

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34G18000150001

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIARIA VERONA – BRENNERO

NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA”

ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA

Fiume Isarco

SCALA:

-

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

I	B	0	I	0	0	D	0	9	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	1	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	C.Cesari 	giugno 2020	F.Cabas 	giugno 2020	C. Mazzocchi 	giugno 2020	Aut. Vittozzi 	giugno 2020

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

File: IB0100D09RIID0002001A.doc

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO	6
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO	6
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	7
3	STUDIO IDRAULICO	12
3.1	GENERALITÀ	12
3.2	DATI DI BASE	12
3.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO NUMERICO IDRAULICO	13
4	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'INTERVENTO IN PROGETTO	28
5	BIBLIOGRAFIA	29

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Fiume Isarco: aree di pericolosità idraulica (fonte: Piano delle zone di pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano) nel tratto in prossimità della stazione di Bressanone (da pk 0+400 a pk 1+700).	7
Figura 2 – Fiume Isarco: aree di pericolosità idraulica (fonte: Piano delle zone di pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano) nel tratto in direzione Bolzano/Verona (da pk 0+000 a pk 0+590).	8
Figura 3 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dominio di calcolo.	16
Figura 4 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.	17
Figura 5 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di riferimento.	18
Figura 6 – Fiume Rienza: idrogrammi di piena di riferimento.	18
Figura 7 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per Tr = 30 anni.	19
Figura 8 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per Tr = 100 anni.	20
Figura 9 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per Tr = 200 anni.	21
Figura 10 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per Tr = 300 anni.	22
Figura 11 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree di esondazione per Tr = 300 anni vs aree di pericolosità H2 (Tav. 1 di 2).	23
Figura 12 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree di esondazione per Tr = 300 anni vs aree di pericolosità H2 (Tav. 2 di 2).	24
Figura 13 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dettaglio delle aree di esondazione per Tr = 300 anni nel tratto di intervento ricadente in aree di pericolosità H2.	25
Figura 14 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dettaglio dei livelli idrici per Tr = 200 anni, in corrispondenza del tratto di intervento ricadente in area di pericolosità H2.	26
Figura 15 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: valori di velocità per Tr = 200 anni, in corrispondenza del tratto di intervento ricadente in area di pericolosità H2.	27

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica.	6
--	---

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo "Adeguamento del piano di stazione di Bressanone", intervento funzionale alla variante ferroviaria denominata "Variante di Val di Riga", che conetterà direttamente la linea *San Candido - Fortezza* alla direttrice *Verona - Brennero*, mediante la realizzazione di una bretella che si svilupperà, in direzione Sud, fra Rio Pusteria e Bressanone.

L'intervento in progetto si sviluppa all'interno del bacino del Fiume Isarco, in corrispondenza della confluenza del Fiume Rienza in quest'ultimo. Nello specifico, la linea ferroviaria oggetto di intervento di adeguamento della stazione di Bressanone si sviluppa in affiancamento al Fiume Isarco (in un tratto caratterizzato da aree di pericolosità idraulica), attraversando il Rio di Tilles, suo affluente in destra idraulica. Non sono presenti/previste nuove opere di attraversamento sul Fiume Isarco.

Si è proceduto quindi con lo sviluppo dello studio di compatibilità idraulica dell'intervento in progetto nel suo complesso. Nello specifico, tramite l'implementazione di un modello numerico (idraulico) bidimensionale, è stata valutata la propogazione delle onde di piena, per vari tempi di ritorno, del Fiume Isarco e del Fiume Rienza, nel tratto di confluenza, a Bressanone, ai fini della determinazione dei livelli idrici e delle velocità, nonché delle corrispondenti aree potenzialmente inondabili.

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto nella pianificazione di bacino attualmente in vigore, nello specifico al Regolamento di Esecuzione del Piano delle Zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano (2019) e alle Norme Tecniche di Attuazione del Piano per la Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del Distretto delle Alpi Orientali (2015), nonché nelle Norme tecniche delle costruzioni (NTC18) e nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (2020).

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

1.1 Riferimenti normativi

Di seguito, la normativa nazionale e regionale di riferimento:

- Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877
- ***R.D. 27 luglio 1904, n. 523***
- R.D. 27 luglio 1904, n. 368
- R.D. n. 3267/1923
- R.D. 17 maggio 1926, n. 1126
- R.D. n. 215/1933
- ***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"***
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- ***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)***
- ***Piano delle zone di pericolo (PZP), Provincia Autonoma di Bolzano***
- ***Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021 – Relazione di piano ed Allegati, Autorità di Bacino delle Alpi Orientali.***
- ***D.Lgs. n. 152/2006 "Norma in materia ambientale"***
- Direttiva n. 2007/60/CE
- ***Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018***
- ***Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019***

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di intervento

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica del bacino del Fiume Isarco, nonché per la definizione delle aree di pericolosità idraulica, è attualmente riportato nel *Piano delle zone di Pericolo* (PZP, 2019) della Provincia Autonoma di Bolzano, nonché nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A. 2015-2021) redatto dall'Autorità di Bacino distrettuale delle Alpi Orientali.

In particolare, sono individuati quattro livelli di pericolo idraulico: **H4 - molto elevato, H3 - elevato, H2 - medio e H1 - molto basso.**

La classe di pericolosità **molto elevata (H4)** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento o tempo di ritorno $Tr \leq 30$ anni. La classe di pericolosità elevata (**H3**) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento o tempo di ritorno $Tr \leq 100$ anni.

La classe di pericolosità **media (H2)** fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da tempi di ritorno $Tr \leq 300$ anni. La classe di pericolosità **molto bassa (H1)** fa riferimento ad un evento di piena rarissimo, caratterizzato da $Tr > 300$ anni, oppure corrisponde ad aree esaminate e non pericolose.

Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

TR (anni)	Pericolosità
30	H4
100	H3
300	H2
Aree esaminate e non pericolose (> 300)	H1

Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica.

Come illustrato nelle figure seguenti, l'intervento in progetto si sviluppa completamente in aree "esaminate e non pericolose", eccetto l'ultimo tratto, in direzione Bolzano/Verona, tra le progressive 0+490 e 0+590, che ricade in area a pericolosità media (**H2**). L'intervento in progetto consiste essenzialmente in un allargamento della piattaforma, lato monte, in corrispondenza della stazione di Bressanone; per il rimanente tratto di intervento si prevede soltanto il rifacimento dell'armamento. Sono state definite le aree di pericolosità idraulica nell'ambito del PZP (2019) anche per il Rio di Tilles, che sotto-attraversa la linea ferroviaria in esame alla progressiva 0+550, nel tratto di intervento in corrispondenza della stazione di Bressanone (Figura 1, Figura 2).

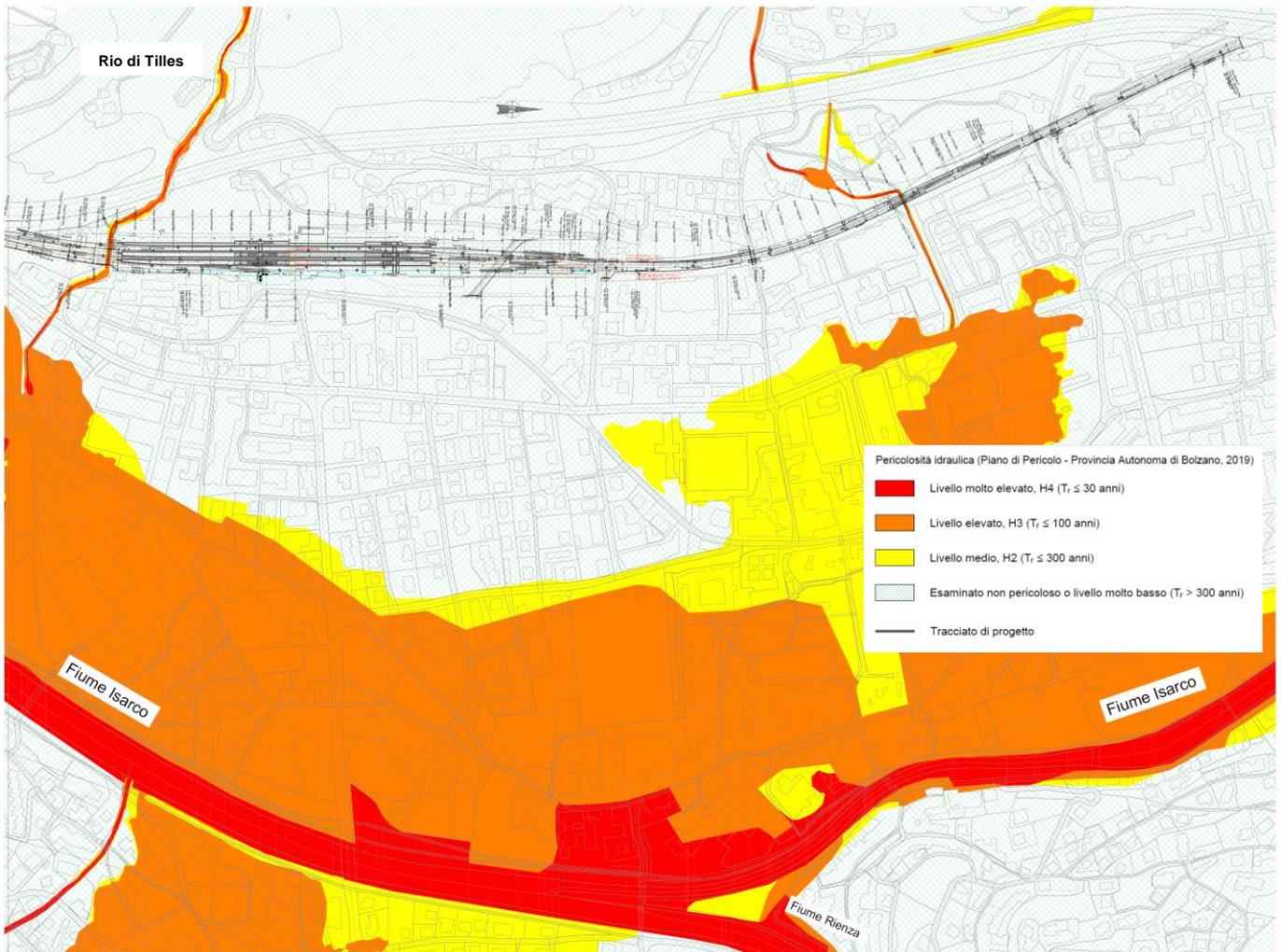


Figura 1 – Fiume Isarco: aree di pericolosità idraulica (fonte: Piano delle zone di pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano) nel tratto in prossimità della stazione di Bressanone (da pk 0+400 a pk 1+700).

2.2 Obiettivi dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica dell'intervento di adeguamento della stazione di Bressanone (nel suo complesso) che si sviluppa in affiancamento al Fiume Isarco, in corrispondenza della confluenza del Fiume Rienza (in parte in aree di pericolosità idraulica), in accordo a quanto indicato nelle normative e nei regolamenti vigenti.

Nello specifico, per la sicurezza idraulica di una linea ferroviaria, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP, 2020), nonché le indicazioni riportate nelle Nuove NTC 2018 (e nella relativa circolare applicativa n.7/2019).

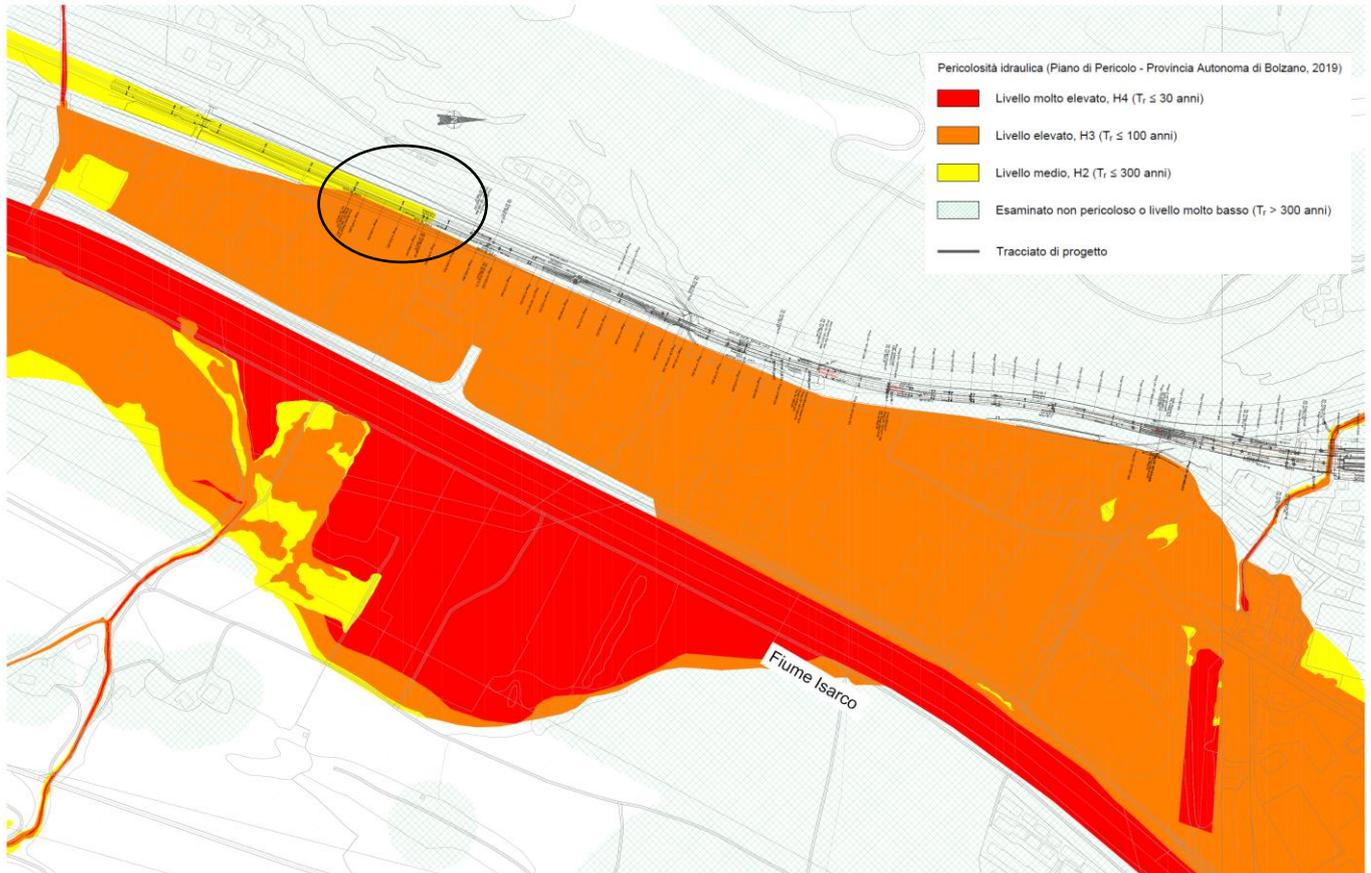


Figura 2 – Fiume Isarco: aree di pericolosità idraulica (fonte: Piano delle zone di pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano) nel tratto in direzione Bolzano/Verona (da pk 0+000 a pk 0+590).

In sintesi, con riferimento al MdP (RFI, 2020), le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati da tempo di ritorno $Tr = 200$ anni.

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:
 - non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;
 - non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;

- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in gola in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.

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 (NTC 2018), l'opera di attraversamento deve rispondere ai seguenti requisiti:

"..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).....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. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena."

Nella relativa circolare applicativa n.7/ 2019, si asserisce inoltre:

"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 ai tombini, *“intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s, l'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente. Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti: i) sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua; ii) per sezioni di area maggiore a 1,5 m² è da garantire la praticabilità del manufatto; iii) il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s; iv) nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m.....”*

Con riferimento al Regolamento di esecuzione del Piano delle Zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano, si riporta di seguito quanto indicato all'art. 7 (*Interventi consentiti sulle infrastrutture di viabilità e sulle infrastrutture tecniche nelle zone di pericolo idrogeologico (H4, H3 e H2)*):

“(I) In tutte le zone perimetrate a pericolo idrogeologico molto elevato, elevato e medio sono consentiti sulle infrastrutture di viabilità e sulle infrastrutture tecniche i seguenti interventi:

- a) manutenzione ordinaria e straordinaria;*
- b) adeguamenti richiesti per ragioni di sicurezza di esercizio o da norme provinciali o statali;*
- c) adeguamenti finalizzati all'acquisizione di innovazioni tecnologiche;*
- d) ampliamenti, ristrutturazioni e nuove realizzazioni nelle zone di pericolo idrogeologico molto elevato, solo in riferimento a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e non delocalizzabili e in assenza di alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché risultino coerenti con la pianificazione di protezione civile e siano realizzate preventivamente o contestualmente idonee misure, anche temporanee, di riduzione dei danni potenziali;*
- e) ampliamenti, ristrutturazioni e nuove realizzazioni nelle zone di pericolo idrogeologico elevato e medio, purché risultino coerenti con la pianificazione di protezione civile e siano realizzate preventivamente o contestualmente idonee misure, anche temporanee, di riduzione dei danni potenziali.*

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

(2) Nelle sole zone di pericolo idrogeologico molto elevato ed elevato la realizzazione degli interventi elencati al comma 1, lettere b), d) ed e), è subordinata alla verifica di compatibilità idrogeologica o idraulica di cui all'articolo 11, che deve essere approvata dagli uffici provinciali competenti.

(3) La realizzazione degli interventi elencati al comma 1, lettera c), è subordinata alla verifica di compatibilità idrogeologica o idraulica solo se le innovazioni tecnologiche introdotte comportano un aumento della capacità di servizio dell'infrastruttura stessa."

Nel caso specifico, non sono previste opere di attraversamento sul Fiume Isarco; le prescrizioni di cui sopra in materia di compatibilità delle opere di attraversamento dovranno/saranno rispettate per il "nuovo" manufatto idraulico (prolungamento del tombino esistente) in corrispondenza del Rio di Tilles (per maggiori dettagli, si rimanda alla relazione idraulica specialista di OO.CC.).

In ragione dell'interferenza dell'intervento in progetto con le aree di pericolosità idraulica H2, in accordo al Manuale di Progettazione RFI (2020), nonché alle classi di pericolosità idraulica indicate nel Piano delle zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano (Tabella 1), sono state effettuate quindi le simulazioni numeriche idrauliche dei fiumi Isarco e Rienza, per i tempi di ritorno di **30, 100, 200 e 300 anni**, atte alla verifica e conferma di tali aree di pericolosità e alla determinazione dei corrispondenti livelli idrici.

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

3 STUDIO IDRAULICO

3.1 Generalità

Con riferimento ai bacini individuati nello studio idrologico annesso (rif. IB0100D09RIID0001001A):

1) *Fiume Isarco*

2) *Fiume Rienza*

sono stati sviluppati i modelli (numerici) idraulici bidimensionali (2D), in regime di moto vario, del F. Isarco e del F. Rienza, alla loro confluenza, tramite il software Infoworks ICM 9.0, finalizzati alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento) e dei corrispondenti livelli idrici e velocità nell'area di intervento (i.e. in prossimità della stazione di Bressanone).

Nello specifico, è stato sviluppato un unico modello numerico che comprende i tratti fluviali di entrambi i corsi d'acqua (Fiume Isarco e Fiume Rienza), in ragione della loro confluenza in prossimità della zona di intervento. Inoltre, si precisa che le simulazioni sono state condotte a parità di tempo di ritorno delle piene dei due corsi d'acqua.

3.2 Dati di base

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

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 0.5x0.5 m, distribuito dalla Provincia Autonoma di Bolzano (fonte: http://geocatalogo.retecivica.bz.it/geocatalog/#!home&layer=p_bz%3A39bf15a8-0c78-4999-a139-bf3475007d7e);
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali dei fiumi Isarco e Rienza, e delle relative opere di attraversamento esistenti, fornite dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell'alveo rilevate durante apposite campagne topografiche effettuate dalla Provincia Autonoma di Bolzano ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell'implementazione del modello numerico sviluppato, di utilizzare i dati più aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

3.3 Implementazione del modello numerico idraulico

3.3.1 Schema bidimensionale (2D) in regime di moto vario

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale dei fiumi Isarco e Rienza 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; è 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:

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

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

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

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

I termini citati rappresentano rispettivamente: h , il tirante idrico della corrente; u e v , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x e 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_{ID} , 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.

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

3.3.2 Geometria del modello

Come anticipato, relativamente ai fiumi Isarco e Rienza, è stato sviluppato un unico modello numerico che comprende i tratti fluviali di entrambi i corsi d'acqua, in ragione della loro confluenza in prossimità della zona di intervento. Inoltre, si precisa che le simulazioni sono state condotte a parità di tempo di ritorno delle piene dei due corsi d'acqua.

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 idraulico relativo alla confluenza "Isarco-Rienza" ha una estensione massima di circa 5 km. In particolare, il modello si estende per circa 2 km lungo il Fiume Isarco, dal ponte di Via Vecchia della Pusteria fino a monte della confluenza del F. Rienza e per circa 1.5 km lungo il Fiume Rienza, a monte della confluenza nel F. Isarco; per circa 3 km lungo il Fiume Isarco, a valle della confluenza del Fiume Rienza. Il dominio di calcolo ha una superficie di circa 900 ha.

La geometria del modello 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 è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 75 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 25 m². Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 10 m².

Le opere di attraversamento esistenti, presenti sui fiumi Isarco e Rienza 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).

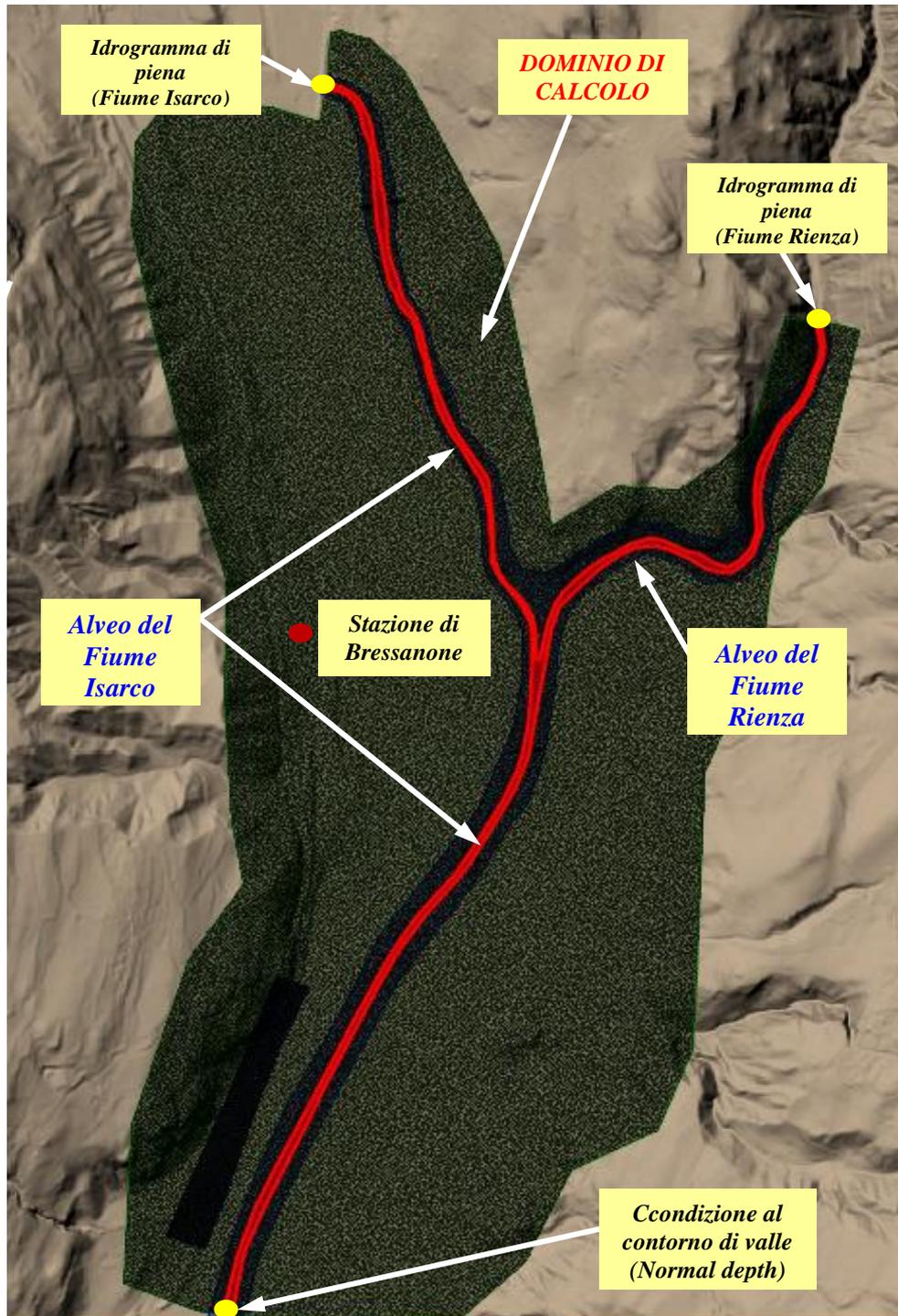


Figura 3 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dominio di calcolo.

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.

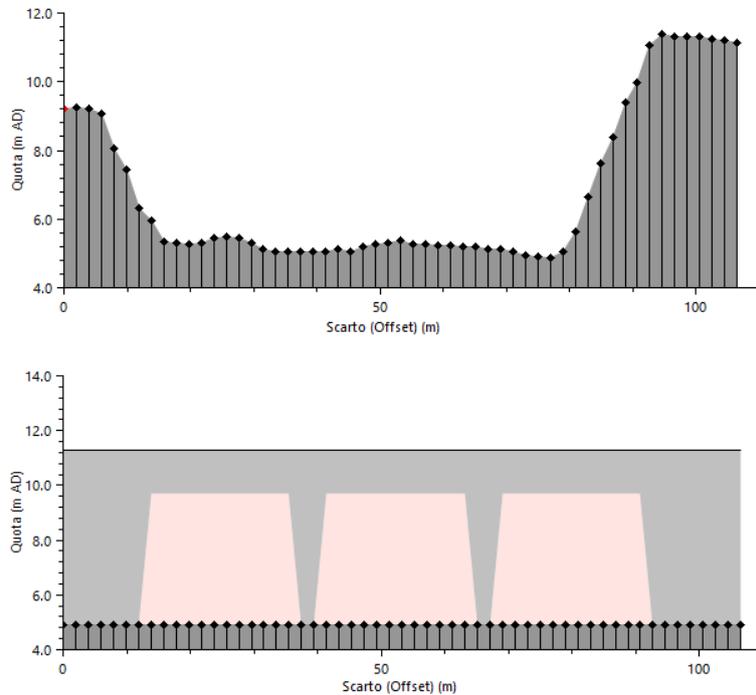


Figura 4 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.

3.3.3 Scabrezze

I valori del coefficiente di scabrezza (Manning, n) adottati:

- per l'alveo inciso, $n = 0.05 \text{ s/m}^{1/3}$;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili, $n = 0.065 \text{ s/m}^{1/3}$

sono stati dedotti dal modello 1D della confluenza “Isarco-Rienza”, fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano e sviluppato in ambiente Hec Ras.

3.3.4 Condizioni al contorno

Con riferimento alla Figura 3, per quanto concerne le condizioni al contorno considerate nel modello sviluppato, a monte, nelle sezioni iniziali dei fiumi Isarco e Rienza, è stata assegnata la condizione “Inflow”, corrispondente agli idrogrammi di piena dei fiumi Isarco e Rienza, associati ad un determinato tempo di ritorno, di seguito riportati (per maggiori dettagli, si rimanda allo studio idrologico annesso).

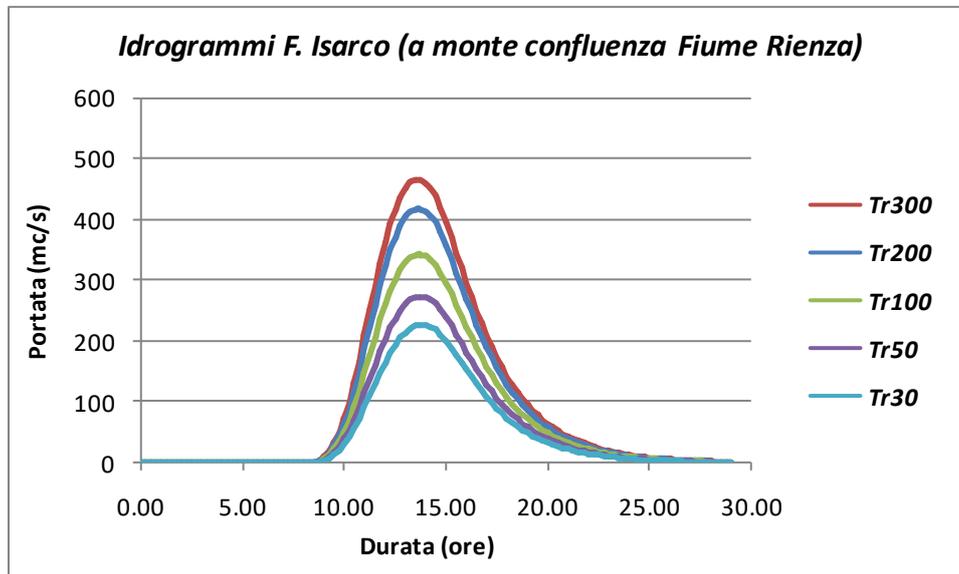


Figura 5 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di riferimento.

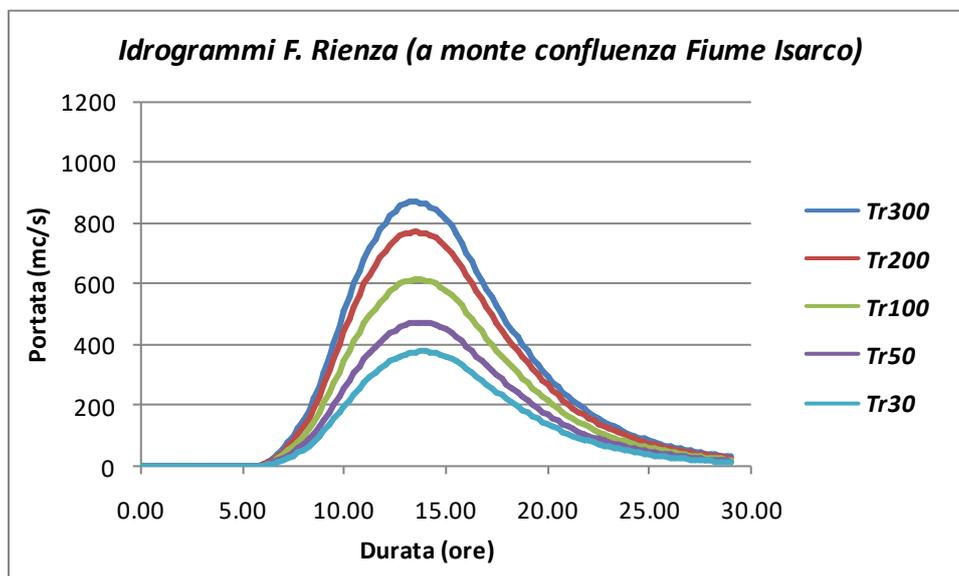


Figura 6 – Fiume Rienza: idrogrammi di piena di riferimento.

A valle invece, è stata imposta la condizione “*Normal depth*”, ossia di “*moto uniforme*”, in analogia a quanto indicato nel modello 1D della confluenza “*Isarco-Rienza*”, fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano e sviluppato in ambiente Hec Ras.

3.3.5 Scenari simulati

In ragione delle caratteristiche dell'intervento in progetto (che non prevede un aumento delle volumetrie dell'infrastruttura ferroviaria in area di pericolosità idraulica) e delle finalità dello studio idraulico (vedi § 2.2), si è proceduto alla simulazione delle onde di piena del Fiume Isarco e del Fiume Rienza riferite ai tempi di ritorno di 30, 100, 200, 300 anni, nella configurazione geometrica "stato attuale", con la quale si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere di attraversamento fluviale esistenti.

3.3.6 Risultati delle simulazioni numeriche 2D

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili (e di tiranti idrici) per i vari tempi di ritorno considerati.

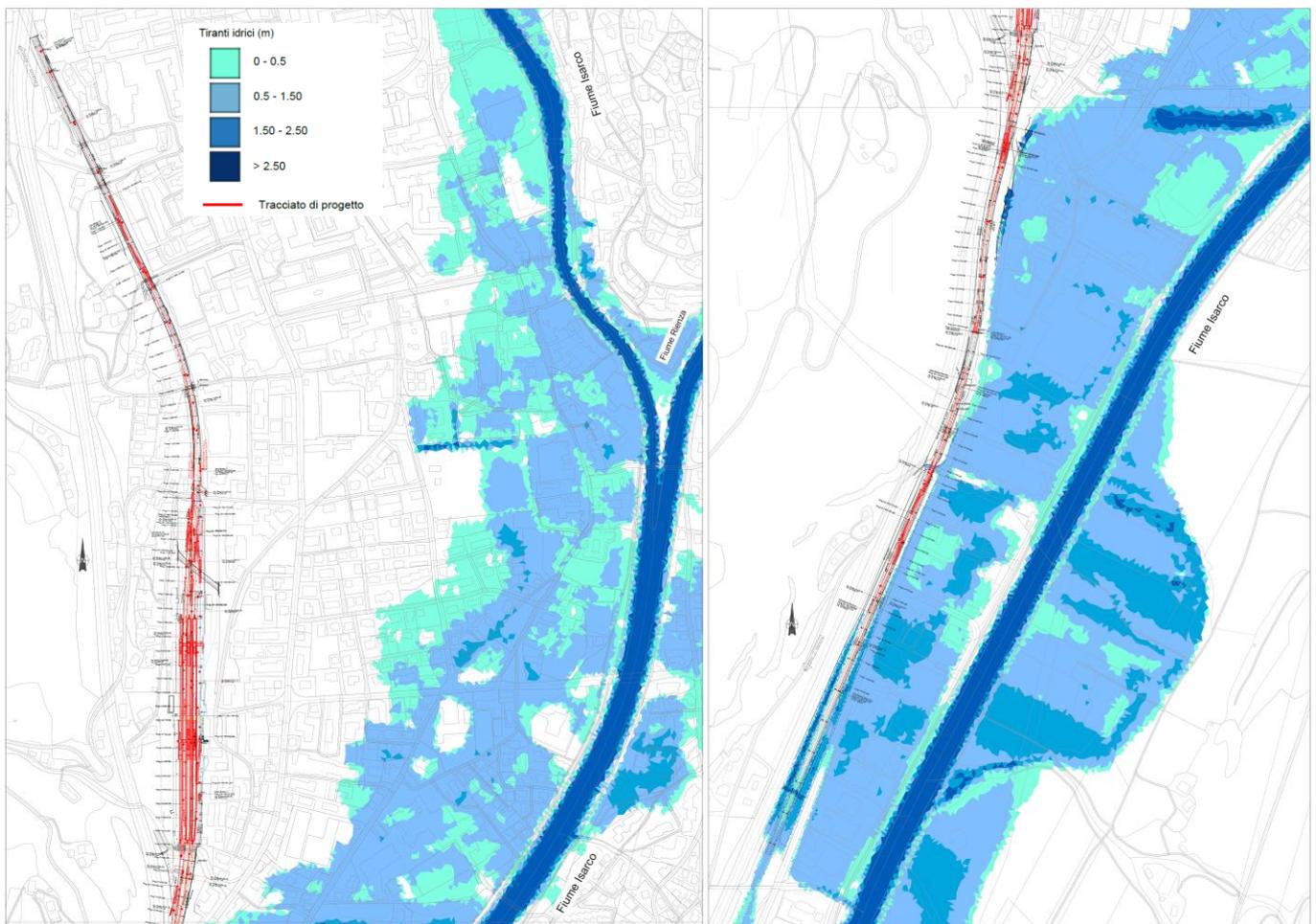


Figura 7 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per $T_r = 30$ anni.

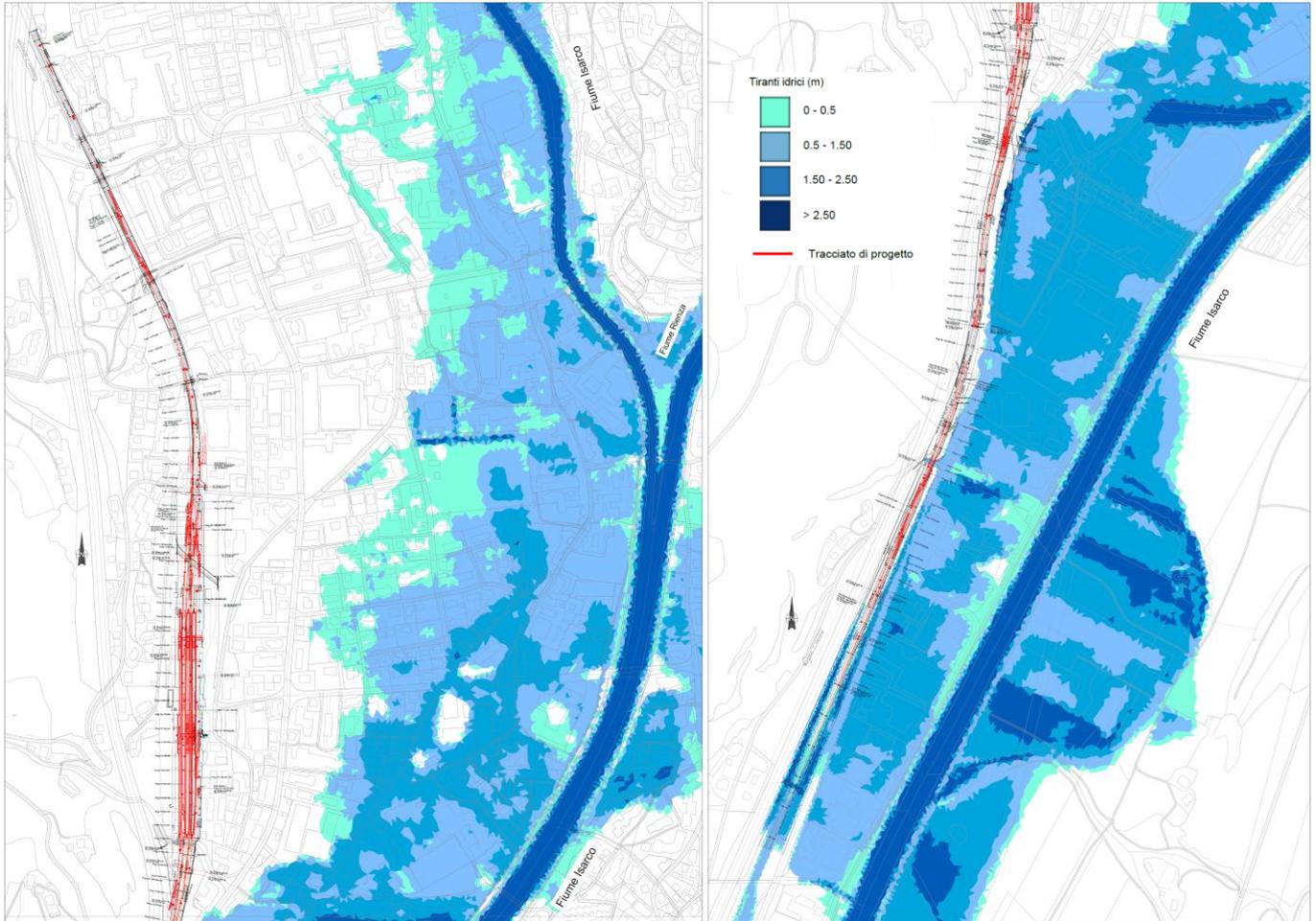


Figura 8 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per $T_r = 100$ anni.

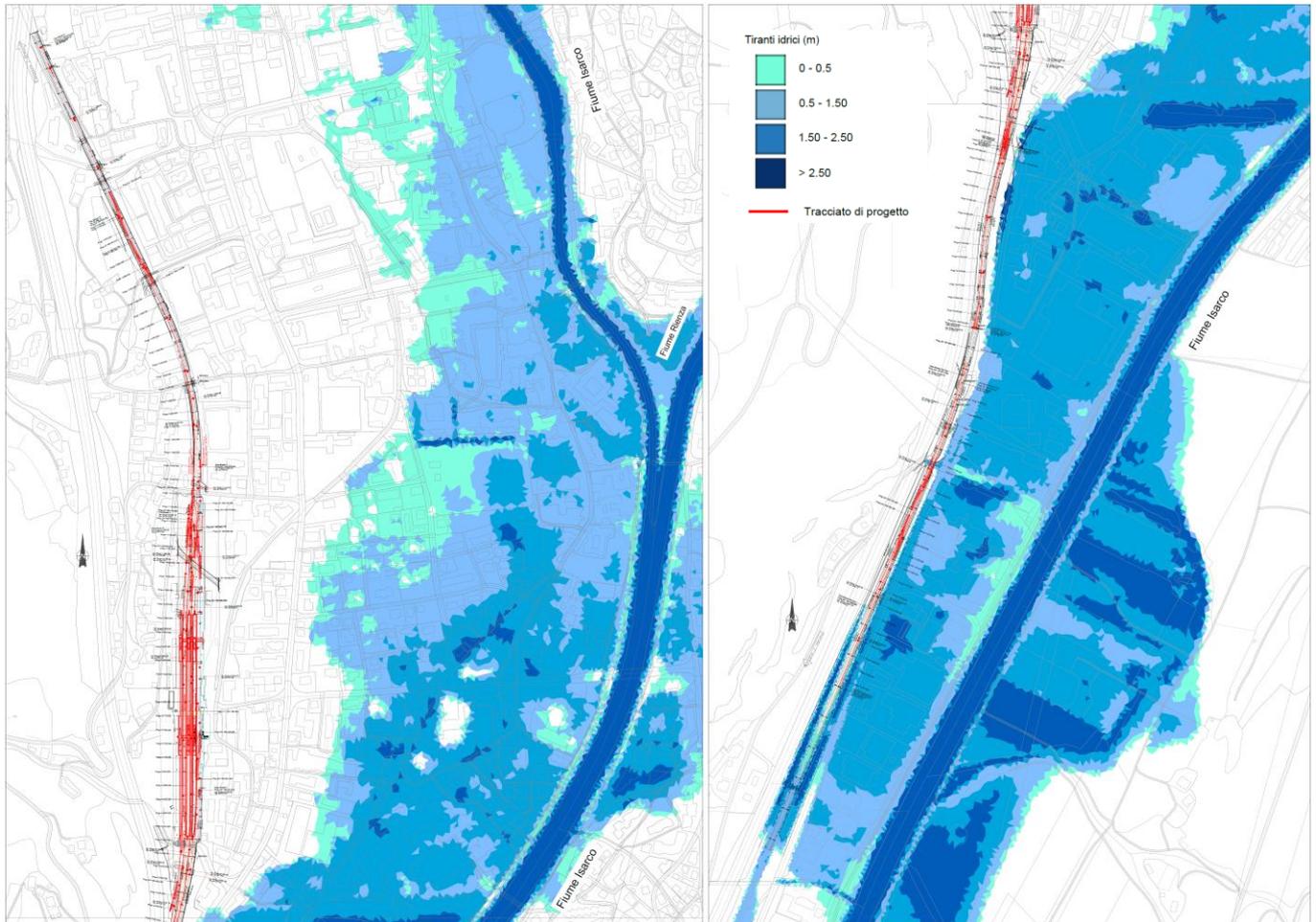


Figura 9 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per $T_r = 200$ anni.

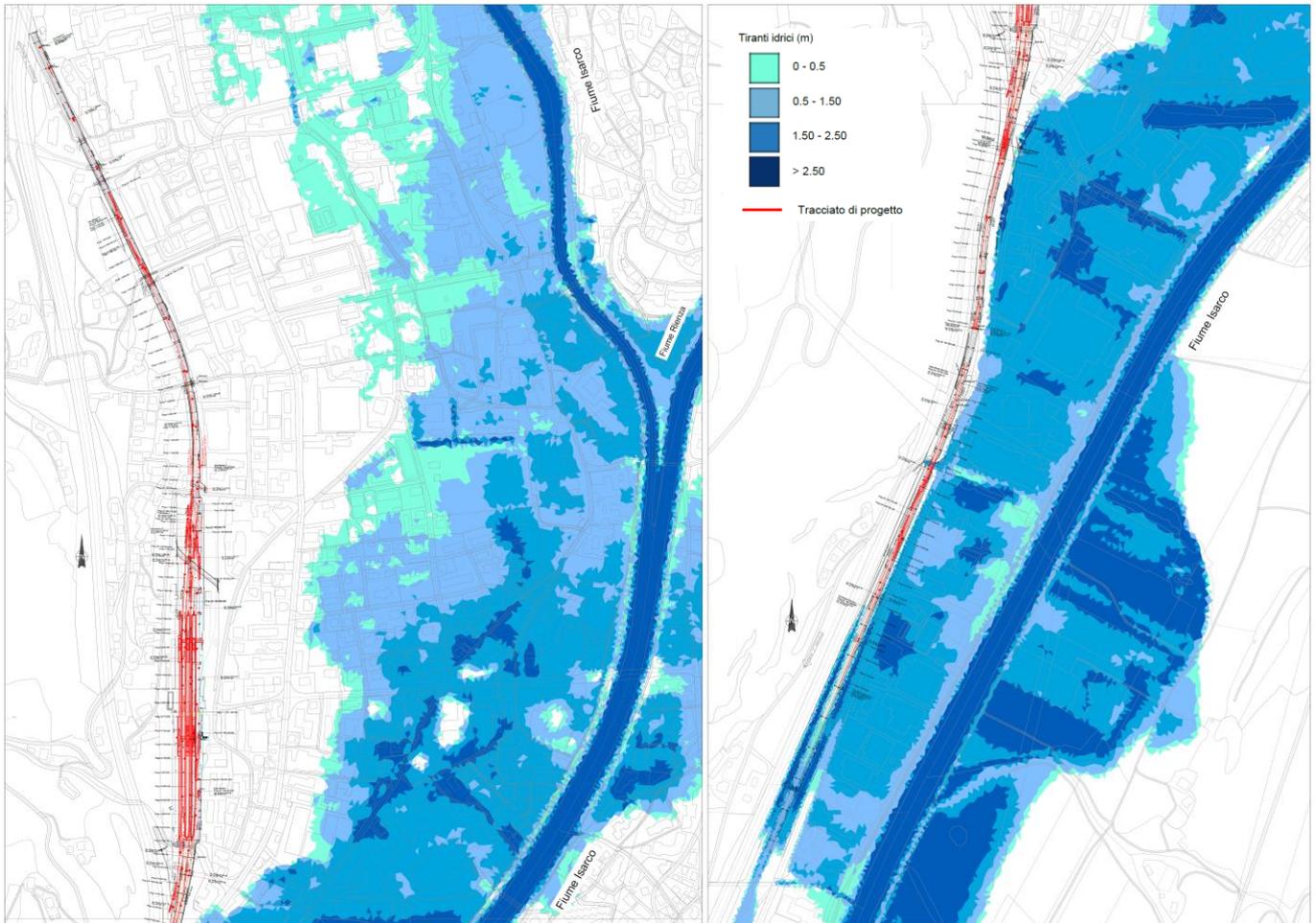


Figura 10 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree potenzialmente inondabili, per $T_r = 300$ anni.

Di seguito, è mostrato 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 $H2$ (media), riportate nel Piano delle Zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano.

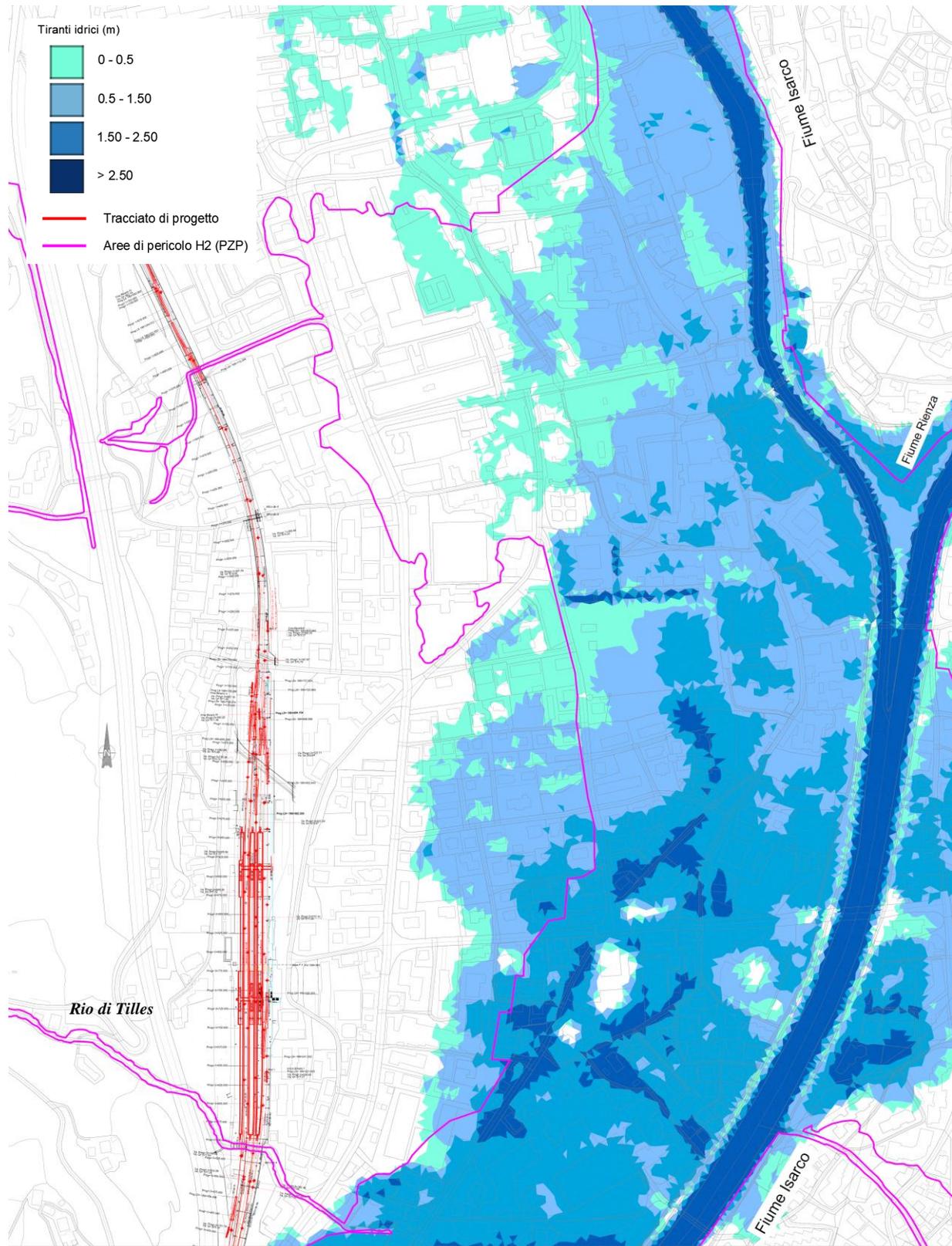


Figura 11 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree di esondazione per $T_r = 300$ anni vs aree di pericolosità H2 (Tav. 1di 2).

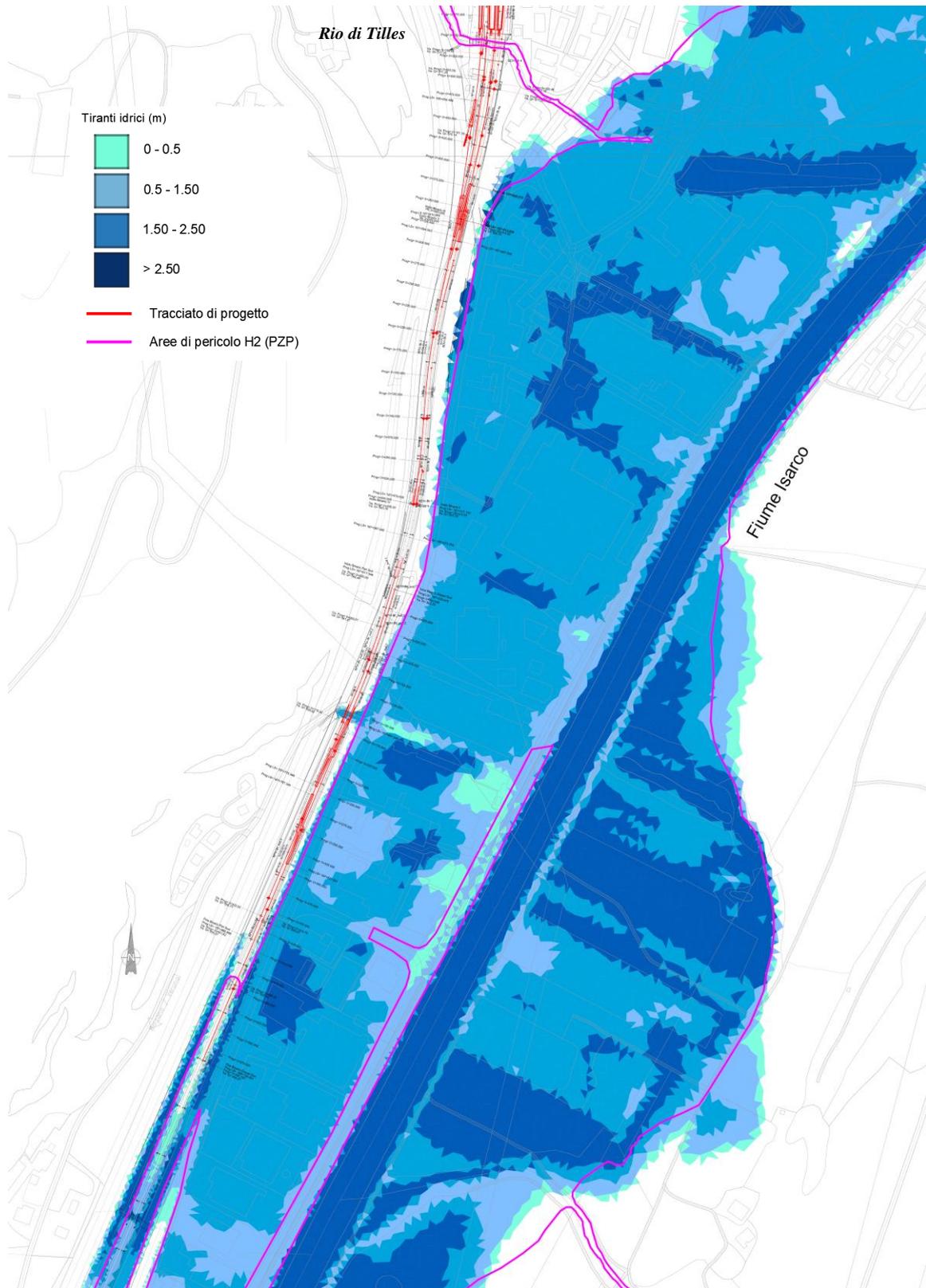


Figura 12 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: aree di esondazione per $Tr = 300$ anni vs aree di pericolosità H2 (Tav. 2 di 2).

I risultati in termini di aree di esondazione per $T_r = 300$ anni ottenuti tramite il modello 2D sviluppato nel presente studio riproducono quanto riportato nella pianificazione di bacino vigente. A tal riguardo, di seguito si riportano in dettaglio le aree di esondazione per $T_r = 300$ anni in corrispondenza del tratto di intervento ricadente in area di pericolosità H2.

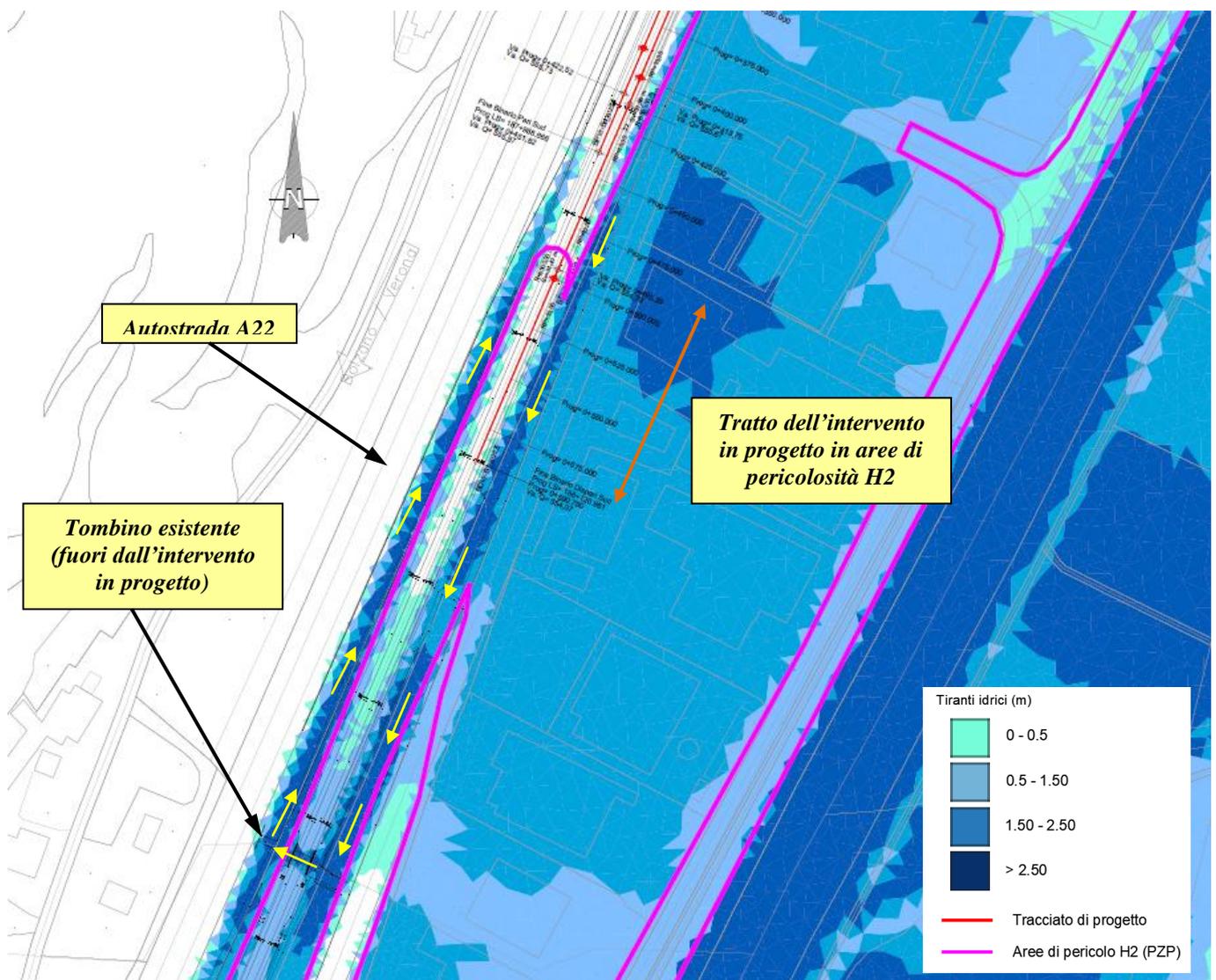


Figura 13 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dettaglio delle aree di esondazione per $T_r = 300$ anni nel tratto di intervento ricadente in aree di pericolosità H2.

I risultati del modello 2D evidenziano che non vi è sormonto della linea ferroviaria nel tratto di intervento. Come indicato nella figura precedente (vedi frecce in colore giallo), le acque esondate del Fiume Isarco scorrono lungo il rilevato ferroviario per poi defluire attraverso il tombino esistente, posto più valle (non oggetto di intervento), ed inondare le aree intercluse tra linea ferroviaria e autostrada A22.

Nel tratto di intervento ricadente in area di pericolosità idraulica H2, il livello idrico per la portata di progetto (corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni, in accordo al Manuale di Progettazione Ferroviaria) si attesta a +553.5 m slm, a fronte di una quota del piano ferro di +554.4 m slm.

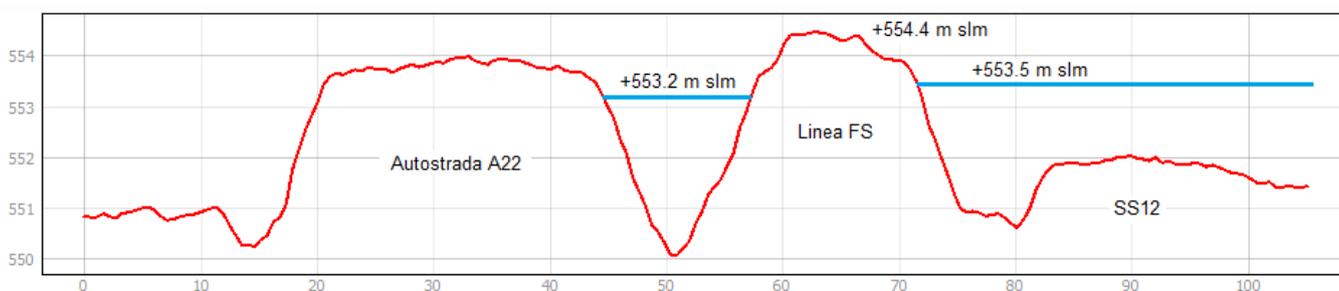


Figura 14 – Modello 2D “Isarco-Rienza”: dettaglio dei livelli idrici per $T_r = 200$ anni, in corrispondenza del tratto di intervento ricadente in area di pericolosità H2.

La quota del livello idrico atteso per $T_r = 200$ anni coincide quindi circa a quella del piano di regolamento; in tal caso, dunque non risulterebbe verificata la prescrizione di 1 metro di franco tra il livello idrico di progetto e il piano di regolamento, così come riportato nel Manuale di Progettazione Ferroviaria, ma va precisato che si tratta di una linea esistente, oggetto soltanto di rifacimento dell’armamento.

L’intervento in progetto, configurandosi come “*adeguamento*” o “*manutenzione ordinaria/straordinaria*” di una linea esistente (senza aumento di volumetrie), ricade comunque tra gli interventi consentiti nelle aree di pericolosità idraulica H2, H3, H4, come riportato nel regolamento di esecuzione del Piano delle zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano.

Inoltre, le velocità di deflusso (per la portata di progetto, $T_r = 200$ anni) in corrispondenza del rilevato sono di modesta entità, 0.7-0.9 m/s (Figura 15).

Infine, con riferimento al Rio di Tilles (affluente in destra idraulica del Fiume Isarco), in corrispondenza del quale è previsto il rifacimento/prolungamento del tombino esistente, le aree di esondazione del Fiume Isarco non ne influenzano le condizioni di deflusso, almeno nel tratto di sottoattraversamento della linea ferroviaria (Figura 12).

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

4 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

Le analisi e le verifiche idrauliche svolte, sulla base dei risultati ottenuti tramite il modello numerico bidimensionale (in regime di moto vario) della confluenza dei fiumi Isarco e Rienza implementato nel presente studio, dimostrano la compatibilità dell'intervento in progetto nel suo complesso.

Nello specifico, gli interventi previsti, laddove ricadenti in aree di pericolosità idraulica sono comunque consentiti (ricadendo nella fattispecie di "*opere di adeguamento e/o ampliamento di infrastrutture pubbliche non altrimenti delocalizzabili*" o "*interventi di manutenzione ordinaria/straordinaria*"), come indicato nel Regolamento di esecuzione del Piano delle Zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano.

Va precisato che l'intervento previsto nel tratto di interferenza con le aree di pericolosità idraulica H2 non comporta direttamente "*un aumento della capacità di servizio dell'infrastruttura stessa*", condizione per la quale risulta necessario effettuare lo studio di compatibilità idraulica di opere ricadenti in aree di pericolosità, come riportato nel regolamento di esecuzione del Piano delle Zone di Pericolo della Provincia Autonoma di Bolzano (rif. art. 7, comma 3).

Lo studio idraulico è stato comunque effettuato per confermare/verificare l'estensione delle aree di pericolosità riportate nella pianificazione di bacino e determinarne i corrispondenti livelli idrici e velocità. In particolare, nei tratti di intervento interessati dalle esondazioni del Fiume Isarco comunque la linea ferroviaria esistente non è soggetta a sormonto, ma il piano ferro si attesta sempre ad una quota superiore a quella del livello idrico di progetto ($T_r = 200$ nni), con un franco idraulico di circa 1 metro.

In tale tratto (da pk 0+450 a pk 0+590, sul tratto ferroviario in direzione Bolzano/Verona), i valori di velocità sono modesti (0.7-0.9 m/s) e le scarpate del rilevato ferroviario sono caratterizzate da un forte inerbimento ed un ormai consolidato apparato radicale di essenze arboree, che ne costituiscono un "*naturale*" rivestimento. Pertanto, non si prevedono opere di protezione delle scarpate del rilevato, ma si suggerisce di rendere più frequente l'ispezione e la (necessaria) manutenzione delle scarpate, soprattutto durante l'esercizio ferroviario nel corso degli eventi di piena del Fiume Isarco (come riportato nel Piano di Manutenzione a corredo del presente progetto).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A

5 BIBLIOGRAFIA

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

DM 2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni e relativa circolare esplicativa n.7/2019.

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

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, 2002.

Manuale di Progettazione RFI, Sezione Corpo Stradale, 2020.

Ministero LL.PP., *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*, Pubblicazione n°17, Roma, 1980.

Piano delle zone di Pericolo, Provincia Autonoma di Bolzano, 2019.

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021 – Relazione di piano ed Allegati, Autorità di Bacino delle Alpi Orientali.

Piano Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico (PAI), Bacino dell'Adige, Regione Veneto - Relazione tecnica e quadro giuridico, Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige, 2006.

Viparelli C., *Ricostruzione dell'idrogramma di piena*, L'Energia Elettrica, 6, 421-428, 1963.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*.Springer, pp. 84-146, 2003.