

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:  
Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Dott. Paolo Cucino  
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

### PROGETTO ESECUTIVO

#### PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"

RELAZIONE

09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA

A-IDROLOGIA ED IDRAULICA

IDROLOGIA ED IDRAULICA PONTE GARDENA

Relazione idraulica

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. Pietro Gianvecchio <i>P. Gianvecchio</i>		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R I	I D O O O O	2 0 1	C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	C. Lucarelli	30/12/2021	D. Nave	31/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino  20/01/2023 ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dott. Paolo Cucino ISCRIZIONE ALBO N° 2216
B	Emissione a seguito di indicazioni Committenza	C. Lucarelli	18/07/2022	D. Nave	19/07/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	20/07/2022	
C	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	C. Lucarelli	29/12/2022	D. Nave	09/01/2023	D. Buttafoco (Dolomiti)	10/01/2023	

File: IB0U1BEZZRIID0000201C.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	2 di 57

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....	<b>6</b>
<b>4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE</b> .....	<b>8</b>
4.1 TEMPI DI RITORNO DI PROGETTO .....	8
4.2 PORTATE DI PROGETTO.....	9
4.2.1 FIUME ISARCO .....	9
4.2.2 RIO GARDENA.....	10
4.3 COERENZA CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO .....	12
<b>5. IL PROGETTO SVILUPPATO</b> .....	<b>13</b>
<b>6. STUDIO IDRAULICO – FIUME ISARCO</b> .....	<b>16</b>
6.1 PREMESSA .....	16
6.2 VERIFICHE ED IMPOSTAZIONE GENERALE.....	16
6.3 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI .....	18
6.3.1 Dati di base topografici .....	18
6.3.2 Mesh di progetto.....	18
6.3.3 Codice di calcolo.....	20
6.3.4 Condizioni al contorno .....	21
6.3.5 Contributi del Rio Gardena alla piena del Fiume Isarco.....	21
6.3.6 Traversa idroelettrica di Colma .....	23
6.3.7 Regime delle scabrezze .....	23
<b>7. STUDIO IDRAULICO – RIO GARDENA</b> .....	<b>24</b>
7.1 PREMESSA .....	24
7.2 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI .....	24
7.2.1 Dati di base topografici .....	24
7.2.2 7.2.2 Mesh di calcolo.....	24
7.2.3 Codice di calcolo.....	25
7.2.4 Condizioni al contorno .....	25
7.3 REGIME DELLE SCABREZZE .....	26

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 3 di 57

<b>8.    <b>RISULTATI</b></b> .....	<b>27</b>
8.1    FIUME ISARCO .....	27
8.1.1   Stato attuale .....	27
8.1.2   Stato di progetto .....	32
8.2    RIO GARDENA.....	38
8.2.1   Stato attuale.....	38
8.2.2   Stato di progetto .....	41
<b>9.    <b>ANALISI DELLE INTERFERENZE ED ACCORGIMENTI NECESSARI</b></b> .....	<b>42</b>
9.1    RIO GARDENA.....	42
9.2    SCAVI IN CURVA E SCALZAMENTI ATTESI AL PIEDE DEI NUOVI MURI ARGINALI .....	42
9.2.1   Analisi della tendenza morfologica .....	42
9.2.2   Approcci di calcolo .....	43
9.2.3   Risultati.....	45
9.3    DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE .....	45
9.3.1   Premessa .....	45
9.3.2   Dimensionamento secondo Shields .....	46
9.3.3   Dimensionamento secondo FHWA .....	47
9.3.4   Risultati dei calcoli effettuati .....	48
9.4    INTERFERENZE ATTESE PRESSO IL PONTE FERROVIARIO A SCAVALCO DEL RIO GARDENA.....	48
9.4.1   Premessa .....	48
9.4.2   Scenario A.....	49
9.4.3   Scenario B.....	49
9.4.4   Conclusioni .....	50
<b>10.   <b>COMPATIBILITA' IDRAULICA</b></b> .....	<b>51</b>
10.1   PREMESSA .....	51
10.2   COERENZA CON IL P.G.R.A. ....	51
10.3   COERENZA CON LE DISPOSIZIONI DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO .....	53
10.4   COMPATIBILITA' CON IL MANUALE DI PROGETTAZIONE RFI .....	55
<b>11.   <b>BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE</b></b> .....	<b>57</b>

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 4 di 57

## 1. PREMESSA

L'Asse ferroviario Berlino – Verona / Milano – Bologna – Napoli – Messina – Palermo rappresenta, come da decisione Nr. 884/2004/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004, il Progetto Prioritario TEN nr. 1. Il potenziamento di questo asse della rete ferroviaria transeuropea dovrà avvenire per fasi funzionali, da attivare in tempi diversi, secondo un programma di priorità degli interventi finalizzato ad un progressivo aumento della potenzialità dell'asse ferroviario Monaco – Verona in grado di corrispondere adeguatamente alla crescente domanda di traffico prevista. Tale strategia garantisce che gli altri investimenti necessari non rimangano inutilizzati per lunghi periodi.

La parte centrale, prettamente alpina, di questo progetto prioritario è costituita dalla Linea di accesso Nord Monaco – Innsbruck, dalla Galleria di Base del Brennero e dalla Linea di accesso Sud Fortezza – Verona. Mentre nella Linea di accesso Nord e nella Galleria di Base del Brennero sono presenti tratti transfrontalieri, la Linea di accesso Sud è ubicata interamente in territorio italiano. Nell'ambito della Linea di accesso Sud le tratte prioritarie, da potenziare con il quadruplicamento, nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, sono le seguenti:

- Fortezza – Ponte Gardena;
- Prato Isarco – Bronzolo (Circonvallazione di Bolzano).

Nel presente documento vengono presentate le indagini idrologiche ed idrauliche relative al Progetto Esecutivo del Lotto I Fortezza – Ponte Gardena. In particolare viene di seguito descritto lo studio idraulico condotto lungo il Fiume Isarco a Ponte Gardena (BZ) con particolare riferimento alle interazioni tra il noto corso d'acqua di fondovalle e le opere in progetto della linea ferroviaria.

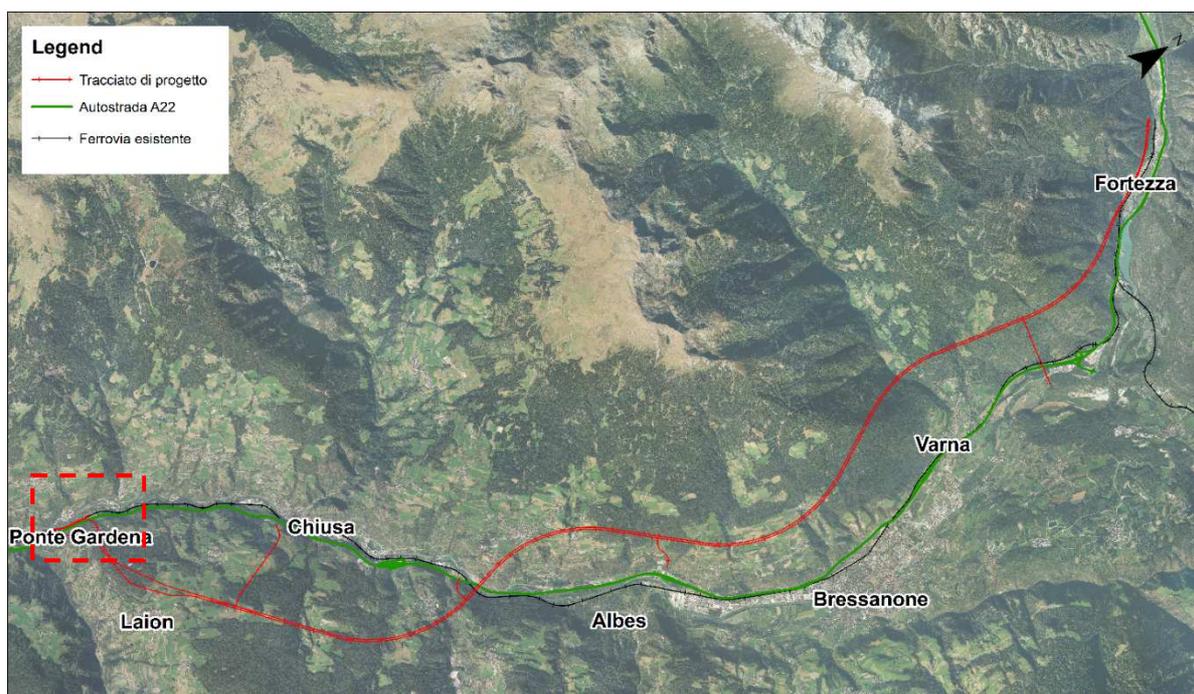


Figura 1. Corografia del tracciato di progetto con localizzazione dell'area oggetto del presente studio.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 5 di 57

Per la determinazione delle portate di piena di progetto nelle sezioni interessate dagli interventi si è fatto riferimento ai dati già assunti in sede di progettazione definitiva, dopo un'opportuna fase di plausibilizzazione presentata nella Relazione Idrologica generale, di cui all'Elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A. Sono stati sostanzialmente recepiti i valori delle portate al colmo di piena utilizzati per la pianificazione delle Zone di Pericolo nei comuni di Ponte Gardena (BZ), Barbiano (BZ) e Laion (BZ), così come forniti dall'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano, che costituisce per il territorio interessato dai lavori l'Autorità competente in materia di pianificazione idraulica.

Lo studio idraulico qui presentato è articolato nelle seguenti fasi:

- Perimetrazione del bacini imbrifero del Fiume Isarco a monte di Ponte Gardena, mediante analisi GIS ed interpretazione della cartografia a disposizione, nonché confronto diretto con tutti gli studi pregressi disponibili;
- Determinazione delle portate di piena al variare del tempo di ritorno in corrispondenza della sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ);
- Modellazioni idrauliche bidimensionali sulla scorta della topografia disponibile e dei rilievi già effettuati in sede di progettazione definitiva, nonché di alcuni rilievi integrativi svolti tra dicembre 2021 e gennaio 2022, sia nello stato attuale che nel futuro stato di progetto. La fase transitoria di cantiere è trattata separatamente in un altro documento;
- Verifica delle aree interessate dal transito delle portate di piena ed individuazione di tutte le eventuali misure di protezione di mitigazione del pericolo idraulico da porre in opera nella stato finale di esercizio dell'opera ferroviaria.

## 2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito si riportano i principali riferimenti normativi nazionali, provinciali e settoriali in materia di studi idrologici e di compatibilità idraulica assunti alla base di tutte le assunzioni e verifiche progettuali effettuate:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 recante *"Norme Tecniche per le Costruzioni"*;
- Delibera della Giunta Provinciale Nr. 989 del 13 settembre 2016 recante *"Modifica delle Direttive per la redazione dei Piani delle zone di pericolo secondo la legge urbanistica provinciale, legge provinciale 11 agosto 1997, n. 13, articolo 22/bis"*;
- Decreto del Presidente della Provincia Nr. 23 del 10 ottobre 2019 recante *"Regolamento di esecuzione dei Piani delle Zone di Pericolo"*;
- Regio Decreto 11 dicembre 1933 Nr. 1775 recante *"Approvazione del testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e sugli impianti elettrici"*;
- *Norme Tecniche di Attuazione* del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (P.G.R.A. 2021-2027), adottato in data 21 dicembre 2021;
- Autorità di Bacino del Fiume Adige, *"Linee guida per la redazione delle relazioni di compatibilità idraulica"*, approvazione Comitato Tecnico 11 aprile 2006 e ss.mm.ii;
- RFI, Direzione Investimenti Ingegneria Civile, *Manuale di Progettazione Ferroviaria – Ponti*.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 6 di 57

### 3. INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di studio oggetto del presente documento ricade integralmente all'interno del bacino idrografico del Fiume Isarco, per il quale l'Autorità competente in materia di pianificazione idraulica è la Provincia Autonoma di Bolzano, nella fattispecie l'Agenzia per la Protezione Civile provinciale. Il Fiume Isarco è il principale affluente in sinistra orografica del Fiume Adige nel territorio della provincia di Bolzano, sia per lunghezza che per le dimensioni del bacino imbrifero sotteso, ed occupa la parte orientale del territorio provinciale.



Figura 2. Vista aerea dell'area di indagine, si riconosce agevolmente l'areale della stazione ferroviaria di Ponte Gardena / Barbiano.

Il Fiume Isarco ha una lunghezza di 95 km ed il suo bacino imbrifero si estende su un'area di ca. 4.200 km<sup>2</sup>. Il fiume nasce nelle vicinanze del Brennero ad un'altitudine di ca. 2.000 m e sfocia nell'Adige a valle di Bolzano ad un'altitudine di 235 m. Il massimo rilievo del suo bacino imbrifero è il Gran Pilastro con un'altitudine di 3.509 m. Gli affluenti più importanti dell'Isarco sono il Rio Fleres, il Rio di Vizze, il Rio Ridanna, la Rienza, il Rio di Funes, il Rio Gardena, il Rio Tires, il Torrente Ega e il torrente Talvera. La composizione geologica della Val d'Isarco è caratterizzata nella parte settentrionale da Austroalpino e dal basamento cristallino e relative coperture della finestra dei Tauri. A valle di Mules affiora il granito di Bressanone e nella zona attorno a Bressanone dominano la fillade quarzifera di Bressanone e i depositi quaternari. Nella parte meridionale della valle dominano diverse rocce del gruppo vulcanico atesino. Il territorio circostante all'Isarco superiore viene utilizzato per l'agricoltura, invece la parte inferiore del corso d'acqua scorre in una valle stretta, che viene occupata in gran parte dalla Strada Statale SS12 del Brennero, dall'autostrada A22 ed dalla ferrovia del Brennero. Come località principali lungo l'Isarco sono da elencare Vipiteno, Bressanone, Chiusa, Ponte Gardena e Bolzano. Le loro acque reflue arrivano agli impianti di depurazione della Alta Val d'Isarco, di

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 7 di 57

Bressanone, Bassa Val d'Isarco e Bolzano. Il giudizio biologico complessivo dell'Isarco soddisfa per tutta la sua lunghezza una seconda classe di qualità, ad eccezione del tratto a monte di Colle Isarco, che ottiene una prima classe e del tratto a monte di Ponte Gardena che raggiunge solo una terza classe.

Il primo tratto di interazione con la nuova linea ferroviaria è rappresentato dall'interconnessione di Fortezza (BZ) ad una quota di 745 m s.l.m., in corrispondenza della quale il bacino imbrifero sotteso è di ca. 660 Km<sup>2</sup> con una lunghezza dell'asta principale di 39 Km ed un dislivello di 800 m dalla sorgente, posta ad una quota di 2.025 m s.l.m.. Il tratto dell'interconnessione di Ponte Gardena invece costeggia il Fiume Isarco per ca. 2 Km con quote comprese tra 480 e 465 m s.l.m.. ed il bacino sotteso a monte della confluenza con il Rio Gardena è di 3.200 Km<sup>2</sup> per una lunghezza dell'asta di ca. 58,5 Km. Nel tratto di competenza il Fiume Isarco è solcato da due ponti, il primo (codice BN843) in c.a. illustrato in Figura 3 lungo via Isarco ed il secondo (BN842) a servizio della strada per la Val Gardena.



Figura 3. Il ponte lungo via Isarco a Ponte Gardena (BZ).

Il Fiume Isarco è influenzato da impatti attualmente persistenti che generano un flusso d'acqua intermittente causato dalle centrali idroelettriche e dalle interruzioni del flusso (dighe a Fortezza, Chiusa e Ponte Gardena).

L'acqua dell'Isarco viene derivata in diversi tratti per scopi idroelettrici. Subito a valle del vecchio ponte in c.a. è presente in destra orografica la restituzione della centrale di Ponte Gardena / Barbiano (GS/58) che scarica nel fiume le portate derivate dalla presa di Funes, con una portata massima concessionata di 100 m<sup>3</sup>/s. Al margine meridionale dell'area di studio in località Colma è inoltre presente la grande traversa idroelettrica a servizio dell'impianto di Cardano (GS/57) che può derivare da concessione una portata massima di 90 m<sup>3</sup>/s in base ai dati ufficiali del gestore, la società ALPERIA Greenpower S.p.a..

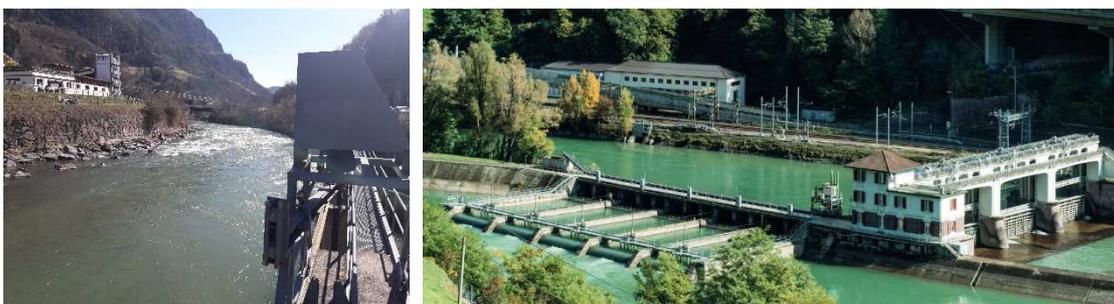


Figura 4. La restituzione dell'impianto di Barbiano / Ponte Gardena e l'opera di presa di Colma (BZ).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 8 di 57

## 4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE

### 4.1 TEMPI DI RITORNO DI PROGETTO

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI, i manufatti idraulici di attraversamento (ponti e tombini) sono stati verificati e dimensionati come di seguito riportato in funzione dell'area del bacino imbrifero S:

- Linea Ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S > 10 \text{ Km}^2$ ;
- Linea Ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ ;
- Deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni.

Per quanto concerne gli inalveamenti si considera invece quanto segue:

- Tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S \geq 10 \text{ Km}^2$ ;
- Tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .

Date le dimensioni del bacino imbrifero del Fiume Isarco sotteso alla sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ) si assume come tempo di ritorno di progetto **300** anni. Nel proporzionamento delle opere di attraversamenti e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua principali (ponti) si è verificata la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali dei manufatti in modo da minimizzare le modificazioni dell'attuale deflusso in golena indotte dall'esecuzione delle opere in progetto.

Sulle scorta delle disposizioni vigenti in Provincia di Bolzano (D.G.P. 989/2016) si provvederà a valutare i profili idraulici della corrente anche per tempi di ritorno di **30** e **100** anni.

Infine, come prescritto dal MATTM (CTVA Nr. 3180 del 15 novembre 2019) saranno valutate con apposita modellistica numerica 2D le variazioni dello stato di rischio idraulico e di esondazione conseguenti a piene con tempo di ritorno di almeno **500** anni, considerando anche la vulnerabilità delle opere medesime ai fenomeni di allagamento attesi, compresi eventuali effetti di erosione di sponda, specificando e dettagliando le eventuali opere di mitigazione previste e le distanze minime delle opere di progetto dalle opere di difesa esistenti o previste. Per completezza di valutazione si è inclusa nel set di verifica anche una portata marcata da un tempo di ritorno di **200** anni.

In generale si è proceduto verificando le sezioni idrauliche di progetto in modo da:

- Evitare per quanto possibile la formazione di fenomeni di rigurgito in alveo;
- Migliorare o quantomeno non peggiorare il livello di rischio idraulico esistente per le aree latitanti e perfluviali interessate allo stato attuale da fenomeni di alluvionamento;
- Evitare l'insorgere di fenomeni erosivi in prossimità dell'opera prevedendo opportuni raccordi a monte ed a valle nonché la realizzazione di opportune opere di protezione elastiche;
- Assicurare la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria per tutti gli eventi di progetto considerati nelle verifiche di cui al presente elaborato.

Nel dimensionamento delle opere si è imposto di non restringere eccessivamente le sezioni di deflusso del Fiume Isarco verificando che i massimi livelli idrici attesi per gli eventi di progetto garantiscano franchi minimi tra l'intradosso delle opere e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena mai inferiori ad 1,5-2 m sul livello idrico.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	9 di 57
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>							
Relazione idraulica							

## 4.2 PORTATE DI PROGETTO

### 4.2.1 FIUME ISARCO

#### 4.2.1.1. Contributi liquidi

Coerentemente con quanto riportato nella Relazione Idrologica generale, per lo studio idraulico di dettaglio lungo il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ) si sono adottate le portate al colmo di piena illustrate nella tabella seguente al variare del tempo di ritorno di progetto.

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo (m <sup>3</sup> /s)
30	670
100	893
200	998
300	1.060
500	1.138

Tabella 1. Valori al colmo di piena utilizzati per lo studio idraulico dell'Isarco presso la sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ).

Parimenti nelle simulazioni idrauliche 2D sono stati considerati gli idrogrammi di piena illustrati in Figura 5.

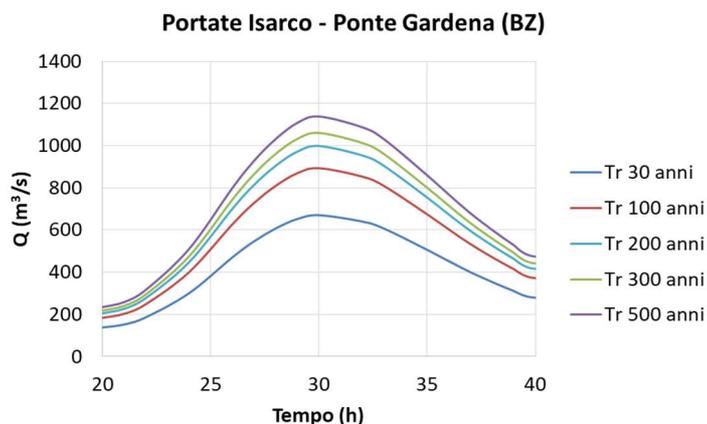


Figura 5. Idrogrammi di piena assunti nel Progetto Esecutivo alla sezione di chiusura di Funes (BZ).

#### 4.2.1.2. Trasporto solido

Nel calcolo delle correnti a pelo libero la geometria è solitamente considerata come un dato di ingresso del problema, nota sulla base di rilievi topografici. In effetti, nel caso generale in cui l'alveo sia scavato in materiale incoerente, la geometria non può essere considerata a priori fissa nel tempo, a causa dei fenomeni di erosione e deposito del materiale costitutivo del fondo e delle sponde, mosso dalla corrente. Sotto l'azione delle spinte idrodinamiche infatti i grani solidi possono essere messi in movimento e trasportati verso valle. Si differenziano inoltre il fenomeno del trasporto di fondo, in cui i granelli si muovono sul fondo, con moti rotatori e/o di strisciamento, più o meno intermittenti, dal fenomeno del trasporto in sospensione, in cui il solido percorre lunghi tratti trascinato all'interno della corrente, e solidale ad essa.

È noto come la capacità di trasporto di materiale solido di una corrente idrica sia strettamente dipendente dalla portata, dalla granulometria del materiale costituente il letto del corso d'acqua e dalla pendenza di questo. In letteratura esistono diverse formulazioni empiriche per il calcolo della capacità di trasporto solido

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	10 di 57

al fondo ed in sospensione a partire dalle caratteristiche idrauliche della corrente. Tra tali di verse formulazioni per il trasporto di fondo, la capacità di trasporto solido è stata calcolata nel caso di specie con la formula di Meyer-Peter e Müller di origine prettamente sperimentale. Tale formula può essere espressa nelle variabili adimensionali  $\Phi$  e  $\Theta$  che rappresentano rispettivamente la portata solida adimensionale ed il parametro di mobilità di Shields. Posto:

$$\Phi = \frac{q_b}{d \cdot \sqrt{g \cdot \Delta \cdot d}}$$

$$\Theta = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d}$$

dove  $q_b$  rappresenta la portata solida per unità di larghezza dell'alveo,  $d$  il diametro rappresentativo dei grani,  $\gamma$  e  $\gamma_s$  il peso specifico dell'acqua e del materiale solido e  $\Delta$  il peso specifico ridotto, la formula di Meyer-Peter e Müller assume la forma:

$$\Phi = 8 \cdot (\Theta - \Theta_{cr})^{1.5}$$

Riportano la formula nelle variabili dimensionali che caratterizzano il materiale, l'alveo e le condizioni del moto, la stessa si può esplicitare nel modo seguente:

$$q_b = 8 \cdot \sqrt{g \cdot \Delta} \cdot \left( \frac{R \cdot i}{\Delta} - d \cdot \Theta_{cr} \right)^{1.5}$$

Tale valore rappresenta la massima portata solida specifica trasportabile dalla corrente e coincide con l'effettiva portata solida solo nel caso sia disponibile in alveo una sufficiente quantità di materiale solido.

Per l'analisi oggetto del presente documento, si è assunta una pendenza media del fondo dello 0,8 % sulla scorta dei rilievi topografici disponibili. Considerando una larghezza media del fondo attivo pari a 45 m si determina per un tempo di ritorno di 500 anni una portata solida massima dell'ordine di 2,7 m<sup>3</sup>/s che corrisponde ad un volume trasportato al fondo di ca. 245.000 m<sup>3</sup>. Risulta pertanto evidente che tale contributo, se rapportato alla portata liquida al colmo di piena propria di un evento marcato da tempi di ritorno di 500 anni (vedasi Tabella 1), risulta del tutto trascurabile rappresentando di fatto una concentrazione solida di picco pari a 0,3 %. Pertanto, nelle valutazioni idrauliche condotte nell'ambito del Progetto Esecutivo per il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ), il contributo in termini quantitativi del trasporto solido al fondo è stato trascurato.

## 4.2.2 RIO GARDENA

### 4.2.2.1. Contributi liquidi

Il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ) è stato aggiornato nel 2017 con una revisione integrale dell'idrologia ed il conseguente aggiornamento delle simulazioni numeriche e delle carte di inondabilità e di pericolo idraulico. Coerentemente con quanto riportato nella Relazione dettagliata AB\_IX dell'aggiornamento del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ), per lo studio idraulico di dettaglio delle dinamiche di piena lungo il Rio Gardena si sono adottate le portate al colmo di piena illustrate nelle tabelle seguenti al variare del tempo di ritorno di progetto. In particolare si fa riferimento alla sezione di chiusura assunta subito a monte del paese alla fine dell'orrido del Rio Gardena. La portata liquida

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 11 di 57

marcata da tempi di ritorno di 200 anni è stata ricavata per interpolazione logaritmica dei dati disponibili dal PZP citato sulla scorta delle risultanze dell'applicativo Basin30 dell'Agenzia per la Protezione Civile..

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo (m <sup>3</sup> /s)
30	128,3
100	201,9
200	247,5
300	279,3

Tabella 2. Valori al colmo di piena utilizzati per lo studio idraulico del Rio Gardena nella sezione di controllo assunta nell'aggiornamento 2017 del PZP del Comune di Ponte Gardena (BZ).

La forma caratteristica degli idrogrammi di piena liquida è stata ricavata dall'analisi dei dati registrati presso l'idrometro di Pontives in Val Gardena, riscalando i dati disponibili in base ai picchi di piena sopra riportati. In Figura 6 sono riportati gli idrogrammi liquidi di progetto al variare del tempo di ritorno utilizzati nelle elaborazioni effettuate nell'ambito dell'aggiornamento del Modulo Pericoli Idraulici del PZP del Comune di Ponte Gardena (BZ).

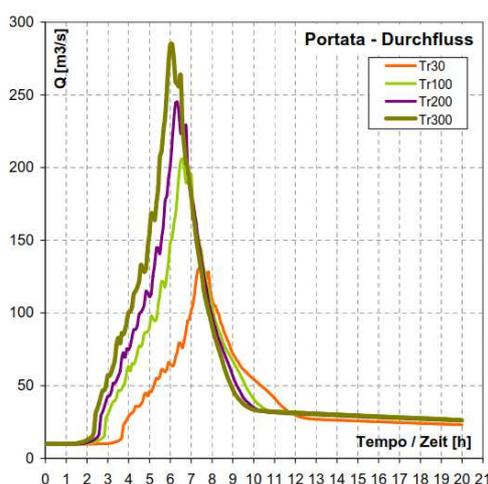


Figura 6. Idrogrammi di piena complessivi considerati nel PZP di Ponte Gardena (BZ). Per le analisi idrauliche nel paese di Ponte Gardena (BZ) sono stati considerati gli idrogrammi relativi alla sezione di chiusura posta a monte del paese.

#### 4.2.2.2. Contributi solidi e totali

Nell'ambito delle valutazioni effettuate per l'aggiornamento del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ), i picchi e gli idrogrammi liquidi sono stati maggiorati con opportuni coefficienti di amplificazione per tener conto del trasporto solido caratteristico del regime di piena per i vari tempi di ritorno considerati. È stata considerata una concentrazione solida pari al 2 % ovvero si considera un fattore di amplificazione delle portate liquide pari a 1,02. In Tabella 3 sono riportate le portate al colmo di piena, comprensive del contributo stimato di trasporto solido, utilizzate per le valutazioni idrauliche a Ponte Gardena (BZ).

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo (m <sup>3</sup> /s)
30	133,5
100	210,0

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 12 di 57

<b>200</b>	254,2
<b>300</b>	284,9

Tabella 3. Valori al colmo di piena utilizzati per lo studio idraulico del Rio Gardena nella sezione di controllo posta a monte del paese di Ponte Gardena.

#### 4.3 COERENZA CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Come ampiamente riportato nella Relazione Idrologica generale, le portate di progetto assunte in Tabella 1 risultano coerenti con i limiti di plausibilità delle portate di piena assunti per il Fiume Isarco nella medesima sezione di chiusura nell'ambito dei Piani di delle Zone di Pericolo dei Comuni di Barbiano, Ponte Gardena e Laion (BZ) e parimenti ai dettami procedurali e normativi regolamentati dalla D.G.P. 989/2016. Analogο discorso può essere fatto per il Rio Gardena, dato che i dati di base prima indicati sono tratti dall'aggiornamento del PZP del Comune di Ponte Gardena (BZ) effettuato nel 2017, ad oggi approvato ed in vigore e ripreso integralmente anche a livello distrettuale nel P.G.R.A..

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	13 di 57

## 5. IL PROGETTO SVILUPPATO

Nella presente relazione vengono indagate tutte le possibili interferenze idrauliche relative alle interazioni attese con il Fiume Isarco e di fatto connesse alla realizzazione delle opere di imbocco della galleria di interconnessione Ponte Gardena – binario pari - facente parte della linea ferroviaria del Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena "Asse ferroviario Monaco - Verona" "Accesso Sud alla galleria di base del Brennero quadruplicamento della linea Fortezza - Verona". La galleria è situata tra le località di Ponte Gardena e la zona industriale di Santa Gertrude. La struttura è localizzata nel fondo valle del Fiume Isarco, in sinistra idraulica, tra l'Autostrada del Brennero A22 e la linea ferroviaria storica presso il fiume, ad una quota altimetrica di circa 480 m slm.

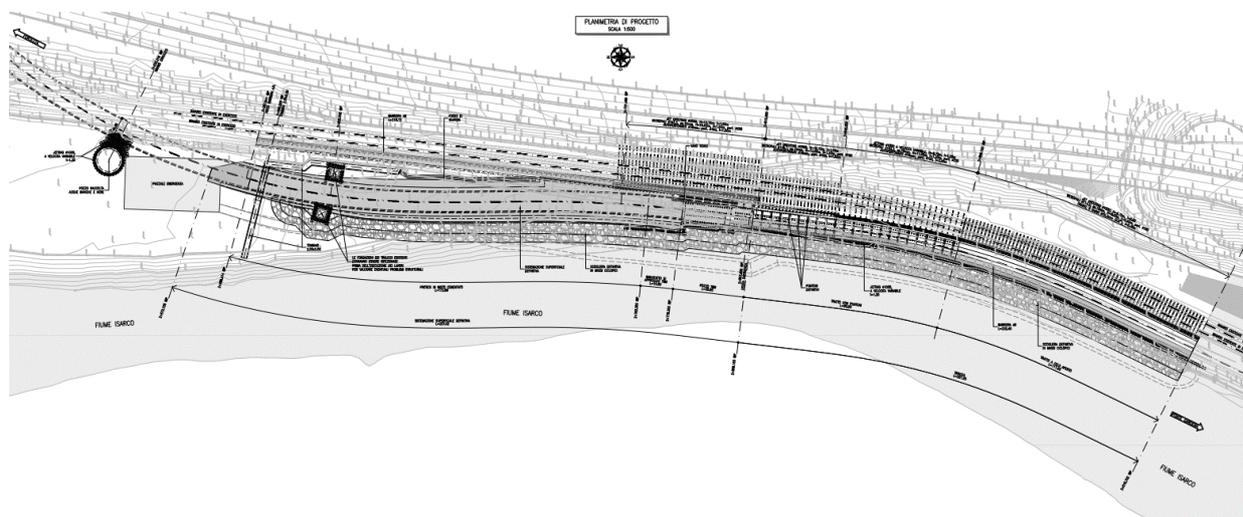


Figura 7. Planimetria di progetto dello stato finale delle opere di imbocco della galleria di interconnessione binario pari.

Le opere di imbocco da realizzare, a partire dalla stazione ferroviaria di Ponte Gardena (da Sud), sono le seguenti:

- L'opera GA08, costituita da un tratto in trincea, esteso per una lunghezza di circa 90m da progressiva pk. 2+809.150 a pk. 2+899.150. In particolare, da pk. 2+809.150 a 2+889.150 è sostenuta da puntoni definitivi, mentre da pk. 2+889.150 a 3+010.702 è un tratto a cielo aperto sostenuto da tiranti (non oggetti del presente documento);
- Il camerone di estrazione della TBM, compreso tra la progressiva 2+807.60 e la progressiva 2+763.30. Nello specifico, il primo tratto, tra la pk. 2+807.60 a 2+778.30 sarà riservato al pozzo di estrazione della TBM mentre il secondo, tra la pk. 2+778.300 e 2+763.300 al manufatto di approccio della TBM;
- Protesi in misto cementato dalla progressiva 2+763.300 alla progressiva 2+589.414;
- Il pozzo di recapito dei liquidi pericolosi e delle acque bianche provenienti per gravità dalla GA08, nella sua parte inferiore, ad una quota altimetrica inferiore a quella della stessa GA08 ed alla progressiva 2+530.316 (non oggetto del presente documento).

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 14 di 57

Si sottolinea che in due tratti del Fiume Isarco a monte della confluenza con il Rio Gardena in sinistra orografica è prevista anche la realizzazione di due nuovi muri arginali, denominati rispettivamente "muro 1" e "muro 2".

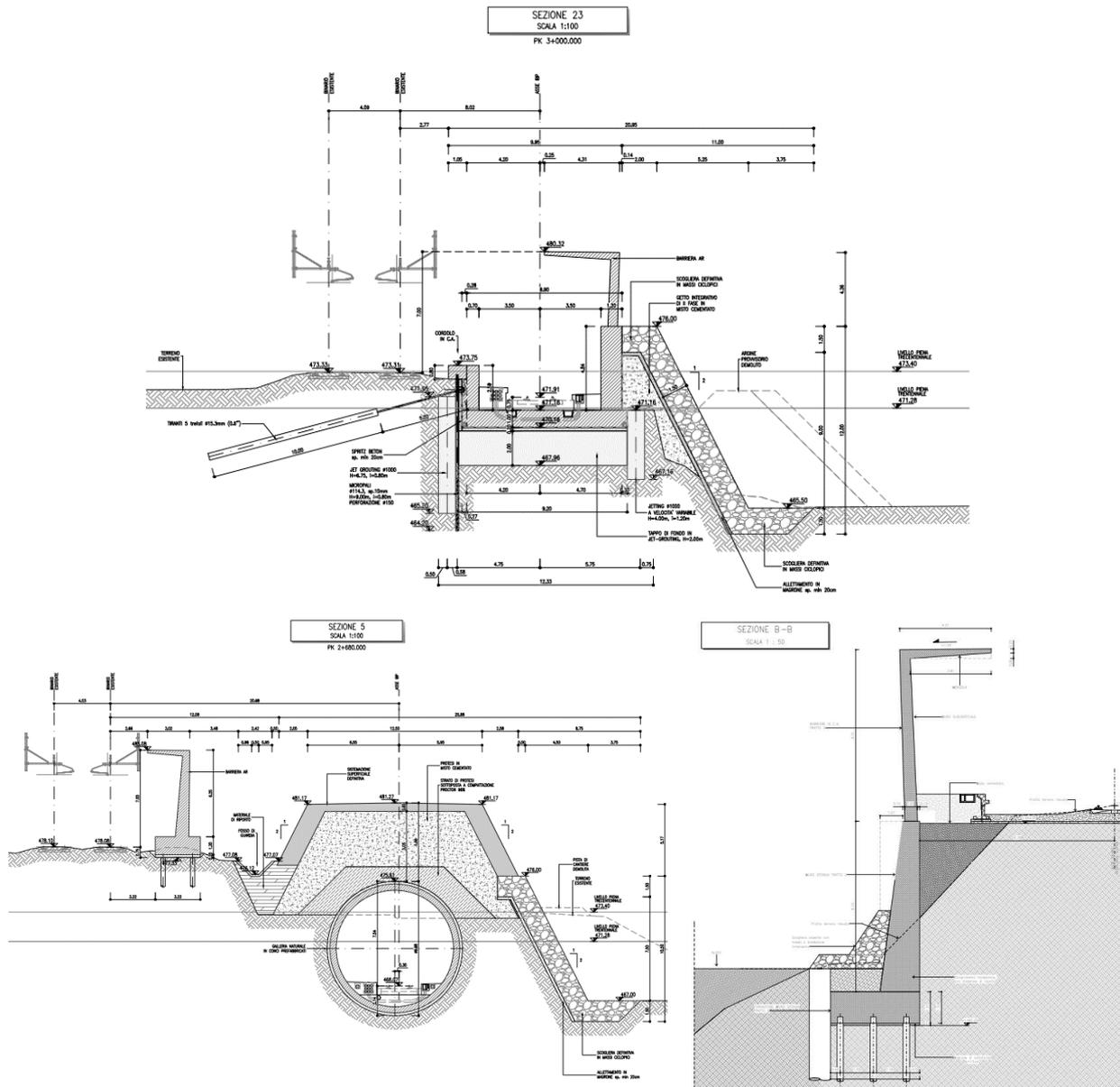


Figura 8. Alcune sezioni tipologiche degli interventi previsti sia per l'interconnessione binario pari (sopra e a sinistra) che per la realizzazione dei muri di sponda in zona 1.

Tra la confluenza del Rio Gardena e l'opera di presa dell'impianto di Cardano verranno realizzati sempre in idrografica sinistra altri due muri ex novo, nei siti denominati "Zona Muro 3" e "Zona Muro 4", propedeutici all'installazione di nuove barriere antirumore. Per i dettagli di tutte le opere ora citate si rimanda alla relativa documentazione progettuale ed alle tavole tecniche di dettaglio del progetto esecutivo.

APPALTATORE:			<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 15 di 57

Occorre infine citare anche gli interventi previsti presso il ponte ferroviario esistente a scavalco sul Rio Gardena (vedasi Figura 10). Il vecchio ponte ad arco in muratura esistente non verrà di fatto modificato, l'impalcato ferroviario, il cui intradosso è posto ad una quota superiore dell'intradosso del ponte ad arco, verrà semplicemente mascherato per consentire l'installazione di opportune barriere acustiche, pertanto non verrà modificata la sezione utile di deflusso ad oggi disponibile sotto il ponte. Inoltre, la passerella pedonale presente a monte della struttura verrà risanata senza modificarne geometria e quote, anche in questo caso non si determineranno variazioni nella sezione idraulica disponibile a monte del ponte ferroviario.

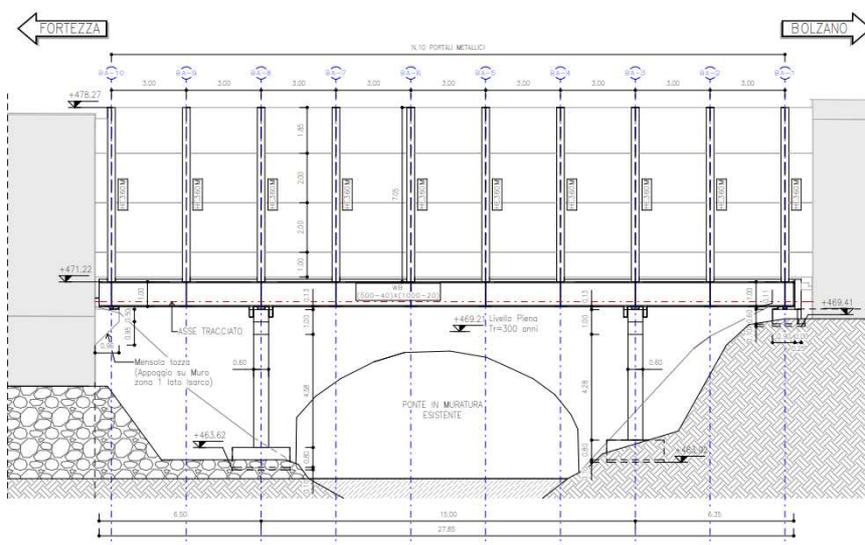


Figura 9. Prospetto lato Isarco degli interventi previsti presso il ponte ferroviario esistente a scavalco sul Rio Gardena (vedasi Elaborato IBOU1BEZZPZBA0900001B).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 16 di 57

## 6. STUDIO IDRAULICO – FIUME ISARCO

### 6.1 PREMESSA

Lo studio idraulico di cui al presente documento è finalizzato alla determinazione dei livelli idrici del Fiume Isarco presso Ponte Gardena (BZ) nei tratti di affiancamento alle opere ferroviario in progetto. In particolare lo scopo è quello di valutare le aree interessate dalle piene relative ai diversi tempi di ritorno assunti e determinare l'eventuale necessità di opere di protezione idraulica durante la fase di esercizio dell'opera per la salvaguardia dell'esercizio ferroviario. Parimenti lo studio è propedeutico anche alla dichiarazione di compatibilità idraulica degli interventi ai sensi delle normative di settore vigenti in Provincia di Bolzano ed a livello nazionale.

Al fine di effettuare tutte le verifiche idrauliche di dettaglio confacenti al livello di progettazione in essere si è proceduto come segue per step successivi:

- Inizialmente è stata effettuata un'analisi di plausibilità di tutte le forzanti di sistema rispetto a quanto assunto nell'ambito del Progetto Definitivo (capitolo 5.2);
- La topografia disponibile è stata successivamente analizzata in dettaglio ed opportunamente integrata per la costruzione di una dettagliata mesh di calcolo per l'implementazione delle simulazioni numeriche 2D per i tempi di ritorno di progetto illustrati nel paragrafo 4.1;
- Sulla scorta delle evidenze del Progetto Esecutivo, le caratteristiche geometriche e dimensionali di tutte le opere, temporanee e definitive, in progetto sono state implementate nella mesh di calcolo e sono state effettuate tutte le simulazioni numeriche 2D per lo studio dello stato di progetto (fase di esercizio);
- Dopo un'attenta fase di plausibilizzazione dei risultati e di verifica delle possibili criticità idrauliche, si è provveduto a definire opportune misure di mitigazione e di protezione idraulica, che sono state adeguatamente dimensionate e verificate anche da un punto di vista prettamente modellistico.

### 6.2 VERIFICHE ED IMPOSTAZIONE GENERALE

Sulla scorta di quanto prescritto dal MATTM (CTVA Nr. 3180 del 15 novembre 2019), si è scelto inizialmente di replicare le simulazioni monodimensionali implementate nell'ambito del Progetto Definitivo con opportuni modelli bidimensionali, sempre a fondo fisso, al fine di valutare l'accuratezza delle valutazioni idrauliche effettuate nella fase definitiva della progettazione. È infatti risaputo che i modelli 1D sono basati essenzialmente su profili topografici trasversali (per sezioni) e non consentono di valutare in dettaglio alcune dinamiche idrauliche, tra le quali ad esempio i sovralti in curva o i restringimenti d'alveo. I modelli 2D sono invece consigliabili per l'analisi di problematiche localizzate per le quali è necessario disporre di dati topografici basati su un modello digitale del terreno o degli alvei.

In tale ottica si è proceduto a simulare il progetto definitivo, mantenendo la medesima topografia, con un modello 2D in ambiente HYZDRO\_AS-2D al fine di verificare analogie o divergenze rispetto alla più semplificata modellazione monodimensionale disponibile. Si ricorda in ogni caso che nel Progetto Definitivo le paratoie di settore dell'opera di presa a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano sono state assunte chiuse e che le simulazioni sono state condotte fino a tempi di ritorno massimi di 300 anni. Coerentemente

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 17 di 57

con la pratica tecnica ed in virtù delle prescrizioni contenute nel Foglio Condizioni della concessione idroelettrica GS/57, nel modello 2D le paratoie di settore sono state invece simulate aperte.

I risultati dell'analisi eseguita sono riportati di seguito in forma tabellare e grafica. Con WSE si intende la superficie del pelo libero della corrente nelle diverse sezioni. Per la localizzazione delle sezioni si rimanda alla cartografia di progetto redatta.

ID sezione	WSE TR300 – PD 1D (m s.l.m.)	WSE TR300 – PD 2D (m s.l.m.)	Differenza (m)
1	471,49	467,97	3,52
2	471,50	468,03	3,47
3	471,41	468,98	2,43
4	471,35	470,03	1,32
5	471,64	471,14	0,50
6	471,83	471,45	0,38
7	471,80	471,51	0,29
8	471,19	471,90	-0,71
9	471,14	473,67	-2,53
10	472,59	473,98	-1,39
11	473,14	474,76	-1,62
12	473,38	475,35	-1,97
13	475,87	476,23	-0,36
14	475,96	477,02	-1,06
15	476,96	477,97	-1,01
16	477,69	478,38	-0,69
17	477,69	478,50	-0,81

Tabella 4 – Confronto tra le simulazioni 1D e 2D del Progetto Definitivo.

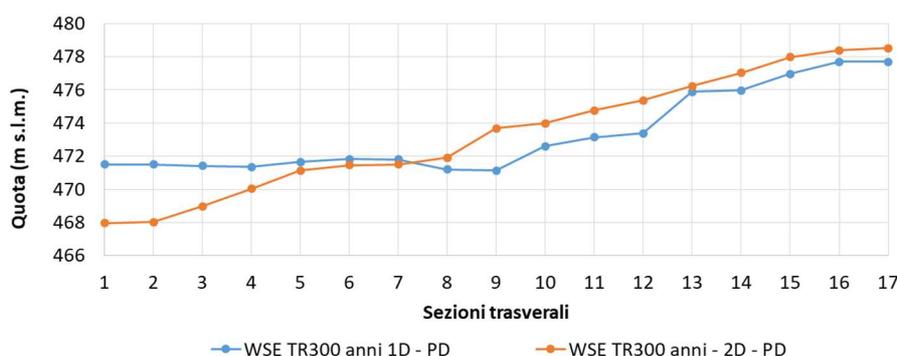


Figura 10. Andamento delle WSE per TR300 anni ai sensi della simulazione 1D del PD e della simulazioni 2D condotta con la medesima soluzione progettuale e la medesima topografia.

Come si evince dai dati sopra riportati, si determinano differenze sostanziali tra i diversi approcci di calcolo, imputabili solo parzialmente alle diverse condizioni di valle imposte. Si nota ad esempio come il modello idraulico 1D del Progetto Definitivo restituisca quota della superficie libera sensibilmente maggiori fino alla sezione Nr. 4, sostanzialmente a causa del rigurgito causato dall'opera di presa dell'impianto idroelettrico posto a valle del tratto di studio. Dalla sezione Nr. 5 alla sezione Nr. 7 si determina invece una sostanziale invarianza, mentre dalla sezione Nr. 8 alla sezione Nr. 17 si determinano invece delle quote minori rispetto alla simulazioni condotte con modello 2D. Con una modellazione bidimensionale è infatti possibile simulare

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 18 di 57

con maggior accuratezza sia i sovralti in curva che gli effetti del restringimento dell'alveo localizzato nella sezione Nr. 8.

Da un mero confronto delle risultanze delle analisi idrauliche e modellistiche eseguite si registra quindi una netta divergenza tra le evidenze emerse dall'analisi del PD riconducibili soprattutto al diverso approccio numerico (da 1D a 2D) ora richiesto in seguito della prescrizione prima citata. A livello prettamente tecnico è risultato quindi necessario rivalutare le allora proposte soluzioni tecniche alla luce delle variazioni delle dinamiche idrauliche ed alluvionali riscontrate in questa sede.

Oltre a repecire le prescrizioni ministeriali (modellazioni bidimensionali ed estensione dell'orizzonte di analisi anche a piene marcate da tempi di ritorno di almeno 500 anni), al fine di garantire al calcolo numerico una maggiore accuratezza è stato effettuato un rilievo aggiuntivo di Nr. 7 sezioni trasversali nel tratto del Fiume Isarco considerate maggiormente sensibili da un punto di vista idraulico, replicando quindi le simulazioni bidimensionali sia per lo stato attuale che per lo stato di progetto come di seguito illustrato e repecendo le soluzioni progettuali implementate nell'ambito della progettazione esecutiva.

### 6.3 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI

#### 6.3.1 Dati di base topografici

Per la costruzione della mesh dello stato attuale dell'alveo del Fiume Isarco nel tratto di interesse, sono stati utilizzati i seguenti dati di base:

- Rilievi topografici forniti dall'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano (2010-2013);
- Rilievi topografici del Progetto Definitivo e rilievi integrativi concentrati nel tratto di intervento svolti nel dicembre 2021 dalla dita Cartorender di Bolzano;
- Volo Lidar effettuato nel 2021 in sponda orografica sinistra nelle aree che ospiteranno i cantieri ed i pilastri del nuovo ponte ferroviario;
- Rilievi topografici integrativi realizzati nell'ambito del Progetto Esecutivo tra dicembre 2021 e gennaio 2022, realizzati successivamente all'analisi del grado di accuratezza delle verifiche idrauliche condotte nell'ambito del Progetto Definitivo;
- Lidar Solar Tirolo 2013 della Provincia Autonoma di Bolzano (risoluzione a terra 0,5 m);
- Rilievi topografici lungo il Rio Gardena (Codice delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Bolzano I) effettuati nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ) (2013).

Per le simulazioni dello stato di progetto le mesh sopra descritte sono state opportunamente modificate inserendo le strutture delle nuove opere previste con tutte le modifiche del caso (ad es. scabrezze) nel dataset topografico e replicando le modellazioni numeriche nello stato finale di progetto.

#### 6.3.2 Mesh di progetto

Le mesh di calcolo sono state implementate con il codice commerciale SMS (*Surface-Water Modeling System*, versione 12.2) commercializzato da AQUAVEO (<https://www.aquaveo.com/>). Le griglie di calcolo proprie della mesh dell'alveo del Fiume Isarco sono costituite da elementi modulari rettangolari di dimensioni pari a

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	19 di 57

ca. 3 x 9 m caratterizzate da una scabrezza del fondo pari a  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . Tale valore è stato scelto coerentemente con quanto fatto per il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Barbiano (BZ) ed in base alle Indicazioni di Lavoro dell'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano. Nelle aree perifluviali è stata invece costruita una maglia a celle triangolari di dimensioni variabili su base Lidar. Le caratteristiche delle aree perifluviali sono tratte dalla Carta ufficiale di Uso del Suolo della Provincia Automa di Bolzano reperibile sul Geobrowser provinciale (<https://www.provincia.bz.it/informatica-digitalizzazione/digitalizzazione/open-data/maps-e-webgis-geobrowser.asp>). Le simulazioni idrauliche degli attraversamenti esistenti ed in progetto sono state condotte considerando la quota dell'intradosso delle strutture, così come risulta dai rilievi disponibili e dagli elaborati progettuali del Progetto Esecutivo. Parimenti, le pile dei ponti sono state simulate come elementi "disable", ovvero impermeabili al flusso della corrente. A titolo di esempio, sono fornite nelle immagini seguenti due estratti delle mesh di calcolo elaborate per lo stato attuale (Figura 11) e per lo stato finale di progetto (Figura 12).

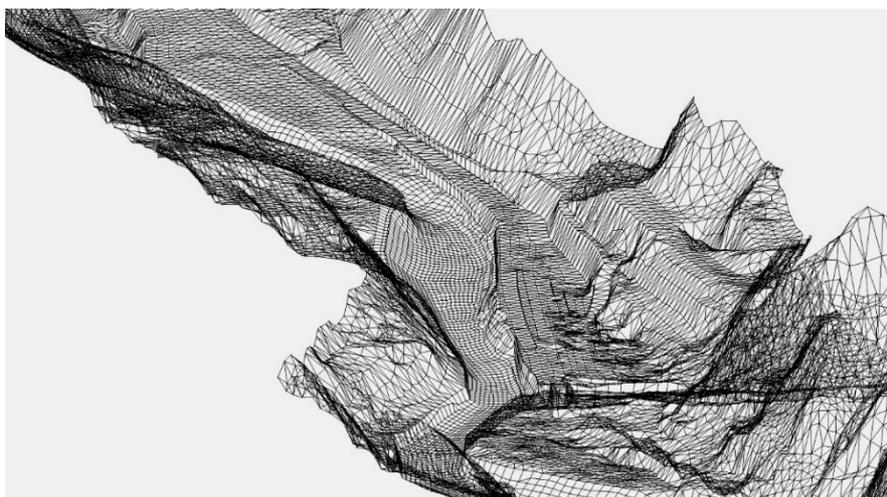


Figura 11 – Mesh di calcolo per lo stato attuale del Fiume Isarco.

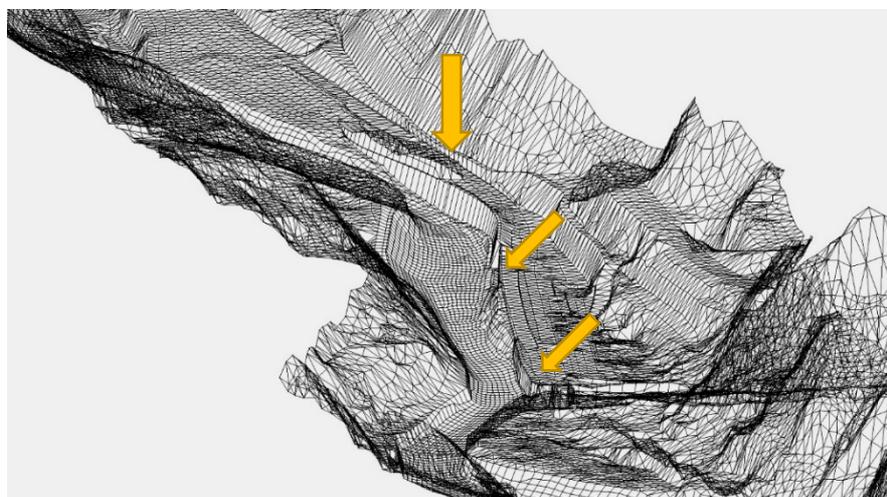


Figura 12 – Mesh di calcolo per lo stato finale di progetto del Fiume Isarco (le frecce indicano le opere previste).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	20 di 57

### 6.3.3 Codice di calcolo

Per le simulazioni bidimensionali condotte nell'ambito delle verifiche idrauliche effettuate è stato utilizzato il codice commerciale HYDRO\_AS-2D ([https://www.hydrotec.de/hydro\\_as-2d-en/](https://www.hydrotec.de/hydro_as-2d-en/)), versione 5.2.4. Il software viene commercializzato dal 2003 dalla ditta Hydrotec con sede centrale ad Aachen in Germania (DE). Il codice viene utilizzato esclusivamente per le simulazioni bidimensionali di ambienti idrici in cui la componente verticale della velocità di flusso può essere considerata trascurabile. Nel caso di specie le velocità di flusso vengono infatti mediate sulla verticale. Tale semplificazione è ammissibile nel caso di ambienti fluviali e porta ad imprecisioni relativamente contenute rispetto a più dettagliate simulazioni 3D in quanto negli alvei naturali le profondità della corrente sono generalmente contenute se rapportate alle larghezze degli alvei, ammettendo di fatto di trascurare la componente verticale delle velocità.

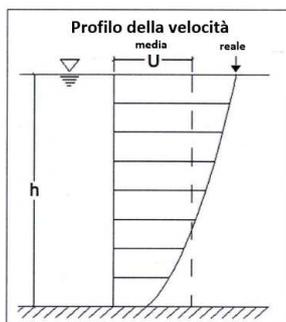


Figura 13 – Velocità di flusso mediata sulle verticale.

Il modello matematico utilizzato per le simulazioni si basa sulle classiche equazioni di acqua bassa, nella fattispecie sulle equazioni mediate sulla verticale proposte da Abbott. Queste derivano dall'integrazione delle equazioni di continuità tridimensionali con l'equazione di Reynolds e le equazioni di Navier-Stokes per fluidi incomprimibili lungo la verticale e nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni secondo Pironneau. Nella forma vettoriale compatta le equazioni del moto bidimensionale possono essere riportate secondo Tan e Nujic nel seguente modo:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} + s = 0 \quad w = \begin{bmatrix} H \\ uh \\ vh \end{bmatrix} \quad f = \begin{bmatrix} uh \\ u^2h + 0.5gh^2 - vh \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \\ vh \end{bmatrix}$$

dove  $H = h + z$  rappresenta la superficie libera in termini assoluti,  $u$  e  $v$  rappresentano le componenti lungo gli assi  $x$  e  $y$  della velocità di flusso. Il termine  $s$  invece rappresenta implicitamente la pendenza del fondo e la cadente energetica.

Per la risoluzione delle equazioni in acqua bassa è necessario specificare opportune condizioni iniziali e condizioni al contorno. Essenzialmente è necessario definire delle condizioni al contorno lungo l'intero perimetro della mesh di calcolo, distinguendo tra condizioni al contorno chiuse ed aperte. Lungo i contorni chiusi la direzione della corrente può svilupparsi esclusivamente parallelamente al contorno, la componente della velocità perpendicolare ad esso è assunta nulla, pertanto tali contorni non vengono attraversati dal flusso. Per tutte le condizioni al contorno che non si riferiscono esplicitamente a condizioni di inflow o outflow il programma genera automaticamente una condizione di contorno chiuso. I contorni aperti possono invece essere penetrati dal flusso della corrente e sono rappresentati generalmente dalle condizioni di inflow o

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 21 di 57

di outflow. Per inflow si intendono generalmente gli idrogrammi di piena da propagare nel piano di simulazione in direzioni strettamente dettate dalla topografia. I valori dei tiranti idrici determinati in tali posizioni vengono definiti per interpolazione con i valori calcolati nelle parti centrali del dominio di calcolo. Nelle celle di outflow i valori del tirante idrico vengono definiti in funzione della portata. Come condizioni al contorno aperte risulta possibile impostare anche la pendenza del fondo o una curva caratteristica di deflusso nel caso di stramazzi. In ogni caso le condizioni al contorno devono necessariamente essere poste ad una opportuna distanza a monte ed a valle della zona di studio in modo da consentire una opportuna stabilizzazione del modello. Come già accennato in precedenza, il software richiede la predisposizione con una maglia lineare agli elementi finiti di tipo non strutturato. È consigliabile evitare elementi troppo piccoli con angolazioni sostanziali rispetto alla direzione prevalente di flusso, nel contempo risulta imprescindibile contenere il più possibile la numerosità degli elementi da simulare per ottenere un tempo computazionale di durata accettabile. Per le simulazioni di cui al presente documento sono stati utilizzati i seguenti dati in ingresso:

- **Dati topografici:** mesh di calcolo agli elementi finiti non strutturata, creata come descritto in precedenza nel presente documento;
- **Dati idrologici:** idrogrammi di piena così come riportati in Figura 5;
- **Dati di resistenza:** valori del coefficiente di Gauckler – Strickler in funzione delle coperture e degli utilizzi di suolo così come descritto nel paragrafo 6.3.2.

In ambiente HYDRO\_AS-2D è stata pertanto simulata la propagazione degli idrogrammi di piena nell'area di progetto in condizioni non stazionarie ed a fondo fisso. Non sono state assunte ostruzioni parziali di alveo e/o delle opere trasversali esistenti, né sono state effettuate delle simulazioni a fondo mobile.

#### 6.3.4 Condizioni al contorno

Nel modello 2D implementato sono state imposte le seguenti condizioni al contorno:

- Portate influenti da monte nel Fiume Isarco con sezione di ingresso posta ca. 2.150 m a monte dello sbocco del Rio Gardena per tutti i tempi di ritorno simulati;
- Portate influenti da monte nel Rio Gardena (I) in moto stazionario con contributi liquidi alla piena del Fiume Isarco pari rispettivamente a 30,3 m<sup>3</sup>/s per Tr 30 anni, 38,1 m<sup>3</sup>/s per Tr 100 anni, 43,0 m<sup>3</sup>/s per Tr 200 anni, 46,0 m<sup>3</sup>/s per Tr 300 anni e 49,9 m<sup>3</sup>/s per Tr 500 anni;
- Le celle di outflow sono state poste ca. 1.050 m a valle della confluenza del Rio Gardena (I), ovvero ca. 330 m a valle dalla traversa idroelettrica di Colma. È stata imposta una pendenza della linea dell'energia pari a 1,2 %.

#### 6.3.5 Contributi del Rio Gardena alla piena del Fiume Isarco

I contributi di piena del Rio Gardena alla piena transitante nel Fiume Isarco sono stati considerati stazionari anziché in moto vario o non stazionario. Appare evidente come il tributario laterale non contribuisca con le "proprie" portate di piena, così come calcolate nella Relazione Idrologica generale, ma semplicemente con un contributo, la cui entità è assunta stazionaria per l'intera durata della simulazione. Occorre sottolineare quanto segue:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	22 di 57
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>							
Relazione idraulica							

- Il Rio Gardena ed il Fiume Isarco alla confluenza sottendono bacini imbriferi molto diversi e caratterizzati da un'estensione areale di un ordine di grandezza di differenza. Pertanto gli eventi meteorici critici, capaci cioè di innescare le dinamiche di una piena, sono molto differenti e soprattutto sono caratterizzati da differenti distribuzioni spaziale e temporali;

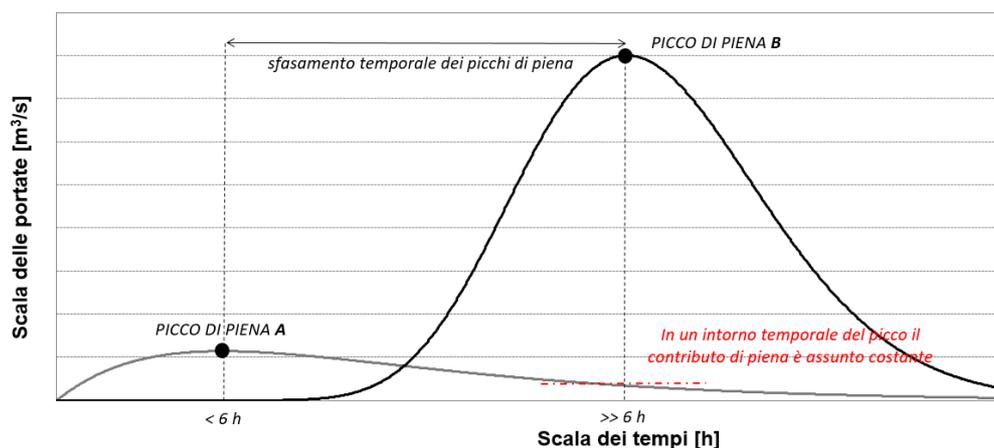


Figura 14 – Schema concettuale delle valutazioni in merito ai contributi di piena del Rio Gardena (A) rispetto al Fiume Isarco (B).

- I picchi di piena saranno pertanto sfasati, ovvero la probabilità che i due corsi d'acqua adducano alla confluenza picchi di piena marcati da stessi tempi di ritorno è molto ridotta e tale accadimento è da ascrivere senza ombra di dubbio ad un evento con tempi di ritorno ultra-millennari. È intuitivo pensare come la piena generata dal Rio Gardena sia molto più veloce di quella generata dal Fiume Isarco, pertanto è realistico ipotizzare che nel momento in cui la piena dell'Isarco transita nella sezione di controllo considerata il Rio Gardena non contribuirà con il relativo picco di piena ma con un contributo di piena molto più ridotto, essendo coinvolta unicamente la fase discendente dell'onda di piena stessa.
- Come riportato in Figura 14, si intuisce altresì come in un intorno temporale del picco del Fiume Isarco il contributo di piena del Rio Gardena non vari sensibilmente nel tempo. Pertanto risulta giustificato considerare lo stesso costante ed in regime stazionario.

Per quanto concerne la quantificazione del contributo di piena del Rio Gardena nel Fiume Isarco, data la buona corrispondenza con i risultati delle regionalizzazioni come indicato nella Relazione Idrologica generale, si è provveduto a stimare per ogni tempo di ritorno le portate di piena del Fiume Isarco a monte ed a valle della confluenza con il Rio Gardena. Tale differenza corrisponde di fatto al contributo di piena del torrente laterale alla piena del corso d'acqua principale. I risultati del calcolo effettuato sono riportati nella seguente tabella, in cui sono illustrati gli input di portata caratteristici per il nodo idraulico simulato.

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo Isarco (m³/s)	Contributo Rio Gardena (m³/s)
30	670	30,3
100	893	38,1
200	998	43,0
300	1.060	46,0
500	1.138	49,9

Tabella 5. Contributi di piena del Rio Gardena alla piena del Fiume Isarco al variare del tempo di ritorno.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	23 di 57

Secondo tale approccio si opera pertanto un confronto dei picchi di piena, anche il contributo del Rio Gardena deve essere inteso come tale. Di conseguenza l'approccio scelto è da considerarsi sicuramente cautelativo nonostante l'ipotesi di stazionarietà posta.

### 6.3.6 Traversa idroelettrica di Colma

Per quanto concerne la configurazione simulata della traversa idroelettrica di Colma, a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano, tutte le paratoie di settore sono state simulate sempre aperte, coerentemente con il Foglio Condizioni della concessione GS/57. Parimenti le bocche di presa laterali sono state considerate chiuse per tutti i tempi di ritorno simulati. Si ricorda che, ai sensi della citata concessione, l'impianto idroelettrico può derivare una portata massima di 90 m<sup>3</sup>/s.

### 6.3.7 Regime delle scabrezze

In Tabella 6 sono riportati i coefficienti di scabrezza di Gauckler Strickler (m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>) assunti per le simulazioni bidimensionali condotte, coerentemente con i dettami di letteratura ed il Manuale di Progettazione RFI.

Per quanto concerne il Fiume Isarco, è stato considerato un alveo caratterizzato da un letto prevalentemente ghiaioso con sponde in sistemate con protezioni diffuse ed in parte vegetate, assumendo una scabrezza equivalente del fondo pari a 20 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>. Tale valore risulta coerente anche con le elaborazioni in back analysis dei dati di portata e tirante registrati presso gli idrometri esistenti sia a monte che a valle del tratto di studio.

Materiale	K <sub>s</sub> [m <sup>1/3</sup> /s]
Isarco - Alveo	20
Isarco - sponde	10 - 30
Rio Gardena - Alveo	25
Strade, pista ciclabile	40
Depositi	15
Calcestruzzo	50
Bosco	10
Discariche	15
Case singole, case sparse	12
Seminativo	15
Colture permanenti	12
Superfici industriali e commerciali	12
Altre attrezzature di interesse pubblico	12
Area a copertura artificiale non classificabile	12
Tessuto extraurbano denso	12
Aree prative	20
Altre superfici agricole	16
Linee ferroviarie e spazi associati	15

Tabella 6 – Scabrezze assunte nelle simulazioni 2D effettuate lungo il Fiume Isarco.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	24 di 57

## 7. STUDIO IDRAULICO – RIO GARDENA

### 7.1 PREMESSA

Nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ) è stato implementato un set di simulazioni bidimensionali a fondo fisso per lo studio delle dinamiche di piena del Rio Gardena nel fondovalle afferente al paese di Ponte Gardena. Negli ultimi anni non sono stati eseguiti lavori sostanziali di regimazione idraulica lungo il corso del torrente e non è stato modificato l'assetto sistematorio e degli attraversamenti stradali e ferroviario esistenti. Pertanto il modello 2D allora approntato può essere ragionevolmente considerato rappresentativo anche per lo stato attuale. Inoltre tutte le attività in progetto non prevedono modificazioni sostanziali delle geometrie di alveo, degli impalcati e delle aree perifluviali. Pertanto le mesh di progetto ed i risultati delle simulazioni allora condotte possono essere considerate valide anche per il futuro stato di progetto. Di seguito si forniscono pertanto i caratteri generali dello studio idraulico allora implementato e delle condizioni al contorno assunte.

### 7.2 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI

#### 7.2.1 Dati di base topografici

Nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ), per la costruzione delle mesh di calcolo per le simulazioni idrauliche lungo il Rio Gardena nel tratto di fondovalle sono stati utilizzati i seguenti dati di base:

- Rilievi topografici forniti dall'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano (2010-2013);
- DTM 2006 della Provincia Autonoma di Bolzano (risoluzione a terra 2,5 m);
- Rilievi topografici lungo il Rio Gardena (Codice delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Bolzano I) effettuati nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ) (2013).

#### 7.2.2 Mesh di calcolo

La mesh di calcolo è stata costruita sulla scorta dei rilievi topografici disponibili sempre in ambiente SMS. La maglia è triangolare con celle di dimensione variabile. In tutto il modello di calcolo annovera ca. 42.500 elementi (Figura 17).



Figura 15 – Estratto della mesh di calcolo utilizzata per simulazioni lungo il Rio Gardena.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	25 di 57

### 7.2.3 Codice di calcolo

Per le simulazioni bidimensionali condotte nell'ambito delle verifiche idrauliche effettuate è stato utilizzato il codice commerciale HYDRO\_AS-2D ([https://www.hydrotec.de/hydro\\_as-2d-en/](https://www.hydrotec.de/hydro_as-2d-en/)), versione 5.2.4. Il software viene commercializzato dal 2003 dalla ditta Hydrotec con sede centrale ad Aachen in Germania (DE). Per dettagli sul codice di calcolo si rimanda a quanto già riportato nel paragrafo 6.3.3. Per le simulazioni di cui al presente documento sono stati utilizzati i seguenti dati in ingresso:

- **Dati topografici:** mesh di calcolo agli elementi finiti non strutturata, creata come descritto in precedenza nel presente capitolo;
- **Dati idrologici:** picchi ed idrogrammi di piena così come riportati nel paragrafo 4.2.2;
- **Dati di resistenza:** valori del coefficiente di Gauckler – Strickler in funzione delle coperture e degli utilizzi di suolo così come descritto nel paragrafo 7.3.

In ambiente HYDRO\_AS-2D è stata pertanto simulata la propagazione degli idrogrammi di piena nell'area di progetto in condizioni non stazionarie ed a fondo fisso. Non sono state assunte ostruzioni parziali di alveo e/o delle opere trasversali esistenti, né sono state effettuate delle simulazioni a fondo mobile.

### 7.2.4 Condizioni al contorno

Nel modello 2D implementato nell'ambito del PZP comunale sono state imposte le seguenti condizioni al contorno:

- Portate influenti da monte nel Rio Gardena con sezione di ingresso posta ca. 1.030 m a monte dello sbocco del Rio Gardena nel Fiume Isarco per tutti i tempi di ritorno simulati;
- Portate influenti da monte nel Rio Gardena (I) secondo quanto riportato nel paragrafo 4.2.2;
- Le celle di outflow sono state poste ca. 810 m a valle della confluenza tra il Rio Gardena (I) ed il Fiume Isarco.

Per quanto concerne la condizione di valle posta lungo il Fiume Isarco, occorre rimarcare che i bacini imbriferi dell'Isarco e del Rio Gardena risultano molto differenti sia in termini di dimensioni che per le peculiarità idrologiche che li contraddistinguono. Non vi è infatti da aspettarsi un picco di piena elevato lungo il Fiume Isarco quando il Rio Gardena è in piena, in quanto il tempo idrologico di risposta del grande fiume di fondovalle è di un ordine di grandezza superiore e le piene dell'Isarco sono generate da eventi meteorici di gran lunga più lunghi di quelli che mandano in crisi il bacino imbrifero del Rio Gardena. Coerentemente con quanto effettuato nell'ambito dell'aggiornamento del Modulo Pericoli Idraulici del PZP di Ponte Gardena (2017) si è assunto come condizione al contorno lungo il Fiume Isarco il verificarsi di una piena marcata da un tempo di ritorno di 0,5 anni, la cui magnitudo è stata determinata grazie all'estrapolazione dei dati disponibili presso la stazione idrometrica di Bressanone ed ammonta a 350 m<sup>3</sup>/s. (inflow Isarco ca. 500 m a monte della confluenza) Tale valore è stato pertanto imposto come inflow nel modello nel Fiume Isarco per tutti i tempi di ritorno simulati al fine di determinare il pericolo idraulico indotto dal Rio Gardena sull'abitato di Ponte Gardena e sulle strutture ferroviarie oggetto di intervento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 26 di 57

### 7.3 REGIME DELLE SCABREZZE

In Tabella 7 sono riportati i coefficienti di scabrezza di Gauckler Strickler ( $m^{1/3}s^{-1}$ ) assunti per le simulazioni bidimensionali condotte, coerentemente con quanto riportato nella Relazione dettagliata dei Pericoli Idraulici IX del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ).

Uso del suolo /Oggetti	$K_s$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )
Zone edificabili	13
Campi incolti	13
Torrenti con opere trasversali	10
Torrenti senza opere trasversali	20
Colture generiche	15
Zone di deposito	30
Zone fortemente urbanizzate	60
Zone debolmente urbanizzate	60
Ferrovia e zone annesse	30
Roccia	80
Zone umide	20
Zone cimiteriali	20
Edifici	2
Cunette cementate	33
Praterie	15
Aree verde in zone urbanizzate	40
Zone artigianali e industriali	60
Aree non classificabili	30
Zone agricole	15
Zone attrezzature pubbliche	25
Strutture sportive e tempo libero	17
Strade e superfici annesse	45
Materiale sciolto non vegetato	35
Aree boscate	9

Tabella 7 – Scabrezze assunte nelle simulazioni 2D effettuate lungo il Rio Gardena nell’ambito del PZP comunale (2017).



Figura 16 – Mappatura delle scabrezze utilizzate per le simulazioni idrauliche a Ponte Gardena per il Rio Gardena (PZP Comune di Ponte Gardena, aggiornamento 2017).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 27 di 57

## 8. RISULTATI

### 8.1 FIUME ISARCO

#### 8.1.1 Stato attuale

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comune di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato attuale. Le simulazioni sono state condotte per TR 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

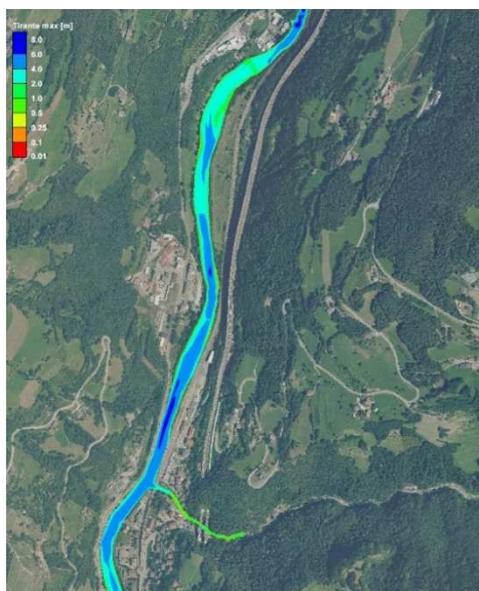


Figura 17. Tiranti massimi per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

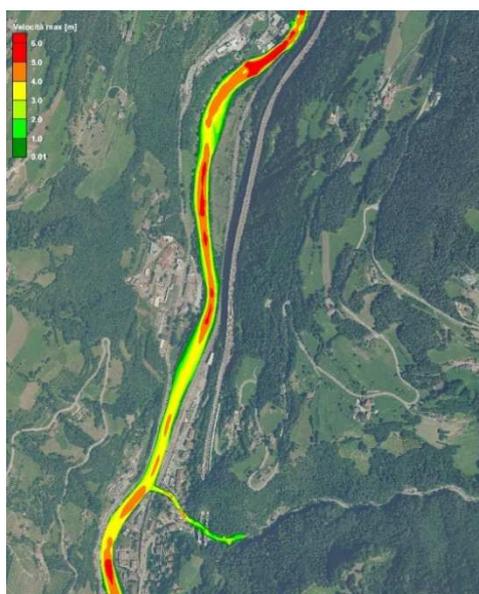


Figura 18. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RI</td> <td>ID0000201</td> <td>C</td> <td>28 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	28 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	28 di 57								

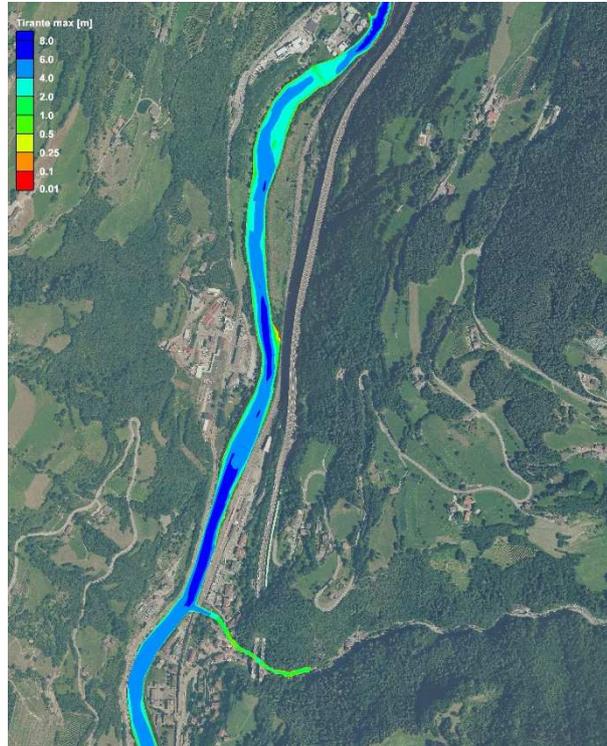


Figura 19. Tiranti massimi per l'evento TR100 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

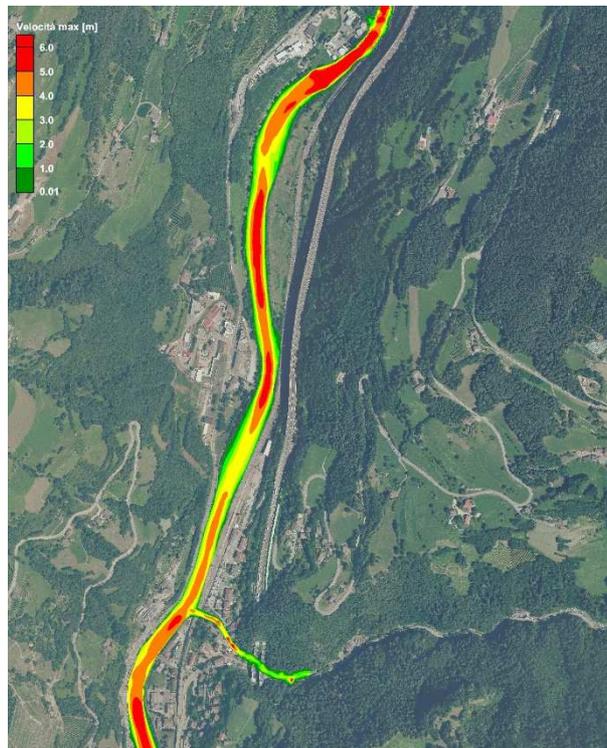


Figura 20. Velocità di flusso massime per l'evento TR100 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>29 di 57</b>

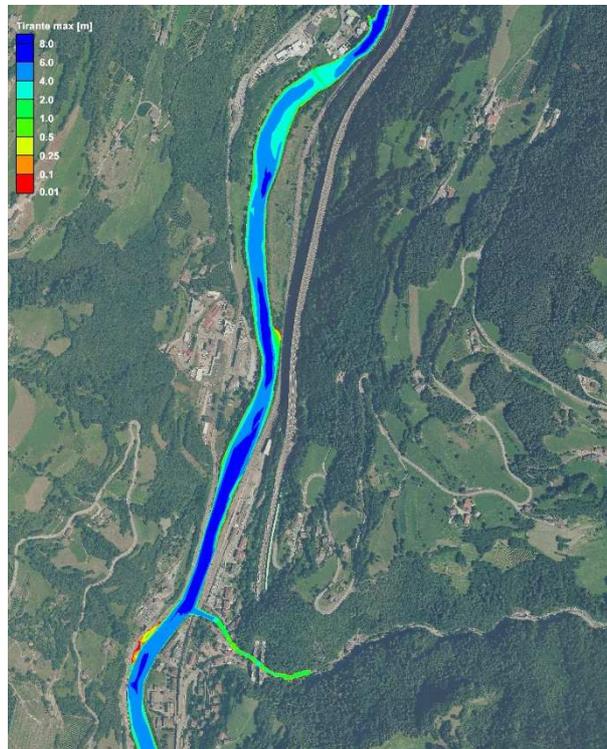


Figura 21. Tiranti massimi per l'evento TR200 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

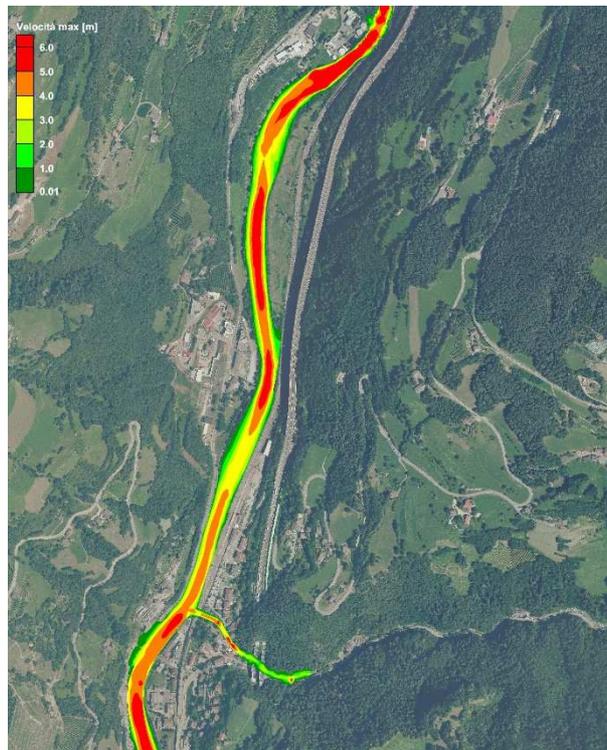


Figura 22. Velocità di flusso massime per l'evento TR200 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>30 di 57</b>

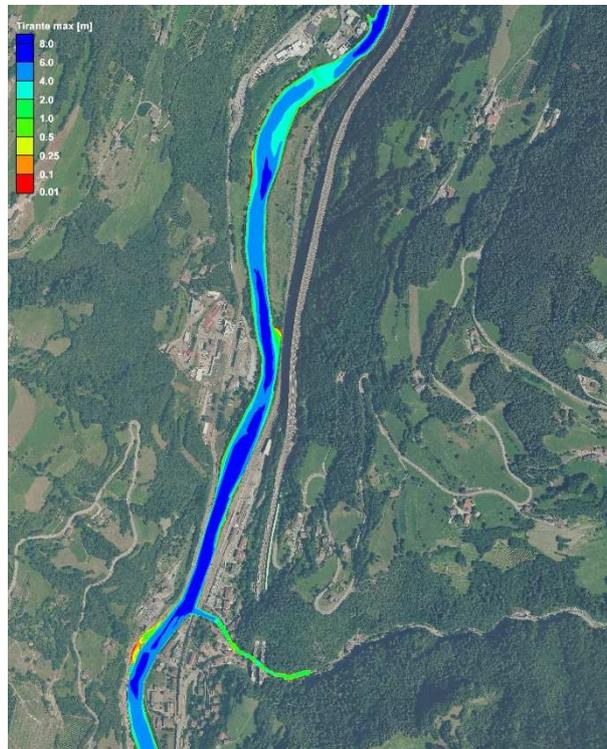


Figura 23. Tiranti massimi per l'evento TR300 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

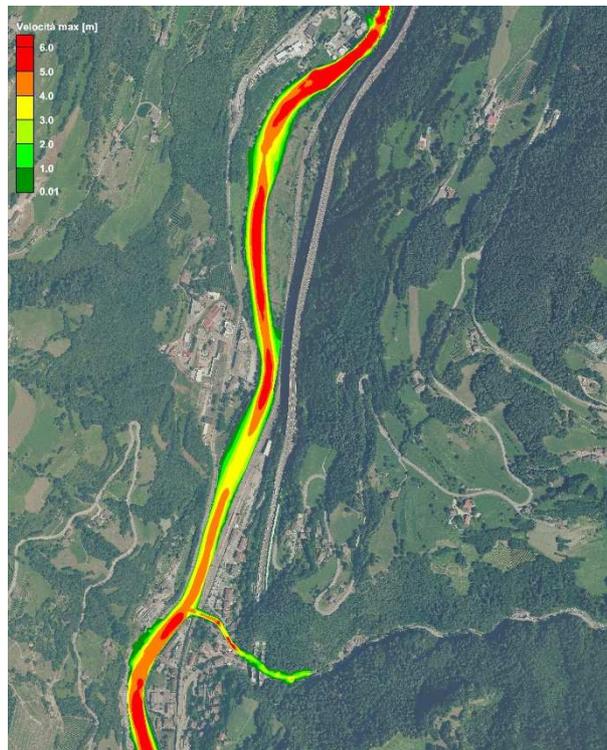


Figura 24. Velocità di flusso massime per l'evento TR300 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>31 di 57</b>

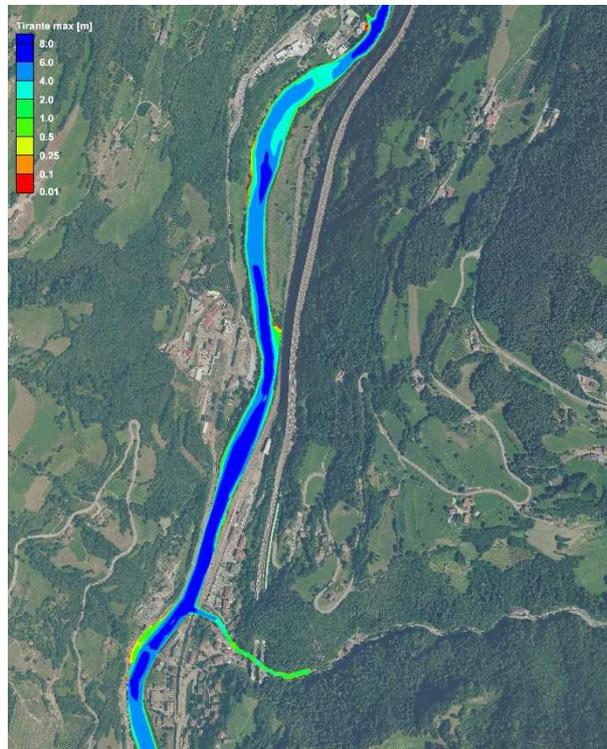


Figura 25. Tiranti massimi per l'evento TR500 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

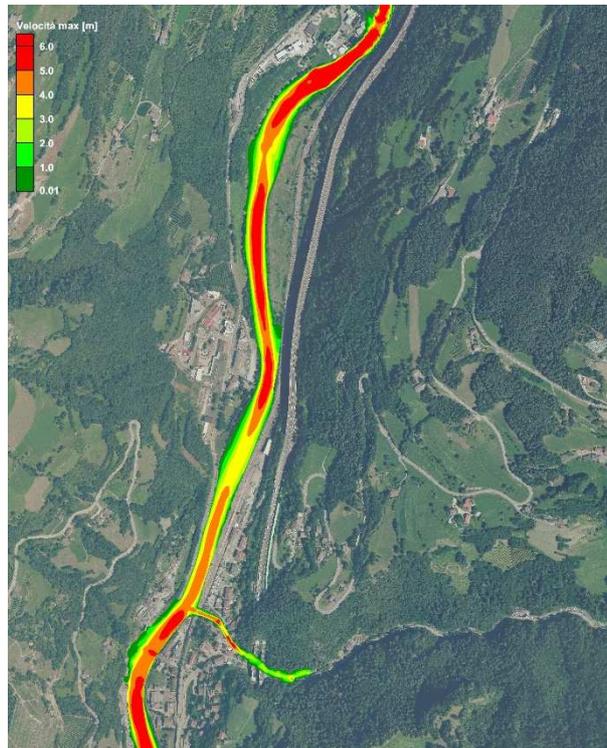


Figura 26. Velocità di flusso massime per l'evento TR500 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 32 di 57

Si sottolinea come dai risultati ottenuti nell'ambito delle simulazioni condotte per lo stato attuale si ottiene una generale situazione di pericolosità idraulica che ricalca quanto già determinato nell'ambito dei Piani delle Zone di Pericolo dei Comuni di Barbiano, Ponte Gardena e Laion. Si sottolinea parimenti che, ai sensi della disciplina vigente in Provincia di Bolzano, eventi alluvionali con tempi di ritorno maggiori di 300 anni sono ascritti alla sfera del pericolo residuo e non hanno di fatto conseguenze urbanisticamente rilevanti. Pertanto il confronto in questo senso non può essere esteso anche alla piena marcata da TR500 anni.

### 8.1.2 Stato di progetto

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comuni di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nel futuro stato finale di progetto. Le simulazioni sono state condotte per TR 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

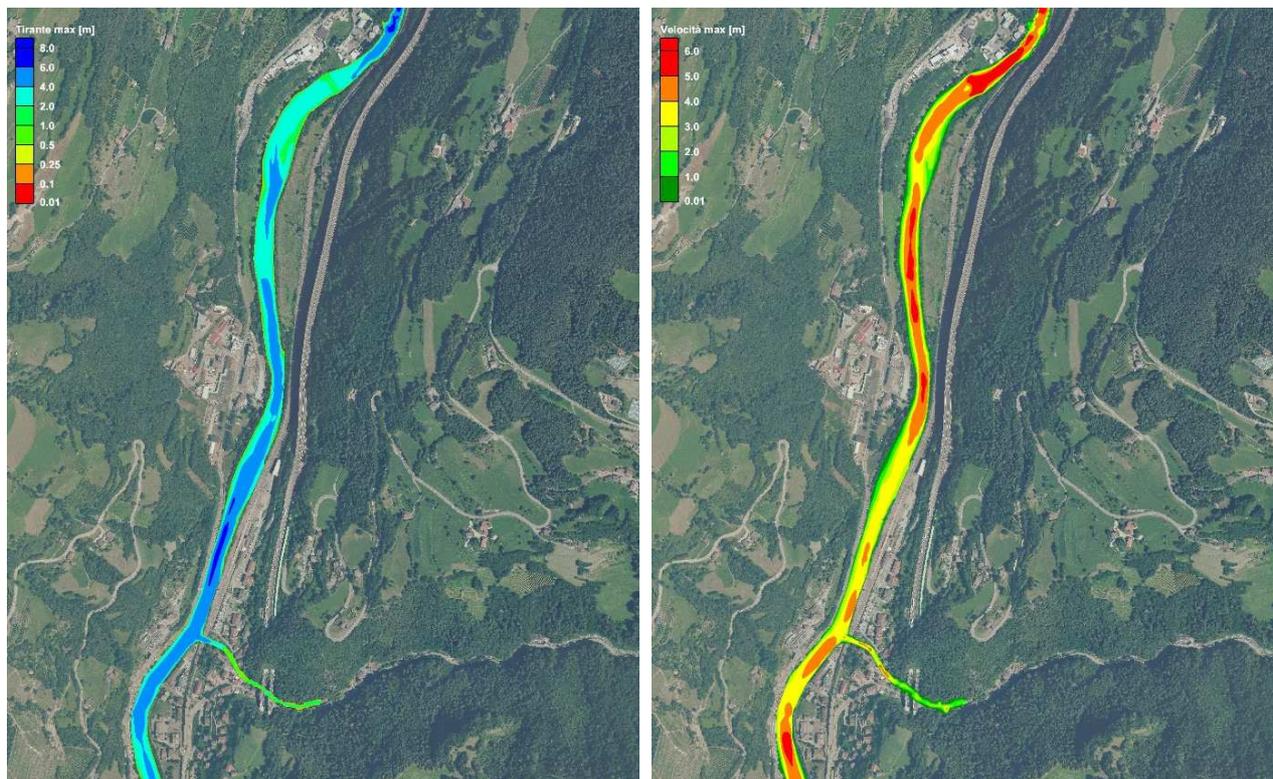


Figura 27. Tiranti massimi e massime velocità di flusso per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 33 di 57

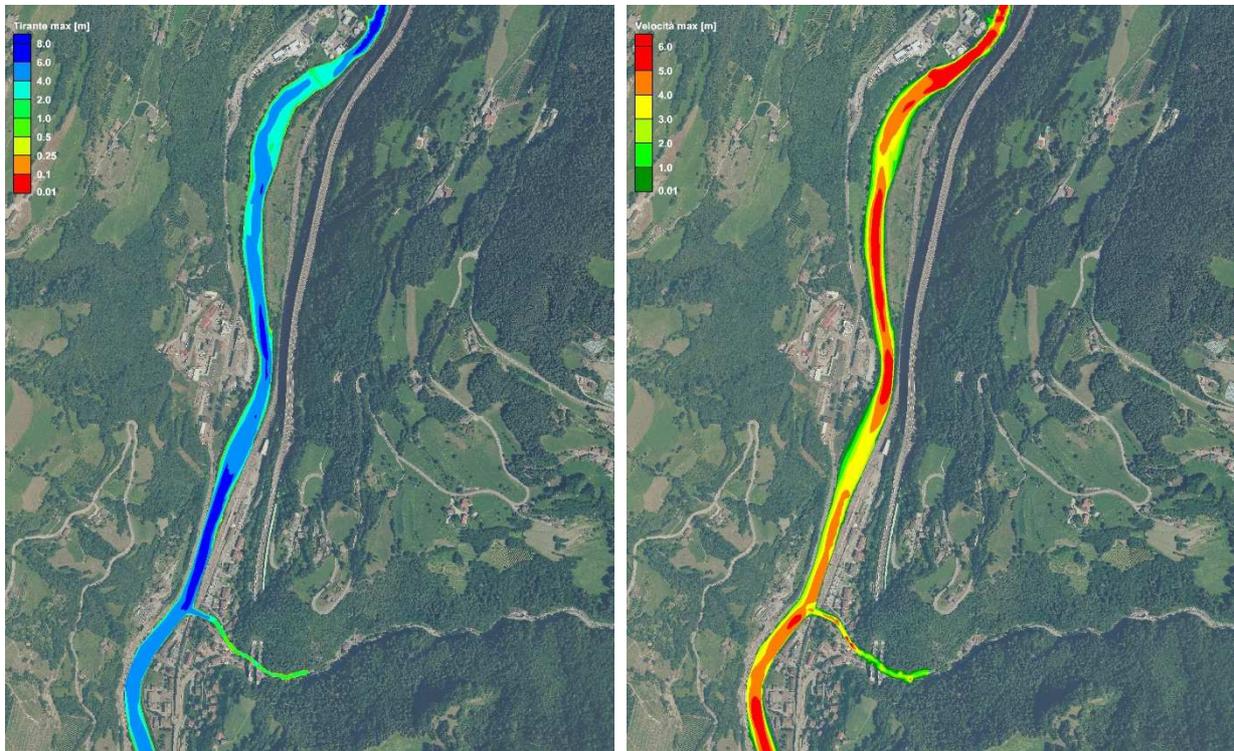


Figura 28. Tiranti massimi e massime velocità di flusso per l'evento TR100 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

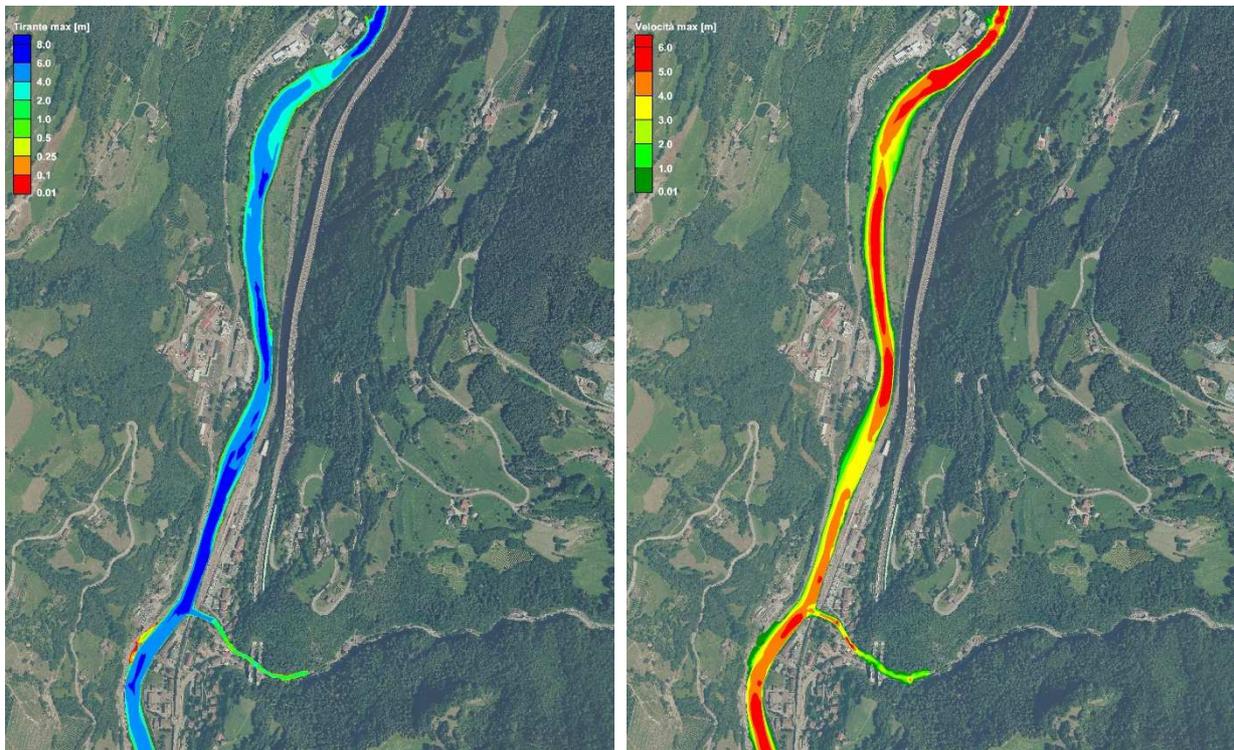


Figura 29. Tiranti massimi e massime velocità di flusso per l'evento TR200 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 34 di 57

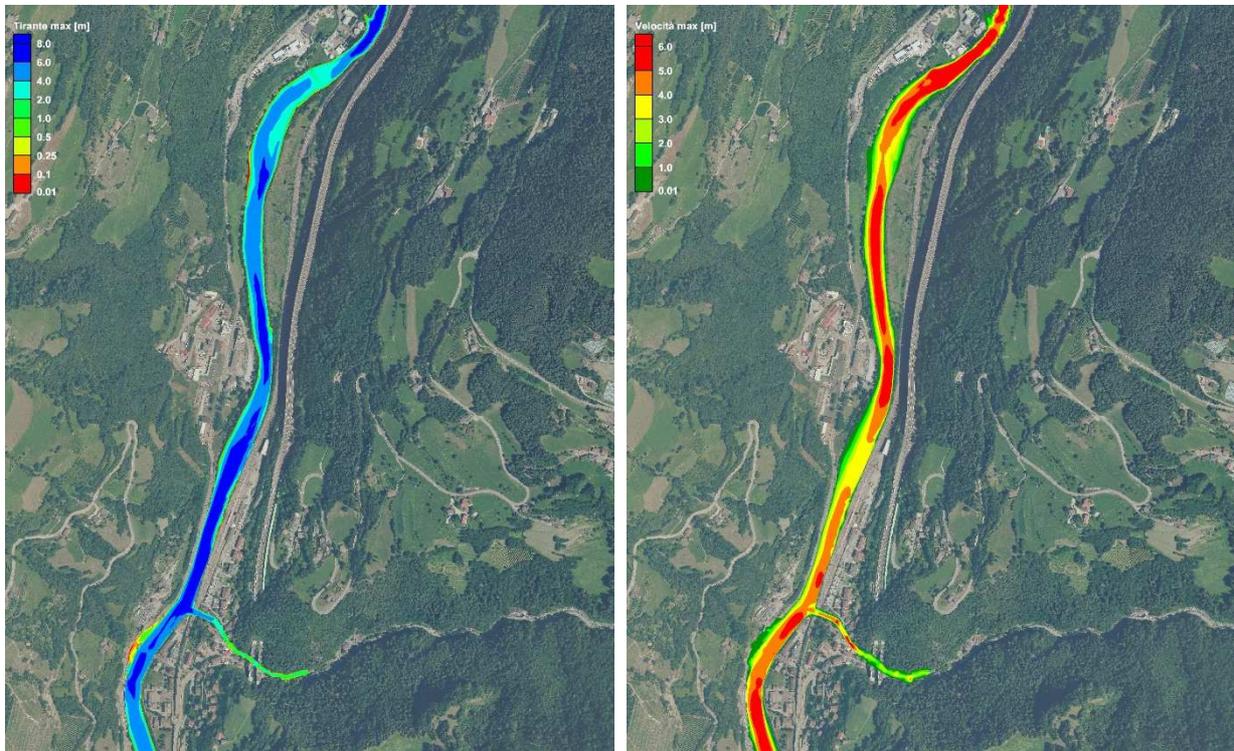


Figura 30. Tiranti massimi e massime velocità di flusso per l'evento TR300 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

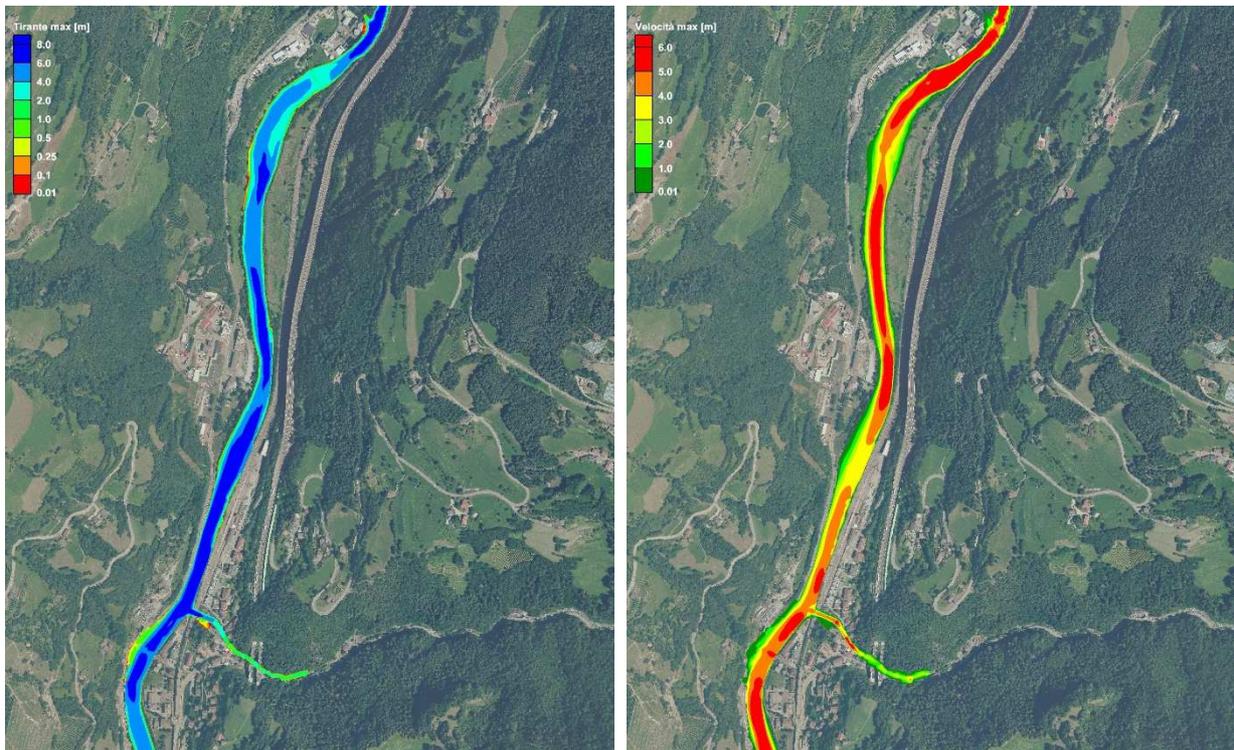


Figura 31. Tiranti massimi e massime velocità di flusso per l'evento TR500 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 35 di 57

Da un mero confronto delle risultanze numeriche, si nota una differenza sostanziale tra lo stato attuale e lo stato finale esclusivamente tra le sezioni Nr. 3 e Nr. 13, più marcato tra la sezione Nr. 5 e la sezione Nr. 9. Tali discrepanze si traducono in un leggero decremento dei tiranti idrici in sezione nello stato finale di progetto a centro alveo. Occorre precisare quanto di seguito:

- La realizzazione delle opere, sia per quanto concerne la realizzazione dell'interconnessione binario pari (GA08) che per la realizzazione dei muri 1 e 2, determina un leggero restringimento dell'alveo del Fiume Isarco. Si riscontrano restringimenti contenuti in 2-3 m dell'alveo attivo del fiume che, se rapportati ad una larghezza del letto variabile tra 40 e 60 m, si traducono in effetti assolutamente marginali che non influiscono sostanzialmente sulle dinamiche idrauliche in caso di piena nel Fiume Isarco;
- Nel futuro stato di progetto, la configurazione della sponda in orografica sinistra in tutto il tratto di intervento sarà modificata rispetto allo stato attuale. La realizzazione delle opere impone di fatto il taglio della vegetazione ad alto fusto esistente in un tratto spondale in sinistra orografica. Nello stato futuro verranno realizzate delle scogliere di protezione in massi ciclopici e non è previsto il rinverdimento spondale. Questo influisce quindi sul regime delle scabrezze. A livello modellistico infatti si passa da un valore del KS delle sponde mediamente pari a  $10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nello stato attuale (sponde fortemente vegetate) ad un valore di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nello stato finale (sponde in massi). Questa modifica induce un regime più liscio della sponda in orografica sinistra che di fatto decrementa la resistenza al moto, generando di fatto un leggero aumento delle velocità di flusso (mediamente da 4 m/s a 5 m/s) con una conseguente diminuzione del tirante idrico nel tratto interessato dagli interventi. Si veda la colonna "Differenza" nella tabella seguente.

ID sezione	WSE TR300 – attuale (m s.l.m.)	WSE TR300 – progetto (m s.l.m.)	Differenza (m)
1	467,38	467,38	0
2	467,53	467,53	0
3	468,74	468,63	0,11
4	469,83	469,73	0,10
5	471,05	470,82	0,23
6	471,34	471,11	0,23
7	471,41	471,21	0,20
8	472,11	471,45	0,66
9	473,72	473,40	0,32
10	474,04	473,86	0,18
11	474,64	474,54	0,10
12	475,32	475,27	0,05
13	476,29	476,23	0,06
14	477,02	477,02	0
15	477,97	477,97	0
16	478,38	478,38	0
17	478,50	478,50	0

Tabella 8. Confronto tra le quote della superficie libera della corrente per TR300 anni nello stato attuale e nello stato finale di esercizio definitivo a centro alveo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RI</td> <td>ID0000201</td> <td>C</td> <td>36 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	36 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	36 di 57									
Relazione idraulica														

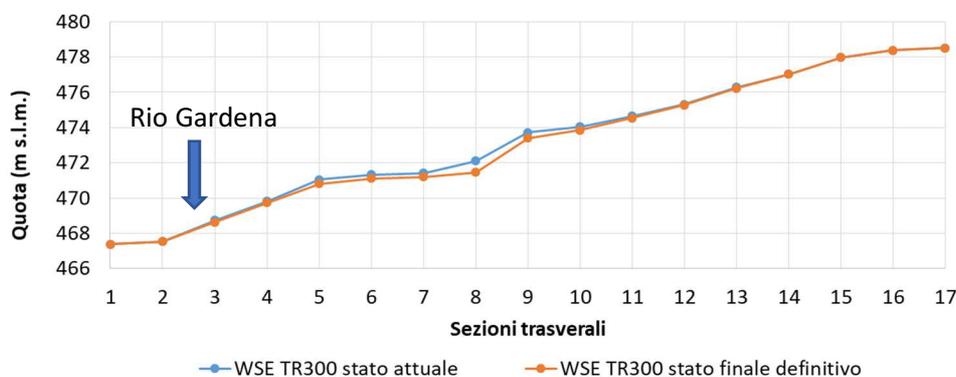


Figura 32. Confronto tra le WSE TR300 anni nello stato attuale e nello stato finale di esercizio definitivo.

Si sottolinea che il marginale aumento delle velocità di flusso in orografica sinistra non induce una sostanziale variazione degli sforzi tangenziali esercitati sulle opere, esistenti ed in progetto, pertanto non è atteso un aumento del rischio di erosione o di scalzamento per le opere stesse. Le differenze tra stato attuale e stato finale si evincono facilmente anche dal profilo idraulico riportato schematicamente in Figura 32.

Risulta doveroso inoltre segnalare che i dati di tirante riportati in Tabella 8 sono relativi alla mezzaria delle sezioni, ovvero al centro dell'alveo del Fiume Isarco. In un intorno dello sbocco del Rio Gardena, in prossimità della sezione Nr. 3, si determina di fatto l'effetto opposto: a causa dello sbocco del Rio Gardena, per tutti i tempi di ritorno si verifica un rigurgito nel Rio Gardena, la cui entità si amplifica e tende a propagarsi verso monte al crescere del tempo di ritorno degli eventi di progetto. Il rigurgito provoca un rialzo locale del tirante nell'ultimo tratto del Rio Gardena.

Il progressivo aumento del tirante nell'ultimo tratto del Rio Gardena risulta agilmente contenuto tra i cigli delle sponde fino ad un evento di piena marcato da tempi di ritorno TR 300 anni, per il quale si determina una condizioni di deflusso a piene rive senza esondazione. Per una piena TR 500 anni viene però superata la capacità di deflusso delle sezioni del Rio Gardena ed in sinistra orografica si verifica una leggera tracimazione, che provoca l'alluvionamento di alcuni terreni privati. Proprio in quel tratto (Figura 33) il coronamento del muro sponda decresce notevolmente, limitando di fatto la capacità di deflusso delle sezioni del torrente.

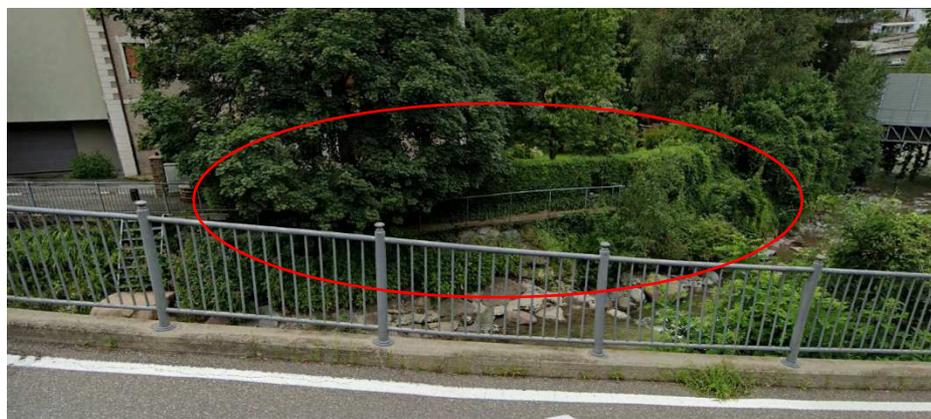


Figura 33. La sponda orografica sinistra del Rio Gardena in cui si registra esondazione per TR 500 anni.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 37 di 57

Quanto appena descritto risulta evidente dal confronto delle mappature di tiranti e velocità massime per TR 500 anni nello stato attuale e nello stato di progetto (cerchio viola in Figura 34). In tutti i casi non si verifica interferenza con le strutture dei ponti esistenti.

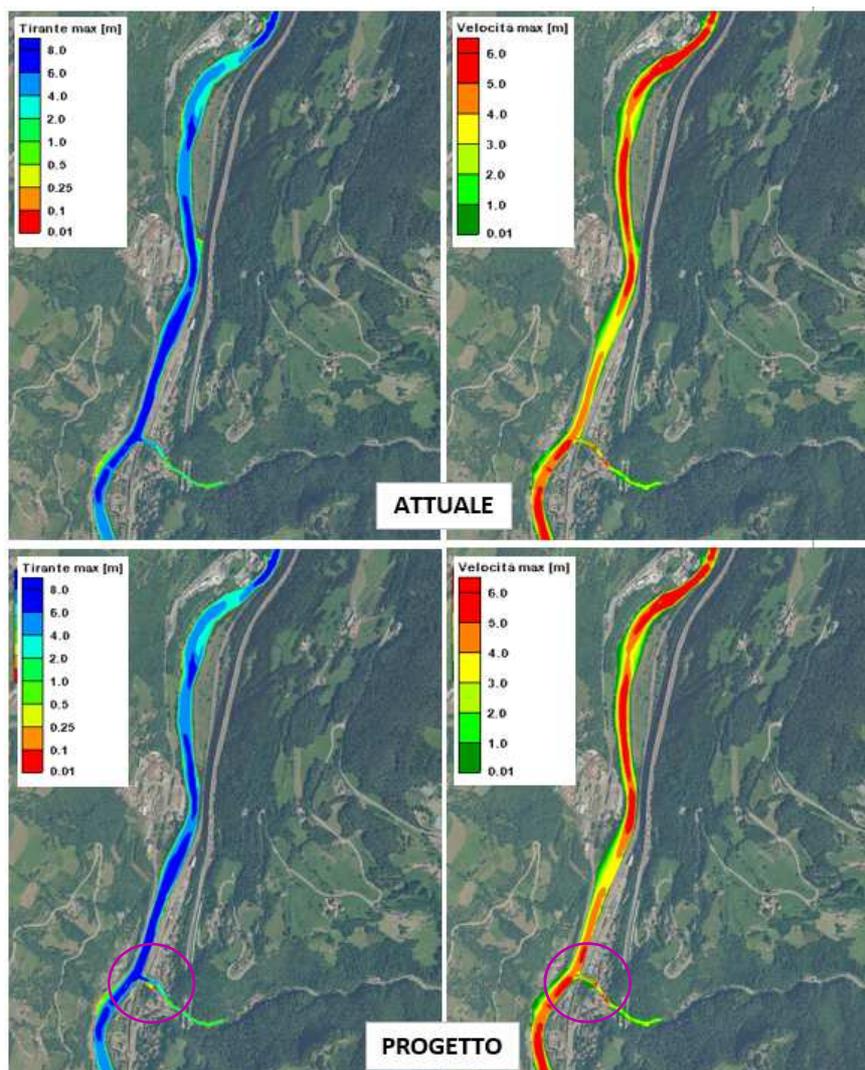


Figura 34. Confronto tra i tiranti massimi e le massime velocità di flusso per TR 500 anni nello stato attuale e nello stato di progetto.

I tiranti massimi in esondazione sul ciglio arginale in orografica sinistra ammontano a pochi cm per un tratto di ca. 40 m, sufficienti però a provocare l'alluvionamento della fascia perifluviale latitante nel comune amministrativo di Ponte Gardena. Le intensità di alluvionamento risultano comunque molto basse.

Per quanto concerne infine le strutture nelle zone "Muro 3" e "Muro 4" si sottolinea che la realizzazione dei nuovi muri non causa alcun peggioramento dello stato attuale e non si determinano restringimenti d'alveo. Nelle zone di intervento non si verifica neanche nello stato di progetto esondazione, sono garantiti franchi idraulici residui di almeno 0,5 m per TR300 anni. Tutti gli interventi per l'installazione delle barriere antirumore sono realizzati sopra la quota della massima piena di progetto (TR 500).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 38 di 57

## 8.2 RIO GARDENA

### 8.2.1 Stato attuale

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) lungo il tratto del Rio Gardena simulato nell'ambito dell'aggiornamento del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ). Le simulazioni sono state condotte per TR 30, 100 e 300 anni.

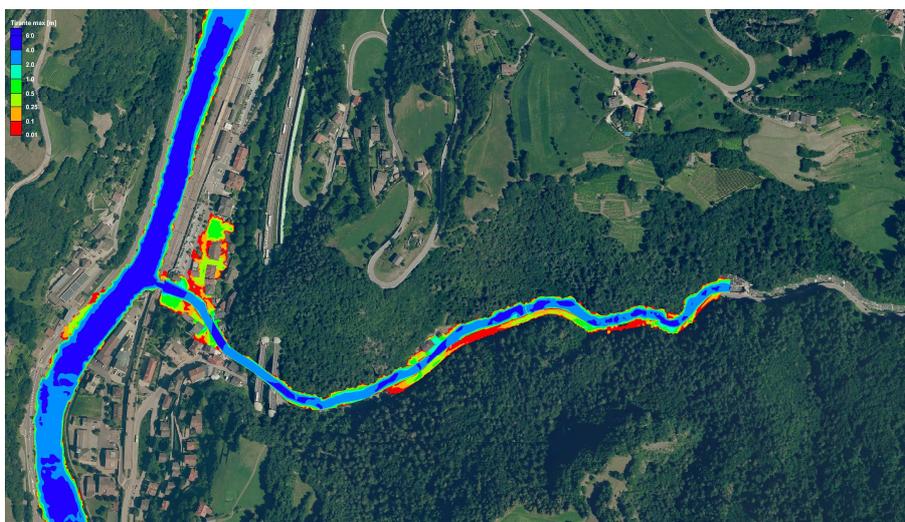


Figura 35. Tiranti massimi per l'evento TR30 presso il paese di Ponte Gardena.

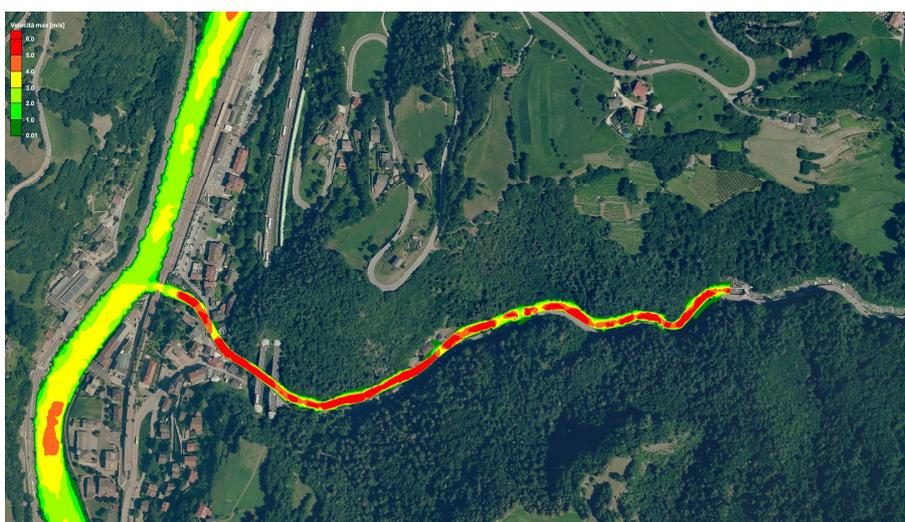


Figura 36. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 presso il paese di Ponte Gardena.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RI</td> <td>ID0000201</td> <td>C</td> <td>39 di 57</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	39 di 57
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	39 di 57								

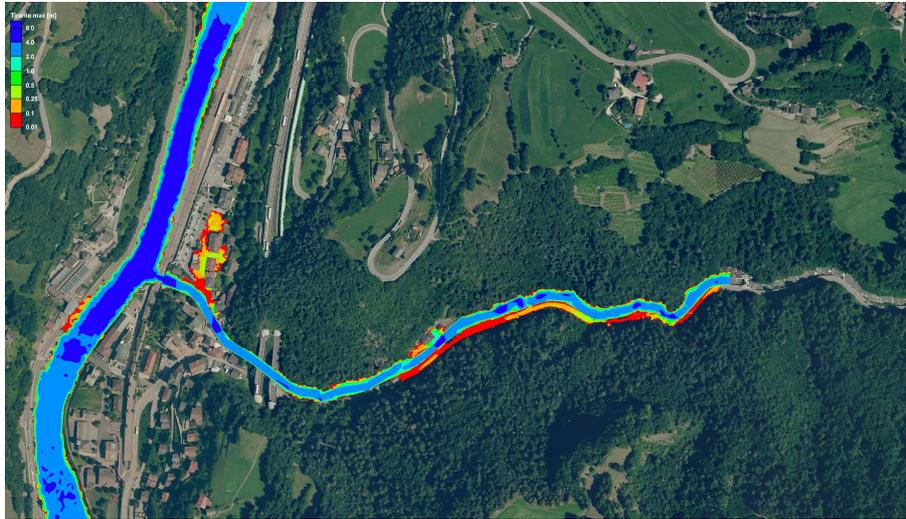


Figura 37. Tiranti massimi per l'evento TR100 presso il paese di Ponte Gardena.

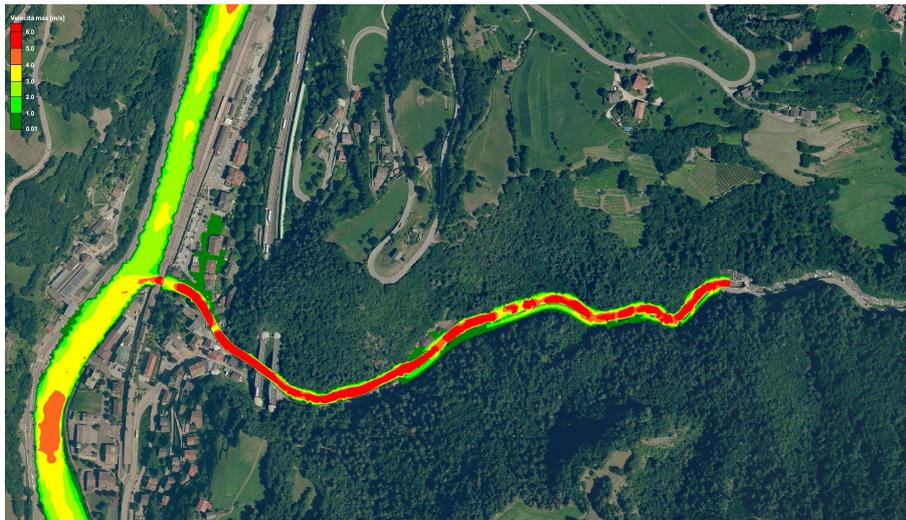


Figura 38. Velocità di flusso massime per l'evento TR100 presso il paese di Ponte Gardena.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	40 di 57

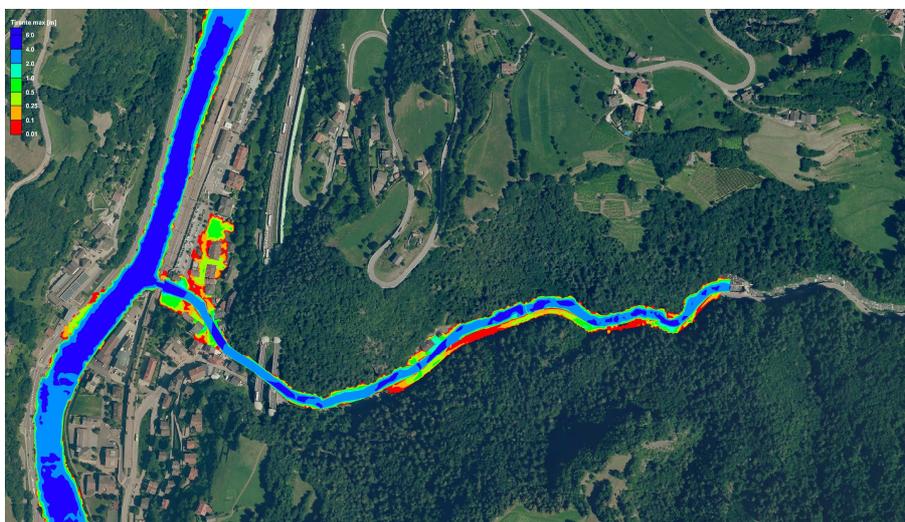


Figura 39. Tiranti massimi per l'evento TR300 presso il paese di Ponte Gardena.

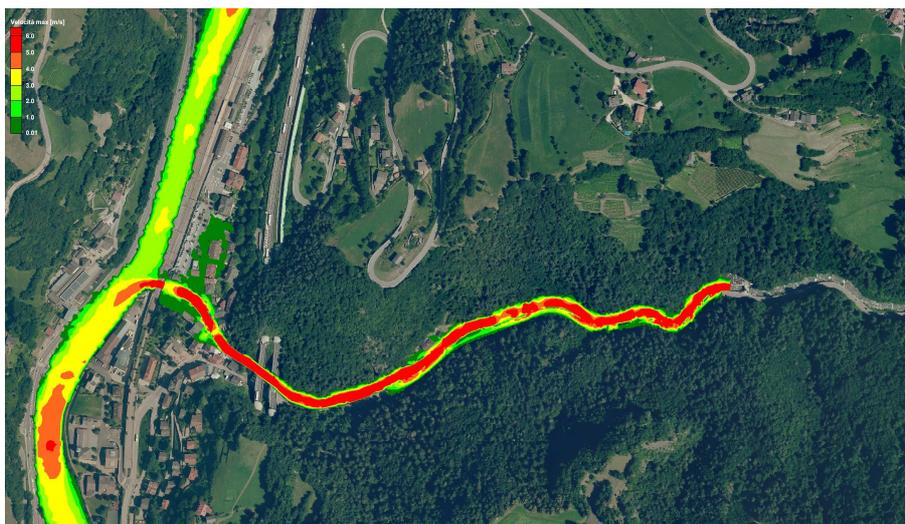


Figura 40. Velocità di flusso massime per l'evento TR300 presso il paese di Ponte Gardena.

Da quanto sopra illustrato, si evince come una piena marcata da TR 30 anni transita senza causare esondazioni in paese. Si determinano infatti piccoli alluvionamento della SS242, le acque in esondazione tendono comunque a rientrare in alveo. Entrambi i ponti a Ponte Gardena, compreso l'attraversamento ferroviario, vanno in sofferenza e si determina l'insorgenza di un rigurgito idraulico che però è contenuto all'interno dell'alveo attivo del torrente senza esondazioni. Per TR100 si determinano esondazioni in paese a causa del più marcato rigurgito a monte del ponte stradale, in destra orografica le acque si dirigono lungo la strada in direzione della stazione ferroviaria senza raggiungerla. Il ponte della ferrovia, pur andando in pressione, non causa ulteriori esondazioni. Per una TR 300 il rigurgito idraulico a monte del ponte stradale determina esondazioni anche in sinistra orografica, in sinistra orografica le aree alluvionate sono di poco superiore a quelle già soggette ad inondazione per TR100, l'areale della stazione ferroviaria non viene raggiunto neanche in questo caso.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>41 di 57</b>

Da quanto sopra riportato si intuisce chiaramente che neanche per una piena marcata da TR 200 l'areale della stazione ferroviaria viene interessato da esondazioni. Si sottolinea infine che, ai sensi della disciplina vigente in Provincia di Bolzano, eventi alluvionali con tempi di ritorno maggiori di 300 anni sono ascritti alla sfera del pericolo residuo e non hanno di fatto conseguenze urbanisticamente rilevanti.

### 8.2.2 Stato di progetto

Come già descritto nel capitolo 5 tutti gli interventi previsti presso il ponte ferroviario esistente a scavalco sul Rio Gardena non modificano il quadro geometrico attuale delle sezioni d'alveo. Non sono previsti interventi in alveo, né sulle sponde né presso il ponte stradale di Via Paese. Pertanto nel futuro stato di progetto non vi è da attendersi una modificazione del quadro alluvionale attuale. Le aree alluvionali attese allo stato attuale devono pertanto essere considerate rappresentative anche per il futuro stato di progetto. Pertanto non si è ritenuto opportuno replicare le simulazioni numeriche 2D già condotte nell'ambito del PZP del Comune di Ponte Gardena (BZ) anche nello stato di progetto.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	42 di 57

## 9. ANALISI DELLE INTERFERENZE ED ACCORGIMENTI NECESSARI

### 9.1 RIO GARDENA

Come si evince da quanto riportato nel capitolo precedente, il rigurgito indotto nel Rio Gardena dal Fiume Isarco genera per un tempo di ritorno TR 500 anni un'esondazione localizzata in sinistra orografica. Risulta pertanto necessario un piccolo intervento di adeguamento del coronamento arginale, nel tratto indicato in Figura 41, per una lunghezza di ca. 40 m al fine di realizzare un sovrizzo di 0,5 m del coronamento esistente.



Figura 41. Il tratto in orografica sinistra del Rio Gardena oggetto di sistemazione.

Sottolineando che tale interferenza si registra solo per tempi di ritorno estremi (TR 500 anni) che ai sensi della legislazione di settore della Provincia Autonoma di Bolzano non incidono da un punto di vista urbanistico (per TR > 300 anni il pericolo idraulico è inteso come pericolo residuo, D.G.P. 989/2016), si può asserire che con l'intervento proposto tale criticità può essere considerata risolta. Pertanto si può concludere che nello stato finale di progetto non è atteso un peggioramento della situazione idraulica a Ponte Gardena.

### 9.2 SCAVI IN CURVA E SCALZAMENTI ATTESI AL PIEDE DEI NUOVI MURI ARGINALI

#### 9.2.1 Analisi della tendenza morfologica

La valutazione dei potenziali scavi attesi in orografica sinistra nel tratto di intervento è stata condotta analizzando in primis la naturale tendenza morfologica del corso d'acqua in tale ambito e la sua configurazione planimetrica.

Per quanto concerne i sottotratti afferenti ai muri 1 e 2, occorre sottolineare che la configurazione del corso d'acqua è sostanzialmente rettilinea e la tendenza morfologica del corso d'acqua è nettamente di deposito, pertanto non sono da attendersi particolari scavi sotto sponda al piede dei nuovi muri. Si ritiene comunque utile consigliare di fondare le sogliere di protezione in sinistra orografica ad una profondità pari ad almeno un diametro stabile dell'opera per garantire protezione contro eventuali fenomeni di scavo localizzati al piede delle arginature. Pertanto si è proceduto con un calcolo speditivo al fine di stimare la massima entità degli scavi attesi al piede delle nuove opere.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	43 di 57

Per quanto riguarda invece le opere definitive afferenti all'interconnessione binario pari della galleria artificiale GA08, occorre sottolineare che queste sono localizzate all'estradosso di una curva molto ampia del Fiume Isarco con raggio di curvatura maggiore di 360 m. Si è proceduto pertanto con la quantificazione dei massimi scavi attesi in curva considerando una piena influente con tempo di ritorno TR 500 anni ed ipotizzando una sostanziale assenza di adeguate protezione spondali. Tale assunzione, seppur cautelativa, consente di determinare l'entità dei massimi scavi attesi anche in caso di collasso e/o di malfunzionamento delle protezione spondali. Tutte le stime sono state effettuate sia per gli interventi previsti per GA08 (nelle sezioni N1, N2, N3, 8, N4, 7) che per i nuovi muri denominati "muro 2" (sezione 6) e "muro 1" (sezioni 3 e 4).

## 9.2.2 Approcci di calcolo

### 9.2.2.1. Formulazione del Laboratorio VAW

Al fine di determinare la massima entità degli scavi attesi presso le sezioni trasversali in cui si manifesta un'interazione tra l'opera e l'alveo inciso del Fiume Isarco, si è provveduto ad applicare gli approcci empirico-sperimentali dettati dal Laboratorio di Idraulica, Idrologia e Glaciologia (VAW) dell'Università ETH di Zurigo in Svizzera (Peter, 1986). Sottolineando che il tratto in oggetto presenta una curva molto poco marcata e che nel tratto di valle l'Isarco si configura come rettilineo da un punto di vista prettamente morfologico, su base ortofotografica si è determinato il raggio di curvatura del corso d'acqua in relazione alla sezione di mezzaria ed alla sezione esterna della curva. Noto dalle simulazioni effettuate il tirante idrico medio e massima per una TR 500 anni sulle sezioni trasversali, la massima profondità  $h$  dello stesso sulla trasversale è determinabile in relazione alla seguente equazione:

$$h = h_m \cdot \left(\frac{r}{r_m}\right)^K$$

in cui  $h_m$  rappresenta il tirante medio (m) sulla sezione,  $r$  ed  $r_m$  i raggi di curvatura come da figura seguente, mentre  $K$  è un fattore esponenziale determinato per via empirico-sperimentale.

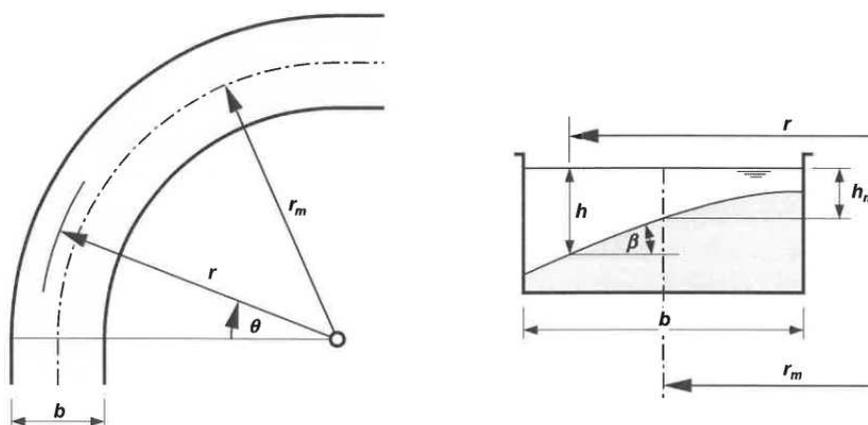


Figura 42. Rappresentazione schematica della geometria e dell'andamento del fondo alveo in una generica curva di un fiume.

Ponendo  $r = r_{max}$ , corrispondente di fatto all'estradosso della curva del Fiume Isarco nel tratto indagato, si ottiene il punto minimo raggiunto in sezione, da cui si può ricavare l'entità dello scavo massimo atteso. L'entità dello scavo si determina conseguentemente come mera differenza tra il valore di  $h$  ed il valore di  $h_m$ .

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 44 di 57	

Per quanto concerne la determinazione dell'esponente K si fa riferimento all'approccio di Bridge (1970) che definisce tale parametro come segue:

$$K = 11 \cdot \tan(\omega)$$

indicando con  $\omega$  l'angolo di attrito del materiale costituente il letto del fondo alveo. Data la composizione fortemente ghiaiosa del letto e l'elevato grado di compattazione e colmazione riscontrato, si assume un angolo pari a 35°. Il coefficiente K è sempre assunto per a 7,70. I risultati delle stime condotte sono riportate in Tabella 9.

ID sezione	WSE Tr 500	Quota fondo (m)	$h_m$ (m)	$r_m$ (m)	$r_{max}$ (m)	h (m)	Entità degli scavi massimi potenziali (m)
Sez N1	473,53	466,68	6,85	445	460	8,14	1,99
Sez N2	473,33	466,16	7,17	445	460	7,74	2,09
Sez N3	472,43	465,74	6,69	445	460	8,84	1,95
8	471,67	465,35	6,32	445	460	9,26	1,84
Sez N4	471,29	465,88	5,41	445	460	8,64	1,57
7	471,48	465,13	6,35	445	460	8,16	1,85
Sez N5	471,47	465,11	6,36	445	460	6,98	1,85
Sez 6	471,40	464,81	6,59	1.000	1.028	8,20	1,56
Sez 4	469,96	461,86	8,10	1.000	1.025	8,21	1,70
Sez 3	468,79	461,92	6,87	1.000	1.025	8,15	1,44

Tabella 9. Entità degli scavi attesi in orografica sinistra nel tratto in cui l'interconnessione GA08 interferisce con l'alveo inciso del Fiume Isarco e nei tratti in cui verranno realizzati i nuovi muri arginali.

Si intuisce come siano attesi scavi al piede in sponda orografica sinistra mediamente pari a ca. 1,90 m presso l'intervento GA08, di 1,50 m presso il "muro 2" e di 1,45 m presso il "muro 1". Pertanto il piano di appoggio delle scogliere di protezione delle opere lato Isarco dovrà essere previsto ad una quota uguale o minore all'entità del massimo scavo atteso. Non risultano invece particolari accorgimenti in sponda orografica destra.

#### 9.2.2.2. Formulazione di Maynard (1996)

Si è proceduto applicando anche una seconda metodologia secondo quanto riportato da Khosronejad (2019) che riprende ed approfondisce l'approccio empirico statistico di Maynard (1996). Secondo gli autori, la massima profondità di scavo attesa alla base di muri arginali posti longitudinalmente al flusso della corrente è direttamente correlata alla profondità media della corrente (H) nella i-esime sezione di controllo lungo lo sviluppo del muro, al numero di Froude (Fr) ed all'angolo di inclinazione o di attacco ( $\alpha$ ) del muro rispetto alla direzione di flusso. La formulazione è la seguente:

$$\frac{H_s}{H} = (0,73 + 0,14\pi Fr^2) \cdot \cos(\alpha) + 4Fr^{\frac{1}{3}} \cdot \sin(\alpha)$$

dove l'angolo di attacco  $\alpha$  può variare da 0 a 90° (si assume per il calcolo 5°). Su base sperimentale si determina una regressione ottimale che lega invece il massimo scavo atteso al rapporto tra la larghezza dell'alveo bagnato ed il relativo tirante (W/H) e al raggio di curvatura del corso d'acqua (Rc):

$$\frac{H + H_s}{H} = 1,8 - 0,051 \frac{R_c}{W} + 0,0084 \frac{W}{H}$$

Entrambe le equazioni sono applicabili in condizioni di trasporto solido ininfluente, come nel caso in oggetto. Si ritiene utile applicare in ogni caso un fattore di amplificazione cautelativo di 1,25.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 45 di 57

Nella seguente tabella sono illustrati i risultati del calcolo effettuato, sempre una piena influente marcata da tempi di ritorno di 500 anni.

ID sezione	WSE Tr 500	Quota fondo (m)	$h_{\text{medio}}$ (m)	U (m/s)	Fr (--)	$W_{\text{medio}}$ (m)	Rc (m)	Entità degli scavi massimi potenziali (m)
Sez N1	473,53	466,68	5,27	5,12	0,712	46,4	445	2,03
Sez N2	473,33	466,16	5,59	4,73	0,638	48,46	445	2,26
Sez N3	472,43	465,74	5,45	5,83	0,797	37,5	445	1,38
8	471,67	465,35	5,11	6,2	0,875	37,71	445	1,33
Sez N4	471,29	465,88	4,62	5,17	0,767	45,9	445	1,80
7	471,48	465,13	5,17	4,2	0,589	49,87	445	2,20
Sez N5	471,47	465,11	5,43	3,9	0,534	44,68	445	1,96
Sez 6	471,40	464,81	5,69	3,4	0,455	64,2	1.000	0,57
Sez 4	469,96	461,86	6,26	4,64	0,592	39,22	1.000	~ 0
Sez 3	468,79	461,92	5,99	4,5	0,587	42,26	1.000	~ 0

Tabella 10. Entità degli scavi attesi in orografica sinistra nel tratto in cui l'interconnessione GA08 interferisce con l'alveo inciso del Fiume Isarco e nei tratti in cui verranno realizzati i nuovi muri arginali secondo la formulazione di Maynard (1996).

Si nota come in corrispondenza del muro 1 gli scavi attesi con questa formulazione sono nulli, in quanto l'angolo di attacco della struttura è irrilevante ed il raggio di curvatura del fiume risulta molto elevato.

### 9.2.3 Risultati

In Tabella 11 vengono comparati i risultati di entrambi gli approcci utilizzati, i due viene assunto come parametro di progetto quello più cautelativo.

ID sezione	Formulazione VAW (m)	Maynard (1996) (m)	Scelta progettuale (m)
Sez N1	1,99	2,03	2,10
Sez N2	2,09	2,26	2,30
Sez N3	1,95	1,38	2,00
8	1,84	1,33	1,90
Sez N4	1,57	1,80	1,80
7	1,85	2,20	2,20
Sez N5	1,85	1,96	2,00
Sez 6	1,56	0,57	1,60
Sez 4	1,70	~ 0	1,70
Sez 3	1,44	~ 0	1,50

Tabella 11. Entità degli scavi attesi in orografica sinistra nel tratto in cui l'interconnessione GA08 interferisce con l'alveo inciso del Fiume Isarco e nei tratti in cui verranno realizzati i nuovi muri arginali. Risultati delle stime effettuate e scelte progettuali.

Si intuisce come le sezioni maggiormente sollecitate siano quelle interessate dalla realizzazione dell'interconnessione binario pari GA08, mentre si assumono i valori più cautelativi presso i muri 1 e 2. Pertanto il piano di appoggio delle scogliere ed in generale delle opere di protezione al piede delle nuove strutture sarà previsto ad una quota uguale o minore all'entità del massimo scavo atteso.

## 9.3 DIMENSIONAMENTO DELLE SCOGLIERE

### 9.3.1 Premessa

Come suggerito dalla Committenza, si è proceduto a dimensionare il diametro stabile delle scogliere secondo due approcci, in primis in base alla classica trattazione di Shields e successivamente effettuando una verifica con formulazioni più cautelative (FHWA) rispetto alla relazione di Shields, che fornisce valori medi della

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	46 di 57

tensione resistente in condizioni di moto uniforme, condizioni che spesso non sembrano essere coerenti con la realtà dei fenomeni osservati in passato.

### 9.3.2 Dimensionamento secondo Shields

Il dimensionamento delle opere di protezione in progetto è stato eseguito in primis verificando la stabilità al trascinarsi secondo la nota teoria di Shields per il moto incipiente delle particelle solide che compongono il letto di un fiume qualora sottoposte all'azione della corrente. La relazione che lega lo sforzo tangenziale critico alle caratteristiche idrauliche del moto passa per la determinazione del parametro di mobilità  $\vartheta$ , così definito:

$$\vartheta = \frac{u_*^2}{\Delta \cdot g \cdot d}$$

in cui  $u_*$  è la velocità di attrito (funzione a sua volta dello sforzo tangenziale al fondo),  $\Delta$  è la densità relativa sommersa del sedimento mentre  $d$  è il diametro caratteristico, solitamente il  $d_{50}$ . Quando tale parametro adimensionale è superiore ad una soglia critica si innescano le condizioni di incipiente movimento del materiale depositato al fondo. Come riportato ad esempio in Armanini (1999), occorre considerare alcuni fattori correttivi:

- **Effetto della pendenza del fondo:** qualora la pendenza del fondo non sia nulla, nel bilancio delle forze agenti nella direzione del moto deve essere introdotto anche l'effetto della forza peso. Occorre pertanto considerare un fattore correttivo dipendente dalla pendenza del fondo  $\alpha$  e dall'angolo di attrito  $\phi$  del materiale di cui è costituito il fondo.
- **Effetto dell'inclinazione trasversale delle sponde:** nel caso di materiae giacente su sponde inclinate le forze di portanza, di galleggiamento e la forza peso danno luogo ad una componente anche nel piano tangente alla sponda. La risultante delle forze parallele alla sponda risulta inclinata rispetto alla direzione della corrente. Occorre pertanto introdurre un fattore correttivo che tenga conto anche dell'inclinazione della sponda  $\alpha_L$ .
- **Effetto della sommergenza relativa:** nella teoria di Shields si assume che la scabrezza relativa sia sufficientemente piccola, tale cioè da ammettere l'esistenza d uno strato di turbolenza di parete in cui valga la legge logaritmica. Quando la dimensione dei grani è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico  $h$  si determinano condizioni di bassa sommergenza. In queste condizioni in prossimità del fondo si forma uno strato di mescolamento, strato che è dominato dalle scie create dagli elementi di scabrezza e che è di spessore confrontabile con il tirante idrico. Pertanto la mobilità dei grani si riduce notevolmente. In queste situazioni il moto avviene in regime di parete scabra ed è necessario correggere il parametro di Shields in funzione della sommergenza stessa ( $d/h$ ).

Considerando quanto sopra illustrato, il parametro di mobilità di Shields può essere allora riformulato come segue:

$$\left( \frac{u_*^2}{g \Delta d} \right) = \vartheta_0 \left( \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \phi} \right) \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_{sp}}{\sin^2 \phi}} \left[ 1 + 0,67 \frac{d}{h} \right]^{0,5}$$

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 47 di 57

A questo punto, imponendo la condizione di incipiente movimento ( $\vartheta = \vartheta_{\text{CRITICO}}$ ), si determina agilmente il valore del diametro dei grani, noto come *diametro stabile*, che occorre considerare come valore di riferimento nell'ambito delle attività di progettazione delle difese spondali, al netto di opportuni coefficienti di sicurezza. Nel caso in esame sono stati considerati coefficienti di sicurezza di 2 per i massi al piede delle scogliere e di 1,5 per quelli in scarpata. Il valore critico del parametro di Shields è assunto pari a 0,057. Si riportano di seguito i dati utilizzati ed i risultati conseguiti.

TRATTO DI COMPETENZA		$\tau_{\text{MAX}}$ (N/m <sup>2</sup> )	h (m)	u* (m/s)	d' (m)	FS	d (m)
<b>Interconnessione binario pari GA08</b>	in scarpata	395	6,67	0,628	0,75	1,5	1,13
	al piede					1,25	0,94
<b>Zona muro 2</b>	in scarpata	212,5	4,57	0,461	0,42	1,5	0,83
	al piede					1,25	0,63
<b>Zona muro 1</b>	in scarpata	312,5	6,81	0,559	0,596	1,5	1,19
	al piede					1,25	0,89

Tabella 12. Dati salienti e risultati del calcolo effettuato secondo la trattazione di Shields.

### 9.3.3 Dimensionamento secondo FHWA

È stato effettuato anche con un secondo calcolo basato sull'esperienza ingegneristica americana (Federal Highway Administration, FHWA, si veda la parte bibliografica, US Department of Transportation, 2001). Il diametro medio da assegnare alla scogliera, una volta noto lo sforzo tangenziale che agisce sulla superficie inclinata della sponda, è così definibile:

$$D_m = \frac{21\tau_0}{(S_s - 1)\gamma\eta}$$

in cui  $\tau_0$  è lo sforzo tangenziale in sponda,  $S_s$  è il peso specifico del materiale (assunto pari 2,65),  $\gamma$  è il peso specifico dei grani (assunto pari a ca. 16.000 N/m<sup>3</sup>) e  $\eta$  è un coefficiente di stabilità, definito come segue:

$$\eta = \frac{S_m^2 - (S.F.)^2}{(S.F.) S_m^2} \cos \theta$$

In cui  $S_m$  è dato dal rapporto delle tangenti dell'angolo di attrito e dell'inclinazione della sponda, S.F. è un fattore di sicurezza e  $\theta$  è l'angolo di inclinazione della sponda. Si riportano successivamente in Tabella 13 i dati utilizzati per i calcoli effettuati in questa sede ed i risultati conseguiti per tutte le sezioni oggetto di analisi.

TRATTO DI COMPETENZA		$\tau_{\text{MAX}}$ (N/m <sup>2</sup> )	$S_s$	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\theta$ (°)	$\phi$ (°)	$S_m$	SF	d (m)
<b>Interconnessione binario pari GA08</b>	in scarpata	395	2,65	1.600	45	70	2,747	1,8	1,01
	al piede							2	1,36
<b>Zona muro 2</b>	in scarpata	212,5	2,65	1.600	45	70	2,747	1,8	0,54
	al piede							2	0,73
<b>Zona muro 1</b>	in scarpata	312,5	2,65	1.600	45	70	2,747	1,8	0,80
	al piede							2	1,08

Tabella 13. Dati salienti e risultati del calcolo effettuato secondo la trattazione FHWA (2011).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 48 di 57

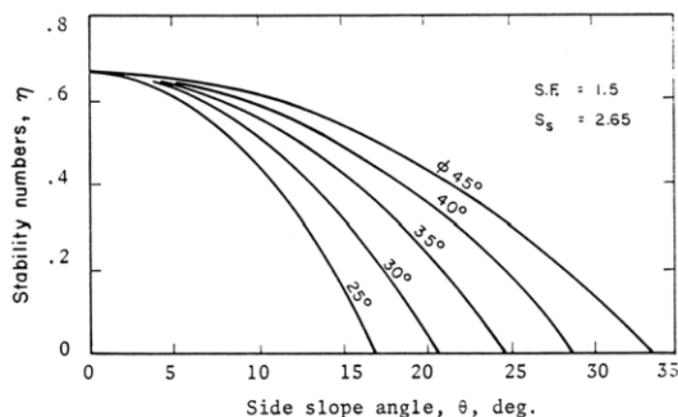


Figura 43. Valore del coefficiente di stabilità in funzione del coefficiente SF (assunto nel grafico pari a 1,5) (FHWA, 2011).

### 9.3.4 Risultati dei calcoli effettuati

In base ai modelli numerici effettuati e presentati nei capitoli successivi, lo sforzo tangenziale massimo  $\tau_{MAX}$  che si determina sotto sponda in occasione di una piena TR500 è pari a 395 Pa al piede della struttura prevista per GA08, a 215,5 Pa al piede del "muro 2" ed a 312,5 Pa al piede del "muro 1". Nella seguente tabella sono riportati i risultati dei dimensionamenti eseguito con i due approcci prima descritti. Si nota come secondo la trattazione FHWA si ottengono spesso dei valori dei diametri stabili sempre leggermente inferiori a quelli derivanti dalla trattazione di Shields, corretti con opportuni fattori di sicurezza.

TRATTO DI COMPETENZA		TRATTAZIONE SHIELDS (m)	TRATTAZIONE FHWA (m)	SCELTA PROGETTUALE (m)
<b>Interconnessione binario pari GA08</b>	in scarpata	0,94	1,01	1,00
	al piede	1,13	1,36	1,40
<b>Zona muro 2</b>	in scarpata	0,63	0,54	0,60
	al piede	0,83	0,73	0,80
<b>Zona muro 1</b>	in scarpata	0,89	0,80	0,90
	al piede	1,19	1,08	1,20

Tabella 14. Diametri stabili delle scogliere in scarpata ed al piede per le opere definitive trattate.

Cautelativamente si è scelto di assumere come diametro di progetto il massimo derivante dalle due trattazioni, arrotondato al diametro commerciale più prossimo. Come precedentemente sottolineato, il piano di posa delle scogliere dovrà essere previsto al di sotto del massimo scavo atteso, si vedano a tal proposito le indicazioni fornite in Tabella 9.

## 9.4 INTERFERENZE ATTESE PRESSO IL PONTE FERROVIARIO A SCAVALCO DEL RIO GARDENA

### 9.4.1 Premessa

Per la valutazione delle interferenze attese presso il ponte ferroviario a scavalco sul Rio Gardena, che come ribadito precedentemente non verrà sostanzialmente modificato sia in termini di quote che di geometria, si sono presi in considerazione entrambi gli scenari idrologici analizzati nel presente documento, ovvero:

- Scenario A: piene lungo il Fiume Isarco con contributi di piena lungo il Rio Gardena variabili con il tempo di ritorno degli eventi di progetto;

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:							
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	49 di 57

- Scenario B: piene lungo il Rio Gardena con condizione al contorno lungo il Fiume Isarco alla sezione di confluenza, variabile con il tempo di ritorno degli eventi di progetto.

#### 9.4.2 Scenario A

Si indicano di seguito i livelli idrici attesi ed i corrispondenti franchi idraulici per tutti i tempi di ritorno in corrispondenza del ponte ferroviario esistente a scavalco del Rio Gardena nello scenario di piena dominante lungo il Fiume Isarco.

TR	WSE (m s.l.m.)	QUOTA INTRADOSSO PONTE * (m s.l.m.)	FRANCO IDRAULICO (m)
30 anni	467,42		1,00
100 anni	468,47		-0,05
200 anni	468,95	468,42	-0,53
300 anni	469,21		-0,79
500 anni	469,53		-1,11

Tabella 15. Franchi idraulici presso il ponte ferroviario a scavalco del Rio Gardena in caso di piena del Fiume Isarco (\*si veda l'elaborato IB0U1BEZZPZBA0900001B).

Da quanto riportato in tabella emerge che solo per eventi marcati da tempi di ritorno di 30 anni è garantito un minimo franco idraulico presso il ponte ferroviario esistente. Per una piena TR 100 il ponte ad arco risulta essere insufficiente, al crescere dell'intensità dell'evento di piena incidente si determina un crescente rigurgito idraulico a monte lungo il Rio Gardena, che in nessun caso determina esondazioni né in destra né in sinistra orografica. Si intuisce quindi come il profilo idraulico nel Rio Gardena sia univocamente determinato dal livello idrico del Fiume Isarco nella sezione di confluenza.



Figura 44. Profilo longitudinale idraulico nel corso inferiore del Rio Gardena nel caso di piena lungo il Fiume Isarco, si nota chiaramente il rigurgito provocato dalla piena del Fiume Isarco lungo il Rio Gardena.

#### 9.4.3 Scenario B

Si indicano di seguito i livelli idrici attesi ed i corrispondenti franchi idraulici per tutti i tempi di ritorno in corrispondenza del ponte ferroviario esistente a scavalco del Rio Gardena nello scenario di piena dominante lungo il Rio Gardena.

TR	WSE (m s.l.m.)	QUOTA INTRADOSSO PONTE * (m s.l.m.)	FRANCO IDRAULICO (m)
30 anni	467,68		0,74
100 anni	468,75	468,42	-0,33
300 anni	469,98		-1,56

Tabella 16. Franchi idraulici presso il ponte ferroviario a scavalco del Rio Gardena in caso di piena del Rio Gardena (\*si veda l'elaborato IB0U1BEZZPZBA0900001B).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 50 di 57

Si riportano in Figura 45 anche i profili della corrente nel tratto inferiore del Rio Gardena al variare del tempo di ritorno dell'evento di piena incidente. Come si evince da quanto riportato in Tabella 16, è garantito un minimo franco idraulico presso il ponte ferroviario esistente unicamente per l'evento di piena marcato da un tempo di ritorno di 30 anni. In tutti gli altri casi il vecchio ponte ad arco non risulta sufficiente a far transitare le piene verso valle e si instaura un rigurgito a monte dell'attraversamento. Si intuisce chiaramente che sia per TR100 che per TR300 il ponte ferroviario a scavalco ed il ponte stradale vanno in pressione. Presso il secondo si determinano esondazioni in destra orografica per TR100 e TR300 ed in sinistra orografica anche per TR300. Nonostante il forte rigurgito provocato, le acque non sormontano mai il ponte ferroviario esistente.

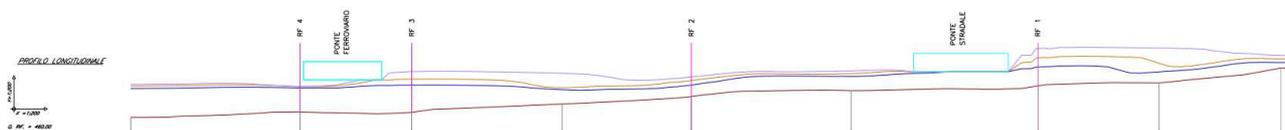


Figura 45. Profilo longitudinale idraulico nel corso inferiore del Rio Gardena nel caso di piena influente da monte, si nota chiaramente il rigurgito provocato dalla piena dal Rio Gardena a ridosso degli attraversamenti esistenti.

#### 9.4.4 Conclusioni

Da quanto sopra riportato si intuisce che presso l'impalcato del ponte ad arco, che sottende l'impalcato del ponte ferroviario a scavalco sul Rio Gardena, non sono garantiti i franchi di legge secondo normativa NTC in entrambi gli scenari idrologici considerati. Tale circostanza si verifica già allo stato attuale e non è pertanto in nessun caso imputabile agli interventi in progetto, che come asserito in precedenza non modificano le condizioni di deflusso in alveo lungo il Rio Gardena né topografia e geometria delle aree perfluviali. Tale criticità non deve pertanto essere risolta nell'ambito della presente progettazione ma dovrà essere gestita e risolta dalla locale Agenzia per la Protezione Civile nell'ambito della pianificazione futura delle opere di mitigazione del pericolo idraulico presso l'abitato di Ponte Gardena (BZ).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	51 di 57

## 10. COMPATIBILITA' IDRAULICA

### 10.1 PREMESSA

La compatibilità idraulica degli interventi proposti nel Progetto Esecutivo è stata valutata confrontando le risultanze della condizione post operam con le diverse discipline vigenti, in particolare:

- Mappe della Pericolosità Idraulica dell'aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali;
- Disposizioni normative relative alla Pianificazione delle Zone di Pericolo per la Provincia Autonoma di Bolzano (D.P.P. 23/2019).

### 10.2 COERENZA CON IL P.G.R.A.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (P.G.R.A.) è stato recentemente oggetto di un primo aggiornamento, recepito nella seduta 3/2001 del 21.12.2021 presieduta dal Sottosegretario On. Ilaria Fontana al Ministero della Transizione Ecologica (Delibera 3 Il ciclo Piani di Gestione Rischio Alluvioni. I aggiornamento – Art. 14, comma 3 Direttiva 2007/60/CE. Adozione dell'aggiornamento del PGRA ai sensi degli artt. 65 e 66 del D. Lgs. 152 del 2006 e corrispondenti misure di salvaguardia). Per valutare la coerenza degli interventi in progetto con i dettami del P.G.R.A. si è fatto riferimento alle Norme di Attuazione degli strumenti di pianificazione dell'assetto idrogeologico. In particolare si è tenuto conto del primo aggiornamento del P.G.R.A. recentemente adottato. Occorre sottolineare che la Conferenza Istituzionale Permanente del 18 marzo 2022 ha preso atto della correzione dell'errore materiale presente nell'allegato V "Norme Tecniche di Attuazione" del Piano dell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali, che sostituisce i commi 3 e 5 dell'articolo 16 delle Norme Tecniche di Attuazione e rettifica l'allegato B alle norme medesime. Tale articolo reca "Efficacia del Piano e Coordinamento con la pregressa pianificazione di bacino" mentre l'allegato B cita "Utilizzo dei bacini idroelettrici ai fini della laminazione delle piene". Tali modifiche non inficiano gli altri articoli delle NTA che quindi si possono considerare ancora in vigore.

Si è provveduto pertanto a consultare le mappe della pericolosità idraulica del P.G.R.A. (si veda ad esempio le immagini seguenti). In particolare si è consultato il WebGIS del Sistema Informativo per la Gestione ed il Monitoraggio delle informazioni e dei procedimenti Ambientali della Direttiva Alluvioni (SIGMA) (Figura 46). Si nota come il centro abitato di Ponte Gardena è oggetto di allagamenti, imputabili però unicamente alle esondazioni del Rio Gardena. Il Fiume Isarco infatti non causa alluvionamenti presso l'areale ferroviario. Medesima conclusione si trae anche dalla precedente versione delle mappe di pericolosità idraulica del P.G.R.A. (Figura 47) da cui emerge come l'Isarco rimanga confinato in alveo per TR300 anni.

Nonostante gli strumenti di Piano consentano di concludere come tutti gli interventi in progetto non ricadano né vadano ad alterare zone allagabili, si ritiene utile far comunque riferimento all'Art. 13 delle NTA recante "Disciplina delle aree fluviali", che dispone che nelle aree fluviali sono escluse tutte quelle attività e/o utilizzazioni che diminuiscono la sicurezza idraulica ed in particolare quelle che possono determinare una riduzione della capacità di invaso e di deflusso del corpo idrico influente ed interferire con la morfologia in atto e/o prevedibile del corpo idrico influente.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>52 di 57</b>

Da quanto discusso si evince come le opere in progetto non inficiano la sicurezza idraulica, non riducono la capacità di deflusso del Fiume Isarco nello stato finale di esercizio e non interferiscono con la morfologia caratteristica del corso d'acqua, inserendosi peraltro in un tratto fortemente artificializzato e soggetto a pulsazioni di deflusso imputabili alla gestione delle numerose centrali idroelettriche dislocate lungo il corso del Fiume Isarco a monte. Pertanto il progetto risulta essere coerente e conforme con la disciplina del P.G.R.A..

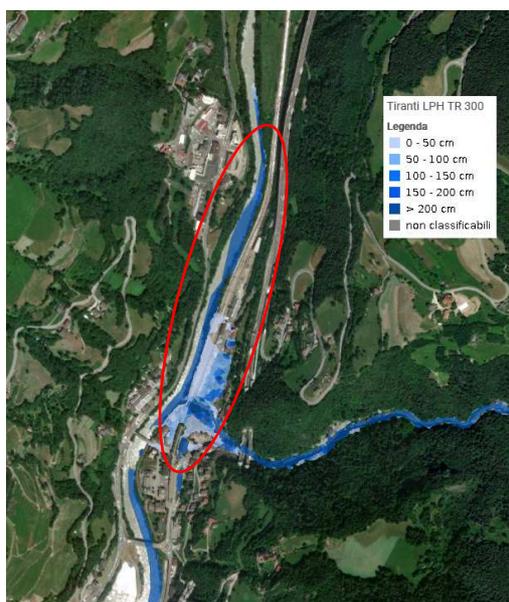


Figura 46. Estratto della mappa dei massimi tiranti attesi per l'area di studio per TR300 anni (WebGIS SIGMA).

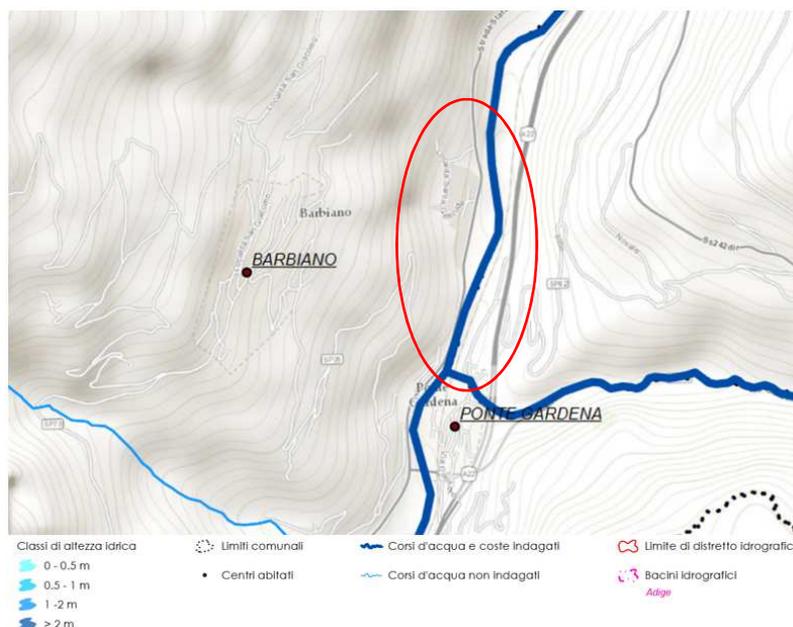


Figura 47 – Estratto della Tavola E05-HLP-WH delle Aree Allagabili – Altezze Idriche per lo scenario di bassa probabilità (Tr 300 anni) redatta per il Piano di Gestione di Rischio Alluvioni 2015-2021 ad oggi non più in vigore.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 53 di 57

### 10.3 COERENZA CON LE DISPOSIZIONI DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

Il Regolamento di Esecuzione dei Piani delle Zone di Pericolo (di seguito P.Z.P.) in Provincia di Bolzano è dettato dal Decreto del Presidente della Provincia Nr. 23 del 10 ottobre 2019 ad oggi in vigore. Nelle zone indagate nei P.Z.P. comunali che presentino un livello di pericolo molto elevato, elevato o intermedio tutti gli interventi devono essere tali da:

- Migliorare o almeno non peggiorare le condizioni di stabilità del suolo, l'equilibrio idrogeologico dei versanti, la funzionalità idraulica e la sicurezza del territorio;
- Non compromettere la sistemazione definitiva di zone soggette a pericolo e nemmeno i provvedimenti previsti dagli strumenti di programmazione e pianificazione di protezione civile.

L'Art. 7 in particolare regola gli interventi su infrastrutture di viabilità ed infrastrutture tecniche che presentano un pericolo idrogeologico. Nelle zone che presentano un pericolo idrogeologico elevato sono consentite nuove costruzioni, relative a servizi pubblici essenziali che non possono essere altrimenti localizzati né delocalizzati, quando non vi siano alternative tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché gli interventi risultino coerenti con la pianificazione di protezione civile e, preventivamente o contestualmente, siano realizzate idonee misure, anche temporanee, di riduzione del danno potenziale. È altresì prescritta una verifica di compatibilità idraulica ai sensi dell'Art. 11 del citato D.P.P..

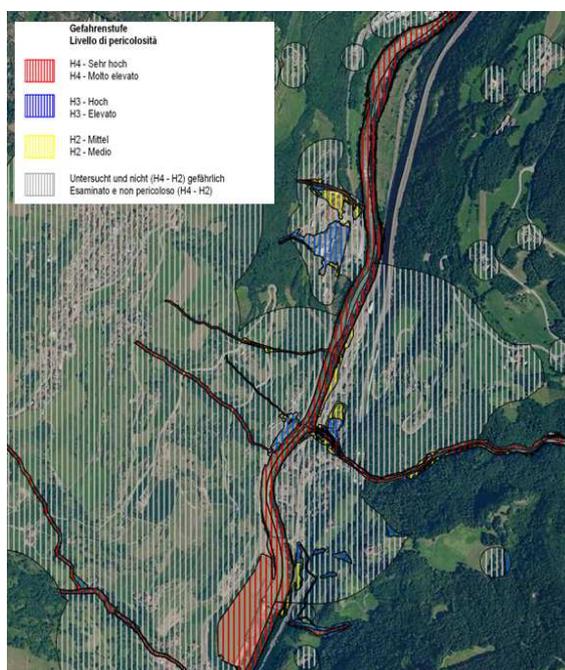


Figura 48 – Estratto dei Piani delle Zone di Pericolo dei Comuni di Ponte Gardena, Laion e Barbiano (fonte: Hazardbroswer, Provincia Autonoma di Bolzano).

L'area oggetto di intervento ricade in gran parte nel comune amministrativo di Laion (BZ) ed in parte nel comune amministrativo di Ponte Gardena (BZ). Entrambi i Comuni si sono già dotati di un Piano delle Zone di Pericolo approvato ed ufficiale. In Figura 48 è fornito un estratto dei PZP vigenti, da cui si evince come l'alveo del Fiume Isarco è classificato in zona a pericolo molto elevato (zona rossa H4) e piccole aree in sinistra

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	54 di 57

orografica nei pressi della stazione ferroviaria sono invece classificate in zone a pericolo intermedio (zona gialla H2). Il resto delle competenze ferroviarie in sinistra orografica è classificato in zona grigia (H2-H4, indagate e non pericolose).

Si riportano di seguito due estratti delle simulazioni (tiranti idraulici, velocità di flusso) condotte lungo il Rio Gardena per TR 300 anni nell'ambito dell'aggiornamento del Piano delle Zone di Pericolo comunale (2017), approvato ed attualmente in vigore. Si intuisce chiaramente come l'areale della nuova stazione di Ponte Gardena non sia interessato dagli alluvionamenti attesi dal Rio Gardena neppure per l'evento più severo simulato nell'ambito della pianificazione comunale (TR 300).

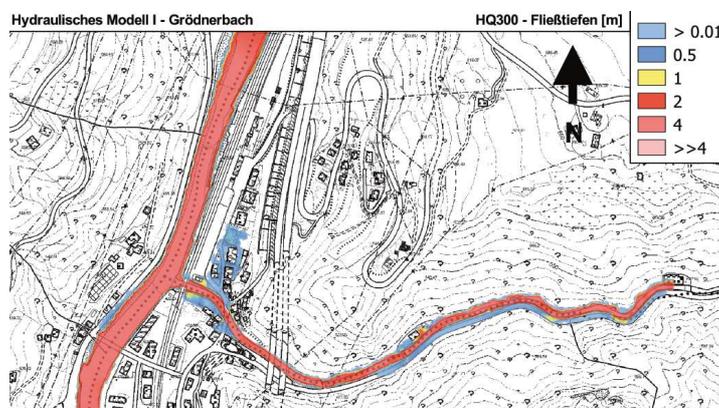


Figura 49 – Estratto della mappa dei tiranti per TR300 anni determinati nell'ambito della Pianificazione comunale delle Zone di Pericolo (aggiornameto PZP Comune di Ponte Gardena, 2017).

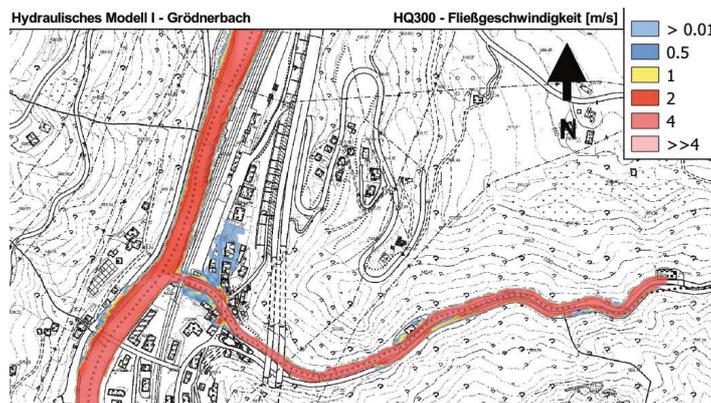


Figura 50 – Estratto della mappa delle velocità di flusso per TR300 anni determinati nell'ambito della Pianificazione comunale delle Zone di Pericolo (aggiornameto PZP Comune di Ponte Gardena, 2017).

Ai sensi del PUC vigente per il Comune di Laion (Figura 51), allo stato attuale le aree di intervento sono classificate come zone ferroviarie, bosco e acque. Una parte dell'area di intervento ricade in un'area di tutela della risorsa idrica idropotabile – Zona II, non rilevante ai fini della valutazione di cui al presente paragrafo.

Sottolineando che ai sensi delle normative della Provincia Autonoma di Bolzano (D.G.P. 989/2016) portate marcate da tempidi ritorno superiori a 300 anni afferiscono alla sfera del pericolo residuo e non hanno di fatto implicazioni urbanistiche, come ampiamente dimostrato nel presente documento non è da attendersi una modificazione del quadro alluvionale attuale a causa della realizzazione degli interventi in progetto.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST	M Ingegneria		
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000201	C	55 di 57

Nonostante il leggero restringimento dell'alveo del Fiume Isarco nello stato finale post operam, i parametri idraulici non variano sensibilmente e non si registrano alluvionamenti generalizzati sul piano campagna. Non sono pertanto da attendersi interferenze sostanziali con le nuove infrastrutture ferroviarie.

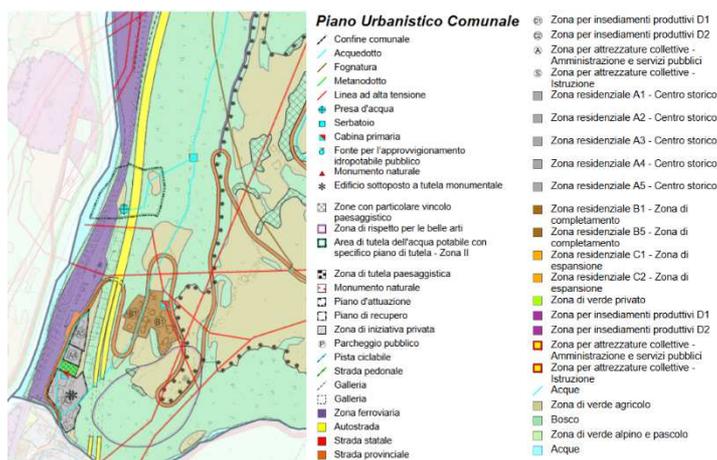


Figura 51 – Estratto del Piano Urbanistico del Comune di Laion (BZ).

Nelle zone di golena si determina una zona grigia, ovvero indagata e non pericolosa, al pari della situazione ante operam. Oltre agli interventi previsti nel Progetto Esecutivo, non sono necessarie ulteriori misure per ridurre la vulnerabilità della zona, non vengono cagionati danni maggiori o rischi maggiori a terzi né a monte né a valle. È pertanto garantito un livello di rischio specifico Rs2, che ai sensi delle normative provinciali risulta accettabile e tollerabile. Pertanto è possibile dichiarare che tutti gli interventi in progetto risultano **idraulicamente e idrogeologicamente compatibili ed ammissibili** ai sensi dei dettami normativi della Provincia Autonoma di Bolzano.

#### 10.4 COMPATIBILITA' CON IL MANUALE DI PROGETTAZIONE RFI

In questa sede, la compatibilità idraulica è stata valutata anche con riferimento alla prescrizione riportata nel Manuale di Progettazione RFI (rif. Par. 3.8.1.2.) recante: *“L'altezza delle opere di difesa deve essere superiore ad 1 metro rispetto al livello della massima piena determinato mediante apposito studio idraulico che prenda a riferimento un periodo di ritorno di 200 anni per corsi d'acqua aventi bacino non superiore a 10 Km<sup>2</sup> e di 300 anni per corsi d'acqua aventi bacino superiore a 10 Km<sup>2</sup>”*. Nel caso della presente verifica si è fatto pertanto riferimento ad una piena marcata da **300 anni** di tempo di ritorno.

Si riporta pertanto di seguito il profilo longitudinale dell'intero tratto che comprende l'interconnessione binario pari GA08 e le zone “muro 2” e “muro 1”. Si riportano le quote di massima piena associate ad un evento TR300 anni, la quota di coronamento dei muri nello stato finale e la quota del ciglio massimo delle barriere realizzate sopra i muri. Si sottolinea che nuovi muri e barriere saranno realizzati in continuità come opere continue in cemento armato, pertanto saranno completamente impermeabili. Il franco idraulico indicato nella seguente tabella è pertanto da intendersi come differenza di quota tra la WSE TR300 anni e la quota di sommità dell'intera struttura.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000201</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>56 di 57</b>

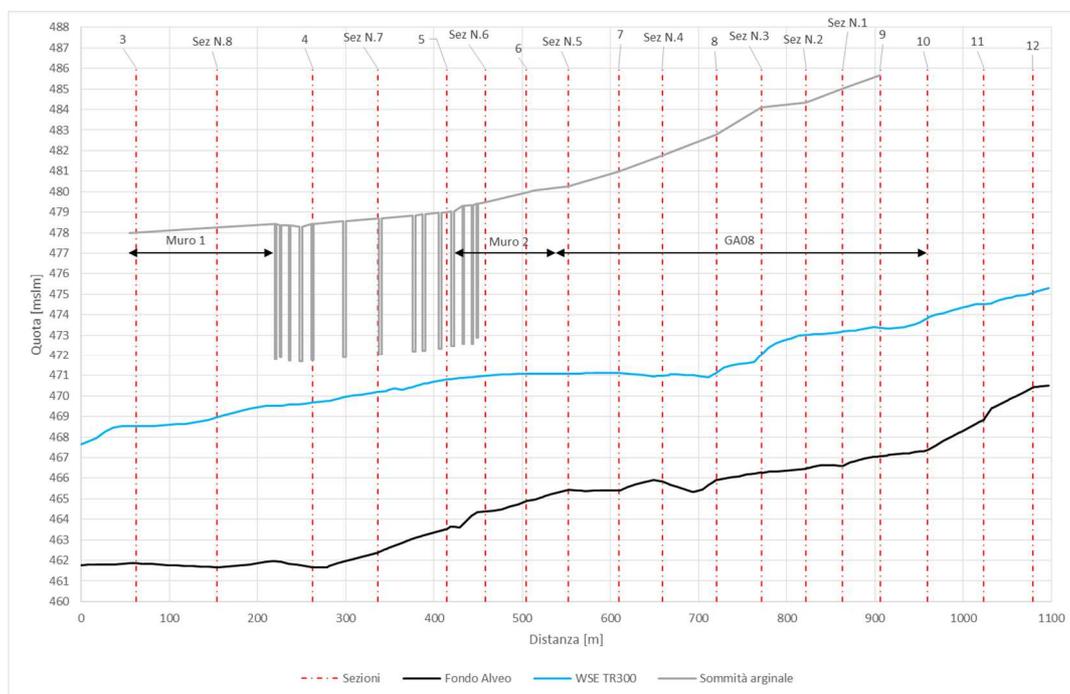


Figura 52 – Profilo longitudinale nel tratto idraulico di interesse dai cui intuisce il profilo della corrente (azzurro) ed il profilo del coronamento delle nuove strutture arginali in c.a..

SEZIONE	WSE TR300 (m s.l.m.)	QUOTA SOMMITA' MURO (m s.l.m.)	QUOTA SOMMITA' STRUTTURA (m s.l.m.)	FRANCO IDRAULICO (m)
<b>3 (Muro 1)</b>	468,50	469,86	478,01	9,51
<b>Sez N.8 (Muro 1)</b>	468,96	470,12	478,27	9,31
<b>Sez N.6 (Muro 2)</b>	470,98	471,34	479,49	8,51
<b>6 (Muro 2)</b>	471,09	471,81	479,96	8,87
<b>Sez N.5 (GA08)</b>	471,11	476,00	480,25	9,14
<b>7 (GA08)</b>	471,13	476,00	480,97	9,84
<b>Sez N.4 (GA08)</b>	471,04	476,00	481,77	10,73
<b>8 (GA08)</b>	471,23	476,00	482,79	11,56
<b>Sez N.3 (GA08)</b>	472,15	476,00	484,09	11,94
<b>Sez N.2 (GA08)</b>	473,02	476,00	484,33	11,31
<b>Sez N.41(GA08)</b>	473,13	476,00	485,01	11,88
<b>9 (GA08)</b>	473,35	476,00	485,67	12,32

Tabella 17. Franchi idraulici presso le opere longitudinali in progetto nello stato finale di esercizio per una piena TR300 anni.

Si dimostra pertanto come i franchi idraulici siano sempre superiore a 1 m come prescritto. Pertanto risulta verificata anche la compatibilità idraulica con le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000201	REV. C	FOGLIO. 57 di 57

## 11. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Armanini, A.. *Principi di Idraulica Fluviale*. Editoriale BIOS s.a.s. (1999).

Distretto delle Alpi Orientali. *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. Flood Risk Management Plan*. (2022).

Khosronejad, A. et al. (2019). "Scour depth prediction at the base of longitudinal walls: a combined experimental, numerical and field study". Springer Nature BV 2019.

Peter, W. (1986). *Kurvenkolk. Untersuchungen über die Sohlensausbildung in Flusskrümmungen*. Mitteilung Nr. 85 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurigo.

RFI, Direzione Tecnica Standard Infrastruttura. *Manuale di Progettazione delle Opere Civili* (2017).

<https://www.provincia.bz.it/informatica-digitalizzazione/digitalizzazione/open-data/maps-e-webgis-geobrowser.asp>

<https://www.aquaveo.com/>

<https://www.hydroas-2d.com/>

<http://www.alpiorientali.it/>