

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

**VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA**

RELAZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

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

I Q 0 1 0 1 R 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	G. Bernagozzi	Luglio 2021	F. Paolucci 	Agosto 2021	M. Berlingieri 	Settembre 2021	M. Comedini Settembre 2021

File:


n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	10
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	12
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	13
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	14
4.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE ESISTENTI	14
4.1.1	<i>Indagini geognostiche Italferr 2009.....</i>	<i>14</i>
4.1.2	<i>Indagini geognostiche RFI 2019</i>	<i>16</i>
4.1.3	<i>Indagini geognostiche Italferr 2020.....</i>	<i>18</i>
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	21
5.1	ASSETTO STRUTTURALE	21
5.2	GEOLOGIA	23
5.2.1	<i>Assetto stratigrafico.....</i>	<i>24</i>
5.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	33
6	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA.....	36
6.1	IDROGRAFIA	36
6.2	IDROGEOLOGIA.....	38
6.3	ASSETTO IDROGEOLOGICO LOCALE	40
6.4	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO	45
6.5	AREE A RISCHIO.....	52
6.6	VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI.....	57
7	MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	61
7.1	DA PROG. 54+862 A PROG. 56+811	62

7.2	DA PROG. 56+811 A PROG. 58+073	63
7.3	DA PROG. 58+073 A PROG. 58+632	64
7.4	DA PROG. 58+632 A PROG. 59+274	64
7.5	DA PROG. 59+274 A PROG. 61+614	64
7.6	DA PROG. 61+614 A PROG. 62+375	65
7.7	DA PROG. 62+375 A PROG. 64+400	65
7.8	DA PROG. 64+400 A PROG. 64+904	65
7.9	DA PROG. 64+904 A PROG. 65+488	66
7.10	DA PROG. 65+488 A PROG. 66+081	66
7.11	DA PROG. 66+081 A PROG. 68+732	66
7.12	DA PROG. 68+732 A PROG. 69+760	66
7.13	DA PROG. 69+760 A PROG. 70+661	67
8	INQUADRAMENTO SISMICO.....	68
8.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	68
8.2	SISMICITÀ STORICA	71
8.3	SORGENTI SISMOGENETICHE.....	78
8.4	FAGLIE CAPACI.....	84
8.5	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO.....	91
8.6	PERICOLOSITÀ SISMICA	93
8.7	DEFINIZIONE DELL' AZIONE SISMICA DI PROGETTO	95
8.7.1	<i>Categoria di sottosuolo</i>	99
8.7.1	<i>Condizioni topografiche.....</i>	103
8.7.1	<i>Accelerazione di progetto.....</i>	103
8.8	ANALISI PRELIMINARE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	104
9	ANALISI DELLE CRITICITA' GEOMORFOLOGICHE, IDRAULICHE E GEOLOGICHE.....	105
9.1	INTERFERENZA DEL TRACCIATO CON FASCE FLUVIALI A RISCHIO DI DISSESTO	105

9.2	INTERFERENZA DEL TRACCIATO CON AREE DI RISPETTO DI POZZI AD USO IDROPOTABILE.....	106
9.3	ASSENZA DI COPERTURA LIMOSA-ARGILLOSA A PROTEZIONE DELL'ACQUIFERO	106
9.4	INTERFERENZA DEL TRACCIATO CON FAGLIE CAPACI	107
10	CONCLUSIONI.....	108
11	BIBLIOGRAFIA	110

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 5 di 48

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 3-1 – Area di studio. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto del presente studio.</i>	13
<i>Figura 5-1 - Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti [45].</i>	22
<i>Figura 5-2 Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti [45]. Legenda: 1) Il Sudalpino tettonizzato in età eoalpina (Cretaceo-Paleocenica); 2) Sudalpino tettonizzato in età Eocene inf. – medio; 3) Area Appenninica coeva con il settore più occidentale delle Alpi (età Messiniana e Plio-Pleistocenica); 4) Area in forte accorciamento, Appenninica e Veneto-Friulana, caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il Sudalpino è diviso da: A) Blocco Lombardo; B) Blocco Trentino-Lessineo; C) Blocco Veneto-Friulano.</i>	22
<i>Figura 5-3 – Unione di due stralci dei Fogli 70 (Alessandria) e 71 (Voghera) della Carta Geologica d'Italia (1:100000), in riferimento all'area in esame (stralci non in scala; http://www.isprambiente.gov.it).</i>	23
<i>Figura 5-4 – Carta geologica dell'area in esame. In rosso è riportato il tracciato ferroviario.</i>	24
<i>Figura 5-5 – Fisiografia dell'area. Le linee blu indicano le geometrie dei corpi di conoide.</i>	35
<i>Figura 6-1 – Idrografia principale dell'area in prossimità del tracciato. In rosso: tracciato ferroviario.</i>	36
<i>Figura 6-2 – Bacini idrografici e principali corsi d'acqua nell'area di studio (stralcio non in scala dal PAI del Bacino del Po, Tav. 2 -II). Il riquadro rosso rappresenta l'area di studio.</i>	38
<i>Figura 6-3 – Valori di K per ogni litologia; la “x” rossa rappresenta il valore medio per ogni litologia, calcolato come media geometrica. L'asse delle ordinate è in scala logaritmica.</i>	45
<i>Figura 6-4 – Ubicazione dei punti di misura utilizzati nel corso della campagna di monitoraggio piezometrico. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto di studio.</i>	48
<i>Figura 6-5 – In questa pagina: andamenti piezometrici registrati all'interno dei piezometri di monitoraggio a tubo aperto. Per quanto riguarda le misure riferite ai piezometri S1B e S9, le serie risultano interrotte a causa di problemi tecnici occorsi durante le campagne di misura.</i>	49
<i>Figura 6-6 – In questa pagina e nelle seguenti: andamenti piezometrici registrati all'interno dei piezometri di monitoraggio di Casagrande. Per quanto riguarda le misure riferite ai punti “S8 C1”, “S10 C2” e “S15 C2”, le serie risultano incomplete a causa di problemi tecnici occorsi durante le campagne di misura.</i>	50
<i>Figura 6-7 – Aree di rischio e fasce di rispetto, così come definite dal PAI del Bacino del fiume Po. I punti gialli etichettati con lettera maiuscola indicano la presenza di centri abitati a cui è associato un particolare fattore di rischio (F = Frana, E = Esondazione).</i>	54
<i>Figura 6-8. Stralci della Tavola 8, allegata al PRG di Pontecurone [56]. A sinistra, le aree suscettibili a dissesto sono indicate con le sigle EeA (“dissesto idraulico areale a pericolosità molto elevata”), EbA (“dissesto idraulico areale a pericolosità elevata”) e EmA (“dissesto idraulico areale a pericolosità medio/moderata”). Le aree azzurre riguardano tematismi legati a porzioni edificate, non attinenti a questo contesto. A destra è segnato l'elemento critico dato dal Rio Calvenza (EeL 02).</i>	55
<i>Figura 6-8.1. – Torrente Curone (Comune di Pontecurone): Stralcio della Carta di Sintesi allegata al PRG di Pontecurone. La linea ferroviaria intercetta una zona in colore giallo, definita classe di fattibilità II (“Classe a moderata pericolosità geomorfologica”), ed una zona di colore marrone, definita classe di fattibilità IIIa (“Classe</i>	

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</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>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 69 RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>6 di 48</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	6 di 48
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	6 di 48								

con pericolosità geomorfologica da media ad elevata con consistenti limitazioni”). La carta è stata ricavata dal Geoportale della Regione Piemonte.55

Figura 6-8.2. – Torrente Grue (Comune di Tortona): Stralcio della Carta dei dissesti (PAI), in alto, Piano Gestione Rischio Alluvioni - Scenari di rischio, al centro, e Carta di Sintesi allegata al PRG di Tortona, in basso. Il torrente Grue, in prossimità della linea ferroviaria, presenta un unico tematismo di colore azzurro per la carta del PGRA (“Probabilità di alluvioni media tr 100/200”). Le carte sono state ricavate dal Geoportale della Regione Piemonte.57

Figura 6-9 – Estratto dal PGT del comune di Voghera [52]. I cerchi arancioni indicano le aree di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto di studio.59

Figura 6-10 – Pozzi censiti dai piani regolatori dei comuni di Tortona, Castelnuovo Scrivia, Pontecurone e Voghera. In azzurro i pozzi attivi, collegati all’acquedotto, con le relative fasce di rispetto (area tratteggiata arancione); in giallo i pozzi non collegati agli impianti acquedottistici, in bianco i pozzi inattivi censiti dal comune di Tortona. .60

Figura 7-1 - Schema generale dell’assetto geologico lungo il tracciato. 0: riporto; 1: substrato; 2: terreni limoso argillosi; 3: terreni ghiaiosi; 4: paleoalveo62

Figura 8-1. Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [60].70

Figura 8-2. Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici (CPTI15 [61])che hanno interessato la zona circostante la tratta Tortona-Voghera. Nel riquadro rosso si riporta l’area oggetto di studio.71

Figura 8-3. Storia sismica di Tortona.74

Figura 8-4. Storia sismica di Castelnuovo Scrivia.75

Figura 8-5. Storia sismica di Pontecurone.76

Figura 8-6. Storia sismica di Voghera.78

Figura 8-7. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del “Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)”, Version 3.2.1. Nel riquadro rosso si riporta l’area oggetto di studio, all’interno del quale è segnato il tracciato ferroviario.79

Figura 8-8. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS179.80

Figura 8-9. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITIS180.81

Figura 8-10. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS018.82

Figura 8-11. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS044.83

Figura 8-12. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS001.84

Figura 8-15. Stralcio cartografico dell’area di interesse con indicazione schematica delle faglie capaci presenti, codificate tramite il loro identificativo (catalogo ITHACA [64]). La linea nera rappresenta il tracciato oggetto di studio.85

Figura 8-16. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Sistema Torino - Cremona [65].86

Figura 8-17. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 3-Po2 [66].87

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

<i>Figura 8-18. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 5a-Po2 [66].</i>	88
<i>Figura 8-19. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 6a-Po2 [66].</i>	89
<i>Figura 8-20. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 7-Po2 [66].</i>	90
<i>Figura 8-23. Zone sismogenetiche ZS9 del nord Italia [67].</i>	92
<i>Figura 8-24. Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area oggetto di studio (riquadro rosso), ricavato sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica tramite elaborazioni DPC-INGV S1 (http://esse1-gis.mi.ingv.it/). I valori di pericolosità sismica sono espressi in termini di accelerazione orizzontale di riferimento su suolo rigido (g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.</i>	94
<i>Figura 8-25. Ubicazione dei punti selezionati per il calcolo delle azioni sismiche lungo il tracciato.</i>	96
<i>Figura 8-26. Valori di velocità equivalente lungo l'asse del tracciato. Sono indicati l'inizio e la fine del tracciato (linee grigie verticali) e il passaggio di $V_{s,eq}$ da categoria C a categoria B in cui il valore di velocità è 360 m/s (linea grigia tratteggiata). Si noti come i valori posti al di sopra di tale passaggio superino di poco il valore soglia.</i>	101
<i>Figura 8-27. Distribuzione delle prove Down Hole lungo il tracciato.</i>	102
<i>Figura 8-28. Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx: $U_c < 3.5$, dx: $U_c > 3.5$).</i>	105

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 4-1 – Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2009 [1, p. 7]. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa. C.R. indica il prelievo di campioni rimaneggiati; C.I indica il prelievo di campioni indisturbati</i>	14
<i>Tabella 4-2 - Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2019. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa. La colonna Rif. Bibliografico indica la fonte bibliografica che contiene la stratigrafia, con il numero fra parentesi quadre che rimanda all'elenco bibliografico del Cap. 11.</i>	16
<i>Tabella 4-3 - Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2020. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa.</i>	19
<i>Tabella 5-1 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente ghiaiosa</i>	28
<i>Tabella 5-2 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente sabbiosa</i>	30
<i>Tabella 5-3 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente limosa</i>	30
<i>Tabella 5-4 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente argillosa</i>	32

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 6-1 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2009. Sono indicate le profondità della base e del tetto della tasca di prova e la litologia ad essa associata, individuata nei sondaggi. Si segnala che la prova eseguita nel sondaggio S2 interessa una zona di transizione da ghiaia a sabbia ghiaiosa, mentre la prova eseguita nel S11, seppur eseguita in corrispondenza di un passaggio ghiaia-argilla, interessa per lo più lo strato argilloso.41

Tabella 6-2 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020. Sono indicate le profondità della base e del tetto della tasca di prova e la litologia ad essa associata, individuata nei sondaggi. Il segno "/" sta ad indicare che la prova era pianificata ma non è stata eseguita. Nelle schede dei sondaggi il foglio relativo a queste prove risulta privo di dati.42

Tabella 6-3 – Valori di permeabilità media, massima e minima per ogni litologia, come derivati dalle prove Lefranc eseguite nel corso delle campagne Italferr 2009 e 2020. La permeabilità media è stata calcolata come media geometrica del dataset.45

Tabella 6-4 – Elenco dei piezometri oggetto di monitoraggio (tabella tratta da [53]). Sono indicate le coordinate dei punti, le quote del boccaforo e il tipo di piezometro installato: Casagrande o Tubo Aperto (T.A.). Per il piezometro S13 i dati a disposizione non riportano la quota del boccaforo, mentre il piezometro S16 risulta monitorato nonostante in [35] non sia riportata la presenza di alcuna attrezzatura nel foro.46

Tabella 6-5– Elenco punti di monitoraggio con relative quote.46

Tabella 6-6. Livello massimo della falda rilevato durante la campagna di monitoraggio, per ogni piezometro; il livello è indicato sia come quota sul livello del mare sia come soggiacenza.51

Tabella 8-1. Storia sismica di Tortona [44.897, 8.864] Numero di eventi: 36.72

Tabella 8-2. Storia sismica di Castelnuovo Scivria [44.981, 8.881] Numero di eventi: 3.74

Tabella 8-3. Storia sismica di Pontecurone [44.961, 8.931] Numero di eventi: 3.75

Tabella 8-4. Storia sismica di Voghera [44.993, 9.010] Numero di eventi: 29.76

Tabella 8-5 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido orizzontale per un periodo di ritorno T_R pari a 475 anni.96

Tabella 8-6. Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2II delle NTC2018).98

*Tabella 8-7. Valori di V_{seq} calcolati per ognuna delle prove eseguite nel corso della campagna RFI 2019, calcolati sia a profondità 0-30 (colonna " $V_{S,eq}$ ") sia alla profondità definita per le opere previste nel corso delle indagini del 2019 (profondità pari a 5-35 m ad eccezione di *=8-38 m e **=10-40 m).99*

Tabella 8-8. Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e di accelerazione di progetto a_{max} per un tempo di ritorno pari a 475 anni.103

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA,
IDROGEOLOGICA E SISMICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	9 di 48

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 48

PREMESSA

Il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera si inserisce nel quadro complessivo degli interventi previsti nello scenario di potenziamento dell'offerta ferroviaria delle direttrici Milano-Genova e Torino-Alessandria-Piacenza.

Nell'ambito dei Progetti per il Piano Lombardia ed al fine di dare continuità all'attivazione del Terzo Valico dei Giovi, RFI ha valutato l'opportunità di effettuare un potenziamento infrastrutturale del corridoio Milano – Genova, includendo negli interventi da realizzare anche il quadruplicamento della tratta Tortona-Voghera.

Il quadruplicamento tra Tortona e Voghera permetterà di disporre della capacità necessaria per soddisfare gli incrementi di traffico sulle due direttrici. Il layout infrastrutturale di progetto consentirà una separazione dei flussi di traffico tra i collegamenti Torino/Alessandria - Piacenza e le relazioni Milano – Genova garantendo una riduzione delle interferenze negli impianti, a beneficio di un incremento complessivo della regolarità di circolazione.

In particolare, è prevista in progetto un'opera di scavalco consentirà di instradare i treni provenienti da Genova (via TVG)/Alessandria e diretti verso Piacenza sulla "linea Piacenza" senza interferire con i treni provenienti da Milano e diretti verso Genova (via TVG)/Alessandria, che costituiscono il flusso principale secondo il nuovo modello di esercizio. Con quest'opera, da un lato si eliminano le interferenze sulla "linea Milano" in stazione di Tortona, dall'altro si consente una più equa ripartizione dei flussi sui quattro binari.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova coppia di binari tra la Stazione di Tortona e di Voghera, in affiancamento a quella esistente, per un'estesa di circa 16 km.

Le caratteristiche di progetto della linea sono le seguenti:

- 1) modulo linea 750 m
- 2) peso assiale D4
- 3) Codifica per Trasporto Combinato P/C 80
- 4) velocità di progetto 200 km/h in rango C, salvo riduzioni puntuali
- 5) tipologia di traffico: misto (passeggeri e merci)
- 6) profilo minimo degli ostacoli: PMO 5

È previsto un sistema di distanziamento a 5 minuti tra due treni a seguito. La gestione ed il comando della circolazione dell'insieme della linea quadruplicata, avverrà dal Posto Centrale di Milano Greco Pirelli.

Il regime di circolazione previsto è ERTMS L2 sovrapposto al segnalamento laterale.

Il perimetro dell'intervento riguarda la tratta Tortona (esclusa) – Voghera (esclusa). Gli interventi previsti negli impianti di Tortona e Voghera sono minimali e atti ad accogliere i nuovi binari di quadruplicamento.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 11 di 48

È previsto l'adeguamento della fermata di Pontecurone per l'inserimento dei due nuovi binari e di conseguenza saranno adeguati a STI i marciapiedi a servizio viaggiatori (altezza pari a H=55 cm e lunghezza utile di 250 m). Inoltre, il sottopasso dovrà essere opportunamente adeguato per garantire la piena accessibilità anche alle PRM. Le periferiche IaP installate nella fermata dovranno essere adeguate per caratteristiche e quantitativi allo standard RFI.

Il Piano di Committenza del progetto prevede un unico appalto multidisciplinare e trattative private singole per le riconfigurazioni tecnologiche degli apparati esistenti.

La presente relazione tratta degli aspetti geologici, idrogeologici e geomorfologici lungo la tratta Tortona Voghera, interessata dal progetto di quadruplicamento della linea ferroviaria.

Il tracciato si sviluppa su una lunghezza di circa 15 km, in un contesto pianeggiante.

La ricostruzione geologica è principalmente basata sulle indagini geognostiche svolte a più riprese nel 2009, 2019 e 2020. Queste indagini hanno permesso di indagare il sottosuolo alluvionale nel quale si sviluppa il tracciato della ferrovia.

Il Cap. 3 illustra le indagini geognostiche eseguite, riportandone gli elementi identificativi essenziali.

Il Cap. 4 contiene l'inquadramento geologico generale del sito, basato principalmente sui dati raccolti dalla bibliografia. Nel capitolo è contenuto anche l'inquadramento geomorfologico.

Il Cap. 5 tratta degli aspetti idrogeologici, idrografici e di rischio idrogeologico. Le caratteristiche idrografiche e idrogeologiche generali dell'area sono state ricavate principalmente da bibliografia e dagli studi precedentemente eseguiti lungo la tratta. Per definire l'assetto idrogeologico locale ci si è basati sull'esame delle prove Lefranc eseguite nei fori di sondaggio. Inoltre, tramite l'esame del monitoraggio, è stato possibile individuare il livello massimo nei vari piezometri, definendo così una piezometria massima ipotizzabile sulla base dei dati disponibili. Dai documenti di pianificazione urbanistica è stato anche possibile individuare le aree a rischio di interferenza con la linea.

Il Cap. 6 illustra il modello geologico di riferimento. Il profilo geologico è stato suddiviso in segmenti con caratteristiche omogenee, e sono state descritte le caratteristiche di ogni segmento.

Il Cap. 7 affronta l'argomento della sismicità dell'area.

Il Cap. 8 ricapitola tutto lo studio eseguito, individuando le principali criticità intercettate lungo il tracciato della ferrovia in progetto.

La bibliografia è citata nel testo usando un numero fra parentesi quadre (es: [21]). I richiami nel testo sono poi elencati per esteso nel Cap. 10.

Costituiscono parte integrante della relazione le tavole contenenti le carte geologiche e idrogeologiche, i profili geologici e idrogeologici lungo la tratta e le relazioni che riportano le indagini geognostiche (attività di campo e prove di laboratorio geotecnico).

Le progressive del tracciato iniziano da Tortona e si incrementano procedendo verso Voghera. Facendo riferimento alla linea esistente Alessandria Piacenza le progressive iniziano con il km 21+911.66 mentre facendo riferimento al quadruplicamento di progetto Milano Genova le progressive iniziano con il km 54+863. Per l'ubicazione dei punti in carta si è fatto riferimento alle progressive con inizio al km 21+911.66 mentre per la sezione geologica e idrogeologica si è fatto riferimento alle progressive con inizio al km 54+863.

1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 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. 14/01/2008, "Norme tecniche per le costruzioni".
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale".
- Delibera 18/2001 del 26 aprile 2001 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, "Adozione del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino idrografico di rilievo nazionale del fiume Po" e successive modifiche.
- Piano Regolatore Generale Comunale di Tortona approvato con D.G.R. n. 43-42735 del 30/01/1995 B.U.R.P. n. 9 01/03/1995, aggiornato al 28/10/2019.
- Piano di Governo del Territorio del Comune di Voghera (P.G.T.) approvato con Delibera di C.C. n. 61 del 19/12/2012 e successive modifiche.
- Piano Regolatore Generale Comunale di Pontecurone approvato con D.G.R. n. 149-23898 del 28/04/1993 e successiva Variante Generale, approvata con Deliberazione della Giunta Regionale 12 Luglio 2011, n° 10-2313.
- Piano Regolatore Generale Comunale di Castelnuovo Scivria, approvato con D. G. R. n. 34-2401 del 28/11/1995 e successive modifiche.
- Delibera della Giunta Regionale del 30 dicembre 2019, n. 6-887, "OPCM 3519/2006. Presa d'atto ed approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte".
- Delibera della Giunta Regionale del 11 luglio 2014 - n. X/2129, "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia".

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio si colloca nel settore centro-occidentale della Pianura Padana, non lontano dalle prime propaggini collinari dell'Appennino, tra la parte sud-occidentale della Lombardia e quella sud-orientale del Piemonte. Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa da Tortona (AL) e Voghera (PV) per una lunghezza totale di 15.798 km e attraversa i territori comunali di Tortona, Castelnuovo Scrivia, Pontecurone e Voghera (Figura 2-1).

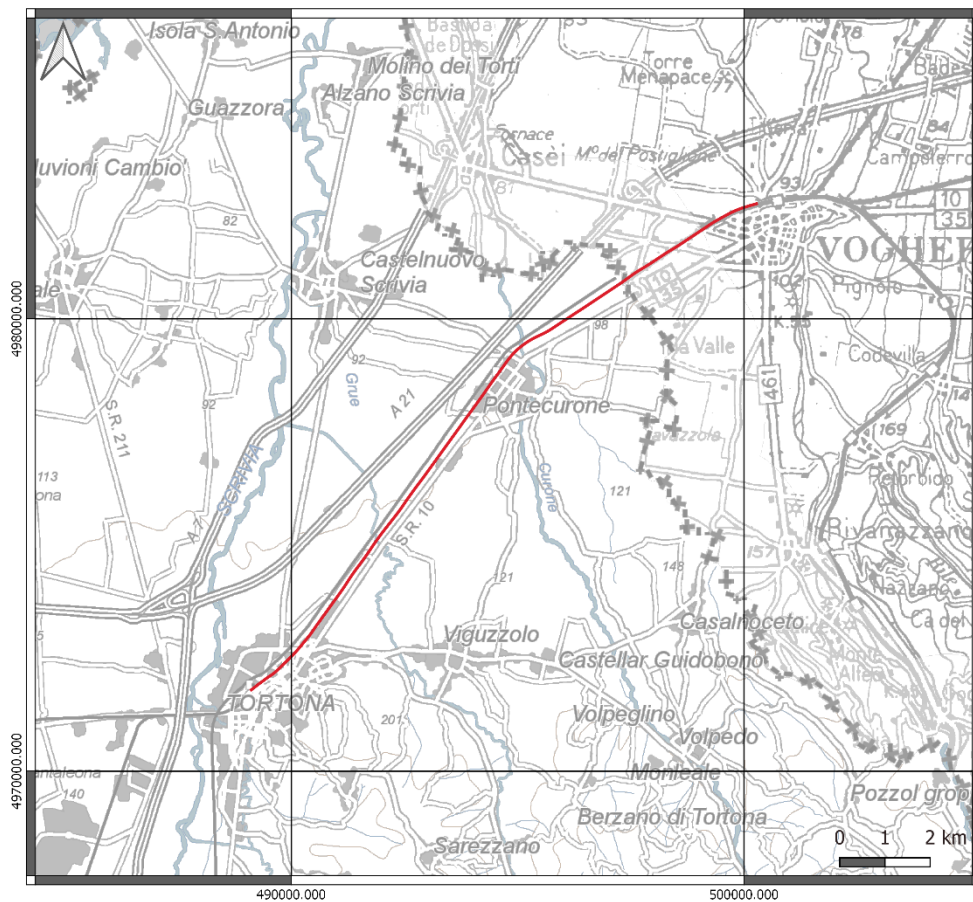


Figura 2-1 – Area di studio. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto del presente studio.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 Indagini geognostiche esistenti

Ai fini della produzione degli elaborati si è fatto riferimento a dati di base di carattere geologico, stratigrafico ed idrogeologico acquisiti nell'ambito di campagne indagini geognostiche pregresse.

3.1.1 Indagini geognostiche Italferr 2009

Nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2009, tra i mesi di aprile e luglio 2009, sulla linea Tortona Voghera, sono stati realizzati n. 24 sondaggi a carotaggio continuo. Tra i perfori realizzati, n.10 sono stati attrezzati con piezometro del tipo a tubo aperto in PVC, diametro 2", fenestrati ognuno da -3.00m da p.c. a fondo foro. Durante l'esecuzione dei fori sono state complessivamente realizzate 182 prove SPT (Standard Penetration Test).

A integrazione di questi sono state eseguite anche n.4 prove penetrometriche statiche e n.3 prove di carico su piastra.

Nella Tabella 3-1 si riporta il quadro dei sondaggi realizzati unitamente all'indicazione relativa alla strumentazione installata.

Tabella 3-1 – Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2009 [1, p. 7]. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa. C.R. indica il prelievo di campioni rimaneggiati; C.I. indica il prelievo di campioni indisturbati

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA			SPT	C.R.	C.I.	Prove di permeabilità	Prove pressiometriche
				Piezometro	"	Finestratura					
S1	15	04- 05/06/2009	118.2	tubo aperto in PVC	2	3-15	6	6	2	1	
S2	15	08- 09/06/2009	110.0	tubo aperto in PVC	2	3-15	6	6		1	
S3	30	29/05- 03/06/2009	109.5	tubo aperto in PVC	2	3-30	10	10	2	1	
S4	32.5	03- 05/06/2009	111.6				10	9		1	2
S5	15	14/05/2009	99.3				6	6		1	

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA			SPT	C.R.	C.I.	Prove di permeabilità	Prove pressiometriche
				Piezometro	“	Finestratura					
S6	33	18- 21/05/2009	102.8	tubo aperto in PVC	2	3-33	11	9	1	1	
S7	30	22- 26/05/2009	105.0				9	9	1	1	1
S8	15	27- 28/05/2009	98.6				5	5		1	
S9	15	22- 24/04/2009	99.0				5	5		1	
S10	15	28- 30/04/2009	98.3	tubo aperto in PVC	2	3-15	6	5	1		
S10bis	6	30/04/2009	96.3								
S11	20	04- 05/05/2009	96.0	tubo aperto in PVC	2	3-20	8	7	1	1	
S12	15	06/05/2009	96.6				5	5	1	1	
S13	30	15- 17/06/2009	94.8				10	12	1		
S14	30	12- 15/06/2009	95.2				10	9		1	
S15	30	19- 22/06/2009	93.5	tubo aperto in PVC	2	3-30	10	10			1
S16	30	16- 18/06/2009	93.6				10	10	1	1	
S17	25	12- 15/06/2009	92.1	tubo aperto in PVC	2	3-25	9	9		1	
S18	25	18- 22/06/2009	97.0				9	9		1	

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA			SPT	C.R.	C.I.	Prove di permeabilità	Prove pressiometriche
				Piezometro	“	Finestratura					
S19	30	23- 25/06/2009	98.6	tubo aperto in PVC	2	3-30	10	10	1		
S20	30	26- 30/06/2009	98.4				10	8	1	1	1
S21	20	30/06- 01/07/2009	98.2				8	8	1	1	
S22	15	02/07/2009	91.2	tubo aperto in PVC	2	3-15	5	5			
S23	15	03/07/2009	89.2				4	5		1	

Per il dettaglio delle prove si rimanda al rapporto interpretativo delle indagini del 2009 [1].

3.1.2 Indagini geognostiche RFI 2019

Nell'ambito della campagna geognostica RFI 2019, tra i mesi di maggio e luglio 2019, sulla linea Tortona Voghera, sono stati realizzati n. 22 sondaggi a carotaggio continuo. I perfori realizzati sono stati attrezzati con tubo in PVC per l'esecuzione di prove Down-Hole. Durante l'esecuzione dei fori sono state complessivamente realizzate 132 prove SPT (Standard Penetration Test) e sono stati prelevati campioni sia indisturbati che rimaneggiati.

Nella Tabella 3-2 si riporta il quadro dei sondaggi realizzati unitamente all'indicazione relativa alla strumentazione installata.

Tabella 3-2 - Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2019. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa. La colonna Rif. Bibliografico indica la fonte bibliografica che contiene la stratigrafia, con il numero fra parentesi quadre che rimanda all'elenco bibliografico del Cap. 10.

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA		SPT	C.R.	C.I.	Denison- Maizer	Rif. Bibliografico
				Tipologia	Profondità					
S1 20+460	35.00	18- 20/05/19	114.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		2	1	[2]
S2 20+460	35.00	20- 22/05/19	114.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6	1	3		[2]

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA		SPT	C.R.	C.I.	Denison- Maizer	Rif. Bibliografico
				Tipologia	Profondità					
S1 20+974	35.00	28- 30/05/19	113.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		1	2	[3]
S1 21+882	35.00	03- 05/06/19	116.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		1	2	[4]
S1 21+981	35.00	05- 07/06/19	116.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		2	1	[5]
S1 22+593	35.00	24- 26/05/19	112.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		1	2	[6]
S1 22+826	38.00	26- 28/05/19	112.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		3		[7]
S1 24+715	38.00	26- 28/05/19	108.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[8]
S1 25+804	38.00	10- 13/06/19	106.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[9]
S1 26+177	38.00	13- 16/06/19	106.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		3		[10]
S1 27+530	35.00	16- 19/06/19	100.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		2		[11]
S1 29+576	38.00	19- 21/06/19	100.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[12]
S1 30+690	35.00	22- 24/05/19	101.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		1		[13]
S1 31+538	35.00	21- 24/06/19	96.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		2		[14]

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA		SPT	C.R.	C.I.	Denison- Maizer	Rif. Bibliografico
				Tipologia	Profondità					
S2 31+538	35.00	24- 26/06/19	96.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		1		[14]
S1 31+785	38.00	26- 28/06/19	97.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[15]
S1 32+560	35.00	26- 28/06/19	94.00	Tubo in PVC per Down- hole	35.00	6		2		[16]
S1 32+720	38.00	03- 05/07/19	95.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		3		[17]
S1 35+890	38.00	08- 10/07/19	91.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[18]
S1 36+828	38.00	08- 10/07/19	92.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[19]
S1 37+935	38.00	01- 03/07/19	93.00	Tubo in PVC per Down- hole	38.00	6		2		[20]
S1 38+788	40.00	03- 05/07/19	93.00	Tubo in PVC per Down- hole	40.00	6		2		[21]

Per il dettaglio delle prove si rimanda al rapporto interpretativo delle indagini del 2019 [2]–[21].

3.1.3 Indagini geognostiche Italferr 2020

Nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020, tra i mesi di giugno e luglio 2020, sulla linea Tortona Voghera, sono stati realizzati n. 21 sondaggi a carotaggio continuo. Dei perfori realizzati, n.8 sono stati attrezzati con celle di Casagrande, n.8 sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto e n.1 è stato rivestito con tubo in PVC per

l'esecuzione di prove Down-Hole. Durante l'esecuzione dei fori sono state complessivamente realizzate 211 prove SPT (Standard Penetration Test) e sono stati prelevati campioni sia indisturbati sia rimaneggiati.

Nella Tabella 3-3 si riporta il quadro dei sondaggi realizzati unitamente all'indicazione relativa alla strumentazione installata. Per il sondaggio S13 manca l'indicazione della quota del piano campagna.

Tabella 3-3 - Tabella riassuntiva dei sondaggi e delle prove eseguiti nel corso della campagna geognostica Italferr 2020. Per ogni sondaggio è indicata la profondità raggiunta, la data di esecuzione, la quota al piano campagna, il tipo di attrezzatura installata e la tipologia di prove e di campioni relativi alla prova stessa.

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA			SPT	C.R.	C.I.	Prove permeabilità	Prove pressiometriche
				Tipologia Piezometro	“	Finestratura					
S1	35.00	24- 26/06/2020	112.00	Due celle di Casagrande		10.50 e 25.00	10	6	4	3	
S1A	35.00	17- 21/07/2020	115.00				10	7	2	2	2
S1B	40.00	24- 28/07/2020	112.00	Tubo aperto	3	6-12	10	9		2	
S1C	40.00	21- 24/07/2020	110.00	Tubo aperto	3	6-15	10	8	3	2	
S2	40.00	29/06- 01/07/2020	110.00	Tubo in PVC	3	6-27	10	6	5	2	2
S2A	40.00	09- 13/07/2020	110.00				10	7	4	2	
S3	40.00	07- 09/07/2020	110.00	Due celle di Casagrande		16.25 e 28.50	10	6	5	2	
S4	40.00	25- 29/06/2020	110.00	Tubo in PVC	3	9-33	10	5	3	2	
S5	40.00	01- 03/07/2020	106.00	Tubo in PVC	3	9-27	10	7	2	2	
S5A	40.00	14- 16/07/2020	105.00				10	8	3	2	

ID	PROF. (m)	DATA	Quota (m s.l.m.)	ATTREZZATURA		SPT	C.R.	C.I.	Prove permeabilità	Prove pressiometriche	
				Tipologia Piezometro	“ Finestratura						
S6	30.00	29/05- 02/06/2020	103.00	Cella di Casagrande		19.00	10	5	3	1	
S6A	40.00	22- 23/07/2020	100.00	Cella di Casagrande		19.00	11	8	3	2	
S7	30.00	02- 06/07/2020	102.00	Tubo aperto	3	9-30	10	6	4	2	
S8	35.00	22- 25/06/2020	102.00	Due celle di Casagrande		15.00 e 29.00	10	5	3	2	
S9	30.00	17- 19/06/2020	102.00	Tubo in PVC	3	3-30	10	5	3	2	
S10	30.00	09- 11/06/2020	100.00	Due celle di Casagrande		18.00 e 27.00	10	5	3	2	
S11	30.00	03- 08/06/2020	99.00	Due celle di Casagrande		21.00 e 29.00	10	5	3	2	
S11bis	60.00	14- 17/07/2020	98.00	Tubo Down- Hole	3	60 m	10	6	4	2	2
S12	30.00	12- 17/06/2020	99.00	Tubo in PVC	3	3-30	10	5	2	2	
S13	40	07- 09/09/2020		Tubo in PVC	3	9-40	11	6	5	2	
S15	30.00	06- 07/07/2020	92.00	Due celle di Casagrande		15.00 e 25.00	10	6	2	2	
S16	40.00	29- 31/07/2020	91.00				10	10	1	2	

Per il dettaglio delle prove si rimanda alle schede delle indagini del 2020 [22]–[42].

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 21 di 48

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio si estende nel tratto Lombardo-Piemontese del Bacino Padano, a ridosso del settore nord-occidentale dell'Appennino. I paragrafi seguenti riportano l'inquadramento tettonico e strutturale, l'inquadramento geologico regionale e l'inquadramento geomorfologico dell'area.

4.1 Assetto strutturale

Da un punto di vista strutturale il Bacino Padano rappresenta il bacino di avampaese della catena appenninica ed è limitato a sud dagli Appennini Settentrionali e a nord dalle Alpi Meridionali.

Fino al Miocene è attiva la tettonica compressiva associata al margine alpino. Dal Messiniano e durante tutto il Pliocene, questa tettonica va lentamente ad esaurirsi mentre si registra uno spostamento del Fronte Appenninico Settentrionale verso NE [43]. Questo settore dell'Appennino è caratterizzato da una complessa sovrapposizione strutturale di unità tettoniche appartenenti a domini paleogeografici differenti. Tali unità sono sovrascorse verso NE sull'avampaese padano tra l'Eocene medio e la fine del Miocene; successivamente, i fronti deformativi sono migrati verso l'avampaese più esterno. Tuttavia, ci sono evidenti indicazioni sul fatto che anche le strutture più interne affioranti nella catena abbiano subito nel Pliocene e forse anche nel Quaternario consistenti fenomeni di riattivazione tettonica [44, pp. 109–111].

Ai sollevamenti associati alla migrazione della struttura appenninica, si alternano lunghi periodi di subsidenza dei bacini in cui si depositano potenti successioni sedimentarie.

L'assetto tettonico del basamento terziario al di sotto della coltre alluvionale quaternaria della Pianura Padana è interessato da complesse strutture. La Figura 4-1 mostra l'andamento dei vari elementi strutturali (pieghe e sovrascorrimenti) esistenti nel sottosuolo della Pianura Padana. Queste strutture profonde consistono in sistemi di pieghe e sovrascorrimenti con orientazione WNW-ESE, sepolti nel Bacino Padano (Figura 4-2).

L'area di interesse si colloca in prossimità del fronte appenninico sui depositi quaternari continentali.

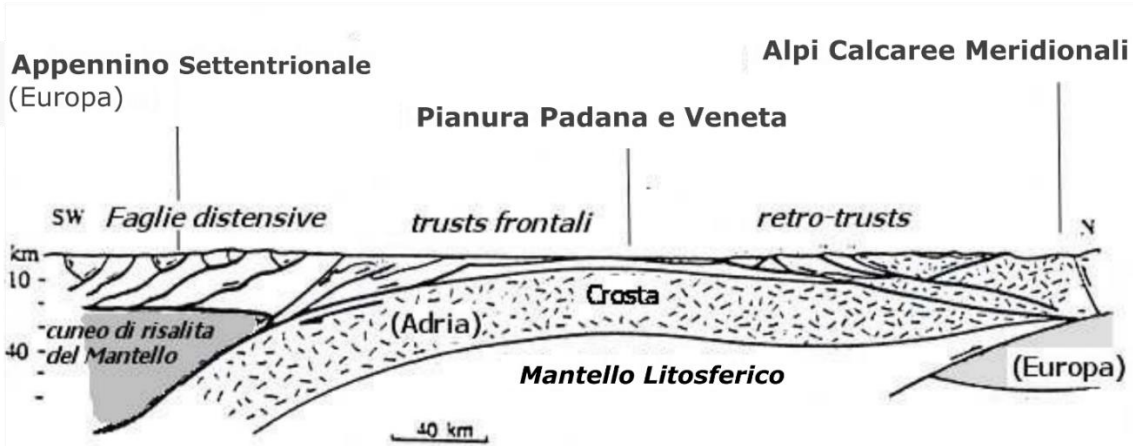


Figura 4-1 - Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti [45].

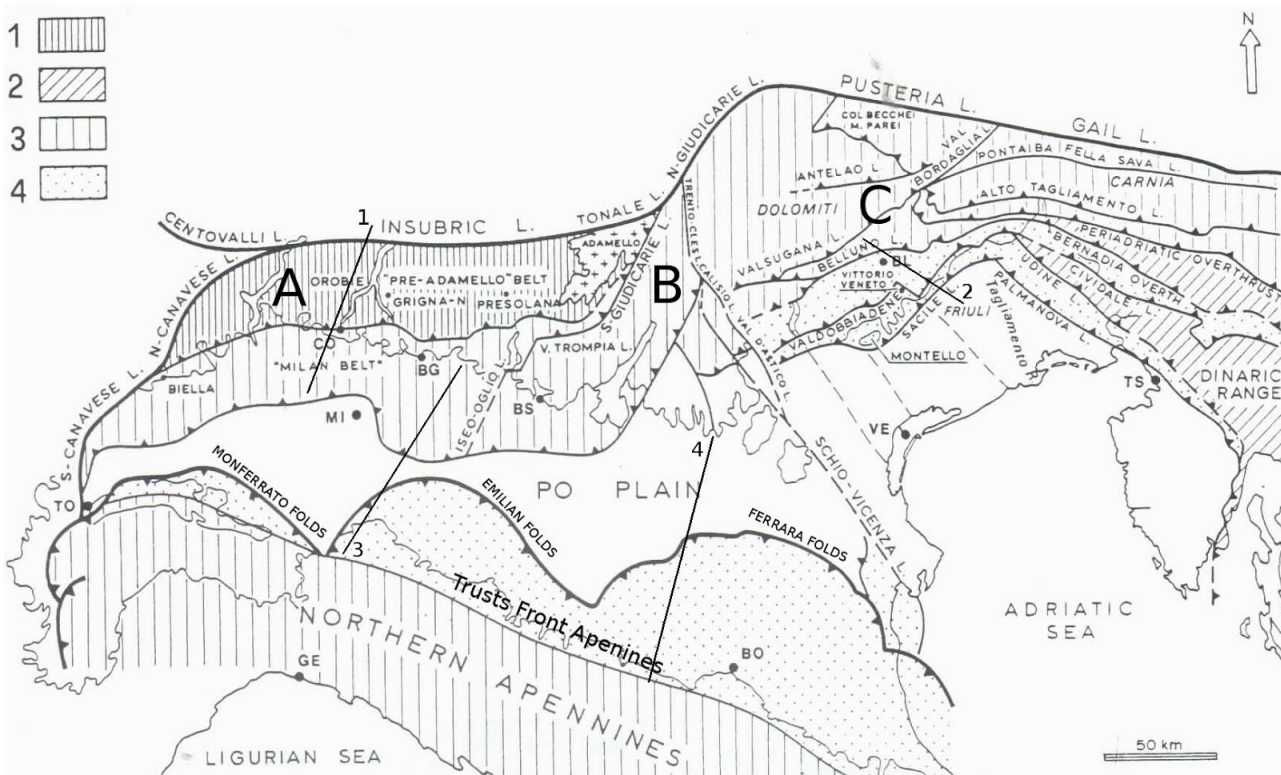


Figura 4-2 Schema strutturale della Pianura Padana (microplacca Adria) e delle aree adiacenti [45]. Legenda: 1) Il Sudalpino tettonizzato in età eoalpina (Cretaceo-Paleocenica); 2) Sudalpino tettonizzato in età Eocene inf. - medio; 3) Area Appenninica coeva con il settore più occidentale delle Alpi (età Messiniana e Plio-Pleistocenica); 4) Area in forte accorciamento, Appenninica e Veneto-Friulana, caratterizzata dalle strutture sepolte sotto i depositi di pianura. Il Sudalpino è diviso da: A) Blocco Lombardo; B) Blocco Trentino-Lessineo; C) Blocco Veneto-Friulano.

4.2 Geologia

Il territorio tra Tortona e Voghera si colloca, dal punto di vista geologico, all'interno di un ampio ripiano alluvionale che costituisce parte della Pianura Padana a sud del Fiume Po, nelle immediate vicinanze del margine collinare appenninico. L'area è compresa tra il Foglio geologico 70 (Alessandria) e il Foglio 71 (Voghera) dell'IGM (scala 1:100000; <http://www.isprambiente.gov.it>), di cui si riporta l'unione di due stralci riguardanti l'area, a titolo di esempio (Figura 4-3).



Figura 4-3 – Unione di due stralci dei Fogli 70 (Alessandria) e 71 (Voghera) della Carta Geologica d'Italia (1:100000), in riferimento all'area in esame (stralci non in scala; <http://www.isprambiente.gov.it>).

La carta geologica riportata in Figura 4-4 sintetizza l'assetto geologico dell'area, in riferimento ai Fogli geologici sopra citati e alla cartografia fornita da Arpa Piemonte (<https://webgis.arpa.piemonte.it>) e dal geoportale della regione Lombardia (<https://www.geoportale.regione.lombardia.it>). L'area interessata dall'opera si estende su depositi alluvionali per lo più sabbiosi e ghiaiosi, attribuibili in parte a depositi fluviali e in parte a depositi di megafan, con

età che va dal Pleistocene all'attuale. Il substrato, che affiora nella porzione meridionale dell'area, è costituito da corpi sedimentari per lo più di epoca oligo-miocenica.

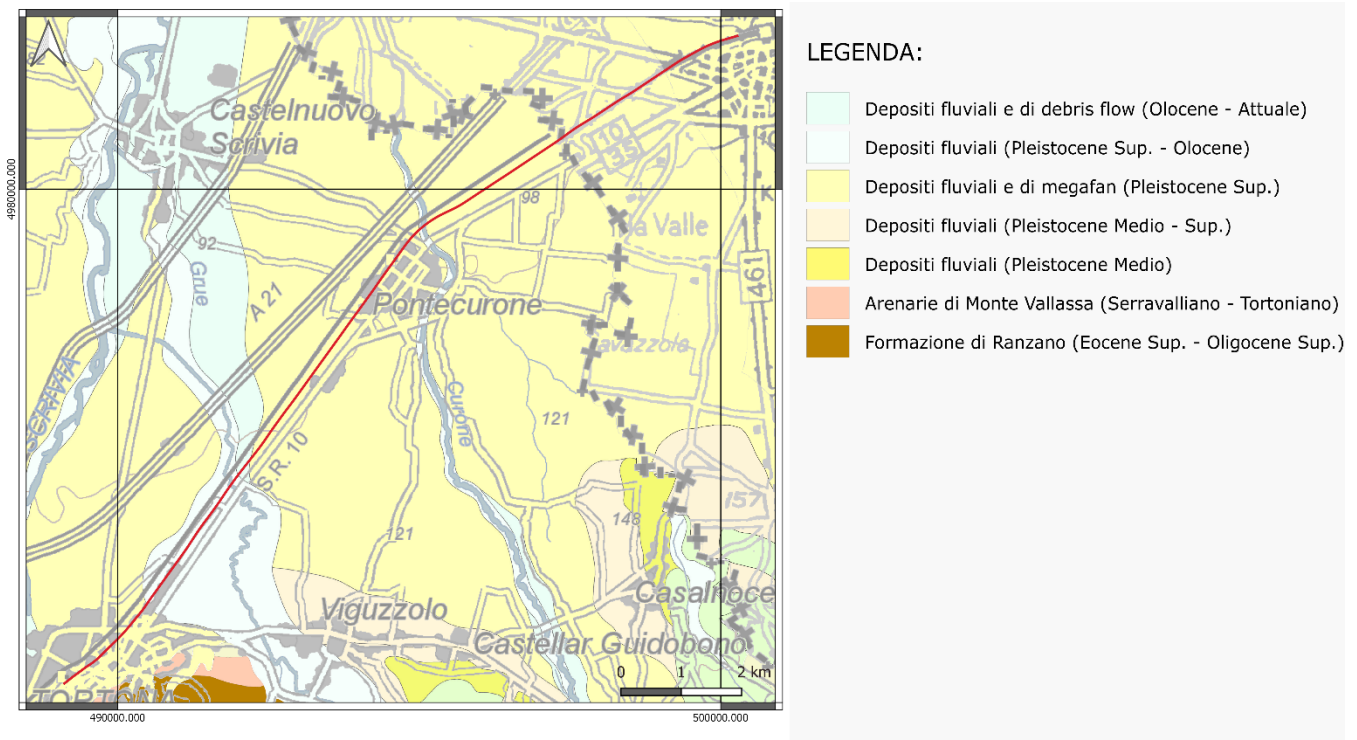


Figura 4-4 – Carta geologica dell'area in esame. In rosso è riportato il tracciato ferroviario.

4.2.1 Assetto stratigrafico

Le unità litostratigrafiche che costituiscono il substrato roccioso nell'intorno dell'area di studio appartengono al periodo Cretaceo superiore - Miocene. Sono unità costituite da sedimenti marini di profondità variabile. Affiorano nella fascia collinare collocata ad est e sud-est del presente tratto della Pianura Padana.

I depositi quaternari presenti sono di genesi fluviale, di età variabile a seconda della zona; i depositi più recenti (Olocene – Attuale) sono distribuiti lungo il corso del Torrente Grue e del Torrente Curone, che intersecano il tracciato ferroviario, nonché parallelamente al Torrente Scrivia, che scorre a est di Tortona. Nei restanti tratti, le coperture sono per lo più costituite da depositi fluviali e di megafan, attribuiti al Pleistocene superiore; nella porzione sud-orientale dell'area sono presenti altri depositi alluvionali sempre riferibili al Pleistocene.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 25 di 48

Le unità geologiche presenti nella zona di progetto, identificate nel foglio CARG 178 Voghera sono descritte di seguito dalla più antica alla più recente, sulla base di quanto riportato nelle Note illustrative del Foglio 178 [44, pp. 56–95].

Brecce argillose di Baiso (BAI)

Corpi argillosi a tessitura caotica precedentemente cartografati come “Calcari di Zebedassi”.

Sono brecce poligeniche a matrice argillosa grigia o varicolori con clasti eterometrici. La tessitura dei depositi è caotica e si ritiene che la loro origine sia dovuta a una serie di colate sottomarine.

Il contatto inferiore è in genere per discordanza, con le formazioni appartenenti all’ Unità Tettonica di Cassio; il contatto superiore è discontinuo con le Marne di Monte Piano. Lo spessore è molto variabile, al massimo di circa 300 m. Affiora poco più a sud dell’area in esame (fascia verde scuro in Figura 4-3). Età: EOCENE

Marne di Monte Piano (MMP)

Formazione costituita da marne argillose e argille marnoso – siltose grigie a stratificazione indistinta. Sono interpretate come sedimenti pelagici depositi in un bacino profondo, e rappresentano una stasi negli apporti sedimentari grossolani nel prisma ligure.

Il contatto inferiore è, per discontinuità, con le brecce argillose di Baiso (non identificabili nell’area di studio); il contatto superiore è con la Formazione di Ranzano, per discordanza.

Affiora poco più a sud dell’area in esame (fascia verde chiaro in Figura 4-3). Età: EOCENE INFERIORE - EOCENE SUPERIORE

Formazione di Ranzano (RAN)

È suddivisa in cinque membri informali, due sovrapposti e tre eteropici fra loro; dato questo assetto, è possibile identificare tre distinti intervalli stratigrafici, verticalmente sovrapposti e non eteropici, delimitati da superfici di inconformità. Le superfici che delimitano i membri alla base e al tetto sono superfici di cambiamento composizionale e, allo stesso tempo, superfici di discordanza angolare o di significativo cambiamento di facies. All’interno di ogni membro si osserva una notevole variabilità laterale e verticale delle facies e in realtà ogni membro risulta costituito da uno o più sistemi torbiditici, ognuno con organizzazione interna fining- and thinning-upward. La successione stratigrafica della Formazione di Ranzano è piuttosto variabile, a seconda di quale area del bacino si consideri.

Affiora nella porzione meridionale dell’area oggetto di studio (Figura 4-4). Età: EOCENE SUPERIORE – OLIGOCENE SUPERIORE

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 26 di 48

Arenarie di Monte Vallassa (AVL)

Sono arenarie bioclastiche e biocalcareni, bruno-giallastre in patina e grigie in frattura, con contenuto fossilifero a molluschi, briozoi, foraminiferi bentonici, alghe e, più rari, brachiopodi ed echinidi. In subordinate sono presenti conglomerati fini a bioclasti e biocalciruditi, con clasti di rocce metamorfiche verdi; si intercalano marne sabbiose grigio-azzurre bioturbate. La stratificazione è in genere mal definita e le arenarie si presentano per lo più massive o in strati amalgamati, talora molto alterati a formare banchi sabbiosi; a tratti è evidente la stratificazione obliqua. Le bancature sono comunemente caratterizzate da aspetto nodulare, connesso a cementazione differenziale.

Nella parte superiore della successione del Monte Vallassa (Guardamonte), una delle migliori sezioni per l'osservazione dei caratteri litologici e sedimentologici, le arenarie bioclastiche grossolane presentano fori di litodomi, indicatori del permanere di una condizione di acque basse. In generale, si tratta comunque di sedimenti di ambiente litorale e di piattaforma interna ed esterna, con una componente terrigena associata alla sedimentazione carbonatica di piattaforma a foraminiferi bentonici, molluschi e alghe.

Lo spessore massimo conservato è compreso tra 350 e 400 m.

Il limite inferiore è in discordanza sulla Formazione di Contignaco, sulla Formazione di Antognola o sulle breccie di Baiso (non presenti nell'area di interesse). Il limite superiore è con le marne di Sant'Agata Fossili, anche in questo caso in discordanza.

Affiora nella porzione meridionale dell'area oggetto di studio (Figura 4-4). Età: MIOCENE MEDIO

Argille di Lugagnano o Argille Azzurre (FAA)

Argille marnose con livelli più o meno sabbiosi-siltosi, di colore grigio azzurro, a frattura concoide sulle superfici fresche e a stratificazione generalmente indistinta. Nella porzione inferiore, l'unità può comprendere lenti conglomeratiche fossilifere a struttura massiva.

L'ambiente deposizionale è variabile tra l'epibatiale superiore di passaggio al circalitorale (acque relativamente profonde) e la parte superiore del circalitorale; si tratta probabilmente di depositi di piattaforma terrigena.

Lo spessore complessivo è di circa 140 m.

Il contatto con i sottostanti conglomerati di Cassano Spinola è netto; talvolta si ritrovano invece alla formazione di Sapigno, con un limite litologico segnato da una lacuna stratigrafica. Il limite superiore è netto e discordante con i depositi quaternari.

Affiorano poco più a est dell'area in esame (giallo acceso in Figura 4-3). Età: PLIOCENE

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 27 di 48

Sabbie di Asti (AST)

Alternanza di sabbie argillose e sabbie gialle più o meno stratificate, con livelli ghiaiosi e intercalazioni marnose. Localmente si riscontrano marne sabbiose, sabbie e arenarie giallastre più o meno cementate, con ricche associazioni a macrofossili.

La sedimentazione di questi depositi è avvenuta a una profondità di una decina di metri, in regime idrodinamico non elevato [46]. Lo spessore stimato è di circa 100 m.

Il contatto basale è, alla scala dell'affioramento, discordante, sulle sottostanti Argille Azzurre. Al tetto si ha il passaggio, ipotizzato discontinuo e discordante, con i depositi quaternari continentali.

Affiorano poco più a est dell'area in esame (giallo in Figura 4-3). Età: PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE

Depositi quaternari

Si tratta di depositi alluvionali appartenenti al Sintema di Voghera [44, p. 95] e cartografati come *fl* nei Fogli 70 (Alessandria) e 71 (Voghera) alla scala 1:100000 [47], [48]. Fanno parte di questo sintema tutti i depositi fluviali pleistocenici riportati in Figura 4-4. Sono per lo più ghiaie a supporto clastico o di matrice, clasti arrotondati con selezione da discreta a buona e intercalazioni sabbiose e limose.

I depositi fluviali olocenici sono anch'essi prevalentemente depositi grossolani ghiaioso-sabbiosi: si tratta dei depositi del canale di scorrimento, del letto ordinario e di esondazione, sedimentati dal T. Scriveria, dal T. Grue e dal T. Curone.

Il tracciato ferroviario si sviluppa interamente sui depositi quaternari.

Per avere una informazione più dettagliata sulla natura di questi depositi sono state esaminate le descrizioni litologiche riportate nei sondaggi stratigrafici eseguiti lungo la linea, cercando di individuare delle caratteristiche prevalenti per i terreni ghiaiosi, sabbiosi, limosi e argillosi.

Terreni descritti come prevalentemente ghiaiosi

La *Tabella 4-1* mostra l'elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con caratteristiche dominanti di ghiaia. Nella tabella sono state eliminate le descrizioni meno rilevanti o quelle ripetute.

In sintesi, le ghiaie variano da fini a grosse, eterometriche, con sabbia e/o sabbia limosa, raramente con argilla. Tendenzialmente è possibile individuare:

- ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro;
- ghiaia, ciottoli e trovanti, in scarsa matrice sabbioso-limosa di colore marroncino, a luoghi più abbondante.

Tabella 4-1 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente ghiaiosa

Ghiaia da fine a grossa, calcarea, sub-arrotondata, con sabbia limosa, argillosa al letto
Ghiaia da fine a grossa, sabbiosa e debolmente limosa, sub-arrotondata, calcarea, molto addensata
Ghiaia da fine a grossa, sub-arrotondata, carbonatica, sabbiosa e debolmente limosa
Ghiaia da fine a grossa, sub-arrotondata, calcarea, con sabbia limosa localmente argillosa, moderatamente addensata, asciutta, marrone.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro. Livello di sabbia medio-grossa di colore grigio scuro da 10,20 a 11,00 m, l
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro. Livello prevalentemente costituito da ghiaia e ciottoli, senza matrice, da 6,50 m a 7,00 m. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta diffuso.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino e grigiastro ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa e/o limosa. Trovanti e ciottoli pluricentimetrici da 25,00 a 25,40 m. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia soprattutto da 10,00 a 11,30m; da 22,00 a 22,50 m; da 23,00 a 23,40m; da 29,30 a 30,00 m e da 32,20 a 34,40 m e/o a maggiore percentuale limoso-sabbiosa (da 12,00 a 12,80 m; da 18,00 a 19,50 m; da 23,40 a 25,00 m e da 28,50 a 29,30 m). La parte sommitale dello strato, per circa 30 cm, si presenta debolmente umificata di colore marrone, limosa. Da 30,00 m maggiore percentuale di clasti e ciottoli pluricentimetrici a spigoli subarrotondati. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia soprattutto da 25,00 a 25,30 m; da 26,50 a 27,10 m e da 29,00 a 29,40 m) e/o a maggiore percentuale sabbioso-limosa (da 24,50 a 25,00 m; da 29,50 a 30,00 m e da 30,30 a 31,00 m). La parte sommitale dello strato, per circa 30 cm, si presenta debolmente umificata di colore marrone, limosa. Da 29,00 m maggiore percentuale di clasti e ciottoli pluricentimetrici a spigoli sub-arrotondati. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia soprattutto da 26,60 a 27,20 m) e/o a maggiore percentuale sabbioso-limosa (da 23,40 a 24,00 m). Materiale molto umido da circa 31.00 m e con maggiore percentuale di clasti e ciottoli pluricentimetrici a spigoli sub-arrotondati. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa e/o limosa. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino, scarsa da 8,00 a 9,50 m) ed occasionali trovanti. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia soprattutto da 17,00 a 17,60 m; da 20,00 a 20,50 m; da 21,70 a 22,00 m; da 24,60 a 25,00 m) e/o a maggiore percentuale sabbioso-limosa (soprattutto da 27,00 a 28,00 m). La parte sommitale dello strato, per circa 30 cm, si presenta debolmente umificata di colore marrone, limosa. Da 28,00 m maggiore percentuale di clasti e ciottoli pluricentimetrici a spigoli sub-arrotondati. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia) e/o a maggiore percentuale sabbioso-limosa (da 27,00 a 29,00 m). Da 36,30 a 38,00 sabbia fine di colore grigioverastro. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia). La parte basale dello strato prevalentemente ghiaia sciolta in scarsa matrice sabbiosa. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.

Ghiaia di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da subangolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino. Intercalazioni centimetriche di materiale disgregato e/o alterato, e intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa (sabbia e ghiaia). Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia e ciottoli con sabbia limosa, sciolta, asciutta, bruno-nerastra.
Ghiaia e ciottoli di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da sub-angolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro, a luoghi in scarsa matrice. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia e ciottoli di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da sub-angolari ad arrotondati, talora appiattiti, in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro, in scarsa matrice da 18,30 a 19,00 m. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia e ciottoli in abbondante matrice limoso-sabbiosa di colore marroncino e /o marrone-grigiastro. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Ghiaia e ciottoli in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore marroncino, con livello limoso argilloso da 29,20 a 31,00 m e argilloso limoso di colore marrone da 35,00 a 37,00. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia e ciottoli, (occasionalmente trovanti) di natura poligenica, eterometrica, a spigoli da sub-angolari ad arrotondati, talora appiattiti, in scarsa matrice fino a 5,90 m poi in abbondante matrice sabbioso-limosa di colore da marroncino a grigiastro. Materiale da addensato a molto addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta diffuso.
Ghiaia e ciottoli, di natura poligenica, eterometrici, sub-angolari e talora appiattiti, in scarsa matrice sabbioso-limosa di colore marroncino, a luoghi più abbondante. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia sabbiosa, grigia, molto addensata
Ghiaia sabbiosa, grigio - nocciola, addensata, secca
Ghiaia, ciottoli e trovanti di natura poligenica, eterometrici, in scarsa matrice sabbiosa di colore grigiastro.
Ghiaia, ciottoli e trovanti, in scarsa matrice sabbiosa di colore grigiastro, a luoghi più abbondante. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia, ciottoli e trovanti, in scarsa matrice sabbioso-limosa di colore marroncino da scarsa ad abbondante, con livello limoso argilloso da 26,10 a 26,70 e argilloso limoso di colore marrone da 37,00 a 37,60. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia, ciottoli e trovanti, in scarsa matrice sabbioso-limosa di colore marroncino fino a 6,50 m, poi più abbondante. Intercalazione limosa da 14,50 a 15,00 m. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia, ciottoli e trovanti, in scarsa matrice sabbioso-limosa di colore marroncino, a luoghi più abbondante. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto. Materiale da addensato a molto addensato.
Ghiaia, con argilla, marrone, moderatamente addensata, umida. 4.50
Ghiaia, con sabbia, limosa, molto addensata, bagnata, nocciola
Ghiaia, sabbiosa, tavolta debolmente limosa, da grigio a nocciola, addensata, da umida a bagnata

Terreni descritti come prevalentemente sabbiosi

La *Tabella 4-2* mostra l'elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con caratteristiche dominanti di sabbia. Nella tabella sono state eliminate le descrizioni meno rilevanti o quelle ripetute.

In sintesi, le sabbie si presentano localmente debolmente argillose, da sciolte a moderatamente addensate.

Tendenzialmente è possibile individuare:

- sabbia fine da debolmente limosa a limosa, di colore marroncino, con intercalazioni a maggiore percentuale limosa. Materiale mediamente addensato;
- sabbia limosa ghiaiosa di colore marroncino chiaro - avana, talora presenza di inclusi decimetrici sub-angolari.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Tabella 4-2 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente sabbiosa

Sabbia fine al tetto quindi limo argilloso, debolmente sabbioso, consistente, molto umido
Sabbia fine da debolmente limosa a limosa, di colore marroncino, con intercalazioni a maggiore percentuale limosa, e terreno di copertura vegetale per i primi 40 cm. Materiale mediamente addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risu
Sabbia fine da debolmente limosa a limosa, di colore marroncino, con intercalazioni a maggiore percentuale limosa. Materiale mediamente addensato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Sabbia fine di colore marroncino chiaro - avano, con l'aumentare della profondità assume una colorazione più scura e presenza di piccoli noduli di concrezione di colore biancastro.
Sabbia fine limosa, localmente debolmente argillosa
Sabbia limosa debolmente ghiaiosa parzialmente umificata, di colore marrone brunastro.
Sabbia limosa ghiaiosa di colore marroncino chiaro - avano, talora presenza di inclusi decimetrici sub - angolari.
Sabbia limosa moderatamente addensata
Sabbia limosa, sciolta, satura, marrone chiaro
Sabbia localmente debolmente limosa
Sabbia, limosa, ghiaiosa, grigia, moderatamente addensata

Terreni descritti come prevalentemente limosi

La *Tabella 4-3* mostra l'elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con caratteristiche dominanti di limo. Nella tabella sono state eliminate le descrizioni meno rilevanti o quelle ripetute.

In sintesi, i limi sono di colore marrone variabile da chiaro a scuro e tendenzialmente si possono presentare come:

- limo argilloso sabbioso di colore marroncino, con occasionali clasti centimetrici sparsi nella matrice ed aumento della frazione sabbiosa nella parte basale dello strato;
- limo sabbioso o sabbioso argilloso, con intercalazioni decimetriche a maggiore percentuale limosa e/o sabbiosa, ed alla base dello strato occasionali clasti centimetrici;
- limo sabbioso e/o con sabbia, raramente debolmente argilloso.

Tabella 4-3 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente limosa

Limo argilloso da debolmente sabbioso a sabbioso nella parte basale, di colore marroncino, con nuclei di color ruggine e /o giallognolo. Parte sommitale debolmente umificata, di colore marrone.
Limo argilloso debolmente sabbioso di colore marrone e/o marrone rossiccio, con ghiaia alla base dello strato (Aspetto rimaneggiato).
Limo argilloso debolmente sabbioso, di colore da marroneocraceo nella parte sommitale a marroncino, con occasionali minuti clasti sub-centimetrici, screziature di color ruggine, nuclei nerastri per alterazione e grigio-verdastri.
Limo argilloso sabbioso debolmente ghiaioso di colore da marroncino a nerastro (per alterazione); aumento della frazione ghiaiosa nella parte basale dello strato. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo argilloso sabbioso di colore marroncino e/o marronegiallognolo, a luoghi argilla limosa e/o limo sabbioso, con clasti subcentimetrici sparsi nella matrice (più frequenti da 23,00 a 24,00 m), alterati e/o disgregati, screziature nerastre e/o di color ruggine per alterazione, Verso la parte basale dello strato, aumento della frazione argillosa e struttura debolmente scagliosa.
Limo argilloso sabbioso di colore marroncino, con intercalazioni a maggiore percentuale sabbiosa e/o argillosa e livello con ghiaia da 28,40 a 29,30 m.

Limo argilloso sabbioso di colore marroncino, con occasionali clasti centimetrici sparsi nella matrice ed aumento della frazione sabbiosa nella parte basale dello strato.
Limo argilloso sabbioso di colore marroncino, con occasionali minuti clasti sub-centimetrici, talora in livelli, ed intercalazioni centimetriche a granulometria più sabbiosa.
Limo argilloso sabbioso passante ad argilla limoso-sabbiosa di colore marroncino, alterata nella parte sommitale (per circa 50 cm), con occasionali minuti clasti, a luoghi più frequenti; presenti screziature di color ruggine, nuclei carboniosi nerastri, nuclei argillosi grigiastri. Livelli di alterazione nerastri più frequenti a circa 17 m e da 19,70 m a 20,00 m. Materiale da mediamente consistente a consistente. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta diffuso e/o graduale.
Limo argilloso sabbioso passante ad argilla limoso-sabbiosa di colore marroncino, alterata nella parte sommitale (per circa 50 cm), con occasionali minuti clasti, a luoghi più frequenti; presenti screziature di color ruggine, nuclei carboniosi nerastri, nuclei argillosi grigiastri. Materiale da mediamente consistente a consistente. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta diffuso e/o graduale.
Limo argilloso sabbioso, di colore marroncino, con occasionali minuti clasti subcentimetrici, screziature ocracee, ed aumento della frazione sabbiosa (limo sabbioso e/o con sabbia) da 5,00 m in poi.
Limo argilloso talora sabbioso di colore marrone variabile dal chiaro al scuro con presenza di rari inclusi millimetrici eterogenei e con presenza screziature ocracee.
Limo argilloso, consistente, umido, marrone chiaro
Limo argilloso, marrone, duro, secco
Limo argilloso, sabbioso, ghiaioso
Limo con argilla e/o limo argilloso debolmente sabbioso e debolmente ghiaioso di colore da marrone-grigiastro a marroncino, con diffusi clasti subcentimetrici disfatti e/o disgregati, nuclei nerastri e grigio-verdastri, screziature di color ruggine. Presenti livelli decimetrici di materiale ghiaioso alterato, più grossolano. Verso la parte basale dello strato, aumento della frazione sabbiosa (graduale passaggio ad argilla sabbioso-limosa). Materiale da molto ad estremamente consistente.
Limo con sabbia argilloso
Limo con sabbia, parzialmente umificato di colore marrone scuro fino a 2,00 m, poi di colore marroncino. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo sabbioso argilloso di colore da marroncino a marrone-grigiastro, con intercalazioni di livelli a maggiore frazione argillosa e/o sabbiosa, con occasionali minuti clasti subcentimetrici. Materiale da mediamente consistente a consistente. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo sabbioso argilloso di colore marroncino con occasionali minuti clasti subcentimetrici. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo sabbioso argilloso di colore marroncino, debolmente umificato nella parte sommitale dello strato, con occasionali clasti sub-centimetrici sparsi nella matrice.
Limo sabbioso argilloso di colore marroncino. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo sabbioso argilloso, di colore marroncino, debolmente umidificato nella parte sommitale dello strato e di colore marrone scuro.
Limo sabbioso debolmente argilloso di colore marroncino chiaro con presenza di inclusi eterometrici eterogenei sub - angolari e arrotondati.
Limo sabbioso debolmente argilloso passante a limo argilloso sabbioso, di colore marroncino, con intercalazioni centimetriche di livelli a maggiore percentuale sabbiosa, screziature ocracee ed occasionali minuti clasti sub-centimetrici. Il margine di def
Limo sabbioso debolmente argilloso,
Limo sabbioso e/o con sabbia, di colore marrone chiaro. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta netto.
Limo sabbioso, debolmente argilloso, con intercalazioni decimetriche a maggiore percentuale limosa e/o sabbiosa, ed alla base dello strato occasionali clasti centimetrici. Il margine di definizione con lo strato sottostante risulta molto netto.

Terreni descritti come prevalentemente argillosi

La **Tabella 4-4** mostra l'elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con caratteristiche dominanti di argilla. Nella tabella sono state eliminate le descrizioni meno rilevanti o quelle ripetute.

In sintesi, le argille si presentano per lo più umide, varianti dal grigio chiaro al marroncino, raramente con presenza di ghiaia o ciottoli. Tendenzialmente si possono presentare come:

- argilla sabbioso-limosa o limosa, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato;
- argilla o argilla debolmente limosa, localmente debolmente sabbiosa, debolmente umida.

Tabella 4-4 -Elenco delle principali descrizioni stratigrafiche riportate nelle stratigrafie dei sondaggi per i terreni con composizione prevalentemente argillosa

Argilla debolmente limosa, consistente, umida, nocciola
Argilla debolmente limosa, marrone
Argilla dura, asciutta, color ocra con sfumature grigie e nerastre
Argilla dura, asciutta, grigio-azzurro con sfumature ocra e nerastre
Argilla dura, grigia-verdastra con sfumature ocra e marroni, presenta veli di sabbia millimetrici
Argilla e limo sabbiosa al letto, consistente e molto consistente, debolmente umida, grigio nocciola
Argilla limosa localmente debolmente sabbiosa, dura, debolmente umida
Argilla limosa, al tetto sabbiosa e ghiaiosa
Argilla limosa, debolmente ghiaiosa, consistente, umida, nocciola
Argilla limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato.
Argilla limosa, grigia, con venature rossastre, dura, debolmente umida
Argilla limosa, molto consistente, asciutta, marrone
Argilla limoso-sabbiosa, di colore grigiastro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato.
Argilla localmente debolmente limosa
Argilla localmente debolmente limosa, da molto consistente a dura
Argilla sabbioso-limosa, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato (da circa 34,00 m), debolmente umificata nella parte sommitale, di colore da grigiastro a rosso-vinaccia, localmente grigio-verdastro e/o marrone-ocraceo, nerastro per forte alterazione manganasifera, con occasionali clasti subcentimetrici sparsi nella matrice, sottili intercalazioni di sabbia argillosa, a luoghi in intercalazioni decimetriche. Struttura parzialmente scagliosa a superficie traslucida. Materiale estremamente consistente.
Argilla sabbioso-limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato (da circa 32,00 m), debolmente umificata nella parte sommitale, con screziature di color ruggine, local
Argilla sabbioso-limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato, debolmente umificata nella parte sommitale, con zonature di colore da grigiastro a rosso-vinaccia, localmente grigio-verdastro e/o marroneocraceo, nerastro per forte alterazione manganasifera, con occasionali clasti subcentimetrici sparsi nella matrice, sottili intercalazioni di sabbia argillosa, a luoghi in intercalazioni decimetriche. Struttura parzialmente scagliosa a superficie traslucida. Da 30,50 m aumento della frazione sabbiosa. Materiale estremamente consistente.
Argilla sabbioso-limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa.
Argilla, a tratti marnosa, dura, debolmente umida
Argilla, azzurrognola, dura, debolmente umida. Presenti rare intercalazioni limoso-sabbiose
Argilla, da molto consistente a dura, debolmente umida, marrone scuro
Argilla, grigio chiaro, con intercalazioni centimetriche limoso - sabbiose
Argilla, grigio chiaro, da molto consistente a dura, debolmente umida
Argilla, grigio-nocciola, molto consistente, umida.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 33 di 48

4.3 Inquadramento Geomorfologico

L'area di studio si colloca presso il margine meridionale della Pianura Padana occidentale. A sud-est della zona del tracciato ferroviario, si sviluppa la fascia pedemontana degli Appennini Settentrionali. In particolare, si tratta di una fascia di blandi e articolati rilievi pedemontani degradanti verso NW, che rappresentano il fronte della catena appenninica emergente dalla Pianura. È caratterizzata dalla presenza di estesi lembi di depositi quaternari profondamente alterati. Di raccordo tra i rilievi pedemontani e la porzione prossimale della Pianura Padana si trova una sorta di pianalto, rilevato di pochi metri sulla pianura, costituito da depositi continentali [44, p. 27].

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

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

L'area di indagine ricade in un territorio pressoché pianeggiante, con una blanda inclinazione verso nord, dovuta al progressivo avvicinamento alla zona di scorrimento del Fiume Po. Nella zona sono presenti i conoidi del T. Scrivia, del T. Curone e del T. Staffora; solo il conoide del T. Curone è intercettato pienamente dal tracciato ferroviario, mentre i restanti due lo lambiscono solo marginalmente, in corrispondenza degli abitati di Tortona e di Voghera (Figura 4-5).

L'evoluzione morfogenetica della zona risulta legata all'azione del reticolo idrografico del T. Scrivia, del T. Curone e del T. Staffora, oltre che, in misura minore e del T. Grue; la dinamica di questi corsi d'acqua risulta determinante per la caratterizzazione geologico-geomorfologica e per l'assetto idrogeologico generale del territorio, a causa dell'influenza significativa delle risorse idriche contenute nei depositi alluvionali [12, p. 9].

La zona collinare adiacente al territorio di Tortona appartiene al complesso formazionale noto in letteratura con il termine "Sperone di Tortona", mentre la fascia pianeggiante, al piede dello "Sperone di Tortona", rappresenta il complesso deposizionale legato alle varie fasi evolutive di alluvionamento del T. Scrivia, il cui insieme costituisce

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 34 di 48</p>

la cosiddetta copertura quaternaria. La morfologia del territorio di Pontecurone risente, inoltre, sensibilmente anche dell'attività antropica, soprattutto lungo l'asta dell'adiacente torrente Scrivia dove sono presenti alcune depressioni artificiali, create nel corso degli ultimi anni dall'attività di escavazione di ghiaia e sabbia. Parte di esse ospitano cave ancora attive, altre sono state abbandonate [12, p. 10]. La zona di Voghera fa parte dell'ampio ed esteso ripiano alluvionale di età pleistocenica impostato nei depositi riferibili al "Fluviale recente" o "Fluviale Würm"; tale ripiano è noto in letteratura geologica come "Piano Generale Terrazzato" (P.G.T.) della Pianura lombarda, e depositi della successiva fase interglaciale (alluvioni post-glaciali). Il ripiano in questione ha una superficie complessivamente regolare ed è dotato di una debole pendenza generale verso SSE; esso presenta, nell'ambito del territorio comunale, quote che variano all'incirca tra i 70 e 90 m s.l.m. La morfologia del P.G.T., prevalentemente monotona e piatta, è disturbata localmente da leggere ondulazioni e dalla presenza di modeste scarpate naturali o artificiali che segnano spesso il confine tra diversi appezzamenti agricoli e/o costituiscono le ripe di rogge o canali irrigui e di scolo esistenti. La continuità morfologica del Piano Generale Terrazzato è interrotta anche dalla presenza di blande depressioni valliformi, debolmente depresse rispetto alle aree adiacenti (e talora delimitata da modeste scarpate), che ricalcano il tracciato di paleoalvei ad andamento meandriforme con anse ad ampia curvatura, e che rappresentano presumibilmente vecchi tracciati di epoca glaciale dei diversi torrenti ed affluenti del fiume Po [19, pp. 9–10].

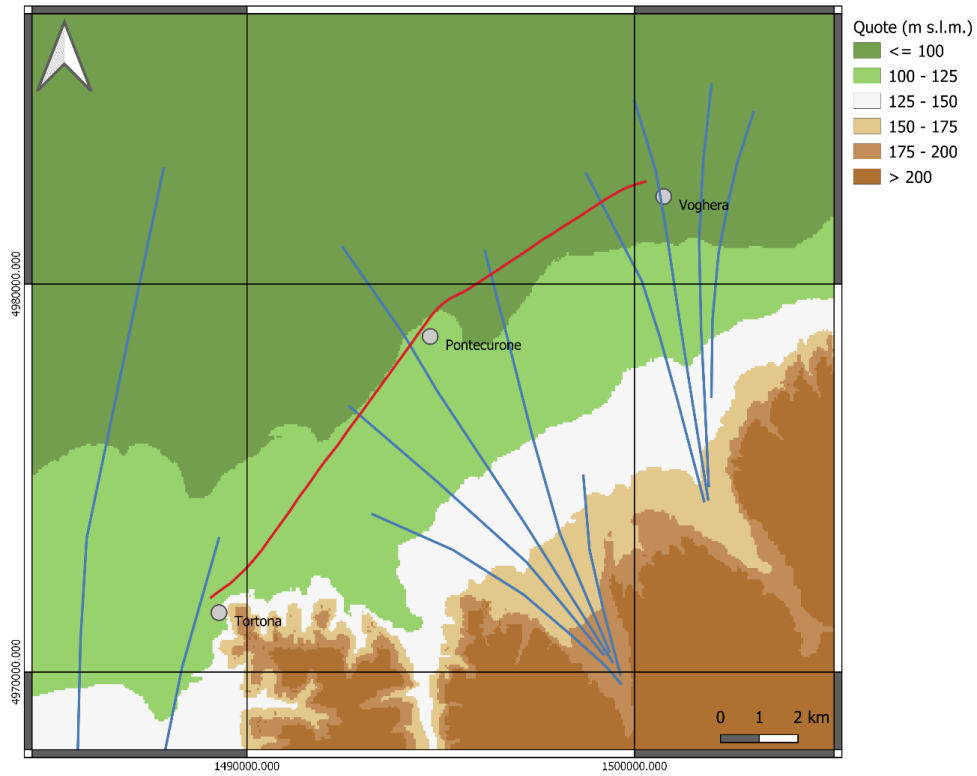


Figura 4-5 – Fisiografia dell'area. Le linee blu indicano le geometrie dei corpi di conoide.

5 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

5.1 Idrografia

Dal punto di vista idrografico le aree di studio intersecano o vengono lambite dai corsi d'acqua dei torrenti Scrivia, Grue, Curone e Staffora, affluenti del fiume Po (Figura 5-1 e Figura 5-2)

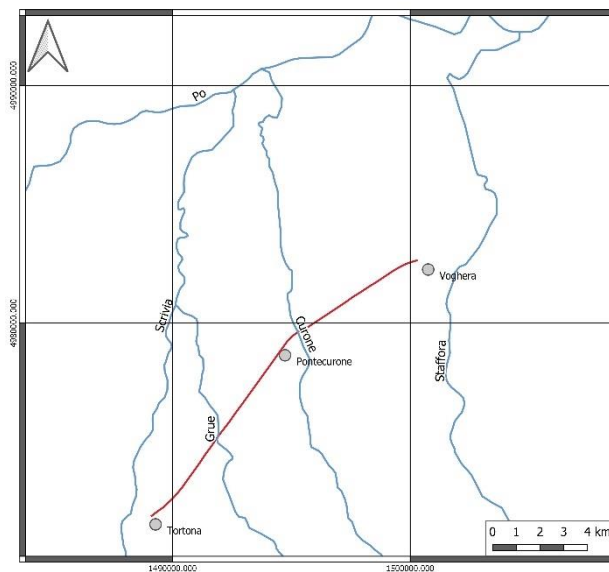


Figura 5-1 – Idrografia principale dell'area in prossimità del tracciato. In rosso: tracciato ferroviario.

Il T. Scrivia scorre da sud verso nord, passando per la zona ovest del comune di Tortona; a nord di quest'ultimo il T. Grue, che scorre in direzione SSE-NNW, confluisce nel T. Scrivia stesso. Il T. Curone si sviluppa in direzione SE-NW e interseca il tracciato ferroviario in corrispondenza dell'abitato di Pontecurone. Al di là del confine, nell'area pavese, il T. Staffora scorre da sud verso nord, attraversando Voghera oltre il termine del tracciato ferroviario.

Lo Scrivia [12, pp. 21–22] è un grosso torrente del nord-Italia, affluente di destra del Po, che scorre in Liguria, Piemonte e in Lombardia. Nasce in Liguria nel territorio della Città metropolitana di Genova dalla confluenza presso il comune di Montoggio (GE) del torrente Laccio e del torrente Pentemina, entrambi provenienti dal monte Prelà (Appennino Ligure) percorrendo poi un tratto lungo circa 88 km. Se si considera come ramo sorgentizio principale il torrente Laccio (che nasce nel comune di Torriglia), la lunghezza totale del torrente sino alla foce sale a 117 km. La portata media annua della Scrivia presso la foce è di circa 23 m³/s. Il regime è nettamente torrentizio con piene talvolta disastrose in autunno (in particolare quella del 1968 che raggiunse il suo massimo storico di oltre 2.000 m³/s) e magre quasi totali in estate (totali nel tratto compreso tra Cassano Spinola e Casei Gerola dove può rimanere

addirittura asciutto anche per mesi). Ad accentuare questa caratteristica sono i tempi di corrivazione essenzialmente brevi nel caso di forti piogge a monte: le onde di piena della Scrivia, infatti, possono essere particolarmente tumultuose e devastanti anche se di breve durata. Proprio per le sue caratteristiche è classificato come torrente, nonostante le dimensioni siano molto maggiori rispetto a ciò che normalmente viene definito torrente.

La Staffora [12, p. 23] è un torrente della Lombardia (64 km) che, formando l'omonima valle, attraversa in lunghezza tutta la zona dell'Oltrepò Pavese in provincia di Pavia. Nasce dalla Fontana di S. Giacomo (m. 1343), nei pressi del passo del Giovà, sull'Appennino ligure scorrendo dapprima in uno stretto e angusto solco appenninico contornato da versanti molto instabili e franosi. Il regime della Staffora è spiccatamente torrentizio: nel tratto montano e collinare ha un letto ampio e ghiaioso con acque perenni ma assai scarse (portata minima 0,7 m³/s); al contrario, nel tratto a valle di Rivanazzano, il torrente può rimanere in secca per mesi durante la stagione estiva. In autunno invece, in caso di forti piogge a monte, il torrente è soggetto a gonfiarsi molto rapidamente trascinando a valle una grossa quantità di detriti. Le sue rapide piene (massimo 675 m³/s) possono essere dunque anche catastrofiche.

Il torrente Curone [12, pp. 23–24] è un torrente che forma l'omonima valle in provincia di Alessandria. Ha una lunghezza di circa 50 km ed è affluente di destra del Po. Nasce sul confine tra Piemonte e Lombardia a circa 1500 m s.l.m. dal monte Garave dalla catena degli Appennini. Il Curone è un corso d'acqua dal carattere torrentizio: per gran parte dell'anno nel suo letto non scorre che un sottile rivo d'acqua mentre nella stagione estiva rimane completamente asciutto per mesi. In caso di forti piogge invece le piene del Curone possono anche essere catastrofiche dato che esso ha tendenza a gonfiarsi rapidamente trascinando a valle forti quantità di detriti.

Il torrente Grue [12, p. 24] è un torrente del Piemonte, affluente in destra idrografica dello Scrivia. Il suo corso si sviluppa interamente nel territorio della provincia di Alessandria; il perimetro del bacino è 69 km. Il torrente nasce dalla Bocchetta del Barillaro a 636 metri d'altezza, presso lo spartiacque con la val Borbera; dopo un percorso piuttosto tortuoso prima tra l'Appennino ligure e poi tra le Colline Tortonesi a Viguzzolo entra nella Pianura Padana, e dopo un tratto finale rettilineo sfocia nello Scrivia a Castelnuovo Scrivia all'ingresso del paese, a 79 m di quota.

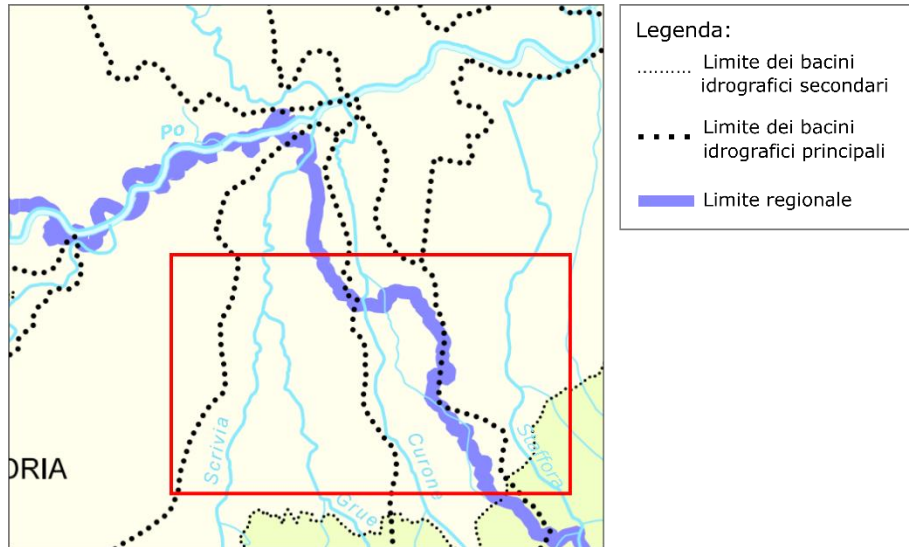


Figura 5-2 – Bacini idrografici e principali corsi d’acqua nell’area di studio (stralcio non in scala dal PAI del Bacino del Po, Tav. 2 -II). Il riquadro rosso rappresenta l’area di studio.

5.2 Idrogeologia

L’assetto idrogeologico appare costituito da più falde idriche sovrapposte [12, p. 18] .

All’interno della successione alluvionale che occupa la porzione di pianura collocata a nord del margine appenninico, è possibile individuare un sistema acquifero complesso, caratterizzato dalla presenza di più orizzonti permeabili sovrapposti, separati da litozone a dominante argillosa (impermeabili o semipermeabili) o localmente interdigitati.

Il settore più prossimo all’area montana, originato dalla coalescenza dei conoidi depositati dai corsi d’acqua appenninici, si caratterizza per la presenza di più orizzonti acquiferi, corrispondenti ad antichi paleoalvei dei principali torrenti; tali orizzonti evidenziano una distribuzione spaziale alquanto articolata. In corrispondenza del conoide del torrente Staffora è presente, in particolare, una successione costituita da corpi ghiaiosi marcatamente lenticolari e di potenza ridotta, intercalati a depositi prevalentemente argillosi. Le frequenti interdigitazioni tra i depositi permeabili fanno supporre che il sistema acquifero presente in questo settore sia scarsamente differenziato. Nella zona apicale del conoide, il regime della falda è per lo più di tipo freatico; la presenza di depositi a ossatura ghiaiosa in superficie o a ridotta profondità dal piano campagna crea le condizioni per un’attiva ricarica dell’acquifero a opera delle acque di provenienza meteorica. Passando dal settore di monte a quello di valle si assiste a un progressivo ispessimento dei corpi acquiferi e a un aumento della loro continuità areale, cui fa riscontro una diminuzione della granulometria dei materiali (da ghiaie a sabbie prevalenti) [49, p. 36].

In tutto il settore compreso tra le frange estreme dei conoidi appenninici e le zone golenali del Po la successione alluvionale risulta caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di materiali argilloso-limosi che riveste

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 39 di 48

notevole importanza ai fini idrogeologici. Questi depositi, a permeabilità scarsa o nulla, costituiscono un elemento di protezione dall'inquinamento per l'acquifero sottostante. La loro presenza riduce le possibilità di ricarica diretta della falda per gli apporti derivanti dall'infiltrazione efficace. Le condizioni idrodinamiche della falda risentono della situazione piezometrica e della potenza della coltre superficiale argillosa-limoso: nelle zone in cui questa è ridotta o assente, la falda è di tipo libero; nei comparti in cui la coltre presenta spessori rilevanti, la falda assume un carattere confinato se limitata a tetto da depositi impermeabili, o semiconfinato in presenza di depositi di copertura semipermeabili. In queste aree, la falda, limitata sia inferiormente che superiormente da livelli impermeabili (acquicludi) o semipermeabili (acquitardi), risulta debolmente in pressione e può ricevere alimentazione solo lateralmente [49, p. 37].

I depositi alluvionali del ripiano principale della porzione di pianura in cui si colloca l'area in esame risultano essere rappresentati da alternanze di sabbie e/o ghiaie e argille o limi argillosi a geometria lenticolare e modesto grado di alterazione; la permeabilità superficiale primaria è generalmente medio-bassa. Nella parte superficiale della successione è presente una copertura argilloso-limoso più o meno continua e potente che riduce la permeabilità superficiale [50, pp. 15–16].

Nel dettaglio, all'interno del territorio di Voghera, si possono individuare tre falde (PGT del Comune di Voghera, 2012, citato in [50, p. 17]):

- La prima falda drena, nel periodo di magra, il torrente Staffora, ed è a sua volta drenata dal torrente nella parte terminale del conoide. Nella zona dell'abitato di Voghera, dove le alluvioni hanno un alto contenuto di sedimenti argillosi, può raggiungere le condizioni di artesianità saturando l'acquifero.
- La seconda falda si colloca a profondità tra i 40-50 metri, nella zona a valle prossima al fiume Po. Nel territorio compreso tra Voghera e Rivazzano l'acqua di falda viene incanalata entro due vie preferenziali delimitate da due pseudo-paleoalvei sospesi all'interno del conoide.
- La terza falda si colloca a profondità tra 80-85 m nella zona di pianura e ha scarsissima potenzialità.

Nel territorio comunale di Pontecurone, poi, sono riconoscibili, a partire dall'alto, le seguenti principali unità idrogeologiche raggruppate, in base alla litologia e pertanto alla diversità di comportamento idrogeologico, in 6 classi di permeabilità, da molto bassa a molto alta. Pertanto, si sono distinti i seguenti complessi idrogeologici (da P.R.G. di Pontecurone – Marzo 2018, citato in [12, p. 20]):

- Coperture alluvionali oloceniche attuali: depositi ghiaioso-pseudociottolosi costituenti propriamente le zone d'alveo. Subordinata presenza di depositi fini, da limoso-argillosi a sabbiosi ($K = 10 \text{ m/s} \div 10^{-2} \text{ m/s}$)
- Coperture alluvionali oloceniche recenti e antiche: costituite da sabbie limoso-argillose soffici e poco consistenti con subordinati livelli di ghiaia e ciottoli, in matrice sabbioso-limoso-argillosa ($K = 10^{-2} \text{ m/s} \div 10^{-6} \text{ m/s}$)

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 40 di 48

- Coperture alluvionali pleistoceniche riconducibili al "fluviale recente": costituite prevalentemente da ghiaie, ghiaie con sabbia e limo ($K = 10^{-2} \text{ m/s} \div 10^{-6} \text{ m/s}$)

- Coperture alluvionali pleistoceniche medie e antiche: costituite da ghiaie sabbioso-argillose, ghiaie ed argille fortemente alterate ($K = 10^{-6} \text{ m/s} \div 10^{-7} \text{ m/s}$) e limi sabbiosi ed argillosi poco consistenti ($K = 10^{-8} \text{ m/s} \div 10^{-10} \text{ m/s}$)

- Complessi oligocenici: caratterizzati da arenarie, sabbie e conglomerati con diverso grado di cementazione, scarsamente permeabili per porosità primaria, localmente permeabili per fessurazione ($K = 10^{-4} \text{ m/s} \div 10^{-9} \text{ m/s}$). Presenza di livelli arenacei e marnoso-sabbiosi ($K = 10^{-4} \text{ m/s} \div 10^{-6} \text{ m/s}$). Coperture eluvio-colluviali, prevalentemente limoso-argillose, poco permeabili ($K = 10^{-6} \text{ m/s} \div 10^{-9} \text{ m/s}$).

- Complessi miocenici, eocenici e paleocenico-cretacei a bassa permeabilità, costituiti da depositi per lo più di bassa energia (ambiente evaporitico, piana sottomarina, ambiente lagunare), comprendenti argille, argille marnose, marne argillose e marne siltoso-sabbiose, talvolta alternati a livelli arenacei ($K = 10^{-8} \text{ m/s} \div 10^{-10} \text{ m/s}$). Coperture eluvio-colluviali, prevalentemente limoso-argillose, poco permeabili ($K = 10^{-6} \text{ m/s} \div 10^{-9} \text{ m/s}$).

Una distinzione in unità idrogeologiche del tutto analoga alla precedente, infine, si ritrova all'interno del Piano Regolatore Comunale di Tortona [51].

Il flusso dell'acqua sotterranea è genericamente diretto da sud verso nord, con una lieve componente ovest-est nel tratto di pianura limitrofo alla fascia appenninica [51], [52].

5.3 Assetto idrogeologico locale

L'approfondimento realizzato per il presente studio ha consentito di definire le principali caratteristiche idrogeologiche dell'area.

Nell'ambito delle campagne di indagine che hanno interessato l'area descritte nel capitolo 3, in particolare delle campagne geognostica Italferr 2009 (paragrafo 3.1.1) e Italferr 2020 (paragrafo 3.1.3), sono state effettuate prove di permeabilità in foro tipo Lefranc per la definizione della permeabilità delle unità geologiche. Inoltre, allo scopo di indagare l'effettiva presenza di falde idriche sotterranee ed il relativo andamento della superficie piezometrica, è stata effettuata, ed è a tutt'oggi in essere, una campagna di monitoraggio nei tubi piezometrici installati nei fori di sondaggio di nuova realizzazione ed in alcuni di quelli esistenti (vedi paragrafo 5.4).

Nelle tabelle seguenti (Tabella 5-1 e Tabella 5-2) sono riportate le caratteristiche delle prove Lefranc ed i valori di permeabilità che ne sono risultati. Per i dettagli delle prove, si rimanda alle schede delle prove [1], [22]–[42].

Tabella 5-1 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2009. Sono indicate le profondità della base e del tetto della tasca di prova e la litologia ad essa associata, individuata nei sondaggi. Si segnala che la prova eseguita nel sondaggio S2 interessa una zona di transizione da ghiaia a sabbia ghiaiosa, mentre la prova eseguita nel S11, seppur eseguita in corrispondenza di un passaggio ghiaia-argilla, interessa per lo più lo strato argilloso.

ID	Numero prova	DATA	Profondità tetto-tasca (m da p.c.)	Profondità base-tasca (m da p.c.)	Litologia	K (m/s)
S1	1	04-05/06/2009	11.00	12.00	Ghiaia	8.21 E-04
S2	1	08-09/06/2009	11.00	12.00	Ghiaia-Sabbia	7.01 E-04
S3	1	29/05-03/06/2009	12.00	13.00	Ghiaia	4.64 E-04
S4	1	03-05/06/2009	23.00	24.00	Siltite	1.15 E-06
S5	1	14/05/2009	14.00	15.00	Ghiaia	4.73 E-04
S6	1	18-21/05/2009	18.00	19.50	Sabbia	8.53 E-05
S7	1	22-26/05/2009	11.00	12.00	Ghiaia	3.90 E-04
S8	1	27-28/05/2009	14.00	15.00	Ghiaia	6.62 E-04
S9	1	22-24/04/2009	14.00	15.00	Ghiaia	1.38 E-04
S11	1	04-05/05/2009	15.00	16.00	Ghiaia-Argilla	5.21 E-06
S12	1	06/05/2009	14.00	15.00	Ghiaia	3.11 E-04
S14	1	12-15/06/2009	13.00	14.00	Ghiaia	2.34 E-04
S16	1	16-18/06/2009	16.00	17.00	Ghiaia	8.23 E-05

ID	Numero prova	DATA	Profondità tetto-tasca (m da p.c.)	Profondità base-tasca (m da p.c.)	Litologia	K (m/s)
S17	1	12-15/06/2009	12.00	13.00	Sabbia	4.81 E-05
S18	1	18-22/06/2009	21.00	22.00	Ghiaia	6.50 E-04
S20	1	26-30/06/2009	22.00	23.00	Ghiaia	7.12 E-04
S21	1	30/06-01/07/2009	19.00	20.00	Argilla	4.07 E-07
S23	1	03/07/2009	14.00	15.00	Ghiaia	1.05 E-04

Tabella 5-2 - Prove di permeabilità realizzate nell'ambito della campagna geognostica Italferr 2020. Sono indicate le profondità della base e del tetto della tasca di prova e la litologia ad essa associata, individuata nei sondaggi. Il segno "/" sta ad indicare che la prova era pianificata ma non è stata eseguita. Nelle schede dei sondaggi il foglio relativo a queste prove risulta privo di dati..

ID	Numero prova	DATA	Profondità tetto-tasca (m da p.c.)	Profondità base-tasca (m da p.c.)	Litologia	K (m/s)
S1	1	24/06/2020	1.50	2.00	Argilla	1.4 E-05
S1	2	25/06/2020	7.50	8.00	Ghiaia	/
S1	3	25/06/2020	8.50	9.00	Ghiaia	7.4 E-05
S1A	1	17/07/2020	1.40	2.00	Ghiaia	1.1 E-06
S1A	2	20/07/2020	15.00	16.00	Argilla	8.1 E-05
S1B	1	24/07/2020	1.40	2.50	Limo	4.6 E-07
S1B	2	27/07/2020	8.90	9.50	Ghiaia	5 E-05
S1C	1	21/07/2020	1.50	2.50	Limo	1.9 E-07
S1C	2	22/07/2020	7.50	8.00	Ghiaia	/
S2	1	29/06/2020	1.50	2.00	Argilla	8.7 E-09

ID	Numero prova	DATA	Profondità tetto-tasca (m da p.c.)	Profondità base-tasca (m da p.c.)	Litologia	K (m/s)
S2	2	30/06/2020	10.00	10.50	Ghiaia	3.5 E-05
S2A	1	09/07/2020	2.00	3.00	Argilla	3.6 E-07
S2A	2	09/07/2020	15.00	15.50	Ghiaia	3.4 E-05
S3	1	07/07/2020	1.50	3.00	Argilla	1.6 E-06
S3	2	07/07/2020	13.50	14.00	Ghiaia	/
S4	1	25/06/2020	1.50	2.50	Limo	3.3 E-08
S4	2	25/06/2020	4.50	5.00	Sabbia	4.9 E-06
S5	1	01/07/2020	1.50	2.00	Argilla	1.0 E-07
S5	2	02/07/2020	13.00	13.50	Ghiaia	1.8 E-04
S5A	1	14/07/2020	1.50	2.50	Argilla	3.5 E-08
S5A	2	15/07/2020	15.00	15.80	Ghiaia	6.3 E-05
S6	1	03/06/2020	1.50	3.00	Limo	1.0 E-07
S6A	1	22/07/2020	1.50	2.00	Limo	5.0 E-08
S6A	2	22/07/2020	15.00	15.50	Ghiaia	5.6 E-05
S7	1	02/07/2020	1.40	2.50	Limo	5.9 E-08
S7	2	03/07/2020	16.40	17.00	Ghiaia	5.7 E-04
S8	1	22/06/2020	1.50	2.00	Argilla	1.98 E-09
S8	2	23/06/2020	4.50	5.00	Argilla	4.4 E-06
S9	1	17/06/2020	1.50	2.00	Terreno di riporto	/
S9	2	17/06/2020	3.00	3.50	Argilla	7.53 E-09

ID	Numero prova	DATA	Profondità tetto-tasca (m da p.c.)	Profondità base-tasca (m da p.c.)	Litologia	K (m/s)
S10	1	10/06/2020	1.50	2.00	Argilla	3.5 E-08
S10	2	10/06/2020	4.50	5.00	Limo	1.1 E-05
S11	1	03/06/2020	1.50	2.00	Argilla	6.4 E-09
S11	2	03/06/2020	4.50	5.00	Ghiaia	1.4 E-05
S11bis	1	14/07/2020	1.50	2.00	Sabbia	1.1 E-06
S11bis	2	14/07/2020	15.00	15.50	Argilla	2.9 E-04
S12	1	12/06/2020	1.50	2.00	Argilla	6.21 E-09
S12	2	12/06/2020	4.50	5.00	Argilla	7.6 E-06
S13	1	07/09/2020	1.50	2.00	Sabbia	8.0 E-08
S13	2	15/09/2020	15.00	15.50	Ghiaia	1.4 E-05
S15	1	06/07/2020	1.50	2.00	Sabbia	7.0 E-07
S15	2	06/07/2020	15.00	15.50	Ghiaia	1.1 E-04
S16	1	29/07/2020	1.50	2.00	Limo	4.9 E-06
S16	2	29/07/2020	10.50	11.00	Ghiaia	5.4 E-05

I valori di permeabilità ricavati nel corso delle indagini sono stati complessivamente graficati in Figura 5-3, raggruppati per litologia. La permeabilità risulta essere abbastanza variabile all'interno della stessa litologia, con la ghiaia che in ogni caso è caratterizzata da valori superiori di K , se comparata con gli altri gruppi litologici; la sabbia ha permeabilità inferiore a quella della ghiaia ma superiore a quella del limo. L'argilla è invece rappresentata da un range di valori piuttosto ampio, che va da K dell'ordine di 10^{-8} a K dell'ordine di 10^{-4} .

Sul grafico sono anche riportati i valori medi per ogni litologia, calcolati come media geometrica. L'argilla e il limo risultano avere permeabilità media comparabile ($2.87 \cdot 10^{-7}$ il limo e $2.76 \cdot 10^{-7}$ l'argilla); la sabbia presenta permeabilità media pari a $3.28 \cdot 10^{-6}$ e la ghiaia pari a $1.24 \cdot 10^{-4}$.

Tabella 5-4 – Elenco dei piezometri oggetto di monitoraggio (tabella tratta da [53]). Sono indicate le coordinate dei punti, le quote del boccaforo e il tipo di piezometro installato: Casagrande o Tubo Aperto (T.A.). Per il piezometro S13 i dati a disposizione non riportano la quota del boccaforo, mentre il piezometro S16 risulta monitorato nonostante in [35] non sia riportata la presenza di alcuna attrezzatura nel foro.

Denominazione	Coordinata E	Coordinata N	Quota piano campagna (m.s.l.m)	Tipo Piezometro
S1	489753.97	4972444.30	112	piezometro Casagrande
S1B	490058.92	4972714.28	112	piezometro T.A.
S1C	490320.65	4973015.51	110	piezometro T.A.
S2	490497.67	4973212.17	110	piezometro T.A.
S3	490936.00	4973882.00	110	piezometro Casagrande
S4	491327.44	4974358.65	110	piezometro T.A.
S5	491613.05	4974844.37	106	piezometro T.A.
S6	492240.21	4975618.39	103	piezometro Casagrande.
S7	492957.84	4976614.00	102	piezometro T.A.
S8	493845.96	4977897.29	102	Piezometro Casagrande.
S9	494103.65	4978264.90	102	piezometro T.A.
S10	494536.48	4978777.35	100	piezometro Casagrande
S11	494732.21	4979041.07	99	piezometro Casagrande
S12	495276.85	4979569.96	99	piezometro T.A.
S13	495885.60	4979954.30	-	piezometro T.A.
S15	498220.99	4981506.86	92	piezometro Casagrande
S16	498692.53	4981790.78	-	piezometro T.A.

Tabella 5-5– Elenco punti di monitoraggio con relative quote.

ID	n° cella di Casagrande	Quota piano campagna (m s.l.m.)	Quota-Casagrande/ quota tetto tratto filtrante-T.A. (m da p.c.)	Quota base tratto filtrante-T.A. (m da p.c.)
S1	1	112	10.50	-
S1	2	11	25.00	-
S1B	-	112	6.00	12.00
S1C	-	110	6.00	15.00
S2	-	110	6.00	27.00
S3	1	110	16.25	-
S3	2	110	28.50	-
S4	-	110	9.00	33.00
S5	-	106	9.00	27.00
S6	1	103	19.00	-
S7	-	102	9.00	30.00
S8	1	102	15.00	-
S8	2	102	29.00	-
S9	-	102	3.00	30.00
S10	1	100	18.00	-
S10	2	100	27.00	-
S11	1	99	21.00	-

S11	2	99	29.00	-
S12	-	99	3.00	30.00
S13	-		9.00	40.00
S15	1	92	15.00	-
S15	2	92	25.00	-

I grafici in Figura 5-5 e Figura 5-6 rappresentano gli andamenti del livello piezometrico nel tempo dei vari punti di monitoraggio.

Gli andamenti riferiti ai piezometri a tubo aperto Figura 5-5, mostrano una generale tendenza alla risalita del livello, nel periodo che va dall'inizio del monitoraggio (dicembre 2020) a marzo/aprile 2021; il livello tende poi a stabilizzarsi al termine della primavera. Fa eccezione il piezometro S2, in cui il livello, dopo aver raggiunto il valore massimo di 96.45 m s.l.m. a gennaio 2021, tende a calare progressivamente, fino a raggiungere i 95.62 m s.l.m. Nei restanti punti di misura, si può osservare come i piezometri S5, S7, S12, S13, S16 registrino un marcato incremento di livello nel periodo che va dal 10/12/2020 al 5/03/2021 (da 2 a 4 m, a seconda del piezometro); la misura riferita al 07/04 risulta ancora essere invece circa uguale o di poco superiore a quella del mese precedente. Il piezometro S4, invece è caratterizzato da un incremento relativamente meno marcato del periodo dicembre-marzo, se confrontata con il picco che si registra in data 07/04 (incremento di 1.5 m in un mese). Per quanto riguarda i piezometri S1B e S9, non è stato possibile ottenere l'intero dataset, a causa di motivi tecnici relativi all'esecuzione delle misure in campo. Del piezometro S1C, infine, non si hanno misure nel periodo di monitoraggio presentato in questo contesto.

Le misure effettuate nei punti di monitoraggio attrezzati con piezometro di Casagrande seguono un andamento a grandi linee analogo a quello descritto per i piezometri a tubo aperto. Le eccezioni, in questo caso, sono però da attribuire ai piezometri installati nei fori S1 e S3. È, inoltre, da segnalare che in alcuni casi, per via di problemi tecnici, le serie riferite al S10 e S15 risultano incomplete e quelle riferite al S6 del tutto assenti.

I due piezometri installati all'interno del foro del sondaggio S1 mostrano andamenti lievemente discordanti tra loro, oltre che con il trend generale di salita che caratterizza il periodo invernale per la maggior parte dei punti monitorati. La cella 1 ("S1 C1" nel grafico) mostra una discesa del livello nel periodo dicembre-marzo (- 1.3 m ca.), interrotta ad aprile in cui il livello inizia a risalire. La cella 2 ("S1 C2" nel grafico) misura un livello grossomodo costante nel periodo invernale, con un decremento (-0.8 m ca.) e successiva lieve risalita nelle misure di aprile e maggio.

I piezometri del S3 in cui si sono effettuate le misure sono caratterizzati da andamenti tra loro coerenti, ma che si discostano dal trend di salita di livello registrato nel periodo invernale nella maggior parte degli altri punti monitorati. Di fatto il livello si mantiene nel complesso quasi costante, con un picco il 13/01/2021: l'entità del picco è modesta

(+0.5 ca.) per quanto riguarda le misure effettuate nella prima cella di Casagrande (“S3 C1”), e più accentuata (+1.5 m ca.) per quanto riguarda invece le misure eseguite nella seconda cella (“S3 C2”).

A livello generale si osserva che dai dati del monitoraggio piezometrico nei fori attrezzati con due piezometri Casagrande non è stato possibile capire con sicurezza quale set di letture fosse riferito alla cella superiore e quale set di letture fosse riferito alla cella inferiore.

Una sintesi dei valori massimi del livello di falda è riportata in Tabella 5-6.

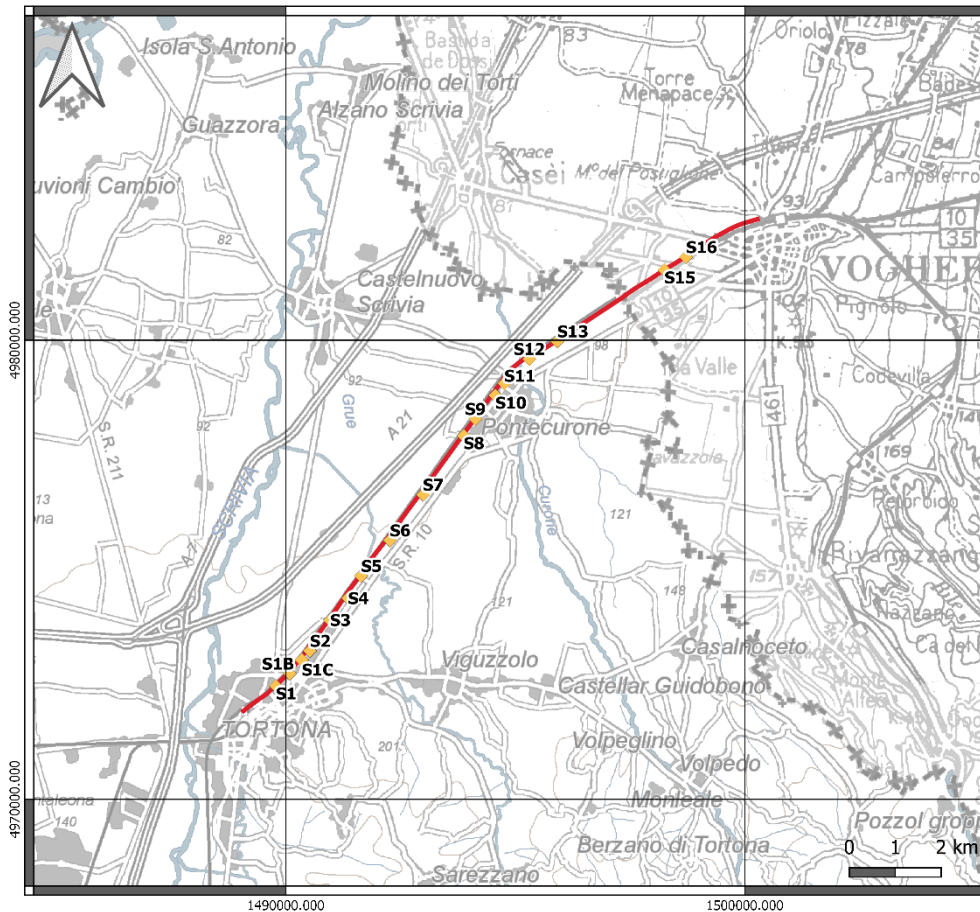


Figura 5-4 – Ubicazione dei punti di misura utilizzati nel corso della campagna di monitoraggio piezometrico. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto di studio.

Figura 5-5 – In questa pagina: andamenti piezometrici registrati all'interno dei piezometri di monitoraggio a tubo aperto. Per quanto riguarda le misure riferite ai piezometri S1B e S9, le serie risultano interrotte a causa di problemi tecnici occorsi durante le campagne di misura.

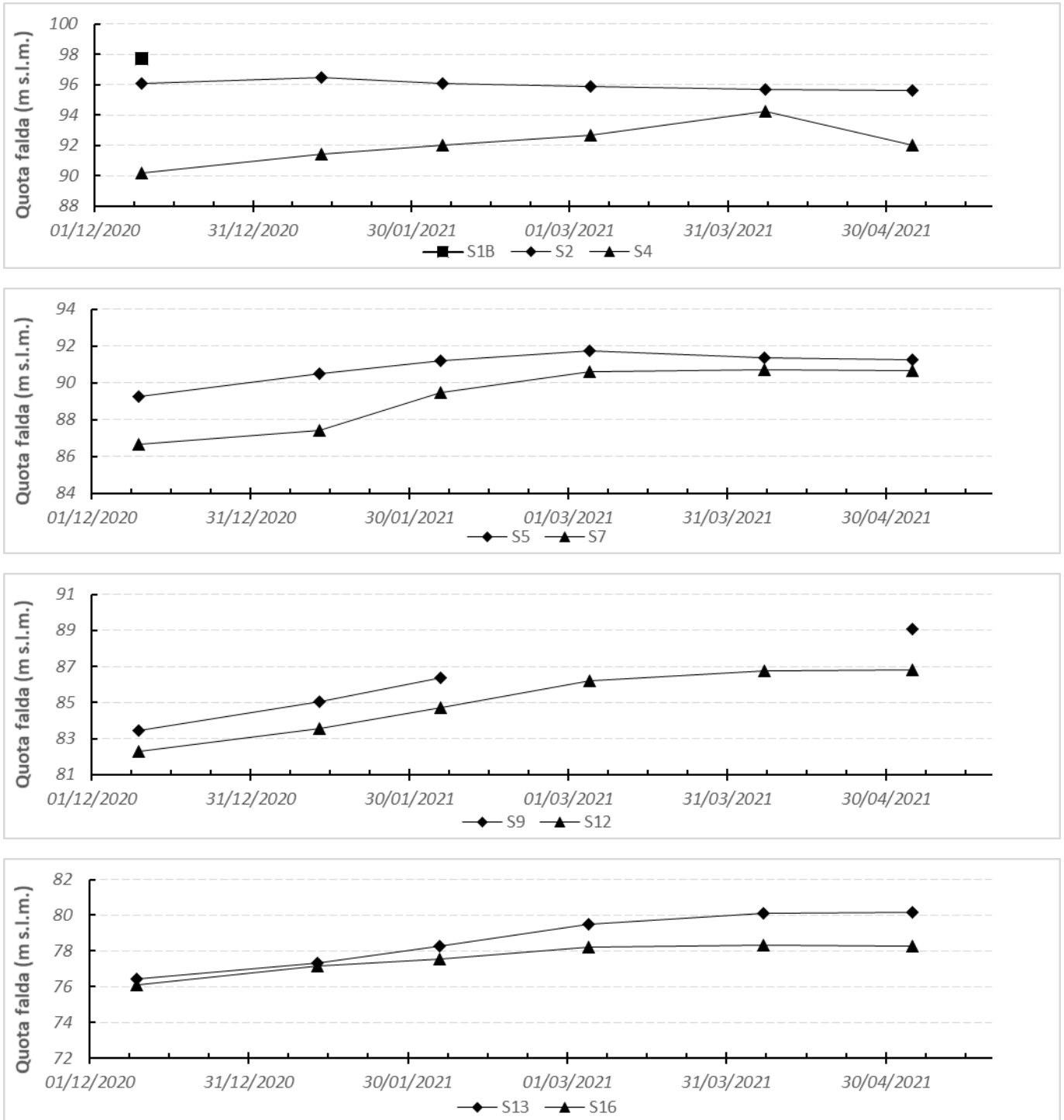
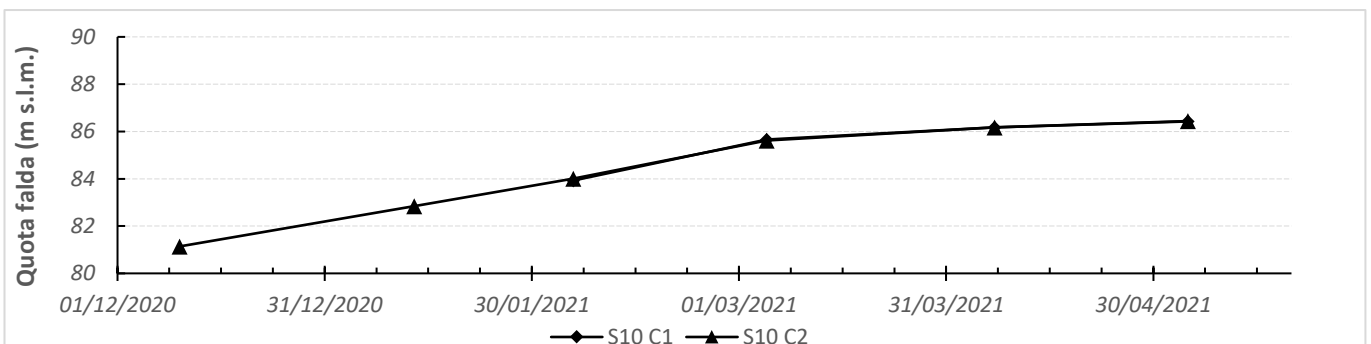
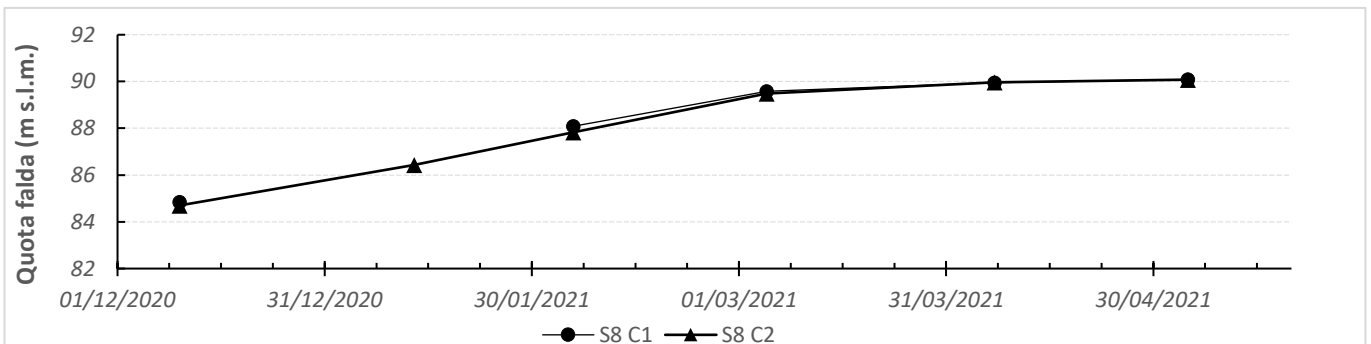
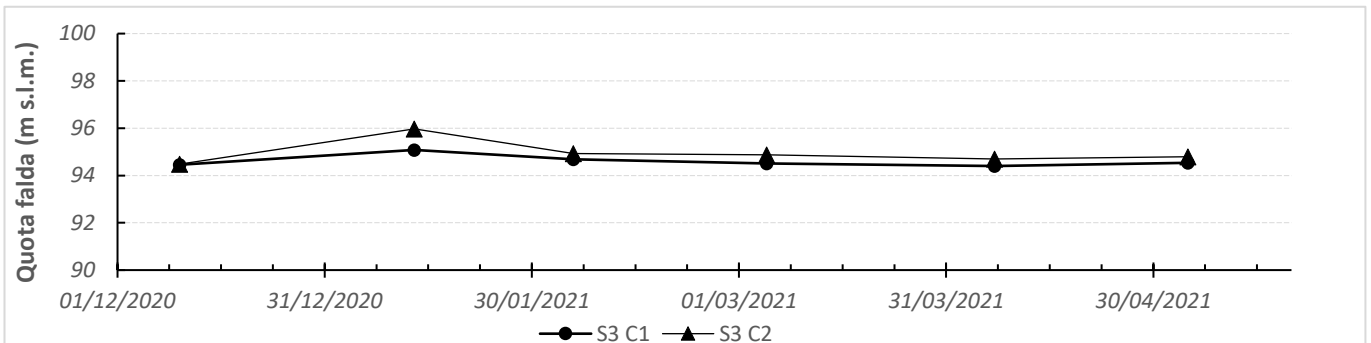
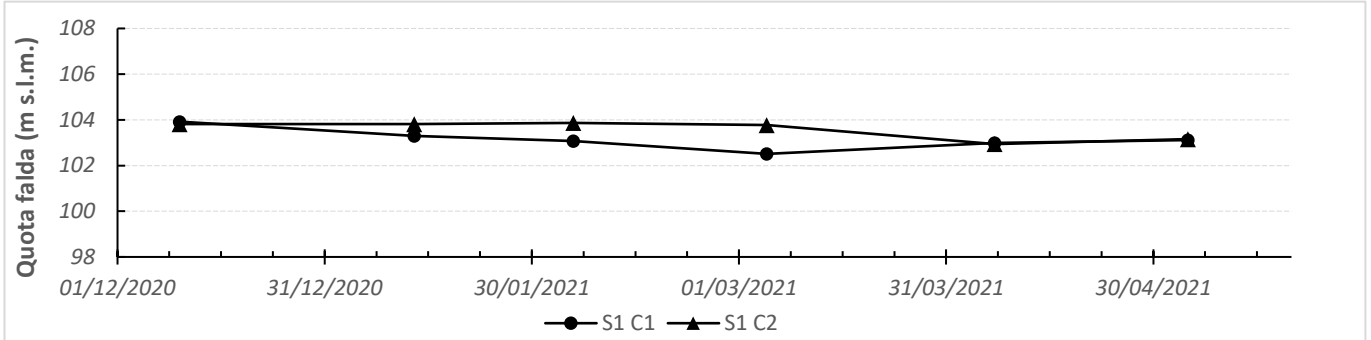


Figura 5-6 – In questa pagina e nelle seguenti: andamenti piezometrici registrati all'interno dei piezometri di monitoraggio di Casagrande. Per quanto riguarda le misure riferite ai punti "S8 C1", "S10 C2" e "S15 C2", le serie risultano incomplete a causa di problemi tecnici occorsi durante le campagne di misura.



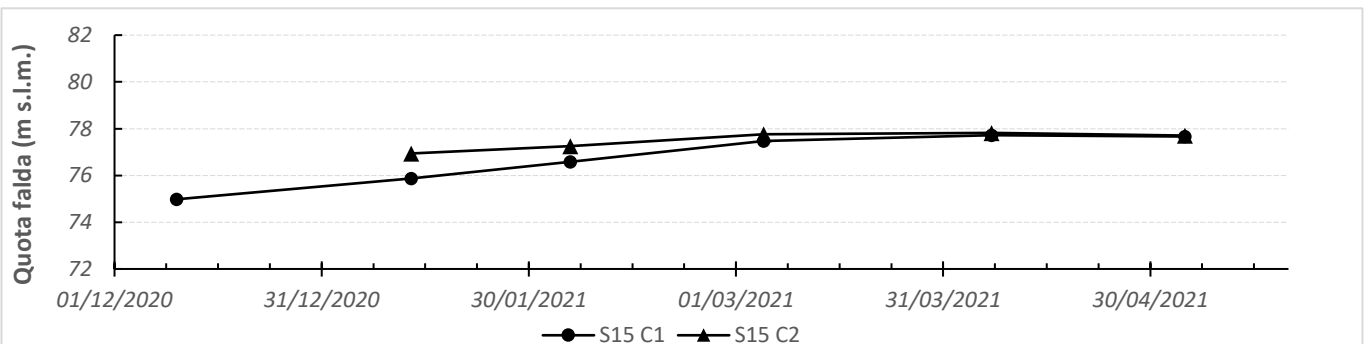
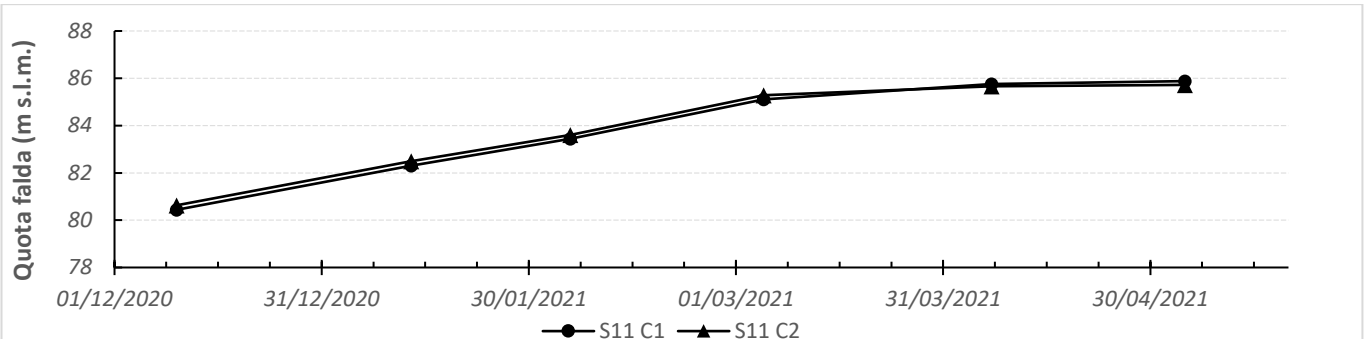


Tabella 5-6. Livello massimo della falda rilevato durante la campagna di monitoraggio, per ogni piezometro; il livello è indicato sia come quota sul livello del mare sia come soggiacenza.

ID	Data	Quota falda (m s.l.m.)	Quota p.c. (m s.l.m.)	Soggiacenza (m da p.c.)
S1B	10/12/2020	97.70	112.00	14.30
S1 C1	10/12/2020	103.92	112.00	8.08
S1 C2	05/02/2021	103.87	112.00	8.13
S2	13/01/2021	96.45	110.00	13.55
S3 C1	13/01/2021	95.08	110.00	14.92
S3 C2	13/01/2021	95.97	110.00	14.03
S4	07/04/2021	94.27	110.00	15.73
S5	05/03/2021	91.76	106.00	14.24
S7	07/04/2021	90.70	103.00	12.30
S8 C1	05/05/2021	90.09	102.00	11.92
S8 C2	05/05/2021	90.08	102.00	11.92
S9	05/05/2021	89.07	102.00	12.93
S10 C1	05/05/2021	86.43	100.00	13.58
S10 C2	05/05/2021	86.44	100.00	13.56
S11 C1	05/05/2021	85.88	99.00	13.12
S11 C2	05/05/2021	85.72	99.00	13.28

S12	05/05/2021	86.80	99.00	12.20
S13	05/05/2021	80.18	94.00	13.82
S15 C1	07/04/2021	77.72	92.00	14.28
S15 C2	07/04/2021	77.82	92.00	14.18
S16	07/04/2021	78.32	91.00	12.68

Considerando, pertanto, il dataset nel suo insieme, si può affermare che la falda acquifera in linea di massima risenta di un incremento di livello nella stagione invernale; questa tendenza tende a smorzarsi a inizio primavera, quando le misure risultano diventare mediamente costanti nel tempo. A questo comportamento fanno eccezione i punti di monitoraggio S1, S2 e S3 che sono ubicati in corrispondenza della porzione sud del tracciato, in prossimità della città di Tortona. L'assenza di dati consistenti derivanti dal S1B e S1C non dà conferma sulla distribuzione areale di questa anomalia; in ogni caso, la posizione di questi piezometri all'interno di un'area densamente edificata, potrebbe fornire una possibile spiegazione a tale comportamento.

5.5 Aree a rischio

I corsi d'acqua presenti nell'area di studio fanno parte del bacino del Po. Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del fiume Po, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 in data 26 aprile 2001, e successive varianti, disciplina l'estensione della delimitazione e della normazione delle fasce relative ai corsi d'acqua appartenenti al bacino del Po. L'allegato al titolo II delle norme di attuazione del PAI [54, p. 1] definisce la seguente articolazione in fasce:

- *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;
- *Fascia di esondazione (Fascia B)*, esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della 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 o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

- *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.

Inoltre, il PAI definisce le classi di rischio riguardanti fenomeni di esondazione, processi di trasporto in massa lungo la rete idrografica e deposito sulle conoidi, fenomeni franosi e valanghe. Le aree comunali sono così classificate per fasce di rischio per ognuna di queste categorie, secondo il seguente schema:

- *moderato - R1* per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali;
- *medio - R2* per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio-economiche;
- *elevato - R3* per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e l'interruzione delle attività socio-economiche, danni al patrimonio culturale;
- *molto elevato R4* per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale, la distruzione di attività socioeconomiche.

Il tracciato ferroviario interseca i comuni di Tortona, Pontecurone e Voghera.

Il comune di Tortona e quello di Castelnuovo Scrivia ricadono in fascia di rischio 3, con componenti di rischio associate a fenomeni di esondazione e, limitatamente all'area di Tortona, di frana; il comune di Pontecurone in fascia di rischio 2, per soli fenomeni di esondazione; il comune di Voghera in fascia di rischio 1, anch'esso per soli fenomeni di esondazione [55]. Per quanto riguarda la suddivisione in fasce fluviali, il PAI definisce le fasce di rispetto solamente per il Torrente Scrivia: l'estensione di tali fasce non interessa il tratto ferroviario in esame (Figura 5-7).

Per quanto riguarda il torrente Grue, nel comune di Tortona, si può osservare che nella zona interferente la linea ferroviaria di progetto è presente il rischio medio di alluvione, "Probabilità di alluvioni media tr 100/200" (Figura 6-8.2). Non sono presenti né dissesti né rischi geomorfologici.

A livello di pianificazione comunale il PRG di Pontecurone delimita delle zone di "dissesto legato alla dinamica fluviale e torrentizia" lungo il tratto del torrente Curone che rientra all'interno dei limiti amministrativi del comune. Si tratta di aree classificate a dissesto idraulico areale a pericolosità elevata ("EbA") e molto elevata

(“EeA”). La carta di sintesi allegata la PRG riporta una classe di fattibilità geologica IIIa ovvero indica aree con una pericolosità geomorfologica da media ad elevata (Figura 6-8.1).

Anche il Rio Calvenza, affluente del torrente Scrivia, è segnalato come elemento a dissesto idraulico a pericolosità elevata[56]. La Figura 5-9 riporta due stralci della Tavola del PRG di Pontecurone, in cui sono evidenziate le fasce suscettibili a dissesto. Per le schede di dettaglio delle aree di utilizzo relative a queste zone, si rimanda a [57] e alla normativa a cui si riferisce.

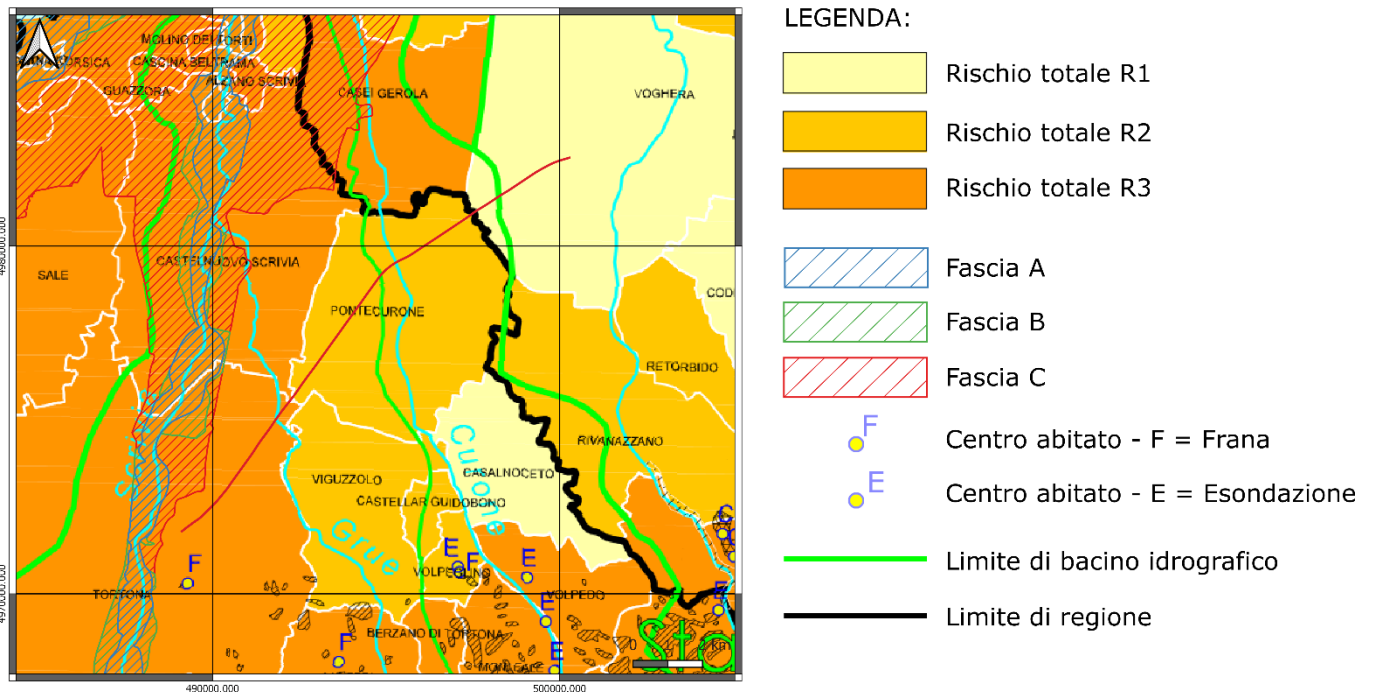


Figura 5-7 – Aree di rischio e fasce di rispetto, così come definite dal PAI del Bacino del fiume Po. I punti gialli etichettati con lettera maiuscola indicano la presenza di centri abitati a cui è associato un particolare fattore di rischio (F = Frana, E = Esondazione).

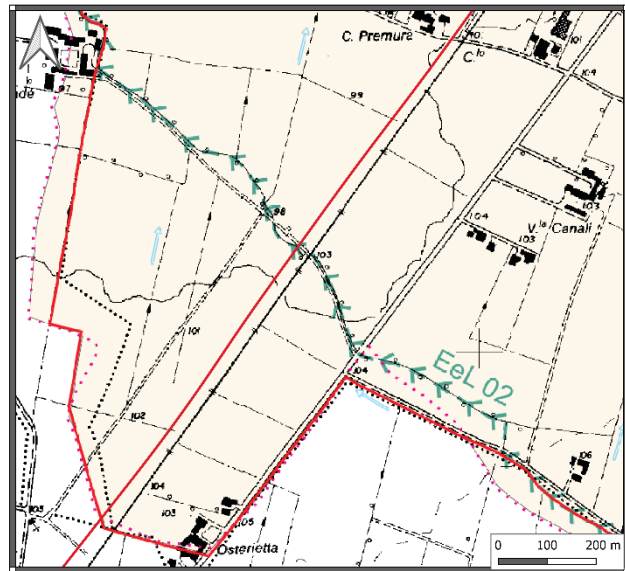
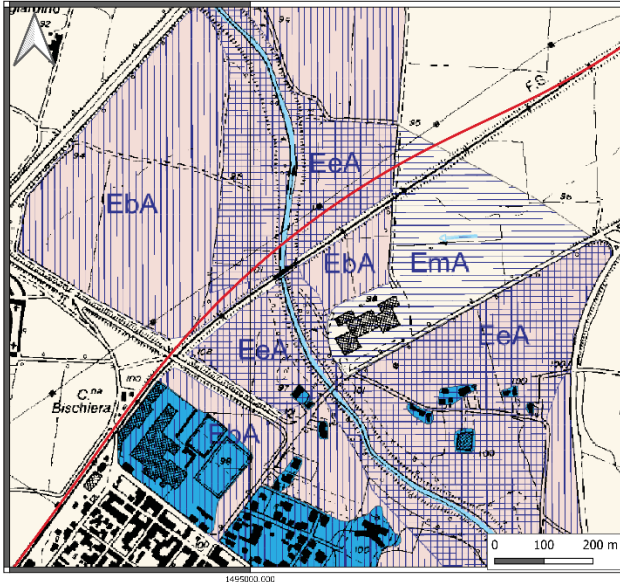


Figura 5-8. Stralci della Tavola 8, allegata al PRG di Pontecurone [56]. A sinistra, le aree suscettibili a dissesto sono indicate con le sigle EeA (“dissesto idraulico areale a pericolosità molto elevata”), EbA (“dissesto idraulico areale a pericolosità elevata”) e EmA (“dissesto idraulico areale a pericolosità medio/moderata”). Le aree azzurre riguardano tematismi legati a porzioni edificate, non attinenti a questo contesto. A destra è segnato l’elemento critico dato dal Rio Calvenza (EeL 02).

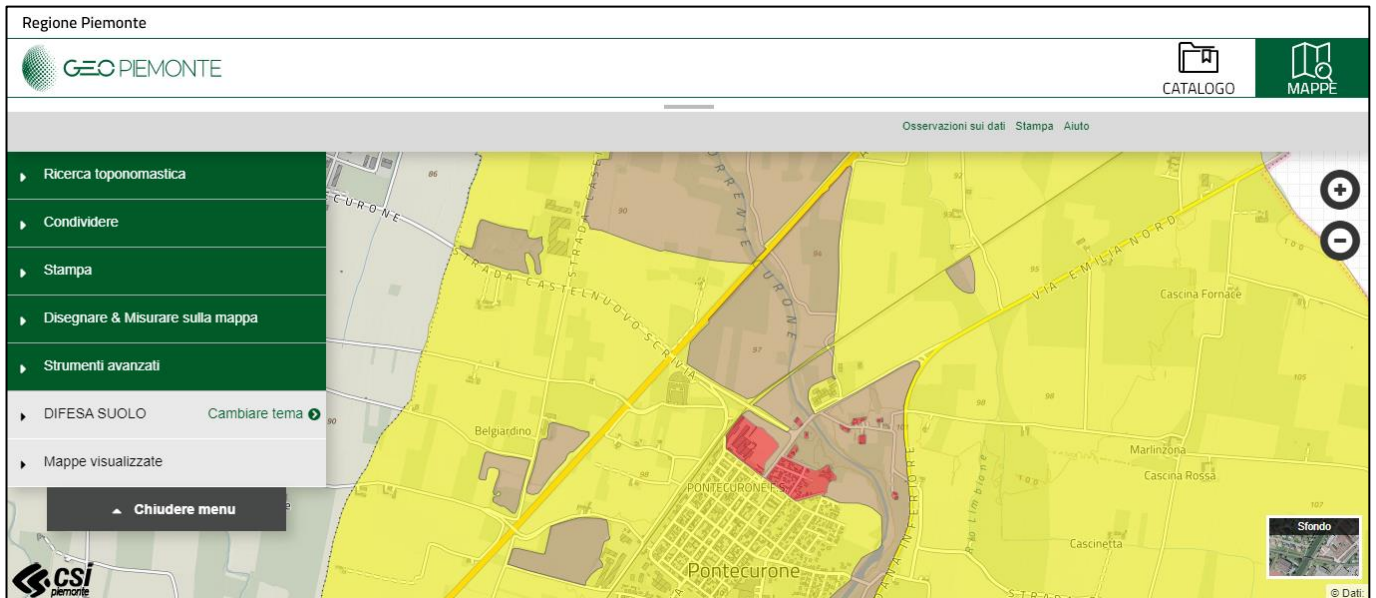
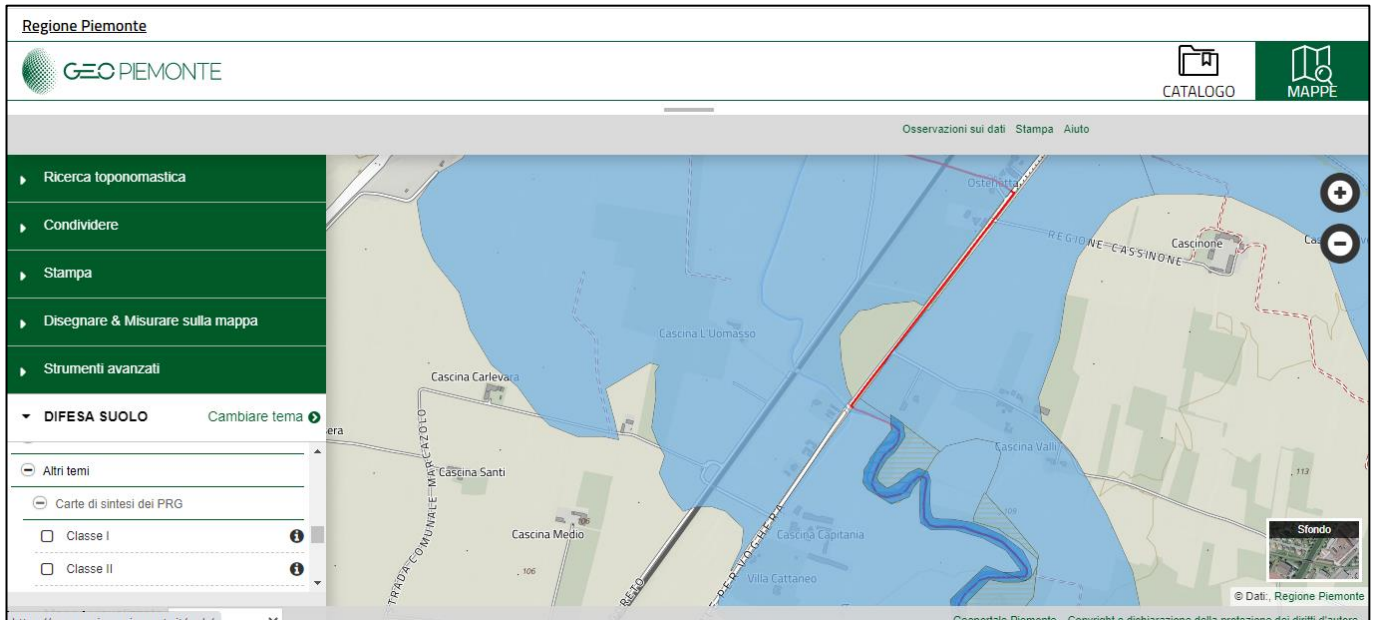
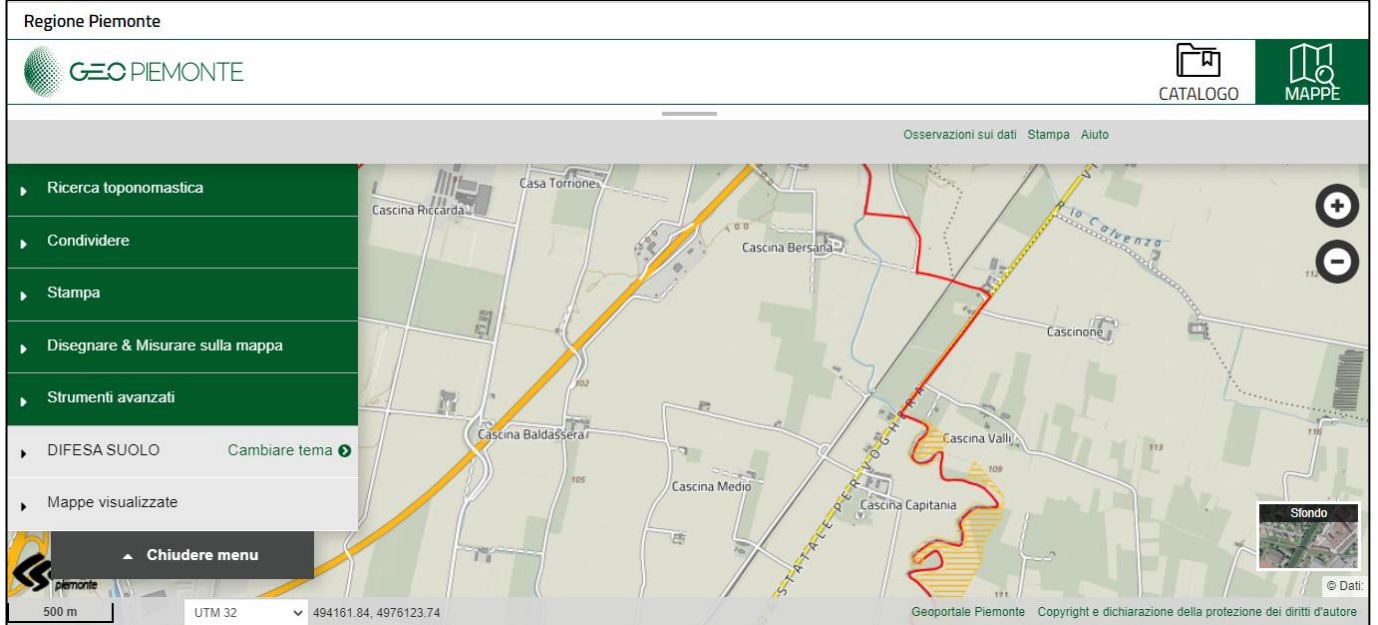


Figura 5-9.1. – Torrente Curone (Comune di Pontecurone): Stralcio della Carta di Sintesi allegata al PRG di Pontecurone. La linea ferroviaria interseca una zona in colore giallo, definita classe di fattibilità II (“Classe a moderata pericolosità geomorfologica”), ed una zona di colore marrone, definita classe di fattibilità IIIa (“Classe con pericolosità geomorfologica da media ad elevata con consistenti limitazioni”). La carta è stata ricavata dal Geoportale della Regione Piemonte.



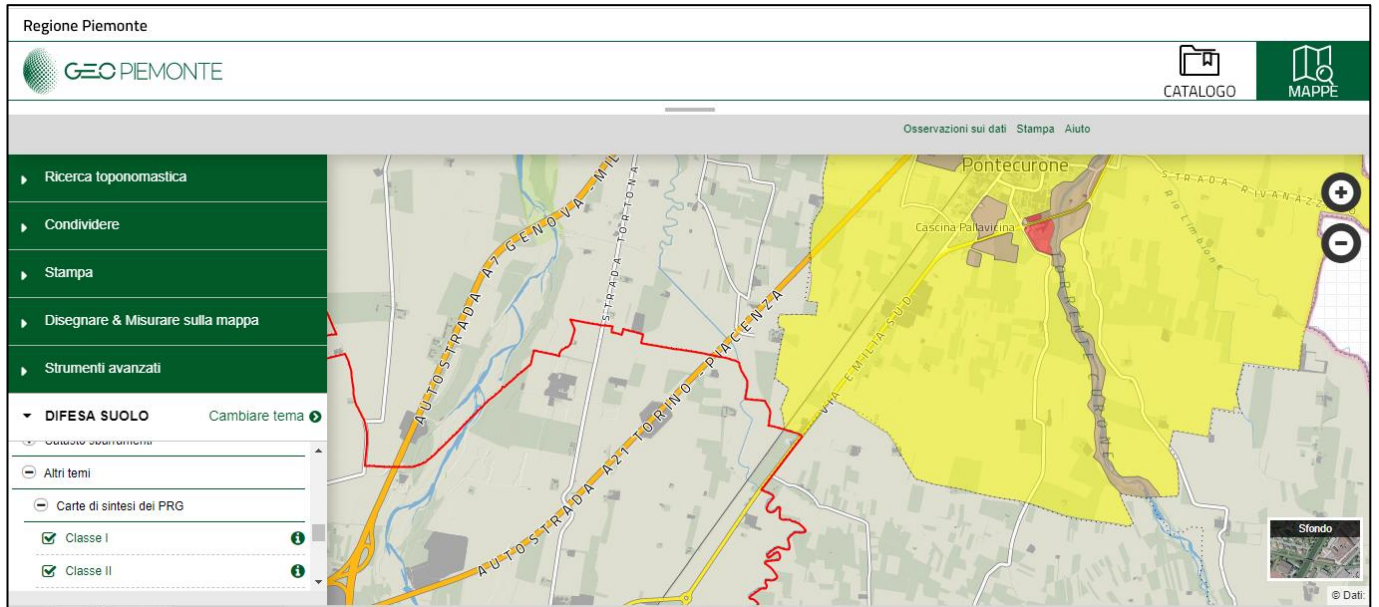


Figura 5-10.2. – Torrente Grue (Comune di Tortona): Stralcio della Carta dei dissesti (PAI), in alto, Piano Gestione Rischio Alluvioni - Scenari di rischio, al centro, e Carta di Sintesi allegata al PRG di Tortona, in basso. Il torrente Grue, in prossimità della linea ferroviaria, presenta un unico tematismo di colore azzurro per la carta del PGRA (“Probabilità di alluvioni media tr 100/200”). Le carte sono state ricavate dal Geoportale della Regione Piemonte.

5.6 Vulnerabilità degli acquiferi

Come già esposto, entro la successione alluvionale di pianura è riconoscibile una prima litozona poroso-permeabile, che, pur collocandosi a quote variabili, risulta pressoché continua su tutto l’areale considerato. Questa litozona ospita la falda più superficiale, che presenta un senso di deflusso diretto verso i quadranti settentrionali, risentendo nella zona di monte dell’azione di ricarica esercitata dall’infiltrazione efficace e dagli apporti idrici dal sistema idrografico e, in quella di valle, dell’effetto drenante operato dal fiume Po e da alcuni tratti dei suoi principali affluenti. Per la sua vicinanza al piano campagna questo corpo acquifero costituisce il principale ricettore di eventuali inquinanti superficiali. Il potenziale rischio di contaminazioni può essere valutato soprattutto in funzione della presenza o meno di coperture superficiali impermeabili in grado di costituire una barriera fisica alla percolazione verticale di inquinanti, nonché delle condizioni di soggiacenza della superficie piezometrica della falda.

I sedimenti della coltre, dunque, possono costituire un valido elemento di protezione per l’acquifero superficiale. Tuttavia [49, p. 40], le possibilità di attenuazione dei rischi di inquinamento risultano assai variabili in relazione alla composizione granulometrica dei sedimenti (presenza di una frazione limoso-sabbiosa più o meno abbondante) e, come più volte sottolineato, al loro spessore. La variazione della potenza dei depositi di copertura consente, in particolare, di individuare aree a diverso grado di vulnerabilità.

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 58 di 48</p>

Da quanto riportato in [49, p. 41], per quanto riguarda il tratto lombardo dell'area di studio, si evince che la coltre limoso-argillosa presenta spessori superiori ai 6 m, tali da assicurare generalmente un buon grado di protezione alla falda, in una vasta fascia che dal tratto di margine collinare raggiunge la città di Voghera. In corrispondenza delle aree di conoide, però, tali spessori tendono a diminuire. Inoltre, il grado di vulnerabilità all'inquinamento della falda superficiale può subire locali incrementi dovuti da una parte a variazioni della composizione granulometrica dei sedimenti di copertura che possono assumere un carattere di semipermeabilità a seguito di aumento della componente limoso-sabbiosa, dall'altra, alla presenza, entro la coltre, di piccole falde sospese rispetto all'acquifero principale. Queste ultime possono risultare assai sensibili all'inquinamento per la loro vicinanza al piano campagna; una loro eventuale contaminazione avrebbe riflessi negativi sullo stesso acquifero principale che, con ogni probabilità, riceve alimentazione da questi corpi idrici sotterranei [49, p. 41].

Per quanto riguarda il grado di protezione della falda in funzione della sua soggiacenza, l'andamento delle curve piezometriche derivate da [49, pp. 41–42], indica che la superficie piezometrica si colloca a profondità assai variabili (da meno di 1 m a oltre 30 m), mostrando situazioni differenziate. Nell'area di Tortona il livello medio di falda è compreso tra circa 5 e 10 m dal piano campagna, in quello di Voghera tra circa 5 e 20 m [51], [52].

Per quanto riguarda la presenza di pozzi ad uso idropotabile (e relative fasce di rispetto), si fa riferimento ai piani regolatori dei comuni appartenenti all'area di indagine. Il Piano di Governo del Territorio di Voghera [13], recensisce tre pozzi ad uso idropotabile limitrofi al tracciato ferroviario, collocati in corrispondenza del suo tratto terminale (Figura 5-11). Il PRGC di Tortona invece, non riporta la presenza di pozzi ad uso idropotabile nella zona limitrofa al tracciato e passante per il comune di Tortona [12]. Analogamente, nemmeno i PRGC di Castelnuovo Scrivia e Pontecurone danno evidenza di pozzi ad uso idropotabile in interferenza con il tracciato [58][59]. L'ubicazione dei pozzi segnalati dai piani regolatori nei pressi dell'area di studio è riportata in Figura 5-12.

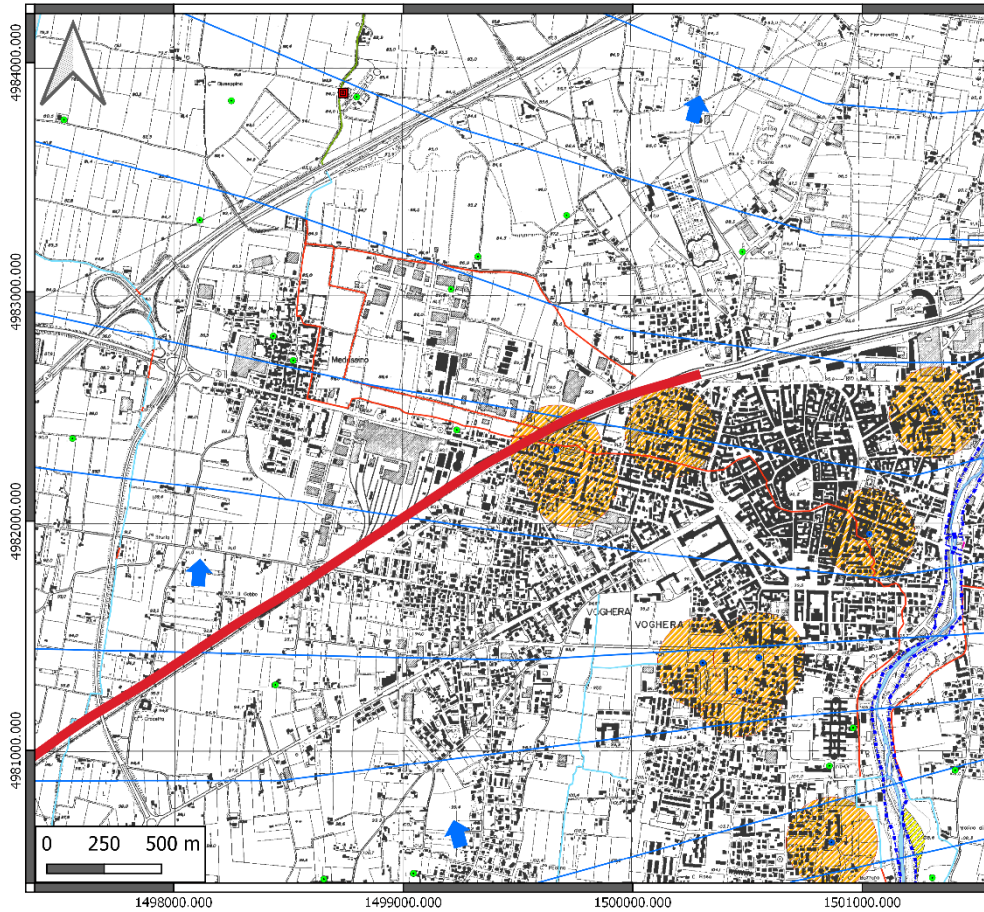


Figura 5-11 – Estratto dal PGT del comune di Voghera [52]. I cerchi arancioni indicano le aree di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile. La linea rossa rappresenta il tracciato ferroviario oggetto di studio.

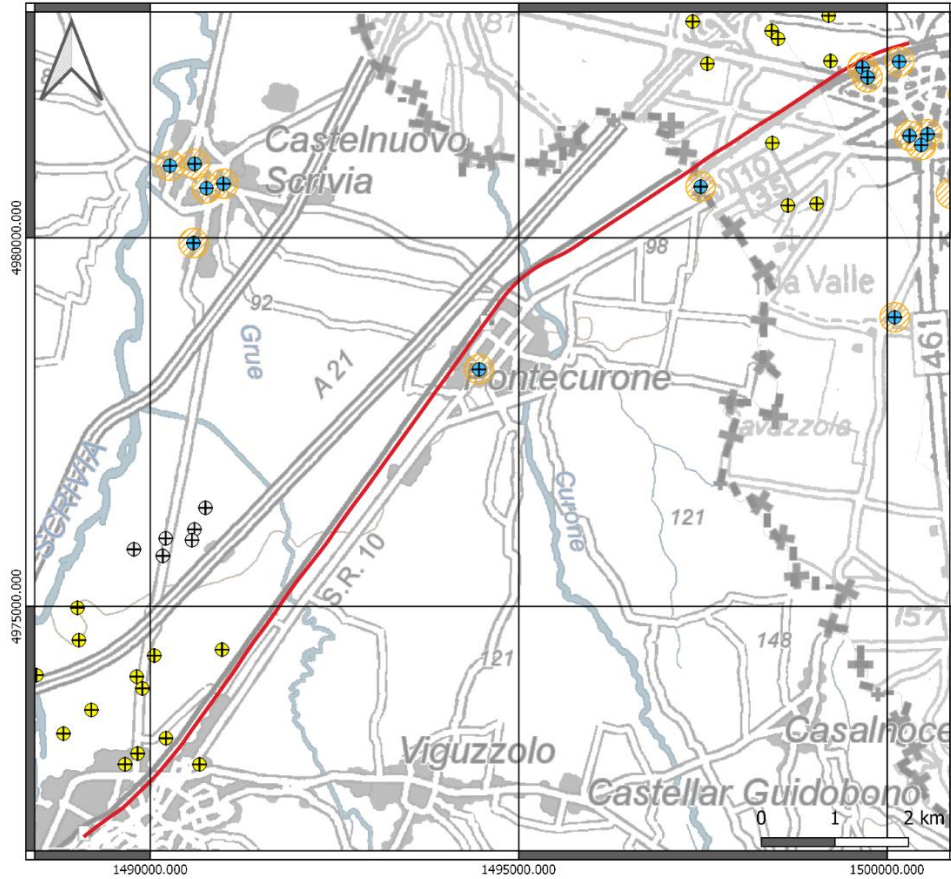


Figura 5-12 – Pozzi censiti dai piani regolatori dei comuni di Tortona, Castelnuovo Scrivia, Pontecurone e Voghera. In azzurro i pozzi attivi, collegati all'acquedotto, con le relative fasce di rispetto (area tratteggiata arancione); in giallo i pozzi non collegati agli impianti acquedottistici, in bianco i pozzi inattivi censiti dal comune di Tortona.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 61 di 48

6 MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Per descrivere il modello geologico di riferimento, l'intera lunghezza della tratta esaminata è stata suddivisa in una serie di porzioni, sulla base della ricostruzione geologica ottenuta dal profilo.

In superficie i terreni su cui si sviluppa la tratta sono sempre di tipo alluvionale, con origine fluviale o fluvioglaciale.

Nella carta geologica non è stato indicato il riporto e la coltre di suolo agrario, che altrimenti avrebbe completamente obliterato la litologia sottostante.

Lo strato caratterizzato da riporto, suolo agrario e terreno rimaneggiato da opere antropiche è stato però indicato nella sezione, con un colore grigio.

Lo spessore di questo strato varia molto da punto a punto e non è possibile individuare una logica per eseguire una interpolazione fra i dati dei sondaggi in quanto lo spessore dello strato rimaneggiato non segue un criterio deposizionale o geologico.

Per questo motivo si è assunto che lo spessore rimaneggiato/antropizzato fosse di circa 3 m nelle zone urbanizzate (Tortona, Voghera e Pontecurone) e di circa 1.5 m in quelle non urbanizzate.

La soggiacenza da piano campagna è stata ricostruita scegliendo per ogni piezometro il minimo valore di soggiacenza registrato nel periodo da dicembre 2020 a maggio 2021 ed interpolando questi valori.

Non si tratta quindi di una piezometria reale ma di una piezometria cautelativa, ottenuta interpolando tutti i minimi valori di soggiacenza ricavati dal monitoraggio.

A livello generale lungo la tratta al di sotto di uno strato di riporto (0 in *Figura 6-1*), di spessore variabile da 3 a 1.5 m si trovano terreni di tipo argilloso limoso per uno spessore variabile generalmente da 4 a 10 m (2). Generalmente corrispondenza dei corsi d'acqua principali che attraversano il tracciato si individuano depositi grossolani in prossimità della superficie (4) che testimoniano il percorso del paleoalveo. Al di sotto dei terreni limoso argillosi si ritrova uno spessore variabile generalmente da 8 a 25 m di terreni ghiaiosi (3), con intercalate lenti limoso argillose (2). Talvolta lo spessore di sedimenti limoso argillosi sovrastante si riduce fino ad annullarsi, così da porre le ghiaie in diretto contatto con il terreno di riporto.

Al di sotto delle ghiaie, fino alla base ricostruita della sezione, compaiono nuovamente terreni limoso argillosi (2). In prossimità di Tortona la sezione intercetta il substrato (1), che si immerge rapidamente spostandosi da sud verso nord per andare a scomparire al di sotto dell'intervallo ricostruito nella sezione.

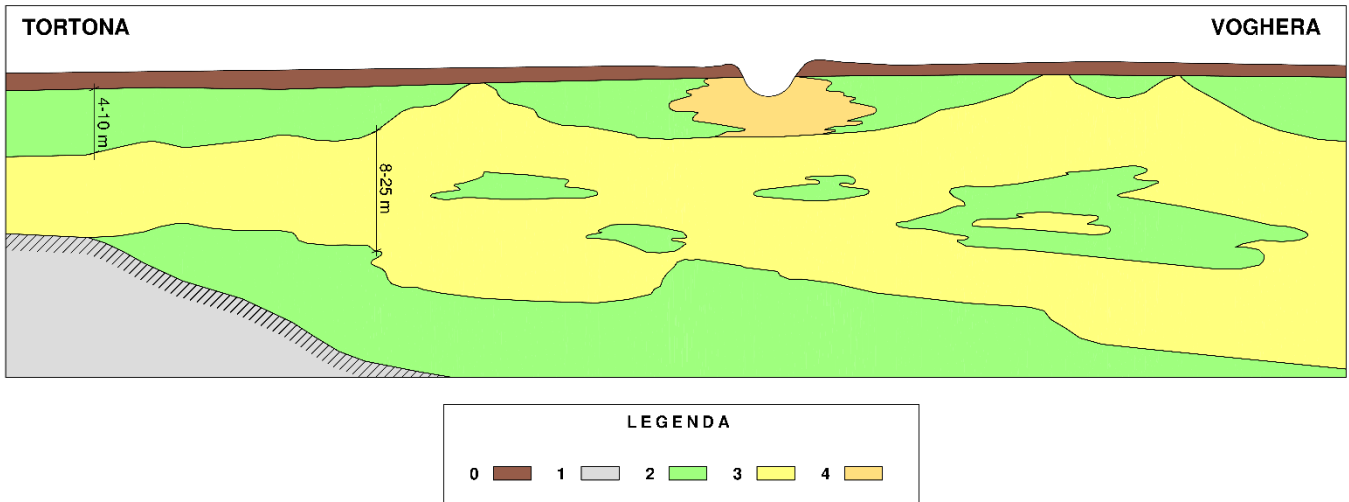


Figura 6-1 - Schema generale dell'assetto geologico lungo il tracciato. 0: riporto; 1: substrato; 2: terreni limoso argillosi; 3: terreni ghiaiosi; 4: paleoalveo

6.1 Da prog. 54+862 a prog. 56+811

Tutta la tratta esaminata si sviluppa all'interno di depositi alluvionali di origine fluviale e fluvioglaciale. In questo primo tratto in sezione è però visibile il substrato. Il substrato, di tipo marnoso, si colloca a profondità variabili da circa 12 m da p.c. alla prog. 54+862 fino a circa 42 m da p.c. alla prog 56+811. Oltre questa progressiva il substrato si trova a profondità superiori rispetto a quelle indagate con i sondaggi.

Al di sotto dello strato di riporto si trova un sottile livello di terreni limoso argillosi di spessore variabile, generalmente compreso fra 2 e 5 m. In alcuni punti lo strato limoso argilloso è assente e le ghiaie sono direttamente a contatto con il riporto.

Le ghiaie sottostanti costituiscono un unico livello di circa 10 m di spessore.

Alla base di questo livello di ghiaie sono presenti ancora terreni limoso argillosi fino al substrato.

Alla progr. 56+205 all'interno di questo corpo argilloso è presente una lente sabbiosa, intercettata dal sondaggio S4 Italferr 2009.

Il substrato è stato individuato a volte in modo abbastanza chiaro, a volte con maggiori incertezze. Per l'individuazione del substrato ci si è basati sulla presenza di terreni marnosi. Nell'elenco seguente vengono riportate le descrizioni dei sondaggi che hanno consentito la definizione del tetto del substrato.

1. Il sondaggio S1 Sottopasso km 21+981 M13 RFI 2019 da 15 m fino a fondo foro riporta: Argilla sabbioso-limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato (da circa 32,00 m), debolmente umidificata nella parte sommitale, con screziature di color ruggine, localmente grigio-verdastro e/o marrone ocreo, con occasionali clasti subcentimetrici sparsi nella matrice, sottili intercalazioni di sabbia argillosa, a luoghi in intercalazioni decimetriche. Struttura parzialmente scagliosa a superficie traslucida. Materiale estremamente consistente.

2. Il sondaggio S1A Italferr 2020 da 28 m fino a fondo foro riporta: marna argillosa azzurrognola o grigio scura, secca.
3. Il sondaggio S1 Ponte km 22+593 MI13 RFI 2019 da 31.7 m fino a fondo foro riporta: Argilla limosa, di colore grigio scuro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato.
4. Il sondaggio S1 Italferr 2020 da 30.5 m fino a fondo foro riporta: Argilla dura, localmente debolmente limosa, con concrezioni carbonatiche
5. Il sondaggio S1 Ponte km 22+826 MI13 RFI 2019 da 30.6 m fino a fondo for riporta: Argilla limoso-sabbiosa, di colore grigiastro, a luoghi parzialmente marnosa e/o marnosa, passante a marna argillosa nella parte basale dello strato.
6. Il sondaggio S3 Italferr 2009 da 20.3 m fino a fondo foro riporta: Siltite argilloso-marnosa con rare laminazioni sabbioso fini, da consistente a molto consistente e/o sub-litoide, colore grigio chiaro con rare screziature nerastre
7. Il sondaggio S1B Italferr 2020 da 25 m fino a fondo foro riporta: Argilla dura, debolmente umida fino a 27.6 m e da 27.6 m a fondo foro argilla a tratti marnosa dura, specificando anche che “porzioni di carota risultano frantumate a causa della particolarità litologica dello strato stesso.”
8. Il sondaggio S4 Italferr 2009 da 22.8 m fino a fondo foro riporta: Siltite marnoso argillosa da consistente a molto consistente
9. Il sondaggio S1C Italferr 2020 da 28.3 m a fino a 35.5 riporta: Argilla nocciola con concrezioni carbonatiche e tratti parzialmente cementati a partire da 33 m. Da 35.5 fino a fondo foro riporta argille e limi argillosi duri o molto consistenti con presenza di concrezioni carbonatiche

Nei casi 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 la presenza di marna è chiaramente specificata nella descrizione della carota. In 7 si specifica anche che alcune porzioni di carota si sono frantumate per le particolarità litologiche dello strato.

In 4 e in 9 l'attribuzione è più incerta in quanto non si fa riferimento a litotipi marnosi ma si specifica solamente la presenza di argille dure, a volte parzialmente cementate con concrezioni carbonatiche.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 9.2 a 14.5 m.

La soggiacenza è stata calcolata graficamente misurando sulla sezione la profondità della falda ricostruita interpolando i dati piezometrici rispetto al piano campagna. Questo criterio è stato seguito anche per gli altri tratti descritti nei paragrafi seguenti.

6.2 Da prog. 56+811 a prog. 58+073

In questo tratto il substrato non è più visibile in quanto l'interfaccia substrato – alluvioni si colloca ad una profondità superiore rispetto allo spessore ricostruito con i sondaggi.

L'assetto stratigrafico delle alluvioni è abbastanza simile al tratto precedente.

A contatto con il riporto si trovano terreni di tipo limoso argillosi per uno spessore di circa 5-7 m.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 64 di 48

Al di sotto è presente un livello ghiaioso continuo di 8-10 m di spessore. Talvolta la sommità di questo livello grossolano è di tipo sabbioso. A profondità superiori si trovano terreni limoso argillosi, con sporadiche lenti sabbiose intercalate all'interno.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 12.3 a 13 m.

6.3 Da prog. 58+073 a prog. 58+632

Anche in questo tratto a contatto con il riporto si trovano terreni limoso argillosi per uno spessore di circa 7-8 m.

Lo spessore delle ghiaie sottostanti tende progressivamente ad aumentare fino a 26 m.

Nel profilo è stata ipotizzata una lente di argilla che entra all'interno del corpo ghiaioso. Questa scelta interpretativa è stata effettuata per consentire di correlare i dati del sondaggio S4 RFI 2020 con quelli dei sondaggi S5 Italferr 2009, S1 Ponte km 25+804 MI13 RFI 2019 e S5 Italferr 2020. Il primo sondaggio da 18 a 29 m da p.c. individua una alternanza del tipo limo e argilla - ghiaia - limo e argilla mentre gli altri 3 sondaggi a quelle profondità individuano prevalentemente ghiaie.

Al di sotto del corpo ghiaioso si trovano terreni limoso argillosi fino alla base interpretata della sezione

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 13.1 a 13.9 m.

6.4 Da prog. 58+632 a prog. 59+274

Anche in questo tratto a contatto con il riporto si trovano terreni limoso argillosi per uno spessore di circa 6-8 m.

Alla progr. 59+147, in corrispondenza dell'alveo del torrente Grue, i limi argillosi sono localmente sostituiti da sabbie. Al di sotto è presente un livello ghiaioso di circa 25-30 m di spessore.

Dai sondaggi disponibili si evidenzia che all'interno di questo intervallo ghiaioso sono presenti lenti sabbiose e limoso argillose.

Queste lenti sono state ricostruite in sezione cercando di rimanere quanti più possibile aderenti alle informazioni stratigrafiche dei sondaggi ma il livello di interpretazione ed incertezza è comunque elevato.

In ogni caso dai dati disponibili risulta che in questo intervallo le ghiaie sono nettamente prevalenti rispetto alle altre litologie. Sotto questo importante livello ghiaioso si ritrovano limi argillosi, fino alla base ricostruita della sezione.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 13.3 a 13.6 m.

6.5 Da prog. 59+274 a prog. 61+614

Anche in questo tratto a contatto con il riporto si trovano quasi sempre terreni limoso argillosi ma lo spessore dei limi e argille è più sottile, variando mediamente da 2 a 4 m.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 65 di 48

Fra le progressive 60+984 e 61+039 lo spessore del livello argilloso superficiale si assottiglia fino ad annullarsi, mettendo a contatto direttamente il riporto con le ghiaie sottostanti.

Il livello ghiaioso sottostante i limi argillosi ha uno spessore variabile, da 14 a 30 m. All'interno sono presenti delle lenti di argilla e limo di spessore anche rilevante, fino a 5-6 m, e continuità laterale di oltre 300 m

La continuità laterale è stata ricostruita cercando di interpolare in particolare le lenti limoso argillose individuate dal sondaggio S5A Italferr 2020 con quelle del sondaggio S6 Italferr 2020.

L'interpolazione delle lenti è sempre una operazione soggetta ad un consistente margine di incertezza, tuttavia le quote abbastanza concordanti dei livelli argillosi e soprattutto il loro spessore, non irrilevante, contribuiscono a rafforzare l'interpretazione eseguita. In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 9.2 a 13 m.

6.6 Da prog. 61+614 a prog. 62+375

In questo tratto mancano sondaggi profondi e quindi l'interpretazione della sezione si è arrestata a circa 19 m da p.c.

Lo spessore del livello limoso argilloso a diretto contatto con il riporto è di circa 4-6 m e al di sotto si trovano ghiaie fino alla base interpretata della sezione.

E' probabile che all'interno del corpo ghiaioso siano presenti lenti sabbiose o limoso argillose, non rappresentate in sezione in quanto non intercettate da alcun sondaggio.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 8.7 a 10 m.

6.7 Da prog. 62+375 a prog. 64+400

Lo spessore dei limi argillosi a diretto contatto con il substrato varia da 5 a 10 m.

Lo spessore delle ghiaie sottostanti è variabile da 12 a 22 m. All'interno del corpo ghiaioso sono intercalate delle lenti argilloso limose, che sono state ricostruite dando una limitata continuità laterale. Naturalmente la reale continuità laterale potrebbe essere superiore e certamente le lenti rappresentate sono solo una parte di quelle effettivamente presenti, visto che sicuramente ce ne sono diverse che non sono state intercettate da nessun sondaggio e quindi sfuggono dalla ricostruzione.

Al di sotto delle ghiaie, fino alla base della sezione interpretata, ci sono limi argillosi.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 9.3 a 13.3 m.

6.8 Da prog. 64+400 a prog. 64+904

In questo tratto i depositi limosi superficiali sono assenti in quanto sostituiti dai depositi alluvionali del torrente Curone. I depositi del torrente Curone sono stati ricostruiti basandosi sui sondaggi S11 bis Italferr 2020, S2 Ponte km 31+538 MI13 RFI 2019, S13 Italferr 2009, S14 Italferr 2009. Questi sondaggi sono stati eseguiti in prossimità dell'alveo ad una distanza di 50-100 m dall'asse della sezione. Per riuscire a ricostruire i depositi alluvionali del torrente Curone i sondaggi non sono stati proiettati perpendicolarmente alla linea ma seguendo la direzione dell'alveo. Tale proiezione è stata ritenuta più realistica.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 66 di 48

Dai sondaggi risulta un corpo ghiaioso largo circa 280 m che sfuma lateralmente in sabbie prevalenti.

Al di sotto segue la sequenza già descritta per i tratti precedenti costituita da circa 20 m di ghiaie con intercalate lenti di limo argilloso e al di sotto terreni limo argillosi.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 8.5 a 10.4 m.

6.9 Da prog. 64+904 a prog. 65+488

In superficie, a contatto con il riporto, c'è uno spessore di limi argillosi di spessore variabile da 4 a 10 m, seguito da un livello ghiaioso di 18-24 m di spessore.

I sondaggi S15 Italfer 2009 e S16 Italfer 2009 non evidenziano lenti di limi argillosi nei depositi ghiaiosi, ma ragionevolmente ci saranno lenti limoso argillose intercalate e non intercettate dai sondaggi.

Al di sotto del livello ghiaioso si trovano limi argillosi fino alla base della sezione. In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 8.3 a 9.1 m.

6.10 Da prog. 65+488 a prog. 66+081

In questo tratto a contatto con il riporto superficiale ci sono sabbie. Si tratta del corpo sabbioso più importante per estensione ricostruito nella sezione. Verso sud il corpo sabbioso è stato interrotto in modo abbastanza netto, visto la presenza di oltre 10 m di depositi prevalentemente limoso argillosi da 1 a 12 m da p.c. nel sondaggio S16 Italfer 2009.

Al di sotto delle sabbie si ritrova il corpo ghiaioso di circa 20 m di spessore e al di sotto i limi argillosi.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 8.6 a 9.6 m.

6.11 Da prog. 66+081 a prog. 68+732

In questo tratto lo spessore dei depositi limoso argillosi a contatto con il riporto è variabile, da nullo fino a 8 m. Nel tratto a cavallo del sondaggio S19 Italfer 2009 le ghiaie sono a diretto contatto con il riporto.

In sezione il tratto in cui le ghiaie sono a diretto contatto con il riporto è stato ricostruito dalla prog. 66+649 alla prog. 66+839

Il livello ghiaioso ha uno spessore variabile, da 16 a oltre 29 m. All'interno del livello ghiaioso è stata ricostruita una importante lente di limo argilloso.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 9.4 a 16 m.

6.12 Da prog. 68+732 a prog. 69+760

In questo tratto il riporto è a diretto contatto con i depositi ghiaiosi che hanno uno spessore da 20 m fino ad oltre 30 m. Al di sotto dei depositi ghiaiosi si ritrovano ancora terreni limoso argillosi fino alla prog. 69+542. Oltre questa

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 67 di 48

progressiva il limite fra depositi ghiaiosi e depositi limoso argillosi si abbassa a profondità superiori rispetto all'intervallo interpretato.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 12.5 a 13.6 m.

6.13 Da prog. 69+760 a prog. 70+661

In quest'ultimo tratto l'interpretazione è affidata solamente al sondaggio S23 Italferr 2009. In superficie, a contatto con il riporto, ritornano i limi argillosi, seguiti dalle ghiaie.

Visto la carenza di dati l'interpretazione è stata arrestata a circa 16 m di profondità da p.c.

In questo tratto la soggiacenza da piano campagna varia da 12.5 a 13.7 m.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

7 INQUADRAMENTO SISMICO

7.1 Classificazione Sismica

Lo studio di pericolosità allegato all'O.P.C.M. n.3529 del 2006 ha fornito alle Regioni uno strumento per la classificazione del proprio territorio, introducendo 4 intervalli di accelerazione orizzontale massima (a_g), calcolata su suoli rigidi o pianeggianti caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s (ovvero di categoria A ai sensi del D.M. 17/01/2018 - NTC 2018), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; ognuno di questi intervalli è attribuito a una zona sismica. La suddivisione in zone sismiche prevista dall'O.P.C.M. 3519/2006 è di seguito riportata:

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	$0.15 \square 0.25$	0.25
3	$0.05 \square 0.15$	0.15
4	<0.05	0.05

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, le Regioni hanno classificato il territorio nelle quattro zone proposte; ad ogni comune è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g).

Per i comuni di Tortona, Castelnuovo Scrivia e Pontecurone si fa riferimento alla Delibera della Giunta Regionale del 30 dicembre 2019, n. 6-887 che approva l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65-7656, nel rispetto dei criteri previsti dall'O.P.C.M. 3519/2006. I tre comuni, secondo l'allegato 3 della Delibera, sono classificati in zona 3.

In relazione al territorio comunale di Voghera, invece, si fa riferimento alla Delibera della Giunta Regionale del 11 luglio del 2014, n. X/2129 che approva la nuova classificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia. In questa nuova classificazione, il comune di Voghera viene classificato anch'esso in zona 3.

A partire già dalle precedenti Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (D. M. 14 gennaio 2008, NTC2008 nel presente testo), riassorbite nel Norme Tecniche per le Costruzioni del D. M. 17 gennaio 2018 (NTC2018, nel presente testo), è stato modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1° luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire invece ad una accelerazione di

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 69 di 48</p>

riferimento “propria del sito” individuata sulla base delle coordinate geografiche dell’area di progetto e in funzione della vita nominale dell’opera. Il valore di pericolosità di base è dunque definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del Comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

Secondo la normativa vigente, quindi, anche l’azione sismica è propria del sito: viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di “pericolosità sismica di base”, fornita dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (Figura 7-1).

In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica “probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} ”:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al D.M. 14 gennaio 2008, come indicato dalle NTC2018.

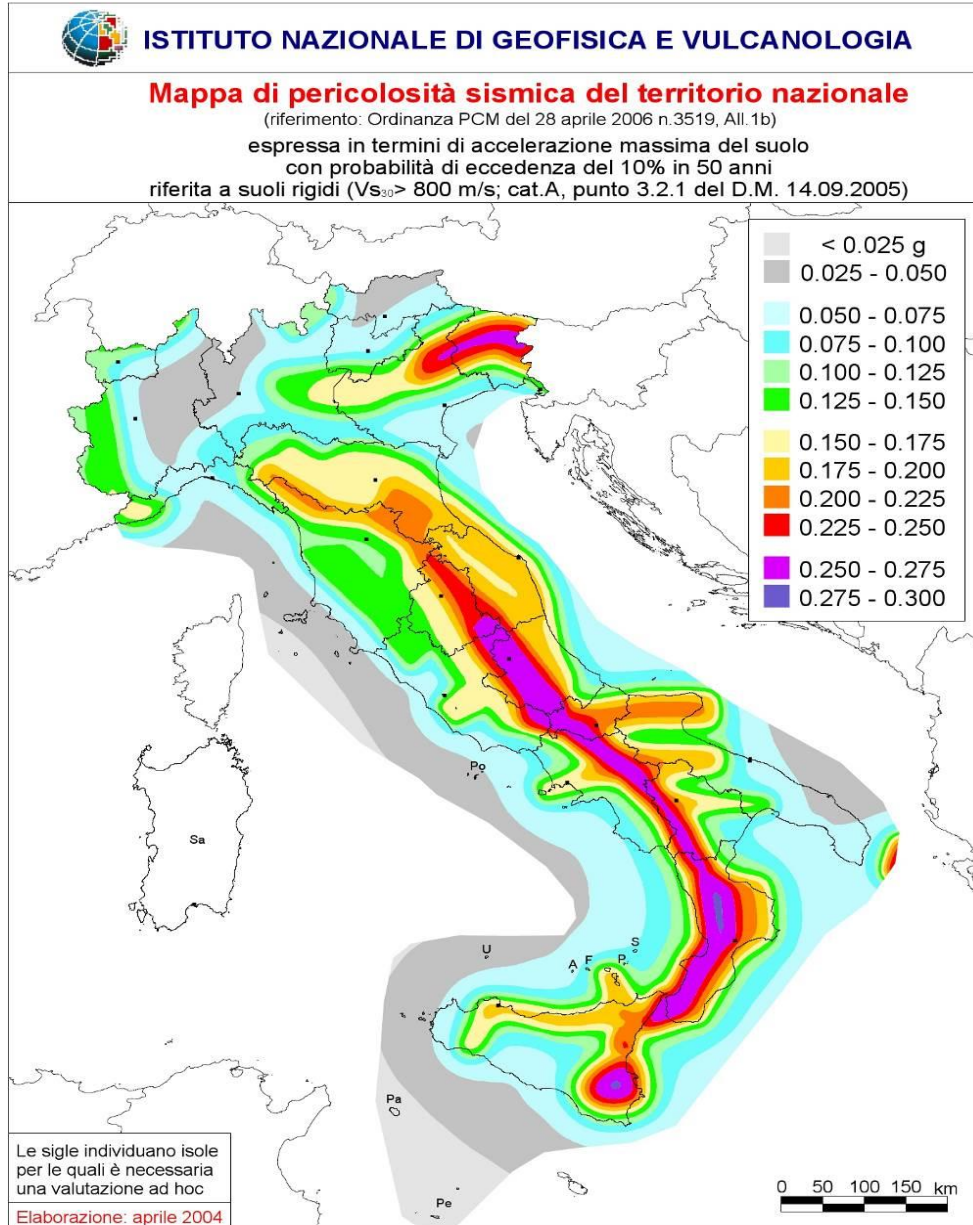


Figura 7-1. Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia [60].

7.2 Sismicit  storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicit  storica l'area in esame, si riporta di seguito uno stralcio della cartografia del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), con indicazione degli epicentri e delle relative magnitudo dei principali terremoti storici [61].

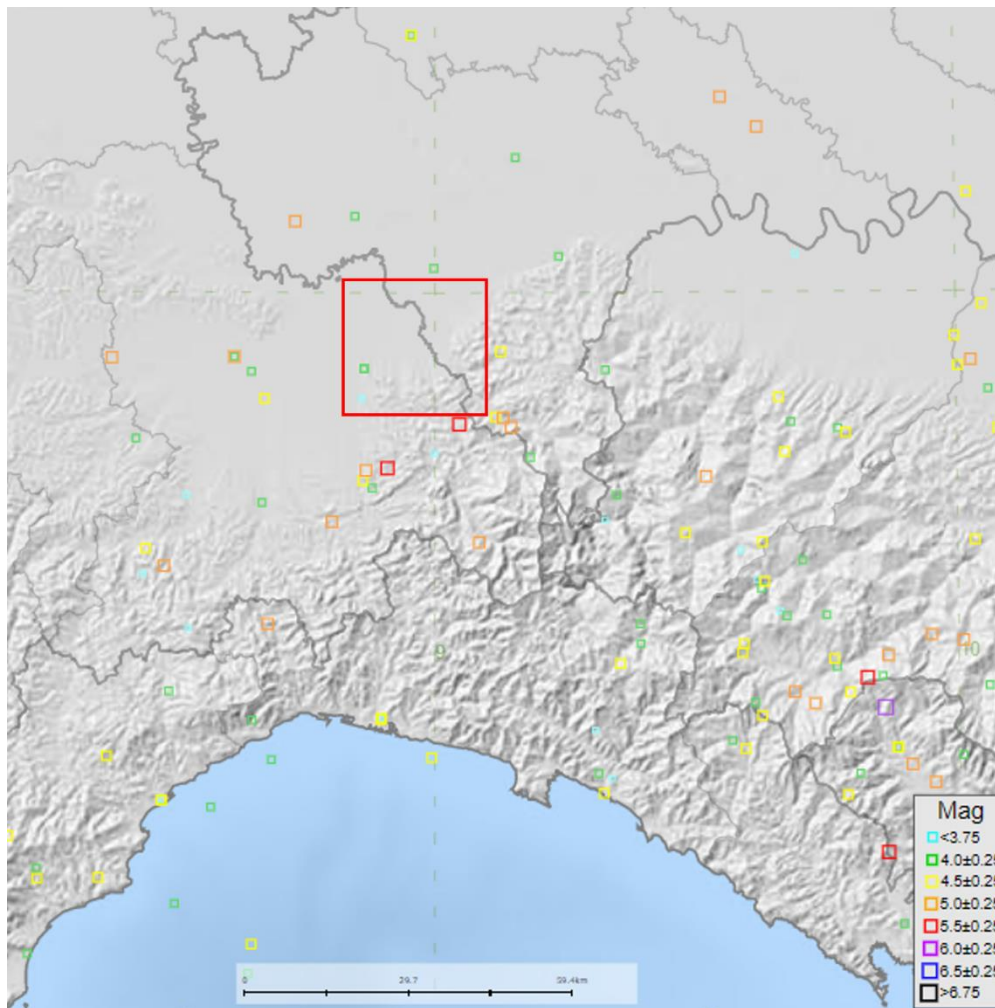


Figura 7-2. Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici (CPTI15 [61]) che hanno interessato la zona circostante la tratta Tortona-Voghera. Nel riquadro rosso si riporta l'area oggetto di studio.

Dalla Tabella 7-1 alla Tabella 7-4 si riporta un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente i comuni di Tortona, Castelnuovo Scrivia, Pontecurone e Voghera.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 [62], il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 [61]. Pertanto, nelle successive tabelle si intende:

Int.	Intensità al sito (scala MCS)
Anno	Tempo origine: anno
Me	Tempo origine: mese
Gi	Tempo origine: giorno
Ho	Tempo origine: ora
Mi	Tempo origine: minuti
Se	Tempo origine: secondi
NMDP	Numero di Macroseismic Data Point
Io	Intensità epicentrale nella scala MCS
Mw	Magnitudo momento

Tabella 7-1. Storia sismica di Tortona [44.897, 8.864] Numero di eventi: 36.

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
6	1541 10 22 18	Valle Scrivia	9	7 5.26
5	1759 05 26 22 15	Pavese	4	5 4.16
5	1780 08 01	Valle Scrivia	1	5 4.16
5	1780 08 04	Valle Scrivia	1	5 4.16
7	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8 5.72
3	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7 5.26
4	1882 02 15 05	Val Borbera	18	6 4.77
3	1886 09 05	Torinese	101	7 5.22

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
6	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	1511	9 6.27
3-4	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6 4.89
4	1901 01 23 00 17 10	Oltrepò Pavese	90	5 4.23
4	1901 10 30 14 49 58	Garda occidentale	289	7-8 5.44
5	1902 04 11 01 28 44	Valle Scrivia	3	4 3.70
NF	1906 07 14 18 35	Valle Scrivia	11	5 4.16
NF	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
4	1912 05 31 21 40	Canavese	51	5-6 4.71
3	1913 03 27 02 25 44	Val Trebbia	58	4-5 4.24
5	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5 4.57
3-4	1914 10 26 03 43 22	Torinese	63	7 5.24
2	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7 5.63
2	1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	11 7.08
2	1918 01 13 12	Pianura lombarda	24	4 4.62
4	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	750	10 6.53
2	1926 01 01 18 04 03	Carniola interna	63	7-8 5.72
4-5	1945 12 15 05 27	Oltrepò Pavese	12	6 4.72
3	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7 5.17
3-4	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5 4.87
4	1980 12 23 12 01 06	Piacentino	69	6-7 4.57

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
3-4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	850	6-7 5.04
NF	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7 5.62
NF	1993 07 17 10 34 0	Liguria occidentale	336	5 4.34
4	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6 4.94
NF	2001 07 18 22 47 1	Monferrato	253	5 4.23
5	2003 04 11 09 26 5	Valle Scrivia	78	6-7 4.81
NF	2005 04 13 18 46 0	Valle del Trebbia	163	4 3.68
NF	2005 04 18 10 59 1	Valle del Trebbia	284	4 3.97

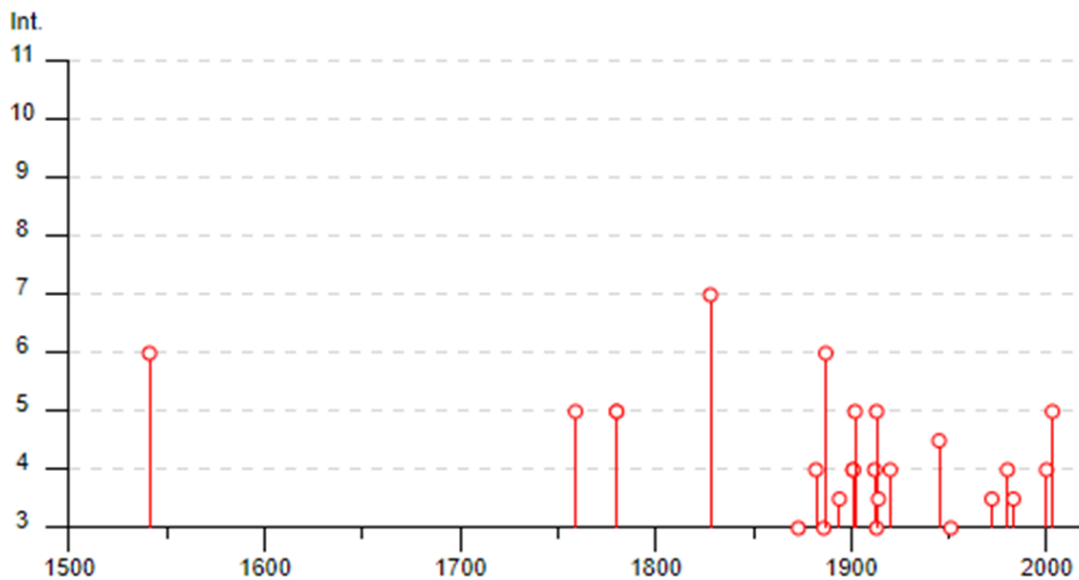


Figura 7-3. Storia sismica di Tortona.

Tabella 7-2. Storia sismica di Castelnuovo Scrivia [44.981, 8.881] Numero di eventi: 3.

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1901 01 23 00 17 10	Oltrepò Pavese	90	5	4.23
4-5	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5	4.57
NF	1993 07 17 10 34 0	Liguria occidentale	336	5	4.34

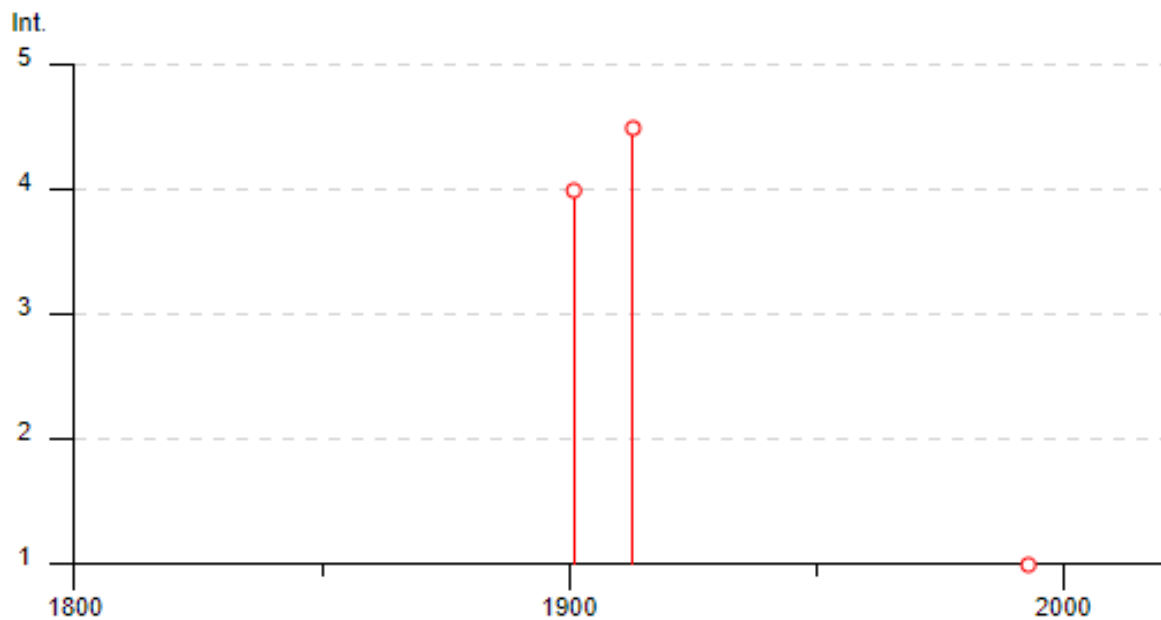
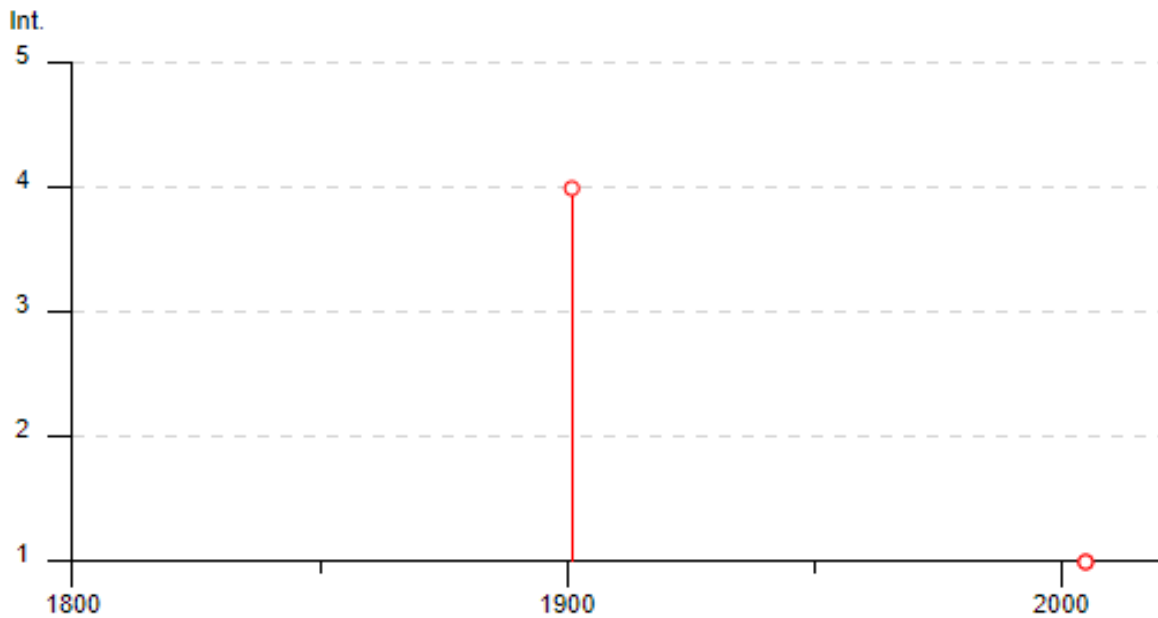


Figura 7-4. Storia sismica di Castelnuovo Scrivia.

Tabella 7-3. Storia sismica di Pontecurone [44.961, 8.931] Numero di eventi: 3.

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1901 01 23 00 17 10	Oltrepò Pavese	90	5	4.23
NF	2005 04 13 18 46 0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
NF	2005 04 18 10 59 1	Valle del Trebbia	284	4	3.97


Figura 7-5. Storia sismica di Pontecurone.
Tabella 7-4. Storia sismica di Voghera [44.993, 9.010] Numero di eventi: 29.

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	94	8	5.6
F	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
5	1824 02 04 21 50	Oltrepò Pavese	8	5	4.49
7	1828 10 09 02 20	Oltrepò Pavese	110	8	5.72
5-6	1828 10 09 08	Oltrepò Pavese	6		
5	1828 10 10 01 30	Oltrepò Pavese	18		
2-3	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5.51
3	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
NF	1882 02 15 05	Val Borbera	18	6	4.77
5	1887 02 23 05 21 50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
4	1891 06 07 01 06 14	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87

Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4.89
3	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
5	1901 01 23 00 17 10	Oltrepò Pavese	90	5	4.23
3	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1912 05 31 21 40	Canavese	51	5-6	4.71
4-5	1913 03 27 02 25 44	Val Trebbia	58	4-5	4.24
4-5	1913 12 07 01 28	Valle Scrivia	56	5	4.57
3-4	1914 10 26 03 43 22	Torinese	63	7	5.24
4	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	750	10	6.53
6	1945 06 29 15 37 13	Oltrepò Pavese	31	7-8	5.1
5	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
4-5	1952 08 22 02 25 31	Lomellina	21	4	4.11
4-5	1971 01 06 11 10 55	Oltrepò Pavese	23	4-5	3.85
4	1972 10 25 21 56 1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1980 12 23 12 01 06	Piacentino	69	6-7	4.57
4	1983 11 09 16 29 52	Parmense	850	6-7	5.04
5	2003 04 11 09 26 5	Valle Scrivia	78	6-7	4.81
NF	2005 04 13 18 46 0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
NF	1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1993 07 17 10 34 0	Liguria occidentale	336	5	4.34
4	2000 08 21 17 14	Monferrato	595	6	4.94
NF	2001 07 18 22 47 1	Monferrato	253	5	4.23
5	2003 04 11 09 26 5	Valle Scrivia	78	44383	4.81
NF	2005 04 13 18 46 0	Valle del Trebbia	163	4	3.68
NF	2005 04 18 10 59 1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

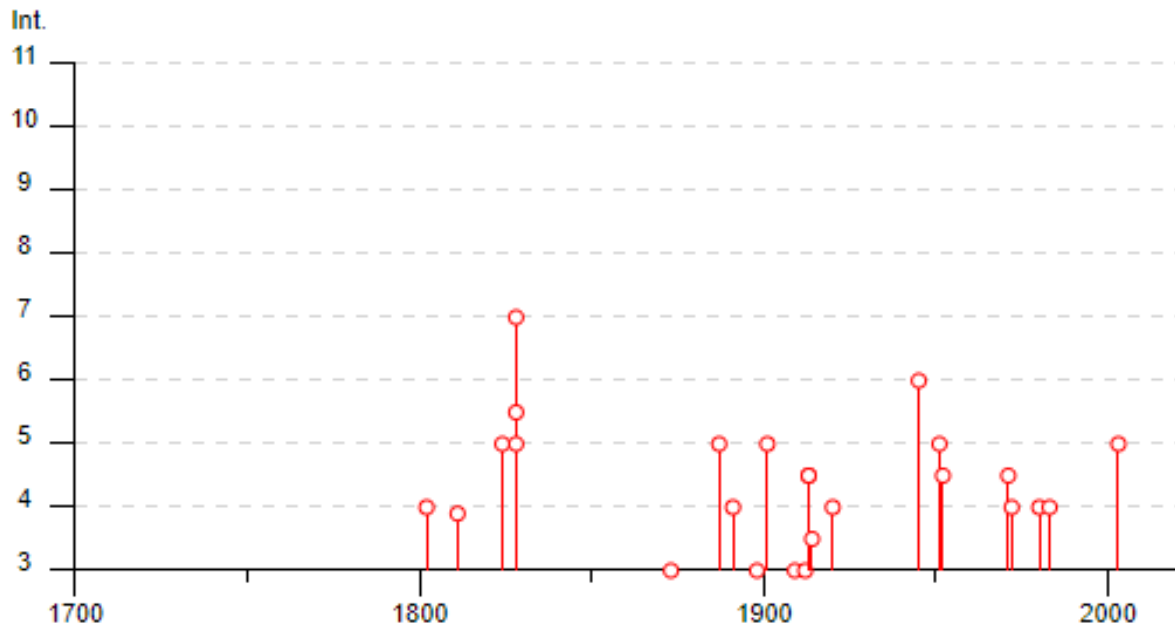


Figura 7-6. Storia sismica di Voghera.

7.3 Sorgenti sismogenetiche

Dalla consultazione del DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3.2.1, [63]*) (Figura 7-7) emerge la presenza di alcune sorgenti sismogenetiche composite e di una sorgente sismogenetica incerta:

- Sorgente sismogenetica composta ITCS179 – Monferrato Ovest (Figura 7-8);
- Sorgente sismogenetica composta ITCS180 – Monferrato Est (Figura 7-9);
- Sorgente sismogenetica composta ITCS018 – Rivazzano - Stradella (Figura 7-10);
- Sorgente sismogenetica composta ITCS044 – Pontalbera - Cremona (Figura 7-11);
- Sorgente sismogenetica individuale incerta ITDS001 – Broni - Stradella (Figura 7-12).

Le principali informazioni di riferimento di ciascuna sorgente sono riportate nelle seguenti figure.

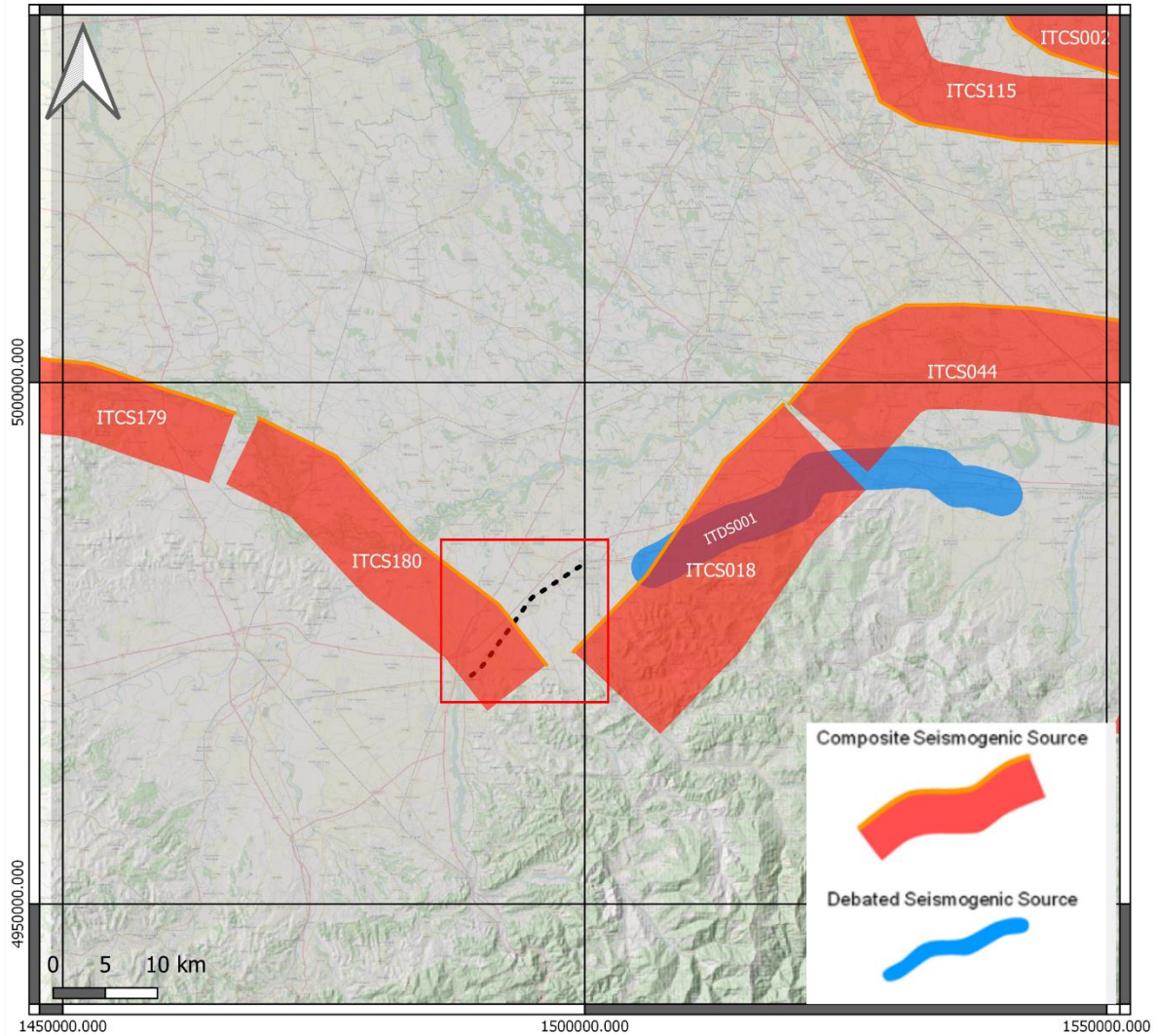



Figura 7-7. Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del "Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)", Version 3.2.1. Nel riquadro rosso si riporta l'area oggetto di studio, all'interno del quale è segnato il tracciato ferroviario.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) ▼
 [PICTURES](#) ▼
 [REFERENCES](#) ▼
 [USER COMMENTS](#) ▼

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS179
Name	Western Monferrato
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	20-Apr-2016
Updated	20-Apr-2016

Display map ... 

Related sources

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	LD	Based on subsurface geological and geophysical data.
Max depth [km]	8.0	EJ	Inferred from geological considerations.
Strike [deg] min... max	60...130	LD	Based on geological observations.
Dip [deg] min... max	40...50	EJ	Inferred from geological considerations.
Rake [deg] min... max	70...110	EJ	Inferred from geological and tectonic considerations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from the strongest earthquake occurred in the region.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS

ACTIVE FOLDS

Figura 7-8. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS179.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) ▼ [PICTURES](#) ▼ [REFERENCES](#) ▼ [USER COMMENTS](#) ▼

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS180
Name	Eastern Monferrato
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	20-Apr-2016
Updated	20-Apr-2016

Display map ...



Related sources

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	1.0	LD	Based on subsurface geological and geophysical data.
Max depth [km]	8.0	EJ	Inferred from geological considerations.
Strike [deg] min... max	115... 150	LD	Based on geological observations.
Dip [deg] min... max	40... 50	EJ	Inferred from geological considerations.
Rake [deg] min... max	80... 120	EJ	Inferred from geological and tectonic considerations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1... 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from the strongest earthquake occurred in the region.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS

ACTIVE FOLDS

Figura 7-9. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITIS180.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

[COMMENTARY](#) ▼ [PICTURES](#) ▼ [REFERENCES](#) ▼ [USER COMMENTS](#) ▼

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS018
Name	Rivanazzano-Stradella
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Maesano F.E.(1), Basili R.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	25-Jun-2015

Display map ...



Related sources

PARAMETRIC INFORMATION

PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...50	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...45	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	60...90	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2...0.54	EJ	Inferred from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS


ACTIVE FOLDS

Figura 7-10. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS018.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

[COMMENTARY](#) ▼
 [PICTURES](#) ▼
 [REFERENCES](#) ▼
 [USER COMMENTS](#) ▼

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS044
Name	Portalbera-Cremona
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy 2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy 3) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrata, 1, 27100 Pavia, Italy
Created	17-Oct-2013
Updated	19-Jun-2015
Display map ...	
Related sources	

PARAMETRIC INFORMATION

	PARAMETER	QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	7.0	OD	Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	30...115	OD	Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.48...0.54	OD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Max Magnitude [Mw]	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;

ACTIVE FAULTS
ACTIVE FOLDS

ID	NAME	REFERENCES
125	San Colombano	Toscani et al. [2006]


Figura 7-11. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica ITCS044.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</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>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 69 RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>84 di 48</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	84 di 48
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	84 di 48								

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES ?

[COMMENTARY](#) ▼
 [PICTURES](#) ▼
 [REFERENCES](#) ▼
 [USER COMMENTS](#) ▼

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITDS001
Name	Broni-Stradella
Compiler(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Valensise G.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	19-May-2009
Updated	19-May-2009
Display map ...	

COMMENTARY

This seismogenic source was first proposed by Benedetti et al. (2003) based on geological and geomorphological evidence.

Figura 7-12. Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica incerta ITDS001.

7.4 Faglie capaci

Il database del progetto ITHACA (*Italy HAZard from CAPable faults* [64]) mostra, nell'area progettuale, l'esistenza di faglie capaci (Figura 7-13). Le faglie capaci sono definite come lineamenti tettonici responsabili di fagliazione superficiale: possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. Le faglie intercettate dal tracciato sono così codificate:

- Faglia 86120, denominata Sistema di Torino – Cremona (Figura 7-14) che si estende poi verso est e nord-est;
- Faglia 94280, denominata Faglia 3-Po2 (Figura 7-15);
- Faglia 94175, denominata Faglia 5a-Po2 (Figura 7-16);
- Faglia 94173, denominata Faglia 6a-Po2 (Figura 7-17);
- Faglia 94172, denominata Faglia 7-Po2 (Figura 7-18), posizionata appena a sud del tracciato.

Le schede riassuntive delle faglie citate sono riportate nelle figure seguenti.

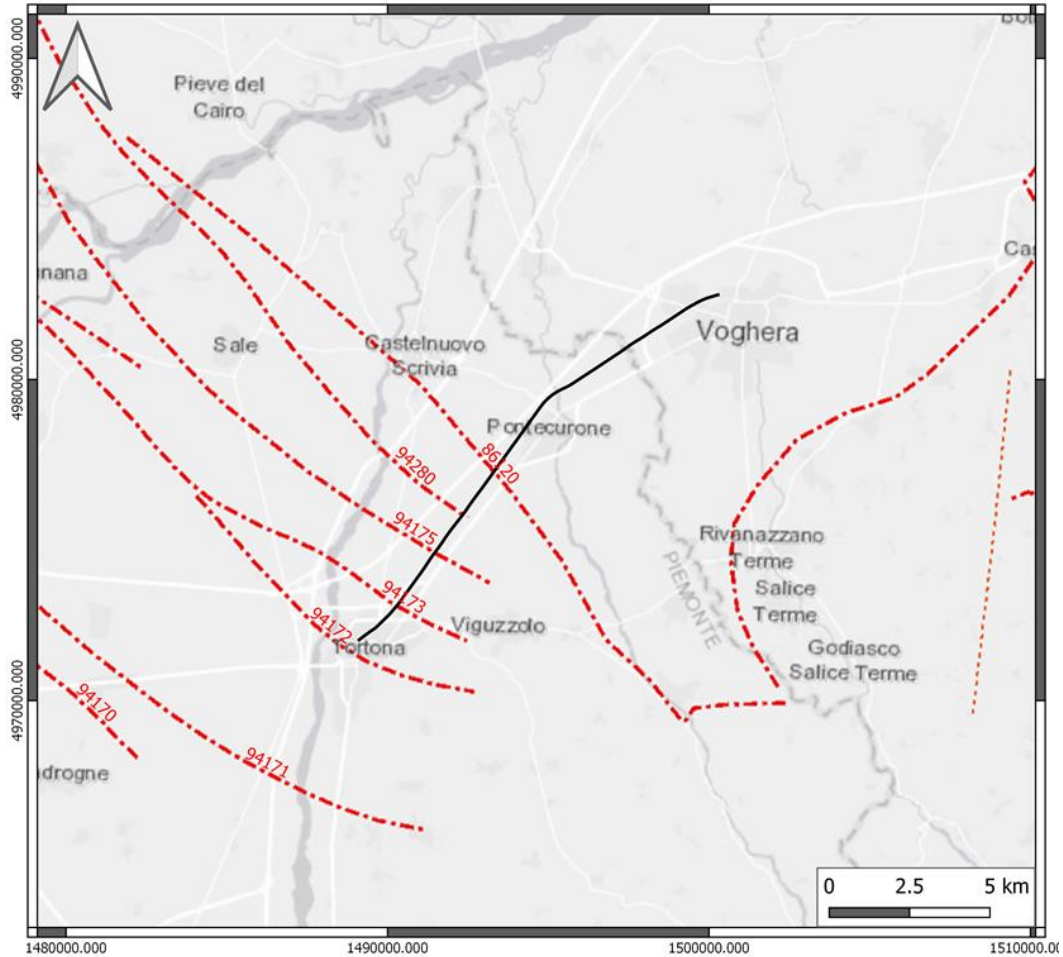


Figura 7-13. Stralcio cartografico dell'area di interesse con indicazione schematica delle faglie capaci presenti, codificate tramite il loro identificativo (catalogo ITHACA [64]). La linea nera rappresenta il tracciato oggetto di studio.

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	86120
Fault Name	Torino - Cremona System
Region Name	Piemonte
Tectonic Environment	ND
System Name	Torino - Cremona System
Synopsis	
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	90
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	S
Fault Length (km)	24.8
Mapping Scale	1:
Fault Depth (m)	
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	ND
Last Activity	Pleistocene generic

Figura 7-14. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Sistema Torino - Cremona [65].

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	94280
Fault Name	Fault 3-Po2
Region Name	Piemonte
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Padan Thrust Front
Synopsis	<p>The Fault 3-PO2 is a structure with reverse kinematics belonging to the Padan Thrust Front, a tectonic system including several N-NE verging reverse faults affecting the succession of the Tertiary Piedmont Basin and controlling its overlap onto the Po Plain Foredeep. The name of the fault derives from the geophysical surveys carried out in the area by ENEL (1984, 1985), in which several reverse faults with dip from 20° steepening upwards up to 55°, are visible at a maximum depth of about 5 km, some of them culminating very close to the surface at a minimum depth of 10-30 m (ENEL, 1985). The Fault 3-PO2 corresponds to the extension towards the SE of Fault 3-PO1, a N verging structure to the N of the Trino Isolated Hill but, unlike the latter which extends up to the topographic surface, it ends at a depth of 1300 m. The two elements are crosscut by the N-S trending Salera Line, a N-S trending structure characterized by a complex kinematics, which would have segmented the buried front of Monferrato starting from the Pliocene up to the Pleistocene Sup.-Holocene interval. The Fault 3-PO2 gently bends the bottom of the Upper Pliocene affecting in part the upper Pliocene Sup.-Pleistocene Inf. stratigraphic unit (B1-B in Enel, 1985). Fault 3-PO2 has been considered active until the Lower Pleistocene. The lack of age determinations for the upper part of the stratigraphic sequence and the uncertain top closure of the structure do not allow to rule out its activation in more recent times. The limited availability and resolution of geological and geophysical cross-sections ask for more specific investigations to properly assess the fault capability.</p>
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Steep
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	52.0
Mapping Scale	1:100000
Fault Depth (m)	1300.0
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	hidden (buried, blind fault)
Last Activity	Early Pleistocene

Figura 7-15. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 3-Po2 [66].

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	94175
Fault Name	Fault 5a-Po2
Region Name	Piemonte
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Padan Thrust Front
Synopsis	<p>Fault 5a-PO2 is a structure with reverse kinematics belonging to the Padan Thrust Front, a tectonic system including several N-NE verging reverse faults affecting the succession of the Tertiary Piedmont Basin and controlling its overlap onto the Po Plain Foredeep. The name of the fault derives from the geophysical surveys carried out in the area by ENEL (1984, 1985), in which several reverse faults with dip from 20° steepening upwards up to 55°, are visible at a maximum depth of about 5 km, some of them culminating very close to the surface at a minimum depth of 10-30 m (ENEL, 1985). Fault 5a-PO2 corresponds to the extension towards SE of Fault 5-PO1, a N verging structure located at N of the Trino Isolated Hill, extended also close to the topographic surface (approximately 30 m). The western termination of the fault intercepts the Salera Line, a N-S structure characterized by a complex kinematics, which would have segmented the buried front of the Monferrato Arch starting from the Pliocene up to the Upp. Pleistocene-Holocene interval (Giraudi, 2014). Fault 5a-PO2 cuts the horizon B (Lower Pleistocene. ENEL, 1985) and could slightly deform the upper stratigraphic unit made of coarse alluvial deposits (horizon A. ENEL, 1985) referred to a generic Pleistocene. Fault 5a-PO2 was considered active until the Lower Pleistocene. The lack of age determinations for the upper part of the stratigraphic sequence and the uncertain top closure of the structure do not allow to rule out its activation in more recent times. The limited availability and resolution of geological and geophysical cross-sections ask for more specific investigations to properly assess the fault capability.</p>
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Steep
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	56.5
Mapping Scale	1:100000
Fault Depth (m)	30.0
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	hidden (buried, blind fault)
Last Activity	Early Pleistocene
Applied Technique	Drillings
Evidence for Capability	Displacement of Quaternary deposits and/or land forms

Figura 7-16. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 5a-Po2 [66].

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	94173
Fault Name	Fault 6a-Po2
Region Name	Piemonte
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Padan Thrust Front
Synopsis	<p>Fault 6a-PO2 is a structure with reverse kinematics belonging to the Padan Thrust Front, a tectonic system including several N-NE verging reverse faults affecting the succession of the Tertiary Piedmont Basin and controlling its overlap onto the Po Plain Foredeep. The name of the fault derives from the geophysical surveys carried out in the area by ENEL (1984, 1985), in which several reverse faults with dip from 20° steepening upwards up to 55°, are visible at a maximum depth of about 5 km, some of them culminating very close to the surface at a minimum depth of 10-30 m (ENEL, 1985). Fault 6a-PO2 extends for several kilometers starting from Casale Monferrato up to Tortona Hill, developing below the Casale Monferrato and Valenza plateau and through the northern termination of the Alessandria Basin. In the latter area Fault 6a-PO2 ends close the topographic surface (about 35 m). Locally it cuts the base of B horizon (Lower Pleistocene. ENEL, 1985) while it seems to be sealed by the same horizon to the SE. Fault 6a-PO2 was considered active until the Lower Pleistocene. The slightly undulating trend of the Pleistocene alluvial deposits bottom surface to the SW (geophysical line in ENEL, 1985) could indicate more recent activation of the fault. The lack of age determinations for the upper part of the stratigraphic sequence and the uncertain top closure of the structure do not allow to rule out its activation in more recent times. The limited availability and resolution of geological and geophysical cross-sections ask for more specific investigations to properly assess the fault capability.</p>
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Steep
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	46.6
Mapping Scale	1:100000
Fault Depth (m)	30.0
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	hidden (buried, blind fault)
Last Activity	Early Pleistocene

Figura 7-17. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 6a-Po2 [66].

Fault description	
GENERAL IDENTIFICATION	
Fault Code	94172
Fault Name	Fault 7-Po2
Region Name	Piemonte
Tectonic Environment	PLATE BOUNDARY
System Name	Padan Thrust Front
Synopsis	<p>The Fault 7-PO2 is a structure with reverse kinematics belonging to the Padan Thrust Front, a tectonic system including several N-NE verging reverse faults affecting the succession of the Tertiary Piedmont Basin and controlling its overlap onto the Po Plain Foredeep. The name of the fault derives from the geophysical surveys carried out in the area by ENEL (1984, 1985), in which several reverse faults with dip from 20° steepening upwards up to 55°, are visible at a maximum depth of about 5 km, some of them culminating very close to the surface at a minimum depth of 10-30 m (ENEL, 1985). Fault 7-PO2 extends for several kilometers starting from Viscarda up to the Tortona Hill, affecting the northern termination of the Alessandria Basin. In this latter area, Fault 7-PO2 ends close the topographic surface (approximately 20 m depth). The fault cuts the base of B horizon (Lower Pleistocene. ENEL, 1985) and deforms the upper part of the stratigraphic sequence consisting of coarse alluvial deposits referred to the Middle-Upper Pleistocene, (A-A0 horizon. Enel, 1985). Fault 7-PO2 has been considered active until the Middle Pleistocene. The lack of age determinations for the upper part of the stratigraphic sequence and the uncertain top closure of the structure do not allow to rule out its activation in more recent times. The limited availability and resolution of geological and geophysical cross-sections ask for more specific investigations to properly assess the fault capability.</p>
Rank	Primary
GEOMETRY AND KINEMATICS	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	130
Dip (°)	Steep
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	10.7
Mapping Scale	1:100000
Fault Depth (m)	30.0
Kinematics	Reverse
ACTIVITY	
Surface Evidence	hidden (buried, blind fault)
Last Activity	Middle Pleistocene (125,000- 700,000)

Figura 7-18. ITHACA [64]; Parametri descrittivi della faglia capace Faglia 7-Po2 [66].

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 91 di 48</p>

7.5 Magnitudo di riferimento

Gli studi sulla pericolosità sismica condotti dall'INGV hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9 [67]. Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 36 zone-sorgente, individuate mediante l'osservazione delle caratteristiche della sismicità storica/attuale (massima magnitudo, frequenza degli eventi in catalogo, distribuzione nelle classi di magnitudo) e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche. Ciascuna area sorgente è divisa dalle adiacenti da limiti di colore diverso: il nero separa aree con differenti caratteristiche tettoniche o geologico strutturali, il blu separa invece zone con stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche di sismicità (distribuzione spaziale, frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, etc.). A ciascuna delle 36 zone è associata una legge di ricorrenza della magnitudo espressa in termini di magnitudo momento M_w (Figura 7-19).

L'area ferroviaria in esame ricade totalmente all'interno della zona sismogenetica 911 "Tortona-Bobbio", la più a nord dell'appennino settentrionale, che comprende il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative. La zona 911 ricopre il ruolo di zona di "svincolo" cinematico tra il sistema alpino e il sistema appenninico. In questo territorio le zone epicentrali sono localizzate a profondità comprese tra 8 e 12 km [67] e sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di magnitudo massima pari a $M_{wmax} = 6.14$ [68].

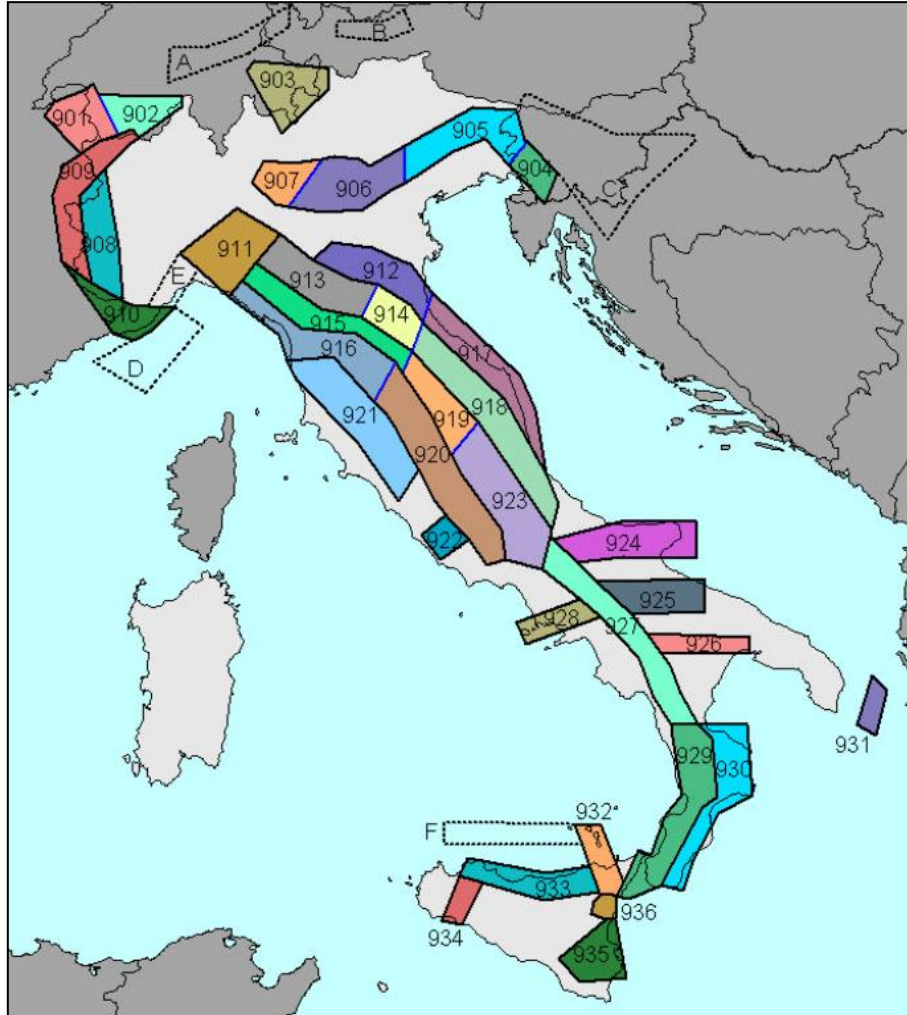


Figura 7-19. Zone sismogenetiche ZS9 del nord Italia [67].

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 93 di 48

7.6 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico. Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

Per quanto concerne la pericolosità sismica, la rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia [60], che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame. La mappa di pericolosità allegata O.P.C.M. 3519/2006 è stata completata e ampliata nell'ambito del progetto S1 dell'INGV-DPC [68], che propone una riclassificazione sismica del territorio nazionale, grazie alla quale si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). Sulla base di questi elaborati è possibile ottenere valutazioni probabilistiche della pericolosità sismica di lungo termine del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05° (corrispondenti a circa 5 km). In Figura 7-20 si riporta uno stralcio della mappa relativa alla zona di studio, in cui è visualizzato il valore di accelerazione orizzontale al suolo a_g , espressa in termini di g (accelerazione di gravità), calcolata per una probabilità di superamento in 50 anni del 10%.

La pericolosità sismica costituisce la base di riferimento per il calcolo dell'azione sismica previsto dalla normativa vigente (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018): questa dipende dalla probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione e delle caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'input sismico in termini di variazione del contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità. L'azione sismica è definita, dunque, in funzione delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, basato sulla vita nominale delle opere e della loro classe d'uso, nei diversi Stati Limite considerati e in relazione all'effettiva localizzazione delle opere.

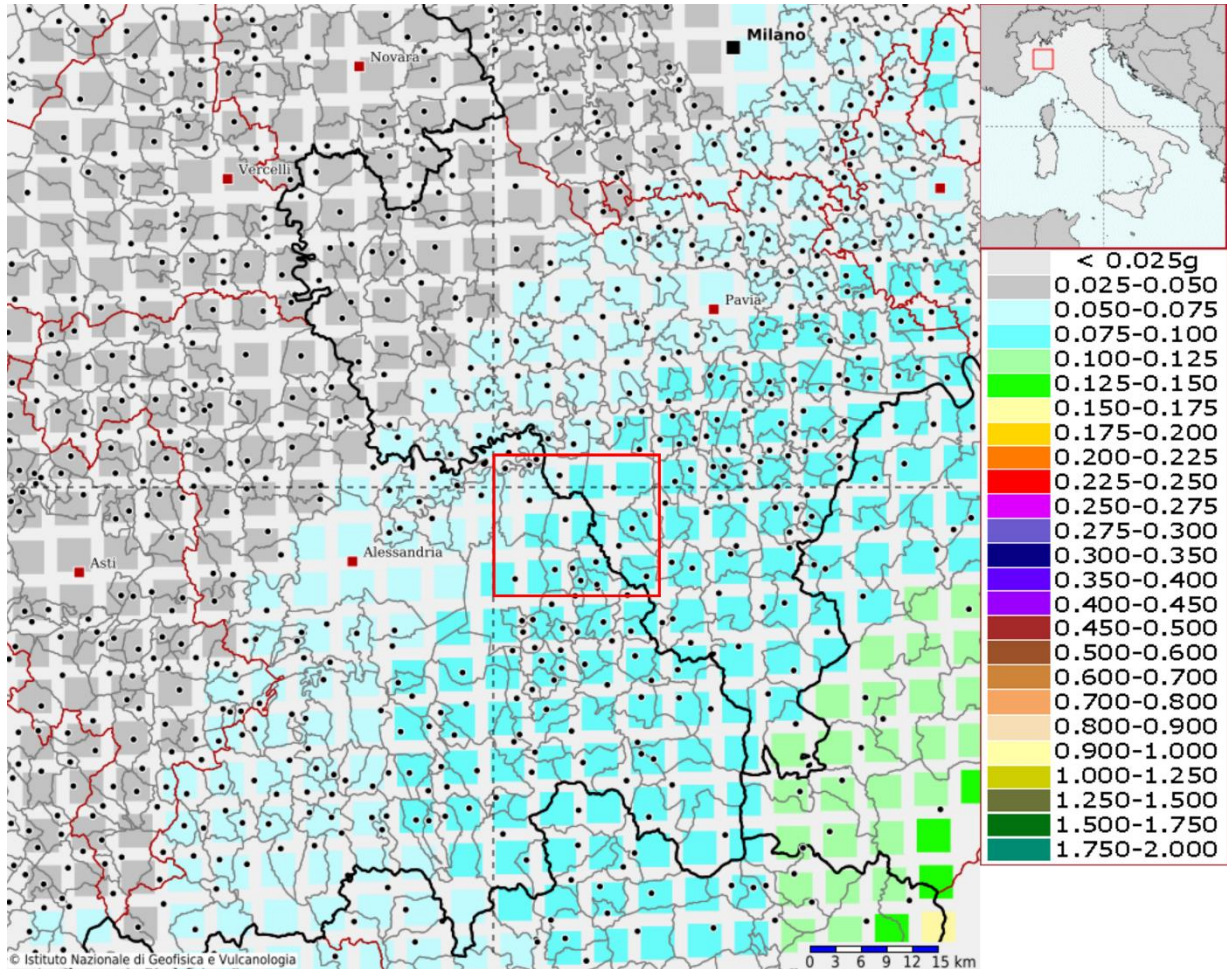


Figura 7-20. Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area oggetto di studio (riquadro rosso), ricavato sulla base della Mappa di Pericolosità Sismica tramite elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>). I valori di pericolosità sismica sono espressi in termini di accelerazione orizzontale di riferimento su suolo rigido (g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 95 di 48

7.7 Definizione dell'azione sismica di progetto

Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. La definizione dell'azione sismica si concretizza nella determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ "ancorato" al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura; i valori di P_{VR} e V_R servono a definire il tempo di ritorno corrispondente dell'azione sismica da considerare.

Con riferimento alle NTC2018, sono stati dunque determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati ricavati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno T_R pari a 475.

Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche (vedi paragrafo 7.1), si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC2018, paragrafo 3.2). Tali parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento a coprire il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Data l'estensione dell'opera si rende necessario individuare alcuni punti chiave in cui eseguire l'analisi sopra descritta, in modo tale che sia possibile definire i parametri per l'azione sismica lungo il tracciato. A questo scopo sono stati individuati 5 punti, secondo il seguente schema:

- punto "ID1": estremo sud del tracciato, corrispondente all'abitato di Tortona;
- punto "ID5": estremo nord del tracciato, corrispondente all'abitato di Voghera;
- punto "ID3": abitato di Pontecurone, in corrispondenza all'incirca del punto medio del tracciato;
- punto "ID2": intermedio tra "ID1" e "ID3";
- punto "ID4": intermedio tra "ID3" e "ID5".

L'ubicazione di tali punti è riportata in Figura 7-21 mentre le coordinate con le relative rappresentazioni in relazione ai nodi del reticolo di riferimento sono indicate in Tabella 7-5.

In relazione ai punti chiave considerati, sono stati calcolati i parametri per la definizione dell'azione sismica tramite il foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b (distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

In Tabella 7-5 vengono forniti, per i punti selezionati lungo il tracciato e per il tempo di ritorno $T_R = 475$ anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* ricavati.

I parametri calcolati e qui presentati possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito in riferimento a un suolo di categoria A e superficie topografica orizzontale.

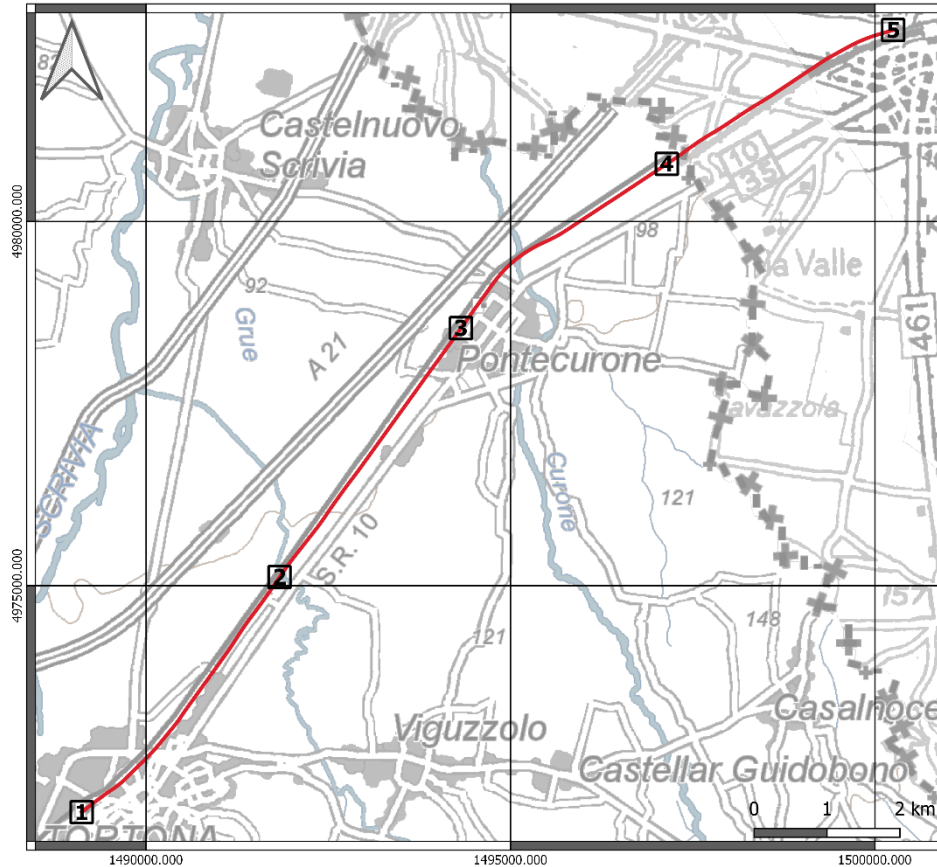
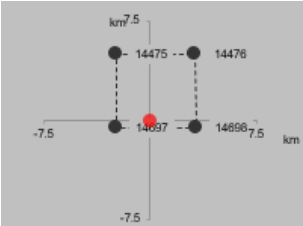
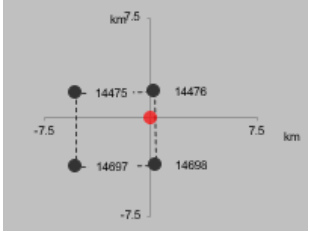
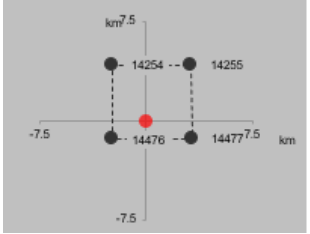
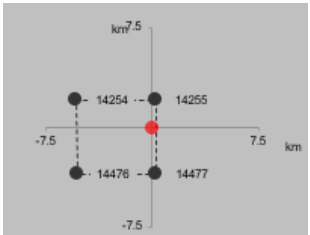
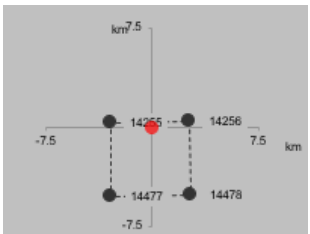


Figura 7-21. Ubicazione dei punti selezionati per il calcolo delle azioni sismiche lungo il tracciato.

Tabella 7-5 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido orizzontale per un periodo di ritorno T_R pari a 475 anni.

ID	Localizzazione punti di griglia	Lon (°)	Lat (°)	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^* [s]
1		8.86286	44.90115	0.082	2.463	0.272

ID	Localizzazione punti di griglia	Lon (°)	Lat (°)	a _g [g]	F _o [-]	Tc*[s]
2		8.89715	44.93026	0.081	2.470	0.272
3		8.92869	44.96102	0.080	2.476	0.273
4		8.96448	44.98134	0.081	2.476	0.273
5		9.00392	44.99790	0.082	2.471	0.274

Ai fini dell'analisi di risposta sismica locale è necessario individuare la categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.II delle NTC2018) di riferimento per il sito, sulla base del parametro $V_{s,eq}$ definito dalla normativa (NTC2018).

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

$$S = S_S \cdot S_T$$

Il fattore di sito è poi moltiplicato per l'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido a_g al fine di ottenere l'accelerazione massima in riferimento alla categoria di sottosuolo presente in sito:

$$a_{max} = S \cdot a_g$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

Il coefficiente S_S per la categoria di sottosuolo si ottiene dalla Tabella 3.2.II del par. 3.2.3 delle NTC2018 (Tabella 7-6), mentre il coefficiente S_T relativo all'amplificazione topografica dalla Tabella 3.2.III al par.3.2.2.

A sua volta, la categoria di sottosuolo si individua in base alle condizioni stratigrafiche ed al valore equivalente di velocità di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definito dall'espressione:

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

dove:

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

La categoria di sottosuolo per il sito in esame è definita nel paragrafo seguente. Si rimanda al testo delle NTC2018 per ogni altra indicazione, ad esempio in merito alla definizione degli spettri elastici di risposta.

Tabella 7-6. *Categorie di sottosuolo (Tabella 3.2.II delle NTC2018).*

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A

7.7.1 Categoria di sottosuolo

Per la determinazione della categoria di sottosuolo sono stati utilizzati i dati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite in foro (prove Down Hole) nella campagna RFI del 2019 e nella campagna Italferr 2020.

La profondità a cui calcolare le $V_{s,eq}$ dipende dalla profondità del bedrock sismico ($V_{s,eq} > 800$ m/s) e dalla profondità del piano di posa. In caso di bedrock profondo, infatti, le NTC2018 stabiliscono che vada indagata una profondità di 30 m, definita a partire dal tipo di opera e fondazione in progetto; secondo la normativa “per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione”. Per quanto riguarda il caso in esame le $V_{s,eq}$ sono state calcolate a partire dal piano campagna, in quanto in questo contesto la profondità del piano di posa delle possibili opere (principali e accessorie) in progetto non è definito. I valori ricavati sono stati comunque derivati dai modelli sismici di sottosuolo riportati nelle schede dei sondaggi della campagna RFI 2019 [2]–[21] e messi a confronto con i valori ricavati nell’ambito della medesima campagna, che però sono stati calcolati in riferimento a piani di posa più profondi.

La Tabella 7-7 riporta i valori di $V_{s,eq}$ ottenuti dalle prove Down Hole sia per una profondità che va tra 0 e 30 m che per la profondità definita nel corso delle indagini del 2019 [2]–[21]. Sono state individuate anche le corrispondenti categorie di sottosuolo, derivate dalla Tabella 3.2II delle NTC2018 (si veda la Tabella 7-6).

Per i certificati delle indagini geofisiche della campagna RFI 2019 si rimanda ai report [2]–[21].

*Tabella 7-7. Valori di V_{seq} calcolati per ognuna delle prove eseguite nel corso della campagna RFI 2019, calcolati sia a profondità 0-30 (colonna “ $V_{s,eq}$ ”) sia alla profondità definita per le opere previste nel corso delle indagini del 2019 (profondità pari a 5-35 m ad eccezione di *=8-38 m e **=10-40 m).*

ID	$V_{s,eq}$ (calcolata tra 0-30m)	Categoria di sottosuolo	$V_{s,eq}$ Socotec (RFI 2019)
S1_20+460	432	B	469
S2_20+460	391	B	412
S1_20+974	390	B	444
S1_21+882	337	C	450
S1_21+981	395	B	490
S1_22+593	287	C	342

S1_22+826	377	B	411*
S1_24+715	339	C	411*
S1_25+804	317	C	440*
S1_26+177	324	C	431*
S1_27+530	318	C	401
S1_29+576	369	B	494*
S1_30+690	334	C	410
S1_31+538	376	B	443
S2_31+538	407	B	460
S1_31+785	384	B	437*
S1_32+560	373	B	418
S1_32+720	274	C	340*
S1_35+890	346	C	373*
S1_36+828	333	C	415*
S1_37+935	285	C	391*
S1_38+788	285	C	389**

Le prove, ordinate secondo la loro progressiva chilometrica (come riportato in Tabella 7-7), sono state graficate in dipendenza del valore di $V_{s,eq}$ per lo spessore 0-30 m (Figura 7-20).

Le prime 3 prove (S1_20+460, S2_20+460, S1_20+974) e le ultime 2 (S1_37+935, S1_38+788) ricadono esternamente agli estremi del tracciato oggetto di studio.

Dall'esame delle prove si osserva che la categoria C è quella che ricorre con maggiore frequenza lungo il tracciato (Figura 7-22). Inoltre, per le prove che ricadono nella categoria B, i valori di velocità equivalente ricavati sono di poco superiori a quelli del valore soglia previsto per questa categoria (Tabella 7-6); si ritiene pertanto opportuno assegnare ad ognuno dei punti chiave individuati al paragrafo precedente la categoria C.

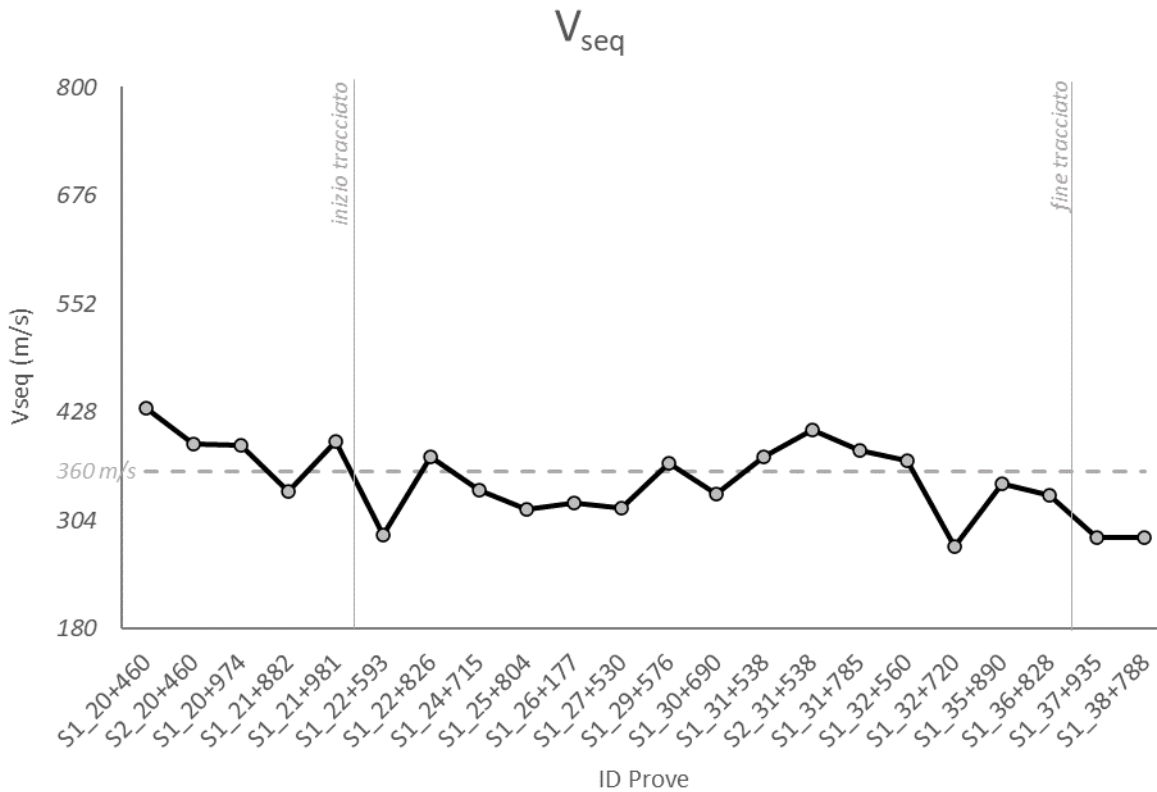


Figura 7-22. Valori di velocità equivalente lungo l'asse del tracciato. Sono indicati l'inizio e la fine del tracciato (linee grigie verticali) e il passaggio di $V_{s,eq}$ da categoria C a categoria B in cui il valore di velocità è 360 m/s (linea grigia tratteggiata). Si noti come i valori posti al di sopra di tale passaggio superino di poco il valore soglia.

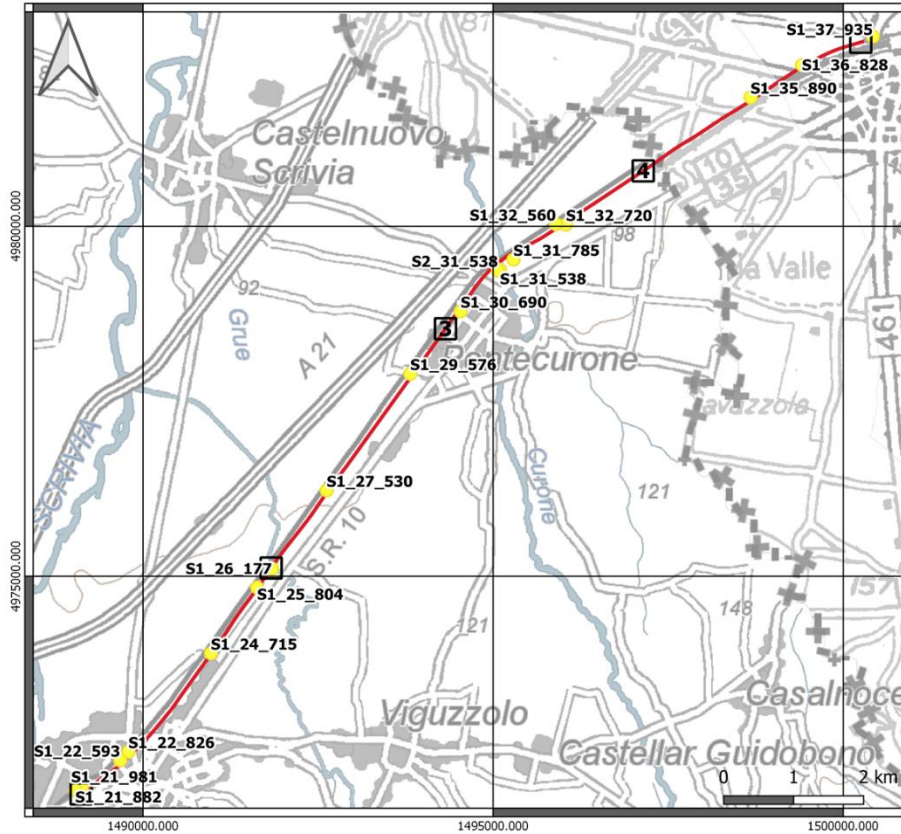


Figura 7-23. Distribuzione delle prove Down Hole lungo il tracciato.

Le indagini geofisiche della campagna Italferr 2020 sono consistite in:

- 1) indagini sismiche tomografiche a rifrazione (n.1) eseguite in corrispondenza del sondaggio S11bis;
- 2) indagini sismiche tipo MASW (n.14);
- 3) indagini HVSR (n.14).

I risultati completi sono riportati nell'elaborato IQ0101R69IGGE0001001A. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con le categorie del suolo ricavate da prove M.A.S.W. eseguite in località differenti rispetto alla campagna RFI 2019.

ID	$V_{S,eq}$ (calcolata tra 0-30m)	Categoria di sottosuolo
MASW 1	304	C

MASW 2	291	C
MASW 3	298	C
MASW 4	239	C
MASW 5	283	C
MASW 6	385	B
MASW 7	339	C
MASW 8	396	B
MASW 9	335	C
MASW 10	315	C
MASW 11	305	C
MASW 12	331	C
MASW 13	420	B
MASW 14	308	C

7.7.1 Condizioni topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste dall'NTC2018 in Tabella 3.2.III.

In particolare, l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$.

7.7.1 Accelerazione di progetto

Basandosi su quanto riportato nei paragrafi precedenti, si riportano qui i valori di accelerazione di progetto, calcolata in riferimento al fattore di sito S , che sulla base della categoria di sottosuolo assegnata e del coefficiente topografico, risulta essere pari a 1.5. I risultati sono presentati in Tabella 7-8.

Tabella 7-8. Valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), dei coefficienti di sito S ($S_T=1$) e di accelerazione di progetto a_{max} per un tempo di ritorno pari a 475 anni.

ID	a_g [g]	S [-]	a_{max} [g]
1	0.082	1.5	0.123

ID	a_g [g]	S [-]	a_{max} [g]
2	0.081	1.5	0.122
3	0.080	1.5	0.121
4	0.081	1.5	0.122
5	0.082	1.5	0.123

7.8 Analisi preliminare del rischio di liquefazione

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace. Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

L'incremento di pressione neutra è causato, principalmente, dalla progressiva diminuzione di volume che si registra in un materiale granulare poco addensato soggetto alle azioni cicliche di un sisma. Per quanto detto in precedenza, sono suscettibili di liquefazione terreni granulari, da poco a mediamente addensati, aventi granulometria compresa tra le sabbie ed i limi, con contenuto in fine piuttosto basso. Tali terreni devono essere altresì posti al di sotto del livello di falda e a profondità relativamente basse, generalmente inferiori ai 15 m dal p.c..

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 assenza di manufatti minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 7-24 per coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

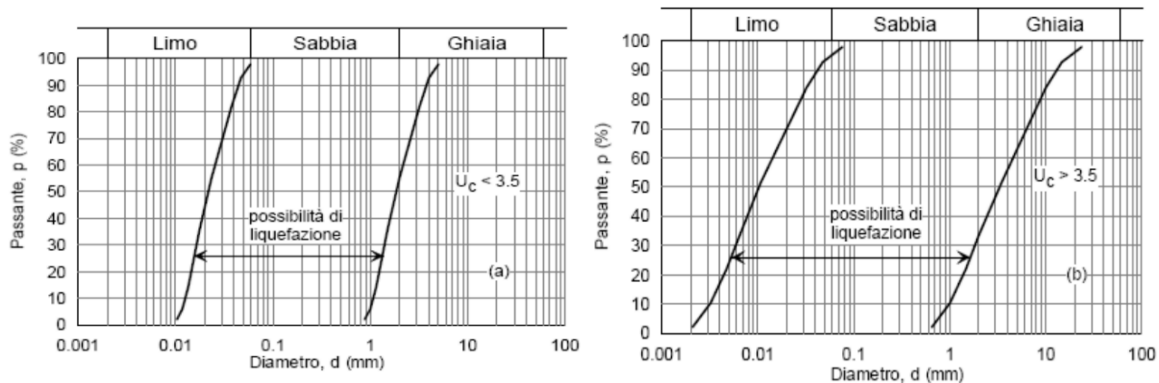


Figura 7-24. Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (sx: $U_c < 3.5$, dx: $U_c > 3.5$).

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. L'argomento sarà trattato nella Relazione Geotecnica.

8 ANALISI DELLE CRITICITA' GEOMORFOLOGICHE, IDRAULICHE E GEOLOGICHE

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

L'analisi qui presentata fa riferimento a quanto riportato precedentemente nel testo e agli strumenti di pianificazione territoriale citati. Le criticità rilevate riguardano quattro settori:

- interferenza del tracciato con fasce fluviali a rischio di dissesto;
- interferenza del tracciato con aree di rispetto di pozzi ad uso idropotabile;
- assenza di copertura limosa-argillosa a protezione dell'acquifero;
- interferenza del tracciato con faglie capaci.

8.1 Interferenza del tracciato con fasce fluviali a rischio di dissesto

Al fine di identificare possibili aree pericolose dal punto di vista idraulico e conseguenti aree classificate a rischio è stata analizzata sia la cartografia dei PRG comunali di Tortona, Castelnuovo Scrivia, Pontecurone e Voghera, che integra tali elementi a partire dagli strumenti di pianificazione provinciale e regionale, sia la cartografia PAI.

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 106 di 48

Analizzando la cartografia tematica redatta dal PAI risulta l'assenza di potenziali fenomeni di dissesto idraulico nell'area, in quanto il solo torrente Scrivia risulta delimitato da fasce di rispetto fluviale che però non intersecano il tracciato (si veda la Figura 5-7).

Dei PRG comunali che sono di interesse per la zona di studio, solamente il PRG di Pontecurone riporta la presenza di fasce di rispetto, in riferimento al torrente Curone e al Rio Calvenza. Il rischio per queste aree è classificato da elevato a molto elevato (si veda la Figura 5-9). La descrizione accurata per l'utilizzo di queste zone è descritta in [57] che definisce la tipologia di interventi ammessi.

8.2 Interferenza del tracciato con aree di rispetto di pozzi ad uso idropotabile

Il tracciato ferroviario attraversa gli abitati di Tortona, Pontecurone e Voghera. La presenza di pozzi ad uso idropotabile è pertanto un fattore da tenere in considerazione. I pozzi ad uso idropotabile sono delimitati da un'area di rispetto di 200 m di raggio che comprende al suo interno una zona di tutela assoluta di 10 m di raggio (comma 4 dell'art. 94 del D.lgs152/2006).

I pozzi le cui aree di rispetto interferiscono con il tracciato sono situati all'interno del territorio di Voghera, in prossimità dell'estremo nord del tratto oggetto di studio (si veda la Figura 5-11). Sebbene esistano numerosi altri pozzi cartografati dai PRG dei comuni interessati, sono tutti ubicati a distanze dal tracciato superiori a 200 metri (si veda la Figura 5-12).

8.3 Assenza di copertura limosa-argillosa a protezione dell'acquifero

La presenza o meno di coperture superficiali impermeabili in grado di costituire una barriera fisica alla percolazione verticale di inquinanti può essere determinante per limitare un potenziale rischio di contaminazione delle acque sotterranee.

La sezione geologica ricostruita sulla base delle indagini geognostiche esistenti e il relativo modello geologico (si veda il capitolo 6) permettono di individuare le aree in cui la coltre limosa e sabbiosa superficiale tende a non essere presente: in queste porzioni di sottosuolo le ghiaie dell'acquifero sono a diretto contatto con il terreno di riporto. Una configurazione di questo tipo può essere ritenuta una condizione critica.

Si riportano di seguito le porzioni di tracciato che presentano tale configurazione, indicate in base alla progressiva chilometrica del tracciato:

- 55+190 e 55+648;
- 60+984 e 61+039;
- 64+500 e 64+774;
- 65+488 e 66+081;
- 66+649 e 66+839;
- 68+732 e 69+760;

8.4 Interferenza del tracciato con faglie capaci

Dal punto di vista geologico si mettono in evidenza le criticità legate alla presenza di elementi tettonici di rilievo, identificati nelle faglie capaci discusse al paragrafo 7.4

Le faglie capaci sono fagli ritenute in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa. L'analisi del database ITHACA [64] ha permesso di individuare le faglie capaci cartografate in prossimità dell'area (si veda la Figura 7-13). Le caratteristiche di queste faglie sono riportate nelle schede riassuntive del paragrafo 7.4.

Si elencano qui le sole faglie la cui traccia interseca il tracciato o è adiacente ad esso e la loro posizione in riferimento alle progressive chilometriche:

- Faglia 94172, posizionata appena a sud dell'estremità meridionale del tracciato: progressiva 54+347;
- Faglia 94173: progressiva 56+422;
- Faglia 94175: progressiva 58+460;
- Faglia 94280: progressiva 59+876;
- Faglia 86120: progressiva 61+546.

La posizione di queste faglie è naturalmente approssimata e quindi la reale progressiva di intercettazione potrebbe essere differente da quella riportata. Per questo motivo è più corretto assumere che nel tratto di linea indicativamente compreso fra Tortona e Pontecurone la linea intercetta 5 faglie capaci.

9 CONCLUSIONI

Il tracciato del quadruplicamento ferroviario della Tortona Voghera si sviluppa su una lunghezza di circa 15 km in un contesto di pianura alluvionale.

Dalle indagini geognostiche eseguite lungo la tratta è stato possibile ricostruire l'andamento dei corpi ghiaiosi e limosi presenti nel sottosuolo. La ricostruzione, rappresentata nelle tavole delle sezioni, è stata spinta ad una profondità variabile da 20 a 40 metri. Generalmente, dopo un livello di riporto, si trovano 4-10 m di sedimenti limoso argillosi, poi uno banco di ghiaie continuo di spessore variabile da 8 a 25 m con lenti argilloso limose intercalate all'interno.

Al di sotto delle ghiaie ritornano i limi argillosi, fino alla base ricostruita della sezione.

In prossimità di Tortona in sezione è visibile il substrato, che si immerge verso nord scomparendo in breve al di sotto della base della sezione.

Da un punto di vista geomorfologico non ci sono particolari elementi di criticità in quanto l'area si sviluppa in contesto di pianura.

La falda è stata ricostruita sulla base dei rilievi piezometrici disponibili. In particolare, nei piezometri monitorati la minima soggiacenza da piano campagna oscilla da 8.1 m a 15.7 m.

Dalla cartografia PAI delle zone esondabili il tracciato risulta esterno alle zone di esondazione, anche per eventi di massima piena. Occorre però considerare che la valutazione del rischio di esondazione è riportata dal PAI solo per il torrente Scrivia, che è il corso d'acqua più importante in prossimità del tracciato. La pianificazione territoriale definisce, in aggiunta, le aree limitrofe al torrente Curone e al Rio Calvenza come aree a "dissesto idraulico a pericolosità elevata e molto elevata". Il tracciato intercetta anche il torrente Grue, nel comune di Tortona, per il quale è presente solo un rischio di alluvione medio.

Dall'esame della carta della distribuzione dei pozzi ad uso idropotabile risulta che il tracciato passa ad una distanza inferiore ai 200 metri da 2 pozzi collocati all'estremità nord del tracciato e a poco più di 200 metri da un terzo pozzo, tutti nel comune di Voghera.

Lungo la maggior parte del tracciato a contatto con il terreno di riporto c'è un livello, di spessore generalmente variabile dai 4 ai 10 m, di limi argillosi che costituisce una protezione naturale alla falda contenuta nelle ghiaie sottostanti.

Si segnala però che fra le progressive:

- 55+190 e 55+648;
- 60+984 e 61+039;
- 64+500 e 64+774;
- 65+488 e 66+081;
- 66+649 e 66+839;
- 68+732 e 69+760.

le ghiaie sono a diretto contatto con il riporto, venendo così a mancare la naturale protezione all'acquifero sottostante.

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 109 di 48</p>

Da un punto di vista sismico l'accelerazione al bedrock risulta essere compresa tra 0.080 g e 0.082 g, con un suolo di copertura del bedrock riferibile alla categoria C delle NTC2018.

Dall'esame del database ITHACA risulta che il tracciato è intersecato dalle seguenti faglie capaci:

- Faglia 94172: progressiva 54+347;
- Faglia 94173: progressiva 56+422;
- Faglia 94175: progressiva 58+460;
- Faglia 94280: progressiva 59+876;
- Faglia 86120: progressiva 61+546.

La posizione di queste faglie è naturalmente approssimata e quindi la reale progressiva di intercettazione potrebbe essere differente da quella riportata. Per questo motivo è più corretto assumere che nel tratto di linea indicativamente compreso fra Tortona e Pontecurone la linea intercetta 5 faglie capaci.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IQ01</p>	<p>LOTTO</p> <p>01</p>	<p>CODIFICA</p> <p>R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>GE 0001 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>110 di 48</p>

10 BIBLIOGRAFIA

I documenti menzionati dal punto [1] al punto [21] sono riportati nell'elaborato "Indagini geognostiche pregresse" (IQ0101R69RHGE0001001A)

I documenti menzionati dal punto [22] al punto [42] sono riportati nell'elaborato "Indagini geognostiche e prove in situ" (IQ0101R69SGGE0001001A)

- [1] ITALFERR Gruppo Ferrovie Dello Stato, "Relazione indagini geognostiche e prove in situ," in *Direzione tecnica - Centro di produzione Milano - Progetto definitivo - Quadruplicamento Tortona-Voghera*, 2017, p. 190.
- [2] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 20+460 - TR2489-SD-OA00-PT0-P01," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 180.
- [3] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 20+974 - TR2489-SD-OA00-PT0-P02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 121.
- [4] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottopasso FV Tortona al km 21+882 - TR2489-SD-OA00-PT0-B01," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 120.
- [5] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottopasso di Loc. (promiscuo) al km 21+981 - LO0332-OC-SP02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 114.
- [6] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 22+593 - TR2460-SD-OA00-PT0-B02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone - Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 121.
- [7] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 22+826 - TR2460-SD-OA00-PT0-B03," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone - Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 121.
- [8] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 24+715 - TR2460-SD-OA00-PT0-B06," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone - Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 104.
- [9] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 25+804 - TR2460-SD-OA00-PT0-B04," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone - Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 104.
- [10] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 26+177 - TR2460-SD-OA00-PT0-P01," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone - Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 120.
- [11] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 27+530 - TR2460-SD-OA00-PT0-P02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Pontecurone*

	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 111 di 48

- Tortona - Relazione tecnica sulle attività geognostiche, 2019, p. 103.

- [12] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 29+576 - TR2460-SD-OA00-PT0-B05," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 102.
- [13] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottopasso di Locali - km 30,690 - LO2228-OC-SP01," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Stazione di Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 85.
- [14] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte al km 31 + 538 TR2459-SD-OA00-PT0-P01," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 120.
- [15] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia - km 31+785 - TR2459-SD-OA00-PT0-B02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 102.
- [16] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Ponte km 32+560 - TR2459-SD-OA00-PT0-P02," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 102.
- [17] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 32+720 - TR2459-SD-OA00-PT0-B03," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 113.
- [18] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 35+890 - TR2459-SD-OA00-PT0-B04," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 97.
- [19] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 36+828 -TR2459-SD-OA00-PT0-B05," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 97.
- [20] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia al km 37+935 - TR2459-SD-OA00-PT0-B06," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 97.
- [21] RFI Rete Ferroviaria Italiana, "Sottovia - km 38+788 - TR2459-SD-OA00-PT0-B07," in *Verifiche di vulnerabilità sismica di livello 1 e 2 ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003 e s.m.i. - D.T.P. di Milano Voghera - Pontecurone - Relazione tecnica sulle attività geognostiche*, 2019, p. 97.
- [22] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S11," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [23] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S10," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [24] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S1C," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [25] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S2," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*,

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
<p>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 69 RG</p>	<p>DOCUMENTO GE 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 112 di 48</p>

2020.

- [26] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S2A," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [27] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S3," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [28] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S5," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [29] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S5A," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [30] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S7," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [31] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S11bis," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [32] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S13," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [33] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S15," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [34] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S1," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020, p. 16.
- [35] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S16," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [36] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S8," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [37] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S6," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [38] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S4," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [39] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S9," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [40] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S12," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020, p. 14.
- [41] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S1A," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.
- [42] Vicenzetto srl, "Vicenzetto - S1B," - *Ubicazione sondaggio - Scheda sondaggio - Documentazione Fotografica*, 2020.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</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>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 69 RG</td> <td>GE 0001 001</td> <td>A</td> <td>113 di 48</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	113 di 48
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 69 RG	GE 0001 001	A	113 di 48								

- [43] C. D'ambrogi, M. Pantani, and R. M. Pichezzi, Eds., *I 20 anni del Progetto di cartografia geologica nazionale*. ISPRA, 2010.
- [44] P. L. Vercesi, P. Falletti, C. Pasquini, C. Perotti, G. Tucci, and L. Papani, "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000," *Foglio 178*, 2014.
- [45] A. Castellarin and G. B. Vai, Eds., *Guida alla geologia del Sudalpino centro-orientale*. Pitagora, 1982.
- [46] E. Ferrero and G. Pavia, "La revisione. La successione marina pre-villafranchiana," in *Revisione del Villafranchiano nell'area-tipo di Villafranca d'Asti*, F. Carraro, Ed. Roma, 1996, pp. 36–38.
- [47] Servizio Geologico d'Italia, *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 - Foglio 71 Voghera*, II Edizion. Roma, 1969.
- [48] G. Bellinzona, A. Boni, G. Braga, and G. Marchetti, "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000," *Foglio 71 Voghera*. Serv. Geol. d'It., Roma, p. 121, 1971.
- [49] G. Marchetti, F. Cavanna, and P. L. Vercesi, Eds., *Idrogeomorfologia e insediamenti a rischio ambientale*. Fondazione Lombardia per L'ambiente, 1998.
- [50] ITALFERR Gruppo Ferrovie Dello Stato, "Opere di risanamento acustico - Progetto definitivo - Relazione geologica geomorfologica e sismica," in *U.O. Geologia, gestione terre e bonifiche - Opere di risanamento acustico - 1° fase di attuazione del piano redatti ai sensi del D.M. Ambiente 29/11/2000*, 2017, p. 40.
- [51] PRG - Tortona, "Piano Regolatore Comunale, Elaborati geologici, Tav. 4." Tortona (AL).
- [52] PGT - Voghera, "Piano di Governo del Territorio, Carta idrogeologica, Tav. 3." Voghera (PV), p. 63.
- [53] Italferr, *MONITORAGGIO PIEZOMETRICO (Lecture da Novembre 2020 a Maggio 2021)*. 2021.
- [54] Autorità di Bacino del Fiume Po, "Titolo II - Norme per le fasce fluviali (allegato 3)," in *Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*, 2001.
- [55] Autorità di Bacino del Fiume Po, "Allegato 1 all'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Elenco dei comuni per classi di rischio," in *Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)*, 2001.
- [56] PRG Pontecurone, "Piano Regolatore Comunale, Tav. 8."
- [57] PRG Pontecurone, "Piano Regolatore Comunale, relazione geologico-tecnica," 2008.
- [58] PRG Castelnuovo Scrivia, "Piano Regolatore Comunale, Tav. 2b." .
- [59] PRGC - Pontecurone, "Piano Regolatore Generale Comunale, Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica, Tav. 7." Pontecurone (AL).
- [60] M. Stucchi *et al.*, "Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)." 2004.
- [61] A. Rovida, M. Locai, R. Camassi, B. Lolli, P. Gasperini, and A. Antonucci, "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)." 2021.
- [62] M. Locati *et al.*, "Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV)." 2021.

	<p align="center">PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p> <p align="center">VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO-GENOVA</p> <p align="center">QUADRUPPLICAMENTO TORTONA-VOGHERA</p>					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 69 RG	DOCUMENTO GE 0001 001	REV. A	FOGLIO 114 di 48

- [63] R. Basili *et al.*, “The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy’s earthquake geology,” *Tectonophysics*, 2008.
- [64] ITHACA Working Group, “ITHACA (ITaly HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy.” 2019.
- [65] G. Bigi *et al.*, Eds., “Modello Strutturale Tridimensionale (Foglio 6),” in *Structural Model of Italy, scale 1:500.000 - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Progetto Finalizzato Geodinamica*, SELCA 1991., 1983.
- [66] ENEL – Direzione delle Costruzioni, “Aree di Po-1 e Po-2 Regione Piemonte. Interpretazione sismica a riflessione e rifrazione high –resolution e ricostruzione strutturale, stratigrafica, tettonica e neotettonica.,” *GEXON S.r.l. Rapp. Final.*, vol. 84013, no. Carta riassuntiva delle faglie-All32, 1985.
- [67] C. Meletti and G. Valensise, “Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2,” no. marzo, 2004.
- [68] Gruppo di Lavoro, “Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003,” *Rapp. conclusivo per Dip. della Prot. Civile, April. 2004, Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol. (INGV), Milano-Roma, Italy, available <http://zonesismiche.mi.ingv.it/> (last accessed April 2019), p. 71, 2004.*