

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 idrologica – Studio idrologico del bacino 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 1 0 0 1 A

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

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

File: IZ0440R09RIID0001001A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO	7
3	IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ISONZO	8
4	ANALISI IDROLOGICA	12
4.1	PROGETTO CAMIS - " <i>STUDIO IDRODINAMICO A FONDO MOBILE DEL FIUME ISONZO</i> "	12
4.2	ELABORAZIONE STATISTICA DELLE REGISTRAZIONI IDROMETRICHE: <i>FIUME ISONZO A SALCANO</i>	18
4.3	DISAMINA E APPLICAZIONE DEI DATI FORNITI DALL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELLE ALPI ORIENTALI	21
4.4	DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA DI PROGETTO	33
4.5	DEFINIZIONE DELLA PORTATA "DI CANTIERE" PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE PROVVISORIALI IN ALVEO	35
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	38

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1. Variante ferroviaria sul Fiume Isonzo: inquadramento dell'area di studio.</i>	7
<i>Figura 2. Fiume Isonzo: bacino idrografico.</i>	8
<i>Figura 3. Bacino idrografico del Fiume Isonzo: principali corsi d'acqua/affluenti.</i>	10
<i>Figura 4. Bacino idrografico del Fiume Isonzo: area di studio.</i>	11
<i>Figura 5. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 50 anni (fonte: Progetto CAMIS).</i>	13
<i>Figura 6. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 100 anni (fonte: Progetto CAMIS).</i>	14
<i>Figura 7. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 200 anni (fonte: Progetto CAMIS).</i>	14
<i>Figura 8. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 30 anni.</i>	15
<i>Figura 9. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 300 anni.</i>	15
<i>Figura 10. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).</i>	16
<i>Figura 11. Livello di marea alla foce del Fiume Isonzo, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).</i>	16
<i>Figura 12. Livello idrometrico a Turriaco (misurato e da modello 2D sviluppato nell'ambito del progetto CAMIS), evento 26/10/2012 - 09/11/2012.</i>	17
<i>Figura 13. Livello idrometrico a Pieris, (misurato e da modello 2D sviluppato nell'ambito del progetto CAMIS), evento 26/10/2012 - 09/11/2012.</i>	17
<i>Figura 14. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima annuale (periodo 1980-2017).</i>	19
<i>Figura 15. Fiume Isonzo a Salcano: confronto tra i valori di portata massima al colmo derivanti dall'analisi statistica dei dati di portata e quelli indicati nello studio a corredo del Progetto CAMIS.</i>	20
<i>Figura 16. Torrente Torre e Torrente Vipacco: nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	21
<i>Figura 17. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr300) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	23
<i>Figura 18. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr100) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	23
<i>Figura 19. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr30) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	24
<i>Figura 20. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr300) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	24
<i>Figura 21. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr100) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	25
<i>Figura 22. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr30) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A.</i>	25
<i>Figura 23. Torrente Torre, modello numerico 2D: dominio di calcolo.</i>	27
<i>Figura 24. Torrente Vipacco, modello numerico 2D: dominio di calcolo.</i>	28
<i>Figura 25. Scenario 2): idrogrammi di piena (Tr300) applicati nei nodi idrologici del Torrente Torre.</i>	29
<i>Figura 26. Scenario 2): idrogrammi di piena (Tr300) applicati nei nodi idrologici del Torrente Vipacco.</i>	30

 ITALFERR 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 IDROLOGICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

<i>Figura 27. Scenario 1): stralcio delle aree potenzialmente inondabili (Tr300) del Torrente Vipacco.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 28. Scenario 1): stralcio delle aree potenzialmente inondabili (Tr300) del Torrente Torre.</i>	<i>31</i>
<i>Figura 29. Torrente Torre: confronto tra gli idrogrammi di piena (Tr300) ottenuti da modello 2D, per differenti scenari, e dedotto dallo studio del Progetto CAMIS.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 30. Torrente Vipacco: confronto tra gli idrogrammi di piena (Tr300) ottenuti da modello 2D, per differenti scenari, e dedotto dallo studio del Progetto CAMIS.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 31. Torrente Torre: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 32. Torrente Vipacco: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 33. Fiume Isonzo: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.</i>	<i>35</i>
<i>Figura 34. Fiume Isonzo: scala di deflusso della sezione in corrispondenza del ponte stradale di Pieris.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 35. Fiume Isonzo a Pieris: curve di durata delle portate.</i>	<i>37</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1. Bacino del Fiume Isonzo: portate al colmo per Tr = 50, 100, 200 anni (fonte: Progetto CAMIS).</i>	<i>13</i>
<i>Tabella 2. Portate al colmo di T. Torre, T. Vipacco e F. Isonzo, per Tr = 30, 300 anni.</i>	<i>13</i>
<i>Tabella 3. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima annuale (periodo 1980-2017).</i>	<i>18</i>
<i>Tabella 4. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima al colmo (Q_{max}), per differenti tempi di ritorno, secondo le distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fuller & Coutagne.</i>	<i>20</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 analizzate le caratteristiche idrologiche/idrauliche del contesto in cui si inserisce la nuova variante di tracciato sul *Fiume Isonzo* (**LOTTO 4**).

E' stato condotto quindi lo studio idrologico del bacino del Fiume Isonzo, attraversato dalla nuova variante ferroviaria in progetto, ai fini della stima delle portate al colmo di progetto e dei relativi idrogrammi di piena da imporre come condizioni al contorno nel modello numerico bidimensionale sviluppato (cfr. IZ0440R09RIID0002001A), a sua volta finalizzato alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili e dei corrispondenti livelli idrici e velocità, ed in particolare alla valutazione della compatibilità idraulica dell'opera di attraversamento in progetto e della variante nel suo complesso.

Nello specifico, l'analisi idrologica è stata condotta secondo le seguenti fasi:

- perimetrazione dei bacini idrografici di interesse;
- raccolta delle registrazioni/dati di portata disponibili presso le stazioni idrometriche di interesse;
- raccolta e disamina degli studi idrologici disponibili;
- disamina e applicazione dei dati forniti dal *Distretto Idrografico delle Alpi Orientali*;
- definizione delle portate al colmo e dei corrispondenti idrogrammi di piena nelle sezioni di chiusura considerate, per i tempi di ritorno di riferimento.

Le analisi sono state sviluppate nel rispetto della Pianificazione di Bacino attualmente in vigore, in particolare 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*) e delle corrispondenti Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A., 2012), nonché del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni* (P.G.R.A.) dell’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, approvato dal Comitato Istituzionale del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali il 3 marzo del 2016.

1.1 Riferimenti normativi

Di seguito, la normativa nazionale generale di riferimento, alla base degli studi idrologici-idraulici.

- R.D. 27 luglio 1904, n. 523
- Legge n. 183/1989, “*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*”
- D.M. del 14 febbraio 1997 “*Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico*”
- Legge n. 365/2000 “*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile*” (*legge Soverato*)
- D.Lgs. n. 49/2010 “*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni*”
- D.Lgs. n. 152/2006 “*Norma in materia ambientale*”
- Direttiva n. 2007/60/CE (“*Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni*”)
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018
- Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019
- Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI DTC SI PS MA IFS 001 E – Dicembre 2020)

2 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO

La linea ferroviaria esistente *Venezia - Trieste* attraversa il Fiume Isonzo nel tratto da Villa Vicentina a Pieris. In tale tratto, i due binari poco prima dello scavalco del Fiume Isonzo (lato Villa Vicentina) si allontanano e proseguono ciascuno su sede propria attraversando il fiume su due distinti ponti/viadotti 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.

Come mostrato nella figura seguente, la variante ferroviaria in progetto, a doppio binario, attraversa l'alveo del Fiume Isonzo tramite un unico viadotto. Tale soluzione oltre a garantire l'incremento di velocità consente di oltrepassare 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 (cfr. IZ0440R09RIID0002001A – Relazione idraulica).

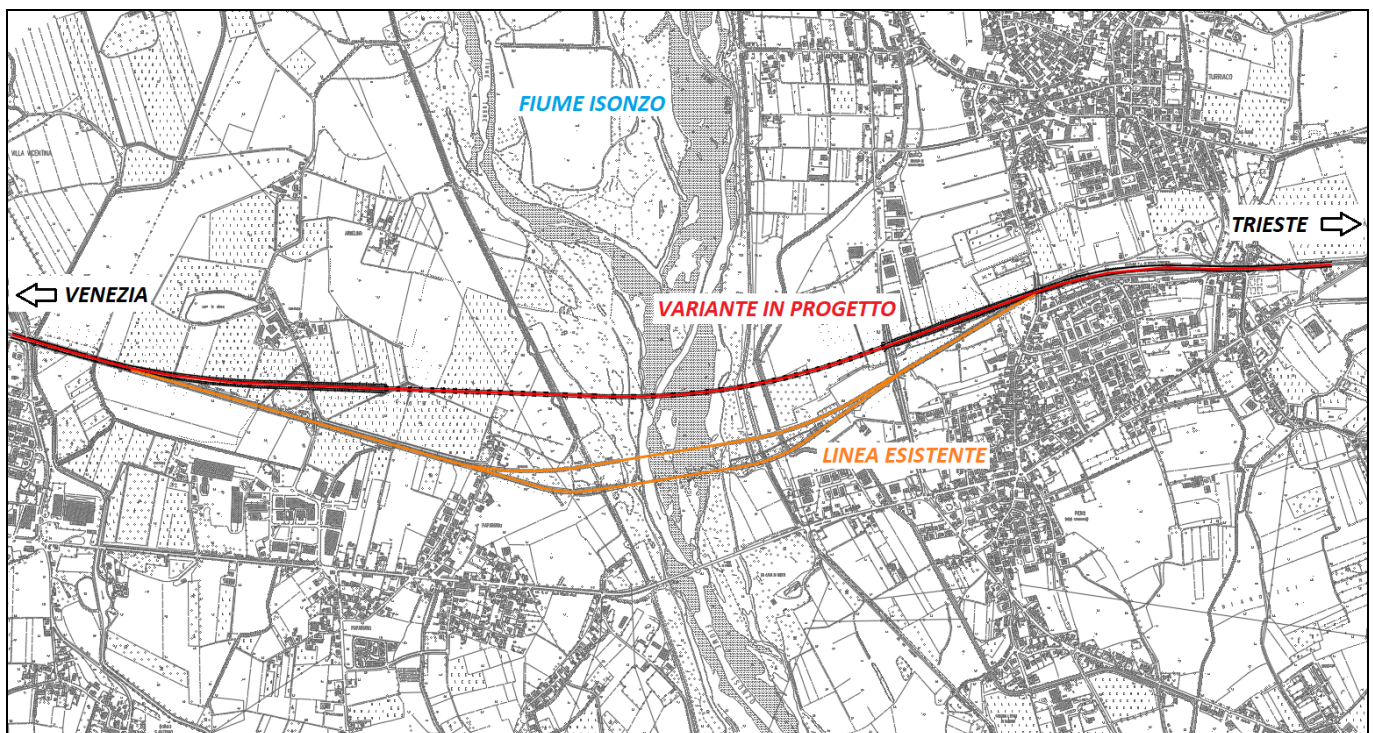


Figura 1. Variante ferroviaria sul Fiume Isonzo: inquadramento dell'area di studio.

3 IL BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ISONZO

Il Fiume Isonzo nasce in Val di Trenta con sorgenti a quota 935 m s.m.m. e sfocia nell'Adriatico nelle vicinanze di Monfalcone. Il bacino imbrifero ha un'estensione complessiva di circa 3.400 km²; un terzo della sua superficie (pari a circa 1.150 km²) ricade in territorio italiano, mentre il territorio residuo si trova in territorio sloveno.

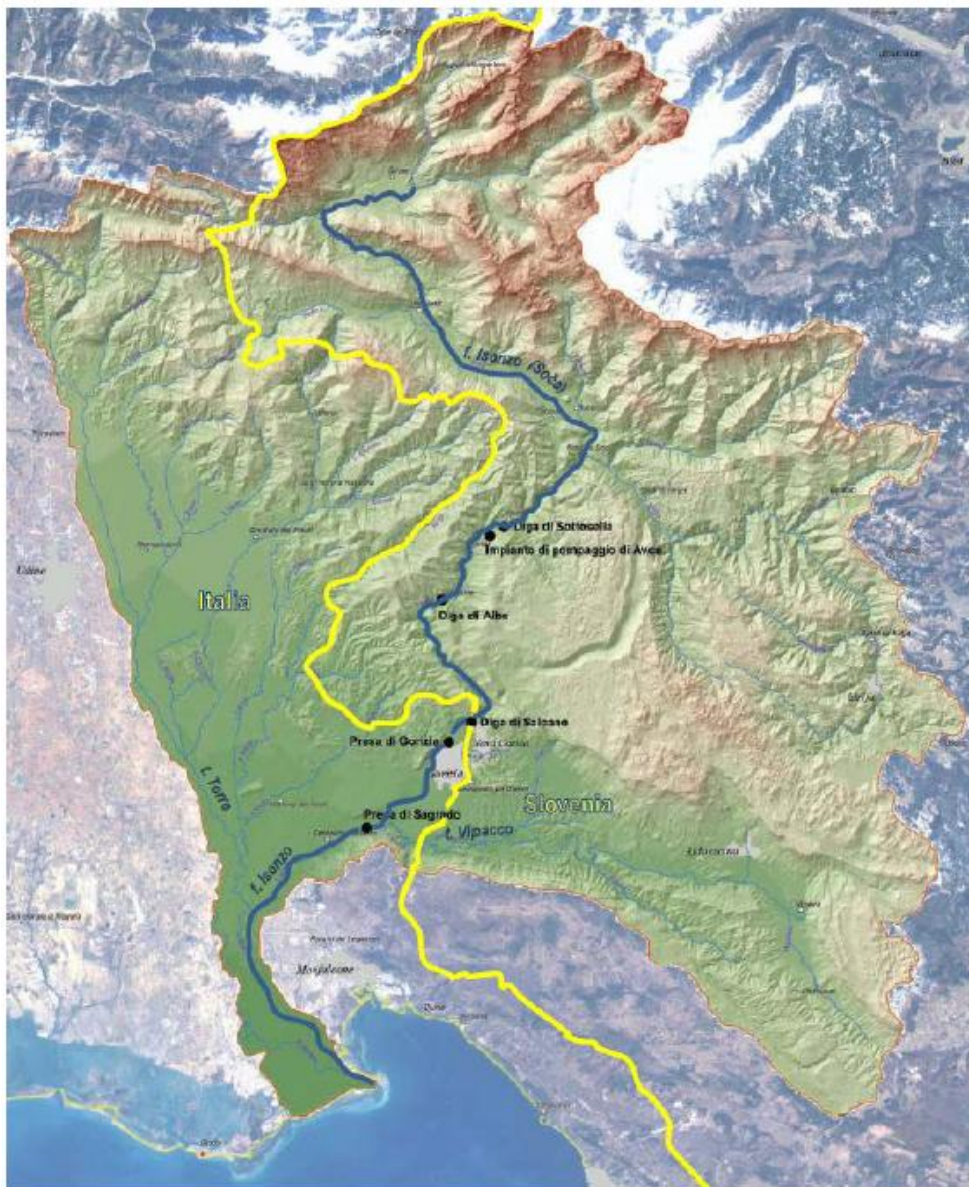


Figura 2. Fiume Isonzo: bacino idrografico.

Di carattere prettamente torrentizio, il Fiume Isonzo raccoglie e scarica le acque del versante meridionale delle Alpi Giulie, che separano questo bacino da quello della Sava. La parte settentrionale del bacino è costituita prevalentemente da calcari e dolomie, poi da calcari cretaci spesso cristallini o brecciati che sono rocce permeabili per carsismo e per fessurazione. Nei dintorni di Gorizia, le formazioni calcaree vengono sostituite da rocce marnoso-arenacee, a permeabilità molto bassa, che si estendono verso ovest, formando le colline del Collio. La fascia di pianura che si estende ai piedi di questi livelli eocenici è ugualmente impermeabile, perché costituita da sedimenti fini e da argille di origine colluviale. La restante parte di alta pianura, fino alla confluenza con il Vipacco, è interessata da alluvioni del Quaternario, prevalentemente calcaree e spesso ferrettizzate in superficie, in profondità sono eccezionalmente cementate ed intercalate, localmente, con livelli sabbiosi. Dopo la confluenza con il Vipacco il territorio del bacino isontino è interessato, in sponda sinistra, dall'altopiano carsico e, in sponda destra, dalla continuazione dei terreni dell'alta pianura, costituiti dai conoidi dell'Isonzo e del Torre; più a valle si hanno alluvioni sabbiose ed argillose di origine recente e poco permeabili, che continuano fino al mare.

Il corso d'acqua del fiume Isonzo ha uno sviluppo complessivo di 140 km di cui circa 100 km sono in territorio sloveno. Il corso principale dell'Isonzo ha origine ad Ovest del monte Triglav (2683 m) nella valle di Trenta. Prima dell'abitato di Bovec il Fiume Isonzo riceve in destra il primo affluente di una certa importanza, il Koritnica, che nasce a 1450 m slm alle pendici del Monte Mangarat (2667 m slm). Procedendo verso valle l'Isonzo riceve, sempre in destra, le acque dell'Uccea, la cui sorgente si trova in territorio italiano nella val di Resia. Scendendo ancora lungo l'asta principale si immettono in sinistra dapprima il Tolminska e poi il principale affluente dell'Isonzo in territorio sloveno: l'Idrijca. Questo importante corso d'acqua, che nasce nella selva di Tarnova, è a sua volta alimentato dei torrenti Hatenia, Cerknica, Trebusa, Boca. Proseguendo verso valle per circa 30 km il fiume raggiunge l'abitato di Nova Gorica per poi entrare in territorio italiano.

Entrato in territorio italiano, il Fiume Isonzo, pochi chilometri a valle dell'abitato di Gorizia, riceve in sinistra idrografica, le acque del Vipacco, il cui bacino montano, interamente in territorio sloveno e di estensione pari a circa 500 km², può considerarsi chiuso nei pressi dell'abitato di Miren dove è posizionata una stazione di misura dei livelli. L'ultimo e più importante affluente del Fiume Isonzo è il Torrente Torre che vi confluisce nei pressi degli abitati di Turriaco e Pieris, entrambi in provincia di Gorizia.

Il Torrente Torre raccoglie a sua volta le acque del Cornappo, situato in territorio nazionale, del Natisone e dello Judrio che hanno parte del loro bacino in territorio sloveno. Il torrente Torre nasce nella valle di Musi, ai piedi di un versante montuoso di dolomie calcaree. Per circa 2 km scorre all'interno di una forra profondamente incisa ed interessata da fenomeni di incarsimento, ricevendo prima i contributi del torrente Mea e quindi, in destra, quelli del Vedronza.

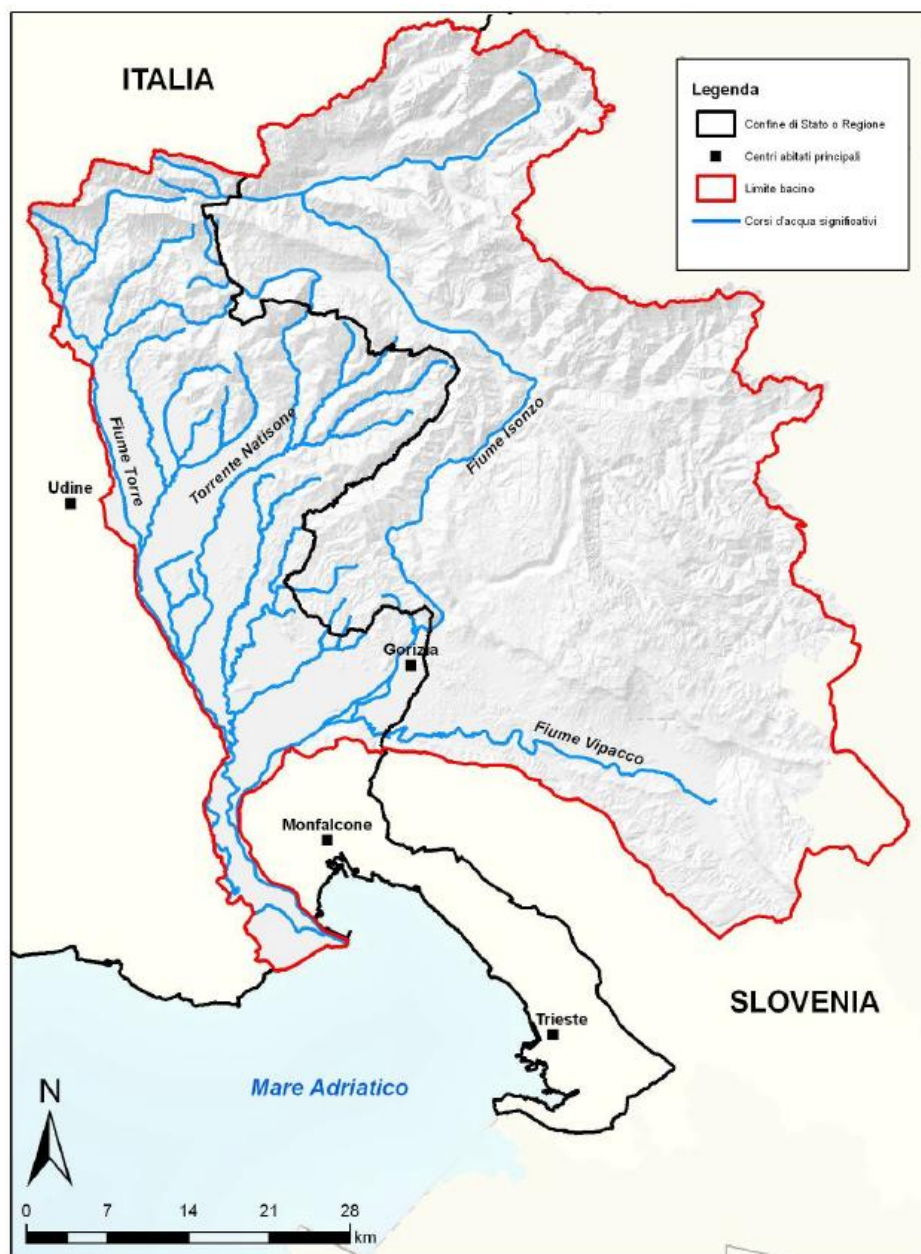


Figura 3. Bacino idrografico del Fiume Isonzo: principali corsi d'acqua/affluenti.

Con riferimento alla variante ferroviaria in progetto, che attraversa il Fiume Isonzo nei pressi di Pieris dopo la confluenza del Torrente Torre, l'area di studio è costituita dall'asta fluviale compresa nel tratto tra la diga di Salcano (al confine di stato tra Italia e Slovenia) e la foce a Monfalcone, tratto in cui oltre alle acque del Torrente Torre, il F. Isonzo riceve anche le acque del Torrente Vipacco.

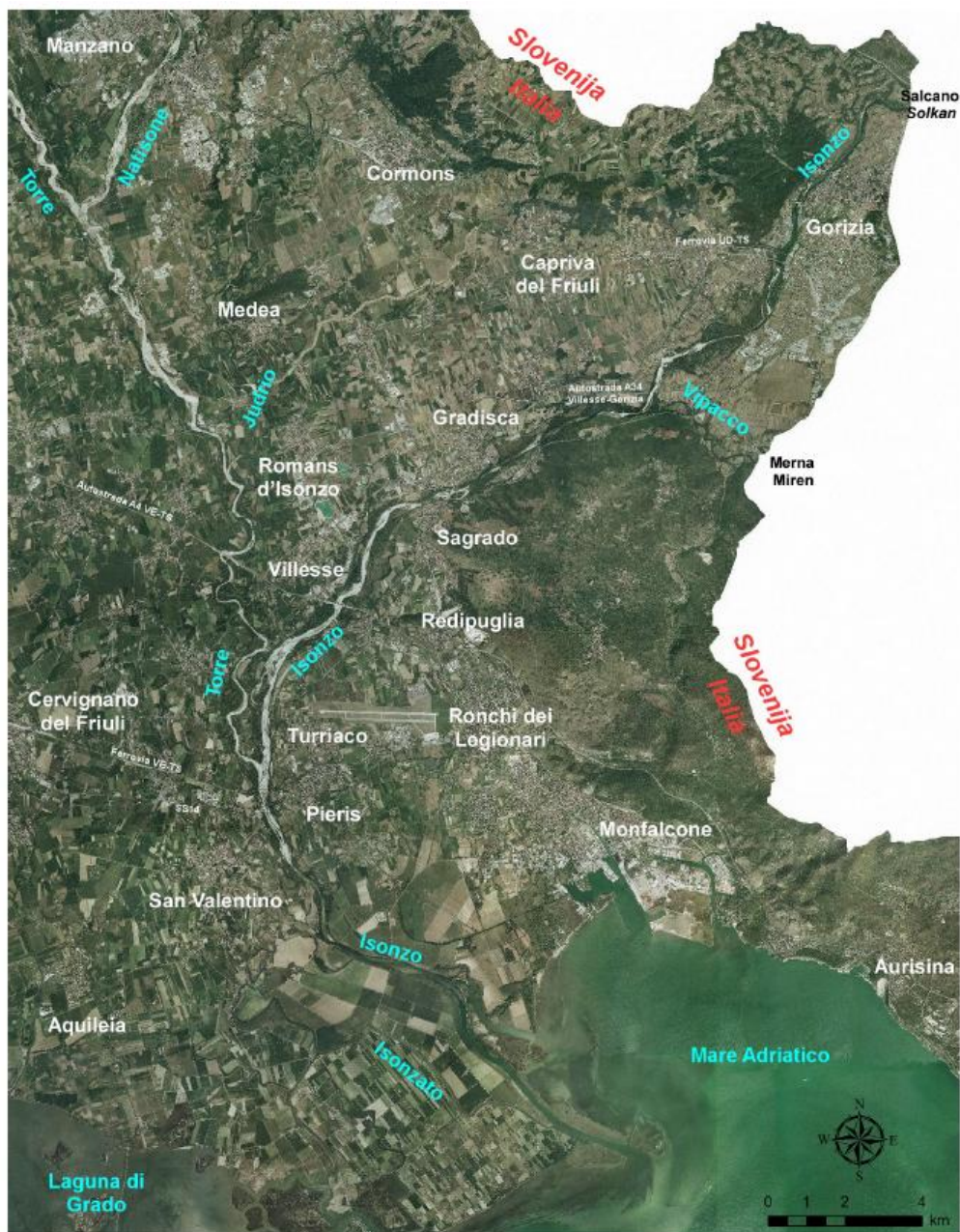


Figura 4. Bacino idrografico del Fiume Isonzo: area di studio.

4 ANALISI IDROLOGICA

A causa della complessità del sistema idrografico che caratterizza il *Fiume Isonzo*, con bacino (a carattere transfrontaliero) suddiviso tra territorio italiano e sloveno nonché in presenza di numerose opere di regolazione (dighe/sbarramenti/traverse) lungo il suo sviluppo, stime per via indiretta delle portate al colmo (sulla base di dati di pioggia, comunque non disponibili o facilmente reperibili) appaiono poco affidabili e rappresentative. Si è fatto pertanto riferimento ai seguenti dati/studi:

- “*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 CAMIS “*Coordinated Activities for Management of Isonzo-Soca*” (attività coordinate per la gestione del Fiume Isonzo), nel quadro di cooperazione transfrontaliera Italia – Slovenia, 2007-2013 (dati ricavabili: portate al colmo e idrogrammi di piena del Fiume Isonzo, del Torrente Torre e del Torrente Vipacco nel tratto fluviale in cui si inserisce la “*nuova*” variante ferroviaria);
- dati di portata (valori massimi annuali) del Fiume Isonzo registrati nel periodo 1980 – 2017 in corrispondenza della Diga di Salcano, forniti da Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – *Settore Difesa del Suolo e Prevenzione*;
- dati di portata (e idrogrammi di piena di riferimento) dei corsi d’acqua Torrente Torre e Torrente Vipacco forniti dall’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali.

I tempi di ritorno di riferimento considerati nel presente studio sono **30, 100, 200, 300 anni**, in accordo alla definizione delle aree di pericolosità idraulica nell’ambito del P.A.I./P.G.R.A. (*pericolosità alta, P3 – 30 anni; pericolosità media, P2 – 100 anni; pericolosità bassa, P1 – 300 anni*), nonché alle NTC2018 e al Manuale di Progettazione Ferroviaria (200 anni = tempo di ritorno di progetto).

4.1 Progetto CAMIS - “*Studio Idrodinamico a Fondo Mobile del Fiume Isonzo*”

Con riferimento all’area di studio descritta nel capitolo precedente, dallo “*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 CAMIS è possibile estrarre i valori di portata al colmo, ed i relativi idrogrammi di piena, del *Fiume Isonzo a Salcano*, del *Torrente Vipacco a Savogna*, del *Torrente Torre a Villesse*, per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 anni.

Portate di massima piena con diversi tempi di ritorno			
	Q_{50} (m ³ /s)	Q_{100} (m ³ /s)	Q_{200} (m ³ /s)
Isonzo a Salcano	2303	2462	2600
Vipacco a Savogna	361	379	394
Torre a Villesse	2330	2589	2789

Tabella 1. Bacino del Fiume Isonzo: portate al colmo per $Tr = 50, 100, 200$ anni (fonte: Progetto CAMIS).

Per interpolazione lineare, possono essere ricavati i valori di portata al colmo anche per i tempi di ritorno di 30 e 300 anni, ed i corrispondenti idrogrammi di piena scalando opportunamente gli idrogrammi forniti nello studio di riferimento, di seguito riportati.

Corso d'acqua	Q_{30} (m ³ /s)	Q_{300} (m ³ /s)
<i>Isonzo (a Salcano)</i>	2197.1	2690.4
<i>Vipacco (a Savogna)</i>	349.3	404.2
<i>Torre (a Villesse)</i>	2170.7	2933.1

Tabella 2. Portate al colmo di T. Torre, T. Vipacco e F. Isonzo, per $Tr = 30, 300$ anni.

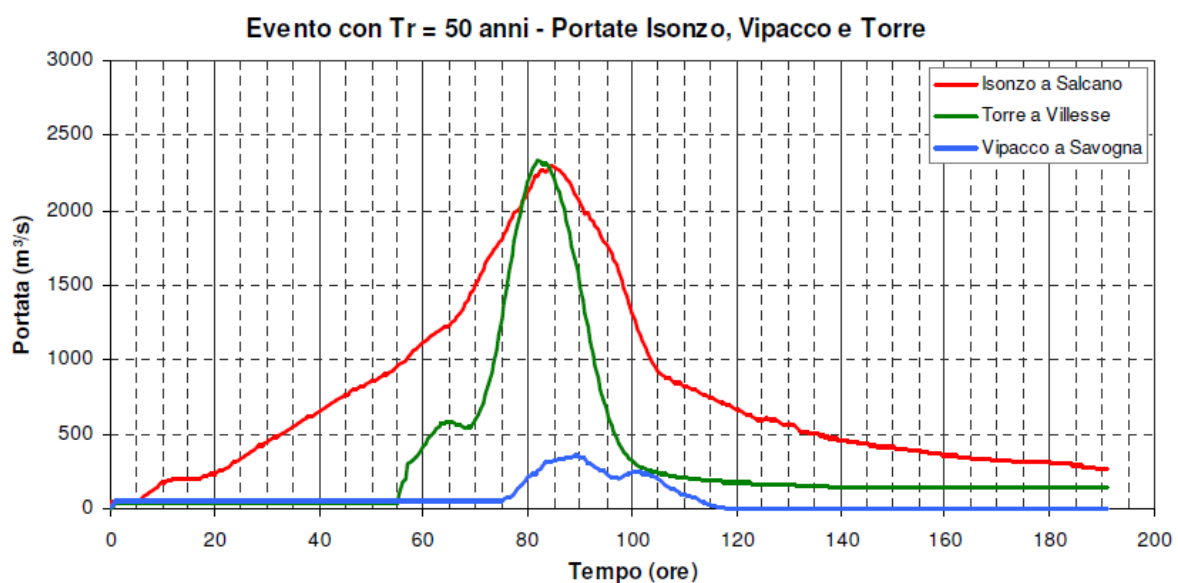


Figura 5. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per $Tr = 50$ anni (fonte: Progetto CAMIS).

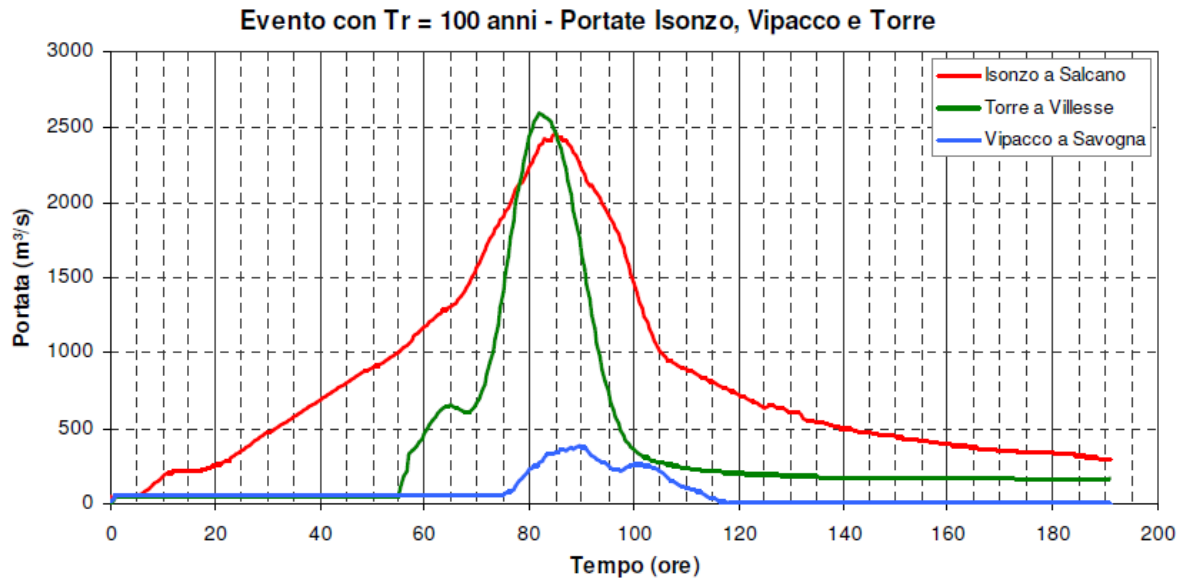


Figura 6. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 100 anni (fonte: Progetto CAMIS).

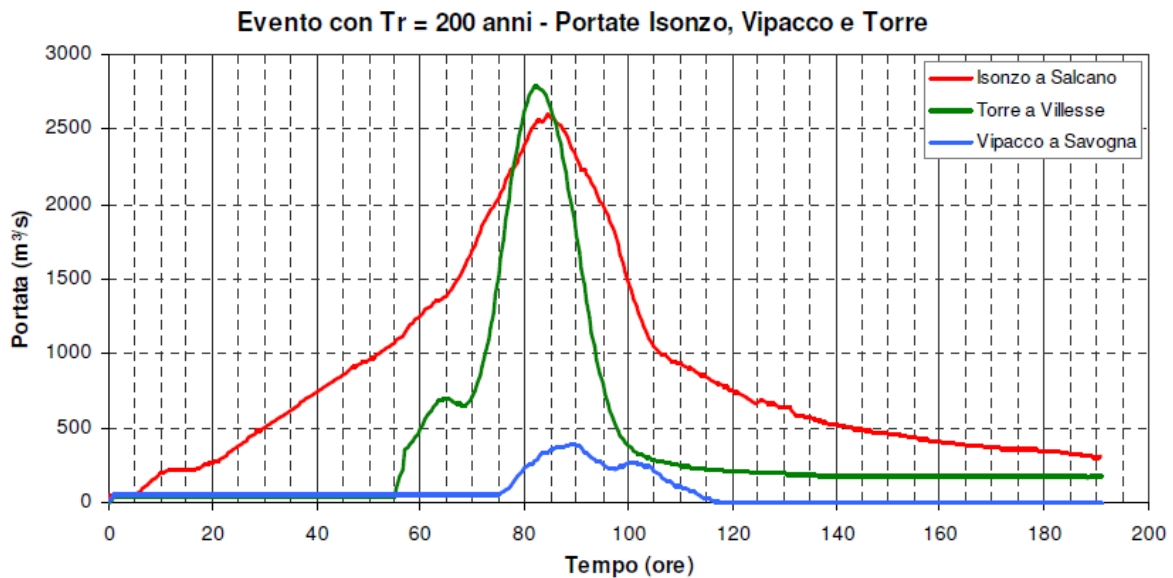


Figura 7. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 200 anni (fonte: Progetto CAMIS).

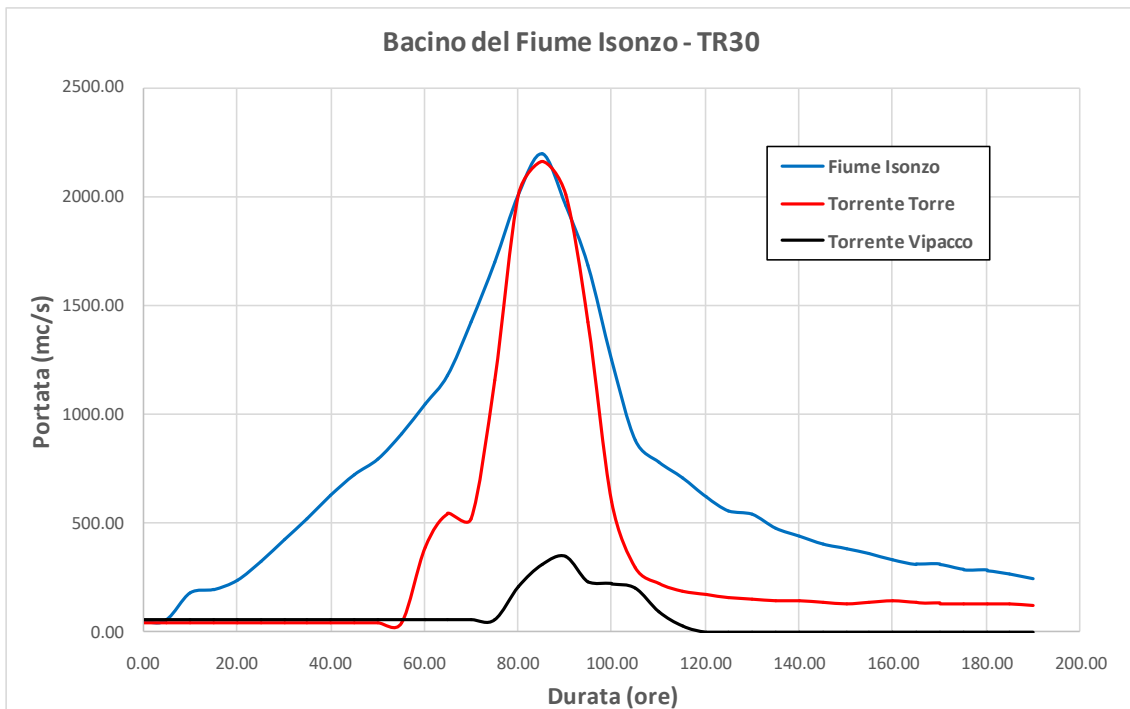


Figura 8. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 30 anni.

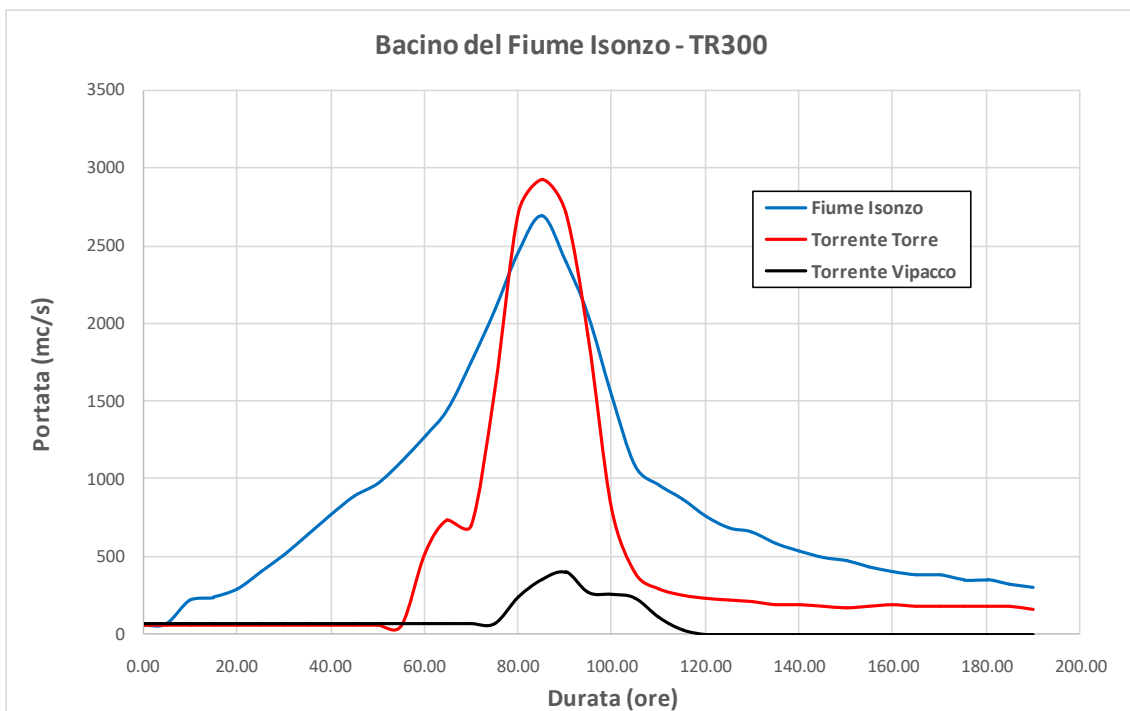


Figura 9. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, per Tr = 300 anni.

Nello studio sviluppato nell'ambito del Progetto CAMIS, sono riportati anche gli idrogrammi di piena di F. Isonzo, T. Torre e T. Vipacco relativi all'evento del 26/10/2012 - 09/11/2012 (il più gravoso, in termini di portata massima, nel periodo 2003-2014). Anche questi idrogrammi di piena sono stati presi in considerazione ai fini della calibrazione e della verifica della bontà del modello numerico sviluppato (cfr. IZ0440R09RIID0002001A).

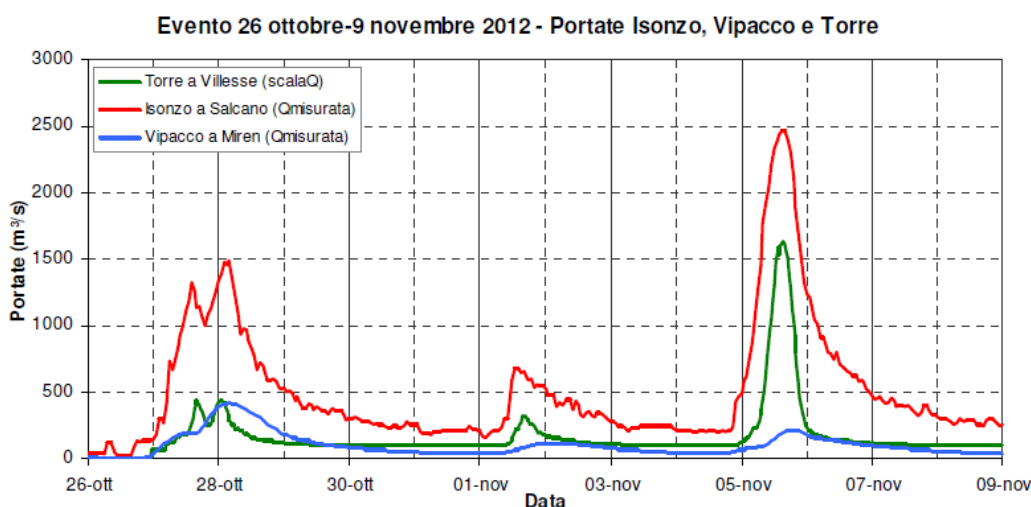


Figura 10. Idrogrammi dei corsi d'acqua Isonzo, Torre, Vipacco, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).

Nello specifico, oltre agli idrogrammi di piena, sono stati considerati anche il livello di marea alla foce e i livelli idrometrici misurati a Turriaco e Pieris (fonte: CAMIS), così come riportati nelle figure seguenti.

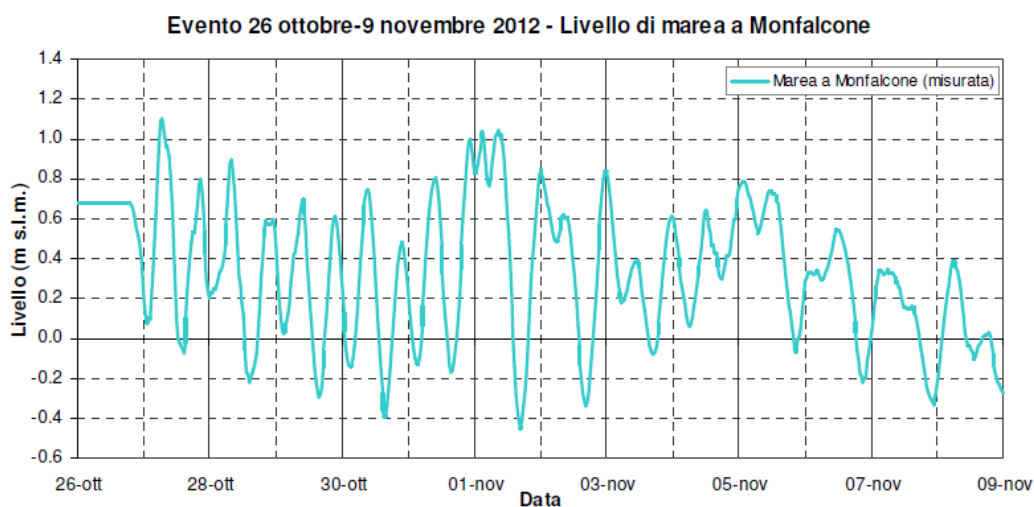


Figura 11. Livello di marea alla foce del Fiume Isonzo, evento 2012 (fonte: Progetto Camis).

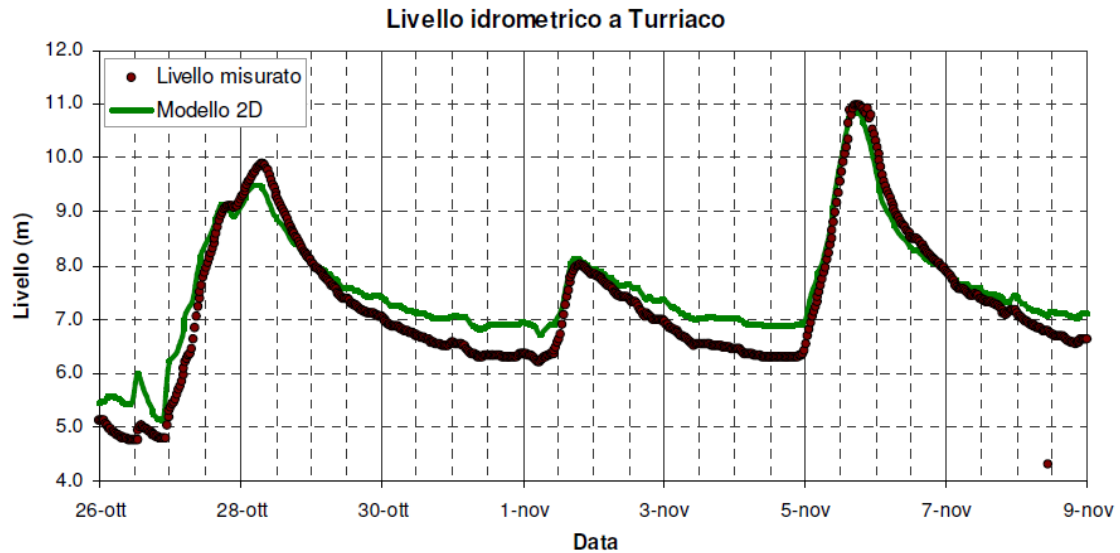


Figura 12. Livello idrometrico a Turriaco (misurato e da modello 2D sviluppato nell'ambito del progetto CAMIS), evento 26/10/2012 - 09/11/2012.

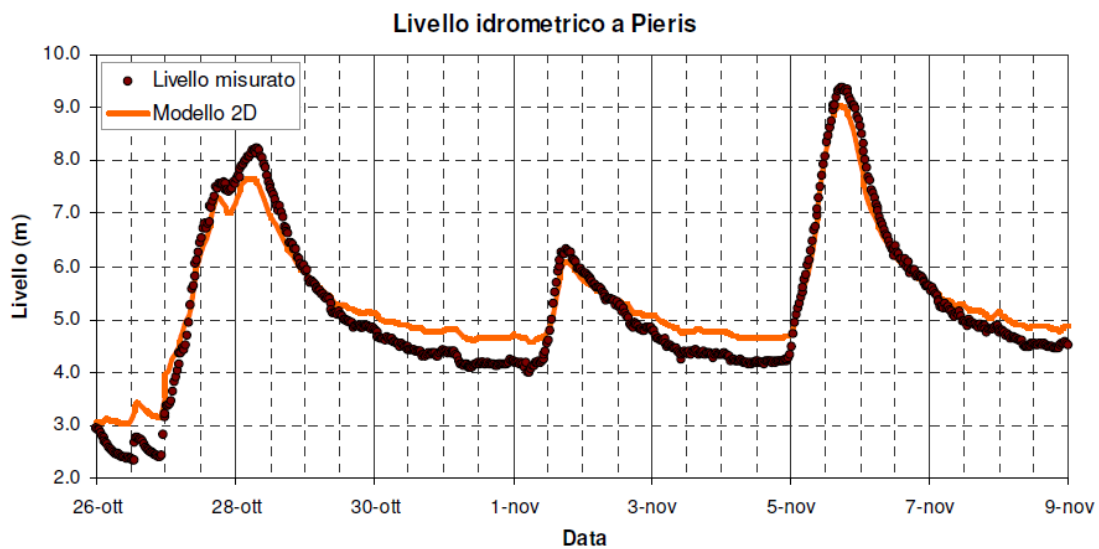


Figura 13. Livello idrometrico a Pieris, (misurato e da modello 2D sviluppato nell'ambito del progetto CAMIS), evento 26/10/2012 - 09/11/2012.

4.2 Elaborazione statistica delle registrazioni idrometriche: *Fiume Isonzo a Salcano*

Sono stati acquisiti da Regione Friuli Venezia Giulia – *Settore Difesa del Suolo e Prevenzione*, i valori delle portate massime annuali, registrati presso la Diga di Salcano sul Fiume Isonzo (cfr. Tabella 3, Figura 14), nel periodo **1980 – 2017** (numero osservazioni = **37**).

Anno	Q _{max} (m ³ /s)	Anno	Q _{max} (m ³ /s)
1980	1856	1999	884.9
1981	1177	2000	1783
1982	2066	2001	1330.6
1983	1275	2002	972.9
1984	1362	2003	720.7
1985	1750	2005	485.5
1986	1844	2006	1219
1987	1452	2007	854.6
1988	951	2008	1085
1989	850	2009	2286.9
1990	1997	2010	1854
1991	949	2011	1049.9
1992	1804	2012	2507.7
1993	1367	2013	1357.2
1994	1114.9	2014	1488.5
1995	1586.4	2015	1068.8
1996	1493.4	2016	1815.9
1997	1641.7	2017	2230.8
1998	2015.1		

Tabella 3. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima annuale (periodo 1980-2017).

Tali dati sono stati quindi elaborati statisticamente ricorrendo alle seguenti distribuzioni di probabilità:

– *Gumbel*

$$Q_{\max} = \xi - \frac{1}{\alpha} \left\{ \ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \right\}$$

con Q_{\max} = portata massima annuale, corrispondente ad un determinato tempo di ritorno Tr , $\xi = \mu - 0.45 \cdot \sigma$; $\alpha = 1.283/\sigma$ (μ = media; σ = scarto quadratico medio)

– Fuller & Coutagne

$$Q_{\max} = q \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{b \cdot q} \log_{10} [TR] \right\}$$

con $q = \mu \cdot \sigma$; $b = 0.434/\sigma$.

che risultano (secondo i test di adattamento più comuni, *Chi-quadrato*, *Kolmogorov-Smirnov*) abbastanza rappresentative del campione di dati in esame.

Ai fini dell'applicazione delle distribuzioni di probabilità sopra introdotte, sono valutati quindi la media (μ) e lo scarto quadratico medio (σ) del campione dei dati a disposizione: $\mu = 1447.2 \text{ mc/s}$; $\sigma = 476$.

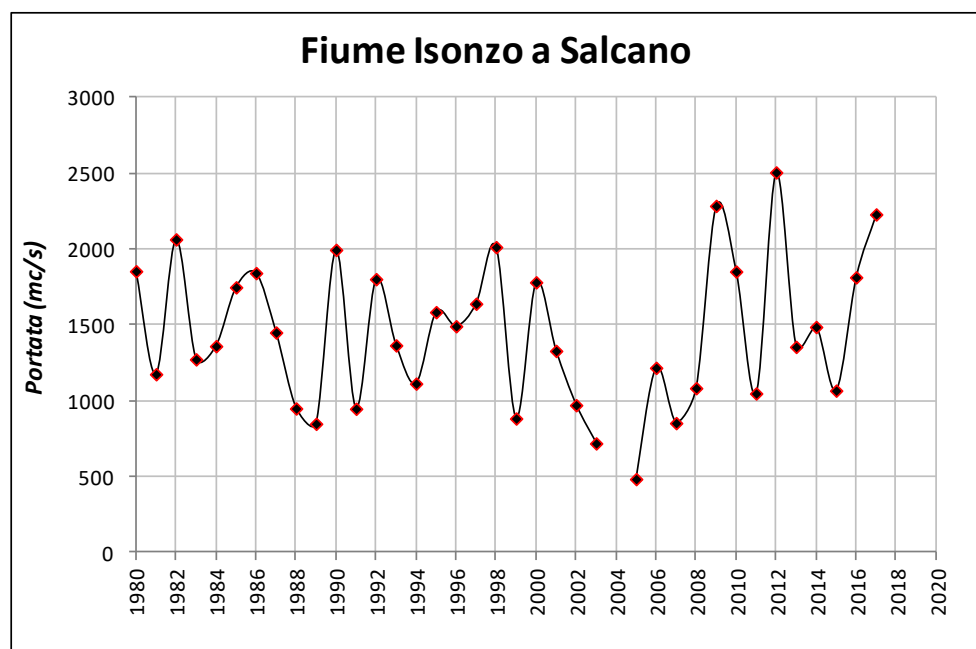


Figura 14. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima annuale (periodo 1980-2017).

Sono stati quindi ricavati i valori di portata massima al colmo, per differenti tempi di ritorno, secondo le distribuzioni di probabilità di *Gumbel* e *Fuller & Coutagne*, così come riportati nella tabella seguente.

Tr (anni)	Q_{max} (m^3/s) [Gumbel]	Q_{max} (m^3/s) [Fuller & Coutagne]
30	2489.6	2592.4
50	2681.8	2835.9
100	2941.1	3166.4
200	3199.5	3496.9
300	3350.3	3690.2

Tabella 4. Fiume Isonzo a Salcano: valori di portata massima al colmo (Q_{max}), per differenti tempi di ritorno, secondo le distribuzioni di probabilità di Gumbel e Fuller & Coutagne.

Nella figura sottostante, si riporta il confronto tra i valori di portata al colmo del Fiume Isonzo a Salcano riportati in Tabella 4 e quelli ricavati dallo studio condotto nell'ambito del Progetto CAMIS sopra descritto.

Quelli derivanti dall'elaborazione statistica dei dati di portata registrati a Salcano (ed in particolare secondo la distribuzione di Fuller & Coutagne) sono superiori (fino al +30-40%) rispetto a quelli indicati nello studio a corredo del Progetto CAMIS.

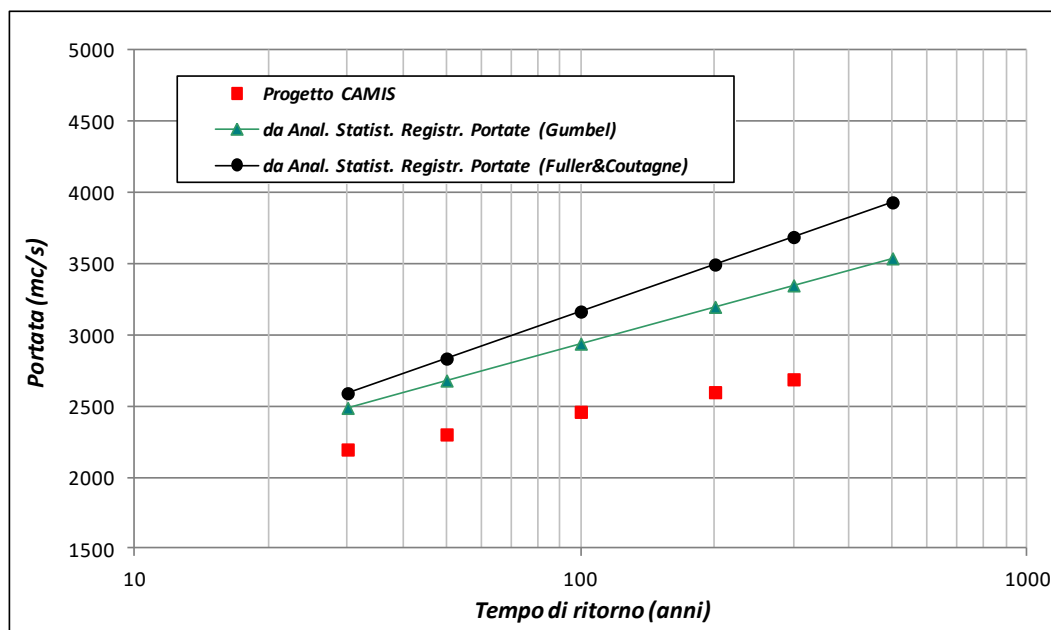


Figura 15. Fiume Isonzo a Salcano: confronto tra i valori di portata massima al colmo derivanti dall'analisi statistica dei dati di portata e quelli indicati nello studio a corredo del Progetto CAMIS.

4.3 Disamina e applicazione dei dati forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali

A seguito di formale richiesta, sono stati acquisiti dall'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali i dati idrologici attualmente a disposizione per il bacino del *Fiume Isonzo*.

Nello specifico, sono stati acquisiti gli idrogrammi sintetici di piena, derivanti da modellistica idrologica, relativi ai tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni, in corrispondenza di particolari nodi idrologici, ubicati all'interno dei bacini del *Torrente Torre* (n. 51 nodi idrologici) e del *Torrente Vipacco* (n. 12 nodi idrologici) (Figura 16), con l'indicazione di applicarli all'interno di un modello numerico bidimensionale.

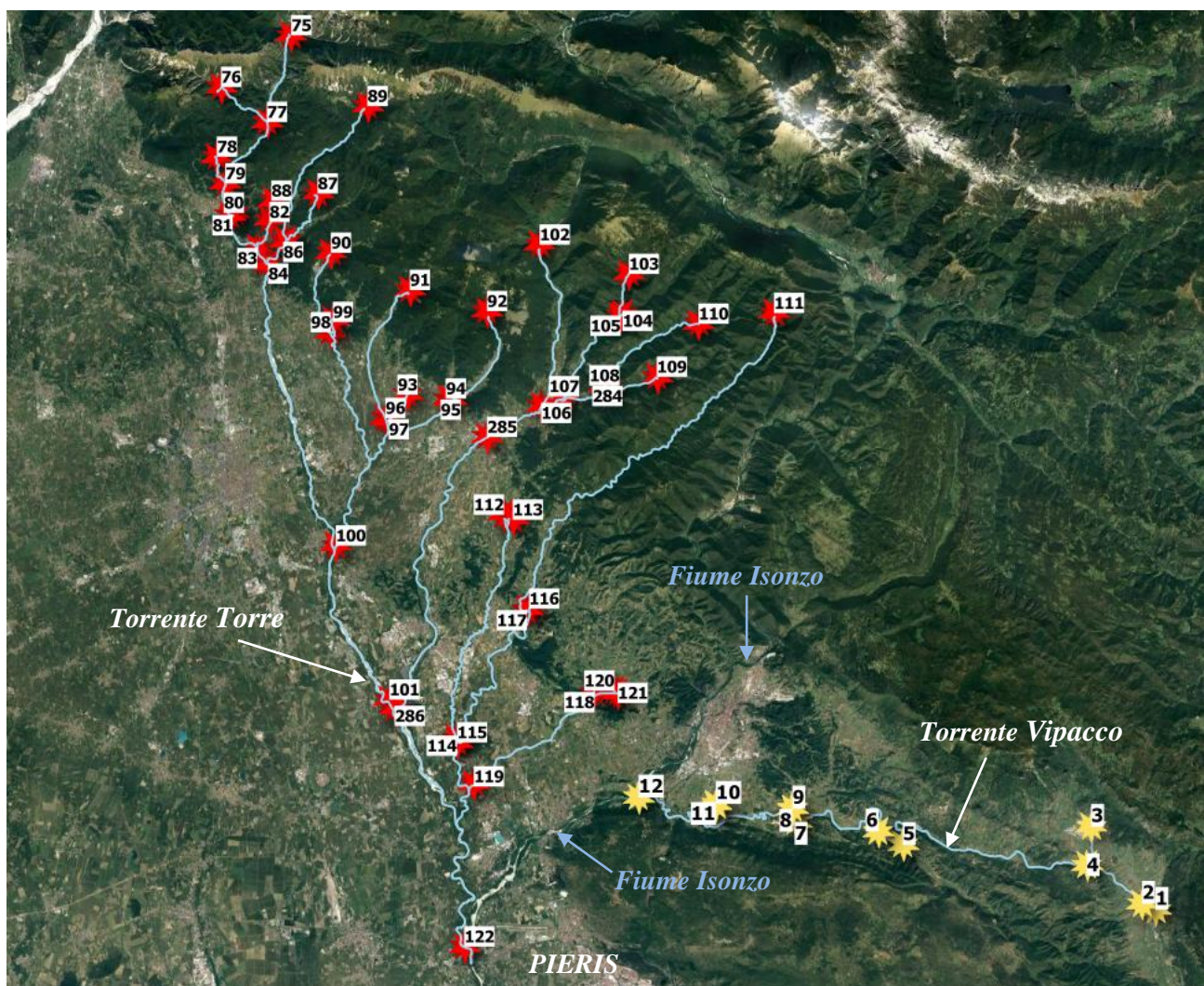


Figura 16. Torrente Torre e Torrente Vipacco: nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A

L'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali ha precisato inoltre quanto segue:

- gli idrogrammi acquisiti derivano da analisi ed elaborazioni numeriche svolte nell'ambito della redazione del Piano di gestione del Rischio di Alluvioni; il loro campo d'impiego è pertanto definito dalle ipotesi modellistiche di partenza e dai dati in ingresso utilizzati nel citato Piano
- gli idrogrammi forniti si riferiscono a ietogrammi caratterizzati da durate di pioggia di 24 ore e forma delle precipitazioni monotona crescente. Tali caratteristiche se da una parte non portano a considerare i valori al colmo massimi per i singoli sottobacini, dall'altra sono cautelative da un punto di vista dei volumi di piena. Tale considerazione risulta fondamentale, in particolare, nell'ambito della pianificazione di bacino in quanto ottimizza i volumi mantenendo coerenti gli ordini di grandezza dei differenti valori al colmo. Si rappresenta tuttavia che tale durata di precipitazione può **non** risultare cautelativa ai fini della progettazione di opere idrauliche e infrastrutturali.

Nelle figure seguenti sono mostrati gli idrogrammi di piena corrispondenti ai nodi idrologici sopra descritti, per i tre tempi di ritorno di riferimento (30, 100, 300 anni) definiti nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali.

Si osserva che gli idrogrammi di piena forniti sono caratterizzati dall'aver il medesimo tempo/istante in cui si verifica il colmo di piena ($t_c = 26$ ore).

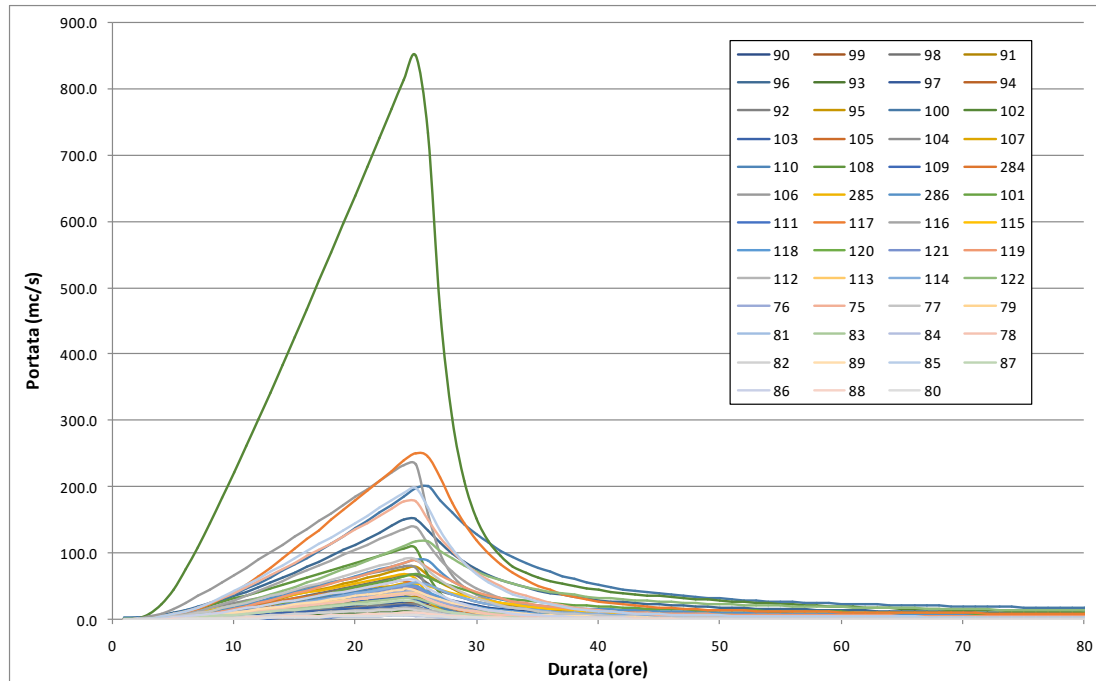


Figura 17. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr300) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

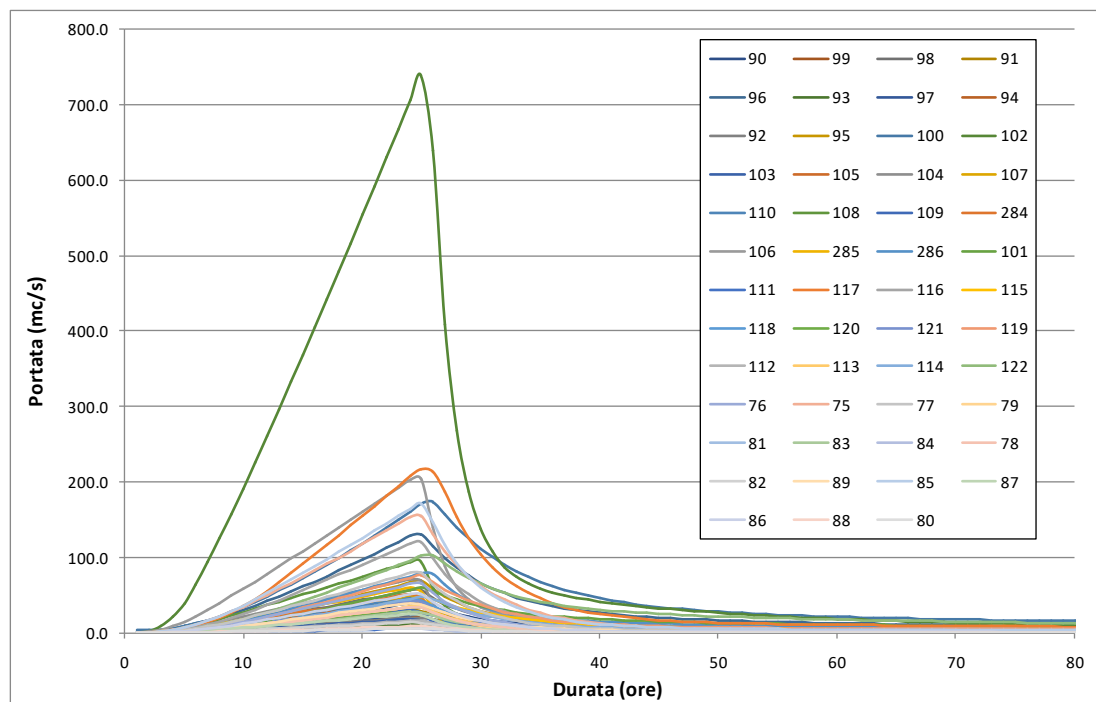


Figura 18. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr100) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

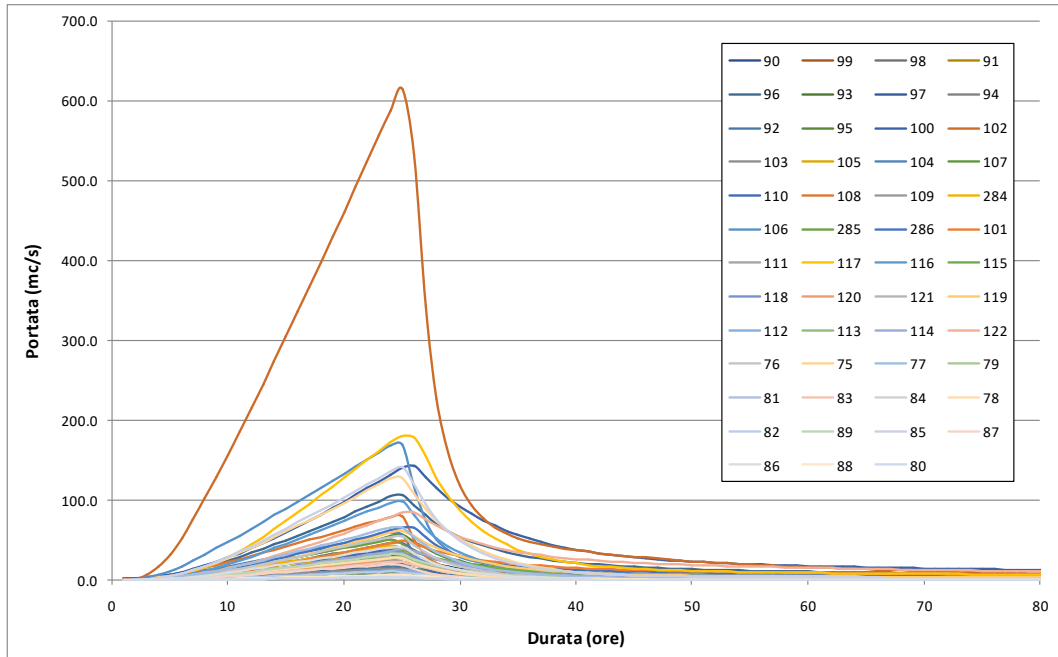


Figura 19. T. Torre: idrogrammi di piena (Tr30) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

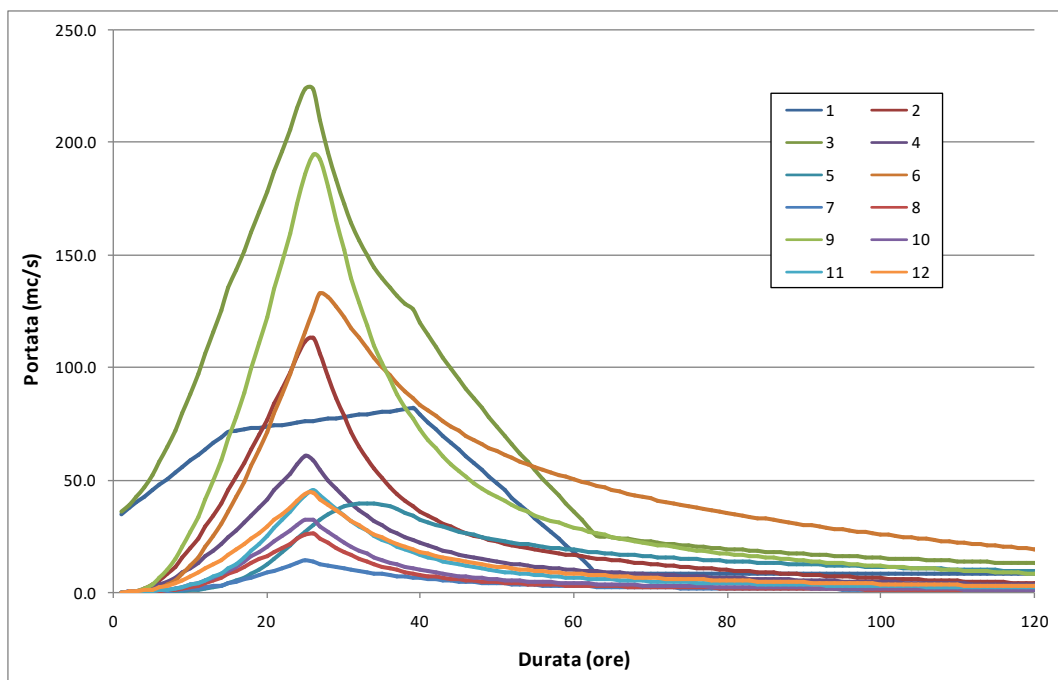


Figura 20. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr30) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

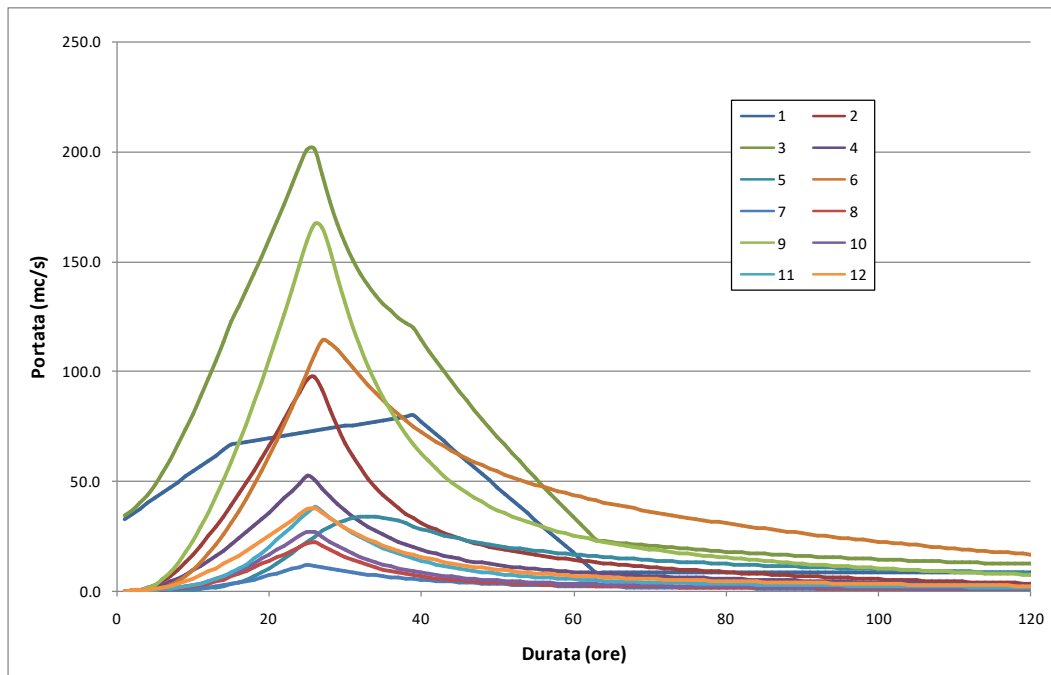


Figura 21. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr100) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

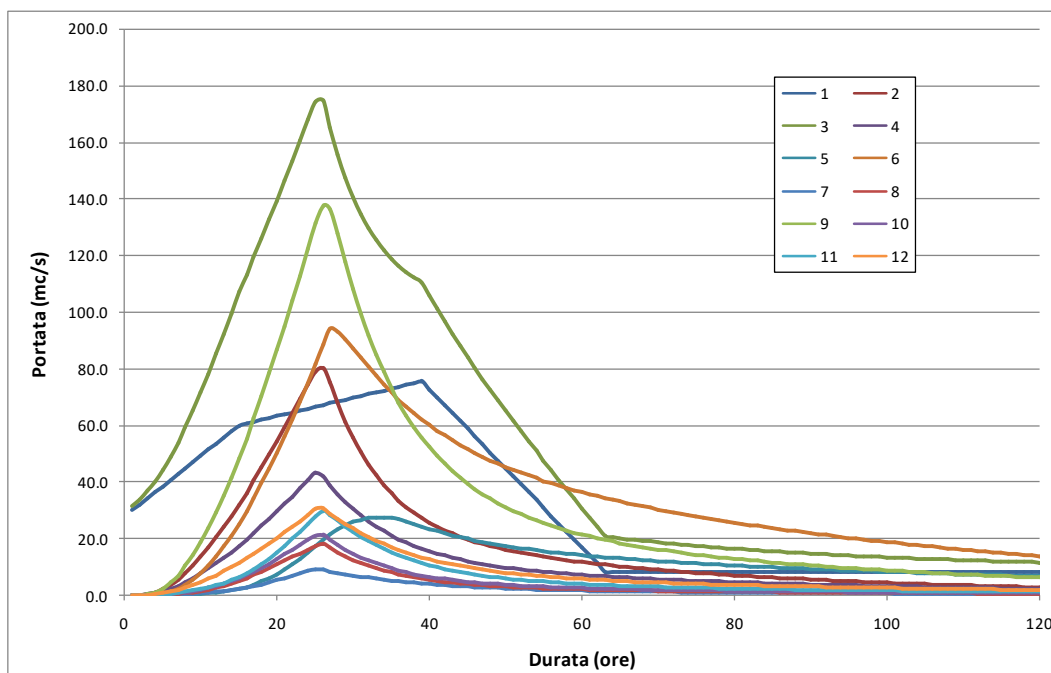


Figura 22. T. Vipacco: idrogrammi di piena (Tr30) nei nodi idrologici analizzati nell'ambito del P.G.R.A..

Come indicato dall’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali, si è proceduto all’implementazione di un modello numerico bidimensionale in cui applicare gli idrogrammi di piena forniti e simularne la propagazione lungo le aste fluviali dei torrenti Torre e Vipacco. A tale scopo, sono stati sviluppati due modelli numerici bidimensionali (2D) distinti per i due torrenti, indipendenti anche dal modello “completo”, che considera contestualmente il contributo idrologico del *Fiume Isonzo* (in analogia al modello numerico 2D implementato nell’ambito del Progetto CAMIS), finalizzato alla valutazione di compatibilità idraulica del nuovo scavalco in progetto nell’ambito della variante ferroviaria (cfr. IZ0440R09RIID0002001A).

Nello specifico, la procedura che si intende seguire prevede di implementare due modelli distinti per Torrente Vipacco e Torrente Torre, “*chiusi*” poco prima della loro confluenza nel Fiume Isonzo, da cui estrarre (nella sezione finale) i corrispondenti idrogrammi di piena da inserire/considerare nel modello “completo”. Si è scelto di procedere secondo tale metodologia per motivi computazionali e di gestione dei risultati, in ragione della notevole estensione dei tratti fluviali da indagare: circa 350 km di asta fluviale del Torrente Torre e circa 50 km di asta fluviale del Torrente Vipacco (che nel modello “completo” dovrebbero poi unirsi agli ulteriori circa 50 km di asta fluviale del Fiume Isonzo, dalla diga di Salcano alla foce a Monfalcone).

Si è proceduto quindi all’implementazione dei due modelli numerici 2D dei torrenti Torre e Vipacco mediante l’utilizzo del codice di calcolo *InfoWorks ICM 9.0*, sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK). Un’ampia descrizione delle caratteristiche del software e delle equazioni differenziali che governano la propagazione delle onde di piena è riportata nella relazione idraulica annessa (rif. IZ0440R09RIID0002001A), alla quale si rimanda per maggiori dettagli.

Le caratteristiche geometriche dei due domini di calcolo sono riportate all’interno del modello 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. La geometria del modello 2D è stata implementata utilizzando i seguenti dati topografici disponibili per l’area di studio:

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito da Regione Friuli Venezia Giulia (relativamente al Torrente Torre);

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito da ARSO (*Agenzia per l'Ambiente della Repubblica Slovena*), relativamente al T. Vipacco, il cui bacino si estende principalmente in territorio sloveno (http://gis.arso.gov.si/evode/profile.aspx?id=atlas_voda_Lidar@Arso&culture=en-US).

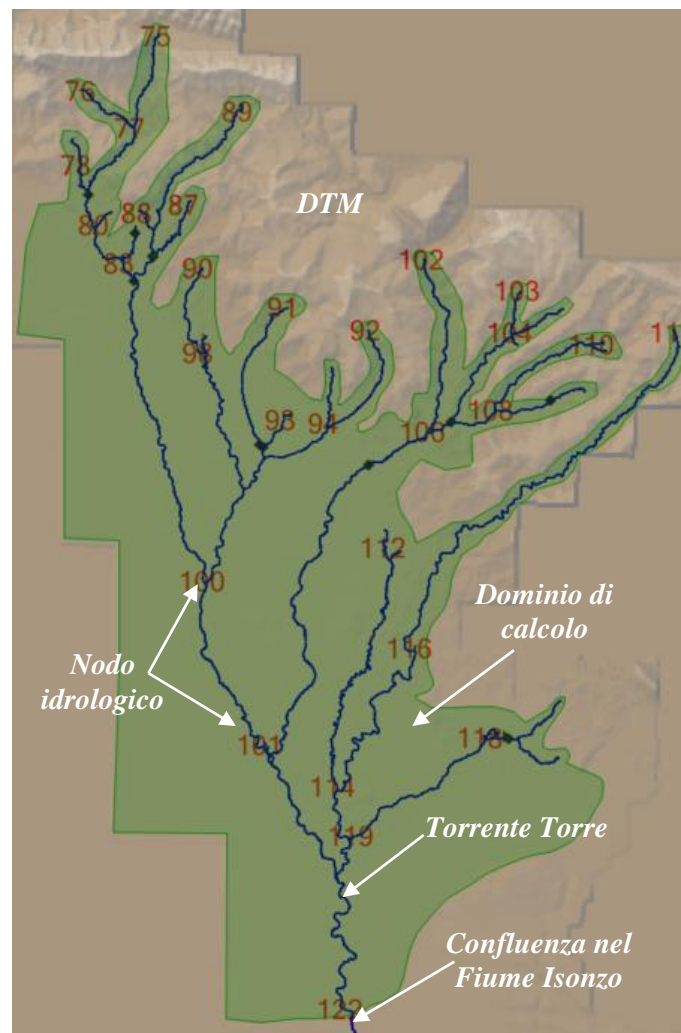


Figura 23. Torrente Torre, modello numerico 2D: dominio di calcolo.

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.

In particolare, la creazione della mesh (**superficie totale del dominio di calcolo = 90000 ha circa per il Torrente Torre e 4000 ha circa per il Torrente Vipacco**) è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 500 m^2 e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 100 m^2 . Gli infittimenti della mesh (alveo inciso) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 100 m^2 e una dimensione minima di 25 m^2 (Figura 23, Figura 24).



Figura 24. Torrente Vipacco, modello numerico 2D: dominio di calcolo.

I coefficienti di resistenza del fondo, necessari per completare la descrizione idraulica del sistema, sono stati assunti sulla base della letteratura tecnica e di precedenti esperienze in aree analoghe. Si è pertanto adottato un coefficiente di scabrezza secondo Manning pari a $n = 0.030$ per gli alvei dei corsi d'acqua e per i canali, e $n = 0.05$ per le zone golenali e per le aree esterne ai corsi d'acqua, valori presumibilmente anche bassi/modesti, ma scelti con lo scopo di ridurre eventualmente le esondazioni lungo le aste fluviali e quindi massimizzare le portate nei tratti vallivi.

Per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nei due modelli numerici 2D sviluppati, è stata assegnata la condizione "Inflow" in corrispondenza dei nodi idrologici considerati, applicando gli idrogrammi di piena sopra introdotti, associati ad un determinato tempo di ritorno. A valle, in uscita dai modelli, è stata assegnata invece la condizione di "Normal depth" (moto uniforme).

Sono stati simulati inoltre i seguenti scenari:

- **scenario 1)**, idrogrammi di piena nei nodi idrologici considerati così come forniti dall’Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali (i.e. con tempo/istante in cui si verifica il colmo di piena coincidente per tutti i nodi);
- **scenario 2)**, idrogrammi di piena nei nodi idrologici considerati “*sfalsati*” di un intervallo temporale pari al tempo di percorrenza/corrivazione del tratto fluviale compreso tra un dato nodo idrologico e il nodo idrologico più valle, ubicato subito prima della confluenza nel Fiume Isonzo (nodo n. 122 per il T. Torre; nodo n. 12 per il T. Vipacco). Il tempo di percorrenza/corrivazione è valutato come L / v , con L = lunghezza dell’asta fluviale, v = velocità media in alveo, assunta per questo scenario pari a 1 m/s;
- **scenario 3)**, analogo allo scenario 2, ma per la valutazione del tempo di percorrenza è stato adottato $v = 2$ m/s.

A titolo di esempio, nelle figure seguenti si riportano gli idrogrammi di piena (*Tr300*) applicati nei nodi idrologici del T. Torre e del T. Vipacco nello scenario 2).

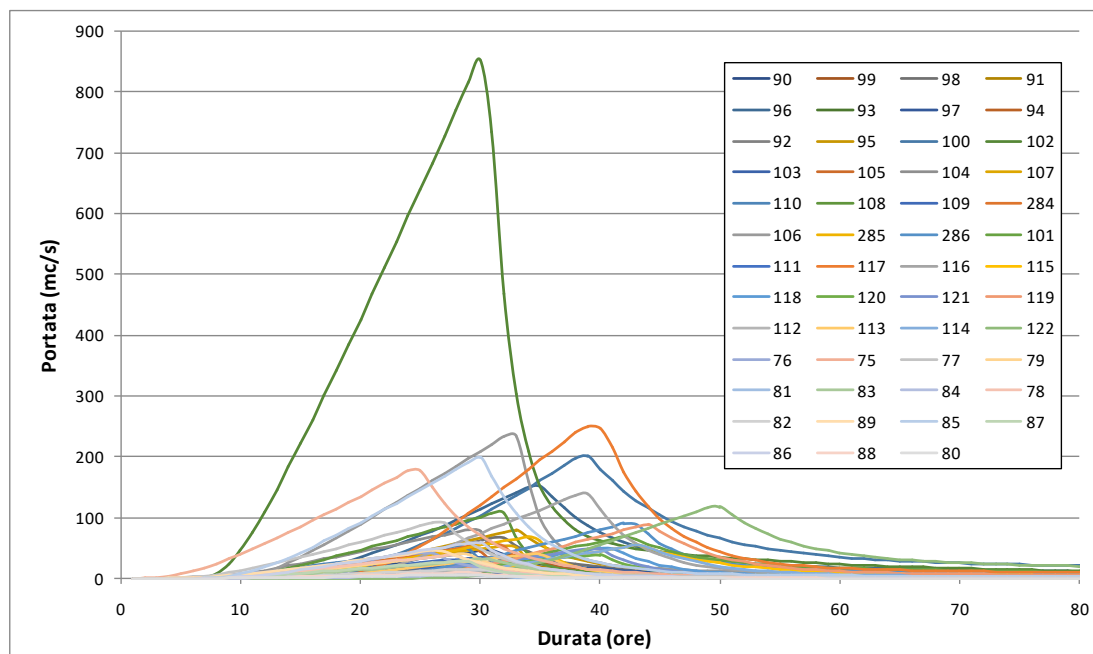


Figura 25. Scenario 2): idrogrammi di piena (Tr300) applicati nei nodi idrologici del Torrente Torre.

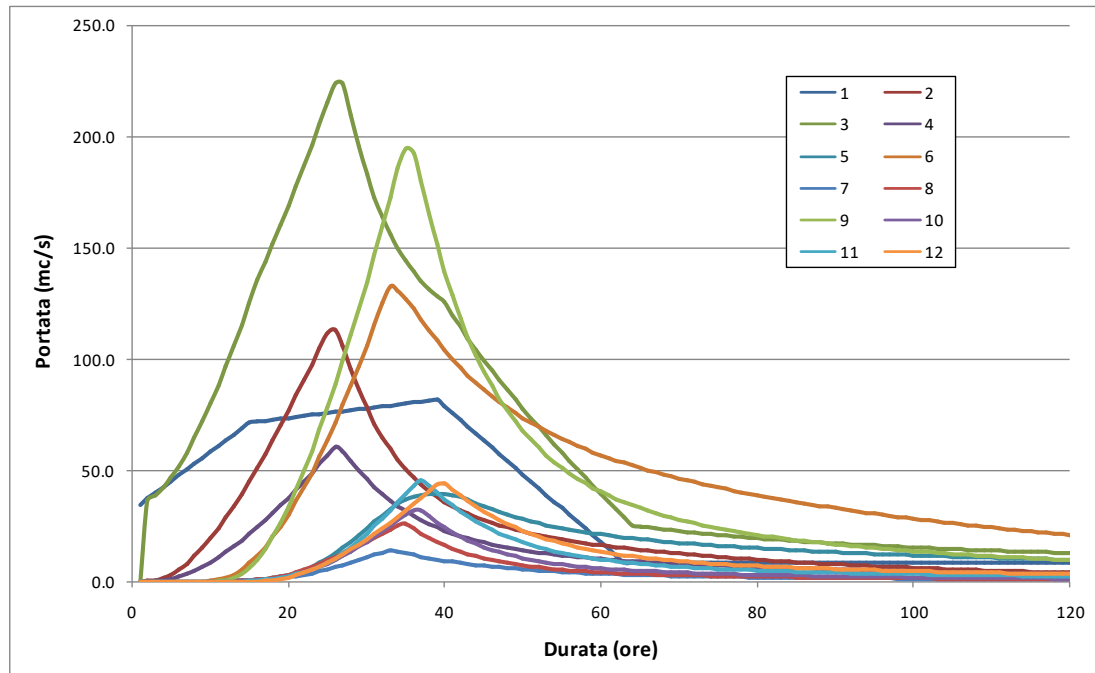


Figura 26. Scenario 2): idrogrammi di piena (Tr300) applicati nei nodi idrologici del Torrente Vipacco.

Si riportano di seguito i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili del Torrente Vipacco e del Torrente Torre, associate allo *scenario 1)*, per un tempo di ritorno di 300 anni.

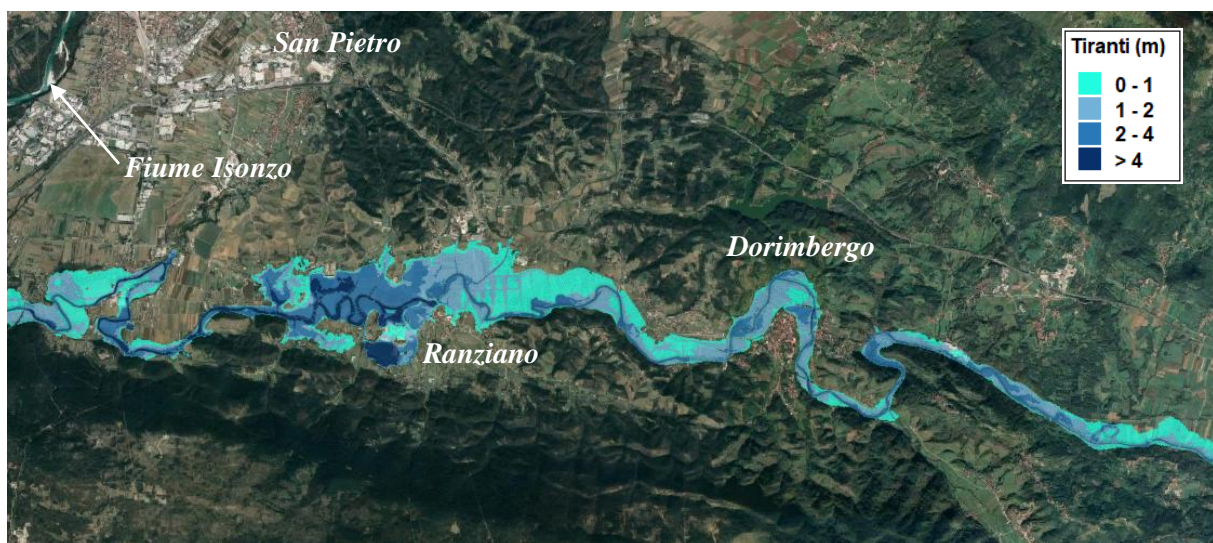


Figura 27. Scenario 1): stralcio delle aree potenzialmente inondabili (Tr300) del Torrente Vipacco.

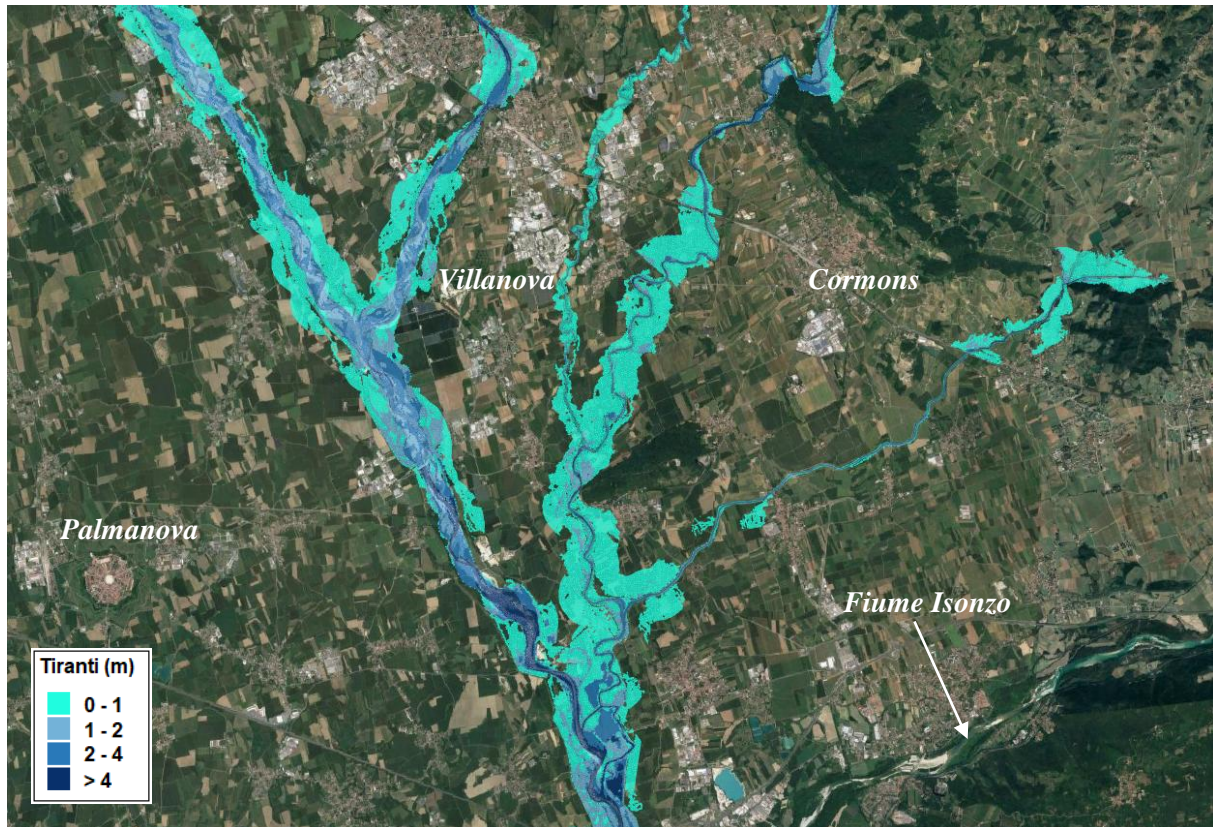


Figura 28. Scenario 1): stralcio delle aree potenzialmente inondabili (Tr300) del Torrente Torre.

Nelle figure sottostanti, sono mostrati invece gli idrogrammi di piena *Tr300* del Torrente Torre e del Torrente Vipacco, estratti dalle sezioni finali dei rispettivi modelli numerici bidimensionali (in tali figure per confronto sono riportati anche gli idrogrammi di piena *Tr300* dedotti dallo studio sviluppato nell'ambito del Progetto *CAMIS*).

Relativamente al Torrente Torre, negli scenari 2) e 3), da modello 2D, si ottengono idrogrammi di piena molto simili, con portata al colmo pressoché coincidente e maggiore (+15% circa) rispetto a quella dell'idrogramma di piena ottenuto per lo scenario 1). In ogni caso, le portate al colmo ottenute da modello 2D sono ben inferiori alla portata di picco dell'idrogramma di piena dedotto dallo studio sviluppato nell'ambito del Progetto *CAMIS* (Figura 29).

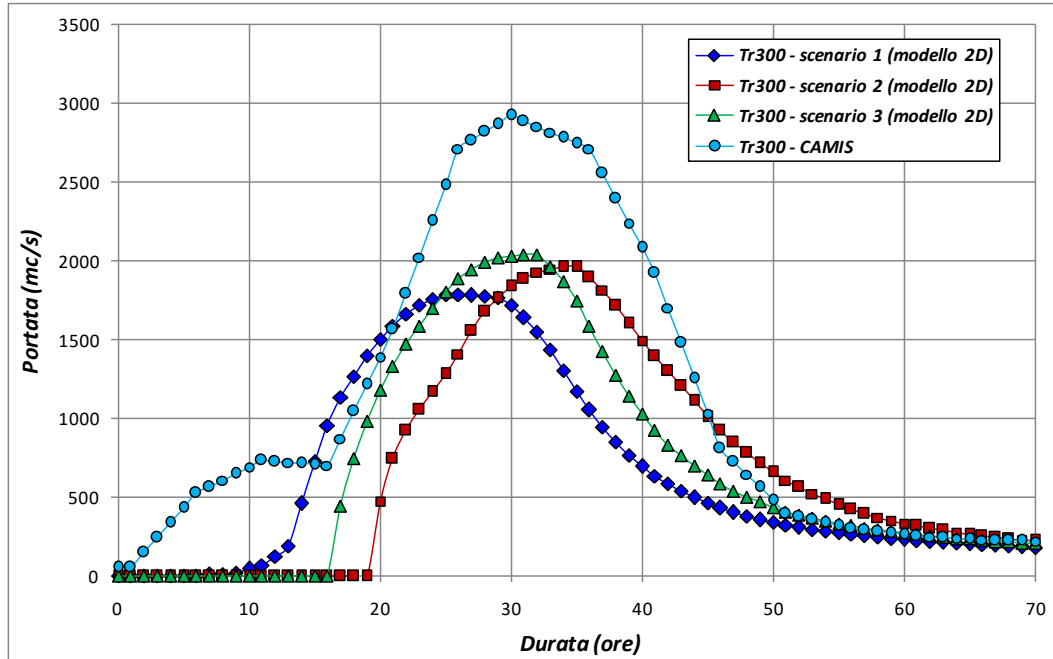


Figura 29. Torrente Torre: confronto tra gli idrogrammi di piena (Tr300) ottenuti da modello 2D, per differenti scenari, e dedotto dallo studio del Progetto CAMIS.

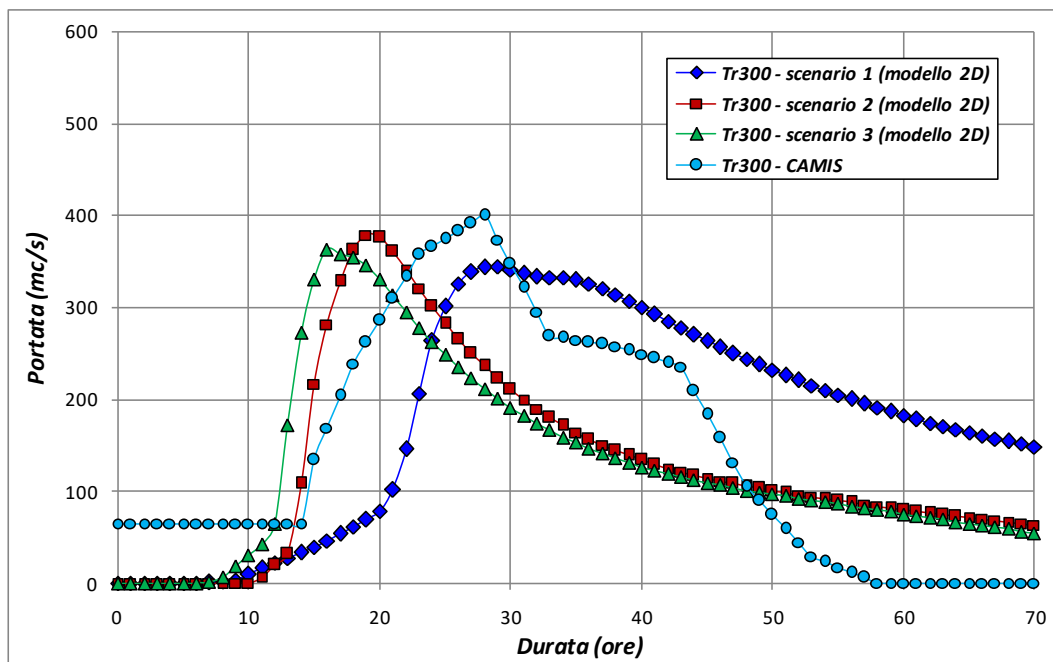


Figura 30. Torrente Vipacco: confronto tra gli idrogrammi di piena (Tr300) ottenuti da modello 2D, per differenti scenari, e dedotto dallo studio del Progetto CAMIS.

Con riferimento al Torrente Vipacco, anche in questo caso negli scenari 2) e 3), da modello 2D, si ottengono idrogrammi con portata al colmo maggiore rispetto a quella dell'idrogramma di piena ottenuto per lo scenario 1). Le portate al colmo ottenute da modello 2D sono tuttavia del tutto comparabili con la portata di picco dell'idrogramma di piena dedotto dallo studio sviluppato nell'ambito del Progetto CAMIS, comunque più cautelativo anche in questo caso (Figura 30).

Risultati analoghi sono stati ottenuti anche per gli altri tempi di ritorno di riferimento, che per semplicità in tale sede si omettono, essendo dimostrata l'applicabilità (almeno relativamente ai torrenti Torre e Vipacco) degli idrogrammi dedotti dallo studio a corredo del Progetto CAMIS, sopra introdotti.

4.4 Definizione degli idrogrammi di piena di progetto

Sulla base delle analisi e dei risultati sopra descritti, per i torrenti Torre e Vipacco, gli idrogrammi di piena di riferimento sono quelli dedotti dallo studio a corredo del progetto CAMIS, riportati per completezza e semplicità in Figura 31 e Figura 32.

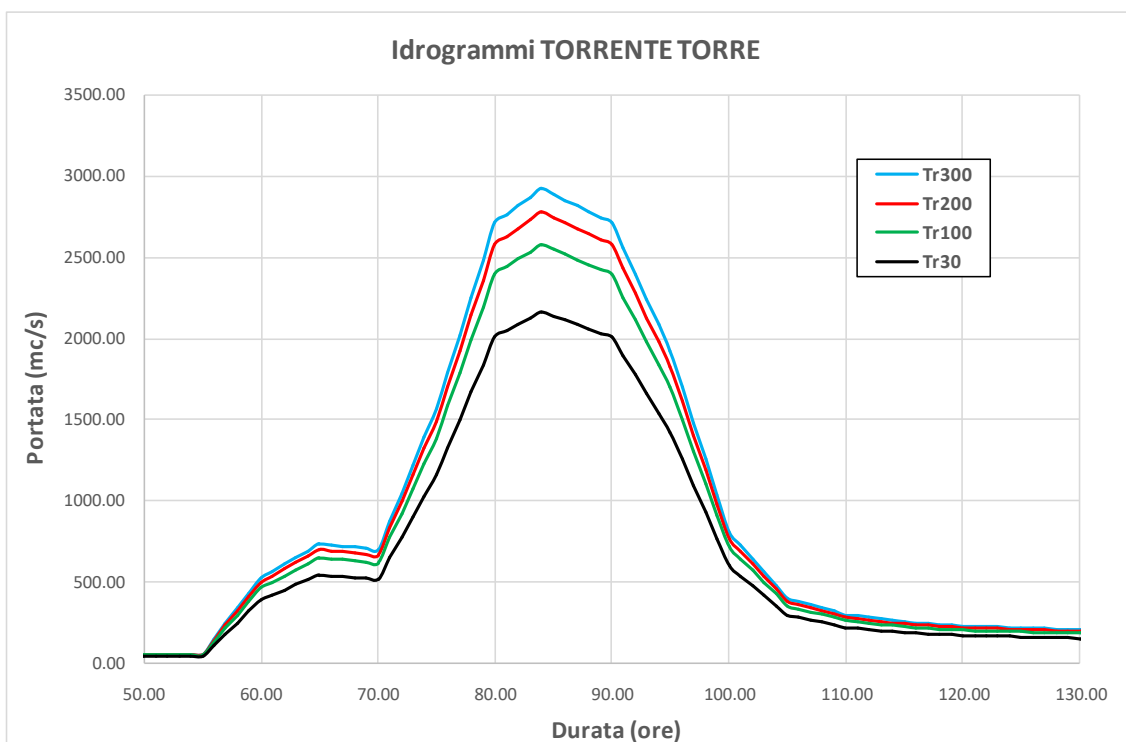


Figura 31. Torrente Torre: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.

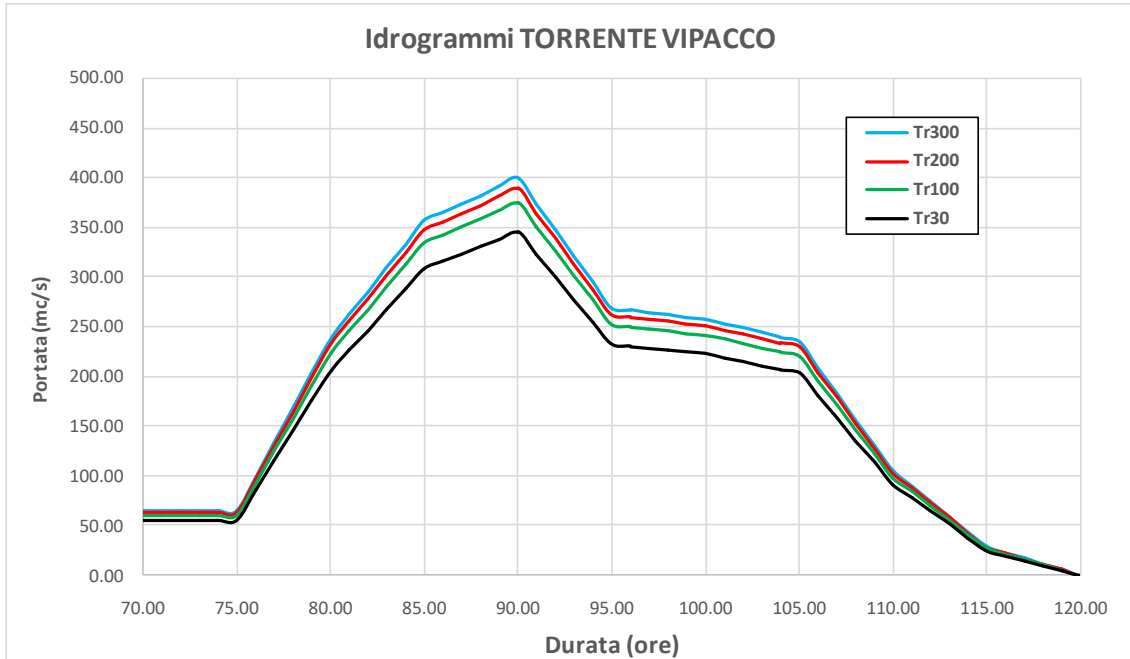


Figura 32. Torrente Vipacco: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.

Relativamente al Fiume Isonzo, l'elaborazione statistica dei dati di portata registrati presso la Diga di Salcano ha fornito valori di portata al colmo superiori rispetto a quelli indicati nello studio a corredo del Progetto CAMIS.

Pertanto, ai fini della definizione degli idrogrammi di piena di riferimento per il Fiume Isonzo, si è deciso di "riscalare" opportunamente gli idrogrammi di piena dedotti dallo studio del Progetto CAMIS al fine di ottenere i valori di portata al colmo ottenuti dall'analisi statistica delle misure di portata.

Nella figura seguenti, si riportano dunque gli idrogrammi di piena di riferimento per il Fiume Isonzo, così ottenuti.

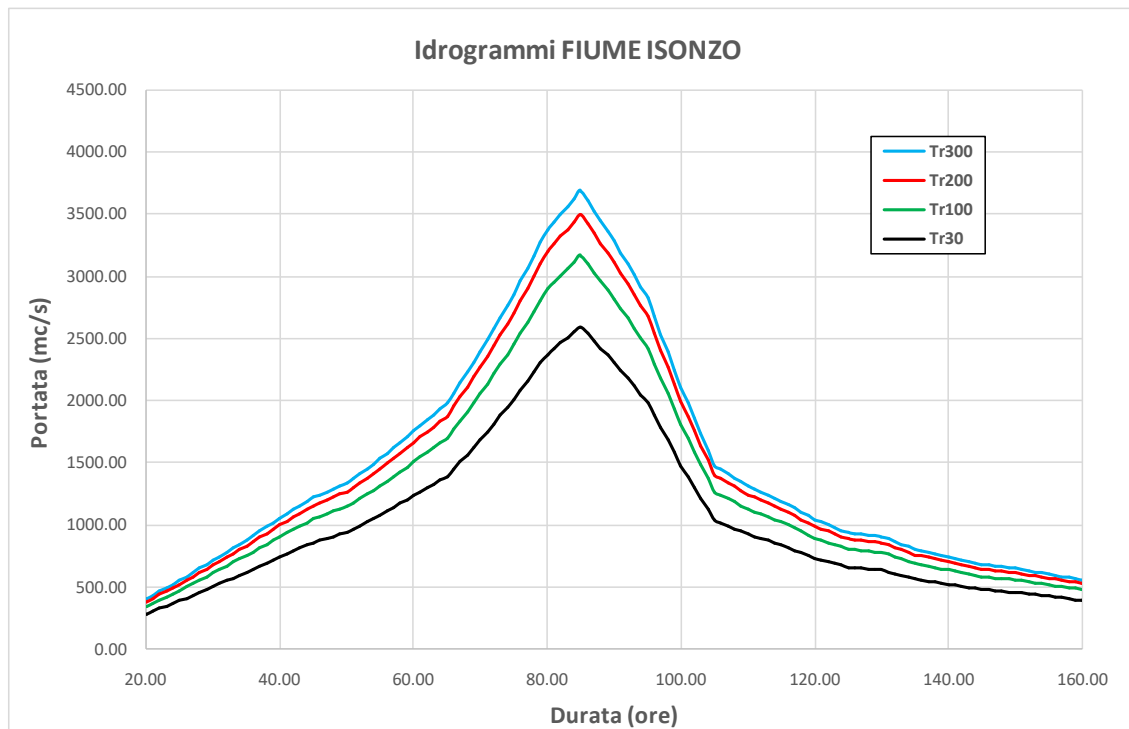


Figura 33. Fiume Isonzo: idrogrammi di piena di riferimento, per differenti tempi di ritorno.

4.5 Definizione della portata “di cantiere” per il dimensionamento delle opere provvisionali in alveo

Durante la costruzione delle opere di attraversamento fluviale (nel caso specifico del nuovo Viadotto VI01 sul Fiume Isonzo), cioè prima che le stesse abbiano raggiunto il loro assetto definitivo, si pone il problema della definizione della portata di riferimento per il dimensionamento delle eventuali opere provvisionali del periodo transitorio.

A tal proposito, per la scelta della portata da utilizzare nella verifica della configurazione di cantiere, si è fatto riferimento alla curva di durata delle portate del Fiume Isonzo, relativa alla vicina stazione idrometrica di Pieris, ubicata in corrispondenza dell’omonimo ponte stradale, subito a valle dei due ponti ferroviari esistenti della linea FFSS Venezia – Trieste.

Nello specifico, la curva di durata delle portate è stata ricostruita a partire dalle registrazioni dei livelli idrometrici presso il ponte stradale di Pieris, messe a disposizione da Regione Friuli Venezia Giulia.

Sono stati quindi raccolti i valori massimi giornalieri di altezza idrometrica presso il ponte stradale di Pieris negli anni 2010, 2011, 2012 (unici dati attualmente disponibili e validati, fonte: <http://asr-str01.regione.fvg.it/PubblicazioneUOI/RicercaUOI.jsp>)

Tramite la scala di deflusso della sezione d'alveo (Figura 34) in corrispondenza del ponte stradale di Pieris, fornita sempre da Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, è stato possibile ricostruire le curve di durata delle portate, relative ai tre anni per i quali sono disponibili le misure idrometriche.

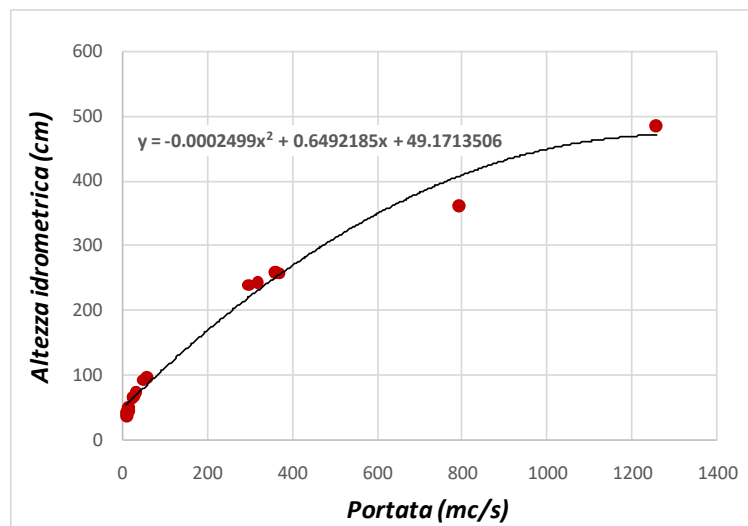


Figura 34. Fiume Isonzo: scala di deflusso della sezione in corrispondenza del ponte stradale di Pieris.

Nella figure seguente, si riportano dunque le curve di durata delle portate così determinate. Quella più cautelativa risulta essere quella relativa all'anno 2010, presa quindi a riferimento per la definizione della cosiddetta "portata di cantiere".

Nello specifico, in relazione alle lavorazioni che verranno effettuate in alveo e alla loro durata, si è deciso di fare riferimento alla portata corrispondente a 15-20 giorni, 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, ovvero si ammette una possibile interruzione dei lavori durante l'anno di 15 – 20 giorni. Tale valore di portata si attesta a **800 m³/s**.

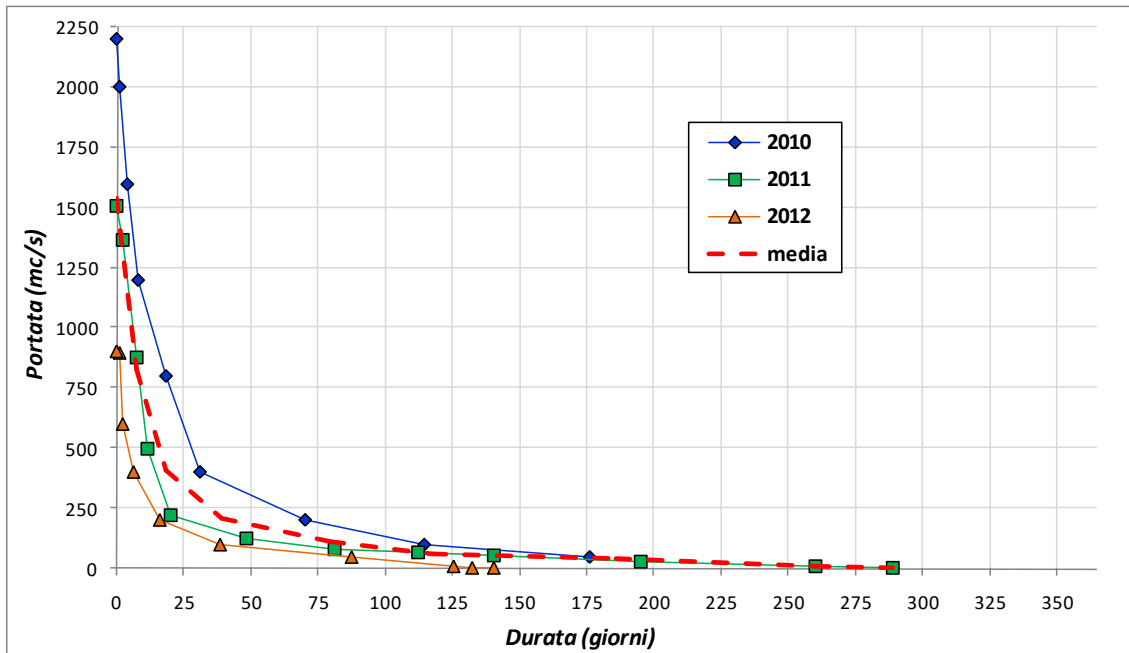


Figura 35. Fiume Isonzo a Pieris: curve di durata delle portate.

Per maggiori dettagli circa la configurazione delle opere provvisionali ed il corrispondente dimensionamento, si rimanda alla relazione idraulica annessa (rif. IZ0440R09RIID0002001A).

	POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE Posti di Movimento e Varianti di Tracciato Lotto 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IZ04	LOTTO 40 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001 001	REV. A	FOGLIO 38 di 38

5 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.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977.

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

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.