

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J54H17000130009

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO

PRG e ACC del nuovo PM di Cargnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

SCALA:

-

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

I Z 0 9 0 0 D 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Esecutiva	R. Galbiati	Luglio 2019	S. Giugliano	Luglio 2019	S. Lo Presti	Luglio 2019	F. Marchese	Luglio 2019

ITALFERR S.p.A.
Dott. Geologo Francesco MARCHESI
Rev. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

File: IZ0900D69RGGE0005001A.pdf

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
4	ASSETTO GENERALE.....	9
4.1	INQUADRAMENTO STRUTTURALE.....	9
4.1.1	<i>Inquadramento geologico della pianura friulana e veneta</i>	<i>10</i>
4.1.2	<i>Inquadramento morfologico della pianura tardo pleistocenica-olocenica. I megafan fluviali.....</i>	<i>14</i>
4.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE.....	17
4.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
4.3.1	<i>Idrografia</i>	<i>22</i>
4.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	24
5	ANALISI DEL RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	28
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO	29
6.1	PREMESSA	29
6.1.1	<i>Indagini eseguite nel 2015 per il “Progetto Preliminare del Raddoppio Palmanova-Udine, tratta Strassoldo-Bivio Carnacco”</i>	<i>30</i>
6.1.2	<i>Indagini eseguite nel 2019</i>	<i>31</i>
7	STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO LUNGO IL TRACCIATO.....	33
7.1	PERMEABILITÀ DEI TERRENI E QUOTE DI FALDA LUNGO LA TRATTA	33
8	INQUADRAMENTO SISMICO.....	35
8.1	PREMESSA	35
8.2	STRUTTURE TETTONICHE E AREE SISMOGENETICHE	36
8.3	SISMICITÀ STORICA	39
8.4	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	41
8.5	ANALISI DI PERICOLOSITÀ RISPETTO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE	47

9	CONCLUSIONI	48
10	BIBLIOGRAFIA	50
	APPENDICE 1	55

TAVOLE ALLEGATE

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		I	Z	0	9	0	0	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta geologica e profilo geologico	1:5000/500	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	1	0	0	1	A
Carta idrogeologica e profilo idrogeologico	1:5000/500	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	N	Z	G	E	0	0	0	2	0	0	1	A

ELABORATI DI RIFERIMENTO

Id	Scala	Codifiche Italferr																				
		I	Z	0	9	0	0	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Sondaggi e stratigrafie	-	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Indagini geognostiche bibliografiche	-	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	S	G	G	E	0	0	0	5	0	0	2	A
Indagini geofisiche	-	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	I	G	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A
Prove di laboratorio	-	I	Z	0	9	0	0	D	6	9	P	R	G	E	0	0	0	5	0	0	1	A

1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica redatta nell'ambito del completamento del Nodo di Udine, per la progettazione definitiva del PRG e dell'ACC del nuovo Posto di Movimento di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo Posto di Movimento stesso.

La tratta ferroviaria oggetto degli interventi sopra descritti è ubicata lungo la Linea Udine – Cervignano, per una lunghezza complessiva di circa 5 km.

Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni attualmente disponibili e derivanti sia da indagini geognostiche realizzate nell'anno 2019 per la presente fase progettuale sia da fonte bibliografica, ovvero le indagini eseguite nell'ambito del Progetto Preliminare del “Raddoppio Strassoldo-Bivio Carnacco” (Italferr, anno 2015), lungo la linea Udine-Cervignano del Friuli.

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

1. Inquadramento geografico;
2. Inquadramento geologico dell'area di studio comprendente gli aspetti geologici, geomorfologici ed idrogeologici;
3. Descrizione delle indagini eseguite a supporto della progettazione;
4. Descrizione stratigrafica di dettaglio delle aree di intervento;
5. Analisi del rischio geologico-geomorfologico e idraulico.
6. Modello geotecnico di riferimento e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni;
7. Inquadramento sismico dell'area, definizione dell'azione sismica e della magnitudo di riferimento, analisi del rischio di liquefazione.

A supporto del presente studio è stata redatta la cartografia geologico-geomorfologica in scala 1:5.000, con relativo profilo geologico elaborato lungo linea (IZ0900D69NZGE0001001A), e la cartografia idrogeologica in scala 1:5.000, con relativo profilo idrogeologico (IZ0900D69NZGE0002001A).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM												
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ09</td> <td>00 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>6 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ09	00 D 69	RG	GE0001 001	A	6 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ09	00 D 69	RG	GE0001 001	A	6 di 57								

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», G.U. n.42 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.8.
- D.M. 17/01/2018, “Norme tecniche per le costruzioni”.
- D.M. 06/05/2008, integrazione al D.M. 14/01/2008.
- Circ. Min. II.TT. 02/02/2009, n. 617, “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14/01/2008”.
- Circ. Min. II.TT. 05/08/2009, “Nuove norme tecniche per le costruzioni approvate con decreto del Ministro delle infrastrutture 14 gennaio 2008 - Cessazione del regime transitorio di cui all'articolo 20, comma 1, del decreto-legge 31 dicembre 2007, n. 248”.
- RFI DTC SI AG MA IFS 002 A del Dic. 2018: Manuale di progettazione delle Opere Civili – Parte II – Sezione 7 – Geologia.
- Tariffa IG di RFI in vigore nel 2018.
- RFI DTC SI SP IFS 001 B del 22-12-2018 “Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Sez. 3 – Rilievi geologici e indagini geognostiche”.
- D.M. 11.03.1988: “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle opere di fondazione”. (DPR. 5 ottobre 2010, n. 207 artt. 52-53).
- RFI DTC INC LG IFS 001 A del 21-12-2012 – “Linea guida per la definizione della graduatoria di priorità dei tratti dell'infrastruttura ferroviaria interessati da fenomeni di dissesto idrogeologico, in base al valore di rischio ferroviario”.
- RFI DTC INC LG IFS 002 A del 09-07-2018 – “Procedure e interventi di protezione della sede dai fenomeni di dissesto idrogeologico”.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La tratta ferroviaria oggetto degli interventi riportati nel paragrafo precedente si colloca tra i comuni di Pozzuolo del Friuli (UD) e Pavia di Udine (UD), poco a sud est del capoluogo Udine, nella parte centro orientale della Regione Friuli Venezia-Giulia. Essa si sviluppa lungo la tratta ferroviaria Udine - Palmanova della linea ferroviaria Udine – Cervignano, tra le progressive chilometriche 5+590 e 10+596 circa. L'area sorge ai limiti centro orientali della grande pianura compresa fra il Tagliamento, il Natisone e l'Isonzo, intorno ad un colle morenico circoscritto dai Torrenti Torre e Cormor.

L'area relativa alle opere in progetto è riportata su immagine aerea in Figura 3-1, e su Cartografia Tecnica regionale in scala 1:10.000 in Figura 3-2.

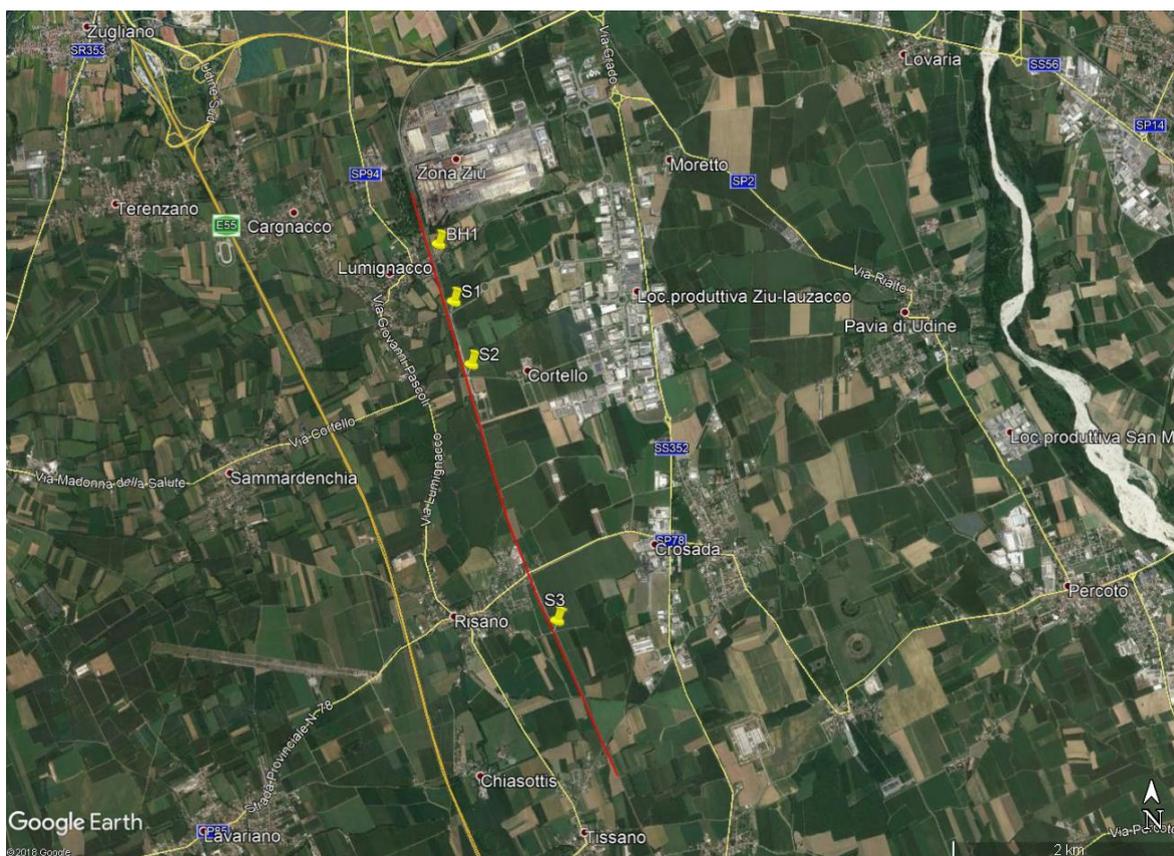


Figura 3-1 – Immagine aerea (Google Earth). dell'area del Comune di Pavia di Udine, in rosso si evidenzia il tracciato ferroviario oggetto di studio. In verde si evidenziano i sondaggi eseguiti nel 2015 per il Raddoppio della linea Strassoldo-Bivio Carnaccio, in giallo il sondaggio eseguito nel 2019 per la presente fase progettuale.

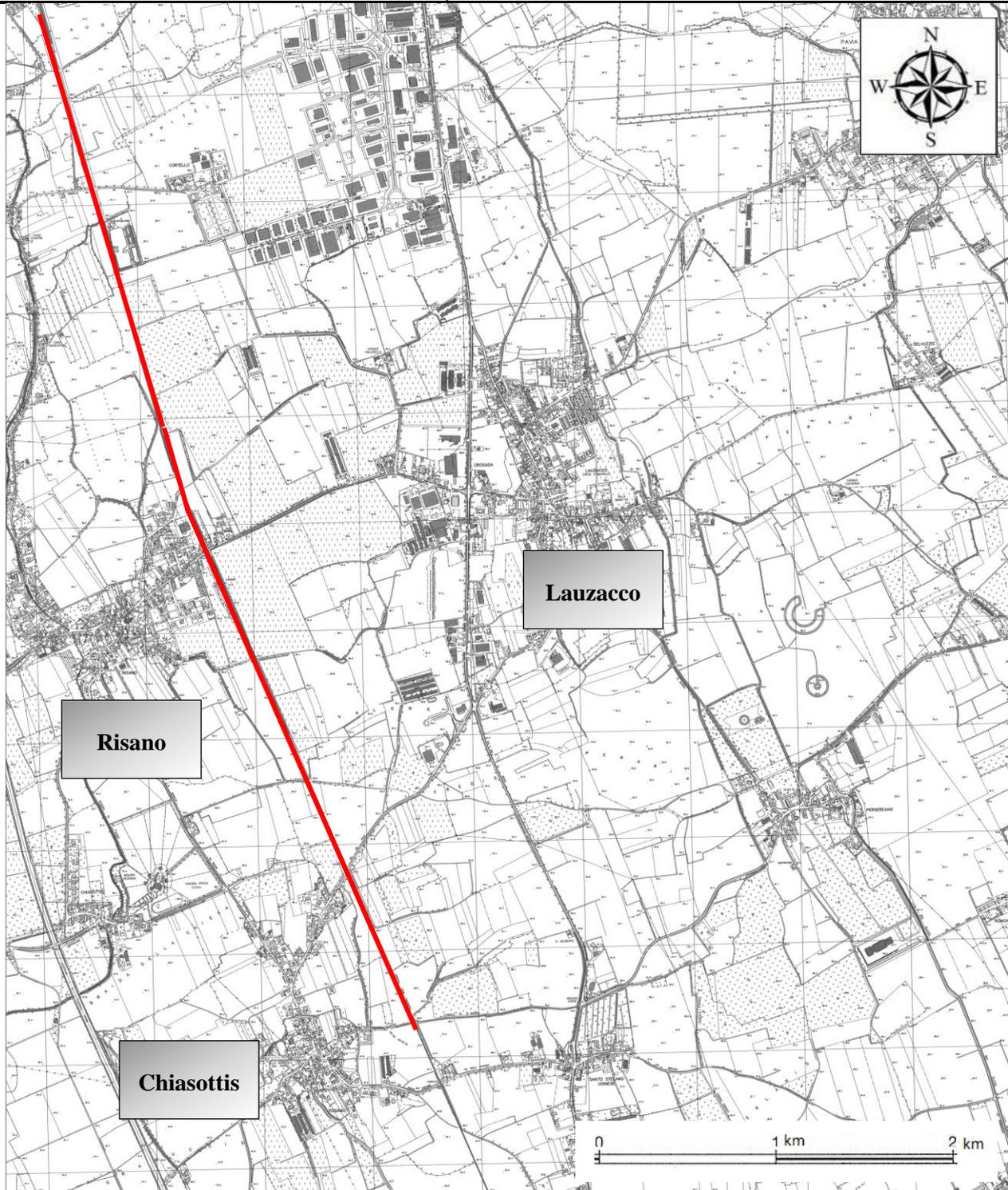


Figura 3-2 – Ubicazione della tratta ferroviaria oggetto di studio (linea in rosso) su Carta Tecnica Regionale, Foglio 87040 Pavia di Udine, (stralcio non in scala, scala originale 1:10.000)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCIO PRG e ACC del nuovo PM di Carnaccio e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 9 di 57

4 ASSETTO GENERALE

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

4.1 Inquadramento strutturale

Il territorio della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia appartiene all'unità sudalpina ed è caratterizzato prevalentemente da litologie sedimentarie, con subordinati episodi effusivi testimoniati da ridotte sequenze vulcanoclastiche e vulcaniti. Limitati affioramenti metamorfici sono presenti solo nella parte Nord-occidentale (Alpi Carniche) e sono rappresentati per lo più dalle litologie basso-metamorfiche del basamento ercinico, quali i marmi e le metaclasiti. Questi sono i termini più antichi presenti in Regione (Ordoviciano inf.), i quali lasciano posto, da nord verso sud, a terreni sempre più recenti. Le rocce affioranti nella regione rappresentano quasi l'intera scala dei tempi geologici, fatta eccezione per alcune lacune, di cui le più significative sono determinate dalle compressioni erciniche prima (Carbonifero sup. e Permiano inf-sup) e da quelle neoalpine dopo (Pliocene). Escludendo la pianura alluvionale, la litologia predominante è quella carbonatica caratterizzata soprattutto dalle potenti sequenze triassiche e giurassiche della zona alpina e prealpina, nonché quelle cretache del Carso e della zona pedemontana. Tra le rocce terrigene predominano i depositi torbiditici, riconducibili fondamentalmente a due periodi distinti: i più antichi appartengono alla catena paleocarnica e sono comunemente indicati con il termine flysch ercinico; il terrigeno più recente, genericamente denominato flysch eocenico, appartiene invece all'intervallo Cretacico sup - Paleogene, ed è caratterizzato dalla tipica alternanza di marne ed arenarie, fittamente stratificate. I depositi evaporitici, appartenenti al Permiano sup. e Carnico sono di gran lunga subordinati in affioramento, ma hanno un ruolo decisivo nel contesto strutturale, infatti fungono da superfici di scollamento dei principali trust alpini che caratterizzano l'assetto tettonico regionale, conferendogli la tipica struttura a scaglie embriciate sud-vergenti responsabile degli innumerevoli raccorciamenti stratigrafici e dei raddoppiamenti delle sequenze. Questo assetto strutturale permette di suddividere il territorio regionale in tre macroaree con evidenti implicazioni litologiche e morfologiche sia a macro che a microscala (Venturini, 1990). Da nord a sud esse si identificano come fascia settentrionale, fascia centrale e fascia meridionale. La fascia settentrionale comprende la Catena Paleocarnica, ed è caratterizzata da terreni paleozoici già interessati dalle deformazioni dell'orogenesi ercinica. È delimitata a Nord dalle linee della Gailtal ed a Sud dalla Linea Comeglians-Paularo. La fascia centrale è identificabile con le Dolomiti Pesarine, le Alpi Tolmezzine e le Alpi Giulie. È delimitata a N dalla Linea della Val Bordaglia, dalla Linea Comeglians - Paularo e dalla linea Tropollach- Camporosso; a Sud dal sistema di trust della linea Pinedo - Ucea e Barcis - Staro Selo. La fascia meridionale, delimitata a N dalla Barcis - Staro Selo, a

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 57

W dalla Tramonti - Verzegnis (chiamata anche Tramonti-Barcis), è divisibile in due dalle linee verticali N-S di Osoppo (linea di Osoppo). Il comparto orientale è compreso da estese linee a comportamento dinarico, parallele ed orientate NW-SE, costituite principalmente dalla linea di Cividale, la linea Udine - Butrio e la linea di Palmanova. Hanno un'origine mesoalpina, ma in fase neoalpina sono state riattivate con attività fortemente transpressiva, tutt'ora attiva. La parte sudorientale della Regione (Carso) è caratterizzata da un assetto plicativo dinarico ad anticlinale, con asse NO-SE, asimmetrico e vergente a SW, influenzato anche dalle strutture sepolte (linea Udine - Butrio e Linea di Palmanova), studiate recentemente dal Servizio Geologico e dall'Università degli Studi di Trieste nell'ambito del Progetto "Carta del sottosuolo della Pianura Friulana".

4.1.1 Inquadramento geologico della pianura friulana e veneta

La pianura friulana e veneta orientale (PFV), si estende dal corso del F. Livenza ad ovest fino alle coste rocciose del Carso ad oriente (Figura 4-1). Pur appartenendo alla Pianura Padana, di cui rappresenta la porzione più orientale, questo settore di pianura si contraddistingue da un punto di vista geografico da quello padano s.s. per il fatto che il sistema idrografico del settore veneto- friulano si riversa direttamente nel mare Adriatico invece che nel Po. Un secondo aspetto peculiare nella morfologia di questo settore di pianura sta nel fatto che la distanza fra il margine prealpino e la costa diminuisce progressivamente passando da ovest verso est, fino a scomparire nell'area del Carso triestino, dove i rilievi sono a picco sul mare. I fiumi Isonzo, Natisone, Torre, Cormor, Tagliamento, Meduna e Cellina rappresentano i principali corsi d'acqua alpini che solcano questo settore di pianura; i loro bacini idrografici drenano materiali provenienti da rilievi formati prevalentemente da rocce carbonatiche affioranti nelle zone prealpine carnico-giulie e nella limitrofa area slovena occidentale (Figura 4-1).

Nell'attuale quadro cinematico del sistema Alpi-Appennino, l'area prealpina carnico-giulia e l'antistante pianura veneto-friulana fanno parte del fronte pliocenico-quadernario della catena Sudalpina orientale (CSO) e del relativo avampaese (Figura 4-2). La catena si estende dai Monti Lessini (faglia Schio-Vicenza, SV in Figura 4-2) alla Slovenia occidentale (sistema di Idrija in Figura 4-2); a nord viene separata dal sistema di falde dell'Austroalpino ad opera del Lineamento Periadriatico (LP in Figura 4-2). L'avampaese della CSO è condiviso con la catena Appenninica settentrionale (Fantoni et alii, 2002; Zanferrari et al., 2008) e comprende la quasi totalità della pianura veneta orientale e friulana e l'offshore adriatico.

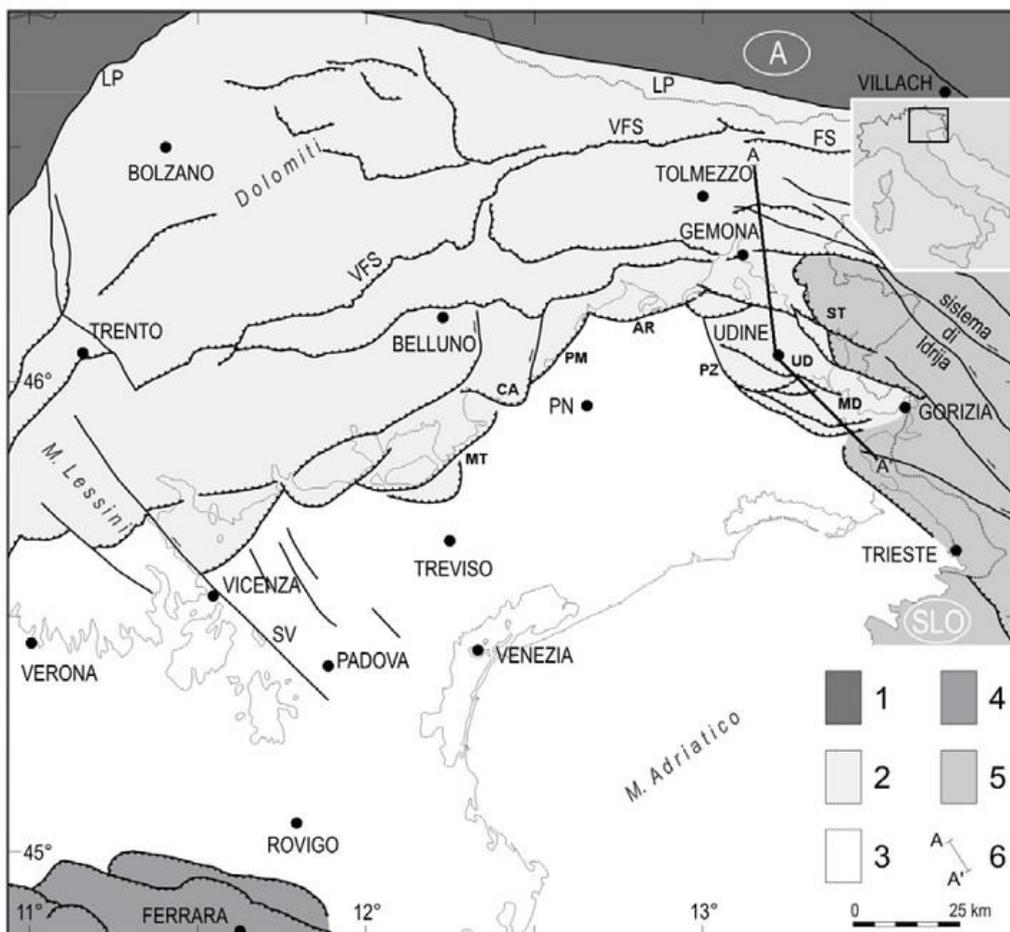


Figura 4-2 - L'area friulana nel quadro del sistema Alpi-Appennino. Legenda: 1-Austroalpino; 2-catena Sudalpina orientale; 3-avampase sudalpino orientale, condiviso con l'Appennino; 4-catena Appenninica settentrionale; 5-regione a prevalente strutturazione dinarica paleogenica; 6: AA' traccia del profilo di Figura 4-3 LP: Lineamento periadriatico; V e FS; sistema della faglia Valsugana-Fella-Sava; SV: faglia Schio-Vicenza; MT. Sovrascorrimento del Montello; CA. s. del Cansiglio; PM. s. Polcenigo Maniago; AR: s. Arba-Ragogna; PZ: s. di Pozzuolo; UD. S. di Udine; ST: s. Susans-Tricesimo; MD: s. di Medea. (modificato da Zanferrari et al., 2008).

L'attuale architettura della CSO è condizionata dalle eredità strutturali della tettonica estensionale e della paleogeografia mesozoiche (Bacino carnico-sloveno e Piattaforma carbonatica friulano-dinarica): comune è infatti l'inversione di faglie normali mesozoiche ad andamento attorno a NW-SE da parte di sovrascorrimenti dinarici cretacico-paleogenici. Ma ancora più grande è il condizionamento diretto operato dal sistema di unità tettoniche dinariche, che dalla Slovenia si estende fino alle Dolomiti orientali (Doglioni & Bosellini, 1987), sistema formatosi nel Cretacico superiore-Eocene.

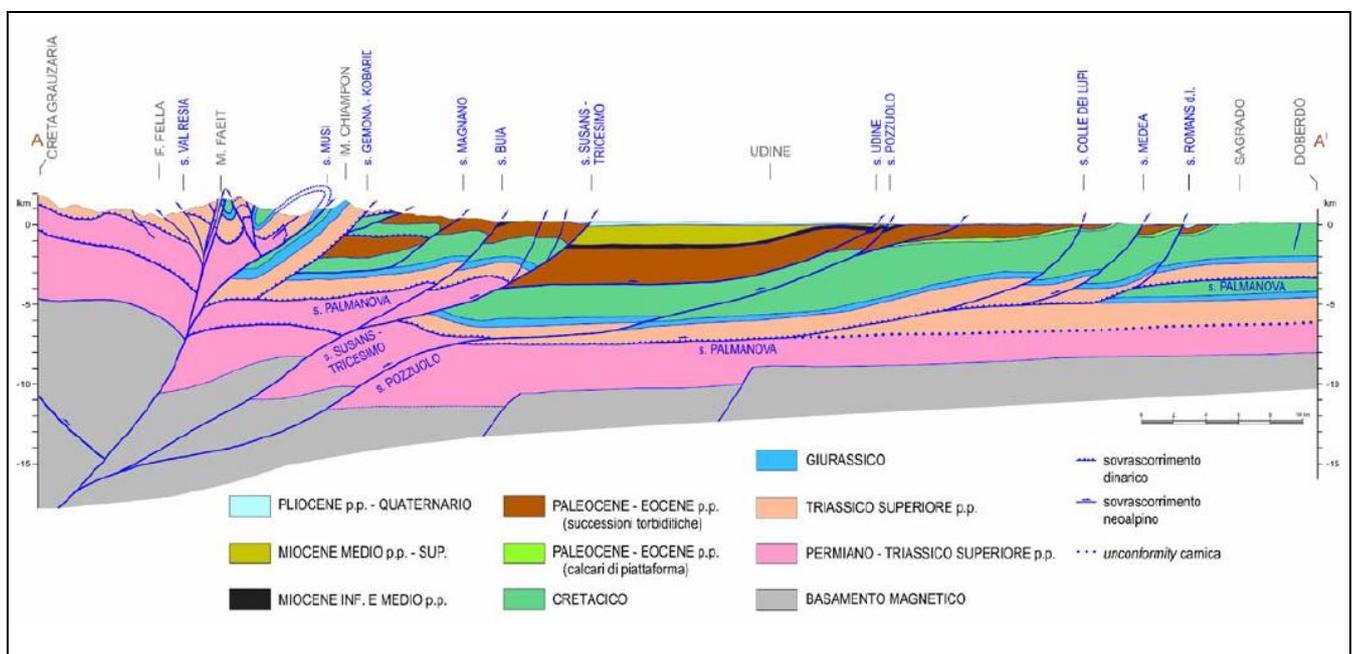


Figura 4-3 - Architettura del settore esterno della catena Sudalpina orientale tra la zona di Gemona del Friuli e il Carso (tracciato in Fig. 4-2). La sezione è stata realizzata sulla base di nuovi dati geologici e strutturali, inediti o acquisiti nell'ambito del Progetto CARG-FVG, tarate con pozzi AGIP Terenzano 1, Carnacco 1 e Lavariano 1. Andamento e profondità del tetto del basamento magnetico tratta da Cati et alii (1989a).

Il cuneo clastico quaternario: rapporti con il basamento, spessore e geometrie sepolte. Il cuneo sedimentario quaternario (qui inteso dal Calabriano all'Attuale) poggia in discordanza su terreni di varia età (del Pliocene, del Miocene e dell'Eocene), sigillando non solo importanti episodi di trasgressione e regressione marina, ma anche le flessurazioni che il substrato ha subito durante le fasi di propagazione della Catena Sudalpina orientale verso meridione. In particolare, nella fascia che va dal delta dell'Isonzo fino alla pianura posta a sud di Udine, il Quaternario poggia dapprima (porzione meridionale) sulle unità terrigene torbiditiche di età Paleogenica (Nicolich, 2004), poi risalendo la pianura fino alle località di Lavariano e Carnacco, sui terreni della "Molassa" neogenica.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 14 di 57

Per quanto riguarda l'evoluzione tettonica pliocenico-quadernaria, l'area friulana centrale è segnata in particolare dall'attivazione del sistema di sovrascorrimenti ciechi della pianura friulana e dall'intensa evoluzione di quelli al margine dei rilievi (in particolare: sistemi Arba-Ragogna e, soprattutto, Susans-Tricesimo, Figura 4-2), con effetti che si riflettono, in particolare, nelle forti variazioni di spessore della successione pleistocenica, che può passare da alcune centinaia di m fino a poche decine in corrispondenza dell'anticlinale di rampa frontale od obliqua dei sovrascorrimenti.

Le carte delle isopache e delle isobate del Quaternario mettono in luce un aumento dello spessore dei relativi depositi a partire da NE verso SW (Nicolich et al., 2004; Fontana et al., (in stampa). Nella pianura friulana orientale, che giace sul sistema di sovrascorrimenti sudalpini ciechi, lo spessore dei depositi pliocenico-quadernari è molto variabile in quanto influenzato dall'attività tettonica di tali faglie. In quest'area lo spessore in direzione sud-nord va da 0 m a Pozzuolo del Friuli a quasi 400 presso Reana del Rojale, ma con forti variazioni locali. Queste sono ancora più marcate in direzione ovest-est passando per Udine, con valori che non superano i 150 m (Zanferrari A. (coord.) 2008 a, c, e).

4.1.2 Inquadramento morfologico della pianura tardo pleistocenica-olocenica. I megafan fluviali.

Mentre ben conosciuta è l'evoluzione post ultimo massimo glaciale (LGM), scarse sono le notizie sulla litostratigrafia e sull'età dei depositi pre-LGM nel sottosuolo della pianura friulana, per mancanza di sondaggi geognostici profondi. Eccezione importante è il sondaggio Azzano X (profondità 262,50 m) che ha raggiunto terreni attribuibili al Pleistocene medio (Zanferrari et al., 2008f; Zanferrari A (coord.) 2008e). I principali fattori che hanno guidato formazione, evoluzione e modellamento della parte tardo-pleistocenica-olocenica della PFV sono legati a 1) l'evoluzione neogenico-quadernaria della catena sud-alpina orientale, di cui la PFV rappresenta l'avampaese; 2) le variazioni climatiche-ambientali (il glacialismo e il successivo innalzamento eustatico) che si sono succedute dal Pleistocene superiore all'Olocene e che hanno esercitato forti condizionamenti sulle modalità di aggradazione dei sistemi sedimentari fluviali; 3) l'attività antropica che nel corso degli ultimi millenni ha indotto importanti variazioni morfologiche nella pianura (Fontana et al., 2004). Durante il Quaternario recente i fiumi della PFV hanno formato sistemi deposizionali che si estendono con continuità dallo sbocco vallivo prealpino fino alla costa adriatica, formando una serie di conoidi alluvionali di estensione regionale o *megafan* (Fontana et al., 2008), che presentano una marcata differenziazione in senso longitudinale: le prime decine di chilometri a partire dallo sbocco vallivo fino alla fascia delle risorgive sono infatti ghiaiosi ed hanno pendenze comprese fra il 7 e il 3%, formando l'Alta pianura. Allontanandosi dalla zona prealpina, la diminuzione di

I sedimenti dei primi 30-50 metri presenti sono stati depositi prevalentemente durante il Pleistocene superiore a seguito dell'azione dei torrenti fluvio-glaciali che, caratterizzati da una portata sia fluida che solida notevole, fuoriuscivano dalle fronti glaciali durante l'ultimo massimo glaciale (LGM, per l'Italia fra i 25.000 e i 15.000 anni fa). La notevole differenziazione tessiturale che distingue l'alta pianura dalla bassa pianura si è venuta a delineare proprio durante l'LGM, quando gli scaricatori glaciali, all'epoca non confinati lateralmente in solchi di incisione, deponavano i materiali ghiaiosi a poche decine di km dalle fronti glaciali. Dopo il raggiungimento dell'acme dell'LGM (circa 18.000 anni BP, fase pleniglaciale: Orombelli e Ravazzi, 1996) i ghiacciai cominciarono la loro fase di arretramento, abbandonando le morene più esterne (fase cataglaciale con età compresa fra i 18.000 e i 15.000 anni BP). Il riscaldamento portò al rilascio di un'enorme quantità di acqua e detriti prima immobilizzati dai ghiacciai: fu questa l'ultima fase di aggradazione per la PFV (Mozzi 1995, Fontana 2002).

Tra la fine del periodo pleniglaciale e l'Olocene i megafan iniziarono ad essere disattivati attraverso un processo di incisione dell'apice: questo processo, riconosciuto a livello lungo tutto il margine alpino (Bondesan et al., 2002) portò alla stabilizzazione morfologica di tutta l'alta pianura e al confinamento dell'attività fluviale entro profonde scarpate fluviali incise nelle alluvioni dell'alta pianura e allo spostamento dell'area di deposizione nella zona più meridionale (conoidi telescopici polibasici).

Come esempio per la pianura friulana, si osserva che, con la fine del LGM, il Tagliamento, il Corno di San Daniele e il Cormor (tre fra i principali scaricatori glaciali del ghiacciaio del Tagliamento), hanno cominciato una fase di profonda incisione nell'alta pianura rispettivamente fino all'altezza di Valvasone (PN), Mereto di Tomba (UD) e Pozzuolo del Friuli (UD), mentre a valle hanno sedimentato sulla superficie pleniglaciale originando così dei megafan polifasici. Il sistema del Tagliamento è tuttora attivo, mentre gli altri due sono stati completamente disattivati nel tardiglaciale (15.000 – 10.000 BP) (Fontana et al., 2004). Durante il tardiglaciale si verificarono alterni periodi climatici con brevi fasi caratterizzate da condizioni quasi glaciali, che crearono instabilità nei sistemi fluviali.

Tale situazione perdurò fino al Dryas recente (12.000 – 9.500 a.C.), dopo il quale si instaurarono condizioni climatiche confrontabili con le attuali. Verosimilmente la riforestazione dei versanti alpini, iniziata nel postglaciale e conclusasi nell'Olocene iniziale, rese maggiormente stabili i versanti, limitandone l'erosione da parte delle acque di dilavamento.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 17 di 57

4.2 Inquadramento geologico locale

Il territorio oggetto di indagine occupa una porzione dell'Alta Pianura friulana e deve la sua origine ai sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali depositati nel würmiano dagli scaricatori drenanti il complesso glaciale tilaventino ed i cui relitti sono individuabili negli attuali torrenti Torre e Cormor.

Depositi fluvioglaciali ed alluvionali

In Figura 4-5 viene riportata la carta geologica del P.R.G.C. del comune di Pavia di Udine. La tratta in esame è stata evidenziata in verde e si può notare come quest'ultima intersechi sedimenti fluvioglaciali della pianura prevalentemente ghiaioso sabbiosi lungo tutto il tracciato di interesse, ad eccezioni degli ultimi 260 m circa in cui sono presenti sedimenti fluvioglaciali prevalentemente medio-fini il cui spessore, risulta comunque piuttosto modesto.

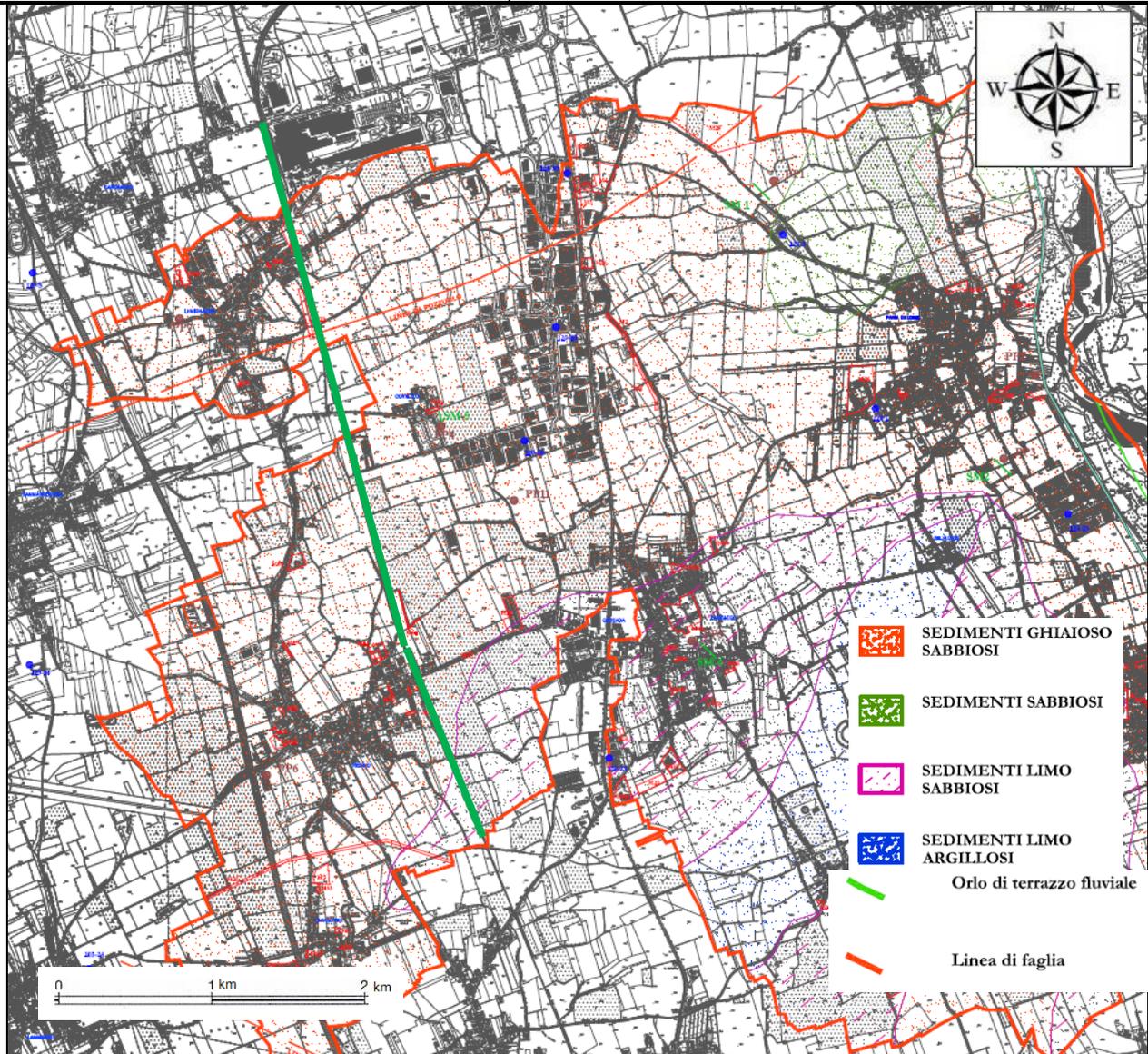


Figura 4-5 – Stralcio non in scala della carta geologica del Comune di Pavia di Udine e relativa legenda (anno 2013, scala originale 1:10.000). In verde è evidenziata la tratta ferroviaria oggetto di interventi.

Vengono definiti "fluvioglaciali" (Figura 4-5) quei sedimenti trasportati e depositi dalle correnti generate dall'acqua di fusione glaciale. Sono costituiti principalmente da ghiaia e sabbia ed in subordine da limo ed argilla (la frazione fine è di norma inferiore al 20 %). Questi depositi costituiscono la maggior parte dei bacini dei Tresemane marcandone il legame con l'idrografia collegata all'apparato glaciale würmiano. I depositi fluvioglaciali sono parzialmente coperti da materiali alluvionali di origine più recente e pertinenti alle antiche superfici di spaglio dei torrenti Cormor, ad occidente, e Torre ad oriente. Per quanto riguarda la litologia circa l'80% dei clasti che

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 19 di 57

compongono questi depositi è di origine carbonatica. Le dimensioni degli elementi grossolani, caratterizzati da un elevato grado di arrotondamento, sono estremamente variabili; le classi granulometriche più rappresentate sono comunque quelle comprese fra gli intervalli 2÷6 e 10÷15 cm. Le acque, che si infiltrano dalla superficie e che attraversano la coltre alluvionale, compiono evidenti azioni chimiche di cementazione per l'abbandono dei carbonati di calcio e magnesio solubilizzati nell'attraversare la massa ghiaiosa.

In Figura 4-6 viene riportata la carta geologica riguardante l'area oggetto di studio in cui è stata evidenziata in rosso la tratta di interesse, la quale interseca i sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali (Pleistocene) della Pianura. Questi costituiscono i corpi quaternari più estesi della pianura friulana. La loro genesi si deve al deposito di materiale prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi, specie nella parte alta della pianura, operato dai fiumi di importanza regionale (specie Cormor, Corno e Tagliamento). Essi defluivano dalla catena alpina ed erano oltremodo carichi di materiali detritici di varia natura e pezzatura specie al ritiro delle masse glaciali che ne coprivano gran parte della superficie. La loro deposizione è avvenuta secondo le leggi della selezione granulometrica nel grande contenitore destinato ad accogliere la futura pianura friulana. La continuità laterale dei depositi fluvioglaciali ed alluvionale pleistocenici è interrotta dalla deposizione dei sedimenti olocenici ed attuali operata dal divagare più recente dei principali fiumi regionali al loro sbocco in pianura. Il limite inferiore di questi corpi sedimentari è dato da una superficie erosiva di genesi alluvionale, mentre il limite superiore è dato in parte dal top deposizionale originario parzialmente rimodellato ed in parte da una superficie di erosione di natura alluvionale modellata dai torrenti Cormor e Torre nel postglaciale.

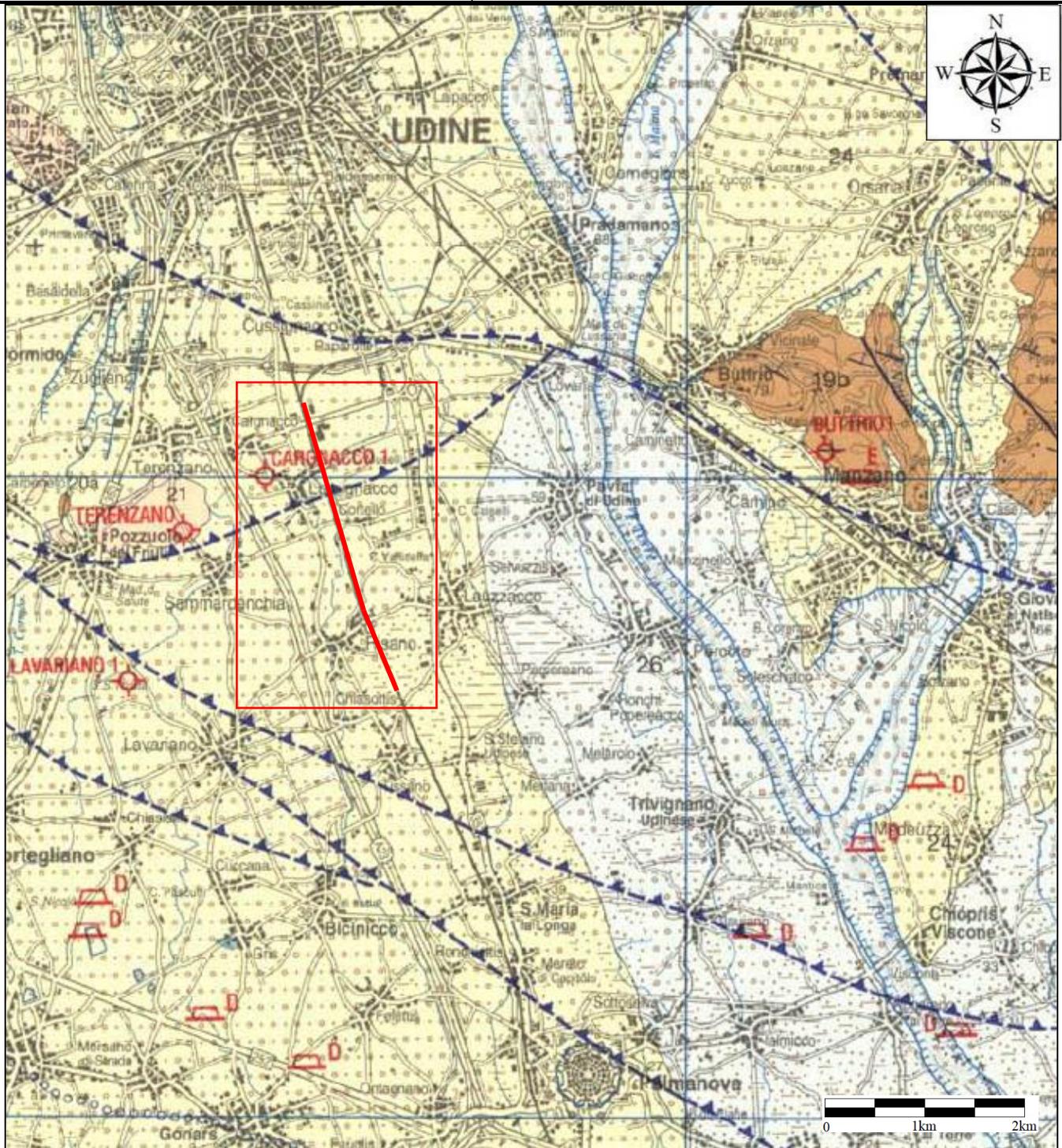


Figura 4-6 – Stralcio, non in scala, della Carta Geologica del Friuli Venezia-Giulia (scala originale 1:150.000, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell’Università di Trieste, anno 2006).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

27	Sedimenti palustri e lacustri, talora torbosi. <i>Swamp and lake deposits, sometimes peat. Olocene - Attuale</i>
26	Sedimenti alluvionali del settore montano, della pianura e litoranei. <i>Mountain, plain and littoral alluvial sediments. Olocene - Attuale</i>
25	Sedimenti alluvionali del settore montano. <i>Fluvioglacial and alluvial sediments of the mountains. Pleistocene sup.- Olocene</i>
24	Sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali della pianura. <i>Fluvioglacial and alluvial sediments of the alluvial plain. Pleistocene sup.</i>
23	Depositi glaciali del settore montano e dell'anfiteatro morenico del Tagliamento. <i>Mountain tills and Tagliamento terminal moraines tills. Pleistocene sup.</i>
22	Detriti di falda antichi. <i>Ancient scree slope deposits. Pleistocene l.s.</i>
21	Conglomerati alluvionali poligenici ed eterometrici ad abbondante matrice e cemento carbonatico (<i>Conglomerato del Tagliamento ed altri depositi del Supersistema del Friuli</i>). <i>Polygenic and heterometric alluvial conglomerates with abundant carbonate matrix and cement. Pleistocene inf. e medio</i>

Figura 4-7 – Legenda dei depositi quaternari riportati nella Carta Geologica del Friuli Venezia-Giulia (scala originale 1:150.000, Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell'Università di Trieste, anno 2006).

4.3 Inquadramento geomorfologico

Il territorio del Comune di Pavia di Udine presenta una morfologia sub-pianeggiante e regolare, si estende nell'alta pianura al di sopra delle risorgive e vede il suo territorio lambito dal torrente Torre. Il terreno si trova ad una quota variabile approssimativamente fra i 50 m l.m.m. nella porzione sud ed ai 75 m l.m.m. nella porzione nord del territorio. La prossimità al torrente Torre, che costeggia il territorio est del Comune, spiega facilmente le caratteristiche dei terreni alluvionali presenti sul territorio.

Nell'area oggetto di studio i dati geomorfologici che testimoniano un'attività tettonica recente sono difficilmente acquisibili, a causa della recente storia geologica della catena alpina, fortemente condizionata dai processi erosivi e deposizionali legati all'ultimo massimo glaciale. L'attività glaciale, infatti, ha cancellato le evidenze di tettonica recente e la sedimentazione post-glaciale è stata caratterizzata da ratei sicuramente superiori ai tempi di movimento delle faglie.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 22 di 57

Una volta ritiratosi il ghiacciaio, lo scorrimento delle acque superficiali è stato ed è tuttora l'agente che più interviene sulle superfici topografiche del territorio oggetto di studio. È stato cartografato il reticolo drenante che mette in evidenza la struttura principale con il Torrente Torre, che lambisce il territorio comunale nella parte orientale con una direzione NW-SE e nella parte occidentale il Torrente Cormor del quale sono stati rilevati terrazzi che ha formato in momenti diversi.

4.3.1 *Idrografia*

4.3.1.1 Fiume Torre

Il Fiume Torre rappresenta il principale corso d'acqua presente nel territorio oggetto di studio. Esso segue un percorso meridiano da nord a sud e dopo aver superato i depositi morenici, entra nelle alluvioni dell'Alta Pianura friulana dove, in relazione all'elevata permeabilità del materasso alluvionale, le sue acque vengono completamente assorbite andando ad alimentare la falda freatica. Pertanto, in condizioni normali, l'alveo risulta completamente asciutto anche in corrispondenza del previsto sbocco della condotta di deviazione del rio Tresemane. Il Torre mantiene un largo alveo di magra con banchi di alluvioni divaganti e vere isole ricoperte di vegetazione al centro del letto ordinario che danno vita a più bracci di deflusso di magra. L'alveo diviene più incassato anche per la notevole attività estrattiva che caratterizza l'intera tratta tra Povoletto e S. Gottardo; si possono rilevare vaste e profonde discariche per inerti (almeno 10 metri al di sotto del piano strada) che consentono di appurare l'assenza di una falda superficiale al di sotto del fondo alveo ghiaioso del Torre. In destra orografica si segnala l'arginatura in terra che risulta rilevata sulla campagna circostante di circa 2,0- 3,0 m, e di circa 6-7 m dall'attuale alveo del torrente. A valle del ponte di S. Gottardo l'alveo ordinario di magra rimane solo leggermente incassato rispetto alle aree golenali che, di limitata larghezza e interessate da fitta vegetazione sono racchiuse da argini di circa 5 metri di altezza. Studi e calcoli sul regime di portata del T. Torre sono state effettuate prendendo la chiusura del bacino a Zompate e si sono ricavati degli ideogrammi di piene per precipitazioni di diversa durata e intensità costante e altri studi recenti per la determinazione del trasporto solido prendono, per un tratto a valle della soglia a Zompate, come valore medio di portata del T. Torre pari a 459 m³/s. per un Dr = 20 anni.

4.3.1.2 Torrente Cormor

Il Cormor sbocca in pianura all'altezza di Tavagnacco e, con un corso ancora tortuoso, prosegue verso sud passando ad ovest di Pavia di Udine. La valle del Cormor risulta incisa in depositi morenici o fluvio-glaciali e limitata da vari ordini di terrazzi. I più rilevanti, dal punto di vista dimensionale, raggiungono dislivelli sull'ordine

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 23 di 57

dei 40 - 50 m.; i bordi sono in genere netti, in particolare nella zona meridionale e centrale, mentre nella zona settentrionale si presentano localmente più arrotondati, sia in relazione ad effetti erosivi che evidenti interventi antropici. Nel fiume stesso sono stati inoltre operati una serie di interventi di rettifica e canalizzazione, allo scopo di limitare gli effetti dell'attività erosiva laterale; sono stati realizzati infatti muri spondali, argini di rettifica e briglie a valle del ponte di Case Cormor e di quello tra Tavagnacco e Pagnacco. Sono molto diffusi, ai margini della valle, i terrazzamenti artificiali legati alle attività agricole

4.3.1.3 Rio Tresemane

Il Tresemane fa parte dei corsi d'acqua, spesso effimeri, denominati "lavie". Vengono con questo termine indicati i rii che scendono lungo i versanti meridionali dei rilievi collinari che formano le cerchie più esterne dell'Anfiteatro morenico dei Tagliamento e, con direzione prevalente Nord-Sud, si disperdono nella pianura pedemorenica progressivamente assorbiti dalla coltre di materiale clastico. Caratteristica comune di questi corsi d'acqua, ben evidenziata dal Tresemane, è quella di mantenersi indipendenti l'uno dall'altro e dai collettori maggiori. La morfogenesi di questi modesti corsi d'acqua è strettamente collegata al "ciclo di vita" dell'imponente apparato glaciale würmiano dei Tagliamento. Le attuali "lavie" si sono infatti impostate lungo le linee di deflusso dei minori scaricatori drenanti le acque di fusione della fronte glaciale. Gli alvei sono normalmente asciutti, talché nel tratto inferiore vengono utilizzati come vie campestri. Nei periodi di piogge sovrabbondanti, si riempiono repentinamente d'acqua che convogliano nel piano, allagandone qualche tratto più o meno vasto. Il territorio comunale è interessato per un breve tratto dal Rio, quello finale, che in tempi passati era oggetto di allagamenti nelle vie campestri e campi tanto da delimitare e vincolare aree a pericolo inondazione.

4.3.1.4 Corsi d'acqua minori

Il territorio posto tra il rio Tresemane ed il torrente Torre è solcato da canali artificiali: da quest'ultimo, fra Zompitta e Savorgnano, prende origine il "Canale Principale" che a sud di Cortale si suddivide in due rami, la *Roggia di Palma* a ovest e la *Roggia di Udine* a est. Questi canali, di cui si hanno notizie a partire dal XII - XIII secolo, sono stati realizzati per portare acqua a una campagna, altrimenti arida, e alla città di Udine. La loro portata pressoché costante consentiva fino a tempi relativamente recenti il funzionamento di numerosi mulini ed opifici di cui resta traccia nella toponomastica locale e in qualche edificio superstite. Oltre alle citate rogge si segnala il Roiello di Pradamano che corre nella parte orientale del territorio comunale e che entra nel Comune di Pradamano lambendo il confine orientale del Comune di Udine.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 24 di 57

4.4 Inquadramento idrogeologico

La pianura friulana è costituita da una potente coltre di materiali alluvionali depositati prevalentemente nel corso dell'era quaternaria, derivanti dall'erosione dei bacini montani dopo l'ultima glaciazione.

Dal punto di vista idrogeologico, il territorio della pianura friulana, viene usualmente suddiviso in tre zone:

- l'Alta pianura, costituita da materiali fluvio-glaciali e fluviali prevalentemente grossolani e che può essere schematizzata come un esteso materasso ghiaioso caratterizzato da elevati valori di permeabilità ($10^{-2} \div 10^{-4}$ m/sec). Tale materasso ghiaioso è sede di un grande acquifero freatico indifferenziato la cui profondità della falda è massima nelle aree più settentrionali vicine al piede dei versanti montani (anche 70÷80 m da piano campagna), per avvicinarsi progressivamente alla superficie topografica procedendo verso sud, fino ad emergere in corrispondenza della Fascia delle Risorgive. I meccanismi di alimentazione del grande acquifero freatico presente nell'Alta Pianura sono legati sia alla dispersione idrica dagli alvei dei corsi d'acqua principali che incidono, come già detto, su terreni ad elevata permeabilità, sia alle precipitazioni atmosferiche ed alla circolazione idrica sotterranea proveniente dai massicci alpini settentrionali. In virtù dei suddetti meccanismi di alimentazione che assicurano un'ingente ricarica dell'acquifero freatico, la falda sotterranea dell'Alta Pianura è largamente sfruttata dai comuni della zona assicurando portate notevoli in modo continuativo. Il deflusso sotterraneo della falda avviene sostanzialmente da nord verso sud.
- la Media pianura, caratterizzata da una contemporanea presenza di materiali fluviali e fluvio-glaciali grossolani da ghiaiosi a ghiaioso-sabbiosi e di altri esclusivamente fluviali più prettamente sabbiosi e sabbioso-argillosi. Poiché i terreni più fini meno permeabili rappresentano un progressivo sbarramento al naturale deflusso verso il mare della falda freatica dell'Alta Pianura, le acque sotterranee sono costrette a venire a giorno in corrispondenza della Media Pianura, tramite risorgive, e continuare il loro moto in superficie incanalandosi nei così detti corsi di risorgiva. Da ciò deriva il nome dato a quest'area di "Fascia delle Risorgive".
- la Bassa Pianura, costituita in prevalenza da terreni sabbiosi e argillosi. I livelli sabbiosi sono sede di acquiferi di limitata estensione areale, la cui alimentazione è attribuibile principalmente alla dispersione dei corsi d'acqua laddove essi scorrono su terreni permeabili e alla lenta infiltrazione di acque meteoriche che vengono scambiate fra i terreni sabbiosi e quelli meno permeabili circostanti

La tratta ferroviaria oggetto di studio è situata nell'Alta pianura centro orientale (Figura 4-8, Figura 4-11), costituita dunque in prevalenza da ghiaie e sabbie di varia granulometria, talora cementate in forma di conglomerati, caratterizzate da valori di permeabilità da medi a medio-alti.

In Figura 4-11 è stata rappresentata una sezione idrogeologica schematica dell'Alta e Bassa Pianura Friulana, in cui sono stati rappresentati i depositi permeabili ed impermeabili. Le acque meteoriche e le acque disperse dai corpi idrici superficiale provenienti dalle aree montane vanno a costituire, nell'Alta pianura, una ricca falda freatica indifferenziata, continua, che si trova ad una profondità variabile tra 100 e 40 m dal p.c., diventando sempre più superficiale, verso meridione, fino ad emergere dando origine alla linea delle risorgive (Figura 4-8 e Figura 4-9). I depositi in cui è contenuta la falda freatica appartengono ai sistemi deposizionali fluviali e fluvio-glaciali di età pliocenico-quadernaria del Tagliamento, del Torre e del Natisone, mentre i limiti idrogeologici dell'acquifero sono rappresentati dalle formazioni impermeabili terziarie su cui poggiano i depositi continentali pliocenico-quadernari. La Figura 4-9 è una rappresentazione semplificata dell'andamento della superficie piezometrica della falda freatica contenuta nell'alta pianura tra il Tagliamento ed il Torre-Natisone.

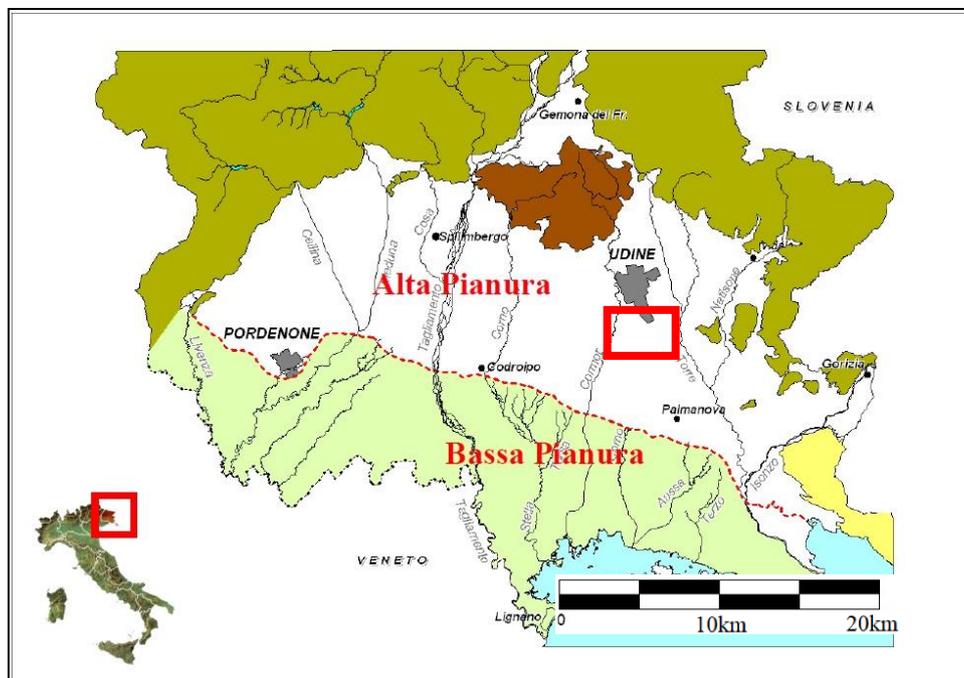
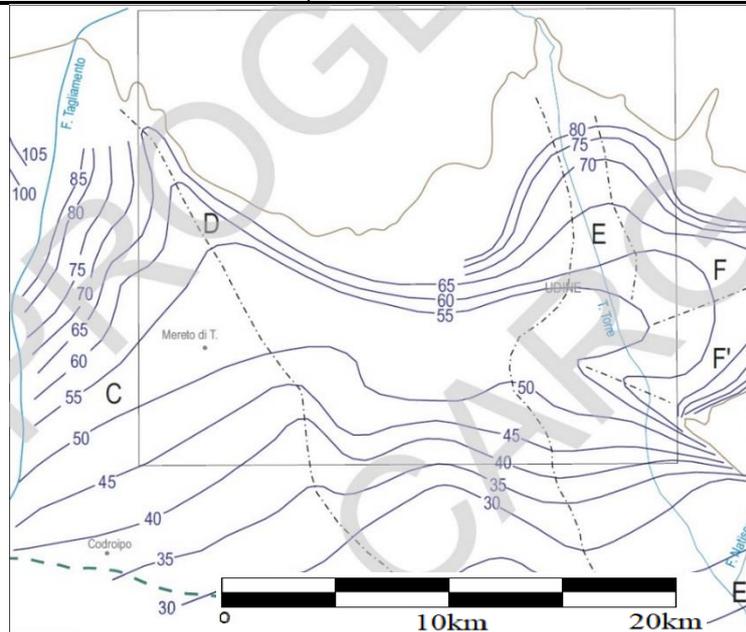


Figura 4-8 - Pianura Friulana (il tratteggio in rosso indica la linea delle risorgive). Il rettangolo rosso indica l'area di studio. Immagine non in scala.



- isofreatiche dell'altezza media della falda (m slm)
- - - limite superiore della fascia delle risorgive

Figura 4-9 – Alta Pianura Friulana, andamento delle isofreatiche durante un periodo di piena della falda (14 - 16 aprile 1975) (da Stefanini, 1978, modificata).

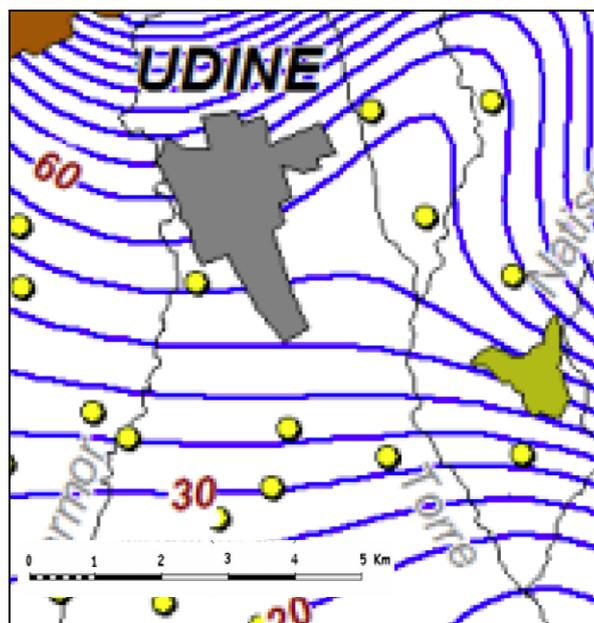


Figura 4-10 – Stralcio della Carta delle isofreatiche (Life Project - Elaborazione preliminare modello idrogeologico concettuale area di ricarica naturale della falda freatica).

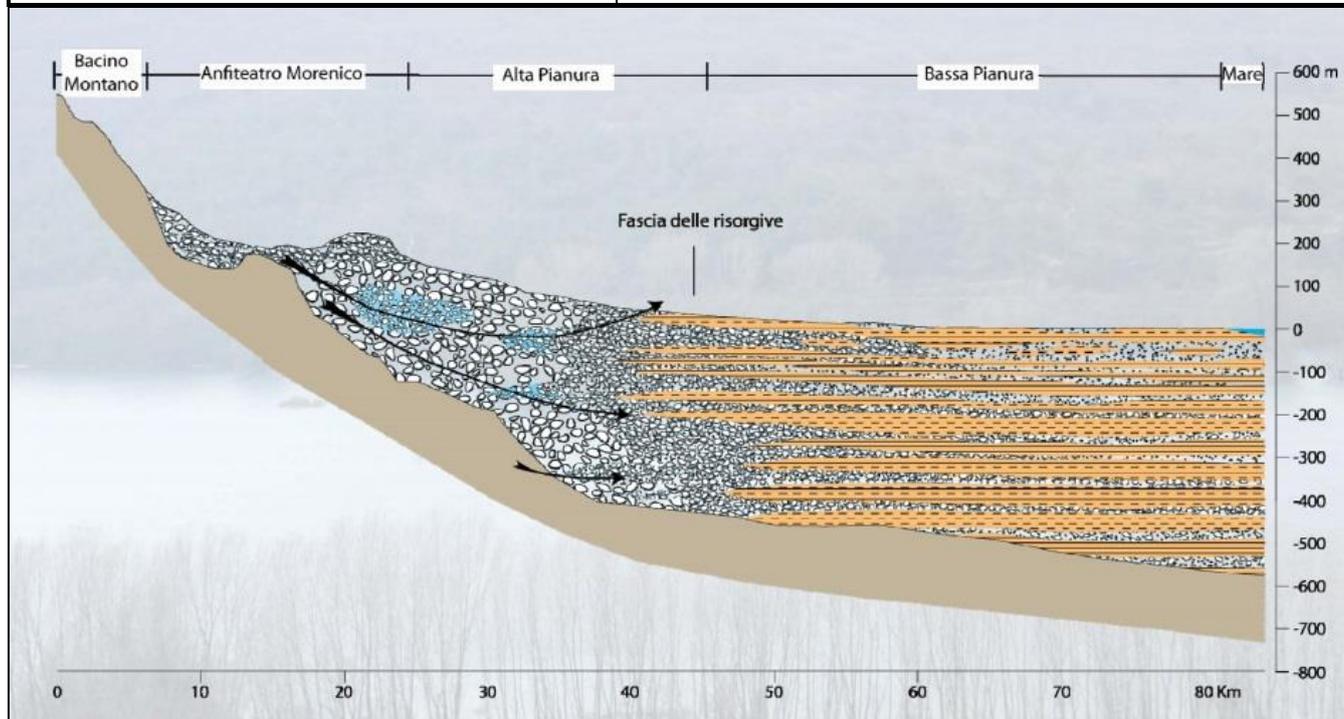


Figura 4-11 – Sezione idrogeologica schematiche dell’Alta e Bassa Pianura Friulana. Interdigitazione dei sedimenti nella pianura veneto-friulana: in celeste i depositi ghiaiosi e sabbiosi permeabili in cui risiedono la falda ed i sistemi acquiferi artesiani, in arancione i depositi limoso-argillosi impermeabili, in beige il basamento prequaternario. Le frecce indicano le direzioni preferenziali di flusso.

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 28 di 57

5 ANALISI DEL RISCHIO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Per quanto concerne i rischi di natura geologica e geomorfologica è stata analizzata la cartografia tematica resa disponibile dal Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, nell'ambito dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali. In particolare, è stato preso in considerazione il PAI del bacino idrografico del fiume Isonzo, consultabile, per quel che riguarda i suddetti rischi al sito web http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/geo_isonzo.html.

Dal momento che nelle aree dei comuni di Pavia di Udine e di Pozzuolo del Friuli non sussistono criticità geologiche e geomorfologiche potenziali o in atto, non è stato redatto, per esse, alcuno stralcio cartografico.

Il tracciato ferroviario oggetto di studio, inoltre, si sviluppa interamente in area pianeggiante e lontano da versanti soggetti a tali fenomeni.

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO

6.1 Premessa

I dati stratigrafici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze delle campagne di indagini geognostiche in sito eseguite sia durante la presente fase progettuale, sia in passato per il “*Progetto Preliminare del Raddoppio della linea Palmanova–Udine, tratta Strassoldo–Bivio Carnacco*” (Italferr, anno 2015). Inoltre, è stata consultata la stratigrafia del pozzo 161749 resa disponibile dalla banca dati nazionale del sottosuolo dell’ISPRA (stratigrafia riportata in Appendice). Per l’ubicazione delle suddette indagini si rimanda alla Carta Geologica allegata allo studio (IZ0900D69NZGE0001001A) e ad alla ortofoto di Figura 6-1 che illustra le ubicazioni dei sondaggi geognostici di riferimento.

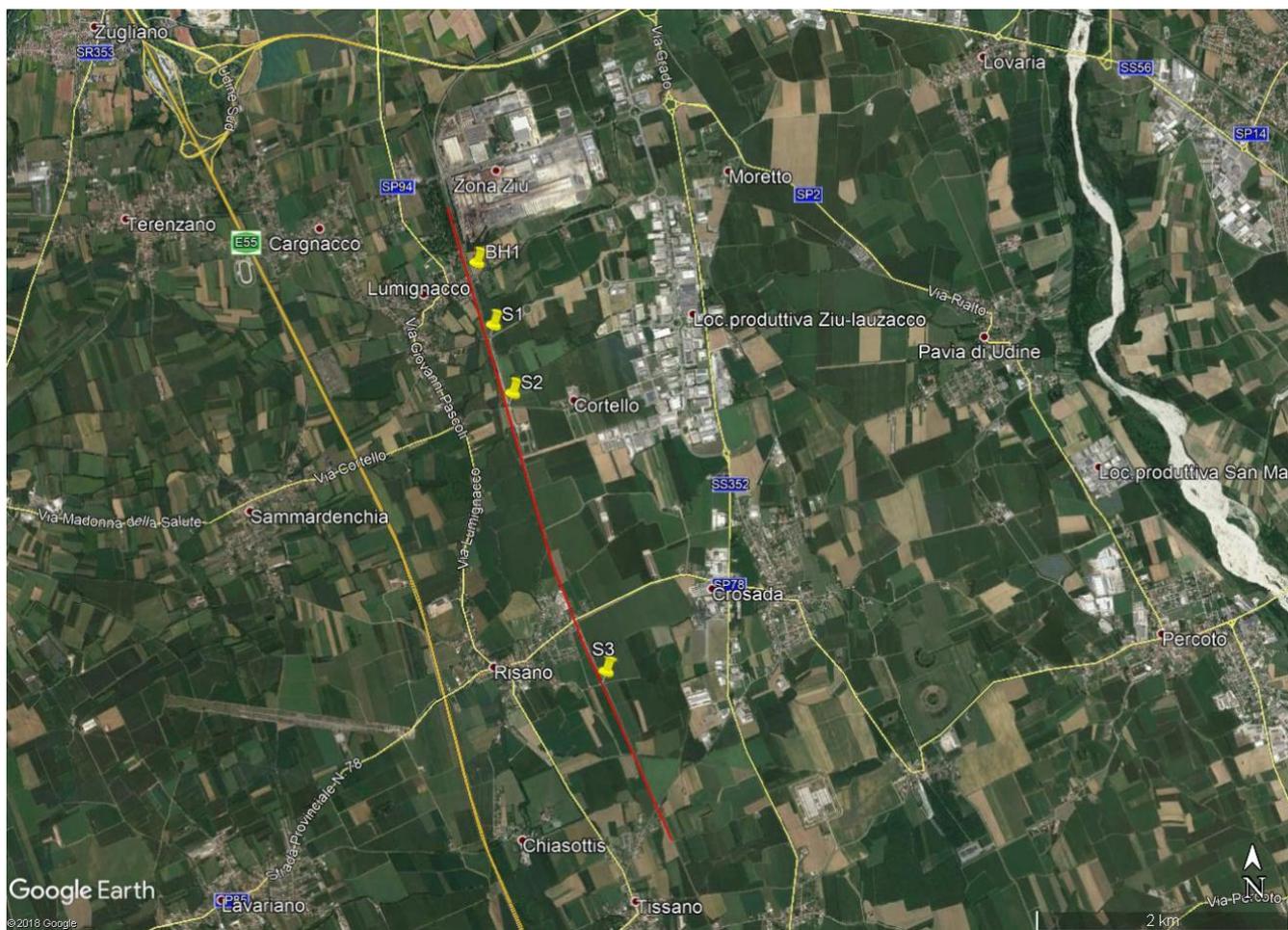


Figura 6-1 – Ubicazione dei sondaggi geognostici di riferimento su immagine aerea (Google Earth)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

6.1.1 Indagini eseguite nel 2015 per il “Progetto Preliminare del Raddoppio Palmanova-Udine, tratta Strassoldo-Bivio Carnacco”

Le indagini geognostiche eseguite nel 2015 per la linea Palmanova–Udine, tratta Strassoldo–Bivio Carnacco (UD) comprendono:

- n 3 sondaggi a carotaggio continuo, con esecuzione di prove in foro, ed installazione di piezometro Casagrande per il sondaggio S1, piezometro tubo aperto per il sondaggio S3 e tubazione per esecuzione di indagini geofisiche nel sondaggio S2;
- n°2 prove MASW eseguite in prossimità del sondaggio S1 e del sondaggio S3;
- n°1 prova Down-hole eseguita nel foro di sondaggio S2;
- n°4 stese di tomografia geoelettrica (ERT1÷4) ciascuna con lunghezza di 230 m lineari.

In Tabella 6-1 è riportata la profondità dei sondaggi effettuati, la data di esecuzione, la quota e le coordinate, mentre in Tabella 6-2 è riportata la posizione delle prove geofisiche effettuate. I risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione dei sondaggi nel 2015 sono riportati in

Tabella 6-3.

Tabella 6-1 - Ubicazione dei sondaggi eseguiti nell’anno 2015

Sondaggi					
Nome	Profondità (m dal p.c.)	Data esecuzione	Quota (m s.l.m.)	Coordinate	
				E	N
S1	40	Novembre 2015	71	13°15'8.35"E	45°59'46.05"N
S2	30	Novembre 2015	68	13°15'15.12"E	45°59'28.88"N
S3	30	Novembre 2015	56	13°15'49.28"E	45°58'17.35"N

Tabella 6-2 – Ubicazione delle prove geofisiche eseguite nell’anno 2015

Prove geofisiche				
ID	Quota (m s.l.m.)	Coordinate		VsEq.
		E	N	
MASW 1	69	13.252267°	45.996487°	326
MASW 3	54	13.263425°	45.971354°	407
Down-Hole 2	68	13°15'15.12"E	45°59'28.88"N	391
ERT 1	73	13°15'3.48"E	45°59'57.51"N	-
ERT 2	64	13°15'22.23"E	45°59'9.21"N	-
ERT 3	58	13°15'35.33"E	45°58'41.54"N	-
ERT 4	52	13°16'0.99"E	45°57'58.87"N	-

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 6-3 – Risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione dei sondaggi eseguiti nell’anno 2015

Profondità prova (m)	S1 (Nspt)	S2 (Nspt)	S3 (Nspt)
3	R	54	38
6	R	R	R
9	82	72	R
12	R	R	R
15	R	R	R
18	71	81	49
21	R	R	71
24	92	78	62
27	R	R	R
30	78	-	-
33	69	-	-
36	R	-	-
39	R	-	-

6.1.2 Indagini eseguite nel 2019

Le indagini effettuate da Italferr nel 2019 a supporto della presente progetto comprendono:

- n.1 sondaggio a carotaggio continuo (BH1) con esecuzione di prove in foro ed installazione di un piezometro di tirpo Norton;
- n. 2 prove MASW, HVSR e Re.Mi di cui una eseguita in prossimità del sondaggio BH1 ed una tra il sondaggio S1 ed S2;
- n°1 stese di tomografia geoelettrica (ERT_PD_4) con lunghezza di 230 m lineari.

In Tabella 6-4 si riporta l’ubicazione del sondaggio eseguito, in Tabella 6-5 i risultati delle prove SPT eseguite durante il sondaggio, in Tabella 6-6 l’ubicazione delle prove geofisiche.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 6-4 – Ubicazione dei sondaggi effettuati per la progettazione definitiva eseguito nel 2019

Sondaggi					
Nome	Profondità (m dal p.c.)	Data esecuzione	Quota (m s.l.m.)	Coordinate	
				E	N
BH1	30	Aprile 2019	65.0	46°00'02.367" N	13°15'02.12" E

Tabella 6-5 – Risultati delle prove SPT eseguite durante la perforazione del sondaggio BH1

Profondità prova (m da p.c.)	Nspt
2	6
4.3	R
7	R
9	R
11	R
14	77
20.4	82
25.7	70
26.5	R
28.7	81

Tabella 6-6 – Ubicazione delle prove geofisiche effettuate

Prove geofisiche				
Nome	Quota (m s.l.m.)	Coordinate		VsEq (m/s)
		E	N	
MASW_BH1	73	13°15'2.25"E	46° 0'2.10"N	440
MASW_PD 2	70	13°15'12.24"E	45°59'37.60"N	416
Re.Mi._BH1	73	13°15'2.25"E	46° 0'2.10"N	440
Re.Mi._PD 2	70	13°15'12.24"E	45°59'37.60"N	416
HVSR_BH1	73	13°15'2.25"E	46° 0'2.10"N	-
HVSR_PD 2	70	13°15'12.24"E	45°59'37.60"N	-
ERT_PD_4				

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

7 STRATIGRAFIA DI DETTAGLIO LUNGO IL TRACCIATO

Le stratigrafie disponibili hanno consentito l'elaborazione di un profilo geologico di riferimento lungo il tracciato della linea oggetto di interventi. Tale profilo è illustrato nell'elaborato IZ0900D69NZGE0001001A "Carta e profilo geologico" e descritto in dettaglio nel presente paragrafo.

L'area di studio è dominata dai depositi fluvioglaciali della pianura prevalentemente grossolani (Pleistocene sup.). In particolare, partendo dalla p.k. 5+600, la prima stratigrafia a disposizione, ovvero quella del pozzo 161749 (vedi allegato al presente elaborato), individua, al di sotto di un primo strato superficiale di terreno vegetale, ghiaie sabbiose fino a notevole profondità (51 m da p.c., profondità non rappresentata nel presente profilo); le ghiaie sono intervallate da alcuni livelli cementati definiti come conglomerati, in particolare tra 26 e 33 m da p.c.. Proseguendo lungo il tracciato il sondaggio BH1, al di sotto di un sottile strato di riporti, individua dapprima sabbie ghiaiose sino a circa 2 m da p.c., seguite da un livello limoso sabbioso di circa 2 m di spessore, e poi da ghiaie sabbiose sino alla massima profondità investigata di 30 m da p.c.. Anche il successivo sondaggio S1, posto alla p.k. 7+400, rinviene esclusivamente ghiaie sabbiose sino a 30 m da p.c., intervallate da alcuni spessori molto limitati di sabbie limose. Analogamente il successivo sondaggio S2, al di sotto di circa 2 m di materiale limoso argilloso, individua ghiaie sabbiose sino a 30 m da p.c., con un livello in matrice più limosa tra 9 e 12 m. L'assetto stratigrafico è confermato infine dal sondaggio S3, che anche in questo caso, al di sotto di un livello ghiaioso in matrice limosa di circa 3 m di spessore, ghiaie sabbiose sino a 30 m da p.c., con un livello tra 27 e 29 m di conglomerato.

Riassumendo quanto emerso dall'elaborazione dei profili dunque, l'intera tratta oggetto di studio è impostata su depositi fluvioglaciali a granulometria grossolana, con alcuni livelli superficiali di materiale più fine, e lenti conglomeratiche a distribuzione non uniforme. In superficie la cartografia geologica bibliografica, ovvero sia la Carta Geologica del Friuli-Venezia Giulia, sia la cartografia geologica redatta per il PRGC del comune di Pavia del Friuli, riportano un'area composta da depositi fluvioglaciali prevalentemente medio-fini tra le p.k. 10+350 e 10+600.

7.1 Permeabilità dei terreni e quote di falda lungo la tratta

Come già accennato l'area è costituita da depositi prevalentemente grossolani, caratterizzati da permeabilità da media ad elevata. Al fine di determinare la permeabilità del terreno nell'area di studio, oltre ai dati bibliografici a disposizione, sono state considerate le prove di permeabilità Lefranc a carico variabile eseguite sia nei fori di

sondaggio realizzati nel 2015 (S1 e S3), sia nel sondaggio eseguito a supporto del presente progetto definitivo (BH1). Le prove nel sondaggio BH1 sono state eseguite alle profondità di 1 e 3 m dal p.c. ed hanno restituito rispettivamente valori medi del coefficiente di permeabilità k di $1.43 \cdot 10^{-5}$ m/s e $1.723 \cdot 10^{-4}$ m/s; mentre dalle prove eseguite nei sondaggi S1 e S3, realizzate in entrambi i sondaggi dai 4.5 a 5 m dal p.c., sono stati ottenuti, rispettivamente, valori medi della permeabilità dell'intero intervallo di $3.39 \cdot 10^{-5}$ m/s e $2.7 \cdot 10^{-5}$ m/s. Si riportano le classi di permeabilità sopra descritte nella Cartografia idrogeologica allegata (IZ0900D69NZGE0002001A).

Per quanto riguarda i livelli della falda nel territorio in esame è possibile considerare sia le informazioni bibliografiche, sia i livelli misurati nei fori di sondaggio. Nel primo caso viene considerato lo stralcio cartografico con le isofreatiche di Figura 4-10 (paragrafo 4.4), sul quale si evidenzia che la falda, nella tratta interessata dal presente studio, si trova tra le quote +40 e +25 m s.l.m., corrispondenti ad una soggiacenza compresa approssimativamente tra 35 e 25 m da p.c., e direzione di flusso NE-SW.

Per quanto concerne i sondaggi disponibili, la stratigrafia relativa al sondaggio BH1 riporta la falda ad una profondità di 28.5 m da p.c., quella del sondaggio S1 a 31.8 m da p.c., mentre i restanti sondaggi S2 ed S3 non hanno incontrato la falda nel corso della perforazione. È inoltre in corso un monitoraggio piezometrico sui sondaggi BH1, S1 ed S3. I dati registrati vengono riportati in Tabella 7-1; in particolare si può notare come la quota di falda sia compresa tra 40,32 e 27.80 m s.l.m. (il BH1 risulta secco, dunque la falda è presente ad una quota inferiore a 43.0 m s.l.m.). Tali dati sono dunque in linea con i valori desunti da bibliografia.

Tabella 7-1 – Monitoraggio piezometrico eseguito tra i mesi di Aprile e Giugno 2019

PIEZOMETRO	Quota piezometro	TUBO PIEZOMETRICO		29-30/04/2019		13/06/2019	
		Lunghezza (m) / Tipo / Tratto Fessurato o drenante		metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.	metri dal p.c.	FALDA metri s.l.m.
BH1	73,00	Norton	-	Secco	Secco	Secco	-
S1	70,00	Casagrande	39,5	-34,16	-35,84	-29,68	-40,32
S3	56,00	Norton	3,00÷30,00	-28,20	-27,80	-24,50	-31,50

Ciò detto, viste le profondità della falda nell'area di progetto, si ritiene poco probabile un'interazione tra gli interventi in progetto e la falda stessa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM												
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ09</td> <td>00 D 69</td> <td>RG</td> <td>GE0001 001</td> <td>A</td> <td>35 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ09	00 D 69	RG	GE0001 001	A	35 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ09	00 D 69	RG	GE0001 001	A	35 di 57								

8 INQUADRAMENTO SISMICO

8.1 Premessa

Nel seguito si fornisce un inquadramento dell'area interessata dalle opere dal punto di vista della sismicità locale, sulla base dell'individuazione delle sorgenti sismiche di interesse e degli effetti macrosismici registrati nel territorio circostante a seguito di terremoti storici.

Per la determinazione delle azioni sismiche di progetto si fa qui riferimento alle indicazioni fornite dall'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni¹ (nel seguito NTC2018) per ciò che concerne la definizione del periodo di ritorno del terremoto di progetto e dei relativi valori di pericolosità sismica. Sulla base delle indicazioni normative, verrà definita l'accelerazione di progetto funzione delle coordinate geografiche e della vita nominale e classe d'uso delle opere. Ai sensi delle NTC2018, l'azione sismica deve essere innanzitutto determinata in condizioni di campo libero, su sito di riferimento rigido (Categoria A) e superficie topografica orizzontale (Categoria T1), facendo riferimento alle tabelle in allegato al testo di NTC2008; tali tabelle elencano i valori di accelerazione massima al suolo ed i parametri spettrali in corrispondenza dei punti di una griglia di maglia 5x5 km a coprire il territorio nazionale. I valori relativi all'area estesa comprendente i tracciati di progetto sono mostrati graficamente nella Figura 8-1.

Sulla base dei parametri indicati dalle NTC2018, i Progettisti definiranno le ordinate dello spettro di progetto per definite probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento dell'azione sismica (come descritto nei paragrafi seguenti) corrispondenti ai diversi stati limite.

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

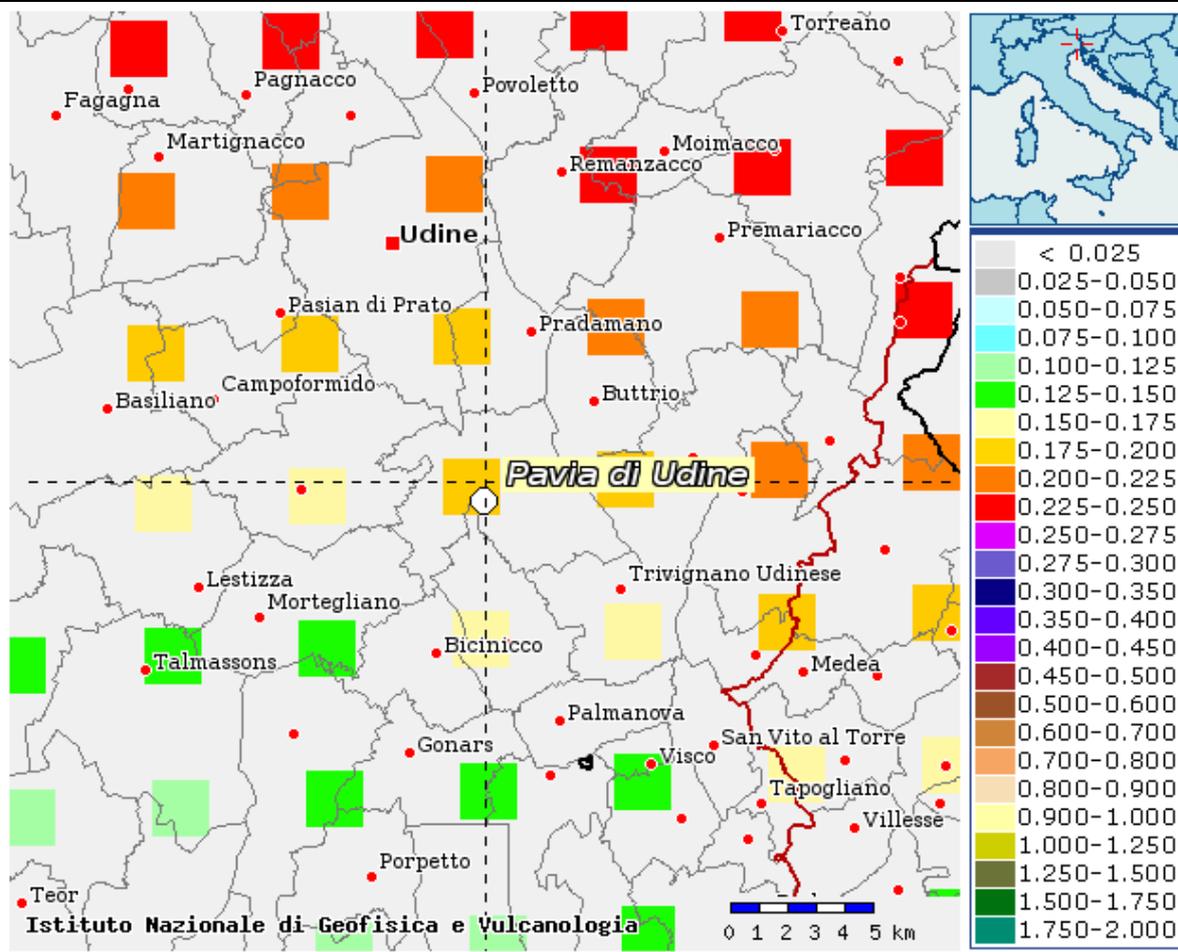


Figura 8-1: Valori di pericolosità sismica nell'intorno dell'area di progetto ($T_R = 475$ anni). da elaborazioni DPC-INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

8.2 Strutture tettoniche e aree sismogenetiche

Dal punto di vista tettonico e strutturale, l'alta e bassa pianura veneto-friulana è parte del più ampio avampaese compreso tra il settore orientale delle Alpi meridionali e la porzione orientale dell'Appennino settentrionale, entrambi rilievi a pieghe e falde di ricoprimento. Inoltre, la pianura veneto-friulana è costituita da una potente successione sedimentaria di età terziaria e quaternaria all'interno della quale sono evidenti le tracce degli eventi magmatici e tettonici succedutisi nel tempo.

La regione friulana rappresenta il settore sismicamente più attivo di tutta l'Italia settentrionale. In particolare, la sismicità è legata all'evoluzione della Catena Alpina Sud-Orientale, il cui fronte migra verso meridione incorporando settori sempre più esterni dell'avampaese, rappresentato dalla quasi totalità della pianura veneta orientale e friulana. Di conseguenza, la sismicità è distribuita prevalentemente lungo la fascia Prealpina Carnico-Giulia e decresce in modo vistoso, sia nell'avampaese, sia verso la zona di catena interna. Un rilevante contributo

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 37 di 57

alla sismicità dell'area friulana deriva anche da sorgenti sismiche localizzate in aree limitrofe, quali la Slovenia occidentale ed il Veneto orientale.

Sulla base del breve inquadramento di cui sopra, in termini strettamente sismologici, la Figura 8-2 illustra la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici e di quelli rilevati strumentalmente inclusi nel catalogo del progetto europeo SHARE (<http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psml>, v. Giardini et al. 2013), unito al Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida, 2011). Gli epicentri sono sovrapposti alle sorgenti sismiche del modello di zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al., 2008), alla base dell'attuale mappa di pericolosità del territorio italiano di cui alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008 e NTC2018), ed alle zone sismogenetiche del progetto SHARE (Giardini et al., 2013) per la parte di Austria, Slovenia e Croazia. Sono inoltre riportate le principali faglie individuali (ISS) ed i sistemi di faglie composite (CSS) tratti dal progetto DISS3 (Haller e Basili, 2011). Il modello sismogenetico racchiude pertanto informazioni sia di natura geologica, sia derivate dalla sismicità storica.

Sulla base della zonazione sismogenetica denominata ZS9 (Meletti et al., 2008) realizzata dall'INGV, la sismicità dell'area Veneto Orientale Friulana è dominata dalle aree sismogenetiche identificate come 904, 905 e 906 (Figura 8-2) e legate all'interazione Adria-Europa. Tali zone sono caratterizzate dalla massima convergenza tra le placche adriatica ed europea, oltre che caratterizzate dalle strutture a pieghe Sud-vergenti del Sud Alpino Orientale e faglie inverse associate (Zanferrari et al., 2002; Slejko et al., 1989; Valensise e Pantosti, 2001) e, nelle aree ad Est del confine friulano, da faglie trascorrenti destre con direzione NW-SE (trend dinarico).

La zona sismogenetica più prossima al sito di progetto (ZS 905) è caratterizzata dall'elevata sismicità delle spinte alpine più attive in Veneto e Friuli, e dalla sismicità mista (alpina e dinarica) dell'area di confine tra Italia e Slovenia. In questa zona le caratteristiche di sismicità in termini di magnitudo massime (~6.5) e frequenza degli eventi sono nettamente superiori rispetto alle altre come evidente dalla distribuzione degli epicentri di Figura 8-2. Fra gli eventi recenti più significativi originati in quest'area, si ricorda il terremoto dei Friuli del 1976. In letteratura, i terremoti di questa regione risultano ben vincolati e associati a specifiche sorgenti sismiche sulla base di dati geologici affidabili. Per questa zona il valore di M_w massimo è di 6.66.

Ad Est, la ZS904 rappresenta il fronte transpressivo della regione delle Dinaridi, mentre la SIAS196 è atta a rappresentare la sismicità medio-bassa della Slovenia centrale.

A Sud-Est del sito di progetto, la zona SIAS193, copre la ZS904 ed include gli eventi storici con magnitudo media con origine nella Croazia del Nord. L'evento con magnitudo maggiore è rappresentato dal terremoto di Rijeka del 1721 ($M_w=6.41$).

Procedendo verso O, la zona 906 include terremoti di media magnitudo legati alle spinte della cintura sub-alpina dal Veneto centrale al Lago di Garda. Questa zona presenta caratteristiche sismiche nettamente diverse dall'adiacente zona 905. Essa include terremoti originati nella pianura del Po i cui dati hanno affidabilità minore, come ad esempio per l'evento del Veronese del 1117 di $M_w \sim 6.5$, la cui sorgente non è stata ancora definita in letteratura (Galadini et al., 2005), e il terremoto del Bresciano del 1222, $M_w \sim 6$, il quale ha interessato una porzione della provincia di Brescia in cui è presente un sistema di faglie inverse. In questa zona le zone epicentrali sono localizzate a profondità comprese tra 5 e 8 km; sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di magnitudo massima pari a $M_{max} = 6.60$.

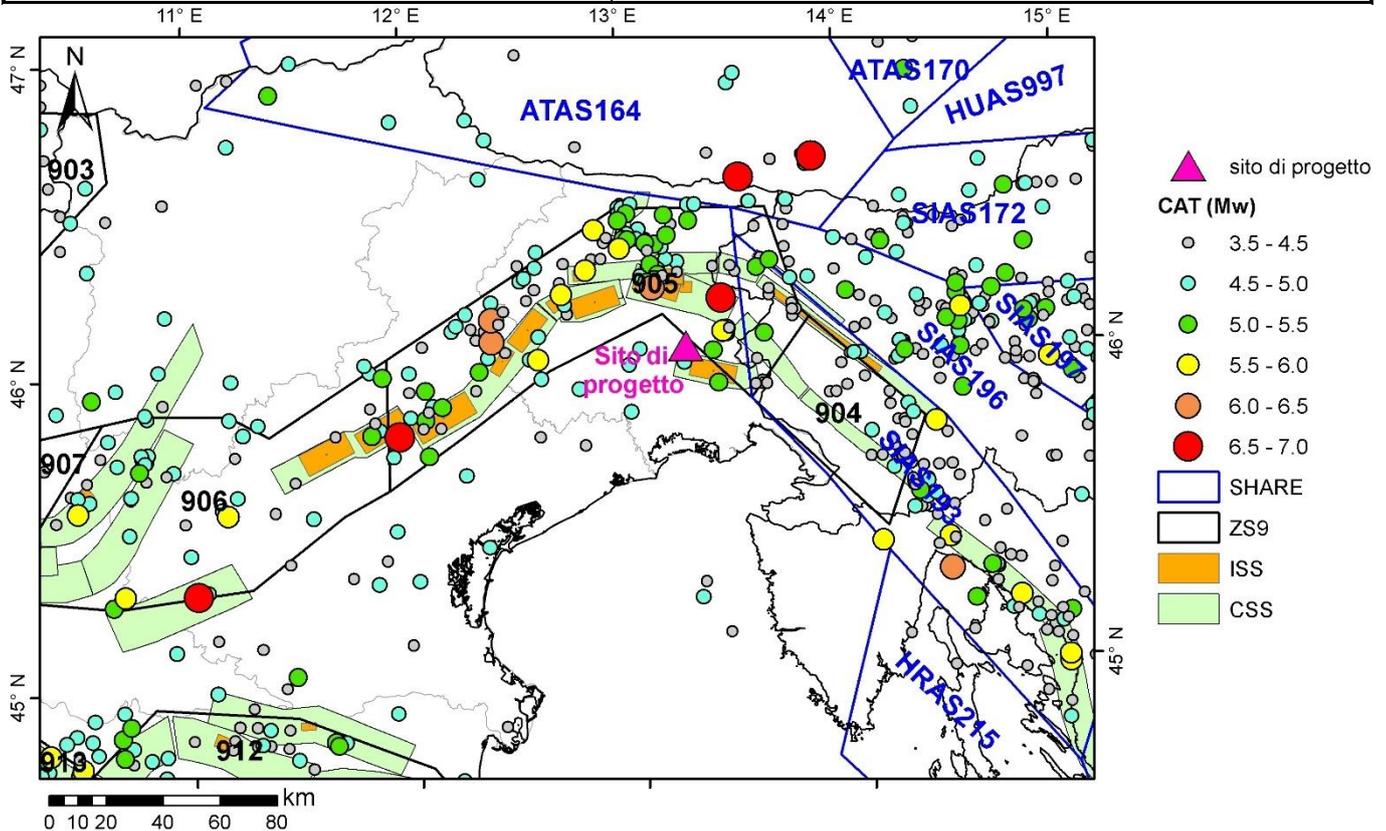


Figura 8-2 - Contesto sismo-tettonico della regione estesa nell'intorno del sito di progetto: i poligoni in nero rappresentano i confini delle sorgenti sismogenetiche del modello ZS9 (Meletti et al., 2008), i poligoni in blu rappresentano le aree sismogenetiche del modello SHARE (Giardini et al. 2013), i cerchietti colorati identificano gli epicentri dei terremoti 1000-2006 del catalogo SHEECv3.3 (<http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psml>) integrato con il catalogo CPTI11 e Iside fino al 2012 con le associate magnitudo momento. I rettangoli arancioni rappresentano le faglie individuali del modello DISS3 mentre quelli verdi i sistemi di faglie composite.

Le potenziali strutture di faglia più vicine all'area di progetto, riportate in Figura 8-3 dal database italiano delle zone sismogenetiche DISS3.2.1 (DISS Working Group 2018), sono costituite da sistemi di faglie composite (CSS).

La zona interessata dal progetto ricade all'interno della sorgente composita ITCS065 "Medea" (Figura 8-3), caratterizzata da una sismicità intermedia ($4.5 < M_w < 5.0$) con la sola eccezione del terremoto del 23 aprile 1279, diretta causa della magnitudo massima pari a 5.4. All'interno della ITCS065 è evidenziata la sorgente individuale ITIS126. Vicino a questa zona, risulta altresì localizzata la sorgente ITCS066 "Gemona-Tarcento" dove i cataloghi storici e strumentali mostrano una notevole concentrazione di terremoti distruttivi su tutta la regione. In particolare, l'area è stata colpita dal terremoto del 26 marzo 1511 (M_w 6.5, Slovenia) e dalla sequenza del 6 maggio (M_w 6.4) e 15 settembre 1976 (M_w 5.9) dei terremoti del Friuli.

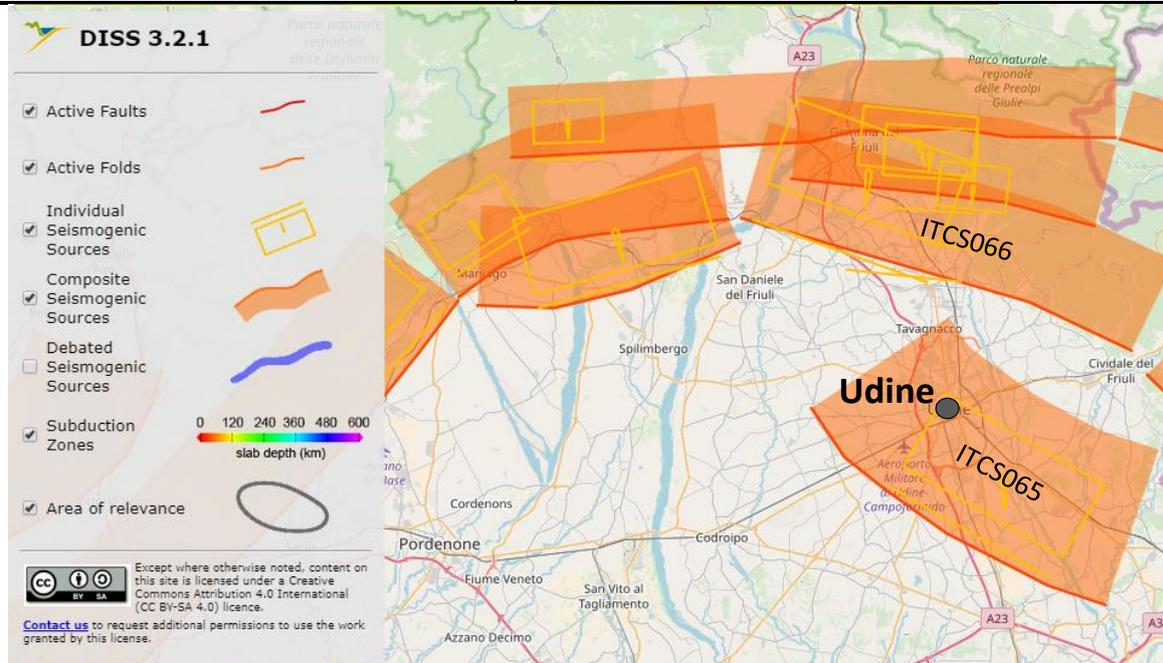


Figura 8-3 - Sorgenti sismogenetiche individuali e composite dal “Database of Individual Seismogenic Sources” (DISS 3.2) rilevanti per l’area in oggetto (cerchio grigio).

8.3 Sismicità storica

Per avere un quadro completo dei livelli di sismicità dell’area di interesse, un utile riferimento è costituito dal Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati et al., 2016), che contiene tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014.

La Figura 8-4 mostra la storia sismica del comune di Pavia di Udine (UD) in termini di intensità macrosismica. Trattandosi di un centro abitato di piccole dimensioni, le segnalazioni di risentimenti macrosismici sono limitate, e tutte successive al 1959.

Al fine di avere un quadro più attendibile della sismicità dell’area, è utile quindi prendere in esame la storia sismica del comune di Udine (UD), riportata nella Figura 8-5 in termini di intensità macrosismica. Si nota come la frequenza di eventi sismici in grado di produrre risentimenti al sito sia significativa, e come le intensità sismiche massime avvertite siano dell’ordine 7-8. Tra gli eventi più significativi in termini di intensità percepita nell’area del Comune di Udine vanno inclusi il terremoto del 1348 di Alpi Giulie ($M_w=6.63$) e del 1511 di Friuli-Slovenia ($M_w=6.32$). Fra gli altri eventi storici più significativi ($I=6-7$) si ricordano:

- 1873 Alpago Cansiglio, $M_w = 6.29$
- 1976 Friuli (6 maggio), $M_w = 6.45$
- 1976 Friuli (11 settembre), $M_w = 5.60$
- 1976 Friuli (15 settembre), $M_w = 5.95$

Da quanto sopra si evince come sia associabile all’area di progetto una sismicità media.

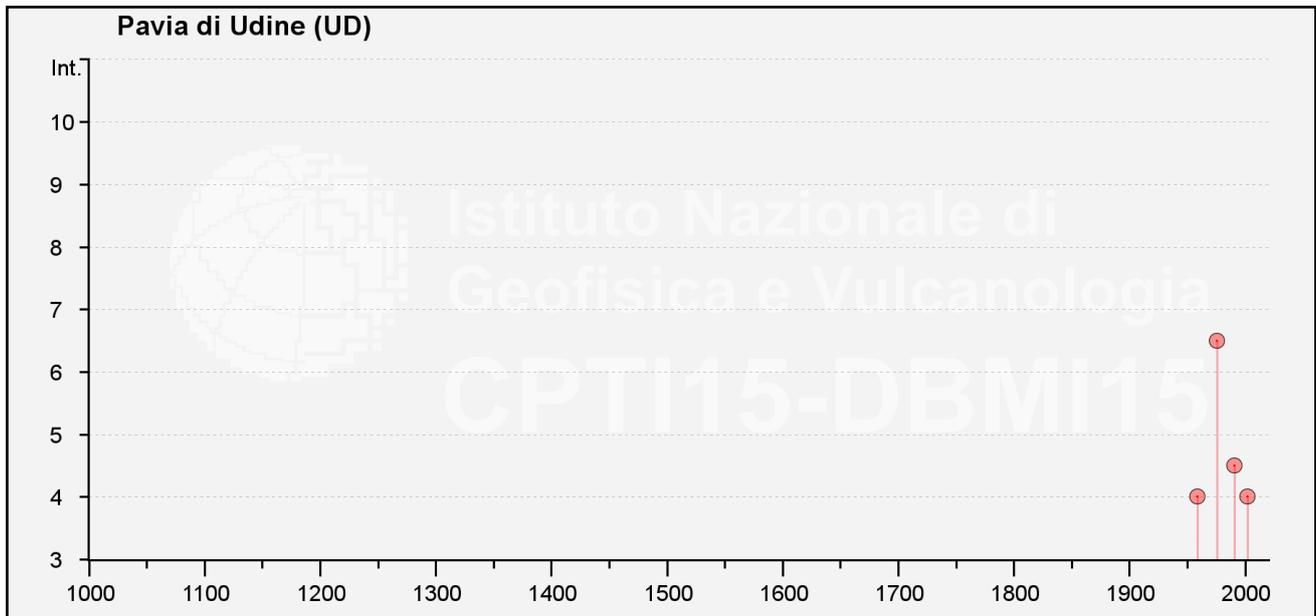


Figura 8-4 - Storia macrosismica del Comune di Pavia di Udine dal catalogo DBMI 2015 (Locati et al., 2016).

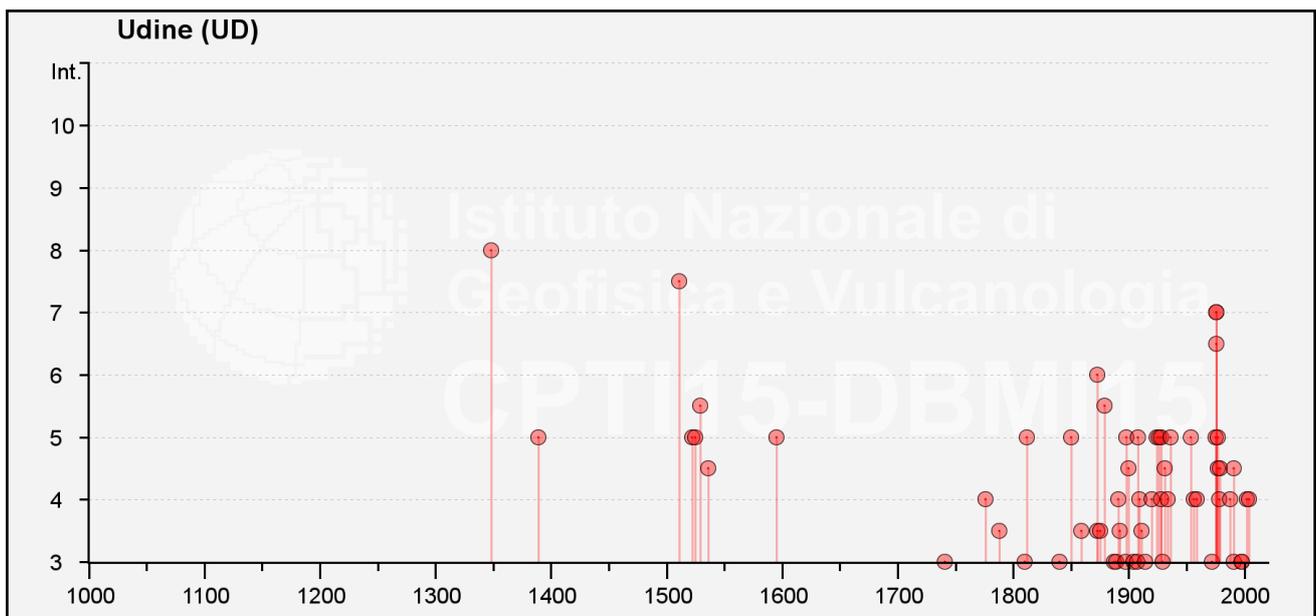


Figura 8-5 - Storia macrosismica del Comune di Udine dal catalogo DBMI 2015 (Locati et al., 2016).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A	FOGLIO 41 di 57

8.4 Definizione dell'azione sismica di progetto

La definizione dell'azione sismica di progetto per l'opera segue quanto disposto dalle NTC2018. In particolare, l'azione sismica in base alla quale va valutato il rispetto dei diversi Stati Limite (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) per le strutture in progetto deve essere definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta esprimibile in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura. Data la probabilità di superamento nel periodo temporale di riferimento, funzione dello Stato Limite considerato per la verifica, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

In allegato alle NTC 2008 (richiamate dalle NTC 2018) i valori dei suddetti parametri sono forniti per ognuno dei 10751 nodi del reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori di punti intermedi alla griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti.

Per definire i valori della pericolosità sismica di base è stato assunto un punto di calcolo baricentrico rispetto al tracciato (lat. 45°59'15" – long. 13°15'20").

In Figura 8-6 si riporta l'identificativo dei nodi del reticolo di riferimento entro cui è compreso il punto di calcolo dell'azione sismica (elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

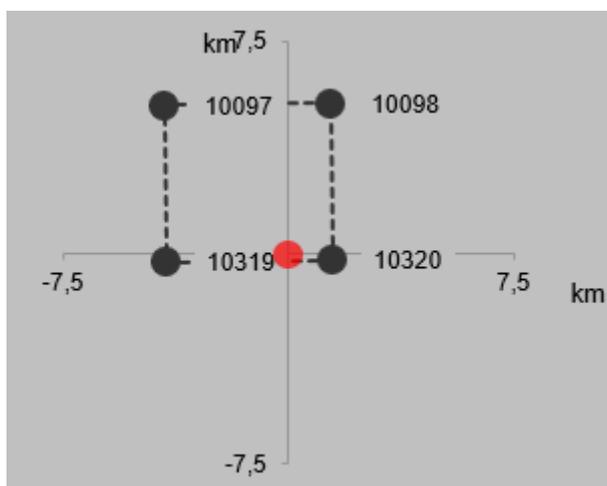


Figura 8-6 Nodi del reticolo di riferimento in corrispondenza al punto di calcolo. Elaborazione da foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa possa essere usata per lo scopo al quale è destinata, purché sia soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2008:

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

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

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

Con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche, le opere sono suddivise dalle NTC2008 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. Nel caso in esame l'opera appartiene ragionevolmente alla Classe d'Uso II, ossia:

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

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

$$C_U = 1.$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

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

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$$

L'azione sismica di progetto va determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R . Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

- Stati Limite Ultimi (SLU):
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.
- Stati limite di Esercizio (SLE):
 - Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
 - Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.

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

$$T_R = - V_R / \ln(1-PVR)$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite, sono indicati nella seconda colonna di Tabella 8-1.

Accelerazione di riferimento su suolo rigido a_g

I valori di a_g (accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per le coordinate del punto di riferimento ed i periodi di ritorno di interesse sono riportati in Tabella 8-1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

Tabella 8-1 Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni.

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
SLO	30	0,050	2,479	0,239
SLD	50	0,064	2,468	0,265
SLV	475	0,176	2,457	0,336
SLC	975	0,230	2,535	0,348

Risposta sismica locale

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

$$S = S_s \cdot S_T$$

Per quanto riguarda la categoria di sottosuolo, le indagini eseguite per il progetto mostrano che la stratigrafia delle aree di progetto è costituita da depositi fluvioglaciali a granulometria grossolana, con alcuni livelli superficiali di materiale più fine, e lenti conglomeratiche a distribuzione non uniforme.

Le indagini MASW e Downhole eseguite indicano dei valori di velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ pari a:

- MASW – BH1 $V_{s,eq} = 440$ m/s
- MASW – PD2 $V_{s,eq} = 416$ m/s
- MASW – 1 $V_{s,eq} = 326$ m/s
- MASW – 3 $V_{s,eq} = 407$ m/s
- Downhole S2 $V_{s,eq} = 391$ m/s

I valori NSPT misurati risultano mediamente elevati o a rifiuto, e porterebbero ad una classificazione dell'intera area di progetto entro la categoria di sottosuolo B (cfr. Tabella 8-2, da Tabella 3.2.II-II delle NTC 2018). Tuttavia, la prova MASW – 1 eseguita in prossimità del Sottovia Lumignacco restituisce un valore di $V_{s,eq}$ pari a 326 m/s (Categoria C di sottosuolo). Cautelativamente, si potrà ragionevolmente assumere le seguenti categorie di suolo:

- **Categoria C** per le opere afferenti il sottovia Lumignacco.
- **Categoria B** per tutte le altre opere in progetto.

Il coefficiente S_S si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_S = 1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.20 \text{ (Categoria B)}$$

$$S_S = 1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50 \text{ (Categoria C)}$$

L'area risulta del tutto pianeggiante (categoria topografica T1), per cui il coefficiente di amplificazione topografica S_T assume valore 1.

Sulla base di quanto sopra, la Tabella 8-3 sintetizza le azioni sismiche di progetto per i 4 stati limite di riferimento, derivanti dalla pericolosità sismica locale e dalle condizioni stratigrafiche e topografiche di sito.

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

Tabella 8-2 **Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato. (Tabella 3.2.II delle NTC2018).**

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

Tabella 8-3 Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c , S_s , S_T , S , a_{max} per gli stati limite di riferimento (ottenuti attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3.xls, CSLLPP (2009)) per $V_R = 50$ anni.

CATEGORIA C (opere afferenti il Sottovia Lumignacco)

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)	S_s	S_T	S	a_{max}
SLO	30	0,050	2,479	0,239	1,50	1	1,5	0,075
SLD	50	0,064	2,468	0,265	1,50	1	1,5	0,096
SLV	475	0,176	2,457	0,336	1,44	1	1,44	0,253
SLC	975	0,230	2,535	0,348	1,35	1	1,35	0,310

CATEGORIA B (tutte le altre opere)

SL	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)	S_s	S_T	S	a_{max}
SLO	30	0,050	2,479	0,239	1,20	1	1,20	0,060
SLD	50	0,064	2,468	0,265	1,20	1	1,20	0,077
SLV	475	0,176	2,457	0,336	1,20	1	1,20	0,211
SLC	975	0,230	2,535	0,348	1,16	1	1,16	0,267

8.5 Analisi di pericolosità rispetto al fenomeno della liquefazione

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

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero minori di 0.1 g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{IN} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{IN} 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 8-7 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 8-7 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

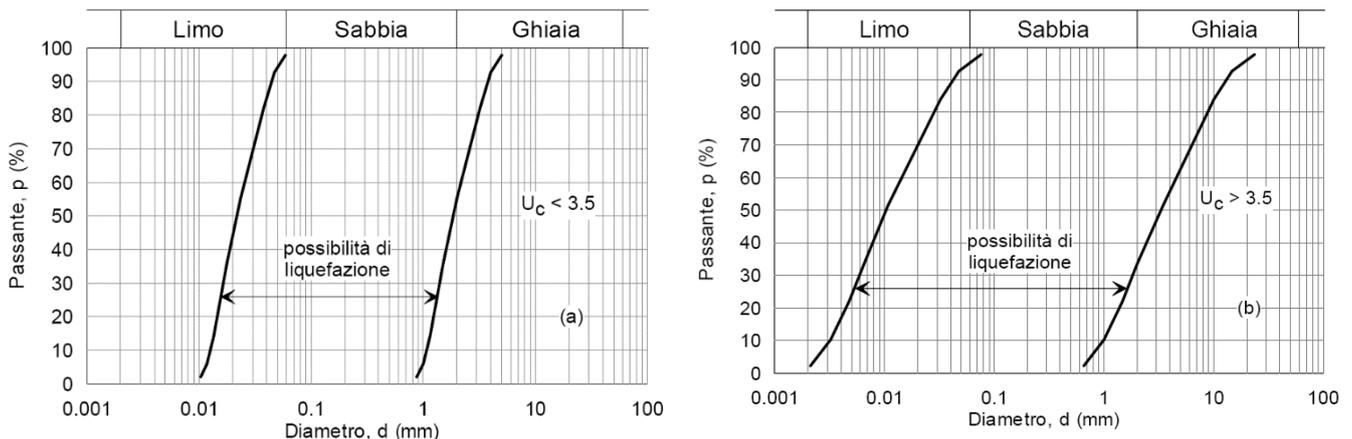


Figura 8-7: Ambito di potenziale liquefacibilità dei terreni (a sinistra per $U_c < 3.5$, a destra per $U_c > 3.5$).

Nel caso in esame la profondità della falda è maggiore di 15 m. Pertanto, è possibile escludere, in base a quanto sopra, la necessità della verifica della pericolosità da liquefazione.

9 CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che:

- Il territorio oggetto di indagine occupa una porzione dell'Alta Pianura friulana; essa deve la sua origine ai sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali depositati nel würmiano dagli scaricatori drenanti il complesso glaciale tilaventino ed i cui relitti sono individuabili negli attuali torrenti Torre e Cormor. Dal punto di vista geologico e stratigrafico le aree di intervento ricadono sui depositi fluvioglaciali. Il territorio della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia appartiene all'unità sudalpina ed è caratterizzato prevalentemente da litologie sedimentarie, con subordinati episodi effusivi testimoniati da ridotte sequenze vulcanoclastiche e vulcaniti. Nell'attuale quadro cinematico del sistema Alpi-Appennino, l'area prealpina carnico-giulia e l'antistante pianura veneto-friulana fanno parte del fronte pliocenico-quadernario della catena Sudalpina orientale (CSO) e del relativo avampaese;
- Dal punto di vista geologico e stratigrafico, l'area di intervento è caratterizzata dalle successioni continentali pliocenico-quadernarie, ed in particolare è impostata sui sedimenti fluvioglaciali ed alluvionali (Pleistocene) che costituiscono i corpi quadernari più estesi della pianura friulana;
- Dal punto di vista geomorfologico il territorio nel quale ricade l'area di progetto è prevalentemente pianeggiante. Una volta ritiratosi il ghiacciaio dell'ultima fase glaciale, lo scorrimento delle acque superficiali è stato ed è tuttora l'agente che più interviene sulle superfici topografiche del territorio oggetto di studio;
- Per quanto concerne il rischio geomorfologico, nell'area di progetto non sussiste alcuna criticità di tipo geologica o geomorfologica potenziale o in atto;
- Da un punto di vista idrogeologico l'area di progetto è situata nell'Alta pianura sudorientale ed è costituita in prevalenza da ghiaie e sabbie di varia granulometria, talora cementate in forma di conglomerati, caratterizzate da valori di permeabilità da medi a medio-alti. Le prove di permeabilità Lefranc, eseguite nel foro del sondaggio BH1, alle profondità dal p.c. di 1 e 3 m, hanno restituito rispettivamente valori medi del coefficiente di permeabilità k di $1.43 \cdot 10^{-5}$ e $1.723 \cdot 10^{-4}$ m/s; mentre dalle prove eseguite nei fori dei sondaggi S1 e S3 (in entrambi da 4.5 a 5 m dal p.c.) sono stati ottenuti valori di k , rispettivamente, di $3.39 \cdot 10^{-5}$ e $2.7 \cdot 10^{-5}$ m/s;

- Per quanto riguarda i livelli della falda nel territorio in esame è possibile considerare sia le informazioni bibliografiche, sia i livelli misurati nei fori di sondaggio. Nel primo caso si evidenzia che la falda, nella tratta interessata dal presente studio, si trova tra le quote +40 e +25 m s.l.m., corrispondenti ad una soggiacenza compresa approssimativamente tra 35 e 25 m da p.c., e direzione di flusso NE-SW. Per quanto concerne i sondaggi disponibili, la stratigrafia relativa al sondaggio BH1 riporta la falda ad una profondità di 28.5 m da p.c., quella del sondaggio S1 a 31.8 m da p.c., mentre i restanti sondaggi S2 ed S3 non hanno incontrato la falda nel corso della perforazione. È inoltre in corso un monitoraggio piezometrico sui sondaggi BH1, S1 ed S3. Dai dati registrati si può notare come la quota di falda sia compresa tra 40,32 e 27.80 m s.l.m. (il BH1 risulta secco, dunque la falda è presente ad una quota inferiore a 43.0 m s.l.m.). Tali dati sono dunque in linea con i valori desunti da bibliografia;
- Dal punto di vista sismico, il sito risulta caratterizzato da una sismicità elevata. Sulla base dei risultati delle prove di tipo MASW, la stratigrafia di progetto è classificabile nelle categorie di suolo C (opere afferenti il Sottovia Lumignacco) e B (opere restanti);
- Per quanto riguarda la potenziale liquefazione dei terreni, la profondità della falda consente di escludere tale rischio in accordo alle NTC2018.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM					
	RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0001 001	REV. A

10 BIBLIOGRAFIA

- Bondesan A., Calderoni G., Mozzi P., (2002) – *L’assetto geomorfologico della pianura veneta*.
- Carta geologica del Friuli-Venezia Giulia, scala 1: 50.000. Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine dell’Università di Trieste (2006).
- Cati A. et alii, (1989 a) – *Northeastern Italy. Integrated processing of geophysical and geological data*. In “Memorie della Società Geologica Italiana”, 40, pp. 259-308.
- Convenzione INGV-DPC 2004 – 2006, Progetto S1, Proseguimento della assistenza al DPC per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica prevista dall’Ordinanza PCM 3274 e progettazione di ulteriori sviluppi, Coordinatore: Carlo Meletti (INGV). Sito web: <http://esse1.mi.ingv.it/>.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Doglioni C. & Bosellini A., (1987) – *Eoalpine and Mesoalpine tectonics in the Southern Alps*. Geologische Rundschau, 76/3, 735-754.
- Fantoni R., Catellani D., Merlini S., Roglesi S., Venturini S. (2002) – *La registrazione degli eventi deformativi cenozoici nell’avampese veneto-friulano*. Mem. Soc. Geol. It., **57**. 301-313.
- Fontana A., (2002) – *La geomorfologia della bassa pianura friulana e le sue relazioni con le dinamiche insediative antiche*. Tesi di dottorato inedita. Dipartimento di Geografia. Università degli Studi di Padova. 265 pp.
- Fontana A., Mozzi P., Bondesan A. (2004) – *L’evoluzione geomorfologica della pianura veneto-friulana*. In “Geomorfologia della provincia di Venezia”. Note illustrative della carta geomorfologica della provincia di Venezia. A cura di A. Bondesan e M. Meneghel. Ed. Esedra. 514 pp.

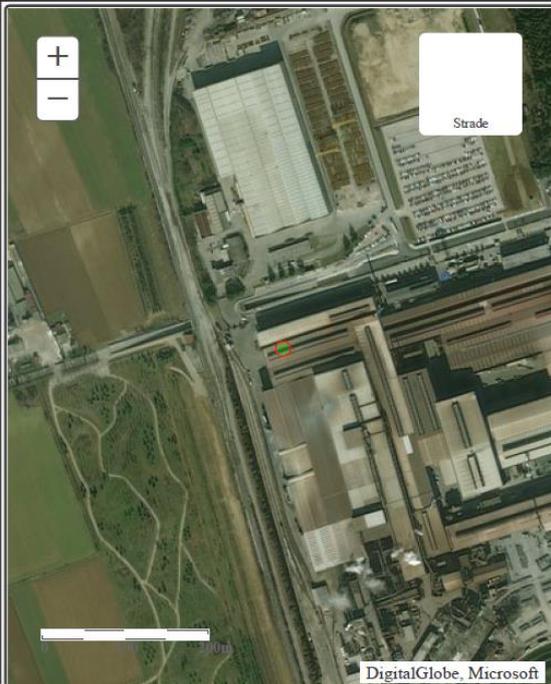
- Fontana A., Mozzi P., Bondesan A. (2008) – *Alluvial megafans in the Venetian-Friulian Plain (north-eastern Italy): evidence of sedimentary and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene*. Quaternary International, **189**: 71-90.
- Fontana A., Bondesan A., Meneghel M., Toffoletto F., Vitturi A., & Bassan V., (in stampa) – *Foglio 107 Portogruaro della Carta d'Italia alla scala 1: 50.000 e Note Illustrative*. 187 pp.
- Galadini F., Poli M.E., Zanferrari A., (2005) – *Seismogenic source potentially responsible for earthquakes with $M \geq 6$ in the eastern Southern Alps (Thiene-Udine sector, NE Italy)*. Geophys. J. Int., **161**, 739-762.
- Giardini, D., J. Woessner, L. Danciu, G. Valensise, G. Grünthal, F. Cotton, S. Akkar, R. Basili, M. Stucchi, A. Rovida, D. Stromeyer, R. Arvidsson, F. Meletti, R. Musson, R., K. Sesetyan, M. B. Demircioglu, H. Crowley, R. Pinho, K. Pitilakis, J. Douglas, J. Fonseca, M. Erdik, A. Campos-Costa, B. Glavatovic, K. Makropoulos, C. Lindholm, T. Cameelbeeck (2013). *Seismic Hazard Harmonization in Europe (SHARE): Online Data Resource*, <http://portal.share-eu.org:8080/jetspeed/portal/>, doi: 10.12686/SED-00000001-SHARE, 2013.
- Haller K. M.m and Basili R. (2011). *Developing seismogenic source models based on geologic fault data*. Seismol. Res. Lett., 82, 519-525.
- Infrastruttura Regionale dei Dati Ambientali e Territoriali (IRDAT) del Friuli Venezia-Giulia. <http://irdat.regione.fvg.it/consultatore-dati-ambientali-territoriali/gis/GISViewer.jsp?useRecent=1&gisID=webgis-1544522735649>.
- Kastelic, V. P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, M. M. Tiberti, G. Valensise (2012). *Seismogenic sources in the Adriatic Domain*, Marine and Petroleum Geology (2012) 1-23.
- Locati M., Camassi R. e Stucchi M. (a cura di) (2011). *DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI11>.
- Mantovani E., Babbucci D., Albarello D., Mucciarelli M. (1990). – *Deformation pattern in the central Mediterranean and behavior of the African-Adriatic promontory*. Tectonophysics, 179, 63-79, Mantovani E., La previsione della pericolosità sismica in Italia. Le Scienze, 257, 16-25, 1990.

- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2008). *A seismic source model for the seismic hazard assessment of the Italian territory*. Tectonophysics, 450(1), 85-108. DOI:10.1016/j.tecto.2008.01.003.
- Mongelli, F., Zito, G., Della Vedova, B., Pellis, G., Squarci, P. and Taft, L. (1991). *Geothermal regime of Italy and surrounding seas, in Exploration of the deep continental crust*, V. Cermak and L. Rybach eds. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mozzi P. (1995) – *Evoluzione geomorfologica della Pianura veneta centrale*. Tesi di dottorato inedita. Dipartimento di Geografia. Università degli Studi di Padova.
- Nicolich R., Della Vedova B., Giustiniani M. (2004) – *Carta del sottosuolo della pianura friulana*. Regione Autonoma FVG, Università degli Studi di Trieste.
- Norme Tecniche per la Costruzione D.M. 17 gennaio 2018.
- P.R.G.C. del comune di Pavia di Udine, componenti geologica, idrogeologica e sismica. Cartografia in scala 1:10.000 e Relazione Illustrativa.
- Oldow, J. S., L. Ferranti, D. S. Lewis, J. K. Campbell, B. D'Argenio, R. Catalano, G. Pappone, L. Carmignani, P. Conti, and C. Aiken (2002). *Active fragmentation of Adria, the north Africa promontory, central Mediterranean orogen*, Geology, 30, 779 – 782.
- Orombelli G. & Ravazzi C. (1996) – *The late glacial and early Holocene chronology and paleoclimate*. Il Quaternario: 439-444.
- Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/idro_isonzo.html
- Rete di Monitoraggio della Regione Autonoma Friuli Venezia-Giulia. <http://asr-str01.regione.fvg.it/PubblicazioneUOI/RicercaUOI.jsp>
- Rovida, A., Camassi, R., Gasperini P. e Stucchi M. (a cura di) (2011). CPTI11, la versione 2011 del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>, DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI11.

- Slejko D., Carulli G.B., Carraro F., Castaldini D., Cavallin A., Doglioni C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez R., Semenza E., Zanferrari A., & Zanolla C. (1987) – *Modello sismotettonico dell'Italia nord-orientale*. CNR, GNDT, Rend. **1**, 1-82, Trieste.
- Slejko D., Carulli G.B., Nicolich R., Rebez A., Zanferrari A., Cavallin A., Doglioni C., Carraro F., Castaldini D., Iliceto V., Semenza E. and Zanolla C. (1989). *Seismotectonics of the eastern Southern-Alps: a review*. Boll. Geof. Teor. Appl., 31, 109-136.
- Stefanini S. & Kobec O. (1978) – *Caratteristiche idrogeologiche e chimiche della falda freatica nell'anfiteatro morenico del Tagliamento*. C.N.R., Quaderni Ist. Ric. Sulle Acque, 34 (8): 203 – 221, Modena
- Valensise, G. and Pantosti, D. (a cura di) (2001). *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy (DISS version 2.0)*. Ann. Geofis. 44, Suppl. 1, con CD-ROM.
- Venturini C., (1990) – *Cinematica neogenico – quaternaria del Sudalpino orientale (settore friulano)*. St. Geol. Camerti, Vol Spec.: 109-116.
- Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D., Castro G., Christian J.T., Dobry R., Finn L.W.D., Harder L.F. Jr., Hynes M.H., Ishihara K., Koester J.P., Liao S.S.C., Marcuson W.F. III, Martin G.R., Mitchell J.K., Moriwaki Y., Power M.S., Robertson P.K., Seed R.B. and Stokoe K.H. II (2001). *Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.
- Zanferrari A., (coord) (2008 a) – *Foglio 065 Maniago. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. APAT, Regione A. Friuli Venezia Giulia, Graphic Linea, Tavagnacco-Udine.
- Zanferrari A., (coord) (2008 c) – *Foglio 066 Udine. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. APAT, Regione A. Friuli Venezia Giulia, Graphic Linea, Tavagnacco-Udine.
- Zanferrari A., (coord) (2008 e) – *Foglio 086 San Vito al Tagliamento. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. APAT, Regione A. Friuli Venezia Giulia, Graphic Linea, Tavagnacco-Udine.

- Zanferrari A., Avigliano R., Fontana A. & Paiero G. (2008 f) – *Note illustrative del Foglio 086 San Vito al Tagliamento. Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000*. APAT, Regione A. Friuli Venezia Giulia, 190 pp., Graphic Linea, Tavagnacco-Udine.

APPENDICE 1 – STRATIGRAFIA POZZO 161749

 		<p>Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale</p>																	
<p>Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)</p>																			
<p>Dati generali</p>		<p>Ubicazione indicativa dell'area d'indagine</p>																	
<p>Codice: 161749 Regione: FRIULI-VENEZIA GIULIA Provincia: UDINE Comune: POZZUOLO DEL FRIULI Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO IDROPOTABILE (ACQUEDOTTISTICO) Profondità (m): 88,00 Quota pc slm (m): 76,23 Anno realizzazione: 1992 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 120,000 Portata esercizio (l/s): 50,000 Numero falde: 3 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 15 Longitudine WGS84 (dd): 13,248750 Latitudine WGS84 (dd): 46,007461 Longitudine WGS84 (dms): 13° 14' 55.55" E Latitudine WGS84 (dms): 46° 00' 26.26" N</p> <p>(*Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia</p>																			
<p>DIAMETRI PERFORAZIONE</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>0,00</td> <td>88,00</td> <td>88,00</td> <td>609</td> </tr> </tbody> </table>				Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	0,00	88,00	88,00	609						
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)															
1	0,00	88,00	88,00	609															
<p>FALDE ACQUIFERE</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>53,00</td> <td>63,50</td> <td>10,50</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>76,00</td> <td>84,00</td> <td>8,00</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1,50</td> <td>51,00</td> <td>49,50</td> </tr> </tbody> </table>				Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	2	53,00	63,50	10,50	3	76,00	84,00	8,00	1	1,50	51,00	49,50
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)																
2	53,00	63,50	10,50																
3	76,00	84,00	8,00																
1	1,50	51,00	49,50																
<p>POSIZIONE FILTRI</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Progr</th> <th>Da profondità (m)</th> <th>A profondità (m)</th> <th>Lunghezza (m)</th> <th>Diametro (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>56,00</td> <td>79,00</td> <td>23,00</td> <td>609</td> </tr> </tbody> </table>				Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	1	56,00	79,00	23,00	609						
Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)															
1	56,00	79,00	23,00	609															
<p>MISURE PIEZOMETRICHE</p>																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Data rilevamento</th> <th>Livello statico (m)</th> <th>Livello dinamico (m)</th> <th>Abbassamento (m)</th> <th>Portata (l/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>apr/1992</td> <td>36,80</td> <td>38,00</td> <td>1,20</td> <td>120,000</td> </tr> </tbody> </table>				Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)	apr/1992	36,80	38,00	1,20	120,000						
Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)															
apr/1992	36,80	38,00	1,20	120,000															

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	1,50	1,50		TERRENO VEGETALE
2	1,50	26,00	24,50		GHIAIA CON SABBIA E CIOTTOLI
3	26,00	34,00	8,00		CONGLOMERATO COMPATTO
4	34,00	37,50	3,50		GHIAIA CON GHIAIETTO E POCA SABBIA
5	37,50	43,00	5,50		GHIAIA GROSSA CON POCA SABBIA
6	43,00	51,00	8,00		CONGLOMERATO FESSURATO
7	51,00	53,00	2,00		ARGILLA GIALLA
8	53,00	63,50	10,50		CONGLOMERATO E STRATI DI GHIAIA E SABBIA
9	63,50	65,00	1,50		ARGILLA GIALLA COMPATTA
10	65,00	68,50	3,50		CONGLOMERATO COMPATTO
11	68,50	69,50	1,00		ARGILLA GIALLA CON GHIAIA
12	69,50	76,50	7,00		CONGLOMERATO COMPATTO
13	76,50	78,00	1,50		CONGLOMERATO FESSURATO ARGILLOSO
14	78,00	84,50	6,50		CONGLOMERATO FESSURATO
15	84,50	88,00	3,50		CONGLOMERATO MOLTO ARGILLOSO