

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34H16000620009

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

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

#### POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

#### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo

### RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

SCALA:

-

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

I Z 0 4 4 0 R 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	S. Romano 	Giugno 2021	M.C. Morandi 	Giugno 2021	S. Lo Presti 	Giugno 2021	M. Comedini 

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
2.1	NORMATIVA SUI VINCOLI .....	6
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	7
4	ALLEGATI .....	8
5	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	9
5.1	CARATTERI TETTONICO-STRUTTURALE .....	10
5.2	EVOLUZIONE GEOLOGICA .....	10
5.3	ASSETTO STRATIGRAFICO.....	11
6	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	13
6.1	EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL FIUME ISONZO.....	15
6.2	GEOMORFOLOGIA DELL'AREA .....	16
7	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO .....	18
8	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	20
9	CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI.....	24
9.1	VINCOLO IDROGEOLOGICO E PAESISTICO.....	24
9.2	RISCHIO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO .....	24
10	INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	28
10.1	CAMPAGNA INDAGINI .....	28
10.1.1	<i>Sondaggi geognostici.....</i>	28
10.1.2	<i>Indagini geofisiche .....</i>	29
11	MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO.....	31
11.1	UNITÀ LITOSTRATIGRAFICHE.....	31
11.1.1	<i>Depositi continentali quaternari .....</i>	35
11.2	LIVELLI PIEZOMETRICI.....	38

11.3	CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ .....	41
12	SISMICITÀ DELL'AREA.....	44
12.1	SISMICITÀ STORICA .....	46
12.2	SISMICITÀ ATTUALE .....	53
12.3	PERICOLOSITÀ SISMICA .....	57
12.4	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	59
12.5	ANALISI DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE .....	61
13	CONCLUSIONI .....	70
14	BIBLIOGRAFIA .....	71

## 1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto di fattibilità tecnica ed economica per il "Potenziamento Linea Venezia-Trieste – Posti di Movimento e Varianti di Tracciato - Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo" sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati previsti dal progetto stesso.



**Figura 1 - Corografia in scala 1:40000 dell'area di studio geologico con individuazione dell'opera in progetto (linea blu).**

In particolare, il presente studio, relativo all'intervento lungo la linea Venezia – Trieste, in prossimità del fiume Isonzo, si è svolto attraverso le seguenti fasi operative:

- acquisizione ed analisi degli studi geologici esistenti riguardanti l'area di interesse;
- approfondimenti conoscitivi mediante studi fotointerpretativi condotti su ortofoto;
- rilievi diretti sul terreno mirati alla definizione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area;
- acquisizione ed analisi delle indagini geognostiche disponibili ed appositamente realizzate nell'area di interesse progettuale;
- analisi dei dati e redazione delle presenti note di sintesi e degli elaborati cartografici a corredo.

L'area di studio si colloca nella porzione meridionale della regione Friuli-Venezia Giulia, nei territori comunali di Ruda (UD), Fiumicello Villa Vicentina (UD), San Canzian d'Isonzo (GO) e Turriaco (GO).



Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 40 (Palmanova) e del Foglio 40a (Gorizia) in scala 1:100000, nella Tavoleta 40-II-NE (Aquilaia) e nella Tavoleta 40a-III-NO in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Friuli-Venezia Giulia, negli elementi 088132, 088143 e 088142 in scala 1: 5.000.

Dal punto di vista morfologico l'area di studio si colloca in un settore pianeggiante della Bassa Pianura Friulana, posto a nord della costa adriatica. Si tratta di un territorio caratterizzato da una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1-3‰), generalmente orientata da Nord-Nord-Ovest verso Sud-Sud-Est. Le quote topografiche nell'area di interesse variano da 0 a 12 m s.l.m.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Isonzo, che sgorga a circa 990 m s.l.m. nella Val Trenta (Slovenia) e sfocia nel Mar Adriatico presso Staranzano. Immediatamente a nord dell'area di studio è presente la confluenza del Fiume Torre nel Fiume Isonzo. La rete idrografica superficiale è rappresentata da ulteriori corsi d'acqua di importanza minore e numerosi canali artificiali che svolgono importanti funzioni irrigue e di scolo, sviluppando una notevole ramificazione e gerarchizzazione anche a livello capillare.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Di seguito si riporta una sintesi della normativa nazionale e regionale di riferimento per il presente studio:

- D.M. del 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- D.M. LL.PP. del 16/01/1996 "Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche";
- UNI EN del 1997 "Eurocodice 7 e ss.mm.ii. - Progettazione geotecnica";
- UNI EN del 1998 "Eurocodice 8 e ss.mm.ii. - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica";
- D.P.R. 380 del 06/06/2001 "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia";
- D.M. Infrastrutture del 14/01/2008 "Nuove Norme Tecniche per Costruzioni";
- D.M. II.TT. del 04/02/2008 - Circolare 617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. Infrastrutture del 14/01/2008".
- D.M. Infrastrutture del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circolare 7 del 21 gennaio 2019 C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

### 2.1 Normativa sui vincoli

Nel seguito vengono elencati i riferimenti normativi relativi a tutti i vincoli territoriali consultati per il presente lavoro:

- R.D.L. 3267 del 30/12/1923 "Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di territori montani";
- R.D. 1126 del 16/05/1926 "Approvazione del regolamento per l'applicazione del regio decreto 30 dicembre 1923, n. 3267, concernente il riordinamento e la riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani";
- D.P.R. 236 del 24/05/1988 "Attuazione della direttiva n. 80/778/CEE concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183";
- D.Lgs. 152 del 03/04/2006 "Norme in materia ambientale".

### 3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella presente relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

<b>Italferr 2021</b>		
<b>“Potenziamento linea Venezia-Trieste – Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4 Variante di tracciato sul Fiume Isonzo” PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>		
<b>Codifica elaborato</b>	<b>Descrizione elaborato</b>	<b>Scala</b>
IZ04 40 R 69 SG GE0005 001 A	Indagini geognostiche	
IZ04 40 R 69 IG GE0005 001 A	Indagini geofisiche	
IZ04 40 R 69 PR GE0005 001 A	Prove di laboratorio	

<b>Italferr 2018</b>		
<b>“Potenziamento linea Venezia-Trieste Soppressione passaggi a livello e varianti di tracciato” PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>		
<b>Codifica elaborato</b>	<b>Descrizione elaborato</b>	<b>Scala</b>
IZ04 00 R 69 RG GE0001 001 A	Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica	-
IZ04 00 R 69 NZ GE0001 001-6 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profili geologici	1:10000 1:2000/1:500
IZ04 00 R 69 NZ GE0002 001-6 A	Carta dei complessi idrogeologici e profili idrogeologici	1:10000 1:2000/1:500
IZ04 00 R 69 IG GE0005 001 A	Indagini geofisiche	-
IZ04 00 R 69 SG GE0005 001 A	Sondaggi e stratigrafie	-
IZ04 00 R 69 SG GE0005 002 A	Indagini geognostiche bibliografiche	-
IZ04 00 R 69 PR GE0005 001-3 A	Prove di laboratorio	-
IZ04 00 R 69 RH GE0005 001 B	Monitoraggio piezometrico	-

#### 4 ALLEGATI

A corredo della presente relazione sono stati elaborati i seguenti documenti:

Codifica elaborato	Descrizione elaborato	Scala
IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico	1:2000/200
IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico-sezioni geologiche A-A' e B-B'	1:2000/200
IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003 A	Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico	1:2000/200
IZ04 40 R 69 L6 GE0002 001-3 A	Carta idrogeologica e profilo idrogeologico	1:2000/200
IZ04 40 R 69 RH GE0005 001 A	Quaderno indagini pregresse	

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'evoluzione geologica subita dall'area di interesse ben si inquadra nel contesto evolutivo geologico e geomorfologico vissuto nel complesso dall'intera area pianeggiante dell'Italia nord-orientale durante il Pleistocene superiore-Olocene.

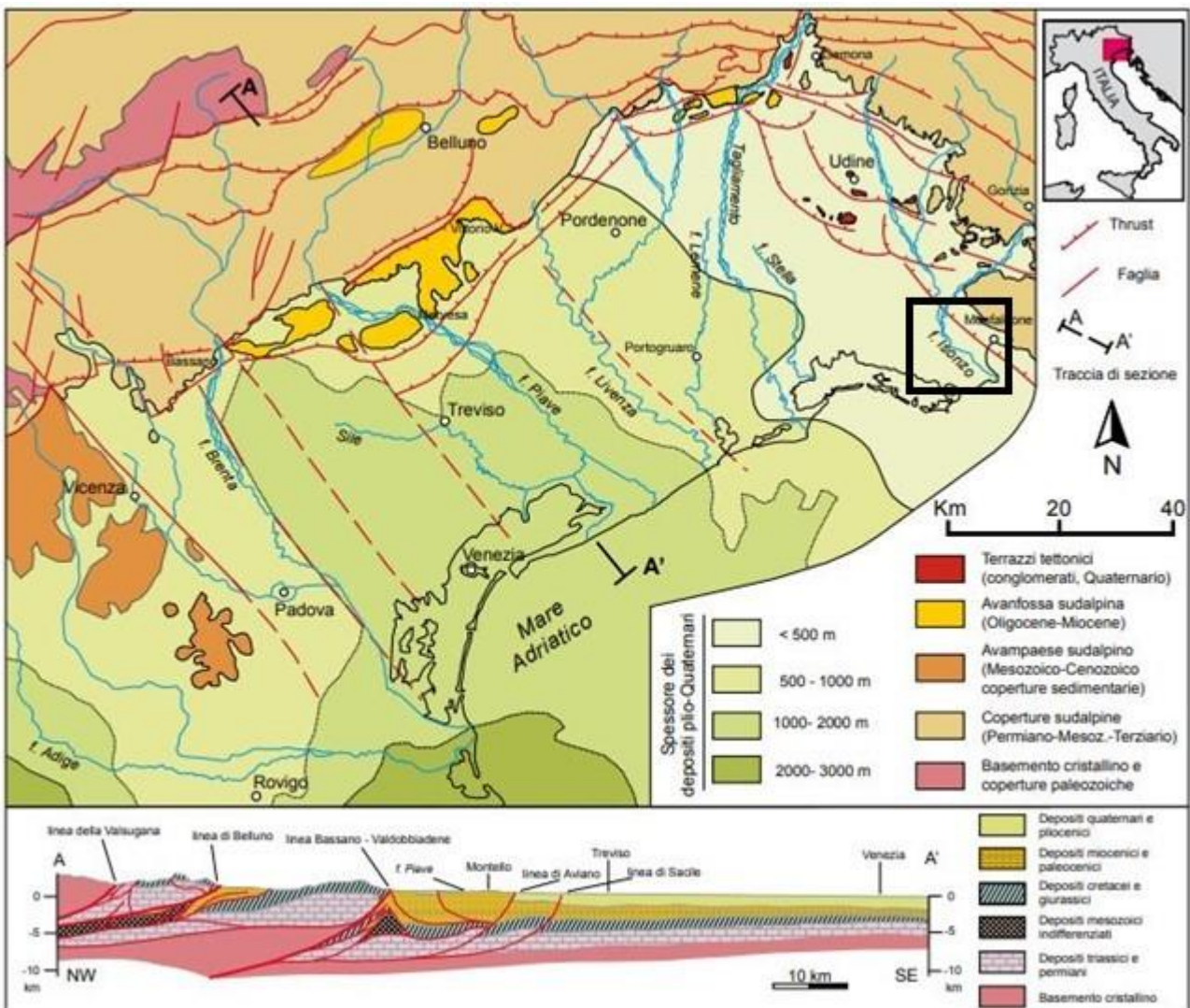


Figura 2 – Schema geologico strutturale della pianura veneto-friulana, con profilo geologico del settore centrale (da Provincia di Venezia 2008); il riquadro nero indica l'area di studio.

Nella letteratura scientifica ufficiale i modelli geologici *s.l.* schematici proposti, ben evidenziano gli elementi geologici e geomorfologici presenti sul terreno a testimonianza del succedersi degli eventi deposizionali ed erosivi che hanno interessato l'area a partire dal Pleistocene superiore terminale fino all'Attuale.

Dal punto di vista geologico è possibile individuare, da N a S, diverse zone (Brambati et al. 1977, Bondesan et al. 2008):

- la **zona alpina**, costituita da depositi prevalentemente calcareo-dolomitici mesozoici e, solo subordinatamente, da depositi flyschoidi eocenici;
- la **zona pedemontana**, costituita dai depositi alluvionali e morenici del Pleistocene superiore;
- la **zona di pianura**, costituita da depositi alluvionali dell'Olocene.

Dalle conoscenze pregresse riguardanti il settore di interesse emerge che i sedimenti costituenti la porzione più orientale della Pianura Padana sono essenzialmente depositi marini di età compresa tra il Giurassico ed il Pliocene inferiore, depositi continentali plio-quadernari e depositi marini e/o lagunari, di età compresa tra il Pleistocene e l'Olocene.

### 5.1 Caratteri tettonico-strutturale

Dal punto di vista tettonico e strutturale, la pianura veneto-friulana è parte del più ampio avampaese compreso tra il settore orientale delle Alpi meridionali e la porzione orientale dell'Appennino settentrionale, entrambe catene a pieghe e falde di ricoprimento. Esso è ricoperto da una potente successione sedimentaria di età terziaria e quadernaria nella quale sono evidenti le tracce degli eventi magmatici e tettonici succedutisi nel tempo, schematizzabili sinteticamente in tre principali fasi:

- **Evoluzione Pre-Orogenesi** (Paleozoico–Triassico): in questa prima fase il substrato è costituito essenzialmente dal basamento cristallino, caratterizzato da numerose associazioni granitoidi intercalate a rocce clastiche e vulcaniche. Non si hanno significativi eventi tettonici almeno fino all'inizio del Triassico, quando si assiste ad un progressivo *uplift* e ad una estensione dell'area, accompagnata dall'attività magmatica tipica delle fasi iniziali dell'evento eoalpino.
- **Evoluzione Sin-Orogenesi** (Giurassico superiore – Miocene superiore): dal Giurassico superiore – Cretaceo inferiore si assiste alla progressiva apertura del bacino tetideo settentrionale che comporta una prima differenziazione all'interno degli ambienti di sedimentazione del Bacino di Belluno. Quest'ultimo, a sua volta è dislocato da diverse faglie estensionali ad andamento NW-SE, antecedenti alla tettonica trassensionale a direzione prevalentemente NE-SW. Successivamente, durante il Paleogene si assiste alla progressiva scomparsa della Piattaforma Carbonatica Friulana in conseguenza del sollevamento che ha investito l'intera area. Tra l'Oligocene superiore ed il Miocene medio si succede, infine, l'evento Insubrico che conferisce, nel complesso, all'area le caratteristiche strutturali e deposizionali di un avampaese distale. Verso sud, quindi, il fronte alpino è ormai sepolto dai depositi di piana alluvionale pedalpina, mentre ad est alcuni dei sovrascorrimenti più esterni, affioranti parzialmente nel mezzo della pianura friulana, danno luogo, attualmente, a terrazzi tettonici sollevati di pochi metri rispetto alle aree limitrofe (Fontana 2006). Dal Serravaliano al Messiniano, infine, durante la fase neoalpina, l'intera area risente del veloce avanzamento verso SE del fronte della catena subalpina orientale.
- **Evoluzione Post-Orogenesi** (Pliocene inferiore - Quadernario): durante il Pliocene inferiore il regime compressivo, in parte ancora esistente nell'area mediterranea settentrionale, favorisce l'avanzamento del fronte appenninico verso NE mentre i continui stress tensionali inducono la crosta continentale adriatica a fessurarsi, con la conseguente formazione del bulge periferico che investe l'attuale area lagunare, in seguito sommersa.

### 5.2 Evoluzione geologica

La storia geologica dell'area della Pianura Veneto-Friulana è il risultato di una complessa storia evolutiva che, dal Giurassico fino all'Attuale, ha determinato significative modificazioni nelle condizioni di deposizione dei sedimenti e nell'assetto batimetrico delle acque marine.



Dal Giurassico al Cretacico, l'area era caratterizzata dalla presenza di due differenti domini paleogeografici costituiti rispettivamente dalla Piattaforma Carbonatica Friulana e dal Bacino di Belluno (Zanferrari et al., 2008), quest'ultimo, nella sua fascia più prossimale, recapito dei depositi di ambiente di transizione ampiamente affioranti nel settore dello specifico interesse progettuale. Le caratteristiche di un ambiente sommerso sono perdurate all'incirca fino al Miocene medio quando, in conseguenza dell'abbassamento isostatico del livello medio marino, l'intero settore è emerso e si sono in tal modo instaurate le condizioni favorevoli all'erosione continentale ed alla definizione di un primordiale reticolo fluviale.

Successivamente, a più riprese dal Pliocene inferiore al Quaternario, la probabile subduzione per flessurazione della litosfera continentale provoca l'avanzamento del fronte appenninico settentrionale migrante verso NE ed il conseguente instaurarsi di condizioni epibatiali tuttora perduranti.

### 5.3 Assetto stratigrafico

Con diretto riferimento a quanto riportato nella Carta Geologica del Friuli-Venezia Giulia in scala 1:150000 (Figura 3, Carulli 2006), le successioni stratigrafiche presenti nell'area di interesse possono essere distinte, dal basso verso l'alto, in:

- **Calcarei stratificati (16c):** dm-m, biancastri, grigi e nocciola, di aspetto porcellanaceo, con frequenti strutture di emersione, talora con brecce, argille residuali e stromatoliti (Calcere del Cellina, Membro Di Monte Coste, Calcari di San Donà): depositi di piattaforma protetta. *Giurassico superiore-Cretacico inferiore*
- **Brecce con clasti dolomitici (17b):** compatte, di colore grigio; dolomie grigio chiare e grigio scure, con laminazioni nerastre (scisti di Comeno), dolomie nere saccaroidi; lenti di brecce e calcari dal rosso mattone al giallastro; calcari grigi a rudiste (Formazione di Monrupino, Membro di Rupingrande); depositi di piattaforma. *Cretacico inferiore-superiore p.p.*
- **Calcarei bioclastici (17c):** biancastri, massicci con abbondanti rudiste, talora con intercalazioni di calcari micritici (Calcari di Monte Cavallo, Calcareniti del Molassa, Calcari di Aurisina, Formazione dei Calcari del Carso triestino p.p., Calcari di Monte San Michele): depositi di piattaforma aperta. *Cretacico superiore*
- **Sedimenti alluvionali (26):** del settore montano, della pianura e litoranei. *Olocene-Attuale*
- **Aree di bonifica e di riporto artificiale (30).** *Attuale*

Nel settore centro-orientale dell'area di studio è presente un sovrascorrimento con andamento NW-SE. Tale lineamento viene definito come Sovrascorrimento o Linea di Palmanova (Zanferrari et al. 2008, Carulli 2006, Ponton 2014) e secondo Zanferrari et al. 2008 risulta sepolto al di sotto della spessa coltre di terreni miocenico-quadernari. Per questo motivo il sovrascorrimento non interferisce direttamente con l'opera in progetto.



Figura 3 - Stralcio della Carta Geologica del Friuli-Venezia Giulia (Carulli 2006), con indicazione dell'opera di progetto (linea blu).

## 6 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La genesi della pianura veneto-friulana è legata principalmente allo sviluppo dei grandi fiumi che la attraversano, quali il Fiume Tagliamento, il Piave, il Brenta e l'Isonzo, caratterizzati da estesi bacini idrografici alpini, sede di numerosi ed imponenti ghiacciai nel Pleistocene. Durante il periodo compreso all'incirca tra 30,000-17,000 anni fa si esplicano, infatti, i principali processi da cui derivano depositi e morfologie ben evidenti non soltanto in superficie ma anche a debole profondità dall'attuale piano campagna. Nello specifico, i sedimenti risalenti agli ultimi 17,000 anni fa sono genericamente definiti come depositi relativi al periodo post-LGM, essendosi formati in condizioni climatiche differenti.

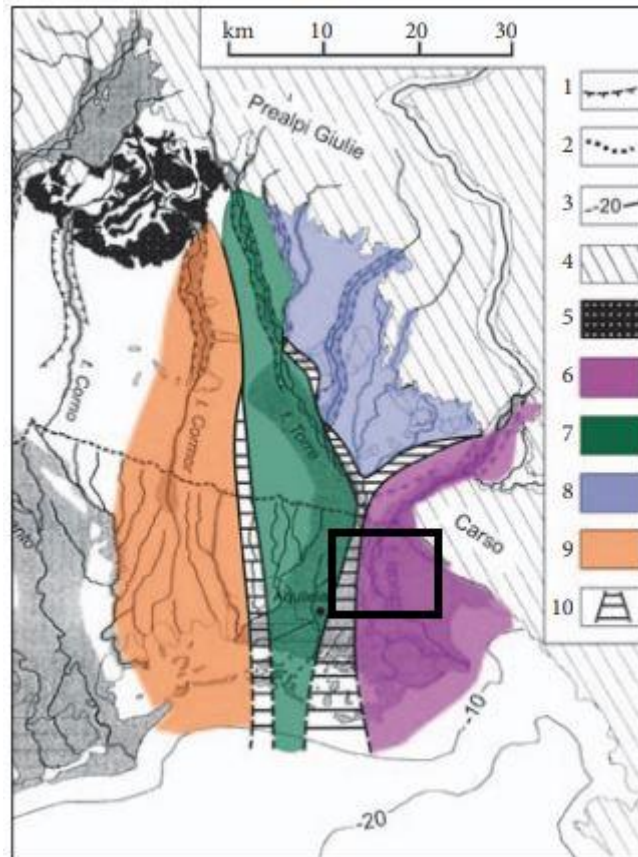
L'evoluzione geologica antecedente al LGM può essere delineata solo sommariamente nonostante la presenza di alcuni importanti marker stratigrafici, eccezion fatta per il settore compreso tra Montello e l'area in cui si individuano le sorgenti del Sile, nell'alta pianura trevigiana (Bondesan et al. 2002; Bondesan et al. 2004), in cui affiorano ampiamente i depositi alluvionali precedenti al LGM. Di seguito si riporta una breve sintesi riguardo i processi geologici e geomorfologici esplicatisi durante il LGM.

- **Pre-LGM** (>30,000 anni fa): durante questo periodo la pianura è interessata da una notevole fase di sedimentazione confrontabile, per valori di aggradazione e architettura deposizionale, con la fase di deposizione verificatasi durante il LGM. Dai dati emersi dai sondaggi effettuati nell'area si desume, inoltre, che nel sottosuolo della bassa pianura veneto-friulana, sono presenti depositi prevalentemente limosi e limoso-argillosi con sottili canali sabbiosi a geometria lentiforme (Bondesan et al. 2004; Tosi et al. 2007).
- **LGM** (30,000-17,000 anni fa): in questo periodo si svolge uno dei maggiori processi morfoevolutivi interessanti l'intero settore nord-orientale italiano, in cui i ghiacciai raggiungono la loro massima espansione pleistocenica occupando le principali valli alpine, fino a lambire le pianure (Fontana et al. 2008). Le condizioni ambientali, glaciali e periglaciali, che si instaurano durante questo periodo favoriscono una notevole produzione di detriti, mentre il movimento dei ghiacciai verso valle ne garantisce un efficace trasporto alimentando, inoltre, i sistemi fluvio-glaciali e portando all'aumento della portata liquida e del quantitativo di carico solido dei corsi d'acqua.

L'instaurarsi di tali nuove condizioni favorisce lo sviluppo dei grandi sistemi alluvionali e deposizionali dei megafan i quali materializzano l'aggradazione dell'intera ed attuale area di pianura (Fontana et al. 2008). E', inoltre, durante questo periodo che si ha la deposizione del cosiddetto "livello fondamentale della pianura", affiorante nell'intera pianura lombarda (Cremaschi 1987, Marchetti 1990). Lo spessore dei sedimenti depositi durante questa fase in genere è superiore a 15 metri e localmente può raggiungere uno spessore massimo di 25-30 metri, come testimoniano i depositi costituenti i megafan alluvionali dei fiumi Tagliamento e Piave, nonché quelli costituenti il megafan del fiume Brenta.

- **Post-LGM** (17,000 ad oggi): la fine del LGM è segnata dall'inizio del periodo Tardoglaciale, durante il quale l'intera area pianeggiante subisce un'ulteriore fase di evoluzione. Tale fase si caratterizza per la totale mancanza di sedimentazione e per il potere erosivo che acquisiscono i corsi d'acqua, i quali si trovano ora in forte fase di approfondimento. I depositi dei megafan dei fiumi Tagliamento e Piave sono, quindi, sottoposti ad un'importante fase di terrazzamento che si prolunga fino alla base dell'Olocene; successivamente tali incisioni sono parzialmente colmate dai sedimenti provenienti da ambienti lagunari e deltizi. Nei settori più distali della piana i depositi tardoglaciali sono separati da quelli riferibili all'LGM da una ben visibile unconformity, identificata con un paleosuolo noto in letteratura scientifica come "Caranto" (Tosi et al. 2007).

Nello specifico, il megafan del fiume Isonzo, secondo Marocco 2010, è caratterizzato da una distanza assiale di circa 19 km e un margine terminale emerso di circa 14 km, con un dislivello prossimo ai 30 m.. Inoltre, tale megafan può essere suddiviso in un settore orientale che si sviluppa tra il percorso attuale e le pendici del Carso, e un settore occidentale, che si estende tra l'alveo attuale e il conoide Torre/Natisone.



**Figura 4 – Schema dei sistemi alluvionali della bassa pianura friulano-isoncina. Legenda: 1) orlo di terrazzo fluviale; 2) linea delle risorgive; 3) batimetrica; 4) rilievi; 5) anfiteatro morenico del Tagliamento; 6) megafan dell’Isonzo; 7) megafan del Torre; 8) megafan del Natisone; 9) megafan del Cormor; 10) area di commistione (da Fontana 2006; mod.); il riquadro nero indica l’area di studio.**

Dagli studi geomorfologici di dettaglio condotti in passato (Castiglioni et al. 1991, Cavallin et al. 1987, Bondesan et al. 2004), si evince che il principale agente morfoevolutivo che ha delineato le forme tipiche di tali aree è rappresentato dall’erosione lineare fluviale le cui tracce sono, attualmente, ben visibili sul terreno. A seconda se si tratti della zona interna e, quindi, prossima al limite superiore della fascia pedemontana, oppure della zona esterna, a morfologia ancor più pianeggiante e prossimale alla zona di pertinenza marina, si possono distinguere diverse forme.

Della fascia interna distinguiamo:

- dossi fluviali;
- scarpate di terrazzo fluviale;
- corsi fluviali abbandonati;
- ventagli di esondazione;
- vallecicole a “V” ed “U”.

Nella fascia esterna, sono presenti forme naturali ed antropiche, quali:

- vasti depositi sabbiosi di ambiente litoraneo;
- cordoni litoranei;

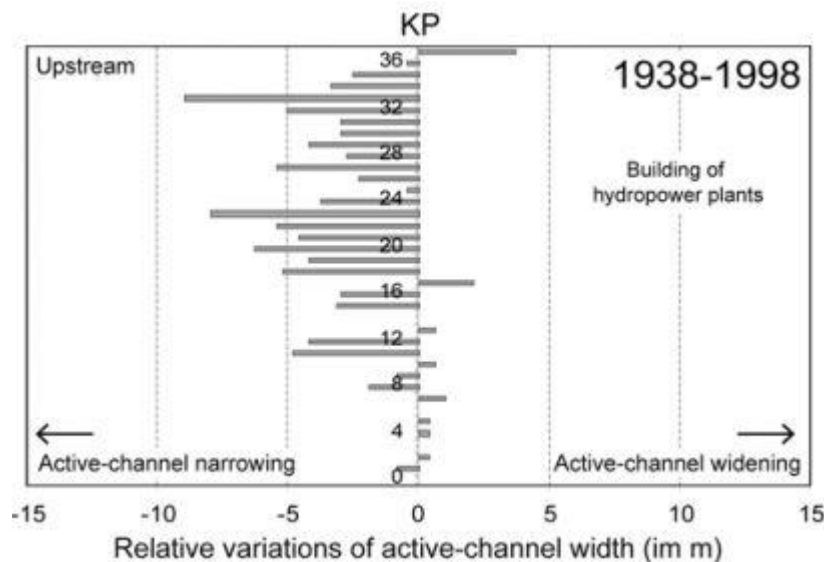
- canali lagunari abbandonati;
- antiche ripe di erosione marina;
- aree di cava;
- aree bonificate;
- aree urbane antiche e recenti.

Nel complesso, l'area di studio può dirsi (Castiglioni et al. 1991, Cavallin et al. 1987, Bondesan et al. 2004) caratterizzata dalla presenza di diverse forme derivanti da differenti processi morfogenetici che si esplicano sulle varie tipologie di depositi. Nello specifico, si distinguono:

- Forme, processi e depositi dovuti alle acque correnti superficiali;
- Forme, processi e depositi di origine marina, lagunare o lacustre;
- Forme antropiche e manufatti.

### 6.1 Evoluzione morfologica del Fiume Isonzo

L'evoluzione morfologica del Fiume Isonzo degli ultimi due secoli è stata dettagliatamente ricostruita da Siché & Arnaud-Fassetta (2014). Lo studio, che ha considerato circa 37 km di corso d'acqua tra Gorizia e la foce, evidenzia un restringimento generalizzato del canale attivo, con valori compresi tra 100 e 2000 m. A tal proposito, in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari e stradale di Pieris, l'accumulo di materiale a ridosso delle barre ha ristretto la sezione di flusso del corso d'acqua (Regione Friuli-Venezia Giulia 2013). Inoltre, il Fiume Isonzo, prima caratterizzato da canali intrecciati nel settore pedemontano e da un corso meandriforme a ridosso della piana costiera, presenta oggi nei due rispettivi settori un canale di tipo sinuoso ghiaioso e un canale sub-rettilineo sabbioso (Siché & Arnaud-Fassetta 2014). In aggiunta, fenomeni di approfondimento dell'alveo sono noti dagli anni 50 (Canziani 1980).



**Figura 5 – Variazione della larghezza del canale attivo del Fiume Isonzo nel periodo 1938-1998; KP=chilometriche (da Siché & Arnaud-Fassetta 2014).**

Successivi studi hanno mostrato come nei pressi di Pieris, il canale attivo durante la piccola era glaciale risulta oggi inciso di circa 1 m (Siché & Arnaud-Fassetta 2014). Le cause di queste profonde variazioni vanno ricercate in parte nei cambiamenti climatici avvenuti successivamente alla piccola era glaciale (PEG) e in maggior modo in diversi



fattori antropici. Tra questi, la canalizzazione, la costruzione di argini e la bonifica dei terreni hanno notevolmente condotto ad una semplificazione della morfologia del corso d'acqua, mentre il rimboschimento dell'alto bacino dell'Isonzo, la costruzione di dighe e il prelievo di sedimenti in alveo, ha ridotto fortemente il carico solido del fiume. La riduzione del trasporto solido nel Fiume Isonzo ha di conseguenza limitato lo sviluppo di canali intrecciati a favore di corsi sinuosi e favorito l'approfondimento dell'alveo (Siché & Arnaud-Fassetta 2014).

## 6.2 Geomorfologia dell'area

L'evoluzione geomorfologica dell'area ed i principali elementi morfologici presenti sul territorio sono direttamente connessi con il deflusso delle acque correnti superficiali e con la natura e la permeabilità dei litotipi presenti. In particolare, il principale fattore morfogenetico del territorio è rappresentato dal sistema fluviale del Fiume Isonzo, che si sviluppa dalle Alpi orientali fino al Mar Adriatico.



**Figura 6 – Dettaglio della pianura alluvionale in sponda orientale del Fiume Isonzo.**

Dal punto di vista morfologico l'area di studio si colloca in un territorio sub-pianeggiante della Bassa Pianura Friulana. Si tratta di un territorio caratterizzato da depositi alluvionali e che presenta una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1-3 ‰), generalmente orientata da NNW verso SSE (Figura 6). L'orografia dell'area, tipica di un settore pianeggiante, è molto regolare e poco articolata, con una quota minima di circa 4 m s.l.m. lungo l'alveo del Fiume Isonzo e una quota massima di circa 12 m s.l.m. in corrispondenza degli argini artificiali (Figura 7). Lungo la sponda occidentale, gli argini sono caratterizzati da alcune strutture antropiche di forma semicircolare, lunghe circa 55 m e larghe circa 30 m, riconducibili a postazioni militari del XX secolo della Linea dell'Isonzo.

L'idrografia è contraddistinta dalla presenza del Fiume Isonzo, che attraversa l'area d'interesse con un'orientazione generale N-S. Tale corso d'acqua è caratterizzato da letto largo a isole e barre sabbioso-ghiaiose ed è delimitato da orli di scarpata di erosione fluviale con altezze non superiori a 5 m (Figura 8). Inoltre, sono presenti numerosi canali antropici per la regimentazione delle acque superficiali e le attività irrigue.





Figura 7 – Dettaglio dell'argine artificiale in sponda orientale del Fiume Isonzo, ripresa da N.



Figura 8 – Dettaglio del Fiume Isonzo, caratterizzato da letto largo a isole e barre sabbioso-ghiaiose, ripreso da N.

## 7 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'intero territorio è interessato da una complessa e fitta rete idrografica. Il sistema idrografico determinato dalla presenza delle Alpi orientali e dalla piana alluvionale è incentrato sui principali corpi idrici a carattere torrentizio e loro affluenti sfocianti nel Mare Adriatico che, procedendo da est verso ovest sono: Isonzo, Cormor, Corno-Stella, Tagliamento e Cellina-Meduna.

La complessa rete idrografica è determinata, inoltre, in maniera significativa anche dalle acque di risorgiva. Tali acque provengono dalle falde freatiche presenti in tutta la media pianura friulana e sono alimentate sia dagli apporti meteorici, sia dalle infiltrazioni nel sottosuolo dei principali corsi d'acqua lungo i percorsi dell'alta e media pianura.



Figura 9 – Bacino idrografico del Fiume Isonzo (da Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione 2010; mod); il riquadro nero indica l'area di studio.

Una particolarità dei fiumi friulani è, nel tratto in corrispondenza dello sbocco in pianura, il profilo longitudinale convesso che termina con l'inizio della bassa pianura. Tale morfologia dipende dall'elevata permeabilità dei depositi che, favorendo un rapido assorbimento di notevoli quantità di acqua, facilita il deposito del materiale trasportato.

L'area di stretto interesse progettuale è attraversata dal Fiume Isonzo, che nasce presso alcune sorgenti situate nella Val Trenta in Slovenia e sfocia nel Mar Adriatico presso Staranzano, dopo aver lambito il Carso ad ovest. Tale corso d'acqua ha una lunghezza di 140 km di cui circa 100 km in territorio sloveno. Il bacino idrografico del fiume Isonzo ha un'estensione di circa 3400 km<sup>2</sup> di cui un terzo ricade in territorio italiano e comprende in Italia gli affluenti in destra idrografica quali Torre, Manila, Natisone, Judrio e in sinistra idrografica quali il Vipacco (Figura 9). Tale corso d'acqua alla sua foce ha una portata media di 233 m<sup>3</sup>/s, che raggiunge valori massimi di 2253 m<sup>3</sup>/s e minimi di 31 m<sup>3</sup>/s (Autorità di bacino dei fiumi Isonzo. Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione 2010).

Inoltre, il settore settentrionale dell'area di studio è interessato dalla confluenza in destra idrografica (sponda occidentale) del Fiume Torre nel Fiume Isonzo. Il Fiume Torre nasce nella valle di Musi e presso Trivignano Udinese riceve le acque di un altro importante corso d'acqua, il Fiume Natisone.

Infine, la rete idrografica superficiale è rappresentata da ulteriori corsi d'acqua di importanza minore e numerosi canali artificiali che svolgono importanti funzioni irrigue e di scolo, sviluppando una notevole ramificazione e gerarchizzazione anche a livello capillare.



## 8 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area di studio si caratterizza per la presenza di una modesta falda freatica e di diverse falde in pressione le quali, procedendo da nord a sud, decrescono in numero, spessore, granulometria dei depositi e qualità delle acque.

Secondo quanto riportato dalla "Carta delle tessiture dei depositi superficiali" e dalla "Carta idrogeologica regionale" prodotte dal CNR, l'area in esame dal punto di vista idrogeologico può essere suddivisa in tre principali fasce (Aurighi et al. 2001, Dal Prà et al. 2000, Garbellini et al. 2001, Zangheri et al. 2008), qui di seguito descritte brevemente (Figura 10):

- **Alta pianura:** costituita da alluvioni grossolane accumulate nella fase di decrescita delle piane da alcuni fiumi e torrenti; sono presenti imponenti conoidi di deiezione asciutti gran parte del tempo per l'elevata permeabilità, con corsi d'acqua morfologicamente caratterizzati da una distesa di alluvioni solcate da una rete di canali appena incisi che costituiscono il letto di magra. È presente una falda freatica con superficie libera del pelo d'acqua posta ad una profondità decrescente proseguendo dalla base del versante verso valle;
- **Media pianura:** caratterizzata dalla presenza di più falde sovrapposte ed in pressione, nonché di numerosi pozzi artesiani, in cui l'acqua fuoriesce senza l'ausilio di pompe per pressione naturale;
- **Bassa pianura:** caratterizzata da un sistema di falde in pressione alloggiate nei livelli sabbioso-ghiaiosi permeabili e separate da orizzonti impermeabili o semi-permeabili argilloso-limoso-sabbiosi. La pendenza si riduce notevolmente e l'andamento dei corsi d'acqua è tipicamente meandriforme. Il deflusso in condizioni normali si presenta lento e tranquillo, ma in occasione di eventi di piena i corsi d'acqua e in particolare il Tagliamento (1966-1969) possono tracimare dagli argini.

In linea generale, il modello idrogeologico proposto per l'intera pianura veneto-friulana, come detto in precedenza, riguarda una serie di acquiferi in pressione sovrapposti e dai rapporti geometrici particolarmente complessi.

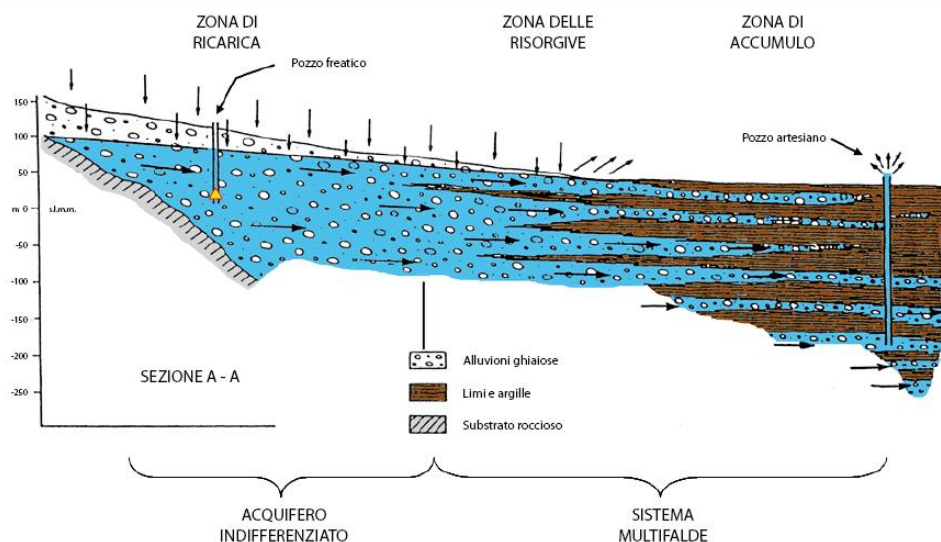


Figura 10 - Schema idrogeologico e dell'interdigitazione dei sedimenti nella pianura veneto-friulana (da Dal Prà et al. 2000).

Nella zona di transizione tra l'alta e la media pianura friulana sono presenti, in un ampio areale, le numerose emergenze idriche che danno luogo alla nota fascia delle risorgive (Figura 10, Figura 11).

La fascia territoriale delle risorgive, larga alcuni chilometri, in base alla variabilità stagionale del livello piezometrico, si sviluppa nella pianura veneto-friulana per circa 40 km in direzione Est Ovest a quote comprese tra i 30 e 40 m s.l.m..

Dall'allineamento di tali sorgenti traggono origine i fiumi di risorgiva, che, insieme alle canalizzazioni artificiali, costituiscono il reticolo idrografico della bassa pianura friulana, impostato su un substrato essenzialmente impermeabile; anche le portate dei fiumi alpini (Tagliamento e Isonzo) aumentano in corrispondenza della linea delle risorgive. Tale situazione determina il passaggio da un potente e continuo sistema acquifero indifferenziato di tipo freatico a monte, ad un complesso sistema acquifero multifalda a valle, in stretta connessione reciproca (Stefanini & Cucchi 1977) (Figura 10).

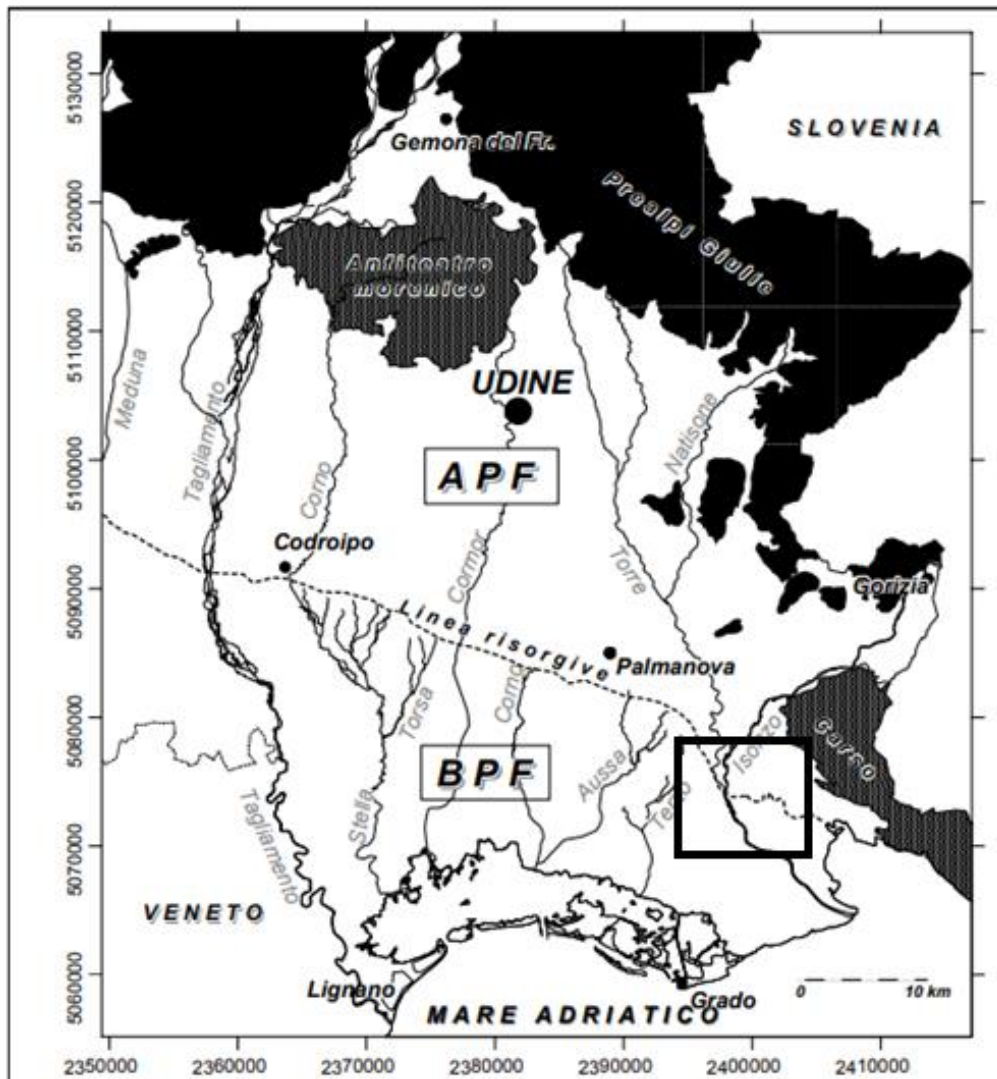


Figura 11 - La pianura alluvionale friulana compresa tra i fiumi Tagliamento ed Isonzo (APF = Alta Pianura Friulana; BPF = Bassa Pianura Friulana) (da Martelli G. & Granati C. 2007; mod.); il riquadro nero indica l'area di studio.



Nello specifico, la linea delle risorgive identifica il limite dove parte delle acque della falda freatica, che a nord permea i sedimenti ghiaiosi, vengono alla luce in virtù della diminuzione della permeabilità dei depositi, mentre nel sottosuolo si sviluppa un complesso sistema di falde artesiane.

Lungo tale fascia le acque della falda freatica dell'alta pianura si innalzano progressivamente, sia per la diminuzione della permeabilità del mezzo filtrante che per l'incremento della potenza degli orizzonti argillosi impermeabili, e diventano affioranti dando luogo a numerosi corsi d'acqua di risorgiva. Qui l'estensione nel sottosuolo di numerosi orizzonti argillosi impermeabili più o meno continui, intervallati da altri porosi, permette il costruirsi di falde artesiane che trasportano le acque ben oltre il limite costiero. I dati dei sondaggi geognostici e quelli derivanti dalla terebrazione di pozzi per lo sfruttamento dell'acqua, disponibili nella specifica letteratura scientifica, mostrano una bassa pianura dove si intercalano strati ghiaiosi ad altri di natura sabbiosa e/o argillosa che si collegano, non sempre con continuità, tra di loro.

Nel dettaglio, l'area di studio ricade nel settore di bassa pianura friulana, poco a sud della linea delle risorgive, che, come detto in precedenza, è soggetta ad una posizione variabile in base alla variazione del livello piezometrico. Secondo la "Carta delle tessiture dei depositi superficiali" (Figura 12), l'area di interesse progettuale è caratterizzata da depositi prevalentemente limosi e argillosi, mentre, secondo la "Carta idrogeologica regionale" (Figura 13), l'area è interessata da isofreatiche con valori prossimi compresi tra 0 e 10 m s.l.m.

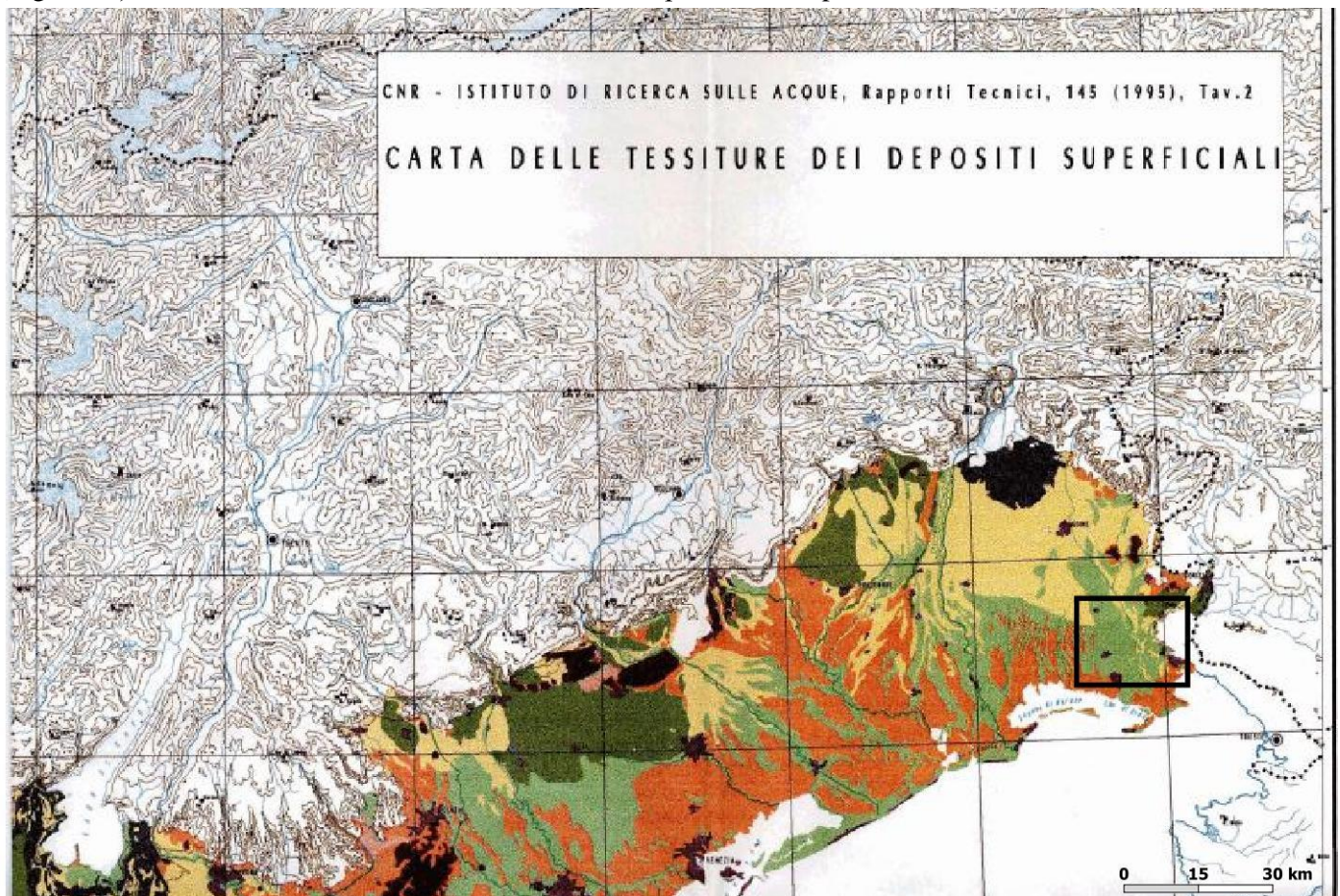


Figura 12 - Carta delle tessiture dei depositi superficiali, il riquadro nero indica l'area di studio: I colori arancione, verde chiaro e verde scuro, indicano rispettivamente i depositi prevalentemente sabbiosi (dune); limosi, argillosi e torbe



(barene); i depositi ghiaiosi inferiori ad 1 m. Infine in bordeaux sono riportate le aree urbane. La carta rende visibile le tre fasce di alta, media e bassa pianura (da IRSA 1996; mod.).

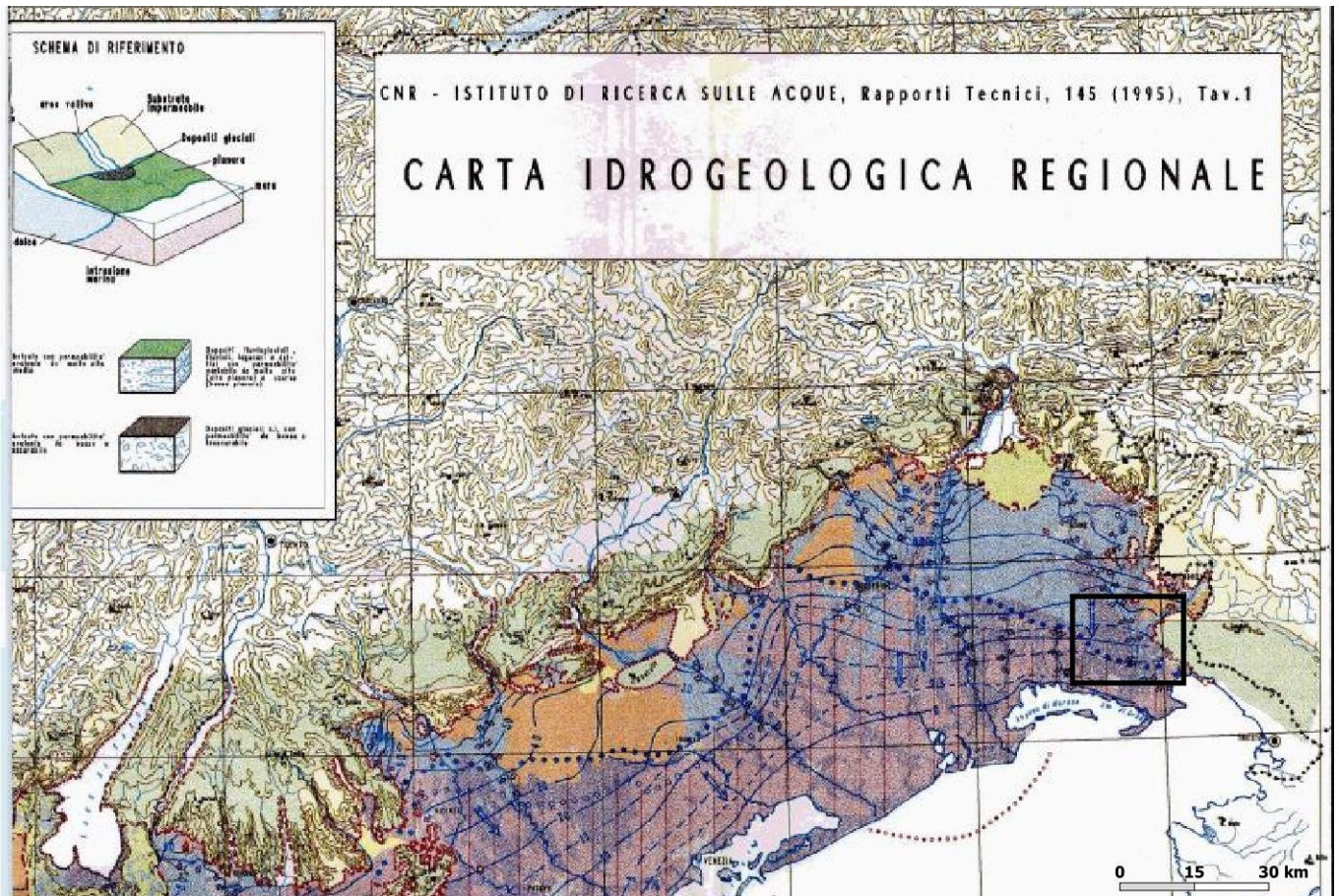


Figura 13 - Carta Idrogeologica regionale, il riquadro nero indica l'area di studio: le isofreatiche indicano che l'acqua scorre da monte verso mare, inoltre la profondità dalla falda è a quote minori man mano che ci spostiamo sulla costa. Il colore blu indica ghiaie, il viola sabbie senza copertura, il rosa limi e argille, l'arancio ghiaie con coltre di alterazione maggiore di 1m (da IRSA 1996; mod.).



## 9 CARTOGRAFIA DEL RISCHIO E VINCOLI TERRITORIALI

Di seguito vengono descritti i vincoli di tipo geologico che interessano l'area di studio, in riferimento alle normative nazionali.

### 9.1 Vincolo idrogeologico e paesistico

Per quanto concerne il Vincolo Idrogeologico (R.D.L. 3267/1923 e R.D. 1126/1926), sono stati consultati gli studi contenuti nella Carta delle aree soggette a vincolo idrogeologico (Geoportale Regione Friuli-Venezia Giulia). Secondo tali cartografie, le opere in progetto sono parzialmente interessate da un areale di vincolo idrogeologico (cfr. Figura 14).

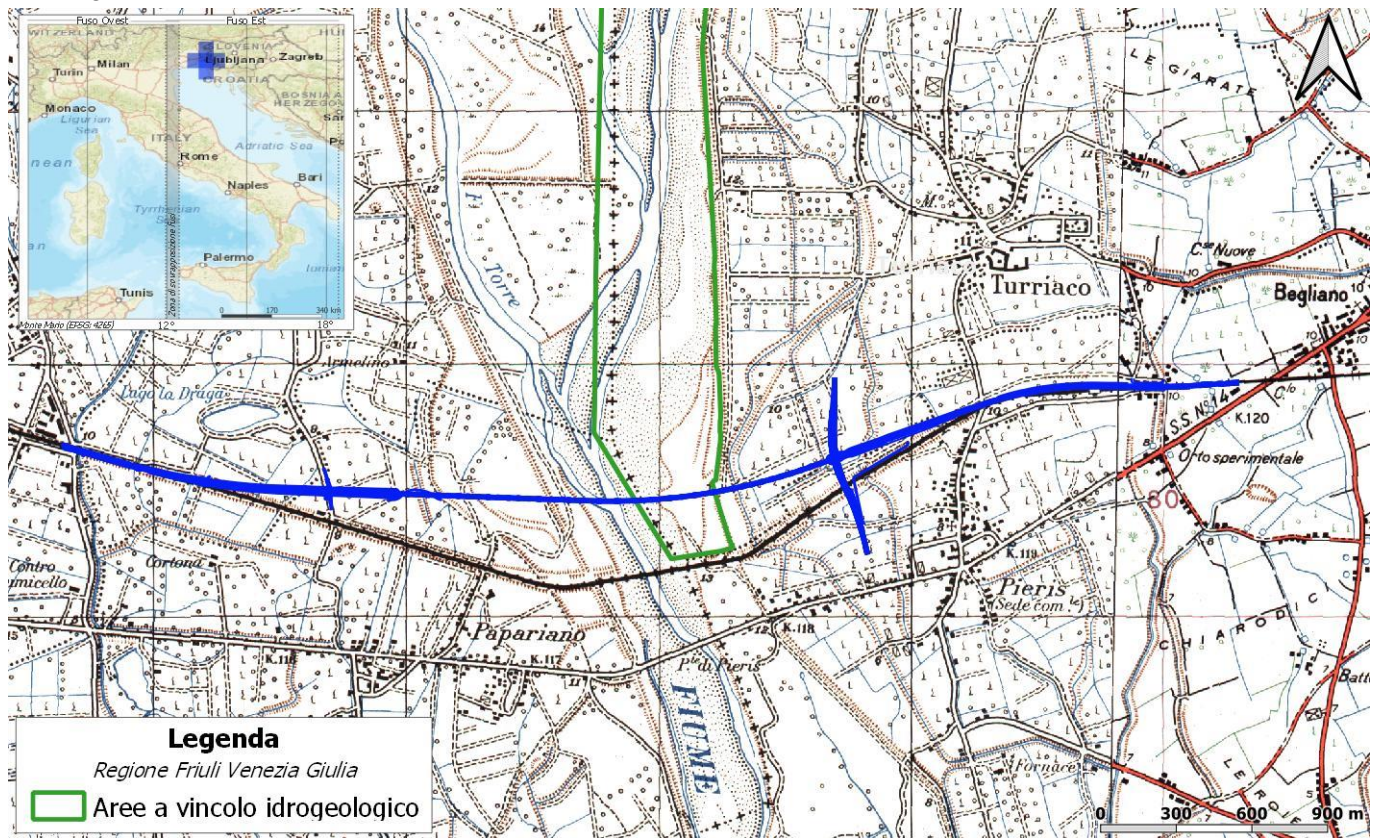


Figura 14 - Stralcio della Carta delle aree soggette a vincolo idrogeologico della Regione Friuli-Venezia Giulia, con individuazione dell'opera di progetto (linea blu).






### 9.2 Rischio geomorfologico ed idrogeologico

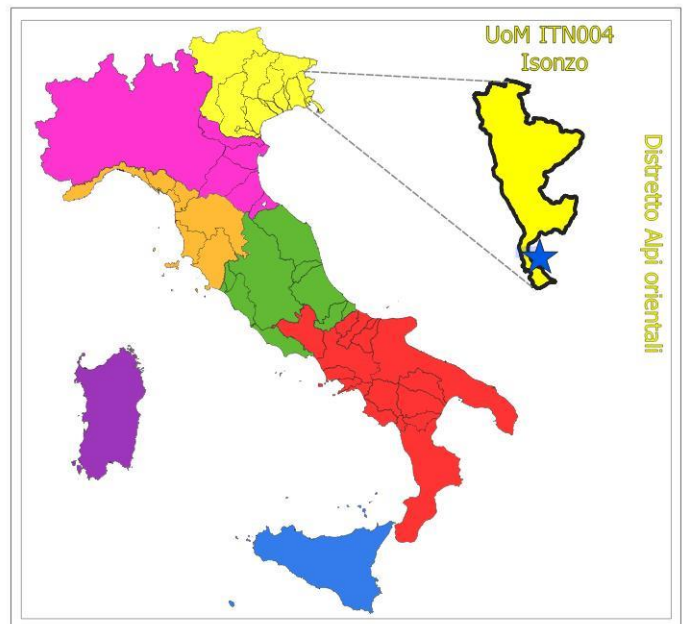
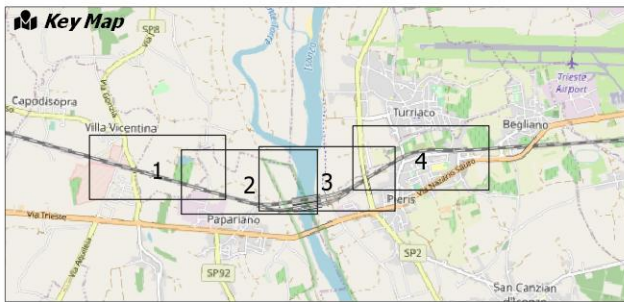
Relativamente al Rischio geologico e idrogeologico, sono state consultate le cartografie tematiche del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Isonzo, ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino distrettuale delle Alpi Orientali. Secondo tali studi, il sito di progetto non ricade in areali di pericolosità geologica, e per tale motivo non sono state prodotte le relative cartografie ([http://pai.adbve.it/PAI\\_4B\\_2012/geo\\_isonzo.html](http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/geo_isonzo.html)).

Dal punto di vista idraulico, le cartografie del Piano stralcio di Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Isonzo ([http://pai.adbve.it/PAI\\_4B\\_2012/idro\\_isonzo.html](http://pai.adbve.it/PAI_4B_2012/idro_isonzo.html)) riportano la presenza di areali di pericolosità nella zona di studio. In particolare, le opere in progetto ricadono principalmente in una zona a **Pericolosità media (P2)** ed **elevata (P3)** a ridosso della sponda occidentale del Fiume Isonzo (Figura 17), e in una fascia a **Pericolosità media (P2)** in corrispondenza della sponda orientale (Figura 17, Figura 18).

**PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I.**

**Perimetrazione e classi di pericolosità idraulica**

-  F - Area Fluviale
-  P1 - Pericolosità idraulica moderata
-  P2 - Pericolosità idraulica media
-  P3 - Pericolosità idraulica elevata
-  P4 - Pericolosità idraulica molto elevata



**Figura 15 - Legenda delle cartografie del Distretto delle Alpi Orientali - Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Isonzo, con tavola di inquadramento delle figure seguenti.**



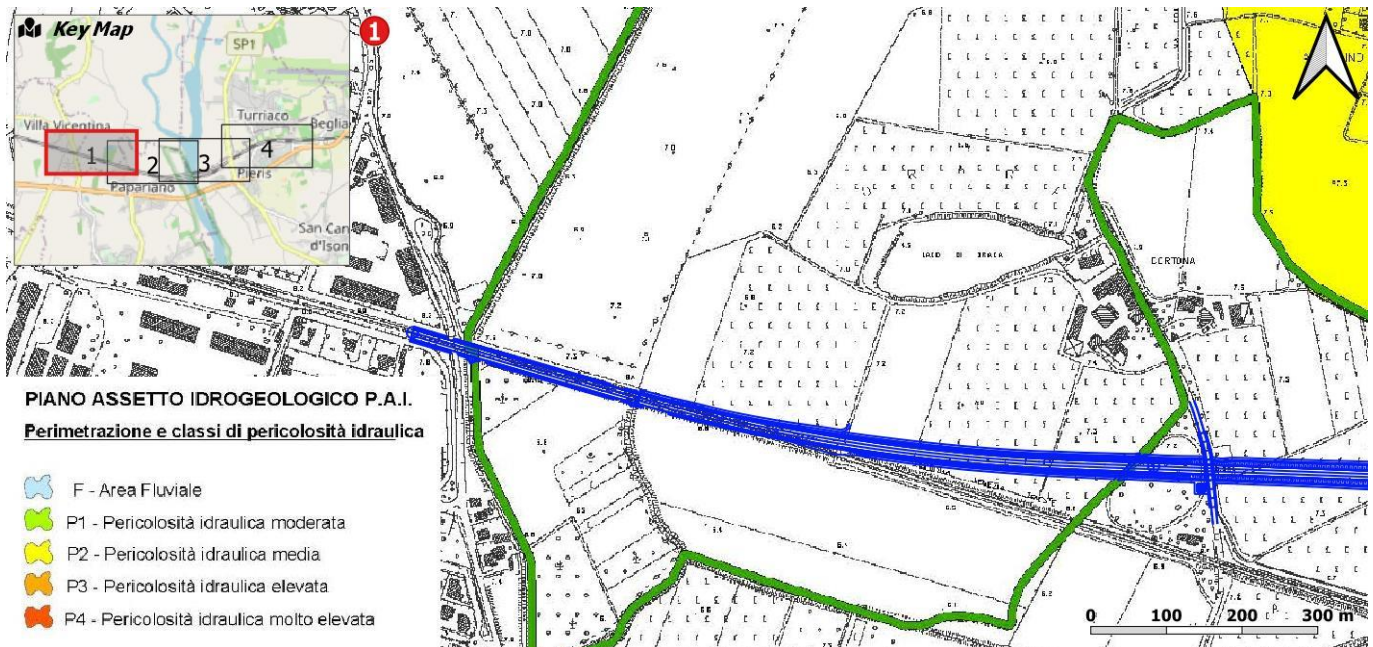


Figura 16 - Stralci della carta di pericolosità idraulica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Isonzo, con individuazione dell'opera in progetto (linea blu) (2018).

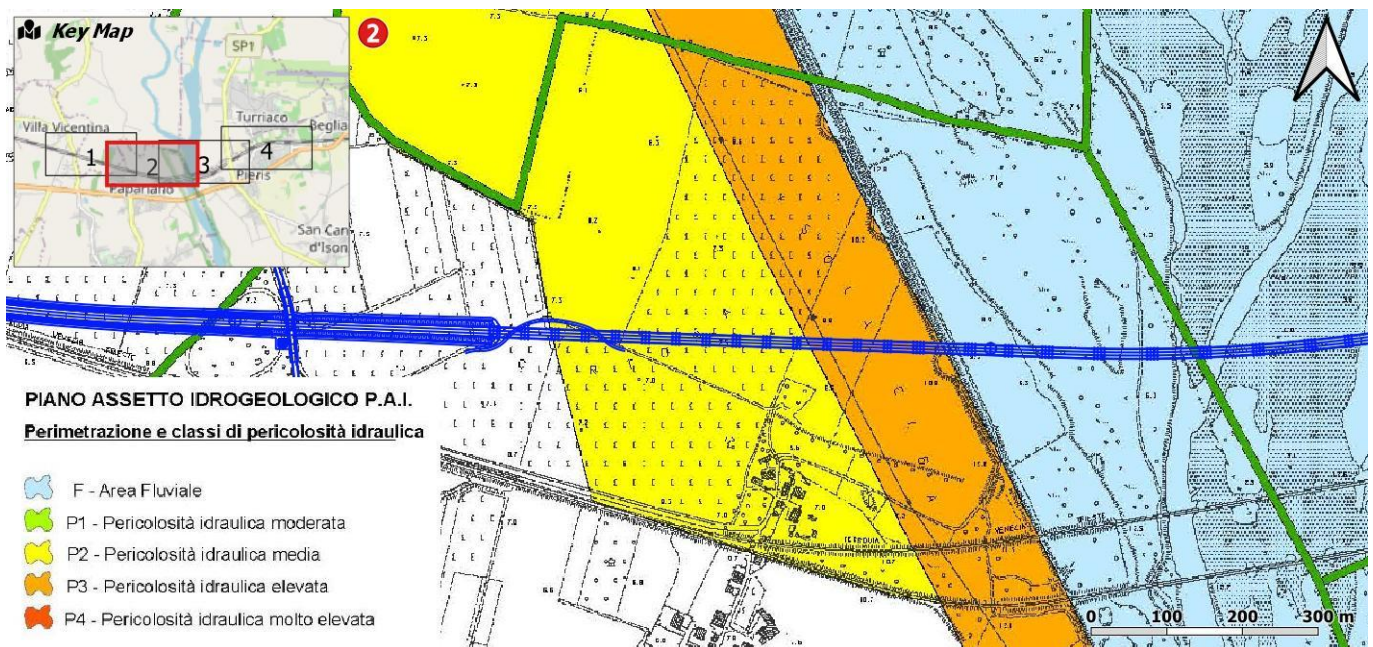


Figura 17 - Stralci della carta di pericolosità idraulica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Isonzo, con individuazione dell'opera in progetto (linea blu) (2018).



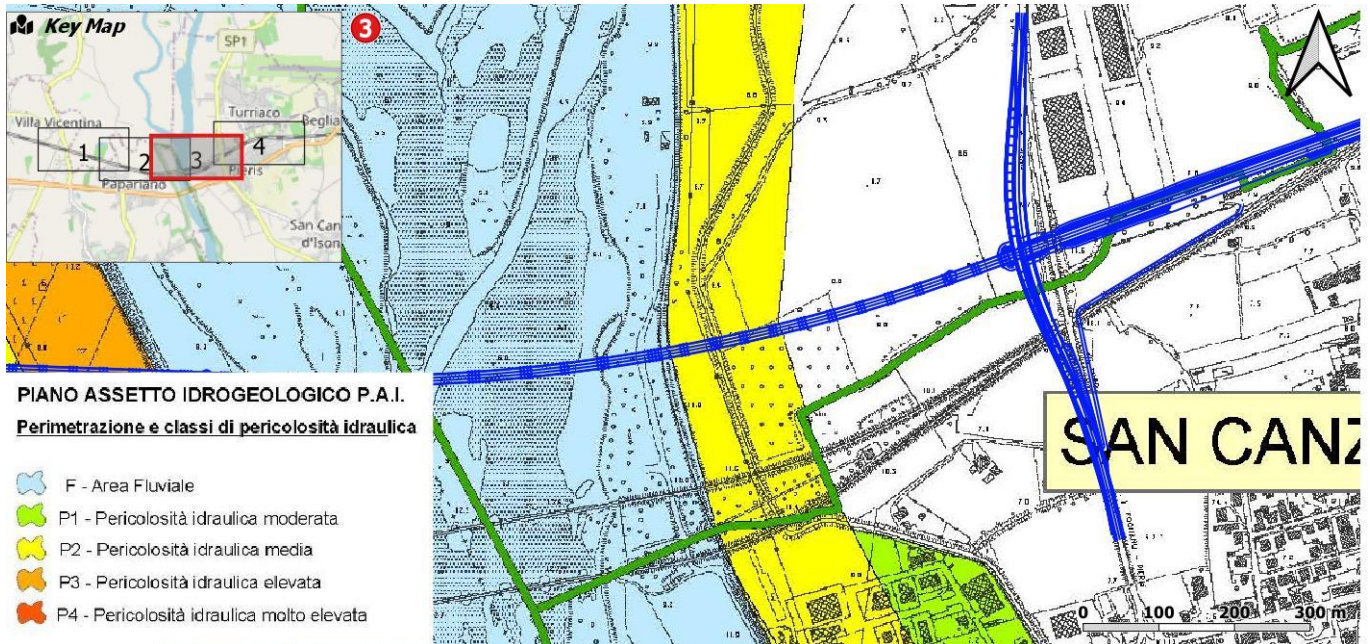


Figura 18 - Stralcio della carta di pericolosità idraulica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Isonzo, con individuazione dell'opera in progetto (linea blu) (2018).

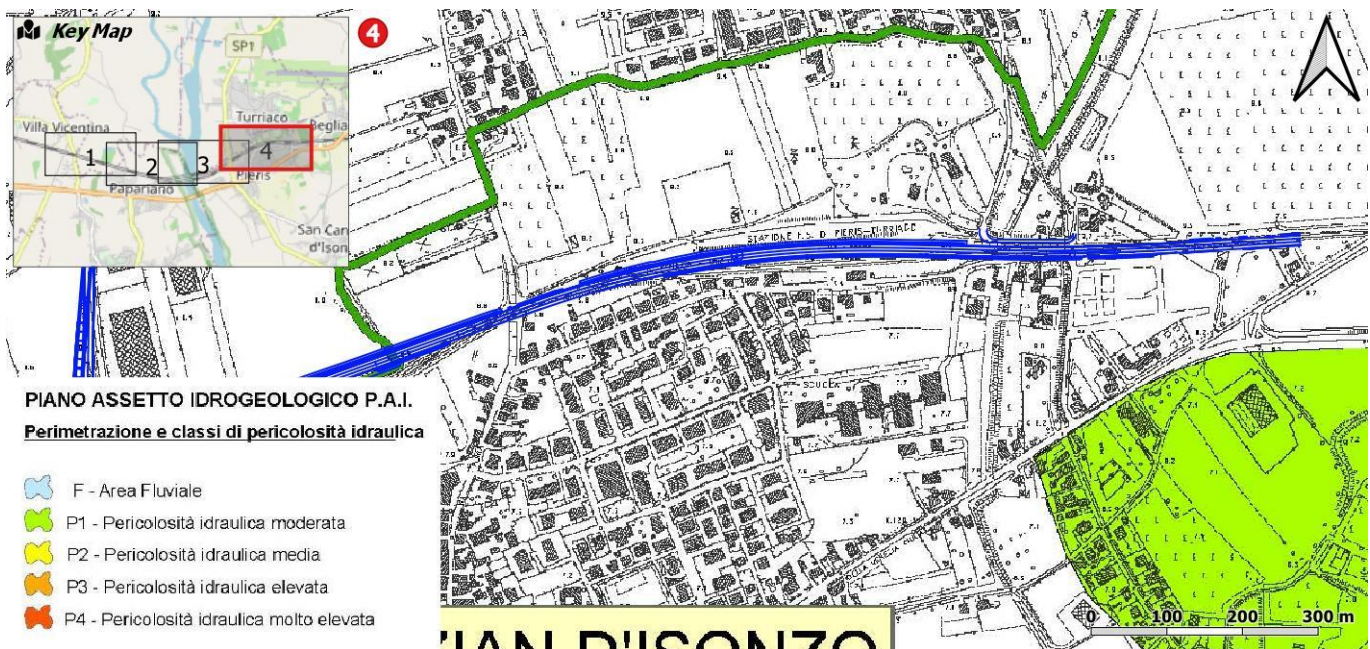


Figura 19 - Stralcio della carta di pericolosità idraulica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del fiume Isonzo, con individuazione dell'opera in progetto (linea blu) (2018).

## 10 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Nel corso dello studio sono state consultate e analizzate sia le indagini geognostiche pregresse, sia quelle appositamente realizzate nel settore di territorio interessato dagli interventi in progetto. L'intero *set* di dati derivanti dalle indagini di sito ha permesso di configurare un quadro di conoscenze soddisfacente, in relazione con la specifica fase di approfondimento progettuale in corso, circa l'assetto litostratigrafico e geologico-strutturale dei termini litologici interessati dalle opere in progetto.

### 10.1 Campagna indagini

Nella presente fase progettuale sono state analizzate le indagini appositamente realizzate nel settore di studio per il "PFTE - Potenziamento Linea Venezia-Trieste – Posti Di Movimento e Varianti di Tracciato - Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo" (Italferr 2021). Sono state inoltre reperite le indagini dello studio "PFTE - Potenziamento Linea Venezia-Trieste-Soppressioni passaggi a livello e varianti di tracciato" riferibili alla campagna indagine Italferr 2018 e alle Indagini Bibliografiche.

Le indagini di sito sono così riassunte:

- n. 16 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, di cui 10 attrezzati con piezometro, 1 non attrezzato e 5 attrezzati per sismica in foro;
- n. 6 prospezioni sismiche Masw;
- n. 4 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n. 2 prospezioni elettrotomografiche;
- n. 11 prospezioni sismiche HVSR

Nei paragrafi seguenti è riportata una sintesi delle indagini geognostiche relative alle opere in progetto.

#### 10.1.1 Sondaggi geognostici

Di seguito vengono elencati tutti i sondaggi geognostici eseguiti nell'ambito di differenti lavori nei settori di studio, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004), strumentazione, profondità (Prof), campioni (C), numero prove SPT, numero prove Lefranc/Lugeon (P), numero prove Dilatometriche (D) e numero prove Pressiometriche (Ps)).

sigla	Monte Mario Italy 2		strumentazione	prof <i>m</i>	C	prove in foro			
	X	Y				SPT	P	D	Ps
VI_1	2396251	5074323	Piezometro	30.0	17	11	2	0	0
VI_2	2396642	5074297	Sismica in foro	40.0	17	11	2	0	1
VI_3	2396884	5074300	Piezometro	50.0	26	19	3	0	1
VI_4	2397484	5074288	Sismica in foro	50.0	26	16	2	0	1
VI_5	2397584	5074308	Piezometro	54.0	25	16	2	0	1
VI_6	2398128	5074326	Piezometro	50.0	23	15	2	0	0
VI_7	2398474	5074303	Piezometro	50.0	24	16	2	0	0
VI_8	2398668	5074393	Sismica in foro	50.0	24	17	2	0	0



sigla	Monte Mario Italy 2		strumentazione	prof m	C	prove in foro			
	X	Y				SPT	P	D	Ps
VI_9	2399188	5074671	Piezometro	40.0	22	14	2	0	1
VI_10	2399592	5074719	Piezometro	30.0	16	10	2	0	1
VI_11	2398711	5074200	Non attrezzato	50.0	26	17	2	0	1
<b>Totale</b>					<b>246</b>	<b>162</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>7</b>

**Tabella 1 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nella campagna indagini Italferr 2021.**

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato (IZ04 40 R 69 SG GE0005 001). I punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:2000/200 (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).

sigla	Monte Mario Italy 2		strumentazione	prof m	C	prove in foro			
	X	Y				SPT	P	D	Ps
PNL342R14	2396141	5074358	Piezometro	15.0	2	5	1	0	0
CHL342V15	2396129	5074741	Sismica in foro	50.0	5	8	1	0	0
CHL342V17	2398116	5074636	Sismica in foro	50.0	3	11	1	0	0
<b>Totale</b>					<b>10</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabella 2 - Sintesi dei sondaggi geognostici riferibili alle Indagini bibliografiche.**

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato (IZ04 40 R 69 RH GE0005 001). I punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:2000/200 (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002).

sigla	Monte Mario Italy 2		strumentazione	prof m	C	prove in foro			
	X	Y				SPT	P	D	Ps
BH12	2398840	5074527	Piezometro	30.0	6	10	2	0	0
BH14	2397308	5074306	Piezometro	40.0	8	13	2	0	0
<b>Totale</b>					<b>14</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

**Tabella 3 - Sintesi dei sondaggi geognostici realizzati nella campagna indagini Italferr 2018.**

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato (IZ04 40 R 69 RH GE0005 001). I punti di ubicazione sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:2000/200 (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).

### 10.1.2 Indagini geofisiche

Nella tabella seguente è riportata una sintesi di tutte le indagini sismiche disponibili, con indicazione dei principali dati tecnici relativi ad ogni singola indagine (sigla, coordinate nel sistema di riferimento Monte Mario Italy zona 2/fuso Est (EPSG 3004), del punto medio di ogni singolo stendimento, tipologia e lunghezza).

sigla	Monte Mario/Italy 2		tipologia indagine	lunghezza <i>m</i>
	X	Y		
MASW1	2396888	5074293	MASW	57.5
MASW2	2399598	5074698	MASW	57.5
L1	2397706	5074289	Rifrazione	235.0
L2	2397781	5074326	Rifrazione	330.0
L3	2398100	5074316	Rifrazione	360.0
L4	2398017	5074257	Rifrazione	355.0
TE1	2397706	5074289	Geoelettrica	249.0
TE2	2398100	5074316	Geoelettrica	357.0
HVSR115	2396642	5074294	HVSR	
HVSR097	2396889	5074294	HVSR	
HVSR116	2397483	5074267	HVSR	
HVSR106	2397697	5074596	HVSR	
HVSR105	2397685	5073931	HVSR	
HVSR096	2397778	5074287	HVSR	
HVSR100	2398017	5074296	HVSR	
HVSR103	2398114	5074549	HVSR	
HVSR102	2398121	5074007	HVSR	
HVSR114	2398663	5074384	HVSR	
HVSR098	2399606	5074701	HVSR	

**Tabella 4 - Sintesi delle indagini sismiche di superficie realizzate nella campagna indagini Italferr 2021.**

I certificati delle prove geofisiche sono riportati nello specifico elaborato (IZ04 40 R 69 IG GE0005 001). I punti di ubicazione delle stesse, invece, sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:2000/200 (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).

sigla	Monte Mario/Italy 2		tipologia indagine	lunghezza <i>m</i>
	X	Y		
MASW_BH12	2398808	5074514	MASW	46.0
MASW_BH14	2397324	5074340	MASW	46.0
MASW_CHL342V17	2398242	5074348	MASW	46.0
MASW_PNL342R14	2396102	5074363	MASW	46.0

**Tabella 5 - Sintesi delle indagini sismiche di superficie realizzate nell'ambito della campagna indagini Italferr 2018.**

I certificati delle stratigrafie dei sondaggi sono riportati nello specifico elaborato (IZ04 40 R 69 RH GE0005 001). I punti di ubicazione delle stesse, invece, sono riportati nell'allegata Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico in scala 1:2000/200 (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).

## 11 MODELLO GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

L'assetto stratigrafico dell'area di stretto interesse progettuale è stato ricostruito integrando i dati ottenuti dal rilevamento geologico effettuato, con tutte le informazioni ricavate dalla fotointerpretazione appositamente condotta, dalle fonti bibliografiche disponibili e dalle indagini di sito a disposizione.

### 11.1 Unità litostratigrafiche

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere e cartografare quattro differenti unità geologiche, relative ai depositi continentali quaternari: Depositi alluvionali antichi, Depositi alluvionali recenti, Depositi alluvionali attuali e Riporti antropici. Le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti dal rilevamento geologico di superficie, dalle indagini geognostiche e geofisiche a disposizione e dalla fotointerpretazione.

In superficie, le diverse tipologie di depositi alluvionali (antichi, recenti e attuali) sono state individuate e cartografate sulla scorta delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio. In profondità, invece, i limiti di queste unità sono stati individuati e cartografati in funzione delle caratteristiche litologiche dei depositi, secondo l'assunzione che generalmente i cicli deposizionali di questi sistemi fluviali sono chiusi da depositi a granulometria fine (da sabbiosa ad argillosa), corrispondente depositi di meandro abbandonato e piana inondabile. I sedimenti più grossolani invece sono generalmente tipici delle fasi ad alta energia che segnano l'inizio di ogni ciclo sedimentario. In aggiunta, i dati provenienti dalle indagini geofisiche hanno permesso di individuare e cartografare tali limiti con maggiore precisione, e in assenza del dato di sondaggio, di localizzare la presenza di lenti sabbiose e argillose.

La carta tecnica regionale utilizzata deriva da rilievi Lidar effettuati tra il 2006 e il 2010. Considerato l'intervallo di tempo trascorso tra il rilievo della cartografia e la presente fase di progettazione, si è ritenuto opportuno integrare i dati a disposizione con un'analisi fotointerpretativa multitemporale condotta, tramite Google Earth, sulle foto aeree del periodo 2008-2019. In tale modo è stato possibile valutare le variazioni geologiche e geomorfologiche dell'area in tutto il periodo di tempo successivo alla realizzazione della CTR.

Tale analisi fotointerpretativa ha permesso di cartografare con precisione i riporti antropici costituenti i rilevati stradali, ferroviari e gli argini fluviali artificiali. Inoltre, tale analisi, da un punto di vista morfodinamico, ha mostrato una normale variabilità morfologica in corrispondenza del corso d'acqua, con la migrazione delle barre e delle isole sabbioso-ghiaiose lungo l'alveo del Fiume Isonzo. Al contrario, le scarpate che bordano tale corso d'acqua risultano stabili e, solo localmente, si evidenziano fenomeni di erosione e leggero arretramento (Figura 20, Figura 21). Si osserva quindi, una condizione di morfodinamicità internamente al canale attivo del Fiume Isonzo, mentre all'esterno dell'alveo si evidenziano condizioni di stabilità.

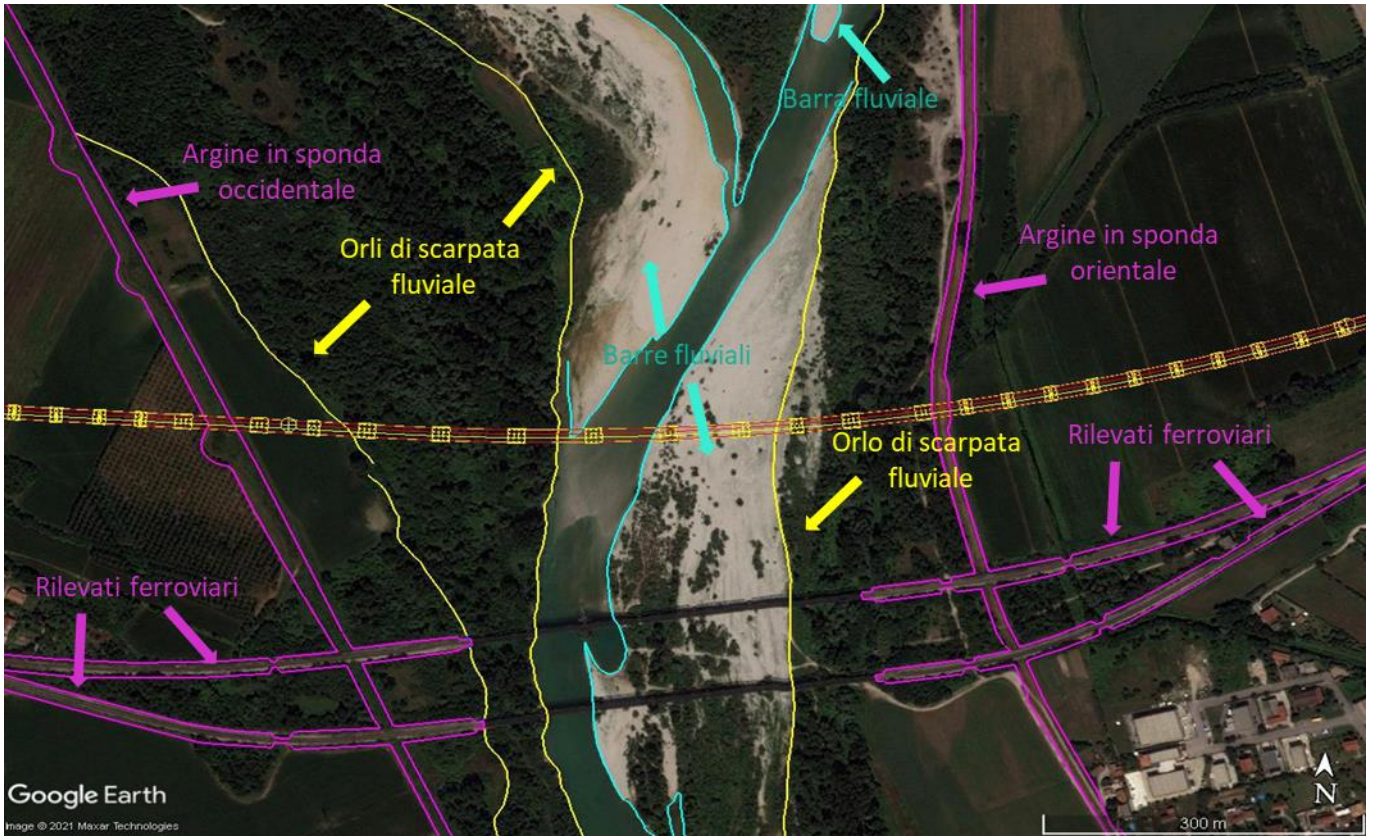
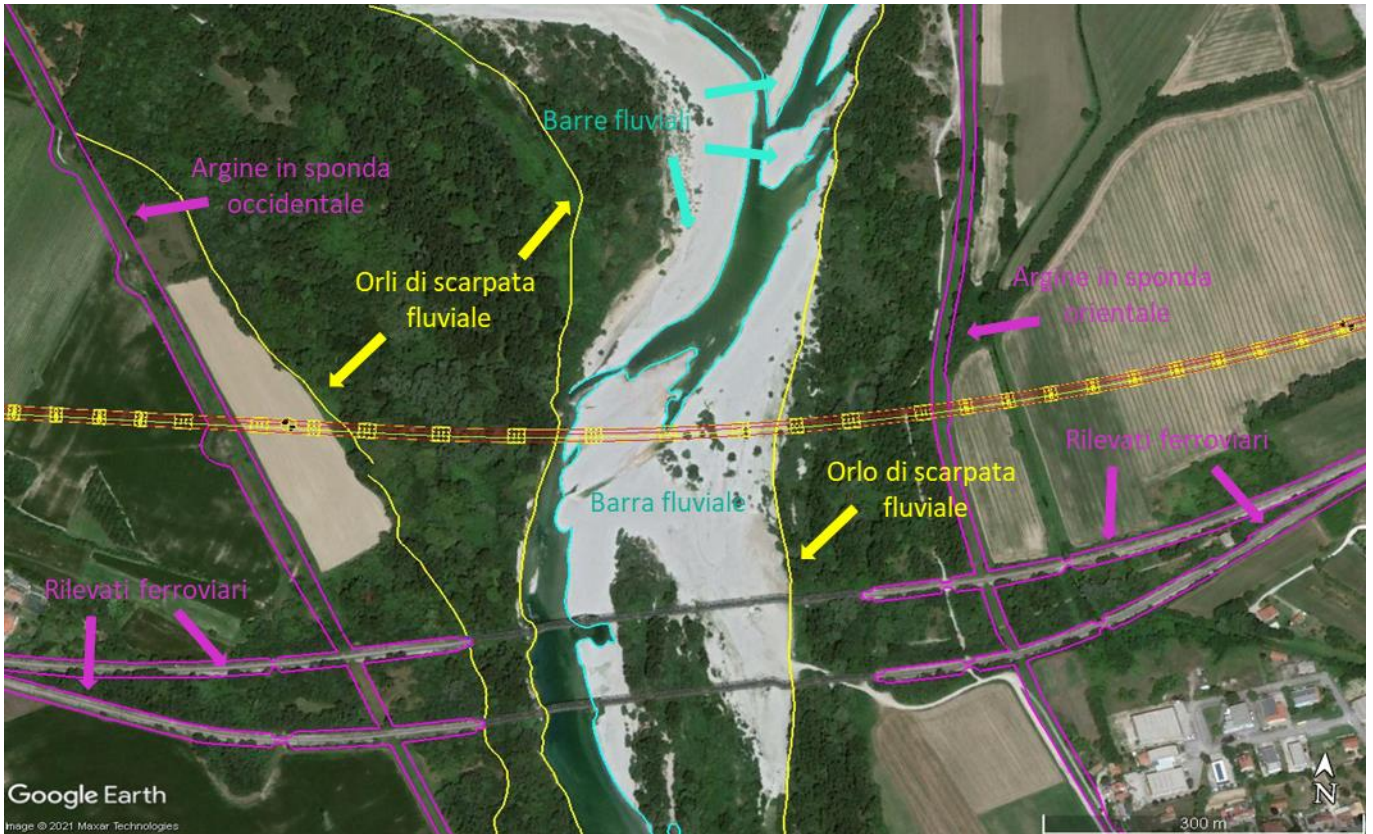


Figura 20 – Esempio di analisi fotointerpretativa dell'area di studio relativa all'anno 2011.





**Figura 21 - Esempio di analisi fotointerpretativa dell'area di studio relativa all'anno 2018.**

La sintesi del modello geologico di riferimento è riportata nella "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico" (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002, IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).



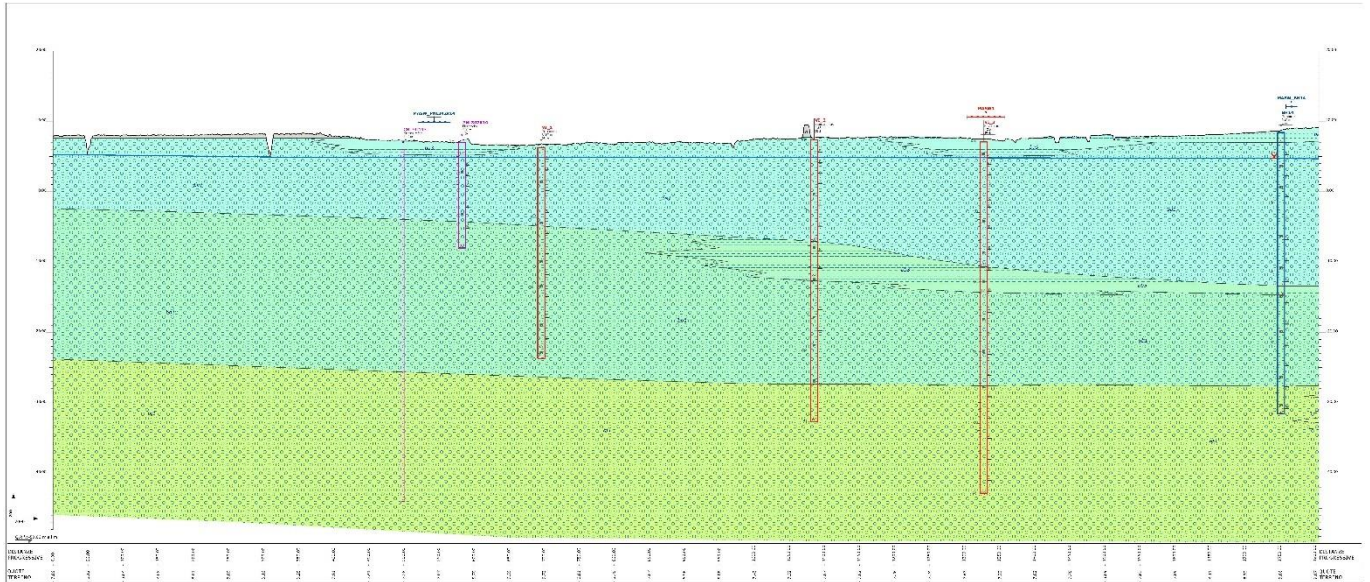


Figura 22 - Stralcio estratto dall'elaborato: "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico" (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 001).

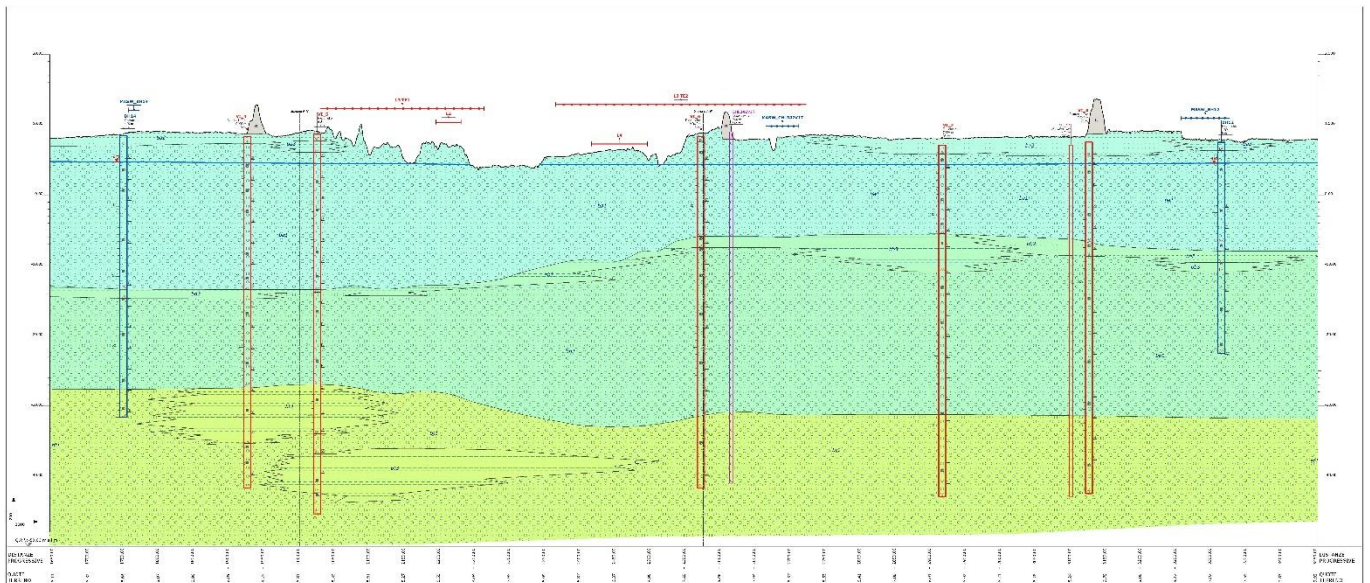
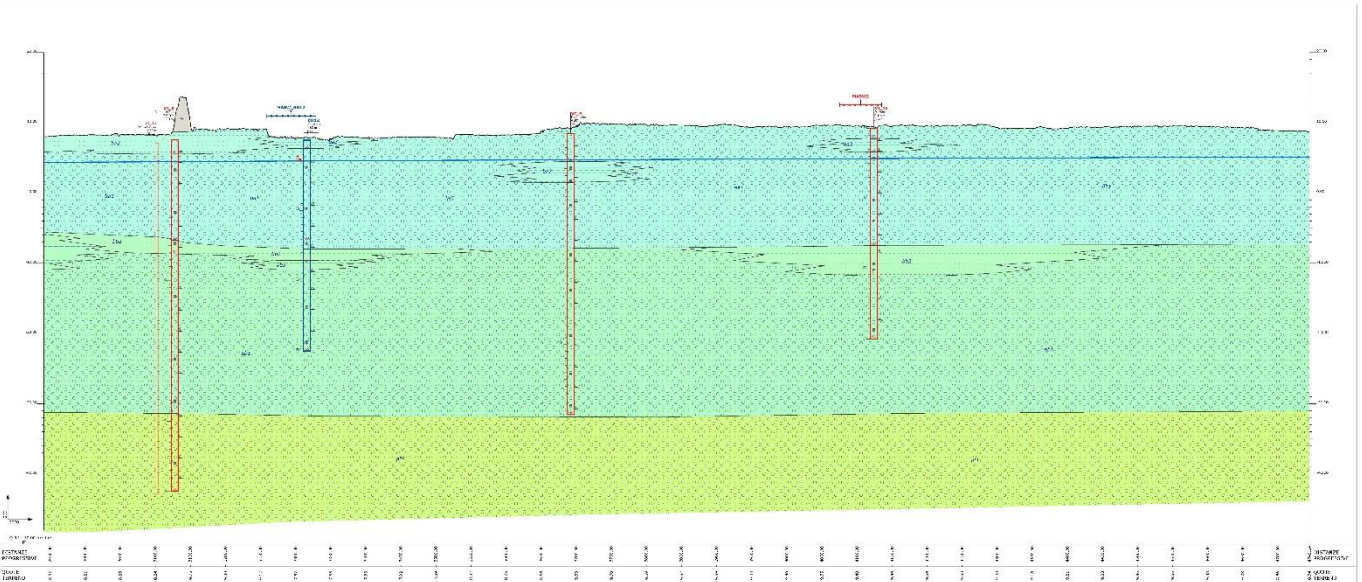


Figura 23 - Stralcio estratto dall'elaborato: "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico-sezioni geologiche A-A' e B-B" (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 002).





**Figura 24 - Stralcio estratto dall'elaborato: "Carta geologica con elementi di geomorfologia e profilo geologico" (IZ04 40 R 69 L6 GE0001 003).**

Le indagini disponibili e i rilievi di campo hanno consentito di ricostruire il locale assetto litostratigrafico, che presenta un assetto sostanzialmente ordinato. Nell'area sono presenti diffusamente i terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali, con locali lenti superficiali di limi-argillosi e sabbie-limose della medesima unità. I Depositi alluvionali attuali presentano uno spessore massimo di circa 22 m e poggiano direttamente sui terreni ghiaioso-sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi dei depositi alluvionali recenti. Questi ultimi, con uno spessore massimo di circa 25 m, poggiano sui depositi alluvionali antichi. La successione dei depositi alluvionali è ricoperta in superficie da coltri di riporto con uno spessore massimo di circa 4 m.

Di seguito viene proposta una dettagliata descrizione delle singole unità litostratigrafiche individuate nel settore d'intervento.

### 11.1.1 Depositi continentali quaternari

Le successioni continentali quaternarie sono rappresentate da quattro distinte unità, in copertura su tutti i termini litologici più antichi.

#### 11.1.1.1 Depositi alluvionali antichi

Questi terreni non affiorano nell'area di studio ma sono ricoperti dalle unità più giovani e rappresentano i termini più antichi e stratigraficamente più bassi. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, piana inondabile e meandro abbandonato, costituiti da due differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche non affioranti nell'area. Lo spessore massimo è superiore a 20 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, tali terreni sono riferibili al Pleistocene superiore-Olocene.

La litofacies ghiaioso-sabbiosa, dal punto di vista litologico, è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bt1**), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbioso-limosa e argilloso-sabbiosa di colore marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigio, marrone e giallastro, a



struttura indistinta o debolmente laminata, e di limi e limi argillosi di colore grigio, a struttura indistinta e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

Inoltre, la litofacies limoso-argillosa è costituita prevalentemente da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, verdastro e nocciola (**bt3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali resti vegetali e rare ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

#### 11.1.1.2 Depositi alluvionali recenti

Questi depositi sono connessi con il penultimo ciclo deposizionale dei corsi d'acqua presenti nell'area e si rinvengono in tutto il settore di studio al di sotto dei sedimenti più recenti. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, piana inondabile e meandro abbandonato, costituiti da tre litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi alluvionali antichi. Questi terreni presentano uno spessore massimo di circa 21 m e sono interamente riferibili all'Olocene.

La litofacies ghiaioso-sabbiosa, dal punto di vista litologico, è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**bb1**), da sub-arrotondate ad arrotondate, in matrice sabbioso-limosa e argilloso-sabbiosa di colore nocciola e grigiastra, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, e di limi e limi argillosi di colore grigio, a struttura indistinta e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

La litofacies sabbioso-limosa, invece, è costituita da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, bruno e giallastro (**bb2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvengono lenti di sabbie ghiaiose grigie e passaggi di limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore bruno-rossastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali.

Inoltre, la litofacies limoso-argillosa è costituita prevalentemente da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e marrone (**bb3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali resti vegetali e rare ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

#### 11.1.1.3 Depositi alluvionali attuali

Tali depositi affiorano estesamente lungo l'intero tracciato in esame, costituendo i depositi stratigraficamente più alti affioranti nell'area. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, piana inondabile e meandro abbandonato, costituiti da tre differenti litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle successioni più antiche. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 22 m e, dal punto di vista cronostatigrafico, sono riferibili all'Olocene-Attuale.

La litofacies ghiaioso-sabbiosa, dal punto di vista litologico, è costituita da ghiaie poligeniche ed eterometriche (**ba1**), da sub-angolari ad arrotondate, in matrice sabbioso-limosa e argilloso-sabbiosa di colore avana e grigiastra, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marrone e giallastre, a struttura indistinta o debolmente laminata, e di limi e limi argillosi di colore grigio, a struttura indistinta e frequenti ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate.

La litofacies sabbioso-limosa è formata da sabbie, sabbie-limose e limi-sabbiosi, a luoghi debolmente argillosi, di colore grigio chiaro, marrone e brunastro (**ba2**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con rare ghiaie poligeniche da sub-arrotondate ad arrotondate e abbondanti resti vegetali di colore nero-grigio; a luoghi si rinvengono passaggi di argille limose e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio e nocciola.

La litofacies limoso-argillosa, invece, è formata da argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, marrone e nocciola (**ba3**), a struttura indistinta o debolmente laminata, con abbondanti resti vegetali di colore nero-grigio e rare ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore grigio marrone, a struttura indistinta o debolmente laminata.



**Figura 25 – Dettaglio della scarpata fluviale in sponda destra del Fiume Isonzo, impostata sui terreni ghiaioso-sabbiosi dei Depositi alluvionali attuali (ba1), ripresa da E.**

#### 11.1.1.4 Riporti antropici

Questi terreni affiorano localmente lungo le principali reti stradali e ferroviarie della zona di studio e in corrispondenza degli argini del Fiume Isonzo. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui Depositi alluvionali attuali. Tali depositi presentano uno spessore massimo di circa 4 m e sono riferibili al periodo Attuale.

Sotto il profilo sedimentologico sono formati prevalentemente da ghiaie poligeniche ed eterometriche, da angolose a sub-arrotondate (**h**), con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e nocciola, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie e sabbie limose grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali e diffuse ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

### 11.1.1.5 Caratteristiche delle alluvioni

La natura delle alluvioni presenti nella piana Isontina è stata analizzata e riportata da Comel nelle Note Illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie “Foglio Palmanova” (Comel 1958). In tale studio viene evidenziata la differente natura dei depositi durante l’Ultimo Massimo Glaciale (LGM) e il periodo postglaciale, nella pianura Cividalese, Cormonese e di San Giovanni e in quella posta tra Gorizia e Gradiscana. Nel primo settore, caratterizzato dal ramo del Natisone e alimentato dall’Alto bacino dell’Isonzo, durante il LGM, si depongono i calcari bianchi che derivano dalle formazioni del Dachstein, presenti nell’Alto Isonzo. Successivamente, con il ritiro dei ghiacciai, il Natisone perde l’alimentazione dall’Alto bacino e le alluvioni calcaree divengono più grigie, acquistando una componente arenaceo-marnosa. Il secondo settore, al contrario, durante il LGM veniva alimentato dalle valli mediane del bacino Isontino, raccogliendo alluvioni calcaree grigie e selciferi mesozoiche. Infine, nella fase postglaciale, l’Isonzo acquista l’alimentazione dell’Alto bacino e con essa gli elementi calcarei del Dachstein (Comel 1958).

Nell’area di studio, la frazione ghiaiosa si presenta di natura prevalentemente calcarea in destra idrografica, di colore grigio-nerastro e biancastro, con vene di calcite. In sinistra idrografica, invece, la frazione ghiaiosa si presenta di natura calcarea (colore grigio-nerastro e biancastro), calcareo-marnosa e subordinatamente selciferi e arenacea. Tale eterogeneità lito-mineralogica può derivare dai diversi apporti solidi derivanti da diverse aree del bacino idrografico, che nel tempo hanno alimentato con importanza variabile, come riportato nelle Note Illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie “Foglio Palmanova”, il Fiume Isonzo.

## 11.2 Livelli piezometrici

Nel corso delle campagne di indagine sono stati misurati i livelli piezometrici all'interno dei fori di sondaggio realizzati. Di seguito si riportano i dati del livello piezometrico registrato in fase di monitoraggio, con indicazione delle principali caratteristiche del foro (sigla, piezometro, data, profondità falda, quota falda e note).

sigla	piezometro	data	profondità falda m p.c.	quota falda m s.l.m.	note
BH12	Tubo aperto cieco: 0.0 – 1.5 finestrato: 2.0 - 11.0 cieco: 11.0 - 30.0	07/2018	3.91	3.59	
		08/2018	4.01	3.49	Pompa per irrigazione inserita nel piezometro
		09/2018	3.45	4.05	
		09/2018	4.04	3.46	Pompa rimossa
		10/2018	4.50	3.00	
		11/2018	3.55	3.95	
		12/2018	3.76	3.74	
		01/2019	3.84	3.66	
		02/2019	3.46	4.04	
		03/2019	3.75	3.75	
		04/2019	ND	ND	Non accessibile

sigla	piezometro	data	profondità falda m p.c.	quota falda m s.l.m.	note
		06/2019	2.97	4.53	Pompa per irrigazione inserita nel piezometro
		07/2019	ND	ND	Non accessibile- Lucchetto nuovo
		07/2019	ND	ND	Non accessibile- Proprietario non rintracciabile
		09/2019	3.51	3.99	
BH14		09/2018	4.35	4.05	
		09/2018	4.53	3.87	
		09/2018	4.71	3.69	
		10/2018	5.05	3.35	
		11/2018	4.33	4.07	
		12/2018	4.50	3.90	
		01/2019	4.48	3.92	
		02/2019	4.32	4.08	
		03/2019	4.50	3.90	
		04/2019	3.67	4.73	
		06/2019	3.75	4.65	
		07/2019	4.46	3.94	
		07/2019	4.69	3.71	
		09/2019	4.59	3.81	

Tubo aperto  
cieco: 0.0 - 2.0  
finestrato: 2.0 - 15.0  
cieco: 15.0 - 40.0

**Tabella 6 - Dati piezometrici registrati nei fori di sondaggio in fase di monitoraggio nell'ambito della campagna indagini Italferr 2018; in rosso è evidenziata la misura massima rilevata, mentre in blu la minima.**

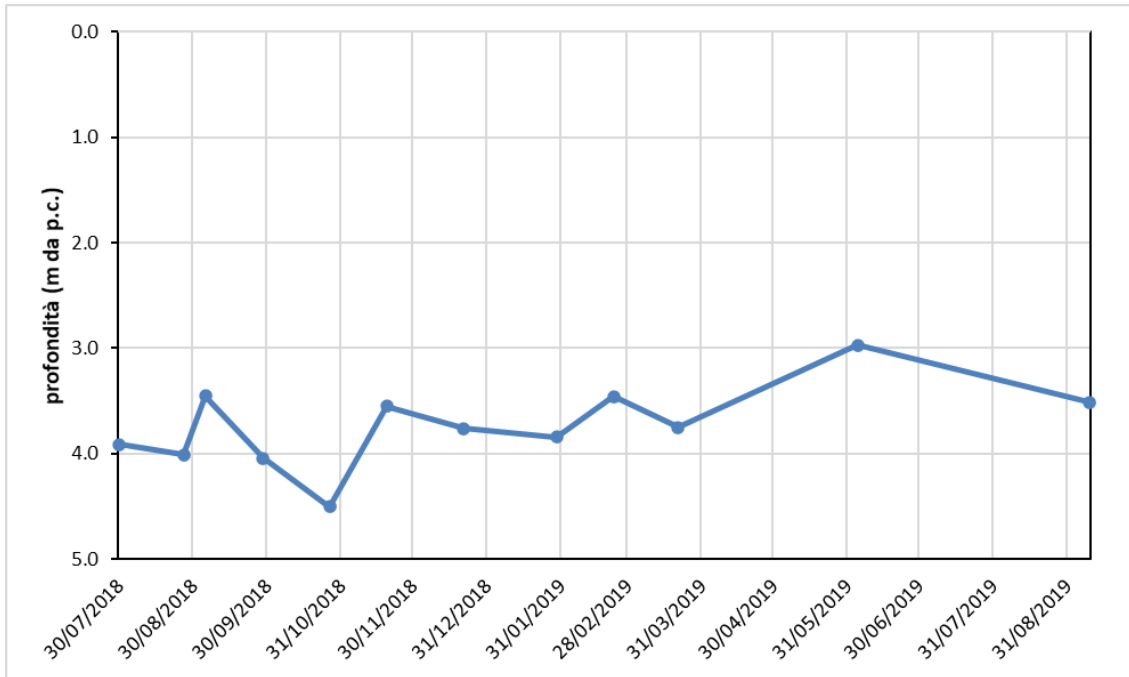


Figura 26 – Andamento del dato piezometrico misurato in fase di monitoraggio nel foro di sondaggio BH12, nel periodo compreso tra luglio 2018 e settembre 2019.

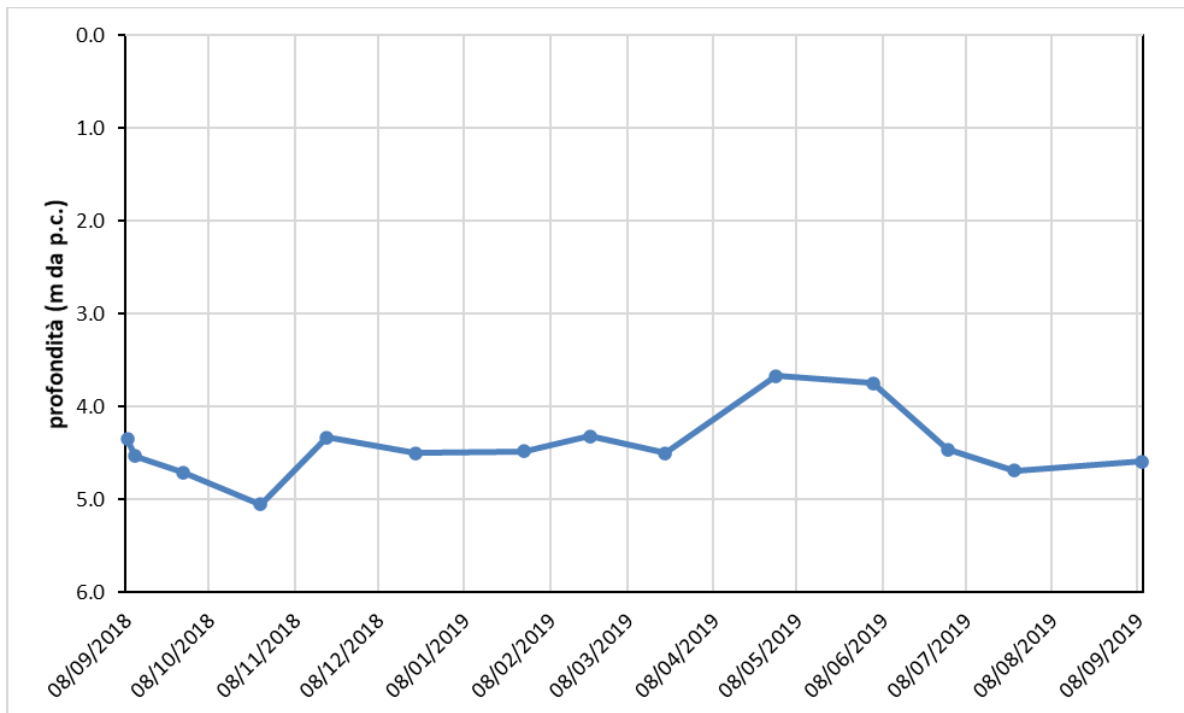


Figura 27 - Andamento del dato piezometrico misurato in fase di monitoraggio nel foro di sondaggio BH14, nel periodo compreso tra settembre 2018 e settembre 2019.



Al fine di valutare le caratteristiche idrogeologiche dell'area e l'andamento del deflusso idrico sotterraneo, sono stati consultati gli studi bibliografici che interessano la zona di studio (Carta idrogeologica regionale, IRSA 1996; Figura 13) e integrati con i valori massimi dei livelli piezometrici misurati all'interno dei fori di sondaggio, con l'obiettivo di produrre una carta idrogeologica dell'area. Tale carta idrogeologica evidenzia un livello piezometrico posto a quote variabili tra 3 e 8 m s.l.m. (Figura 28). In corrispondenza del sito di intervento, tale livello freatico risulta invece compreso tra 4 e 5 m circa s.l.m..

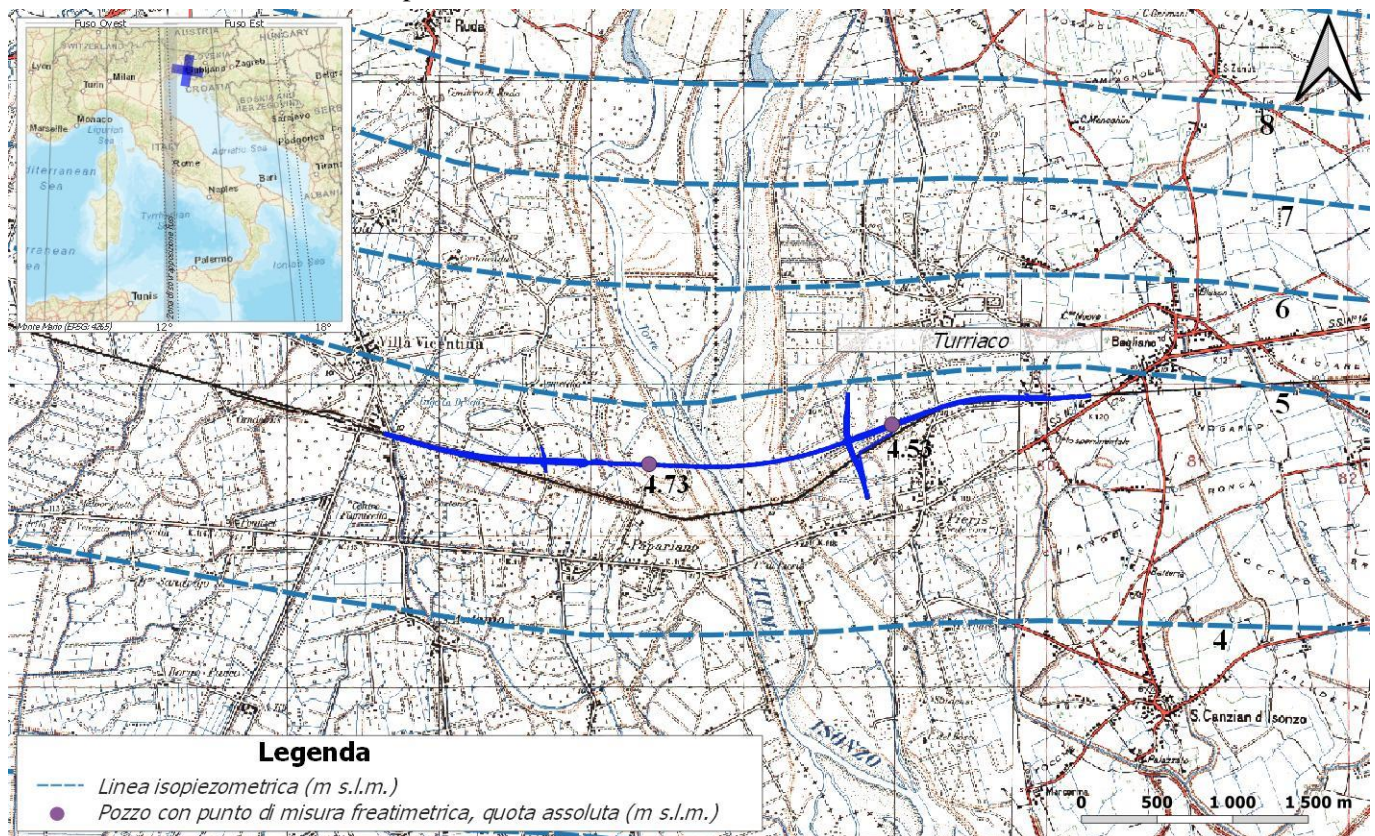


Figura 28 - Carta idrogeologica dell'area di studio in scala 1:50000, con indicazione dell'opera di progetto (cerchio blu).

### 11.3 Caratteristiche di permeabilità

Nell'area in esame sono stati individuati e cartografati tre complessi idrogeologici, distinti sulla base delle differenti caratteristiche di permeabilità e del tipo di circolazione idrica che li caratterizza. Di seguito, vengono descritti i caratteri peculiari dei diversi complessi individuati, seguendo uno schema basato sull'assetto geologico e litostratigrafico dell'area in esame.

Nello specifico, la definizione delle caratteristiche idrogeologiche dei vari complessi presenti nell'area è stata compiuta in considerazione della prova di permeabilità (Lefranc) precedentemente realizzata (cfr. Tabella 7), in funzione delle caratteristiche sedimentologiche e litologiche dei terreni, nonché sulla base di dati bibliografici relativi a terreni con le medesime caratteristiche geologiche. Di seguito vengono sintetizzati i principali complessi idrogeologici presenti nell'area di studio:

- **Complesso ghiaioso-sabbioso (CGS):** questo complesso è rappresentato dai depositi prevalentemente



ghiaioso-sabbiosi dell'unità **bt1**, **bb1** e **ba1**. Tali terreni costituiscono acquiferi porosi di elevata trasmissività, piuttosto eterogenei ed anisotropi, sono sede di falde idriche sotterranee di discreta rilevanza, frazionate o a deflusso unitario. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile tra media ed alta. A questo complesso si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-4}$  e  $1 \cdot 10^{-1}$  m/s.

- **Complesso sabbioso-limoso (CSL):** il complesso in questione è formato dai depositi sabbiosi e limosi dei depositi alluvionali **bb2** e **ba2**. Questi depositi costituiscono acquiferi porosi di modesta trasmissività, discretamente eterogenei ed anisotropi, sono sede di falde idriche di discreta rilevanza, localmente autonome ma globalmente a deflusso unitario. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da bassa a media. Al complesso in questione si può attribuire, quindi, un coefficiente di permeabilità  $k$  variabile tra  $1 \cdot 10^{-7}$  e  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.
- **Complesso argilloso-limoso (CAL):** a tale complesso sono riferiti i terreni prevalentemente pelitici delle unità **bt3**, **bb3** e **ba3**. Tali depositi costituiscono limiti di permeabilità per gli acquiferi giustapposti verticalmente o lateralmente e, nello specifico contesto idrogeologico di riferimento, rappresentano degli *acquiclude* di importanza variabile in relazione con lo spessore dei depositi; non sono presenti falde o corpi idrici sotterranei di una certa rilevanza. La permeabilità, esclusivamente per porosità, è variabile da impermeabile a molto bassa. Al presente complesso può quindi essere attribuito un coefficiente di permeabilità  $k$  compreso tra  $1 \cdot 10^{-10}$  e  $1 \cdot 10^{-7}$  m/s.

Di seguito si riporta una sintesi delle prove relative alla tratta in esame, con indicazione dei valori di permeabilità determinati, distinti per i relativi complessi idrogeologici di appartenenza.

campagna indagini	sigla	prova	tipologia	profondità <i>m</i>	permeabilità <i>m/s</i>	Unità geologica
IZ0400R-2018	BH12	LE1	Lefranc	4.0 - 4.5	2.45E-04	ba1
IZ0400R-2018	BH12	LE2	Lefranc	16.0 - 17.0	3.17E-07	bb2
IZ0400R-2018	BH14	LE1	Lefranc	3.0 - 4.0	2.75E-04	ba1
IZ0400R-2018	BH14	LE2	Lefranc	17.3 - 18.0	1.65E-04	ba1
IF2020	VI_2	LE1	Lefranc	4.5 - 6.0	3.16E-05	ba1
IF2020	VI_2	LE2	Lefranc	16.0 - 18.0	5.59E-05	bb3
IF2020	VI_1	LE1	Lefranc	2.3 - 3.0	1.30E-04	ba1
IF2020	VI_1	LE2	Lefranc	21.5 - 22.5	5.50E-05	bb1
IF2020	VI_3	LE1	Lefranc	6.0 - 7.0	7.97E-04	ba1
IF2020	VI_3	LE2	Lefranc	18.0 - 19.5	2.18E-05	bb3
IF2020	VI_3	LE3	Lefranc	34.5 - 36.0	1.06E-04	bt1
IF2020	VI_4	LE1	Lefranc	3.5 - 4.5	6.12E-03	ba1
IF2020	VI_4	LE2	Lefranc	16.0 - 16.5	6.51E-03	ba1
IF2005	PNL342R14	LE1	Lefranc	10.0 - 10.5	6.22E-05	ba1
IF2005	CHL342V15	LE1	Lefranc	6.0 - 6.5	1.22E-05	ba1
IF2005	CHL342V17	LE1	Lefranc	4.5 - 5.5	5.89E-06	ba1
IF2020	VI_5	LE1	Lefranc	9.0 - 9.5	5.48E-05	ba1
IF2020	VI_5	LE2	Lefranc	21.0 - 21.5	1.32E-03	ba1
IF2020	VI_9	LE1	Lefranc	3.0 - 3.5	6.11E-04	ba1

<b>campagna indagini</b>	<b>sigla</b>	<b>prova</b>	<b>tipologia</b>	<b>profondità <i>m</i></b>	<b>permeabilità <i>m/s</i></b>	<b>Unità geologica</b>
IF2020	VI_9	LE2	Lefranc	19.0 - 19.5	2.58E-03	bb1
IF2020	VI_6	LE1	Lefranc	3.5 - 4.5	2.27E-03	ba1
IF2020	VI_6	LE2	Lefranc	12.5 - 13.5	1.14E-04	ba1
IF2020	VI_7	LE1	Lefranc	6.0 - 7.5	6.00E-03	ba1
IF2020	VI_7	LE2	Lefranc	26.0 - 27.0	1.98E-03	bb1
IF2020	VI_8	LE1	Lefranc	3.5 - 4.5	2.97E-03	ba1
IF2020	VI_8	LE2	Lefranc	24.5 - 25.5	2.55E-04	bb1
IF2020	VI_10	LE1	Lefranc	3.0 - 3.5	2.78E-04	ba1
IF2020	VI_10	LE2	Lefranc	9.5 - 10.5	4.22E-04	ba1
IF2020	VI_11	LE1	Lefranc	7.5 - 8.0	7.33E-04	ba1
IF2020	VI_11	LE2	Lefranc	20.5 - 21.0	3.05E-03	bb1

**Tabella 7 - Prospetto sintetico delle prove di permeabilità disponibili.**

## 12 SISMICITÀ DELL'AREA

La consultazione del database DISS (vers. 3.2.1., 2018), relativo alle potenziali sorgenti sismogenetiche con magnitudo maggiore di 5.5, mostra che il tracciato di progetto non risulta essere interessato direttamente dalla presenza di potenziali faglie sismogenetiche (Figura 29). Il settore di studio ricade ad 1.5 km ad ovest della fascia di sorgenti composite ITCS100 Northern Trieste Gulf (profondità stimata 1.0-10.0 km, magnitudo massima 6.5, *Slip rate* 0.03-0.27 mm/anno) e a 10 km a nord-ovest dalla fascia di sorgenti composite ITCS101 Southern Trieste Gulf (profondità stimata 1.5-8.0 km, magnitudo massima 6.5, *Slip rate* 0.02-0.23 mm/anno). Inoltre, l'area di studio è situata ad oltre 10 km a sud della fascia di sorgenti composite ITCS065 Medea (profondità stimata 1.0-12.0 km, magnitudo massima 6.5, *Slip rate* 0.14-0.21 mm/anno) e che include la sorgente individuale ITIS126 Medea (profondità stimata 1.5-6.7 km, magnitudo massima 6.4, *Slip rate* 0.14-0.21 mm/anno).

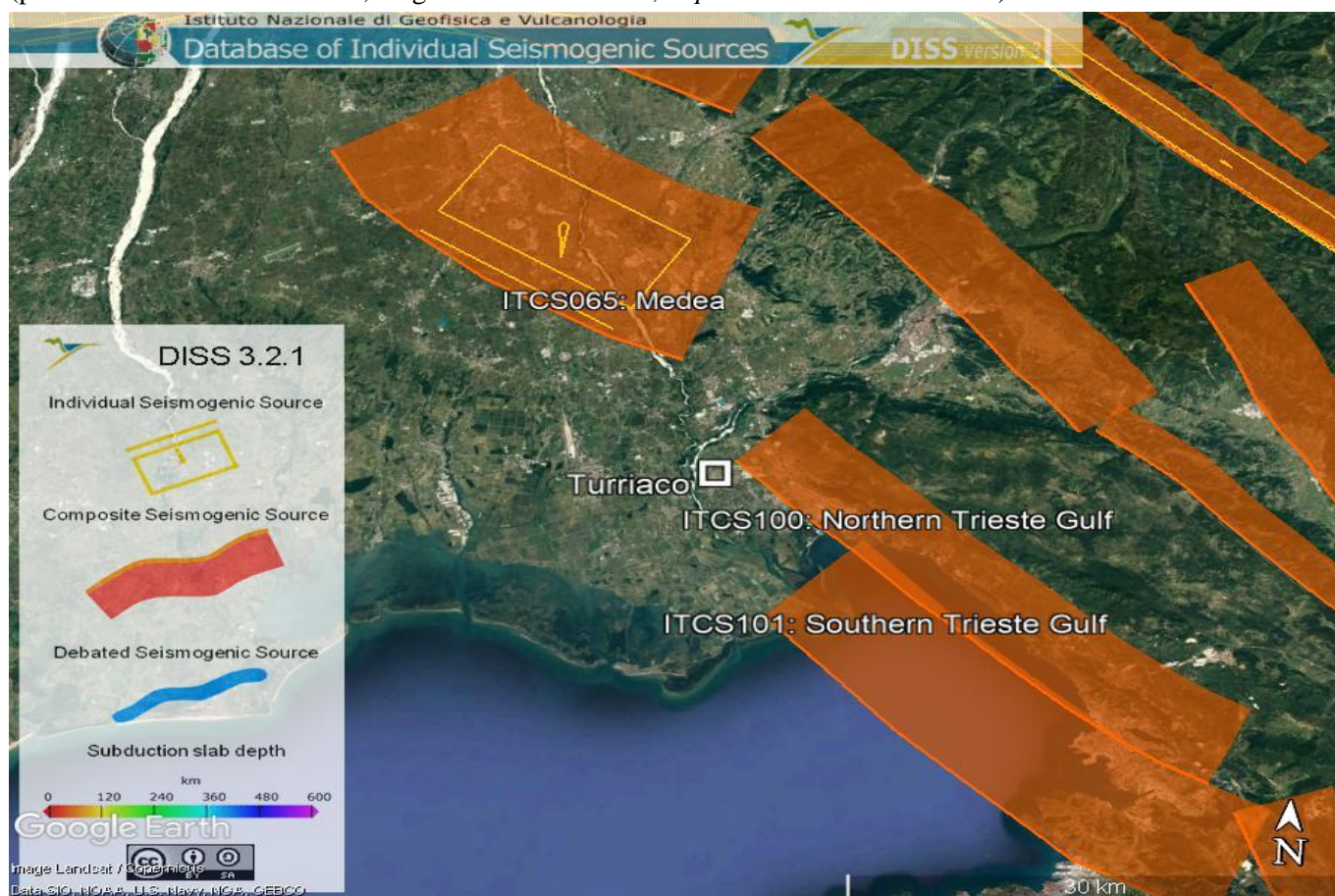


Figura 29 - Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con  $M > 5.5$  nell'area di studio (da DISS Working group 2018, *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), versione 3.2.1., <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>); in blu è riportato il tracciato di progetto.

Parameter		Quality	Evidence	
Min depth	km	1	EJ	Inferred from regional geologic considerations.
Max depth	km	10	EJ	Inferred from geological observations and regional earthquake data.

Parameter			Quality	Evidence
Strike min - max	<i>deg</i>	320 - 350	LD	Based on geologic and structural data.
Dip min - max	<i>deg</i>	50 - 60	LD	Based on seismic profile, geologic and structural data.
Rake min - max	<i>deg</i>	130 - 160	EJ	Inferred from regional structural data.
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.03 - 0.27	OD	Calculated from displaced geological markers.
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.5	EJ	Inferred from fault characteristics and seismological considerations.

**Tabella 8 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS100 “Northern Trieste Gulf”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	1.5	EJ	Inferred from regional geologic considerations and earthquake data.
Max depth	<i>km</i>	8	EJ	Inferred from geological observations and earthquake data.
Strike min - max	<i>deg</i>	290 - 330	LD	Based on geologic and structural data.
Dip min - max	<i>deg</i>	30 - 45	LD	Based on interpretation of seismic profile
Rake min - max	<i>deg</i>	100 - 120	EJ	Inferred from structural and regional earthquake data.
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.02 - 0.23	OD	Calculated from displaced geological markers.
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.5	EJ	Inferred from fault characteristics and seismological considerations.

**Tabella 9 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS101 “Southern Trieste Gulf”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**

Parameter			Quality	Evidence
Min depth	<i>km</i>	1.0	LD	Based on various geological data.
Max depth	<i>km</i>	12.0	LD	Based on various geological data.
Strike min - max	<i>deg</i>	290 - 330	LD	Based on geological data.
Dip min - max	<i>deg</i>	30 - 50	LD	Based on geological data.
Rake min - max	<i>deg</i>	110 - 130	EJ	Inferred from the regional stress orientation.
Slip Rate min - max	<i>mm/y</i>	0.14 - 0.21	OD	Based on modeling of subsurface geological data
Max Magnitude	<i>M<sub>w</sub></i>	6.5	EJ	Inferred from the geometrical parameters of the source

**Tabella 10 – Quadro riassuntivo della sorgente sismogenetica composta ITCS065 “Medea”. Legenda LD=literature data, OD=original data, ER=empirical relationship, AR=analytical relationship, EJ=expert judgement.**



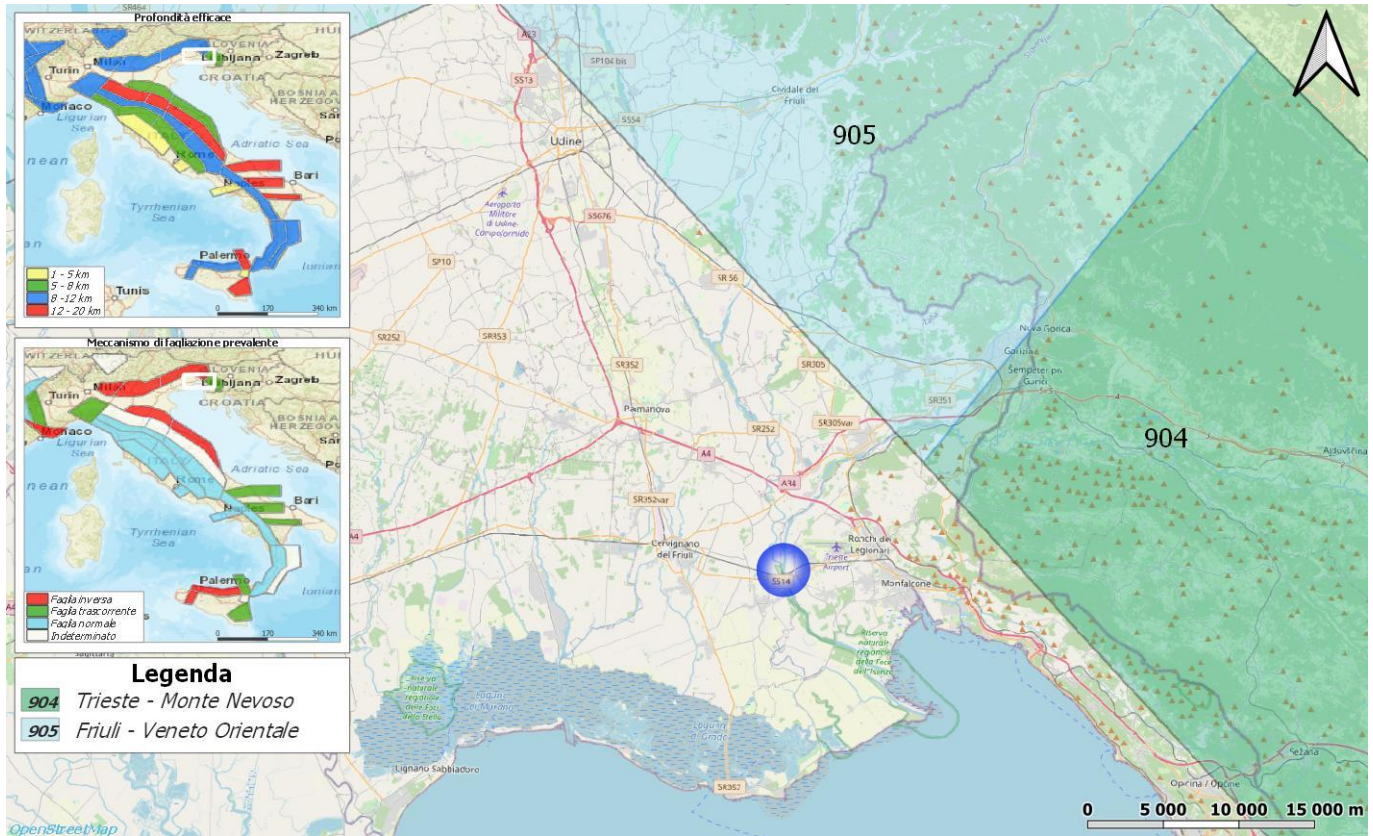


Figura 30 – Stralcio della Zonazione sismogenetica ZS9 dell’area di studio, con individuazione dell’opera in progetto (cerchio blu).

Relativamente alla vigente zonazione sismogenetica del territorio nazionale ZS9 (Meletti & Valensise 2004), l’opera in progetto, ricade ad oltre 11 km a sud-ovest della Zona 904 “Trieste-Monte Nevoso” e a oltre 11 km a sud-ovest della Zona 905 “Friuli-Veneto Orientale”. Sulla base degli studi sismologici più aggiornati, nella zona 904 sono attesi terremoti piuttosto superficiali ( $P = 5-8$  km) e di bassa magnitudo ( $M_{max} = 5.68$ ). Tale zona presenta un andamento circa NW-SE ed è caratterizzata da strutture essenzialmente trascorrenti (Meletti & Valensise 2004). Mentre, nella zona 905 sono attesi terremoti di media-elevata profondità ( $P = 8-12$  km) e di media-elevata magnitudo ( $M_{max} = 6.60$ ). Tale zona presenta un andamento circa SW-NE e NW-SE ed è caratterizzata da strutture essenzialmente inverse. (Meletti & Valensise 2004).

## 12.1 Sismicità storica

La sismicità storica dell’Italia nord-orientale rivela che furono numerosi i terremoti, anche in epoca storica, che colpirono gravemente la fascia pedemontana veneta (Verona, Vicenza, Belluno) e la Carnia.

Il territorio occupato dalla regione Friuli-Venezia Giulia può essere considerato di moderata sismicità. Analizzando la distribuzione della sismicità sia storica che recente, si vede come gli eventi siano concentrati soprattutto nei pressi dei rilievi della fascia pedemontana (Gemona e Cividale) e nel settore alpino e prealpino, dove si sono verificati alcuni terremoti di forte intensità. La sismicità della regione friulana è inoltre influenzata dalla vicinanza all’Austria, la Slovenia e il Bellunese in Veneto, poiché i terremoti avvenuti in queste zone si sono ripercossi anche nell’area friulana.

I dati macrosismici relativi ai terremoti storici e le localizzazioni automatiche di eventi recenti suggeriscono che la maggior parte dei terremoti che hanno colpito fino ad ora la regione friulana sono piuttosto superficiali (). Il più forte terremoto di cui si abbia memoria che ha colpito il Friuli-Venezia Giulia e la confinante Slovenia Occidentale è l'evento del 26 marzo 1511 (MS=6.3, MCS=X) con zona epicentrale Idrija, a circa 50 km dal confine con il Friuli. Fortemente danneggiate furono le località slovene di Idrija, Tolmin e Bled fino a Lubjana, con danni anche a Gemona, Cividale e Trieste (Zanferrari et al. 2008). Un altro evento storico generatosi nella regione è il terremoto del 1348 (MS=6.4) che colpì la Carnia (epicentro) e distrusse gran parte della regione Friulana ma anche della Carinzia (Austria).

Gli eventi più forti che hanno colpito la regione friulana negli ultimi decenni sono, il terremoto del Friuli del 6 maggio 1976 (MS=6.5) e quello di Moggio del 14 febbraio 2002 (MI=4.9). Al di fuori della regione, da menzionare è la sequenza sismica di Bovec-Krn del 1998 (Ms=5.7) e l'evento del 2004 (Ms=4.9) con medesima zona epicentrale.

Il terremoto del Friuli 1976 è l'evento più forte registrato nell'Italia nord-orientale. Il sisma principale fu preceduto da un precursore (MS=4.5) e fu seguito da una lunga serie di repliche. In particolare, due di queste accadute il 15 settembre 1976 furono molto forti (MS=6.0 e 6.1). Il sisma del 6 maggio del 1976 con epicentro in Carnia (Monte San Simone), colpì 137 comuni tra le provincie di Udine, Pordenone e Gorizia, i morti furono quasi 1000 di 400 nella sola Gemona del Friuli (UD), 4000 furono i feriti. Il terremoto colpì un'area di 5500 km<sup>2</sup>; 18000 furono le case distrutte, 75000 le case danneggiate, 100000 i senzatetto. L'intensità epicentrale è stata pari al IX-X grado della scala macrosismica Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS; Gasparini 1976)

Prima del terremoto del 1976, il numero annuo di eventi registrati era particolarmente basso a causa della totale mancanza di una rete in grado di registrare e localizzare sismi. Pertanto, guardando una mappa della sismicità che include sia eventi storici che recenti, la visione d'insieme è tale per cui la sismicità è concentrata quasi totalmente nella regione epicentrale del terremoto del 6 maggio, fatta eccezione per numerosi eventi appartenenti alla sequenza sismica di Bovec-Krn del 1998.

Dopo il 1976 sono stati installati diversi sismografi, e questo fatto ha portato ad un notevole miglioramento del monitoraggio sismico del Friuli-Venezia Giulia.

Come si può notare dai dati contenuti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti italiani (CPTI15, Figura 31), l'area in questione è stata interessata soprattutto dagli effetti di alcuni eventi sismici di una certa intensità localizzati ad oltre 13 km ad E, come quello del 08/10/1746 di magnitudo 4.4 (Friuli), ad oltre 23 km a NE, terremoto del 11/10/1902 di magnitudo 4.1 (Carso) e ad oltre 25 km a NNW, terremoto del 06/01/1946 di magnitudo 4.1 (Carso).

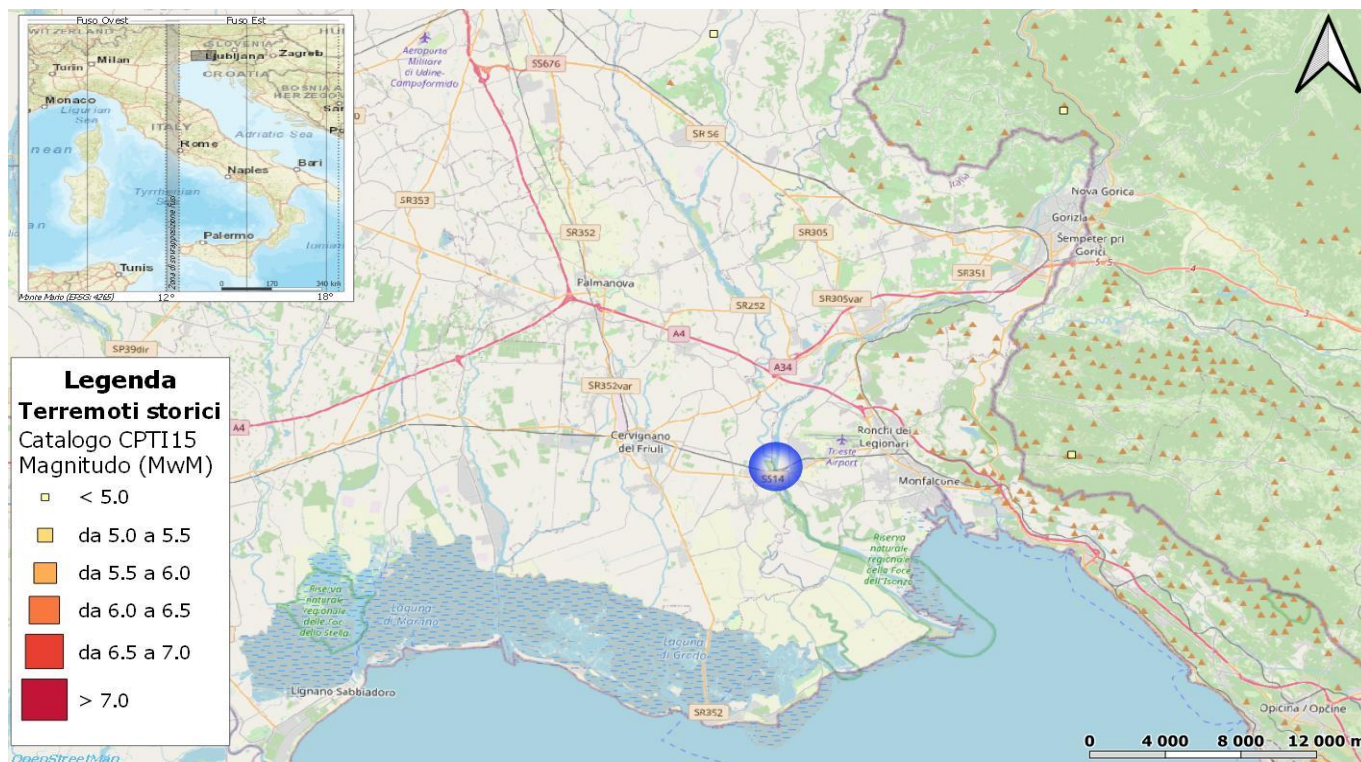


Figura 31 – Epicentri e magnitudo dei principali terremoti storici che hanno interessato l’area di studio (cerchio blu).

Di seguito sono elencati gli eventi sismici riportati nel Database Macrosismico Italiano pubblicato dall’INGV (versione DBMI15 v3.0, Rovida et al. 2021) al fine di documentare la storia sismica dei centri abitati di Ruda, Fiumicello, Villa Vicentina, San Canzian d’Isonzo e Turriaco (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

#### Storia sismica di Ruda

[45.838, 13.402]

Numero eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:					
	I [MCS]	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
	5	1956 01 31 02 25 033.8	Carniola interna	7		5.03
	6	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6.45
	NF	1988 02 01 11 22 041.3	Friuli	150	5-6	4.13
	3-4	1990 11 11 22 16 25	Slovenia occidentale	101	5-6	4.59
	3	1991 10 05 05 14 058.1	Prealpi Giulie	186	5-6	4.51
	NF	1992 02 21 20 50 032.4	Costa croata settentrionale	29	5-6	4.31
	NF	1998 03 13 15 14 056.4	Carniola interna	46		4.25
	3-4	2004 07 12 13 04 06	Slovenia nord-occidentale	353		5.12

Tabella 11 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Ruda (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.



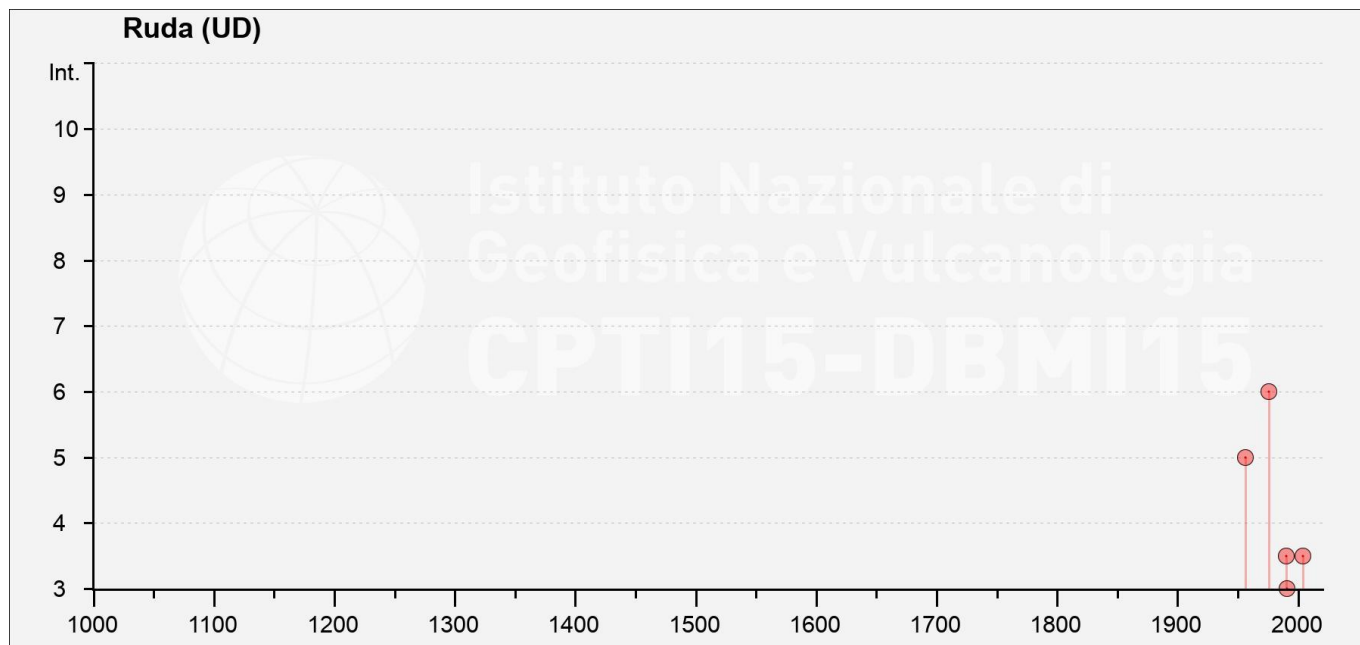


Figura 32– Grafico illustrante la storia sismica di Ruda. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

#### Storia sismica di Fiumicello (San Valentino)

[45.791, 13.408]

Numero eventi: 5

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
5	1895 04 14 20 17 30	Ljubljana	810	8-9	5.98
4-5	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6.45
NF	1988 02 01 14 21 038.3	Friuli	273	6	4.62
NF	1992 02 21 20 50 032.4	Costa croata settentrionale	29	5-6	4.31
4	2004 07 12 13 04 06	Slovenia nord-occidentale	353		5.12

Tabella 12 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Fiumicello (San Valentino) (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.

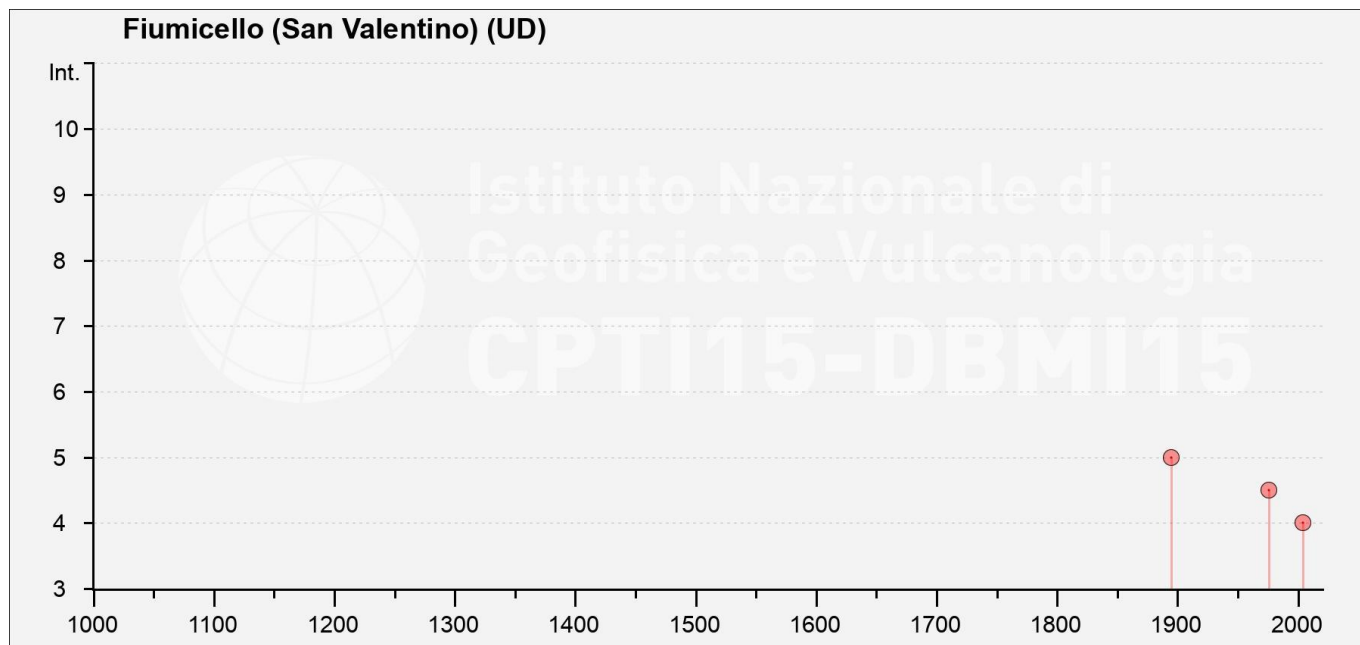


Figura 33– Grafico illustrante la storia sismica di Fiumicello (San Valentino). Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

#### Storia sismica di Villa Vicentina

[45.815, 13.395]

Numero eventi: 7

Effetti	In occasione del terremoto del:				
	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
4-5	1895 04 14 20 17 30	Ljubljana	810	8-9	5.98
4-5	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6.45
NF	1990 11 11 22 16 25	Slovenia occidentale	101	5-6	4.59
4	1991 10 05 05 14 058.1	Prealpi Giulie	186	5-6	4.51
3	1998 03 13 15 14 056.4	Carniola interna	46		4.25
NF	1998 08 31 02 32 05	Slovenia centrale	77		4.31
3-4	2004 07 12 13 04 06	Slovenia nord-occidentale	353		5.12

Tabella 13 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Villa Vicentina (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.

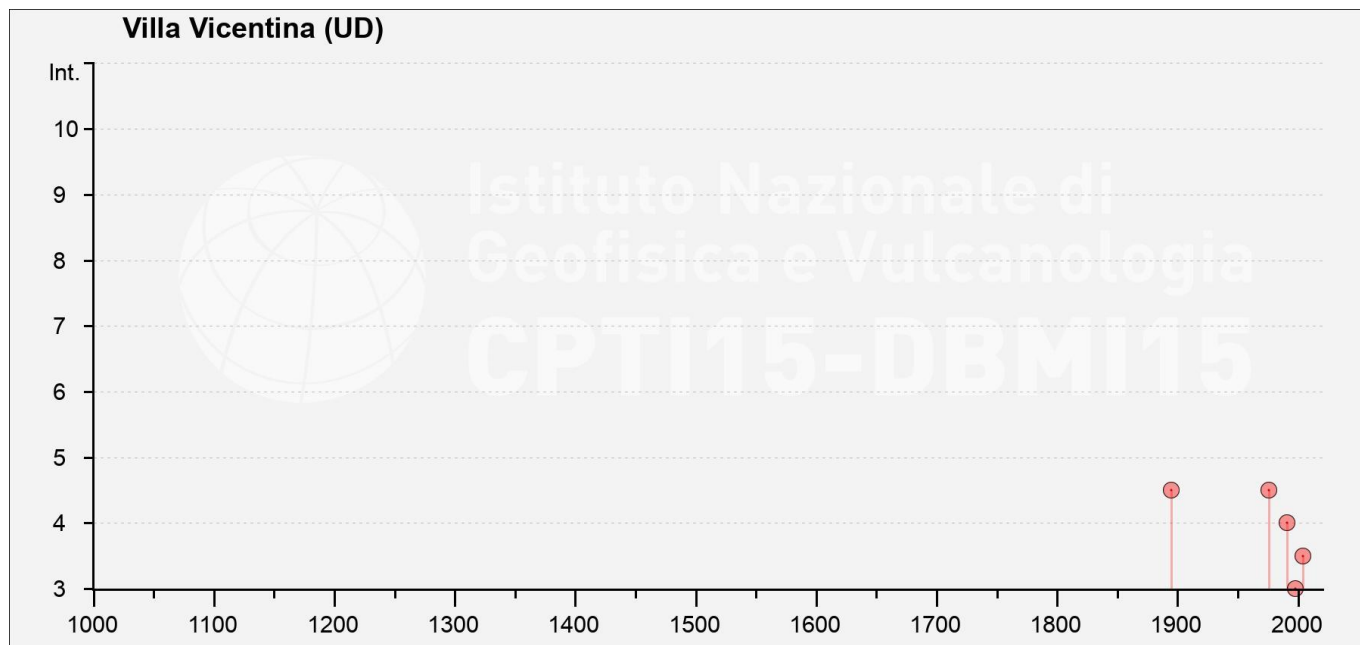


Figura 34– Grafico illustrante la storia sismica di Villa Vicentina. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

#### Storia sismica di San Canzian d'Isonzo

[45.797, 13.465]

Numero eventi: 8

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
4-5	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6.45
2-3	1988 02 01 14 21 038.3	Friuli	273	6	4.62
3-4	1990 11 11 22 16 25	Slovenia occidentale	101	5-6	4.59
3-4	1991 10 05 05 14 058.1	Prealpi Giulie	186	5-6	4.51
NF	1992 02 21 20 50 032.4	Costa croata settentrionale	29	5-6	4.31
3-4	1998 03 13 15 14 056.4	Carniola interna	46		4.25
NF	1998 08 31 02 32 05	Slovenia centrale	77		4.31
4-5	2004 07 12 13 04 06	Slovenia nord-occidentale	353		5.12

Tabella 14 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di San Canzian d'Isonzo (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.



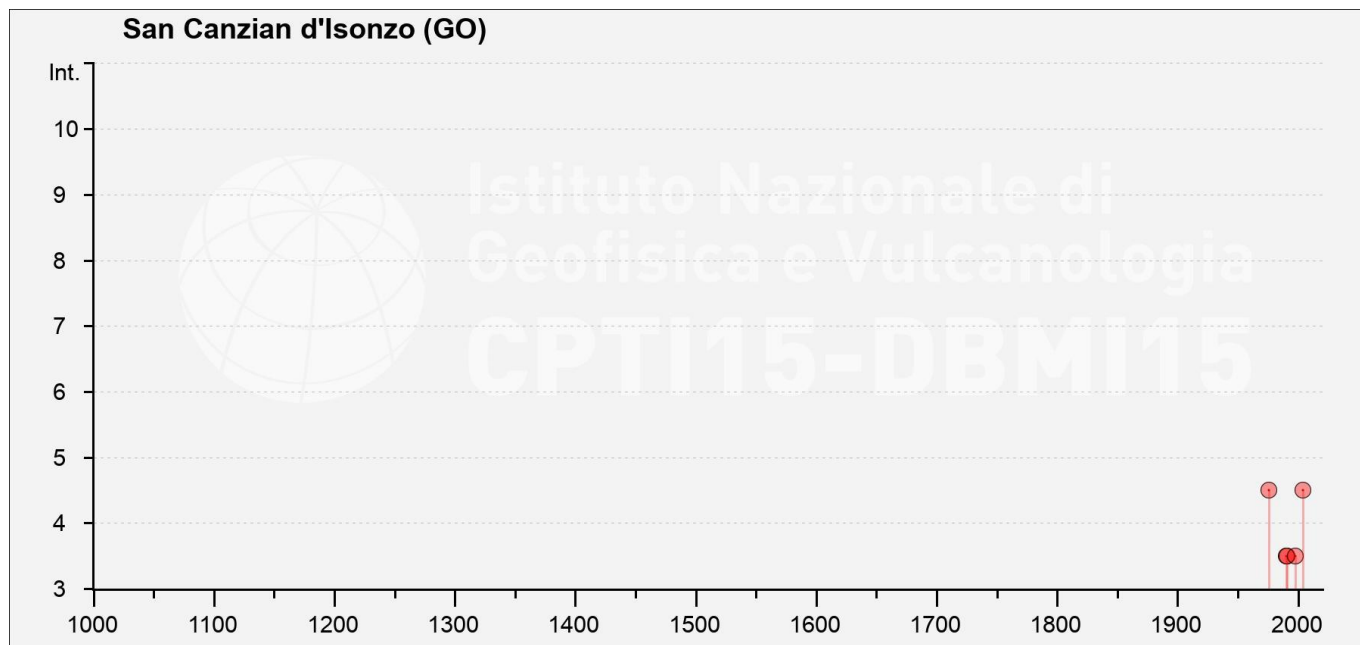


Figura 35– Grafico illustrante la storia sismica di San Canzian d'Isonzo. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

#### Storia sismica di Turriaco

[45.821, 13.445]

Numero eventi: 9

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	NMDP	Io	Mw
2	1954 04 25 22 17 19	Carnia	57	5-6	4.54
6	1976 05 06 20 00 13.17	Friuli	770	9-10	6.45
NF	1988 02 01 14 21 038.3	Friuli	273	6	4.62
3-4	1990 11 11 22 16 25	Slovenia occidentale	101	5-6	4.59
4-5	1991 10 05 05 14 058.1	Prealpi Giulie	186	5-6	4.51
NF	1992 02 21 20 50 032.4	Costa croata settentrionale	29	5-6	4.31
2-3	1998 03 13 15 14 056.4	Carniola interna	46		4.25
4-5	1998 08 31 02 32 05	Slovenia centrale	77		4.31
3-4	2004 07 12 13 04 06	Slovenia nord-occidentale	353		5.12

Tabella 15 - Sintesi dei principali terremoti storici che hanno interessato il centro abitato di Turriaco (da Database Macrosismico Italiano, DBMI15). Legenda: I intensità al sito (MCS); Ax area epicentrale; NMDP numero di osservazioni macrosismiche del terremoto; Io intensità massima (MCS); Mw magnitudo momento.

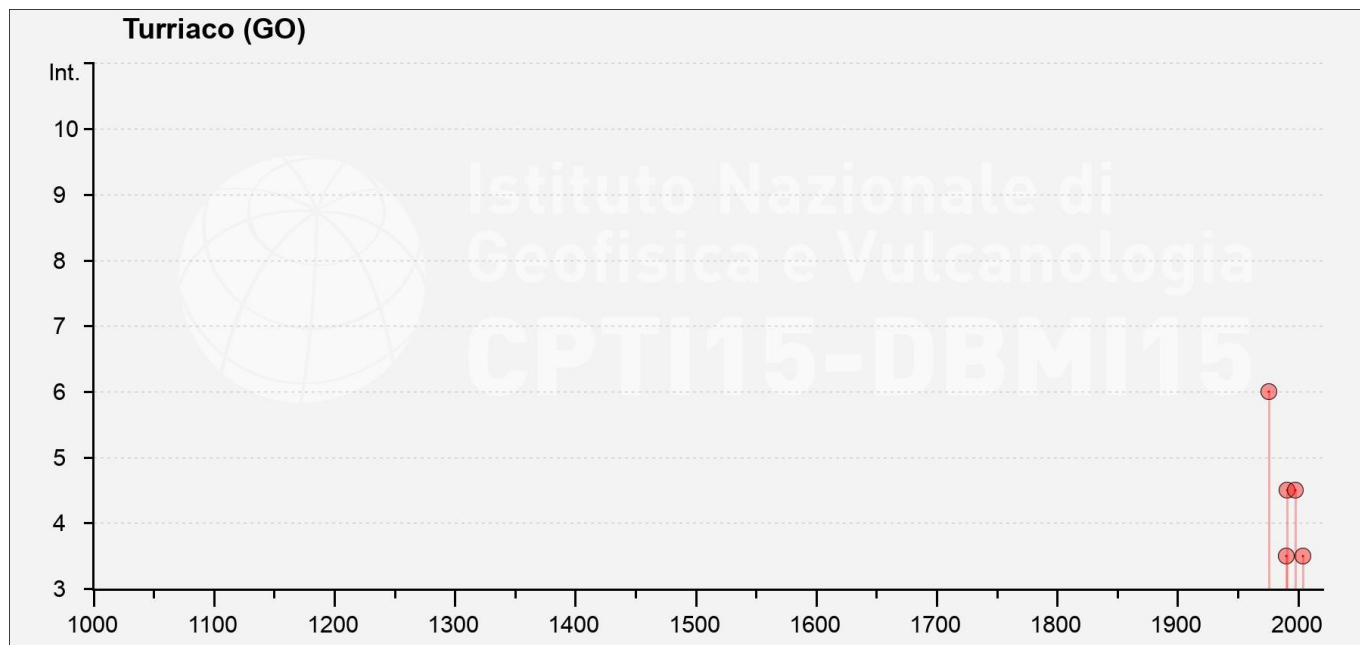


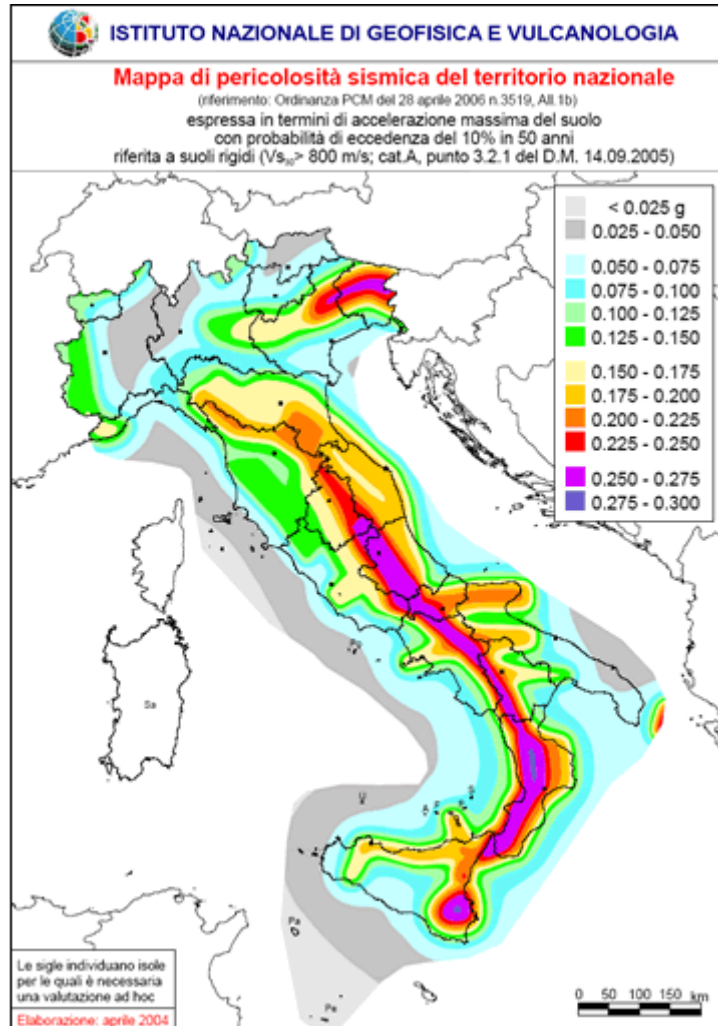
Figura 36– Grafico illustrante la storia sismica di Turriaco. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

## 12.2 Sismicità attuale

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 (e successive modifiche ed integrazioni) – “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di Normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*” disciplinava la classificazione sismica dei comuni d'Italia. Con l'emanazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/06 lo Stato ha definito i criteri nazionali che ciascuna Regione deve seguire per l'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. Questo strumento normativo ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo fin qui utilizzato.

La Regione Friuli-Venezia Giulia, con D.G.R. 06 maggio 2010, n. 845, ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni. Tale provvedimento è stato emanato in attuazione della Legge regionale 16/2009, art. 3, c. 2, lett. A), del D.P.R. 380/2001 e di specifiche O.P.C.M., tra cui la n. 3274/2003. Secondo tale normativa, i territori comunali di Ruda, Fiumicello Villa Vicentina, San Canzian d'Isonzo e Turriaco ricadono in Zona sismica 3, ovvero una zona di pericolosità bassa.

In seguito a tale classificazione, effettuata per ognuno dei comuni d'Italia, è stato emanato un nuovo provvedimento che prevede l'adozione delle stime di pericolosità sismica contenute nel Progetto S1 dell'INGV-DPC. Detto studio è stato condotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha prodotto, per l'intera comunità nazionale, uno strumento scientificamente valido ed avanzato, nonché utilizzabile nell'immediato in provvedimenti normativi.



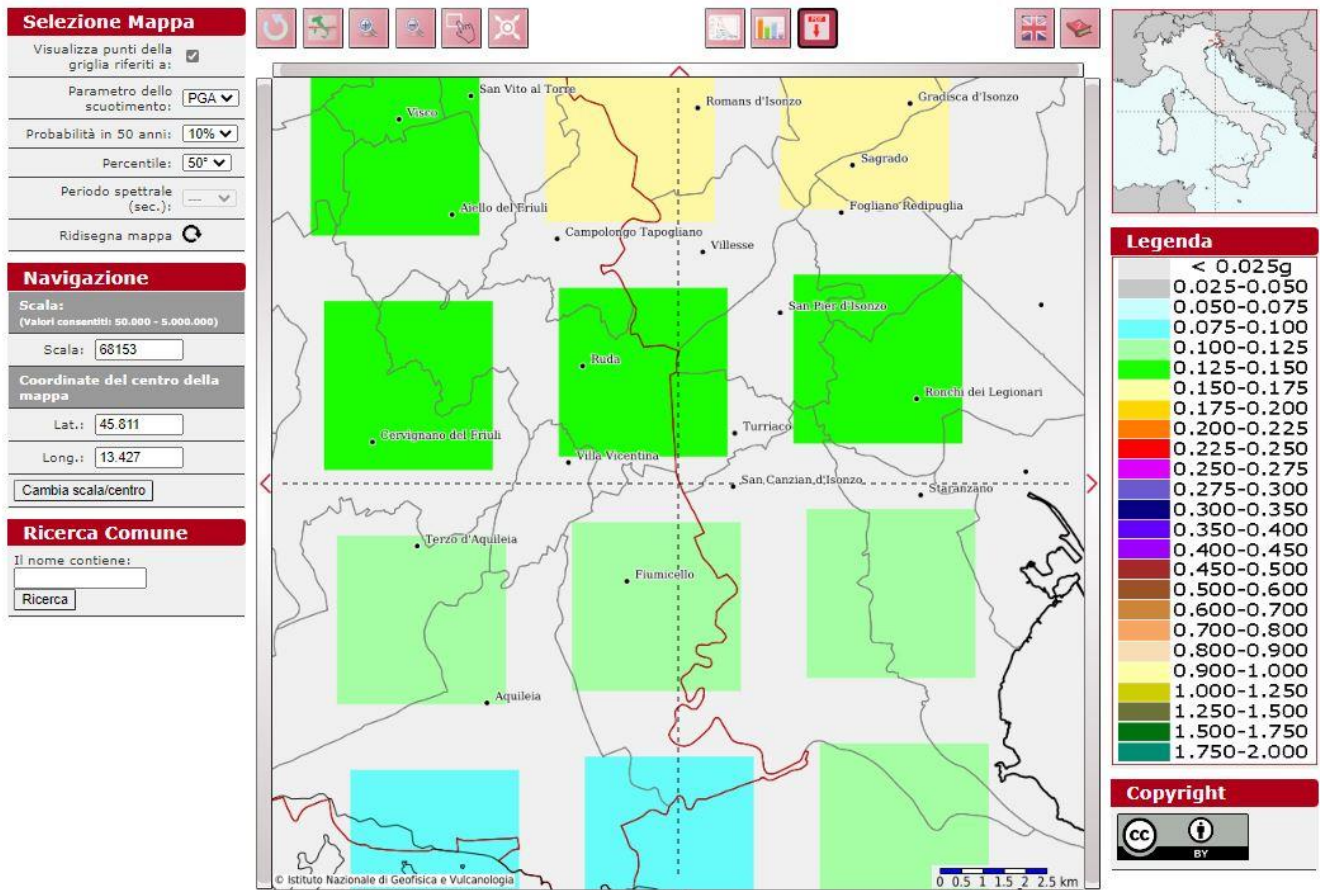
**Figura 37 –** Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (da Meletti & Montaldo 2007) contenuta nel Progetto S1 dell’INGV-DPC (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>).

In particolare, con tale provvedimento è stato superato il concetto di una classificazione sismica legata al singolo territorio comunale e si è posta nuova attenzione sul concetto di una pericolosità sismica uniforme a livello nazionale, stimata sulla base di quattro fondamentali zone sismiche. La vecchia classificazione sismica produceva, sovente, situazioni in cui un comune classificato sismico era fisicamente confinante con un comune non classificato e, pertanto, si assisteva ad un brusco cambiamento nei parametri sismici che avveniva in un breve arco di territorio.

Attualmente, la pericolosità sismica è stimata con una precisione maggiore e, di fatto, le variazioni tra le caratteristiche sismiche di aree adiacenti sono continue e graduali. Successivamente verrà mantenuta, infatti, la classificazione secondo la quale il territorio nazione è suddivisibile in quattro differenti classi sismiche, ma a scopo esclusivamente amministrativo.



### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



**Figura 38 – Mappa di pericolosità sismica per l’area di interesse; i colori della legenda indicano le diverse accelerazioni del suolo (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).**

All’attuale stato delle conoscenze e del progresso scientifico è possibile, attraverso l’applicazione *WebGIS*, consultare in maniera interattiva le mappe di pericolosità sismica (cfr. Figura 38). In particolare, per la zona interessata dalla tratta ferroviaria progettuale, i valori di accelerazione al suolo (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) sono compresi all’incirca nell’intervallo  $0.100-0.150 a_g$  (accelerazione massima del suolo).

Inoltre, il *database* del progetto *ITHACA (Italy Hazard from Capable faults)* mostra, nell’area progettuale, l’assenza di faglie capaci, definite come lineamenti tettonici attivi che potenzialmente possono creare deformazioni in superficie e produrre fenomeni dagli effetti distruttivi per le opere antropiche. Infatti, a circa 400 m a nord-est del tratto orientale dell’opera in progetto, è presente la faglia capace Monfalcone (codice 77508).

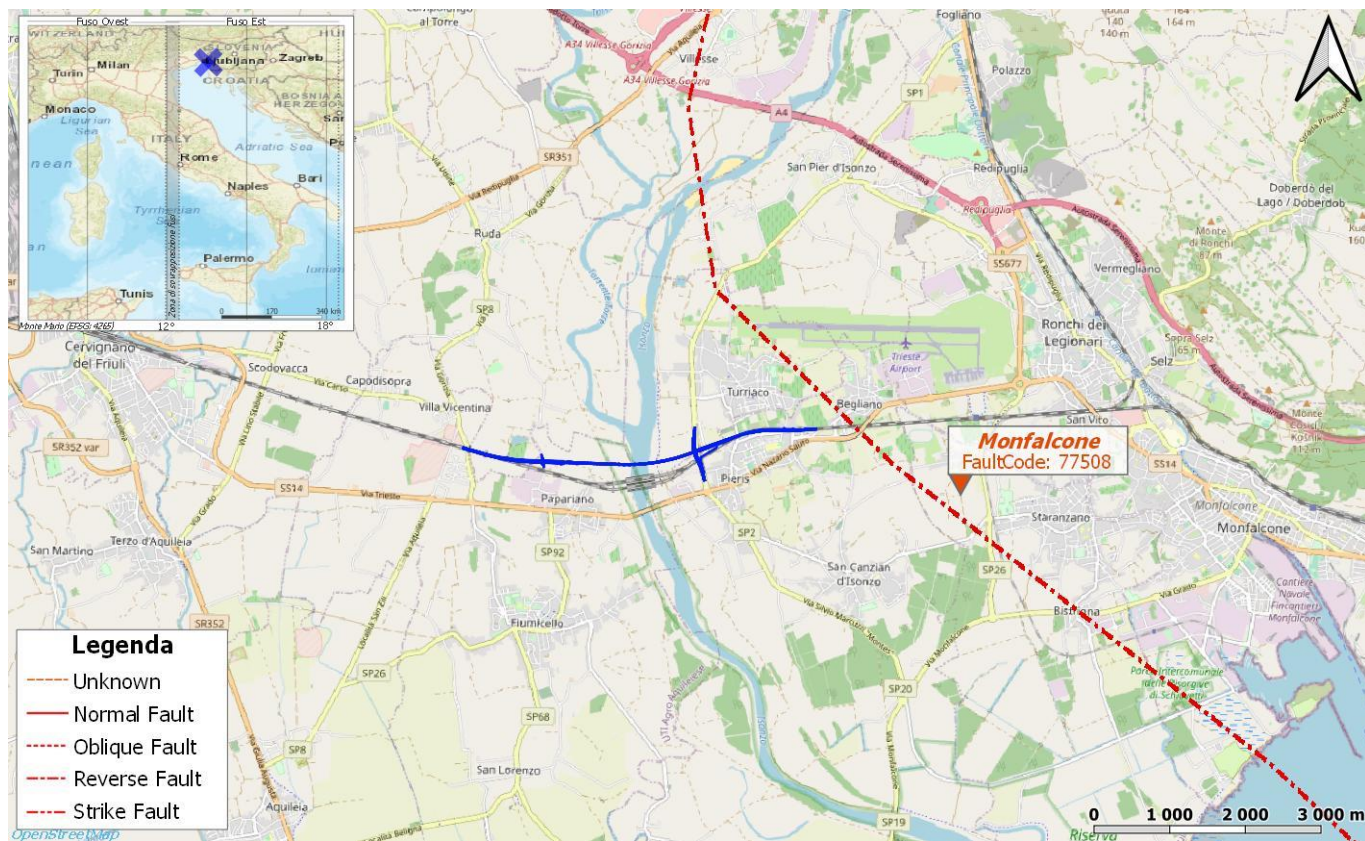


Figura 39 - Stralcio cartografico dell'area di interesse con individuazione dell'opera in progetto (linea blu) e delle faglie capaci (Ithaca 2019).

Per completezza nella Tabella 16 si riportano le caratteristiche della faglia Monfalcone (codice 77508).

Faglia Monfalcone	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
<b>FAULT CODE</b>	77508
<b>FAULT NAME</b>	Monfalcone
<b>REGION NAME</b>	Friuli Venezia Giulia
<b>TECTONIC ENVIRONMENT</b>	ND
<b>SYSTEM NAME</b>	Trieste - Udine
<b>SYNOPSIS</b>	
<b>RANK</b>	Primary
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
<b>SEGMENTATION</b>	Single Segment
<b>AVERAGE STRIKE (°)</b>	315
<b>DIP (°)</b>	Undefined
<b>DIP DIRECTION</b>	NW

Faglia Monfalcone	
<b>FAULT LENGTH (km)</b>	37.3
<b>MAPPING SCALE</b>	1:500000
<b>FAULT DEPTH (km)</b>	
<b>KINEMATICS</b>	Reverse
ACTIVITY	
<b>SURFACE EVIDENCE</b>	ND
<b>LAST ACTIVITY</b>	Pleistocene generic
SLIP PARAMETERS	
<b>RECURRENCE INTERVAL (YR)</b>	
<b>SLIP RATE (MM/YR)</b>	
<b>MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH (KM)</b>	
<b>MAX CREDIBLE SLIP (M)</b>	
<b>TIME SINCE LAST EVENT (YR)</b>	
<b>MAX KNOWN MAGNITUDE (MW)</b>	
<b>MAX KNOWN INTENSITY (MCS)</b>	
<b>KNOWN SEISMIC EVENTS</b>	
FINAL REMARKS	
<b>CAPABILITY CONSENSUS</b>	Medium reliability
<b>STUDY QUALITY</b>	FAIR
<b>NOTES</b>	

**Tabella 16 - Sintesi delle caratteristiche fisiche e geologiche della faglia potenzialmente attiva o capace, tratta da <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/SchedaFaglia.aspx?faultcode=77508>.**

### 12.3 Pericolosità sismica

La pericolosità sismica di un territorio è funzione di un complesso insieme di parametri naturali e rappresenta la probabilità che un evento sismico di data intensità si manifesti in una certa area in un determinato intervallo di tempo. Diverso è, invece, il concetto di rischio sismico che è il risultato catastrofico dell'evento naturale sul sistema antropico.

Affinché si abbia rischio è necessario, pertanto, che uno o più degli elementi antropici esposti (vite umane, attività, beni) possieda un carattere di vulnerabilità tale da determinarne la perdita parziale o totale. La vulnerabilità, in tale accezione, è l'entità della perdita attesa derivante dal manifestarsi di un evento di data intensità nell'area in esame. Non potendo intervenire sulla pericolosità, che dipende esclusivamente da dinamiche naturali, si può intervenire sulla vulnerabilità degli elementi esposti al rischio e, quindi, sul rischio totale.

Oltre alla conoscenza della probabilità di accadimento di un evento sismico, delle caratteristiche della sorgente sismogenetica e delle modalità di propagazione della perturbazione, è necessario analizzare le caratteristiche locali del sito di studio. Queste, infatti, condizionano la reazione del terreno all'*input* sismico in termini di variazione del



contenuto in frequenza del segnale, amplificazione/smorzamento dell'onda e perdita o modificazione delle sue caratteristiche di resistenza e deformabilità.

All'indomani della riclassificazione sismica del territorio nazionale scaturita dal progetto S1 dell'INGV-DPC, si dispone di parametri sismici di riferimento aggiornati e di maggior dettaglio rispetto alla classificazione macrosismica nazionale cui faceva riferimento il D.M. LL.PP. 16 gennaio 1996 (Norme Tecniche per le Costruzioni in zone sismiche). La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica" dell'Italia, che costituisce oggi la base di riferimento per la valutazione delle azioni sismiche di progetto sul sito in esame secondo la normativa vigente.

Con riferimento al D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018, sono stati determinati i parametri sismici di progetto per la realizzazione delle opere previste. In particolare, sulla base delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 e dei dati relativi al progetto S1 dell'INGV-DPC, sono stati determinati i valori reticolari dei parametri di riferimento relativamente ad un suolo rigido, per un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 475.

Per i valori di  $ag$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018 cfr. paragr. 3.2). I parametri forniti possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale.

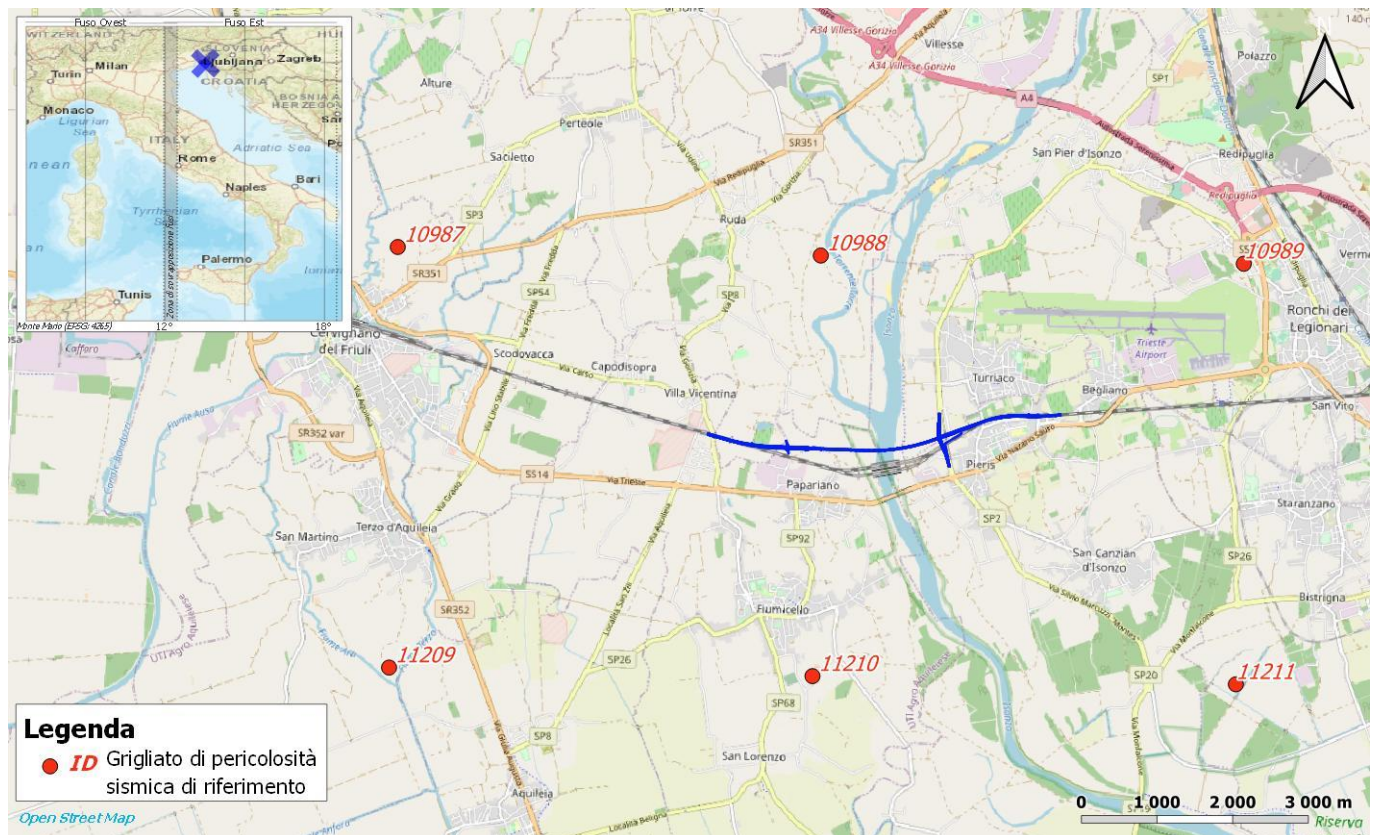


Figura 40 – Griglia di riferimento per il settore oggetto di studio, con individuazione della linea ferroviaria (linea blu) e dei punti del grigliato scelti (in rosso).

ID	Longitudine	Latitudine	$a_g$	$F_0$	$T_c$
10987	13.346	45.835	1.252	2.5	0.35
10988	13.418	45.835	1.331	2.49	0.34
10989	13.49	45.835	1.423	2.49	0.33
11209	13.346	45.785	1.069	2.57	0.36
11210	13.418	45.785	1.15	2.5	0.36
11211	13.49	45.785	1.22	2.51	0.35

**Tabella 17 - Parametri di riferimento del moto sismico su suolo rigido per un periodo di ritorno  $T_r$  pari a 475 anni, le coordinate sono espresse in gradi decimali (EPSG:4230).**

#### 12.4 Categoria di sottosuolo

I parametri forniti, in funzione di quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, possono essere direttamente utilizzati per la ricostruzione degli spettri di risposta del sito e, quindi, per la progettazione di tutte le opere previste in conformità con le vigenti normative a livello nazionale. La normativa citata prevede, relativamente alla caratterizzazione sismica di un sito (D.M. 17/01/2018 – G.U. Serie Generale n. 42 del 20-2-2018), la determinazione dei valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s). Nel caso di depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrisponde al parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Si riportano nel seguito le categorie di sottosuolo previste dalla normativa vigente:

- **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.

Nell'ambito del presente studio, le categorie di sottosuolo per l'area di intervento sono state definite in funzione delle n. 6 prove MASW, n.4 prove di sismica a rifrazione, n.3 prove down-hole e n.11 prove HVSR, realizzate nella zona di studio. In Tabella 18 e Tabella 19 e si riporta una sintesi delle prove effettuate, contenente i valori di

$V_{s,eq}$  determinati, la categoria di sottosuolo corrispondente e una sintesi dell'assetto litostratigrafico in corrispondenza della prova.

sigla	tipologia	$V_{s,eq}$ m/s	categoria di sottosuolo	unità geologiche
MASW1	MASW	355	C	ba3/ba1/bb3/bb1/bt1
MASW2	MASW	403	B	ba1/ba3/bb1/bb2/bt1
L1	Rifrazione	323	C	ba3/ba2/ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
L2	Rifrazione	319	C	ba3/ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
L3	Rifrazione	325	C	ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
L4	Rifrazione	343	C	ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
HVSR115	HVSR	357	C	ba1/bb3/bb1/bt1
HVSR097	HVSR	356	C	ba3/ba1/bb3/bb1/bt1
HVSR116	HVSR	355	C	ba2/ba1/bb3/bb1/bt3/bt1
HVSR106	HVSR	351	C	ba1/bb1/bb3/bt1
HVSR105	HVSR	356	C	ba2/ba1/bb3/bb1/bt1/bt3
HVSR096	HVSR	345	C	ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
HVSR100	HVSR	358	C	ba1/bb1/bb3/bt1/bt3
HVSR103	HVSR	357	C	ba1/bb1/bb3/bt1
HVSR102	HVSR	358	C	ba1/bb1/bb3/bt1
HVSR114	HVSR	404	B	ba2/ba1/bb2/bb1/bt1
HVSR098	HVSR	398	B	ba1/ba3/bb1/bb2/bt1
VI_2	Down-Hole	349	C	ba1/bb3/bb1/bt1
VI_4	Down-Hole	348	C	ba2/ba1/bb3/bb1/bt3/bt1
VI_8	Down-Hole	390	B	ba2/ba1/bb2/bb1/bt1

**Tabella 18 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate nell'ambito della presente campagna indagini.**

sigla	tipologia	$V_{s,eq}$ m/s	categoria di sottosuolo	unità geologiche
MASW_BH12	MASW	383	B	ba3/ba1/bb2/bb3/bb1/bt3
MASW_BH14	MASW	444	B	ba2/ba1/bb3/bb1/bt1
MASW_CHL342V17	MASW	258	C	ba1/bb3/bb1/bt1
MASW_PNL342R14	MASW	430	B	ba3/ba1/bb1/bt1

**Tabella 19 - Sintesi dei risultati delle prove sismiche realizzate nell'ambito della campagna indagini Italferr 2018.**

In relazione con quanto emerso dalle analisi geofisiche appositamente realizzate, i settori di studio sono caratterizzati da una categoria di sottosuolo di tipo **B** (*rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*) o **C** (*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*). Invece, per quanto concerne la categoria topografica, per tutta l'area di studio si consiglia l'adozione di una categoria **T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$* ).



## 12.5 Analisi del rischio di liquefazione

La liquefazione è un particolare processo che causa la temporanea perdita di resistenza di un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda, portandolo a comportarsi come un fluido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace (Riga 2007). Tale fenomeno avviene, cioè, quando la pressione dei pori aumenta fino ad eguagliare la pressione inter-granulare.

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

Al fine di verificare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto sono state condotte una serie di analisi qualitative basate sia sugli studi bibliografici di maggior rilievo a livello internazionale, e analisi semi-quantitative basate sulle procedure dettate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

L'attuale normativa vigente in materia di costruzioni edilizie (NTC2018 - par. 7.11.3.4.2) prevede che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- 2) profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 3) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (*Standard Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (*Cone Penetration Test*) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- 4) distribuzione granulometriche esterna ai fusi granulometrici indicati da normativa, distinti in funzione del coefficiente di uniformità  $U_c$ .

In particolare, se la condizione 1 non risulta soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4. Pertanto, in relazione a quanto previsto dall'NTC 2018, sono state condotte una serie di analisi puntuali volte a verificare tutte le condizioni predisponenti elencate in precedenza, al fine di determinare la possibile suscettività a liquefazione dei terreni interessati dalle opere in progetto.

Per quanto detto in precedenza, le verifiche sono state condotte unicamente per i terreni alluvionali posti a profondità inferiori ai 15-20 m dal p.c., in quanto al di sotto non è possibile che si verificano tali fenomeni. Ovviamente le suddette analisi hanno un carattere generale e, pertanto, andranno puntualmente dettagliate attraverso verifiche geotecniche basate sulla resistenza dinamica e sull'effettivo stato di addensamento dei terreni investigati.

Le fonti bibliografiche a disposizione e lo studio relativo alla sismicità storica e alla pericolosità sismica condotto hanno evidenziato che, nell'area di intervento, si sono verificati alcuni terremoti con magnitudo  $M$  inferiore a 5. In particolare, il massimo terremoto atteso nell'area presenta una  $M$  pari a 6.60, in quanto riferibili alla **Zona 905** "Friuli-Veneto Orientale".

Le accelerazioni massime attese al piano campagna, in condizioni di campo libero, sono risultate essere generalmente superiori al limite definito da normativa, in quanto variabili tra 0.100-0.150  $a_g$  (cfr. Figura 38). In relazione a quanto detto e considerata la presenza delle condizioni predisponenti esposte nel punto 1 dell'NTC 2018, si è quindi proceduto alla verifica dei punti 2, 3 e 4 del paragrafo “7.11.3.4.2 – Esclusione della verifica a liquefazione”, in modo da rispondere puntualmente a tutti i quesiti posti da norma.

Per quanto concerne la falda, viste le condizioni geomorfologiche e la presenza di misure piezometriche di monitoraggio (cfr. Tabella 6) che rimarcano un livello di falda posto tra 3.0 e 4.73 m s.l.m. è possibile ipotizzare una profondità minima della falda di 2.97 m da piano campagna. Tale falda risulta quindi al di sopra del limite di 15 m previsto da normativa per tutti i sondaggi presenti.

Dal punto di vista granulometrico e tessiturale, infine, i dati geologici a disposizione hanno mostrato la presenza di terreni con caratteristiche variabili ed eterogenee. In generale, i terreni attraversati sono caratterizzati da una granulometria ghiaioso-sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa. In termini qualitativi i depositi limoso-argillosi dei depositi alluvionali attuali (**ba3**, *Olocene-Attuale*), dei depositi alluvionali recenti (**bb3**; *Olocene*) e dei depositi alluvionali antichi (**bt3**; *Pleistocene superiore-Olocene*) non presentano suscettività alla liquefazione, mentre i depositi sabbioso-limosi dei depositi alluvionali attuali (**ba2**, *Olocene-Attuale*) e dei depositi alluvionali recenti (**bb2**, *Olocene*) presentano una suscettività variabile da moderata ad alta. Infine, i depositi ghiaioso-sabbiosi dei depositi alluvionali attuali (**ba1**; *Olocene-Attuale*), dei depositi alluvionali recenti (**bb1**; *Olocene*) e dei depositi alluvionali antichi (**bt1**; *Pleistocene superiore-Olocene*), presentano una moderata suscettività alla liquefazione.

Relativamente alla resistenza penetrometrica dei terreni, le verifiche sono state condotte in relazione alle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio durante le fasi di perforazione negli orizzonti ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-limosi dei depositi alluvionali. Tali orizzonti sono stati rinvenuti esclusivamente tra 1 e 12 m di profondità. Sono stati quindi determinati i valori della resistenza normalizzata sulla base della formula seguente (Seed & Idriss 1982; Skempton 1986; Robertson & Wride 1998; Riga 2007):

$$(N_1)_{60} = (N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S) \cdot C_N = (N)_{60} \cdot C_N$$

dove  $N_{SPT}$  è la misura della resistenza penetrometrica in sito,  $C_N$  il fattore per la normalizzazione alla pressione effettiva di 1 atmosfera, e  $C_E$ ,  $C_B$ ,  $C_R$  e  $C_S$  i fattori di correzione rispettivamente per il rapporto di energia, il diametro del foro, la lunghezza delle aste e i campioni.

campagna indagini	sondaggio	unità	profondità prova <i>m</i>	$N_{SPT}$	$(N_1)_{60}$
IZ0400R-2018	BH12	ba1	3.2	28	22
IZ0400R-2018	BH12	ba1	6.2	64	52
IZ0400R-2018	BH12	ba1	9.2	46	34
IZ0400R-2018	BH12	ba1	12.2	72	48
IZ0400R-2018	BH14	ba1	3.2	R	R
IZ0400R-2018	BH14	ba1	6.2	R	R
IZ0400R-2018	BH14	ba1	9.2	R	R
IZ0400R-2018	BH14	ba1	12.2	R	R
IF2021	VI_2	ba1	1.7	31	28
IF2021	VI_2	ba1	3.2	13	10

IF2021	VI_2	ba1	4.7	31	27
IF2021	VI_2	ba1	6.2	21	17
IF2021	VI_2	ba1	9.2	20	15
IF2021	VI_2	ba1	12.2	26	18
IF2021	VI_1	ba1	1.7	42	39
IF2021	VI_1	ba1	3.2	64	55
IF2021	VI_1	ba1	4.7	R	R
IF2021	VI_1	ba1	6.2	R	R
IF2021	VI_1	ba1	9.2	50	40
IF2021	VI_1	bb1	12.2	58	41
IF2021	VI_3	ba1	2.2	9	8
IF2021	VI_3	ba1	3.2	20	16
IF2021	VI_3	ba1	4.7	19	17
IF2021	VI_3	ba1	6.2	19	16
IF2021	VI_3	ba1	8.2	32	25
IF2021	VI_3	ba1	9.2	31	24
IF2021	VI_3	ba1	12.2	42	29
IF2021	VI_4	ba1	3.2	61	47
IF2021	VI_4	ba1	6.2	54	42
IF2021	VI_4	ba1	9.2	28	20
IF2021	VI_4	ba1	12.2	84	55
IF2021	VI_5	ba1	3.2	20	15
IF2021	VI_5	ba1	6.2	28	21
IF2021	VI_5	ba1	9.2	31	22
IF2021	VI_5	ba1	12.2	33	21
IF2021	VI_9	ba1	1.7	16	15
IF2021	VI_9	ba1	3.2	7	5
IF2021	VI_9	ba1	9.7	76	54
IF2021	VI_9	ba1	12.2	R	R
IF2021	VI_6	ba1	3.2	28	22
IF2021	VI_6	ba1	6.2	27	21
IF2021	VI_6	ba1	9.2	17	12
IF2021	VI_6	ba1	12.2	23	15
IF2021	VI_7	ba1	3.2	22	17



IF2021	VI_7	ba1	6.2	16	<b>13</b>
IF2021	VI_7	ba1	9.2	23	<b>17</b>
IF2021	VI_7	ba1	12.2	23	<b>16</b>
IF2021	VI_8	ba2	1.7	21	<b>19</b>
IF2021	VI_8	ba1	3.2	40	31
IF2021	VI_8	ba1	6.2	42	34
IF2021	VI_8	ba1	9.2	16	<b>12</b>
IF2021	VI_8	ba1	12.2	46	31
IF2021	VI_10	ba1	6.2	9	<b>7</b>
IF2021	VI_10	ba1	9.2	28	<b>20</b>
IF2021	VI_10	ba1	12.2	28	<b>18</b>
Indagini bibliografiche	PNL342R14	ba1	3.2	36	<b>30</b>
Indagini bibliografiche	PNL342R14	ba1	4.7	35	32
Indagini bibliografiche	PNL342R14	ba1	6.2	26	<b>22</b>
Indagini bibliografiche	PNL342R14	ba1	9.2	37	<b>29</b>
Indagini bibliografiche	PNL342R14	bb1	12.2	24	<b>17</b>

**Tabella 20 - Parametri di sintesi dei valori di NSPT e di resistenza penetrometrica normalizzata (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> relativi ai terreni interessati dalle analisi di suscettività a liquefazione, in arancione sono segnalati gli orizzonti con (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> <30.**

Tale prova ha evidenziato, in particolare, la presenza di terreni caratterizzati da valori di resistenza penetrometrica localmente al di sotto del limite di (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub> definito da normativa (cfr. Tabella).

Di seguito si riportano le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati, ricadenti negli orizzonti argilloso-limosi delle unità **ba3**, **bb3** e **bt3**, negli orizzonti sabbioso-limosi dell'unità **bb2** e negli orizzonti ghiaioso-sabbiosi delle unità **ba1**, **bb1** e **bt1**, nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa.

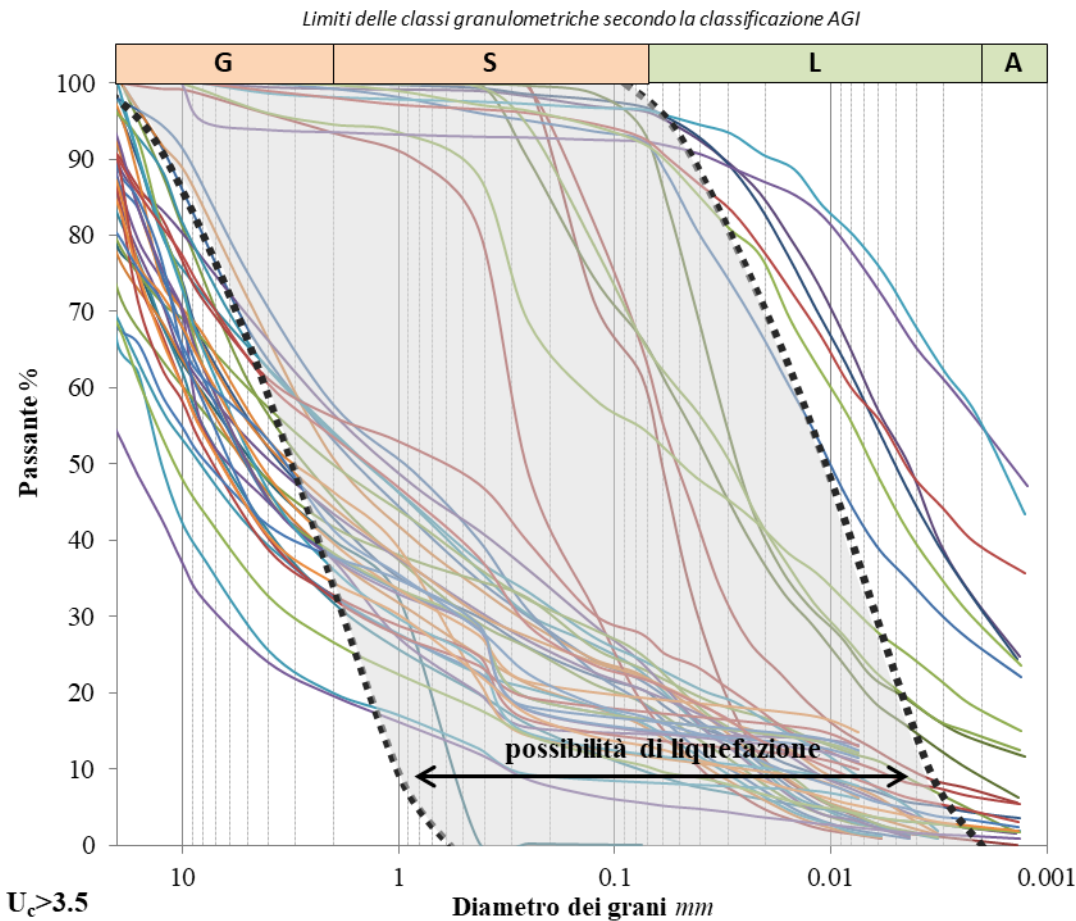


Figura 41 - Curve granulometriche dei campioni disponibili in destra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura e sedimentazione. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c > 3.5$  (NTC 2018).

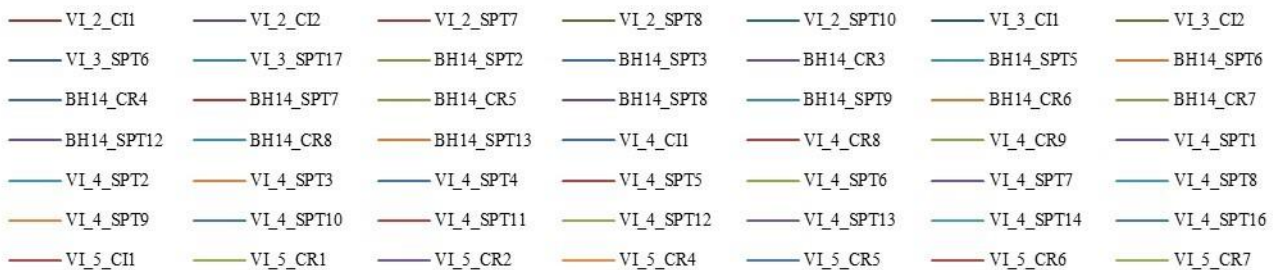


Figura 42 – Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili in destra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura e sedimentazione.

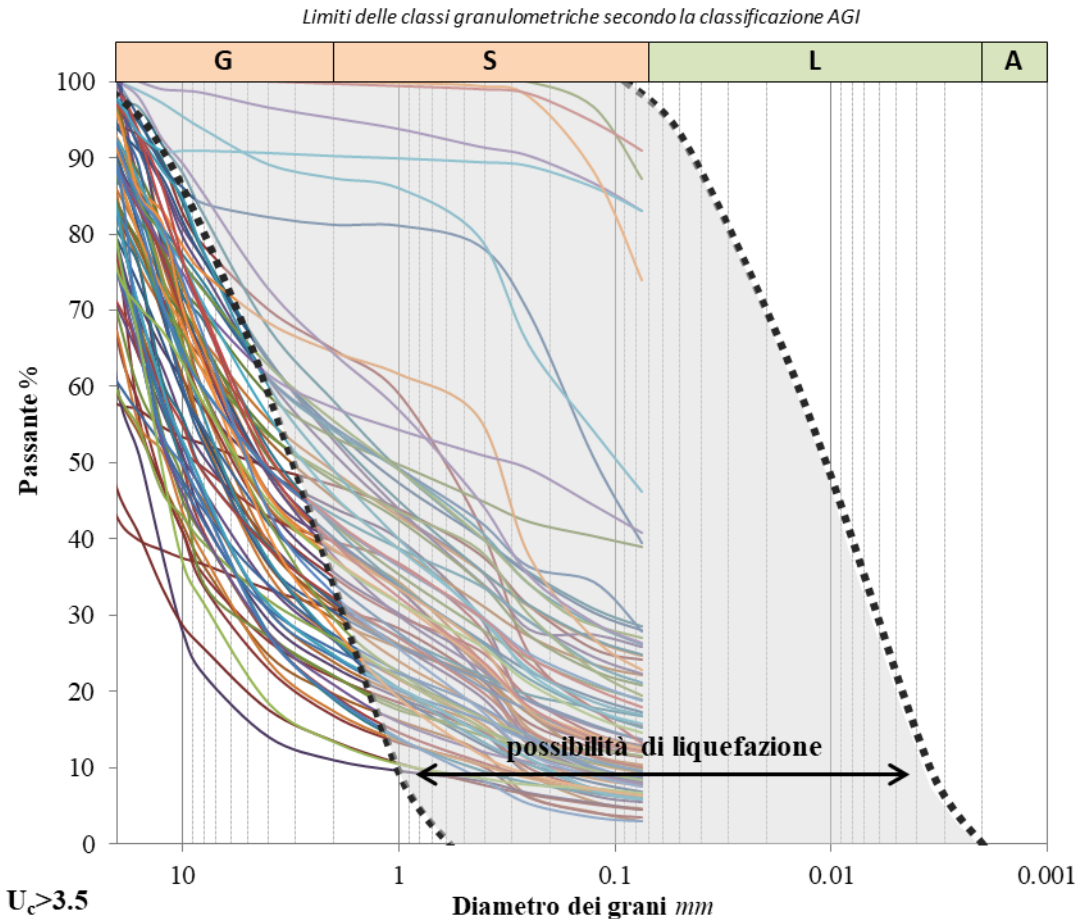


Figura 43 - Curve granulometriche dei campioni disponibili in destra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c > 3.5$  (NTC 2018).

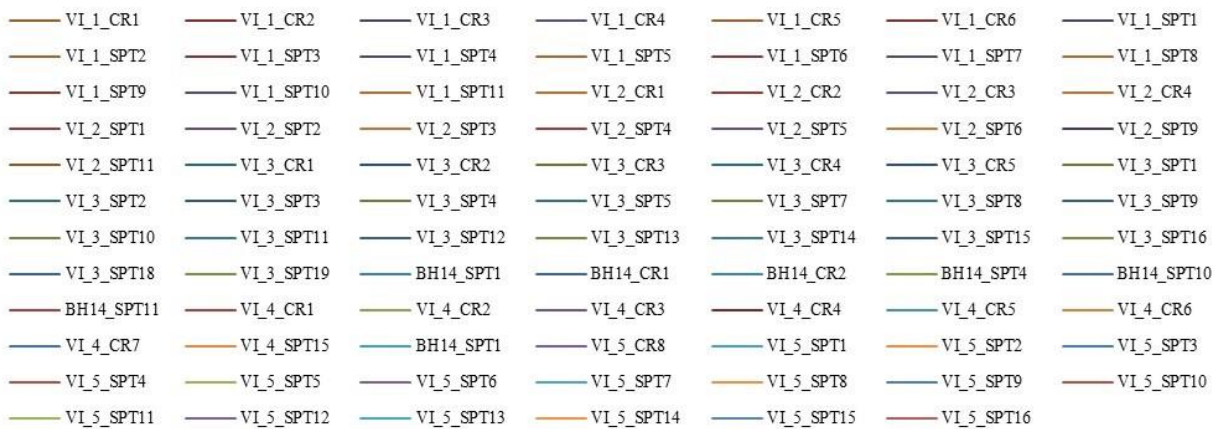
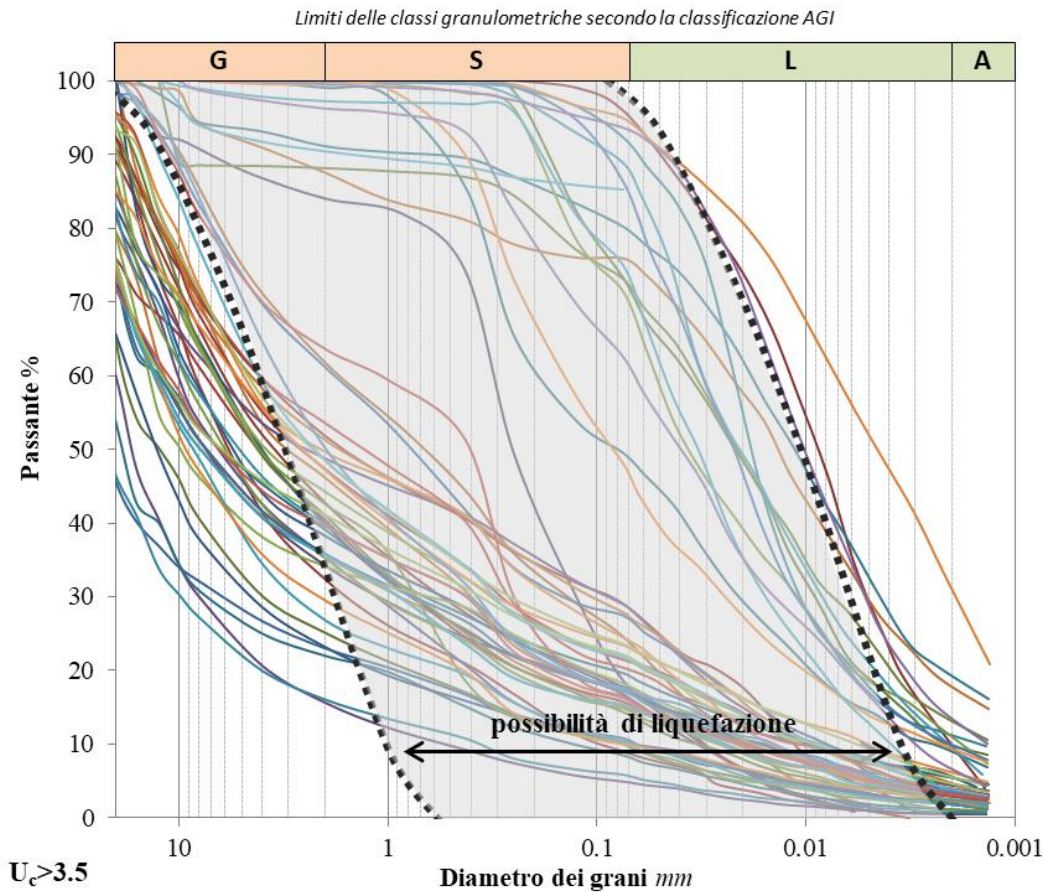


Figura 44 - Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili in destra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura.

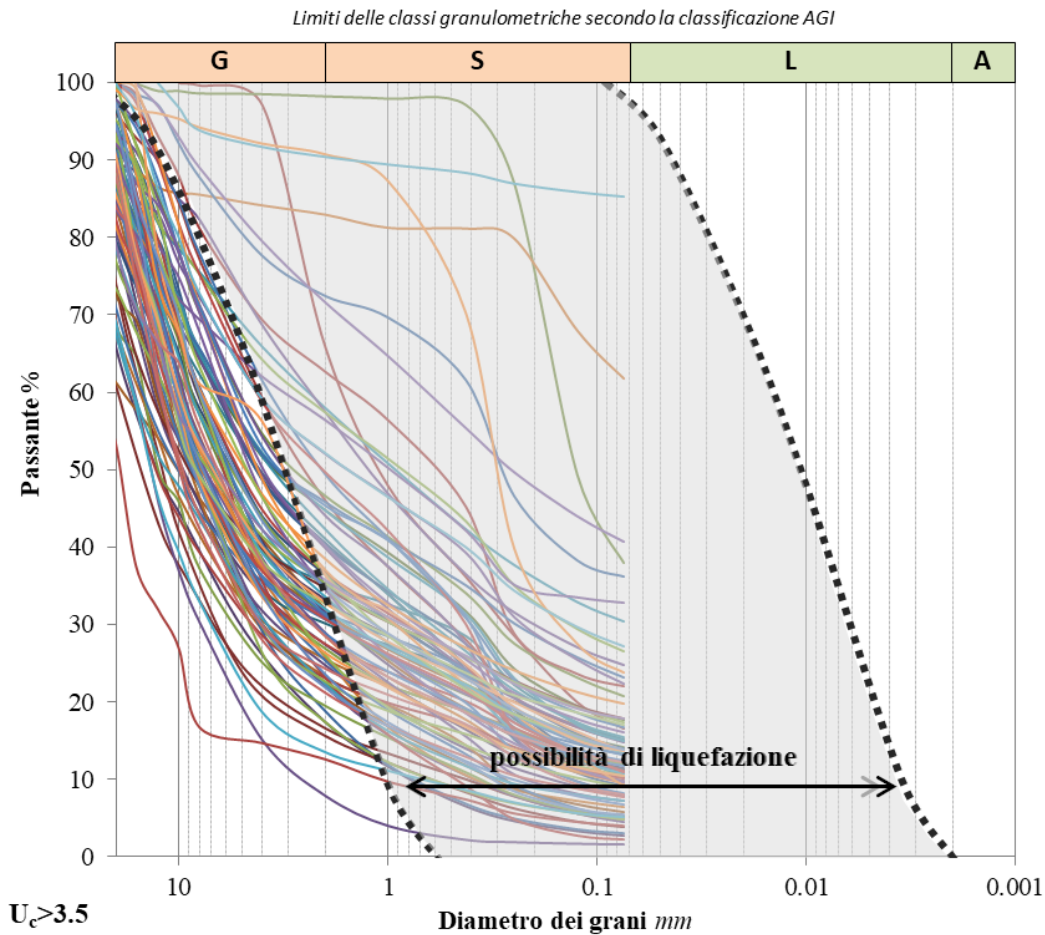




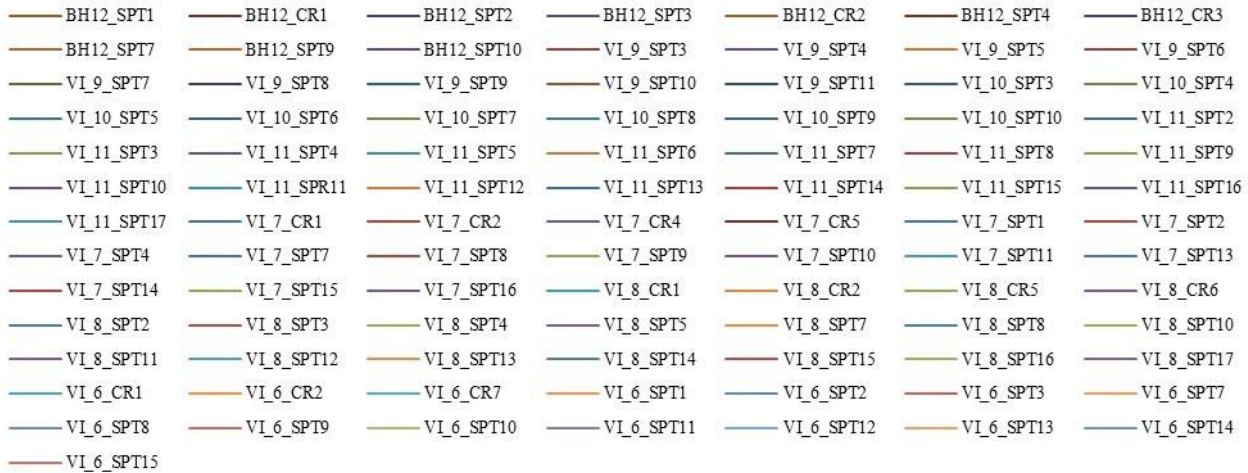
**Figura 45 - Curve granulometriche dei campioni disponibili in sinistra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura e sedimentazione. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c > 3.5$  (NTC 2018).**

— BH12_SPT5	— BH12_CR4	— BH12_SPT6	— BH12_CR5	— BH12_SPT8	— BH12_CR6	— VI_9_CR1
— VI_9_CR2	— VI_9_CR3	— VI_9_CR4	— VI_9_CR5	— VI_9_CR6	— VI_9_CR7	— VI_9_CR8
— VI_9_SPT1	— VI_9_SPT2	— VI_9_SPT12	— VI_9_SPT13	— VI_9_SPT14	— VI_10_CR1	— VI_10_CR1
— VI_10_CR2	— VI_10_CR3	— VI_10_CR4	— VI_10_CR5	— VI_10_SPT1	— VI_10_SPT2	— VI_11_CR1
— VI_11_CR1	— VI_11_CR2	— VI_11_CR3	— VI_11_CR4	— VI_11_CR5	— VI_11_CR6	— VI_11_CR7
— VI_11_CR8	— VI_11_SPT1	— VI_7_CR1	— VI_7_CR3	— VI_7_CR6	— VI_7_CR7	— VI_7_SPT3
— VI_7_SPT5	— VI_7_SPT6	— VI_7_SPT12	— VI_8_CR3	— VI_8_CR4	— VI_11_CR6	— VI_8_SPT1
— VI_8_SPT6	— VI_8_SPT9	— VI_6_CR3	— VI_6_CR4	— VI_6_CR5	— VI_6_CR6	— VI_6_SPT4
— VI_6_SPT5	— VI_6_SPT6					

**Figura 46 - Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili in sinistra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura e sedimentazione.**



**Figura 47 - Curve granulometriche dei campioni disponibili in sinistra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura. In nero, a tratteggio, è riportato il fuso granulometrico critico per suoli -  $U_c > 3.5$  (NTC 2018).**



**Figura 48 - Legenda delle curve granulometriche dei campioni disponibili in sinistra idrografica del Fiume Isonzo, ottenute tramite analisi per setacciatura.**

Le curve granulometriche dei campioni di terreno disponibili ed analizzati ricadenti nelle unità **ba3**, **bb3**, **bt3**, **bb2**, **ba1**, **bb1** e **bt1**, nonché la rappresentazione schematica dei fusi critici indicati da normativa sono riportate in Figura 41, Figura 43, Figura 45 e Figura 47. A tal riguardo, si sottolinea che i limiti dimensionali delle varie classi granulometriche, riportati nella parte alta di ogni grafico, sono indicati seguendo gli *standard* metodologici proposti dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI).

Le verifiche condotte hanno evidenziato, che per la maggior parte dei campioni, le curve granulometriche ricadono fuori dal fuso granulometrico critico indicato da normativa, e quindi non sono stati considerati potenzialmente suscettibili di liquefazione. Al contrario, i campioni **SPT5** e **SPT6** del sondaggio BH12 e i campioni **SPT6**, **SPT7** e **CR4** del sondaggio BH14, ricadono totalmente all'interno del fuso granulometrico critico indicato da normativa; questi campioni tuttavia sono stati prelevati a profondità variabile tra 15 e 21 m dal p.c.. Infine, una parte dei campioni, presenta curve granulometriche che ricadono all'interno del fuso granulometrico critico indicato da normativa, ma che si interrompono in corrispondenza di passanti anche superiori al 20%. Per tale motivo, non è possibile escludere o meno una potenziale suscettibilità alla liquefazione.

In conclusione, i risultati delle analisi di suscettività a liquefazione appositamente condotte hanno evidenziato che, mediamente, i terreni impegnati dalla realizzazione delle opere in progetto ricadono fuori dalle condizioni tali da essere suscettibili a fenomeni di liquefazione dinamica a seguito dei terremoti attesi. Si sottolinea che, solo localmente, gli orizzonti sabbioso-limosi e ghiaioso-sabbiosi presenti all'interno dei depositi alluvionali, sono da ritenersi cautelativamente suscettibili di liquefazione. Dovranno quindi essere condotte specifiche analisi geotecniche al fine di definire in maniera quantitativa i possibili effetti di eventuali fenomeni di liquefazione sulle opere in progetto.



### 13 CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta nell'ambito dell'esecuzione del progetto di fattibilità tecnica ed economica per il "Potenziamento Linea Venezia-Trieste – Posti di Movimento e Varianti di Tracciato - Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo". In particolare, sono stati effettuati i rilievi e gli approfondimenti propedeutici alla redazione degli elaborati di sintesi previsti dal progetto stesso.

L'area di studio si colloca nella porzione meridionale della regione Friuli-Venezia Giulia, nei territori comunali di Ruda (UD), Fiumicello Villa Vicentina (UD), San Canzian d'Isonzo (GO) e Turriaco (GO). Dal punto di vista morfologico l'area di studio si colloca in un settore pianeggiante della Bassa Pianura Friulana, posto a nord della costa adriatica. Si tratta di un territorio caratterizzato da una debole pendenza (valori dell'ordine dell'1-3‰), generalmente orientata da Nord-Nord-Ovest verso Sud-Sud-Est. Le quote topografiche nell'area di interesse variano da 0 a 12 m s.l.m.

Il principale corso d'acqua dell'area è rappresentato dal Fiume Isonzo, che sgorga a circa 990 m s.l.m. nella Val Trenta (Slovenia) e sfocia nel Mar Adriatico presso Staranzano. Immediatamente a nord dell'area di studio è presente la confluenza del Fiume Torre nel Fiume Isonzo. La rete idrografica superficiale è rappresentata da ulteriori corsi d'acqua di importanza minore e numerosi canali artificiali che svolgono importanti funzioni irrigue e di scolo, sviluppando una notevole ramificazione e gerarchizzazione anche a livello capillare.

Gli approfondimenti condotti dallo scrivente hanno consentito di definire i principali aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area il tutto in misura commisurata alla loro incidenza specifica sul terreno e sul contesto ambientale complessivo.

Dal punto di vista geologico, l'area di studio è caratterizzata dai terreni ghiaioso-sabbiosi e limoso argillosi dei Depositi alluvionali antichi (Pleistocene Superiore-Olocene), con uno spessore massimo superiore a 26 m. Tali depositi sono ricoperti dai terreni ghiaioso-sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi dei Depositi alluvionali recenti (Olocene), con uno spessore massimo di circa 21 m. Questi ultimi a loro volta sono ricoperti dai terreni ghiaioso-sabbiosi, sabbioso-limosi e limoso-argillosi dei Depositi alluvionali attuali (Olocene-Attuale), con uno spessore massimo di circa 22 m. La successione dei depositi alluvionali è localmente ricoperta in superficie da coltri di riporto con uno spessore massimo di circa 5 m. Sotto il profilo idrogeologico il monitoraggio piezometrico evidenzia una profondità minima della falda di 2.97 m da piano campagna.

In relazione agli esiti dello studio condotto dallo scrivente, l'area oggetto di studi risulta priva di elementi di pericolosità geologica e geomorfologica, potenziali o in atto, che possano determinare condizioni di rischio imminente ed interferenze dirette o indirette con le opere in progetto. Per quanto riguarda il fenomeno della liquefazione, le analisi condotte sulla scorta dei dati disponibili evidenziano che i terreni impegnati dalla realizzazione delle opere in progetto ricadono generalmente fuori dalle condizioni tali da essere suscettibili a fenomeni di liquefazione dinamica a seguito dei terremoti attesi, a meno di locali orizzonti, le cui curve granulometriche rientrano totalmente all'interno del fuso granulometrico. Dal punto di vista sismico, invece, il livello di pericolosità risulta basso.

## 14 BIBLIOGRAFIA

Associazione Geotecnica Italiana, 1997. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche. Servizi Grafici Editoriali, Padova.

Atkinson J., 1997. Geotecnica. Meccanica delle terre e fondazioni. McGraw-Hill, Milano.

Aurighi M., Zangheri P., 2001. La Rete di monitoraggio delle acque sotterranee in Provincia di Venezia.

Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2010. Piano di gestione dei bacini idrografici delle Alpi orientali (ex Autorità di bacino).

Bigi S., Cosentino D., Parotto M., Sartori R., Scandone P., 1992. Structural model of Italy. Scale 1:500000 (fogli 1-6). CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica 114.

Bondesan A., Calderoni G., Mozzi P., 2002. L'assetto geomorfologico della pianura veneta centro-orientale: stato delle conoscenze e nuovi dati. In: VAROTTO M. & ZUNICA M. (a cura di) – Scritti in ricordo di Giovanna Brunetta: 19-38.

Bondesan A., Meneghel M., Rosselli R., Vitturi A., 2004. Carta geomorfologica della provincia di Venezia, scala 1:50000 (con edizione digitale alla scala 1:20000). LAC, Firenze.

Bondesan A., Primon S., Bassan V., Vitturi A., 2008. Le unità geologiche della provincia di Venezia. Provincia di Venezia e Università di Padova.

Bosellini A., Mutti E., Ricci Lucchi F., 1989. Rocce e successioni sedimentarie. Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Brambati A., Catani G., Marocco R., 1977. Indagini sedimentologiche sulla spiaggia sottomarina dell'Adriatico settentrionale fra i fiumi Brenta e Tagliamento. Bollettino della Società Geologica Italiana 19: 69-86.

Bruschi A., 2010. Prove geotecniche in situ. Guida alla stima delle proprietà geotecniche e alla loro applicazione alle fondazioni. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Butler B.C.M., Bell J.D., 1996. Lettura e interpretazione delle carte geologiche. Zanichelli Editore, Bologna.

Canziani A., 1980. Variazioni nel comportamento morfogenetico della piana isontina. Ph.D. thesis, University of Trieste.

Carraro F., 2012. Geologia del Quaternario. L'evoluzione geologica degli ambienti superficiali. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Carulli G.B., 2006. Carta geologica del Friuli-Venezia Giulia, scala 1:150000. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Direzione Regionale Ambiente e Lavori Pubblici, Servizio Geologico Regionale.

Casadio M., Elmi C., 1999. Il manuale del geologo. Pitagora Editrice, Bologna.

Casati P., 1991. Scienze della terra. Città Studi Edizioni.

Castiglioni G.B., 1991. Geomorfologia (seconda edizione). Unione Tipografico-Editrice Torinese, Torino.

Castiglioni G.B., Ajassa R., Baroni C., Biancotti A., Bondesan A., Bondesan M., Cortemiglia F., 1991. Carta Geomorfologica della Pianura Padana, scala 1:250000. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia: 503-505.

Cavallin A., Lauzi S., Marchetti M., Padovan N., 1987. Carta geomorfologica della pianura friulana ad est del F. Tagliamento e a sud dell'anfiteatro morenico. Atti della riunione dei ricercatori di geologia 9: 1-12.

Celico P., 1986. Prospezioni idrogeologiche. Liguori Editore, Napoli.

Cestari F., 1996. Prove geotecniche in sito. Italggrafica Segale, Segrate.

Colombo P., Colleselli F., 1996. Elementi di geotecnica (seconda edizione). Zanichelli Editore, Bologna.

Comel A. 1958. Note Illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie "Foglio Palmanova". Ufficio idrografico del magistrato alle acque.

Cremaschi M., 1987. Loess deposits of the plain of the Po and of the adjoining adriatic basin (Northern Italy). In: Loess and Periglacial Phenomena. Budapest.X / [a cura di] Pecsì M., French H.S...: 125-140.

Cremonini G., 1994. Rilevamento geologico. Realizzazione e interpretazione delle carte geologiche. Pitagora Editrice, Bologna.

Dal Prà A., Gobbo L., Vitturi A., Zangheri P., 2000. Indagine idrogeologica del territorio provinciale di Venezia. Provincia di Venezia, Settore Tutela e Valorizzazione del Territorio, Ufficio Difesa del Suolo.

Dramis F., Bisci C., 1997. Cartografia geomorfologica. Pitagora Editrice, Bologna.

during the holocene. Gortania 31: 69-86."

Fontana A., 2006. Evoluzione geomorfologica della bassa pianura friulana e sue relazioni con dinamiche insediative antiche. Monografie Museo Friulano Storia Naturale 47: 288.

Fontana A., Mozzi P., Bondesan A., 2008. Alluvial megafans in the Veneto-Friuli Plain: evidence of aggrading and erosive phases during Late Pleistocene and Holocene. Quaternary International 189: 71-89.

Garbellini A., Zangheri P., 2001. Indagine sulle acque sotterranee del Portogruarese (con "sintesi divulgativa"). Consorzio di Bonifica "Pianura Veneta tra Livenza e Tagliamento" in collaborazione con la Provincia di Venezia.

Gasparini C., 1976. Parametri ipocentrali dai dati macrosismici del terremoto del Friuli, Maggio 1976. Annals of Geophysics 29(3): 159-164.

Hallam A., 1985. Interpretazione delle facies e stratigrafia. Pitagora Editrice, Bologna.

Isonzo-Friuli low plain and of the Grado Lagoon

Lambe T.W., Whitman R.V., 1997. Meccanica dei terreni. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Lancellotta R., 2004. Geotecnica (terza edizione). Zanichelli Editore, Bologna.

Lindeburg M.R., 1989. Civil Engineering Reference Manual. Belmont: Professional Publications.

Marchetti M., 1990. Hydrological evolution of the north-central Po Plain: the underfit streams of the Minco, Oglio and Adda rivers. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria: 53-62.



Marocco R., 2010. First Palaeo-hydrographic reconstruction of Isonzo-Friuli low plain and of the Grado Lagoon during the holocene. *Gortania* 31:69-86.

Meletti C., Valensise G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9 - App.2 al Rapporto Conclusivo. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Pasquarè G., Abbate E., Castiglioni G.B., Merenda M., Mutti E., Ortolani F., Parotto M., Pignone R., Polino R., Sassi F.P., 1992. Carta geologica d'Italia 1:50000, Guida al Rilevamento. Quaderni serie III 1: 203.

Ponton M., 2015. Depth structural analysis of the external dinaric chain in Julian alps and pre-alps (Italy and Slovenia). *Gortania* 36: 23-34.

Poulos H.G., Davis E.H., 1974. Elastic solutions for soil and rock mechanics. John Wiley and Sons, New York.

Rauch A.F., 1998. Evaluating Cyclic Liquefaction Potential Using Cone Penetration Test. *Canadian Geotechnical Journal* 35: 442-459.

Regione Friuli-Venezia Giulia, 2013. Studio morfologico del Fiume Isonzo. Progetto Camis: attività coordinate per la gestione del Fiume Isonzo.

Ricci Lucchi F., 1980. Sedimentologia. Cooperativa Libreria Universitaria Editrice, Bologna.

Riga G., 2007. La liquefazione dei terreni. Analisi, valutazione, calcolo. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Robertson P.K., Wride C.E., 1998. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal* 35: 442-459.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A., 2021. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Scesi L., Papini M., Gattinoni P., 2003. Geologia applicata. Casa Editrice Ambrosiana, Milano.

Seed H.B., Idriss I.M., 1982. Ground motions and soil liquefaction during earthquakes. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland.

Siché I., Arnaud-Fassetta G., 2014. Anthropogenic activities since the end of the Little Ice Age: a critical factor driving fluvial changes on the Isonzo River (Italy, Slovenia). *Méditerranée* 122: 183-199.

Skempton A.W., 1986. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, aging and overconsolidation. *Géotechnique* 36: 425-447.

Stefanini S., Cucchi F., 1977. Le ghiaie nel sottosuolo della pianura veneta ad oriente del F. Piave. Quaderni IRSA.

Tanzini M., 2002. L'indagine geotecnica. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Terzaghi K., 1943. Theoretical soil mechanics. John Wiley and Sons, New York.

Tosi L., Rizzetto F., Bonardi M., Donnici S., Serandrei Barbero R., Toffoletto F., 2007. Note illustrative della carta geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 148-149, Chioggia-Malamocco. APAT - Regione Veneto.

Zanferrari A., Avigliano R., Monegato G., Paiero G., Poli M.E., 2008. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000. Foglio 066, Udine. Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici.



POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE  
Posti di Movimento e Varianti di Tracciato  
Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo

Relazione geologica, geomorfologica ed  
idrogeologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	40	R 69 RG	GE 0001 001	A	74 di 74

Zangheri P., Bassan V., Vitturi A., Da Villa E., 2008. Indagine idrogeologica sull'area di Porto Marghera. Piovincia di Venezia - Regione del Veneto.