

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE CIVILI

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

### POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

#### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro

#### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Fiume Lemene

SCALA:

-

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

I Z 0 4    3 0    R    0 9    R I    I D 0 0 0 2    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Cesali 	giugno 2021	F. Cabas 	giugno 2021	S. Lo Presti 	giugno 2021	A. Vittozzi giugno 2021

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Treviso  
N° A20783

File: IZ0430R09RIID0002001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	5
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELLE AREE DI INTERVENTO .....	5
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO .....	8
3	STUDIO IDRAULICO.....	10
3.1	GENERALITÀ.....	10
3.2	DATI DI BASE.....	10
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE .....	14
3.3.1	<i>GEOMETRIA DEL MODELLO</i> .....	16
3.3.2	<i>SCABREZZE</i> .....	18
3.3.3	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO</i> .....	18
3.3.4	<i>SCENARI SIMULATI</i> .....	19
3.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	20
3.4.1	<i>SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE P.A.I./P.G.R.A.</i> .....	20
3.4.2	<i>SCENARIO POST OPERAM</i> .....	22
4	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO.....	24
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	27

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE</b> Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>IZ04</b>	LOTTO <b>30 R 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>A</b>

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1. Variante di Portogruaro: inquadramento dell'area di studio.</i> .....	5
<i>Figura 2. Variante di Portogruaro: aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.A.I. dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Lemene (stralcio Tavola 14, 2002).</i> .....	7
<i>Figura 3. Variante di Portogruaro: aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (stralcio Tavola L10, 2015).</i> .....	7
<i>Figura 4. Fiume Lemene: sezioni batimetriche (in rosso) e opere di attraversamento rilevate in alveo.</i> .....	11
<i>Figura 5. Fiume Lemene: ponte dell'Autostrada A4 Torino-Trieste.</i> .....	11
<i>Figura 6. Fiume Lemene: ponte della strada SS14.</i> .....	12
<i>Figura 7. Fiume Lemene: ponte stradale di via San Martino.</i> .....	12
<i>Figura 8. Fiume Lemene: ponte ferroviario esistente della linea Venezia-Trieste.</i> .....	13
<i>Figura 9. Fiume Lemene: ponte di via F. Bonò.</i> .....	13
<i>Figura 10. Modello numerico 2D del Fiume Lemene: dominio di calcolo.</i> .....	16
<i>Figura 11. Modello numerico 2D: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.</i> .....	17
<i>Figura 12. Modello numerico 2D: idrogrammi di piena di riferimento per il Fiume Lemene.</i> .....	18
<i>Figura 13. Modello numerico 2D: idrogrammi di piena di riferimento per la Roggia Versiola.</i> .....	19
<i>Figura 14. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: confronto tra le aree di esondazione per <math>Tr = 300</math> anni (ante operam) e aree di pericolosità moderata/bassa P1 definite nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A.</i> .....	20
<i>Figura 15. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per <math>Tr = 200</math> anni (ante operam).</i> .....	21
<i>Figura 16. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per <math>Tr = 300</math> anni (post operam).</i> .....	22
<i>Figura 17. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per <math>Tr = 200</math> anni (post operam).</i> .....	23
<i>Figura 18. Livelli idrici <math>Tr200</math>, nelle situazioni ante e post operam, alla progr. 60+600.</i> .....	24
<i>Figura 19. Livelli idrici <math>Tr200</math>, nelle situazioni ante e post operam, alla progr. 60+850.</i> .....	25
<i>Figura 20. Protezione dei rilevati interessati dalle esondazioni di corsi d'acqua: materassi tipo Reno.</i> .....	25

## 1 PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica (PFTE) “Potenziamento Linea Venezia – Trieste, Posti di Movimento e Varianti di tracciato”. L’intervento in progetto consiste nel suo complesso di *i*) interventi puntuali sul tracciato per elevarne le caratteristiche prestazionali, *ii*) potenziamento tecnologico; *iii*) varianti di tracciato fuori sede, in punti singolari, per la velocizzazione della linea. Nello specifico, gli interventi oggetto del presente PFTE sono:

- ✓ LOTTO 1 - Nuovo Posto di Movimento a modulo 750 m a San Donà di Piave;
- ✓ LOTTO 2 - Nuovo Posto di Movimento a modulo 750 m in località Fossalta di Portogruaro;
- ✓ **LOTTO 3 - Variante di tracciato a Portogruaro;**
- ✓ LOTTO 4 - Variante di tracciato sul Fiume Isonzo.

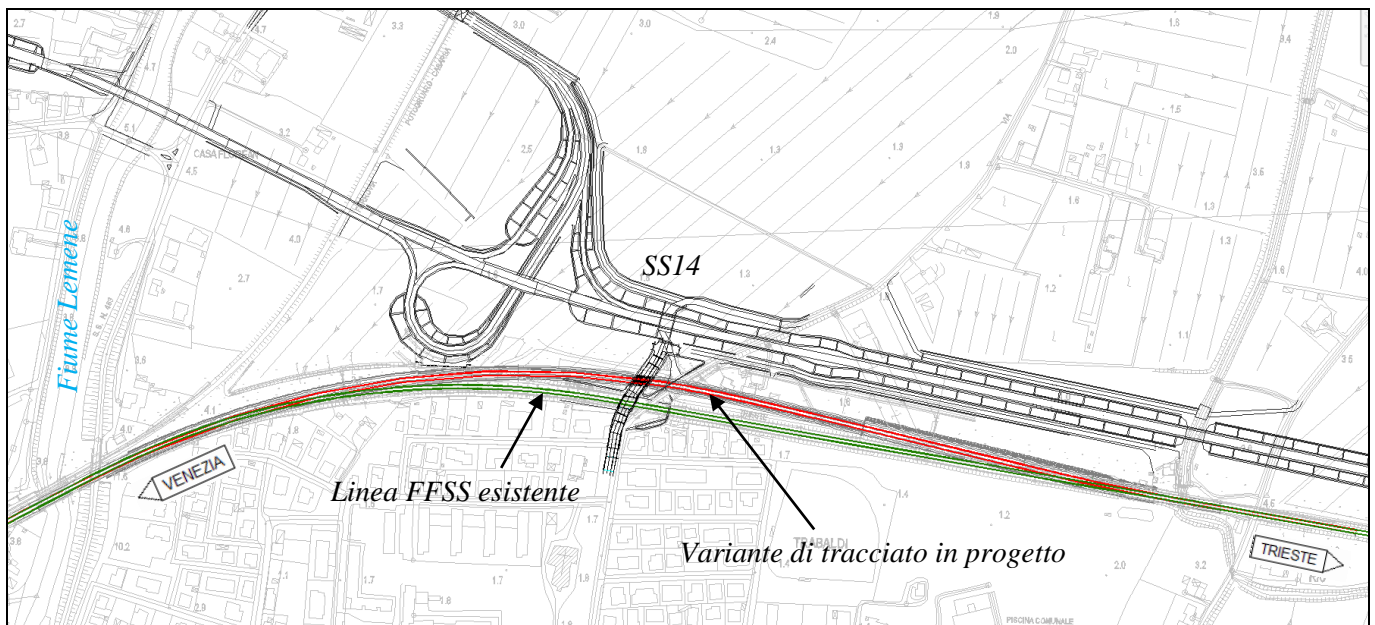
In particolare, nella presente relazione sono illustrati i risultati delle simulazioni numeriche della propagazione delle piene di riferimento del *Fiume Lemene*, condotte secondo un modello bidimensionale (in regime di moto vario), finalizzate alla valutazione delle aree potenzialmente inondabili nella zona in cui si inserisce la nuova variante di tracciato a Portogruaro (**LOTTO 3**), nelle configurazioni *ante operam* e *post operam*.

Le analisi sono state sviluppate nel rispetto della pianificazione di bacino attualmente in vigore, in particolare del *Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell’Autorità di Bacino Interregionale del F. Lemene* (2002) e delle relative Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.), nonché del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali*.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

### 2.1 Pericolosità idraulica nelle aree di intervento

La variante ferroviaria in progetto a Portogruaro si sviluppa a partire dal ponte ferroviario esistente (non oggetto di intervento) sul *Fiume Lemene*, per poi proseguire in direzione Trieste, per una lunghezza complessiva di circa 1,3 km, inserendosi tra la linea ferroviaria esistente e la SS14.



**Figura 1. Variante di Portogruaro: inquadramento dell'area di studio.**

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione della pericolosità idraulica nell'area di intervento è attualmente riportato nei documenti del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino Interregionale del *Fiume Lemene* (corso d'acqua che attraversa la città di Portogruaro), nonché nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali.

Con riferimento al P.A.I. dell'Autorità di Bacino Interregionale del *Fiume Lemene*, sono individuate le seguenti 4 classi di pericolosità idraulica:

- **pericolosità elevata P3**, riferita ad eventi caratterizzati da una probabilità di accadimento  $Tr = 50$  anni, con altezza d'acqua su p.c.  $h > 1$  m

- **pericolosità media P2**, riferita ad eventi caratterizzati da una probabilità di accadimento  $Tr = 50$  anni, con altezza d'acqua su p.c.  $0 < h < 1$  m
- **pericolosità moderata P1**, riferita ad eventi caratterizzati da una probabilità di accadimento  $Tr = 100$  anni, con altezza d'acqua su p.c.  $h > 0$
- **pericolosità moderata P1 per aree soggette a scolo meccanico**

Con riferimento invece al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, sono individuati i seguenti scenari di pericolosità idraulica:

- **alta probalibilità (HHP)**, riferito ad eventi caratterizzati da un tempo di ritorno  $Tr = 30$  anni
- **media probalibilità (HMP)**, riferito ad eventi caratterizzati da un tempo di ritorno  $Tr = 100$  anni
- **bassa probalibilità (HLP)**, riferito ad eventi caratterizzati da un tempo di ritorno  $Tr = 300$  anni

Come mostrato nelle figure seguenti, la variante ferroviaria in progetto a Portogruaro attraversa aree classificate come “*a pericolosità idraulica moderata, P1 – area soggetta a scolo meccanico*” secondo il P.A.I. dell’Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Lemene, e “*a pericolosità bassa - HLP*” (con tiranti massimi su piano campagna fino a +0.50 m) secondo il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (per maggiori dettagli si rimanda comunque agli elaborati grafici annessi IZ0430R09N6ID0002001A, IZ0430R09N6ID0002002A).

Stante pertanto tale situazione di pericolosità idraulica, si è proceduto allo sviluppo dello studio idraulico del *Fiume Lemene*, volto alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici e velocità, al fine di valutare/confermare quanto riportato nella pianificazione di bacino vigente.



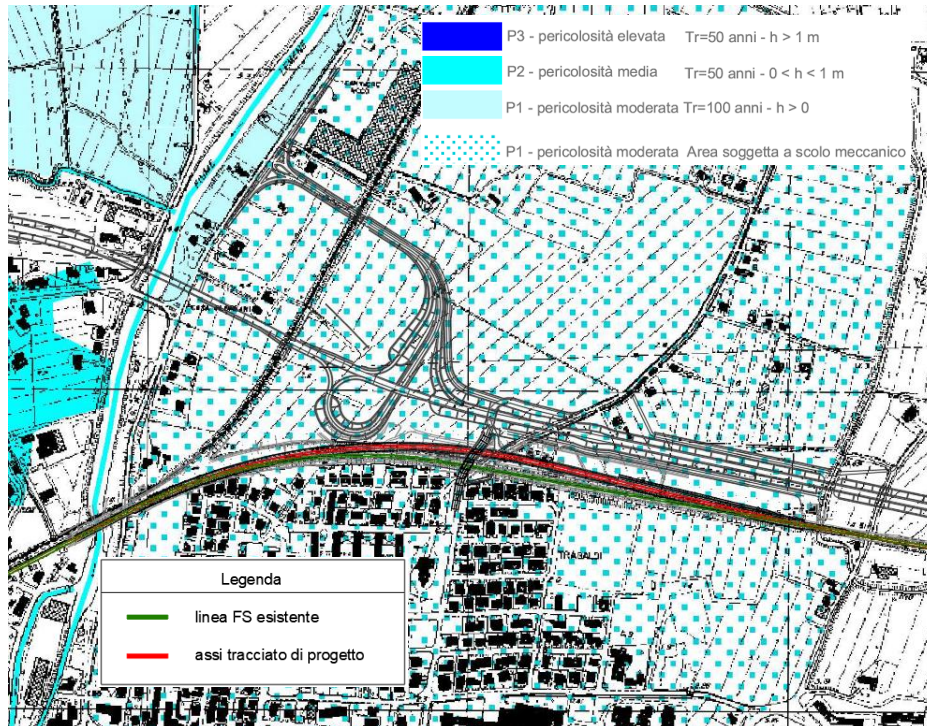


Figura 2. Variante di Portogruaro: aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.A.I. dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Lemene (stralcio *Tavola 14*, 2002).

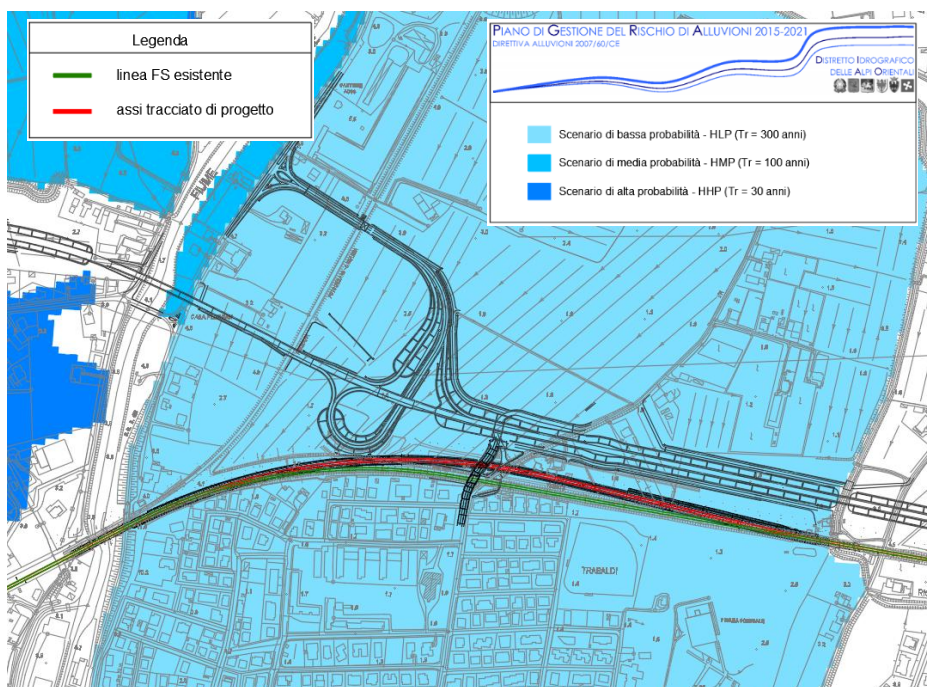


Figura 3. Variante di Portogruaro: aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (stralcio *Tavola L10*, 2015).

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 30 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## 2.2 Obiettivi dello studio idraulico

Con riferimento alle condizioni di pericolosità idraulica esistenti nell'area di intervento, descritte nel paragrafo precedente, l'obiettivo del presente studio idraulico è quindi quello di valutare la compatibilità idraulica della nuova variante di tracciato prevista a Portogruaro. Si precisa che non sono previste nuove opere di attraversamento sul *Fiume Lemene*, nè interventi sul ponte ferroviario esistente.

Per la sicurezza idraulica della linea, con riferimento alle NTC2018 e alla relativa circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019, nonché al Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020), le opere in progetto devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da un tempo di ritorno di **200 anni**.

Con riferimento al par. 3.8.1.2.1.2 – Parte II Sezione 3 “*Corpo Stradale*” del Manuale di Progettazione Ferroviaria, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d'acqua, “*dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto.*”

Con riferimento alle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del P.A.I. dell'Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Lemene (2002),

### **Art. 12 – Azioni ed interventi ammissibili nelle aree classificate a pericolosità elevata - P3**

“1. Nelle aree classificate a pericolosità elevata – P3 può essere esclusivamente consentita la realizzazione di .....e) ampliamento o realizzazione ex novo di opere o infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili.....”

### **Art. 13 – Azioni ed interventi ammissibili nelle aree classificate a pericolosità media - P2**

“1. Nelle aree classificate a pericolosità media – P2, oltre agli interventi consentiti nelle aree classificate a pericolosità elevata – P3, può essere consentita la realizzazione di .....c) ampliamento e ristrutturazione delle esistenti infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico.....”



	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 3: Variante di tracciato a Portogruaro					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 30 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 9 di 27

**Art. 14 – Azioni ed interventi ammissibili nelle aree classificate a pericolosità moderata – P1**

*“1. Nelle aree classificate a pericolosità moderata – P1, spetta agli strumenti urbanistici ed ai piani di settore prevedere e disciplinare l’uso del territorio, le nuove costruzioni, i mutamenti di destinazione d’uso, la realizzazione di nuovi impianti, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, in relazione al grado di pericolosità individuato e nel rispetto dei criteri e indicazioni generali del presente Piano.”*

Secondo la pianificazione di bacino vigente, nelle aree di intervento (classificate a pericolosità moderata P1) non vi sono quindi vincoli/limitazioni alla realizzazione di nuove infrastrutture e/o all’ampliamento di quelle esistenti, comunque consentite anche nelle aree a pericolosità media (P2) ed elevata (P3), purché risultino compatibili con le condizioni di pericolosità esistenti e siano riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili.

A tale scopo, si è proceduto all’implementazione di un modello numerico 2D del Fiume Lemene e alla simulazione della propagazione delle piene associate ai tempi di ritorno di **30, 100, 200 e 300 anni**.

### 3 STUDIO IDRAULICO

#### 3.1 Generalità

Con riferimento ai sottobacini individuati nello studio idrologico annesso (cfr. IZ0430R09RIID0001001A):

- *Fiume Lemene*
- *Roggia Versiola*

è stato sviluppato il modello (numerico) idraulico bidimensionale (2D), in regime di moto vario, del *Fiume Lemene*, comprensivo del contributo idrologico del suo affluente *Roggia Versiola* (che confluisce nel F. Lemene poco a monte dell'attraversamento ferroviario esistente), finalizzato alla determinazione dei livelli idrici e delle velocità, nonché delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento), nella zona in cui si inserisce la variante di tracciato in progetto a Portogruaro.

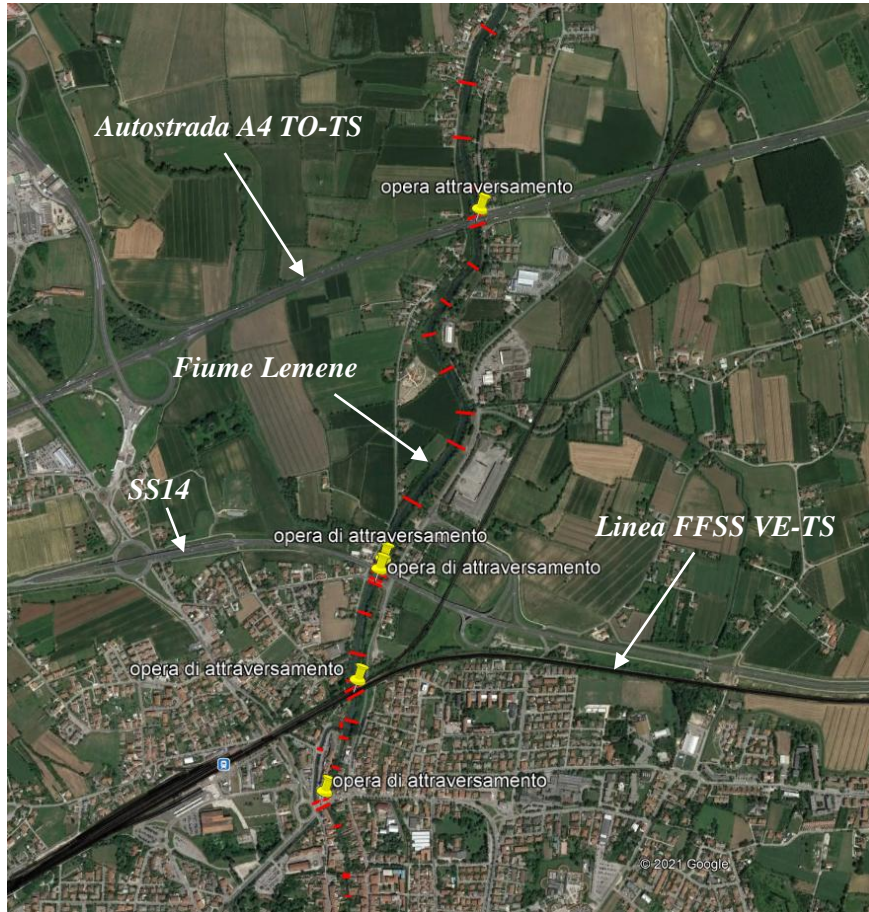
#### 3.2 Dati di base

I dati topografici e cartografici a disposizione per l'implementazione del modello numerico 2D sono:

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito da Regione Friuli Venezia Giulia;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 50 punti a m<sup>2</sup>, realizzato da Italferr SPA;
- rilievo di sezioni batimetriche trasversali dell'alveo e delle opere di attraversamento esistenti sul Fiume Lemene, realizzato da Italferr SPA;
- rilievo celerimetrico della linea ferroviaria esistente, nel tratto di variante, realizzato da Italferr SPA.

Il confronto tra le diverse informazioni topografiche/cartografiche ed in particolare tra le sezioni trasversali rilevate in alveo e il rilievo LiDAR fornito da Regione Friuli Venezia Giulia e recentemente realizzato da Italferr SPA, ha evidenziato una buona corrispondenza sia per quanto riguarda le aree golenali ed esterne all'ambito fluviale che per l'alveo inciso. Questo ha permesso, nell'implementazione del modello idraulico, di utilizzare le informazioni topografiche in maniera complementare.

Nella figura seguenti, si riporta l'ubicazione delle sezioni e delle opere rilevate in alveo, unitamente a qualche foto di dettaglio dell'alveo e degli attraversamenti principali implementati nel modello numerico.



**Figura 4. Fiume Lemene: sezioni batimetriche (in rosso) e opere di attraversamento rilevate in alveo.**



**Figura 5. Fiume Lemene: ponte dell'Autostrada A4 Torino-Trieste.**





**Figura 6. Fiume Lemene: ponte della strada SS14.**



**Figura 7. Fiume Lemene: ponte stradale di via San Martino.**





**Figura 8. Fiume Lemene: ponte ferroviario esistente della linea Venezia-Trieste.**



**Figura 9. Fiume Lemene: ponte di via F. Bonò.**

### 3.3 Implementazione del modello numerico bidimensionale

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello numerico 2D del Fiume Lemene è il software *InfoWorks ICM 9.0*, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK).

La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature.

E' possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle. Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

Il software impiegato è in grado di contenere all'interno dello stesso modello numerico elementi di tipo bidimensionale e monodimensionale. Il modello numerico utilizzato risolve le equazioni in condizioni di moto vario. Per valutare il campo di moto, il modello numerico implementato in InfoWorks ICM è basato sulla procedura proposta da *Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations*. La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d}$$

I termini citati rappresentano rispettivamente:  $h$ , il tirante idrico della corrente;  $u$  e  $v$ , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni  $x$  ed  $y$ ;  $t$ , il tempo;  $g$ , l'accelerazione di gravità;  $S_{0,x}$ ,  $S_{0,y}$  le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $S_{f,x}$ ,  $S_{f,y}$ , le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $q_{1D}$ , la portata immessa per unità di superficie;  $u_{1d}$  e  $v_{1d}$ , le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ . Il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (wall friction), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (*gradually varied flow* e *rapidly varied flow*). Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE. Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

Per ciascun elemento di calcolo il timestep richiesto è calcolato utilizzando le condizioni di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità numerica. La formulazione della condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è la seguente:

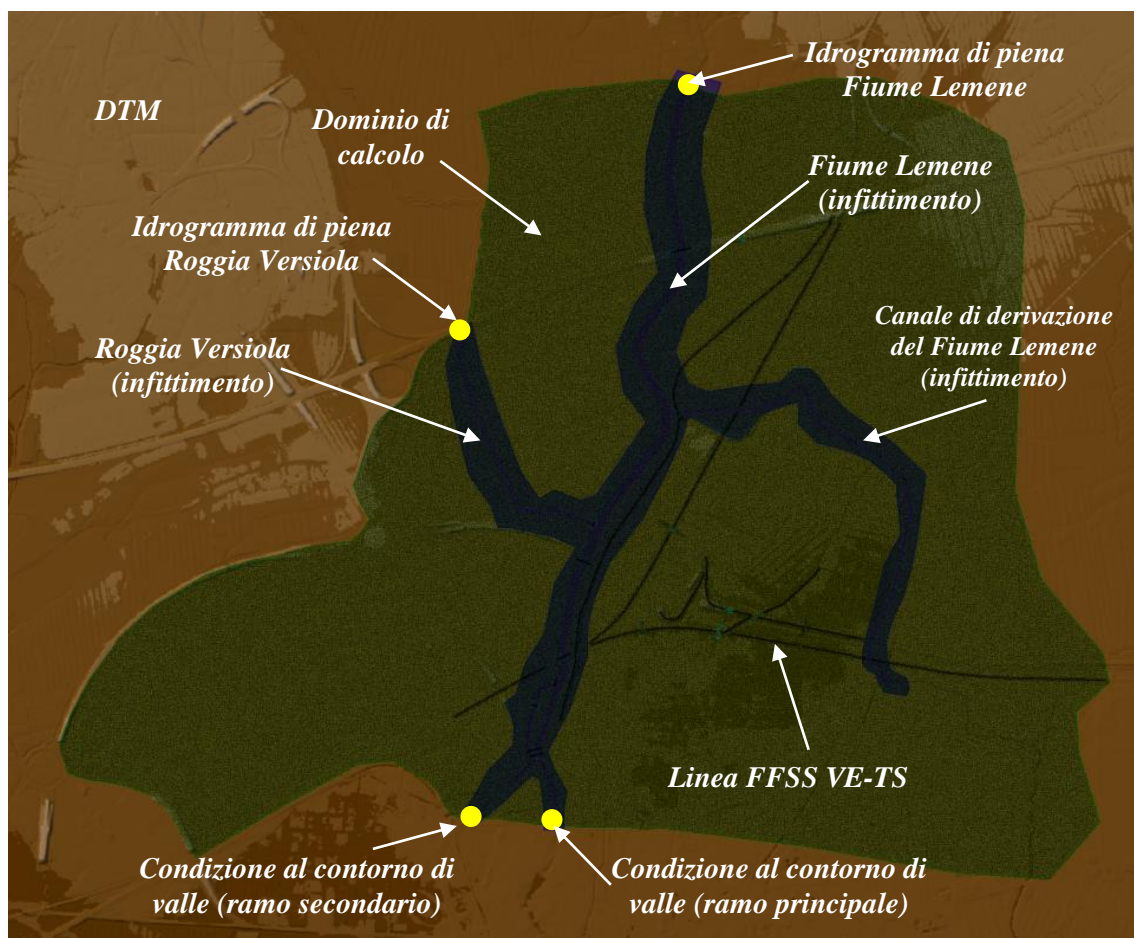
$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1$$

dove:  $c$  è il numero di Courant (il valore di default è 0.95). Inoltre, InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.



### 3.3.1 Geometria del modello

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come *mesh*. La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili. Nello specifico, il modello numerico del Fiume Lemene si estende da una sezione subito a valle del ponte di via Santa Maria fino ad una sezione subito a valle del ponte di via Abbazia, per una estensione totale del tratto fluviale analizzato di circa 3 km.

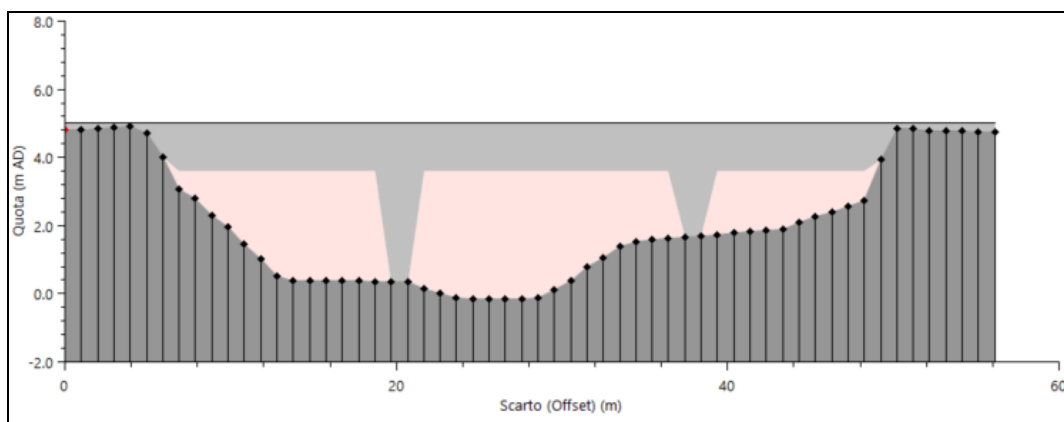


**Figura 10. Modello numerico 2D del Fiume Lemene: dominio di calcolo.**

La geometria del modello 2D è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti. La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in InfoWorks ICM, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La creazione della mesh (superficie totale del dominio di calcolo = 730 ha) è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 75 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 25 m<sup>2</sup>. Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 25 m<sup>2</sup> e una dimensione minima di 9 m<sup>2</sup>.

Le opere di attraversamento esistenti, presenti sul Fiume Lemene, sono state invece implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (InfoWorks ICM 9.0). Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante due tipologie di "linea": 1) Struttura lineare 2D Base (per rappresentare la sezione di attraversamento); 2) Struttura lineare – Ponte 2D (per rappresentare l'impalcato e le luci). Mediante la prima linea, viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo in corrispondenza del ponte/viadotto; tramite la seconda linea, viene definita la struttura (impalcato) dell'opera di attraversamento.



**Figura 11. Modello numerico 2D: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.**

### 3.3.2 Scabrezze

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione idraulica del sistema, sono stati assunti sulla base della letteratura tecnica e di precedenti esperienze in aree analoghe. Si è pertanto adottato un coefficiente di scabrezza secondo Gauckler-Strickler di  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (i.e.  $n = 0.035$ ) per gli alvei dei corsi d'acqua e per i canali, e  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (i.e.  $n = 0.06$ ) per le zone golenali e per le aree esterne ai corsi d'acqua, così come indicato nello studio "MODELLO MATEMATICO PER LA SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE PIENE" sviluppato nell'ambito del Piano Provinciale di Emergenza della Città Metropolitana di Venezia (Assessorato alla Protezione Civile). Va ribadito a questo proposito che molto difficilmente (e soprattutto nel caso in esame) è possibile disporre di misure contemporanee di livello e di portata necessarie per la taratura del modello ai fini della precisa determinazione dei valori del coefficiente di resistenza. Ciò non toglie comunque validità ai risultati che questo tipo di modelli matematici, ormai lungamente collaudati, può fornire.

### 3.3.3 Condizioni al contorno

Per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nel modello numerico 2D sviluppato, a monte è stata assegnata la condizione "Inflow" relativamente ai due rami "Fiume Lemene" e "Roggia Versiola" considerati, corrispondente agli idrogrammi di piena associati ad un determinato tempo di ritorno, così come determinati nello studio idrologico annesso (cfr. IZ0430R09RIID0001001A).

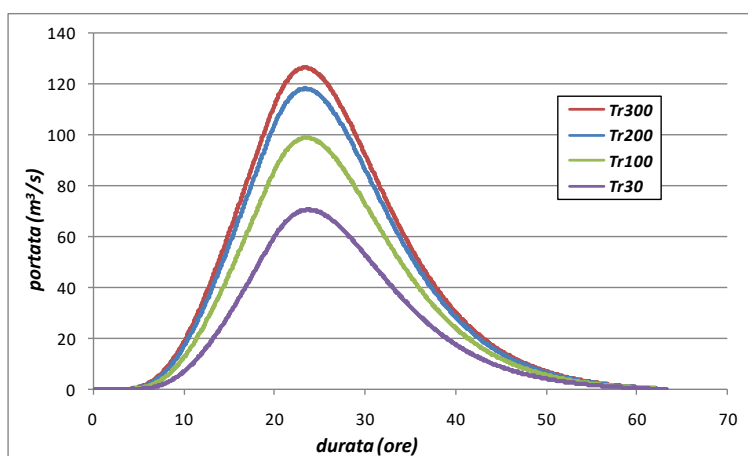
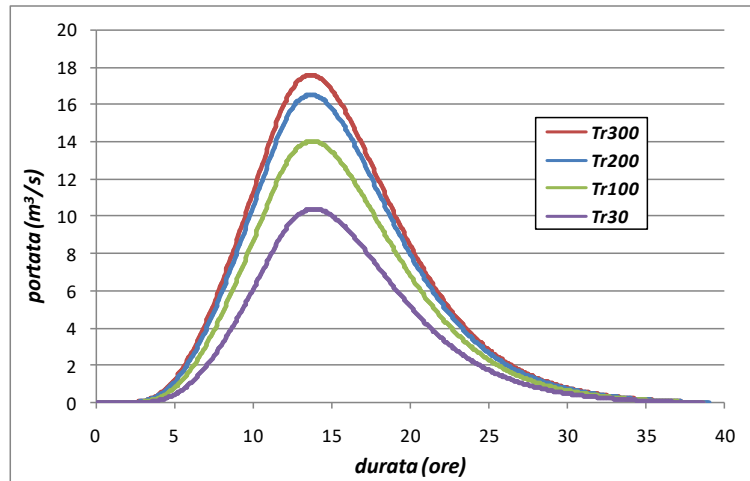


Figura 12. Modello numerico 2D: idrogrammi di piena di riferimento per il Fiume Lemene.



**Figura 13. Modello numerico 2D: idrogrammi di piena di riferimento per la Roggia Versiola.**

A valle dell'attraversamento ferroviario esistente, il Fiume Lemene si divide in due rami, uno dei quali confluisce nel F. Reghena poco prima della confluenza del F. Reghena stesso nel F. Lemene. Pertanto, sono state assegnate due condizioni al contorno di valle, distinte per i due rami del F. Lemene. Per il ramo principale è stata imposta la condizione "Level", ossia di livello idrico noto, imposto pari al livello di marea (+1.5 m slm), così come indicato nello studio "MODELLO MATEMATICO PER LA SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE PIENE" sviluppato nell'ambito del Piano Provinciale di Emergenza della Città Metropolitana di Venezia (Assessorato alla Protezione Civile). Per il ramo secondario, confluyente nel F. Reghena, è stata assegnata invece la condizione di "Normal depth" (moto uniforme).

### 3.3.4 Scenari simulati

Come anzidetto, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena del Fiume Lemene riferite ai tempi di ritorno ( $Tr$ ) di 30, 100, 200 e 300 anni, nelle seguenti configurazioni geometriche:

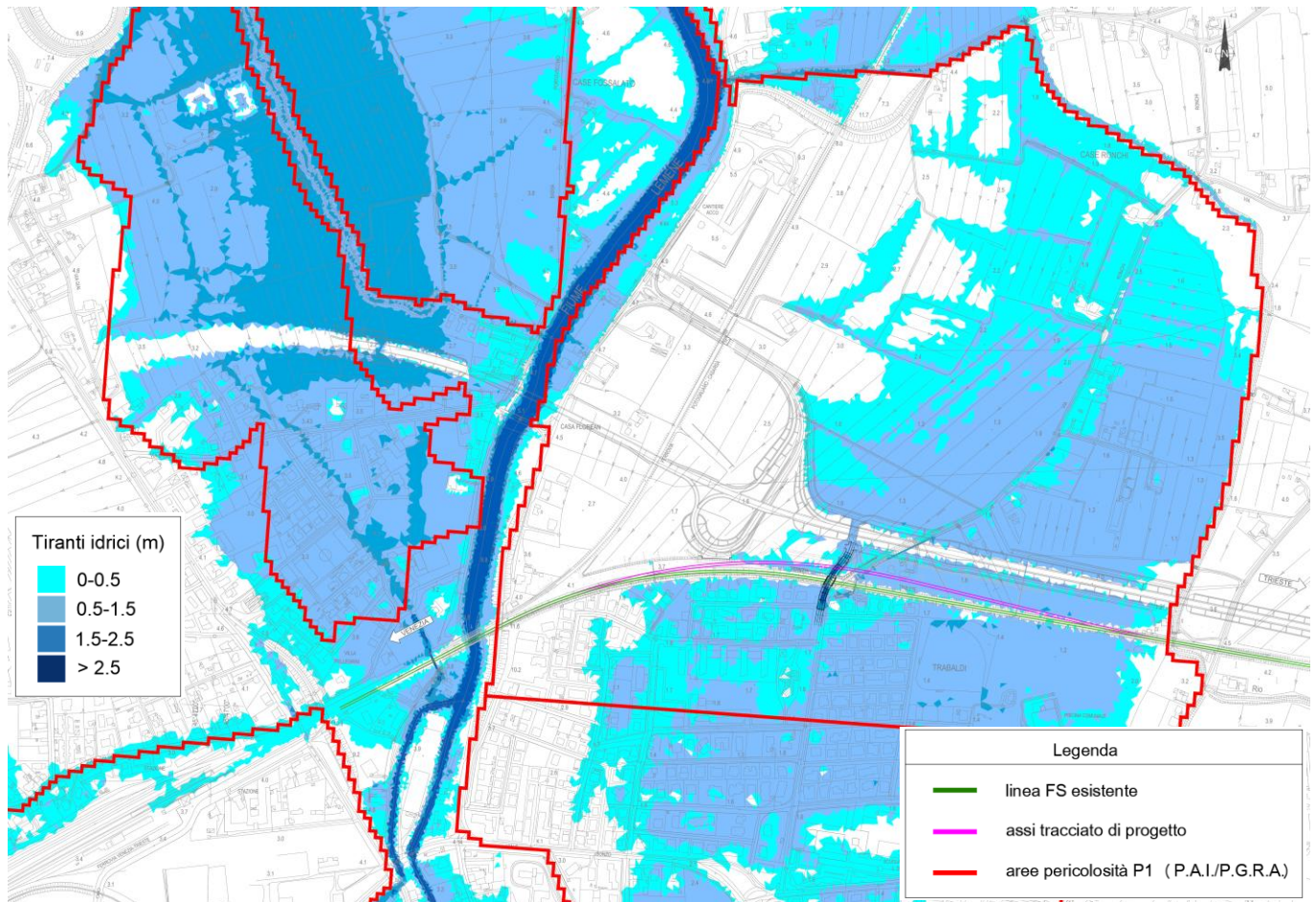
- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere di attraversamento esistenti;
- *post operam*: si intende la geometria ottenuta dall'inserimento delle opere in progetto che possono modificare l'attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica o di miglioramento delle condizioni di deflusso (i.e. opere di sistemazione/riprofilatura, argini,...).



### 3.4 Risultati delle simulazioni numeriche

#### 3.4.1 Scenario ante operam e confronto con perimetrazione P.A.I./P.G.R.A.

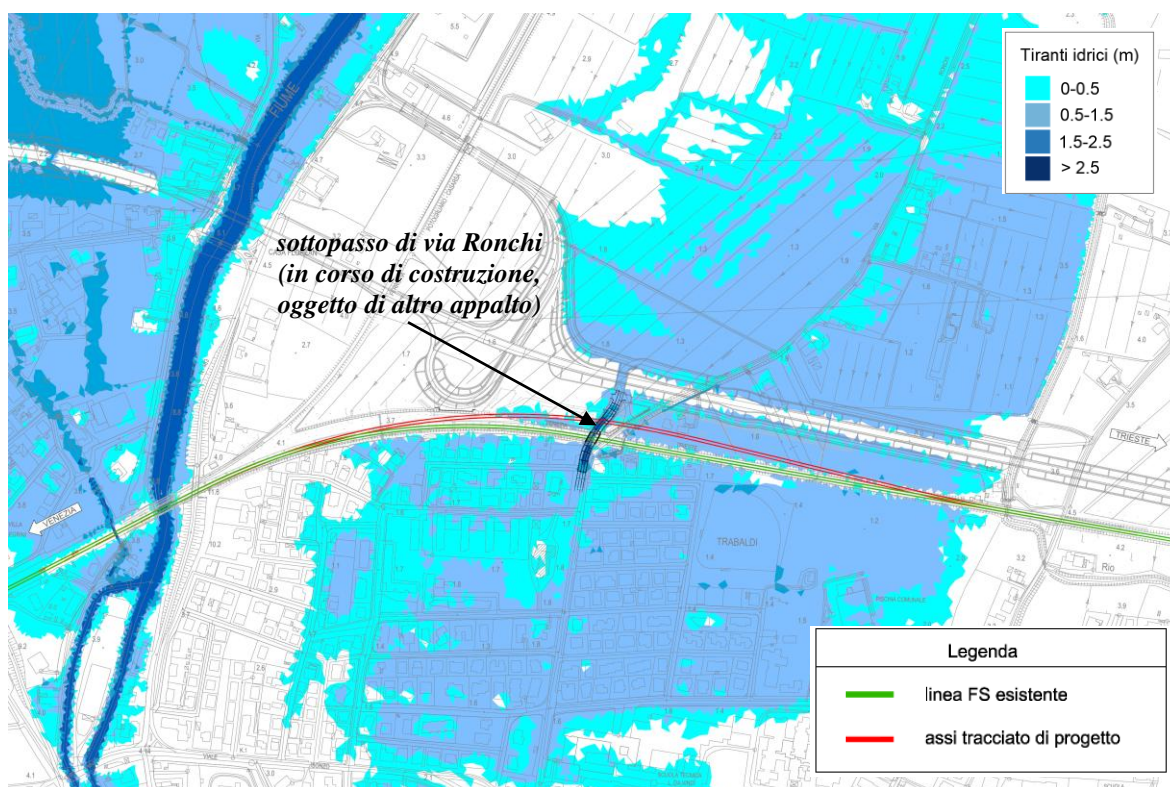
Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione corrispondenti ad un tempo di ritorno di **300 anni**, ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità idraulica P1 (moderata/bassa) definite nell'ambito del P.A.I. dell'Autorità di Bacino Interregionale del *Fiume Lemene* e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali.



**Figura 14. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: confronto tra le aree di esondazione per  $Tr = 300$  anni (ante operam) e aree di pericolosità moderata/bassa P1 definite nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A..**

I risultati della simulazione numerica della propagazione della piena con tempo di ritorno di 300 anni, nella configurazione “*ante operam*”, confermano le aree di pericolosità P1 indicate nelle mappe del P.A.I. e del P.G.R.A., seppure con qualche differenza in termini di estensione e tiranti, dovuta principalmente alla base cartografica/topografica più aggiornata adottata per l’implementazione del modello 2D nel presente progetto (in particolare, anche alla presenza della “recente” SS14, aperta nel giugno 2014, subito a monte della linea ferroviaria esistente, che non sembrerebbe essere stata considerata negli studi condotti nell’ambito della pianificazione di bacino). In tale scenario (“*ante operam, Tr300*”), la linea ferroviaria esistente sebbene interessata dalle acque esondate del *Fiume Lemene* non risulta sormontata; le acque provenienti da monte (nello specifico dal canale di derivazione del F. Lemene, attraversato poi anche dalla linea FS stessa alla pk 61+020) defluiscono a valle attraverso alcuni manufatti/tombini presenti al di sotto del rilevato ferroviario.

Analogo scenario anche per la piena del Fiume Lemene associata al tempo di ritorno di progetto ossia 200 anni, come mostrato nella figura seguente.



**Figura 15. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per  $Tr = 200$  anni (*ante operam*).**



Negli scenari sopra descritti (“*ante operam*”, *Tr300* e *Tr200*”), si segnala anche il possibile allagamento del sottopasso (in corso di costruzione, oggetto di altro appalto del committente RFI) di via Ronchi (quest’ultima attraversata anche dalla nuova variante ferroviaria). Non essendo oggetto di intervento nel presente progetto, tali informazioni/risultati sono stati trasmessi al committente RFI ai fini dell’adozione di eventuali misure di mitigazione del rischio.

Si segnala inoltre che il livello idrico *Tr200* in corrispondenza del ponte ferroviario esistente sul F. Lemene (**non oggetto di intervento**) si attesta a +4.20 m slm, a fronte di una quota di intradosso di +3.80 m slm. Per quanto concerne i risultati delle simulazioni numeriche condotte per gli altri tempi di ritorno si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio (cfr. IZ0430R09P6ID0002001A).

### 3.4.2 Scenario *post operam*

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati delle simulazioni numeriche nello scenario *post operam*, in termini di aree potenzialmente inondabili, per i tempi di ritorno di 300 e 200 anni.

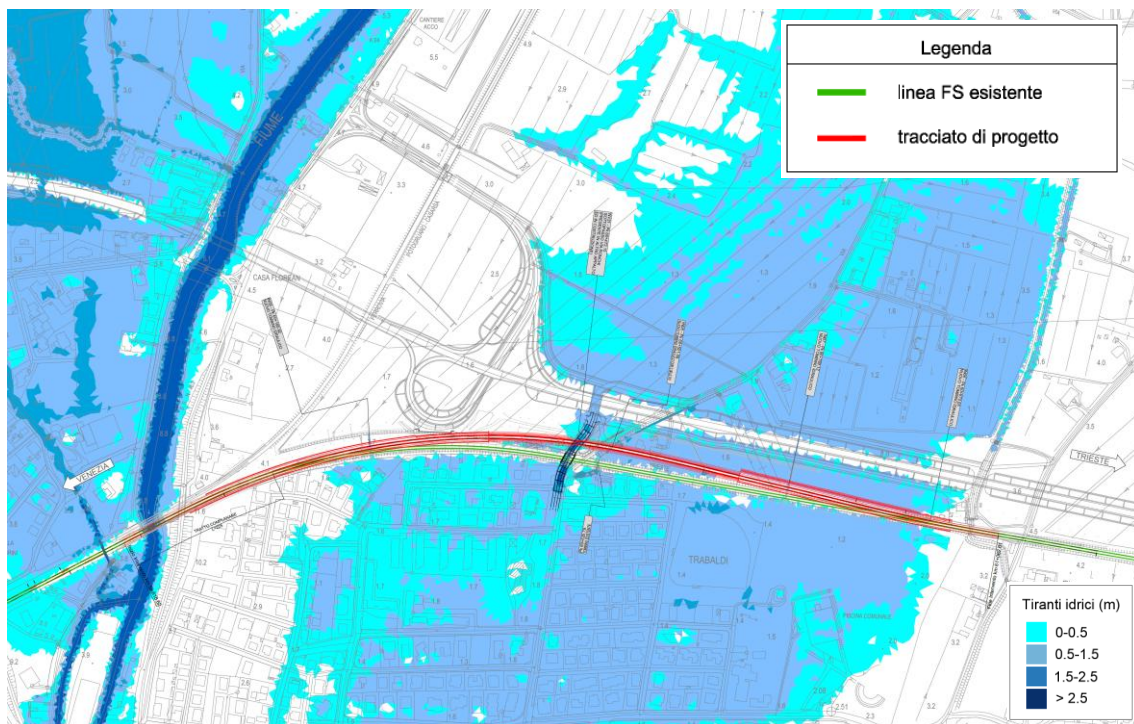
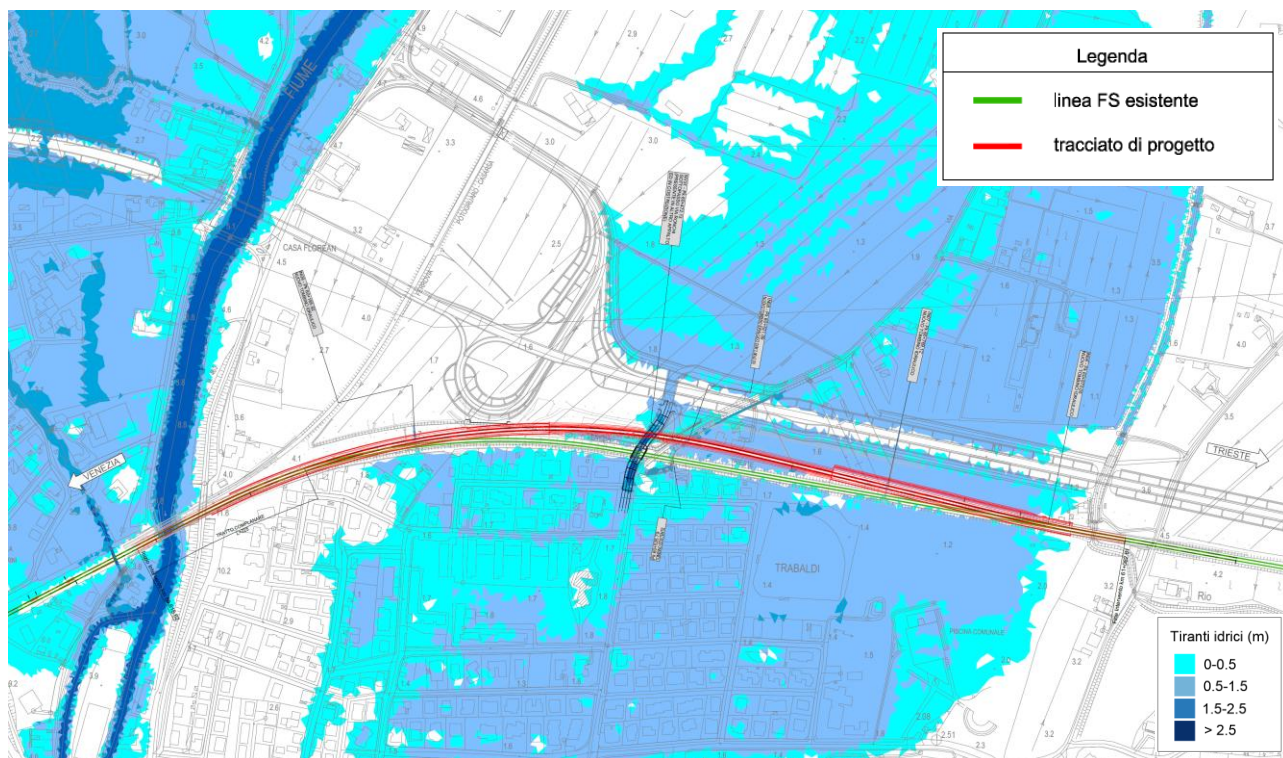


Figura 16. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per  $Tr = 300$  anni (post operam).





**Figura 17. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: aree di esondazione per  $Tr = 200$  anni (post operam).**

Anche nella situazione “*post operam*”, si osserva il medesimo scenario di esondazione che si manifesta già nella situazione attuale. La variante ferroviaria, come la linea esistente, è interessata dalle acque esondate del Fiume Lemene, ma senza sormonto. Lungo il tracciato della variante in progetto sono previsti tombini/manufatti (cfr. IZ0430R26RIID0001001A, IZ0430R26RIID0002001A) al fine di garantire la continuità idraulica dei canali/fossi esistenti, già attraversati dall’attuale linea ferroviaria.

Risulta verificata la prescrizione di 1 m di franco idraulico tra livello idrico  $Tr_{200}$  e piano di regolamento per rilevati ferroviari interessati da esondazioni, come indicato nel Manuale di Progettazione Ferroviaria.

Il confronto tra gli scenari ante operam e post operam, per i tempi di ritorno di riferimento, non evidenzia modifiche/alterazioni significative delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici (rif. IZ0430R09P6ID0002004A, IZ0430R09P6ID0002005A, IZ0430R09P6ID0002006A) e velocità (cfr. IZ0430R09P6ID0002007A, IZ0430R09P6ID0002008A).





Il confronto tra i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili, livelli idrici e velocità, ottenuti nelle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate, non ha evidenziato differenze significative (soltanto 4 cm al massimo di differenza tra i livelli idrici nella area interclusa tra SS14 e variante ferroviaria, senza variazione delle aree di esondazione) tra le configurazioni ante e post operam. Pertanto, l'attuale situazione di pericolosità idraulica del territorio rimane invariata a seguito anche della realizzazione della variante ferroviaria in progetto.

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano la compatibilità (ai sensi delle N.T.A. della pianificazione di bacino vigente) delle opere in progetto in termini sia di franco di sicurezza sia di interferenza con le aree potenzialmente inondabili del Fiume Lemene.

## 5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Assessorato alla Protezione Civile, Città metropolitana di Venezia, Piano Provinciale di Emergenza, *MODELLO MATEMATICO PER LA SIMULAZIONE DELLA PROPAGAZIONE DELLE PIENE*, 2008

Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI, approvato dal Comitato Istituzionale il 3/3/2016.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Milano, 2004.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Infoworks ICM 9.0, *Manuale d'uso*, 2015.

VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.