

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. OPERE CIVILI

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

### POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

#### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

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

#### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica – Studio idraulico bidimensionale del Fiume Isonzo

SCALA:

-

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

I Z 0 4    4 0    R    0 9    R I    I D 0 0 0 2    0 0 1    B

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 agosto 2021
B	Emissione esecutiva	C. Cesali	agosto 2021	F. Cabas	agosto 2021	S. Lo Presti	agosto 2021	A. Vittozzi agosto 2021

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

File: IZ0440R09RIID0002001B.doc

n. Ediz.: 1

## INDICE

1	PREMESSA .....	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	6
2.1	PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO .....	6
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO .....	9
3	STUDIO IDRAULICO .....	13
3.1	GENERALITÀ .....	13
3.2	DATI DI BASE .....	13
3.2.1	<i>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO ESISTENTI SUL FIUME ISONZO</i> .....	14
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO BIDIMENSIONALE .....	18
3.3.1	<i>GEOMETRIA DEL MODELLO</i> .....	20
3.3.2	<i>SCABREZZE</i> .....	22
3.3.3	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO</i> .....	22
3.3.4	<i>SCENARI SIMULATI</i> .....	25
3.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	26
3.4.1	<i>SIMULAZIONE DELL'EVENTO DI PIENA DEL 2012</i> .....	26
3.4.2	<i>SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE P.G.R.A.</i> .....	28
3.4.3	<i>SCENARIO POST OPERAM</i> .....	30
3.5	VERIFICA DELLA FASE DI CANTIERE .....	33
3.6	VERIFICA DEL FRANCO IDRAULICO DI PROGETTO .....	37
4	VERIFICA ALLO SCALZAMENTO .....	39
5	SISTEMAZIONI IDRAULICHE E PROTEZIONE DELLE PILE .....	48
6	CONSIDERAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO .....	50
7	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA .....	53
8	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	55

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1. Variante ferroviaria sul Fiume Isonzo: inquadramento dell'area di studio.</i>	6
<i>Figura 2. Aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.A.I. (Tavola 35, 2018).</i>	8
<i>Figura 3. Aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.G.R.A. (Tavole L12-L13, 2016).</i>	8
<i>Figura 4. Attuale attraversamento ferroviario sul Fiume Isonzo (vista aerea).</i>	14
<i>Figura 5. Attuale attraversamento ferroviario sul Fiume Isonzo (vista in alveo).</i>	14
<i>Figura 6. Attraversamenti esistenti sul F. Isonzo.</i>	15
<i>Figura 7. Fiume Isonzo: ponte stradale di Pieris.</i>	16
<i>Figura 8. Fiume Isonzo: ponte dell'autostrada A4 a Villesse.</i>	17
<i>Figura 9. Fiume Isonzo: ponte metallico a Sagrado.</i>	17
<i>Figura 10. Fiume Isonzo: ponte della SR305 a Sagrado.</i>	17
<i>Figura 11. Modello numerico 2D del Fiume Isonzo: dominio di calcolo.</i>	21
<i>Figura 12. Modello numerico 2D: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.</i>	22
<i>Figura 13. Fiume Isonzo: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	23
<i>Figura 14. Torrente Torre: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	23
<i>Figura 15. Torrente Vipacco: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	24
<i>Figura 16. Condizione al contorno di valle: livello di marea a Monfalcone, per eventi con <math>Tr = 50, 100, 200</math> anni.</i>	24
<i>Figura 17. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).</i>	25
<i>Figura 18. Livello di marea alla foce del Fiume Isonzo, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).</i>	25
<i>Figura 19. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, tiranti idrici, evento 2012.</i>	26
<i>Figura 20. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, evento 2012: livelli idrometrici a Pieris.</i>	27
<i>Figura 21. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, evento 2012: livelli idrometrici a Turriaco.</i>	27
<i>Figura 22. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: confronto tra le aree di esondazione per <math>Tr = 300</math> anni (ante operam) e aree di pericolosità bassa HLP definite nell'ambito del P.G.R.A.</i>	28
<i>Figura 23. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario ante operam, <math>Tr200</math>.</i>	29
<i>Figura 24. Particolare del rilevato con muro di protezione nel tratto di complanarità con la linea esistente.</i>	30
<i>Figura 25. Vista in pianta del nuovo viadotto VI01 sul Fiume Isonzo.</i>	31
<i>Figura 26. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario post operam, <math>Tr200</math>.</i>	31
<i>Figura 27. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario post operam, <math>Tr200</math> (con demolizione "virtuale" dei ponti ferroviari esistenti e dei relativi rilevati di approccio).</i>	32
<i>Figura 28–Viadotto VI01 sul F. Isonzo: fasi di realizzazione delle pile in alveo (non contemporanee, ma consecutive).</i>	34
<i>Figura 29–Modello 1D del F. Isonzo: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.</i>	35

<i>Figura 30–Modello 1D del F. Isonzo: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2. ....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 31 – Fase di cantiere 1: sezione trasversale “tipo”.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 32 – Viadotto VI01 sul Fiume Isonzo: verifica del franco idraulico di progetto.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 33. Modello 2D del Fiume Isonzo: vettori velocità, TR200 - post operam, nella sezione di attraversamento.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 34–Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 35 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 36 – Viadotto VI01 sul Fiume Isonzo: tipologico dell’opera di protezione attorno alle pile in alveo. ....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 37 – Mappa “Differenze batimetriche tra i rilievi Lidar 2003 e 2013” (fonte: Progetto “CAMIS”),.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 38 – Mappa “Evoluzione del fondo alveo – stato di fatto 2014” (fonte: Progetto “CAMIS”). ....</i>	<i>52</i>

## INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1. Fiume Isonzo: caratteristiche geometriche degli attraversamenti esistenti (b/r = larghezza/raggio delle pile; L = larghezza dell’impalcato; N = numero di pile; Sottotrave = quota intradosso). ....</i>	<i>16</i>
<i>Tabella 2. Viadotto VI01 sul F. Isonzo: verifica del franco idraulico di progetto. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 3- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K1, K2, K3. ....</i>	<i>40</i>

## 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 illustrate le simulazioni numeriche condotte secondo un modello bidimensionale (in regime di moto vario), finalizzate alla valutazione del comportamento del Fiume Isonzo nelle aree in cui si inserirà la nuova variante ferroviaria (**LOTTO 4**), con riferimento alle portate al colmo di piena determinate nello studio idrologico annesso, agli studi disponibili (e.g. Progetto “Camis”), nonché alle mappe di pericolosità idraulica a corredo del *PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEI BACINI DEI FIUMI ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE* (approvato con DPCM 21 novembre 2013, G.U. n.97 del 28.04.2014), redatto dall'Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione, e del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali* (marzo, 2016).

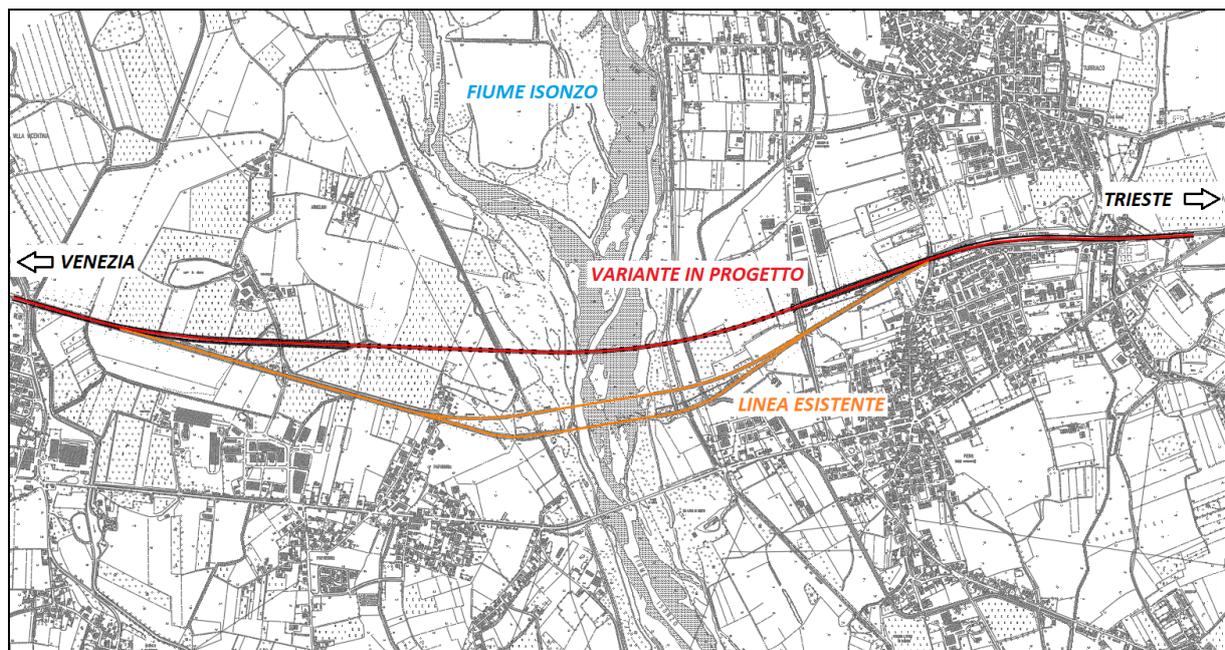
E' stato inoltre effettuato il dimensionamento delle opere di protezione attorno alle pile in alveo al fine di inibire possibili fenomeni di erosione e scalzamento, dopo i rimaneggiamenti dovuti alle fasi di realizzazione del viadotto, nonché contribuire alla stabilità dell'alveo inciso nell'eventualità di multicursalità del corso d'acqua in corrispondenza del viadotto in progetto.

Sono studiate nel dettaglio anche le fasi di costruzione del nuovo viadotto, in particolare la realizzazione delle sottostrutture di fondazione in alveo e la modalità di varo dell'impalcato. Nello specifico, sono state previste adeguate opere provvisorie in alveo ai fini della messa in sicurezza delle aree di lavoro.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

### 2.1 Pericolosità idraulica nell'area di intervento

La variante ferroviaria in progetto attraversa il Fiume Isonzo nei pressi di Pieris, mediante un viadotto di lunghezza pari a circa 1700 m, costituito di 34 campate. Tale soluzione oltre a garantire l'incremento di velocità consente di oltrepassare, come dimostrato in seguito, le aree ad elevata pericolosità idraulica con franchi adeguati nei confronti sia del livello idrico di progetto sia della sommità degli argini del Fiume Isonzo (Figura 1).



**Figura 1. Variante ferroviaria sul Fiume Isonzo: inquadramento dell'area di studio.**

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica dell'area di intervento è attualmente riportato nei documenti del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Isonzo (P.A.I. – Distretto delle Alpi Orientali, ex *Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, ultimo aggiornamento 2018*), nonché del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, approvato dal Comitato Istituzionale del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali il 3 marzo del 2016.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

Con riferimento al P.A.I. dell'ex *Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione*, sono individuate **4 classi di pericolosità idraulica** (P4 – molto elevata, P3 - elevata, P2 – media, P1 - moderata).

La classe di pericolosità molto elevata (**P4**) fa riferimento ad eventi caratterizzati da una probabilità di accadimento  **$Tr = 50$  anni**.

La classe di pericolosità elevata (**P3**) fa riferimento invece ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno  $Tr$  inferiore o uguale a **200 anni**, con altezza d'acqua  $h > 0,9$  m per qualunque velocità della corrente, con altezza d'acqua  $h < 0,9$  m per velocità  $v \geq 2 \text{ ms}^{-1}$ .

La classe di pericolosità media (**P2**) evidenzia aree allagate per piena con  **$Tr = 200$  anni**, altezza d'acqua  $h < 0,9$  m, se la velocità della corrente è  $v < 2 \text{ ms}^{-1}$ .

Infine, la classe di pericolosità moderata **P1** fa riferimento ad eventi con tempo di ritorno di **500 anni**.

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

Con riferimento alla tavola n. 35 del P.A.I. (2018) mostrata in Figura 2, la variante ferroviaria in progetto attraversa aree a pericolosità idraulica elevata (P3) e media (P2) limitatamente all'opera di scavalco, ovvero il viadotto VI01; i rilevati di approccio (ed la rimanente parte del tracciato della variante) ricadono in aree non definite di pericolosità idraulica secondo il P.A.I. vigente.

Con riferimento al P.G.R.A. (2016), e in particolare alle tavole annesse L12 e L13, il tracciato della variante ferroviaria in progetto (ed in particolare i rilevati di approccio al nuovo viadotto) ricade in aree a pericolosità media ("*scenario di media probabilità HMP –  $Tr100$* ") ed a pericolosità bassa ("*scenario di bassa probabilità HMP –  $Tr300$* "), come mostrato in Figura 3.

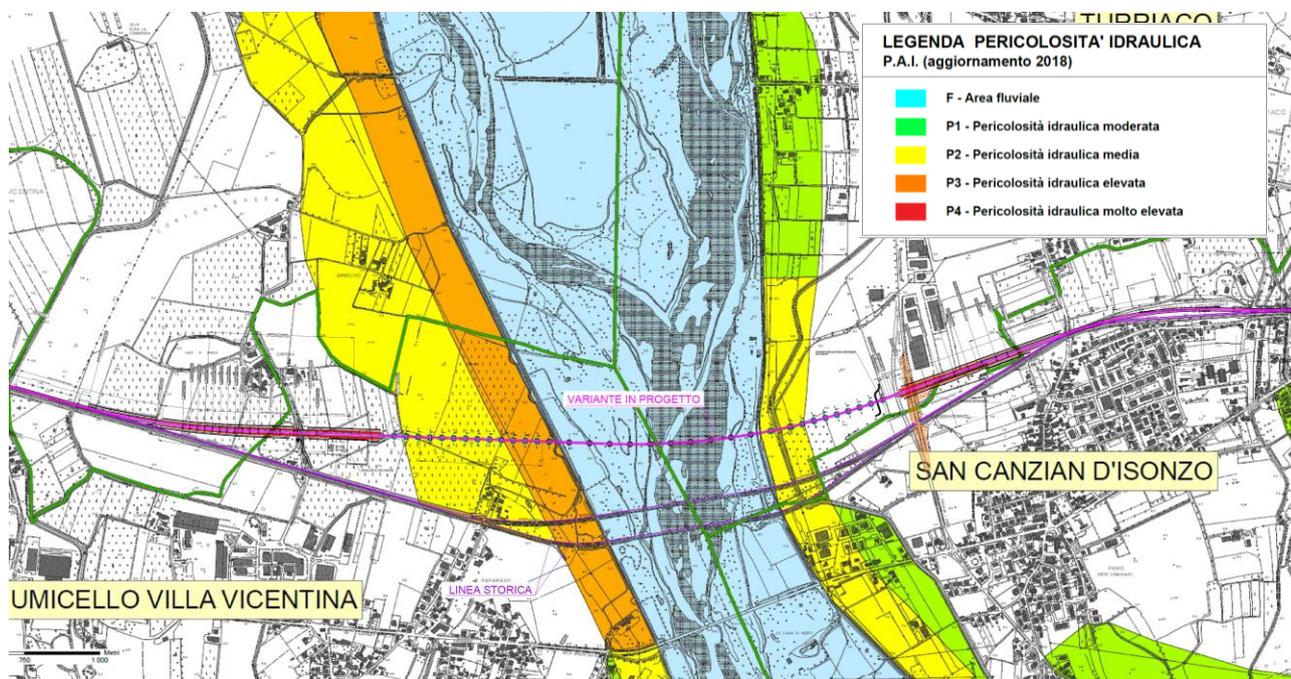


Figura 2. Aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.A.I. (Tavola 35, 2018).

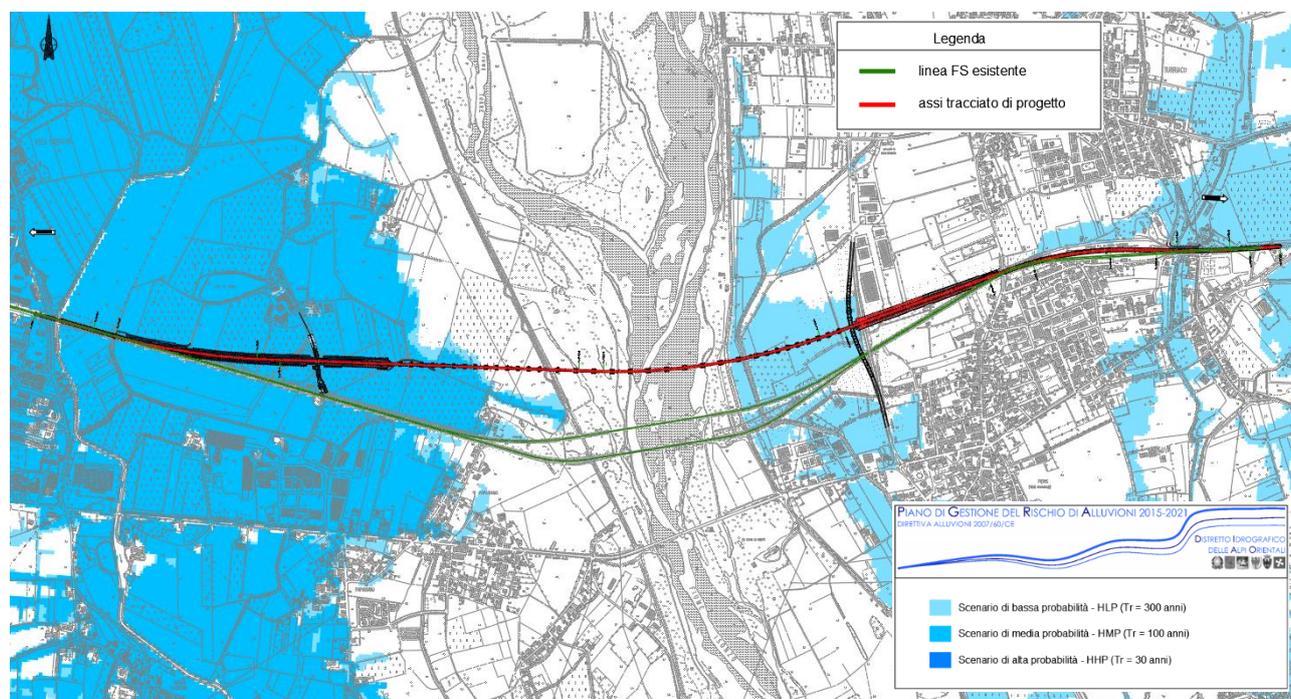


Figura 3. Aree di pericolosità idraulica nell'area di intervento secondo il P.G.R.A. (Tavole L12-L13, 2016).

In ragione di tali condizioni di pericolosità idraulica pre-esistenti, ai fini della valutazione di compatibilità idraulica dell'intervento in progetto, si è proceduto allo sviluppo dello studio idraulico del Fiume Isonzo, volto alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici e velocità, e quindi alla valutazione/conferma delle evidenze riportate nella pianificazione di bacino sopra descritte.

## 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 del nuovo viadotto sul Fiume Isonzo, nonché della nuova variante di tracciato nel suo complesso (comprese le opere accessorie, e.g. viabilità, piazzali, SSE,.....).

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione Ferroviaria (MdP, RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020), nonché le indicazioni riportate nelle NTC2018 e nella relativa circolare esplicativa n. 7 del 21-01-2019.

In sintesi, con riferimento al *MdP RFI*, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da un tempo di ritorno di **200 anni**. Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ( $Tr = 200$  anni) non deve essere inferiore a **1.5 m** nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale ( $Tr = 200$  anni) deve essere almeno pari a **50 cm**.

Inoltre, 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 per le Costruzioni (NTC2018), l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

*“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ ).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.”*

Nella relativa circolare applicativa n.7 del 21 gennaio 2019, si asserisce inoltre:

*“....'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima e a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a  $T_r = 200$  anni.....Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, e da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6-7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno che sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.”*

Con riferimento alle Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A., 2012) del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE E BRENTA-BACCHIGLIONE,

ART. 9 – Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità molto elevata P4

1. Nelle aree classificate a pericolosità molto elevata P4 può essere esclusivamente consentita l'esecuzione di:.....

g) realizzazione o ampliamento di infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, diverse da strade o da edifici, riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché, se necessario, dotate di sistemi di interruzione del servizio o delle funzioni; nell'ambito di tali interventi sono anche da ricomprendersi eventuali manufatti accessori e di servizio, di modesta dimensione e, comunque, non destinati all'uso residenziale o che consentano il pernottamento.....

ART. 10 – Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità elevata P3

1. Nelle aree classificate a pericolosità elevata P3, possono essere consentiti tutti gli interventi di cui alle aree P4, nonché i seguenti:.....

f) realizzazione o ampliamento di infrastrutture viarie, ferroviarie e di trasporto pubblico nonché ciclopedonali, non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché non comportino l'incremento delle condizioni di pericolosità e non compromettano la possibilità di realizzazione degli interventi di mitigazione della pericolosità o del rischio; in particolare gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture stradali devono anche essere compatibili con le previsioni dei piani di protezione civile ove esistenti.....

ART. 11 - Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità media P2

1. Nelle aree classificate a pericolosità idraulica, geologica e valanghiva media P2, possono essere consentiti tutti gli interventi di cui alle aree P4 e P3.....

ART. 12 – Disciplina degli Interventi nelle aree classificate a pericolosità moderata P1

La pianificazione urbanistica e territoriale disciplina l'uso del territorio, le nuove costruzioni, i mutamenti di destinazione d'uso, la realizzazione di nuove infrastrutture e gli interventi sul patrimonio edilizio esistente nel rispetto dei criteri e delle indicazioni generali del presente Piano conformandosi allo stesso.....

Secondo le Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A., 2012) del P.A.I., nelle aree a pericolosità idraulica P2, P3 in cui ricade l'intervento in progetto è consentita comunque la *“realizzazione o ampliamento di infrastrutture viarie, ferroviarie e di trasporto pubblico nonché ciclopedonali, non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché non comportino l'incremento delle condizioni di pericolosità e non compromettano la possibilità di realizzazione degli interventi di mitigazione della pericolosità o del rischio...”* (rif. Art.10 comma f delle N.T.A., 2012).

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

### 3 STUDIO IDRAULICO

#### 3.1 Generalità

Con riferimento allo studio idrologico annesso (cfr. IZ0440R09RIID0001001A), in analogia allo studio idraulico condotto nell'ambito del Progetto Europeo CAMIS si è proceduto allo sviluppo di un modello (numerico) bidimensionale (2D), in regime di moto vario, del *Fiume Isonzo*, comprensivo del contributo idrologico dei corsi d'acqua *Torrente Torre* e *Torrente Vipacco*, suoi principali affluenti nel tratto fluviale di interesse compreso tra la diga di Salcano e la foce. Tale modello tramite la simulazione numerica della propagazione delle piene di riferimento del Fiume Isonzo è finalizzato alla determinazione dei livelli idrici e delle velocità, nonché delle aree potenzialmente inondabili, nella zona in cui si inserisce la variante di tracciato in progetto.

#### 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 Isonzo, realizzato da Italferr SPA;
- sezioni trasversali dell'alveo del Fiume Isonzo fornite da Regione Friuli Venezia Giulia, rilevate nell'ambito del Progetto CAMIS;
- 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.

### 3.2.1 Opere di attraversamento esistenti sul Fiume Isonzo

Attualmente la linea ferroviaria Venezia – Trieste attraversa il Fiume Isonzo tramite due ponti a travata metallica. Nello specifico, i due binari della linea storica, poco prima dello scavalco del corso d'acqua si allontanano e proseguono ciascuno su sede propria attraversando il fiume su due distinti ponti affiancati, a distanza di circa 90 metri l'uno dall'altro. Superato l'argine, lato Pieris, i binari convergono e tornano a correre paralleli, sul medesimo sedime ferroviario.



**Figura 4. Attuale attraversamento ferroviario sul Fiume Isonzo (vista aerea).**



**Figura 5. Attuale attraversamento ferroviario sul Fiume Isonzo (vista in alveo).**

I due attuali ponti ferroviari sono costituiti di 7 campate con luce da 50 metri (6 pile con diametro di 3.6 m) e larghezza impalcato di 13 metri, con quota di intradosso a +11.60 m slm (per il ponte di monte) e +11.30 m slm (per il ponte di valle).

Oltre ai due ponti ferroviari, nelle simulazioni di seguito sviluppate, sono stati considerati anche alcuni attraversamenti stradali esistenti sul F. Isonzo, indicati nella figura seguente, le cui caratteristiche geometriche sono riportate in Tabella 1.



**Figura 6. Attraversamenti esistenti sul F. Isonzo.**

Opera	b/r [m]	L [m]	Forma	N°	Sottotrave [m]
Ponte Ferrovia UD-TS	6.0	15.0	Cilindrica	10	64.5
Ponte Madonna del Fante	2.0	6.0	Affusolata	5	51.3
Ponte Racc. Villesse - GO	2.0	/	Circolare	11	41.76
Passerella Gradisca	3.0	8.00	Cilindrica	10	30.5
Ponte Sagrado SR305	4.5	11.00	Cilindrica	10	25.9
Ponte A4	2.0	/	Circolare	4x26	20.00
Ponte Pieris SS14	3.50	10.00	Cilindrica	14	13.77
Ponte SP 19	2.00	/	Circolare	2x14	6.12

**Tabella 1. Fiume Isonzo: caratteristiche geometriche degli attraversamenti esistenti (b/r = larghezza/raggio delle pile; L = lunghezza dell'impalcato; N = numero di pile; Sottotrave = quota intradosso).**

Nella figure seguenti, si riportano le foto di alcuni degli attraversamenti principali rilevati ed implementati nel modello numerico 2D.



**Figura 7. Fiume Isonzo: ponte stradale di Pieris.**



**Figura 8. Fiume Isonzo: ponte dell'autostrada A4 a Villesse.**



**Figura 9. Fiume Isonzo: ponte metallico a Sagrado.**



**Figura 10. Fiume Isonzo: ponte della SR305 a Sagrado.**

### 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.

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>IZ04</b>	LOTTO <b>40 R 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO <b>20 di 68</b>

### 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 Isonzo si estende dalla Diga di Salcano fino alla foce a Monfalcone, includendo anche un tratto fluviale del suo affluente T. Torre che confluisce nel Fiume Isonzo poco a monte del nuovo viadotto ferroviario VI01, per uno sviluppo totale del tratto fluviale analizzato di circa 50 km.

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 = 15000 ha) è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 200 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 50 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 50 m<sup>2</sup> e una dimensione minima di 20 m<sup>2</sup>.

Le opere di attraversamento esistenti, presenti sul Fiume Isonzo, 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).

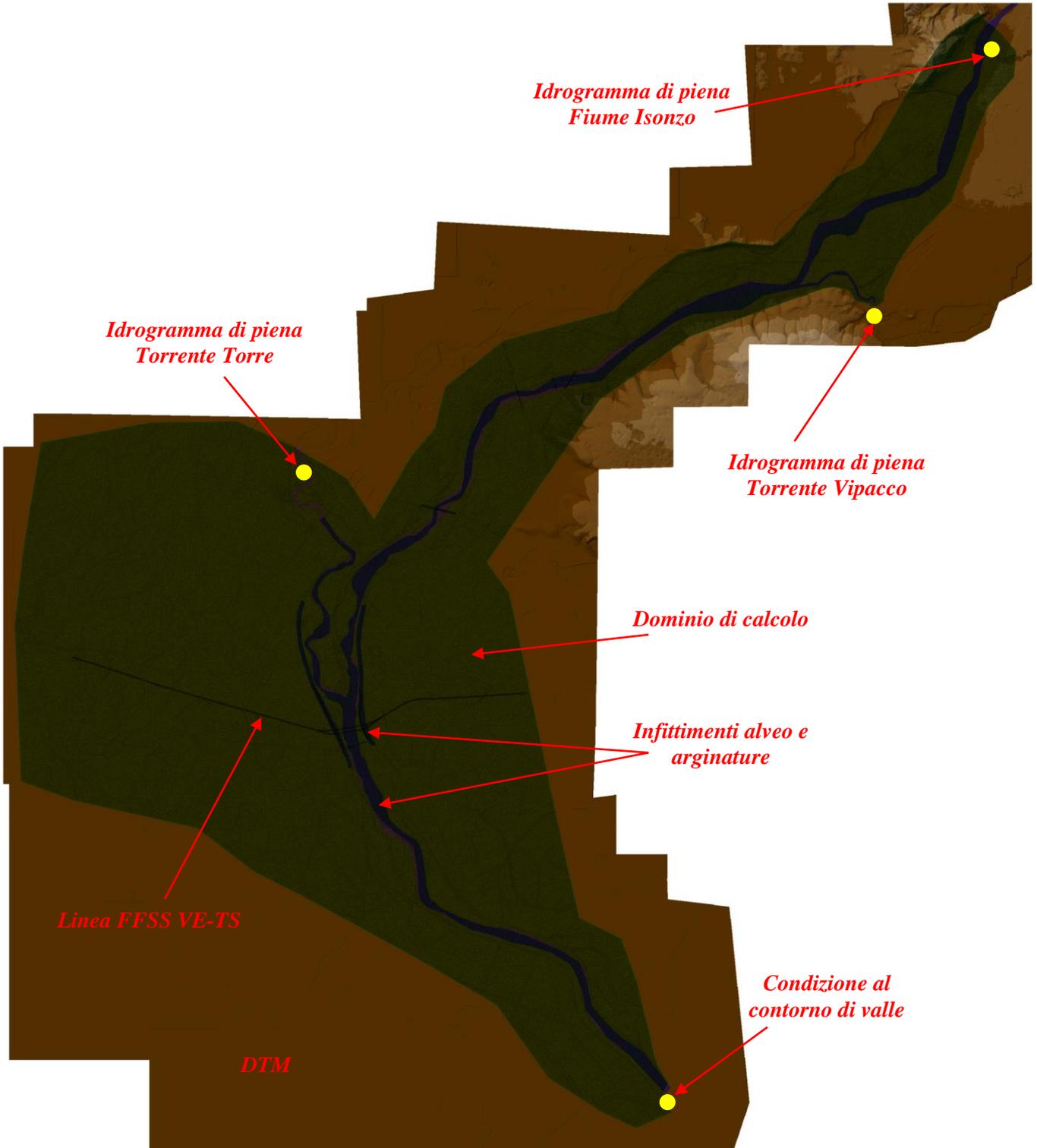
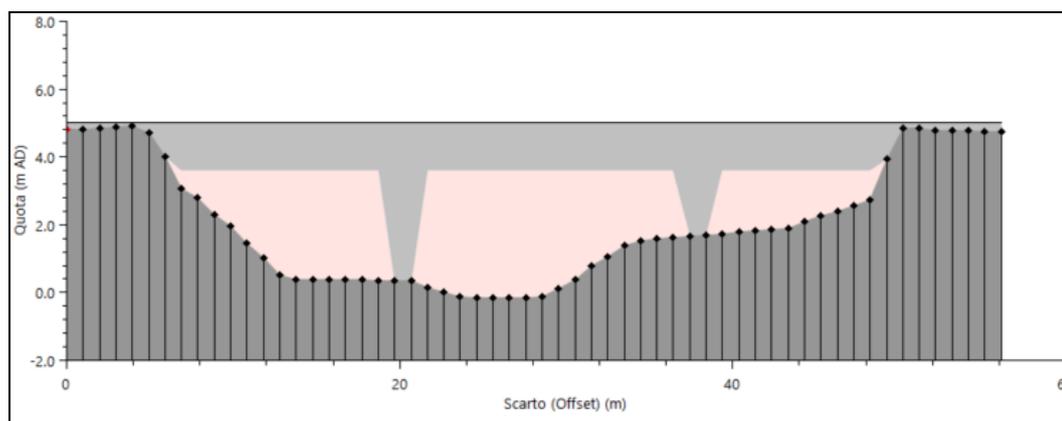


Figura 11. Modello numerico 2D del Fiume Isonzo: dominio di calcolo.

	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE</b> Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>IZ04</b>	LOTTO <b>40 R 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

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

Il viadotto in progetto, vista l'elevata distanza tra la quota di intradosso e il fondo alveo, è stato simulato introducendo nella mesh di calcolo poligoni "vuoti", rappresentanti l'ingombro delle pile in pianta.

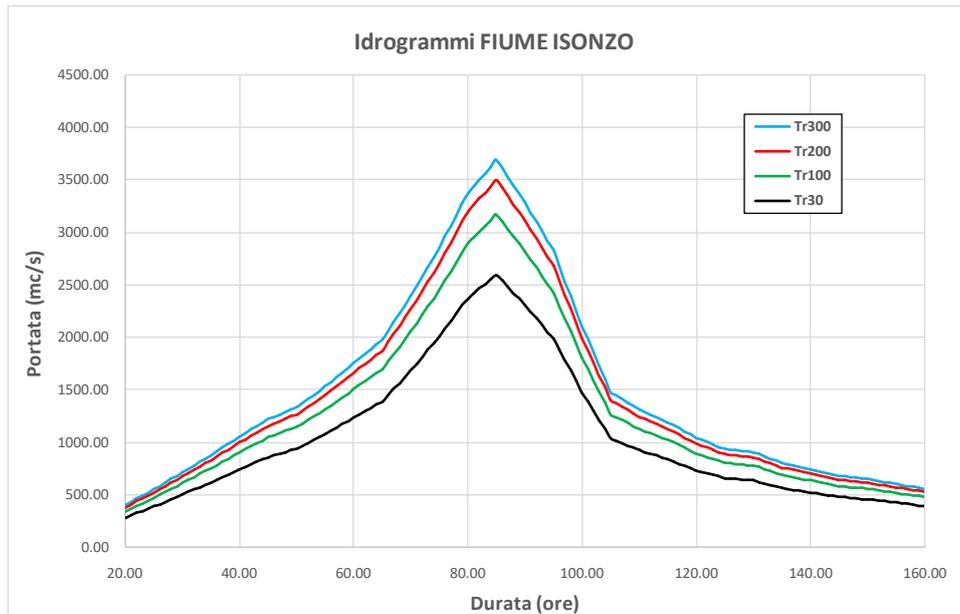
### 3.3.2 Scabrezze

I coefficienti di scabrezza  $n$  di Manning sono stati fissati partendo da valori di letteratura. In particolare, per l'alveo e le golene è stato assunto  $n = 0.045$  ( $m^{1/3}/s$ ); il coefficiente di scabrezza per le aree esterne, potenzialmente inondabili, è stato assegnato pari a  $n = 0.06$  ( $m^{1/3}/s$ ). Tali valori sono stati verificati mediante calibrazione del modello numerico 2D sulla base della simulazione numerica dell'evento del 2012, come descritto in seguito.

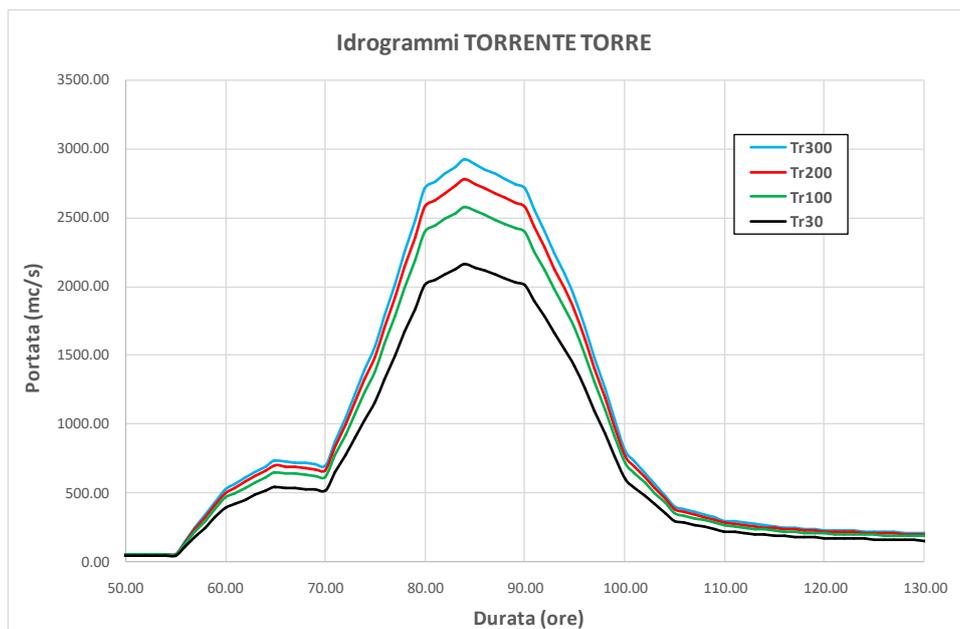
### 3.3.3 Condizioni al contorno

Per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nel modello numerico 2D sviluppato, è stata dapprima assegnata la condizione di "Inflow" in testa ai rami/tratti fluviali dei corsi d'acqua Fiume Isonzo, Torrente Torre e Torrente Vipacco.

Tramite tale condizione, sono stati applicati gli idrogrammi di piena associati ad un determinato tempo di ritorno, così come determinati nello studio idrologico annesso (cfr. IZ0440R09RIID0001001A).



**Figura 13. Fiume Isonzo: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.**



**Figura 14. Torrente Torre: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.**

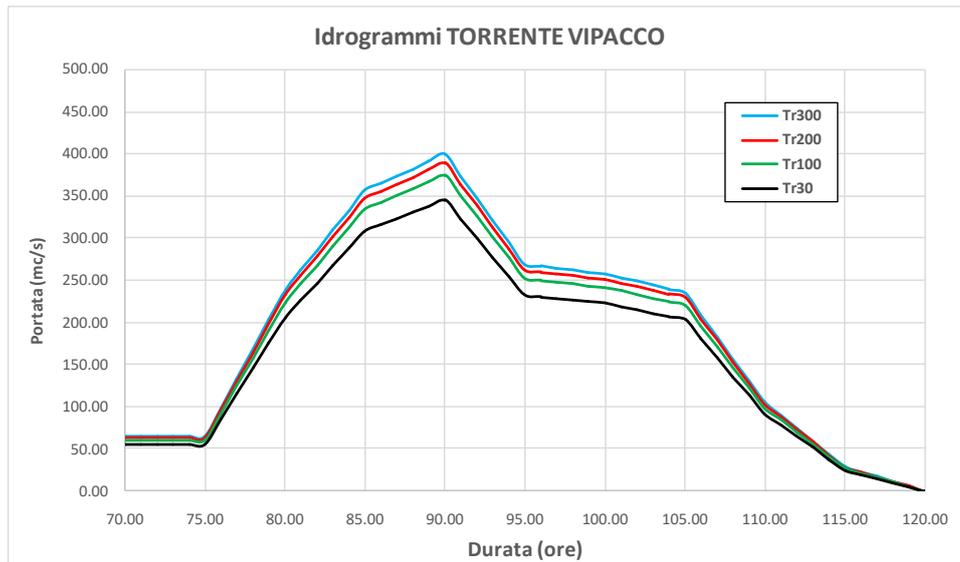


Figura 15. Torrente Vipacco: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.

Successivamente, come condizione di valle (alla foce), è stata assegnata la condizione di “livello idrico noto” imponendo il livello di marea a Monfalcone (ricavato dallo studio del progetto “CAMIS”), riportato nella figura seguente.

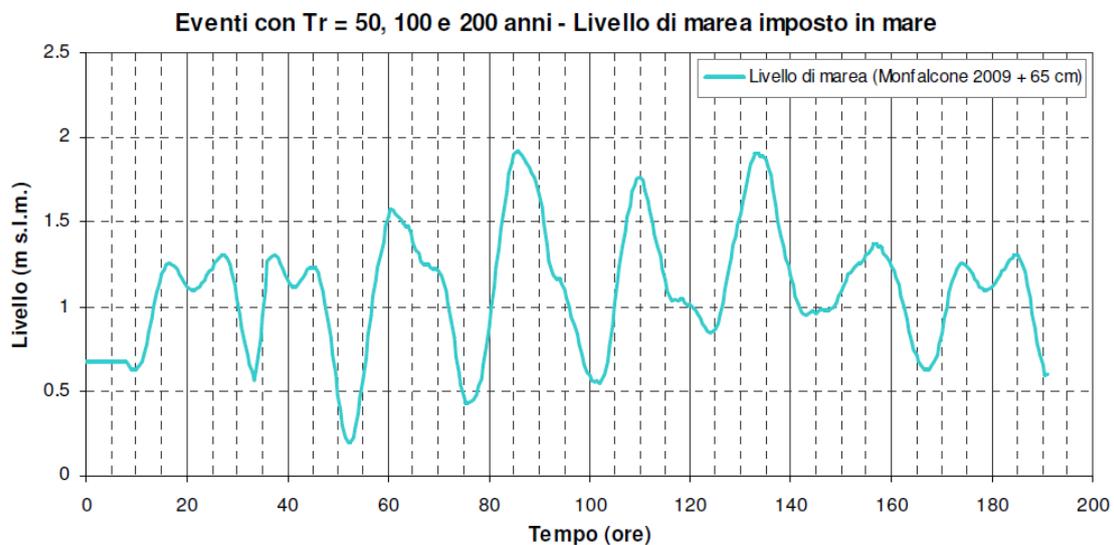


Figura 16. Condizione al contorno di valle: livello di marea a Monfalcone, per eventi con  $Tr = 50, 100, 200$  anni.

### 3.3.4 Scenari simulati

Sono stati simulati differenti scenari, con riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

- ante operam – Evento di piena del 2012: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, con idrogrammi e livelli di marea relativi all'evento del 2012 come condizioni idrauliche al contorno (di monte e valle), al fine di verificare la bontà del modello sviluppato. In particolare, è stato simulato l'idrogramma registrato tra il 5-11-2012 e 7-11-2012, periodo in cui si è verificato il colmo di piena (evidenziato nelle figure seguenti).

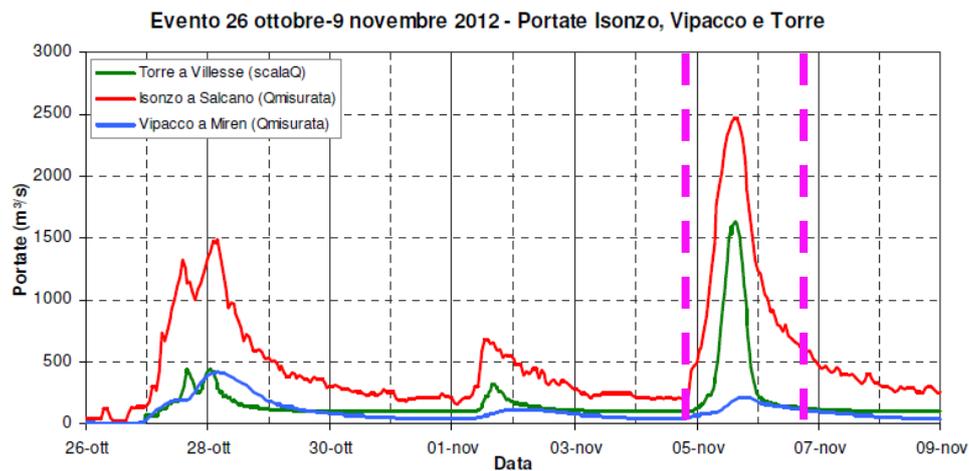


Figura 17. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).

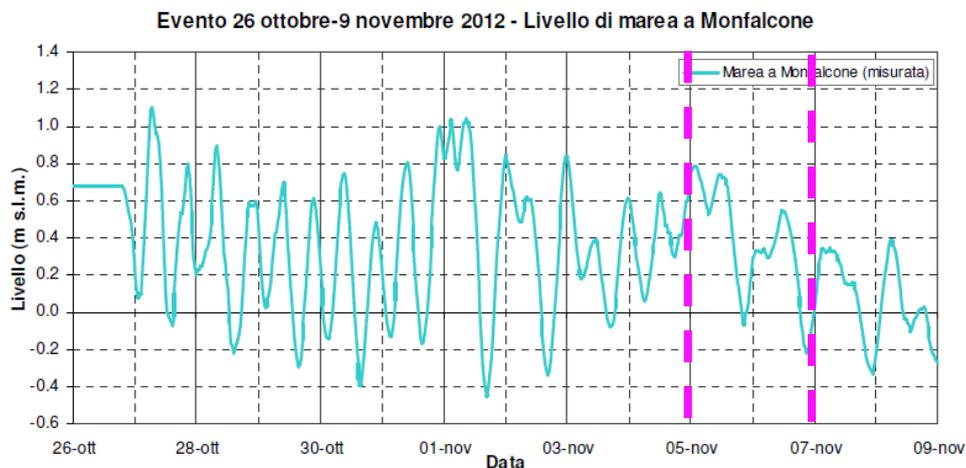


Figura 18. Livello di marea alla foce del Fiume Isonzo, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).

- ante operam – Tr30, Tr100, Tr200 e Tr300 anni: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto.
- post operam – Tr30, Tr100, Tr200 e Tr300 anni: 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 Simulazione dell'evento di piena del 2012

Con riferimento all'evento del 2012, si riportano i risultati in termini di aree allagate e livelli idrometrici in corrispondenza delle stazioni idrometriche di Turriaco e Pieris.

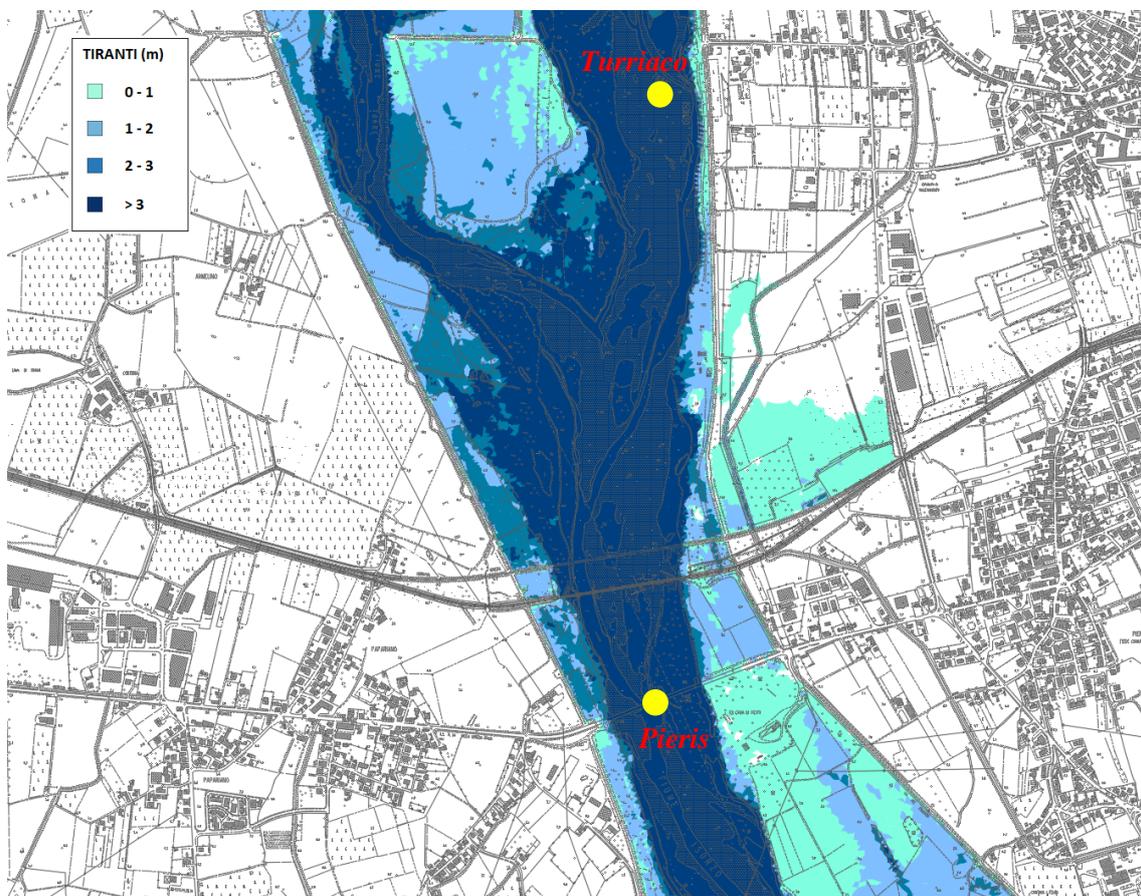
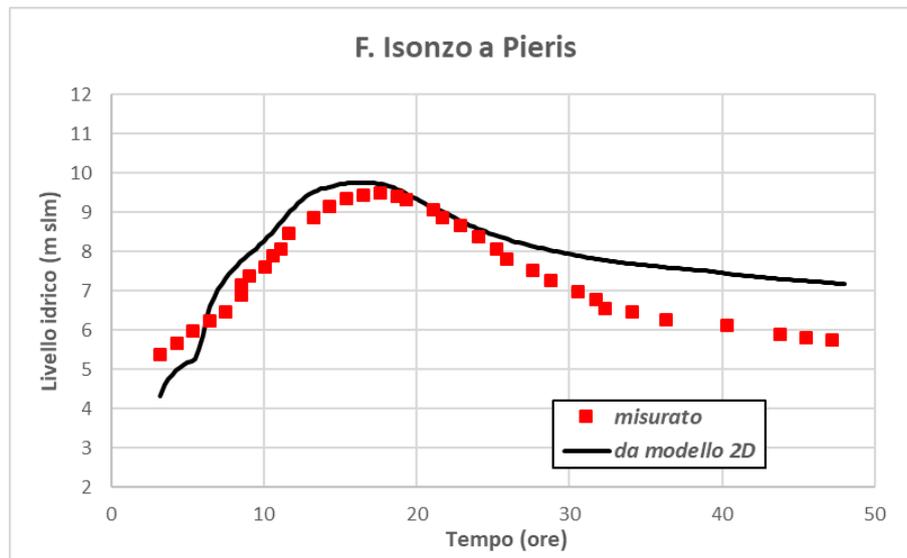
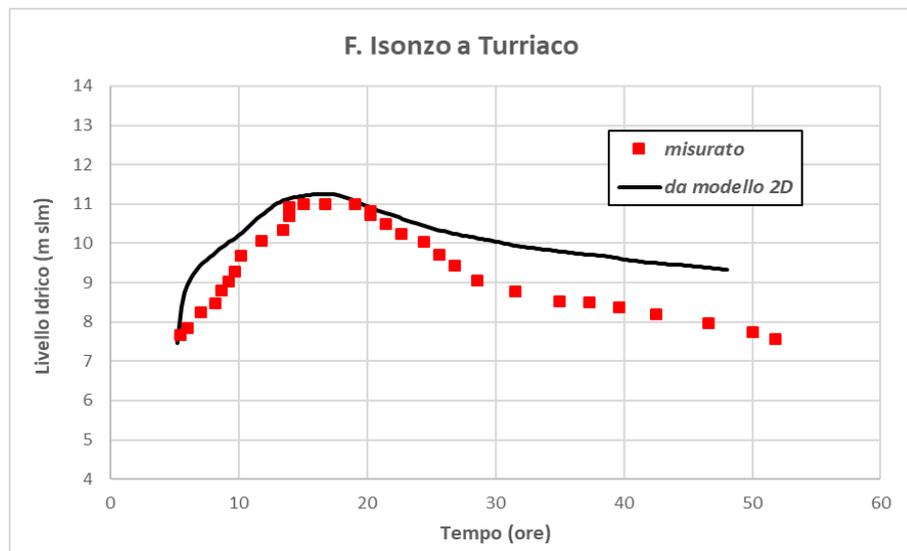


Figura 19. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, tiranti idrici, evento 2012.



**Figura 20. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, evento 2012: livelli idrometrici a Pieris.**

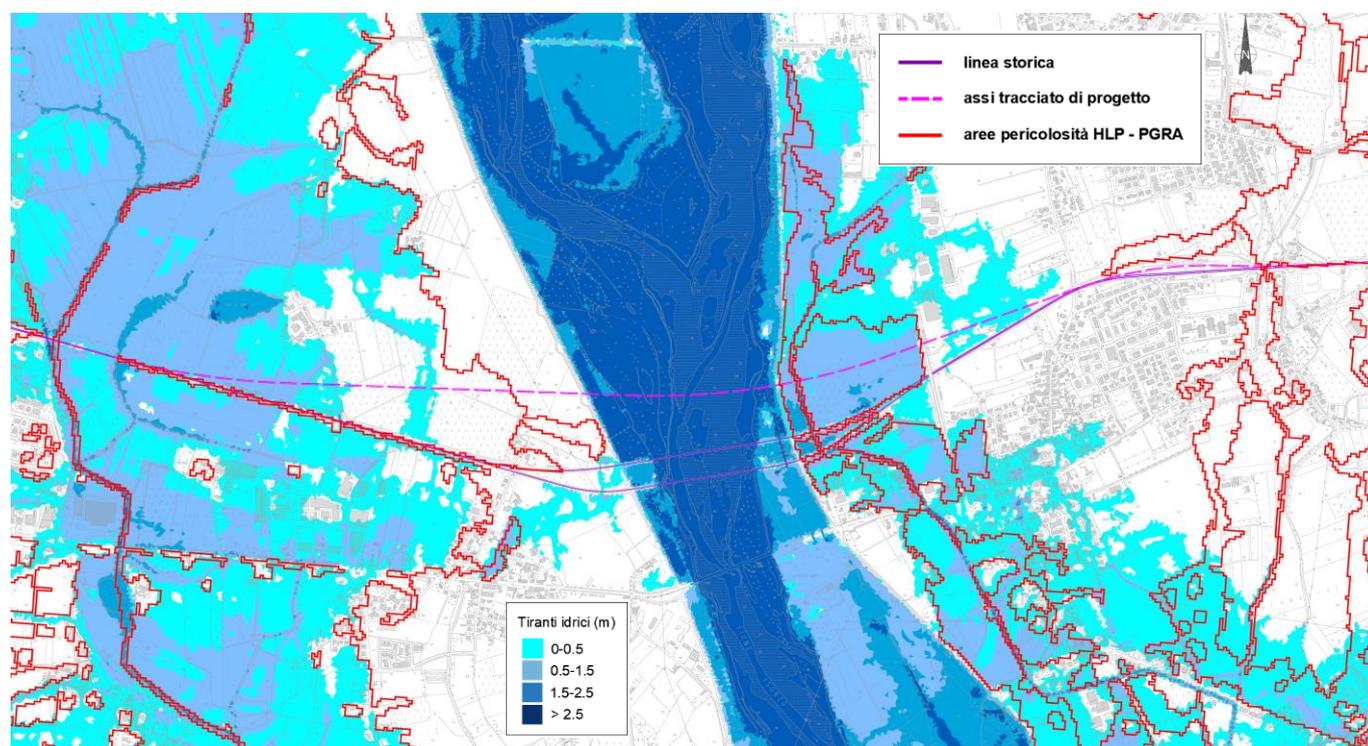


**Figura 21. Modello idraulico 2D del Fiume Isonzo, evento 2012: livelli idrometrici a Turriaco.**

I risultati evidenziano che il modello numerico 2D sviluppato è abbastanza attendibile. Sono confermati quindi i valori di scabrezza sopra introdotti.

### 3.4.2 Scenario ante operam e confronto con perimetrazione P.G.R.A.

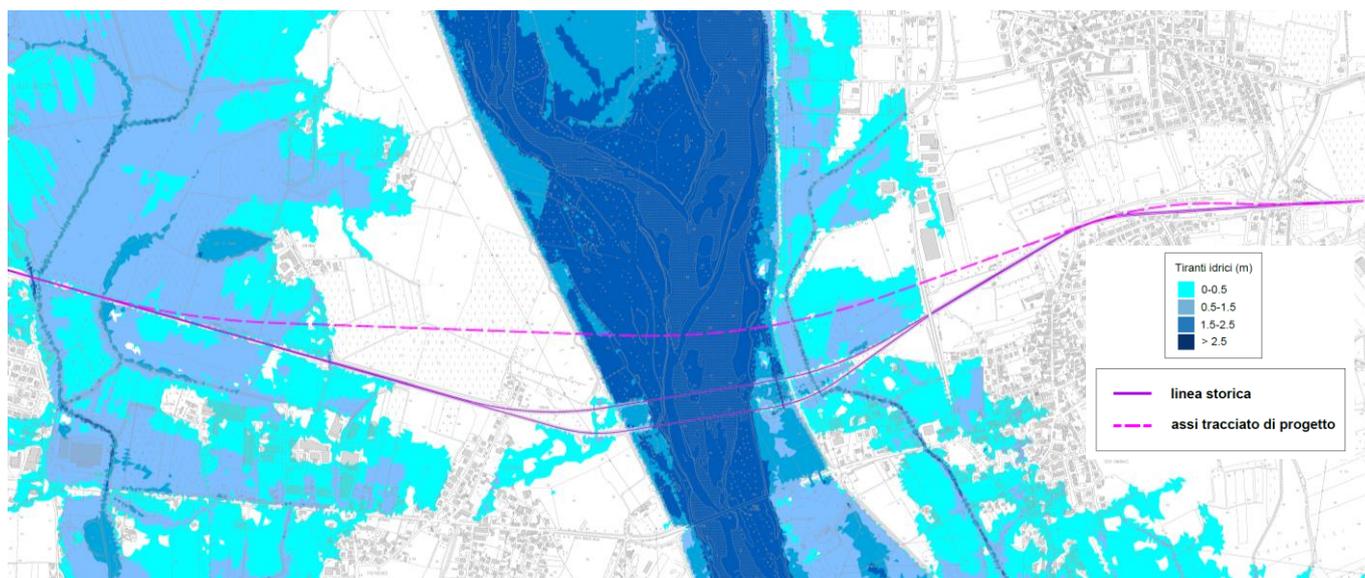
Nella figura seguente è riportato il confronto tra le aree di esondazione corrispondenti ad un tempo di ritorno di **300 anni**, ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità idraulica bassa (**scenario HLP**) definite nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del *Distretto Idrografico delle Alpi Orientali* (2016).



**Figura 22. Risultati delle simulazioni numeriche 2D: confronto tra le aree di esondazione per  $Tr = 300$  anni (ante operam) e aree di pericolosità bassa HLP definite nell'ambito del P.G.R.A..**

I risultati delle simulazioni numeriche della propagazione delle onde di piena con tempo di ritorno di 300 anni (bassa probabilità), nella configurazione "ante operam", confermano le aree di pericolosità idraulica riportate nel P.G.R.A., seppure con qualche (minima) differenza in termini di estensione e tiranti, dovuta principalmente alla base cartografica/topografica più aggiornata adottata per l'implementazione del modello numerico 2D nel presente progetto.

Di seguito, si riportano anche le aree potenzialmente inondabili (*ante operam*) associate alle esondazioni della piena di progetto, corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.



**Figura 23. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario ante operam, Tr200.**

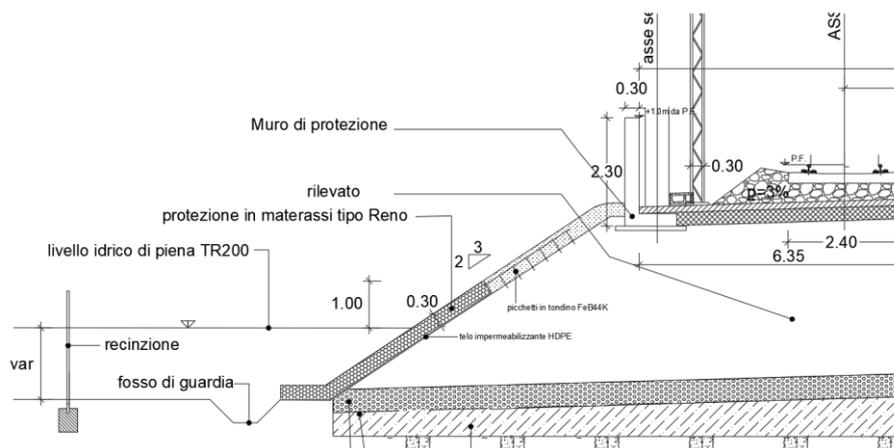
Per quanto concerne i risultati delle simulazioni numeriche condotte per gli altri tempi di ritorno, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio (cfr. IZ0440R09P5ID0002001A, IZ0440R09P5ID0002002A).

In tale scenario "*ante operam*", per tempi di ritorno superiori o uguali a 100 anni, la linea ferroviaria esistente risulta sormontata dalle acque esondate nel tratto complanare con la nuova variante, all'inizio dell'intervento in progetto (lato Villa Vicentina).

Inoltre, in corrispondenza dei due viadotti ferroviari esistenti, il livello idrico si attesta a +11.60 m slm in corrispondenza del ponte a monte (caratterizzato da una quota di intradosso pari a +11.60 m slm) e a +11.00 m slm in corrispondenza del ponte a valle (caratterizzato da una quota di intradosso pari a +11.30 m slm).

### 3.4.3 Scenario post operam

Sulla base dei risultati ottenuti nella situazione “ante operam”, nella definizione della configurazione *post operam*, si è provveduto all’inserimento di un muro di difesa nel tratto in cui la linea ferroviaria esistente risulta sormontata dalle acque esondate del Torrente Torre/Fiume Isonzo, di complanarità con la nuova variante di tracciato (da prog. 0+100 a prog. 0+350).

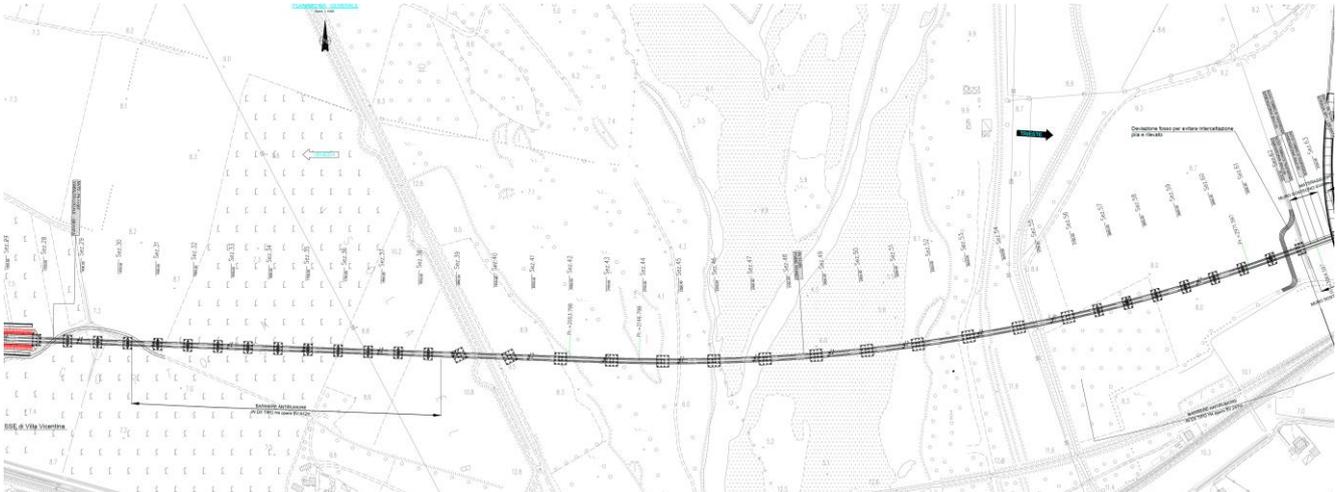


**Figura 24. Particolare del rilevato con muro di protezione nel tratto di complanarità con la linea esistente.**

Inoltre, sono stati previsti una serie di tombini/fornici di trasparenza idraulica (dimensioni 4m x 2m) nei rilevati di approccio al nuovo viadotto interessati dalle esondazioni (i.e. da prog. 0+650 a prog. 1+125 – rilevato di approccio lato Villa Vicentina, da prog. 3+050 a prog. 3+500 – rilevato di approccio lato Pieris), ai fini della compatibilità dell’opera nel suo complesso nei confronti delle attuali condizioni di pericolosità idraulica del territorio.

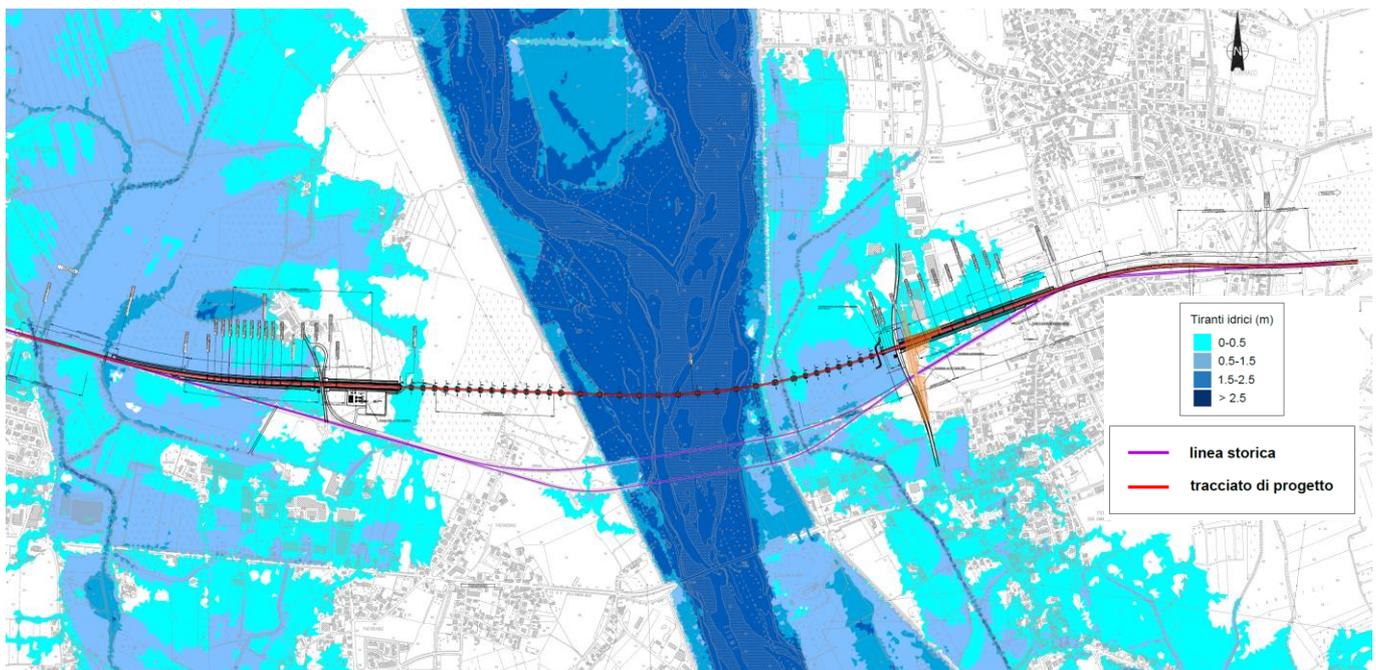
Particolare attenzione è stata posta all’ubicazione della nuova SSE nonché alla progettazione delle nuove viabilità con sottovia alle progressive 1+074 (NV71) e 3+140 (NV73), interessate dalle esondazioni, predisponendo dei muri di difesa e dei dossi agli imbocchi, opportunamente dimensionati (con riferimento allo scenario Tr200) per evitare l’ingresso delle acque nei sottopassi.

Infine, nello scenario post operam è stato implementato il nuovo viadotto sul Fiume Isonzo (lunghezza 1700 m circa) costituito di 34 campate, 12 con luce da 68 metri (reticolari metalliche) di scavalco dell’alveo e degli argini del Fiume Isonzo, 22 con luce da 40 metri (a sezione mista, acciaio+cls).



**Figura 25. Vista in pianta del nuovo viadotto VI01 sul Fiume Isonzo.**

Di seguito si riporta dunque uno stralcio delle aree potenzialmente inondabili (post operam), associate alle esondazioni della piena di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

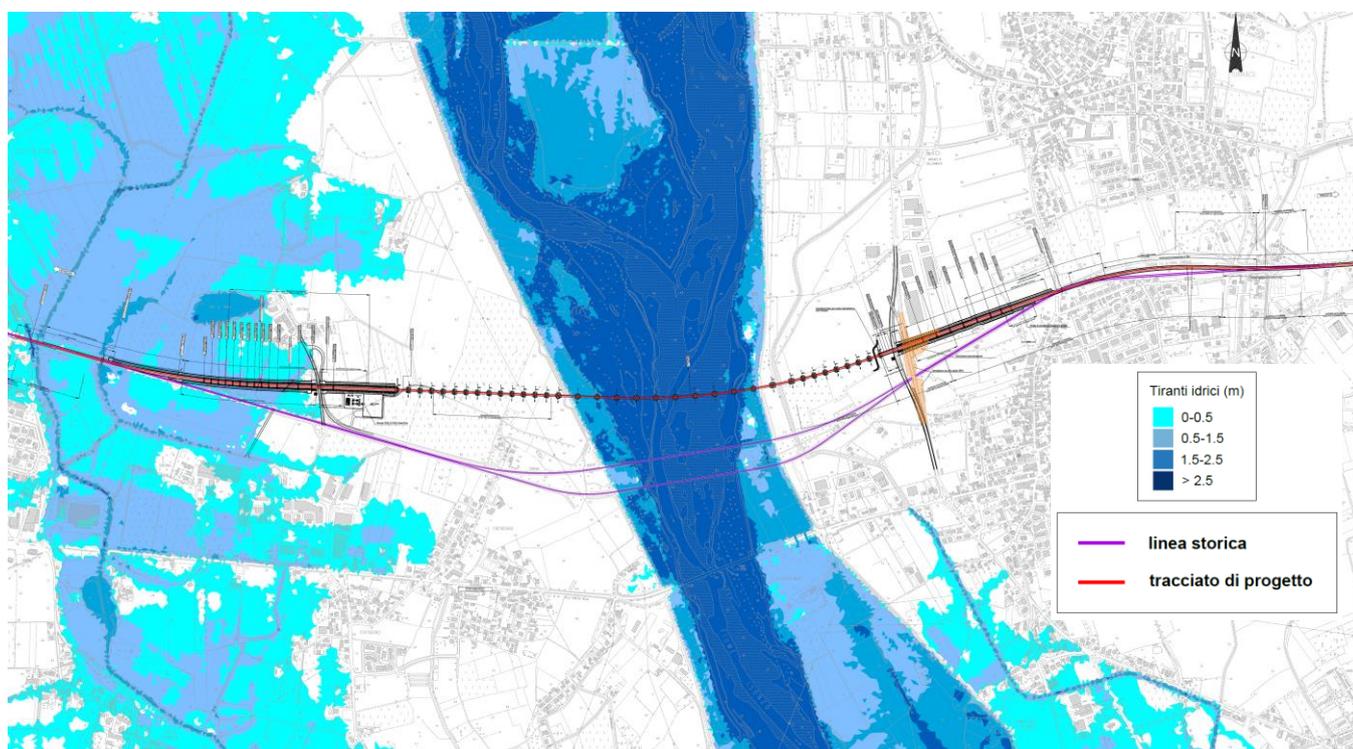


**Figura 26. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario post operam, Tr200.**

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. IZ0440R09P5ID0002005B, IZ0440R09P5ID0002006B, IZ0440R09P5ID0002008B).

Il confronto tra i due scenari ante e post operam non evidenzia sostanziali o significative modifiche/alterazioni delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici e velocità. In definitiva, i risultati ottenuti per lo scenario post operam attestano la compatibilità idraulica e l'efficacia delle opere previste in progetto.

In ragione delle attuali condizioni di deflusso al di sotto dei ponti ferroviari esistenti (rigurgitati o quasi rigurgitati), si è proceduto all'implementazione di un ulteriore scenario *post operam* che prevederebbe la demolizione delle due opere di attraversamento esistenti sul F. Isonzo (attualmente non prevista nel presente progetto), unitamente ai relativi rilevati di approccio che si sviluppano all'interno delle arginature. Per tale configurazione, è stata simulata la propagazione della piena di progetto con tempo di ritorno di 200 anni. Di seguito, i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili.



**Figura 27. Risultati del modello numerico 2D: aree potenzialmente inondabili, scenario post operam, Tr200 (con demolizione “virtuale” dei ponti ferroviari esistenti e dei relativi rilevati di approccio).**

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

Si osserva una riduzione dei livelli idrici in alveo, di almeno 0.50 m (in corrispondenza del nuovo viadotto VI01), e delle aree potenzialmente inondabili in sinistra idraulica (nell'abitato di Pieris), non senza però un modesto incremento dei livelli idrici a valle, con inoltre il rilevato del ponte stradale di Pieris direttamente investito/interessato dalla corrente in alveo.

La demolizione dei ponti ferroviari esistenti (di concerto anche con la "Soprintendenza"), unitamente ai rilevati di approccio, potrà essere/sarà valutata nella successiva fase progettuale, eventualmente anche in sede di Conferenza dei Servizi.

### 3.5 Verifica della fase di cantiere

Ai fini della verifica della fase transitoria di cantiere, si è proceduto all'implementazione di un modello numerico monodimensionale (in regime di moto permanente) del Fiume Isonzo, sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei capitoli di cui sopra), tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC RAS. In analogia alle analisi sviluppate in precedenza, per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l'alveo inciso è stato adottato il valore  $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ , mentre alle aree golenali è stato attribuito il valore di  $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$ . In ipotesi di regime di corrente mista, come condizione al contorno di monte, è stata imposta la condizione "*Critical Depth*" (condizione di altezza critica), mentre come condizione al contorno di valle, è stata imposta la condizione "*Normal Depth*" (condizione di moto uniforme).

Per la realizzazione del viadotto VI01 sul Fiume Isonzo, ed in particolare delle sottostrutture di fondazione in alveo sono state ipotizzate ed analizzate le seguenti 2 fasi, che prevedono la realizzazione di opere provvisorie/di difesa:

#### Fase 1 - realizzazione delle 6 pile in destra idraulica, da P15 a P20

- costruzione di un argine provvisorio in terra in destra idraulica, a protezione delle aree di lavoro, e di un piano di lavoro (o di livellamento del fondo alveo)
- costruzione delle fondazioni e delle pile da P15 a P20
- rimozione dell'argine provvisorio in destra

Fase 2 - realizzazione delle 4 pile in sinistra idraulica, da P21 a P24

- costruzione di un argine provvisorio in terra in sinistra idraulica, a protezione delle aree di lavoro e di un piano di lavoro (o di livellamento del fondo alveo)
- costruzione delle fondazioni e delle pile da P21 a P24
- rimozione dell'argine provvisorio in sinistra

L'esecuzione delle fasi sopra individuate potrà avvenire anche secondo una sequenza temporale differente, purché non vengano effettuate contemporaneamente. Nella figura seguente, si riportano in forma schematica le fasi sopra descritte.

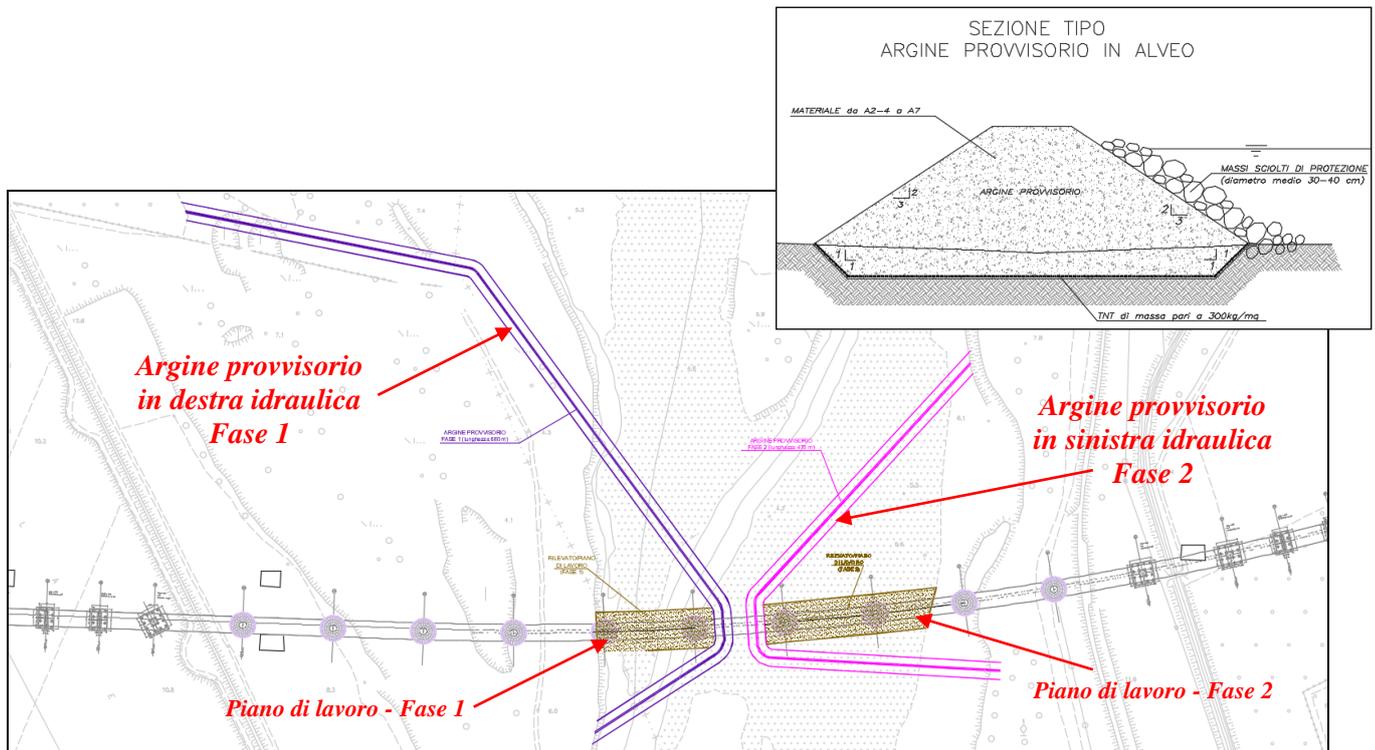
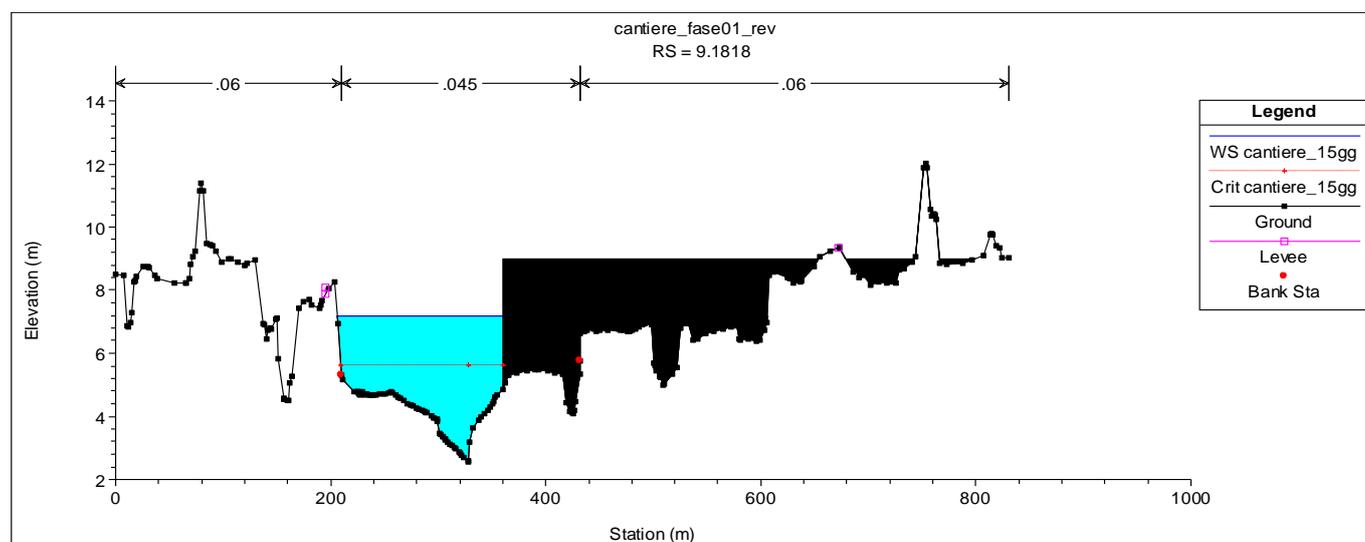


Figura 28–Viadotto VI01 sul F. Isonzo: fasi di realizzazione delle pile in alveo (non contemporanee, ma consecutive).

Con riferimento quindi allo studio idrologico annesso (rif. IZ0440R09RIID0001001A), ed in particolare alla curva di durata del Fiume Isonzo, si è scelto di considerare la portata corrispondente ad una durata di superamento pari a 15-20 giorni (i.e. **800 mc/s**), cioè si è ipotizzato che la portata del corso d'acqua che transita in sicurezza nella configurazione di cantiere sia pari o inferiore a quella presente per 345-350 giorni all'anno nel tratto fluviale di interesse, condizione sufficiente quindi a garantire l'esecuzione dei lavori in sicurezza.

I rilevati arginali provvisori sono stati simulati nel modello 1D *HEC RAS* tramite l'opzione "*Obstructions*". Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici) relativi alle fasi 1 e 2, nella sezione a monte dell'attraversamento in progetto, in corrispondenza della quale si ha il maggior livello idrico (nel tratto di interesse), considerato quindi per la definizione della quota di sommità dei rilevati arginali provvisori.



**Figura 29–Modello 1D del F. Isonzo: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.**

Nello specifico, per quanto concerne la fase 1, il livello idrico massimo si attesta a +7.50 m slm, da cui una quota di sommità del rilevato provvisorio pari a +8.20 m slm (franco idraulico = 0.70 m).

Con riferimento alla fase 2, il livello idrico massimo si attesta invece a +7.70 m slm, da cui una quota di sommità del rilevato provvisorio pari a +8.50 m slm (franco idraulico = 0.80 m).

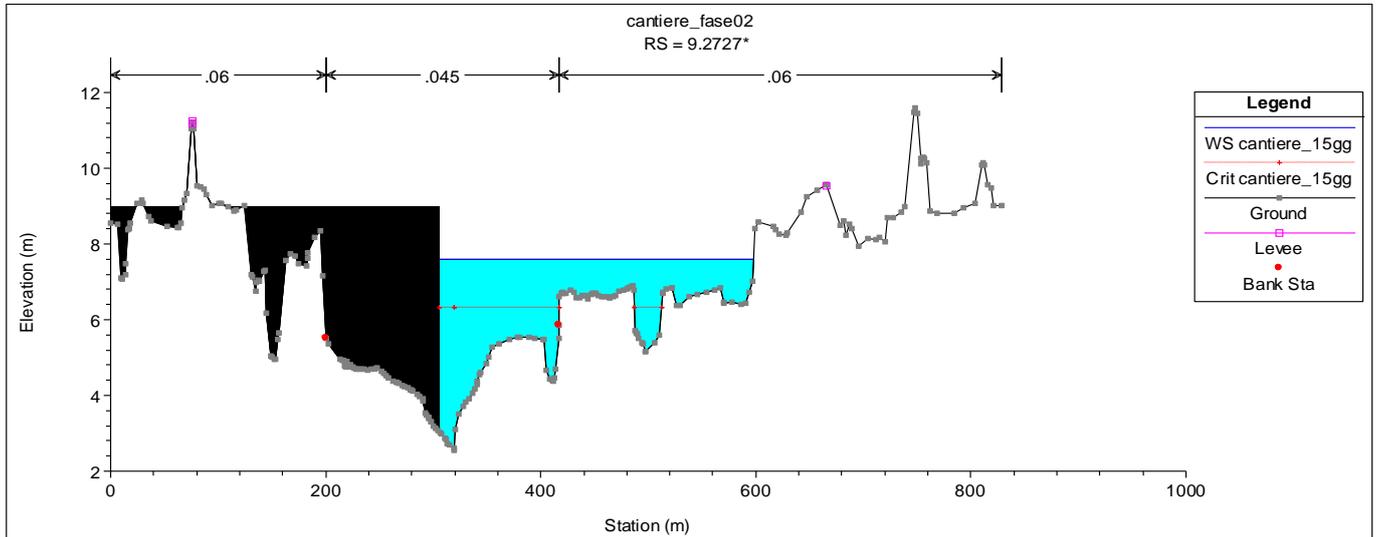


Figura 30–Modello 1D del F. Isonzo: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2.

A titolo di esempio, si riporta la sezione in corrispondenza viadotto in progetto relativa alla fase 1 di cantiere (Figura 31).

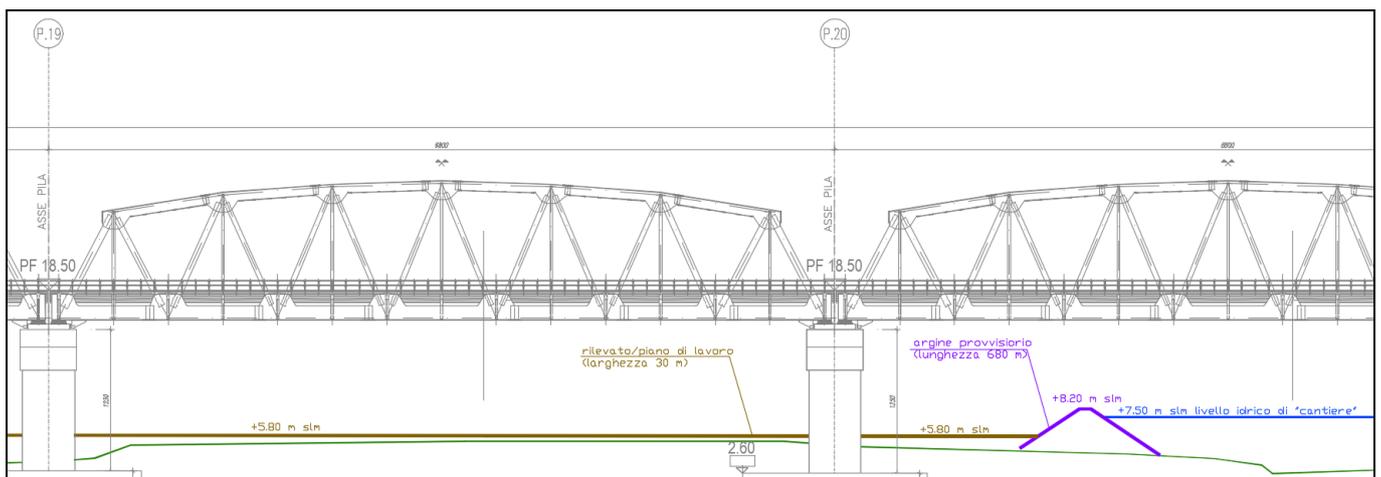


Figura 31 – Fase di cantiere 1: sezione trasversale “tipo”.

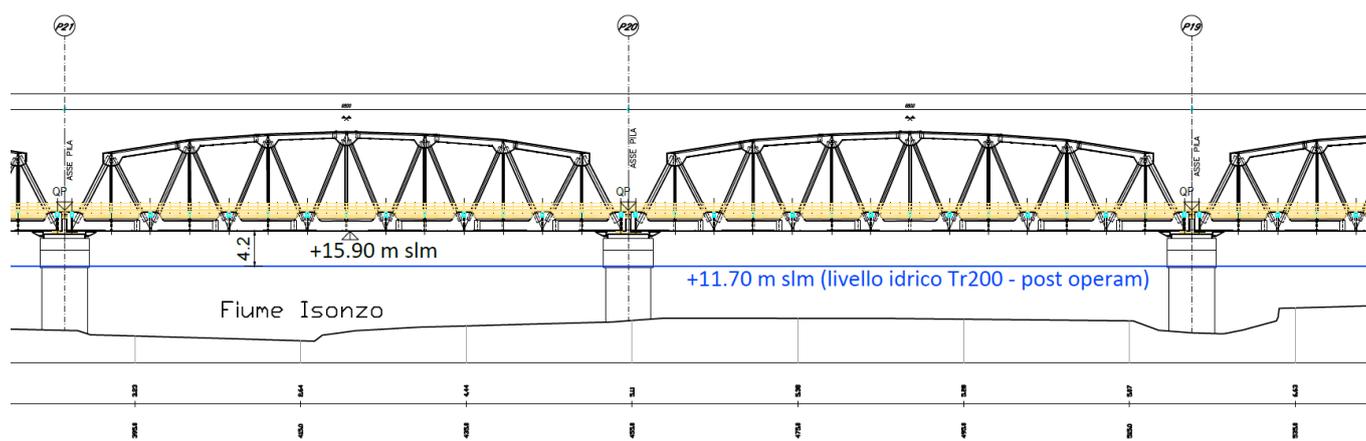
### 3.6 Verifica del franco idraulico di progetto

La verifica del franco idraulico di progetto eseguita secondo le normative vigenti dimostra la compatibilità idraulica del viadotto VI01 in progetto sul F. Isonzo, come riportato nella tabella seguente.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena Tr200 [m slm]	Carico idraulico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
<b>Viadotto sul Fiume Isonzo</b>	+15.90	+11.70	+12.00	+4.20 (> 1.50 m con riferimento al Manuale RFI alle NTC2018)	+3.90 (> 0.50 m come da manuale RFI)	<b>OK</b>

**Tabella 2. Viadotto VI01 sul F. Isonzo: verifica del franco idraulico di progetto.**

E' garantita inoltre una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave (quota intradosso: +15.90 m slm, quota minima fondo alveo: +2.60 m slm, da cui una distanza "intradosso-fondo alveo" = +13.3 m slm), in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.



**Figura 32 – Viadotto VI01 sul Fiume Isonzo: verifica del franco idraulico di progetto.**

Il nuovo viadotto attraversa anche gli argini del Fiume Isonzo con un franco tra quota di intradosso e sommità arginale superiore a 3,0 metri; inoltre le pile di scavalco degli argini, si attestano ad una distanza maggiore a 10 metri, dal piede sia esterno che interno, in ottemperanza dell'art. 96, comma *f*), del R.D. 523/1904.

La scansione delle pile assegnata al viadotto in progetto (34 campate, di cui 12 con luce da 68 metri di scavalco dell'alveo e degli argini del Fiume Isonzo e 22 con luce da 40 metri) consente di rispettare la prescrizione di una luce netta minima di 40 metri in direzione ortogonale alla corrente, come riportato nelle NTC2018.

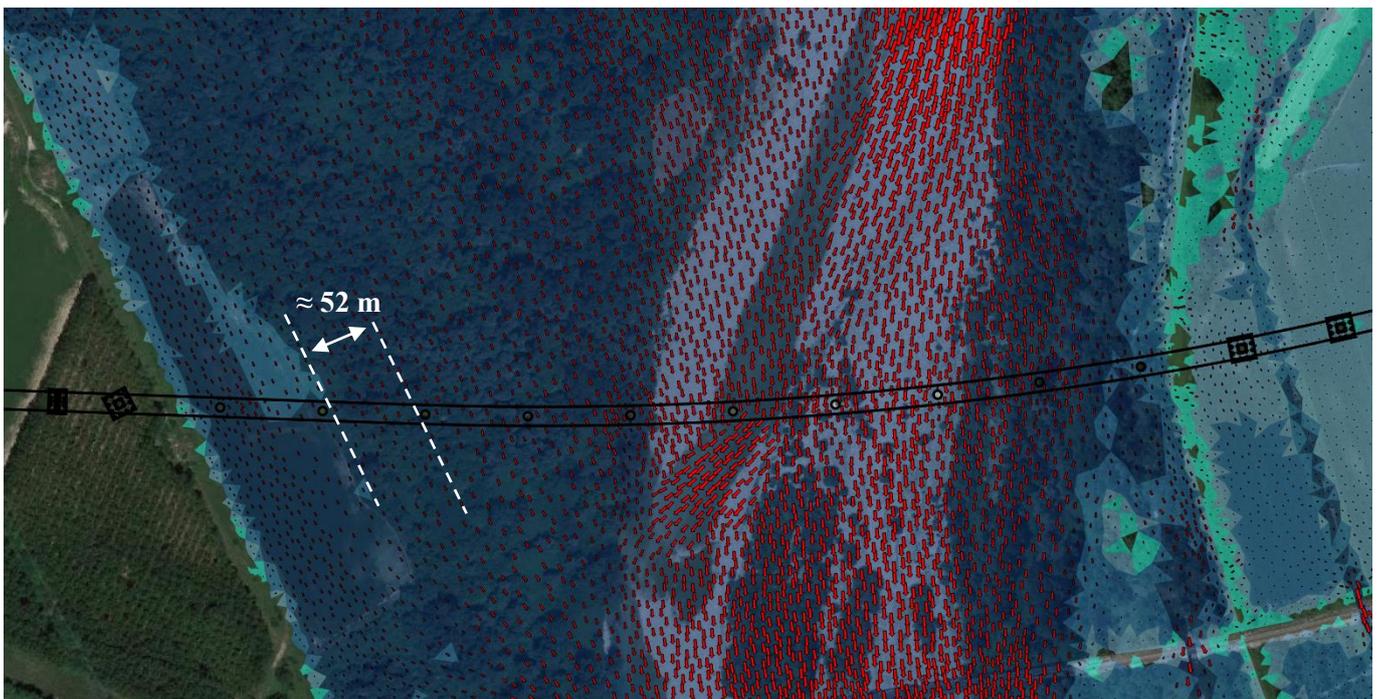


Figura 33. Modello 2D del Fiume Isonzo: vettori velocità, TR200 - post operam, nella sezione di attraversamento.

#### 4 VERIFICA ALLO SCALZAMENTO

Si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa attorno alle pile del nuovo viadotto VI01 in progetto, interessate dalle piene del Fiume Isonzo. Nello specifico, si è fatto riferimento a quanto indicato nelle NTC2018:

*“Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma  $Tr = 1,001$ ) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente  $\Psi_0$  unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all’evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione  $\Psi_1$ .”*

Sono state applicate le seguenti due formulazioni disponibili in letteratura. Come valore di progetto dello scalzamento è stato considerato il valore massimo ottenuto dalle due relazioni.

##### Formulazione CSU

La profondità di scalzamento attesa può essere stimata come:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2 \cdot K_1 K_2 K_3 K_4 \left( \frac{a}{Y_1} \right)^{0.65} FR^{0.43}$$

in cui

- $K_1, K_2, K_3$  sono fattori correttivi legati alla forma delle pile, all’angolo di attacco e alle condizioni del fondo alveo (vedi tabella seguente)
- $K_4$  è un fattore correttiva legato al materiale di fondo alveo, valutabile come:

$$K_4 = [1 - 0.89(1 - V_r)^{0.053}]^{0.5}$$

dove  $V_r = \frac{V_0 - V_i}{V_{c90} - V_i}$ ,  $V_i = 0.645(d_{50}/a)^{0.053} V_{c50}$ ,  $V_{c90} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{90}^{1/3}$ ,

$V_{c50} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{50}^{1/3}$ ,  $d_{50}, d_{90}$  = diametro corrispondente al 50% e al 90 % di passante in peso

- $Y_s$ , la profondità di scalzamento;
- $Y_1$ , l'altezza della corrente;
- $a$ , la larghezza della pila;
- $FR$ , il numero di Froude ( $FR = V_0/(gh_m)^{1/2}$ )

Correction Factor, $K_1$		Correction Factor, $K_2$			
Shape of Pier Nose	$K_1$	Angle	L/a=4	L/a=8	L/a=12
(a) Square nose	1.1	0	1.0	1.0	1.0
(b) Round nose	1.0	15	1.5	2.0	2.5
(c) Circular cylinder	1.0	30	2.0	2.75	3.5
(d) Group of cylinders	1.0	45	2.3	3.3	4.3
(e) Sharp nose	0.9	90	2.5	3.9	5.0

Angle = skew angle of flow  
L = length of pier

Bed Condition	Dune Height ft	$K_3$
Clear-Water Scour	N/A	1.1
Plane bed and Antidune flow	N/A	1.1
Small Dunes	$10 > H \geq 2$	1.1
Medium Dunes	$30 > H \geq 10$	1.2 to 1.1
Large Dunes	$H \geq 30$	1.3

Tabella 3- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ .

Formulazione di Sheppard – Melville

La profondità di scalzamento attesa può essere valutata come:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[ 2.2 \left( \frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left( \frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c; V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$
- $$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{73.5y_1}{d_{50}[Re(2.85 - 0.58 \ln(Re)) + 0.002Re] + \frac{111}{Re} - 6}\right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln\left(\frac{2.21y_1}{d_{50}}\right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$$
- $Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50}(38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005\right)\right]^{0.5}$
- $y_1 =$  tirante idrico (m)
- $f_1 = \tanh\left[\left(\frac{y_1}{a^*}\right)^{0.4}\right]; f_2 = \left\{1 - 1.2 \left[\ln\left(\frac{V_1}{V_c}\right)\right]^2\right\}; f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)}{0.4\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{1.2} + 10.6\left(\frac{a^*}{d_{50}}\right)^{-0.13}}\right]$
- $a^* = K_s a_p; a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta; K_s = \begin{cases} 1 & (\text{pilacircolare}) \\ 0.86 + 0.97 \left(\left|\frac{\pi\theta}{180} - \frac{\pi}{4}\right|\right)^4 & (\text{pilarettangolare}) \end{cases}$

( $a$  = larghezza della pila;  $L$  = lunghezza della pila;  $\theta$  = angolo di attacco [°])

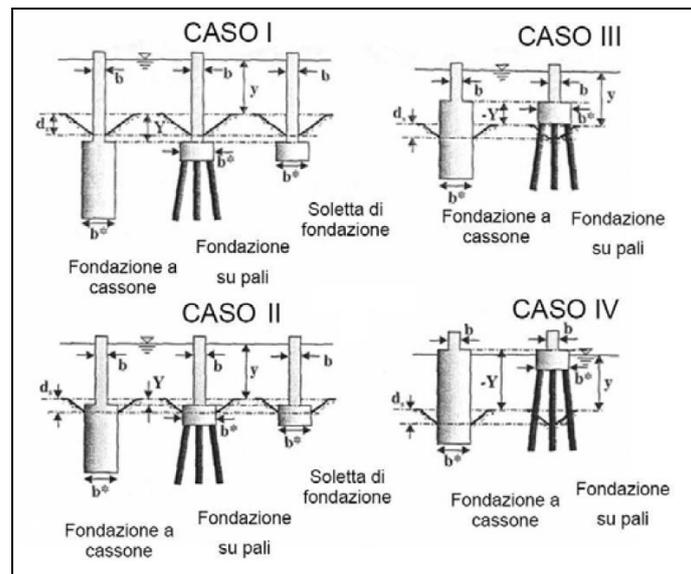
Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (tra cui anche quelle di Melville, Froehlich, Breusers e CSU), **la formulazione SM** fornisce valori più attendibili (e prossimi a quelli misurati) rispetto alle altre, per i seguenti campi di valori:

$$\frac{V_1}{V_c} = 0.4 \div 7.6 \quad \frac{y_1}{a} = 0.05 \div 10 \quad \frac{a}{d_{50}} = 3.65 \div 65047 \quad FR = 0.03 \div 1.95$$

all'interno dei quali ricadono i valori dei parametri (tirante, velocità,  $d_{50}$ ,...), relativi al corso d'acqua oggetto di studio (*Fiume Isonzo*).

In generale, è possibile riscontrare quattro differenti scenari di erosione localizzata:

- CASO I: la fondazione della pila rimane al di sotto della buca erosiva;
- CASO II: la sommità della fondazione è esposta al flusso della corrente all'interno della buca erosiva;
- CASO III: la sommità della fondazione giace al di sopra del fondo alveo;
- CASO IV: la sommità della fondazione si trova al di sotto o in prossimità del pelo libero.



**Figura 34–Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.**

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila  $b$  in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluenza nel processo erosivo.

Nei CASI II e III invece occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da *Melville e Raudkivi (1996)* che utilizza una larghezza della pila equivalente ben definita come:

$$b_e = b \cdot \left( \frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left( \frac{b^* - Y}{h_0 + b^*} \right)$$

dove  $h_0$ : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo;  $Y$ : altezza massima della buca erosiva;  $b^*$ : larghezza della fondazione.

Per quanto riguarda il CASO IV, infine, l'erosione localizzata può essere calcolata utilizzando come larghezza equivalente della pila la larghezza della fondazione  $b^*$  dal momento che il fenomeno interessa maggiormente la fondazione stessa.

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alla piena di progetto,  $Tr = 200$  anni, e alla piena che si verifica mediamente ogni anno ( $Tr = 1,001$ ), considerando dapprima le dimensioni delle sole pile.

Per quanto concerne il calcolo dello scalzamento per la piena  $Tr = 1,001$  del Fiume Isonzo, si è fatto riferimento direttamente alla simulazione numerica secondo il modello monodimensionale HECRAS, sviluppato per la fase di cantiere (per una portata di 800 mc/s), ma nello stato *post operam*, i.e. con viadotto VI01 implementato nella geometria del modello.

Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile sul fondo, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate su campioni di materiale prelevati in alveo (in *Appendice 1*, sono riportate le schede descrittive dei punti di prelievo); in particolare, si ha  $d_{50} = 1$  mm,  $d_{90} = 20$  mm (*prelievo PR06*).

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di scalzamento attesi per  $Tr = 1,001$  anni e  $Tr = 200$  anni, in corrispondenza delle pile interessate dalle piene di riferimento.

Valori scalzamento ( $Tr = 1,001$  anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Fr ( )	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P17	circolare	5.5	0.6	0.4	0.165	2.3	0.8	2.3
P18	circolare	5.5	2.3	0.4	0.084	3.5	0.6	3.5
P19	circolare	5.5	0.5	0.4	0.181	2.2	0.8	2.2
P20	circolare	5.5	1.8	1.3	0.309	4.8	3.7	4.8
P21	circolare	5.5	4	1.3	0.208	5.3	3.8	5.3
P22	circolare	5.5	2.6	1.3	0.257	5	3.7	5

Valori scalzamento ( $Tr = 200$  anni)

ID PILA	Forma pila	D (m) [pila]	L (m) [pila]	h (m)	v (m/s)	Fr ( )	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila
P1	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	0.2	0.1	0.071	0	0.8	<b>0.8</b>
P2	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	0.3	0.1	0.058	0	0.8	<b>0.8</b>
P15	circolare	<b>5.5</b>	5.5	3.1	0.6	0.109	4.2	1.5	<b>4.2</b>
P16	circolare	<b>5.5</b>	5.5	2.6	0.7	0.139	4.2	1.8	<b>4.2</b>
P17	circolare	<b>5.5</b>	5.5	4.4	0.8	0.122	4.8	2.2	<b>4.8</b>
P18	circolare	<b>5.5</b>	5.5	4.5	0.9	0.135	4.9	2.5	<b>4.9</b>
P19	circolare	<b>5.5</b>	5.5	7.2	1.2	0.143	5.6	3.6	<b>5.6</b>
P20	circolare	<b>5.5</b>	5.5	6.5	1.3	0.163	5.7	3.9	<b>5.7</b>
P21	circolare	<b>5.5</b>	5.5	7.2	1.4	0.167	5.9	4.2	<b>5.9</b>
P22	circolare	<b>5.5</b>	5.5	6.8	1.6	0.196	6	4.8	<b>6</b>
P23	circolare	<b>5.5</b>	5.5	6.3	1.1	0.140	5.4	3.2	<b>5.4</b>
P24	circolare	<b>5.5</b>	5.5	2.5	0.7	0.141	4.1	1.8	<b>4.1</b>
P25	circolare	5.5	5.5	1.4	0.2	0.054	0.6	1.5	<b>1.5</b>
P26	circolare	5.5	5.5	0.6	0.1	0.041	0	1	<b>1</b>
P27	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	0.8	0.1	0.036	0	1	<b>1</b>
P28	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1	0.2	0.064	0.7	1.3	<b>1.3</b>
P29	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1.3	0.3	0.084	2.1	1.6	<b>2.1</b>
P30	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1.2	0.2	0.058	2.1	1.6	<b>2.1</b>
P31	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1.2	0.1	0.029	0	1	<b>1</b>
P32	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1.1	0.1	0.030	0	1	<b>1</b>
P33	pseudo-rettangolare	3.2	11.8	1	0.1	0.032	0	1	<b>1</b>

Confrontando i valori di scalzamento atteso con quelli di ricoprimento dei plinti di fondazione (2 metri per le pile all'interno degli argini, da P15 a P24; 1 metro per le rimanenti pile) si evince che in corrispondenza delle pile del VI01 i fenomeni di erosione (innescati sia dalla piena  $Tr=200$  anni sia dalla piena  $Tr=1,001$  anni) possono interessare anche le fondazioni (scalzamento atteso maggiore del ricoprimento). Per tali pile, il calcolo è stato quindi ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema "pila - plinto", valutate con la formulazione proposta da Melville e Raudkivi (1996), precedentemente introdotta (per le pile all'interno degli argini, si prevede la realizzazione di fondazioni "plinto/pozzo", circolare con diametro pari a 20 m, compresa la paratia di pali provvisoria; mentre per le pile pseudo-rettangolari si prevede la realizzazione di fondazioni "plinto su pali" di dimensioni 11.5 m x 16 m). In ragione inoltre della multicursalità (o della tendenza multicursale) del Fiume Isonzo nel tratto di attraversamento, si è deciso di considerare per tutte le pile all'interno degli argini (da P15 a P24) lo stesso scalzamento pari al massimo valore ottenuto per le pile in alveo.

Di seguito, i **valori definitivi di scalzamento**, per le pile interessate dalla piene di riferimento del F. Isonzo, da considerare nel dimensionamento delle fondazioni.

ID PILA	Ys (m) Pila-Plinto Tr 200	Ys (m) Pila-Plinto Tr 1,001
P1	0.8	0
P2	0.8	0
P15	11.5	8.0
P16	11.5	8.0
P17	11.5	8.0
P18	11.5	8.0
P19	11.5	8.0
P20	11.5	8.0
P21	11.5	8.0
P22	11.5	8.0
P23	11.5	8.0
P24	11.5	8.0
P25	3.8	0
P26	1	0
P27	1.0	0
P28	2.8	0
P29	3.6	0
P30	2.8	0
P31	1	0
P32	1	0
P33	1	0

I risultati delle simulazioni numeriche 2D evidenziano che anche le Spalle A01 (lato Venezia) e A02 (lato Pieris/Trieste) del nuovo VI01 sono interessate dall'esonazione delle piene del Fiume Isonzo per  $Tr = 200$  anni. Per la valutazione dello scalzamento atteso in corrispondenza delle Spalle A01 e A02, si è fatto riferimento alla metodologia della FHWA. In particolare, considerando lo schema riportato nella figura seguente, si introducono le seguenti variabili:

- $\theta$  = angolo compreso tra la direzione principale della corrente e l'asse dell'opera di attraversamento
- $L$  = lunghezza di influenza della spalla/rilevato di approccio

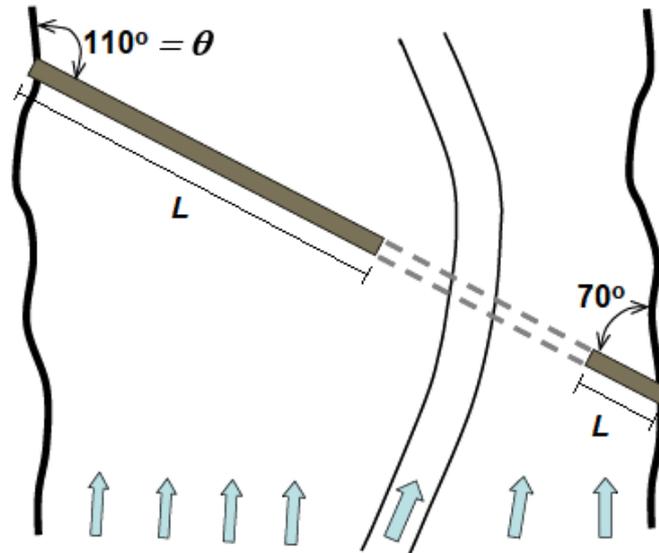


Figura 35 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle.

Determinate tali variabili, in relazione al valore della quantità  $L'/Y_1$  ( $L' = L \cdot \cos(90-\theta)$ ;  $Y_1$  = altezza della corrente in corrispondenza della spalla), si procede al calcolo dello scalzamento mediante le formulazioni di Froehlich e di Hire, in accordo alle seguenti indicazioni:

$$\begin{cases} \frac{L'}{Y_1} \leq 25 \rightarrow \text{Froehlich} \\ \frac{L'}{Y_1} > 25 \rightarrow \text{Hire} \end{cases}$$

#### Formulazione di Froehlich

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2.27K_1K_2 \left( \frac{L'}{Y_1} \right)^{0.43} FR^{0.61} + 1$$

con  $K_1 = 0.82$ ,  $K_2 = (\theta/90)^{0.13}$ ,  $FR$  = numero di Froude.

Formulazione di Hire

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 4FR^{0.33} \frac{K_1}{0.55} K_2$$

$K_1$  e  $K_2$ , come sopra definiti.

Di seguito, i risultati ottenuti (i valori delle variabili idrauliche sono estratti dalle simulazioni numeriche secondo modello 2D, per la "portata di progetto",  $Tr200$ ).

ID Spalla	L [m]	$\theta$ (°)	h (m)	v (m/s)	$Y_s$ (m)
A01 (lato VE)	1	90	0.1	0.1	<b>0.20</b>
A02 (lato TS)	50	90	1	0.1	<b>1.90</b>

## 5 SISTEMAZIONI IDRAULICHE E PROTEZIONE DELLE PILE

Si è proceduto al dimensionamento delle opere di sistemazione/protezione idraulica delle pile interessate dalle esondazioni della piena di progetto (Tr200) del Fiume Isonzo.

A tal proposito si è fatto riferimento alla formulazione riportata in “*Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition - Volume 2*”, Publication No. FHWA-NHI-09-112 (Hydraulic Engineering Circular No. 23, September 2009):

$$d_{50} = \frac{0,692 \cdot (V_{des})^2}{(S_g - 1) \cdot 2g}$$

in cui  $d_{50}$  = diametro medio dei massi (m);  $V_{des}$  = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);  $S_g$  = peso specifico dei massi ( $t/m^3$ ).

La velocità di progetto deve rappresentare le condizioni nelle immediate vicinanze delle pile. Qualora si dovesse adottare un valore medio di velocità, questo deve essere opportunamente moltiplicato per i fattori che sono funzione della forma della pila e della sua posizione rispetto all'alveo:

$$V_{des} = K_1 K_2 V_{avg}$$

Se si dispone di una distribuzione di velocità risultante da modello fisico o da calcolo idraulico 1D o 2D, allora si può utilizzare solamente il coefficiente della forma della pila. Sarebbe opportuno considerare il valore massimo della velocità nell'alveo attivo  $V_{max}$ , dal momento che l'alveo stesso può spostarsi nel tempo e la massima velocità impatterebbe le pile:

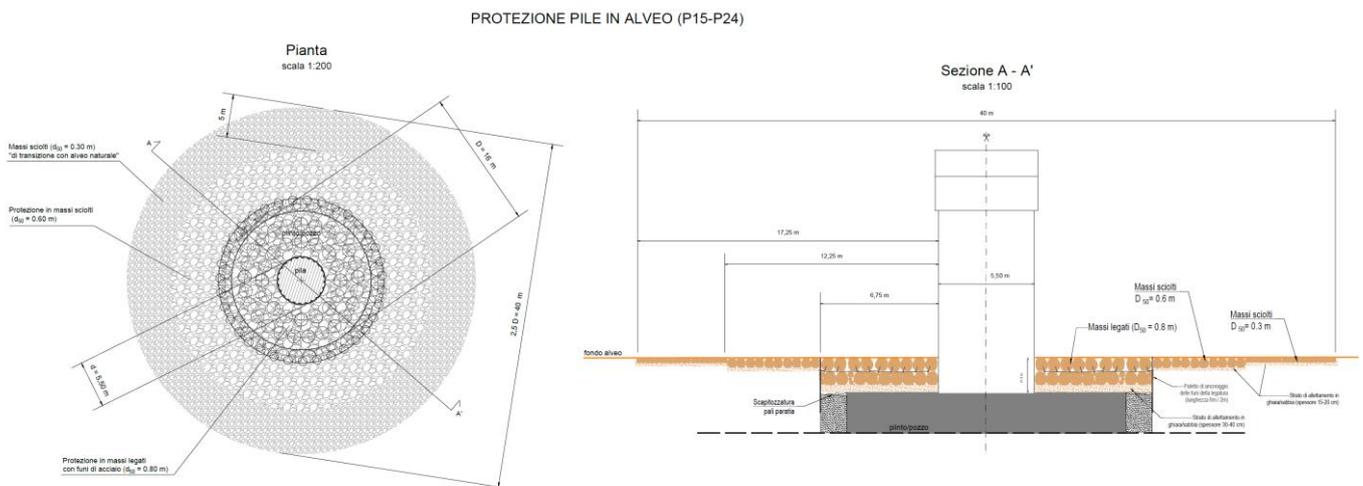
$$V_{des} = K_1 V_{max}$$

in cui  $V_{des}$  = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);  $K_1$  = fattore di forma pari a 1,5 per pile circolari “round-nose” o 1,7 per pile a spigoli vivi;  $K_2$  = fattore di correzione della velocità per l'ubicazione nell'alveo (varia da 0,9 per pile vicino le sponde in alveo rettilineo, fino a 1,7 per pile immerse nel filone principale della corrente);  $V_{avg}$  = velocità media nell'alveo in corrispondenza del ponte (m/s);  $V_{max}$  = velocità massima nell'alveo attivo (m/s).

In particolare, nel caso in esame, per le pile all'interno degli argini del Fiume Isonzo, è stato adottato il valore di velocità massima nell'alveo attivo (2.6 m/s, dedotto dai risultati delle simulazioni numeriche 2D), nella sezione di attraversamento, unitamente ai seguenti parametri:  $S_g = 2 \text{ t/m}^3$ ;  $K_1 = 1.5$ ;  $K_2 = 1,7$ , da cui un diametro  $d_{50}$  dei massi di rivestimento/protezione pari a 0.80 m.

Per le pile fuori alveo, il valore massimo di velocità ammonta a 1m/s, da cui un diametro  $d_{50}$  dei massi di rivestimento pari a 0.20-0.30 m.

Nello specifico, per le pile all'interno delle arginature si prevede di realizzare un rivestimento in massi legati ( $d_{50} = 0.80 \text{ m}$ ) attorno alla pila sull'impronta del plinto di fondazione, e di estendere tale protezione fino a  $2,5 \cdot D$  (Khademghaeiny, 2020), con  $D =$  diametro del plinto/pozzo, dall'asse della pila utilizzando massi sciolti e riducendo via via la pezzatura per meglio adattare il rivestimento previsto al fondo alveo naturale. Nella figura seguente, il tipologico dell'opera di protezione che si intende realizzare.



**Figura 36 – Viadotto VI01 sul Fiume Isonzo: tipologico dell'opera di protezione attorno alle pile in alveo.**

Per le pile pseudo-rettangolari nelle aree esterne, si prevede di rivestire il p.c. attorno alla pila con massi sciolti, per una estensione pari a  $4d \times (L+3d)$ , con  $d =$  larghezza della pila e  $L =$  lunghezza della pila (FHWA-NJ-2005-027, final report 2007).

Per maggiori dettagli si rimanda comunque agli elaborati grafici annessi IZ0440R09PZID0002001A, IZ0440R09PZID0002002A.

## 6 CONSIDERAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO

Il Fiume Isonzo in territorio italiano scorre nell'ampia pianura alluvionale generata nel corso dei millenni dal divagare del fiume stesso e dal depositarsi dei suoi sedimenti e alluvioni: a titolo di esempio, la stessa foce del fiume si è spostata in epoca storica da ovest ad est, dalla zona di Grado all'attuale posizione di Punta Sdobba, mentre in epoche più antiche, durante le glaciazioni, il limite della costa e la stessa foce erano spostati molto più a meridione.

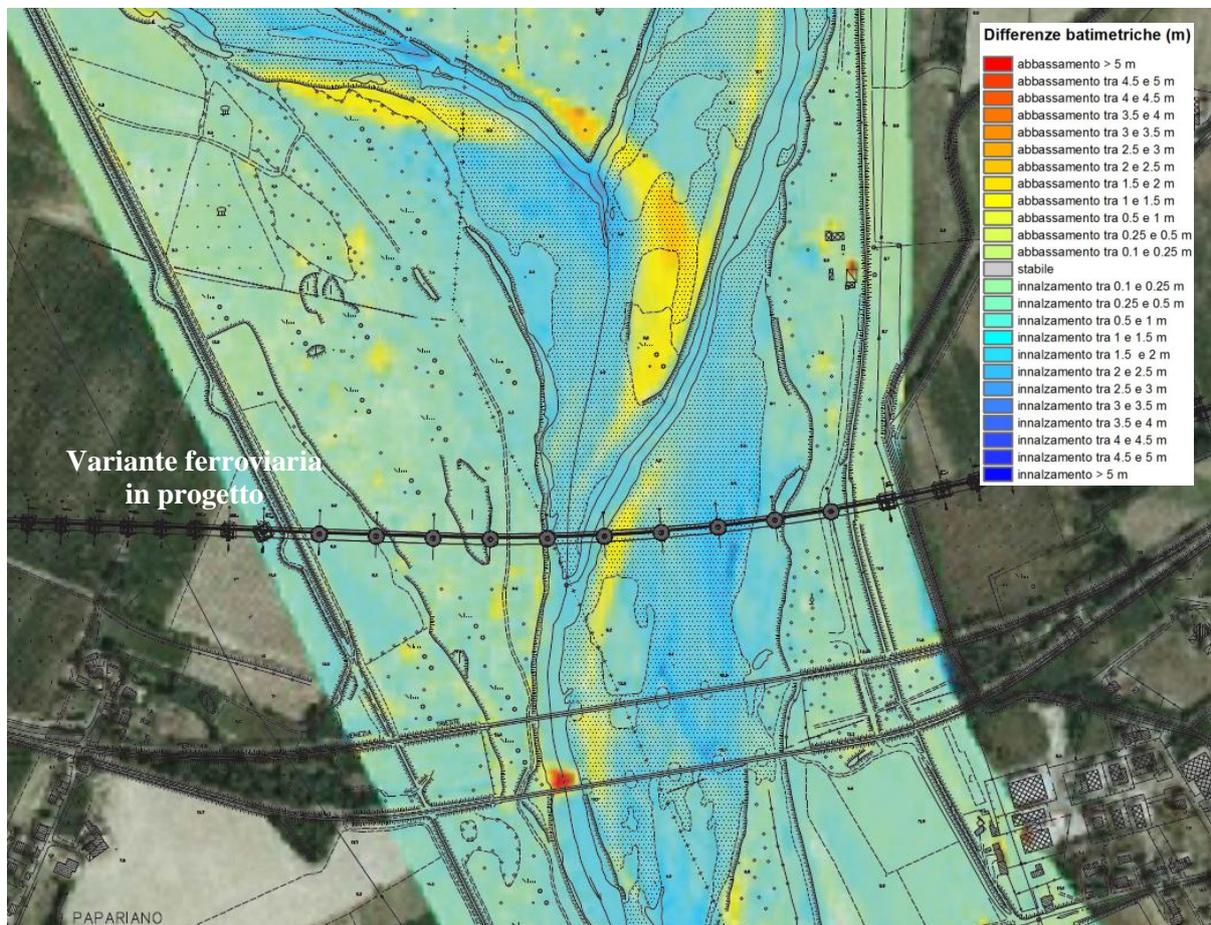
Oggi questo grado di "libertà" del fiume è ormai limitato dalle opere di difesa spondale (argini), dalle infrastrutture presenti in alveo, dalle aree di espansione urbana e dalla regolazione artificiale delle portate, che nel corso degli anni hanno contenuto l'evoluzione naturale del fiume.

Lo studio morfologico condotto nell'ambito del Progetto CAMIS ("*Studio Idrodinamico a Fondo Mobile del Fiume Isonzo*") ha messo in evidenza che negli ultimi sessant'anni il corso d'acqua, a seguito dell'influenza dei fattori sopracitati, ha subito in linea generale un restringimento d'alveo ed una debole incisione del canale attivo, anche se da un'analisi più di dettaglio non mancano tratti in sovralluvionamento e tratti a maggior erosione.

Si può affermare comunque che il Fiume Isonzo, allo stato attuale, ha raggiunto uno stato di equilibrio dinamico in cui non si evidenziano gravi problemi di erosione, approfondimento dell'alveo o sovralluvionamento.

Con riferimento all'area di intervento, si riportano di seguito alcune mappe redatte nell'ambito del Progetto CAMIS, dalle quali è possibile trarre delle considerazioni, seppure qualitative/preliminari, sui processi di erosione/deposizione verificatesi nel tratto fluviale di interesse e sulla loro possibile evoluzione.

Nello specifico, con riferimento alla mappa "*Differenze batimetriche tra i rilievi Lidar 2003 e 2013*" (fonte: Progetto "CAMIS"), nella zona di confluenza del T. Torre sembra prevalere un innalzamento del fondo abbastanza generalizzato, con presenza di alcune aree dell'alveo principale con marcate erosioni. In corrispondenza della nuova variante ferroviaria, e in particolare in sinistra idraulica, si evidenziano depositi diffusi e innalzamento del fondo alveo, che si estendono anche fino a ridosso dei ponti ferroviari esistenti (Figura 37).



**Figura 37 – Mappa “Differenze batimetriche tra i rilievi Lidar 2003 e 2013” (fonte: Progetto “CAMIS”),**

Tale scenario, verificatosi nel decennio 2003-2013, è stato preso a riferimento per la calibrazione del modello idrodinamico a fondo mobile sviluppato nell’ambito del Progetto CAMIS, ai fini dell’applicazione del modello stesso per previsioni sull’evoluzione morfodinamica del corso d’acqua, su base Lidar aggiornata.

A tal proposito, nella figura seguente sono riportati i risultati della simulazione numerica dell’evoluzione del fondo alveo nell’area di intervento, a partire dallo stato di fatto del 2014 (sviluppata sempre nell’ambito del Progetto CAMIS).

In sinistra idraulica, si osserva una zona stabile, non soggetta a erosione nè a deposizione.

Possono innescarsi fenomeni anche importanti di erosione (fino a 2-3 m) nell'alveo inciso, ma a valle della sezione di attraversamento in progetto. In destra idraulica, sembrano invece prevalere fenomeni di deposizione, di modesta entità.

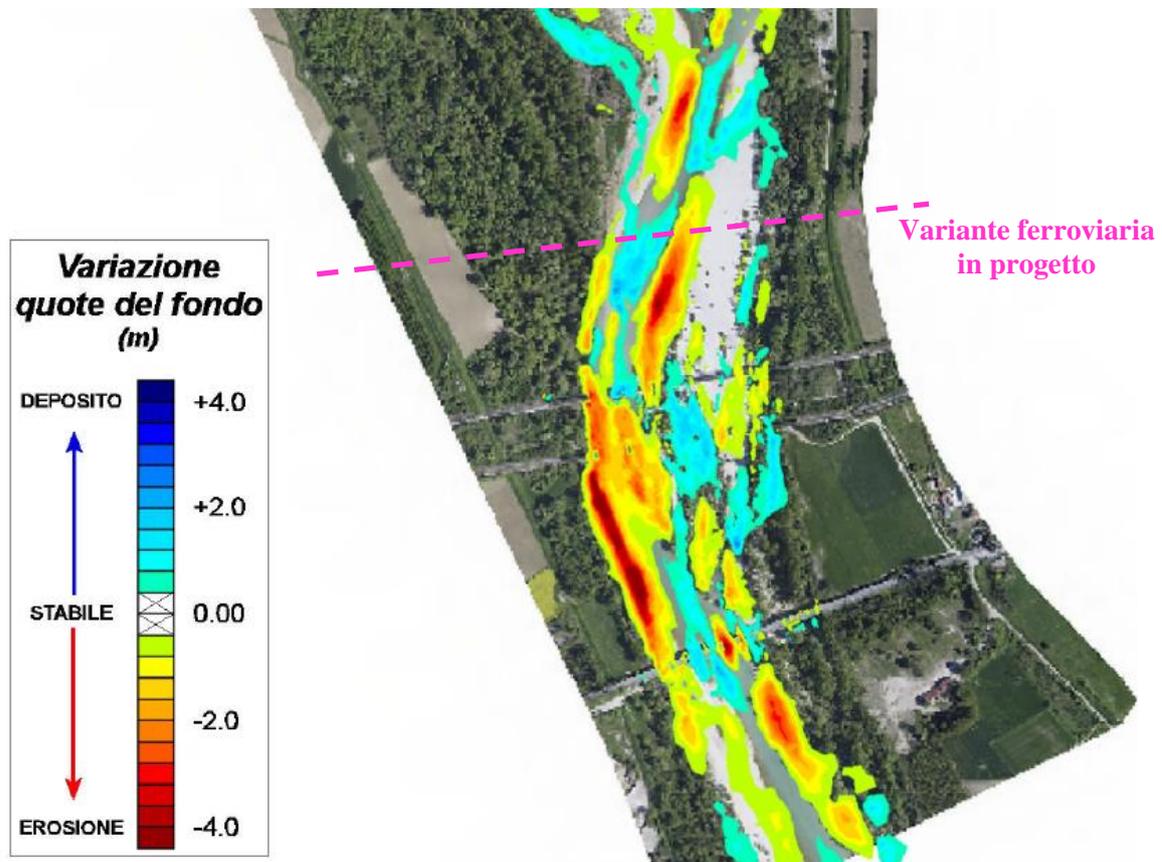


Figura 38 – Mappa “Evoluzione del fondo alveo – stato di fatto 2014” (fonte: Progetto “CAMIS”).

Sulla base di tali risultati non si ravvedono particolari criticità per il nuovo viadotto VI01, in ragione dell'elevato franco idraulico, della notevole distanza tra intradosso e fondo alveo attuale, nonché dell'opere di protezione previste; tuttavia, analisi di maggiore dettaglio volte a valutare l'influenza della nuova opera sull'evoluzione morfodinamica del Fiume Isonzo potranno essere/saranno condotte nella prosieguo della progettazione.

	<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE</b> Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>IZ04</b>	LOTTO <b>40 R 09</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0002 001</b>	REV. <b>B</b>

## 7 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Con riferimento alle NTC 2018, al Cap. 5, si asserisce:

*“Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d’acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d’acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1.50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l’intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l’intradosso delle strutture non sia costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale.....”*

Il viadotto in progetto sul Fiume Isonzo è caratterizzato da luci e franchi nel rispetto della normativa vigente. E' rispettato infatti il franco minimo di 1,5 metri nei confronti del livello idrico corrispondente alla piena di progetto (Tr200), nonché la distanza minima tra pile contigue in alveo (40 metri), e tra il fondo alveo e la quota di intradosso di impalcato.

E' stato trattato il tema relativo alle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni delle pile interessate dalla piena di progetto e alle protezioni delle fondazioni delle pile in alveo.

Anche lo scavalco degli argini del Fiume Isonzo tramite il nuovo viadotto VI01 è caratterizzato da franchi e distanze nel rispetto della normativa vigente. Nello specifico, il franco tra la quota di intradosso e la sommità arginale è superiore a 3,0 metri; inoltre le pile di scavalco degli argini, si attestano ad una distanza maggiore a 10 metri, dal piede sia esterno che interno, in ottemperanza dell'art. 96, comma f), del R.D. 523/1904.

E' da sottolineare che 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 tra le configurazioni ante e post operam.

Sebbene ricadenti in aree di pericolosità idraulica gli interventi in progetto sono comunque consentiti (ricadendo nella fattispecie di "*opere di ristrutturazione e ampliamento di infrastrutture pubbliche non altrimenti delocalizzabili*"), come indicato nelle NTA della pianificazione di bacino di riferimento, previo studio di compatibilità idraulica.

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche svolte dimostrano la compatibilità del nuovo viadotto VI01, dell'infrastruttura ferroviaria nel tratto di variante, nonché delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati, SSE.....), in termini sia di franco di sicurezza sia di possibile interferenza con le aree potenzialmente inondabili.

Laddove interferenti con le aree di esondazione, i rilevati (e.g. di approccio al VI01) sono stati inoltre opportunamente dotati di opere di protezione delle scarpate, in accordo al Manuale di Progettazione Ferroviaria, ed è garantito un franco minimo di 1 metro tra piano di regolamento e livello idrico di progetto (Tr200).

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

## 8 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

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

Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta – Bacchiglione, PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEI BACINI DEI FIUMI ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE, BRENTA-BACCHIGLIONE, approvato con DPCM 21 novembre 2013, G.U. n.97 del 28.04.2014.

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.

FHWA-NJ-2005-027, “*Handbook of Scour Countermeasures Designs Handbook of Scour Countermeasures Designs*”, FINAL REPORT, December 2007.

FHWA-NHI-09-112, “*Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition - Volume 2*”, Hydraulic Engineering Circular No. 23, September 2009.

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

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

Khademghaeiny et al. (2020). Riprap design at bridge piers with limited scouring. *Scientia Iranica A* (2020) 27(2), 588-595.

Progetto CAMIS. “*Studio Idrodinamico a Fondo Mobile del Fiume Isonzo*” condotto dall’Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione nell’ambito del progetto europeo “*Coordinated Activities for Management of Isonzo-Soca*” (attività coordinate per la gestione del Fiume Isonzo), nel quadro di cooperazione transfrontaliera Italia – Slovenia, 2007-2013.

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

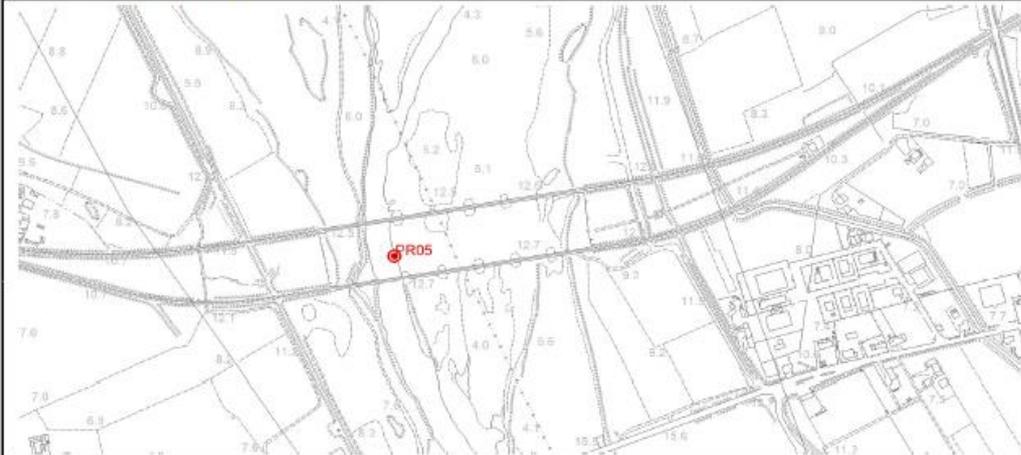
## APPENDICE 1

### SCHEDE DESCRITTIVE DEI CAMPIONAMENTI ESEGUITI NELL'ALVEO DEL FIUME ISONZO

SCHEDA #1

PROGETTO	LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo			
CODICE COMMESSA				
CORSO D'ACQUA	Fiume Isonzo			
CODICE TRANSETTO	PR05	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (WGS84)	45° 48' 31.8" N	13° 25' 39.4" E
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	Pieris	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (Gauss-Boaga Est)	5074021.83	2397832.64

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)

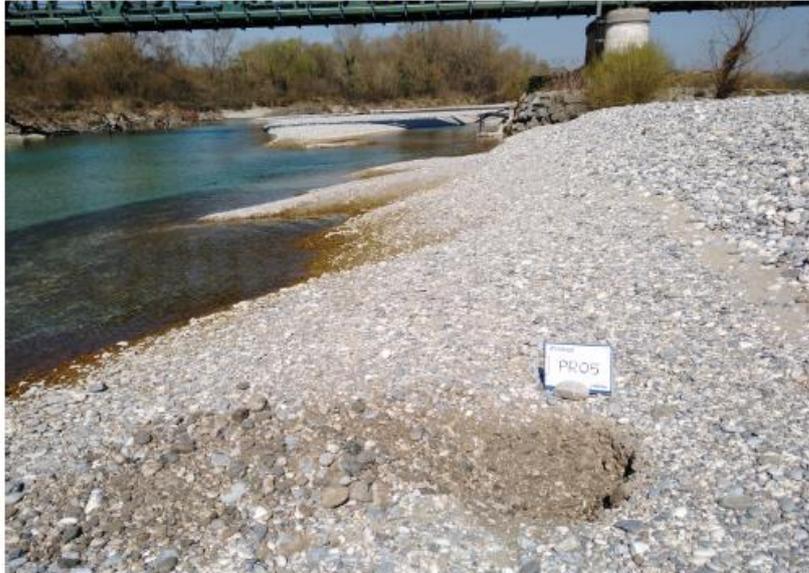


FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



**PUNTO DI PRELIEVO** (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

---

**CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO**

QUANTITÀ: 3.4 Kg

SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

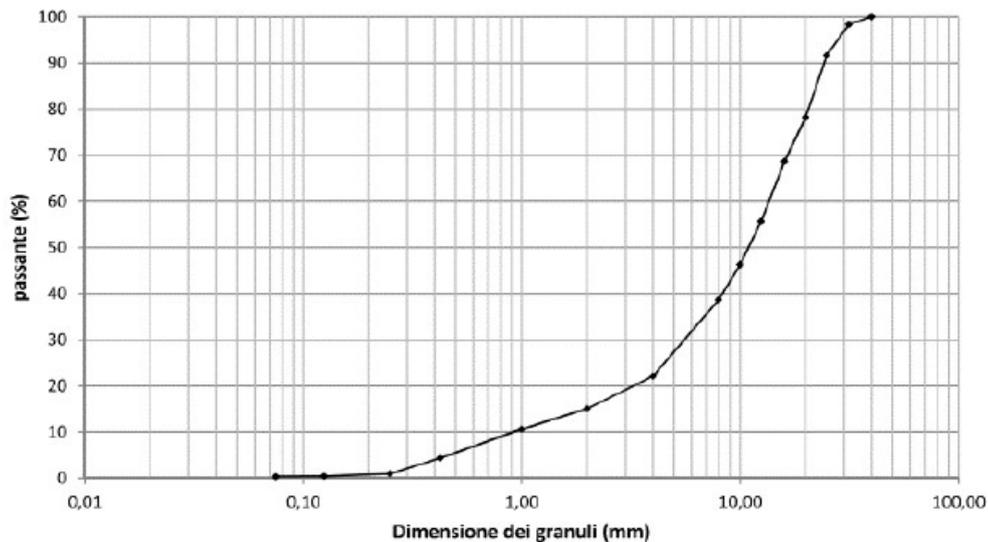
altro: \_\_\_\_\_

Massa iniziale g: **3376,0**

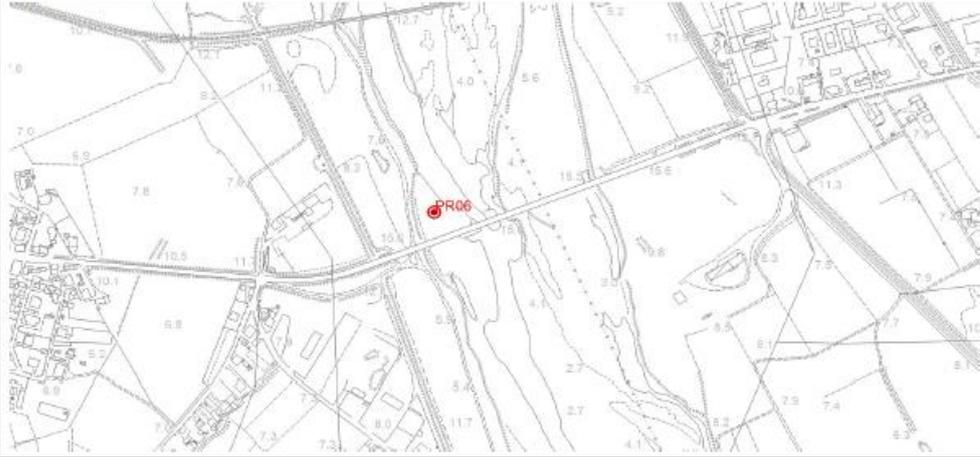
Setacci mm	Tratt. Netto al vaglio [g]	Tratt. Netto Progressivo [g]	Trattenuto Progressivo %	Passante Progressivo %
0,425	212,4	3229,4	95,7	4,3
0,250	113,4	3342,8	99,0	1,0
0,125	18,2	3361,0	99,6	0,4
0,075	3,0	3364,0	99,6	0,4
fondo	0,5			

Metodo di prova : per via secca  per via umida

Pretrattamento per materiale organico : si  no



SCHEDA #2

PROGETTO	LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo			
CODICE COMMESSA				
CORSO D'ACQUA	Fiume Isonzo			
CODICE TRANSETTO	PR06	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (WGS84)	45° 48' 21.1" N	13° 25' 43.4" E
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	Pieris	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (Gauss-Boaga Est)	5073690.83	2397911.65
<b>STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR</b>				
				
<b>STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA</b>				
				

CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	
FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)	
	
FOTO RIPRESA DA	NOTE (eventuali)
DESTRA	
(specificare sponda sn o sponda dx)	
VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO	
<input type="checkbox"/> sabbia (da fine a grossolana)	
<input checked="" type="checkbox"/> sabbia grossolana e ghiaia fine	
<input type="checkbox"/> ghiaia	
<input checked="" type="checkbox"/> ghiaia e ciottoli	
FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO	
	

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
IZ04 40 R 09 RI ID0002 001 B 62 di 68

**PUNTO DI PRELIEVO** (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo  
 Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto  
 Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie  
 Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

**CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO**

QUANTITÀ 3,02 Kg

SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm  
 PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)  
 altro: \_\_\_\_\_

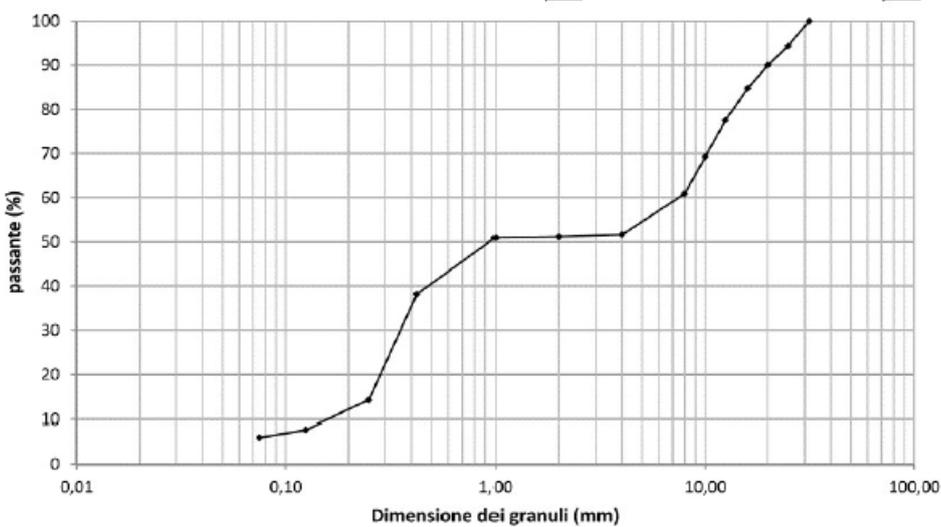
---

Massa iniziale g

Setacci mm	Tratt. Netto al vaglio [g]	Tratt. Netto Progressivo [g]	Trattenuto Progressivo %	Passante Progressivo %
0,425	386,5	1869,2	61,9	38,1
0,250	721,6	2590,8	85,7	14,3
0,125	198,2	2789,0	92,3	7,7
0,075	51,4	2840,4	94,0	6,0
fondo	7,1			

Metodo di prova : per via secca  per via umida

Pretrattamento per materiale organico : si  no



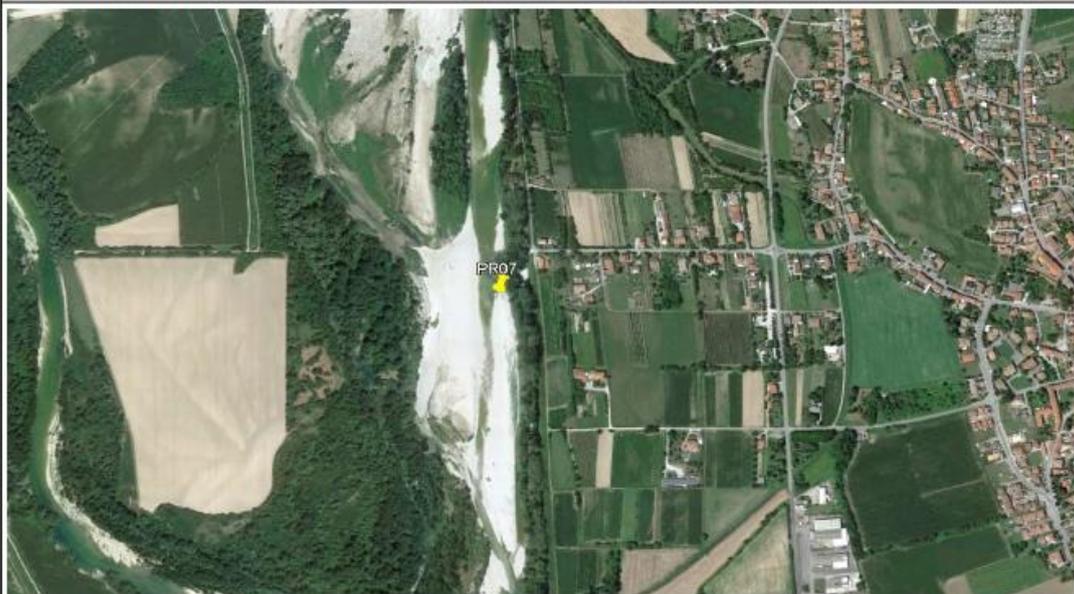
SCHEDA #3

PROGETTO	LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo			
CODICE COMMESSA				
CORSO D'ACQUA	Fiume Isonzo			
CODICE TRANSETTO	PR07	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (WGS84)	45° 49' 17.1" N	13° 25'49.8" E
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	Turriaco	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (Gauss-Boaga Est)	5075416.84	2398083.65

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

SINISTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

- sabbia (da fine a grossolana)
- sabbia grossolana e ghiaia fine
- ghiaia
- ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



PUNTO DI PRELIEVO (rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)

Sedimenti depositi a valle di ostacolo in alveo

Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto

Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie

Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto

CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO

QUANTITÀ 4.1 Kg

SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm

PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)

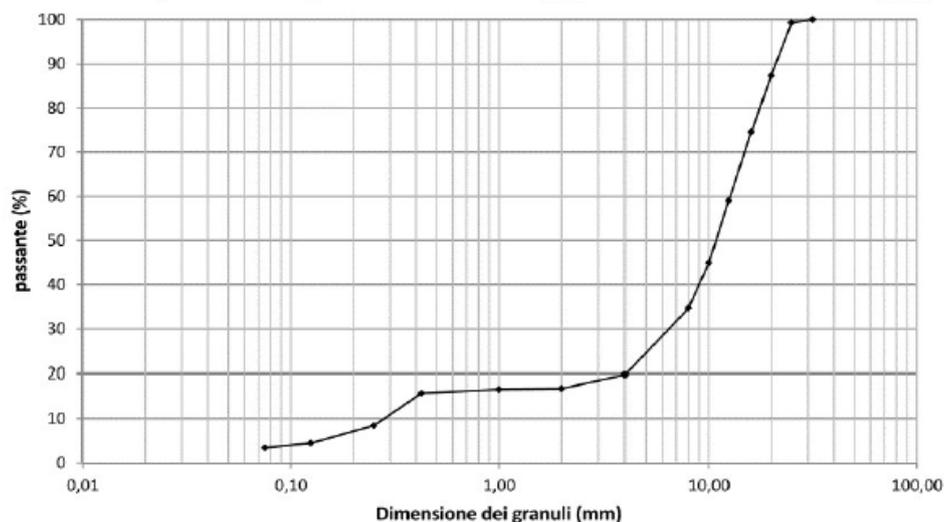
altro: \_\_\_\_\_

Massa iniziale g

Setacci mm	Trait. Netto al vaglio [g]	Trait. Netto Progressivo [g]	Trattenuto Progressivo %	Passante Progressivo %
0,425	35,9	3434,8	84,2	15,8
0,250	300,2	3735,0	91,6	8,4
0,125	163,5	3898,5	95,6	4,4
0,075	43,2	3941,7	96,7	3,3
fondo	4,0			

Metodo di prova : per via secca  per via umida

Pretrattamento per materiale organico : si  no



SCHEDA #4

PROGETTO	LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo			
CODICE COMMESSA				
CORSO D'ACQUA	Fiume Isonzo			
CODICE TRANSETTO	PR08	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (WGS84)	45° 48' 56.0" N	13° 25' 24.9" E
TOPONIMO UBICAZIONE PUNTO DI PRELIEVO	Turriaco-Peris	COORDINATE PUNTO DI PRELIEVO (Gauss-Boaga Est)	5074776.84	2397532.64

STRALCIO PLANIMETRICO SU CTR



STRALCIO PLANIMETRICO SU FOTO AEREA



CARATTERIZZAZIONE PUNTO DI PRELIEVO

FOTO DEL TRANSETTO (mostrare punto di prelievo)



FOTO RIPRESA DA

DESTRA

(specificare sponda sn o sponda dx)

NOTE (eventuali)

VARIABILITÀ TRASVERSALE DEL TRANSETTO

sabbia (da fine a grossolana)

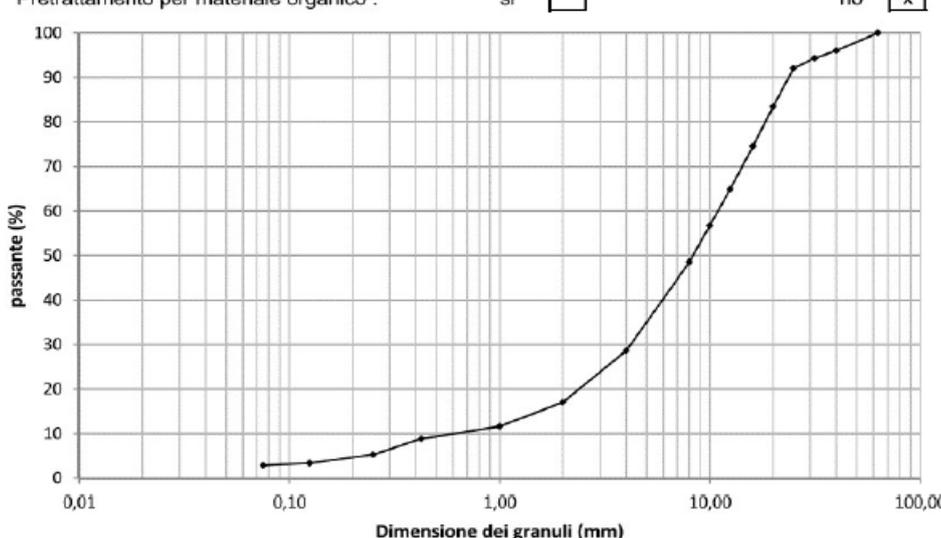
sabbia grossolana e ghiaia fine

ghiaia

ghiaia e ciottoli

FOTO DEL PUNTO DI PRELIEVO



PUNTO DI PRELIEVO		(rispettare il più possibile le seguenti condizioni e barrare quelle che occorrono)																																	
<input checked="" type="checkbox"/> Sedimenti deposti a valle di ostacolo in alveo																																			
<input type="checkbox"/> Punto prossimo all'alveo bagnato, ma situato all'asciutto																																			
<input checked="" type="checkbox"/> Deposito rappresentativo di ciò che si può movimentare con piene ordinarie																																			
<input type="checkbox"/> Deposito rappresentativo della variabilità trasversale del transetto																																			
CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE PRELEVATO																																			
QUANTITÀ	2.9		Kg																																
<input checked="" type="checkbox"/> SCARTATI ELEMENTI DI DIMENSIONI > 6 cm																																			
<input type="checkbox"/> PRESENZA DI MATERIA ORGANICA (es. argilla torbosa)																																			
<input type="checkbox"/> altro: _____																																			
<p>Massa iniziale g <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">2921,4</span></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Setacci mm</th> <th>Tratt. Netto al vaglio [g]</th> <th>Tratt. Netto Progressivo [g]</th> <th>Trattenuto Progressivo %</th> <th>Passante Progressivo %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,425</td> <td>82,4</td> <td>2663,0</td> <td>91,2</td> <td>8,8</td> </tr> <tr> <td>0,250</td> <td>104,3</td> <td>2767,3</td> <td>94,7</td> <td>5,3</td> </tr> <tr> <td>0,125</td> <td>56,4</td> <td>2823,7</td> <td>96,7</td> <td>3,3</td> </tr> <tr> <td>0,075</td> <td>13,4</td> <td>2837,1</td> <td>97,1</td> <td>2,9</td> </tr> <tr> <td>fondo</td> <td>2,4</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Metodo di prova : <span style="margin-left: 100px;">per via secca <input type="checkbox"/></span> <span style="margin-left: 100px;">per via umida <input checked="" type="checkbox"/></span></p> <p>Pretrattamento per materiale organico : <span style="margin-left: 100px;">si <input type="checkbox"/></span> <span style="margin-left: 100px;">no <input checked="" type="checkbox"/></span></p> 						Setacci mm	Tratt. Netto al vaglio [g]	Tratt. Netto Progressivo [g]	Trattenuto Progressivo %	Passante Progressivo %	0,425	82,4	2663,0	91,2	8,8	0,250	104,3	2767,3	94,7	5,3	0,125	56,4	2823,7	96,7	3,3	0,075	13,4	2837,1	97,1	2,9	fondo	2,4			
Setacci mm	Tratt. Netto al vaglio [g]	Tratt. Netto Progressivo [g]	Trattenuto Progressivo %	Passante Progressivo %																															
0,425	82,4	2663,0	91,2	8,8																															
0,250	104,3	2767,3	94,7	5,3																															
0,125	56,4	2823,7	96,7	3,3																															
0,075	13,4	2837,1	97,1	2,9																															
fondo	2,4																																		