di permeabilità K (m/s) calcolati tramite prove di Lefranc eseguite in foro di sondaggio (campagna Italferr 2019-2020).....	145
Tabella 8-9 – Prove pressiometriche eseguite in foro di sondaggio (campagna Italferr 2019-2020).....	149
Tabella 8-10 – Prove geofisiche MASW, campagna Italferr 2019-2020.	149
Tabella 8-11 – Prove geofisiche <i>Down-Hole</i> , campagna Italferr 2019-2020.	150
Tabella 8-12 – Profili sismici a rifrazione, Sintesi dell’estensione metrica lineare (m) e ubicazione rispetto alle progressive chilometriche del tracciato di raddoppio in progetto (campagna Italferr 2019-2020) ...	150
Tabella 8-13 - Profili tomografici elettrici 2D - Sintesi dell’estensione metrica lineare (m) e ubicazione rispetto alle progressive chilometriche del tracciato di raddoppio in progetto (campagna Italferr 2019-2020).....	151
Tabella 8-14– Riepilogo campioni prelevati e prove di laboratorio eseguite.....	152
Tabella 10-1 –Identificazione e coordinate geografiche dei punti di interesse lungo il tracciato per la definizione dell’azione sismica di progetto.	196

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>16 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	16 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	16 di 222								

Tabella 10-2 – Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, in funzione delle opere considerate, per i diversi stati limite.201

Tabella 10-3 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno del sito di progetto. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009.....202

Tabella 10-4 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni (infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33).205

Tabella 10-5 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 75$ anni (cavalcaferrovia NV32 e NV33).206

Tabella 10-6 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 100$ anni (cavalcaferrovia NV23 e NV29).206

Tabella 10-7 – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).208

Tabella 10-8 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 50$ anni (infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33).209

Tabella 10-9 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 75$ anni (cavalcaferrovie NV32 e NV33).209

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>17 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	17 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	17 di 222								

Tabella 10-10 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 100$ anni (cavalcaferrovie NV23 e NV29).....210

Tabella 10-11 – 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 queste opere.211

Tabella 10-12 – 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 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.213

Tabella 10-13 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per le opere NV24, NV36 e NV34 ($V_R = 50$ anni).....214

Tabella 10-14 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per le cavalcaferrovie NV32 e NV33 ($V_R = 75$ anni).....215

Tabella 11-1 – Sintesi degli elementi di criticità per ciascuna sotto-tratta.220

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	18 di 222

TAVOLE ALLEGATE

Identificativo	Scala	Codifiche Italferr																				
		N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Ubicazioni indagini	1:10.000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Ubicazioni indagini	1:10.000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	2	A
Planimetria ubicazione indagini	1:10.000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	2	A
Planimetria ubicazione indagini	1:10.000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	4	G	E	0	0	0	5	0	0	2	A
Ubicazioni indagini (prospezioni geofisiche)	varie	N	M	2	5	0	3	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	0	0	0	2	A
Carta geologica e geomorfologica 1/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e geomorfologica 2/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Carta geologica e geomorfologica 3/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	3	A
Carta geologica e geomorfologica 4/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	4	A
Carta geologica e geomorfologica 5/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	5	A
Carta geologica e geomorfologica 6/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	6	A
Carta geologica e geomorfologica 7/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	7	A
Carta geologica e geomorfologica 8/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	1	0	0	8	A

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	19 di 222

Carta idrogeologica 1/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carta idrogeologica 2/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Carta idrogeologica 3/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	3	A
Carta idrogeologica 4/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	4	A
Carta idrogeologica 5/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	5	A
Carta idrogeologica 6/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	6	A
Carta idrogeologica 7/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	7	A
Carta idrogeologica 8/8	1:5000	N	M	2	5	0	3	D	6	9	G	5	G	E	0	0	0	2	0	0	8	A
Profilo geologico 1/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Profilo geologico 2/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A
Profilo geologico 3/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	3	A
Profilo geologico 4/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	4	A
Profilo geologico 5/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	5	A
Profilo geologico 6/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	6	A
Profilo geologico 7/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	7	A
Profilo geologico 8/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	1	0	0	8	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV22	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV23	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	20 di 222

Carta e profilo geologico dell'opera NV24	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	3	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV25	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	4	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV26	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	5	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV27	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	6	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV28	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	7	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV29	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	8	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV30	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	9	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV31	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	1	0	A
Carta e profilo geologico dell'opera NV32	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	1	1	A
Carta e profilo geologico dell'opera	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	1	2	A

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	21 di 222

NV33																						
Carta e profilo geologico dell'opera NV34	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	1	3	A
Profilo idrogeologico 1/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Profilo idrogeologico 2/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Profilo idrogeologico 3/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	3	A
Profilo idrogeologico 4/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	4	A
Profilo idrogeologico 5/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	5	A
Profilo idrogeologico 6/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	6	A
Profilo idrogeologico 7/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	7	A
Profilo idrogeologico 8/8	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	F	5	G	E	0	0	0	2	0	0	8	A
Carta e profilo idrogeologico dell'opera NV22	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A
Carta e profilo idrogeologico dell'opera NV23	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	2	A
Carta e profilo idrogeologico dell'opera	1:5000/500	N	M	2	5	0	3	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	3	A

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	24 di 222

DOCUMENTI ALLEGATI

Identificativo	Scala	Codifiche Italferr																				
		N	M	2	5	0	3	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Relazione – Indagini bibliografiche	-	N	M	2	5	0	3	D	6	9	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Relazione - Indagini geofisiche	-	N	M	2	5	0	3	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	0	0	0	1	A
Report -Sondaggi e stratigrafie	-	N	M	2	5	0	3	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Report -Prove di laboratorio	-	N	M	2	5	0	3	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Report -Prove di laboratorio	-	N	M	2	5	0	3	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	1	0	0	2	A

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>25 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	25 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	25 di 222								

1 PREMESSA

Nel Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia è riportata la pianificazione di “Riqualificazione Milano – Codogno – Cremona - Mantova”. Tale voce, oltre a citare gli interventi di raddoppio conclusi nel 2015 tra la località Cavatigozzi e Cremona, riporta anche l'intervento di raddoppio, proposto in maniera selettiva, sull'intera relazione.

Recentemente sulla linea sono stati firmati impegni e convenzioni attuative che hanno interessato la Regione Lombardia e Rete Ferroviaria Italiana. L'obiettivo commerciale, alla base di questi interventi, è creare le condizioni per l'incremento della regolarità sulla relazione regionale Milano – Mantova ed un suo successivo potenziamento, nonché raggiungere la frequenza di un treno/h per direzione.

Successivi approfondimenti svolti dalle strutture territoriali di RFI congiuntamente alla Regione Lombardia, hanno messo in evidenza la necessità di approfondire la tratta prioritaria di raddoppio, anche alla luce del modello di esercizio che sarà adottato dalla Regione stessa.

La linea ha inoltre un notevole interesse merci legato, non solo alla presenza degli impianti industriali raccordati, ma anche al fatto che tale linea fa parte del corridoio alternativo al Mediterraneo.

In quest'ottica, il presente Progetto Definitivo, compendia gli interventi necessari, nell'ambito della linea Codogno – Cremona – Mantova, all'attivazione prioritaria della tratta Piadena – Mantova, 1^ fase funzionale del raddoppio della linea in oggetto.

L'opera si sviluppa nella bassa pianura lombarda, andando da ovest verso est; lo sviluppo della tratta è di circa 34km tra le località di Piadena (km 55+286 LS) e Mantova (km 89+557 LS).

La 1^ fase del progetto prevede i seguenti interventi:

- Raddoppio tratta Piadena – Bozzolo: raddoppio con tratti in variante tramite la realizzazione di un nuovo binario ad interasse di circa 22.50 metri dall'attuale, da eseguirsi in presenza di esercizio ferroviario;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>26 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	26 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	26 di 222								

- Raddoppio tratta Bozzolo – Mantova: raddoppio in stretto affiancamento da eseguirsi in interruzione prolungata di esercizio ferroviario.

Il progetto prevede, nell'ambito della realizzazione nuova della sede ferroviaria a doppio binario, i relativi impianti ed apparati tecnologici e di trazione elettrica, inoltre la riqualificazione delle stazioni e dei PRG di Piadena, Bozzolo e Marcaria, della fermata di Castellucchio e del PRG di Mantova. È prevista, ancora, la soppressione di tutti i PL di linea tramite realizzazione di opportune nuove opere sostitutive.

L'intervento, nel suo complesso, grazie all'incremento delle prestazioni della linea, si caratterizza come un potenziamento dei collegamenti regionali e merci attualmente programmati.

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatto nell'ambito della Progettazione Definitiva del Raddoppio della linea ferroviaria Codogno – Cremona – Mantova ed in particolare per la tratta ferroviaria Piadena – Mantova (Lotto 3).

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili derivanti da:

- fonti bibliografiche (Database Geognostico Regione Lombardia e database della società ENSER S.r.l.);
- indagini geognostiche eseguite da Italferr, nel 2018, a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica del Raddoppio ferroviario Codogno – Cremona – Mantova, che includono n.7 prove geofisiche (n.3 di tipo MASW e n.4 prove SCPTU);
- indagini geognostiche e geofisiche realizzate da Italferr nel 2019-2020 nell'ambito del presente Progetto Definitivo e comprendenti n.55 sondaggi geognostici (di cui n.47 attrezzati a piezometro), n.5 pozzetti con esecuzione di prove di permeabilità e n.13 pozzetti con esecuzione di prove di carico su piastra, n.13 prove CPTU, n.10 prove SCPTU oltre a indagini di prospezione geofisica (MASW, Down-Hole, sismica a rifrazione, geoelettrica).

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

1. Inquadramento geografico.
2. Inquadramento geologico dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	27 di 222

3. Analisi delle criticità di carattere geomorfologico e idraulico.
4. Vulnerabilità del primo acquifero.
5. Analisi dei vincoli territoriali.
6. Descrizione delle indagini eseguite a supporto della progettazione.
7. Modello geologico di riferimento generale della tratta e delle principali opere d'arte.
8. Descrizione della componente idrogeologica di dettaglio, analisi della permeabilità dei depositi, analisi dei dati piezometrici.
9. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, valutazione della necessità di verifiche di liquefazione dei terreni.


	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>28 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	28 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	28 di 222								

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.
- 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.
- 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”.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>29 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	29 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	29 di 222								

- 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).

	RADDOPPIO FERROVIARIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 30 di 160

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto ricade nel settore centro-meridionale della Pianura Padana, nella fascia compresa tra il corso del fiume Po, a sud, il corso del fiume Oglio, ad ovest (il quale interseca anche la linea ferroviaria) e il corso del fiume Mincio a nord-est, e si estende tra gli abitati di Piadena e Mantova (Figura 3-1, 3-2, 3-3 e 3-4).

La tratta ferroviaria si estende per circa 34 km su superficie topografica pianeggiante compresa tra 35 e 20 metri di quota s.l.m., in ambiente agricolo, intensamente coltivato. Essa attraversa, da ovest a est, i comuni di Piadena (CR), Tornata (CR), Bozzolo (MN), Marcaria (MN), Castellucchio (MN), Curtatone (MN) e termina nel comune di Mantova. Il fiume Oglio viene superato tra gli abitati di Bozzolo e Marcaria tramite un ponte a tre campate. Per quanto riguarda gli aspetti meteo climatici dell'area si rimanda all'inquadramento riportato in Allegato B fuori testo.



Figura 3-1 – Immagine aerea del tracciato ferroviario, evidenziato in rosso, oggetto della Progettazione Definitiva. (Google Earth).

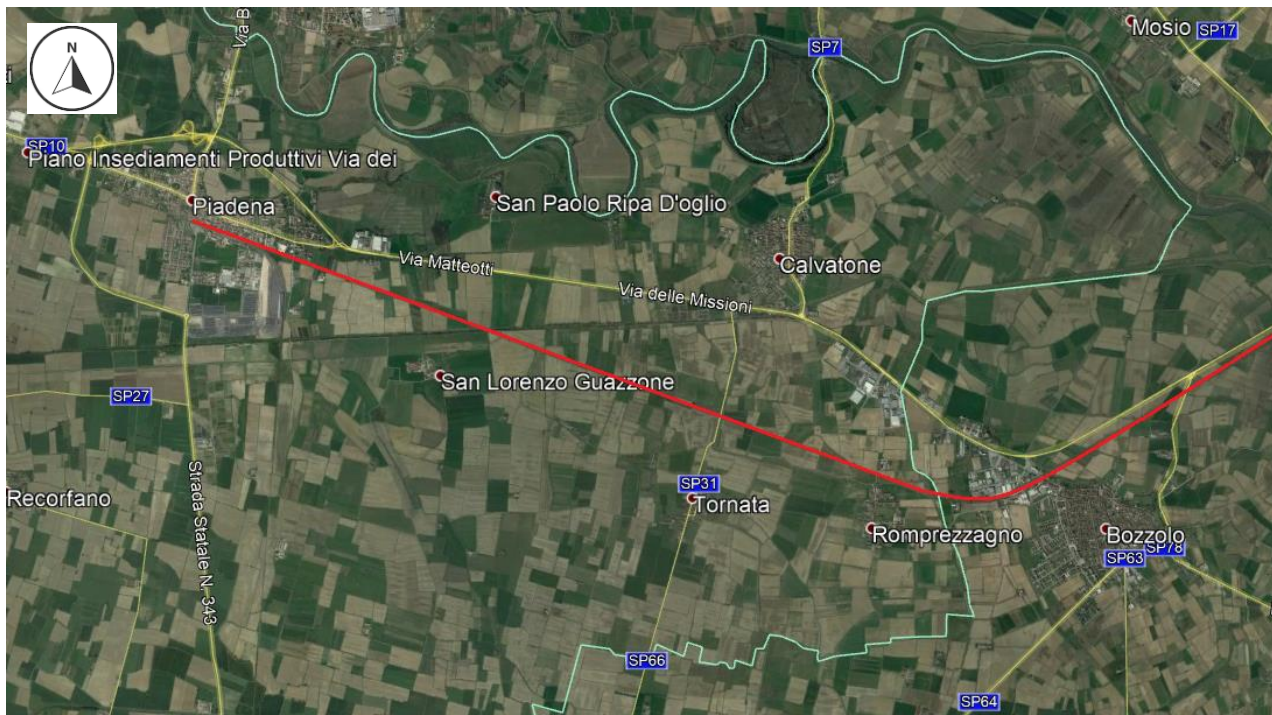


Figura 3-2 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Piadena (CR) e Bozzolo (MN).

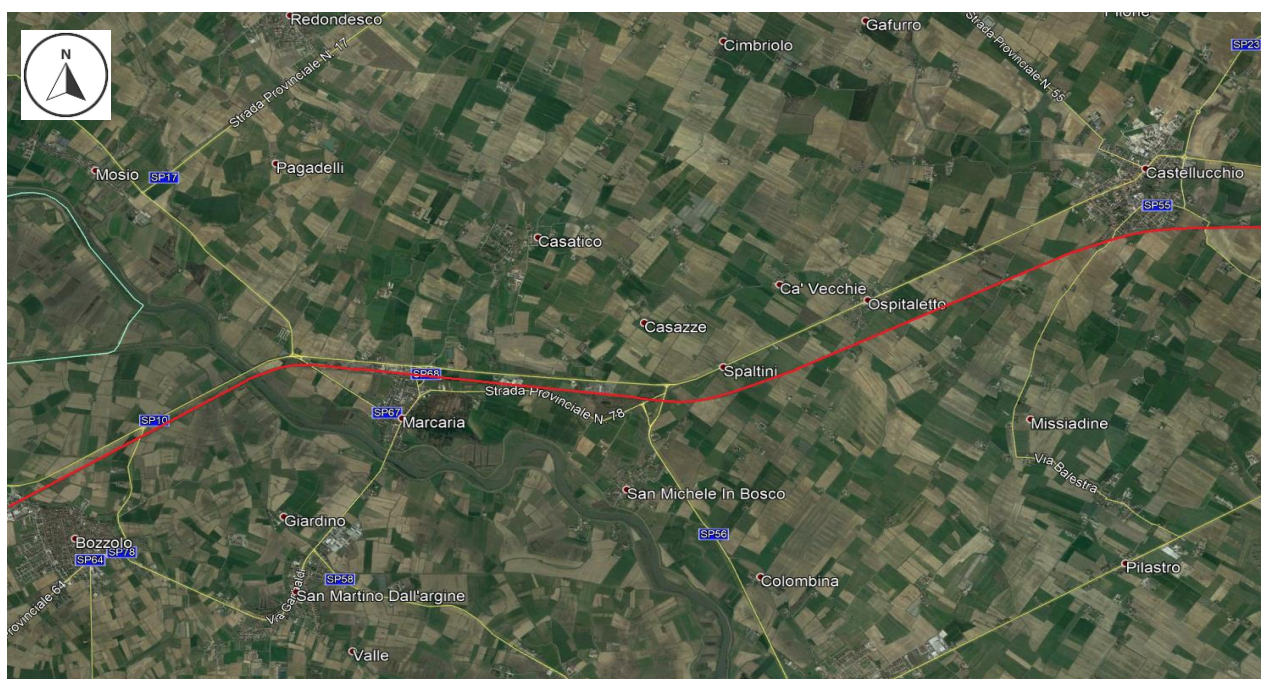


Figura 3-3 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Bozzolo (MN) e Castellucchio (MN).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	32 di 222



Figura 3-4 - Immagine aerea del tracciato ferroviario (in rosso) tra Castellucchio (MN) e Mantova.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 33 di 222

4 ASSETTO GENERALE

Nei paragrafi seguenti si riporta l'inquadramento tettonico e strutturale, l'inquadramento geologico regionale, l'inquadramento geomorfologico e l'inquadramento idrogeologico dell'area di studio.

4.1 INQUADRAMENTO STRUTTURALE

La tratta ferroviaria si sviluppa nel settore centro-meridionale della Pianura Padana lombarda, la quale rappresenta l'espressione morfologica del Bacino Padano che, da un punto di vista strutturale, rappresenta il bacino di avampaese della catena appenninica ed è limitato, a sud, dagli Appennini Settentrionale e, a nord, dalle Alpi Meridionali.

Strutturalmente l'area in esame ricade in un settore monoclinale (*Pedealpine Homocline*), limitato, a nord, dal fronte di sovrascorrimento subalpino, il cui lembo esterno corrisponde alla struttura compressiva di Volta Mantovana, e, a sud, dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto (Eternal Thrust Front - ETF) nella zona di virgazione che l'arco occidentale delle Pieghe Ferraresi forma con il sistema delle Pieghe Emiliane.

Terziario - Eocene e Miocene

La formazione della catena alpina deriva dal complesso sistema di fenomeni di compressione e di corrugamento legati allo spostamento delle zolle crostali del continente europeo ed africano che ha generato la tettonica alpina. Le Alpi si sono sviluppate durante due fasi compressive principali: la prima nell'Eocene Medio-Superiore, detta "fase ligure", la seconda nel Miocene Superiore, detta "fase toscana". L'Oligocene fu un periodo intermedio di relativa calma orogenetica, durante la quale alcune porzioni della catena alpina subirono un lento sprofondamento. Nell'Oligocene Medio, la zona occupata oggi dalla pianura padana era ricoperta da un ampio golfo detto "Bacino Terziario Piemontese". Il continuo movimento della zolla crostale africana contro quella europea causò, alla fine del Miocene, la nascita di catene montuose nel Sud della Spagna e nel Nord dell'Africa, che provocarono il completo isolamento del Mediterraneo, che fu così separato dagli oceani. Ne derivò la crisi di salinità del Mediterraneo caratterizzata dalla deposizione di strati di sedimenti di origine chimica, le rocce evaporitiche, tra cui gessi e salgemma. L'evaporazione delle acque marine provocò l'emersione di una

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>34 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	34 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	34 di 222								

parte della pianura padana e la nascita di una fascia di lagune lungo la riva meridionale del Golfo Padano.

Terziario – Pliocene

All'inizio del Pliocene, circa cinque milioni di anni fa, i continui movimenti tettonici tra la placca africana e quella Europea provocarono nuovamente la separazione tra il Marocco e la Cordigliera Betica, con la conseguente apertura dello Stretto di Gibilterra. L'acqua dell'Atlantico tornò a colmare la conca del Mediterraneo, riportando condizioni marine con deposizione di materiali argillosi di ambiente marino profondo. Nel Pliocene medio si passa alla deposizione di materiali sabbiosi e/o ciottolosi, che comprendono una straordinaria concentrazione di conchiglie fossili, testimoni di una sedimentazione in ambiente costiero ad una profondità relativamente bassa e sotto l'influsso di forti energie idrodinamiche. Ulteriori mutamenti paleogeografici caratterizzano il periodo del Pliocene, infatti, alla fine dell'era Terziaria, nuove spinte compressive verso nord causarono il lento sollevamento dell'intero territorio e il definitivo ritiro del mare con la formazione un'estesa pianura caratterizzata da una deposizione di tipo continentale. In Figura 4-1 è possibile osservare la carta tettonica del Pliocene nella zona della Pianura Padana.

Quaternario – Pleistocene

Con il Pleistocene l'area viene interessata da episodi glaciali, convenzionalmente raggruppati nelle tre fasi Mindel, Riss e Würm, che diedero luogo alla deposizione di una vasta coltre di sedimenti glaciali nelle aree pedemontane e fluvioglaciali nella media e bassa pianura.

Con l'inizio del Pleistocene medio vi fu l'acme del fenomeno glaciale nell'area alpina, con la deposizione di spesse successioni riferibili ai complessi dei depositi fluvioglaciali. Tali successioni vennero successivamente erose nelle fasi interglaciali con la conseguente formazione di un sistema di terrazzi che occupano la porzione più alta della pianura ai piedi degli anfiteatri morenici e della medio-bassa pianura.

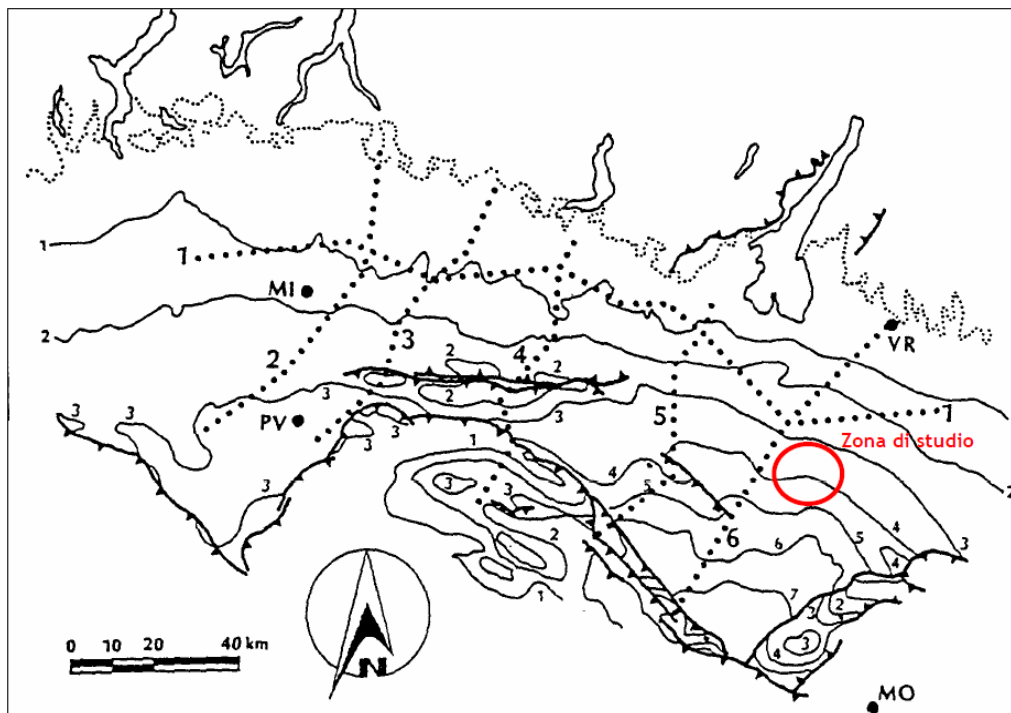


Figura 4-1 – Schema strutturale della Pianura Padana (da Pieri e Groppi, 1981), isobate del tetto del Pliocene in migliaia di metri. Nel cerchio rosso l'area di studio.

4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Il territorio in esame si inserisce nelle ampie strutture regionali della Pianura Padana lombarda, la quale rappresenta l'espressione morfologica del Bacino Padano, un bacino sedimentario terziario compreso tra le strutture alpine (sud-vergenti) e quelle appenniniche (nord-vergenti).

La sedimentazione nel Bacino Padano è caratterizzata da un carattere complessivamente regressivo (Regione Lombardia – ENI, 2002; Muttoni et al., 2003). Il substrato pre-pliocenico del bacino è caratterizzato da una successione di avampaese appenninico costituita da depositi torbiditici di mare poco profondo e fortemente influenzata, sia nella geometria che nel tipo di sedimentazione, dalla tettonica compressiva alpina attiva fino al Messiniano.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>36 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	36 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	36 di 222								

A partire dal Pliocene e a seguire durante tutto il Pleistocene, si susseguono eventi trasgressivo-regressivi connessi alle variazioni eustatiche associate allo spostamento verso nord-est del Fronte Appenninico Settentrionale, all'*uplift* tardo pleistocenico dell'edificio sudalpino ed alle numerose pulsazioni glaciali.

Il risultato di tali eventi è una successione di sedimenti marini poco profondi e di depositi continentali accumulati per l'azione dei grandi fiumi (in particolare il Po) ed i loro affluenti, sia alpini che appenninici e dei ghiacciai. La successione sedimentaria che ne deriva poggia in discordanza sul substrato ed è caratterizzata da depositi inizialmente di mare poco profondo e successivamente, con l'aumento degli apporti terrigeni del fiume Po e dei suoi affluenti, continentali.

L'area di studio rientra nei Fogli 61 "Cremona" e 62 "Mantova" della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000), rispettivamente in Figura 4-2 e Figura 4-4.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	37 di 222

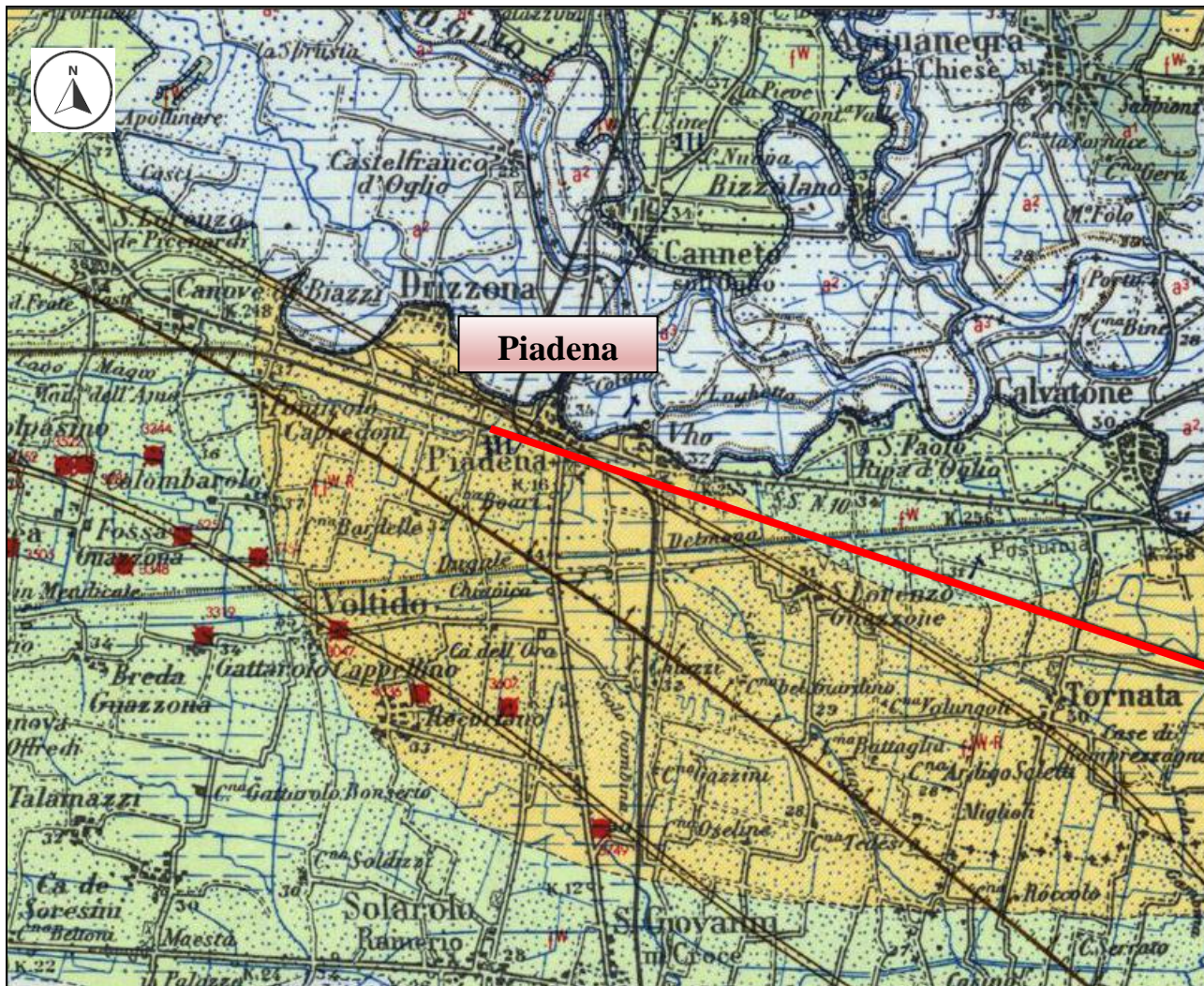


Figura 4-2 – Stralcio non in scala del Foglio 61 “Cremona” del Servizio Geologico d’Italia Scala 1: 100.000.
In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	38 di 222

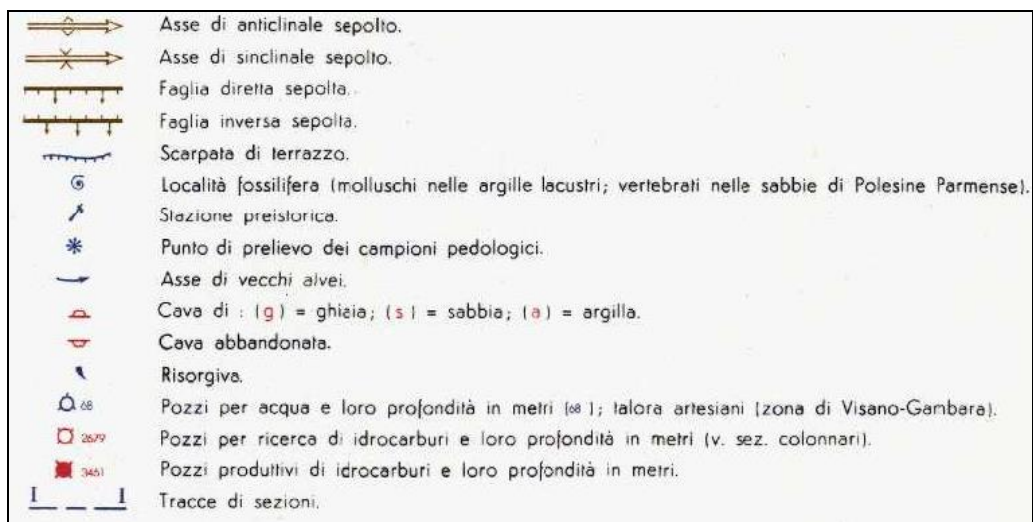
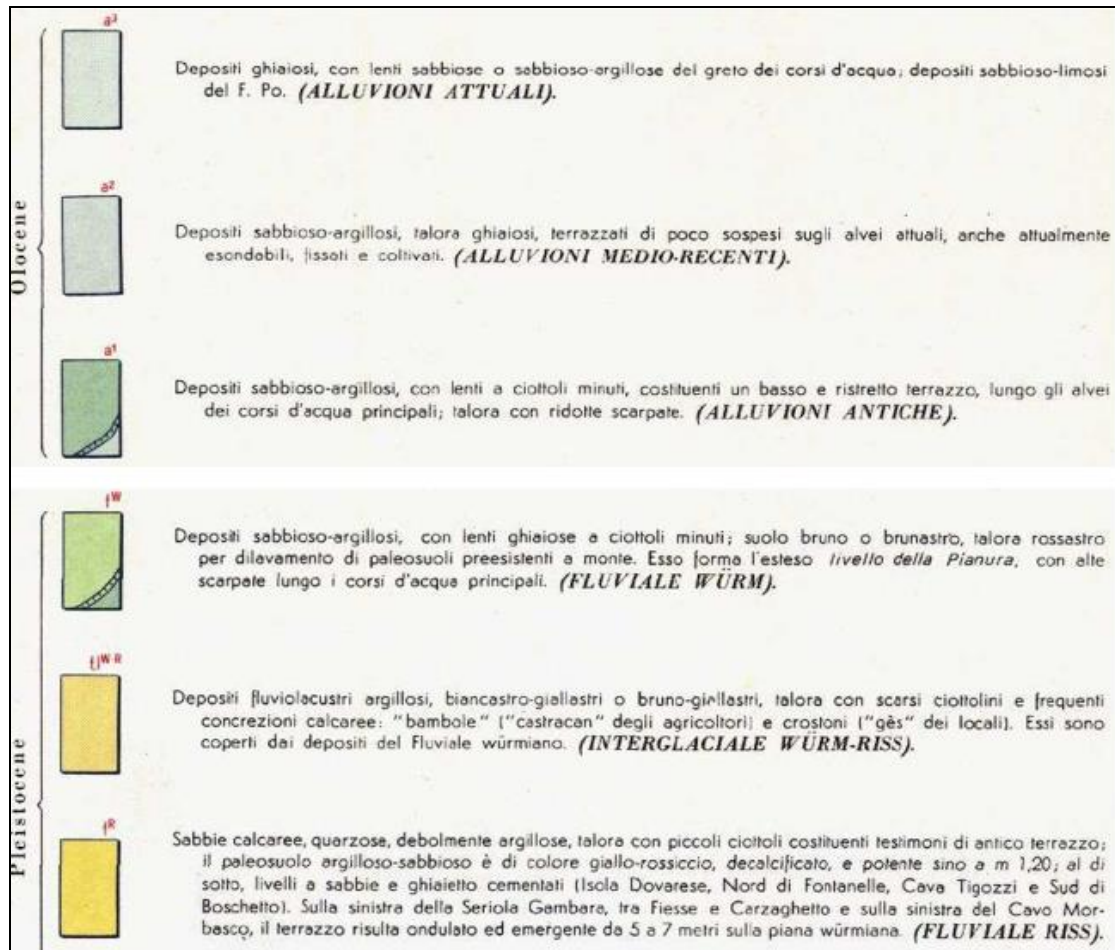
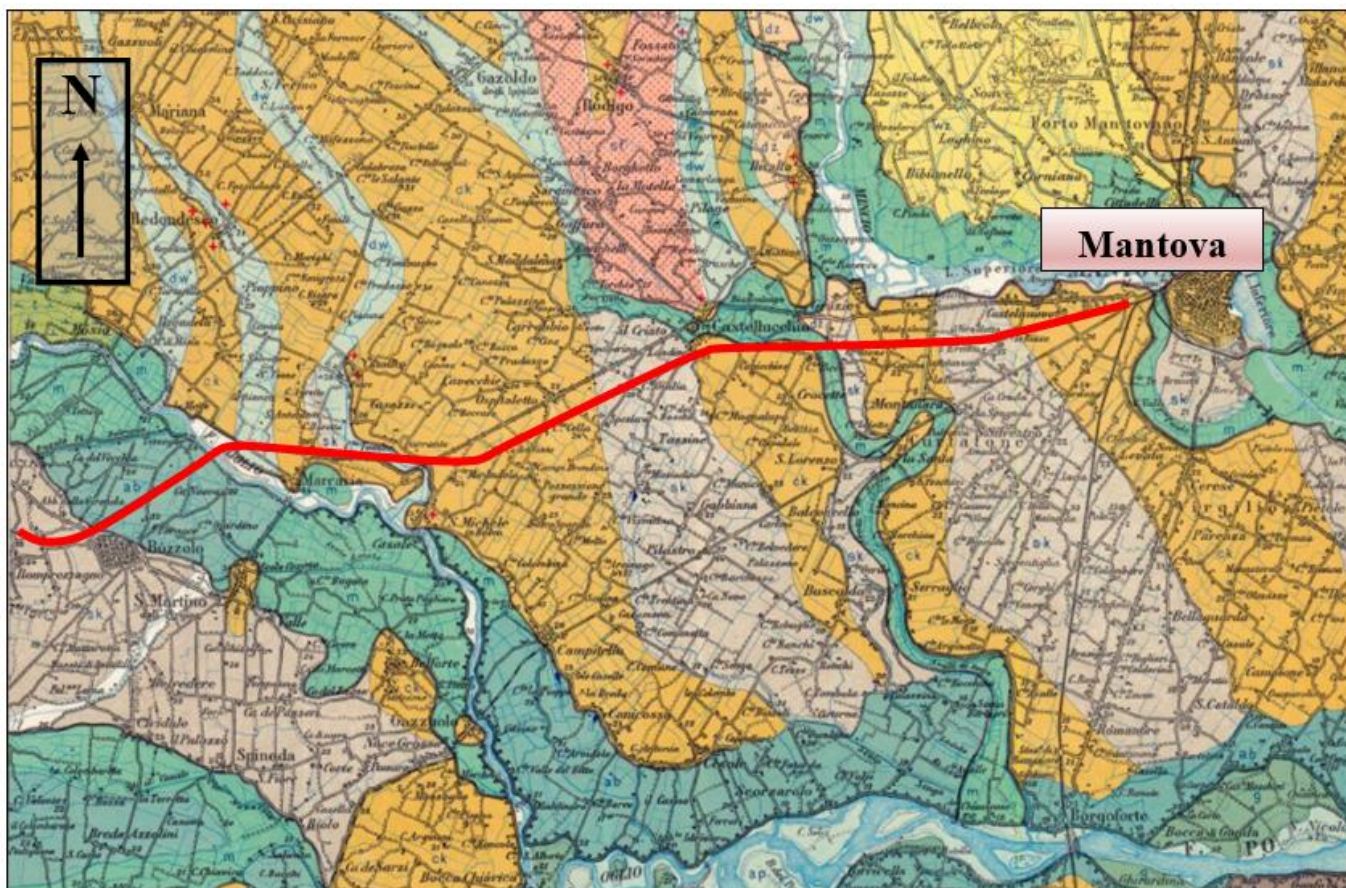


Figura 4-3 – Stralcio della Legenda del Foglio 61 "Cremona" del Servizio Geologico d'Italia.



**Figura 4-4 – Stralcio non in scala del Foglio 62 “Mantova” del Servizio Geologico d’Italia Scala 1: 100.000.
In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.**

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	40 di 222

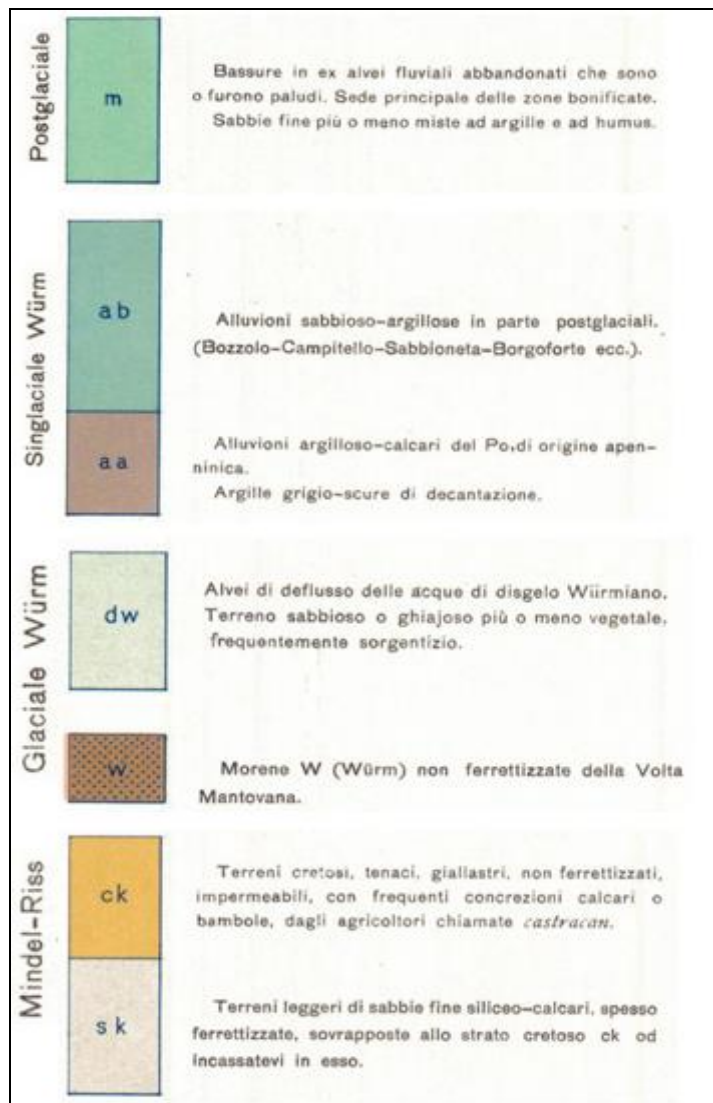
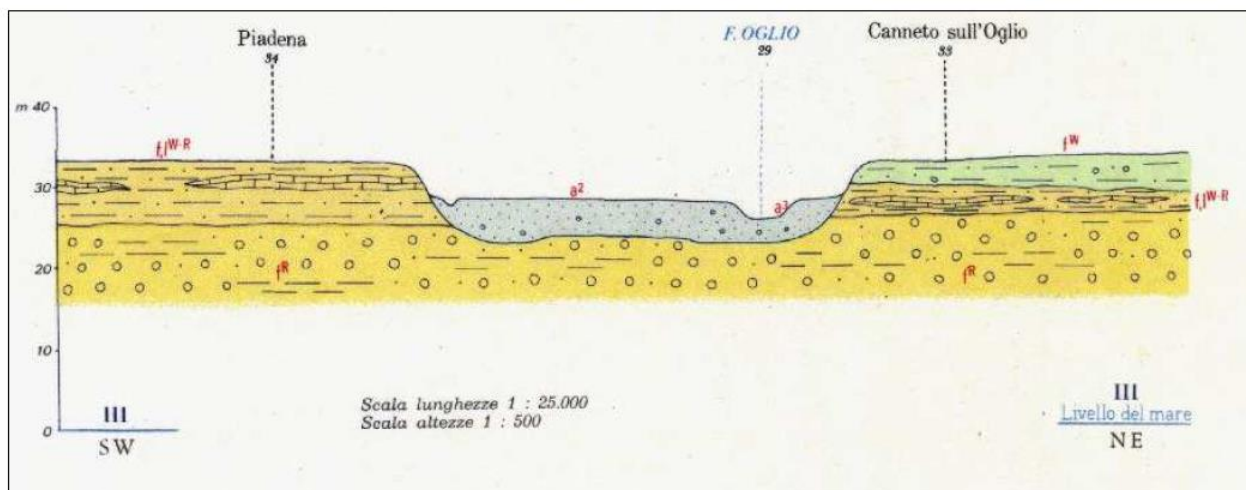


Figura 4-5 – Stralcio della Legenda del Foglio 62 “Mantova” del Servizio Geologico d’Italia.

L’assetto geologico è dunque caratterizzato dalla presenza della vasta piana proglaciale generatasi durante l’ultima fase glaciale quaternaria Würmiana e che costituisce il cosiddetto livello di base (o fondamentale) della pianura. Tale livello risulta successivamente inciso dall’azione dei principali corsi d’acqua dell’area, quali il Mincio, l’Oglio, l’Adda e in parte il Po. Sono dunque riconoscibili le incisioni fluviali di età olocenica che attraversano la pianura.

L'insieme dei depositi quaternari costituisce uno spessore variabile tra i 400 e i 500 metri. Rispetto all'area di pianura posta a sud del fiume Po, la fascia in sinistra idrografica del corso d'acqua, è stata caratterizzata da un apporto maggiore di sedimenti, dovuti alla presenza delle grandi valli alpine, assenti nel più modesto sistema appenninico, le quali consentivano un importante accumulo glaciale sino al margine della pianura. I terreni più antichi rappresentati nell'area di studio corrispondono ai depositi, prevalentemente argilloso-limosi, legati al periodo interglaciale Riss-Würm (f_{1W}^R). Questi terreni sono sovrastati dai depositi più grossolani f^W (sabbioso-argillosi con presenza di lenti ghiaiose) accresciutisi durante la fase fluviale Würmiana, costituenti il Livello Fondamentale della Pianura (LFdP). Tali depositi sono stati incisi in età olocenica e successivamente queste incisioni sono state colmate dai depositi alluvionali olocenici, in fasi successive (a^1 , a^2 , a^3).

Questo schema stratigrafico è ben rappresentato dalla sezione di Figura 4-6. I depositi più antichi (f^R), rappresentati in sezione, non affiorano nell'area in esame, ma solo nella porzione a nord del fiume Oglio, oltre l'area di interesse del progetto.



All = Alluvione.	Pl _i = Pliocene inferiore.	Elv = Elveziano.
Qm = Quaternario marino.	Ms = Miocene superiore.	Mm = Miocene medio.
Plms = Pliocene medio-sup.	Tor = Tortoniano.	Mi = Miocene inferiore.

Figura 4-6 – Sezione stratigrafica del Fiume Oglio. Presso l'abitato di Piadena si sviluppa il tracciato ferroviario (Carta Geologica d'Italia 1: 100.000, F61 "Cremona").

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>42 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	42 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	42 di 222								

Tutte le unità affioranti in un intorno significativo dell'area di analisi (province di Cremona e Mantova) sono di origine continentale. Tali unità, caratteristiche di ambienti deposizionali fluviali di età compresa tra il Pleistocene medio e l'Olocene, sono cartografate in dettaglio negli elaborati grafici da NM2503D69G5GE0001001A a NM2503D69G5GE0001008A "Carta geologica e geomorfologia" e sono descritte di seguito dalle unità più recenti fino alle più antiche:

- **Alluvioni attuali (a3):** Depositi ghiaiosi con lenti sabbiose o sabbioso argillose costituenti l'alveo attivo del Fiume Oglio e le forme ad esso associate (isole, barre, ecc.). Olocene.
- **Alluvioni medio-recenti (a2):** Alluvioni costituenti un ripiano terrazzato di poco sospeso sull'alveo inciso del Fiume Oglio. Cartograficamente, il ripiano alluvionale è stato distinto nella porzione inondabile per piene straordinarie (prossima al corso d'acqua e contenuto entro i rilevati arginali) e in quella occupato dalle acque in caso di piena catastofica (nel caso di rottura o superamento degli argini di difesa). Olocene medio-superiore.
- **Fluviale Würm (fw):** Depositi prevalentemente sabbiosi, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro. Tali depositi costituiscono il substrato del Livello Fondamentale della Pianura (o Piano Generale Terrazzato). Pleistocene superiore.
- **Interglaciale Würm-Riss (f,I^{w-R}):** Depositi fluvioglaciali argillosi, biancastro-giallastri o bruno-giallastri, talora con scarsi ciottolini e frequenti concrezioni calcaree e affiorano diffusamente, secondo gli Autori della Carta Geologica d'Italia, nel settore meridionale del territorio comunale. Pleistocene medio-superiore.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>43 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	43 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	43 di 222								

4.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Dal punto di vista morfologico, l'area della bassa pianura, è caratterizzata da un'estesa piana degradante in direzione NNO-SSE con pendenze talvolta anche inferiori allo 0.1 %. Le uniche, leggere, ondulazioni morfologiche del terreno, spesso localizzate in corrispondenza di alvei fluviali abbandonati, sono state spesso rimodellate dall'azione antropica, così da non risultare più visibili, ma esplicate soltanto dalla presenza di gradini morfologici in essere tra campi agricoli adiacenti.

Il territorio dal punto di vista geomorfologico può essere suddiviso in tre grandi ambiti: l'anfiteatro morenico del Garda, il Livello Fondamentale della Pianura e le valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici.

- **Anfiteatro morenico del Garda.** Nella parte nord si estende la propaggine meridionale dell'anfiteatro morenico würmiano del Garda, edificato sulla morena frontale abbandonata durante il ritiro conseguente la massima avanzata glaciale. Ciò è ben visibile nella forma di questi rilievi morenici, che presentano una caratteristica curvatura, con la convessità rivolta verso la pianura. Si tratta di un paesaggio composito, costituito dall'alternanza, in una successione articolata, di forme eterogenee. L'anfiteatro morenico risulta al di fuori del territorio oggetto del presente studio.
- **Livello fondamentale della pianura.** Questo ambito fisiografico, esteso nella parte centrale del territorio, è compreso tra le quote di circa 100–110 m s.l.m. nella sua porzione più settentrionale e circa 40 m s.l.m. al limite meridionale. Al suo interno è possibile distinguere tre diverse porzioni, ascrivibili a quelle che sono definite come alta, media e bassa pianura. Il livello fondamentale della pianura è costituito da sedimenti di origine fluvioglaciale e fluviale, la cui granulometria passa dalla dominanza ghiaioso-sabbiosa nell'area prospiciente le colline moreniche del Garda a quella limoso-sabbiosa verso sud. Tale granulometria variabile dei sedimenti, decrescente man mano che si procede in direzione sud, è in relazione alla riduzione della velocità e competenza delle acque. Il livello fondamentale descrive la pianura formata nella fase finale della glaciazione würmiana, all'esterno della cerchia morenica, tramite deposizione e accumulo del carico grossolano trasportato dai corsi d'acqua alimentati dalle acque di fusione dei ghiacciai.

I tre principali ambienti che vengono individuati entro il livello fondamentale della pianura da nord verso sud sono:

- L'alta pianura ghiaiosa:* è presente nella parte più settentrionale, al bordo meridionale degli anfiteatri morenici, presso l'abitato di Castiglione delle Stiviere, e si estende verso sud incuneandosi tra la media e la bassa pianura da una parte e la valle del Mincio dall'altra, presso l'abitato di Goito. Si tratta di superfici debolmente ondulate, costruite in passato dagli apporti dei torrenti fluvioglaciali e successivamente rimodellate dai corsi d'acqua. Hanno composizione prevalentemente ghiaiosa e pendenza media compresa tra 0,8-0,4%. L'alta pianura è costituita da una vasta superficie debolmente inclinata, a morfologia subpianeggiante. È solcata da corsi d'acqua a canali intrecciati, soggetti a grande variabilità di portata e con elevata torbidità delle acque. Nell'alta pianura ghiaiosa vi è una discreta variabilità pedologica, con suoli da poco a moderatamente profondi, pietrosi, con tessitura da media a grossolana. Sono talvolta non calcarei, ma più frequentemente da calcarei a molto calcarei con andamento irregolare dei carbonati. Hanno inoltre reazione da neutra a più alcalina con tendenza al crescere del pH in profondità, elevata saturazione basica e una capacità di scambio medio-bassa, a causa della scarsa quantità di argilla di solito presente.
- La media pianura idromorfa, o zona delle risorgive:* è presente in una stretta fascia all'altezza del nucleo urbano di Castel Goffredo. Nella media pianura i sedimenti diventano prevalentemente sabbiosi, talvolta con lenti di ghiaie, e si verifica l'emergenza dei fontanili o risorgive. La pendenza media è compresa tra 0,4-0,15%. La media pianura idromorfa costituisce l'ambiente in cui, a causa della diminuzione di permeabilità dovuta alla riduzione granulometrica dei sedimenti, la falda freatica emerge alla superficie del suolo o permane a scarsa profondità. Questa porzione di territorio è delimitata a nord dalla linea ideale che congiunge i primi fontanili e a sud dal loro organizzarsi in corsi d'acqua permanenti, strutturati secondo un reticolo idrografico di tipo meandriforme. In tale ambiente la pedogenesi è condizionata dalla saturazione idrica del suolo a diverse profondità e per periodi più o meno lunghi (la falda è presente frequentemente entro il primo metro, talvolta alla base dell'orizzonte lavorato). L'idromorfia è più evidente presso le depressioni corrispondenti alle testate dei fontanili, mentre assume un minor rilievo nelle superfici subpianeggianti e relativamente stabili che costituiscono il corpo principale di questo ambito morfologico. I suoli presenti hanno tessitura piuttosto variabile da moderatamente grossolana a fine, con discreta frequenza dei termini medi o moderatamente fini, reazione


	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>45 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	45 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	45 di 222								

alcalina ed elevata saturazione basica. Il contenuto di carbonati tipicamente aumenta con la profondità.

- *La bassa pianura sabbiosa* si sviluppa a sud della media pianura, ha un'estensione maggiore dell'alta e della media pianura ed è quasi interamente compresa tra i corsi d'acqua dell'Oglio a occidente e del Mincio ad oriente. Alcuni tra i più importanti centri abitati sono ubicati su questo paesaggio: Canneto sull'Oglio, Asola, Acquanegra sul Chiese. Il territorio della bassa pianura è solcato in senso nord-sud da un fitto reticolo di incisioni, talora occupate da piccoli corsi d'acqua o canali, formati per organizzazione delle acque sparse dei fontanili. La bassa pianura è costituita da sedimenti a composizione limoso-sabbiosa e ha una acclività media inferiore allo 0,1%. Dal punto di vista del pedopaesaggio, i suoli della bassa pianura sabbiosa sono fertili, ben drenati o con fenomeni di idromorfia di lieve o moderata entità, equilibrati nelle proprietà chimico-fisiche. Essi hanno perlopiù tessitura media o moderatamente fine, con falda raramente riscontrata entro il primo metro di profondità. Hanno inoltre reazione neutra o più alcalina ed elevata saturazione in basi.
- **Valli fluviali.** Il paesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici descrive i piani di divagazione dei principali corsi d'acqua, Oglio e Mincio, attivi o fossili, e le loro superfici terrazzate, situate a quote maggiori rispetto al fiume e affrancate dalle acque. L'origine delle valli è dovuta all'incisione dei corsi d'acqua del reticolo idrografico attuale o recente; molti di essi, attivi già nel Pleistocene, continuano a incidere o a sovralluvionare i propri depositi.

I principali corsi d'acqua, Oglio e Mincio, hanno provenienza alpina ed hanno inciso nei territori attraversati valli fluviali di varia profondità:

- L'Oglio scorre nella parte sud-occidentale dell'areale, ha una valle ampia che può raggiungere i 5 km di larghezza e ha inciso profondamente il livello fondamentale della pianura, con un fondovalle ribassato di 2-15 metri rispetto alle aree circostanti. Il corso d'acqua è arginato con ampi meandri e tratti rettificati. La pendenza media è compresa tra 0,2 e 0,05%.
- Il Mincio scorre nella parte orientale, ha un alveo breve, unicorsale, incassato nelle colline moreniche. La pendenza media è compresa tra 0,2 e 0,06%.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>46 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	46 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	46 di 222								

Nelle valli oloceniche si distinguono il sottosistema delle superfici terrazzate e quello delle piane alluvionali inondabili:

- Il pedopaesaggio delle superfici terrazzate, sospese sui corsi d'acqua attuali, comprende i terrazzi alluvionali dell'Olocene antico non più inondabili, situati a quote maggiori rispetto al corso d'acqua dal quale sono separati mediante scarpate erosive. Ognuno di essi corrisponde a un precedente alveo fluviale, abbandonato in seguito a una fase erosiva che ne ha provocato l'approfondimento.
- Il pedopaesaggio delle piane alluvionali inondabili attuali o recenti descrive le piane alluvionali recenti dei corsi d'acqua, ad essi adiacenti, situate alla stessa quota e costruite per successive tracimazioni in occasione degli eventi di piena a seguito di una dinamica prevalentemente deposizionale.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 47 di 222

Geomorfologia dell'area di progetto

La tratta oggetto di raddoppio ferroviario, tra Piadena (CR) e Mantova, si sviluppa in direzione E-W lungo la porzione sud-orientale della pianura cremonese e della pianura mantovana, nella zona della *bassa pianura sabbiosa*, a quote comprese fra +35 e +20 m s.l.m.. Di seguito vengono riportati gli stralci delle carte geomorfologiche (dalla Figura 4-7 alla Figura 4-15) redatte dal Piano di Governo del Territorio dei comuni attraversati.

In Figura 4-7 e Figura 4-9 sono riportati due stralci della carta geomorfologica, rispettivamente, del comune di Piadena e Tornata. I territori di Piadena e Tornata si sviluppano nella porzione orientale della pianura cremonese e sono compresi tra le quote di 34 e 22 m s.l.m.. Il comune di Piadena (Figura 4-7) si sviluppa su una serie di ripiani altimetricamente separati: la continuità morfologica del territorio, infatti, è interrotta dalla serie di scarpate che, con direzione media E-W, terrazzano i depositi pleistocenici costituenti il substrato del Livello Fondamentale della Pianura sulla valle olocenica del fiume Oglio. Il comune di Tornata (Figura 4-9) si presenta come una superficie sub-pianeggiante, sviluppata su un ripiano morfologico privo di significativi lineamenti di discontinuità planoaltimetrica.

Il tracciato, che interseca questi due comuni (Figura 4-7 e Figura 4-9), intercetta i depositi fluviali e fluvioglaciali Würmiani e in parte i depositi dell'interglaciale Würm – Riss, tra loro indifferenziati dal punto di vista morfologico: superficie erosiva polifasica modellata nei corpi sedimentari formati per aggradazione fluviale durante il Pleistocene, terrazzata sulle alluvioni oloceniche lungo le scarpate morfologiche di altezza significativa. (Legenda in Figura 4-8 e Figura 4-9).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	48 di 222

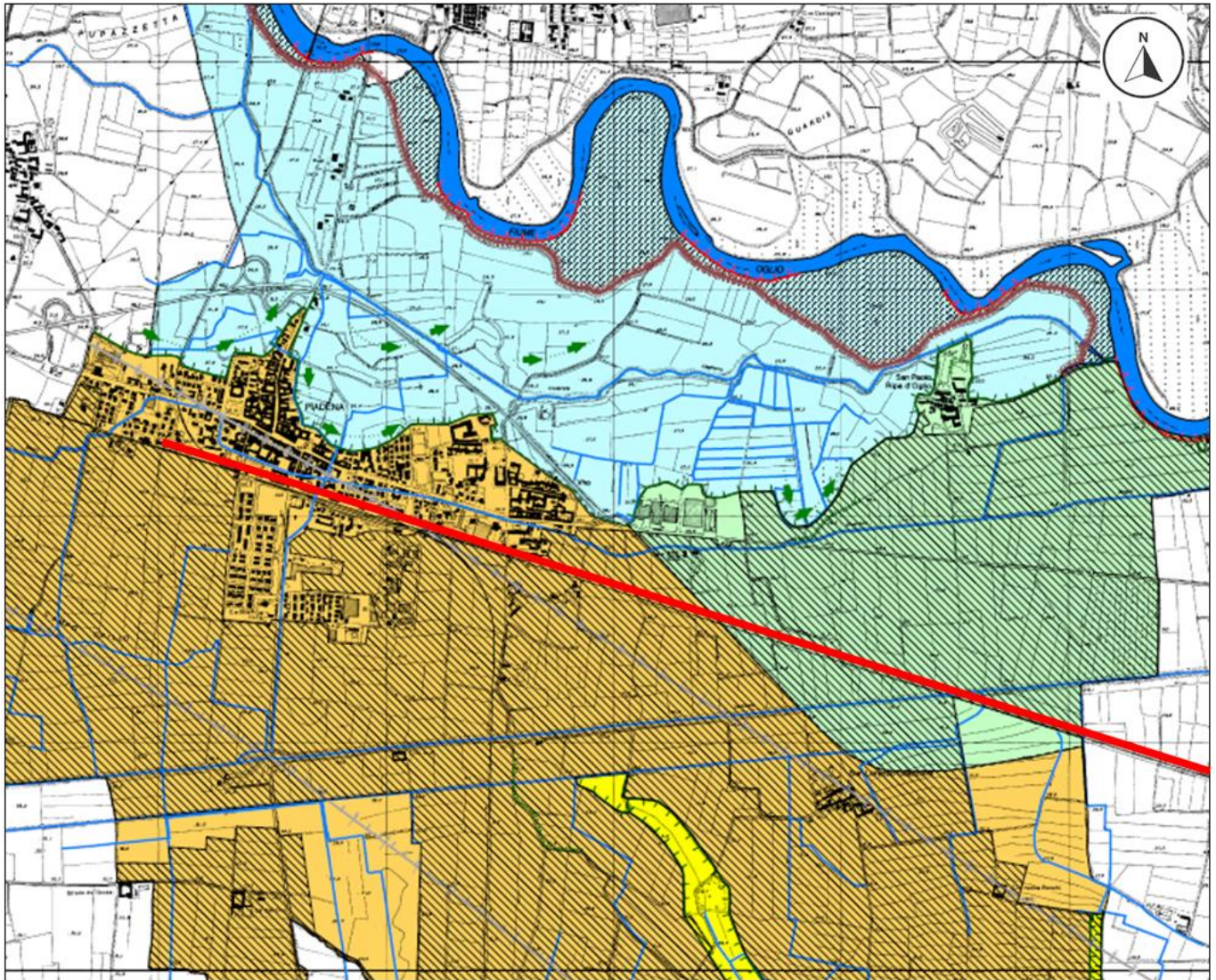




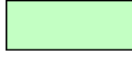



Figura 4-7 – Stralcio della Carta geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Piadena. Anno 2012. Scala 1: 10.000. In rosso si evidenzia la tratta ferroviaria.

LEGENDA		
UNITA' STRATIGRAFICHE (da Carta Geologica d'Italia, Foglio 61 "Cremona")	SIMBOLO	UNITA' MORFOLOGICHE
	OLOCENE	SISTEMA DEI RIPIANI ALLUVIONALI DEL F. OGLIO
ALLUVIONI ATTUALI E MEDIO-RECENTI Depositi alluvionali del Fiume Oglio		Alveo attivo del F. Oglio e forme ad esso associate (isole, barre, ecc.)
	a)  b) 	Ripiano terrazzato, di poco sospeso sull'alveo inciso del fiume Oglio, modellato nei depositi alluvionali medio-recenti dello stesso corso d'acqua. a) Aree inondabili per piene straordinarie (T<200 anni). b) Aree inondabili per piena catastrofica (rottura o superamento degli argini di difesa).
		Ripiano morfologico inciso nel Livello Fondamentale della Pianura ad opera del reticolo idrico secondario.
	PLEISTOCENE	SISTEMA DEI TERRAZZI ESTERNI ALLA FASCIA DI MEANDREGGIAMENTO RECENTE DEL F. OGLIO
DEPOSITI FLUVIALI E FLUVIOGLACIALI (Wurm) Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, prevalentemente sabbiose, con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro.		LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L.F.d.P.) O PIANO GENERALE TERRAZZATO (P.G.T.) - Superficie erosiva polifasica modellata nei corpi sedimentari formati per aggradazione fluviale durante il Pleistocene, terrazzata sulle alluvioni oloceniche lungo scarpate morfologiche di altezza significativa.
DEPOSITI INTERGLACIALI (Wurm - Riss) Depositi fluvio-glaciali argillosi, biancastro-giallastri o bruno-giallastri, talora con scarsi ciottolini e frequenti concrezioni calcaree		Secondo gli autori della C.G.I. la superficie è modellata in parte nei depositi fluviali e fluvio-glaciali wurmiani e in parte nei depositi dell'interglaciale Wurm- Riss, tra loro indifferenziati dal punto di vista morfologico e altimetrico.








PRINCIPALI ELEMENTI MORFORFOLOGICI	
Scarpate principali sviluppate ai margini dei più importanti ripiani morfologici (A) e loro rimaneggiamenti (B)	
Principali fenomeni erosivi lungo le sponde del fiume Oglio.	
Scarpate secondarie.	
Traccia di antico percorso fluviale (paleoalveo)	
Reticolo idrografico	
ELEMENTI ANTROPICI	
Rilevato arginale	
Superfici baulate	

Figura 4-8 – Stralcio della Legenda della Carta geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Piadena.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	50 di 222

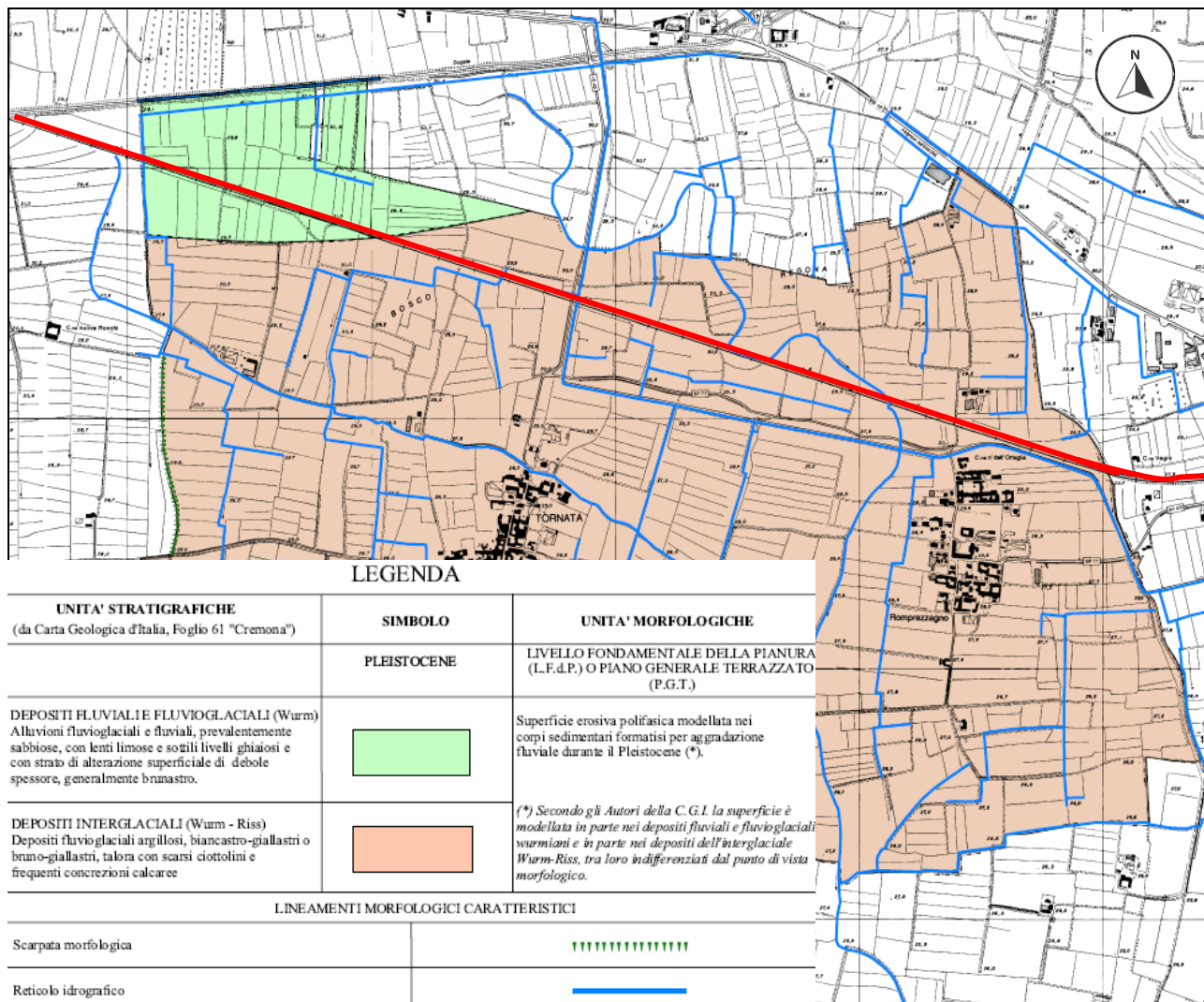


Figura 4-9 – Stralcio della Carta e della legenda geologica e geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Tornata (Anno 2009, scala 1: 10.000). In rosso si evidenzia la linea ferroviaria.

Proseguendo in direzione di Mantova, la tratta attraversa i comuni di Bozzolo (Figura 4-10) e Marcaria (Figura 4-11). Entrambi ricadono nella Bassa Pianura mantovana, zona in cui le principali forme sono legate a processi dovuti all'azione delle acque superficiali, ovvero ai fenomeni di erosione, deposito e trasporto dei corsi d'acqua, in particolare i fiumi Po e Oglio. Entrambi i comuni sono inseriti in un contesto morfologico sub-pianeggiante, con quote altimetriche comprese fra i 25 ed i 30 m s.l.m.. In Figura 4-10 e Figura 4-11 sono state riportate le carte geomorfologiche redatte dal PGT,

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	51 di 222

rispettivamente, dei comuni di Bozzolo e Marcaria. La linea ferroviaria, in ambedue le carte, interseca aree urbanizzate, corsi d'acqua minori e l'alveo del Fiume Oglio.

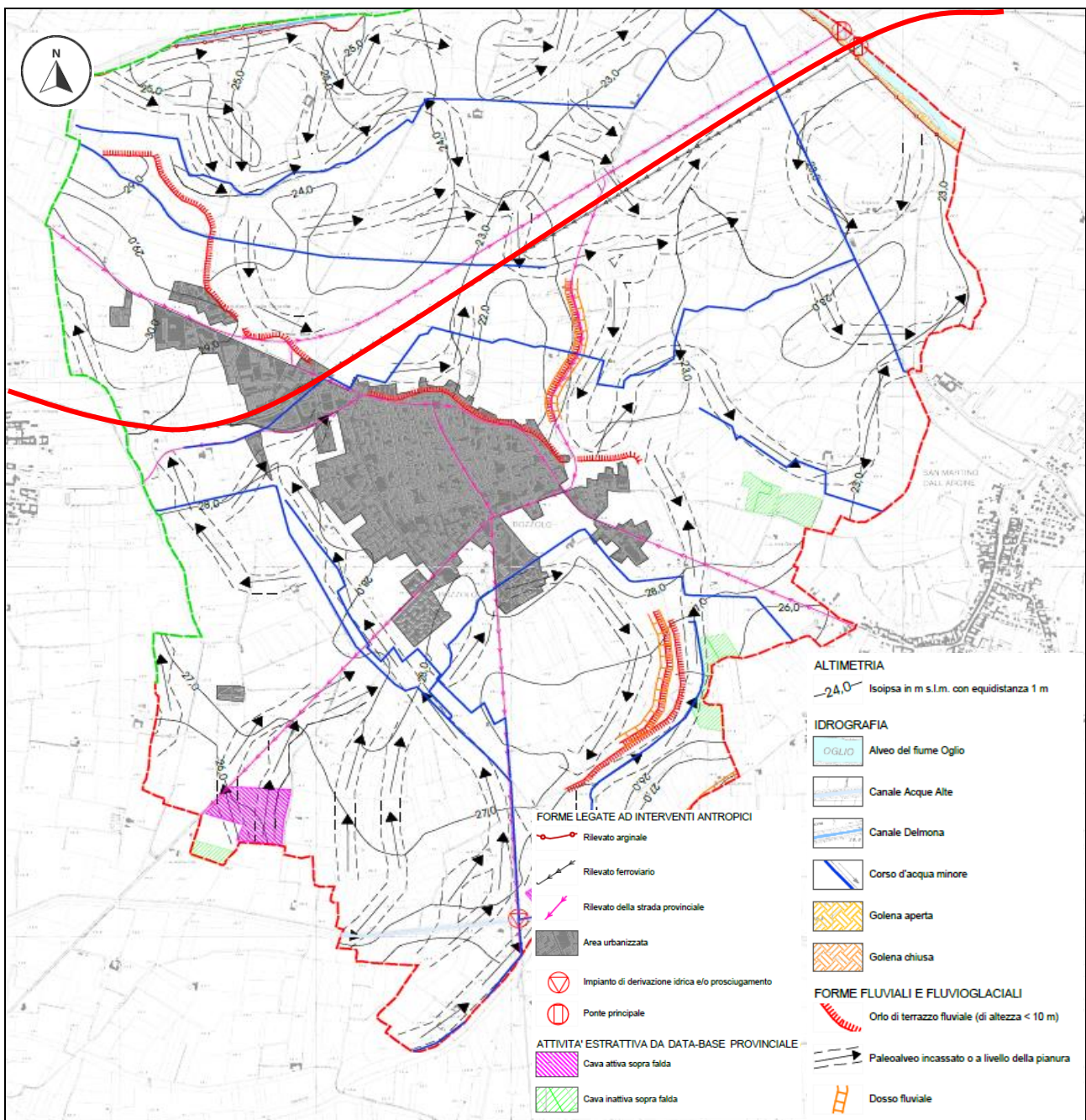


Figura 4-10 – Stralcio della Carta e della legenda idro – geomorfologica redatta dal PGT del Comune di Bozzolo (Anno 2011, scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	52 di 222

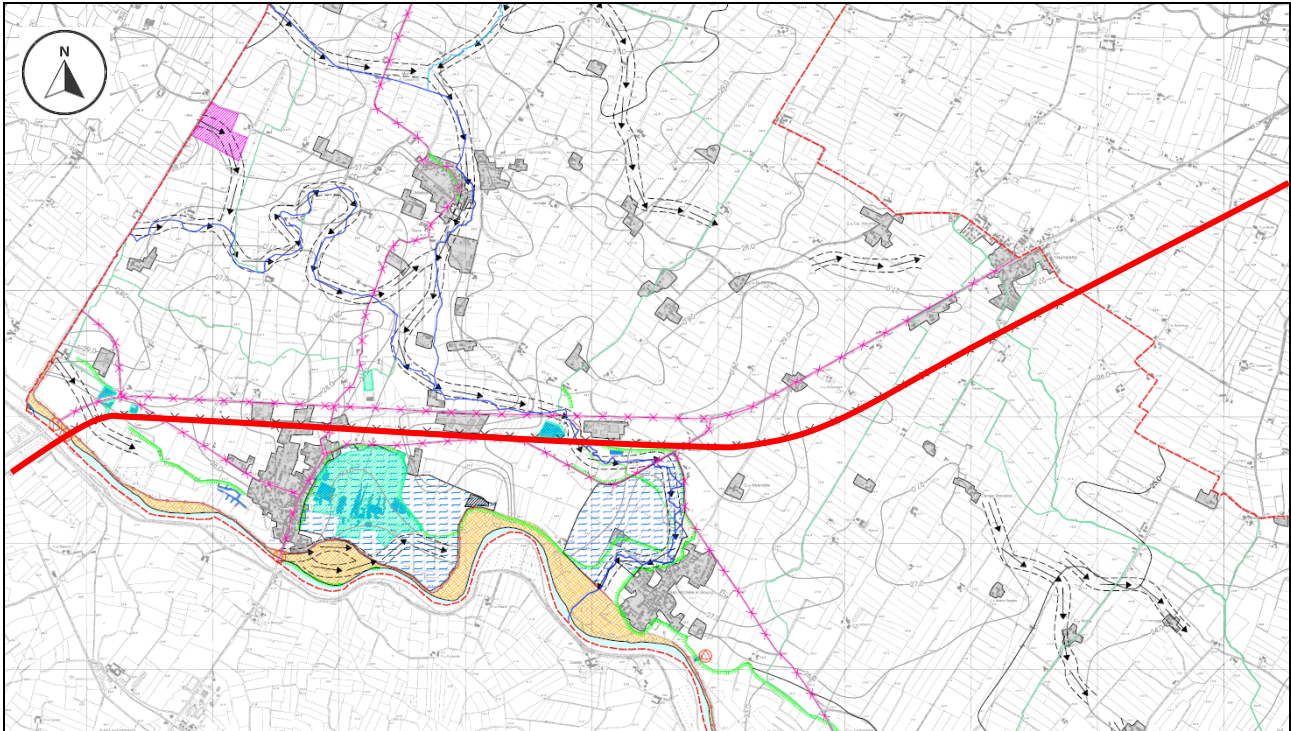


Figura 4-11 – Stralcio della Carta idro – geomorfologica (nord) redatta PGT del Comune di Marcaria (Anno 2009, scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>53 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	53 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	53 di 222								

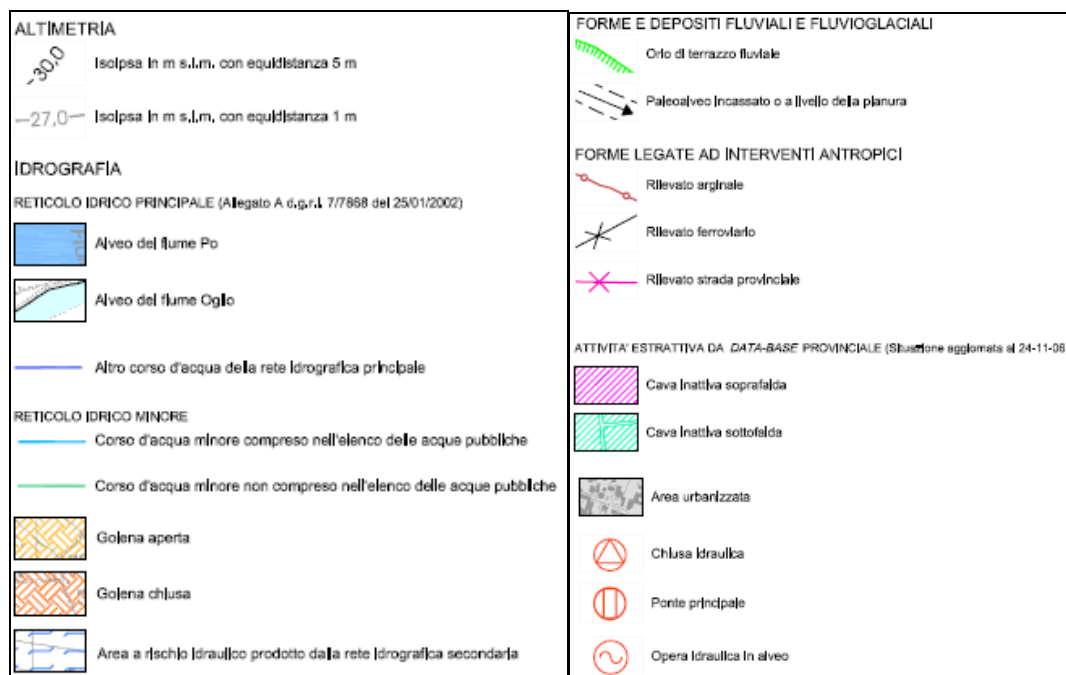


Figura 4-12 – Stralcio della Legenda della Carta idro – geomorfologica (nord) redatta dal PGT del Comune di Marcaria.

Per quanto concerne i comuni di Castellucchio (Figura 4-13) e Curtatone (Figura 4-14), essi mostrano un territorio pianeggiante, con quote topografiche comprese tra i 27 ed i 22 m.s.l.m.. Come i comuni precedenti, anche essi presentano una morfologia sub-pianeggiante, con una generale debolissima pendenza da NW verso SE.

La carta geomorfologica del comune di Curtatone (Figura 4-14) definisce la presenza di forme fluviali e fluvio-glaciali (orlo di terrazzo fluviale e terrazzi fluviali) e forme legate ad interventi antropici (aree urbanizzate) lungo la tratta ferroviaria.

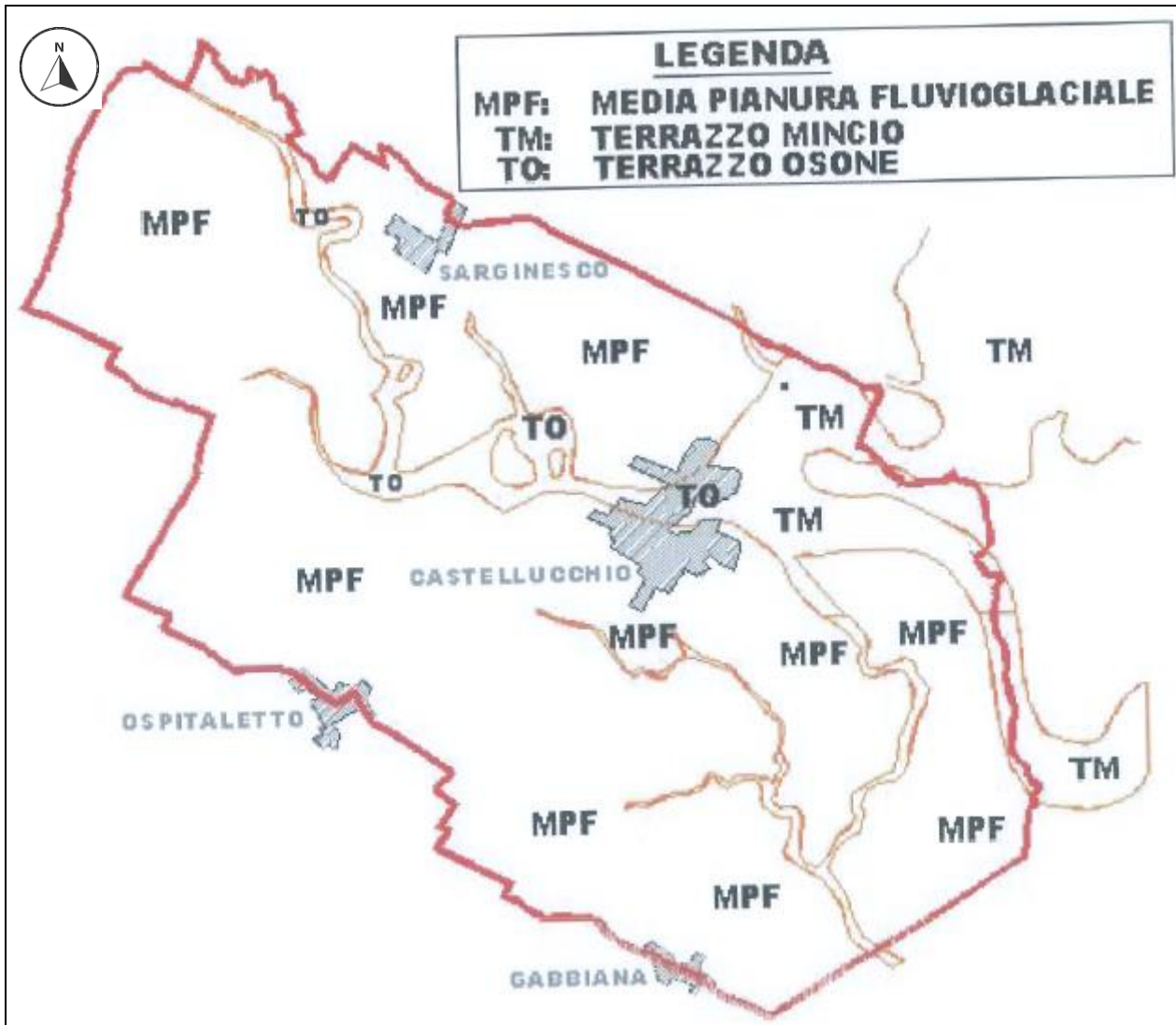


Figura 4-13 – Carta geomorfologica semplificata del territorio comunale di Castellucchio (Anno 2011).

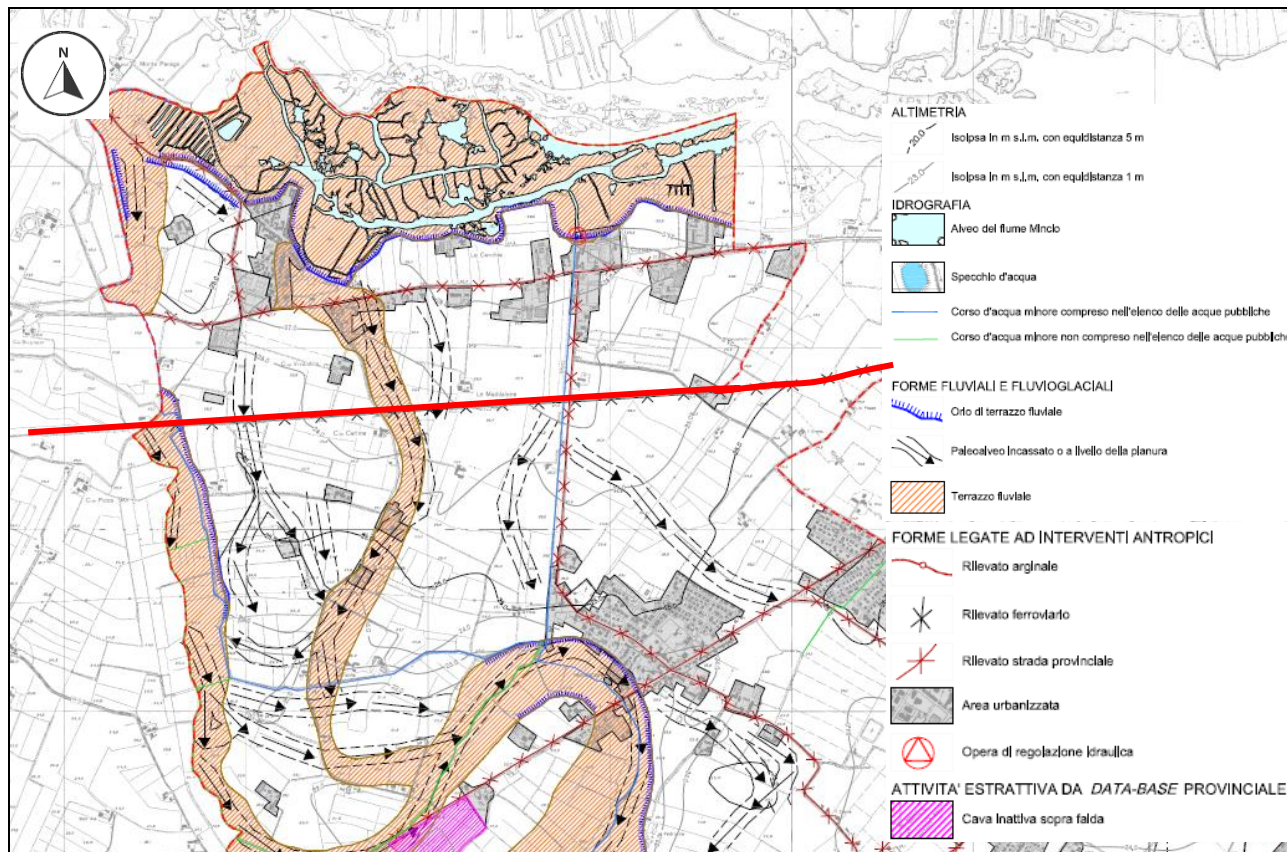


Figura 4-14 – Stralcio della Carta e della legenda idro – geomorfologica-Nord redatta dal PGT del Comune di Curtatone. Anno 2010 e scala 1: 10.000). In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	56 di 222

In Figura 4-15 è stata riportata la carta litologica e geomorfologica redatta dal Piano di Governo del territorio del Comune di Mantova. Si tratta di un territorio caratterizzato da una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1÷3 ‰), generalmente orientata da N-NW verso S-SE. La città di Mantova, in particolare, sorge in posizione rilevata sulla sponda destra del Fiume Mincio, dove il letto di questo si amplia dando luogo ai Laghi Superiore, di Mezzo e Inferiore. Le massime quote topografiche osservate in corrispondenza del livello fondamentale della pianura sono di 28÷29m. s.l.m., mentre presso il centro storico del capoluogo esse si attestano intorno ai 21÷22m.s.l.m..

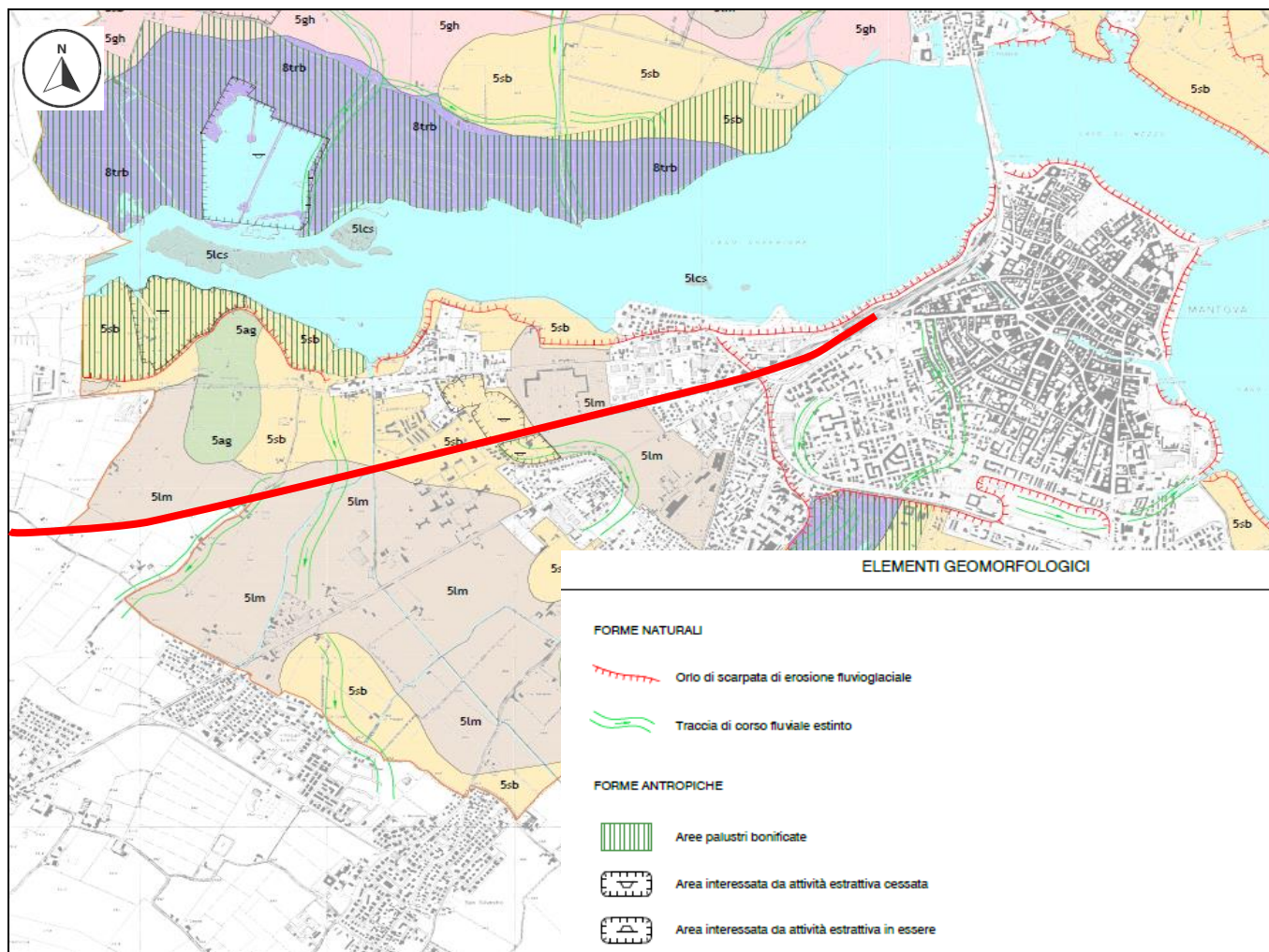


Figura 4-15 – Stralcio della Carta e della legenda litologica e geomorfologica con elementi geopedologici redatta dal PGT del Comune di Mantova (Anno 2012 e scala 1: 10.000). In rosso il tracciato ferroviario.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>57 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	57 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	57 di 222								

4.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'idrografia superficiale è rappresentata da una fitta rete di canali naturali e artificiali, realizzati per assicurare ai terreni agricoli un sufficiente e regolare drenaggio durante i periodi piovosi ed un adeguato apporto idrico durante i mesi asciutti.

Gli elementi principali del reticolo idrografico di questo lembo di pianura, mostrati in Figura 4-16, sono costituiti dal Fiume Po, Mincio ed Oglio. Quest'ultimo, che nei pressi del comune di Marcaria interseca la tratta ferroviaria, risulta il corso d'acqua di maggior interesse per il presente studio.

Il Fiume Oglio si distende con un percorso di circa 280 km e costituisce il secondo affluente per importanza del Po, nel quale sfocia dopo aver attraversato le Province di Brescia, Bergamo, Cremona e Mantova.

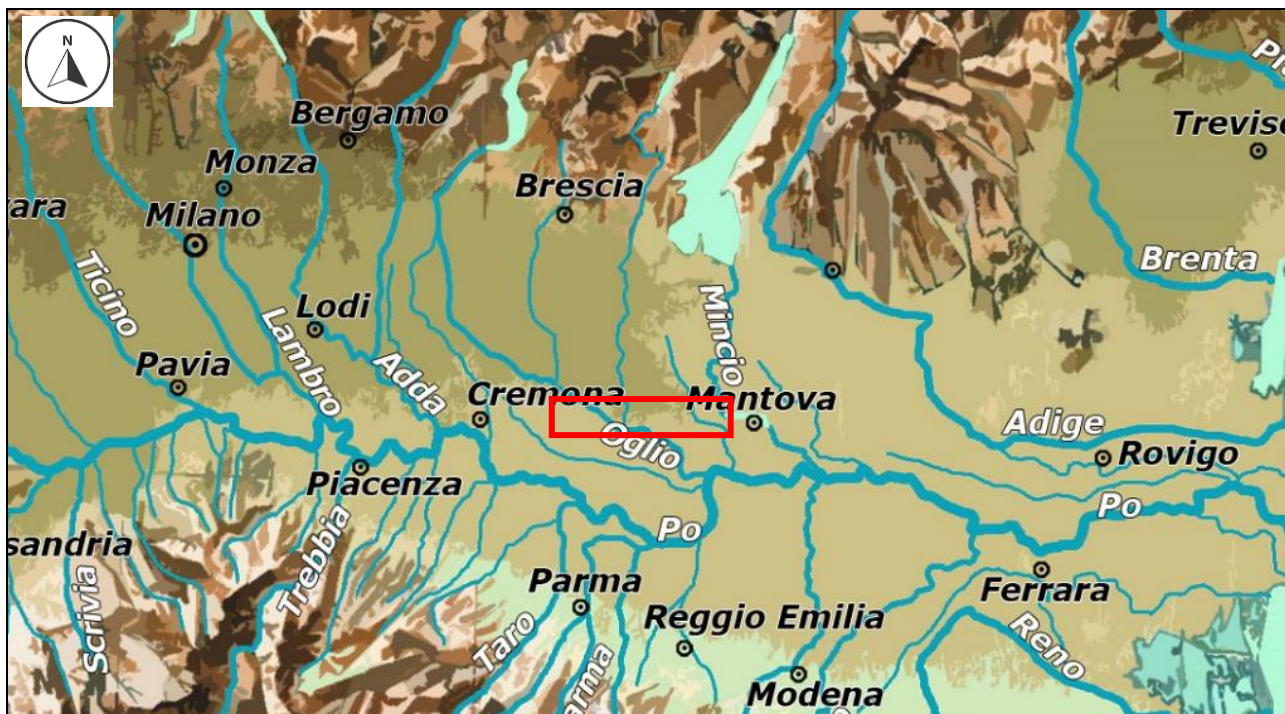



Figura 4-16 – Stralcio, non in scala, della carta fisica della Pianura Padana. Il rettangolo rosso evidenzia l'area di studio.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>58 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	58 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	58 di 222								

Il suo corso è diviso in tre tratti distinti: il bacino sopralacuale, il lago d'Iseo e il comprensorio di pianura a valle del lago. Il corso dell'Oglio sublacuale segue nella prima parte del suo percorso la direzione nord-sud per circa 60 km, per poi piegare verso quadranti orientali; in tale zona riceve le acque dei due affluenti principali, il Mella e il Chiese (riportati in Figura 4-17).

A valle della confluenza del Mella, il fiume scorre per un tratto sul confine tra la provincia di Cremona e quella di Mantova, ricevendo da sinistra il Chiese presso Acquanegra sul Chiese per poi entrare definitivamente in territorio mantovano e confluire nel Po a Torre d'Oglio, al confine tra i comuni di Marcaria e Viadana.

Nel complesso, gli studi generali del P.A.I. evidenziano per l'Oglio una ridotta evoluzione morfologica per effetto dell'ampio bacino lacustre (lago d'Iseo); vengono comunque segnalati, a scala locale, evidenti fenomeni di dissesto delle sponde. I principali problemi di dissesto/squilibri segnalati dal P.A.I. derivano dagli argini non sempre adeguati in quota, da una limitazione delle aree di espansione (spesso legate a infrastrutture viarie interferenti) e da una instabilità planimetrica a livello puntuale.



Figura 4-17 – Stralcio, non in scala, dei corsi d'acqua principali nell'area di studio (evidenziata in rosso) e dei suoi affluenti.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	60 di 222

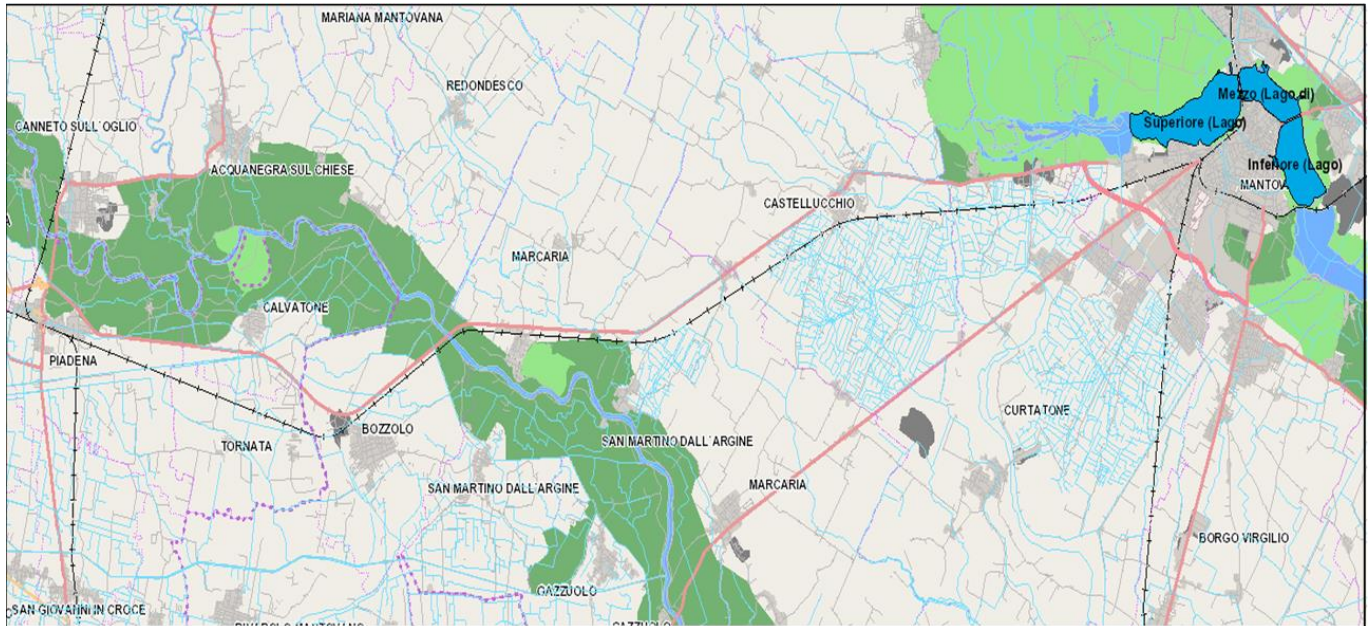


Figura 4-18 – Stralcio non in scala della cartografia del “Reticolo Idrico Unificato della Regione Lombardia” nella tratta da Piadena (CR) a Mantova.

Si elencano di seguito gli elementi facenti parte della fitta rete idrografica minore dell’area di progetto, principalmente costituiti da canali di irrigazione.

Tali elementi sono stati censiti mediante il database regionale denominato “Reticolo idrico unificato” revisionato sul Geoportale regionale nel 2018.

A partire da Piadena, e procedendo verso Mantova, la linea ferroviaria interseca:

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	61 di 222

Il Canale San Lorenzo



Il canale Gambina di Romprezzagno



RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	62 di 222

Il canale Pozza



Il Canale secondario di Bozzolo

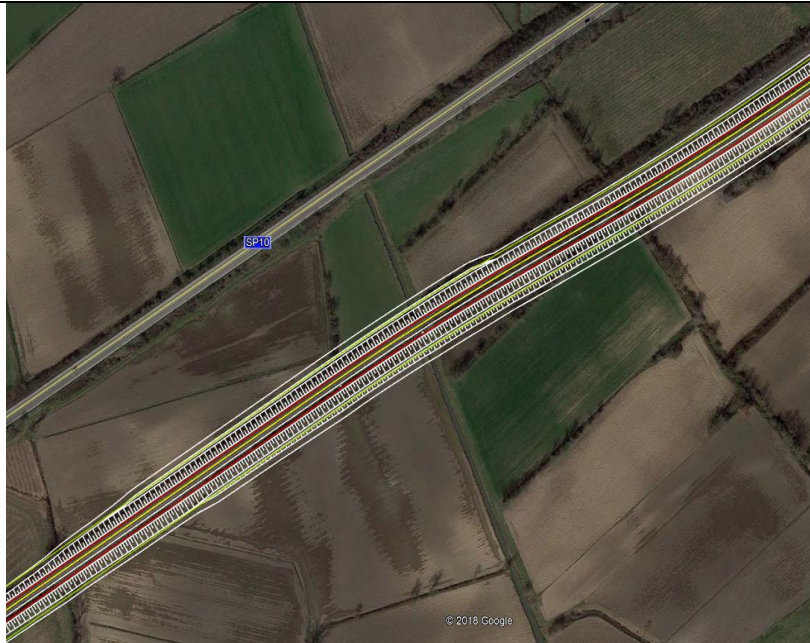


RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	63 di 222

Il Canale Cavata Alto



Il Torrente Tartaro-Fabbrezza

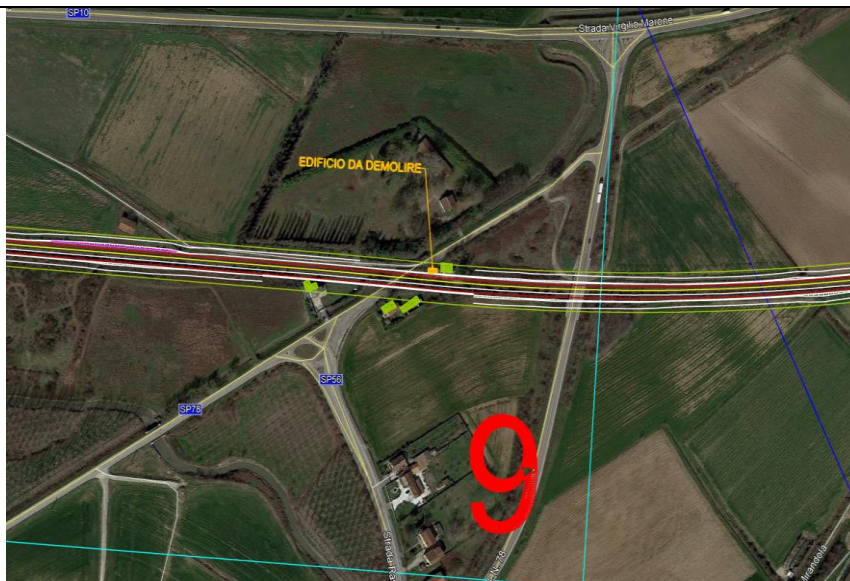


RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	64 di 222

Il Canale di Ospitaletto



Il Torrente Senga



RELAZIONE

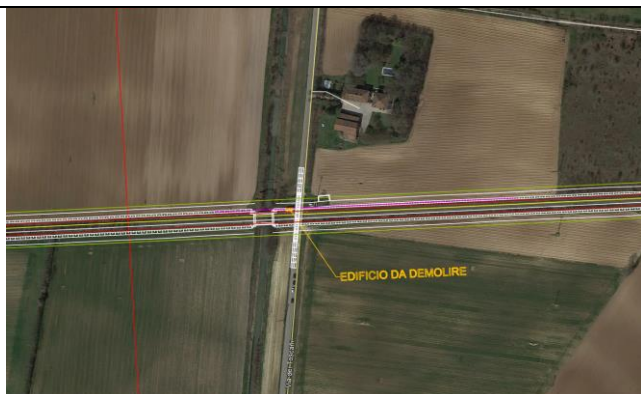
RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	65 di 222

Il Canale Gamberi Morante



Il Cavo Osone Vecchio e il Cavo Osone Nuovo



Il Canale Angeli-Cerese

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	66 di 222



	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>67 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	67 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	67 di 222								

4.5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La pianura lombarda rappresenta una delle maggiori riserve idriche europee. Il territorio mantovano fa parte dell'area padana, un grande bacino che durante il Pliocene e parte del Pleistocene corrispondeva ad un golfo occupato dalle acque marine, soggetto a continui avanzamenti ed arretramenti delle linee di costa. Lo spessore dei depositi marini è minimo in corrispondenza del margine alpino e può raggiungere i 6000 metri di spessore in corrispondenza del settore orientale della zona pedepenninica. Il sistema acquifero mantovano si estende dall'anfiteatro morenico del Garda a nord, ad ovest e ad est si confonde con gli acquiferi dell'Oglio e dell'Adige, mentre a sud si confonde con l'acquifero alimentato dal fiume Po.

La successione idrogeologica a scala regionale è definita da tre unità ben distinte anche se non sempre individuabili altrettanto chiaramente. Dalla più superficiale alla più profonda le unità affioranti sono le seguenti:

- *Unità ghiaioso-sabbiosa*: è costituita nella parte più settentrionale del territorio padano dalle formazioni moreniche, sfumanti verso sud alle coltri fluvio-glaciali e fluviali recenti. Questa unità è costituita da depositi alluvionali recenti e da quelli fluvio-glaciali Würmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano più limitate. Essa rappresenta la litozona più superficiale con ambiente di sedimentazione tipicamente continentale, fluviale e fluvio-glaciale. È costituita da granulometrie progressivamente più fini da nord a sud; il colore dei sedimenti fini denota condizioni ossidanti tipiche di un ambiente di sedimentazione sub-aereo. L'Unità ghiaioso-sabbiosa è la sede della struttura idrica più importante e tradizionalmente utilizzata in quanto caratterizzata da valori di trasmissività molto elevati. L'elevata permeabilità consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione da corsi d'acqua o canali artificiali; la conducibilità idraulica che caratterizza questa unità è compresa tra valori di 10^{-3} e 10^{-4} m/s mentre la trasmissività è, in linea generale, superiore a 10^{-2} m²/s.
- *Unità sabbioso-argillosa*: sottostante alla litozona ghiaioso-sabbiosa, è da questa separata da un contatto graduale e di difficile ubicazione. È suddivisibile in due sub-unità, la prima costituita da

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>68 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	68 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	68 di 222								

argille, limi e sabbie con frequenti livelli torbosi o lignitosi e caratteristica di ambienti fluvio-palustri; la seconda indica invece condizioni marine costiere ed è costituita da alternanze di ghiaie e sabbie con argille e limi. Ovviamente la permeabilità è molto variabile nelle due sub-unità in funzione delle differenze granulometriche. Trattandosi di litotipi a granulometria estremamente fine, i valori di conducibilità idraulica sono piuttosto bassi e dell'ordine di $10^{-5} - 10^{-6}$ m/s nei livelli più produttivi; anche la trasmissività risulta mediocre ed in genere inferiore a 10^{-3} m²/s. Per quanto riguarda le acque sotterranee, questa unità rappresenta il substrato dell'acquifero tradizionale; l'acqua è contenuta in livelli sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi; si tratta principalmente di falde confinate con presenza talora di sostanze tipiche di ambiente riducente.

- *Unità argillosa*: è l'unità più profonda e più antica nell'ambito dei sedimenti quaternari e corrisponde a condizioni di sedimentazione tipicamente marine. Presenta permeabilità scarsa o nulla con rari livelli acquiferi; viene generalmente considerata il substrato idrogeologico delle unità soggette ad eventuali captazioni.

L'intera successione quaternaria, dunque, viene interpretata come fase terminale del progressivo riempimento del bacino padano, con condizioni di sedimentazione da marine a continentali. Sulla scorta di tale osservazione ed applicando i criteri della "*Sequence Stratigraphy*", la Regione Lombardia, in collaborazione con ENI (Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, 2002), ha recentemente classificato le unità acquifere del sottosuolo sotto forma di "Sequenze Deposizionali" (sensu Mitchum et al., 1977). Il bacino padano viene così ridefinito in nuove Unità Idrostratigrafiche ("Gruppi Acquiferi"), secondo quanto descritto successivamente e schematizzato in Figura 4-19.

Sono pertanto stati individuati quattro Gruppi Acquiferi sovrapposti (A, B, C e D), delimitati alla base dall'interfaccia acqua dolce/acqua salata. Partendo dall'acquifero D, il più profondo, essi sono nel seguito brevemente descritti.

Gruppo Acquifero D

Il Gruppo Acquifero D è stato attribuito alla parte alta del Pleistocene inferiore ed è rappresentato da una sequenza di facies negativa caratterizzata alla base da argilla limosa e limo con intercalazioni di sabbia fine e finissima in strati sottili alla base, sabbia grigia fine e media nella parte intermedia e ghiaia

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>69 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	69 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	69 di 222								

poligenica grigia alternata a sabbia nella parte alta. La successione sedimentaria è attribuita, in accordo con i dati di sottosuolo, ad un sistema deposizionale di delta-conoide progradante da nord verso sud (direzione di progradazione desunta dall'analisi delle linee sismiche dell'area). Il Gruppo Acquifero D corrisponde approssimativamente alla parte medio bassa del terzo acquifero o acquifero profondo (Figura 4-19).

Gruppo Acquifero C

Il Gruppo Acquifero C è stato attribuito alla parte bassa del Pleistocene medio e presenta uno spessore di 70÷130 metri. Nel suo complesso corrisponde ad una fase di rapida progradazione da ovest verso est dei sistemi deposizionali padani (sistemi di scarpata, di piattaforma, di transizione e quindi continentali). La generale evoluzione regressiva del gruppo è interrotta da un'importante fase di rapida trasgressione con la deposizione di argille marine di piattaforma. Il Gruppo Acquifero C presenta una notevole variabilità sedimentaria con l'alternanza di depositi marini di piattaforma, depositi di transizione deltizi e litorali, depositi continentali di piana alluvionale con sistemi fluviali a meandri. La notevole variabilità sedimentaria ha importanti conseguenze di natura idrogeologica.

Gli intervalli sabbiosi dei sistemi deltizi e litorali rappresentano dei serbatoi caratterizzati da significativo spessore (10 – 30m), buona continuità laterale e da buone caratteristiche idrogeologiche per quanto concerne porosità e permeabilità (sabbie fini e medie, classate, prive di intercalazioni argillose). Le alternanze continentali di sabbie e argille di piana alluvionale rappresentano un serbatoio dalle buone caratteristiche soprattutto negli intervalli in cui prevalgono le sequenze di canale; le porzioni argillose di rotta d'argine possono invece garantire un sufficiente confinamento e protezione delle falde sottostanti. Inoltre, il livello impermeabile di argille marine trasgressive, contraddistinto da significativo spessore stratigrafico e da notevole continuità laterale (verificati con i dati di sottosuolo), suddivide il gruppo in due distinti acquiferi su un ampio settore della pianura lombarda. Il Gruppo Acquifero C corrisponde approssimativamente alla parte medio alta del terzo acquifero (Figura 4-19).

Gruppo Acquifero B

Il Gruppo Acquifero B presenta spessori stratigrafici compresi tra 40 e 50 metri. La successione del gruppo è suddivisibile in due distinti cicli positivi (Fining Upwards, FU) di pari spessore: circa 20 metri.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>70 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	70 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	70 di 222								

Nel ciclo inferiore prevalgono le litologie sabbiose, con sabbia da fine a grossolana (media prevalente), raramente ciottolosa, massiva o laminata, in strati gradati da sottili a molto spessi con presenza di frustoli e tronchi. Il ciclo superiore è caratterizzato da granulometrie più grossolane, con chiara prevalenza delle ghiaie nei sondaggi più settentrionali e prossimi alle aree alpine di alimentazione, e da granulomeria più fine (sabbie) in quelli più meridionali e distali. L'ambiente di deposizione è esclusivamente continentale con sistemi deposizionali di piana alluvionale dominata da sistemi fluviali braided ad alta energia, caratterizzati da sedimenti sabbioso ghiaiosi caratterizzati da porosità e permeabilità elevate. Il Gruppo Acquifero B corrisponde approssimativamente al secondo acquifero (Figura 4-19).

Gruppo Acquifero A

Il Gruppo Acquifero A presenta spessori stratigrafici compresi tra 20 e 40 metri ed è rappresentato prevalentemente da ghiaie, ghiaie grossolane a matrice sabbiosa a stratificazione da media a molto spessa, subordinati sono i livelli di sabbia da media a grossolana, spesso ciottolosa che aumentano verso sud allontanandosi dalle aree alpine di alimentazione. L'ambiente di sedimentazione è continentale di piana alluvionale con sistemi fluviali tipo *braided* caratterizzati da elevata energia. La successione del Gruppo Acquifero A è costituita da facies sedimentarie a porosità e permeabilità elevate, quali ghiaie e ghiaie grossolane a matrice sabbiosa, e sabbie medio-grossolane. Nella successione del gruppo sono presenti intercalazioni decimetriche di argilla e argilla limosa che comunque, non possono determinare, se non a scala locale, dei confinamenti della falda. Il Gruppo Acquifero A corrisponde approssimativamente al primo acquifero (Figura 4-19); è attualmente sfruttato in modo intensivo e spesso risulta interessato da fenomeni di inquinamento.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	71 di 222

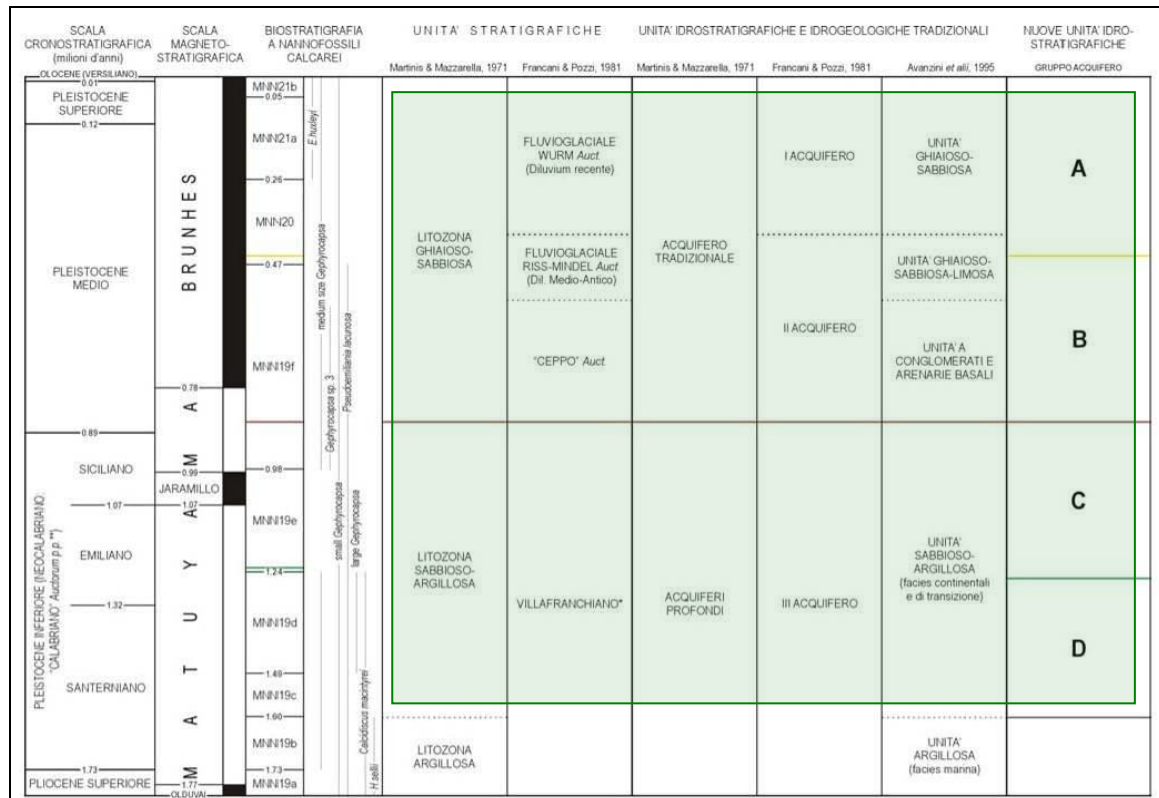


Figura 4-19 – Schema dei rapporti stratigrafici (Geologia degli acquiferi padani della Regione Lombardia, 2002).

Per quanto concerne le aree di bassa pianura, com'è quella compresa tra Cremona e Mantova, il caso più frequente è quello rappresentato dalla presenza di sacche d'acqua superficiali, generalmente alimentate da canali irrigui e fontanili, oppure collocate in aree morfologicamente depresse, quali paleovalvei abbandonati.

Più rare sono, invece, le falde freatiche superficiali che si riscontrano, in misura maggiore, nelle zone di media pianura. Al di sotto di questo primo strato di "acqua di suolo" si sviluppa invece un sistema acquifero più complesso, caratterizzato dalla presenza di falde stratificate costituito da due orizzonti principali: il primo freatico, tendente a diventare semiconfinato nelle aree di bassa pianura (a causa della maggior presenza di orizzonti coesivi) ed uno profondo in pressione. Le aree di alimentazione di tali falde vanno ricercate principalmente nelle zone della media ed alta pianura, poste a monte dell'area di

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>72 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	72 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	72 di 222								

studio. Dai settori centro settentrionali lombardi si instaura infatti un flusso idrico sotterraneo, maggiormente concentrato lungo canali di permeabilità preferenziali quali alvei fluviali o paleoalvei caratterizzati dalla presenza di materiali granulari a conducibilità idraulica maggiore. In particolare, si riconoscono alcune strutture acquifere principali tra cui il solco vallivo dell'Adda e le sue alluvioni terrazzate, i depositi del fiume Po, i quali si estendono anche per circa 4-5 km a nord del corso del fiume stesso e i depositi dei fiumi Oglio e Mincio. La profondità della falda si colloca in un range compreso tra 0 e circa 15 metri da piano campagna, con alcune zone, come l'argine destro del fiume Oglio, caratterizzato da aree morfologicamente ribassate che presentano una falda praticamente a piano campagna.

4.6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO DI DETTAGLIO DELLE AREE DI PROGETTO

Le informazioni idrogeologiche disponibili dalla letteratura specifica evidenziano come i grandi fiumi (Oglio, Adda e Po) costituiscano gli assi di drenaggio principali del settore di pianura cremonese e mantovano, condizionando in modo sostanziale le linee di flusso sotterraneo a scala locale.

Analizzando le cartografie elaborate nell'ambito dei Piani di Governo del Territorio dei diversi comuni interessati dal raddoppio della tratta ferroviaria Piadena-Mantova emerge un andamento della falda frammentato e non perfettamente omogeneo. Quanto evidenziato è legato al fatto che le misure di falda condotte da ogni singolo comune sono state realizzate in periodi diversi, con conseguente ottenimento di dati spesso non perfettamente congruenti tra di loro.

Ad ogni modo l'abbondanza di informazioni disponibile restituisce un quadro abbastanza chiaro sull'andamento generale della falda, grazie comunque anche al quadro idrogeologico piuttosto uniforme in questa porzione di pianura. Le curve isopiezometriche sono state riportate sulla cartografia idrogeologica al fine di fornire un quadro indicativo dal quale sia possibile estrapolare le quote piezometriche della prima falda freatica e in via generale la direzione di flusso. Qui di seguito si riporta un inquadramento idrogeologico di dettaglio per ciascuno dei comuni; ove disponibili, si riportano i grafici relativi alle variazioni di soggiacenza statica misurate in pozzi monitorati da ARPA Lombardia.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 73 di 222

Comune di Piadena

Dal punto di vista idrogeologico in corrispondenza del comune di Piadena, lo studio citato nel paragrafo precedente indica, per la base del Gruppo Acquifero A, una quota di - 200 m s.l.m., con una immersione pronunciata verso quadranti sud-occidentali. Verso sud-est, tuttavia, si delinea un marcato, ed isolato, sollevamento (probabile effetto del condizionamento strutturale del substrato profondo di cui si è fatto cenno in precedenza). La presenza di acqua nel sottosuolo del territorio comunale di Piadena, così come per l'intero territorio cremonese, è legata a caratteristiche strutture stratigrafiche e deposizionali che ne governano l'accumulo ed il transito. Si rileva come, a scala sovracomunale, si sviluppi un complesso acquifero di tipo "multifalda", all'interno del quale sono riconoscibili due circuiti chiaramente separati:

1. un esile circuito superficiale, che nel sottosuolo di Piadena assume caratteristiche da semilibere a confinate (si rammenta la diffusa presenza di coperture limoso-argillose), che viene alimentato sia da monte (secondo la direzione di deflusso idrogeologico), sia per infiltrazione diretta (a seguito di precipitazioni meteoriche o durante la pratica irrigua);
2. un circuito profondo (o confinato-artesiano), ospitato in orizzonti sabbiosi protetti al tetto da depositi impermeabili di significativo spessore ed estensione laterale; nel circuito profondo avviene un flusso in senso laterale con alimentazione da aree poste idrogeologicamente a monte.

Sulla base dei dati disponibili, tuttavia, è doveroso segnalare come i depositi permeabili che costituiscono la struttura acquifera più superficiale presentino spessori generalmente compresi entro una decina di metri, riducendo di molto la produttività del circuito idrogeologico rispetto alla media del territorio. Oltre tale quota (circa 10-20 m.s.l.m.) si sviluppano potenti livelli impermeabili, al di sotto dei quali (60-80 metri di profondità dal piano-campagna) compaiono i primi orizzonti acquiferi di spessore e continuità laterale significativa.

Una significativa anomalia, invece, potrebbe delinarsi nel settore settentrionale del territorio comunale, ovvero in corrispondenza dell'incisione olocenica dell'Oglio, parzialmente colmata dai depositi alluvionali più recenti.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 74 di 222

La carta idrogeologica riportata in Figura 4-20 rappresenta la situazione rilevata nel mese di marzo 2011 attraverso una campagna di misure piezometriche. Le isopieze relative alla falda superficiale definiscono una generale direzione di flusso sotterraneo orientata verso quadranti settentrionali, con una netta deviazione nel settore meridionale del territorio comunale. Tale effetto deriva dall'azione drenante esercitata dall'incisione olocenica dell'Oglio mentre, spostandosi verso sud, le acque sotterranee deviano verso quadranti sud-orientali subendo il richiamo del Po (anche se distanti parecchi chilometri dal territorio di Piadena); si delinea in questo modo un chiaro spartiacque sotterraneo tra il bacino idrogeologico dell'Oglio e quello del Po, il cui asse è orientato in direzione E-O e corrisponde a grandi linee con il limite meridionale del territorio comunale.

Il particolare assetto si traduce anche in termini di gradienti e di soggiacenza della superficie piezometrica; ovvero la soggiacenza maggiore si rileva sul Livello Fondamentale della Pianura in prossimità del suo margine settentrionale, mentre le soggiacenze più ridotte (frequentemente inferiori a 2 metri) si misurano in corrispondenza della valle dell'Oglio e nella rimanente porzione di territorio. A conferma di una falda sub-affiorante si possono osservare numerosi fenomeni sorgentizi, sia al piede delle scarpate morfologiche ("sorgenti di terrazzo"), sia nel settore meridionale del Livello Fondamentale della Pianura (tra le località Bel Giardino e la Favorita) in corrispondenza di una incisione ad opera del reticolo idrico secondario. Si rammenta, tuttavia, che le linee isopiezometriche descrivono una situazione media dei potenziali piezometrici i quali, nella realtà, possono presentare significative anomalie.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra, il territorio è stato suddiviso dallo studio geologico del PGT per classi di soggiacenza della superficie piezometrica, ovvero:

1. soggiacenza inferiore a 2 metri nella valle del fiume Oglio (la soggiacenza della falda va intesa come un valore medio di primo riferimento, in quanto soggetta a consistenti escursioni piezometriche correlabili con il regime idrometrico del Fiume), all'interno della quale i valori più bassi si misurano al piede della scarpata morfologica principale ove sono presenti manifestazioni sorgentizie;
2. soggiacenza compresa fra 2 e 5 metri nella fascia di territorio posta sul Livello Fondamentale della Pianura in prossimità del suo margine terrazzato;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 75 di 222

3. soggiacenza inferiore a 2 metri in corrispondenza della fascia centro-meridionale del Livello Fondamentale della Pianura. Sul Livello Fondamentale della Pianura, inoltre, sono state evidenziate graficamente le aree morfologicamente depresse (frutto di incisioni ad opera del reticolo secondario) con falda sub-affiorante, origine di diffusi fenomeni sorgentizi (Valle della Gambina). Si deve tuttavia precisare che sul Livello Fondamentale della Pianura la soggiacenza è riferita alla superficie piezometrica media: i diffusi depositi limo-argillosi, infatti, limitano lo sviluppo di un acquifero freatico s.s.; eventuali orizzonti più permeabili nelle coperture limo-argillose, inoltre, sono spesso sede di falde sospese piuttosto superficiali.

Quanto sopra conferma come il sistema idrografico di superficie, centrato sulla presenza del fiume Oglio verso nord, ed il complesso delle acque sotterranee siano fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio. Analizzando la cartografia riportata in Figura 4-20, la linea ferroviaria ricade in un'area dove la soggiacenza della falda è compresa tra 2 e 5 metri da p.c., localmente al di sopra dei 2 metri da p.c. in direzione Cremona. Essa corre grossomodo parallelamente alle linee isopieze (interseca le isopieze da circa +30.5 a +28.5 m.s.l.m. lungo tutto il territorio comunale), le quali convergono verso il fiume Oglio a nord. La linea ferroviaria corre perpendicolarmente alla direzione di flusso della falda.

La sola presenza di due pozzi (PO0190710U0713 e PO019071NRA001, dati monitoraggio ARPA riportati nel grafico in Figura 4-22) nel territorio comunale, destinati al monitoraggio della falda, non consente di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di flusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione annuale) e nel lungo periodo per via della scarsità di dati e la mancanza di una più fitta rete di monitoraggio, ma ciò nonostante si esclude che la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo significativo le linee di flusso sotterraneo, ad eccezione delle aree più vicine all'Oglio; durante i periodi di piena del fiume; infatti, la falda superficiale subisce oscillazioni verso l'alto, con localizzate e temporanee inversioni del flusso idrico di sottosuolo (alimentazione fiume-falda).

Le misure del pozzo PO0190710U0713 sono molto poche e pertanto non è stato riportato il diagramma delle misure mensili poiché non significative.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	76 di 222

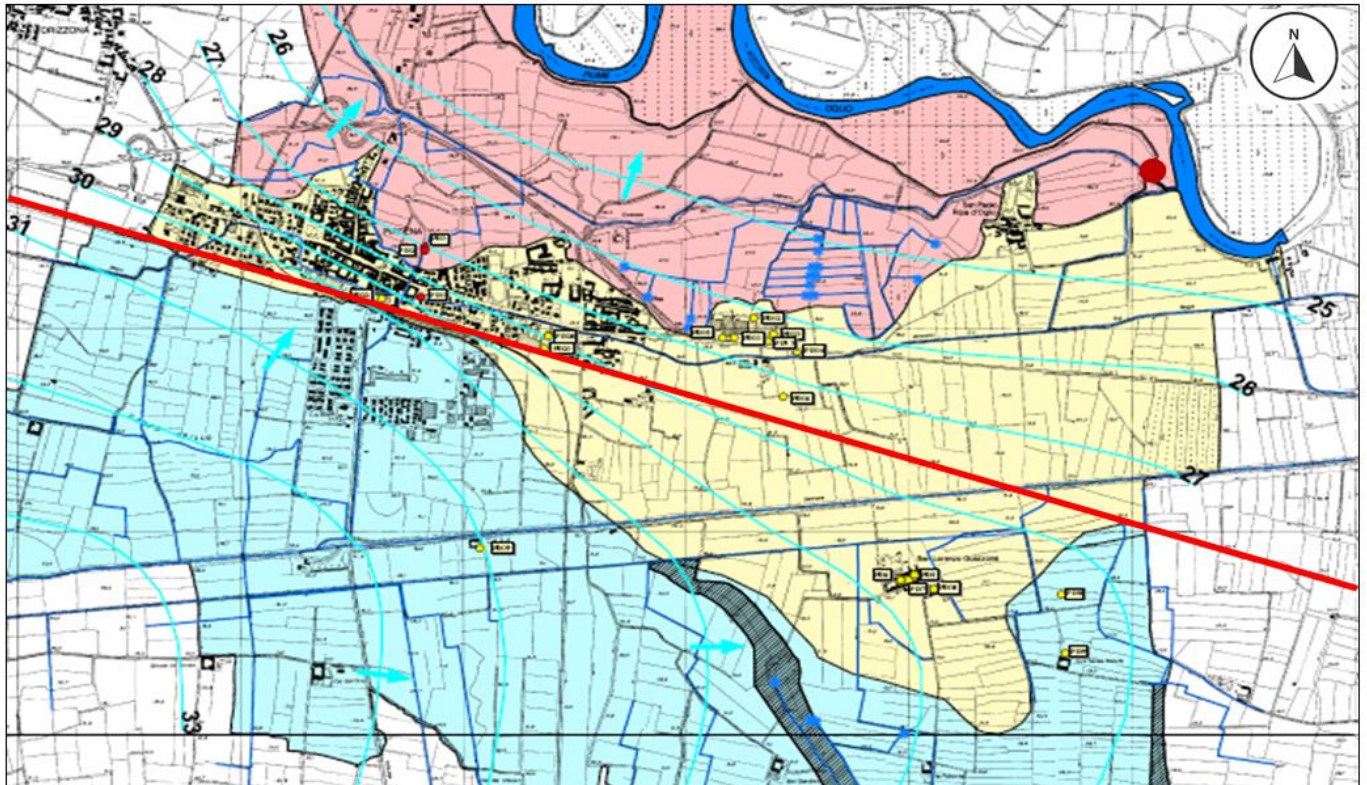


Figura 4-20 – Stralcio della carta idrogeologica, scala 1: 10.000, redatta dal PGT del comune di Piadena, anno 2012. In rosso è riportata la linea ferroviaria. Il cerchio rosso indica l'ubicazione del pozzo PO019071NRA001.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	77 di 222

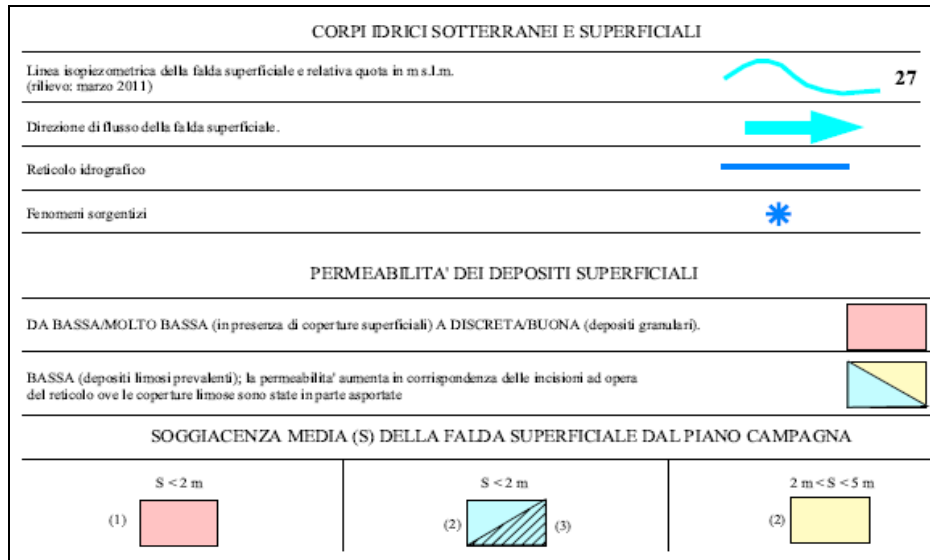


Figura 4-21 – Stralcio della legenda della carta idrogeologica allegata al PGT del comune di Piadena.

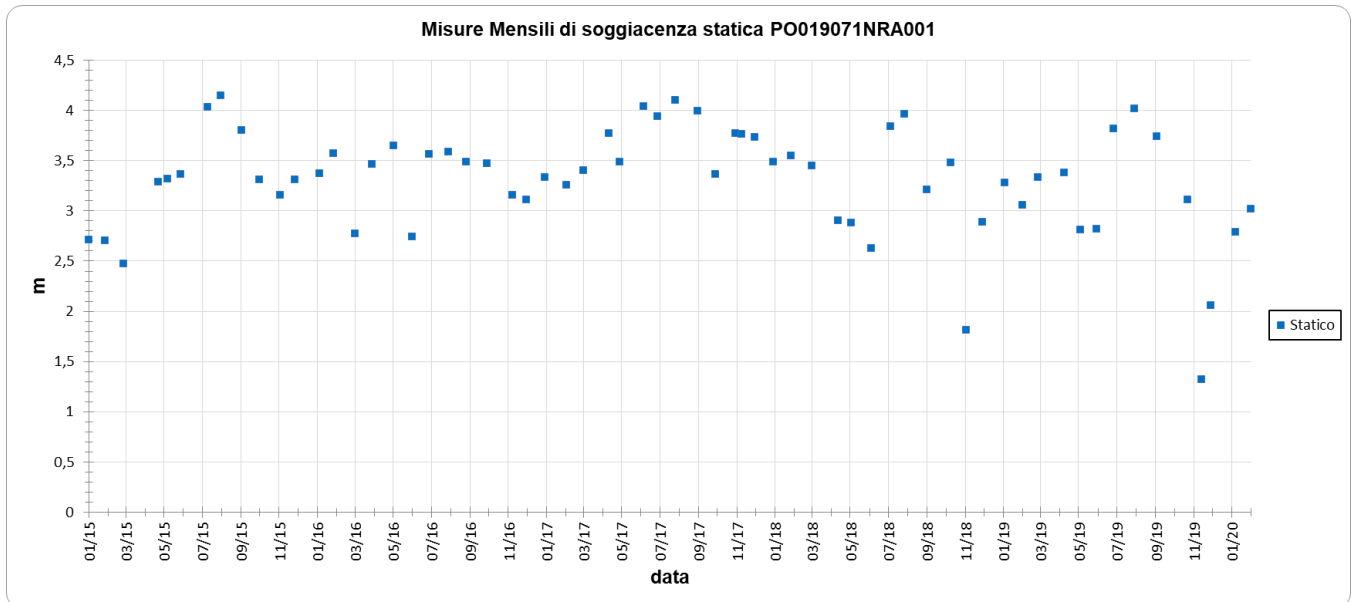


Figura 4-22 – Misure mensili di soggiacenza statica nel pozzo PO019071NRA001 di Piadena

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>78 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	78 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	78 di 222								

Comune di Tornata

Per quanto concerne l'area comunale di Tornata, valgono le considerazioni generali effettuate per l'adiacente comune di Piadena. Il sistema idrografico di superficie, centrato sulla presenza del fiume Oglio (verso N) e della sua confluenza in Po (verso E), ed il complesso delle acque sotterranee sono fra loro interconnessi secondo un delicato equilibrio.

Nonostante in tutto il territorio comunale non siano note registrazioni sistematiche delle oscillazioni piezometriche che consentano di effettuare considerazioni idrogeologiche in merito a possibili variazioni delle linee di deflusso nel breve periodo (periodi di minima e massima escursione annuale) e nel lungo periodo, anche in questo caso si esclude che la pratica irrigua o le precipitazioni meteoriche, anche se intense o concentrate in taluni periodi dell'anno, siano in grado di modificare in modo significativo le linee di deflusso sotterraneo.

La linea ferroviaria intercetta la falda tra le quote +28m s.l.m. a ovest e +24m s.l.m. a est; la direzione del flusso di falda (Figura 4-23 e 4-24) risulterebbe, diversamente rispetto a quanto riportato sulla cartografia del comune di Piadena, grossomodo parallela all'andamento della linea, ovvero da ONO a ESE.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	79 di 222

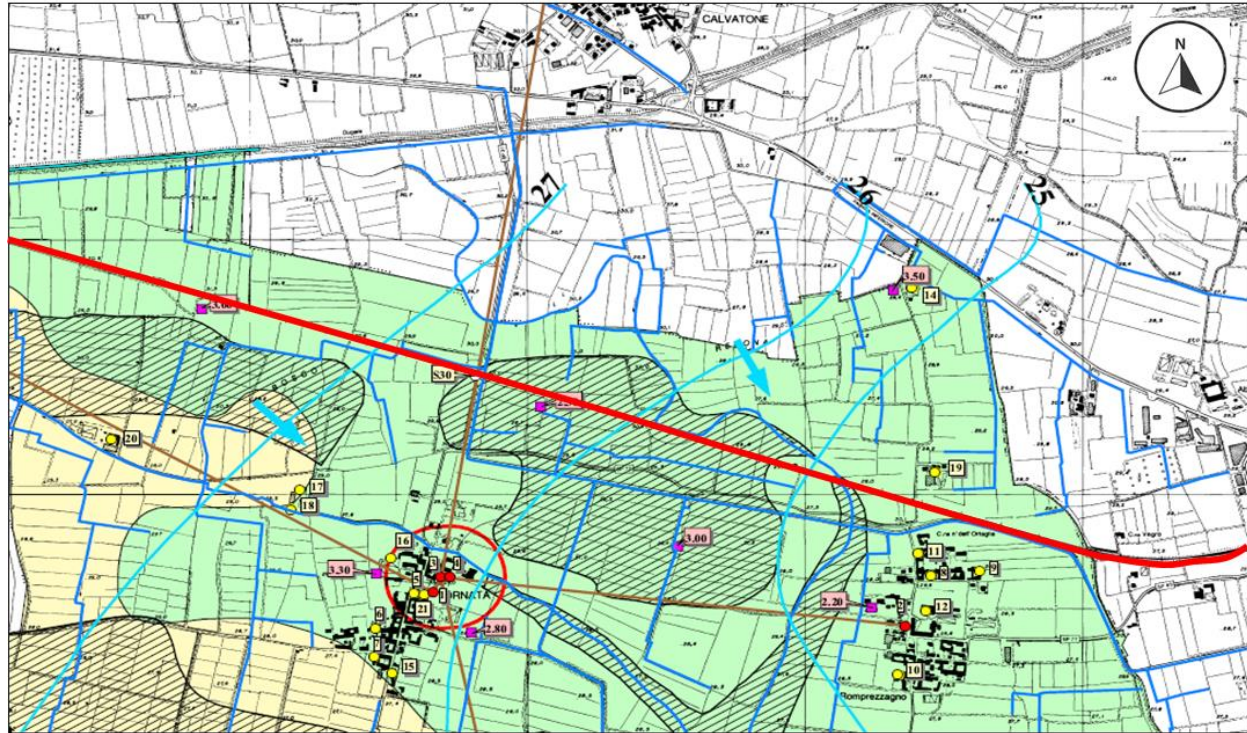


Figura 4-23 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Tornata, anno 2009 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

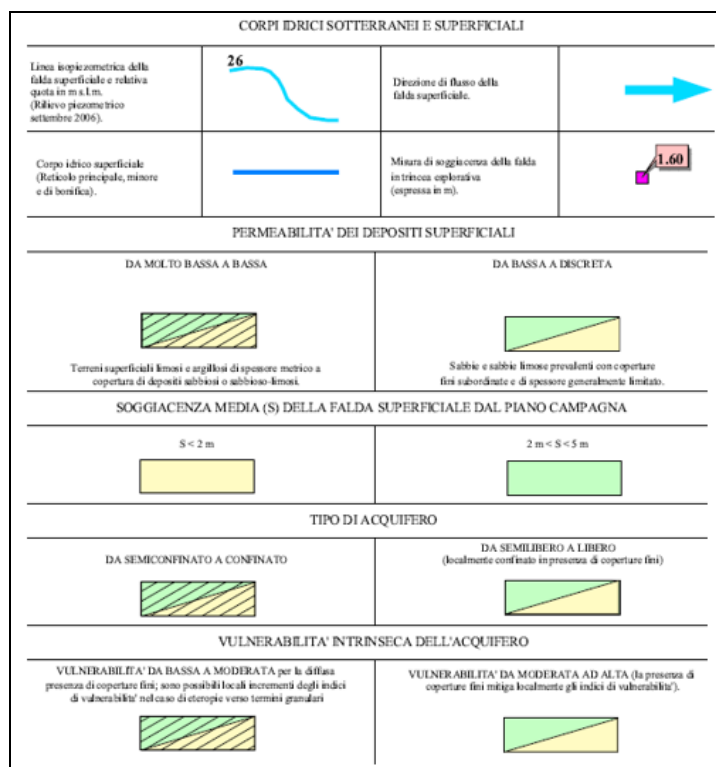


Figura 4-24 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del Comune di Tornata.

Comune di Bozzolo

La cartografia idrogeologica del comune di Bozzolo (Figura 4-25 e 4-26) riporta l'assetto della prima falda, mediante rappresentazione di curve isopieze, corrispondente con una situazione di alto piezometrico molto elevato che può essere assunta come il massimo livello raggiungibile dalla falda nell'area di studio. L'andamento delle isopieze evidenzia, in accordo con le caratteristiche generali dell'unità idrogeologica d'appartenenza, un flusso prevalente da nord verso sud. Si osserva, inoltre la presenza di un asse di drenaggio, con analogo orientamento, a sud del centro abitato. Nelle fasce terrazzate la superficie freatica risulta sempre sub-affiorante rispetto alla superficie topografica.

Secondo la carta, la maggior parte del tracciato risulterebbe molto prossimo alla superficie di falda, e la direzione di flusso della falda stessa risulterebbe in questo caso perpendicolare all'andamento della linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	81 di 222

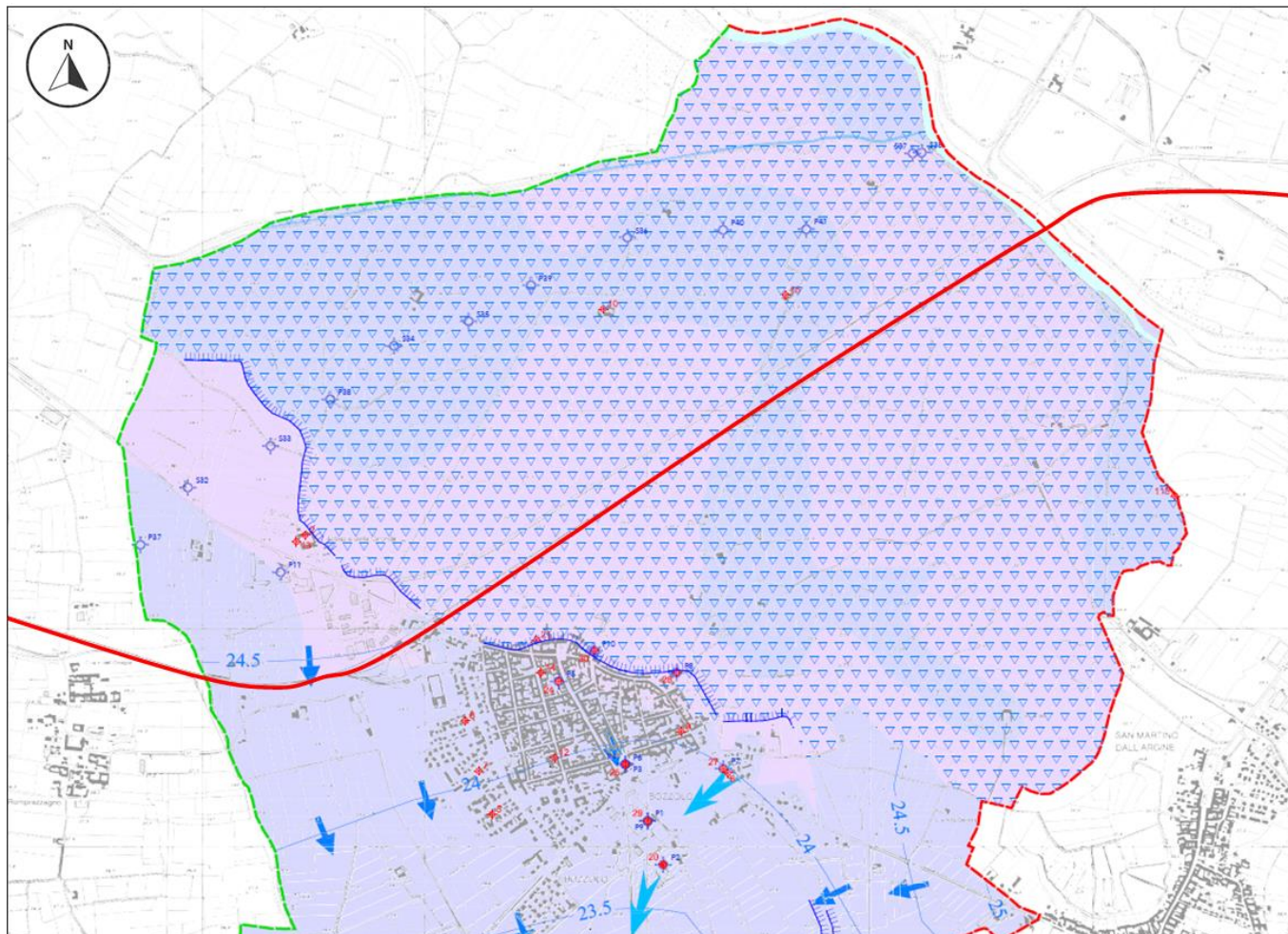


Figura 4-25 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Bozzolo, anno 2011 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.

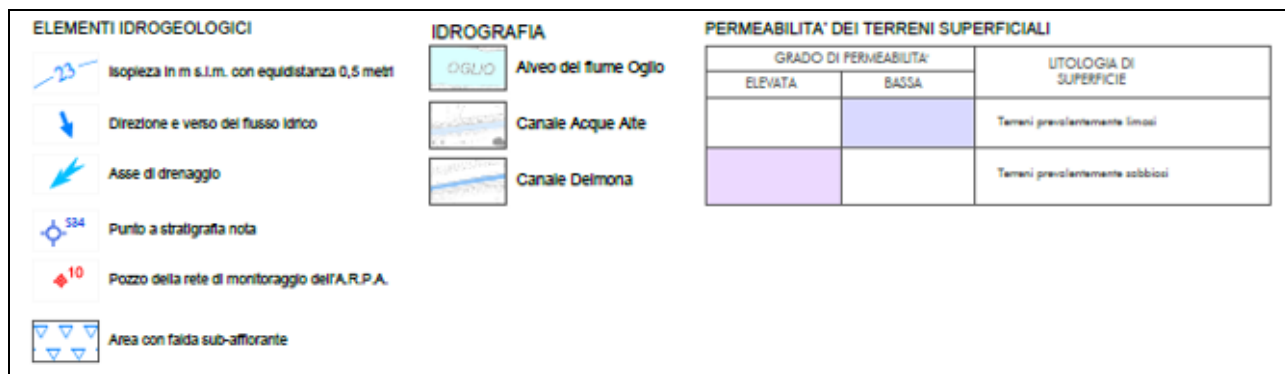


Figura 4-26 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del comune di Bozzolo.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>82 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	82 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	82 di 222								

Comune di Marcaria

Il flusso sotterraneo è generalmente diretto da nord-ovest verso sud-est, con eccezione di alcune zone dove si risente di fenomeni locali. I monitoraggi eseguiti nell'ambito del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA), approvato con Delibera di Giunta Regionale n. 2244 del 29 marzo 2006, hanno evidenziato che, nell'ambito del territorio comunale di Marcaria, il livello della falda più superficiale raggiunge le massime quote sul livello del mare nel corso dei mesi maggio-giugno, mentre il periodo di magra è riferibile ai mesi dicembre-gennaio.

I regimi piezometrici risultano generalmente poco correlabili sia con quelli idrometrici che con quelli pluviometrici, fatto che induce a ritenere, come nei casi dei comuni precedenti, che l'alimentazione dell'intera unità idrogeologica sia da ricondurre principalmente agli apporti idrici forniti dai corpi acquiferi sotterranei dell'Alta Pianura. I corsi d'acqua, tuttavia, costituiscono dei limiti a potenziale imposto ai cui livelli si deve sempre ricordare la superficie della falda. Normalmente, nei periodi di abbassamento e di stazionarietà prolungata delle quote idrometriche, il fiume rappresenta un'asse di drenaggio: i livelli freatici sono costantemente ad una quota superiore ai livelli idrometrici, per cui si ha un flusso dalla falda al fiume. Viceversa, in occasione degli eventi di piena, si assiste all'inversione del flusso; infatti, all'innalzamento dei livelli idrometrici corrispondono, a causa della perdita di carico indotta dalla filtrazione nelle sabbie, incrementi dei livelli freatici di ampiezza minore e sfasati nel tempo, in funzione della distanza dal corso d'acqua.

L'andamento delle isopieze evidenzia, in accordo con le caratteristiche generali dell'unità idrogeologica d'appartenenza, un flusso prevalente da nord-ovest verso sud-est, anche se nel settore occidentale, esso assume direzione NE-SO, a causa dell'azione drenante locale esercitata dall'incisione valliva del fiume Oglio.

Nelle fasce terrazzate la superficie freatica risulta sub-affiorante rispetto alla superficie topografica e anche nelle zone altimetricamente più elevate (livello fondamentale della pianura) la soggiacenza è modesta: infatti, come si evince dalle isobate rappresentate in Figura 4-27, in ampie zone del comune possono essere raggiunti valori di soggiacenza del livello freatico inferiori a 1-2 metri dal piano campagna.

Per quanto i dati di soggiacenza disponibili nell'area, in Figura 4-28 si riporta il grafico relativo alle misure effettuate tra il 2015 ed il 2020 da ARPA nel pozzo PO0200310R0062. Il pozzo risulta ubicato a

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	83 di 222

notevole distanza dalla linea (circa 8 km), tuttavia può fornire comunque utili indicazioni in merito alle oscillazioni di falda; esso evidenzia alcuni minimi di soggiacenza a giugno 2016, 2017 e 2018, confermando in parte l'andamento teorico dell'anno idrogeologico precedentemente descritto, mentre i massimi risultano meno definiti, indicando possibili prolungati periodi di magra.

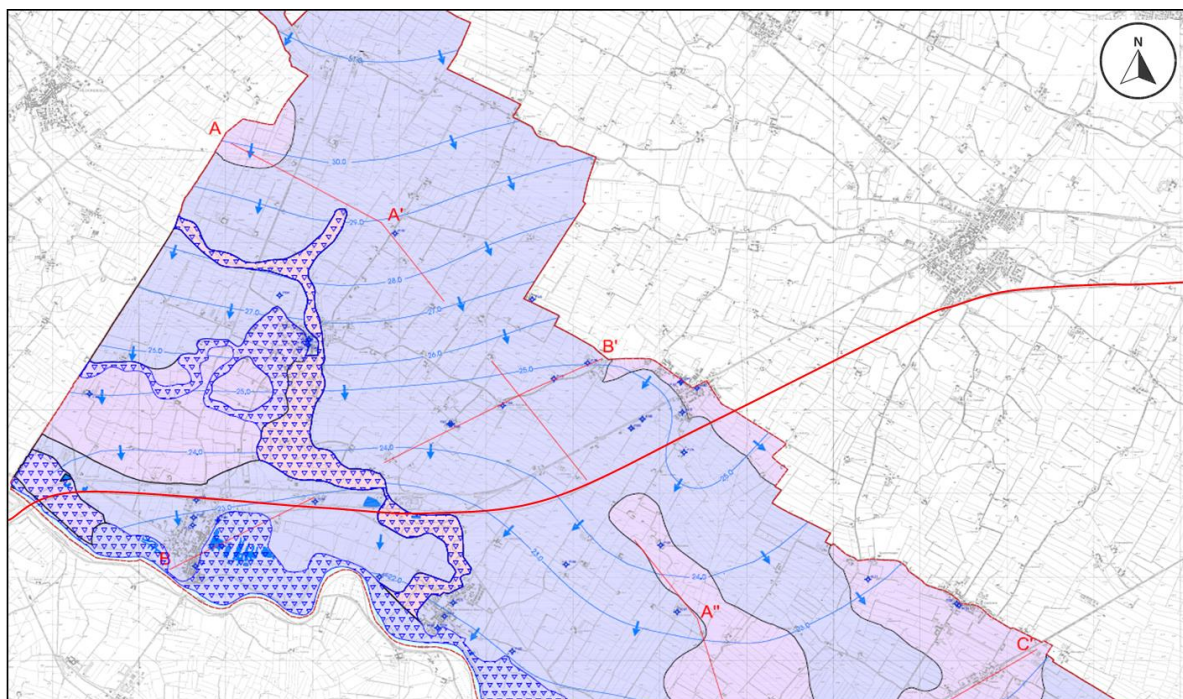


Figura 4-27 – Stralcio della Carta idrogeologica redatta dal PGT del comune di Marcaria, anno 2009 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	84 di 222

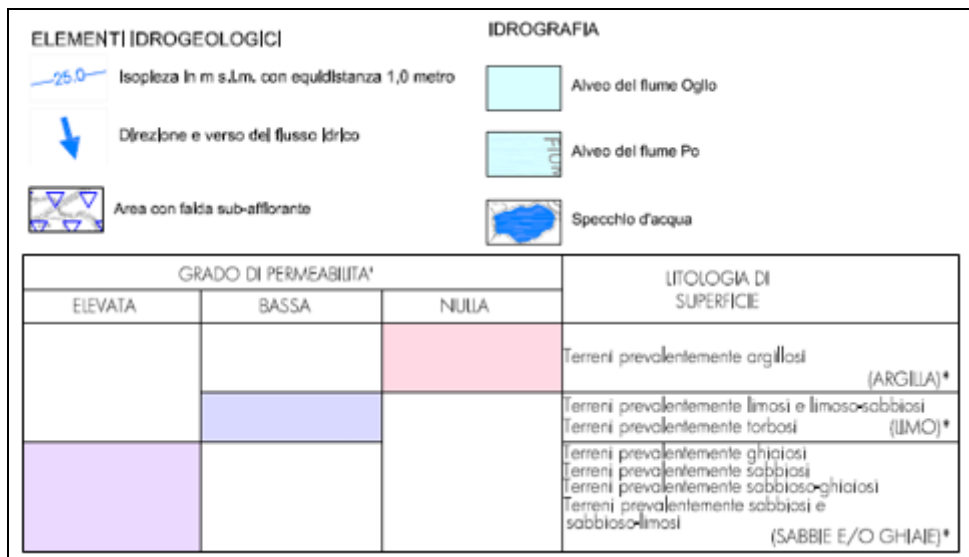


Figura 4-28 – Stralcio della legenda idrogeologica redatta dal PGT del comune di Marcaria.

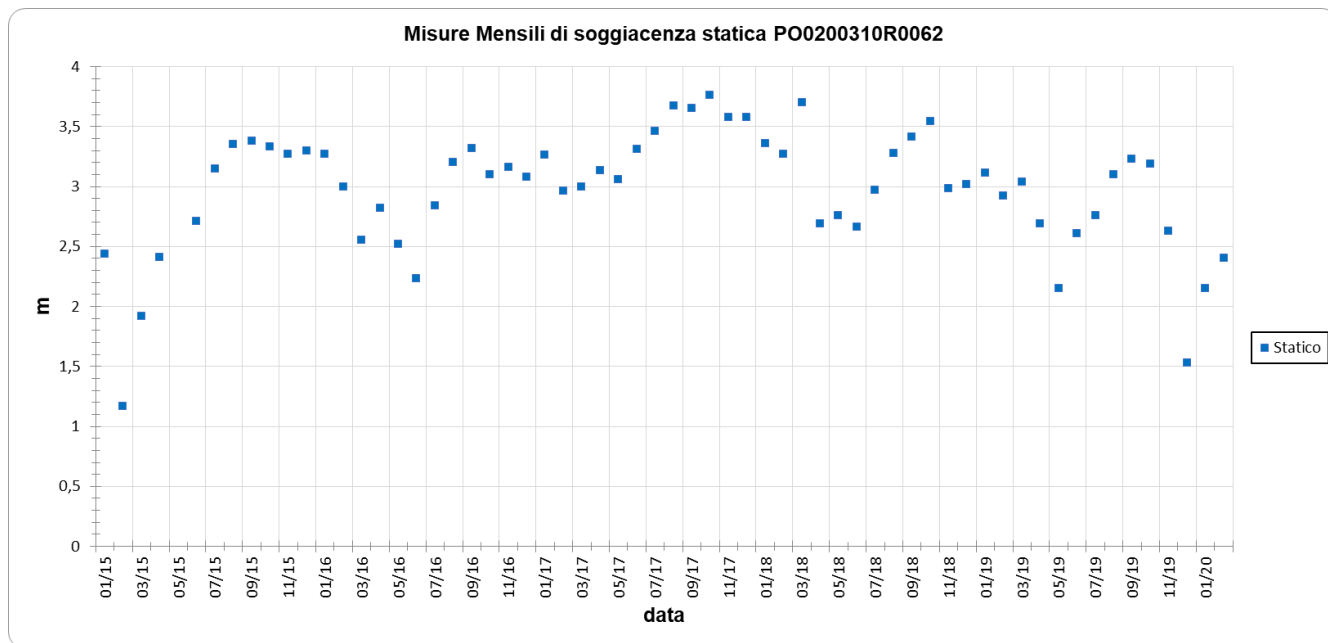


Figura 4-29 - Misure mensili di soggiacenza statica misurata nel pozzo PO0200310R0062 di Marcaria

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>85 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	85 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	85 di 222								

Comune di Castellucchio

Il comune di Castellucchio ricade all'interno dell'Unità 4 del medio-mantovano, compresa tra la fascia pedecollinare e la sponda sinistra idrografica del fiume Po. Le caratteristiche litologiche superficiali del territorio sono state sensibilmente influenzate dalla presenza del canale Osone, che nel corso del tempo ha notevolmente variato il suo corso. Le divagazioni dell'alveo fluviale, con le sue fasi di piena e le conseguenti esondazioni, hanno contribuito alla deposizione di litotipi diversi, tutti compresi comunque nel campo dei depositi medio fini, variabili dalle sabbie (da medie a finissime) ad argille; solo localmente si possono trovare litotipi più grossolani (ghiaia). I depositi affioranti sono allineati, in modo prevalente, secondo una direzione NS, a testimonianza della genesi di natura fluvioglaciale e della tipica struttura di conoide. Questo allineamento è interrotto dall'alveo (e paleo alvei) del canale Osone, che all'altezza di cascina Torchio cambia direzione, portandosi da NS a EO.

La struttura dell'acquifero è in diretta relazione con le caratteristiche geo-litologiche della litologia superficiale. La falda superficiale si incontra a profondità variabili da 2 a 11 metri, con generale copertura argillosa nella fascia occidentale e in parte in quella sud-occidentale. Lo spessore del primo acquifero è intorno a 30 metri ed è residente in sabbie fini con intercalazioni di piccole lenti argillose; esso risente notevolmente degli apporti dell'area di ricarica (unità pedecollinare) e delle precipitazioni. Da dati riportati in letteratura si riscontra che la portata non è elevata, variando da 10 l/s nei primi metri fino a portarsi sui 25 l/s nei livelli sottostanti; il letto di questo acquifero è costituito da uno strato di argille marnose, con potenza compresa tra 7 e 10 metri, posto a profondità variabile e compresa tra 37 a 55 metri, di colore grigio scuro.

La valle dei Mincio, localizzata ad est del territorio comunale, rappresenta un importante asse di drenaggio sotterraneo per tutte le zone che si trovano ad est ed a nord di esso. Ne è testimonianza il gradiente idraulico, il quale aumenta rapidamente avvicinandosi alla valle stessa.

Dai dati bibliografici è possibile dedurre che l'andamento piezometrico degli acquiferi superficiali è strettamente legato al regime idrometrico del fiume Mincio. I massimi livelli piezometrici sono registrati in giugno, mentre la fase di magra è collocabile tra novembre e dicembre. È comunque da sottolineare il fatto che essendo la portata del Mincio regolata artificialmente, le fluttuazioni dei livelli piezometrici risentono anch'esse di tale regimentazione, quindi non sono variazioni esclusivamente legate all'andamento naturale.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Come è possibile osservare dalla carta riportata in Figura 4-30, non sono riconoscibili le quote relative a ciascuna isopieza. Si deduce come il tracciato ferroviario intersechi obliquamente la direzione di flusso della falda, orientata NNO-SSE.

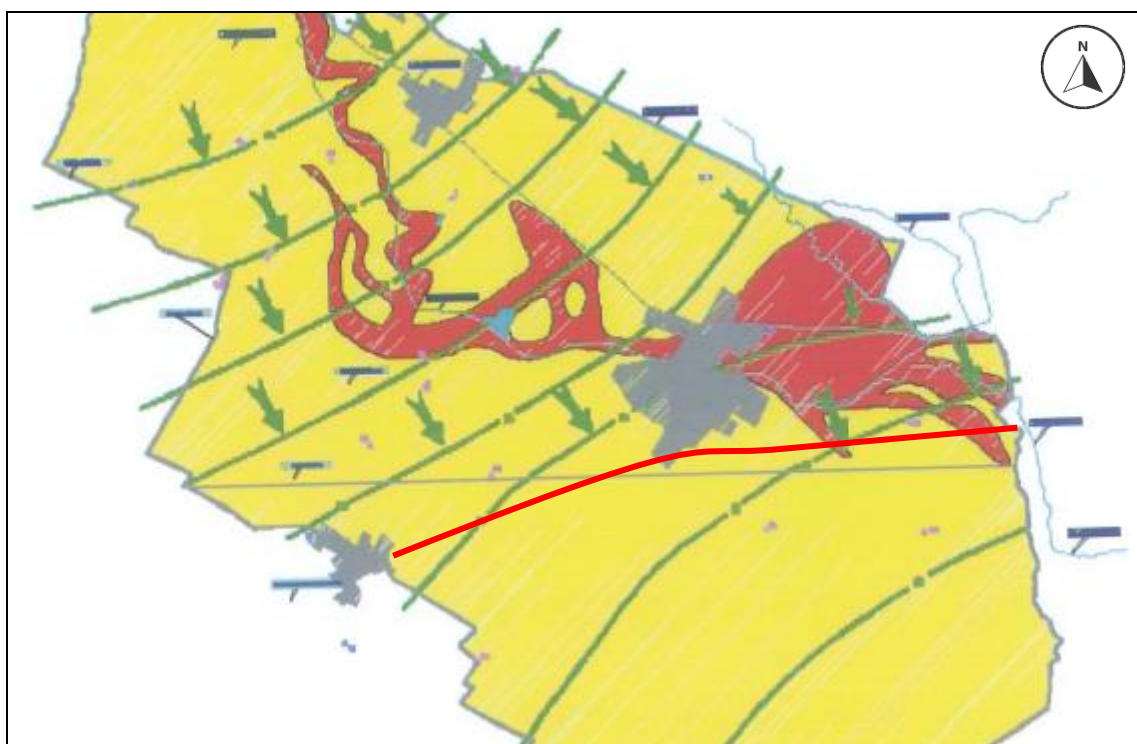


Figura 4-30 – Stralcio della Carta idrogeologica semplificata del territorio comunale di Castellucchio, anno 2011. In colore rosso la linea ferroviaria.

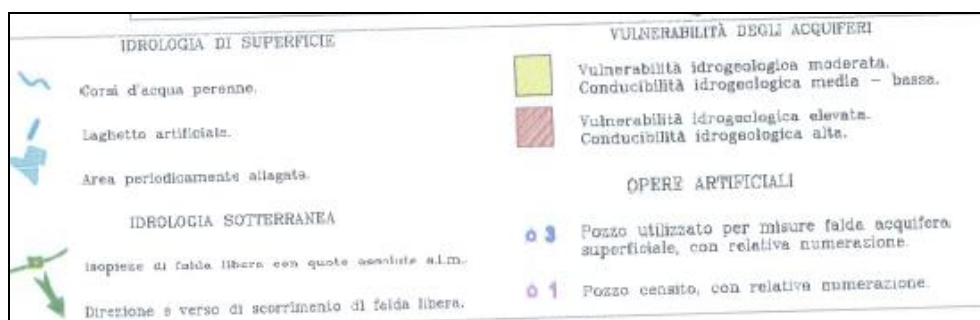


Figura 4-31 – Stralcio della legenda idrogeologica della carta del territorio di Castellucchio.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 87 di 222

Comune di Curtatone

Nell'ambito del territorio comunale di Curtatone il livello della falda più superficiale raggiunge le massime quote sul livello del mare nel corso dei mesi maggio-giugno, mentre il periodo di magra è riferibile ai mesi dicembre-gennaio. Anche in questo caso i regimi piezometrici risultano generalmente poco correlabili sia con quelli idrometrici che con quelli pluviometrici, fatto che induce a ritenere che l'alimentazione dell'intera unità idrogeologica sia da ricondurre principalmente agli apporti idrici forniti dai corpi acquiferi sotterranei dell'Alta Pianura. I corsi d'acqua, tuttavia, costituiscono dei limiti a potenziale imposto ai cui livelli si deve sempre raccordare la superficie della falda. Le caratteristiche idrodinamiche del territorio in esame sono state rappresentate nella carta idrogeologica redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio comunale (Figura 4-32). In tale elaborato, innanzitutto, è raffigurato l'assetto della prima falda, mediante rappresentazione di curve isopieze ad ugual livello statico, rilevato nel corso di una campagna di misure, effettuata nella primavera del 1990, per la redazione del Piano Regionale di Risanamento delle Acque; detto rilievo risulta particolarmente significativo, in quanto, ha riguardato una situazione di alto piezometrico molto elevato che può essere assunta come il massimo livello raggiungibile dalla falda nell'area di studio. L'andamento delle isopieze evidenzia, in accordo con le caratteristiche generali dell'unità idrogeologica d'appartenenza, un flusso prevalente da nord-ovest verso sud-est, anche se nel settore settentrionale del comune, esso assume direzione ovest-est, a causa dell'azione drenante locale esercitata dall'incisione valliva del fiume Mincio e dei suoi laghi.

Nelle fasce terrazzate la superficie freatica risulta sub-affiorante rispetto alla superficie topografica. Anche nelle zone altimetricamente più elevate (livello fondamentale della pianura), come si evince dalle isobate rappresentate, generalmente, possono essere raggiunti modesti valori di soggiacenza del livello freatico, nell'ordine dei 2-3 m dal piano campagna. Fa però eccezione la porzione più prossima alla scarpata che delimita il terrazzo del fiume Mincio (ovvero, a nord dell'abitato di Montanara), dove si hanno valori di soggiacenza compresi tra i 4 e i 6 metri.

Come è possibile osservare in Figura 4-32, la tratta ferroviaria, localizzata nella porzione nord del comune, risulta grossomodo perpendicolare all'andamento delle isopieze, e dunque essa procede parallelamente al flusso di falda che ha direzione est-ovest. Sulla base delle isopieze riportate in carta la quota di falda dovrebbe attestarsi tra +22 (ad ovest) e +20m.s.l.m (ad est).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	88 di 222

Per quanto i dati di soggiacenza in Figura 4-34 si riporta il grafico relativo alle misure effettuate tra il 2015 ed il 2020 da ARPA nel pozzo PO0200210R0045, localizzato circa 2700 metri a sud-est della linea, in località Magri. analizzando i dati risulta difficoltoso individuare veri e propri minimi e massimi di soggiacenza. Si riconosce probabilmente un minimo a febbraio 2015 ed uno a giugno 2016, un massimo a febbraio 2016, a dicembre 2016, a dicembre 2017-gennaio 2018, ed uno ad aprile 2019.

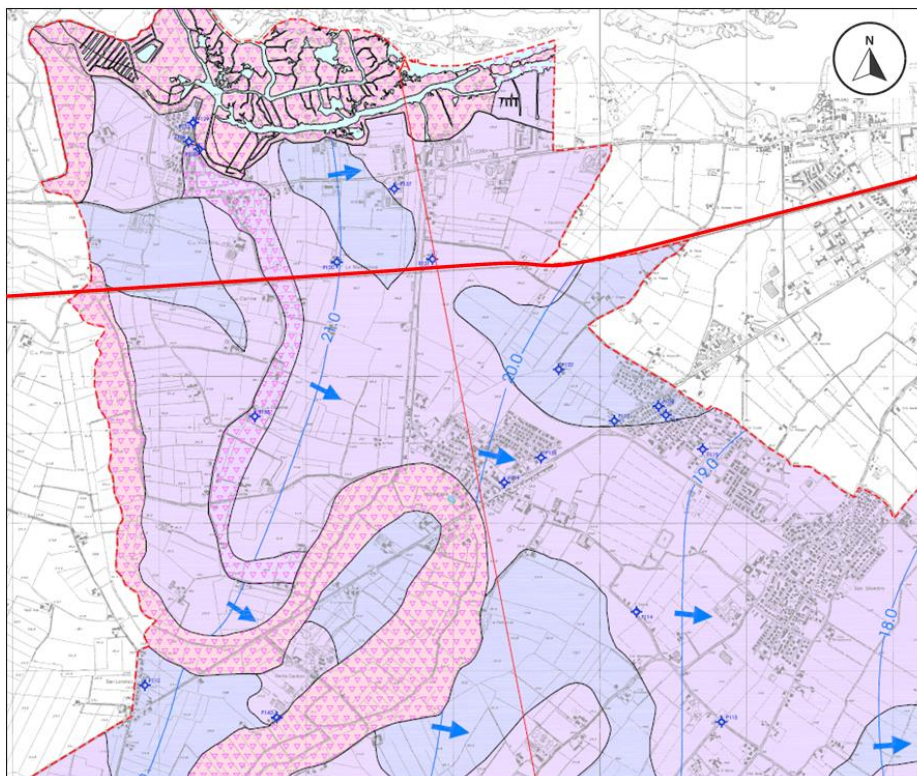


Figura 4-32 – Stralcio della Carta Idrogeologica-Nord redatta dal PGT del comune di Curtatone, anno 2010 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria.

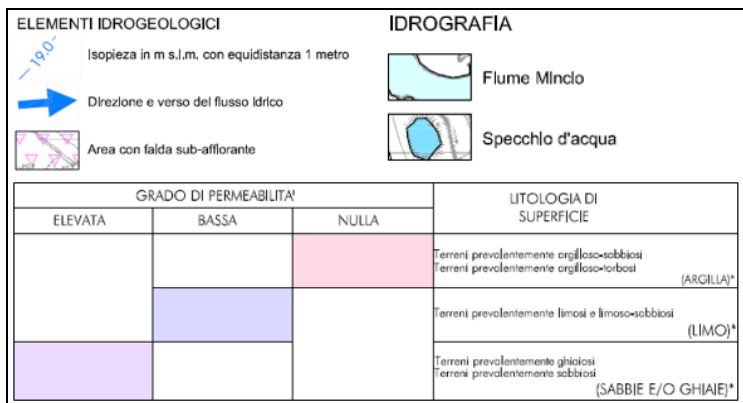


Figura 4-33 – Stralcio della legenda idrogeologica-Nord redatta dal PGT del comune di Curtatone.

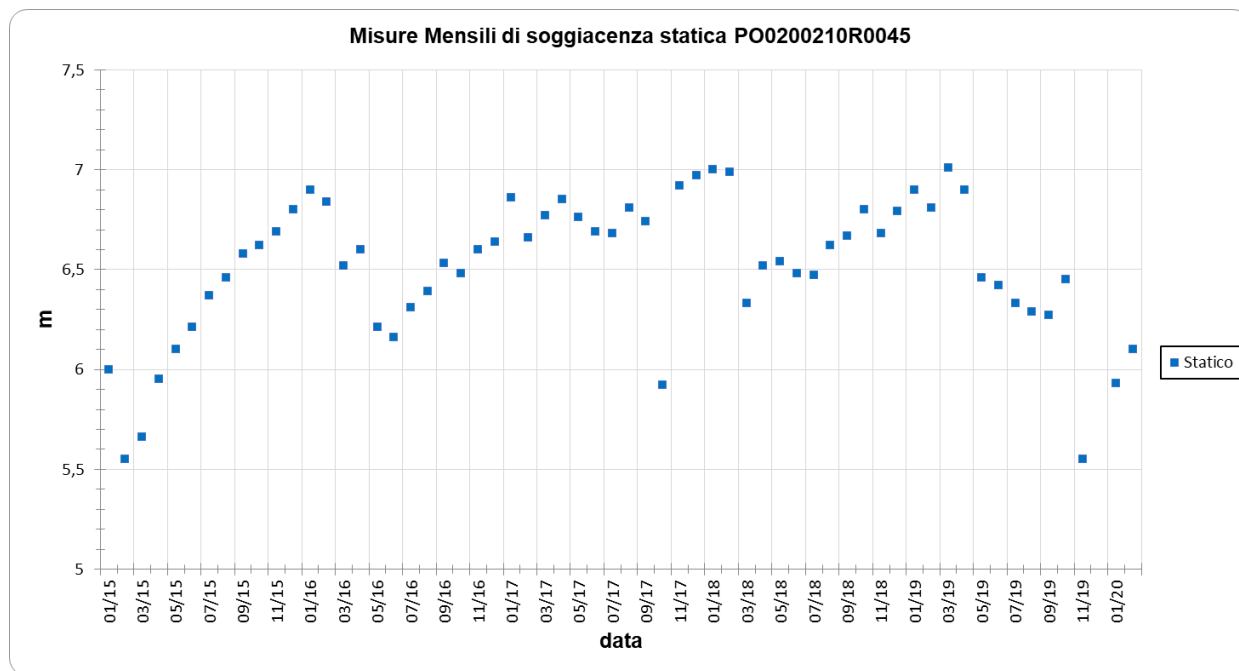


Figura 4-34 – Misure mensili di soggiacenza statica del pozzo PO0200210R0045 di Curtatone.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>90 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	90 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	90 di 222								

Comune di Mantova

L'assetto idrogeologico del territorio di Mantova è quello di un monostrato variamente compartimentato dalla presenza di orizzonti limosi e argillosi, poco permeabili o impermeabili, discontinui sia in senso verticale che areale. Al suo interno si distinguono alcuni corpi idrici di notevole sviluppo facilmente individuabili, la cui sede è costituita da livelli sabbiosi eterometrici (talora con piccole percentuali di ghiaia medio-fine) a permeabilità variabile, localmente interconnessi. L'acquifero più superficiale (A), intercettato dalle trivellazioni fino alla quota di -15/-20m. s.l.m., è di tipo semiconfinato.

Nel settore sud-orientale del territorio studiato si rilevano in prossimità della superficie topografica materiali di tipo limoso o argilloso ma altrove, quando tale copertura è presente, pare non avere uno sviluppo areale sufficiente a determinare il confinamento dell'acquifero medesimo. Nello stesso ambito urbano, al di sotto del materiale di riporto di varia natura utilizzato in epoca storica per la bonifica di vaste zone della città (fino a 9 metri in corrispondenza di Piazza Virgiliana), è presente un potente banco sabbioso riferibile all'acquifero A. I dati piezometrici resi disponibili dallo studio geologico del PRG comunale sono stati rilevati nel corso di una campagna di misure effettuata durante il mese di luglio 2003; secondo fonti bibliografiche, il periodo estivo corrisponde ad una fase nella quale la superficie freatica raggiunge le massime quote sul livello del mare. Ad esempio, Baraldi F. & Pellegrini M. (1978), utilizzando informazioni fornite dal Genio Civile di Mantova, definiscono l'andamento freaticometrico medio (riferito al periodo 1969-1978), ed individuano due fasi annuali di piena per l'acquifero superficiale del settore urbano del territorio comunale: dicembre-gennaio e giugno-luglio. In Figura 4-38 si riportano i dati di monitoraggio di soggiacenza relativi al piezometro PO020030NU004, posto circa 1.1 km a sud-est della stazione di Mantova. I dati riportati nel grafico, relativi al periodo da gennaio 2015 a gennaio 2020 evidenziano, seppur con una certa irregolarità, alcuni massimi nei mesi di luglio e di gennaio.

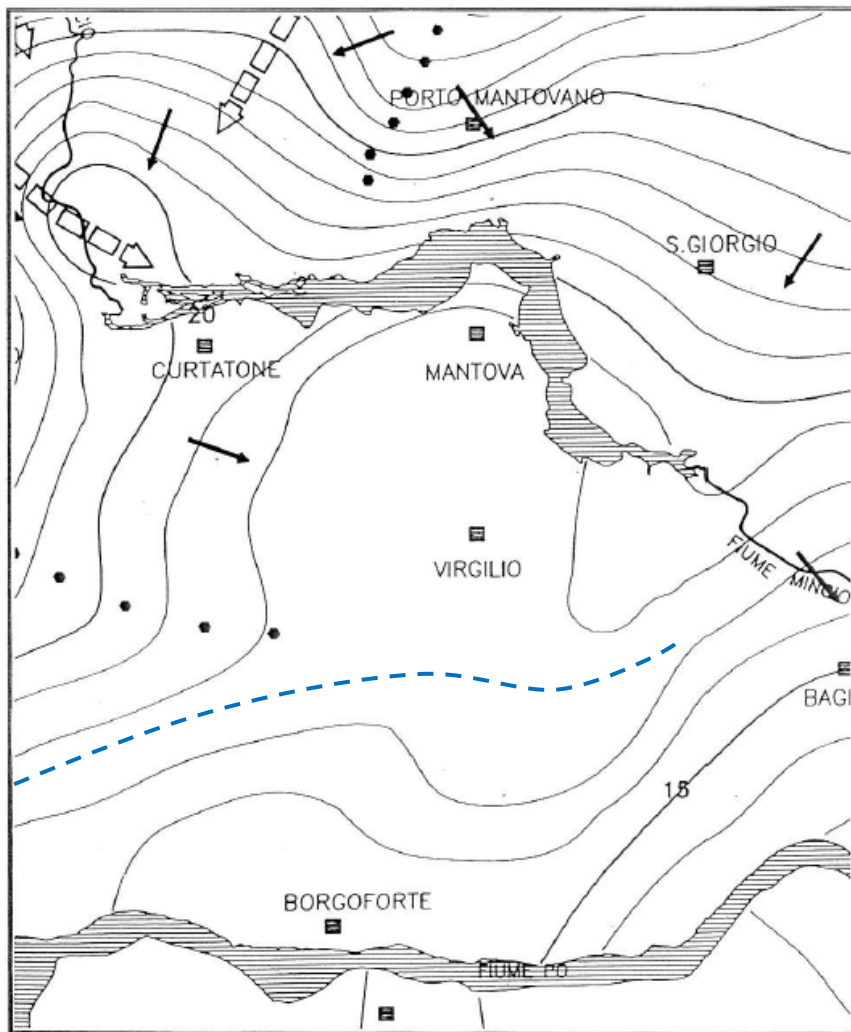


Figura 4-35 – Carta dei deflussi degli acquiferi superficiali (sett. 1990). Con la linea blu tratteggiata si riporta il presunto spartiacque idrogeologico tra il bacino del Mincio, a nord, e quello del Po, a sud.

Per quanto concerne dunque l'andamento della falda più superficiale, la conformazione delle isopieze permette di effettuare le seguenti considerazioni:

- il flusso sotterraneo di tutta l'area viene fortemente condizionato dalla presenza dell'asse drenante costituito dall'incisione valliva del fiume Mincio e dei suoi laghi;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>92 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	92 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	92 di 222								

- in sinistra idrografica (Soave, Porto Mantovano, S. Giorgio, Formigosa) le isofreatiche si dispongono con buona approssimazione parallele al corso fluviale, ed il deflusso è orientato verso sud e sud-ovest. Il gradiente idraulico raggiunge il valore di 0,5% in corrispondenza del Lago di Mezzo probabilmente per la presenza del gradino morfologico tra terrazzo e valle, qui particolarmente evidente, e/o per l'abbondanza nel primo sottosuolo di materiali a granulometria fine;
- la destra idrografica è caratterizzata da un deflusso più "dolce" verso nord-est e nord: il gradiente non supera il valore di 0,3% (anche in questo caso la pendenza della superficie piezometrica aumenta in prossimità di una scarpata morfologica, quella che delimita l'antico Lago Paiolo). Le isolinee descrivono in corrispondenza del centro urbano un deciso asse drenante orientato ad E-NE: è verosimile che qui al normale richiamo verso nord si sovrapponga il "travasamento" delle acque dal Lago Superiore a quello Inferiore lungo il Rio di Mantova;
- ad est dell'abitato di Cerese uno spartiacque piuttosto marcato con direzione OSO-ENE delimita il dominio del fiume Mincio, a nord, da quello del fiume Po con flusso sotterraneo diretto a SE.

Analizzando la cartografia idrogeologica prodotta dal PGT di Mantova si può osservare come la linea ferroviaria sia compresa tra le piezometriche +19m.s.l.m., ad ovest, e +16m.s.l.m. in prossimità della stazione.

Come riportato nella cartografia in Figura 4-36 la soggiacenza è superiore a 3 metri da p.c., e possibilmente, raggiunge circa 7 metri da p.c. nel settore ovest.

La direzione del flusso di falda risulta grossomodo parallela alla linea ferroviaria sino all'area della stazione, dove essa risente della presenza di un limite idrogeologico quale il Lago Superiore.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	93 di 222

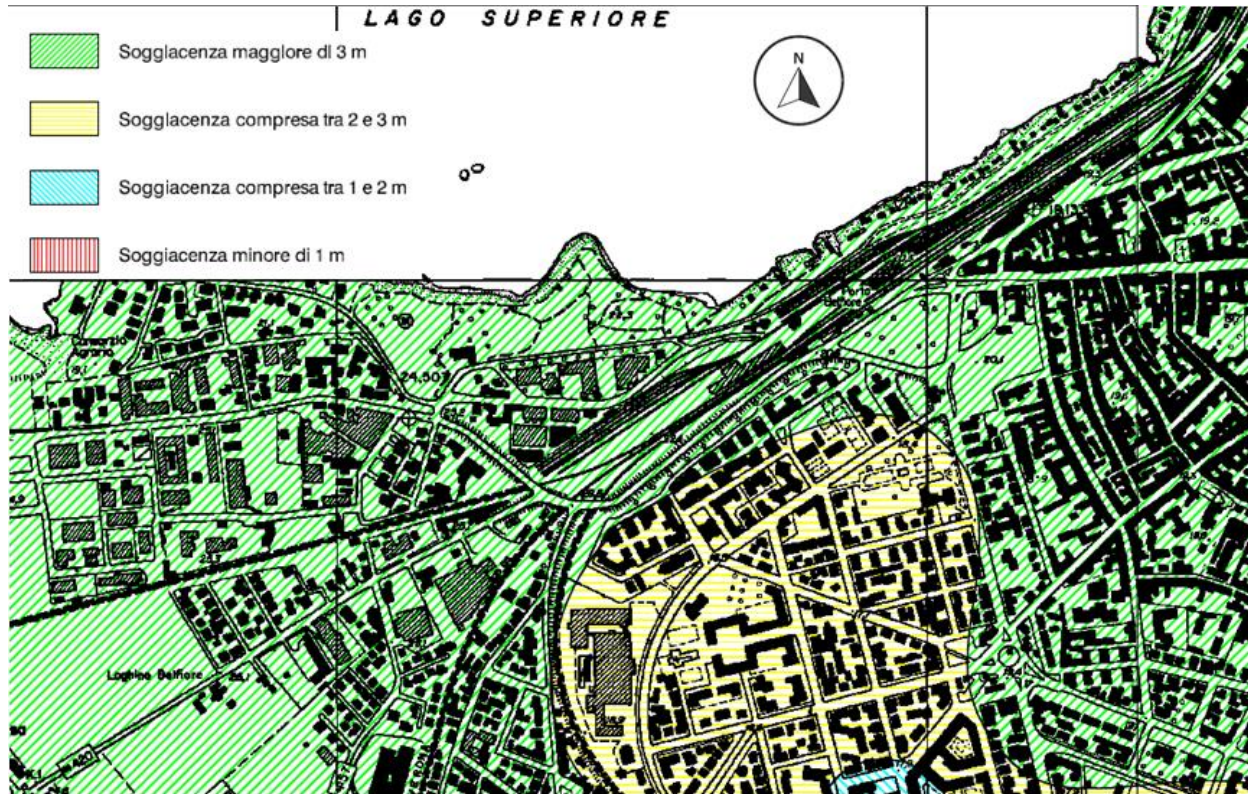


Figura 4-36 – Stralcio (non in scala) della carta della soggiacenza dal PGT del comune Mantova, anno 2012.

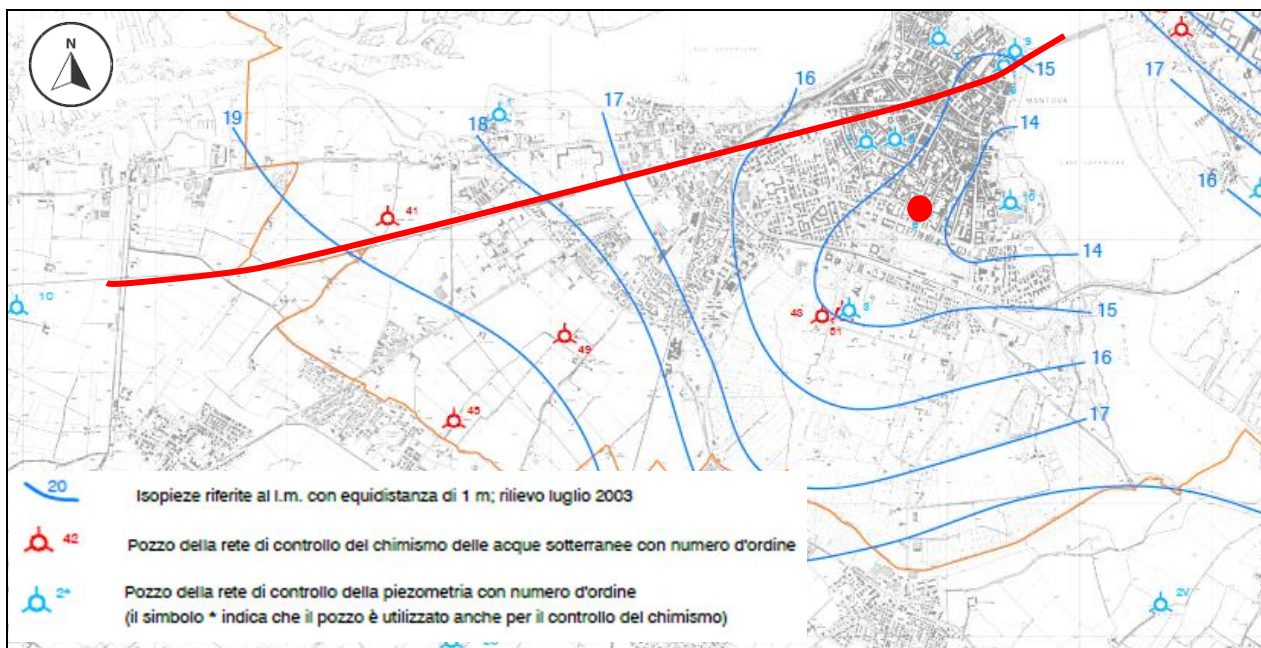
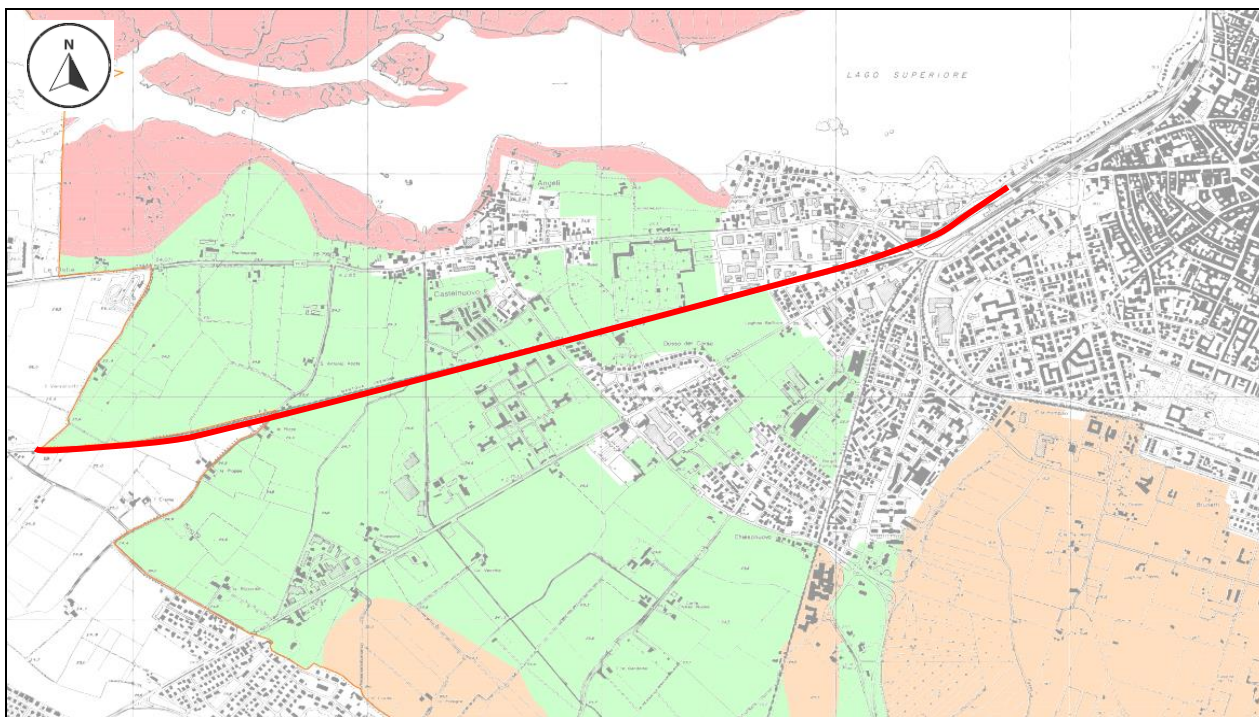


Figura 4-37 – Stralcio della Carta idrogeologica, e relativa legenda, redatta per il PGT del comune di Mantova, anno 2012 e scala 1: 10.000. In rosso la linea ferroviaria. Il cerchio rosso indica l'ubicazione del piezometro di controllo PO020030NU004 le cui misure sono riportate in Figura 4-37.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	95 di 222

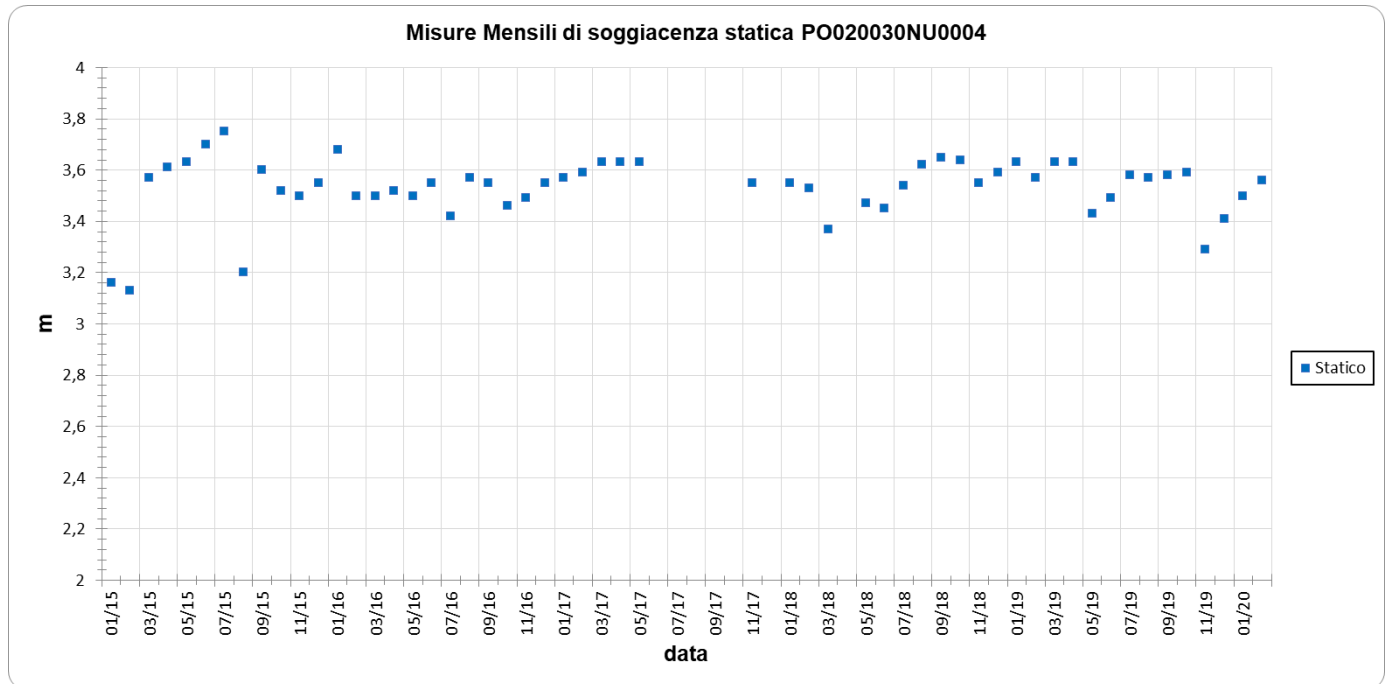


Figura 4-38 – Misure mensili di soggiacenza statica del piezometro PO020030NU004 di Mantova.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>96 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	96 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	96 di 222								

5 ANALISI DELLE CRITICITÀ GEOMORFOLOGICHE E IDRAULICHE

Nel seguente capitolo si analizzano le criticità sia di carattere geomorfologico che idraulico che coinvolgono la linea ferroviaria oggetto di studio. Per fare ciò è stata consultata la cartografia resa disponibile dal Piano per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po (PAI).

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 maggio 2001, ha la finalità di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.

Il PAI contiene:

- la delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell'asta del Po e dei suoi principali affluenti (Elaborato 8).
- La delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, delle aree in dissesto per frana, valanga, esondazione torrentizia e conoide (Elaborato 2 - Allegato 4) che caratterizzano la parte montana del territorio regionale.
- La perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura.
- Le norme alle quali le sopracitate aree a pericolosità di alluvioni sono assoggettate (Elaborato 7 - Norme di attuazione).

L'elaborato 2 - Allegati 4 e 4.1 sono aggiornati dai Comuni attraverso la componente geologica del PGT.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>97 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	97 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	97 di 222								

5.1 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Per quanto concerne la pericolosità geomorfologica i PGT comunali, dunque, non riportano la cartografia della pericolosità geomorfologica dedicata, poiché non esistono, in tutti i territori presi in esame, aree soggette a tali tipologie di criticità.

Sono inoltre state analizzate:

- la cartografia delle aree classificate a pericolosità da frana resa disponibile online dal Geoportale della Regione Lombardia;
- la cartografia nazionale delle aree in frana resa disponibile dall'inventario dei fenomeni franosi IFFI.

In nessuna delle sopracitate cartografie sono riportate aree classificate a pericolosità da dissesto o aree in dissesto in prossimità della linea oggetto di studio.

5.2 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

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

Il PGRA-Po contiene:

- la mappatura delle aree allagabili, classificate in base alla pericolosità e al rischio; una diagnosi delle situazioni a maggiore criticità (SEZIONE A);
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità (SEZIONE B);

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>98 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	98 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	98 di 222								

- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione (SEZIONE A) e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi (SEZIONE B).

Lo strumento per la valutazione e la gestione del rischio è rappresentato dalle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (art. 6 D. Lgs. 49/2010 e art. 6 Dir. 2007/60/CE). Le mappe della pericolosità riportano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali), dal mare e dai laghi, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti) distinti con tonalità di blu, la cui intensità diminuisce in rapporto alla diminuzione della frequenza di allagamento. Le mappe di pericolosità evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di:

- bassa probabilità (P1): alluvioni rare con T = 500 anni.
- media probabilità (P2): alluvioni poco frequenti con T = 100-200 anni.
- alta probabilità (P3): alluvioni frequenti con T = 20-50 anni.

Le mappe del rischio segnalano la presenza nelle aree allagabili di elementi potenzialmente esposti (popolazione, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) e il corrispondente livello di rischio, distinto in 4 classi rappresentate mediante colori: giallo (R1-Rischio moderato o nullo), arancione (R2- Rischio medio), rosso (R3-Rischio elevato), viola (R4-Rischio molto elevato).

Le mappe del rischio sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità esaminati e gli elementi esposti censiti raggruppati in classi di danno potenziale omogenee.

Cartografia generale dell'autorità' di bacino del fiume Po

Per definire la pericolosità e il rischio idraulico della tratta ferroviaria, si riportano, nel presente paragrafo, alcuni stralci della cartografia a grande scala prodotta dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del Progetto di Piano per la Valutazione e la Gestione del Rischio Alluvioni.

Si riportano dunque:

- uno stralcio dell'Atlante del Progetto di Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni, carta delle aree allagabili. Da tale carta si evince come le aree allagabili intersecanti la tratta ferroviaria in progetto siano limitate all'area di intersezione con il Fiume Oglio ed all'area in prossimità del Fiume Mincio;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>99 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	99 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	99 di 222								

- uno stralcio dell'Atlante del Progetto di Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni, carta degli elementi a rischio. Da tale stralcio si evince come gli elementi a rischio censiti nell'ambito della Direttiva Alluvioni nella fascia di territorio interessata dal progetto di raddoppio della tratta ferroviaria siano limitati alla sola zona di intersezione con il Fiume Oglio.

Essendo il territorio in esame percorso dal fiume Oglio, precisamente tra Bozzolo e Marcaria, è opportuno richiamare i punti salienti della Delimitazione delle Fasce Fluviali contenuta nel "*Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*"; tale delimitazione costituisce il più importante riferimento per la progettazione di opere ed interventi nelle fasce di territorio a ridosso dei corsi d'acqua.

L'Autorità di Bacino del Po ha proceduto alla definizione delle tre seguenti Fasce Fluviali (Allegato 3 delle Norme di attuazione):

Fascia di deflusso della piena (Fascia A)

«Costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena» ...

Operativamente... *«si assume la delimitazione più ampia tra le seguenti:*

- *fissato in 200 anni il tempo di ritorno (TR) della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata.*
- *limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con TR di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati).»*

Fascia di esondazione (Fascia B)

«Esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento della piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate al colmo. Il limite di tale fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini od altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata».

Operativamente, assunta come portata di riferimento la piena con TR di 200 anni, ... *«la delimitazione sulla base dei livelli va integrata con:*

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>100 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	100 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	100 di 222								

- le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;

- le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito.»

Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)

«Costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento». Operativamente, «si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR > 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR = 500 anni.»

Per tali fasce il Piano Stralcio prevede le seguenti linee di intervento di carattere generale:

- nella Fascia A (fascia di deflusso della piena):

«...garantire il deflusso della piena di riferimento, evitando che si provochino ostacoli allo stesso, si produca un aumento dei livelli idrici e si interferisca negativamente nel complesso sulle condizioni di moto;

- consentire, ovunque non controllata da opere idrauliche, la libera divagazione dell'alveo inciso, assecondando la naturale tendenza evolutiva del corso d'acqua;

- garantire la tutela/recupero delle componenti naturali dell'alveo, soprattutto per quelle parti funzionali a evitare nell'alveo il manifestarsi di fenomeni di dissesto (vegetazione spondale e ripariale per la stabilità delle sponde e il contenimento della velocità di corrente, componenti morfologiche connesse al mantenimento di ampie sezioni di deflusso)».

- nella Fascia B (fascia di esondazione):

«.. garantire il mantenimento delle aree di espansione naturale per la laminazione della piena;

- controllare ed eventualmente ridurre la vulnerabilità degli insediamenti e delle infrastrutture presenti;

- garantire il mantenimento/recupero dell'ambiente fluviale e la conservazione dei valori paesaggistici, storici, artistici e culturali...»

- nella Fascia C (area di inondazione per piena catastrofica):

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>101 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	101 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	101 di 222								

«...segnalare le condizioni di rischio idraulico ai fini della riduzione della vulnerabilità degli insediamenti in rapporto alle funzioni di protezioni civile, soprattutto per la fase di gestione dell'emergenza. ...»

Si riporta in Figura 5-1 ed in Figura 5-2 l'estensione complessiva delle aree allagabili nell'area compresa tra Cremona e Mantova.



Figura 5-1 – Stralcio della Carta delle Aree a Rischio Significativo (ARS) del Bacino del Po. In rosso la linea ferroviaria

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>102 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	102 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	102 di 222								



Figura 5-2 – Stralcio della Carta delle estensioni complessive delle aree allagabili. In rosso la linea ferroviaria.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>103 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	103 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	103 di 222								

In Figura 5-3 si riporta invece uno stralcio della cartografia degli elementi areali, lineari e puntuali a rischio idraulico.

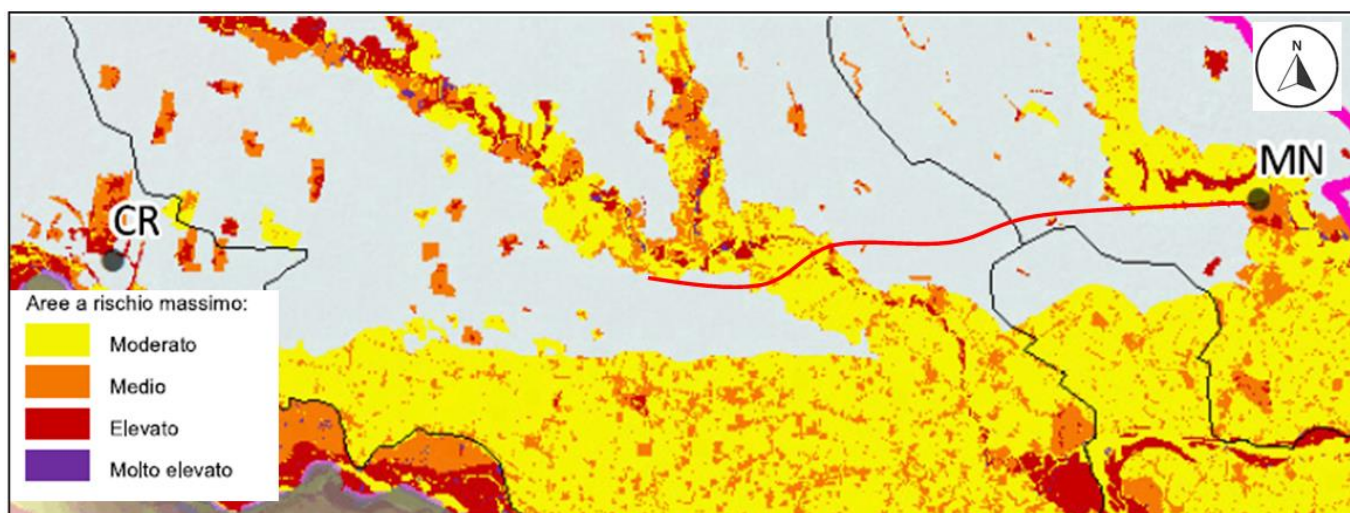





Figura 5-3 -Stralcio della Carta degli elementi areali, lineari e puntuali a rischio. In rosso la linea ferroviaria.

Analisi della cartografia della pericolosità e del rischio idraulico

Nel presente paragrafo si analizza in dettaglio la cartografia delle aree di pericolosità e delle aree di rischio in attuazione a quanto disposto dal D.Lgs. 49/2010 e dai successivi indirizzi del Ministero dell’Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, specificati a livello di Distretto nel Progetto di Piano di gestione del Rischio Alluvioni.

Gli scenari di pericolosità sono suddivisi in:

Pericolosità RP scenario frequente - H		Pericolosità elevata (P3)
Pericolosità RP scenario poco frequente - M		Pericolosità media (P2)
Pericolosità RP scenario raro - L		Pericolosità bassa (P1)

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>104 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	104 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	104 di 222								

Analizzando la cartografia della pericolosità idraulica (Figura 5-4), la linea ferroviaria presso il comune di Piadena e quello di Tornata non risulta intersecare aree classificate a pericolosità idraulica. Presso l'abitato di Piadena è presente una fascia a pericolosità bassa (P1), relativa al fiume Oglio, ma che ricade a circa 250 metri dal tracciato.

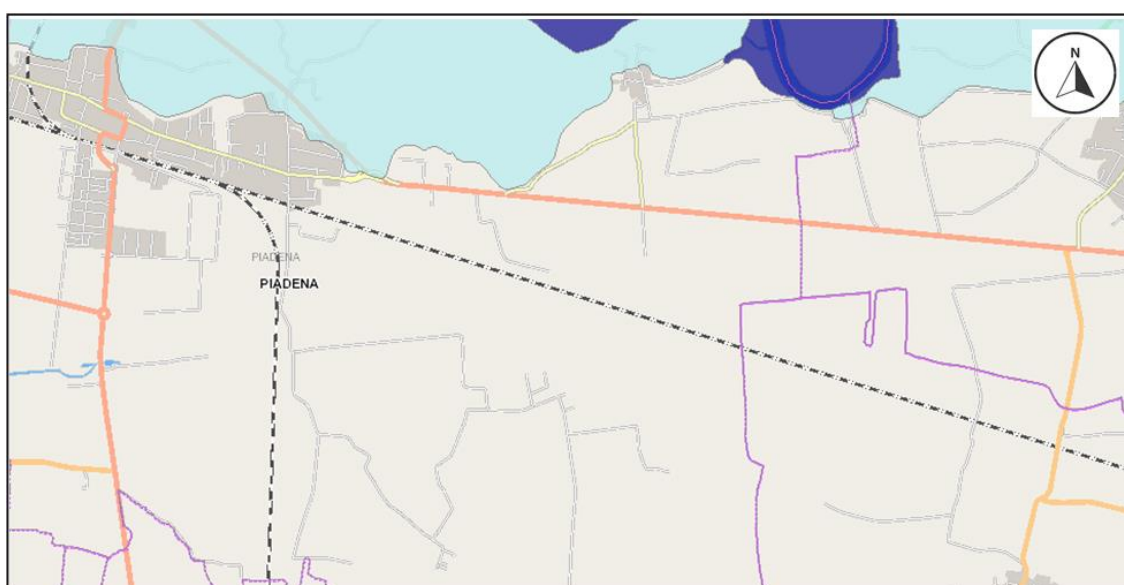


Figura 5-4 – Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Piadena e Tornata.

In Figura 5-5 si riporta uno stralcio della cartografia della pericolosità idraulica per i comuni di Tornata e Bozzolo. Presso Bozzolo, immediatamente a nord-est dell'abitato, la linea attraversa un'area a pericolosità idraulica bassa (P1) per circa 3 km (fascia del fiume Oglio), per poi attraversare l'alveo del fiume Oglio, classificato a pericolosità idraulica elevata (P3) per circa 200 metri.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>105 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	105 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	105 di 222								

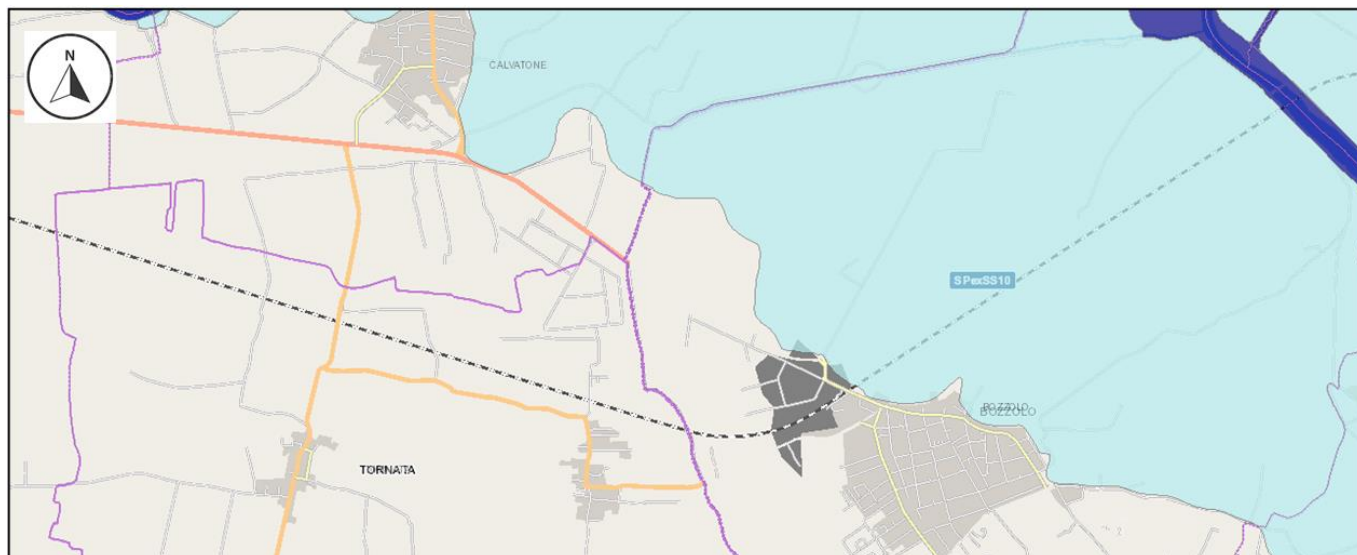


Figura 5-5 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Tornata e Bozzolo.

Proseguendo nel comune di Marcaria la linea attraversa un'altra fascia a pericolosità bassa (P1) legata al fiume Oglio, per poi proseguire in area non caratterizzata da pericolosità. Si segnala l'attraversamento di un breve tratto a pericolosità elevata (P3) per la presenza del Canale Tartaro-Fabrezza.



Figura 5-6 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Bozzolo e Marcaria.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>106 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	106 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	106 di 222								

In Figura 5-7 si riporta la cartografia di pericolosità per i comuni di Castellucchio e Curtatone. In nessuno dei due comuni la linea ferroviaria interseca aree a pericolosità idraulica.

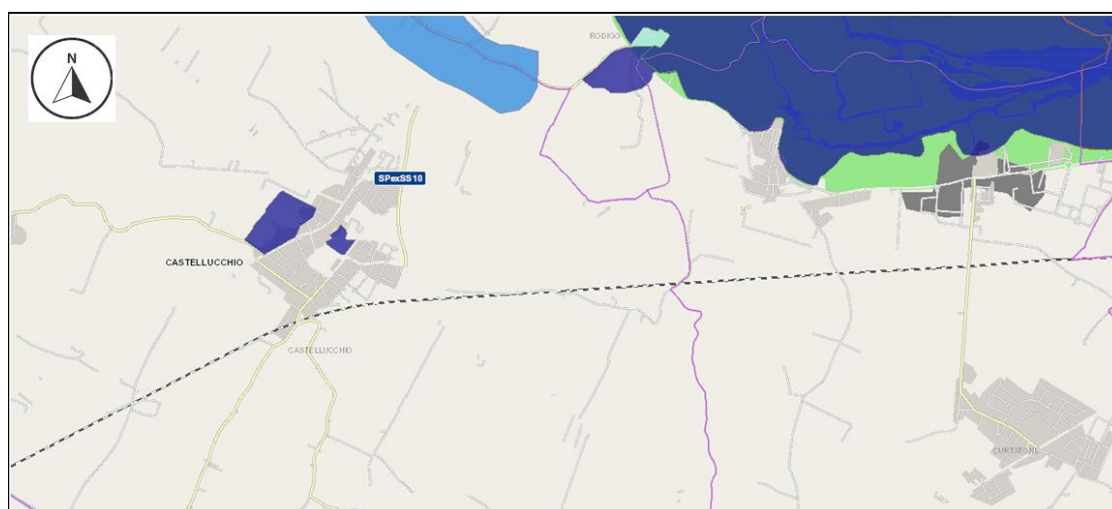


Figura 5-7 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Castellucchio.

Presso Curtatone è presente una fascia classificata a pericolosità elevata (P3), distante circa 900 metri dalla linea e relativa all'area alluvionale del Mincio.

La linea ferroviaria prosegue parallelamente al corso del fiume Mincio, entrando in Mantova (Figura 5-8); anche in questo caso essa si mantiene ad una distanza di oltre 900 metri dalla fascia classificata a pericolosità elevata sino a poco prima della stazione di Mantova, dove interseca un'area a pericolosità bassa (P1).





	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>107 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	107 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	107 di 222								



Figura 5-8 - Stralcio (non in scala) della cartografia della pericolosità idraulica redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Mantova.

Si analizzano di seguito gli stralci della cartografia del rischio idraulico, derivanti dalla precedente cartografia della pericolosità, relativi alla tratta oggetto di studio.

Gli scenari di rischio sono suddivisi in:

-  R1 Rischio basso (R1)
-  R2 Rischio medio (R2)
-  R3 Rischio elevato (R3)
-  R4 Rischio molto elevato (R4)







Gli elementi a rischio sono inoltre classificati come:

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	108 di 222

Categorie di elementi esposti - poligonali

	Zone urbanizzate
	Attività produttive
	Strutture strategiche e sedi di attività collettive
	Infrastrutture strategiche
	Insedimenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale e aree protette pc
	Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse

Analizzando la cartografia in Figura 5-9, la linea ferroviaria presso il comune di Piadena e quello di Tornata non risulta intersecare aree classificate a rischio idraulico. Presso l'abitato di Piadena è presente una fascia a rischio da basso (R1) a medio (R2), relativa al fiume Oglio, ma che ricade a circa 250 metri dal tracciato ferroviario.

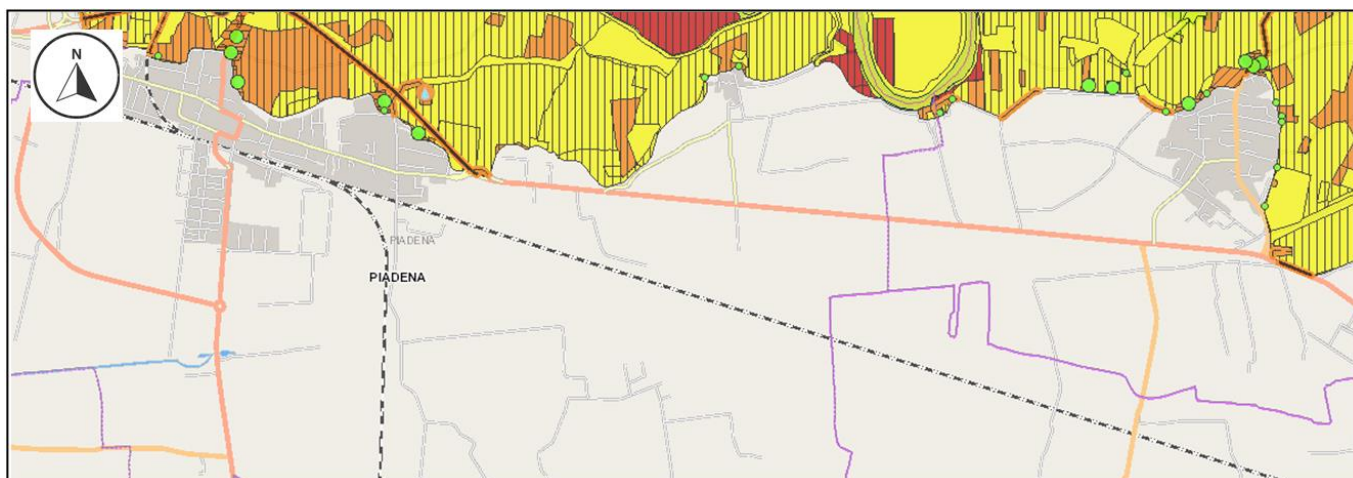


Figura 5-9 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Piadena.

Proseguendo lungo la linea, l'area fino a Bozzolo (Figura 5-10) non risulta intercettare alcuna area a rischio. Successivamente, tutta l'area da Bozzolo, fino al fiume Oglio, ricade in classe di rischio bassa (R1), mentre la linea ferroviaria, in quanto elemento lineare, ricade in classe di rischio media (R2). Analizzando la tratta ferroviaria in corrispondenza del Fiume Oglio in Figura 5-11 è possibile notare come la linea ricada in classe di rischio molto elevato (R4), mentre l'area adiacente al fiume in sponda

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>109 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	109 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	109 di 222								

idrografica sinistra ricade in classe dapprima elevata (R4), e successivamente da media (R2) a bassa (R1).

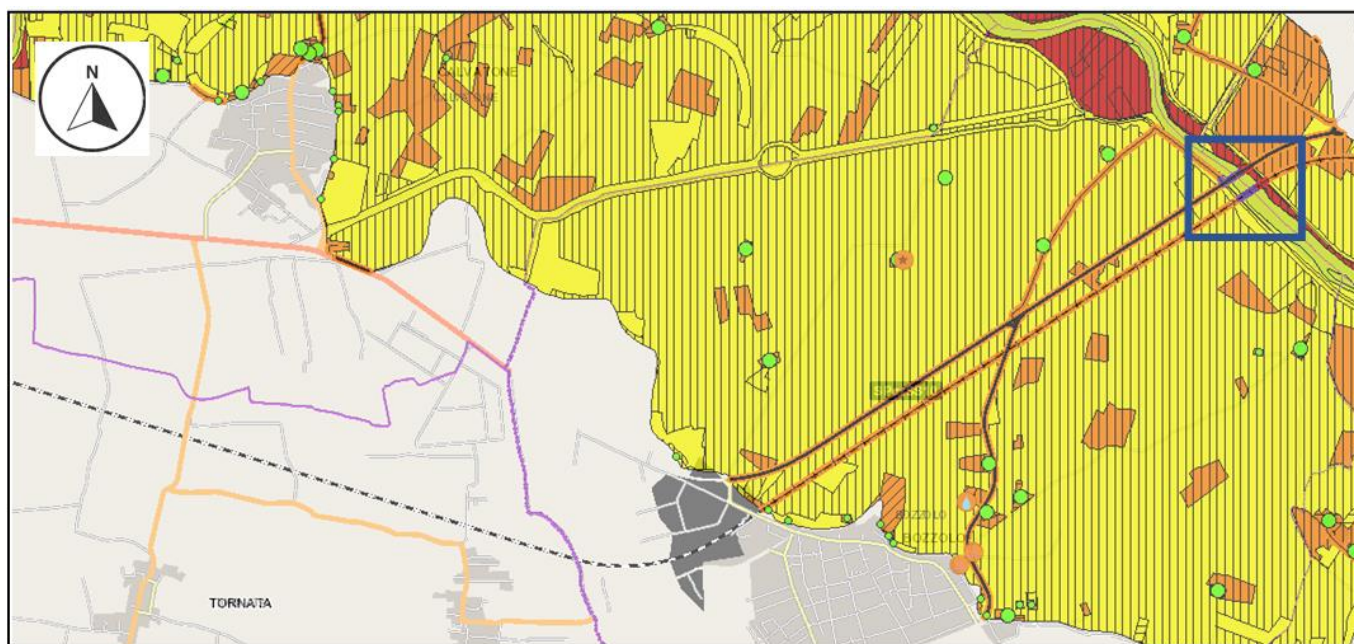


Figura 5-10 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell’ambito del PGRA dall’Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Tornata e Bozzolo. Il riquadro blu viene ingrandito in Figura 5-11.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	110 di 222



Figura 5-11 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area presso l'attraversamento del fiume Oglio.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>111 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	111 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	111 di 222								

Proseguendo nel comune di Marcaria la linea attraversa una fascia non caratterizzata da pericolosità. Si segnala l'attraversamento di un breve tratto a rischio elevato (R3) per la presenza del Canale Tartaro-Fabrezza (Figura 5-12).

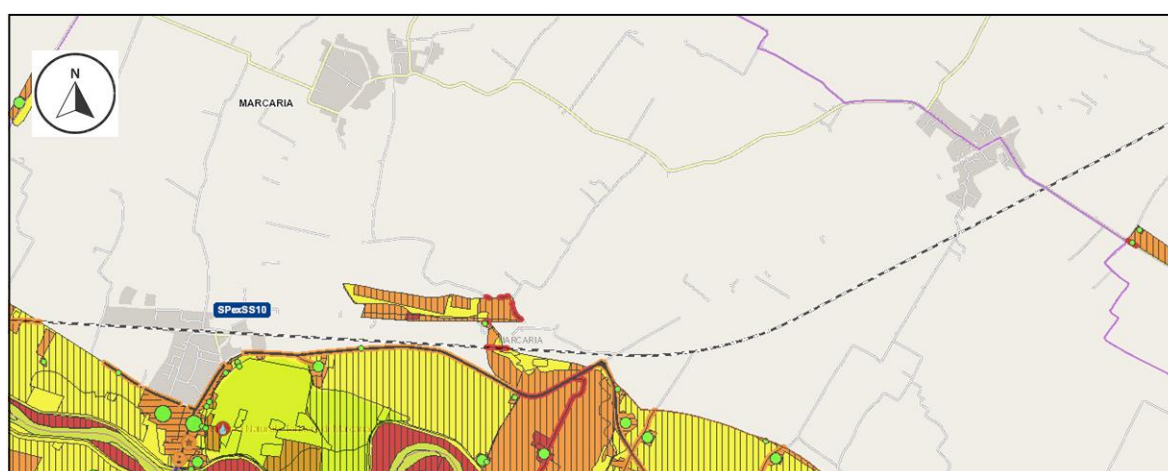


Figura 5-12 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Marcaria.

In Figura 5-13 si riporta la cartografia del rischio per i comuni di Castellucchio e Curtanone. In nessuno dei due comuni è presente rischio idraulico.

Presso Curtatone è presente una fascia classificata a rischio da basso ad elevato (P3), distante circa 900 metri dalla linea ferroviaria e relativa all'area alluvionale del Mincio.

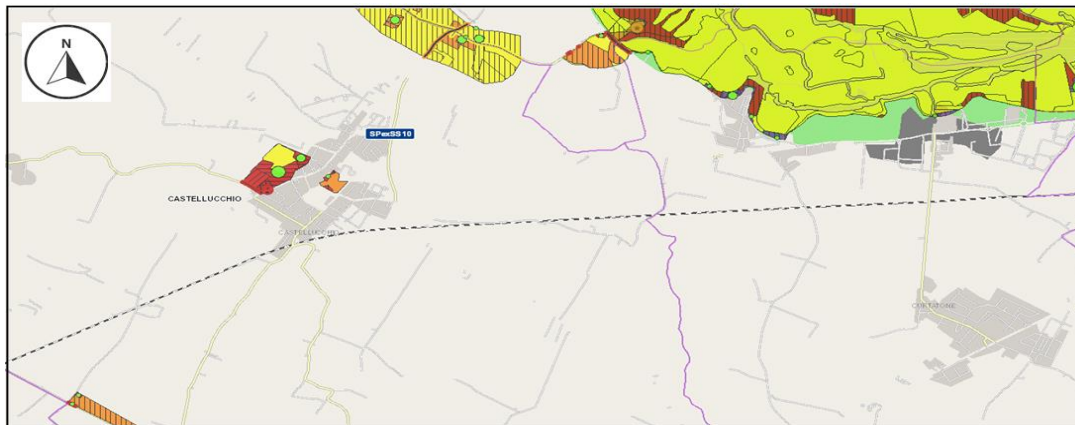


Figura 5-13 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell’ambito del PGRA dall’Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Castellucchio e Curtatone.

La linea ferroviaria prosegue parallelamente al corso del fiume Mincio, entrando in Mantova (Figura 5-14). Anche in questo caso essa si mantiene ad una distanza di oltre 900 metri dalla fascia classificata a rischio variabile da basso (R1) a molto elevato (R4) sino a poco prima della stazione di Mantova, ove interseca un’area a rischio medio (R2). Si può analizzare in dettaglio l’area della stazione in Figura 5-15.

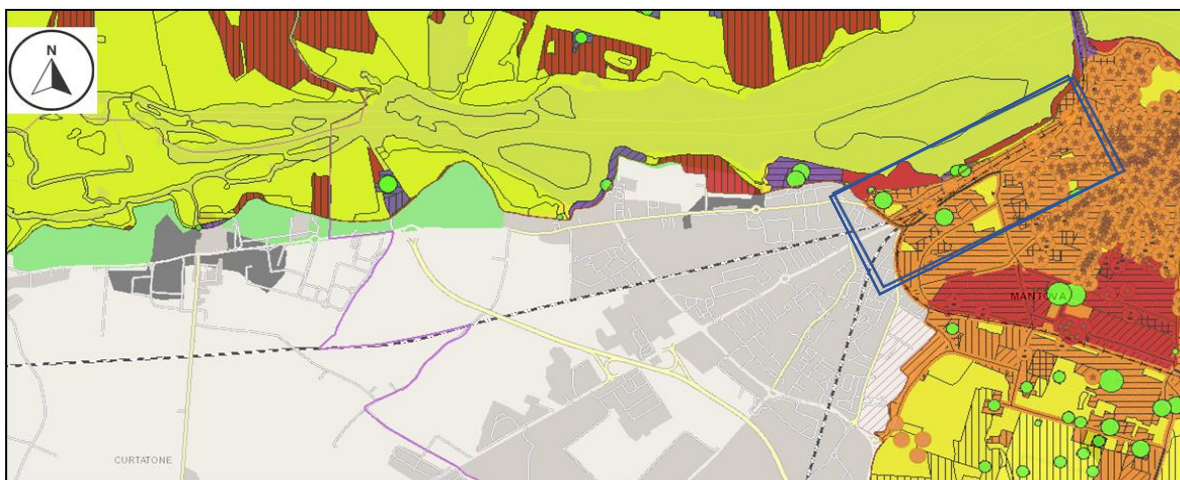


Figura 5-14 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell’ambito del PGRA dall’Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Area di Mantova. L’area nel riquadro blu viene ingrandita in Figura 5-15.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>113 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	113 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	113 di 222								

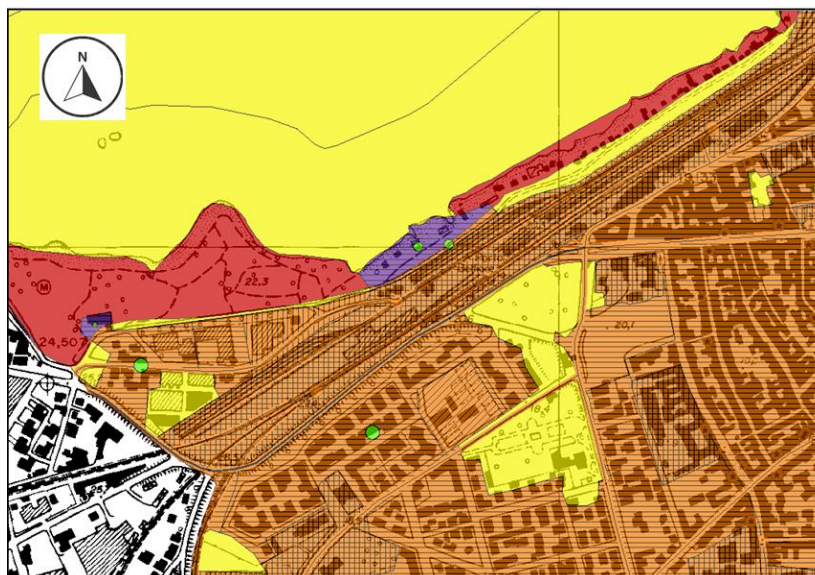


Figura 5-15 – Stralcio (non in scala) della cartografia del rischio idraulico redatta nell'ambito del PGRA dall'Autorità di Bacino del fiume Po (2015). Dettaglio dell'area della stazione di Mantova.

Per quanto concerne la delimitazione delle fasce fluviali effettuata dal PAI vigente si analizza la relativa cartografia pubblicata sul Geoportale della Regione Lombardia.

In Figura 5-16 si riporta uno stralcio della cartografia delle fasce fluviali dell'area del fiume Oglio; come è possibile osservare la tratta ferroviaria oggetto di studio attraversa la fascia C presso Bozzolo, e le fasce A e B (coincidenti) presso l'alveo del fiume e nuovamente la fascia C presso Marcaria. In Figura 5-17 si riporta uno stralcio della cartografia delle fasce fluviali dell'area del fiume Mincio.

Come è possibile osservare la tratta ferroviaria attraversa la fascia C sino alla stazione di Mantova, mentre non attraversa le fasce A e B.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>114 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	114 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	114 di 222								

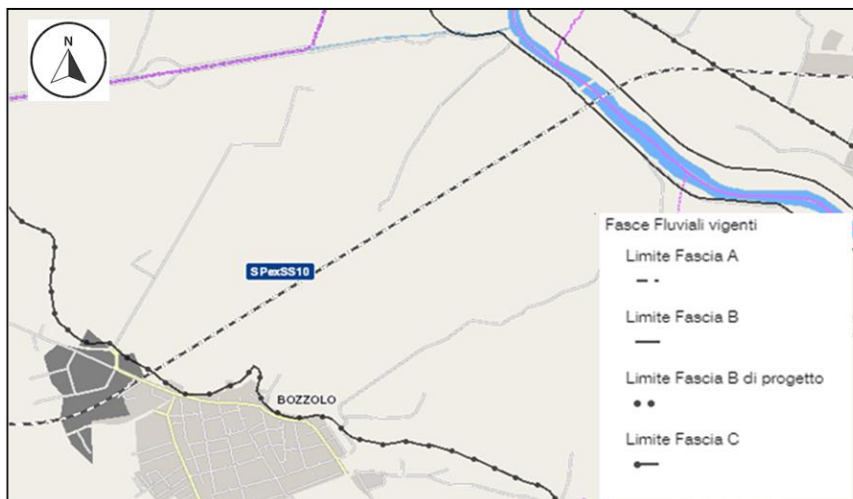


Figura 5-16 – Delimitazione delle fasce fluviali del PAI vigente (Geoportale Regione Lombardia) presso il fiume Oglio.



Figura 5-17 – Delimitazione delle fasce fluviali del PAI vigente (Geoportale Regione Lombardia) presso il fiume Mincio.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>115 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	115 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	115 di 222								

6 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

La vulnerabilità degli acquiferi è definita dalla possibilità di infiltrazione e propagazione degli agenti inquinanti provenienti dalla superficie o da altre falde più superficiali già compromesse. Questo concetto implica uno stato di potenziale minaccia della qualità originaria delle acque sotterranee, determinato unicamente dalle condizioni ambientali, sia naturali che antropiche, esistenti e indipendenti dalle sorgenti inquinanti. Considerando la possibilità di accesso verso le falde profonde di potenziali agenti inquinanti, appare evidente come i sedimenti permeabili offrano scarse difese mentre per gli acquiferi più profondi si riscontrano buone condizioni di isolamento e protezione. Hanno infatti un peso preponderante i seguenti fattori geologici e idrogeologici:

- la idro-litologia (ovvero il tipo e il grado di permeabilità verticale e orizzontale, che determina la velocità di percolazione dell'inquinante e l'azione di attenuazione insita nei diversi terreni);
- il tipo e lo spessore di un'eventuale copertura fine a bassa permeabilità, elemento di protezione per l'acquifero sottostante;
- la soggiacenza della superficie piezometrica media dell'acquifero, la quale definisce lo spessore della zona insatura (direttamente proporzionale all'azione di autodepurazione);
- le condizioni di interscambio da parte di corsi d'acqua naturali e di canali artificiali, veicoli di inquinanti.

I comuni interessati integrano lo studio di vulnerabilità del primo acquifero o nella relazione geologica del PGT, producendo un elaborato cartografico dedicato, o integrando le classi di vulnerabilità dell'acquifero nella carta idrogeologica.

Gli studi effettuati dai comuni di Bozzolo, Marcaria, Curtatone e Mantova per la valutazione della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi, utilizzano un metodo qualitativo, che prevede la zonizzazione per aree omogenee, attraverso la tecnica della sovrapposizione cartografica. In particolare, il metodo elaborato dal GNDCI-CNR valuta la vulnerabilità intrinseca, per intervalli preordinati e situazioni tipo, mediante la classificazione di alcune caratteristiche litostrutturali delle formazioni acquifere e delle condizioni di circolazione idrica sotterranea. Alla luce della situazione idrostratigrafica delle aree in esame la definizione delle classi di vulnerabilità è stata effettuata facendo riferimento ai seguenti tre parametri:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

- litologia di superficie: per la definizione di questo parametro lo studio fa riferimento alla carta della litologia di superficie.
- Profondità del tetto dell'acquifero: ovvero lo spessore metrico dei terreni di copertura a tessitura fine, quando presenti.
- Caratteristiche della falda: che tiene conto della discriminazione spaziale tra le aree con falda affiorante e quelle con falda non affiorante.

Lo schema attributivo di sovrapposizione dei tre parametri sopraelencati è riportato nella seguente Figura 6-1:

GRADO DI VULNERABILITA'					LITOLOGIA DI SUPERFICIE *	PROFONDITA' TETTO ACQUIFERO	CARATTERISTICHE FALDA
E _e	E	A	M	B			
				B	Argilla	> 10 m	Non affiorante
			M		Argilla limo	> 5 m < 10 m > 10 m	Non affiorante
		A			Argilla limo Sabbia e ghiaia	< 5 m < 10 m > 5 m	Non affiorante
	E				Sabbia e/o Ghiaia	< 5 m	Non affiorante
E _e					Sabbia e/o Ghiaia	0 m	Affiorante

E_e=Estremamente elevato E=Elevato A=Alto M=Medio B=Basso
 * Vedi accorpamenti indicati nella legenda della Carta idrogeologica di Tav.G.6.1 e Tav.G.6.2

Figura 6-1 - Schema attributivo delle classi di vulnerabilità secondo il metodo GNDICI-CNR.

Lo studio effettuato, invece, dai comuni di Piadena e Tornata valuta la vulnerabilità intrinseca dell'acquifero attraverso il metodo GOD (messo a punto dal *British Geological Survey - Foster, 1987*), il quale utilizza come dati d'ingresso le seguenti proprietà (indicizzate): il tipo di acquifero, la litologia dell'insaturo e la profondità della superficie piezometrica. In questo modo si delineano due classi di vulnerabilità:

- 1) vulnerabilità da bassa/moderata ad alta: l'acquifero si presenta generalmente confinato e in condizioni di vulnerabilità bassa/moderata, con locali incrementi degli indici di vulnerabilità nel caso di eteropie verso termini granulari (più frequenti nella fascia perifluviale dell'Oglio). Il grado

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>117 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	117 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	117 di 222								

di esposizione delle falde a potenziali agenti inquinanti idroveicolabili, tuttavia, viene generalmente incrementato dalle consistenti escursioni piezometriche e dai complessi rapporti tra le acque superficiali e quelle sotterranee.

- 2) Vulnerabilità da bassa a moderata (Livello Fondamentale della Pianura): l'acquifero è confinato o semiconfinato per la presenza di depositi limosi superficiali, in condizioni di vulnerabilità da bassa a moderata.

L'analisi della vulnerabilità del primo acquifero per ciascuno dei comuni attraversati è di seguito riportata:

- Piadena (Figura 6-2): la vulnerabilità risulta da bassa a moderata in funzione dello spessore delle coperture di materiale fine e dell'affioramento della falda.
- Tornata (Figura 6-5): la vulnerabilità del primo acquifero risulta da moderata ad alta, con una fascia da bassa a moderata.
- Bozzolo (Figura 6-4): la vulnerabilità del primo acquifero risulta da alta (con terreni di copertura limoso-argilloso-sabbiosi) ad elevata (con terreni di copertura sabbioso-ghiaiosi), ed estremamente elevata in corrispondenza del fiume Oglio, dove la falda è considerata affiorante).
- Marcaria (Figura 6-5): la vulnerabilità del primo acquifero risulta da media (con terreni di copertura argilloso-limosi) ad alta (con terreni di copertura limoso-argilloso-sabbiosi), ed estremamente elevata in corrispondenza del fiume Oglio, dove la falda è considerata affiorante.
- Castellucchio; non è disponibile uno studio e relativa cartografia tematica.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

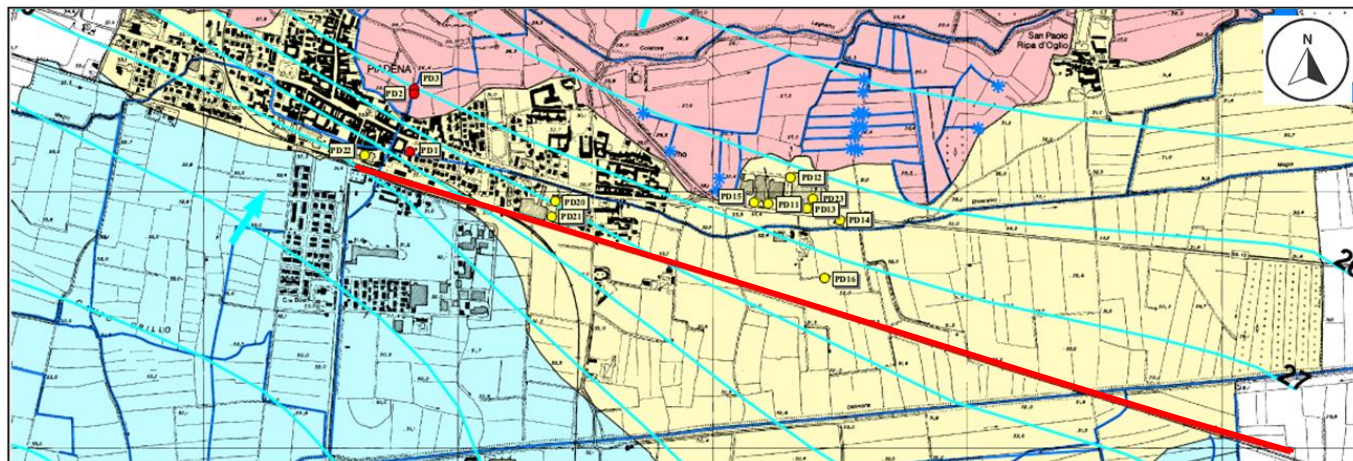
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	118 di 222

GRADO DI VULNERABILITA'					LITOLOGIA DI SUPERFICIE *	PROFONDITA' TETTO ACQUIFERO	CARATTERISTICHE FAIDA
E _e	E	A	M	B			
				B	Argilla	> 10 m	Non affiorante
			M		Argilla limo	> 5 m < 10 m > 10 m	Non affiorante
		A			Argilla limo Sabbia e ghiaia	< 5 m < 10 m > 5 m	Non affiorante
	E				Sabbia e/o Ghiaia	< 5 m	Non affiorante
E _e					Sabbia e/o Ghiaia	0 m	Affiorante

E_e=Estremamente elevato E=Elevato A=Alto M=Medio B=Basso

* Vedi accorpamenti indicati nella legenda della Carta idrogeologica di Tav.G.6.1 e Tav.G.6.2

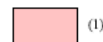
- Curtatone (
- Figura 6-6): la vulnerabilità del primo acquifero risulta da alta (con terreni di copertura limoso-argilloso-sabbiosi) ad elevata (con terreni di copertura sabbioso-ghiaiosi).
- Mantova (Figura 6-7): la vulnerabilità del primo acquifero risulta media.



VULNERABILITA' INTRINSECA DELL'ACQUIFERO

VULNERABILITA' VARIABILE DA BASSA/MODERATA AD ALTA

Acquifero da semilibero a confinato in condizioni di vulnerabilità bassa/moderata, con locali incrementi della vulnerabilità nel caso di eteropie verso termini granulari (più frequenti in prossimità del fiume Oglio).
Le consistenti escursioni piezometriche e i complessi rapporti tra le acque sotterranee e superficiali aumentano il grado di esposizione delle falde a potenziali agenti inquinanti idroveticolabili.



(1)

VULNERABILITA' DA BASSA A MODERATA

Acquifero da confinato a semiconfinato da coperture limose in condizioni di vulnerabilità da bassa a moderata (2); la riduzione di spessore delle coperture fini in corrispondenza dei ripiani incisi e l'affioramento della falda a campagna eleva localmente gli indici di vulnerabilità (3).

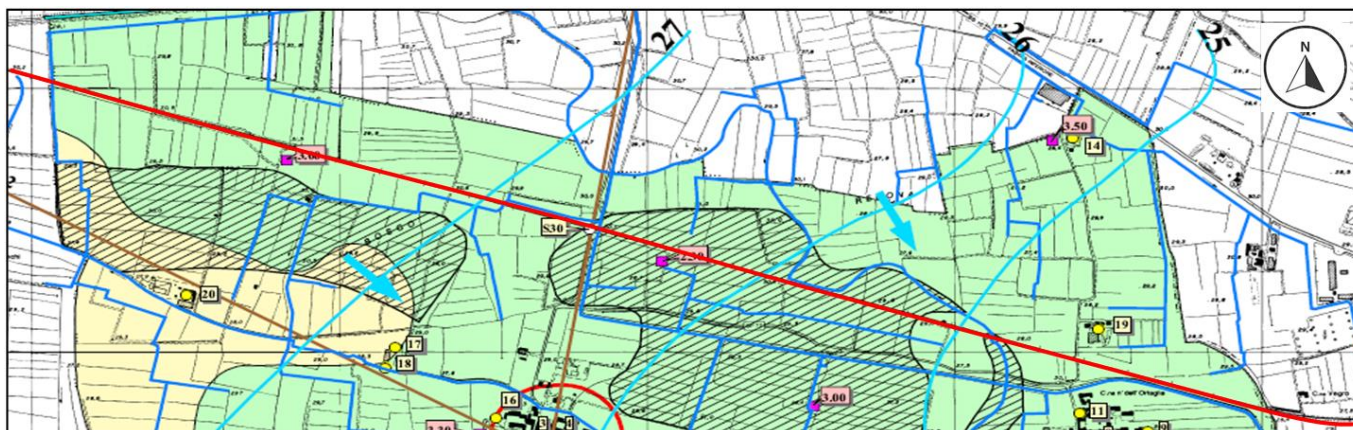


(2)



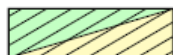
(3)

Figura 6-2 – Stralcio della carta idrogeologica (Tavola 4) del PGT di Piadena. In rosso la linea ferroviaria.



VULNERABILITA' INTRINSECA DELL'ACQUIFERO

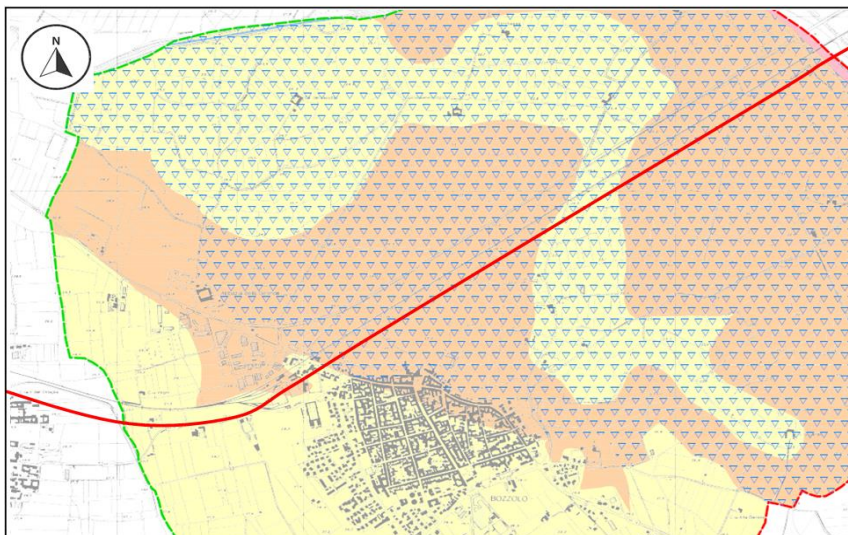
VULNERABILITA' DA BASSA A MODERATA per la diffusa presenza di coperture fini; sono possibili locali incrementi degli indici di vulnerabilità nel caso di eteropie verso termini granulari



VULNERABILITA' DA MODERATA AD ALTA (la presenza di coperture fini mitiga localmente gli indici di vulnerabilità).



Figura 6-3 – Stralcio della Carta idrogeologica (Tavola 4) del PGT di Tornata. In rosso la linea ferroviaria.



GRADO DI VULNERABILITA'					LITOLOGIA DI SUPERFICIE *	PROFONDITA' TETTO ACQUIFERO	CARATTERISTICHE FAIDA
E _e	E	A	M	B			
				B	Argilla	> 10 m	Non affiorante
			M		Argilla Limo	> 5 m < 10 m > 10 m	Non affiorante
		A			Argilla Limo Sabbia e ghiaia	< 5 m < 10 m > 5 m	Non affiorante
	E				Sabbia e/o Ghiaia	< 5 m	Non affiorante
E _e					Sabbia e/o Ghiaia	0 m	Affiorante

E_e=Estremamente elevato E=Elevato A=Alto M=Medio B=Basso
* Vedi accorpamenti indicati nella legenda della Carta idrogeologica di Tav.G.6.1 e Tav.G.6.2

Figura 6-4 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Bozzolo. In rosso la linea ferroviaria.

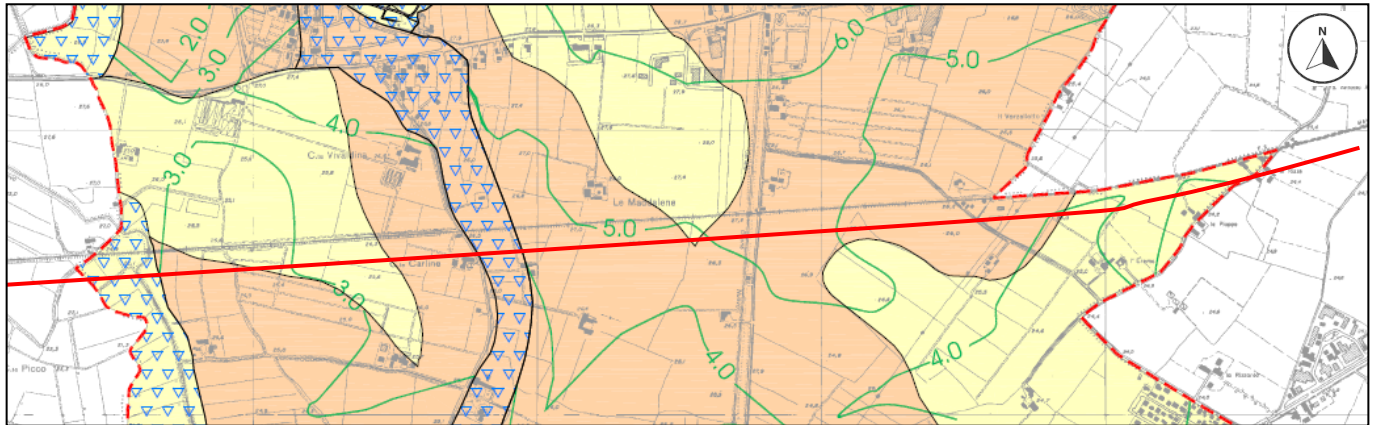


Figura 6-5 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Marcaria. In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	121 di 222



GRADO DI VULNERABILITA'					LITOLOGIA DI SUPERFICIE *	PROFONDITA' TETTO ACQUIFERO	CARATTERISTICHE FAIDA			
E _e	E	A	M	B						
				B	Argilla	> 10 m	Non affiorante			
			M		Argilla limo	> 5 m < 10 m > 10 m	Non affiorante			
		A			Argilla limo Sabbia e ghiaia	< 5 m < 10 m > 5 m	Non affiorante			
	E					Sabbia e/o Ghiaia	< 5 m	Non affiorante		
E _e								Sabbia e/o Ghiaia	0 m	Affiorante

E_e=Estremamente elevato E=Elevato A=Alto M=Medio B=Basso

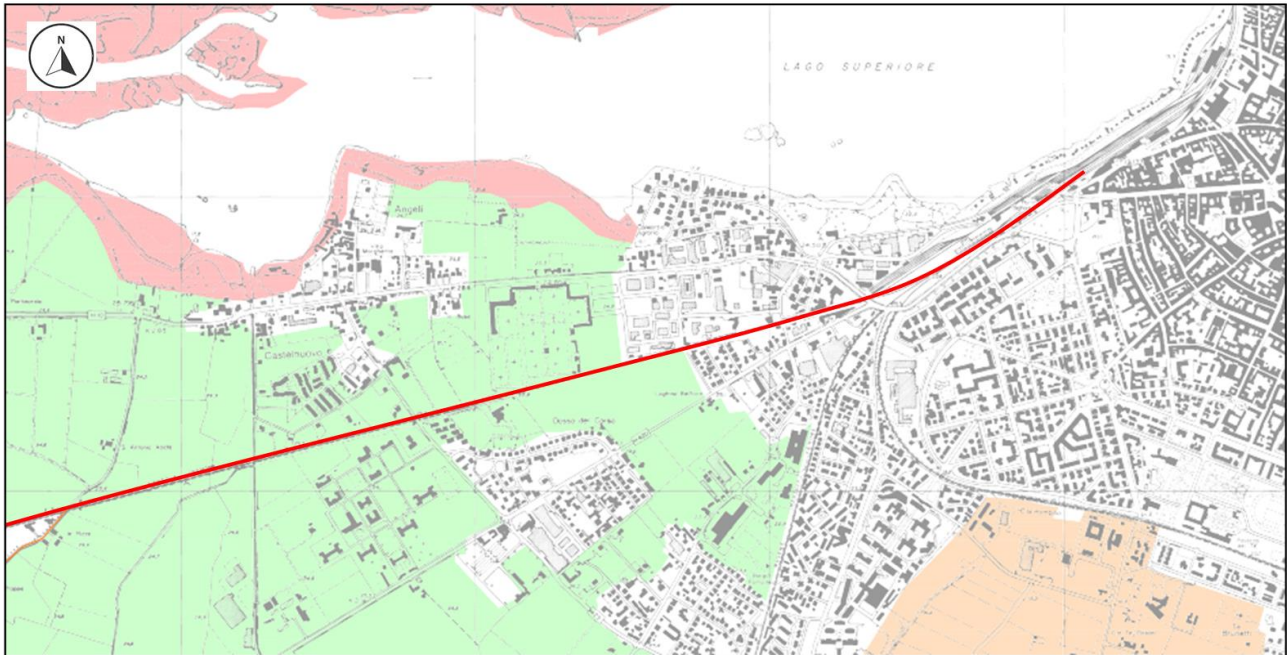
* Vedi accorpamenti indicati nella legenda della Carta litologica di Tav.G.6.1 e Tav.G.6.2

Figura 6-6 – Stralcio della Carta della vulnerabilità del primo acquifero (Tavola 7) del PGT di Curtatone. In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	122 di 222



GRADO DI VULNERABILITA'					LITOLOGIA DI SUPERFICIE *	PROFONDITA' TETTO ACQUIFERO	CARATTERISTICHE FAIDA
E _e	E	A	M	B			
					Argilla	> 10 m	Non affiorante
					Argilla limo	> 5 m < 10 m > 10 m	Non affiorante
					Argilla limo Sabbia e ghiaia	< 5 m < 10 m > 5 m	Non affiorante
					Sabbia e/o Ghiaia	< 5 m	Non affiorante
					Sabbia e/o Ghiaia	0 m	Affiorante

E_e=Estremamente elevato E=Elevato A=Alto M=Medio B=Basso

* Vedi accorpamenti indicati nella legenda della Carta idrogeologica di Tav.G.6.1 e Tav.G.6.2

Figura 6-7 – Stralcio della Carta idrogeologica e della vulnerabilità (Tavola 4) del PGT di Mantova. In rosso la linea ferroviaria.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>123 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	123 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	123 di 222								

7 VINCOLI DI DIFESA DEL SUOLO E FATTIBILITÀ GEOLOGICA

La cartografia dei vincoli redatta nell'ambito dei PGT comunali rappresenta le limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati in vigore di contenuto prettamente geologico, con particolare riferimento a:

- vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino ai sensi della L.183/89 (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, Quadro del dissesto);
- vincoli di polizia idraulica (fasce di rispetto individuate nello studio finalizzato all'individuazione del reticolo idrico minore);
- aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (area di tutela assoluta e di rispetto, ai sensi del D.Lgs. 258/2000);
- geositi (beni geologici già soggetti a forme di tutela).

Verranno di seguito analizzati brevemente i singoli comuni in base all'intersezione del tracciato ferroviario con i vincoli presenti sul territorio, evidenziando le eventuali criticità.

7.1 COMUNE DI PIADENA

Dall'analisi della tavola 6, carta dei vincoli geologici (Figura 7-1) del Piano di Governo del Territorio del comune di Piadena, è possibile evidenziare come la linea ferroviaria attraversi un'area di ambito di prevalente valore storico e culturale, e solo in parte, un'area di prevalente valore naturale (Geositi-Paleovalli).

7.2 COMUNE DI TORNATA

Osservando la tavola 8, carta dei vincoli geologici (Figura 7-3) redatta nell'ambito dello studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT del comune di Tornata, si evidenzia come la tratta ferroviaria intersechi soltanto corpi idrici superficiali e le relative fasce di rispetto soggette a specifici vincoli e regolamenti di polizia idraulica.

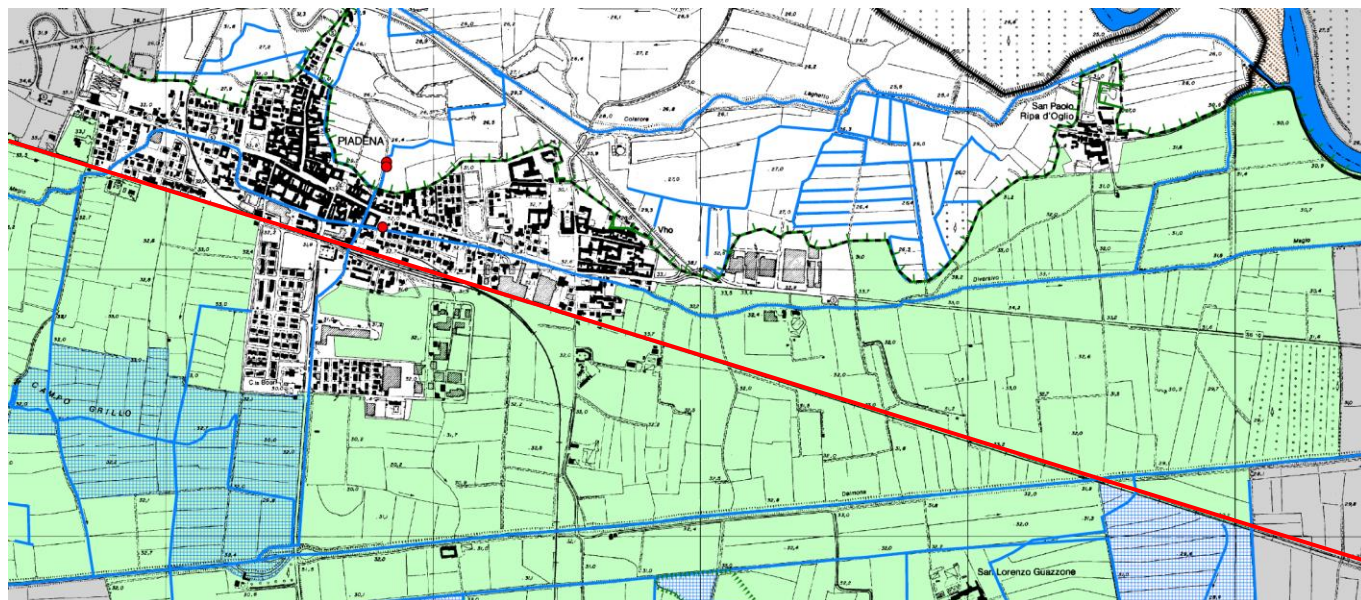


Figura 7-1 – Stralcio (non in scala) della Carta dei vincoli geologici del Piano di Governo del Territorio del Comune di Piadena (scala 1:10.000, settembre 2012). In rosso la linea ferroviaria.

LEGENDA







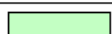



ELEMENTI IDROGRAFICI	
Vincoli di polizia idraulica sul reticolo idrografico (a) e relative opere idrauliche (b)	(a)  (b) 
AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO	
Fascia di tutela assoluta e di rispetto (coincidenti) dei pozzi acquedottistici (D.Lgs. n. 152/06).	
TUTELE E SALVAGUARDIE DERIVANTI DAL P.T.C.P.	
Orti di scarpate principali - art 16.5 delle N.d.A. del P.T.C.P.	
Orti di scarpate secondarie - art 16.5 delle N.d.A. del P.T.C.P.	
AMBITI DI PREVALENTE VALORE NATURALE (Rif. 3.1*) Geositi (Rif. 3.1.3*) - Paleovalli	
AMBITI DI PREVALENTE VALORE STORICO CULTURALE (Rif. 3.2*) Sistema dell'organizzazione del paesaggio agrario tradizionale (Rif. 3.2.3*) - Aree con baulature dei campi	
TUTELA DELLA RETE NATURA 2000 (Rif. 6.2*) Siti di importanza comunitaria e Zona a Protezione Speciale (Rif. 6.2*)	
FASCE DEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)	
Limite esterno della fascia A	
Limite esterno della fascia C	

Figura 7-2 – Stralcio della legenda della carta dei vincoli geologici del Piano di Governo del Territorio del comune di Piadena.

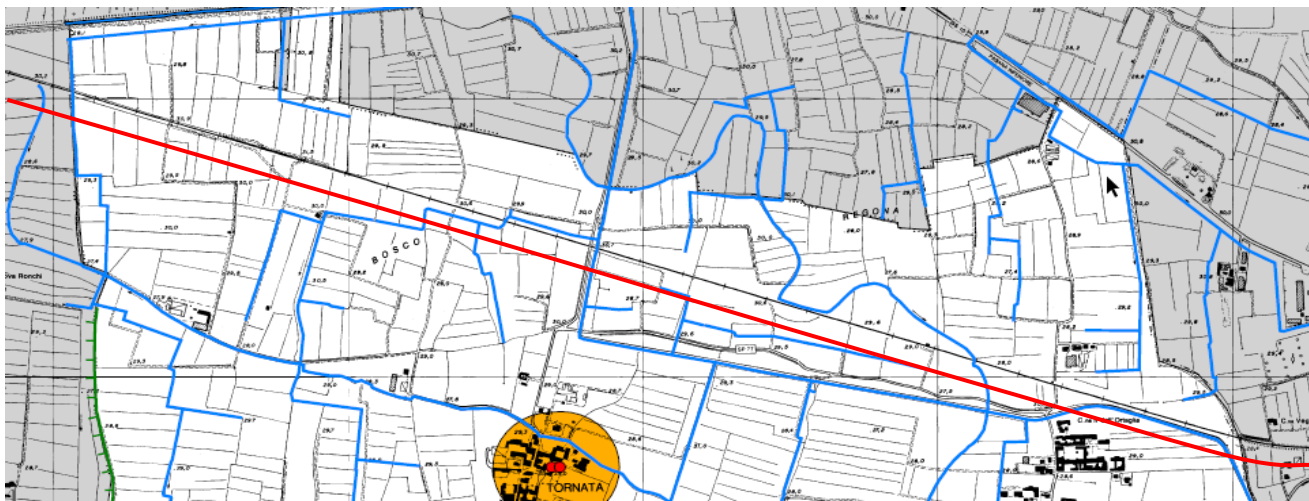


Figura 7-3 – Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli geologici redatta nell’ambito dello Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Tornata (scala 1:10.000, gennaio 2009). In rosso la linea ferroviaria.

LEGENDA

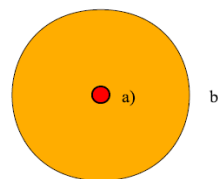
ELEMENTI IDROGRAFICI

Corpo idrico superficiale e relative fasce di rispetto soggette a specifici vincoli e regolamenti di polizia idraulica (T.U. 368/1904; T.U. 523/1904 e s.m.i.).



AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO

Fasce di tutela assoluta (a) e di rispetto (b) dei pozzi acquedottistici (D.Lgs. n. 152/06)



AREE SOGGETTE A REGIME DI TUTELA DEL PTCP - Normativa P.T.C.P.

Orli di scarpata secondaria (art 16.5).



Figura 7-4 - Stralcio della legenda della carta dei vincoli geologici redatta nell’ambito dello Studio della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del comune di Tornata.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 126 di 222

7.3 COMUNE DI BOZZOLO

L'analisi della tavola DP-E10, carta dei vincoli (Figura 7-5) redatta nell'ambito dello studio di assetto geologico, idrogeologico e sismico del PGT del comune di Bozzolo, evidenzia che la linea ferroviaria ricade in un'area sottoposta a vincolo derivante dalla pianificazione di bacino ai sensi della L.183/89 e, in particolare, in "Area di inondazione per piena catastrofica" (Fascia C), come già evidenziato dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po.

Essa inoltre interseca elementi sottoposti a vincoli di polizia idraulica, ovvero elementi del reticolo idrico vincolati ai sensi del Regio Decreto 25 luglio 1904, n.523, ed in particolare un corso d'acqua minore e una zona di rispetto dei corsi d'acqua pubblici, in corrispondenza del Fiume Oglio.

7.4 COMUNE DI MARCARIA

La cartografia dei vincoli non è disponibile.

7.5 COMUNE DI CASTELLUCCHIO

Analizzando la tavola DdP5, carta dei vincoli (Figura 7-6) redatta nell'ambito dello studio di assetto geologico, idrogeologico e sismico del PGT di Castellucchio, è possibile notare che la linea ferroviaria non interseca alcuna area sottoposta a vincoli di interesse geologico-idrogeologico.

Essa lambisce e interseca soltanto la fascia di protezione dei corsi d'acqua vincolati ai sensi della ex. L. 431/1985 relativa al canale Osone.

7.6 COMUNE DI CURTATONE

La cartografia dei vincoli non è disponibile.

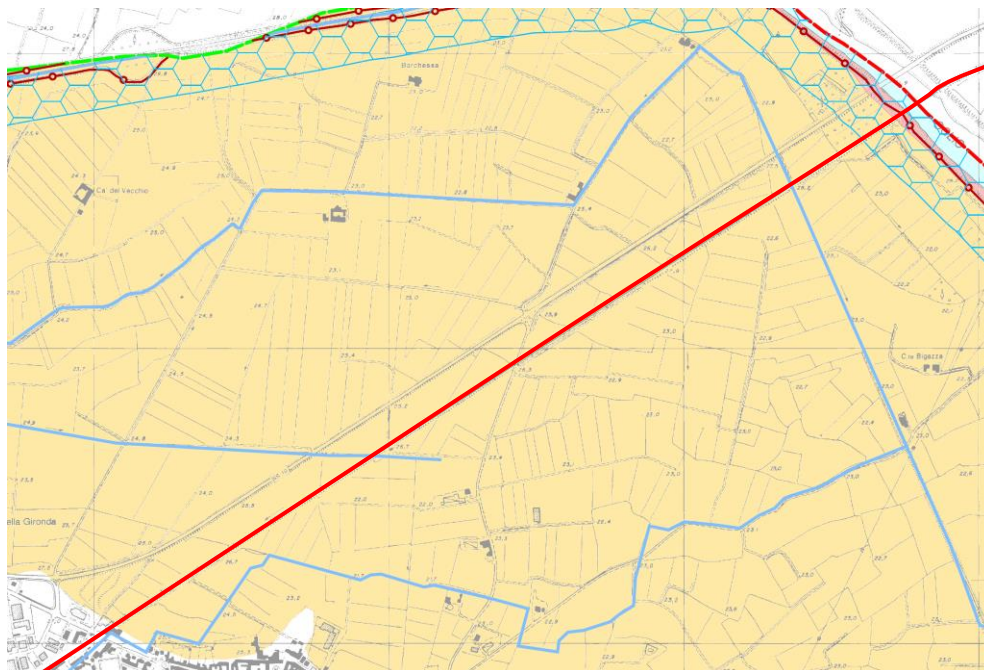
7.7 COMUNE DI MANTOVA

Osservando la tavola DdP5, carta dei vincoli (Figura 7-7) redatta nell'ambito dello studio di assetto geologico, idrogeologico e sismico del PGT del comune di Mantova, si deduce che la tratta non intercetta alcuna area sottoposta a vincoli di interesse geologico-idrogeologico.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	127 di 222




LEGENDA


TERRITORIO

 Confine provinciale

 Confine comunale

**VINCOLI DERIVANTI DALLA PIANIFICAZIONE DI BACINO AI SENSI DELLA L.183/89
Da Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Po**


 Fascia di deflusso della piena (FASCIA A)


 Area di inondazione per piena catastrofica (FASCIA C)

VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA

Elementi del reticolo idrico vincolati ai sensi del regio decreto 25 luglio 1904, n.523

 Fiume Oglio

 Corso d'acqua minore

 Difesa idraulica vincolata ai sensi del regio decreto 25 luglio 1904 n. 523


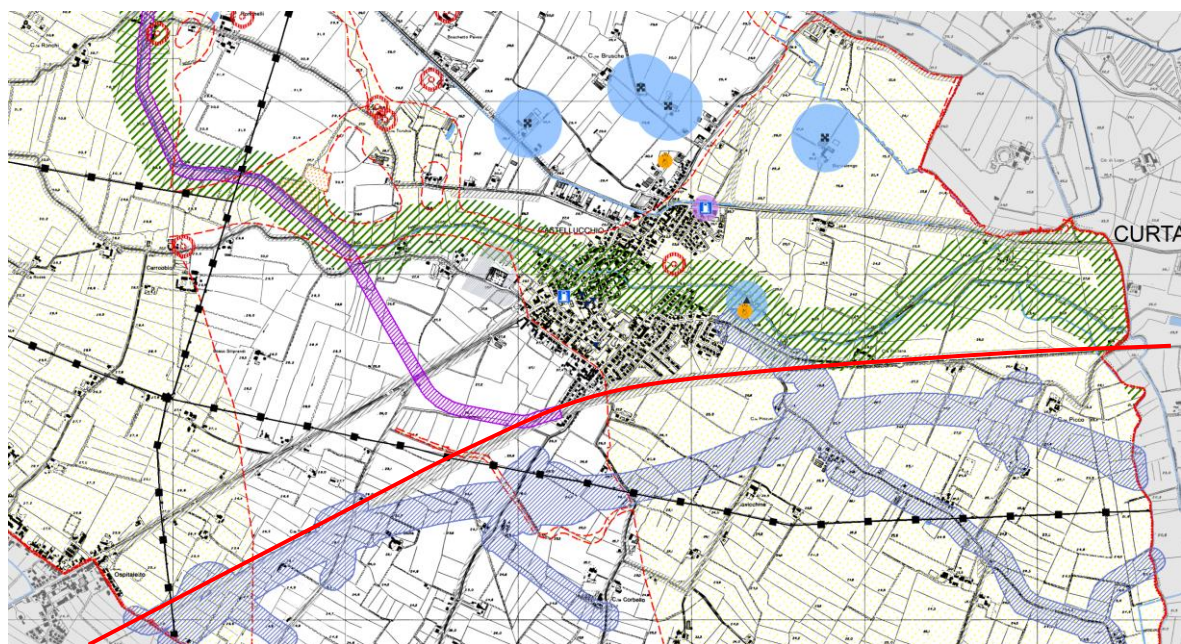
 Zona di rispetto dai corsi d'acqua pubblici

Figura 7-5 – Stralcio (non in scala) della Carta dei vincoli redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Bozzolo (1:10.000, giu. 2011). In rosso la linea ferroviaria.



Legenda

confini comunali

corpi idrici

vincoli puntuali

beni vincolati ai sensi del D. Lgs 42/2004 e s.m.i.

area di interesse archeologico

rispetti

rispetto cimiteriale

rispetto stradale e ferroviario

rispetto autostrada Cremona - Mantova
come da progetto definitivo sottoposto a VIA

rispetto raccordo ferroviario di progetto

rispetto depuratore

rispetto allevamenti

fasce di protezione dei corsi d'acqua
vincolati ai sensi della ex legge 431/1985

altri elementi

distributore carburante

antenna telefonia

linea alta tensione

sito in corso di bonifica

**classi di fattibilità geologica e
di pericolosità sismica locale**

classe 1 fattibilità senza particolari limitazioni

classe 2 fattibilità con modeste limitazioni

classe 3 con consistenti limitazioni

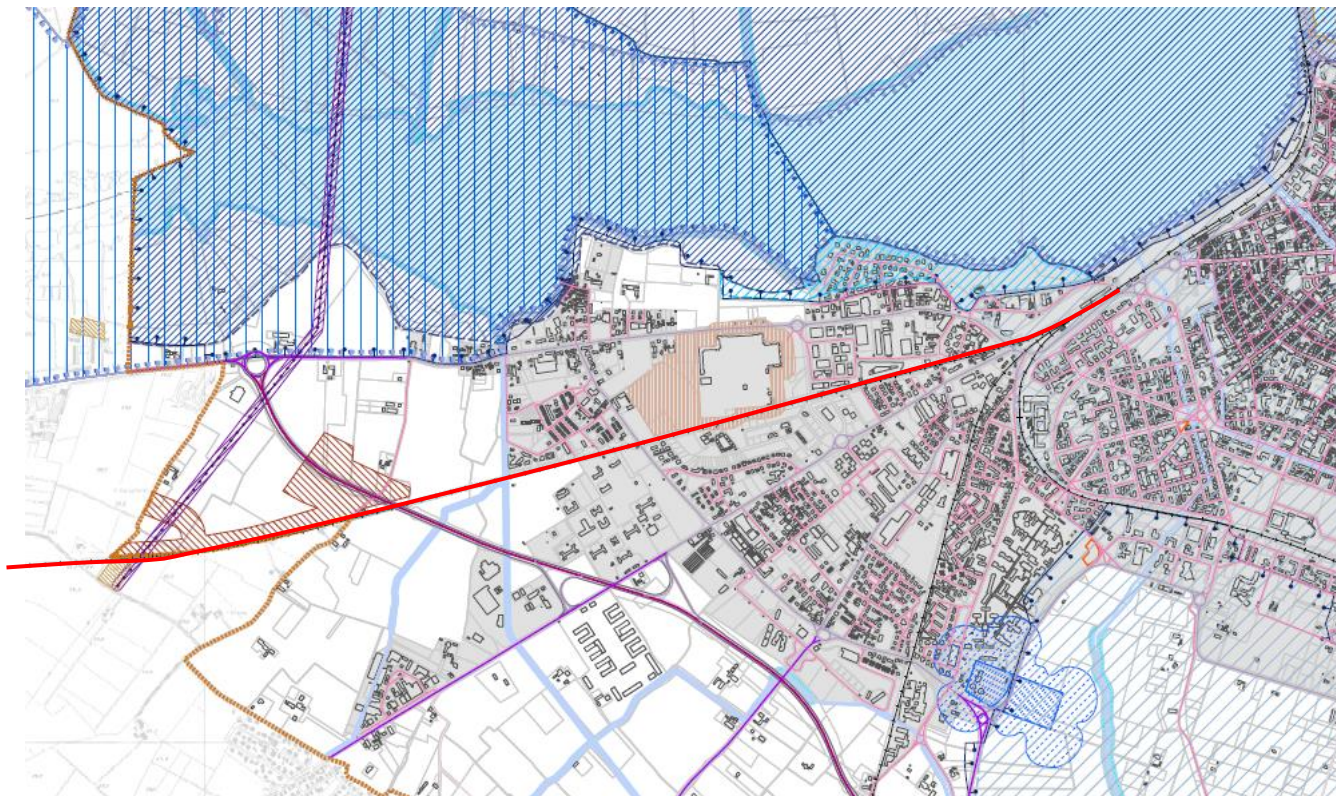
classe di pericolosità sismica Z2 (zone con terreni di
fondazione particolarmente scadenti, zone con depositi
granulari fini saturi)

Figura 7-6 - Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Castellucchio (1:10.000, giugno 2011). In rosso la linea ferroviaria.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	129 di 222



RETE NATURA 2000

Zone di protezione speciale (ZPS)

Siti di interesse comunitario (SIC)

SUOLO E TUTELA IDROGEOLOGICA

Piano di assetto idrogeologico (PAI)

Fascia di deflusso della piena (Fascia A)

Fascia di esondazione (Fascia B)

Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)

Limite di progetto della Fascia fluviale B

PTC del Parco del Mincio

Aree assoggettate a tutela idrogeologica

Siti contaminati (ex titolo V parte IV D.Lgs 152/2006)

Sito di interesse nazionale - Laghi di Mantova e Polo chimico

Sito contaminato ex DM 471/1999

Sito bonificato o con procedimento concluso a seguito di Analisi di Rischio

Piano cave

Ambiti territoriali estrattivi

Reticolo idrico

Fascia di salvaguardia

INFRASTRUTTURE E RELATIVI VINCOLI

Infrastrutture per la mobilità

A - autostrada

B - extraurbane principali

C - extraurbane secondarie

D - urbane di scorrimento

E - urbane di quartiere

F - locali comunali

F1 - locali vicinali

Centro abitato

Salvaguardia della variante alla S.S. 10 nei comuni di Curtatone e Montanara

Linee ferroviarie

Infrastrutture a rete

Elettrodotti aerei

Elettrodotti interrati

Fasce di rispetto degli elettrodotti

Metanodotto

Fascia di rispetto del metanodotto

Pipeline

Fascia di rispetto della pipeline

Depuratore

Fascia di rispetto del depuratore

Fascia di tutela assoluta dei pozzi

Seconda fascia di tutela dei pozzi

Fascia di rispetto del cimitero

Fascia di rispetto del depuratore - comuni contermini

Fascia di rispetto del cimitero - comuni contermini

Compatibilità territoriale per gli stabilimenti a rischio di incidente rilevante

Scenario di rischio "rilascio di GPL per rottura braccio di travaso"

INQUINAMENTO LUMINOSO

Area di protezione dell'osservatorio di Gorgo San Benedetto Po

Figura 7-7 - Stralcio (non in scala) della carta dei vincoli redatta nell'ambito del Piano di Governo del Territorio del comune di Mantova (1:10.000, giugno 2012). In rosso la linea ferroviaria.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>130 di 222</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	130 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	130 di 222								

8 INDAGINI

8.1 PREMESSA

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano:

- dalle risultanze di fonti bibliografiche quali il Database Geognostico Regione Lombardia che conta n.2 sondaggi, n.5 pozzi per acqua e n.7 prove penetrometriche, e l'archivio della società ENSER S.r.l. comprendente di n.2 sondaggi e n.5 prove CPTU eseguite nell'ambito della progettazione dell'autostrada regionale Crema – Mantova;
- dalla campagna di indagini in sito eseguita da Italferr nel 2018 a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per il raddoppio della linea ferroviaria Codogno – Cremona – Mantova, costituito da n.7 prove geofisiche, n.3 di tipo MASW e n.4 SCPTU;
- dalla campagna di indagini in sito eseguita, tra luglio 2019 e gennaio 2020, a supporto della presente fase progettuale e costituita da n.55 sondaggi a carotaggio continuo, da indagini geofisiche e da n.10 SCPTU e n.13 CPTU.

8.2 FONTI BIBLIOGRAFICHE (DB REGIONE LOMBARDIA ED ENSER)

Prove derivanti dall'archivio ENSER (2007)

Nella seguente tabella (Tabella 8-1), è stato riportato il tipo di prova, la profondità, la data di esecuzione, la quota e le coordinate in UTM Zone 32 N delle indagini dell'archivio della società ENSER S.r.l. del 2007.

Tabella 8-1 – Indagini Società ENSER S.r.l..

Prove e sondaggi						
	Tipo	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
					E	N
CPTU 1	CPT	25	2007	25	632928.00	5000597.00
CPTU 3	CPT	25	2007	20	634709.00	5000711.00
CPTU 4	CPT	20	2007	26	635390.00	5000746.00

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	131 di 222

Prove e sondaggi						
CPTU 46	CPT	22	2007	27	625099.00	4998091.00
CPTU 49	CPT	31	2007	26	627990.00	4999538.00
S43	Sondaggio	30	2007	26	627334.00	4999241.00
S44	Sondaggio	30	2007	26	627943.00	4999558.00

Prove derivanti dal Database Geognostico Regione Lombardia

In Tabella 8-2 sono riportate le informazioni relative alle prove derivanti dal Data base della Regione Lombardia.

Tabella 8-2 – Indagini Data base Regione Lombardia.

Prove e sondaggi						
ID	Tipo	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
					E	N
D7E529396479	CPT	33	27-febbraio-2003	30.7	612910.00	4996459.00
D7E556255886	CPT	12	20-marzo-2000	28.4	615596.00	4995866.00
D7E557635930	CPT	15	20-marzo-2000	28.5	615734.00	4995910.00
E7A515887933	CPT	9.8	-	29	621559.00	4997913.00
E7A517187929	CPT	9.8	-	28.5	621689.00	4997909.00
E7A521127899	CPT	15	30-gennaio-2003	28.3	622083.00	4997879.00
E7C497691900	CPT	29	15-aprile-2010	20.6	639739.00	5001879.00
D7E527896459	Sondaggio	50	-	30.7	612760.00	4996439.00

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Prove e sondaggi						
E7C467271005	Sondaggio	35	-	25.3	636697.00	5000985.00
E7A506607920	Pozzo per acqua	103	-	27	620631.00	4997900.00
E7A520307900	Pozzo per acqua	80	-	27.5	622001.00	4997880.00
E7B495000370	Pozzo per acqua	90	-	27.5	629471.00	5000350.00
E7B415500440	Pozzo per acqua	89	-	28.4	631521.00	5000420.00
E7C474691080	Pozzo per acqua	137.5	-	25	637439.00	5001060.00

8.3 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2018 (PFTE RADDOPPIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA)

A supporto del presente studio sono state considerate n.7 prove geofisiche: n.3 di tipo MASW e n.4 prove SCPTU eseguite nel 2018 a supporto del Progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica del raddoppiamento della linea Codogno – Cremona – Mantova).

In Tabella 8-3 si riportano le coordinate, la data di esecuzione e la quota delle prove effettuate.

Tabella 8-3 – Prove Campagna Italferr 2018.

Prove MASW e SCPTU					
ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
				E	N
MASW_7	-	2018	32.7	607826.00	4998041.00
MASW_8	-	2018	28	615709.00	4995852.00

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Prove MASW e SCPTU					
MASW_9	-	2018	29	620667.00	4997912.00
SCPTU 13	29	2018	33	609676.00	4997444.00
SCPTU 14	29	2018	30.6	612336.00	4996607.00
SCPTU 15	29	2018	25.9	617598.00	4997038.00
SCPTU 16	29	2018	28.2	618720.00	4997770.00

8.4 CAMPAGNA INDAGINI ITALFERR 2019-2020 (PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO TRATTA PIADENA – MANTOVA, LOTTO 3)

A supporto della progettazione è stata condotta una campagna di indagini geognostiche e geofisiche tra i mesi di luglio 2019 e gennaio 2020, comprendente l'esecuzione di n.55 sondaggi a carotaggio continuo spinti sino a profondità comprese tra i 30 e i 50 metri da piano campagna, n.13 prove penetrometriche statiche con piezocono e n.10 prove penetrometriche sismiche.

In Tabella 8-4 si riporta la profondità dei sondaggi realizzati, la data di esecuzione, la quota, le coordinate UTM Zone 32 N e l'attrezzatura relativa ai sondaggi eseguiti a supporto della progettazione definitiva del raddoppio Piadena – Mantova.

In Tabella 8-5 e

Tabella 8-6 sono state indicate, rispettivamente, le prove SCPTU e CPTU con relativa profondità, data di esecuzione, quota e coordinate UTM Zone 32 N. I risultati delle prove SPT, Lefranc e pressiometriche, eseguite durante la perforazione dei sondaggi, sono riportati, rispettivamente, in

Tabella 8-7, Tabella 8-8 e

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-9.

I risultati delle indagini geofisiche sono riportati nelle Tabelle da 8-10 a 8-13.

Tabella 8-4 – Sondaggi campagna Italferr 2019-2020.

Sondaggi						
ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N		ATTREZZATURA
				E	N	
L3-S1	35	31/07- 02/08/2019	31,316	608823.72	4997685.71	Piezometro di Casagrande
L3-S2	35	5-7/08/2019	31,131	609083.09	4997603.94	Piezometro di Casagrande
L3-S3	30	29-31/07/2019	31,138	609668.68	4997424.39	Piezometro di Casagrande
L3-S4	50	18-23/07/2019	30,340	610364.95	4997205.03	Piezometro Norton 3''
L3-S5	35	24-26/07/2019	29,061	612338.39	4996583.12	Piezometro di Casagrande
L3-S6	30	27-29/08/2019	28,041	613389.35	4996269.02	Piezometro di Casagrande
L3-S7	30	29/08-3/09/2019	28,642	614360.98	4995946.76	Piezometro di Casagrande
L3-S8	35	05-10/09/2019	25,628	615978.05	4995991.08	Piezometro di Casagrande
L3-S9	30	10-12/09/2019	22,274	616905.99	4996591.87	Piezometro di Casagrande
L3-S10	35	30/07-1/08/2019	24,060	617416.45	4996921.74	Piezometro di Casagrande
L3-S11	30	1-5/08/2019	21,222	618357.72	4997520.79	Piezometro di Casagrande
L3-S12	50	06-09/08/2019	23,686	618731.57	4997755.60	Piezometro di Casagrande

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	135 di 222

Sondaggi

Sondaggi						
L3-S13	50	27-28/08/2019	23,434	618873.54	4997843.72	Tubazione per Down-hole
L3-S14	35	9-26/08/2018	26,088	619492.07	4997998.69	Piezometro di Casagrande
L3-S15	35	9-10/09/2019	26,955	620879.68	4997899.09	Piezometro di Casagrande
L3-S16	30	2-3/09/2019	26,319	621818.61	4997850.46	Piezometro di Casagrande
L3-S17	30	4-5/09/2019	23,117	622810.22	4997787.72	Piezometro di Casagrande
L3-S18	30	11-12/09/2019	26,458	623691.63	4997744.68	Piezometro di Casagrande
L3-S19	30	13-17/09/2019	25,396	625134.84	4998062.71	Piezometro di Casagrande
L3-S20	35	01-03/10/2019	24,557	626185.51	4998636.39	Piezometro di Casagrande
L3-S21	35	25-26/09/2019	25,169	626818.65	4998964.56	Piezometro di Casagrande
L3-S22	30	17-18/09/2019	25,525	627999.98	4999580.89	Piezometro di Casagrande
L3-S23	35	17-23/09/2019	25,386	628871.47	5000015.20	Piezometro di Casagrande
L3-S24	35	19-20/09/2019	25,569	630470.92	5000412.18	Piezometro di Casagrande
L3-S25	30	19-20/09/2019	25,446	631446.13	5000472.85	Piezometro di Casagrande
L3-S26	30	30/09- 01/10/2019	21,140	632415.55	5000557.00	Piezometro di Casagrande
L3-S27	35	01-03/10/2019	24,712	632856.32	5000562.37	Piezometro di Casagrande
L3-S28	30	27/09- 01/10/2019	22,838	633690.39	5000633.37	Piezometro di Casagrande

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	136 di 222

Sondaggi

Sondaggi						
L3-S29	30	25-26/09/2019	25,679	634756.68	5000681.26	Piezometro di Casagrande
L3-S30	35	23-24/09/2019	24,291	635440.08	5000724.32	Piezometro di Casagrande
L3-S31	30	24-25/09/2019	23,957	636577.60	5000901.42	Piezometro di Casagrande
L3-S32	35	26/09- 01/10/2019	24,396	637773.18	5001207.55	Piezometro di Casagrande
L3-S33	35	02-04/10/2019	24,401	638470.62	5001394.83	Piezometro di Casagrande
L3-S34	50	08-27/08/2019	30,365	610444.20	4997176.58	Tubazione per Down-hole
L3-S35	30	23-25/10/2019	32,739	607802.00	4998035.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S36	30	16-18/10/2019	29,049	610884.00	4997036.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S37	30	17-19/10/2019	29,775	611392.00	4996875.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S38	35	21-23/10/2019	28,795	612783.00	4996430.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S39	30	15-16/10/2019	28,377	613865.00	4996101.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S40	30	29-30/10/2019	28,345	615307.00	4995736.00	Tubazione per Down-hole
L3-S41	30	23-25/10/2019	25,807	615841.00	4995880.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S42	35	08-10/10/2019	22,754	616174.00	4996118.00	Piezometro a tubo

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	137 di 222

Sondaggi

Sondaggi						
						aperto
L3-S43	30	07-08/10/2019	21,543	616532.00	4996354.00	-
L3-S44	35	21-23/10/2019	23,103	617201.00	4996784.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S45	30	11-15/10/2019	21,765	617891.00	4997229.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S46	35	10-14/10/2019	25,849	619804.00	4997965.00	-
L3-S47	30	28-10/10/2019	28,014	620571.00	4997911.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S48	45	15-17/10/2019	23,781	622802.00	4997810.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S49	30	14-15/10/2019	26,096	624275.00	4997759.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S50	40	08-10/10/2019	24,853	626969.00	4998875.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S51	30	22-24/10/2019	26,053	629553.00	5000324.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S52	35	03-07/10/2019	25,646	630225.00	5000395.00	Piezometro a tubo aperto
L3-S53	45	04-09/10/2019	24,561	634704.00	5000681.00	Tubazione per Down-hole
L3-S54	30	18-21/10/2019	23,638	637212.00	5001065.00	-
L3-S55	30	25-28/10/2019	19,718	639272.00	5001614.00	Piezometro a tubo aperto



PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA**

RELAZIONE

**RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	138 di 222

Tabella 8-5 – Prove SCPTU campagna di indagine Italferr 2019-2020.

Prove SCPTU					
ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
				E	N
SCPTU_01	20	17/10/2019	31	610585.55	4997133.58
SCPTU_02	20	16/10/2019	30	611829.00	4996744.00
SCPTU_03	20	16/10/2019	30	614824.50	4995794.31
SCPTU_04	20	17/10/2019	24	617189.36	4996786.58
SCPTU_05	20	18/10/2019	28	620173.08	4997941.47
SCPTU_06	20	24/10/2019	27	622332.44	4997814.40
SCPTU_07	20	24/10/2019	27	625963.00	4998515.00
SCPTU_08	17	25/10/2019	21	631957.05	5000503.00
SCPTU_09	20	18/10/2019	25	636042.00	5000793.00
SCPTU_10	3	25/10/2019	24	637986.00	5001281.00

Tabella 8-6 – Prove CPTU campagna di indagine Italferr 2019-2020.

PROVE CPTU					
ID	PROFONDITA' (m dal p.c.)	DATA ESECUZIONE	Quota (m s.l.m.)	Coordinate UTM Zone 32 N	
				E	N
CPTU_01	20	28/10/2019	30,675	608873.58	4997454.76
CPTU_02	20	28/10/2019	28,184	612761.01	4996303.01
CPTU_03	18.44	30/10/2019	22,763	616135.78	4996003.63

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	143 di 222

Profondità Prova (m da p.c.)	S21 (Nspt)	S22 (Nspt)	S23 (Nspt)	S24 (Nspt)	S25 (Nspt)	S26 (Nspt)	S27 (Nspt)	S28 (Nspt)	S29 (Nspt)	S30 (Nspt)
4,5	6	6	18	7	30	13	-	-	14	5
5	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-
6	7	5	16	7	32	21	9	10	21	5
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5	11		19	8	23	14	13		19	14
9	6	6	18	8	32	17	13	30	16	9
9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	12	13	27	18	48	15	26	24	15	13
12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	8	6	21	9	52	20	24	22	16	8
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	17	19	25	13	38	23	35	26	17	16
18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	17	34	24	31	40	27	27	26	21	17
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	10	19	23	26	45	37	31	28	17	14
24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	15	25	27	27	25	34	25	31	23	17

Profondità Prova (m da p.c.)	S31 (Nspt)	S32 (Nspt)	S33 (Nspt)	S34 (Nspt)	S35 (Nspt)	S36 (Nspt)	S37 (Nspt)	S38 (Nspt)	S39 (Nspt)	S40 (Nspt)
1,5	25	17	12	10	-	-	-	-	-	-
3	30	44	18	15	16	29	27	17	15	13

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	144 di 222

Profondità Prova (m da p.c.)	S31 (Nspt)	S32 (Nspt)	S33 (Nspt)	S34 (Nspt)	S35 (Nspt)	S36 (Nspt)	S37 (Nspt)	S38 (Nspt)	S39 (Nspt)	S40 (Nspt)
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	13	17	26	-	-	2	-	-	-	-
5	-	-	-	12	-	-	9	-	-	-
6	33	20	15	12	18	6	3	11	10	9
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5	9	18	20	10	-	-	-	-	-	-
9	23		8	20	-	7	6	12	13	15
9,5	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-		-	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-
12	36	43	24	14	-	7		9	12	27
12,5	-	-	-	-	11	-	11	-	-	-
15	21	39	18	-	12	-	-	-	-	21
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,5	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	34	15	6	-	13	28	34	12	12	-
18,5	-	-	-	16	-	-	-	-	-	-
21	74	38	12	16	-	-	-	-	-	22
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	27	40	40	-	26	19	12	14	37	-
24,5	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-
27	36	53	38	27	-	24	-	32	-	-

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	145 di 222

Profondità Prova (m da p.c.)	S41 (Nspt)	S42 (Nspt)	S43 (Nspt)	S44 (Nspt)	S45 (Nspt)	S46 (Nspt)	S47 (Nspt)	S48 (Nspt)	S49 (Nspt)	S50 (Nspt)
1,5	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-
3	8	5	9	2	9	-	31	6	14	19
3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	18	13	23	18	12	31	14	3	-	11
6,5	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	21	8	8	17	14	12	-	10	10	18
9,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-
12	13	9	-	11	18	-	-	15	17	28
12,5	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-
15	12	20	11	-	25	16	15	-	-	-
15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	19	-	-	16	-	14	6	6	20	40
18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	14	13	-	22	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	36	-	-	17	-	40	45	6	24	45
24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	-	55	-	26	-	30	-	15	-	48

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	146 di 222

Profondità Prova (m da p.c.)	S41 (Nspt)	S42 (Nspt)	S43 (Nspt)	S44 (Nspt)	S45 (Nspt)	S46 (Nspt)	S47 (Nspt)	S48 (Nspt)	S49 (Nspt)	S50 (Nspt)
30	-	-	-	34	-	60	-	-	-	53
33	-	29	-	-	-	-	-	-	-	-

Profondità Prova (m da p.c.)	S51 (Nspt)	S52 (Nspt)	S53 (Nspt)	S54 (Nspt)	S55 (Nspt)
1,5	-	7	-	-	-
3	35	10	36	18	12
3,5	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	16	-
5	-	-	-	-	-
6	9	19	46	23	36
6,5	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
7,5	-	-	-	-	-
9	12	15	16	37	61
9,5	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-
12	26	13	-	38	61
12,5	-	-	-	-	-
15	46	28	31	-	34
15,5	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
16,5	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	82	38	-	42	33
18,5	-	-	-	-	-
21	-	43	23	-	-

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	147 di 222

Profondità Prova (m da p.c.)	S51 (Nspt)	S52 (Nspt)	S53 (Nspt)	S54 (Nspt)	S55 (Nspt)
22	-	-	-	-	-
22,5	-	-	-	-	-
24	54	49	-	47	31
24,5	-	-	-	-	-
27	-	47	59	54	-
30	-	50	-	-	-
33	-	-	91	-	-
36	-	-	31	-	-
42	-	-	27	-	-

**Tabella 8-8 – Valori di permeabilità K (m/s) calcolati tramite prove di Lefranc eseguite in foro di sondaggio
 (campagna Italferr 2019-2020).**

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Materiale
L3-S1	2	4.10E-07	Limo sabbioso deb. argilloso
L3-S2	3.5	9.10E-08	Argilla limosa
L3-S3	2	3.60E-05	Limo con sabbia deb. Limoso
L3-S4	3.5	1.80E-07	Limo argilloso sabbioso
	6	1.50E-05	Limo argilloso sabbioso
L3-S5	3.5	2.00E-6	Limo argilloso
L3-S6	2	2.90E-5	Limo argilloso sabbioso
L3-S7	2.00	1.10E-05	Sabbia deb. Limosa
L3-S8	3.00	4.20E-05	Sabbia limosa

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	148 di 222

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Materiale
L3-S9	2.00	1.60E-07	Argilla limosa
L3-S10	3.50	4.90E-07	Argilla e limo
L3-S11	2.00	1.00E-05	Sabbia e limo
L3-S12	2.00	4.70E-06	Sabbia limosa
L3-S13	-	-	-
L3-S14	-	-	-
L3-S15	3.50	6.50E-06	Sabbia
L3-S16	2.00	6.20E-06	Limo sabbioso
L3-S17	2.00	5.90E-05	Sabbia ghiaiosa
L3-S18	2.00	9.80E-07	Limo con sabbia
L3-S19	2.00	2.30E-06	Limo deb. argilloso
L3-S20	4.50	4.00E-05	Sabbia limosa
L3-S21	3.00	1.00E-06	Limo con argilla
L3-S22	1.50	4.00E-04	Sabbia deb. limosa
L3-S23	3.50	7.50E-05	Sabbia limosa
L3-S24	3.00	4.80E-05	Sabbia limosa deb. argillosa
L3-S25	2.00	2.30E-06	Sabbia limosa
L3-S26	2.00	2.10E-05	Sabbia con limo
L3-S27	3.00	3.50E-05	Sabbia deb. Ghiaiosa

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	149 di 222

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Materiale
L3-S28	2.00	2.60E-05	Sabbia deb. limosa
L3-S29	2.00	7.10E-06	Sabbia e argilla
L3-S30	3.00	9.70E-05	Sabbia con limo
L3-S31	2.00	2.20E-06	Limo e sabbia
L3-S32	4.50	3.00E-05	Sabbia deb. ghiaiosa
L3-S33	3.50	2.20E-07	Limo sabbioso
L3-S34	5.00	1.90E-07	Limo con argilla
L3-S35	2.00	4.7E-07	Limo argilloso
	7.00	7.5E-07	Argilla limosa
L3-S36	3.00	2.3E-06	Argilla limosa
	7.00	3.7E-05	Sabbia limosa
L3-S37	3.50	5.7E-08	Argilla limosa
L3-S38	2.00	5.8E-07	Argilla limosa
L3-S39	2.00	2.7E-06	Limo argilloso
L3-S40	2.00	7E-06	Sabbia deb. limosa
L3-S41	2.80	9.9E-05	Sabbia deb. limosa
	9.00	5.9E-05	Sabbia deb. limosa
L3-S42	3.00	9.5E-06	Argilla limosa
L3-S43	3.00	5.7E-05	Limo sabbioso

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	150 di 222

Sondaggio	Profondità prova (m da p.c.)	K (m/s)	Materiale
L3-S44	3.00	1.1E-05	Argilla limosa
L3-S45	5.00	5.8E-06	Sabbia limosa
L3-S46	5.00	5.1E-06	Sabbia deb. limosa
L3-S47	2.00	8.4E-08	Limo argilloso
	6.00	3.8E-07	Argilla limosa
L3-S48	2.00	1.9E-06	Limo argilloso
	15.50	3.1E-06	Sabbia con limo
L3-S49	3.00	4.4E-06	Limo sabbioso
L3-S50	2.00	7.6E-07	Limo argilloso
	15.50	1.7E-06	Sabbia limosa
L3-S51	2.00	1.2E-05	Argilla limosa
	6.50	1.3E-05	Sabbia deb. limosa
L3-S52	2.00	5.9E-06	Limo e sabbia fine
L3-S53	2.00	4.5E-06	Sabbia media e fine
	10.50	1.1E-05	Argilla limosa
L3-S54	2.00	9.5E-08	Argilla limosa
L3-S55	2.00	9.7E-07	Limo argilloso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-9 – Prove pressiometriche eseguite in foro di sondaggio (campagna Italferr 2019-2020).

Sondaggio	Quota (m s.l.m.)	Modulo pressiometrico E (bar)	Litologia
L3-S4	26.5	163	Sabbia fine debolmente limosa
	29.5	258	Sabbia fine
L3-S12	10.2	47	Argilla limoso sabbiosa
	16	90	Sabbia argillosa debolmente limosa
L3-S34	10.5	62	Argilla limosa debolmente sabbiosa
	15.8	42	Argilla sabbioso limosa

Tabella 8-10 – Prove geofisiche MASW, campagna Italferr 2019-2020.

Prova	V _{seq} (m/s)	H _{eq} (m)	Cat. Suolo (NTC 2018)
R01	224	30	C
R02	213	30	C
R03	203	30	C
R04	228	30	C
R05	240	30	C
R06	190	30	C
R07	219	30	C
R08	214	30	C
R09	270	30	C
R10	275	30	C
R11	270	30	C

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

R12	261	30	C
R13	225	30	C
R14	262	30	C
R15	280	30	C

Tabella 8-11 – Prove geofisiche *Down-Hole*, campagna Italferr 2019-2020.

Prova	Sondaggio	V _{seq} (m/s)	H _{eq} (m)	Cat. Suolo (NTC 2018)
DH-1	L3-S13	183	30	C
DH-2	L3-S34	225	30	C
DH-3	L3-S40	242	30	C
DH-4	L3-S53	265	30	C

Tabella 8-12 – Profili sismici a rifrazione, Sintesi dell'estensione metrica lineare (m) e ubicazione rispetto alle progressive chilometriche del tracciato di raddoppio in progetto (campagna Italferr 2019-2020)

Codifica	Località	Progressive (km)	Estensione lineare (m)
P1	Romprezzagno (CR)	Da 62+250 a 62+485	235
P2	Bozzolo (MN)	Da 65+150 a 65+265	115
P3	Marcaria (MN)	Da 70+470 a 70+585	115
P4	San Michele in Bosco (MN)	Da 72+670 a 72+785	115
P5	Grazie (MN)	Da 82+715 a 82+830	115

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	153 di 222

Tabella 8-13 - Profili tomografici elettrici 2D - Sintesi dell'estensione metrica lineare (m) e ubicazione rispetto alle progressive chilometriche del tracciato di raddoppio in progetto (campagna Italferr 2019-2020).

Codifica	Località	Progressive (km)	Estensione lineare (m)
L1	Piadena (CR)	Da 59+065 a 59+300	235
L2	Bozzolo (MN)	Da 66+015 a 65+250	235
L3	Castellucchio (MN)	Da 76+985 a 77+220	235
L4	Castellucchio (MN)	Da 79+850 a 80+085	235
L5	Mantova	Da 85+515 a 85+750	235

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A


8.5 PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

I campioni di terreni prelevati durante la campagna di indagine 2019-2020 sono stati sottoposti alle prove di laboratorio geotecnico riepilogate nella Tabella 8-14.

In allegato si riporta una tabella con specificate le quote di prelievo di ciascun campione prelevato durante il sondaggio e le prove di laboratorio eseguite per ciascun campione. I risultati delle prove di laboratorio sono riportati nei documenti NM2503D69PRGE0001001A e NM2503D69PRGE0001002A.

Tabella 8-14– Riepilogo campioni prelevati e prove di laboratorio eseguite.

Campioni rimaneggiati	310
Campioni indisturbati	102
Tipo di prova	Numero di prove eseguite
Granulometria	401
Peso di volume secco	127
Peso di volume naturale	51
Contenuto d'acqua	76
Massa volumica dei grani	65
Massa specifica relativa	44
Limiti di Atterberg	144
Prova Edometrica	57
Prova di taglio diretto	55
Prova triassiale UU	39
Prova triassiale CIU	36

	RADDOPPIO FERROVIARIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 155 di 160

9 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il modello geologico di riferimento della tratta ferroviaria oggetto di raddoppio viene elaborato a partire sia dai dati stratigrafici riferiti alle indagini riportate nel capitolo 8, sia dalle informazioni geologico-stratigrafiche di origine bibliografica a disposizione. A supporto dunque del presente studio è stato elaborato un profilo geologico lungo la linea ferroviaria (elaborati da NM2503D69G5GE0001001A a NM2503D69G5GE0001008A), ed una serie di profili trasversali alla linea in corrispondenza di opere di progetto quali cavalcaferrovia e sottopassi (elaborati da NM2503D69NZGE0001001A a NM2503D69G5GE0001013A).

A partire dunque dall'inizio del Lotto 3, presso Piadena (p.k. 55+286), i sondaggi disponibili sono l'L3-S35, il quale individua un primo spessore di circa 8 metri di materiali appartenenti ai depositi fluviolacustri argillosi del Würm/Riss, seguiti da depositi fluviali più sabbiosi sino a 15 metri da p.c., ed infine da argille sabbiose fluviolacustri del Riss-Mindel.

Un assetto stratigrafico molto simile viene individuato dal gruppo di indagini composto dal sondaggio L3-S1, L3-S2 e CPTU-01 posti tra le p.k. 56+430 e 56+630. Tali indagini evidenziano sempre la presenza di depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss fino a 7-10m da p.c., seguiti da depositi fluviali sabbiosi ed il cui spessore tende a restringersi nel sondaggio L3-S2 sino alla profondità di 14m da p.c., mentre il primo sondaggio individua i depositi argillosi del Riss-Mindel già a partire da circa 18m da p.c., il sondaggio L3-S2 mostra questo passaggio già ai 15m da p.c. fino a fondo foro. In corrispondenza della p.k. 56+542 è in progetto l'adeguamento del cavalcaferrovia che collegherà via Matteotti a via Favorita S. Lorenzo presso il comune di Piadena.

Il sondaggio L3-S3 e la SCPTU-13 individuano invece un primo spessore di depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm sino a circa 7m da p.c., seguiti da un limitato spessore di depositi fluviolacustri, e da sabbie debolmente argillose del Riss sino a 30m da p.c.; proseguendo lungo la linea, alla p.k. 58+030, i sondaggi L3-S4, L3-S34-DH e la SCPTU-01 riflettono quanto osservato in precedenza, ovvero un primo spessore di materiali sabbiosi argillosi del Würm, seguiti da materiali fluviolacustri argillosi del Würm-Riss sino a 13-14m da p.c., e da sabbie calcaree argillose del Riss sino a circa 30m da p.c.. Più in profondità si rinvencono argille sabbiose fluviolacustri del Riss-Mindel sino alla massima profondità investigata di 50m da p.c.. In tale area è prevista la deviazione del canale di bonifica San Lorenzo.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>156 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	156 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	156 di 222								

Anche i successivi sondaggi L3-S36 e L3-S37, posti rispettivamente alle p.k. 58+530 e 59+130, individuano circa 5 metri di materiali afferenti ai depositi sabbiosi-argillosi del Würm, seguiti da depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss sino a 14m da p.c., seguiti da un sottile strato di depositi sabbiosi del Riss sino a 18m da p.c., proseguendo poi nelle sottostanti argille sabbiose fluviolacustri più antiche.

In quest'area inoltre è stato realizzato il rilievo tomografico elettrico L1, tra le p.k. 59+065 e 59+300, il quale evidenzia una serie elettrostratigrafica piuttosto continua, omogenea e regolare lungo tutto il settore indagato, con valori di resistività elettrica che si mantengono complessivamente inferiori a 50 ohm.m, rappresentativi di materiali con litologie fini prevalenti per spessori di almeno 25.0 m. da p.c., mentre un lieve incremento fino a valori massimi di 60 ohm.m, si registra in superficie alla progressiva di rilievo 140 m in corrispondenza della scolina di drenaggio dei terreni agrari.

Il successivo sondaggio L3-S5, realizzato in prossimità della p.k. 60+130 e affiancato dalla SCPTU-14, evidenzia una predominanza di depositi limoso-argillosi e argilloso-limosi fino a circa 20m da p.c., attribuibili ai depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss, seguiti poi da un limitato spessore di depositi più sabbiosi del Riss, e da circa 10 metri di limi argillosi fluviolacustri del Riss-Mindel.

Le successive indagini sono state realizzate tra le p.k. 60+530 e 60+730, allo scopo di caratterizzare i terreni per la progettazione di un cavalcaferrovia, e comprendono il sondaggio di nuova realizzazione L3-S38, la CPTU-03 e i sondaggi bibliografici D7E527896459 e D7E529396479. In tal caso i sondaggi evidenziano, come per il sondaggio precedente, la presenza di materiale principalmente limoso-argilloso con alcune intercalazioni sabbiose sino a circa 16m da p.c., seguito da materiale prevalentemente sabbioso sino a 25m da p.c. e nuovamente da materiali più fini ascrivibili alle argille sabbiose fluviolacustri del Riss-Mindel, per quanto riguarda il sondaggio L3-S38, mentre nei sondaggi bibliografici si rinvennero di nuovo sabbie.

Tra le p.k. 61+130 e 63+230 l'assetto stratigrafico risulta piuttosto costante, come testimoniano i sondaggi L3-S6, L3-S39, L3-S7, SCPTU-03 ed L3-S40-DH; tali indagini infatti rinvennero argille limose e limi argillosi appartenenti ai depositi fluviolacustri argillosi del Riss sino a profondità variabili tra i 22 ed i 18 m da p.c., maggiormente sabbiosi sino a 10 m da p.c. in L3-S7 e L3.S40, seguiti dalle sabbie calcaree fluviali del Riss sino a 22 metri circa da p.c.. Oltre questa profondità di rinviene un materiale più argilloso a partire da circa 22 metri da p.c., ascrivibile alle argille sabbiose fluviolacustri del Riss-Mindel.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	157 di 222

Il profilo sismico lineare eseguito tra le p.k. 62+250 e 62+485 definisce un'unità superficiale per spessori medi di 5.0 m con valori di velocità $V_p < 600$ m/s nei primi 2.0 m dal p.c. che incrementano fino a 1200 m/s, riferibili a materiali moderatamente addensati. In tale unità i valori di V_s si mantengono inferiori a 275 m/s. Successivamente le velocità V_p raggiungono a 1600 m/s e le V_s i 325 m/s (colore giallo) registrando un progressivo incremento del grado di addensamento dei materiali.

In profondità, a partire mediamente tra 10.0 e 15.0 m dal p.c. si differenzia un'unità di fondo con valori di V_p superiori a 1600 m/s e massimi di 1800 m/s e con valori massimi di V_s pari a 350 m/s.

Il tratto di linea compreso tra le p.k. 63+400 e 64+200 è stato indagato tramite i sondaggi di nuova realizzazione L3-S41, L3-S8, L3-S42, la prova CPTU-13 ed i sondaggi D7E556255886 e D7E557635930 del database regionale. Tali indagini hanno identificato un primo livello, di circa 9 metri di spessore, di materiali sabbioso limosi e localmente ghiaiosi appartenenti ai depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm. Al di sotto di tali depositi, sino a 15-17 metri da p.c., sono stati individuato materiali argilloso limosi e limoso-sabbiosi fluvioglaciali argillosi del Würm-Riss. Infine, sino alla massima profondità investigata di 35m da p.c., sono stati rinvenuti materiali sabbioso-limosi attribuibili ai depositi sabbiosi del Riss.

La linea ferroviaria prosegue, pressoché perpendicolarmente, verso l'alveo del fiume Oglio, area indagata tramite i sondaggi L3-S43, L3-S9, L3-S44, L3-S10, L3-S45 e L3-S11, oltre che tramite le prove CPTU-04 ed SCPTU-04 e 05. Le indagini sono state eseguite in depositi alluvionali recenti sabbioso argillosi, talvolta ghiaiosi, rinvenuti sino a profondità comprese tra 13 e 22 metri da p.c., seguiti in profondità da materiali sabbioso-limosi attribuibili ai depositi sabbiosi del Riss. In quest'area è stato eseguito il profilo sismico P2, il quale definisce un'unità superficiale per spessori medi di 8.0 m, con valori di velocità $V_p < 600$ m/s nei primi 3.0 m dal p.c. che incrementano fino a 1200 m/s, riferibili a materiali moderatamente addensati. Le V_s si mantengono complessivamente inferiori a 275 m/s ed in particolare inferiori a 250 m/s nel settore nord-orientale della sezione per spessori dell'ordine di 10.0 m. Al di sotto si differenzia l'unità intermedia costituita da valori di V_p compresi tra 1200 e 1600 m/s e di V_s che raggiungono valori di 350 m/s indicativi di un progressivo incremento del grado di addensamento dei materiali. In profondità, oltre 15.0-16.0 m dal p.c. e solamente nel settore sud-occidentale della sezione, si individua l'unità di fondo definita da valori di V_p di poco superiori a 1600 m/s e massimi di V_s

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	158 di 222

di 350 m/s. È stato inoltre eseguito il rilievo tomografico elettrico L2 tra le p.k. 66+015 e 66+250, il quale evidenzia una serie elettrostratigrafica estesa in modo continua e regolare lungo tutto il settore indagato. I valori di resistività elettrica si mantengono costantemente inferiori a 70 ohm.m per spessori dell'ordine di almeno 25.0m e nel dettaglio è possibile distinguere un'unità superficiale conduttiva caratterizzata da valori di resistività elettrica inferiori a 60 ohm.m, riferibili a materiali fini prevalenti per spessori di 12.0/13.0m con valori minimi dell'unità < 30 ohm.m in superficie nei primi 3.0/4.0 metri di profondità dal p.c., ed un'unità basso resistiva di fondo definita da un graduale incremento dei valori di resistività elettrica fino a valori massimi di 70 ohm.m, associabili a materiali con litologie medio-fini prevalenti.

In corrispondenza del fiume Oglio, secondo la cartografia geologica di riferimento, sono presenti invece depositi alluvionali ghiaiosi attuali; tali depositi non sono stati ritrovati nei sondaggi eseguiti. I sondaggi più prossimi all'alveo del fiume sono L3-S12 e L3-S13, eseguiti sui due argini del fiume stesso. Essi hanno individuato materiali sabbioso-limosi sino a circa 14 metri da p.c. attribuibili alle alluvioni recenti nel caso dell'L3-S12, ed ai depositi fluviali del Würm e del Riss nel caso dell'L3-S13. Più in profondità, anche in questo caso, sono presenti depositi sabbioso-limosi del Riss sino alla massima profondità investigata di 50 metri da p.c.. Presso la progressiva 68+000 il sondaggio L3-S14 rinviene depositi fluviali Würmiani sabbiosi sino a 8m da p.c., seguiti da depositi fluviali del Würm-Riss sino a 17m, ed infine di nuovo da materiali sabbioso-limosi attribuibili ai depositi sabbiosi del Riss.

I successivi sondaggi L3-S46, L3-S15, L3-S47, e le CPTU05 e SCPTU5, descrivono un profilo stratigrafico comune, ovvero depositi fluviolacustri argillosi dell'interglaciale Würm-Riss, comprendenti limi sabbiosi, argille limose e sabbie limose, sino a 16-19 metri di profondità, seguiti dalle sabbie-limose attribuibili ai depositi sabbiosi del Riss.

Tra le progressive 69+300 e 71+800 la linea ferroviaria interseca nuovamente in superficie depositi fluviali sabbioso argillosi del Würm; in tale area sono stati eseguiti i sondaggi L3-S16, L3-S17, L3-S48, la prova SCPTU-06 e sono presenti i sondaggi bibliografici E7A515887933, E7A517187929, E7A520307900 ed E7A521127899. Il sondaggio L3-S16 individua depositi sabbioso-argillosi e ghiaiosi sino a 5 metri da p.c., seguiti da un banco di sabbie limose sino a circa 13 metri da p.c. attribuibili ai depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss, seguiti da sabbie fluviali e sabbie limose con intercalazioni argillose del Riss sino a 30 metri da p.c.. Simile stratigrafia mostrano i sondaggi L3-S17 e L3-S48, i

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>159 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	159 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	159 di 222								

quali individuano un primo sottile strato sabbioso-ghiaioso (2-3 metri di spessore), seguito da argille limose sino a 20/25 metri da p.c., e da uno strato fluviale del Riss di materiali prevalentemente sabbioso-limosi con alcuni livelli più argillosi di spessore pari a circa 15 metri, sino a 39m da p.c.. Da 39 metri sono presenti materiali argillosi ascrivibili alle argille fluviolacustri del Riss-Mindel. In quest'area è stato eseguito il profilo sismico P 3 che definisce un'unità superficiale per spessori medi di 7.0 m, con valori di velocità $V_p < 600$ m/s nei primi 2.0 m dal p.c. che incrementano fino a 1200 m/s, riferibili a materiali moderatamente addensati. Fino a tale profondità i valori di V_s si mantengono inferiori a 300 m/s. Al di sotto mediamente fino a 15.0m di profondità dal p.c., si differenzia un'unità mediana caratterizzata da velocità V_p comprese tra 1200 e 1600 m/s e V_s che da 300 m/s raggiungono i 350 m/s. Nel settore centrale i valori massimi di V_p rappresentativi dell'unità si registrano fino a profondità lievemente superiori. Alla base della sezione, si assiste ad un ulteriore incremento dei valori di V_p e V_s che rispettivamente raggiungono 1800 m/s e 400 m/s.

Tra le p.k. 71+900 e 76+130 nuovamente il profilo stratigrafico mostra la presenza di depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss, seguiti più in profondità da materiali sabbiosi del Riss. In tale area sono stati eseguiti i sondaggi L3-S18, L3-S49, L3-S19, L3-S20, L3-S21 e le prove penetrometriche CPTU-46, CPTU-06, SCPTU-07 e CPTU-07. Il primo sondaggio individua materiali limoso-sabbiosi, argille limose sino a circa 12m da p.c., seguiti da un importante spessore di sabbie e sabbie limose del Riss sino a 30m da p.c.; anche il sondaggio L3-S49 rinviene argille limose e limi argillosi fluviolacustri del Würm-Riss sino a circa 9 metri da p.c., seguiti da sabbie limose del Riss. Il passaggio tra i due materiali fluviolacustri più fini e sabbiosi appare marcato anche nella CPTU-46, a circa 11m da p.c., e nel sondaggio L3-S19, sempre a circa 9m, anche se in quest'ultimo vi è maggiore abbondanza di frazione sabbiosa nei primi metri (evidente anche dalle prove SPT che non evidenziano importanti variazioni dei valori di NSPT). Nei successivi sondaggi L3-S20 ed L3-S21 invece tale passaggio appare più marcato, con dapprima limi argillosi intercalati a sabbie sino a 9-10 metri da p.c., seguiti da sabbie limose e limoso-argillose del Riss sino a 35m da p.c.. In quest'area è stato eseguito il profilo sismico P4 che differenzia l'unità superficiale, riferibile a materiali moderatamente addensati, con valori di V_p inferiori a 600 m/s nei primi 2.0 metri di spessore che raggiungono i 1200 m/s a profondità di 7.0-8.0 m dal p.c.. I valori di V_s in tale sismo-strato si mantengono inferiori a 275 m/s. Successivamente si registra il passaggio ad un'unità intermedia con velocità V_p comprese tra 1200 e 1600 m/s e V_s tra 300 e 350 m/s. L'unità si sviluppa per spessori variabili da un massimo di 10.0 m nel tratto iniziale ad un minimo di

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	160 di 222

5.0 m nella porzione orientale della sezione. Al di sotto, a partire da una profondità di 12.0-18.0 m, si individua l'unità di fondo costituita da valori di Vp e Vs che raggiungono rispettivamente i 1800 m/s e 400 m/s. A questa unità si associano materiali maggiormente addensati.

Dalla p.k. 76+200 alla p.k. 78+430 si rileva di nuovo la presenza di depositi superficiali sabbioso-argillosi fluviali del Würm, testimoniati dal sondaggio L3-S22 sino a 5 metri da p.c., e dal sondaggio L3-S23 per un sottile spessore. Al di sotto di tali depositi il sondaggio L3-S22 individua argille limose sino a 12m da p.c., mentre il successivo sondaggio L3-S23 rileva la presenza di materiale sabbioso-limoso sino a 19m da p.c.; in entrambe le verticali poi si individua materiale sabbioso del Riss sino alla massima profondità investigata di 35 metri da p.c. La CPTU-49 rispecchia quanto individuato nel sondaggio L3-S22, ed in particolare evidenzia molto bene il passaggio tra i depositi fluviolacustri del Würm-Riss e quelli sabbiosi del Riss. In quest'area è stato eseguito il rilievo tomografico elettrico L3 tra le p.k. 76+985 e 77+220. Esso evidenzia una serie elettrostratigrafica nel complesso estesa in modo piuttosto continuo, omogeneo e regolare lungo tutto il settore indagato. I valori di resistività elettrica si mantengono costantemente inferiori a 60 ohm.m, rappresentativi di materiali con litologie fini prevalenti. Nel settore centro orientale entro i primi 10.0m di profondità dal p.c. si definiscono diffusi nuclei più conduttivi con valori di resistività elettrica < 40 ohm.m.

Proseguendo fino alla progressiva 81+000, posta in prossimità dell'intersezione con il Cavo Osone, la stratigrafia mostra la presenza di depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss in superficie con spessori che si assottigliano via via sino all'elemento idrografico. I sondaggi disponibili nell'area sono l'L3-S51, L3-S52, L-3S24, e L3-S25, oltre che la prova CPTU-09. Tutti i sondaggi mettono in evidenza la predominanza di materiali sabbioso-limosi lungo tutta la verticale, intervallati localmente da alcuni livelli più argillosi. In prossimità del cavo Osone sono presenti depositi alluvionali sabbioso-argillosi medio-recenti. Il successivo sondaggio L3-S27 intercetta un livello superficiale di depositi sabbioso-ghiaiosi fluviali, seguito da un livello argilloso-limoso sino a 10m da p.c., e da depositi sabbioso-limosi del Riss sino alla massima profondità investigata di 35m da p.c.; la CPTU-10 conferma tale profilo stratigrafico, con valori di resistenza più bassi tra 4 e 10m da p.c.. Tra le p.k. 79+850 e 80+085 è stato eseguito il profilo elettro tomografico L4. Esso differenzia, lungo lo stendimento realizzato, un settore centro-occidentale, tra 0.0 e 165 metri mediamente per spessori di 15.0 m, caratterizzato da valori di resistività elettrica compresi tra 100 ohm.m fino a 200 ohm.m, associabili ad una prevalenza di materiali a litologia

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>161 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	161 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	161 di 222								

medio – grossolane, ed un settore orientale, con valori di resistività elettrica che si riducono mediamente fino a valori di 70 ohm.m, indicativi di un verosimile passaggio a materiali con litologie prevalentemente medio-fini. Oltre i 15.0m di profondità dal p.c., con continuità ed omogeneità in tutta la sezione indagata, si registra un decremento dei valori di resistività fino a valori di 50 ohm.m, verosimilmente indicativi di un passaggio a materiali con litologie fini.

I successivi sondaggi L3-S28, L3-S53DH e L3-S29, compresi tra le progressive 82+100 ed 84+200, determinano la presenza sin dal piano campagna di depositi fluviolacustri argillosi sino a 7-10m da p.c., più evidenti nel sondaggio L3-S28, mentre nei restanti sondaggi il materiale risulta più sabbioso. A seguire si rinvencono materiali sabbioso-limosi fluviali del Riss sino alla massima profondità investigata. In quest'area è stato eseguito il profilo sismico a rifrazione P5, il quale definisce un'unità superficiale per spessori medi di 7.0 m, con valori di velocità $V_p < 600$ m/s nei primi 2.0 m dal p.c. che incrementano fino a 1200 m/s, riferibili a materiali moderatamente addensati. Fino a tale profondità i valori di V_s si mantengono inferiori a 275 m/s. Al di sotto mediamente fino a profondità di poco inferiori a 15.0 m dal p.c., si differenzia l'unità mediana caratterizzata da velocità V_p comprese tra 1200 e 1600 m/s e V_s massimi i 350 m/s, indicativa di un progressivo incremento del grado di addensamento dei materiali. Nel settore centrale i valori massimi di V_s rappresentativi dell'unità si registrano fino a profondità lievemente superiori. A maggiori profondità si registra un ulteriore incremento dei valori di V_p e V_s che rispettivamente raggiungono valori massimi di 1700 m/s e 400 m/s.

I sondaggi L3-S30, L3-S31, L3-S54, le prove CPTU-11, SCPTU-09 sono stati eseguiti in un'area nella quale affiorano i depositi fluviali del Würm sabbioso-argillosi. Al di sotto di uno spessore di massimo 4 metri di tali depositi si rinvencono nuovamente depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss sino a 10-12m da p.c., seguiti da sabbie limose fluviali del Riss sino a 30m da p.c.. Tra le p.k. 85+515 e 85+750 è stato eseguito il rilievo tomografico elettrico L5. Esso evidenzia una serie elettrostratigrafica continua e regolare lungo tutto il settore indagato, con valori di resistività elettrica che si mantengono costantemente inferiori a 70 ohm.m per spessori dell'ordine di almeno 25.0m. Nel dettaglio esso differenzia un'unità superficiale conduttiva caratterizzata da valori di resistività elettrica inferiori a 60 ohm.m, per spessori medi di 20.0 m riferibili a materiali fini prevalenti, ed un'unità basso resistiva di fondo definita da un graduale incremento dei valori di resistività elettrica fino a valori massimi di 70 ohm.m, associabili a materiali con litologie medio- fini prevalenti.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>162 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	162 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	162 di 222								

Infine, dalla p.k. 86+630 fino a fine tratta (stazione di Mantova), i rimanenti sondaggi L3-S32, L3-S33, e L3-S55, e le prove SCPTU-10 CPTU-12 mostrano uno strato superficiale limoso argilloso con uno spessore massimo di 10 metri che tende ad assottigliarsi procedendo verso Mantova raggiungendo lo spessore di circa 4 metri. Al di sotto di questo materiale fine si incontra, fino alla profondità investigata, un deposito spesso di materiale più grossolano costituito da sabbia con scarsa presenza di materiale fine, riconducibile ai depositi fluviali dell'interglaciale Riss (F(r)).

9.1 MODELLO GEOLOGICO DELLE AREE DELLE PRINCIPALI OPERE D'ARTE

Nel presente paragrafo si fornisce il modello geologico di riferimento relativo a ciascuna area in cui ricadono le principali opere d'arte in progetto. Le sezioni geologiche elaborate in corrispondenza delle opere, trasversalmente alla linea ferroviaria, sono riportate negli elaborati grafici da NM2500D69F6GE0001001A a NM2500D69F6GE0001013A. Si riporta inoltre l'indicazione relativa alla soggiacenza minima rilevata durante il monitoraggio 2019-2020 nei piezometri più prossimi alle opere.

NV22 – Cavalcaferrovia p.k.56+514

Il cavalcaferrovia è localizzato in prossimità di Piadena, in un'area dominata superficialmente da fluviolacustri argillosi dell'interglaciale Würm-Riss. Presso l'opera sono stati realizzati i sondaggi L3-S1, L3-S02 e la CPTU01. Le indagini evidenziano un primo livello argilloso limoso sino a circa 7m da p.c., seguito da depositi sabbioso limosi e limoso sabbiosi sino a 18 metri in L3-S1 e sino a 15 metri in L3-S2. Si associano tali materiali ai depositi fluviali sabbiosi del Riss. In L3-S1 a partire da 18 metri sono presenti depositi argillosi e argilloso-limosi associabili alle argille fluviolacustri del Riss-Mindel.

Per quanto concerne la falda, nel mese di novembre 2019, essa è stata individuata nel piezometro L3-S1 a 4.31 da p.c.. e nel piezometro L3-S2 a 3.95 m da p.c..

NV 23 – Cavalcaferrovia 59+573 (LS)

Il cavalcaferrovia è localizzato tra Piadena e Bozzolo, in un'area dominata superficialmente da depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm, in prossimità di un'area a prevalenza di materiali fluviolacustri argillosi. Presso l'opera è stata realizzata la SCPTU2, la quale evidenzia, al di sotto di un primo strato di materiale sabbioso e compattato, limi argillosi e argille limose sino a circa 5 metri da p.c., seguiti da

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>163 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	163 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	163 di 222								

sabbie e sabbie limose sino a 12 metri da p.c., nuovamente da argille limose sino a 14.5 metri, da sabbie limose sino a 16.5 metri, ed infine nuovamente da argille limose con intercalazioni sabbiose sino a 20 metri da p.c..

Non si hanno dati piezometrici di dettaglio in prossimità dell'opera, tuttavia, considerando i dati a disposizione lungo la linea ed i dati bibliografici è possibile ipotizzare la presenza della falda tra i 3 ed i 4 metri da p.c.. Il piezometro più prossimo all'area è il L3-S4, che ha restituito, nel mese di novembre 2019, un valore di soggiacenza di 3.48 m da p.c..

NV 24 – Cavalcaferrovia 64+080

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Bozzolo, in un'area dominata superficialmente da depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm, in prossimità della fascia dominata dai depositi alluvionali recenti del fiume Oglio. Presso l'opera sono stati eseguiti i sondaggi L3-S8 e L3-S42. Entrambi i sondaggi individuano un primo livello di materiale sabbioso limoso con locale presenza di ghiaia ed argilla sino a profondità comprese tra 5 e 6 metri da p.c., e riferibile ai depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm, seguito da depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss sino a 17-18 metri da p.c.. Infine, sino alla massima profondità investigata di 35m da p.c., sono presenti materiali sabbioso-limosi riferibili ai depositi fluviali del Riss.

La falda è stata individuata, nel mese di gennaio 2020, a 2.00 m da p.c. nel piezometro L3-S8, e a 0.82 m da p.c. nel piezometro L3-S42.

NV 25 – Cavalcaferrovia 65+363

Il cavalcaferrovia è localizzato tra Bozzolo e Marcaria, in un'area dominata superficialmente dai depositi alluvionali recenti sabbioso-argillosi del fiume Oglio. Presso l'opera sono state realizzate le prove CPTU-04, SCPTU-04 ed il sondaggio L3-S44. Il sondaggio individua, al di sotto di un primo strato superficiale sabbioso compattato, di argille limose e limi argillosi sino a 5.5m da p.c., seguiti da sabbie limose sino a 12m da p.c. (materiali riferibili ai depositi alluvionali recenti del fiume Oglio), da uno strato di argille limose sino a 14.5m da p.c., da una fitta alternanza di materiali sabbioso limosi e argilloso-limosi sino a 22m da p.c., ed infine da sabbie limose sino a 35m da p.c. riferibili ai depositi fluviali del Riss. La CPTU-04 conferma la presenza di materiale argilloso superficiale, sino a 3.5m da p.c, seguito da materiale

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>164 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	164 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	164 di 222								

sabbioso sino a circa 11m, da uno strato argilloso-limoso sino a 14m da p.c., nuovamente da sabbie sino a circa 17m da p.c., e da argille limose sino a 20 m da p.c..

La falda è stata rilevata presso il piano campagna nel piezometro L3-S9 in tutte le campagne di monitoraggio, mentre nel piezometro L3-S44 nel mese di novembre 2019 a 1.49 metri da p.c..

NV 26 – Cavalcaferrovia 68+187

Il cavalcaferrovia è localizzato tra il fiume Oglio e l'abitato di Marcaria, in un'area dominata superficialmente da depositi sabbioso-argillosi fluviali del Würm e da depositi fluviolacustri argillosi del Würm-Riss. Presso l'opera sono stati realizzati sondaggi L3-S14, L3-S46 e la CPTU-05. Il sondaggio L3-S14 individua un primo livello sabbioso-limoso sino a circa 7m da p.c., non individuato dalla prova CPTU-05, la quale identifica sin dalla superficie materiali più marcatamente argillosi, così come per il sondaggio L3-S46, il quale mostra la presenza di materiale limoso sabbioso da piano campagna fino a 20m di profondità. Entrambi i sondaggi, dai 18-20m mostrano un materiale sabbioso limoso fino alle massime profondità investigate. La prova CPTU-05 invece tra i 7 ed i 10m individua materiale sabbioso, seguito da materiale argilloso con alcuni livelli sabbiosi sino a circa 15m da p.c., ed infine nuovamente da sabbie e sabbie limose sino a 20m da p.c..

La falda è stata rilevata, nel mese di gennaio 2020, a 3.46m da p.c. nel piezometro L3-S14.

NV 27 – Sottovia 69+650

Il sottovia è localizzato presso l'abitato di Marcaria, in un'area dominata superficialmente da depositi fluviali del Würm, da depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss e marginalmente da depositi alluvionali recenti del fiume Oglio. Presso l'opera sono stati realizzati il sondaggio L3-S15 e la CPTU-06. Le verticali hanno individuato sino a 4-6m da p.c. la prevalenza di depositi sabbioso-limosi, seguiti da uno strato argilloso-limoso sino a 8-9m da p.c., nuovamente da sabbie limose sino a 14-17m da p.c., e da uno strato argilloso sino a 18-20m da p.c.; tali depositi vengono riferiti ai depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss. Il sondaggio infine individua sino a 35 metri da p.c. sabbie limose fluviali del Riss.

La falda, nel mese di novembre 2019, è stata individuata nel piezometro L3-S15 a 3.98 m da p.c..

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>165 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	165 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	165 di 222								

NV 28 – Cavalcaferrovia 74+767

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Ospitaletto, in un'area dominata superficialmente da depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss. Presso l'opera sono stati realizzati il sondaggio L3-S20 e le prove CPTU-07, SCPT-07. Tutte le verticali hanno individuato, al di sotto di un primo livello sabbioso, depositi limoso sabbiosi e argillosi fluviolacustri, sino a profondità di 9-10m da p.c., seguiti da materiali sabbioso limosi sino alle massime profondità investigate e riferibili alle sabbie fluviali del Riss.

La falda, nel mese di novembre 2019, è stata rilavata a 1.53 m da p.c. nel piezometro L3-S20.

NV 29 – Cavalcaferrovia 76+184

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Ospitaletto, in un'area dominata superficialmente da depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss. Presso l'opera è stato realizzato il sondaggio L3-S50, e la prova CPTU-S43. I sondaggi hanno evidenziato la presenza di depositi limoso argillosi al di sotto di sabbie superficiali, sino a profondità variabili tra i 6 ed i 9 metri da p.c., ed attribuibili, appunto, ai depositi fluviolacustri argillosi dell'interglaciale Würm-Riss. Al di sotto di tali depositi si individuano materiali sabbioso-limosi riferibili al fluviale del Riss.

La falda, nel mese di novembre 2019, è stata rinvenuta a 0.89m da p.c. nel sondaggio L3-S50.

NV 30 – Cavalcaferrovia 78+061

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Castellucchio, in un'area dominata superficialmente da depositi fluviali del Riss, ed in prossimità di aree ove affiorano sia depositi fluviolacustri, sia depositi alluvionali recenti. Presso l'opera sono stati realizzati L3-S23 e la CPTU-08. Le indagini evidenziano la presenza di alcuni metri di materiale argilloso-limoso (più spesso nella prova CPTU-08, dove esso viene rinvenuto sino a circa 5 metri da p.c.), seguito da materiale più marcatamente sabbioso-limoso, individuato sino a 17-18 metri, ove uno livello argilloso di circa 2m di spessore, lascia poi il posto a depositi sabbiosi fluviali del Riss sino alla massima profondità investigata.

La falda, nel mese di novembre 2019, è stata rilevata nel piezometro L3-S23 a 1.72 metri da p.c..

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>166 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	166 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	166 di 222								

NV 31 – Cavalcaferrovia 79+398

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Castellucchio, in un'area dominata superficialmente da depositi fluviali del Riss, ed in prossimità di aree ove affiorano sia depositi alluvionali recenti relativi al Cavo Osone. Presso l'opera sono stati realizzati i sondaggi L3-S24, L3-S52 e la CPTU09. Tutte le verticali di indagine evidenziano, al di sotto di un primo strato sabbioso a matrice argilloso-limosa di circa 3 metri di spessore, la presenza continua sino alle massime profondità investigate di sabbie limose, localmente con presenza di ciottoli.

La falda è stata rilevata nel mese di novembre 2019 alla profondità di 3.64 nel piezometro L3-S24, e a 3.4 metri da p.c.. nel piezometro L3-S52.

NV 32 – Cavalcaferrovia 82+088

Il cavalcaferrovia è localizzato ad est del Cavo Osone, in un'area dominata superficialmente in parte da depositi fluviali del Würm, ed in parte da depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss. Presso l'opera sono stati realizzati il sondaggio L3-S27 e la CPTTU-10. In particolare, le verticali evidenziano la presenza di materiale fluviale del Würm di natura sabbioso-ghiaiosa, sino a 4-5m da p.c., seguito da materiale argilloso limoso con intercalazioni sabbiose sino a 9-10m da p.c. e riferibile ai depositi fluviolacustri, ed infine a materiali fluviali sabbioso-limosi con intercalazioni argillose sino a 35 metri da p.c..

La falda è stata rilevata, nel mese di marzo 2020, a 3.83m da p.c. nel piezometro L3-S27.

NV 33 – Cavalcaferrovia 84+555

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Mantova, in un'area dominata superficialmente in parte da depositi fluviali del Würm. Presso l'opera sono stati realizzati il sondaggio L3-S30 e la CPTU-11. Il sondaggio individua, sino a 3m da p.c., un primo livello sabbioso riferibile ai depositi fluviali del Würm, seguito da materiale sabbioso limoso fluviolacustre sino a 11m da p.c.. Successivamente, esso rinviene nuovamente materiale sabbioso-limoso (fluviale del Riss), sino alla massima profondità investigata. La prova CPTU-11 si spinge solo poco oltre i 3 metri da p.c., individuando materiale principalmente sabbioso.

La falda è stata rilevata, nel mese di gennaio 2020, a 4.91 metri da p.c. nel piezometro L3-S30.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>167 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	167 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	167 di 222								

NV 34 – Cavalcaferrovia 87+685

Il cavalcaferrovia è localizzato presso Mantova, in un'area dominata superficialmente in parte da depositi fluviolacustri dell'interglaciale Würm-Riss. Presso l'opera sono stati realizzati il sondaggio L3-S33 e la CPTU-12. Essi individuano sino a circa 7 metri da p.c. depositi limoso-sabbiosi e argilloso-limosi fluviolacustri, seguiti da depositi sabbioso-limosi fluviali del Riss sino alla massima profondità investigata.

La falda è stata rilevata nel mese di gennaio 2020 a 6.95 metri da p.c.. nel piezometro L3-S33.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>168 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	168 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	168 di 222								

9.2 DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELLA COMPONENTE IDROGEOLOGICA E IDROGRAFICA

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 da NM2503D69G5GE0002001A a NM2503D69G5GE0002008A), ed una serie di profili trasversali alla linea in corrispondenza di opere oggetto di progettazione quali cavalcaferrovia e sottopassi (elaborati da NM2503D69G5GE0002001A a NM2503D69G5GE0002023A). I profili idrogeologici riportano la permeabilità dei materiali presenti lungo il tracciato ferroviario e la quota della falda rilevata durante la campagna di monitoraggio piezometrico (paragrafo 0).

A livello generale tutta l'area, data l'alternanza di materiali prevalentemente sabbioso-limosi e materiali prevalentemente argilloso-limosi, risulta caratterizzata superficialmente da aree dominate da depositi a media permeabilità e aree dominate da depositi a bassa permeabilità. In profondità generalmente prevalgono i depositi a media permeabilità. In prossimità dei due elementi idrografici maggiori, ovvero il fiume Oglio ed il Cavo Osone, si individuano depositi a permeabilità maggiore, vista la presenza di materiali recenti ed attuali a granulometria generalmente più grossolana.

Analizzando dunque i profili è possibile osservare come:

- a partire da inizio tratta e sino alla p.k. 57+300 prevalgono in superficie i depositi a permeabilità bassa sino a 8-10 metri da p.c., seguiti in profondità da un livello a permeabilità media sino a 15 metri, e di nuovo a depositi a bassa permeabilità sino alla massima profondità investigata; le prove Lefranc, eseguite nel primo livello a bassa permeabilità confermano valori di k tra $4E-07$ e $9E-08$ m/s.
- Tra la p.k. 57+300 e la p.k. 59+900 prevalgono in superficie depositi a permeabilità media per spessori generalmente compresi tra i 2 ed i 5 metri, seguiti da depositi a permeabilità bassa sino a profondità variabili tra i 12 ed i 25 metri da p.c., e di nuova da depositi a permeabilità media sino a 30 metri da p.c.. I sondaggi L3-S4 ed L3-S34 individuano poi nuovamente al di sotto di tale profondità materiali a bassa permeabilità. Le prove di permeabilità eseguita hanno restituito

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	169 di 222

valori di permeabilità tra 3.6E-05 e 2.6E-06 per quanto concerne i depositi a permeabilità media e 1.7E-07 e 5.8E-08 per quanto concerne i depositi a permeabilità bassa. Valori localmente più elevati 1.5E-05 e 3.7E-05 sono risultati all'interno dei depositi a bassa permeabilità. Va sottolineato come tali prove siano state eseguite in livelli particolarmente sabbiosi.

- Tra la p.k. 59+900 e la p.k. 63+400 prevalgono nuovamente in superficie depositi a bassa permeabilità con spessori tipicamente compresi tra 15 e 22 metri. Al di sotto sono presenti depositi a permeabilità media sino a profondità variabili tra 26 metri e le massime profondità investigate, localmente seguiti da depositi a bassa permeabilità come in L3-S40. Le prove Lefranc eseguite hanno restituito valori di permeabilità tipicamente compresi tra 2E-06 e 5.8E-07 m/s per i depositi a bassa permeabilità; alcune prove anche in questo caso eseguite in livelli e lenti sabbiosi, hanno restituito localmente valori di permeabilità superiori.
- Tra le p.k. 63+400 e 68+300 prevalgono in superficie, dapprima, depositi a permeabilità media sino a circa 9 metri da p.c., seguiti, nell'area del fiume Oglio, da depositi a permeabilità elevata sino a circa 15 metri da p.c., e di nuovo da depositi a permeabilità media. Più in profondità si ha la presenza di livelli discontinui di depositi a bassa permeabilità per spessori di 5-7m, seguiti da materiali a permeabilità media. Le prove di permeabilità eseguite hanno evidenziato valori di k tra 4.2E-05 e 9.5E-06 m/s nei depositi a permeabilità media, e tra 1.0E-05 e 4.9E-07 m/s nei depositi a permeabilità elevata. I valori di permeabilità più bassi anche in questo caso, si riferiscono a livelli particolarmente argillosi di materiale.
- Tra le p.k. 68+300 e 69+700 sono presenti depositi a bassa permeabilità fino a 16-19 metri da p.c., seguiti da materiali a permeabilità media sino alla massima profondità investigata. Le prove Lefranc eseguite hanno restituito valori di permeabilità compresi tra 5.1E-06 e 8.4E-08. Si evidenzia nuovamente come alcuni valori di permeabilità media siano da riferirsi a livelli particolarmente sabbiosi.
- Tra le p.k. 69+700 e 71+800 è presente in superficie un livello di depositi a permeabilità media seguito da materiali a bassa permeabilità per un limitato spessore, e nuovamente depositi a media permeabilità sino alla massima profondità investigata. Il sondaggio L3-S48 individua a profondità superiore ai 40 metri da p.c. materiali argillosi a bassa permeabilità. Le prove di

permeabilità eseguite hanno restituito valori di k di $6.2E-06$ e $1.9E06$ m/s nei depositi a permeabilità media.

- Tra le p.k. 71+800 e e 76+200 sono nuovamente presenti in superficie depositi a bassa permeabilità sino a 9-11 metri da p.c.. Al di sotto di tali depositi si rinvencono nuovamente materiali a media permeabilità. Le prove Lefranc realizzate hanno restituito valori di k compresi tra $9.8E-07$ e $4.0E-05$ (quest'ultimo valore riferito ad un livello sabbioso).
- L'assetto precedentemente descritto prosegue sino alla p.k. 78+600, tuttavia con la presenza di un sottile livello superficiale di materiali a permeabilità media al di sopra di quelli a bassa permeabilità. Le prove Lefranc eseguite forniscono valori di k di $4E-04$ e $7.5E-05$ m/s nel primo livello a permeabilità media.
- A seguire, nell'area posta in prossimità dell'alveo del Cavo Osone (p.k. 80+900), si individua un sottile strato superficiale a bassa permeabilità, seguito sino alle massime profondità investigate da depositi a permeabilità media. Le prove di permeabilità realizzate restituiscono valori di k compresi tra $1.2E-05$ e $2.3E-06$ m/s.
- All'area alluvionale del Cavo Osone, superficialmente, viene assegnata una classe di permeabilità elevata, considerata la presenza di materiali alluvionali attuali a granulometria più grossolana delle adiacenti aree. Tuttavia, non sono presenti sondaggi o prove in tale area che forniscano dati numerici di permeabilità.
- A partire dall'alveo del Cavo Osone e fino alla fine della tratta ferroviaria in progetto si individua un assetto piuttosto costante, ovvero la presenza di un primo livello a bassa permeabilità, rinvenibile sino a profondità variabili tra i 4 e gli 11 metri da p.c., seguito da depositi a permeabilità media sino alle massime profondità investigate. Superficialmente il livello a bassa permeabilità viene sovrastato in alcune aree da depositi a permeabilità media, ovvero tra le p.k. 81+200 e 82+100, e tra le p.k. 84+000 e 86+600. Le prove di permeabilità a disposizione in questa area restituiscono valori di k compresi tra $1.1E-04$ m/s nei depositi a permeabilità media, e $2.2E-07$ m/s nei depositi a bassa permeabilità.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>171 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	171 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	171 di 222								

Campagna di monitoraggio idrogeologico 2019-2020

Tra settembre e novembre 2019 n.47 dei n.55 sondaggi realizzati sono stati attrezzati con piezometri per il monitoraggio della falda lungo la linea ferroviaria Piadena Mantova. I piezometri sono sia di tipo Casagrande (n.19 a doppia cella e n.11 a cella unica), sia di tipo a tubo aperto (n.17). A valle dell'installazione, a partire da settembre 2019, è iniziata una campagna di monitoraggio quantitativo della falda atta ad ottenere dati inerenti alle oscillazioni della falda stessa in prossimità delle maggiori opere in progetto.

In Allegato C è riportata una tabella con i dati di soggiacenza registrati sino al mese di marzo 2020. Considerati i dati a disposizione e le informazioni bibliografiche riportate nel paragrafo 4.6, è possibile dedurre che nel periodo compreso all'inizio del periodo di monitoraggio considerato nel presente studio (settembre-marzo) la prima falda presente nel settore di pianura considerato, risulterebbe in progressiva tendenza verso il periodo di magra corrispondente ai mesi invernali.

Analizzando dunque i dati disponibili e confrontandoli con i dati bibliografici e le informazioni disponibili è possibile osservare quanto segue:

- Il piezometro S1, posto in prossimità della p.k. 56+460, registra valori piezometrici compresi tra +25.46 e +26.99 m s.l.m. (cella 1) e +25.40 e +26.16 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda di 44cm nella prima cella e 3cm nella seconda, mentre, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 153 cm nella prima cella e 46 cm nella seconda, un abbassamento tra novembre e gennaio di 15 cm tra novembre e gennaio per la cella 1, mentre la cella 2 registra un aumento di 30 cm, si registra poi un leggero abbassamento in entrambe le celle tra gennaio e febbraio, di 5cm per la prima e di 2cm per la seconda, infine tra febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento in entrambe le celle di 12 cm nella prima e di 16cm nella seconda.
- Il piezometro S2, posto in prossimità della p.k. 56+700, registra valori piezometrici compresi tra +25,40 e +27,20 m s.l.m. (cella 1) e +25,18 e +25,84 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda in entrambe le celle di 50cm per la prima e di 17cm per la seconda, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	172 di 222

falda di 180 cm per la cella 1 e di 66 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 7 e 3 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio vi è un leggero abbassamento di 1cm per la prima cella e di 4cm per la seconda, infine tra i mesi di febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento di 20cm per la prima cella e di 10cm per la seconda cella.

- Il piezometro S3, posto in prossimità della p.k. 57+300, registra valori piezometrici compresi tra +25,42 e +27,67 m s.l.m. (cella 1) e +25,40 e +26,79 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento di falda di 23cm per la prima cella e di 20cm per la seconda cella, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 225 cm per la cella 1 e 139 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 21 e 16 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra una lieve diminuzione del livello di falda di 3cm per la prima cella e di 11cm per la seconda, infine tra i mesi di febbraio e marzo si registra una leggera diminuzione nella cella 1 di 8cm mentre si registra un lieve aumento di 2 cm nella cella 2.
- Il piezometro S4, posto in prossimità della p.k. 58+050, registra valori piezometrici compresi tra +24,83 e +25,32 m s.l.m.; tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda di 32cm, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 49 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 5 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un lieve aumento di 3cm del livello di falda, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento del livello di falda di 18cm.
- Il piezometro S5, posto in prossimità della p.k. 60+100, registra valori piezometrici compresi tra +26,39 e + 28,00 m s.l.m. (cella 1) e tra +25,32 m e +26,53 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda di 66cm per la prima cella e di 23cm per la seconda, tra i mesi di tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 161 cm per la cella 1 e 121 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 34 e 32 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un leggero aumento del livello di falda di 1cm nella cella 1 e una leggera diminuzione nella cella 2

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	173 di 222

di 1cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un abbassamento in entrambe le celle di 33 cm per la prima e di 9 cm per la seconda.

- Il piezometro S6, posto in prossimità della p.k. 61+200, registra valori piezometrici compresi tra +25,29 e +27,19 m s.l.m. (cella 1) e tra +24,09 e +24,99 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre di registra un abbassamento del livello di falda di 31cm nella cella 1 e di 33cm nella cella 2, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 190 cm per la cella 1 e 90 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 32 e 16 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 2cm nella cella 1 mentre la cella 2 rimane stabile, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un abbassamento in entrambe le cella, di 6cm nella prima e di 15 nella seconda.
- Il piezometro S7, posto in prossimità 62+230, registra valori piezometrici compresi tra +25,84 e +27,38 m s.l.m. (cella 1) e tra +25,47 e +26,61 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda di 56cm nella prima cella e di 38 cm nella seconda cella, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 154 e 69 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 143 cm per la cella 1 ed un aumento di 45 cm per la cella 2, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un lieve abbassamento di 7cm nella cella 1 e di 11cm nella cella 2, infine, nei mesi tra febbraio e marzo si registra un lieve abbassamento di 4cm nella cella 1 e di 1cm nella cella 2.
- Il piezometro S8, posto in prossimità della p.k. 64+000, registra valori piezometrici compresi tra +23,51 e +23,70 m s.l.m. (cella 1) e tra +22,83 e +23,26 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento del livello di falda di 16cm nella cella 1 e di 17cm nella cella 2, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 5 cm (cella 1) e 43 cm (cella 2), tra i mesi di novembre e gennaio un aumento di 6 cm per la cella 1 e una diminuzione di 3 cm per la cella 2, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un lieve abbassamento di 3cm nella cella 1 mentre vi è un lieve aumento di 1 cm nella cella 2.
- Il piezometro S9, posto in prossimità della p.k. 65+100, registra valori piezometrici di poco superiori alla quota di piano campagna per tutte le campagne di misura, evidenziando la presenza di un acquifero in pressione.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	174 di 222

- Il piezometro S10 registra valori piezometrici compresi tra +22,79 e +23,99 m s.l.m.; tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento della linea di falda di 51cm, tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 120 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento del livello di falda di 2cm, mentre, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un lieve aumento di 1cm.
- Il piezometro S11, posto in prossimità della p.k. 66+700, registra valori piezometrici pari alla quota di piano campagna per tutte le campagne di misura.
- Il piezometro S12, posto in prossimità della p.k. 67+200, registra valori piezometrici compresi tra +21,00 e +22,48 m s.l.m. (cella 1) e +21,15 e +23,14 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e il mese di ottobre si registra un innalzamento della linea di falda di 124cm nella cella 1 e di 44cm nella cella 2, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 24 cm per la cella 1 e 155 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione in entrambe le celle di 10 cm così come tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 2cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento di 5cm nella cella 1 e di 15cm nella cella 2.
- Il piezometro S14, posto in prossimità della p.k. 68+030, registra valori piezometrici compresi tra +22,17 e +22,60 (cella 1) e +20,03 e +21,90 (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si registra un abbassamento della linea di falda di 7cm nella cella 1 e di solo 1 cm nella cella 2, tra i mesi di ottobre e novembre si registra una diminuzione del livello di falda di 3 cm per la cella 1 e di 149 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio un aumento di 4 cm per la cella 1 ed una diminuzione di 2 cm per la cella 2, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 5cm nella cella 1 e di solamente 1cm nella cella 2, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento di 32cm nella cella 1 e di 34cm nella cella 2.
- Il piezometro S15, posto in prossimità della p.k. 69+500, registra valori piezometrici compresi tra +22,20 e +22,97 m s.l.m. (cella 1) e tra +22,01 e +22,98 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si è registrato un lieve innalzamento del livello di falda di 1cm nella cella 1 mentre nella cella 2 si è registrato un abbassamento di 9cm, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 76 cm per la cella 1 e 97 cm per la cella 2, tra i mesi di

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	175 di 222

novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 3 e 6 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un lieve abbassamento di 6cm nella cella 1 e di 3cm nella cella 2, non è stato invece possibile effettuare la misura nel mese di marzo in quanto il piezometro non è stato trovato.

- Il piezometro S16, posto in prossimità della p.k. 70+350, registra valori piezometrici compresi tra +23,40 e +24,90 m s.l.m. (cella 1) e tra +21,909 e +23,199 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre non sono state registrate grosse variazioni del livello di falda se non nella cella 2 dove si è notato un lieve abbassamento di 1cm, mentre, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 150 cm per la cella 1 e 129 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 58 e 39 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato in entrambe le celle un abbassamento di 3cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 27cm nella cella 1 e di 32cm nella cella 2.
- Il piezometro S17, posto in prossimità della p.k. 71+350, registra valori piezometrici compresi tra +21,57 e +22,50 m s.l.m. (cella 1) e tra +21,86 e +22,96 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di settembre e ottobre si è registrato un abbassamento del livello di falda 18cm nella cella 1 e di 19cm nella cella 2, tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 93 cm per la cella 1 e 110 cm per la cella 2, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione rispettivamente di 8 e 27 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 3cm nella cella 1 e di 11cm nella cella 2, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 20cm nella cella 1 e di 10cm nella cella 2.
- Il piezometro S18, posto in prossimità della p.k. 72+350, registra valori piezometrici compresi tra +22,15 e +26,25 m s.l.m.; tra i mesi di settembre e ottobre si è registrato un innalzamento del livello di falda di 118 cm, tra i mesi di ottobre e gennaio si registra una diminuzione del livello di falda di 36 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 7cm mentre, tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento del livello di falda è stato di altri 20cm.
- Il piezometro S19, posto in prossimità della p.k. 73+330, registra valori piezometrici compresi tra +22,34 e +23,81 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	176 di 222

livello di falda di 147 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 24 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un lieve abbassamento di 1cm mentre, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un ulteriore abbassamento di 42cm.

- Il piezometro S20, posto in prossimità della p.k. 74+850, registra valori piezometrici compresi tra +22,55 e +23,07 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 52 cm. Non sono state effettuate misure nei mesi successivi.
- Il piezometro S21, posto in prossimità della p.k. 75+650, registra valori piezometrici compresi tra +22,70 e +23,74 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 91 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 13 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 7cm mentre nel mese di marzo si registra un ulteriore abbassamento di 21cm.
- Il piezometro S22, posto in prossimità della p.k. 77+000, registra valori piezometrici compresi tra +23,94 e +24,40 m s.l.m. (cella 1) e tra +22,79 e +23,64 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 46 cm per quanto riguarda la cella 1, mentre per quanto riguarda la cella 2 una diminuzione di 19 cm tra ottobre e novembre, seguita da un aumento di 85 cm tra novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 5cm nella cella 1, che rimarrà costante anche nel mese di marzo, e di 12cm nella cella 2 che nel mese di marzo registrerà un ulteriore abbassamento di solamente 1cm.
- Il piezometro S23, posto in prossimità della p.k. 78+000, registra valori piezometrici compresi tra +23,04 e +23,68 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 28 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 23 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento del livello di falda di 8cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un abbassamento di 33 cm.
- Il piezometro S24, posto in prossimità della p.k. 79+600, registra valori piezometrici compresi tra +21,30 e +21,86 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 56 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 5 cm, tra i mesi di

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	177 di 222

gennaio e febbraio di registra un abbassamento del livello di falda di 10cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un abbassamento di 7cm.

- Il piezometro S25, posto in prossimità della p.k. 80+600, registra valori piezometrici compresi tra +20,65 e +20,93 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra una diminuzione del livello di falda di 20 cm, tra i mesi di novembre e gennaio un aumento di 28 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 11cm, infine, tra febbraio e marzo si registra un abbassamento di 5cm.
- Il piezometro S26, posto in prossimità della p.k. 81+550, registra valori piezometrici compresi tra +19,59 e +19,94 m s.l.m.; tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 35 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 8cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo si registra un abbassamento di 16cm.
- Il piezometro S27, posto in prossimità della p.k. 82+030, registra valori piezometrici compresi tra +20,03 e +20,86 m s.l.m. (cella 1) e tra +19,43 e +19,62 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 81 cm per la cella 1 e di 19 cm per la cella 2, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 8cm nella cella 1 e di 7cm nella cella 2, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si registra un innalzamento del livello di falda di 10cm nella cella 1 e di 7cm nella cella 2.
- Il piezometro S28, posto in prossimità della p.k. 82+900, registra valori piezometrici compresi tra +17,63 e +21,19 m s.l.m. (cella 1) e tra +18,06 e +19,31 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 356 cm per la cella 1 e 125 cm per la cella 2, mentre tra novembre e gennaio si registra una diminuzione rispettivamente di 9 e 5 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 9cm nella cella 1 e un abbassamento di 4cm nella cella 2, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 13cm nella cella 1 e di 24cm nella cella 2.
- Il piezometro S29, posto in prossimità della p.k. 83+930, registra valori piezometrici compresi tra +18,77 e +19,29 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	178 di 222

livello di falda di 50 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento di 7cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un innalzamento di 9cm.

- Il piezometro S30, posto in prossimità della p.k. 84+630, registra valori piezometrici compresi tra +18,87 e +19,38 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 51 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 2cm mentre, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 14cm.
- Il piezometro S31, posto in prossimità della p.k. 85+750, registra valori piezometrici compresi tra +19,45 e +20,37 m s.l.m. (cella 1) e tra +18,54 e +19,36 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 92 cm per la cella 1 e di 82 cm per la cella 2, mentre tra novembre e gennaio si registra una diminuzione rispettivamente di 3 e 9 cm, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un abbassamento di 6cm nella cella 1 e di 3 cm nella cella 2, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 14cm nella cella 1 e di 16cm nella cella 2.
- Il piezometro S32, posto in prossimità della p.k. 87+000, registra valori piezometrici compresi tra +17,63 e +18,42 m s.l.m. (cella 1); tra i mesi di ottobre e novembre si registra un aumento del livello di falda di 79 cm, tra i mesi di novembre e gennaio una diminuzione di 1 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento del livello di falda di 4cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 28cm.
- Il piezometro S33, posto in prossimità della p.k. 87+700, registra valori piezometrici compresi tra +16,23 e +17,45 m s.l.m. (cella 1) e tra +16.16 e +17.58 m s.l.m. (cella 2); tra i mesi di ottobre e gennaio si registra un aumento del livello di falda di 122 cm per la cella 1 e di 142 cm per la cella 2, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 4cm nella cella 1 e di 3cm nella cella 2, tra i mesi di febbraio e marzo, infine, si è registrato un ulteriore abbassamento di 19cm nella cella 1 e di 17cm nella cella 2.
- Il piezometro S35, posto in prossimità della p.k. 55+330, registra valori piezometrici compresi tra 28.62 e 29,34 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 31 del cm tra novembre e

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	179 di 222

dicembre, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra invece un abbassamento di 12cm e tra i mesi di febbraio e marzo un ulteriore abbassamento di 29cm.

- I piezometri S36 e S37, posti in prossimità di della p.k. 59+130, non sono stati monitorati nel periodo tra ottobre 2019 e marzo 2020.
- Il piezometro S38, posto in prossimità della p.k. 60+670, registra valori piezometrici compresi tra +27,08 m s.l.m. e 27,38 m s.l.m., con una diminuzione tra novembre e gennaio di 18 cm, mentre tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un lieve abbassamento di 4cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un ulteriore abbassamento di 8cm.
- Il piezometro S39, posto in prossimità della p.k. 61+730 registra valori piezometrici compresi tra +25,92 e +26,87, con una diminuzione del livello di falda di 48 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece si è registrato un abbassamento di 8 cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 39 cm.
- Il piezometro S41, posto in prossimità della p.k. 63+800, registra valori piezometrici compresi tra +24,28 e +24,45, con un aumento del livello di falda di 4 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece si è registrato un abbassamento di 3 cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 14cm.
- Il piezometro S42, posto in prossimità della p.k. 64+200, registra valori piezometrici compresi tra +21,73 e +21,93 m s.l.m., con un aumento del livello di falda di 6 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece si è registrato un abbassamento di 4cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo è stato di 15 cm.
- Il piezometro S44, posto in prossimità della p.k. 65+520, registra valori piezometrici compresi tra +21,05 m s.l.m. e +21,61 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 30 cm, tra i mesi di gennaio e febbraio invece si è registrato un abbassamento di 2 cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo è stato di 24 cm.
- Il piezometro S45, posto in prossimità della p.k. 66+230, registra valori piezometrici compresi tra +20,66 m s.l.m. e +20,97 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 6 cm tra i mesi di

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	180 di 222

novembre e gennaio, mentre, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 4 cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un abbassamento di 21 cm.

- Il piezometro S46, posto in prossimità 68+350, non è stato monitorato nel periodo tra ottobre 2019 e marzo 2020.
- Il piezometro S47, posto in prossimità della p.k. 69+130, registra valori piezometrici compresi tra +22,07 m s.l.m. e +22,69 m s.l.m., con un aumento del livello di falda di 62 cm tra i mesi di novembre e gennaio, mentre, tra i mesi di gennaio e febbraio si registra un abbassamento del livello di falda di 2cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 13 cm.
- Il piezometro S48, posto in prossimità della p.k. 71+230, registra valori piezometrici compresi tra +22,07 m s.l.m. e +22,14 m s.l.m., con un aumento del livello di falda di 7 cm tra i mesi di novembre e gennaio, mentre, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 5cm, infine, tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 1 cm.
- Il piezometro S49, posto in prossimità della p.k. 72+330, registra valori piezometrici compresi tra +23,69 m s.l.m. e +23,91 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 4 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece, si è registrato un lieve innalzamento di 1 cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo si è registrato un abbassamento di 22 cm.
- Il piezometro S50, posto in prossimità della p.k. 75+800, registra valori piezometrici compresi tra +23,27 m s.l.m. e +23,96 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 46 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece si registra un lieve abbassamento di 4 cm, mentre, tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è di 19 cm.
- Il piezometro S51, posto in prossimità della p.k. 78+700, registra valori piezometrici compresi tra +22,58 m s.l.m. e +22,98 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 13 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece, si è registrato un abbassamento del livello di falda di 6cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 21 cm.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>181 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	181 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	181 di 222								

- Il piezometro S52, posto in prossimità della p.k. 79+400, registra valori piezometrici compresi tra +21,86 m s.l.m. e +22,25 m s.l.m., con una diminuzione del livello di falda di 15 cm tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio si è registrato un abbassamento di 2 cm, mentre, tra i mesi di febbraio e marzo è stato di 22 cm.
- Il piezometro S54, posto in prossimità della p.k. 86+400, non è stato monitorato nel periodo tra ottobre 2019 e marzo 2020.
- Il piezometro S55, posto in prossimità della p.k. 88+530, registra valori piezometrici compresi tra 16,24 e 16.39 m. s.l.m. con un livello costante del livello di falda tra i mesi di novembre e gennaio, tra i mesi di gennaio e febbraio invece, si è registrato un abbassamento di 2 cm, mentre tra i mesi di febbraio e marzo l'abbassamento è stato di 13 cm.

Al fine di eseguire un'analisi generale delle variazioni dei dati di soggiacenza a disposizione questi ultimi sono stati rappresentati in grafici Tempo-Soggiacenza. In particolare essi vengono dapprima analizzati globalmente, come rappresentato nel grafico in Figura 9-1, e successivamente vengono suddivisi in quattro sottogruppi relativi alle porzioni di tracciato tra Piadena e Bozzolo (Figura 9-2), tra Bozzolo ed il fiume Oglio (Figura 9-3), tra il fiume Oglio e Castellucchio (Figura 9-3) ed infine tra Castellucchio e Mantova (Figura 9-5).

Nei grafici è riportata, per il periodo di monitoraggio settembre 2019 - marzo 2020, la variazione della falda in termini di soggiacenza da piano campagna attuale. Si può osservare, pertanto, che i valori di soggiacenza tra settembre e ottobre subiscono un lieve aumento, tra ottobre e novembre diminuiscono quasi in tutti i piezometri (eccezion fatta per i piezometri S14, S18, S22 e S25), e dunque la quota piezometrica della falda aumenta. A partire da novembre si osserva un generale costante incremento dei valori di soggiacenza, con conseguente diminuzione della quota piezometrica.

Con maggior dettaglio in particolare, si osserva a livello generale (grafico in Figura 9-1):

- Tra settembre e ottobre 2019 un incremento medio totale di soggiacenza di 9 cm, dei quali 25 cm di media di incremento per 23 piezometri e 64 cm di media di decremento per 5 piezometri. Si segnala un anomalo decremento di soggiacenza nel periodo considerato per il piezometro S12.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	182 di 222

- tra ottobre e novembre 2019 un decremento medio totale di soggiacenza di 84 cm, dei quali 94 cm di media di decremento per 44 piezometri e 56 cm di media di incremento per 3 piezometri. Si segnala un anomalo incremento di soggiacenza nel periodo considerato per il piezometro S14.
- tra novembre 2019 e gennaio 2020 un incremento medio totale di soggiacenza di circa 3 cm, dei quali 16 cm di media di incremento per 38 piezometri e 21 cm di media di decremento per 22 piezometri; da tale dato viene escluso il caso della cella 1 del piezometro S7 che registra un decremento di circa 1.4 metri, probabilmente causato da un errore di lettura.
- tra gennaio e febbraio 2020 un incremento medio totale di soggiacenza di circa 4 cm, dei quali circa 5 cm di media di incremento per 55 piezometri e circa 2 cm di media di decremento per 4 piezometri;
- tra febbraio e marzo 2020 un incremento medio totale di soggiacenza di 15 cm, dei quali 17 cm di media di incremento per 52 piezometri e 5 cm di media di decremento per 6 piezometri.

Per quanto concerne le quattro sottotratte è possibile osservare che:

- da Piadena Bozzolo (grafico in Figura 9-2):
 - o un aumento di soggiacenza medio di 34 cm tra settembre e ottobre 2019 per 13 piezometri misurati in totale.
 - o Un decremento medio di 126 cm tra ottobre e novembre 2019 per 13 piezometri misurati in totale.
 - o Un incremento medio di 19 cm tra novembre 2019 e gennaio 2020 per 16 piezometri misurati in totale, dei quali un incremento medio di 27 cm per 14 piezometri e un decremento medio di 37 cm per due piezometri;
 - o Un incremento medio di 4 cm tra gennaio e febbraio 2020 per 16 piezometri misurati in totale, di cui un incremento medio di 5 cm per 14 piezometri ed un decremento medio di 2 cm per 2 piezometri.
 - o Un incremento medio di 14 cm tra febbraio e marzo 2020 per 16 piezometri misurati in totale, di cui un incremento medio di 15 cm per 15 piezometri ed un decremento di 3 cm per la sola cella 2 del piezometro S3.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>183 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	183 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	183 di 222								

- Da Bozzolo al Fiume Oglio (grafico in Figura 9-3):

- Un decremento medio di soggiacenza di 18 cm tra settembre e ottobre 2019 per 6 piezometri misurati in totale, dei quali un decremento medio di 67 cm per 3 piezometri e un incremento di 28 cm per i rimanenti 3 piezometri. Si segnala che il dato medio è fortemente influenzato da un decremento di soggiacenza di 1.24 metri avvenuto nel periodo nel piezometro S12.
- Un decremento medio di soggiacenza di 68 cm per 5 piezometri totali tra ottobre e novembre 2019.
- Un incremento medio di soggiacenza totale di 4 cm tra novembre 2019 e gennaio 2020 per 9 piezometri misurati in totale, con un incremento medio di 11 cm per 5 piezometri ed un decremento medio di 5 cm per 4 piezometri.
- Un incremento medio di soggiacenza totale di 2 cm tra gennaio e febbraio 2020 per 9 piezometri misurati in totale, di cui un incremento medio di circa 3 cm per 8 piezometri ed un decremento di 1 cm per solo un piezometro.
- Un incremento medio totale di 13 cm per 9 piezometri misurati in totale, con un solo piezometro che registra un decremento di soggiacenza di 1 cm.

- Dal fiume Oglio a Castellucchio (grafico in Figura 9-4):

- Un decremento medio di soggiacenza di 7 cm in 9 piezometri tra settembre e ottobre 2019 per 9 piezometri misurati in totale, di cui un incremento di circa 8 cm per 7 piezometri ed un decremento medio di 59 cm per due piezometri. Il dato di decremento medio è fortemente influenzato da una diminuzione anomala della soggiacenza di 1.2 m rilevata nel piezometro S18.
- Un decremento di soggiacenza medio di 53 cm tra ottobre e novembre 2019 per 15 piezometri misurati in totale, di cui un decremento medio di 89 cm per 11 piezometri, ed un incremento medio di 47 cm per 4 piezometri.
- Un incremento medio di 5 cm tra novembre 2019 e gennaio 2020 per 14 piezometri misurati in totale, di cui un incremento medio di 20 cm per 10 piezometri ed un decremento medio di 34 cm per 4 piezometri.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>184 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	184 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	184 di 222								

- Un incremento medio di soggiacenza di 5 cm per tutti i 14 piezometri misurati nel periodo compreso tra gennaio e febbraio 2020.
- Un incremento medio di 12 cm tra febbraio e marzo 2020 per 12 piezometri misurati in totale, di cui uno solo registra un decremento di 1 cm.
- Da Castellucchio a Mantova (piezometri monitorati a partire da ottobre 2019, grafico in Figura 9-5):
 - Un decremento medio di soggiacenza di 84 cm tra ottobre e novembre 2019 per 14 piezometri misurati in totale, dei quali un solo piezometro ha registrato un incremento di soggiacenza di 2 cm nel periodo considerato-
 - Un decremento medio di 5 cm tra novembre 2019 e gennaio 2020 per 21 piezometri misurati in totale, di cui un decremento medio di 19 cm per 11 piezometri ed un incremento medio di 10 cm per 10 piezometri.
 - Un incremento medio di soggiacenza di 5 cm per 21 piezometri misurati in totale tra gennaio e febbraio 2020, di cui un solo piezometro ha registrato un decremento di soggiacenza di 2 cm.
 - Un incremento medio di soggiacenza di 12 cm per 21 piezometri misurati in totale tra febbraio e marzo 2020, di cui una media di incremento di 16 cm per 18 piezometri ed una media di decremento di 8 cm per 3 piezometri.

Tratta Piadena-Mantova - Variazione di soggiacenza (metri da p.c.) periodo da settembre 2019 a marzo 2020

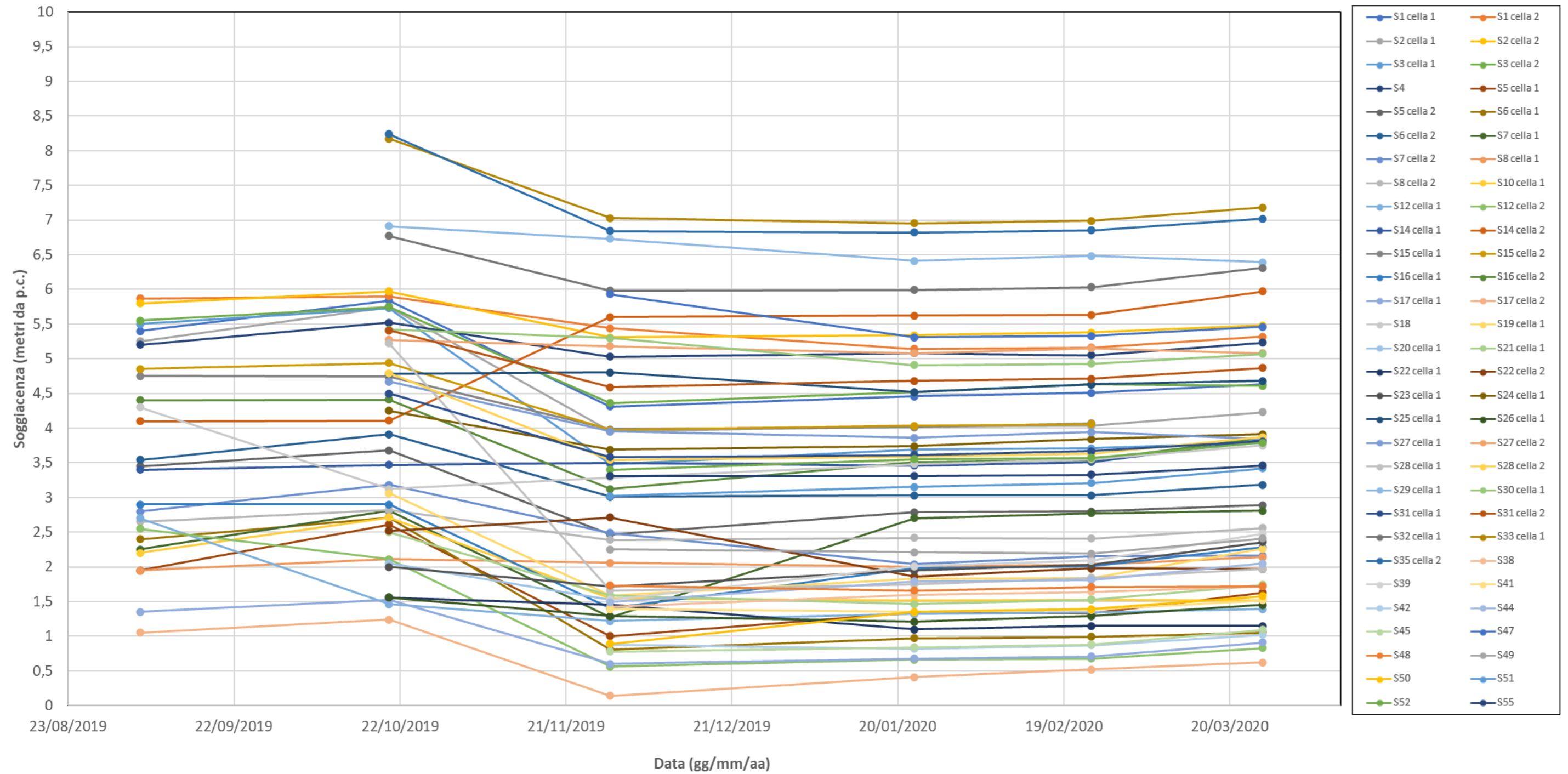


Figura 9-1 –Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Piadena e Mantova.

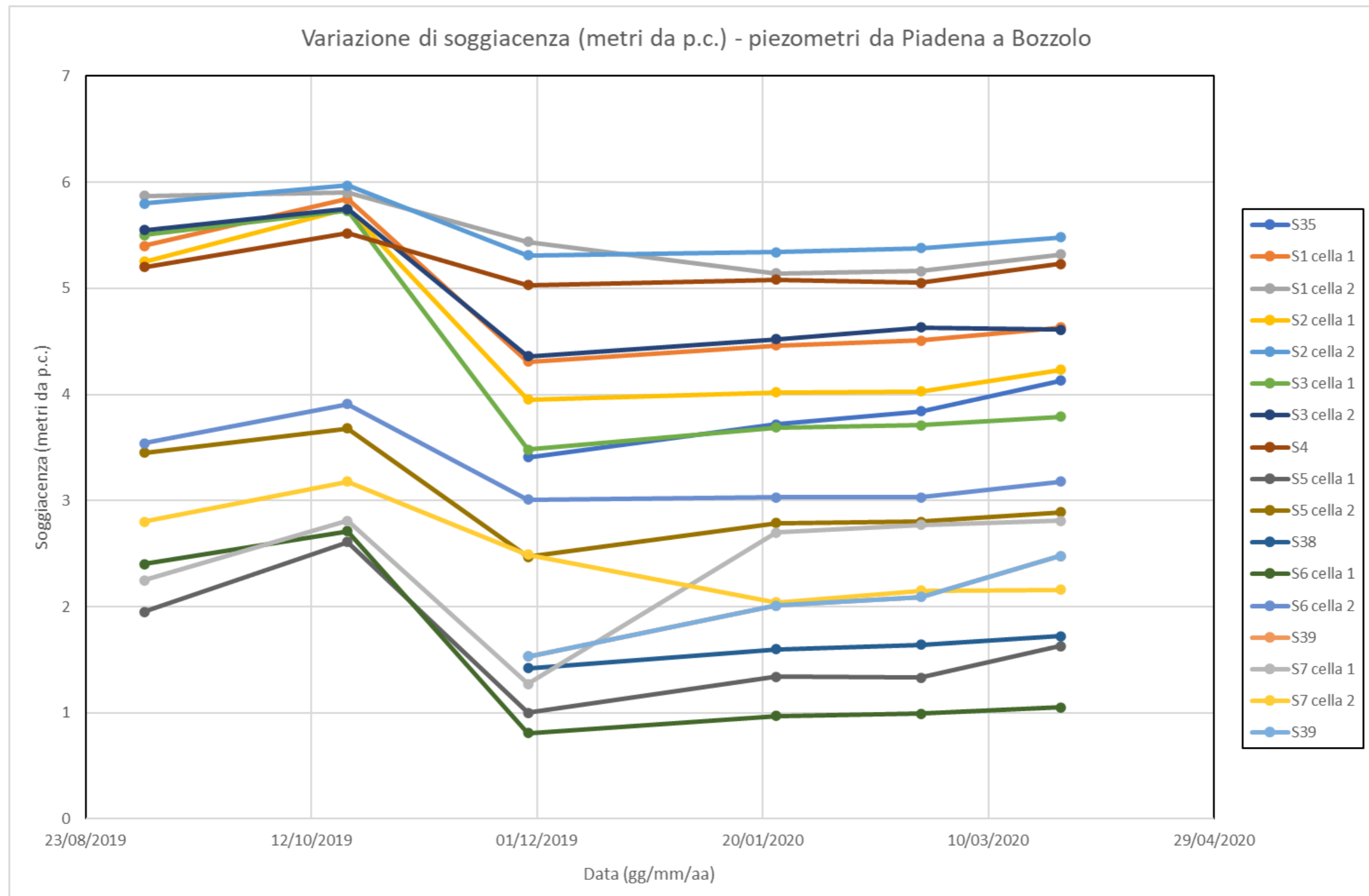


Figura 9-2 –Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Piadena e Bozzolo.

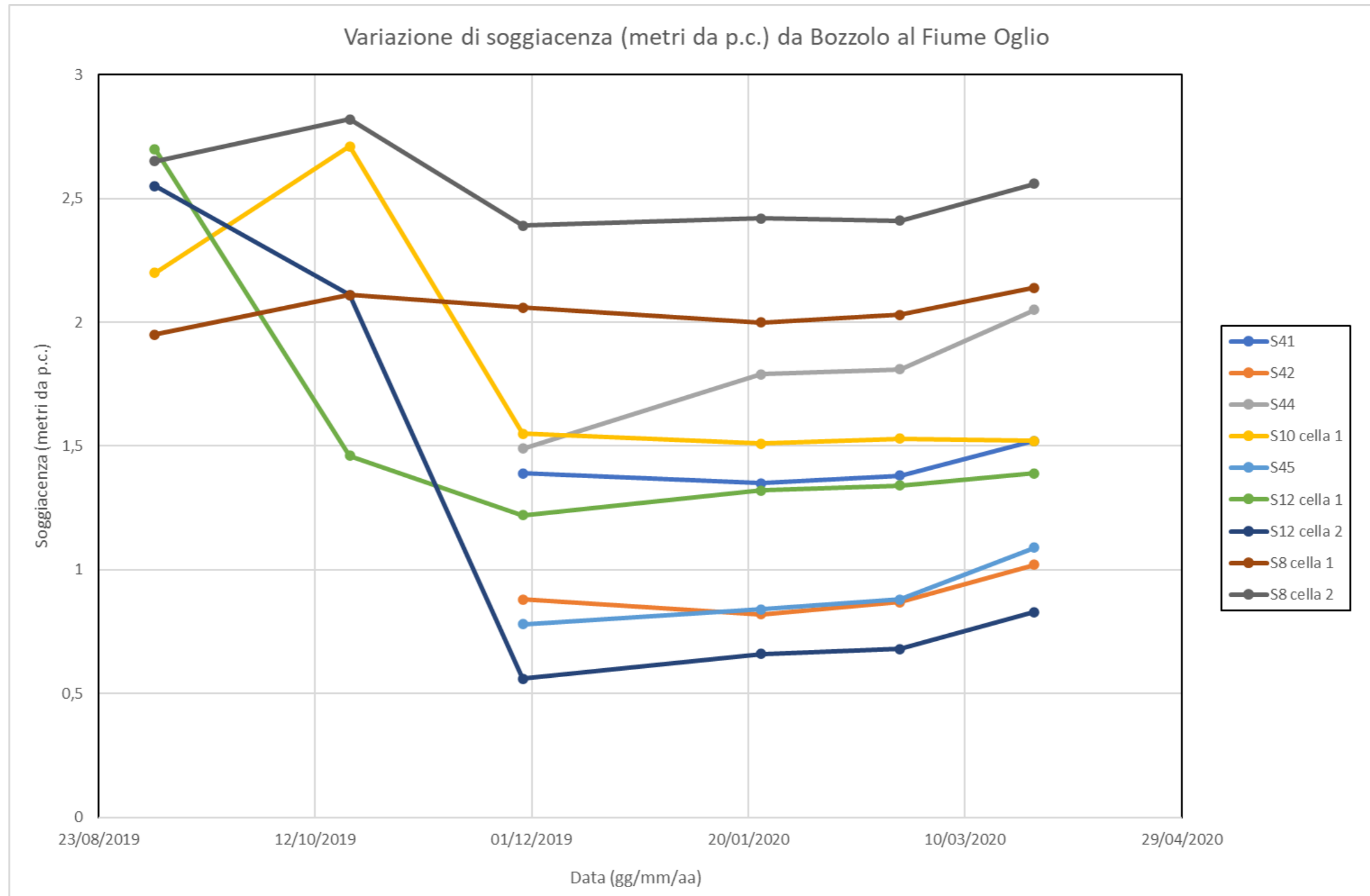


Figura 9-3 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Bozzolo e il Fiume Oglio.

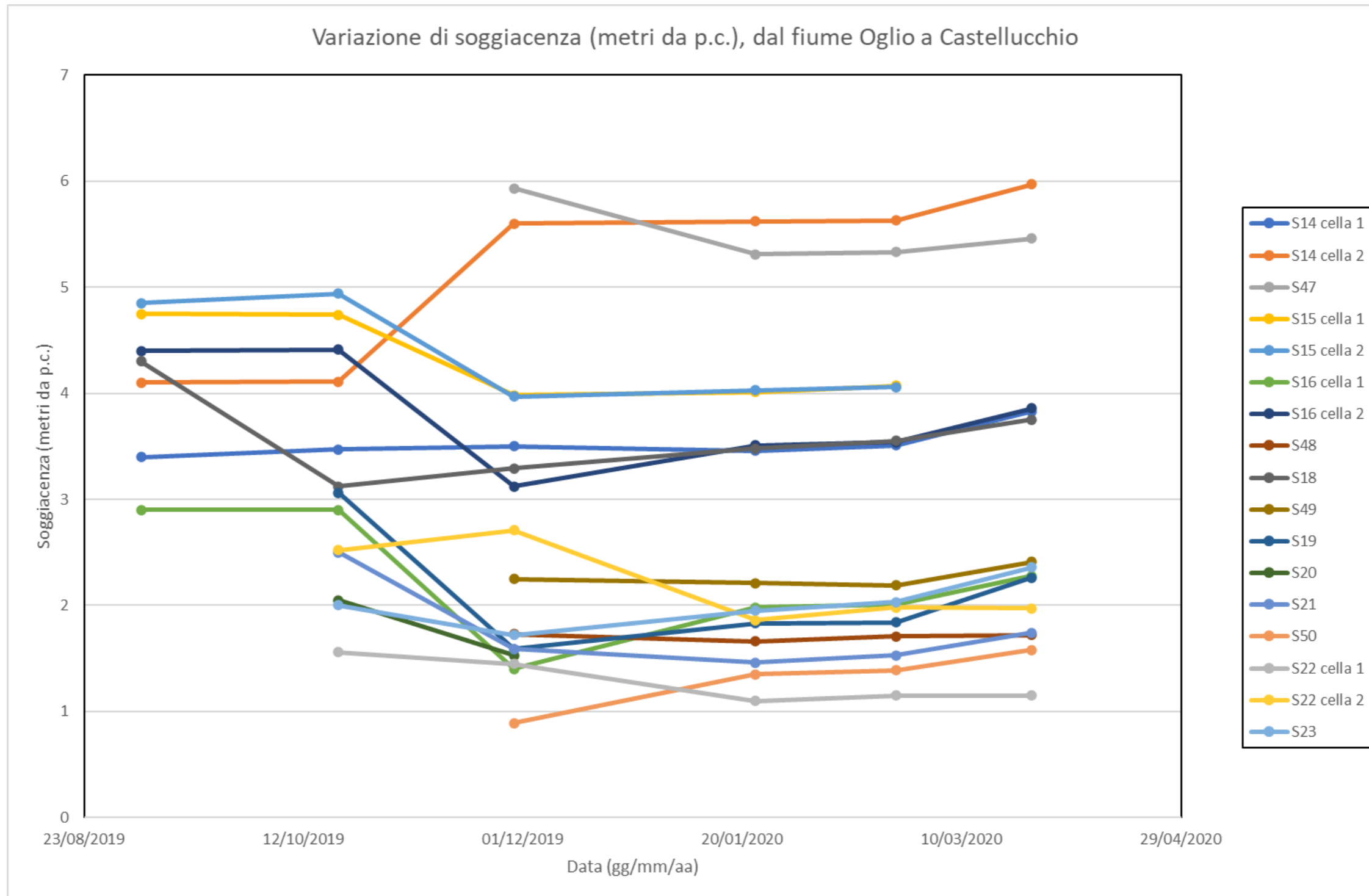


Figura 9-4 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra il Fiume Oglio e Castellucchio.

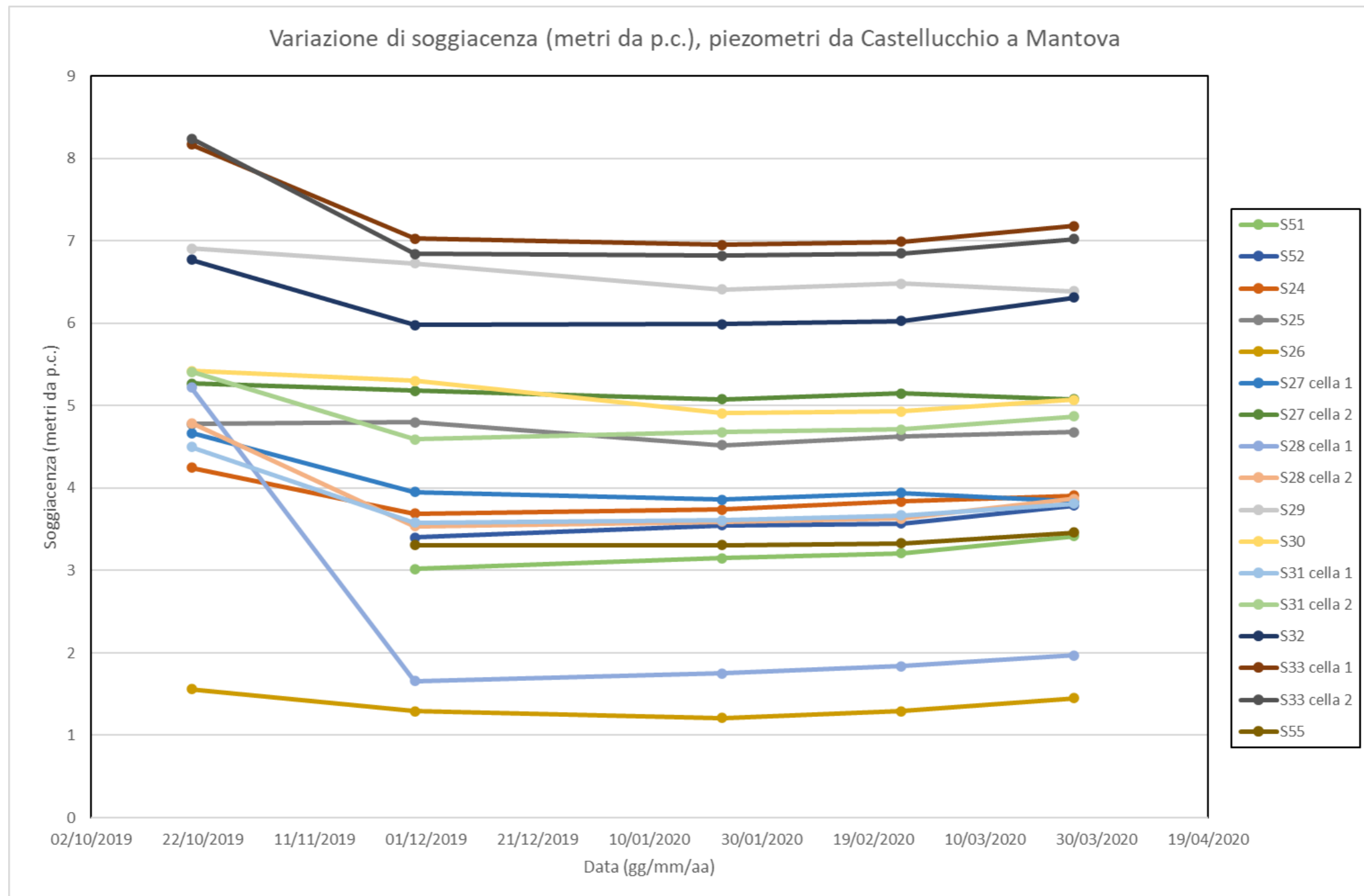


Figura 9-5 – Soggiacenza misurata tra settembre 2019 e marzo 2020 nei piezometri installati tra Castellucchio e Mantova.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>190 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	190 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	190 di 222								

10 INQUADRAMENTO SISMICO

10.1 PREMESSA

Nel seguito si fornisce un inquadramento dell'area interessata dal tracciato dal punto di vista della sismicità locale, a partire dall'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati al sito nel corso di terremoti storici.

Successivamente, verrà definita l'azione sismica di progetto facendo diretto riferimento alle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018), in funzione delle probabilità di superamento P_{VR} dell'azione sismica nel periodo di riferimento, definite sulla base della vita nominale delle opere, della loro classe d'uso e dei diversi Stati Limite considerati, oltre che alla Normativa regionale per quanto riguarda zonazione e valutazione dell'amplificazione sismica.

Con riferimento alle indicazioni normative, l'accelerazione di progetto sarà funzione delle coordinate geografiche delle opere.

Si ricorda che, 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), facendo riferimento alle tabelle in allegato alla edizione 2008 delle NTC; tali tabelle (non aggiornate nella nuova edizione delle Norme) elencano i valori di accelerazione massima al suolo ed i parametri spettrali in corrispondenza di una griglia di punti con apertura 5x5 km distribuiti sul territorio nazionale (vedasi il dettaglio dell'area di progetto in Figura 10-1).

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

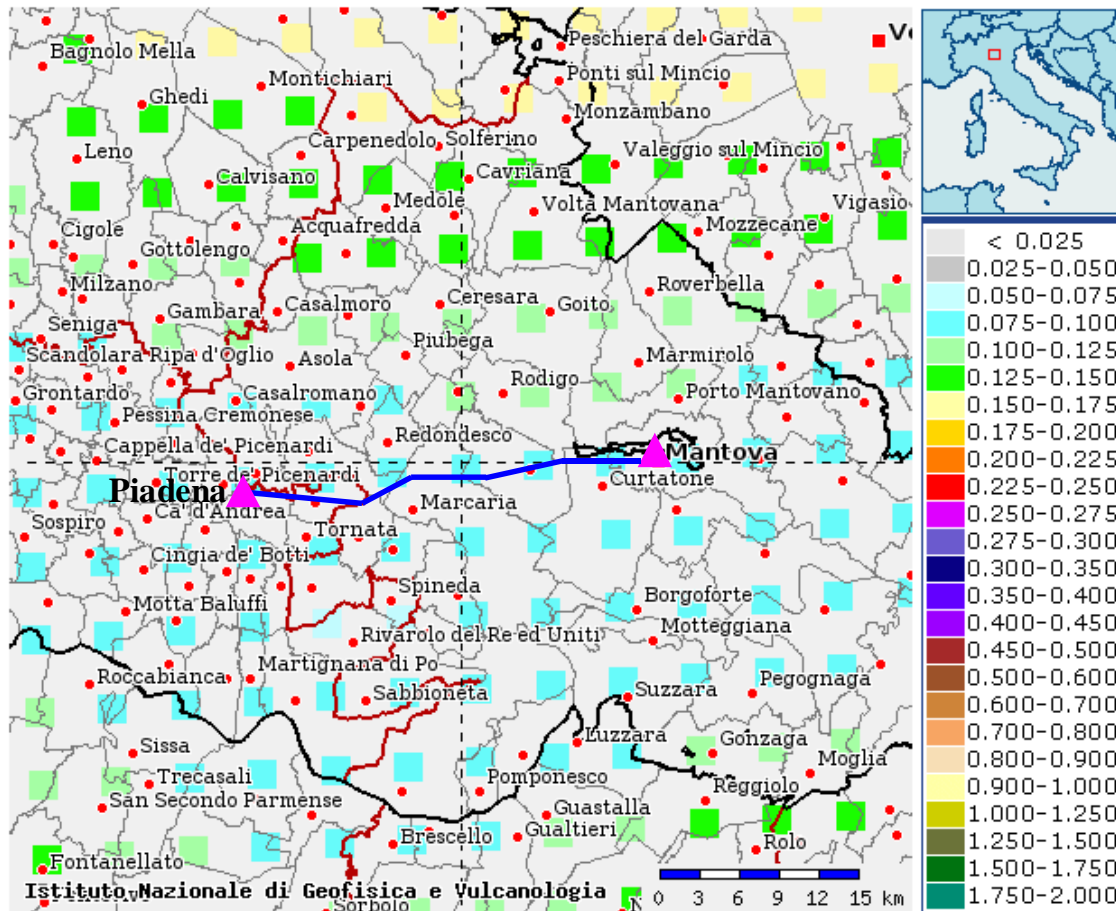


Figura 10-1 Valori di pericolosità sismica in termini di accelerazione di riferimento su suolo rigido (g) nell'intorno dell'tracciato di progetto (linea blu) da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Per la localizzazione delle opere in progetto, può essere fatto riferimento alla Figura 10-2 dove vengono indicati i punti notevoli lungo il tracciato a delimitare zone a pericolosità sismica costante.

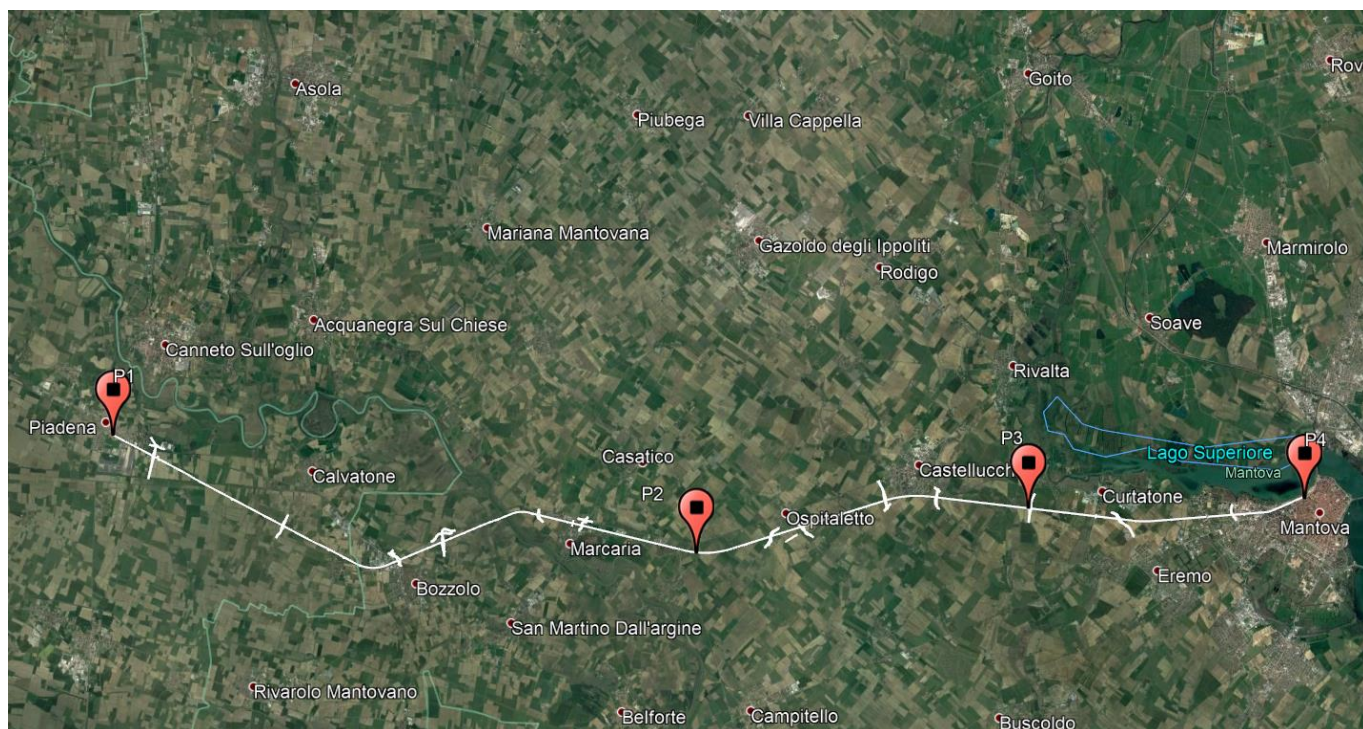


Figura 10-2 – Localizzazione delle opere in progetto assieme ai punti notevoli lungo il tracciato a delimitare zone a pericolosità sismica costante.

10.2 AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE

Come anticipato ai paragrafi precedenti, la stratigrafia della porzione di Pianura Padana di interesse è dominata dalla presenza di depositi di età Pliocenica - Quaternaria, per spessori di alcune centinaia di metri al di sopra del substrato inferiore. Dal punto di vista tettonico, il sistema strutturale della Pianura e delle zone collinari deriva dall'interazione tra l'arco Appenninico a sud, quello Alpino a nord e la placca adriatica ad est (quest'ultima a costituire un cuneo, spinto dalle due precedenti). La cinematica del complesso è governata dalla compressione lungo l'allineamento NS ad influenzare tutto il Nord Italia, così come documentato dai meccanismi focali degli eventi sismici più recenti, oltre che 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 della Catena Alpina.

Il territorio in esame appartiene al grande complesso strutturale della regione alpina e appenninica separate dal bacino padano. La zolla europea e la zolla africana, a partire dal Cretaceo Superiore, sono entrate in collisione dando origine e forma all'Appennino Settentrionale e alle Alpi Meridionali separati dalla copertura quaternaria della Pianura Padana. L'area padana è circoscritta verso sud dal fronte appenninico sepolto, mentre verso nord è delimitata dal "gomito del Garda" e dal bordo meridionale dei Monti Lessini. Secondo studi recenti, la monoclinale è interessata da numerose faglie dirette, con direzione O-E, che attraversano le formazioni del Mesozoico e del Cenozoico, con deboli segni di attività nel Quaternario. Nell'area Lombarda della pianura, la monoclinale (detta monoclinale di Mantova) è inclinata prima dolcemente poi sempre più rapidamente verso sud, fino ad immergersi al di sotto delle pieghe del fronte appenninico sepolto.

In termini strettamente sismologici, la Figura 10-3 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI15 (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).

A NE, il modello sismo-tettonico ZS9 individua 3 zone a sismicità diffusa: ZS905, ZS906 e ZS907. 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 10-3. 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.

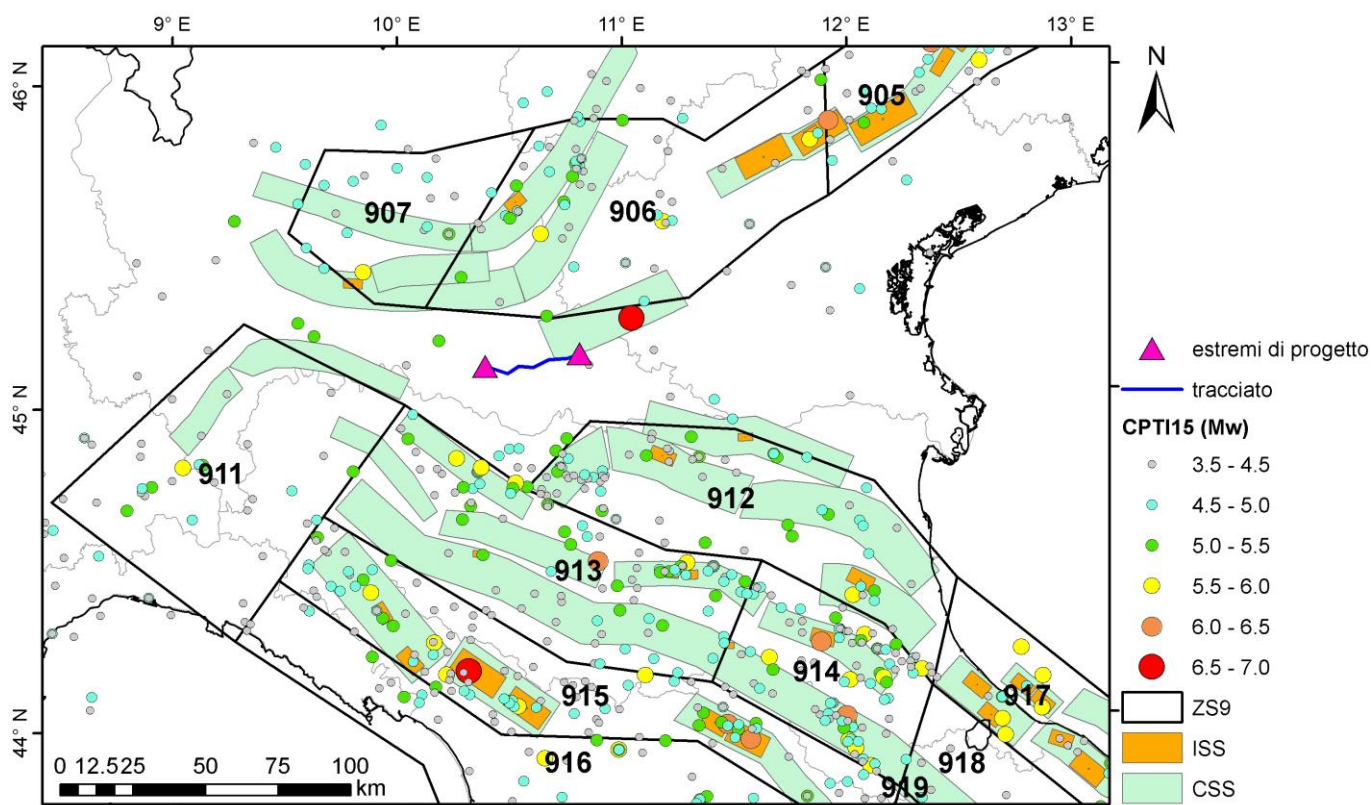


Figura 10-3 – Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno dell'area di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i cerchietti colorati rappresentano gli epicentri dei terremoti inclusi nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

Procedendo 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. Inoltre, nella storia recente in quest'area, si è verificato il terremoto di 24 Novembre 2004 di Salò con $M_w = 5.2$. Quest'area è fra le più influenti per la sismicità dell'area di progetto, vista la prossimità geografica.

La ZS907 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 10-3).

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>195 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	195 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	195 di 222								

La ZS911, localizzata più a S, 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). Procedendo sempre verso S le zone sismogenetiche seguono longitudinalmente l'asse appenninico. L'altra zona vicina al sito è la ZS912 che appartiene alla porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Questa zona 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 di 15 Ottobre 1996 di Reggio con $M_w = 5.4$. A questa area sismogenetica è stata assegnata una magnitudo massima pari a 6.14.

Più lontano dall'area di interesse, troviamo le zone 913, 914 e 918. Estese da Parma fino all'Abruzzo, esse ricadono in una fascia di transizione a carattere misto, ovvero in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a nord-ovest e distensivi a sud-est). In questa fascia se verificano terremoti prevalentemente compressivi nella porzione nord-occidentale e probabilmente distensivi nella porzione più sud-orientale. L'intera fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo, con profondità ipocentrali mediamente elevate.

I lineamenti di faglia più prossimi al sito di progetto (vedi l'estratto dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2 di Figura 10-4) sono costituiti da sistemi di faglie composite (CSS), all'interno dei quali vengono classificate alcune sorgenti individuali (ISS). In particolare, il tracciato di progetto si colloca fra due sorgenti composite ITCS076 e ITCS112. La parte finale del tracciato, presso il comune di Mantova, ricade all'interno della composite source ITCS076 "Adige Plain", dove si è ipotizzato risiedere l'epicentro del citato terremoto del Veronese del 1117 (punto rosso in Figura 10-3). Nel complesso, la ITCS076 risulta caratterizzata da eventi di modesta magnitudo con la sola eccezione del terremoto del 1117, diretta causa di assegnazione della magnitudo massima pari a 6.7. Sempre all'interno della ITCS076 risulta evidenziata la sorgente individuale ITIS140 generatrice dell'evento del 1117. In prossimità dell'inizio del tracciato si trova una delle strutture compressive più esterne e isolate dell'Appennino settentrionale, ossia la sorgente composita ITCS112 "Piadena" (vedi la Figura 10-4), posizionata nel mezzo di Pianura Padana con magnitudo massima di 5.5. Nella vicinanza del tracciato, si trovano anche i due sorgenti sismogenetiche ITCS051 e ITCS103 dove sono stati verificati i terremoti di 20 e 29 Maggio 2012 dell'Emilia.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>196 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	196 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	196 di 222								

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>).

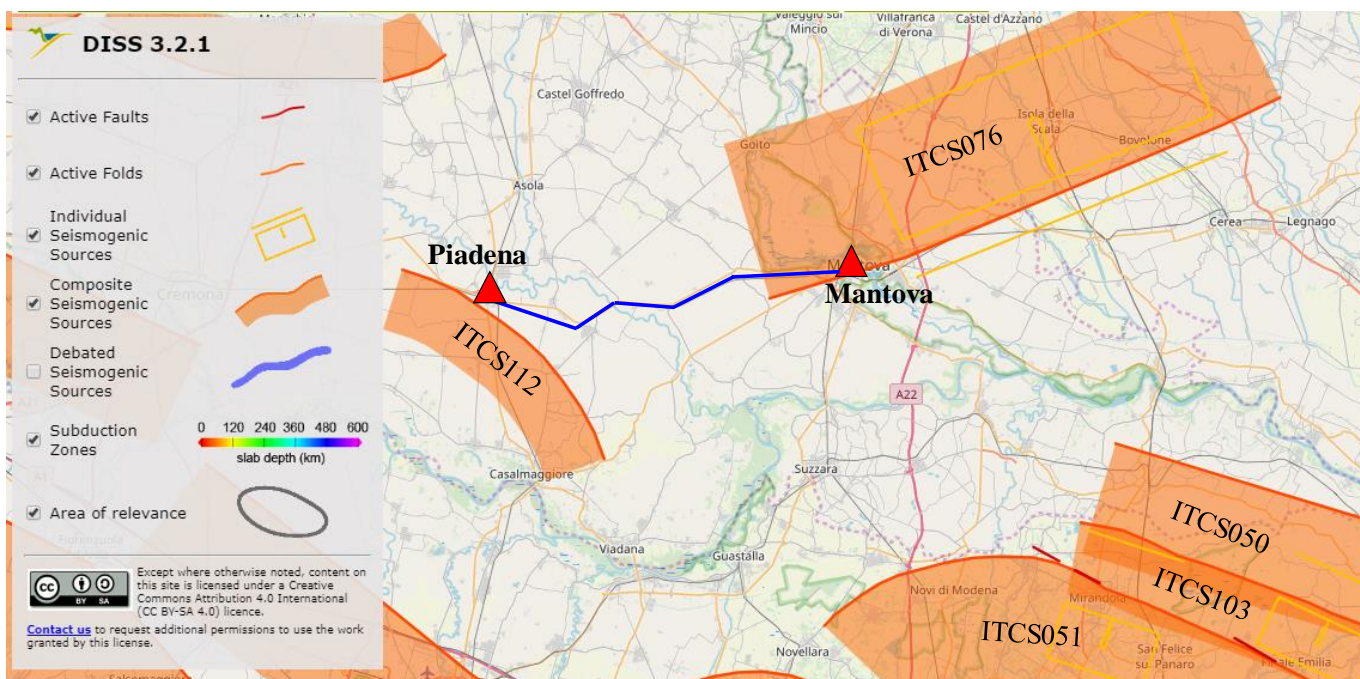


Figura 10-4 – Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2), rilevanti per il tracciato di progetto (linea blu).

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 (I_{MCS}) osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, le Figura 10-5 e Figura 10-6 mostrano la storia sismica associata al comune di Piadena e Mantova, rispettivamente, in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al tracciato sia da media a significativa, e che le intensità sismiche massime avvertite siano dell’ordine 5-6 per Piadena e 6-7 per Mantova. L’evento più significativo in termini di intensità percepita nell’area del Comune di Mantova è costituito dal terremoto del 1693 di Goito ($M_W=5.22$). Fra gli altri eventi storici più significativi ($I_{MCS} = 6$) si ricordano:

- 1511 Slovenia, $M_W=6.98$

- 1642 Bergamo, $M_w = 5.04$
- 1796 Emilia Orientale, $M_w = 5.61$
- 1810 Novellara, $M_w = 5.29$
- 1901 Salò, $M_w = 5.7$

Da quanto sopra si evince come sia associabile alla tratta di progetto una media sismicità.

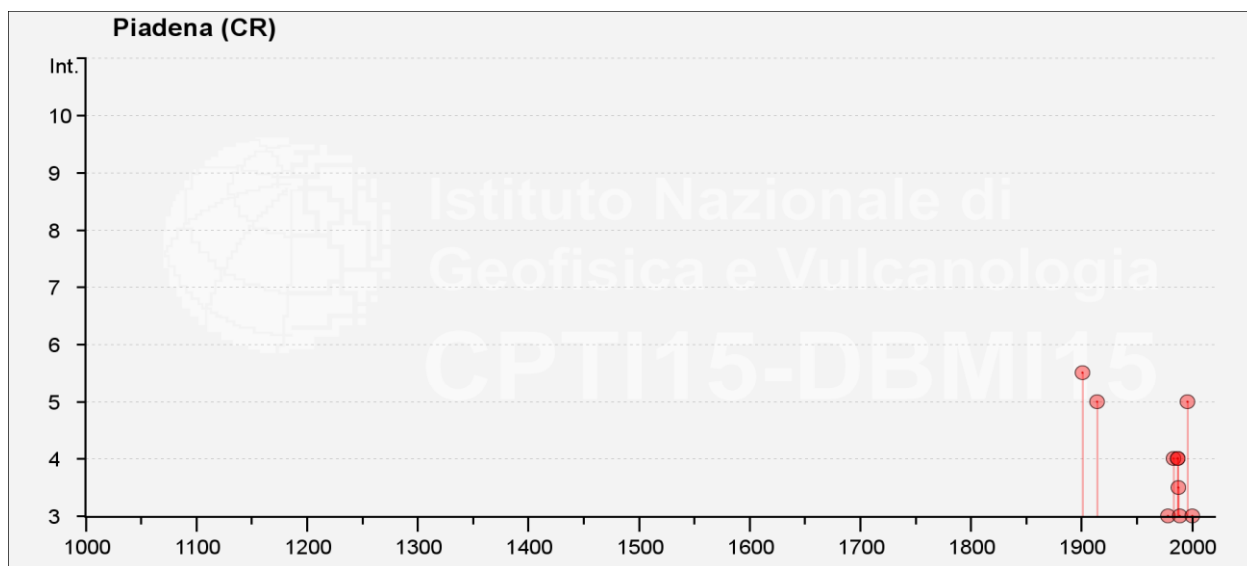


Figura 10-5 – Storia sismica del comune di Piadena (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

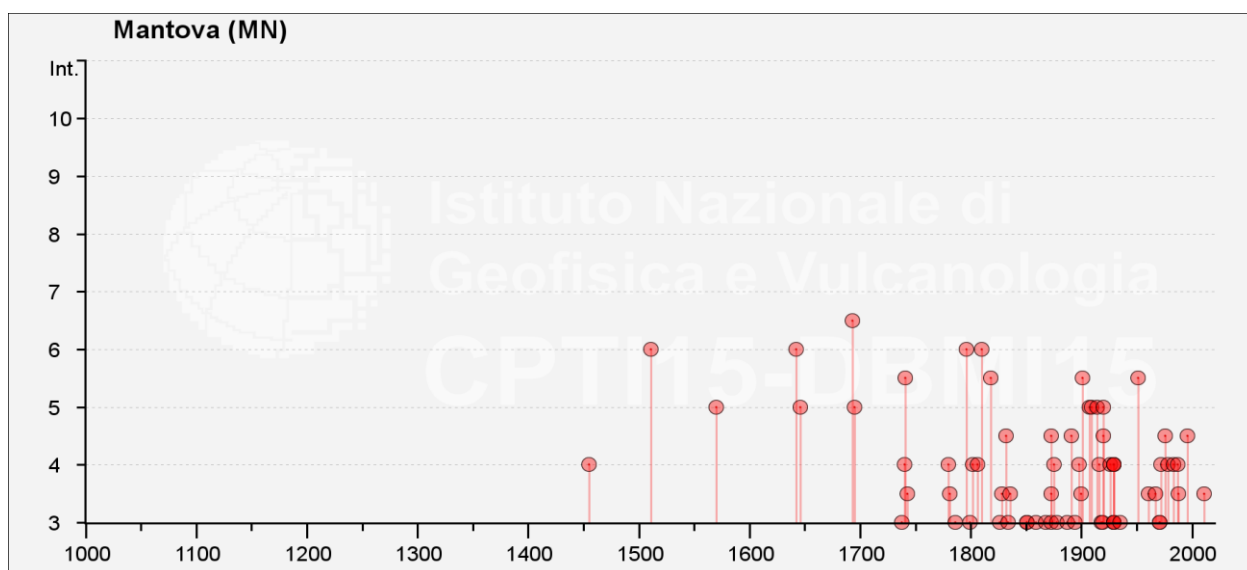


Figura 10-6 – Storia sismica del comune di Mantova (dal catalogo DBMI 2015, Locati et al., 2016).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10.3 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 4 punti di interesse in corrispondenza di inizio, due punti intermedi e fine tracciato (Figura 10-2). In

Tabella 10-1, viene elencato:

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

Tabella 10-1 –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 (inizio tracciato)	Piadena	45.127559	10.369862
P2	Marcaria	45.122392	10.572725
P3	Curtatone	45.146117	10.689831
P4 (fine tracciato)	Mantova	45.159632	10.784886

10.4 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Generalità

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue 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 (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) deve essere definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta esprimibile 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 10-7). Sulla base della zonizzazione sismica aggiornata, il tracciato in progetto ricade interamente all’interno di comuni appartenenti alla zona sismica 3.

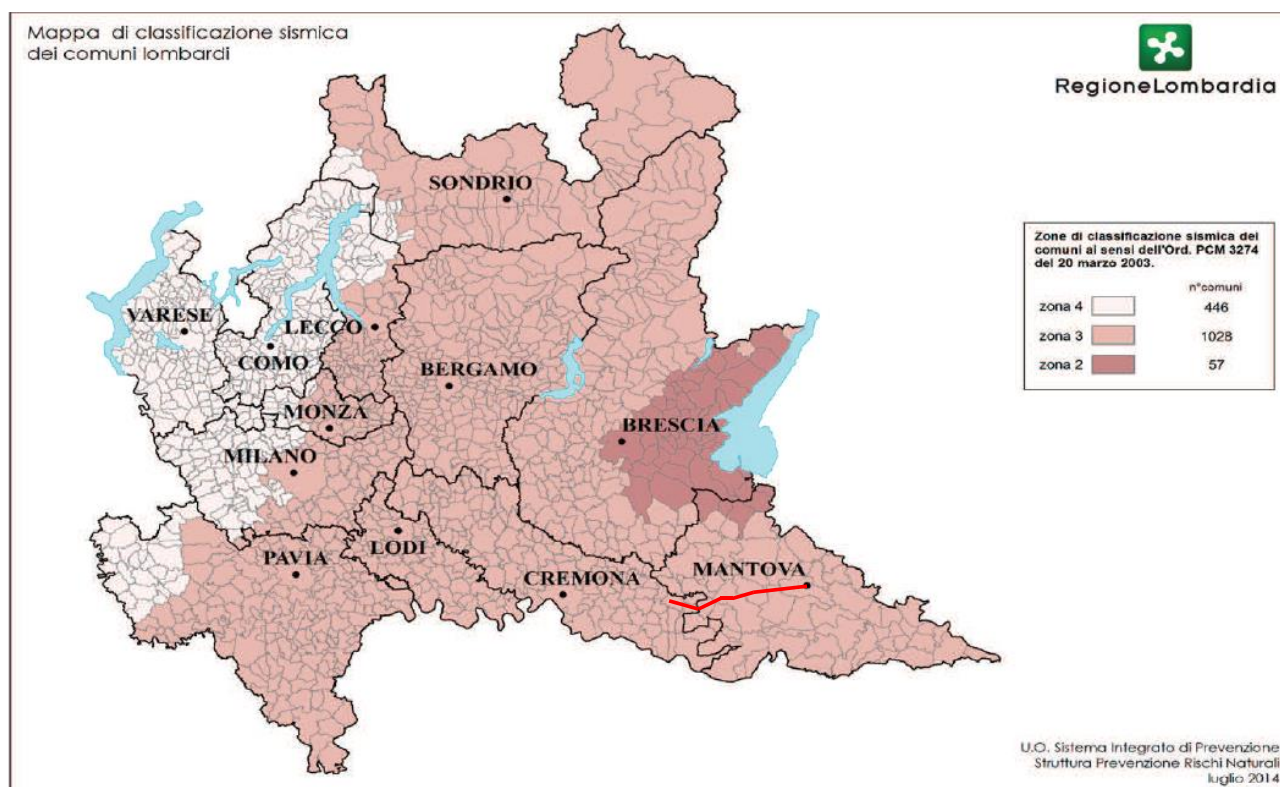


Figura 10-7 – Mappa della classificazione sismica regionale. Il tracciato di progetto è indentificato in rosso.

La definizione dell’azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con 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 temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per 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 sulla base delle indicazioni progettuali in termini di vita utile e classificazione delle opere. Successivamente, 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 10-1 precedente. Sarà determinata la categoria di suolo (e topografica) di riferimento attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche disponibili, arrivando a definire, per i diversi stati limite, l'azione sismica di riferimento da adottare per le verifiche.

Vita utile e classe d'uso

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

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

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

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

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli (coefficiente d'uso $CU = 0.7$).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>201 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	201 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	201 di 222								

- Classe II: ... omissis ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis (coefficiente d'uso $C_U = 1.0$).
- Classe III: ... omissis ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... omissis ... (coefficiente d'uso $C_U = 1.5$).
- Classe IV: ... omissis ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... omissis ... (coefficiente d'uso $C_U = 2.0$).

Nel caso in esame, i progettisti hanno assunto:

- per l'infrastruttura ferroviaria (rilevati e trincee) e tutte le opere in linea, Classe d'uso II ($C_U = 1.0$);
- per il Cavalcaferrovia NV23 (km 59+575) e il Cavalcaferrovia NV29 (km 76+175), Classe d'uso IV ($C_U = 2.0$);
- per il Cavalcaferrovia NV32 (km 82+089) e il Cavalcaferrovia NV33 (km 84+550), Classe d'uso III ($C_U = 1.5$);
- per il resto delle opere connesse alla viabilità stradale e non sopra menzionate, Classe d'uso II ($C_U = 1.0$).

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

- $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50$ anni (infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne i cavalcaferrovia NV23, NV29, NV32 e NV33);

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>202 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	202 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	202 di 222								

- $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni (cavalcaferrovia NV23 e cavalcaferrovia NV29); $V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.5 = 75$ anni (cavalcaferrovia NV32 e cavalcaferrovia NV33).

Stati limite e probabilità di superamento

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R .

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

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane 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 per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

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 10-2.

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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Nel caso in esame, i valori di periodo di ritorno dell'azione sismica per i diversi Stati Limite sono mostrati in Tabella 10-2.

Tabella 10-2 – 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		
		Infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33	Cavalcaferrovia NV23 e NV29	Cavalcaferrovia NV32 e NV33
Stati limite di esercizio (SLE)	Stato limite di immediata operatività (SLO)	30	45	60
	Stato limite di danno (SLD)	50	75	101
Stati limite ultimi (SLU)	Salvaguardia della vita umana (SLV)	475	712	949
	Stato limite di prevenzione del collasso (SLC)	975	1462	1950

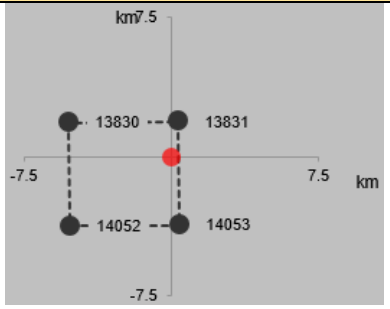
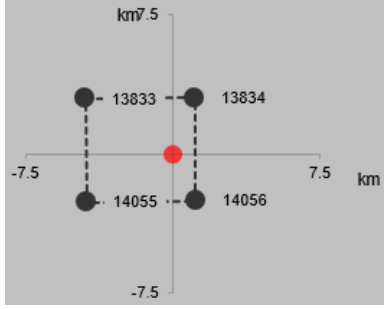
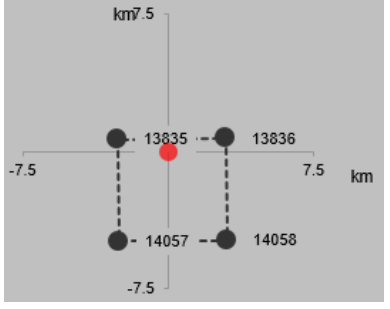
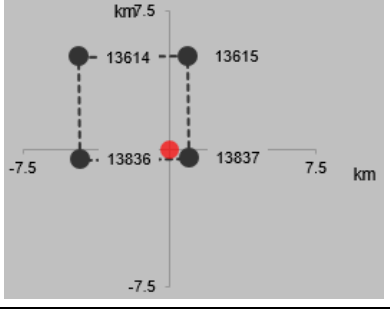
Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

In allegato al 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_0 (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 10-1) si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

In Tabella 10-3, 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).

**Tabella 10-3 – Nodi del reticolo di riferimento nell'intorno del sito di progetto.
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	Latitudine	Longitudine	Localizzazione punti di griglia
P1	45.127559	10.369862	
P2	45.122392	10.572725	
P3	45.146117	10.689831	
P4	45.159632	10.784886	

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>205 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	205 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	205 di 222								

Il confronto fra i valori del parametro a_g valutato in corrispondenza dei punti di riferimento lungo il tracciato per diversi stati limite (Figura 10-8) mostra come la variabilità dell'input sismico lungo la tratta sede delle opere sia limitata per corti periodi di ritorno, mentre cresce apprezzabilmente per valori del periodo di ritorno più lunghi.

In conclusione, sono stati individuati tre sezioni della linea per la definizione della pericolosità sismica di progetto lungo il tracciato:

- il tratto A1: dal punto P1 (Prog. 55+286 km) al P2 (Prog. 72+204 km) con il punto P2 come il punto di riferimento;
- il tratto A2: dal punto P2 (Prog. 72+204 km) al P3 (Prog. 82+000 km) con il punto P3 come il punto di riferimento;
- il tratto A3: dal punto P3 (Prog. 82+000 km) al P4 (Prog. 89+731 km) con il punto P4 come il punto di riferimento.

Il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_o e T_{c^*} per le tre sezioni lungo la linea ferroviaria per $V_R = 50$ anni è riportato in Tabella 10-4.

Per le opere che hanno i periodi di ritorno dell'azione sismica diversi rispetto al tracciato (NV32, NV33, NV23 e NV29), i valori di a_g , F_o e T_{c^*} sono stati calcolati sulla base della loro localizzazione lungo il tracciato e sono riportati in Tabella 10-5 e Tabella 10-6. Per il resto delle opere connesse alla viabilità stradale ($V_R = 50$) può essere riferito alla Tabella 10-4.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	206 di 222

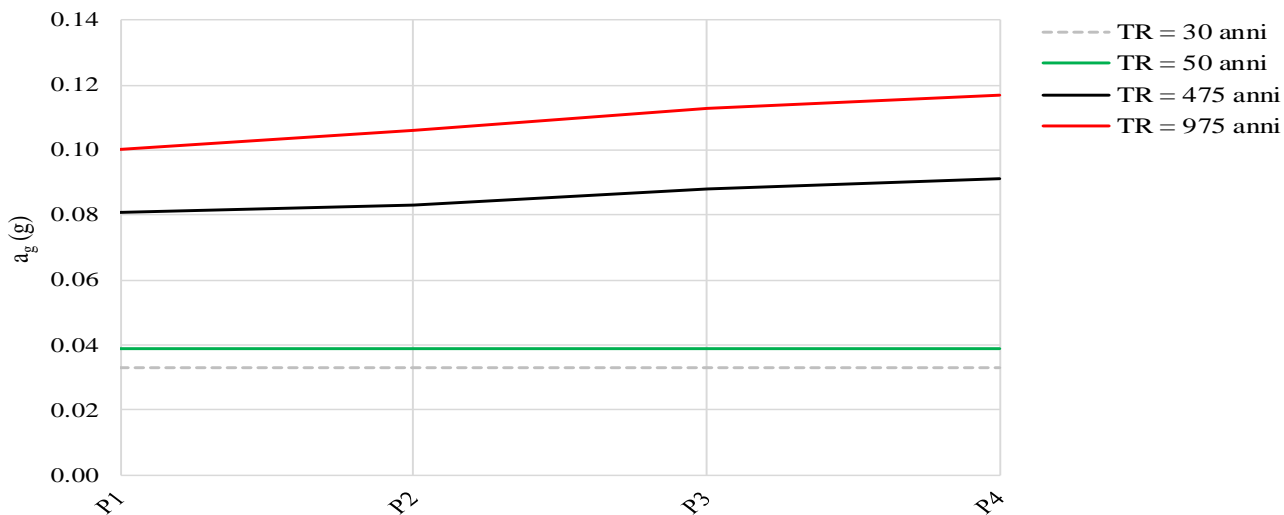


Figura 10-8 – Variazione del parametro di accelerazione su suolo rigido orizzontale a_g lungo il tracciato, per diversi periodi di ritorno di riferimento per $V_R = 50$ anni.

Tabella 10-4 – 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)) per $V_R = 50$ anni (infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33).

Tratto di riferimento	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
Tratto A1 (Punto di riferimento: P2)	SLO	30	0.033	2.549	0.217
	SLD	50	0.039	2.570	0.251
	SLV	475	0.083	2.613	0.311
	SLC	975	0.106	2.591	0.318
Tratto A2 (Punto di riferimento: P3)	SLO	30	0.033	2.536	0.216
	SLD	50	0.039	2.577	0.254
	SLV	475	0.088	2.596	0.308
	SLC	975	0.113	2.578	0.309
Tratto A3 (Punto di riferimento: P4)	SLO	30	0.033	2.528	0.217
	SLD	50	0.039	2.577	0.256
	SLV	475	0.091	2.557	0.305
	SLC	975	0.116	2.565	0.306

Tabella 10-5 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 75$ anni (cavalcaferrovia NV32 e NV33).

Nome di opera	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
NV32 (Prog. 82+089) e NV33 (Prog. 84+550)	SLO	45	0.038	2.567	0.248
	SLD	75	0.046	2.545	0.277
	SLV	712	0.105	2.562	0.306
	SLC	1462	0.133	2.548	0.310

Tabella 10-6 – Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 100$ anni (cavalcaferrovia NV23 e NV29).

Nome di opera	SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
NV23 (Prog. 59+575)	SLO	60	0.041	2.565	0.260
	SLD	101	0.049	2.590	0.280
	SLV	949	0.105	2.592	0.318
	SLC	1950	0.133	2.564	0.322
NV29 (Prog. 76+175)	SLO	60	0.042	2.565	0.264
	SLD	101	0.050	2.579	0.283
	SLV	949	0.112	2.579	0.309
	SLC	1950	0.142	2.543	0.315

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):

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>209 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	209 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	209 di 222								

$$S = S_s \cdot S_T$$

La classificazione del sottosuolo si definisce sulla base delle condizioni stratigrafiche e del 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 il presente studio è stata considerata la campagna indagini geofisiche da Italferr nel 2019-2020 che ha compreso n.10 prove con sismocono SCPTU e n.15 prove di tipo MASW. I risultati di queste prove configurano un quadro di discreta uniformità del tracciato rispetto al parametro $V_{S,eq}$ (calcolato sui primi 30 metri di profondità, non raggiungendo le prove $V_S = 800$ m/s) il quale risulta compreso tra 190 e 280 m/s.

Inoltre, è stata utilizzata la campagna di indagini geofisiche eseguita nel 2018 a supporto del PFTE del raddoppio della linea Codogno – Cremona – Mantova, che ha compreso l'esecuzione di n.3 prove di tipo MASW e n.4 prove SCPTU. I risultati di queste prove restituiscono un valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ sempre compreso tra 229 - 278 m/s.

Sulla base di quanto osservato, la zona attraversata dal tracciato ferroviario, è classificabile nella categoria di sottosuolo C (Tabella 10-7).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
	RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 10-7 – 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.

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):

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

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 sono riportati in Tabella 10-8 (linea ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33),

Tabella 10-9 (opere NV32 e NV33) e Tabella 10-10 (opere NV23 e NV29). Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 10-8 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 50$ anni (infrastruttura ferroviaria e viabilità stradale tranne NV23, NV29, NV32 e NV33).

Tratto di riferimento	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
Tratto A1 (Da Prog. 55+286 km a Prog. 72+204 km)	SLO	30	0.033	1.500	0.049
	SLD	50	0.039	1.500	0.058
	SLV	475	0.083	1.500	0.124
	SLC	975	0.106	1.500	0.159
Tratto A2 (Da Prog. 72+204 km a Prog. 82+000 km)	SLO	30	0.033	1.500	0.050
	SLD	50	0.039	1.500	0.059
	SLV	475	0.088	1.500	0.131
	SLC	975	0.113	1.500	0.169
Tratto A3 (Da Prog. 82+000 km a Prog. 89+731 km)	SLO	30	0.033	1.500	0.050
	SLD	50	0.039	1.500	0.059
	SLV	475	0.091	1.500	0.137
	SLC	975	0.116	1.500	0.175

Tabella 10-9 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 75$ anni (cavalcaferrovie NV32 e NV33).

Nome di sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
NV32 (Prog. 82+089)	SLO	45	0.038	1.500	0.057

Nome di sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
e NV33 (Prog. 84+550)	SLD	75	0.046	1.500	0.069
	SLV	712	0.105	1.500	0.157
	SLC	1462	0.133	1.496	0.200

Tabella 10-10 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per $V_R = 100$ anni (cavalcaferrovie NV23 e NV29).

Nome di sito	SL	T_R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
NV23 (Prog. 59+575)	SLO	60	0.041	1.500	0.062
	SLD	101	0.049	1.500	0.074
	SLV	949	0.105	1.500	0.157
	SLC	1950	0.133	1.496	0.199
NV29 (Prog. 76+175)	SLO	60	0.042	1.500	0.063
	SLD	101	0.050	1.500	0.075
	SLV	949	0.112	1.500	0.167
	SLC	1950	0.142	1.484	0.210

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 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 C si utilizzerebbe quello relativo alla categoria di suolo D).

Per le sole opere di sottoattraversamento di strade descritte nella Tabella 10-11 viene effettuata la verifica sopra citata. I fattori di amplificazione soglia $F_{a,soglia}$ per gli intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s, 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.

In accordo alla metodologia nell'Allegato 5, per ognuno delle opere, sulla base degli intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT e andamento delle V_s con la profondità, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento. Come esempio si riporta il confronto tra il profilo V_s per le opere NV22 e NV35 sui risultati della prova MASW R1 e i profili di riferimento per le diverse litologie prevalenti (DGR IX-2616 del 30/11/2011) è presentato in Figura 10-9. Per questa opera è stata selezionata la scheda di valutazione per la litologia "Sabbiosa".

Tabella 10-11 – 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 queste opere.

Denominazione Opera	Prog. km	Comune	$F_{a,soglia}$ per suolo tipo C	
			0.1 s - 0.5 s	0.5 s - 1.5 s
NV 22 – Cavalcaferrovia	56+525	Piadena	1.7	2.3
NV 35 – Sottopasso ciclopedonale	56+690	Piadena	1.7	2.3
NV 23 – Cavalcaferrovia	59+575	Tornata	1.7	2.3
NV 24 – Cavalcaferrovia	64+075	Bozzolo	1.8	2.3
NV 25 – Cavalcaferrovia	65+375	Bozzolo	1.8	2.3
NV 26 – Cavalcaferrovia	68+180	Marcaria	1.7	2.3
NV 27 – Sottovia	69+425	Marcaria	1.7	2.3
NV 28 – Cavalcaferrovia	74+770	Marcaria	1.7	2.3
NV 29 – Cavalcaferrovia	76+175	Marcaria	1.7	2.3
NV 30 – Cavalcaferrovia	78+066	Castellucchio	1.7	2.3
NV 31 – Cavalcaferrovia	79+465	Castellucchio	1.7	2.3
NV 32 – Cavalcaferrovia	82+089	Curtatone	1.8	2.3

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	214 di 222

NV37 – Passerella ciclopedonale	83+902	Curtatone	1.8	2.3
NV 33 – Cavalcaferrovia	84+550	Curtatone	1.8	2.3
NV 36 – Sottopasso ciclopedonale	86+982	Mantova	1.8	2.3
NV 34 – Cavalcaferrovia	87+685	Mantova	1.8	2.3

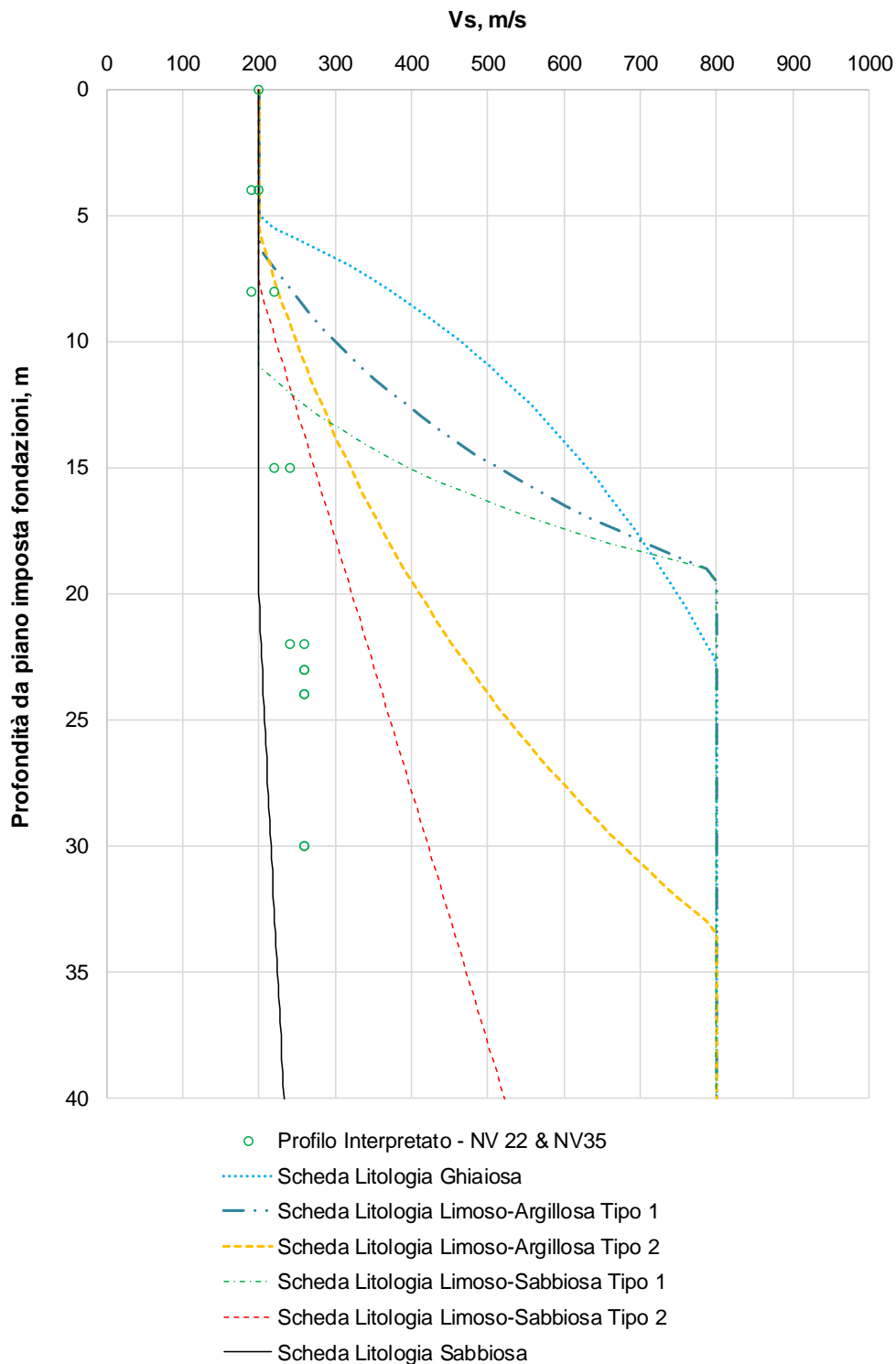


Figura 10-9 – Profilo V_s per le opere NV22 e NV35 sui risultati della prova MASW R1 e di calcolo sovrapposti ai profili di riferimento per le diverse litologie prevalenti (DGR IX-2616 del 30/11/2011).

Le schede selezionate per ognuno delle opere sono dimostrate nella Tabella 10-12. Applicando le formule proposte per la scheda litologia selezionata, per il periodo proprio di sito T calcolato, 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 come è illustrato in Tabella 10-12.

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.

Tranne le opere NV24, NV32, NV33, NV34 e NV36 dove i valori di soglia definiti dalla Regione Lombardia per 0.1 – 0.5 s risultano superati, per il resto delle opere, il valore di F_a è inferiore al valore di soglia e in accordo alle indicazioni del DGR IX-2616 del 30/11/2011, si ritengono sufficienti le indicazioni di NTC2018, che risultano pertanto confermate anche dal quadro normativo regionale.

Tabella 10-12 – 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 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	$F_{a,0.1-0.5}$	$F_{a,0.5-1.5}$
NV 22 – Cavalcaferrovia	56+525	Sabbiosa	1.40	1.87
NV 35 – Sottopasso ciclopedonale	56+690		1.40	1.87
NV 23 – Cavalcaferrovia	59+575	Sabbiosa	1.28	1.96
NV 24 – Cavalcaferrovia	64+075	Limo-Argillosa tipo 2	2.00	1.97
NV 25 – Cavalcaferrovia	65+375	Sabbiosa	1.24	1.98
NV 26 – Cavalcaferrovia	68+180	Sabbiosa	1.39	1.88
NV 27 – Sottovia	69+425	Sabbiosa	1.45	1.82
NV 28 – Cavalcaferrovia	74+770	Sabbiosa	1.30	1.94

Tabella 10-12 – 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 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}
NV 29 – Cavalcaferrovia	76+175	Sabbiosa	1.38	1.89
NV 30 – Cavalcaferrovia	78+066	Sabbiosa	1.56	1.72
NV 31 – Cavalcaferrovia	79+465	Sabbiosa	1.57	1.71
NV 32 – Cavalcaferrovia	82+089	Limo-Argillosa tipo 2	2.07	1.76
NV37 – Passerella ciclopedonale	83+902	Sabbiosa	1.41	1.86
NV 33 – Cavalcaferrovia	84+550	Limo-Argillosa tipo 2	2.08	1.73
NV 36 – Sottopasso ciclopedonale	86+982	Limo-Argillosa tipo 2	2.11	1.65
NV 34 – Cavalcaferrovia	87+685		2.11	1.65

Per le opere, NV24, NV32, NV33, NV34 e NV36, in sostituzione della Categoria C si dovrà utilizzare la definizione dell'azione sismica di Categoria superiore D. Il coefficiente S_S per la categoria di sottosuolo D si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 0.90 \leq 2.40 \cdot 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.80$$

I valori dell'azione sismica di progetto a_{max} per le opere stradale sopramenzionate sono riportati in

Tabella 10-13 e Tabella 10-14.

Tabella 10-13 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per le opere NV24, NV36 e NV34 ($V_R = 50$ anni).

Nome di opera	SL	T _R (anni)	a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
NV24 (Prog. 64+075)	SLO	30	0.033	1.800	0.059
	SLD	50	0.039	1.800	0.070
	SLV	475	0.083	1.800	0.149
	SLC	975	0.106	1.800	0.190

Nome di opera	SL	T _R (anni)	a _g (g)	S (-)	a _{max} (g)
NV36 (Prog. 86+982) e NV34 (Prog. 87+685)	SLO	30	0.033	1.800	0.060
	SLD	50	0.039	1.800	0.071
	SLV	475	0.091	1.800	0.164
	SLC	975	0.117	1.800	0.210

Tabella 10-14 – Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale) e dei coefficienti di sito S (S_T=1) e accelerazione di progetto a_{max} per gli stati limite di riferimento per le cavalcaferrovie NV32 e NV33 (V_R = 75 anni).

Nome di opera	SL	T _R (anni)	a _g (g)	S (-)	a _{max} (g)
NV32 (Prog. 82+089) e NV33 (Prog. 84+550)	SLO	45	0.038	1.800	0.069
	SLD	75	0.046	1.800	0.083
	SLV	712	0.105	1.800	0.189
	SLC	1462	0.133	1.800	0.240

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>219 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	219 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	219 di 222								

10.5 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, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 10-10 per coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

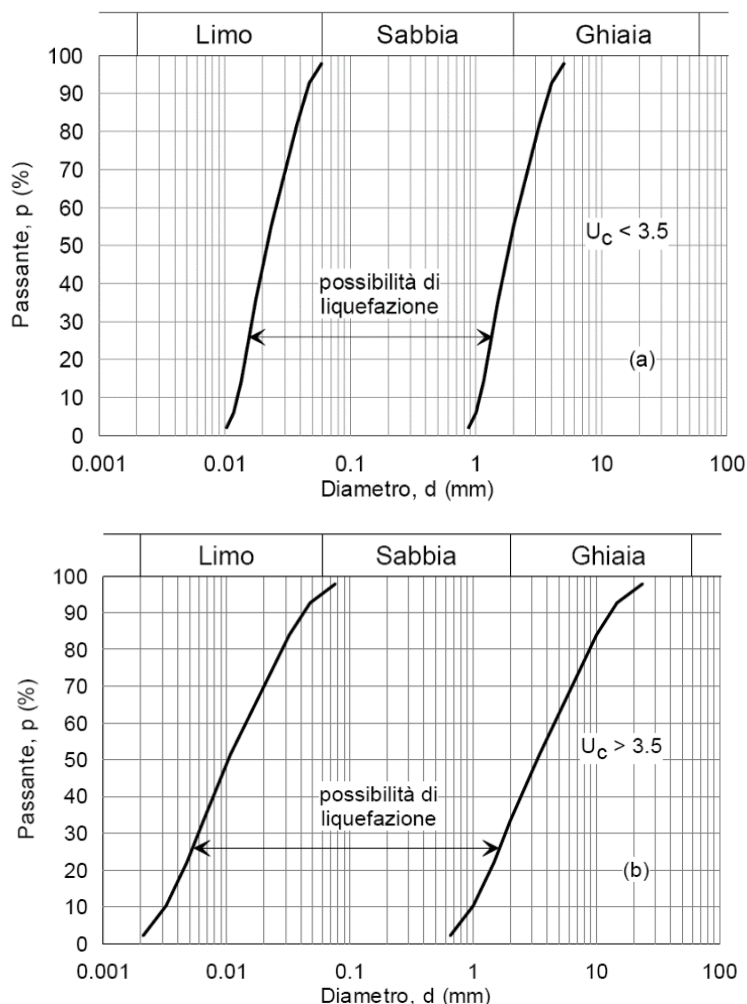


Figura 10-10 – Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx: $U_c < 3.5$, dx: $U_c > 3.5$).

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 10-11), qui considerata per il punto P4 (fine di Lotto 3). Tenuto conto della Classe d'Uso IV, 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 949 anni. I risultati di tale analisi, svolta per il punto di griglia più prossimo al punto P4 (N. 13837) per un periodo di ritorno di 949 anni (SLV) mostrano come siano dominanti terremoti con valori di magnitudo compresi tra 4.5-6.0 ed epicentro a distanza 20-40 km. I valori medi di magnitudo e distanza da analisi di disaggregazione sono rispettivamente $M=5.36$ e $d=30.0$.

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) ed in particolare il terremoto di 20 maggio 2012 dell'Emilia ($M_W = 6.1$), è ragionevole assumere, una magnitudo di riferimento per la verifica a liquefazione pari a 6.1.

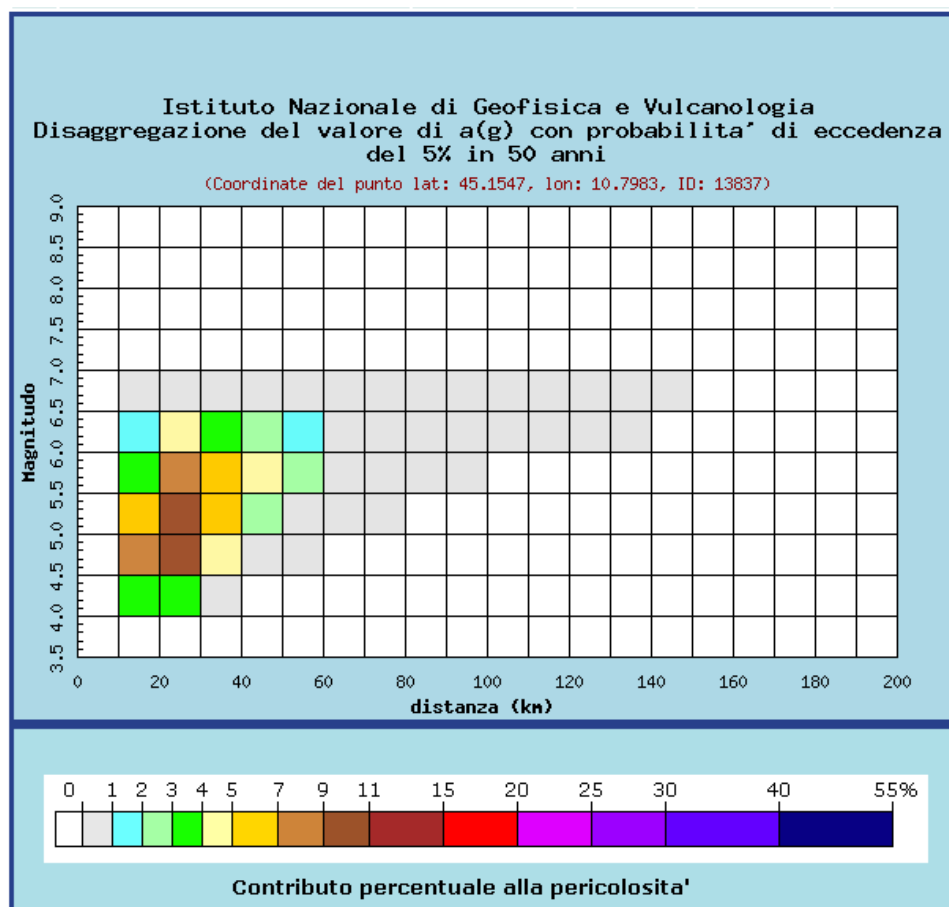


Figura 10-11 – Analisi di disaggregazione del dato di pericolosità per il punto di griglia 13837 (per T_R 949 anni, da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>)).

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>222 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	222 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	222 di 222								

11 SINTESI DELLE CRITICITA' RISCOstrate LUNGO LA LINEA.

A valle delle considerazioni fatte nei precedenti capitoli, in Tabella 11-1 si riporta una sintesi dei principali elementi potenzialmente fonti di criticità per il progetto di quadruplicamento della linea ferroviaria. Si riportano in particolare:

- criticità connesse al rischio geomorfologico (fenomeni gravitativi di versante, erosivi, fenomeni di subsidenza).
- Criticità connesse al rischio idraulico (rischio alluvioni).
- Criticità connesse all'idrogeologia (potenziale interferenza della falda acquifera con le opere provvisoriale e le opere in sotterraneo).
- Criticità connesse al rischio sismico (categoria di suolo) ed al fenomeno di liquefazione dei terreni.

Tabella 11-1 – Sintesi degli elementi di criticità per ciascuna sotto-tratta.

	Rischio geomorfologico	Rischio idraulico	Idrogeologia	Vulnerabilità acquifero	Categoria di suolo (Tabella 3.2II NTC2008)	Analisi rischio liquefazione
Sotto-tratta Piadena - Bozzolo	Nessuna criticità rilevata	Area tra Bozzolo e Fiume Oglio Pericolosità bassa (P1) Rischio dell'elemento lineare medio (R2) Intersezione con il fiume Oglio Pericolosità elevata (P3) Rischio dell'elemento lineare molto elevato (R4)	Soggiacenza della falda freatica in media compresa tra 1 e 5 m da p.c., localmente superiore, oscillazione stagionale del livello di falda tra 0.5 e 1 m. La presenza della falda a bassa profondità andrà considerata per la realizzazione di scavi, opere provvisorie ed in fase di esercizio per le opere in sotterraneo.	Vulnerabilità da medio-elevata ed elevata. Da valutarsi adeguati interventi a protezione della falda durante i lavori ed in fase di esercizio delle opere in accordo con la normativa vigente.	C	Necessaria. Da effettuarsi in sede di studio geotecnico.
Sotto-tratta Bozzolo - Castellucchio	Nessuna criticità rilevata	Nessuna criticità rilevata.	Soggiacenza della falda freatica in media compresa tra 1 e 5 m da p.c., localmente superiore, oscillazione stagionale del livello di falda tra 0.5 e 1 m. La presenza della falda a bassa profondità andrà considerata per la realizzazione di opere provvisorie ed in fase di esercizio per le opere in sotterraneo.	Vulnerabilità da medio-elevata ed estremamente elevata in corrispondenza del fiume Oglio. Da valutarsi adeguati interventi a protezione della falda durante i lavori ed in fase di esercizio delle opere in accordo con la normativa vigente.	C	Necessaria. Da effettuarsi in sede di studio geotecnico.
Sotto-tratta Castellucchio - Mantova	Nessuna criticità rilevata	Nessuna criticità rilevata.	Soggiacenza della falda freatica in media compresa tra 1 e 6 m da p.c., localmente superiore, oscillazione stagionale del livello di falda tra 0.5 e 1 m. La presenza della falda a bassa profondità andrà considerata per la realizzazione di opere provvisorie ed in fase di esercizio per le opere in sotterraneo.	Vulnerabilità da media ad elevata. Da valutarsi adeguati interventi a protezione della falda durante i lavori ed in fase di esercizio delle opere in accordo con la normativa vigente.	C	Necessaria. Da effettuarsi in sede di studio geotecnico.

	RADDOPPIO FERROVIARIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 224 di 160

12 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- dal punto di vista geografico la linea ferroviaria è localizzata nella bassa pianura padana, tra i comuni di Piadena, in provincia di Cremona, e quelli di Bozzolo, Marcaria, Castellucchio, Curtatone e Mantova, per una lunghezza di circa 34 km. Questa tratta costituisce il Lotto 3 del raddoppio ferroviario Codogno-Cremona-Mantova.
- Dal punto di vista geologico-strutturale l'area ricade nel settore centro-meridionale della Pianura Padana Lombarda, la quale rappresenta l'espressione morfologica del Bacino Padano che, da un punto di vista strutturale, rappresenta il bacino di avampaese della catena appenninica ed è limitato a sud dagli Appennini Settentrionali e a nord dalle Alpi Meridionali. Strutturalmente l'area ricade in un settore monoclinale (*Pedealpine Homocline*), limitato, a nord, dal fronte di sovrascorrimento subalpino, il cui lembo esterno corrisponde alla struttura compressiva di Volta Mantovana, e, a sud, dal fronte di accavallamento esterno dell'Appennino sepolto (External Thrust F) nella zona di virgazione che l'arco occidentale delle Pieghe Ferraresi forma con il sistema delle Pieghe Emiliane.
- Dal punto di vista geologico generale l'area è caratterizzata dalla presenza della vasta piana proglaciale generatasi durante l'ultima fase glaciale quaternaria Würmiana e che costituisce il cosiddetto Livello di Base (o Fondamentale) della pianura. Tale livello risulta successivamente inciso dall'azione dei principali corsi d'acqua dell'area (in particolare per la porzione di pianura oggetto di studio il Fiume Po, il Fiume Oglio ed il fiume Mincio). Sono dunque riconoscibili le incisioni fluviali di età olocenica che attraversano la pianura. L'insieme dei depositi quaternari costituisce uno spessore variabile tra i 400 e i 500 metri. La fascia in sinistra idrografica del corso del Po è stata caratterizzata da un importante apporto di sedimenti dovuti alla presenza delle grandi valli alpine, assenti nel più modesto sistema appenninico, le quali consentivano un importante accumulo glaciale sino al margine della pianura. I terreni più antichi rappresentati nell'area di studio corrispondono ai depositi, prevalentemente argilloso-limosi, legati al periodo interglaciale Riss-Würm (denominati fwr). Questi terreni sono sovrastati dai depositi più

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>225 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	225 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	225 di 222								

grossolani fw (sabbioso-argillosi con presenza di lenti ghiaiose) accresciutisi durante la fase fluviale würmiana, costituenti il Livello Fondamentale della Pianura (LFdP). Tali depositi sono stati incisi in età olocenica e successivamente queste incisioni sono state colmate dai depositi alluvionali olocenici, in fasi successive (a1, a2, a3).

- Dal punto di vista litostratigrafico l'area occupa una porzione di pianura tipicamente dominata da depositi sabbioso-limosi e limoso-argillosi. Il profilo stratigrafico infatti comprende un'alternanza in superficie di materiali sabbioso-argillosi fluviali del Würm e depositi fluviolacustri argillosi dell'interglaciale Würm-Riss (talvolta sovrapposti), seguiti in profondità tipicamente da depositi sabbioso-limosi fluviali del Riss. In alcuni sondaggi, alle massime profondità investigate, sono intercettati i depositi fluviolacustri argilloso sabbiosi dell'interglaciale Riss-Mindel. In prossimità del Fiume Oglio e del Cavo Osonne si intercettano in superficie depositi alluvionali recenti riferiti a questi elementi idrografici.
- Dal punto di vista geomorfologico il territorio di pianura può essere suddiviso in tre grandi ambiti: l'anfiteatro morenico del Garda, il Livello Fondamentale della Pianura e le valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici. Il Livello Fondamentale della Pianura è costituito da sedimenti di origine fluvioglaciale e fluviale, la cui granulometria passa da una predominanza ghiaioso-sabbiosa, nell'area prospiciente le colline moreniche del Garda, a quella limoso-sabbiosa verso sud. Tale granulometria variabile dei sedimenti, decrescente man mano che si procede in direzione sud, è da ricondurre alla riduzione della velocità e competenza dei corsi d'acqua. Il Livello Fondamentale descrive la pianura formata nella fase finale della glaciazione würmiana, all'esterno della cerchia morenica, tramite deposizione e accumulo del carico grossolano trasportato dai corsi d'acqua alimentati dalle acque di fusione dei ghiacciai. Il paesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici descrive i piani di divagazione dei principali corsi d'acqua (Oglio e Mincio), attivi o fossili, e le loro superfici terrazzate, situate a quote maggiori rispetto al fiume e affrancate dalle acque. L'origine delle valli è dovuta all'incisione dei corsi d'acqua del reticolo idrografico attuale o recente; molti di essi, attivi già nel Pleistocene, continuano a incidere o a sovralluvionare i propri depositi. Il territorio attraversato dalla linea ferroviaria è dunque caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante, con debole pendenza da NO a SE,

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>226 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	226 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	226 di 222								

dalla presenza di forme fluviali e fluvioglaciali, orli di terrazzo fluviale e terrazzi fluviali, e da forme legate ad interventi antropici, quali le aree urbanizzate.

- Dal punto di vista idrogeologico la pianura lombarda è stata suddivisa in quattro acquiferi principali (A, B, C e D), separati da tre superfici di discontinuità riconoscibili a scala regionale. Discontinuità minori sono state riconosciute localmente, ma non sono associate alla presenza d'acquiferi di rilevanza regionale. Con riferimento allo schema sopra riportato, il Gruppo Idrostratigrafico A corrisponde alla porzione più superficiale dell'acquifero tradizionale (litozona ghiaioso-sabbiosa) e si presenta generalmente libero. Nel presente studio si è indagato in particolare il gruppo idrostratigrafico A, essendo quello più superficiale e che quindi coinvolge direttamente le opere in progetto. In particolare, sono stati presi in considerazione dati bibliografici ricavati dai PGT dei comuni attraversati e i dati piezometrici rilevati in piezometri e sondaggi eseguiti da Italferr lungo la tratta dal 2019 al 2020. La raccolta dei dati ha consentito di elaborare una descrizione idrogeologica di dettaglio lungo tutta la tratta. In particolare, da essa si evince come:

- la superficie di falda appare coerente con l'andamento topografico di questo settore di pianura, variando da circa +29 m.s.l.m. presso Piadena a circa +16 m.s.l.m. presso Mantova, e mantenendosi dunque a pochi metri dal piano campagna esistente (generalmente da 1 a 5 metri) lungo l'intera tratta. Il flusso della falda risulta generalmente avere direzione NNO-SSE, con alcune variazioni locali dovute principalmente all'interferenza con la rete idrografica principale. L'analisi della soggiacenza della falda è stata effettuata tramite l'utilizzo dei dati bibliografici forniti dagli elaborati allegati ai PGT dei vari comuni attraversati dalla linea. La rete di piezometri installati a supporto della progettazione risulta utile per l'analisi di dati di recente raccolta in prossimità della linea ferroviaria e delle opere; dal confronto di tali dati piezometrici (disponibili tra settembre 2019 e marzo 2020) e le informazioni bibliografiche, si evidenzia come la falda risulti, durante il periodo di monitoraggio, nella fase di magra corrispondente al periodo invernale. Risulterà comunque importante proseguire con un monitoraggio regolare e prolungato di tale strumentazione al fine di valutare con chiarezza le oscillazioni di falda e determinare la sua possibile interazione con le opere di progetto. Attualmente, sulla base dei dati disponibili, la maggior

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>227 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	227 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	227 di 222								

parte delle opere previste (generalmente cavalcaferrovia e sottovia), risulta o direttamente interferente con la falda, o possibilmente interferente con essa a seconda del ciclo idrogeologico.

- La permeabilità dei depositi presenti, data l'alternanza di materiali prevalentemente sabbioso-limosi e materiali prevalentemente argilloso-limosi, risulta caratterizzata superficialmente da aree dominate da depositi a media permeabilità e aree dominate da depositi a bassa permeabilità. In profondità generalmente prevalgono i depositi a media permeabilità. In prossimità dei due elementi idrografici maggiori, ovvero il fiume Oglio ed il Cavo Osone, si individuano depositi a permeabilità maggiore, vista la presenza di materiali recenti ed attuali a granulometria generalmente più grossolana.
- Dal punto di vista della pericolosità e del rischio geomorfologico è stata analizzata la cartografia tematica del Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Sulla base di tale cartografia la linea ferroviaria ricade interamente in territorio di pianura, e non sono presenti aree classificate a pericolosità geomorfologica.
- Dal punto di vista della pericolosità e del rischio idraulico, secondo l'abbondante documentazione disponibile in merito a tale tematica prodotta sia in ambito dei PGT dei vari comuni sia dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, la linea ferroviaria interseca principalmente due potenziali fonti di criticità:
 - il fiume Oglio, attraversato presso il comune di Bozzolo, che costituisce il principale elemento idrografico dell'area ed è caratterizzato dalla presenza di una fascia a pericolosità bassa avente larghezza di oltre 3 km, ed una fascia a pericolosità elevata in corrispondenza del ponte sul fiume stesso. Attraversando la fascia a pericolosità bassa il tracciato ferroviario costituisce un elemento lineare a rischio medio (R2) ed attraversando l'alveo del fiume, classificato a pericolosità elevata, esso costituisce un elemento a rischio molto elevato (R4).
 - Il fiume Mincio, costeggiato nell'ultima parte del tracciato presso Mantova. Il tracciato interseca una fascia a pericolosità bassa, trovandosi a circa 500 metri dal fiume stesso.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA												
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>228 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	228 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	228 di 222								

- Per quanto concerne la valutazione della vulnerabilità del primo acquifero si fa riferimento agli studi ed alla cartografia redatti dai PGT dei comuni interessati. In funzione della tipologia dei terreni di copertura e della soggiacenza della falda, emerge che:
 - presso Piadena la vulnerabilità risulta da bassa a moderata.
 - nel comune di Tornata la vulnerabilità del primo acquifero risulta in generale da moderata ad alta, con una fascia da bassa a moderata.
 - A Bozzolo la vulnerabilità del primo acquifero risulta da alta ad elevata ed estremamente elevata in corrispondenza del fiume Oglio (dove la falda è considerata affiorante).
 - nel comune di Marcaria la vulnerabilità del primo acquifero risulta da media ad alta, ed estremamente elevata in corrispondenza del fiume Oglio (dove la falda è considerata affiorante).
 - Per il comune di Castellucchio non è disponibile uno studio e relativa cartografia tematica relativi alla vulnerabilità della falda.
 - Presso Curtatone la vulnerabilità del primo acquifero risulta da alta ad elevata.
 - A Mantova la vulnerabilità del primo acquifero risulta media.
- Per quanto riguarda i vincoli territoriali di pertinenza geologica e idrogeologica, i soli vincoli individuati sono quelli relativi:
 - ai corpi idrici superficiali e alle relative fasce di rispetto soggetti a specifici vincoli e regolamenti di polizia idraulica nei comuni di Tornata e di Bozzolo;
 - al vincolo derivante dalla pianificazione di bacino, ai sensi della L.183/89, ed in particolare “Area di inondazione per piena catastrofica” (Fascia C) per il solo comune di Bozzolo.
- 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 C. Per quanto riguarda il potenziale di liquefazione dei terreni, nessuno dei motivi di esclusione risulta verificato a priori,

**PROGETTO DEFINITIVO****RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA****RELAZIONE****RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	229 di 222

per cui dovrà essere effettuata una verifica del fenomeno di liquefazione che sarà oggetto della relazione geotecnica.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>230 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	230 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	230 di 222								

13 BIBLIOGRAFIA

- Baraldi F. & Pellegrini M. (1976): “Falde acquifere della provincia di Mantova”. I.R.S.A. - C.N.R., 28(6), Roma.
- Baraldi F. & Pellegrini M. (1978): “Caratteristiche idrogeologiche della falda freatica nella città di Mantova”. I.R.S.A. - C.N.R., 34(15), Roma.
- “Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia” Regione Lombardia, Eni Divisione Agip, 2001, a cura di Cipriano Carcano e Andrea Piccin).
- Castellarin A., Vai G.B., “Guida alla geologia del sudalpino centro-orientale”. Società Geologica Italiana, Guide Geologiche Regionali, Bema Ed., 1982.
- 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/>.
- Cozzaglio A. (1933): “Note illustrative della Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 62 Mantova”. Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del R. Magistrato alle Acque - Venezia, Sezione Geologica, Padova.
- Cozzaglio A. (1934): “Carta Geologica delle Tre Venezie, Foglio 62 Mantova” della Carta d'Italia al 1:100.000 dell'Istituto Geografico Militare. Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del R. Magistrato alle Acque - Venezia.
- 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.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>231 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	231 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	231 di 222								

- Fantoni et al. (2004), “Alpine structure and deformation chronology at the Southern Alps-Po Plain border Lombardy”.
- Francani V., Zuppi G.M., Denti E., Sala P. e Scesi L. (1988) “Studi Idrogeologici sulla Pianura Padana”.
- 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.
- 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.
- 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>.
- 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.
- Mitchum R. M., Vail P. R. & Thompson S., III, (1977) – “Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequences as a basic unit for stratigraphic analysis”. In: Seismic Stratigraphy – application to hydrocarbon exploration (C. E. Payton Ed.). AAPG Mem., 26: 53-62.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA</p>												
<p>RELAZIONE</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM25</td> <td>03</td> <td>D69 RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>232 di 222</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	232 di 222
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	232 di 222								

- Muttoni G., Kent D. V., Garzanti E., Brack P., Abrahamsen N. & Gaetani M. (2003) – “Early Permian Pangea ‘B’ to Late Permian Pangea ‘A’”. Earth and Planetary Science Letters, 215, 379–394.
- “Norme Tecniche per la Costruzione” D.M. 17 gennaio 2018.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Bozzolo.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Castellucchio.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Curtatone.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Mantova.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Marcaria.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Piadena.
- Piano di Governo del Territorio, Documenti di Piano, Comune di Certosa di Tornata.
- Pieri M. & Groppi G., (1981) – “Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy”. CNR, P. F. Geodinamica, pubbl. n. 414, 13 pp.
- Regione Lombardia (2001): “Acque sotterranee in Lombardia – Gestione sostenibile di una risorsa strategica”. Milano, giugno 2001.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016). “CPTI15, The 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes”. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- UNI EN 1998 – “Eurocodice 8: Design of Structures for earthquake resistance”.

Siti web di interesse:

- Arpa Lombardia: <http://www2.arpalombardia.it>
- Autorità di bacino del Fiume Po: <https://adbpo.gov.it/>
- Condifesa Mantova-Cremona: <http://www.codima.info/>
- Geoportale della Lombardia: <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>



PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA**

RELAZIONE

**RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	233 di 222

- ISPRA Ambiente: <http://www.isprambiente.gov.it>, <http://www.geoviewer.isprambiente.it/>



PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA**

RELAZIONE

**RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	234 di 222

ALLEGATO A – PROVE DI LABORATORIO

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S01	CI1	3	3,5	X					X	X	X			X
L3-S01	CI1	3	3,5							X				x
L3-S01	CI1	3	3,5							X				x
L3-S01	CI2	6	6,5	X						X	X	X	X	
L3-S01	CI2	6	6,5							X		X		
L3-S01	CI2	6	6,5							X		X		
L3-S01	CR1	1,5	2							X				
L3-S01	CR2	4	4,5							X				
L3-S02	CI1	3	3,5	X	X	X			X	X	X	X	X	
L3-S02	CI2	4,5	5	X	X	X			X	X	X	X	X	
L3-S02	CR1	1,5	2	X						X				
L3-S02	CR2	6	6,5	X					X	X				
L3-S02	CR3	8	8,5	X						X				
L3-S02	CR4	11	11,5	X						X				
L3-S02	CR5	14	14,5	X						X				
L3-S02	CR6	18	18,5	X						X				
L3-S03	CI1	3	3,5	X						X	X	X	X	
L3-S03	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S03	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S03	CI2	4,5	5	X						X	X	X		
L3-S03	CI2	4,5	5							X		x		
L3-S03	CI2	4,5	5							X		x		
L3-S03	CR1	1,5	2							X				
L3-S03	CR2	6	6,5							X				
L3-S04	CI1	3	3,5	X						X	X	X	X	
L3-S04	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S04	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S04	CI2	4,5	5	X						X	X			X
L3-S04	CI2	4,5	5							X				x
L3-S04	CI2	4,5	5							X				x
L3-S04	CR1	1,5	2							X				
L3-S04	CR2	6	6,5							X				
L3-S05	CI1	3	3,5	X						X		X		
L3-S05	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S05	CI1	3	3,5							X		x		
L3-S05	CI2	4,5	5	X						X	X			X
L3-S05	CI2	4,5	5							X				x

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	236 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S05	CI2	4,5	5							X				X
L3-S05	CR1	1,5	2							X				
L3-S05	CR2	6	6,5							X				
L3-S06	CI1	3	3,5	X	X	X				X		X	X	X
L3-S06	CI2	4,5	5	X	X	X				X		X	X	X
L3-S06	CI3	7	7,5	X	X	X				X		X	X	X
L3-S06	CI4	10,5	11	X	X	X				X			X	X
L3-S06	CI5	12	12,5	X	X	X				X		X	X	X
L3-S06	CI6	15	15,5	X	X	X			X	X		X	X	X
L3-S06	CR1	1,5	2	X						X				
L3-S06	CR2	6	6,5	X						X				
L3-S06	CR3	8	8,5	X						X				
L3-S06	CR4	11	11,5	X						X				
L3-S06	CR5	14	14,5	X						X				
L3-S07	CR1	1,5	2				X		X	X				
L3-S07	CR2	6	6,5				X		X	X				
L3-S07	CR3	8	8,5				X		X	X				
L3-S07	CR4	11	11,5				X		X	X				
L3-S07	CR5	14	14,5											
L3-S07	CI1	10	10,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
L3-S07	CI2	15	15,5	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S08	CR1	1,5	2							X				
L3-S08	CR2	6	6,5							X				
L3-S08	CR3	8	8,5							X				
L3-S08	CR4	11	11,5						X	X				
L3-S08	CR5	14	14,5							X				
L3-S08	CR6	21	21,5							X				
L3-S08	CR7	27	27,5							X				
L3-S08	CI1	10,5	11	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S09	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S09	CR2	6	6,5							X				
L3-S09	CR3	11	11,5							X				
L3-S09	CR4	14	14,5							X				
L3-S09	CR5	21	21,5							X				
L3-S10	CI1	3	3,5	X						X	X	X		
L3-S10	CI1	3	3,5							X		X		
L3-S10	CI1	3	3,5							X		X		

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	237 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S10	CI2	4,5	5	X						X		X		
L3-S10	CI2	4,5	5							X		x		
L3-S10	CI2	4,5	5							X		x		
L3-S10	CR1	1,5	2							X				
L3-S10	CR2	6	6,5							X				
L3-S11	CR1	1,5	2				X		X	X				
L3-S11	CR2	6	6,5				X		X	X				
L3-S11	CR3	11	11,5				X		X	X				
L3-S11	CR4	14	14,5				X		X	X				
L3-S11	CR5	24	24,5				X	X	X					
L3-S11	CI1	10,5	11	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
L3-S11	CI2	12	12,5	X		X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S11	CI3	15	15,5	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
L3-S11	CI4	17	17,5	X		X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S12	CI1	4,5	5	X	X	X			X	X	X	X	X	
L3-S12	CI2	13,5	14	X	X	X			X	X	X	X	X	
L3-S12	CI3	43,5	44	X	X	X			X	X	X		X	X
L3-S12	CI4	49	49,5	X	X	X			X	X	X	X	X	
L3-S12	CR1	6	6,5	X						X				
L3-S12	CR2	8	8,5	X						X				
L3-S12	CR3	11	11,5	X						X				
L3-S12	CR4	14	14,5	X					X	X				
L3-S12	CR5	21	21,5	X						X				
L3-S12	CR6	27	27,5	X						X				
L3-S12	CR7	35	35,5	X						X				
L3-S13	CR1	6	6,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR2	8	8,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR3	11	11,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR4	14	14,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR5	21	21,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR6	27	27,5	X		X	X			X				
L3-S13	CR7	35	35,5	X		X	X			X				
L3-S14	CR1	1,5	2	X						X				
L3-S14	CR2	6	6,5	X						X				
L3-S14	CR3	8	8,5	X					X	X				
L3-S14	CR4	11	11,5	X						X				
L3-S14	CR5	14	14,5	X						X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	238 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S14	CR6	21	21,5	X						X				
L3-S14	CR7	27	27,5	X						X				
L3-S15	CR1	1.5	2	X		X	X			X				
L3-S15	CR2	6	6.5	X		X	X			X				
L3-S15	CR3	8	8.5	X		X	X			X				
L3-S15	CR4	11	11.5	X		X	X			X				
L3-S15	CR5	14	14.5	X		X	X			X				
L3-S15	CR6	21	21.5	X		X	X			X				
L3-S15	CR7	27	27.5	X		X	X			X				
L3-S15	CI1	5	5,5	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S15	CI1	5	5,5							X				X
L3-S15	CI1	5	5,5							X				X
L3-S15	CR1	1,5	2							X				
L3-S15	CR2	6	6,5							X				
L3-S16	CI1	4,5	5	X	X	X				X	X	X	X	
L3-S16	CR1	1,5	2	X						X				
L3-S16	CR2	6	6,5	X						X				
L3-S16	CR3	11	11,5	X						X				
L3-S16	CR4	14	14,5	X						X				
L3-S16	CR5	24	24,5	X						X				
L3-S17	CI1	4	4,5	X		X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S17	CI2	15	15,5	X		X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S17	CI3	18.5	19	X		X	X	X	X	X	X	X	X	
L3-S17	CR1	1,5	2				X		X	X				
L3-S17	CR2	6	6,5				X		X	X				
L3-S17	CR3	11	11.5				X		X	X				
L3-S17	CR4	14	14.5				X		X	X				
L3-S17	CR5	24	24.5				X		X	X				
L3-S18	CI1	3,5	4	X		X	X	X	X	X	X		X	X
L3-S18	CI2	10	10.5	X		X	X	X	X	X	X		X	
L3-S18	CR1	1.5	2						X	X				
L3-S18	CR2	6	6.5						X	X				
L3-S18	CR3	11	11.5							X				
L3-S18	CR4	14	14.5							X				
L3-S18	CR5	21	21.5							X				
L3-S19	CR1	1.5	2						X	X				
L3-S19	CR2	6	6.5						X	X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	239 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S19	CR3	11	11.5							X				
L3-S19	CR4	14	14.5							X				
L3-S19	CR5	24	24.5							X				
L3-S20	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S20	CR2	6	6,5						X	X				
L3-S20	CR3	8	8.5						X					
L3-S20	CR4	11	11.5											
L3-S20	CR5	14	14.5											
L3-S20	CR6	21	21.5											
L3-S20	CR7	27	27.5											
L3-S21	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S21	CR2	6	6,5						X	X				
L3-S21	CR3	8	8,5						X	X				
L3-S21	CR4	11	11,5							X				
L3-S21	CR5	14	14,5							X				
L3-S21	CR6	21	21,5							X				
L3-S21	CR7	27	27,5							X				
L3-S22	CI1	5	5,6	X	X	X				X	X		X	X
L3-S22	CI2	8	8,5	X	X	X				X	X	X	X	
L3-S22	CI3	11,5	12	X	X	X				X	X		X	X
L3-S22	CR1	1.5	2							X				
L3-S22	CR2	6	6.5						X	X				
L3-S22	CR3	11	11.5						X	X				
L3-S22	CR4	14	14.5							X				
L3-S22	CR5	24	24.5							X				
L3-S23	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S23	CR2	6	6,5							X				
L3-S23	CR2	8	8.5							X				
L3-S23	CR2	11	11.5							X				
L3-S23	CR2	14	14.5							X				
L3-S23	CR2	21	21.5							X				
L3-S23	CR2	27	27.5							X				
L3-S24	CR1	1,5	2							X				
L3-S24	CR2	6	6,5							X				
L3-S24	CR3	8	8.5							X				
L3-S24	CR4	11	11.5							X				
L3-S24	CR5	14	14.5							X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	240 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S24	CR6	21	21.5							X				
L3-S24	CR7	27	27.5							X				
L3-S25	CR1	1,5	2							X				
L3-S25	CR2	6	6,5							X				
L3-S26	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S26	CR2	9	9.5											
L3-S26	CR3	15	15.5											
L3-S26	CR4	24	24.5											
L3-S26	CR5	27	27.5											
L3-S27	CI1	4,5	5,1	X	X	X		X	X	X	X	X		
L3-S27	CI2	10.2	10.7	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S27	CR1	1,5	2							X				
L3-S27	CR2	6	6,5						X	X				
L3-S27	CR3	8	8.5						X	X				
L3-S27	CR4	11	11.5							X				
L3-S27	CR5	14	14.5							X				
L3-S27	CR6	21	21.5							X				
L3-S27	CR7	27	27.5							X				
L3-S28	CI1	3	3,45	X						X	X			X
L3-S28	CI1	3	3,45							X				x
L3-S28	CI1	3	3,45							X				x
L3-S28	CR1	1,5	2							X				
L3-S28	CR2	6	6,5							X				
L3-S29	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S29	CR2	6	6,5							X				
L3-S29	CR3	11	11.5							X				
L3-S29	CR4	14	14.5							X				
L3-S29	CR5	24	24.5							X				
L3-S29	CI1	10.5	11	X		X			X	X		X		
L3-S30	CR1	1,5	2							X				
L3-S30	CR2	6	6,5							X				
L3-S30	CR3	8	8.5							X				
L3-S30	CR4	11	11.5						X	X				
L3-S30	CR5	14	14.5							X				
L3-S30	CR6	21	21.5							X				
L3-S30	CR7	27	27.5							X				
L3-S31	CR1	1.5	2							X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	241 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S31	CR2	6	6.5						X	X				
L3-S31	CR3	11	11.5						X	X				
L3-S31	CR4	14	14.5							X				
L3-S31	CR5	24	24.5							X				
L3-S31	CI1	5	5.5	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S32	CR1	1,5	2							X				
L3-S32	CR2	6	6,5							X				
L3-S33	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S33	CR2	6	6,5						X	X				
L3-S33	CR3	8	8.5							X				
L3-S33	CR4	11	11.4							X				
L3-S33	CR5	14	14.5							X				
L3-S33	CR6	21	21.5							X				
L3-S33	CR7	27	27.5						X	X				
L3-S34	CI1	4,5	5	X	X	X	X	X		X	X		X	X
L3-S34	CI2	15	15.5	X	X	X	X	X		X	X		X	X
L3-S34	CI3	18	18.5	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
L3-S34	CI4	24	24.5	X	X	X	X	X		X	X	X	X	
L3-S34	CI5	39	39.5	X	X	X	X	X		X	X		X	X
L3-S34	CI6	40	40.5	X	X	X	X	X		X	X		X	X
L3-S34	CR1	6	6,5	X			X			X				
L3-S34	CR2	8	8.5	X			X			X				
L3-S34	CR3	11	11.45	X			X			X				
L3-S34	CR4	14	14.5	X			X			X				
L3-S34	CR5	21	21.5	X			X			X				
L3-S34	CR6	2	27.5	X			X			X				
L3-S34	CR7	35	35.5	X			X			X				
L3-S35	CI1	4,5	5	X		X			X	X		X		
L3-S35	CI2	4,5	5	X		X			X	X	X			
L3-S35	SPT1	3	3,45						X	X				
L3-S35	SPT2	6	6,45						X	X				
L3-S35	SPT3	10.5	10.95						X	X				
L3-S35	SPT4	12.5	12.95						X	X				
L3-S35	SPT5	15	15.45						X	X				
L3-S35	SPT6	18	18.45						X	X				
L3-S35	SPT7	24	24.45						X	X				
L3-S36	SPT1	3	3.45							X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	242 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S36	SPT2	4.5	4.95						X	X				
L3-S36	SPT3	6	6.45							X				
L3-S36	SPT4	9	9.45						X	X				
L3-S36	SPT5	12	12.45						X	X				
L3-S36	SPT6	18	18.45						X	X				
L3-S36	SPT7	24	24.45						X	X				
L3-S36	CI1	5.5	6	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S36	CI2	14.8	15.3	X	X	X		X	X	X	X	X		
L3-S37	CI1	4,5	5	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S37	CI2	4,5	5	X	X	X		X	X	X		X		
L3-S37	SPT1	3	3,45						X	X				
L3-S37	SPT2	5	5,45						X	X				
L3-S37	SPT3	6	6,45						X	X				
L3-S37	SPT4	9	9.45						X	X				
L3-S37	SPT5	12.5	12.95						X	X				
L3-S37	SPT6	19	19.45						X	X				
L3-S37	SPT7	24	24.45						X	X				
L3-S38	SPT1	3	3.45						X	X				
L3-S38	SPT2	6	6.45						X	X				
L3-S38	SPT3	9	9.45							X				
L3-S38	SPT4	18	18.45							X				
L3-S38	SPT5	24	24.45						X	X				
L3-S38	CI1	4.5	5	X	X	X		X	X	X				
L3-S38	CI2	15	15.5	X	X	X		X	X	X				
L3-S39	SPT1	3	3.45						X	X				
L3-S39	SPT2	6	6.45						X	X				
L3-S39	SPT3	9	9.45							X				
L3-S39	SPT4	12	12.45							X				
L3-S39	SPT5	18	18.45							X				
L3-S39	SPT6	24	24.45							X				
L3-S39	CI1	4.5	5	X	X				X	X				
L3-S40	SPT1	3	3,45							X				
L3-S40	SPT2	6	6,45							X				
L3-S40	SPT3	9	9,45							X				
L3-S40	SPT4	12	12,45							X				
L3-S40	SPT5	15	15,45							X				
L3-S40	SPT6	21	21,45							X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	243 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S40	CI1	27	27,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S41	SPT1	3	3.5							X				
L3-S41	SPT2	6	6.5							X				
L3-S41	SPT3	9	9.5						X	X				
L3-S41	SPT4	12	12.5						X	X				
L3-S41	SPT5	15	15.5						X	X				
L3-S41	SPT6	18	18.5							X				
L3-S41	SPT7	24	24.5							X				
L3-S41	CI1	13	13.5							X				
L3-S42	CR1	4.5	5							X				
L3-S42	CR2	6,7	7						X	X				
L3-S42	CI1	7,5	8	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S42	CR3	11	11,5							X				
L3-S42	CI2	13,5	14	X	X	X	X	X	X	X		X		
L3-S42	CR4	18	18,5							X				
L3-S42	CR5	21,8	22						X	X				
L3-S42	CI3	22,5	23	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S42	CR6	29,5	30							X				
L3-S43	CR1	3,5	4							X				
L3-S43	CR2	7,5	8							X				
L3-S43	CR3	9,7	10						X	X				
L3-S43	CI1	10,5	11,1	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S43	CR4	13,5	14						X	X				
L3-S43	CR5	16	16,5							X				
L3-S43	CI2	19,5	20	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S43	CR6	22	22,3						X	X				
L3-S44	SPT1	3	3.5						X	X				
L3-S44	SPT2	6	6.5							X				
L3-S44	SPT3	9	9.5							X				
L3-S44	SPT4	12	12.5						X	X				
L3-S44	SPT5	18	18.5							X				
L3-S44	SPT6	24	24.5							X				
L3-S44	SPT7	27	27.5							X				
L3-S44	CI1	4.5	5	X						X	X			
L3-S44	CI2	19.5	20	X					X	X		X		
L3-S45	SPT1	3	3,45							X				
L3-S45	SPT2	6	6,45							X				

RELAZIONE

 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	244 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S45	SPT3	9	9,45							X				
L3-S45	SPT4	12	12,45							X				
L3-S45	SPT5	15	15,45							X				
L3-S45	CI1	19,5	20	X	X	X	X	X	X	X				
L3-S45	SPT6	21	21,45							X				
L3-S46	SPT1	6	6,45							X				
L3-S46	SPT2	9	9,45						X	X				
L3-S46	SPT3	15	15,45							X				
L3-S46	SPT4	18	18,45						X	X				
L3-S46	SPT5	24	24,45							X				
L3-S46	SPT6	27	27,45							X				
L3-S46	SPT7	30	30,45							X				
L3-S46	CI1	7,5	8	X	X	X		X	X	X	X		X	
L3-S46	CI2	12	12,5	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S47	SPT1	3,5	3,95						X	X				
L3-S47	CI1	5,5	6	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
L3-S47	SPT2	6	6,45						X	X				
L3-S47	SPT3	10,5	10,95						X	X				
L3-S47	CI2	12	12,5						X	X				
L3-S47	SPT4	12,5	12,95						X	X				
L3-S47	SPT5	15	15,45							X				
L3-S47	SPT6	18	18,45						X	X				
L3-S47	SPT7	24	24,45							X				
L3-S48	SPT1	3	3,45						X	X				
L3-S48	SPT2	6	6,45						X	X				
L3-S48	SPT3	9	9,45							X				
L3-S48	SPT4	12	12,45							X				
L3-S48	SPT5	18	18,45						X	X				
L3-S48	CI1	21	21,5	X	X	X	X	X		X		X		
L3-S48	SPT6	24	24,45						X	X				
L3-S48	SPT7	27	27,45							X				
L3-S49	CI1	6	6,45	X	X	X		X	X	X	X			
L3-S49	SPT1	3	3,45							X				
L3-S49	SPT2	6,5	6,95						X	X				
L3-S49	SPT3	9	9,45							X				
L3-S49	SPT4	12	12,45							X				
L3-S49	SPT5	18	18,45							X				



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE
 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	245 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S50	CR1	3,2	3,4						X	X				
L3-S50	CI1	4,5	5,1	X	X	X	X	X	X	X	X			X
L3-S50	SPT2	6	6,45							X				
L3-S50	CR2	13	13,3							X				
L3-S50	SPT5	18	18,45							X				
L3-S50	SPT6	24	24,45							X				
L3-S50	SPT8	30	30,45							X				
L3-S50	CR3	35	35,5							X				
L3-S51	SPT1	3	3,45							X				
L3-S51	SPT2	6	6,45							X				
L3-S51	SPT3	9	9,45							X				
L3-S51	SPT4	12	12,45							X				
L3-S51	SPT5	15	15,45							X				
L3-S51	SPT6	18	18,45							X				
L3-S51	SPT7	24	24,45							X				
L3-S52	CR1	1,5	2						X	X				
L3-S52	CR2	4,5	5							X				
L3-S52	CR3	9	9,5							X				
L3-S52	CR4	12	12,5							X				
L3-S52	CR5	18	18,5							X				
L3-S52	CR6	24	24,5							X				
L3-S53	CR1	4,5	5							X				
L3-S53	CR2	9,7	10						X	X				
L3-S53	CR3	11	11,5							X				
L3-S53	CR4	17,5	18							X				
L3-S53	CR5	22,5	23							X				
L3-S53	CR6	29	29,5							X				
L3-S54	CI1	5	5,5	X	X	X		X	X	X	X	X		
L3-S54	CI2	7,5	8	X	X	X		X	X	X		X		
L3-S54	CR1	10	10,5							X				
L3-S54	CR2	16	16,5							X				
L3-S54	SPT1	3	3,45						X	X				
L3-S54	SPT3	6	6,45						X	X				
L3-S54	SPT7	24	24,5							X				
L3-S55	SPT1	3	3,45						X	X				
L3-S55	CR1	4,5	5							X				
L3-S55	SPT2	6	6,45							X				



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE
RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	246 di 222

Sondaggio	Campione	Profondità (da - a, m)		Peso di volume secco, gd	Peso di volume naturale, gn	Contenuto d'acqua	Massa volumica dei grani, rs	Massa specifica relativa Gs	Limiti di Atterberg	Granulometria	EDO	TD	TX-UU	TX-CIU
L3-S55	SPT3	9	9,45							X				
L3-S55	SPT4	12	12,45							X				
L3-S55	SPT5	15	15,45							X				
L3-S55	SPT6	18	18,45							X				
L3-S55	SPT7	24	24,45							X				



**RADDOPPIO FERROVIARIO CODOGNO – CREMONA – MANTOVA.
TRATTA PIADENA – MANTOVA**

PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	247 di 160

ALLEGATO B – INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO

La Pianura Padana è relativamente uniforme dal punto di vista climatico, con piogge limitate (da 600 a 1000 mm), ma ben distribuite nell'anno, temperature medie annue tra 11 e 14°C, nebbie frequenti,

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA PIADENA – MANTOVA					
RELAZIONE RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D69 RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 248 di 222

ventosità ridotta con molte ore di calma, elevate umidità relative e frequenti episodi temporaleschi. In inverno l'area padana presenta sovente uno strato di aria fredda in vicinanza del suolo che, in assenza di vento, determina la formazione di gelate e di nebbie spesso persistenti che tendono a diradarsi solo nelle ore pomeridiane. È raro che in questo periodo le perturbazioni influenzino la zona; in qualche caso però tali condizioni si verificano con precipitazioni che possono essere nevose in presenza di apporti di aria fredda siberiana (anticiclone russo). Il passaggio alla stagione primaverile risulta di norma brusco e caratterizzato da perturbazioni che determinano periodi piovosi di una certa entità man mano che la stagione avanza i fenomeni assumono un carattere temporalesco sempre più spiccato. L'attività temporalesca tuttavia vede il suo apice nel periodo estivo quando si registrano elevati accumuli di energia utile per innescarla e sostenerla. Essa risulta relativamente intensa con precipitazioni quantitativamente superiori a quelle invernali. In autunno il tempo è caratterizzato dal frequente ingresso di perturbazioni atlantiche, che possono dare luogo a precipitazioni di entità rilevante. Il periodo autunnale è anche quello più favorevole al manifestarsi di situazioni alluvionali nell'area padana (es. alluvione del Polesine del '51, alluvione del Piemonte del '94).

Regime anemologico

Gli indici di ventosità, espressi dalla frequenza delle calme di vento, delle classi di velocità e dei settori di provenienza su base annuale e stagionale, consentono di caratterizzare i fenomeni di trasporto degli inquinanti e, congiuntamente all'indice di stabilità atmosferica, il potenziale di rigenerazione della qualità dell'aria. La direzione del vento è stata suddivisa in 16 settori di ampiezza pari a 22,5°, a partire dal Nord geografico, mentre la velocità del vento è ripartita nelle seguenti classi:

- $v < 0,5 \text{ m s}^{-1}$ (calma di vento)
- $0,5 \leq v < 3,0 \text{ m s}^{-1}$
- $3,1 \leq v < 5,0 \text{ m s}^{-1}$
- $5,1 \leq v < 10,0 \text{ m s}^{-1}$
- $v \geq 10,0 \text{ m s}^{-1}$

Nell'area di studio tra Cremona e Mantova, dall'osservazione della distribuzione delle frequenze annuali di provenienza dei venti, si evince che i venti prevalenti si dispongono lungo l'asse Est-Ovest.

Temperatura al suolo

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	249 di 222

Le variazioni del livello termico dell'aria che si verificano nel corso della giornata e delle stagioni, inducono una serie di fenomeni convettivi locali che contribuiscono a definire il grado di stabilità atmosferica e quindi il potenziale di dispersione degli inquinanti.

In Figura 1 sono rappresentati gli andamenti delle medie dei valori medi, minimi e massimi di temperatura registrati nei diversi mesi, per tutto il periodo analizzato (1982-2001) presso Cremona, mentre in Figura 2 sono rappresentate le temperature medie mensili dal 1981 al 2010 presso Mantova.

Le temperature medie annue risultano pari a 13-14°C e rientrano nell'intervallo di temperature tipico delle località della Pianura Padana.

Andamento delle minime, medie e massime di temperatura

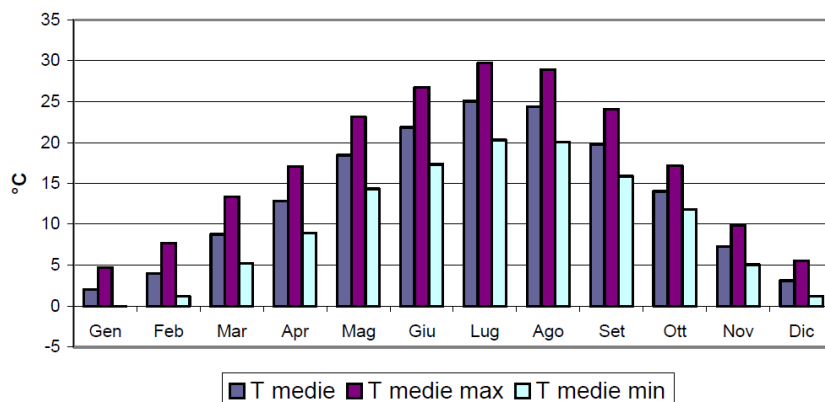


Figura 1 - Temperature medie, minime e massime (Serie storica di Mantova, 1982-2001).

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	250 di 222

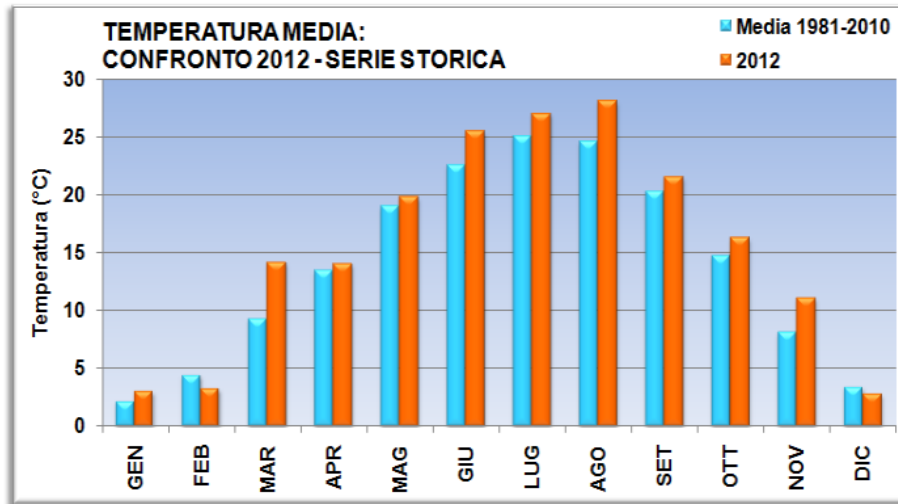


Figura 2 - Temperature medie (Serie storica di Mantova, 1981-2010). Fonte Condifesa Cremona-Mantova.

La Figura 3 invece riporta l'andamento delle temperature medie presso Mantova nel periodo compreso tra il 1828 ed il 2014.

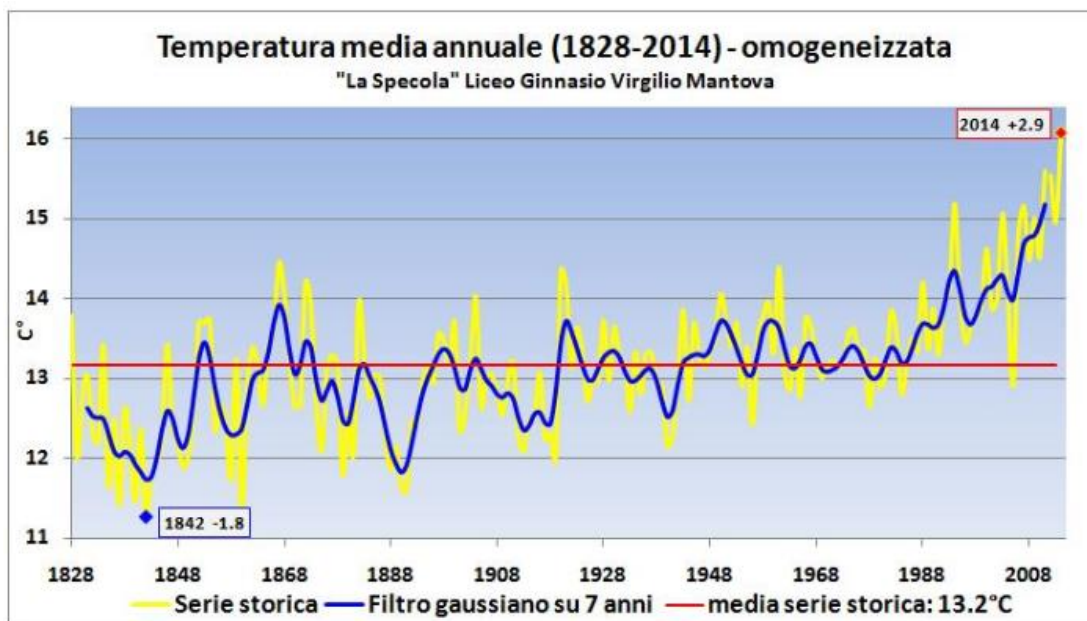


Figura 3 – Grafico della temperatura media annuale dal 1828 al 2014 presso Mantova. Fonte Condifesa Cremona-Mantova.

Piovosità

Le precipitazioni rappresentano un altro importante fattore climatico che agisce sui tempi di residenza dei contaminanti in atmosfera. I meccanismi con i quali la pioggia determina la rimozione dei composti gassosi e particolati sono due: il primo si fonda sull'incorporazione nelle goccioline sospese all'interno delle nubi dei vari contaminanti portati verso l'alto dalla turbolenza dello strato limite ("rainout"), il secondo meccanismo si esplica con l'azione dilavante compiuta dalle precipitazioni nell'attraversare l'atmosfera inquinata al di sotto delle nubi ("washout").

In base alla serie storica di dati relativi alla stazione pluviometrica di Cremona per il periodo 1982-2001 la Figura 4 seguente rappresenta l'andamento delle precipitazioni annuali e la distribuzione media mensile delle piogge, mentre la Figura 5 rappresenta l'andamento delle piovosità medie mensili dal 1984 al 2013 presso Mantova. Infine, in Figura 6 viene rappresentato l'andamento delle precipitazioni medie annuali dal 1840 al 2014 presso Mantova.

Precipitazioni annuali

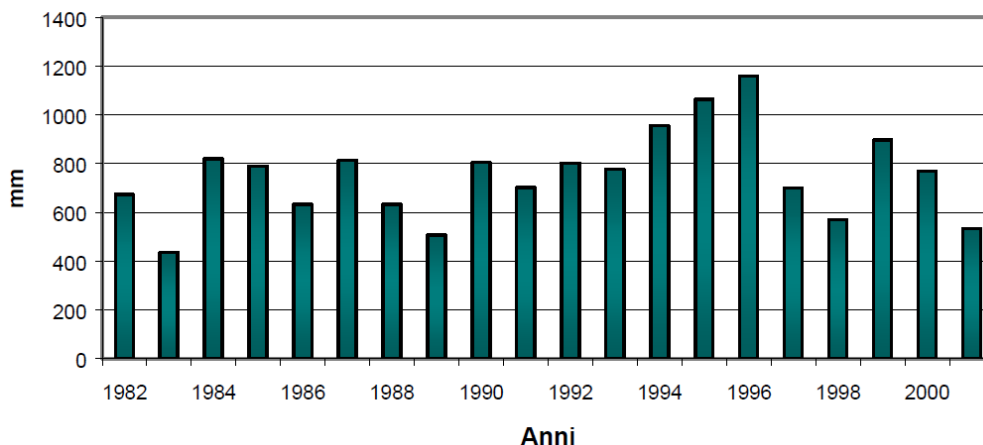


Figura 4 - Andamento delle precipitazioni annuali (Serie storica di Cremona, 1982-2002).

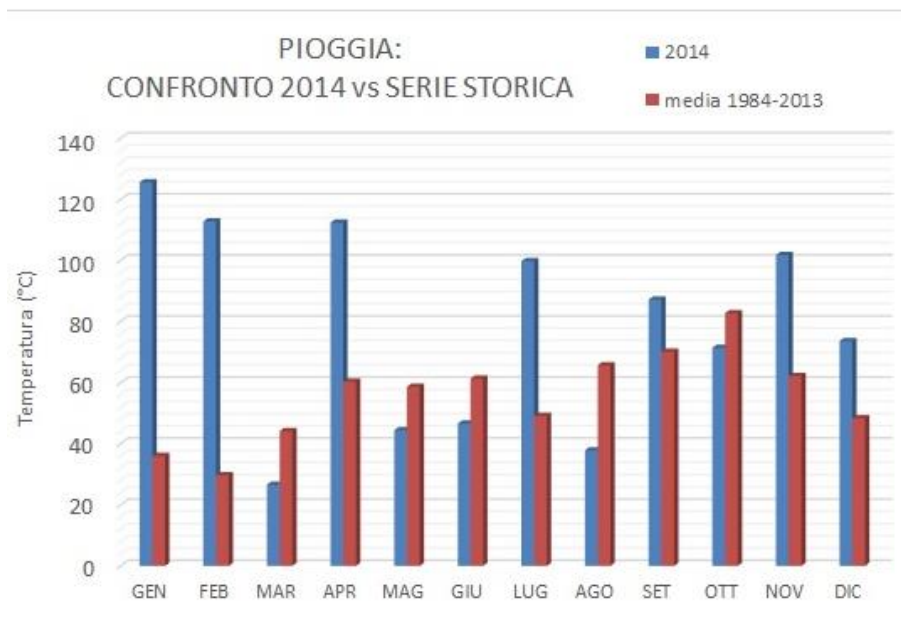


Figura 5 - Andamento delle precipitazioni annuali (Serie storica di Mantova, 1984-2013). Fonte Condifesa Mantova-Cremona.

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	253 di 222

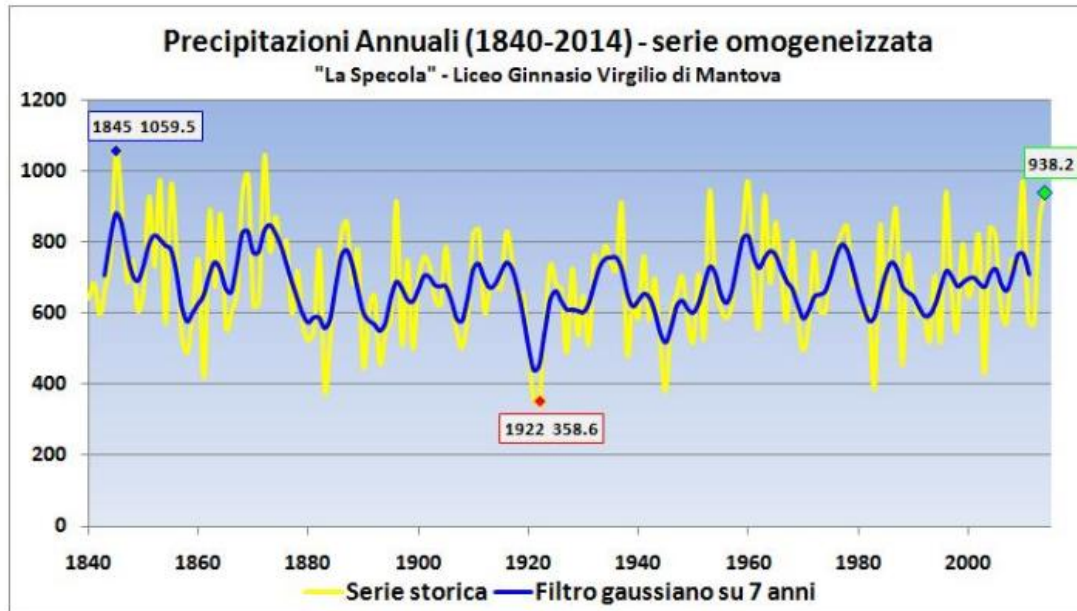


Figura 6 – Grafico delle precipitazioni annuali presso Mantova dal 1840 al 2014. Fonte Condifesa Mantova-Cremona.



PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA**

RELAZIONE

**RELAZIONE GEOLOGICA,
GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	254 di 222

ALLEGATO C – LETTURE PIEZOMETRICHE



**RADDOPPIO FERROVIARIO COLOGNO – CREMONA – MANTOVA.
TRATTA PIADENA – MANTOVA
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	255 di 160

PIEZOMETRO	Coordinate		Quota piezometro metri s.l.m.	TUBO PIEZOMETRICO		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A	
	longitudine	latitudine		Lunghezza e Tipo	20/10/2019	29/11/2020	23/01/2020	24/02/2020	26/03/2020						
Denominazione					tubo A	tubo B	tubo A	tubo B	tubo A	tubo B	tubo A	tubo B	tubo A	tubo B	
					Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	Prof. Falda	
S1 Cella 1	10,3835549837	45,1236493054	31,31	18,00	Cas.	5,84	5,84	4,31	4,31	4,46	4,46	4,51	4,51	4,63	4,63
S1 Cella 2	10,3835549837	45,1236493054	31,31	32,00	Cas.	5,90	5,90	5,44	5,44	5,14	5,14	5,16	5,16	5,32	5,32
S2 Cella 1	10,3870835175	45,1235554111	31,13	9,00	Cas.	5,75	5,75	3,95	3,95	4,02	4,02	4,03	4,03	4,23	4,23
S2 Cella 2	10,3870835175	45,1235554111	31,13	32,00	Cas.	5,97	5,97	5,31	5,31	5,34	5,34	5,38	5,38	5,48	5,48
S3 Cella 1	10,3945110434	45,1218297097	31,13	7,00	Cas.	5,73	5,73	3,48	3,48	3,69	3,69	3,71	3,71	3,79	3,79
S3 Cella 2	10,3945110434	45,1218297097	31,13	30,00	Cas.	5,75	5,75	4,36	4,36	4,52	4,52	4,63	4,63	4,61	4,61
S4	10,4039361300	45,1198282675	30,34	50,00	T.A.	5,52	-	5,03	-	5,08	-	5,05	-	5,23	-
S5 Cella 1	10,4279208575	45,1138267916	29,06	7,00	Cas.	2,61	2,61	1,00	1,00	1,34	1,34	1,33	1,33	1,63	1,63
S5 Cella 2	10,4279208575	45,1138267916	29,06	22,00	Cas.	3,68	3,68	2,47	2,47	2,79	2,79	2,80	2,80	2,89	2,89
S6 Cella 1	10,4420242222	45,1110542998	28,04	9,00	Cas.	2,71	2,71	0,81	0,81	0,97	0,97	0,99	0,99	1,05	1,05
S6 Cella 2	10,4420242222	45,1110542998	28,04	30,00	Cas.	3,91	3,91	3,01	3,01	3,03	3,03	3,03	3,03	3,18	3,18
S7 Cella 1	10,4543738709	45,1079277642	28,64	6,00	Cas.	2,81	2,81	1,27	1,27	2,70	2,70	2,77	2,77	2,81	2,81
S7 Cella 2	10,4543738709	45,1079277642	28,64	25,00	Cas.	3,18	3,18	2,49	2,49	2,04	2,04	2,15	2,15	2,16	2,16
S8 Cella 1	10,4746392274	45,1083494998	25,62	5,00	Cas.	2,11	2,11	2,06	2,06	2,00	2,00	2,03	2,03	2,14	2,14
S8 Cella 2	10,4746392274	45,1083494998	25,62	35,00	Cas.	2,82	2,82	2,39	2,39	2,42	2,42	2,41	2,41	2,56	2,56
S9 Cella 1	10,4869288539	45,1133922008	22,27	5,00	Cas.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S9 Cella 2	10,4869288539	45,1133922008	22,27	30,00	Cas.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S10 Cella 1	10,4929445053	45,1160075043	24,06	35,00	Cas.	2,71	2,71	1,55	1,55	1,51	1,51	1,53	1,53	1,52	1,52
S11 Cella 1	10,5067788265	45,1213198967	21,22	10,00	Cas.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S11 Cella 2	10,5067788265	45,1213198967	21,22	30,00	Cas.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S12 Cella 1	10,5096446549	45,1233780522	23,68	9,00	Cas.	1,46	1,46	1,22	1,22	1,32	1,32	1,34	1,34	1,39	1,39
S12 Cella 2	10,5096446549	45,1233780522	23,68	46,00	Cas.	2,11	2,11	0,56	0,56	0,66	0,66	0,68	0,68	0,83	0,83
S14 Cella 1	10,5197939565	45,1255217154	26,08	9,00	Cas.	3,47	3,47	3,50	3,50	3,46	3,46	3,51	3,51	3,83	3,83



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE
 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	256 di 222

PIEZOMETRO	Coordinate		Quota piezometro metri s.l.m.	TUBO PIEZOMETRICO		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A	
	longitudine	latitudine		Lunghezza e Tipo	20/10/2019	29/11/2020	23/01/2020	24/02/2020	26/03/2020						
S14 Cella 2	10,5197939565	45,1255217154	26,08	35,00	Cas.	4,11	4,11	5,60	5,60	5,62	5,62	5,63	5,63	5,97	5,97
S15 Cella 1	10,5368240738	45,1244570636	26,95	9,00	Cas.	4,74	4,74	3,98	3,98	4,01	4,01	4,07	4,07	n.d.	n.d.
S15 Cella 2	10,5368240738	45,1244570636	26,95	30,00	Cas.	4,94	4,94	3,97	3,97	4,03	4,03	4,06	4,06	n.d.	n.d.
S16 Cella 1	10,5497171578	45,1237497402	26,31	6,00	Cas.	2,90	2,90	1,40	1,40	1,98	1,98	2,01	2,01	2,28	2,28
S16 Cella 2	10,5497171578	45,1237497402	26,31	30,00	Cas.	4,41	4,41	3,12	3,12	3,51	3,51	3,54	3,54	3,86	3,86
S17 Cella 1	10,5619845822	45,1232456875	23,11	8,00	Cas.	1,53	1,53	0,60	0,60	0,68	0,68	0,71	0,71	0,91	0,91
S17 Cella 2	10,5619845822	45,1232456875	23,11	30,00	Cas.	1,24	1,24	0,14	0,14	0,41	0,41	0,52	0,52	0,62	0,62
S18	10,5730939366	45,1224573720	26,45	30,00	T.A.	3,12	-	3,29	0,20	3,48	-	3,55	-	3,75	-
S19 Cella 1	10,5915226752	45,1250242410	25,39	30,00	Cas.	3,06	3,06	1,59	1,59	1,83	1,83	1,84	1,84	2,26	2,26
S20 Cella 1	10,6030568925	45,1292135044	24,55	35,00	Cas.	2,05	2,05	1,53	1,53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
S21 Cella 1	10,6129696222	45,1329542753	25,16	35,00	Cas.	2,50	2,50	1,59	1,59	1,46	1,46	1,53	1,53	1,74	1,74
S22 Cella 1	10,6280296267	45,1378392488	25,52	4,00	Cas.	1,56	1,56	1,45	1,45	1,10	1,10	1,15	1,15	1,15	1,15
S22 Cella 2	10,6280296267	45,1378392488	25,52	30,00	Cas.	2,52	2,52	2,71	2,71	1,86	1,86	1,98	1,98	1,97	1,97
S23 Cella 1	10,6403828389	45,1422747577	25,38	35,00	Cas.	2,00	2,00	1,72	1,72	1,95	1,95	2,03	2,03	2,36	2,36
S24 Cella 1	10,6591315500	45,1452254439	25,56	35,00	Cas.	4,25	4,25	3,69	3,69	3,74	3,74	3,84	3,84	3,91	3,91
S25 Cella 1	10,6725236435	45,1456919676	25,44	30,00	Cas.	4,78	4,78	4,80	4,80	4,52	4,52	4,63	4,63	4,68	4,68
S26 Cella 1	10,6855594389	45,1463066807	21,14	30,00	Cas.	1,56	1,56	1,29	1,29	1,21	1,21	1,29	1,29	1,45	1,45
S27 Cella 1	10,6915667492	45,1466638479	24,71	7,50	Cas.	4,67	4,67	3,95	3,95	3,86	3,86	3,94	3,94	3,84	3,84
S27 Cella 2	10,6915667492	45,1466638479	24,71	35,00	Cas.	5,27	5,27	5,18	5,18	5,08	5,08	5,15	5,15	5,08	5,08
S28 Cella 1	10,7000552232	45,1468127460	22,83	5,50	Cas.	5,22	5,22	1,66	1,66	1,75	1,75	1,84	1,84	1,97	1,97
S28 Cella 2	10,7000552232	45,1468127460	22,83	30,00	Cas.	4,79	4,79	3,54	3,54	3,59	3,59	3,63	3,63	3,87	3,87
S29 Cella 1	10,7140656937	45,1465855440	25,67	30,00	Cas.	6,91	6,91	6,73	6,73	6,41	6,41	6,48	6,48	6,39	6,39
S30 Cella 1	10,7231741157	45,1471779078	24,29	35,00	Cas.	5,42	5,42	5,30	5,30	4,91	4,91	4,93	4,93	5,07	5,07



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE
 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	257 di 222

PIEZOMETRO	Coordinate		Quota piezometro metri s.l.m.	TUBO PIEZOMETRICO		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A	
	longitudine	latitudine		Lunghezza e Tipo	20/10/2019	29/11/2020	23/01/2020	24/02/2020	26/03/2020						
S31 Cella 1	10,7375411952	45,1485288544	23,95	10,00	Cas.	4,50	4,50	3,58	3,58	3,61	3,61	3,67	3,67	3,81	3,81
S31 Cella 2	10,7375411952	45,1485288544	23,95	30,00	Cas.	5,41	5,41	4,59	4,59	4,68	4,68	4,71	4,71	4,87	4,87
S32 Cella 1	10,7528199482	45,1512311005	24,39	35,00	Cas.	6,77	6,77	5,98	5,98	5,99	5,99	6,03	6,03	6,31	6,31
S33 Cella 1	10,7615512607	45,1523851632	24,40	8,00	Cas.	8,17	8,17	7,03	7,03	6,95	6,95	6,99	6,99	7,18	7,18
S33 Cella 2	10,7615512607	45,1523851632	24,40	35,00	Cas.	8,24	8,24	6,84	6,84	6,82	6,82	6,85	6,85	7,02	7,02
S35			32,73	15,00	T.A.	-	-	3,41	-	3,72	-	3,84	-	4,13	-
S36			29,04	15,00	T.A.	-	-	-	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
S37			29,77	15,00	T.A.	-	-	-	-	n.d.	-	n.d.	-	n.d.	-
S38			28,79	15,00	T.A.	-	-	1,42	-	1,60	-	1,64	-	1,72	-
S39			28,37	15,00	T.A.	-	-	1,53	-	2,01	-	2,09	-	2,48	-
S41			25,80	15,00	T.A.	-	-	1,39	-	1,35	-	1,38	-	1,52	-
S42			22,75	15,00	T.A.	-	-	0,88	-	0,82	-	0,87	-	1,02	-
S44			23,10	15,00	T.A.	-	-	1,49	-	1,79	-	1,81	-	2,05	-
S45			21,76	15,00	T.A.	-	-	0,78	-	0,84	-	0,88	-	1,09	-
S47			28,01	15,00	T.A.	-	-	5,93	-	5,31	-	5,33	-	5,46	-
S48			23,78	21,00	T.A.	-	-	1,73	-	1,66	-	1,71	-	1,72	-
S49			26,09	15,00	T.A.	-	-	2,25	-	2,21	-	2,19	-	2,41	-
S50			24,85	15,00	T.A.	-	-	0,89	-	1,35	-	1,39	-	1,58	-
S51			26,05	15,00	T.A.	-	-	3,02	-	3,15	-	3,21	-	3,42	-
S52			25,56	35,00	T.A.	-	-	3,40	-	3,55	-	3,57	-	3,79	-



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA. TRATTA
PIADENA – MANTOVA

RELAZIONE
 RELAZIONE GEOLOGICA,
 GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E
 SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D69 RG	GE0001 001	A	258 di 222

PIEZOMETRO	Coordinate		Quota piezometro metri s.l.m.	TUBO PIEZOMETRICO		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A		STATO A	
	longitudine	latitudine		Lunghezza e Tipo	20/10/2019	29/11/2020	23/01/2020	24/02/2020	26/03/2020						
S55			19,71	15,00	T.A.	-	-	3,31	-	3,31	-	3,33	-	3,46	-

1. Tutte le letture sono riferite al piano campagna.
2. Cas: Pizometro Casagrande con doppio con unica cella con doppia tubazione da 2".
3. T.A.: Piezometro a tubo aperto.