

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
 Dott. Ing. 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 E IDRAULICA

A - IDROLOGIA ED IDRAULICA

IDROLOGIA ED IDRAULICA ISARCO

Relazione idraulica Fiume Isarco

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    1 0 1    C

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	C. Lucarelli	30/12/2021	D. Nave	21/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino  20/01/2023  ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dott. Ing. 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: IB0U1BEZZRIID0000101C.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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 2 di 53

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. PORTATE DI PROGETTO</b> .....	<b>6</b>
3.1 STUDI PREGRESSI.....	6
3.2 TEMPI DI RITORNO .....	7
3.3 CONTRIBUTI LIQUIDI DI PIENA .....	8
3.4 TRASPORTO SOLIDO .....	9
3.5 COERENZA CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI VIGENTI IN PROVINCIA DI BOLZANO .....	10
<b>4. APPROCCIO METODOLOGICO</b> .....	<b>11</b>
4.1 IMPOSTAZIONE GENERALE.....	11
4.2 TOPOGRAFIA .....	11
4.3 MESH DI CALCOLO.....	11
4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO .....	13
4.4.1 Generalità.....	13
4.4.2 Contributi del Rio Funes alla piena del Fiume Isarco .....	13
4.4.3 Traversa idroelettrica di Funes.....	14
4.5 SCABREZZE.....	15
4.6 CODICE DI CALCOLO .....	15
4.7 FENOMENI EROSIVI ATTESI .....	17
4.7.1 Generalità.....	17
4.7.2 Scavi localizzati e scalzamenti .....	20
4.7.3 Erosione laterale .....	22
4.7.4 Dimensionamento dei materassini RENO .....	26
<b>5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE</b> .....	<b>28</b>
5.1 PREMESSA .....	28
5.2 STATO ANTE OPERAM .....	28
5.3 FASE DI CANTIERE.....	31
5.3.1 Premessa .....	31
5.3.2 Scenario 1: cantiere per la realizzazione delle pile di ponte.....	31

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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	3 di 53

5.3.3	Scenario 2: realizzazione della nuova scogliera spondale.....	34
5.4	STATO POST OPERAM .....	37
5.4.1	Premessa .....	37
5.4.2	Risultati.....	37
5.4.3	Scenario estremo .....	41
<b>6.</b>	<b>COMPATIBILITA' IDRAULICA.....</b>	<b>43</b>
6.1	PREMESSA .....	43
6.2	COERENZA CON IL P.G.R.A. ....	43
6.3	RISPETTO DELLE PRESCRIZIONI DELLE N.T.C. 2008 .....	45
6.4	COERENZA CON LE DISPOSIZIONI DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO .....	46
6.5	VERIFICA IDRAULICA DEL NUOVO PONTE SUL RIO DI FUNES .....	47
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE .....</b>	<b>53</b>

---

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>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	4 di 53

## 1. PREMESSA

La presente relazione idraulica riporta i risultati dello studio idraulico di dettaglio condotto lungo il Fiume Isarco nel tratto interessato dalla costruzione del nuovo viadotto nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto 1 della lunghezza complessiva di 22+492 km per il binario dispari e 21+917 per il binario pari. La linea ha uno sviluppo essenzialmente in galleria e può essere suddiviso in due tronchi distinti: il primo dal km 0+487,25 al km 15+866,00 binario dispari e dal km 0+487,75 al km 15+878,54 binario pari; il secondo dal km 16+134,00 al km 22+482,00 binario dispari e dal km 16+113,42 al km 21+917,00 binario pari. Tra le due gallerie il tracciato ferroviario attraversa il Fiume Isarco in località Schmelze nei pressi della vecchia fermata di Funes (BZ) passando da sponda sinistra a sponda destra. Il viadotto ha una lunghezza pari a ca. 270 m binario dispari e 240 m binario pari.

Nel presente documento sono riportati i risultati delle analisi di dettaglio condotte con l'ausilio di simulazioni bidimensionali lungo il Fiume Isarco per un tratto di ca. 1.320 m a partire dalla traversa idroelettrica di Funes a servizio dell'impianto idroelettrico di Barbiano Ponte Gardena (BZ), nella titolarità di ALPERIA S.p.a., fino ad una sezione posta ca. 400 m a monte del viadotto in progetto binario dispari. Nel tratto di competenza sono state implementate diverse simulazioni bidimensionali al fine di ricavare i profili di moto per differenti tempi di ritorno, sia per la configurazione attuale che per quella post operam, al fine di valutare l'entità delle interferenze delle opere in progetto con l'attuale quadro idraulico caratteristico del Fiume Isarco, in modo da valutarne la compatibilità idraulica e definire la tipologia delle opere di protezione necessarie.

Si ricorda brevemente che il Fiume Isarco (Codice Acque Pubbliche B Provincia Autonoma di Bolzano) nasce dal Monte Sasso a quota 1.990 m s.l.m. presso il Passo del Brennero. In corrispondenza del confine comunale con il limitrofo comune di Chiusa, il bacino imbrifero del fiume ha un'estensione di ca. 2.965 km<sup>2</sup>. I principali affluenti del corso d'acqua sono il Rio di Fleres (immissione in destra presso Colle Isarco), il Rio Vizze ed il Rio Ridanna (entrambi confluiscono in Isarco presso Vipiteno) e soprattutto il fiume Rienza (ca. 2.100 km<sup>2</sup>) che confluisce nell'Isarco presso Bressanone. Da Bressanone a Chiusa l'Isarco riceve i contributi di diversi bacini laterali a carattere torrentizio, tra i quali il Rio di Funes, che drena la vallata oggetto del presente Piano delle Zone di Pericolo.



Figura 1 – Il tratto del Fiume Isarco a monte del viadotto A22 esistente 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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 5 di 53

In Figura 2 si riporta una corografia di inquadramento con il tracciato della nuova linea ferroviaria in progetto e l'indicazione del tratto oggetto della presente indagine idraulica (quadrato rosso tratteggiato).

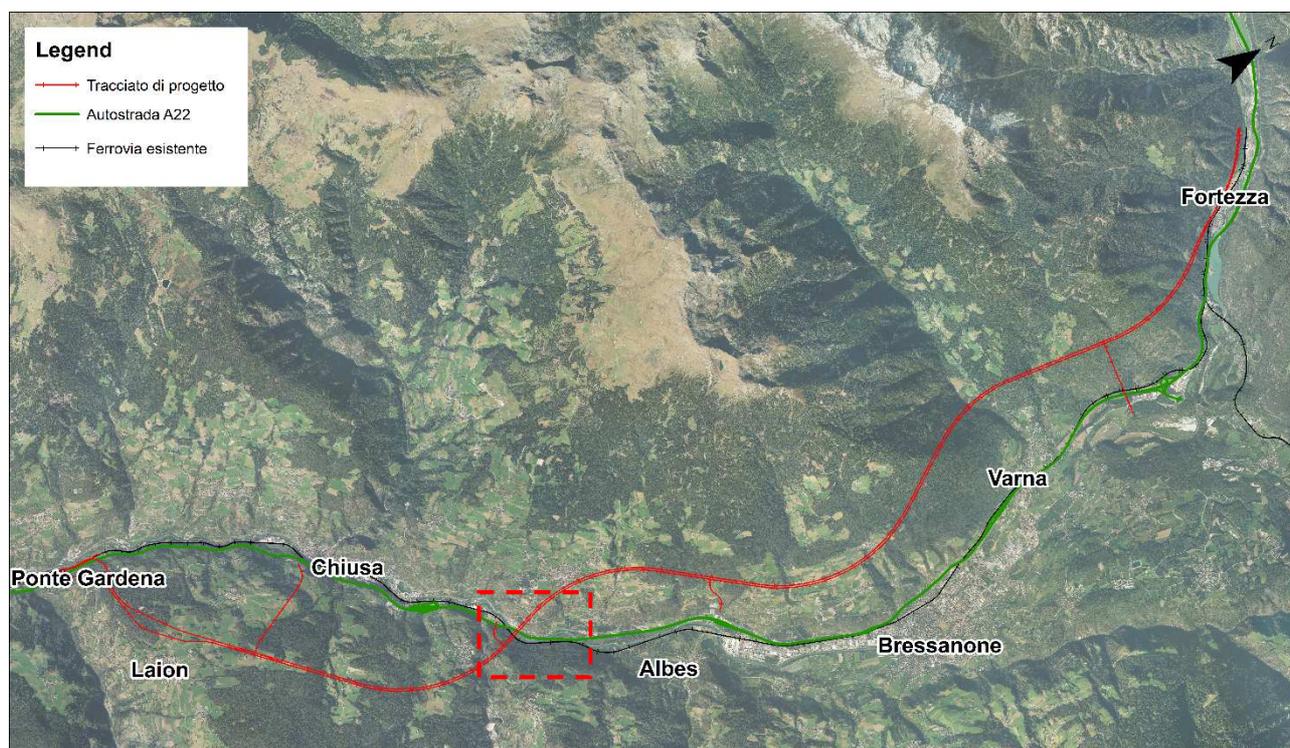


Figura 2 – Localizzazione del tratto oggetto del presente documento.

## 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:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	6 di 53

### 3. PORTATE DI PROGETTO

#### 3.1 STUDI PREGRESSI

Nel tratto oggetto di intervento, a cavallo tra i Comuni amministrativi di Velturmo, Funes e Chiusa (BZ), sono disponibili le risultanze dei seguenti studi pregressi:

- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali (P.G.R.A.) approvato con Delibera Nr. 1 del 3 marzo 2016 e redatto in adempimento degli obblighi previsti dall'Art. 7 del D.Lgs. 23 febbraio 2010 Nr. 49 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE. Tale documento è stato recentemente oggetto di un primo aggiornamento, il P.G.R.A. distrettuale aggiornato è stato 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). 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 di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) 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.
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes (BZ) ai sensi della D.G.P. 989/2016, attualmente in fase di verifica presso il competente Ufficio Bacini Montani Nord dell'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano;
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Chiusa (BZ), approvato e successivamente modificato con Delibera della Giunta Comunale 647/2017 e Delibere Consiliari 267/2018 e 7/2019;
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Velturmo (BZ), ai sensi della D.G.P. 989/2016, attualmente in fase di verifica presso il competente Ufficio Bacini Montani Nord dell'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano;
- Piano Area Fluviale della Media Valle Isarco – Progetto "CittàPaeseFiume" promosso dall'allora Rip. 30 Opere Idrauliche (oggi Agenzia per la Protezione Civile) della Provincia di Bolzano e sviluppato tra il 2009 ed il 2011.

Di particolare interesse per il Fiume Isarco nel tratto di studio è il Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss"), sul quale si basano sostanzialmente tutti gli studi successivi. L'iniziativa "CittàPaeseFiume – Area Fluviale Media Val d'Isarco" è stata promossa nell'ambito del programma UE "Competitività Regionale ed Occupazione FESR 2007 – 2013" con un piano di gestione dei bacini idrografici con lo scopo di garantire una buona condizione ecologica delle acque nella Media Val d'Isarco, progettare un bacino fluviale come area ricreativa ed allo stesso tempo ridurre i rischi legati alle alluvioni per le persone, la natura e l'economia. Nell'ambito di tale studio il Fiume Isarco è stato indagato con elevato grado di dettaglio, le portate di piena sono state definite con un accurato modello afflussi deflussi e la taratura è stata effettuata anche sulla scorta dei dati idrometrici registrati dalle stazioni presenti. Si è inoltre tenuto conto della presenza a monte delle dighe di Fortezza e Rio Pusteria, a servizio dell'impianto idroelettrico di Bressanone. Per il dettaglio tecnico delle valutazioni effettuate si rimanda alla Relazione Tecnica del Modulo Pericoli Idraulici del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco (versione 30.04.2010). Il nodo idraulico del Fiume Isarco

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 7 di 53

più vicino all'area di studio era rappresentato dal nodo B2 a valle della confluenza con la Rienza, che sottende un'area pari a 2.878 Km<sup>2</sup>. Occorre sottolineare che il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Bressanone recepisce integralmente quanto riportato nel Piano dell'Area Fluviale citato.

### 3.2 TEMPI DI RITORNO

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 Km<sup>2</sup>;
- Linea Ferroviaria Tr = 200 anni per S < 10 Km<sup>2</sup>;
- Deviazioni stradali Tr = 200 anni.

Date le dimensioni del bacino imbrifero del Fiume Isarco sotteso dal nuovo attraversamento in progetto si assume come tempo di ritorno di progetto **300** anni. Il franco idraulico è stato valutato ai sensi delle vigenti Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC) rispetto alla piena marcata da tempi di ritorno di **200** anni (Capitolo C5.1.2.3 Compatibilità Idraulica). 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. In generale si è proceduto verificando la sezione idraulica del nuovo attraversamento in relazione alla caratteristiche dimensionali del manufatto in progetto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso in golena indotte dall'esecuzione delle opere. Si è cercato in sostanza di:

- Evitare la formazione di fenomeni di rigurgito sia in fase di cantiere che in fase di esercizio;
- 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 per il ponte un franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena mai inferiori ad 1,5-2,0 m sul livello idrico.

Per quanto concerne infine al tempo di ritorno delle lavorazioni di cantiere, si è fatto riferimento al rischio di superamento di un determinato evento meteorico, definito nella seguente relazione:

$$R = 1 - (1 - 1/Tr)^N$$

in cui:

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 E IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione idraulica Fiume Isarco		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C
						FOGLIO.
						8 di 53

- R rischio di superamento di un determinato evento meteorico;
- Tr tempo di ritorno;
- N vita dell'opera.

Assumendo una vita utile dell'opera ferroviaria pari a 100 anni ed un tempo di ritorno di riferimento pari a 300 anni, si determina un valore di rischio per l'opera finita pari a 0,28. Accettando lo stesso valore di rischio dell'opera finita anche per la fase provvisoria, caratterizzata da una durata massima di 10 anni, si ottiene un tempo di ritorno della fase provvisoria pari a 25 anni, cautelativamente approssimato a **30** anni. Il calcolo è stato replicato anche per quanto concerne le installazioni provvisorie di cantiere per la realizzazione delle opere di protezione spondali, che necessitano di una parzializzazione temporanea dell'alveo del Fiume Isarco. Accettando lo stesso valore di rischio dell'opera finita anche per la fase provvisoria legata alle lavorazioni citate, caratterizzata da una durata massima inferiore a 1 anno, si ottiene un tempo di ritorno della fase provvisoria pari a **4** anni.

### 3.3 CONTRIBUTI LIQUIDI DI PIENA

Coerentemente con quanto riportato nella Relazione Idrologica generale, per lo studio idraulico di dettaglio lungo il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Funes (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	663
100	834
200	940
300	1.005
500	1.091

Tabella 1 – Valori al colmo di piena utilizzati per lo studio idraulico del Fiume Isarco presso la sezione di chiusura di Funes (BZ).

Parimenti nelle simulazioni idrauliche 2D sono stati considerati gli idrogrammi di piena illustrati in Figura 3.

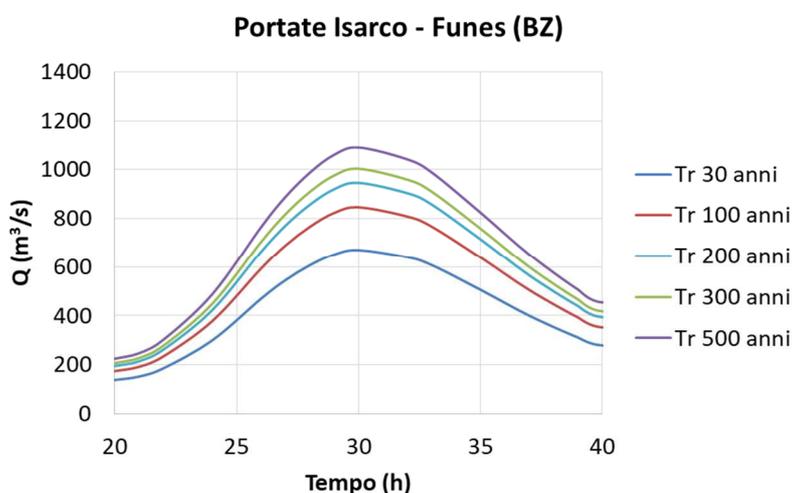


Figura 3 – Idrogrammi di piena assunti nel Progetto Esecutivo alla sezione di chiusura di Funes (BZ).

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 9 di 53

### 3.4 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 al fondo ed in sospensione a partire dalle caratteristiche idrauliche della corrente. Tra tali diverse 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 0,3 % sulla scorta dei rilievi topografici disponibili. Considerando una larghezza media del fondo attivo pari a 30 m si determina per un tempo di ritorno di 500 anni una portata solida massima dell'ordine di 1,1 m<sup>3</sup>/s che corrisponde ad un volume trasportato al fondo di ca. 100.000 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

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>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000101</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>10 di 53</b>

concentrazione solida di picco pari a 0,13 %. Pertanto, nelle valutazioni idrauliche condotte nell'ambito del Progetto Esecutivo per il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Funes (BZ), il contributo in termini quantitativi del trasporto solido al fondo è stato trascurato.

### 3.5 COERENZA CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI VIGENTI IN PROVINCIA 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 Velturmo, Funes e Chiusa (BZ) e parimenti ai dettami procedurali e normativi regolamentati dalla D.G.P. 989/2016. Risultano altresì coerenti con le risultanze tecniche del Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss").

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>			
09 - IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 11 di 53

## 4. APPROCCIO METODOLOGICO

### 4.1 IMPOSTAZIONE GENERALE

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;
- La topografia disponibile è stata successivamente analizzata in dettaglio ed opportunamente predisposta 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 3.2;
- 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 sia per le opere definitive che per le opere provvisionali;
- 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.

### 4.2 TOPOGRAFIA

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 relativi al Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco (2010);
- Rilievi topografici delle sezioni Nr. 1, 2, 3, 7, 8 e 17 del Progetto Definitivo. Le altre sezioni disponibili non sono state prese in esame in quanto considerate ad oggi non più plausibili (fondo perfettamente orizzontale in alcuni tratti, quote non realistiche) o non sufficientemente rappresentative dello stato dei luoghi, soprattutto in un intorno della traversa di presa dello sbarramento di Funes a servizio dell'impianto idroelettrico di Barbiano – Ponte Gardena nella titolarità di ALPERIA S.p.a.;
- Volo Lidar effettuato nel 2021 in sponda orografica destra e sinistra nelle aree che ospiteranno i cantieri ed i pilastri del nuovo ponte ferroviario;
- Rilievi topografici lungo il Rio di Funes (Codice delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Bolzano B.300) effettuati dalla Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l. nel 2018 nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes (BZ).

### 4.3 MESH DI CALCOLO

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 ca. 3 x 9 m caratterizzate da una scabrezza del fondo pari a  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . Tale valore è stato scelto

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 12 di 53

coerentemente con quanto fatto per il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Chiusa (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 DTM. 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 nuove strutture, così come risulta dai rilievi disponibili e dagli elaborati progettuali del Progetto Esecutivo. Parimenti, le pile dei ponti, sia esistenti che in progetto, 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 4) e per lo stato di progetto (Figura 5). In entrambi i casi si distingue la presenza dei manufatti esistenti (pile dell'attraversamento dell'autostrada A22, in alveo) e dei manufatti in progetto (pile del nuovo attraversamento ferroviario, in golenia destra).

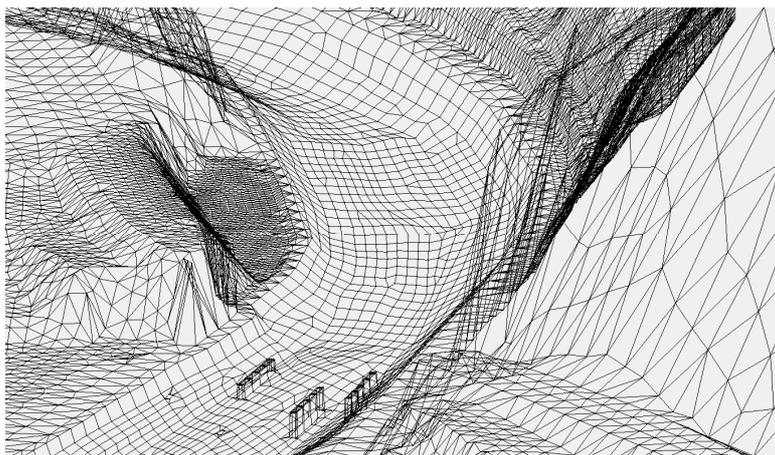


Figura 4 – Mesh di calcolo per lo stato attuale del Fiume Isarco. Si nota la presenza delle pile in alveo dell'attraversamento autostradale A22 già esistenti.

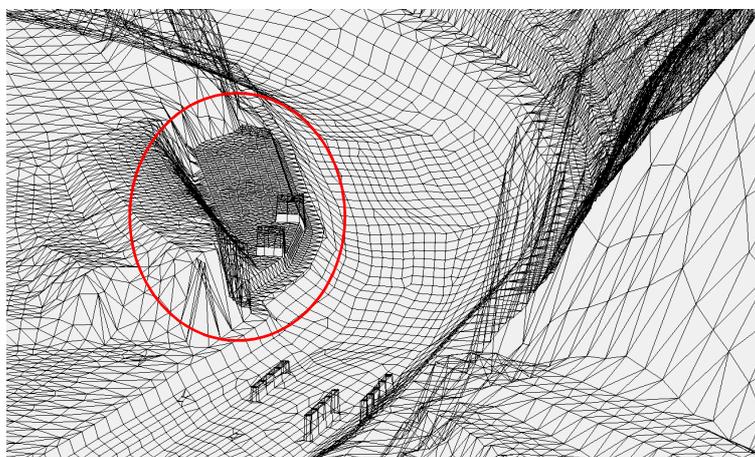


Figura 5 – Mesh di calcolo dello stato di progetto per il Fiume Isarco. Si nota cerchiata in rosso la presenza delle pile di ponte nelle aree di golenia in destra orografica unitamente al sovrizzo delle aree golenali.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 13 di 53

## 4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

### 4.4.1 Generalità

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. 400 m a monte dell'attraversamento ferroviario in oggetto per tutti i tempi di ritorno simulati;
- Portate influenti da monte nel Rio di Funes (B.300) in moto stazionario con contributi liquidi alla piena del Fiume Isarco pari rispettivamente a 15,5 m<sup>3</sup>/s per Tr 200 anni, 16,5 m<sup>3</sup>/s per Tr 300 anni e 17,9 m<sup>3</sup>/s per Tr 500 anni;
- Le celle di outflow sono state poste ca. 250 m a valle della confluenza del Rio di Funes (B.300), ovvero ca. 75 m a valle dalla traversa idroelettrica di Funes. È stata imposta una pendenza della linea dell'energia pari a 0,8 %.

### 4.4.2 Contributi del Rio Funes alla piena del Fiume Isarco

I contributi di piena del Rio Funes 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 inizialmente quanto segue:

- Il Rio Funes 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;

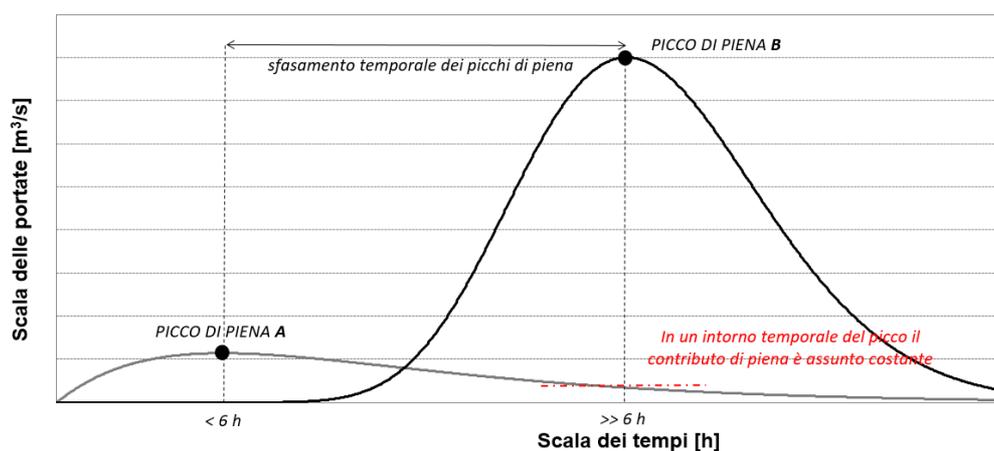


Figura 6 – Schema concettuale delle valutazioni in merito ai contributi di piena del Rio Funes (A) rispetto al Fiume Isarco (B).

- 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 di Funes sia molto più veloce di quella generata dal Fiume Isarco, pertanto

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 E IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
Relazione idraulica Fiume Isarco		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C
						FOGLIO.
						14 di 53

è realistico ipotizzare che nel momento in cui la piena dell'Isarco transita nella sezione di controllo considerata il Rio di Funes 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 6, si intuisce altresì come in un intorno temporale del picco del Fiume Isarco il contributo di piena del Rio Funes 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 Funes 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 di Funes. 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 (m <sup>3</sup> /s)	Contributo Rio Funes (m <sup>3</sup> /s)
200	940	15,5
300	1.005	16,5
500	1.091	17,9

Tabella 2 - Contributi di piena del Rio Funes alla piena del Fiume Isarco al variare del tempo di ritorno.

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

#### 4.4.3 Traversa idroelettrica di Funes

Per quanto concerne la configurazione simulata della traversa idroelettrica di Funes, a servizio dell'impianto idroelettrico di Barbiano – Ponte Gardena, tutte le paratoie di settore sono state simulate semper aperte, coerentemente con il Foglio Condizioni della concessione GS/58. 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 100 m<sup>3</sup>/s.



Figura 7 – Configurazione simulata per l'opera di presa dell'impianto idroelettrico di Barbiano – Ponte Gardena. In rosso sono indicate le paratoie di settore, in verde le bocche di presa.

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	ID0000101	C	15 di 53
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco							

## 4.5 SCABREZZE

In Tabella 3 sono riportati i coefficienti di scabrezza di Gauckler Strickler ( $m^{1/3}s^{-1}$ ) 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 parte sistemate con brevi protezioni ed in parte vegetate, assumendo una scabrezza equivalente del fondo pari a  $25 m^{1/3}s^{-1}$ . 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	$K_s [m^{1/3}/s]$
Isarco - Alveo	25 - 30
Isarco - sponde	10 - 25
Strade, pista ciclabile	40
Calcestruzzo	50
Bosco	10
Case singole, case sparse	12
Seminativo	15
Colture permanenti	12
Superfici industriali e commerciali	12
Aree prative	20
Roccia	50
Linee ferroviarie e spazi associati	15
Rio di Funes - Alveo	15
Rio di Funes - Sponde	10

Tabella 3 – Scabrezze assunte nelle simulazioni 2D effettuate.

## 4.6 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.

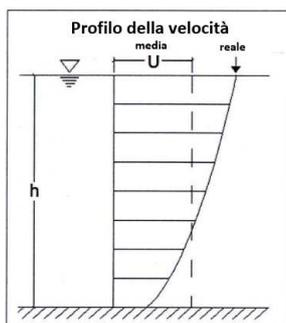


Figura 8 – Velocità di flusso mediata sulle verticale.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 16 di 53

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  $H = h + z$  che 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 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 nel paragrafo 4.3;
- **Dati idrologici:** idrogrammi di piena così come riportati in Figura 3;
- **Dati di resistenza:** valori del coefficiente di Gauckler – Strickler in funzione delle coperture e degli utilizzi di suolo così come descritto nel paragrafo 4.5.

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:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	17 di 53

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.

## 4.7 FENOMENI EROSIVI ATTESI

### 4.7.1 Generalità

Allo stato attuale, qualche decina di metri a valle della zona di intervento è presente il viadotto dell'autostrada A22 che risulta fondato su pile in alveo. Premesso che tutti gli interventi in progetto non andranno minimamente ad alterare la geometria e la configurazione dell'alveo nella zona di imposta delle pile di ponte esistenti, si ritiene utile ripercorrere le possibili interferenze da attendersi alla base delle pile dei ponti ed in generale imputabili ai fenomeni di erosione fluviale.

Il fenomeno dell'erosione alla base delle pile dei ponti è generalmente costituito dalla sovrapposizione di tre processi, che vengono solitamente stimati indipendentemente per poi sommarne gli effetti. Detti processi sono così descrivibili:

- Abbassamento dell'alveo in prossimità del ponte, per variazioni globali del profilo del corso d'acqua indipendenti dalla presenza del ponte medesimo (*general scour* o *erosione generalizzata*);
- Erosione localizzata in corrispondenza della sezione ristretta del ponte, causata dall'aumento locale della velocità della corrente indotto dal restringimento dovuto alla presenza dell'attraversamento (*contraction scour*);
- Erosione localizzata alla base delle pile e delle spalle del ponte, causata dalle deviazioni del flusso idrico indotte dalla presenza delle strutture in alveo, che causano aumenti locali della velocità della corrente (*local scour*).

Dall'analisi dei dati storici disponibili sull'evoluzione del Fiume Isarco nel tratto di interesse, è possibile escludere processi di erosione generalizzata e di erosione localizzata imputabile al restringimento della sezione causato dal ponte esistente. Non è però possibile escludere a priori l'insorgenza di scavi localizzati alla base delle pile del viadotto autostradale. La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è da ricondursi alla formazione di vortici alla loro base, che sono comunemente detti "vortici a ferro di cavallo" (Figura 9).

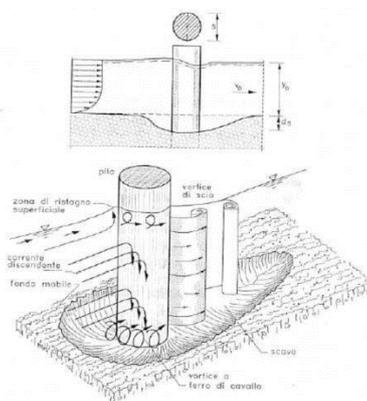


Figura 9 – Rappresentazione schematica degli scavi localizzati presso la pila di un ponte.

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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	18 di 53

Come evidenziato in Figura 9, i vortici sono causati dall'arresto della corrente idrica sulla superficie di monte della pila, che, a causa del gradiente delle pressioni di ristagno che si instaura lungo la verticale, provoca un flusso in direzione della base della pila stessa, dove si sviluppano vortici tali da provocare la rimozione del materiale d'alveo. Al crescere della profondità dello scavo, l'energia del vortice tende a diminuire, sicché l'escavazione tende a raggiungere una profondità di equilibrio. Oltre al vortice a ferro di cavallo, a valle della pila si formano vortici ad asse verticale, che pure contribuiscono alla rimozione dei sedimenti d'alveo. Tuttavia, l'intensità di questi ultimi vortici diminuisce rapidamente al crescere della distanza dalla pila, sicché spesso, immediatamente a valle del ponte, si ha la deposizione del materiale asportato. L'altezza di scavo raggiungibile in condizioni di assenza di trasporto solido (*clear-water scour*) è superiore alla corrispondente in presenza di trasporto (*live bed scour*). E' interessante notare che, qualora si sia in presenza di trasporto solido, l'altezza di scavo attorno alla base della pila, dopo una fase iniziale di crescita, oscilla attorno alla configurazione di equilibrio per effetto del continuo succedersi di fasi di parziale riempimento e successivo approfondimento dello scavo. Indicativamente, si può ritenere che la massima altezza di scavo sia superiore in percentuale pari a circa il 10% rispetto all'altezza raggiunta all'equilibrio.

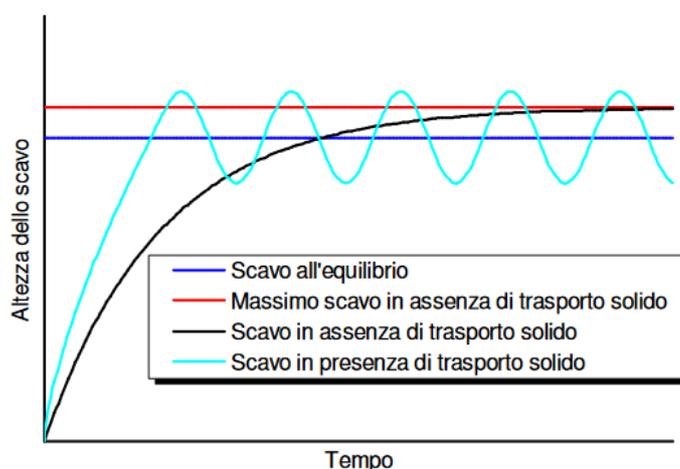


Figura 10 - Evoluzione temporale dell'escavazione alla base delle pile dei ponti, in condizioni di presenza e assenza di trasporto solido.

I principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità e la profondità della corrente, la larghezza della pila e la sua forma, la lunghezza della pila e l'angolo d'attacco della corrente, la natura del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati dalla corrente. Questi ultimi possono in particolare creare effetti indesiderati, ampliando la zona di influenza dei vortici precedentemente descritti, contribuendo così ad amplificare lo scavo ed aumentare la superficie dell'alveo esposta allo scavo stesso. Vanno inoltre considerati con attenzione i fenomeni di evoluzione morfologica del letto del fiume.

Oltre al problema noto dell'erosione localizzata presso le pile di ponte, occorre considerare anche i fenomeni relativi allo scalzamento ed all'erosione spondale. A causa del moto secondario infatti, si realizzano sulla sezione trasversale di un tratto fluviale curvilineo delle tensioni tangenziali trasversali agenti sul fondo e dirette dall'esterno verso l'interno della curva.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 19 di 53

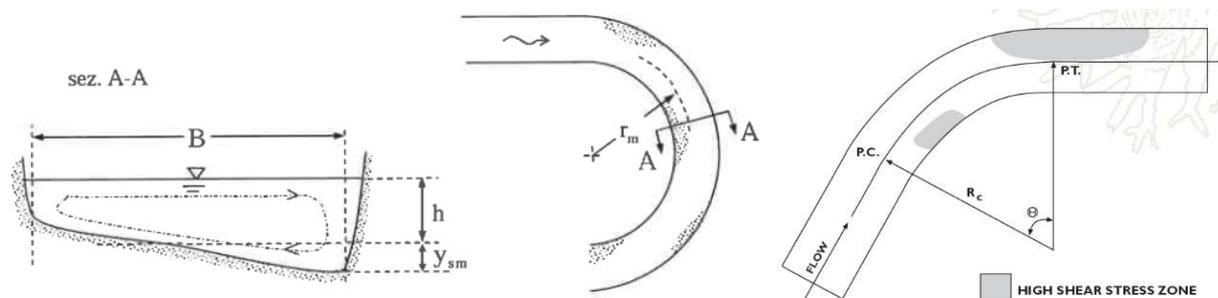


Figura 11 - Schema di moto in corrispondenza di una curva in un canale a pelo libero.

Se il fondo è erodibile tali tensioni danno luogo a una deviazione del trasporto solido di fondo dalla direzione longitudinale. Tale tendenza genera l'instaurarsi di:

- una pendenza trasversale del fondo;
- uno scavo della sponda esterna ed un deposito sulla sponda interna (vedasi Figura 11);
- una modifica della pendenza longitudinale  $i_{fd}$  rispetto al caso rettilineo  $i_{fu}$ , necessaria per consentire alla corrente di trasportare la stessa portata solida con una distribuzione trasversale della tensione al fondo significativamente diversa dalla distribuzione uniforme rispetto al caso di un alveo rettilineo.

L'analisi dei fenomeni sopra descritti appare di grande rilevanza anche nel caso oggetto di studio, preme comunque sottolineare che:

- le pile del nuovo ponte ferroviario verranno realizzate **al di fuori dell'alveo inciso** del Fiume Isarco ed **in zona golenale destra**, pertanto i potenziali scavi sono da attendersi solo in caso di alluvionamento delle aree perifluviali ed in ogni caso di un ordine di grandezza minore rispetto a quelli potenzialmente definibili in alveo;
- la riprofilatura spondale e golenale in progetto consente di evitare che le pile del nuovo ponte ferroviario siano interessate dai livelli idrici di piena, pertanto per gli scenari di piena considerati (fino a 500 anni con le paratoie di settore del sottostante impianto idroelettrico aperte) come si vedrà più avanti **in orografica destra nello stato di progetto non saranno più da attendersi esondazioni**;
- Unicamente per uno **scenario estremo**, che prevede l'accadimento di una piena marcata da un tempo di ritorno di 500 anni e la contemporanea chiusura delle paratoie di settore della sottostante opera di presa, l'acqua è in grado di alluvionare la golenale in destra orografica. **Tale scenario è assolutamente improbabile ed è caratterizzato da un tempo di ritorno cumulato superiore a 1.000 anni**;
- la presenza delle pile in golenale destra **non si configura come un restringimento di sezione**, quindi i fenomeni di potenziale instabilità non possono essere considerati al pari di processi di scalzamento delle spalle di un ponte;
- l'area di riprofilatura spondale e golenale si localizza in orografica destra **in sponda interna** della curva, pertanto la tendenza naturale è al deposito e non all'erosione. Ciò è testimoniato anche dalla sostanziale assenza di opere di protezione spondale in orografica destra nel tratto di competenza, se si esclude la presenza di sistemazioni a rip-rap non sono presenti scogliere o stabilizzazioni particolari.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 20 di 53

#### 4.7.2 Scavi localizzati e scalzamenti

Rimandando alla rappresentazione schematica dei possibili processi di scavo localizzato fornita in Figura 12, nella letteratura scientifica sono molto numerose le formule per il calcolo della profondità dello scavo localizzato presso le pile dei ponti, definite in larga parte a seguito di diverse sperimentazioni effettuate in laboratorio in riferimento sia alla condizione di equilibrio sia all'evoluzione nel tempo del fenomeno.

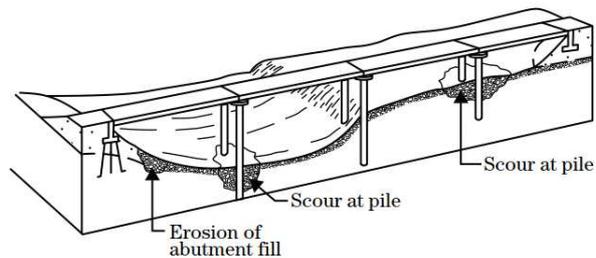


Figura 12 – Rappresentazione schematica dei fenomeni attesi.

In questa sede si può citare l'approccio proposto nel Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Trento (Parte Quinta, 2005), in cui per la determinazione della profondità di scavo a partire dal fondo indisturbato  $d_s$  propone la seguente formulazione:

$$\frac{d_s}{s} = f_1 \left( \frac{v_0}{v_c} \right) \left[ 2 \tanh \left( \frac{y_0}{s} \right) \right] f_2(\text{forma}) f_3 \left( \alpha, \frac{l}{s} \right)$$

in cui  $s$  ed  $l$  sono rispettivamente la larghezza e la lunghezza della pila,  $v_0$  è la velocità media della corrente indisturbata,  $v_c$  è la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media della corrente alla quale inizia il movimento del materiale di fondo di assegnato diametro  $d$ , mentre  $\alpha$  rappresenta l'angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila. Risulta altresì necessario determinare empiricamente alcuni coefficienti. Il coefficiente  $f_1$  dipende dalle velocità  $v_0$  e  $v_c$ , il coefficiente  $f_2$  dipende dalla forma delle pile mentre il coefficiente  $f_3$  è ricavabile dal grafico sottostante.

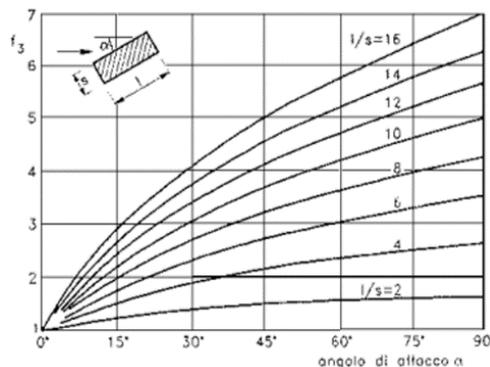


Figura 13 – Andamento della funzione  $f_3$  al variare dei parametri  $\alpha$  e  $l/s$  (PGUAP Trento, 2005).

Da un punto di vista progettuale è consigliabile sempre porre il plinto di fondazione della pila ad una quota inferiore al valore  $d_s$  rispetto al fondo alveo. Il massimo scalzamento stimabile in corrispondenza di una pila in alveo è pertanto definito come:

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					
09 - IDROLOGIA E IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	21 di 53

$$d_{MAX} = d_S + d_A$$

in cui  $d_S$  rappresenta lo scavo proprio della pila valutabile secondo l'espressione sopra riportata mentre  $d_A$  rappresenta invece l'abbassamento proprio del fondo alveo dipendente dalla tendenza evolutiva del corso d'acqua, estrapolato sulla base della durata di vita economica dell'opera.

Occorre a questo punto avanzare alcune considerazioni sostanziali rispetto a quanto determinato nel Progetto Definitivo:

- Gli scavi localizzati alla base delle pile di ponte si verificano unicamente in presenza di un'interazione diretta tra la corrente e l'infrastruttura. Le pile del nuovo ponte ferroviario sono localizzate in destra orografica in area golenale, presso la quale è prevista una riprofilatura dell'area con incremento della quota del piano campagna al di sopra della quota della massima piena attesa (Tr 500 anni con paratoie aperte). Pertanto in questo scenario **è da escludersi un'interazione diretta tra la corrente in esondazione e le pile**, di conseguenza non saranno da attendersi scavi localizzati;
- Nello scenario estremo prima citato, che prevede l'accadimento di una piena marcata da un tempo di ritorno di 500 anni e la contemporanea chiusura delle paratoie di settore della sottostante opera di presa, l'acqua è in grado di alluvionare la golenale in destra orografica. Tale scenario è assolutamente improbabile ed è caratterizzato da un tempo di ritorno cumulato superiore a 1.000 anni. **Solo in questa configurazione di progetto, marcata da tempi di ritorno superiori a 1.000 anni, l'acqua è in grado di interagire con le pile di ponte e generare così uno scavo localizzato;**
- Nel Progetto Definitivo si assume che le pile ubicate in area golenale si comportino come delle spalle di ponte da un punto di vista dei fenomeni di scalzamento, senza determinare però un restringimento della corrente. Viene utilizzata la formulazione proposta da Fröhlich (1991) per la determinazione dell'ipotetico scalzamento arrivando a determinare uno scavo localizzato massimo di ca. 7 m. La geometria di fatto assunta è la configurazione (a) in Figura 14 con cui è stata simulata la riprofilatura della zona golenale. Tal assunzione non sembra appropriata per i seguenti motivi:
  - Con la riprofilatura della zona golenale la larghezza della fascia esondabile viene ridotta del 27 % (da 90 a 66 m di larghezza) come si vedrà in seguito. Per tutte le portate di progetto tale intervento si ripercuote in maniera assolutamente trascurabile su tutti i parametri idraulici caratteristici (tiranti idraulici e velocità di flusso).
  - Tale trattazione non può essere applicata ad una pila di ponte di larghezza pari 6 m che garantisce comunque una luce libera laterale di ulteriori 20 m fino al versante latistante. Di fatto le pile del nuovo ponte ferroviario non determinano un restringimento tale di alveo da giustificare l'approccio di calcolo scelto.
  - La sezione di interferenza è situata ad oltre 100 m a monte rispetto ai siti di realizzazione delle pile di ponte, ovvero dove comincia la riprofilatura dell'area golenale in destra orografica. Con una opportuna sistemazione della sezione subito a monte dell'area di riprofilatura dell'area golenale e considerando contestualmente la presenza della pista ciclabile al piede del rimodellamento golenale (che si ricorda essere asfaltata), si ritiene che eventuali effetti di scavo siano localizzabili ad una distanza sufficientemente elevata dai siti di realizzazione delle pile tale da non inficiarne minimamente la stabilità.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 22 di 53

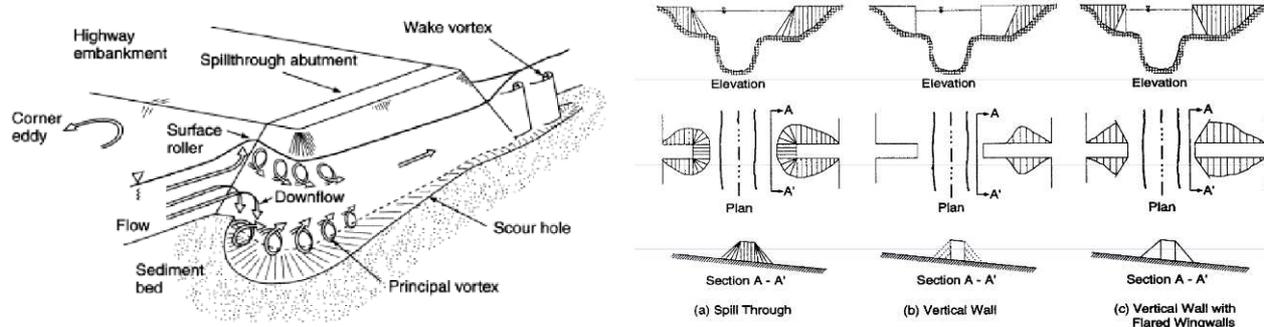


Figura 14 – Schema metodologico associato all’approccio di Fröhlich (1991) utilizzato nel Progetto Definitivo.

Stando a quanto sopra riportato, per la stima degli scavi localizzati alla base delle di ponte in orografica destra si fa riferimento cautelativamente nell’ambito del Progetto Esecutivo allo scenario estremo prima citato, che prevede l’accadimento di una piena TR500 con la contestuale marcata apertura delle paratoie di settore della sottostante opera di presa idroelettrica. Il massimo fronte di scavo atteso sarà pertanto calcolato successivamente in questa configurazione, sottolineando nuovamente che tale scenario ricade senza dubbio nella sfera del pericolo e del rischio residuo dati i tempi di ritorno cumulati che lo caratterizzano. Ad ogni modo, nonostante le divergenze di approccio rispetto al Progetto Definitivo, non si determinano effetti sostanziali in termini di dimensionamento delle opere di fondazione delle pile del nuovo ponte come riportato negli specifici elaborati di progetto.

#### 4.7.3 Erosione laterale

##### 4.7.3.1. Cenni teorici

Grande attenzione deve essere infine posta anche ai fenomeni di erosione laterale che si possono verificare lungo le sponde del Fiume Isarco nel tratto di interesse. Si sottolinea che, come riportato in Figura 15, allo stato attuale in sponda orografica destra non sono presenti sistemazioni spondali di rilievo a protezione della pista ciclabile, se non una protezione a rip-rap peraltro discontinua. Data l’assenza di sistemazioni di sponda distribuite e sostanziali è presumibile che ad oggi tale fenomenologia non sia stata rilevante nel tratto di studio.



Figura 15 – La sponda in orografica destra del Fiume Isarco nel tratto di indagine.

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>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	23 di 53

Ad ogni modo esistono diverse trattazioni per arrivare ad una quantificazione dell'ipotetico scavo in sponda ipotizzabile. Si ritiene utile fare riferimento in questa sede al modello concettuale di Landendoen & Simon (2012), valido anche per sedimenti non coesivi, in cui l'arretramento delle linee spondali dei fiumi può essere espresso in termini di velocità di erosione laterale secondo la seguente espressione:

$$\varepsilon_L = k \left( \frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right)$$

in cui  $\varepsilon_L$  rappresenta la velocità di arretramento laterale (m/s),  $K$  è un coefficiente di erodibilità (m/s) che dipende dalle caratteristiche del materiale che compone la sponda,  $\tau$  e  $\tau_c$  sono rispettivamente lo sforzo tangenziale e lo sforzo tangenziale critico, entrambi espressi in Pa.

Nel caso in oggetto, partendo dal presupposto che il sito di intervento è localizzato in sponda interna di una curva e che allo stato attuale non sono presenti sistemazioni spondali di rilievo, si assume una resistenza del corpo spondale medio-elevata ed un diametro caratteristico del materiale mediamente pari a 5 cm. Si considera inoltre il fatto che le sponde sono vegetate. Assumendo inoltre, sulla scorta delle evidenze delle simulazioni 2D condotte, una finestra temporale di 2 ore in cui i fenomeni erosivi possono verificarsi (ovvero l'intervallo di tempo in cui lo sforzo tangenziale massimo in sponda risulta superiore allo sforzo tangenziale critico) nel caso di una piena marcata da Tr 500 anni, si arrivano a determinare arretramenti spondali massimi potenziali dell'ordine di 3 m.

Tale arretramento si determina allo stato attuale in una configurazione sostanzialmente priva di sistemazioni spondali. Come già previsto da Progetto Definitivo, le sponde e le aree golenali verranno riprofilate ed opportunamente sistemate. L'attività di dimensionamento sarà tale da imporre dimensioni minime dei massi non scalzabili dalla corrente per la massima piena attesa. Si intuisce quindi che in tali condizioni l'arretramento delle sponde non risulta più possibile.

Al fine di determinare il massimo arretramento spondale possibile, si ritiene utile in sede di progettazione esecutiva **considerare l'ipotetico cedimento delle previste protezioni spondali (scogliere in massi)**, che di fatto impediscono l'innesco di fenomeni erosivi e la propagazione di processi di arretramento spondale. Tale ipotesi risulta in accordo anche con l'indicazione di non considerare le opere di sistemazione e di protezione idraulica (ad es. scogliere in massi) previste in progetto nella valutazione dello scalzamento atteso (Direttiva Nr. 4 – Autorità di Bacino del Fiume Po). Si ritiene pertanto ragionevole ed a vantaggio di sicurezza valutare possibili fenomeni erosivi laterali in corrispondenza della pila (binario dispari).

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

#### 4.7.3.2. 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

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>			
09 - IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 24 di 53

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 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:

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

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 nella seguente tabella tutti i dati utilizzati per il calcolo effettuato ed i risultati delle valutazioni svolte.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 25 di 53

Struttura		$\tau_{MAX}$ (N/m <sup>2</sup> )	h (m)	u* (m/s)	d' (m)	FS	d (m)
Scogliera lato Isarco	Al piede	345	6,41	0,587	0,691	2	1,38
	In scarpata					1,5	1,50
Scogliera ciclabile	Al piede	60	1,43	0,245	0,349	2	0,70
	In scarpata					1,5	0,52

Tabella 4. Dati in ingresso e risultati dell'analisi condotta con la metodologia di Shields.

#### 4.7.3.3. Dimensionamento secondo FHWA

Come suggerito dalla Committenza, il dimensionamento dei massi propri delle protezioni laterali è stato effettuato anche con un secondo approccio tratto dall'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.

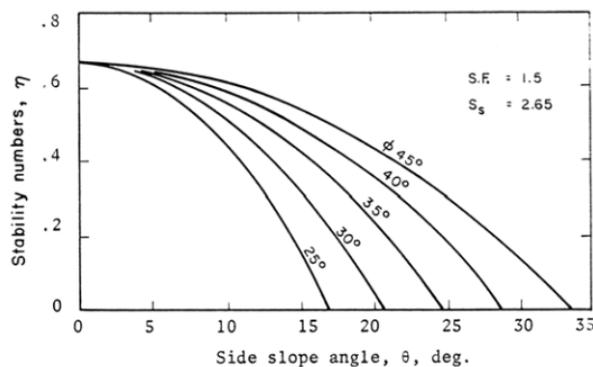


Figura 16. Valore del coefficiente di stabilità in funzione del coefficiente SF (assunto nel grafico pari a 1,5) (FHWA, 2011).

Struttura		$\tau_{MAX}$ (N/m <sup>2</sup> )	$S_s$	$\gamma$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\theta$ (°)	$\phi$ (°)	$S_m$	$\eta$ (--)	SF	$D_m$ (m)
Scogliera lato Isarco	Al piede	345	2,65	1.600	45	70	2,74	0,235	2,0	1,19
	In scarpata							0,317	1,8	0,88
Scogliera ciclabile	Al piede	60	2,65	1.600	45	70	2,74	0,235	2,0	0,21
	In scarpata							0,317	1,8	0,16

Tabella 5. Dati in ingresso e risultati dell'analisi condotta con la metodologia FHWA.

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:	Mandatari: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 26 di 53

#### 4.7.3.4. 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 345 Pa al piede della struttura ed a 60 Pa in corrispondenza della ciclabile. 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 dei valori dei diametri stabili sempre leggermente inferiori a quelli derivanti dalla trattazione di Shields, corretti con opportuni fattori di sicurezza.

Struttura		Trattazione di Shields (m)	Trattazione FHWA (m)	Scelta progettuale (m)
Scogliera lato Isarco	Al piede	1,38	1,19	1,40
	In scarpata	1,04	0,88	1,00
Scogliera ciclabile	Al piede	0,70	0,21	0,7
	In scarpata	0,52	0,16	0,6

Tabella 6. Risultato del dimensionamento delle scogliere di protezione spondale.

Cautelativamente si è scelto di assumere come diametro di progetto il massimo derivante dalle due trattazioni, arrotondato al diametro commerciale più prossimo.

#### 4.7.4 Dimensionamento dei materassini RENO

I materassi tipo RENO sono costituiti da una struttura di rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale, avente forma parallelepipedica, di notevole ampiezza e piccolo spessore, divisa in più celle (tasche), aventi la funzione di aumentarne la funzionalità idraulica e la robustezza. Lo spessore complessivo delle strutture è fissato in 0,50 m. Anche in questo caso è stata effettuata una verifica in termini di tensione di trascinarsi, confrontando le tensioni tangenziali massime che si determinano nel punto di verifica prescelto e quelle massime ammissibili per il materiale ivi presenti. La tensione tangenziale massima è determinata in sede di modellazione numerica ed è pari a quanto prima riportato per la sede della pista ciclabile (60 Pa). La verifica è stata condotta con la classica trattazione di Shields. Si assume come diametro medio delle particelle di riempimento del rivestimento un valore pari a 15 cm.

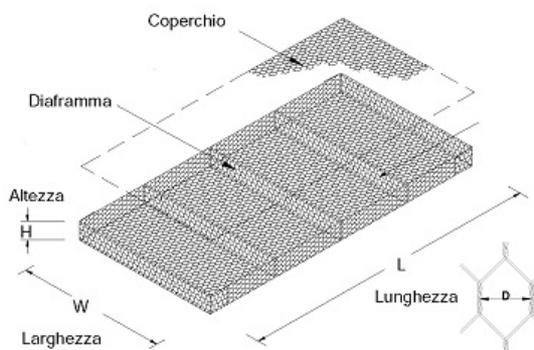


Figura 17. Schema generale di un materasso tipo RENO.

Occorre sottolineare che a parità di dimensioni, il pietrame di riempimento dei materassi RENO e gabbioni sopporta una tensione tangenziale più che doppia rispetto ad una classica sistemazione a rip-rap e scogliera, grazie all'azione di contenimento della rete metallica. In questo caso pertanto non si considerano coefficienti

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>Mandatario:</u> <b>SWS Engineering S.p.A.</b> <u>Mandanti:</u> <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</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>ID0000101</td> <td>C</td> <td>27 di 53</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	27 di 53													

di sicurezza (SF=1) proprio per l'azione stabilizzante esercitata dalla rete metallica e dal fatto che i materassi saranno ulteriormente coperti dai massi della scogliera superficiale.

Si determina pertanto un diametro stabile di 14,4 cm, in linea con quanto assunto in sede progettuale. Pertanto la scelta progettuale è verificata al trascinarsi. Pertanto, rispetto a quanto riportato a titolo illustrativo in Figura 17 e considerando la posa di almeno tre strati di materiale di spessore equivalente pari a ca. tre volte il diametro stabile, si assume  $H = 50$  cm.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 28 di 53

## 5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

### 5.1 PREMESSA

I risultati di tutte le valutazioni numeriche effettuate sono riportati anche in forma grafica nelle tavole di progetto. In particolare, per una migliore lettura delle stesse, si ritiene utile sottolineare che:

- Nelle sezioni trasversali sono riportati i valori della quota massima della superficie libera e della massima linea dell'energia, registrando a tratti differenze sostanziali con quanto riportato invece nelle medesime tavole del Progetto Definitivo. In termini di media sulla sezione trasversale invece i risultati delle simulazioni 2D condotte divergono solo leggermente da quanto determinato in sede di progettazione definitiva con fluttuazioni massime di +/- 10 cm;
- Le sezioni trasversali sono state rappresentate limitatamente alla sezione d'alveo di interesse limitando quindi l'estensione delle stesse. Su ogni sezione è indicata la progressiva lungo l'asse x dalla quale è tratto il valore del tirante idrico e del livello dell'energia riportato successivamente nei profili longitudinali di progetto;
- Nei profili longitudinali sono riportati i valori dei tiranti idraulici e dei livelli di energia relativi alla mezzaria (center-line) della sezione trasversale considerata, in continuità con quanto redatto in sede di progettazione definitiva;
- Il tracciamento delle linee dell'energia è stato effettuato considerando la variabilità lungo le sezioni trasversali del Fiume Isarco, considerando pertanto un carico cinetico variabile sulla sezione. Pertanto, nelle cartografie tecniche prodotte le linee dell'energia non si riferiscono unicamente al valore massimo (come invece rappresentato nel Progetto Definitivo) ma ripercorrono fedelmente un andamento non lineare per tener conto delle variazioni trasversali delle velocità di flusso;
- Nelle tavole planimetriche sono state raffigurate le aree di esondazione per i diversi tempi di ritorno così come esportati dal software SMS utilizzato. La perimetrazione definitiva è stata poi finalizzata, dopo opportuna plausibilizzazione in sito, dall'operatore cercando di interpretare i risultati stessi delle simulazioni e procedendo quindi ad una mera zonazione manuale delle aree alluvionabili.

### 5.2 STATO ANTE OPERAM

Si riportano di seguito i risultati delle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate per tempi di ritorno di 200, 300 e 500 anni allo stato attuale (*ante operam*).

Da quanto esposto nelle immagini successive, si nota come l'area in cui è prevista la realizzazione delle pile del nuovo ponte ferroviario unitamente alla riprofilatura spondale e golenale in destra orografica viene alluvionata per tutti i tempi di ritorno simulati. Per eventi marcati da Tr 500 anni sono da attendersi tiranti idrici massimi compresi tra 1,5 e 2 m e velocità di flusso massime dell'ordine dei 2 m/s. Occorre sottolineare che medesimi risultati, almeno per la portata marcata da tempi di ritorno di 300 anni, sono stati ottenuti anche nell'ambito della Pianificazione delle Zone di Pericolo in provincia di Bolzano. Pertanto i risultati delle simulazioni 2D condotte nell'ambito della progettazione esecutiva possono essere considerati coerenti con gli studi pregressi disponibili.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 29 di 53

Preme sottolineare che l'alveo del Fiume Isarco nel tratto oggetto di studio è incassato tra due versanti molto ripidi con roccia affiorante e risulta pertanto fortemente confinato. Pertanto non sono date grandi possibilità di divagazione sul piano campagna in caso di alluvionamento, limitazione morfologica che determina una sostanziale invarianza delle superfici alluvionate al variare del tempo di ritorno. Tra i Tr di 200, 300 e 500 anni si nota unicamente una leggera divergenza planimetria a ridosso del vecchio ponte di Funes che garantisce l'accesso al vecchio casello ferroviario. Al crescere del tempo di ritorno di progetto viene alluvionata anche la sede della Strada Statale del Brennero SS12. Si registra inoltre l'assenza di rigurgiti particolarmente intensi nell'alveo del Rio Funes, che sbocca nel Fiume Isarco proprio a monte del vecchio ponte stradale.

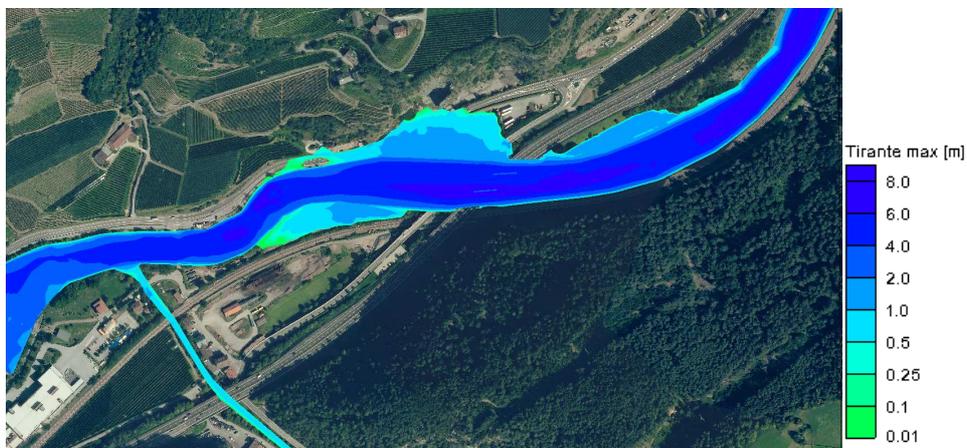


Figura 18 – Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 200 anni allo stato attuale.

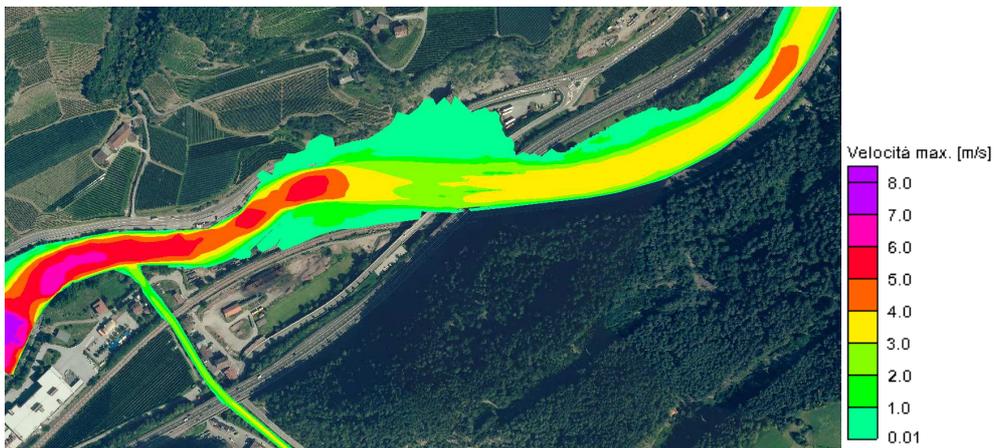


Figura 19 – Velocità massime di flusso in occasione di una piena con Tr 200 anni allo stato attuale.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 30 di 53

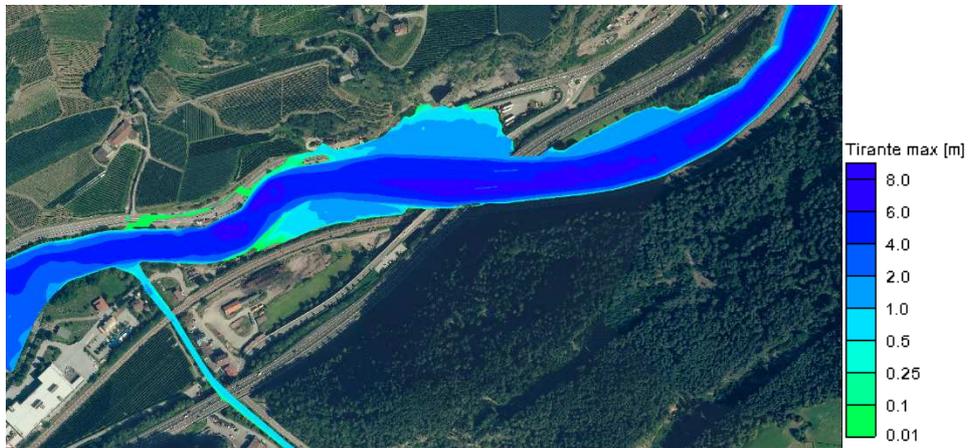


Figura 20 - Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 300 anni allo stato attuale.

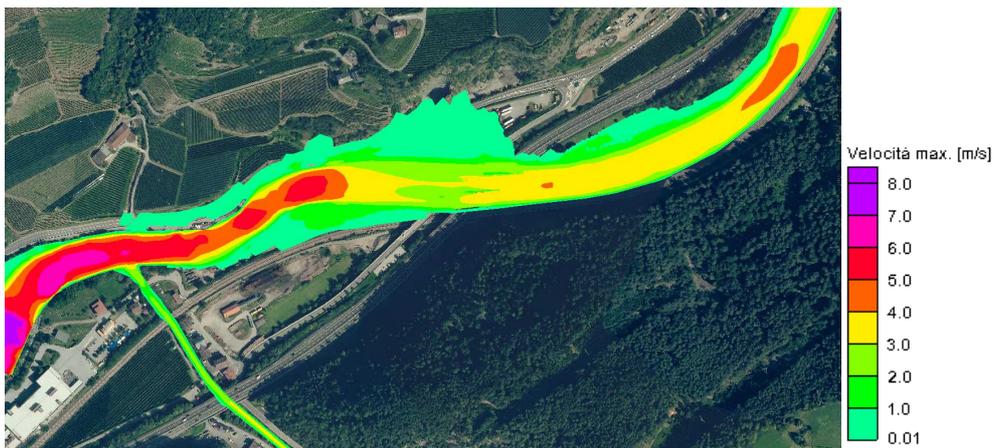


Figura 21 - Velocità massime di flusso in occasione di una piena con Tr 300 anni allo stato attuale.



Figura 22 - Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 500 anni allo stato attuale.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 31 di 53

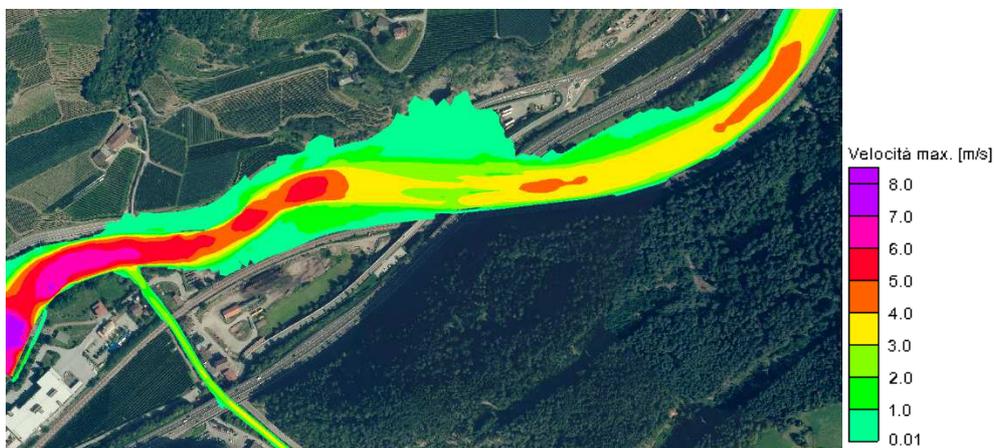


Figura 23 - Velocità massime di flusso in occasione di una piena con Tr 500 anni allo stato attuale.

### 5.3 FASE DI CANTIERE

#### 5.3.1 Premessa

Al fine di valutare le interferenze di natura idraulica nella fase di cantiere si è provveduto a simulare due scenari differenti, di seguito illustrati:

- **Scenario 1:** Interferenza con il cantiere per la realizzazione del nuovo ponte ferroviario in località Funes (BZ) relativamente alla realizzazione delle pile di ponte ed alla riprofilatura dell'area golenale in destra orografica nel tratto di fiume oggetto di intervento. In questo caso, come illustrato nel paragrafo 3.2, si è eseguita la verifica idraulica con una piena influente marcata da tempi di ritorno di 30 anni. Si è considerata la presenza di una barriera lineare in un intorno dei siti che ospiteranno le nuove strutture.
- **Scenario 2:** Interferenza con il cantiere e con le opere provvisorie necessarie alla realizzazione delle difese spondali nel tratto del Fiume Isarco relativo alla riprofilatura in progetto. Come illustrato nel paragrafo 3.2, cautelativamente si è eseguita la verifica idraulica con una piena influente marcata da tempi di ritorno di 4 anni considerando 1 anno come durata del cantiere. Si è considerata la presenza in alveo di una tura a sezione trapezoidale con una parzializzazione delle sezioni di deflusso utili del Fiume Isarco nel tratto di competenza.

#### 5.3.2 Scenario 1: cantiere per la realizzazione delle pile di ponte

Nelle immagini seguenti vengono riportate le mappe di alluvionamento attese in termini di tiranti idrici (Figura 24) e di velocità di flusso (Figura 25). Si nota come le aree di intervento non vengano alluvionate dalla piena influente nel Fiume Isarco.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 32 di 53



Figura 24 – Stato di cantiere scenario 1, tiranti idraulici per una piena Tr 30 anni.

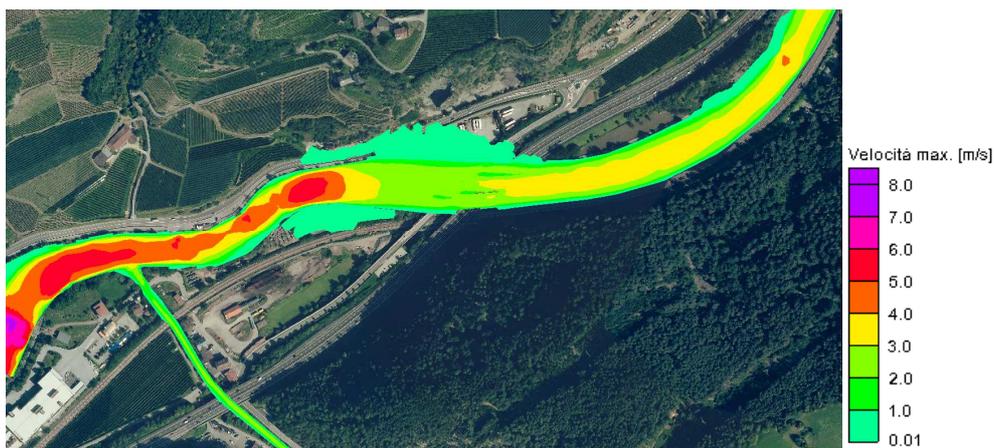


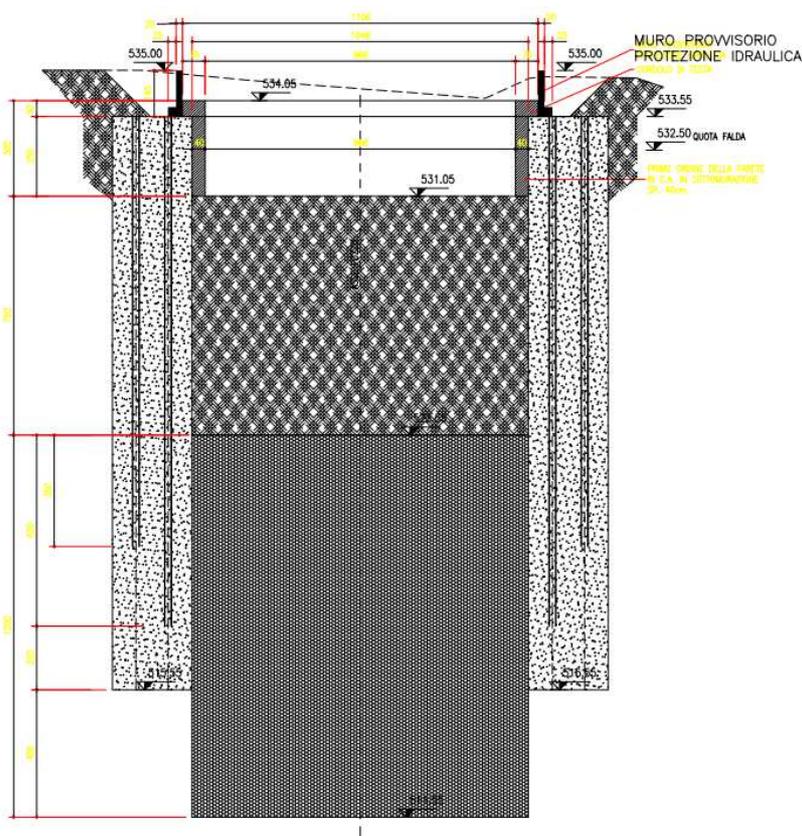
Figura 25 – Stato di cantiere scenario 1, velocità di flusso per una piena Tr 30 anni.

Parimenti si osserva che, rispetto allo stato attuale (si rimanda alla cartografia del Piano delle Zone di Pericolo dei Comuni di Velturmo e Funes equivalente allo stato ante operam), la realizzazione delle opere provvisorie non alteri minimamente le aree di esondazione esistenti e non si determinino variazioni sostanziali dei principali parametri idraulici. Di seguito è riportata a titolo esemplificativo anche una sezione di riferimento (per la quale si rimanda ai relativi elaborati di progetto) con indicata la posizione della barriera temporanea in fase di cantiere per la realizzazione del pozzo delle fondazioni, la cui quota di testa è pari a 535,00 m s.l.m. La quota della WSE per TR 30 anni varia tra la sezione 17, la sezione D e la sezione F tra 534,98, 534,80 e 534,73 m s.l.m. si intuisce pertanto come la quota di coronamento scelta per la barriera garantisca sempre un franco minimo di sicurezza sulla quota della piena assunta per il dimensionamento della struttura stessa. Rimandando alla tavola IB0U1BEZZBXVI0000006A per i dettagli, presso i pozzi di entrambe le pile (binario pari e binario dispari) le opere di protezione ora descritte verranno realizzate nella seconda fase dell'intervento. Questo è così organizzato:

- **Fase 1:** realizzazione dello scavo per l'esecuzione delle colonne di jet-grouting del pozzo, della corona circolare interna ed esterna delle stesse, di una doppia fila di micropali e del tappo di fondo;

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	ID0000101	C	33 di 53
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco							

- **Fase 2:** realizzazione del muro di protezione idraulica con inghisaggi su jet-grouting, scavi e cordolo di testa della parete in sottomurazione;
- **Fase 3:** a maturazione del cls, prosecuzione degli scavi e realizzazione del secondo ordine della parte in c.a. in sottomurazione;
- **Fase 4:** a maturazione del cls, prosecuzione scavo e realizzazione del terzo ordine della parete in c.a. in sottomurazione;



**FASE 2:**  
 - REALIZZAZIONE MURLO PROTEZIONE IDRAULICA CON INGHSAGGI SU JET-GROUTING  
 - SCAVO FINO A QUOTA -2,50m DELLA TESTA DELLE COLONNE DI JET-GROUTING  
 - REALIZZAZIONE DEL CORDOLO DI TESTA E DEL PRIMO ORDINE DELLA PARETE IN SOTTOMURAZIONE (h. 2,50m E SP. 40cm)

Figura 26 – Sezione tipologica dello scavo per la realizzazione dei pozzi di fondazione delle pile di ponte per la Fase 2 in cui è prevista la realizzazione del muro di protezione idraulica.

- **Fase 5:** a maturazione del cls, prosecuzione scavo e realizzazione del quarto ordine della parete in c.a. in sottomurazione;
- **Fase 6:** a maturazione del cls, prosecuzione scavo e realizzazione del quinto ordine della parete in c.a. in sottomurazione;
- **Fase 7:** riempimento in calcestruzzo del pozzo fino a quota intradosso cordolo;
- **Fase 8:** realizzazione del plinto di fondazione e riprofilatura del terreno.

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>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	34 di 53

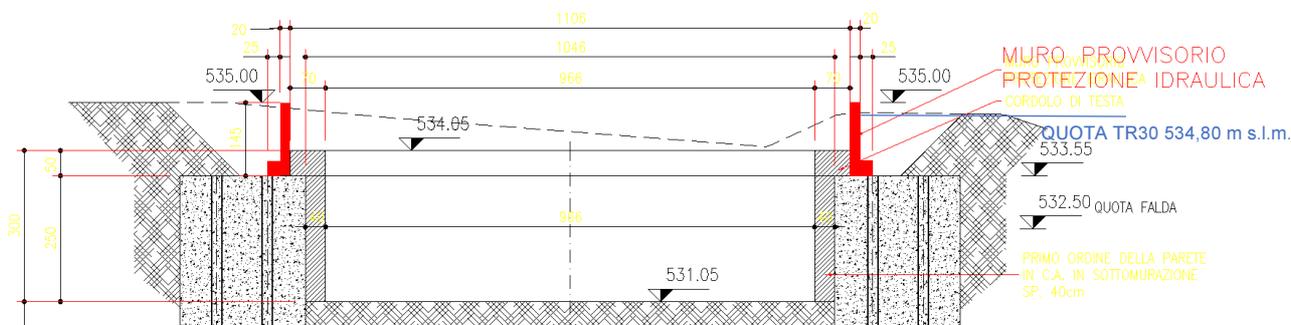


Figura 27 – Dettaglio della sezione tipologica dello scavo per la realizzazione dei pozzi di fondazione dei plinti per la pila P3 BD. Il coronamento dei muri provvisori di protezione idraulica è posto ad una quota di 535 m s.l.m. con un franco minimo rispetto alla massaia quota della piena TR 30.

Da quanto illustrato in Figura 27 e da quanto si evince dalle relative tavole progettuali, non si ravvisa la possibilità concreta che, per i tempi di ritorno di progetto considerati nella presente analisi, intorno alle opere provvisorie indicate si inneschino fenomeni di erosione localizzata durante le fasi di realizzazione delle fondazioni delle pile del nuovo viadotto sul Fiume Isarco.

### 5.3.3 Scenario 2: realizzazione della nuova scogliera spondale

Si riporta in Figura 28 la planimetria indicativa dell'argine provvisorio in alveo considerato per le simulazioni relative al cantiere per la realizzazione della scogliera di protezione. Come già discusso nel paragrafo 3.2 si è considerata una vita utile dell'opera di massimo 1 anno ricavando un tempo di ritorno di progetto pari a 4 anni. In Figura 28 è distinguibile anche la futura scogliera che si estenderà per un tratto di 192 m. L'arginatura provvisoria avrà invece una lunghezza di ca. 240 m in modo da ottimizzare le zone di entrata e di uscite e le interferenze con le infrastrutture esistenti. La tura in alveo avrà una sezione trapezoidale, con paramento acqua inclinato di 50° ed il paramento di monte di 45° per consentire una più agile lavorazione. È stata considerata nella costruzione del layout numerico di progetto anche la presenza di una pista sul coronamento della tura di larghezza minima pari a 3 m.

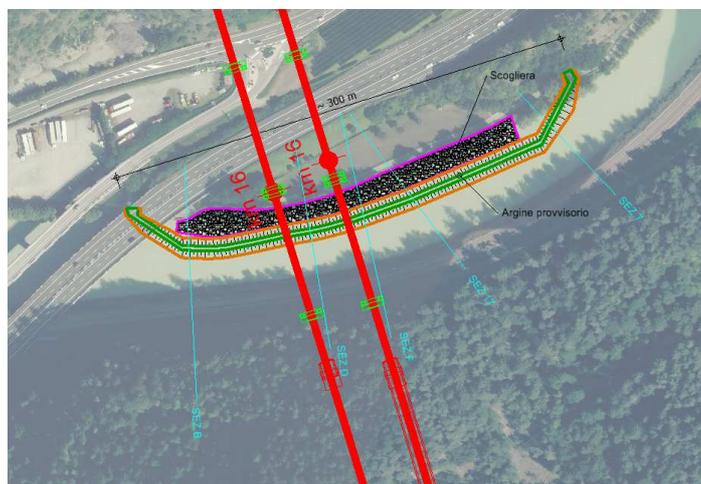


Figura 28 – Planimetria indicativa dell'argine provvisorio simulato.

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 GEMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 35 di 53

Come si intuisce da Figura 29 e dalle sezioni esemplificative di seguito riportate, l'argine provvisorio garantisce adeguata sicurezza idraulica alle aree di cantiere. La presenza dell'opera, pur parzializzando la sezione utile di deflusso del Fiume Isarco e generando un leggero rigurgito a monte, non causa esondazioni e non altera minimamente il quadro alluvionale attuale. In corrispondenza dell'allargamento alla fine del rilevato provvisorio si rileva un aumento localizzato delle velocità di flusso e di conseguenza un aumento degli sforzi tangenziali al fondo. Lungo tale tratto il paramento esterno dell'arginatura provvisoria dovrà pertanto essere adeguatamente realizzato, con massi ciclopici al piede di diametro 1,2 m, al fine di evitare l'innesco di fenomeni erosivi e problematiche di stabilità legate a processi di scalzamento.

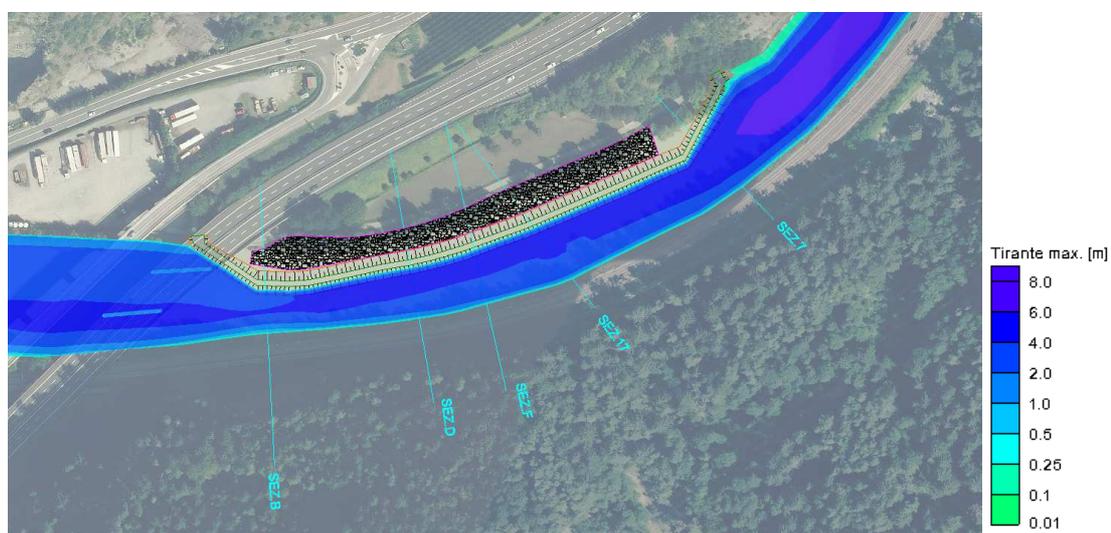


Figura 29 – Stato di cantiere argine temporaneo per la realizzazione della scogliera spondale, tiranti massimi per Tr 4 anni.

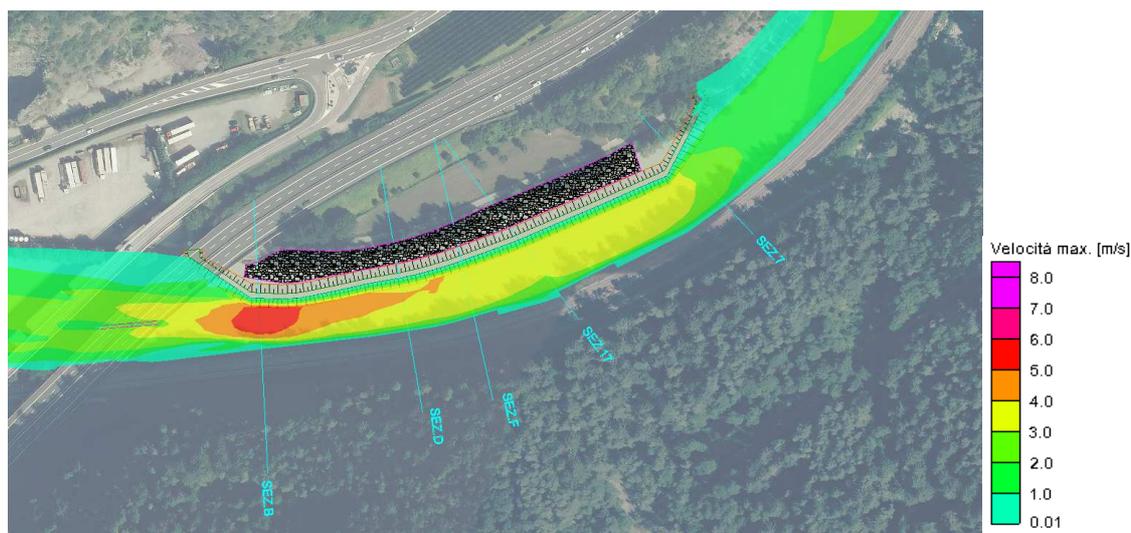


Figura 30 – Stato di cantiere argine temporaneo per la realizzazione della scogliera spondale, velocità massime per Tr 4 anni.

Ad ogni modo, tutti gli interventi qui discussi dovranno essere realizzati nei mesi di portata minima del Fiume Isarco per limitare le interferenze. Storicamente le piene si sono verificate sempre tra i mesi di maggio e

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	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
09 - IDROLOGIA E IDRAULICA		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	36 di 53
Relazione idraulica Fiume Isarco							

novembre, pertanto i lavori per la realizzazione della nuova scogliera dovranno essere realizzati nella finestra temporale tardo-autunnale e primaverile, prima dello scioglimento delle nevi in quota.

La nuova scogliera è disposta su due piani differenti. Lungo le scarpate naturali del Fiume Isarco dovranno essere posati massi di pezzatura 1,4 m al piede e 1 m in scarpata. A monte della pista ciclabile, a protezione del nuovo sovralzo di terreno utile per la riprofilatura delle aree golenali, dovranno invece essere posti in opera massi di dimensioni 0,7 m. Si riporta in Figura 32 un dettaglio delle scogliere di progetto. Il materiale necessario per la realizzazione di queste barriere verrà prelevato da apposite cave di prestito.

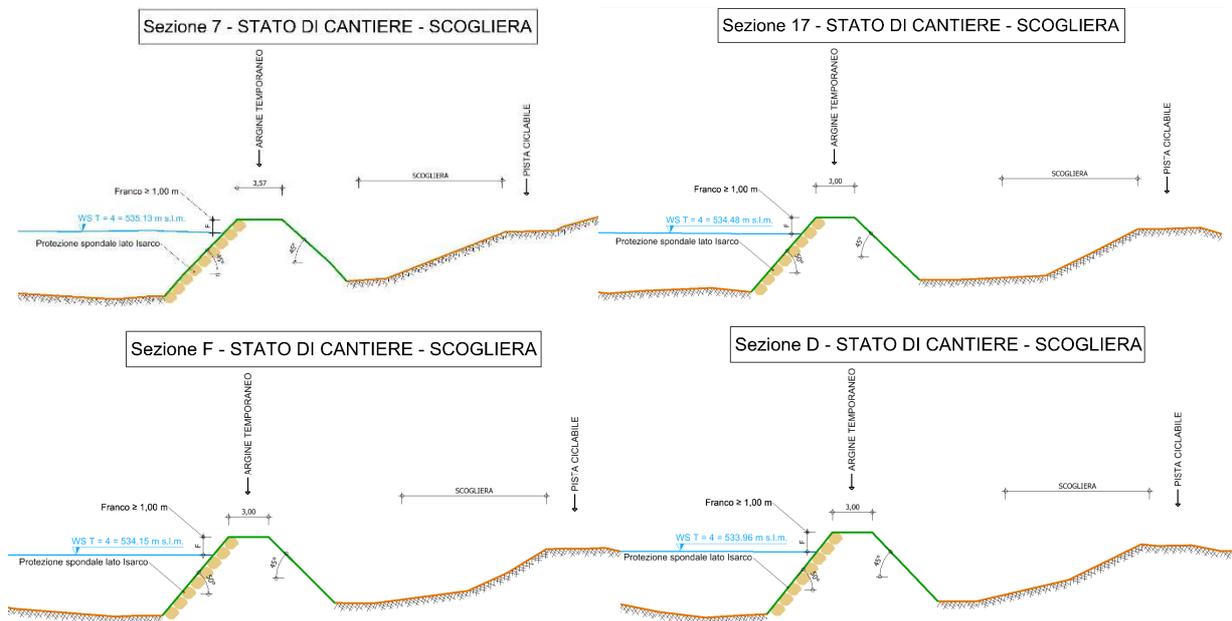


Figura 31 – Sezioni esemplificative stato di di cantiere in presenza dell'argine temporaneo di protezione.

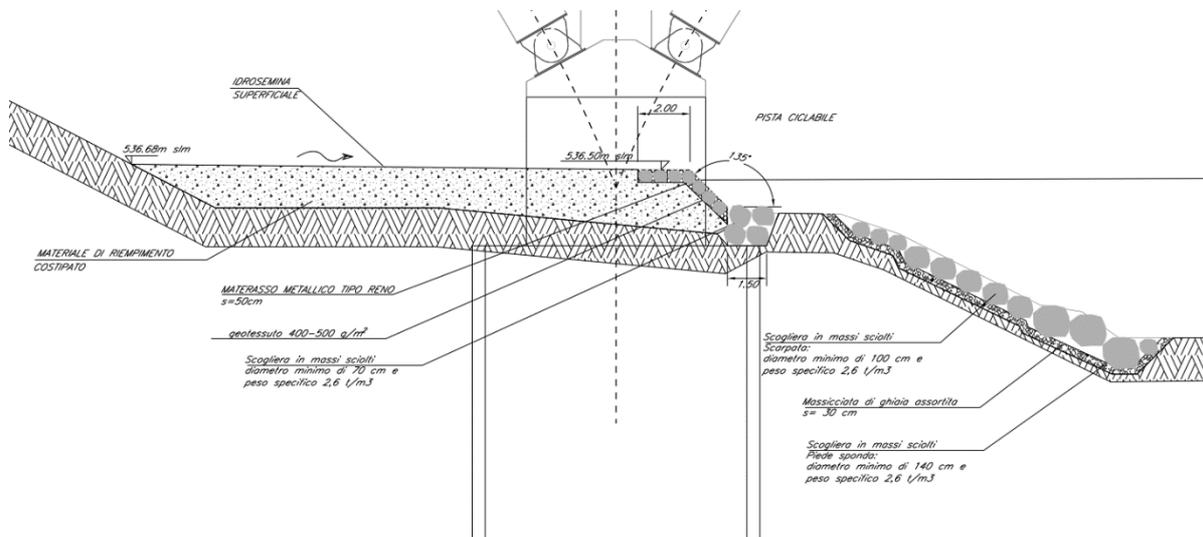


Figura 32 – Dettaglio delle scogliere in progetto (pila binario dispari).

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 37 di 53

## 5.4 STATO POST OPERAM

### 5.4.1 Premessa

Nello stato post operam è stata costruita una mesh che riprende la geometria dello stato attuale includendo la riprofilatura dell'area golenale in destra orografica, il conseguente rialzo di terreno di ca. 2,5 m e la presenza delle pile del nuovo attraversamento ferroviario. In planimetria è stata considerata una superficie di ingombro pari a 7,00 x 14,50 m. Si rimanda alla mesh di progetto illustrata in Figura 5.

### 5.4.2 Risultati

Nelle immagini che seguono sono riportate le mappe dei tiranti idrici massimi (m) e delle massime velocità di flusso (m/s) per i diversi tempi di ritorno di progetto.

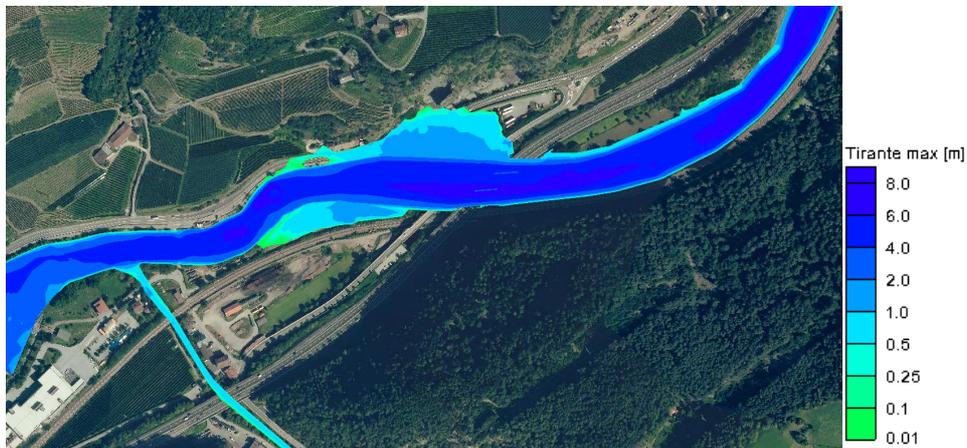


Figura 33 - Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 200 anni allo stato di progetto.

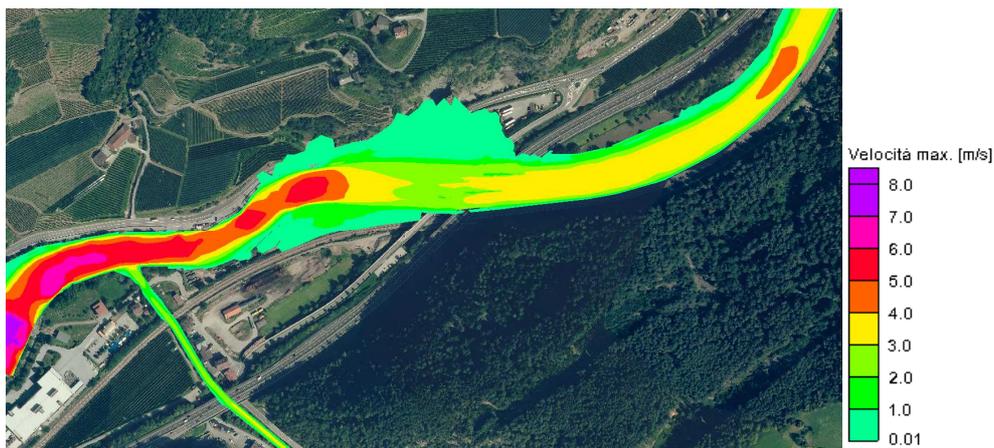


Figura 34 – Massime velocità di flusso in occasione di una piena con Tr 200 anni allo stato di progetto.

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:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 38 di 53

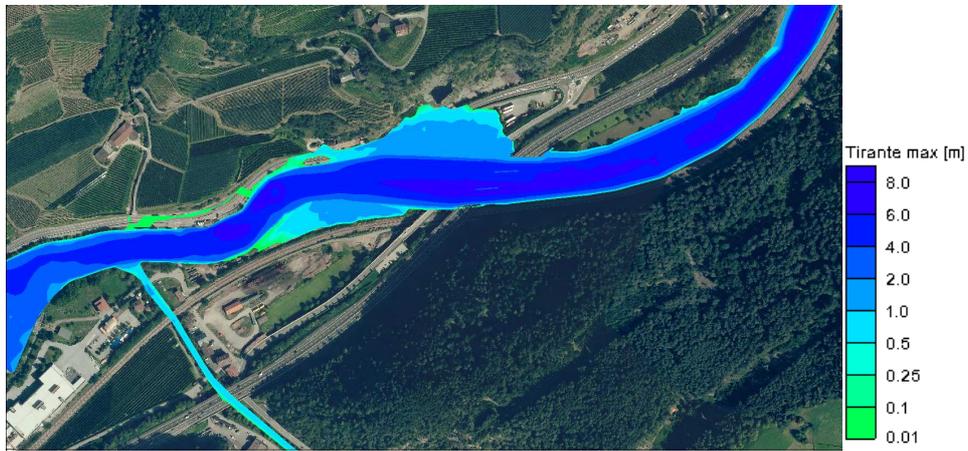


Figura 35 – Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 300 anni allo stato di progetto.

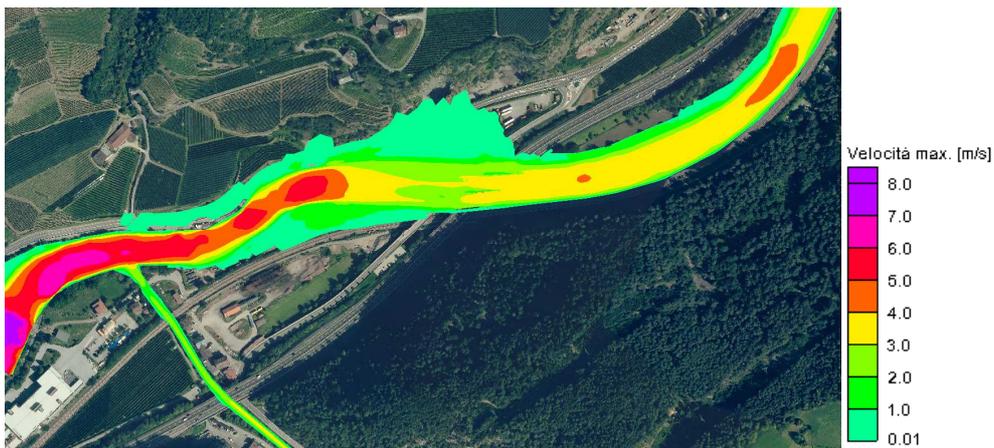


Figura 36 – Massime velocità di flusso in occasione di una piena con Tr 300 anni allo stato di progetto.



Figura 37 - Tiranti massimi in occasione di una piena con Tr 500 anni allo 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 E IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	39 di 53

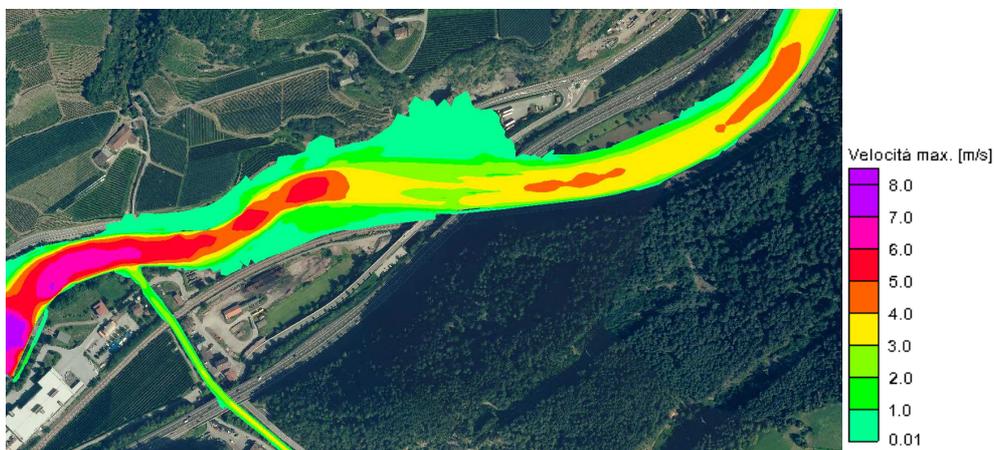


Figura 38 - Massime velocità di flusso in occasione di una piena con Tr 500 anni allo stato di progetto.

Da un confronto delle mappe di alluvionamento in termini di tiranti idrici massimi e massime velocità di deflusso, si evince come non vi siano variazioni sostanziali rispetto allo stato attuale. Nelle immagini seguenti è riportato il confronto diretto tra le mappe dei tiranti e delle velocità per Tr 500 anni nello stato ante e post operam. Di può concludere pertanto quanto segue:

- Grazie alla riprofilatura dell'area golenale in destra orografica dove verranno realizzati i pilastri a servizio del nuovo viadotto ferroviario, il piano campagna non verrà più alluvionato. Esemplificando e richiamando quanto rappresentando in Figura 32, si nota come la quota di progetto del terreno in golena sarà di 536,68 m s.l.m. al piede del versante e di 536,50 m s.l.m. in corrispondenza della base della pila, contro una quota di massima piena prevista per Tr 500 anni pari a 536,25 m s.l.m.. Si determina quindi un franco di 0,25 m sulla piena marcata da 500 anni di tempo di ritorno.
- Come anticipato precedentemente, l'unica modifica sostanziale nelle aree alluvionali per i vari tempi di ritorno simulati è relativa alla scomparsa della zona di espansione alluvionale in destra orografica dell'area in cui verrà riprofilato il terreno. Non si registrano altre variazioni planimetriche delle aree alluvionate per Tr 200, 300 e 500 anni in tutto il tratto oggetto di studio. Da quanto riportato l'unica differenza apprezzabile è rappresentata dal mancato alluvionamento delle aree in golena destra in cui si realizzerà la prevista riprofilatura. Come si intuisce dalle immagini di seguito riportate per Tr 500 anni, il mancato alluvionamento di tali aree, pur comportando uno spostamento dei volumi idrici, non implica alcun peggioramento dei parametri idraulici né a monte né a valle dell'area 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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 40 di 53

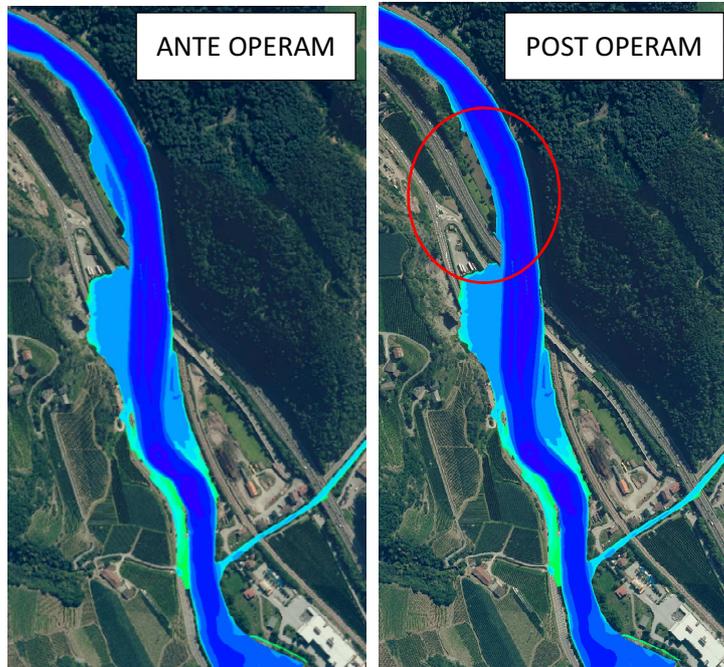


Figura 39 – Confronto tra la situazione ante e post operam per Tr 500 anni (tiranti idraulici).

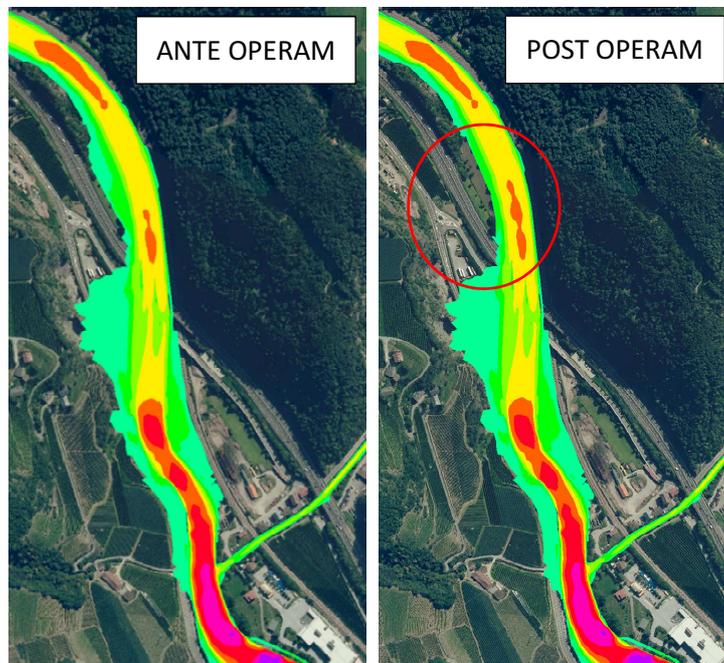


Figura 40 - Confronto tra la situazione ante e post operam per Tr 500 anni (velocità di flusso). In rosso l'area di intervento.

- In fase di esercizio non sono da attendersi interferenze cumulate negative con il viadotto autostradale A22 esistente nè con gli attraversamenti stradali esistenti, ad esempio il vecchio ponte sul Fiume Isarco presso la vecchia fermata di Funes.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 41 di 53

- In fase di esercizio non sono da attendersi altresì interferenze negative con l'esercizio della centrale idroelettrica di Barbiano – Ponte Gardena. La traversa di presa è sita quasi 1 Km a valle dell'area di intervento.
- In ultimo, occorre sottolineare che in fase di esercizio non saranno presenti opere definitive in alveo e non verrà minimamente alterato il regime delle pendenze trasversali e longitudinali del Fiume Isarco nel tratto di interesse. Non sono pertanto da attendersi modificazioni della tendenza morfologica naturale del fiume in tale tratto né interferenze sulle componenti idromorfologiche.

#### 5.4.3 Scenario estremo

A completamento di tutte le trattazioni qui presentate, si riportano di seguito anche le risultanze delle simulazioni numeriche implementate per lo scenario estremo già descritto nel paragrafo 4.7.2. Si assume pertanto che al verificarsi di una piena marcata da un tempo di ritorno di 500 anni non risulti possibile rendere trasparente la sottostante opera di presa al flusso, considerando pertanto tutte le paratoie di settore chiuse, ovvero in posizione verticale. Tale scenario è marcato da un tempo di ritorno cumulato ampiamente sopra i 1.000 anni. Di seguito si riportano le carte dei tiranti e delle velocità di flusso in tale scenario.



Figura 41 – Carta dei massimi tiranti idraulici attesi per lo scenario estremo considerato.

Si intuisce chiaramente come in tale configurazione, la mancata apertura delle paratoie di settore dell'opera di presa idroelettrica di Funes comporti l'insergere di un rigurgito molto pronunciato che, oltre a provocare l'alluvionamento delle aree latitanti al corso d'acqua, determina anche l'alluvionamento dell'area in golena destra oggetto di riporto. A livello numerico si determinano tiranti massimi presso la pila di monte pari a 0,12 m e 0,04 m presso la pila di valle, mentre si ottengono velocità massime di 0,83 m/s presso la pila di monte e 0,15 m/s presso quella di valle.

Con tali forzanti idrauliche risulta pertanto possibile procedere alla stima del massimo scavo atteso presso le pile di ponte secondo la formulazione illustrata nel paragrafo 4.7.2. Si considerano pile di dimensioni 6m x 6m ed un diametro medio del terreno di riporto di 1 cm caratterizzato da un peso specifico di 18 kN/m<sup>3</sup>. Si assume inoltre un angolo di attacco inferiore a 90°. Applicando pertanto la metodologia illustrata nel paragrafo 4.7.2, assumendo i coefficienti  $f_1 = 3$ ,  $f_2=1,3$  e  $f_3=1$  e considerando assenza di depositi solidi dato

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	ID0000101	C	42 di 53
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco							

che la pila si trova in golena, si determinano scavi massimi localizzati alla base della pila di monte dell'ordine di 0,94 m e di 0,31 m presso la pila di valle. Considerando un fattore di amplificazione di 2, si assume pertanto uno scavo massimo localizzato atteso di 1,9 m a monte e di 0,7 m a valle. A titolo cautelativo si consiglia di considerare uno scavo massimo localizzato atteso di 2 m per entrambe le opere.

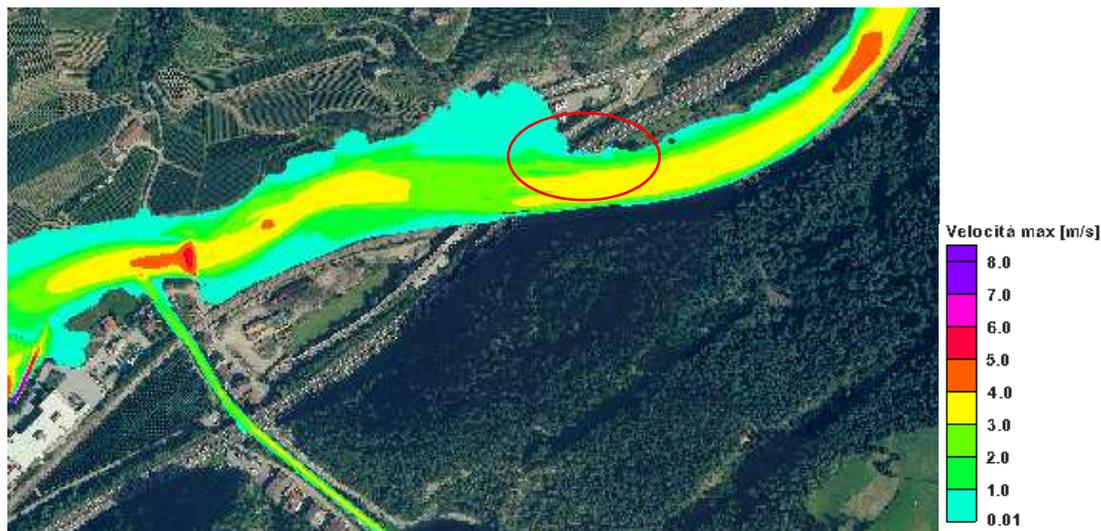


Figura 42 – Carta delle massime velocità di flusso attese per lo scenario estremo considerato.

Per quanto concerne il massimo arretramento laterale a cui può essere soggetta la sponda, nell'ipotesi di cedimento della scogliera e di accadimento dello scenario estremo considerato e partendo sempre dal presupposto che il sito di intervento è localizzato in sponda interna di una curva, si assume una resistenza del corpo spondale medio-elevata ed un diametro caratteristico del materiale mediamente pari a 5 cm. Nello stato di progetto le sponde non risulteranno più vegetate. Assumendo inoltre, sulla scorta delle evidenze delle simulazioni 2D condotte, una finestra temporale di 3 ore in cui i fenomeni erosivi possono verificarsi (ovvero l'intervallo di tempo in cui lo sforzo tangenziale massimo in sponda risulta superiore allo sforzo tangenziale critico), si arrivano a determinare arretramenti spondali massimi potenziali dell'ordine di 3,6 m. Si determina pertanto cautelativamente un massimo arretramento possibile delle sponde in questa configurazione estrema un valore pari a 4 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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 43 di 53

## 6. COMPATIBILITA' IDRAULICA

### 6.1 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 del primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali;
- Disposizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni, nella versione 2008 vigente all'atto della redazione del Progetto Definitivo autorizzato;
- Disposizioni normative relative alla Pianificazione delle Zone di Pericolo per la Provincia Autonoma di Bolzano (D.P.P. 23/2019).

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

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 43). Si nota come proprio nell'area di intervento ci sia un sostanziale vacuo di dati.



Figura 43 – Estratto della Carta dei Tiranti Idraulici attesi per TR300 ai sensi del WebGIS del portale SIGMA dell'Autorità Distrettuale di Bacino secondo il Piano 2021-2027 ad oggi 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: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 44 di 53

Si nota altresì che le aree potenzialmente inondabili dal Fiume Isarco riportate a monte ed a valle nelle tavole del pericolo idraulico redatto nell'ambito del PGRA 2021-2027 sono sostanzialmente analoghe a quelle rappresentate nel Geocatalogo della Provincia Autonoma di Bolzano, che raccoglie la mappatura del pericolo idraulico censito nell'ambito della pianificazione comunale delle zone di pericolo. Occorre precisare che il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes (BZ) non è ad oggi ancora stato approvato e pertanto non figura nella mappatura ufficiale del pericolo idraulico rappresentata a destra in Figura 44.

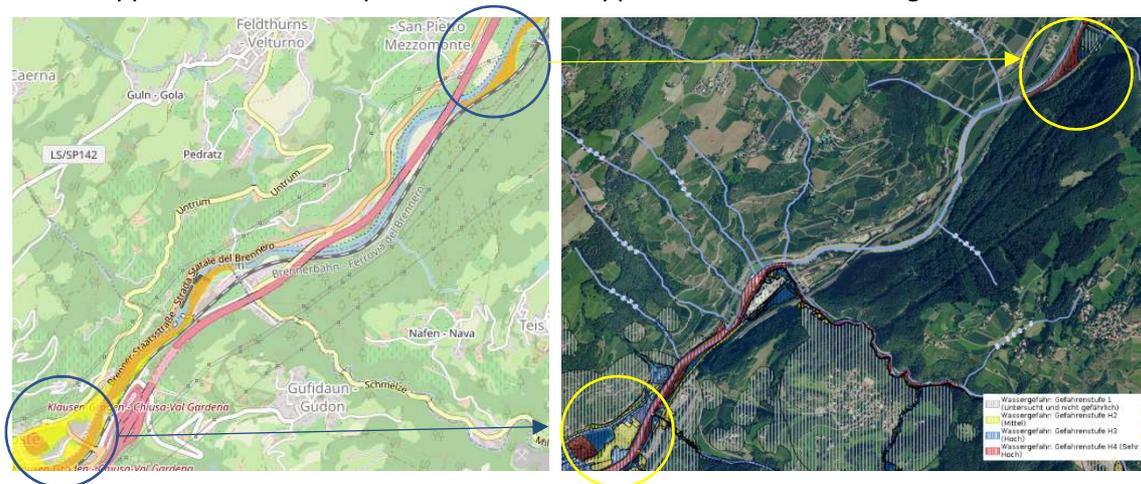


Figura 44 – Confronto tra le aree inondabili illustrate nel PGRA 2021-2027 (a sinistra) e le zone di pericolo idraulico riportate nel Geocatalogo della Provincia Autonoma di Bolzano (a destra).

Si intuisce pertanto che, al netto del territorio comunale di Funes (BZ), il PGRA in vigore ha sostanzialmente recepito i risultati della pianificazione delle zone di pericolo in provincia di Bolzano. È presumibile quindi che nel momento in cui il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes (BZ) verrà approvato la relativa zonazione del pericolo idraulico verrà recepita dal piano distrettuale.

Si è fatto pertanto riferimento alla precedente versione delle mappe di pericolosità idraulica del P.G.R.A. (si veda ad esempio Figura 45) da cui emerge che le pile del nuovo ponte ferroviario ubicate nelle aree golenali in destra orografica a Funes (BZ) ricadono in aree allagabili, per le quali si può far riferimento alle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per la Tutela del Rischio Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige (dicembre 2014).

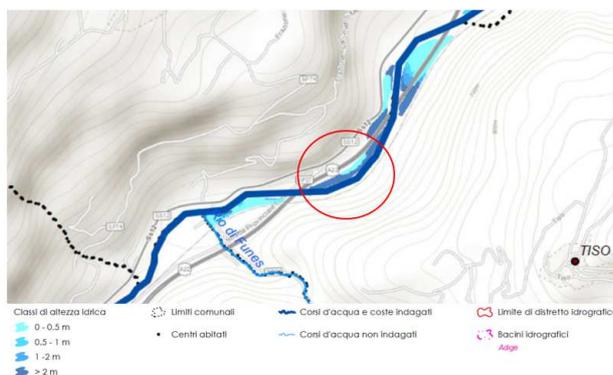


Figura 45 – Estratto della Tavola E05-HLP-WH delle Aree Allagabili – Altezze Idriche per lo scenario di bassa probabilità (Tr 300 anni) redatta per il Piano di Gestione di Rischio Alluvioni 2015-2021 ad oggi in vigore.

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 45 di 53

In particolare, l'Art. 13 recante "Disciplina delle aree fluviali" 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.

Da quanto discusso nei paragrafi precedenti si evince come le opere in progetto non inficiano la sicurezza idraulica, non riducono la capacità di deflusso del Fiume Isarco 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 della centrale idroelettrica di Bressanone a monte. Per quanto riguarda lo scenario estremo simulato, si sottolinea ancora una volta che questo è caratterizzato da un tempo di ritorno ultra-millenario che può essere inquadrato nell'ambito del pericolo e le rischio residuo. Pertanto il progetto risulta essere coerente e conforme con la disciplina del P.G.R.A..

### 6.3 RISPETTO DELLE PRESCRIZIONI DELLE N.T.C. 2008

Le Norme Tecniche delle Costruzioni 2008 definiscono, nella sezione C5 – Ponti, i criteri generali e le indicazioni tecniche per la progettazione e l'esecuzione dei ponti stradali e ferroviari. In merito alla compatibilità idraulica delle nuove costruzioni, si riporta come la quota idrometrica ed il franco debbano essere posti in correlazione con la piena di progetto marcata da tempi di ritorno non inferiori a 200 anni. In aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50-2,00 m, è raccomandato che il dislivello tra fondo alveo e sottotrave sia non inferiore a 6-7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto.

Detto che a livello progettuale il dislivello tra fondo alveo e sottotrave del ponte è di gran lunga superiore al minimo raccomandato, si riportano in Tabella 7 i franchi idrici ed energetici determinati per via numerica in base alle simulazioni bidimensionali eseguite per lo stato di progetto (post-operam).

	Quota piano ferro (m s.l.m.)	Quota Intradosso (m s.l.m.)	Livello idrico Tr 200 anni (m s.l.m.)	Franco Idrico (m)	Livello energetico Tr 200 anni (m s.l.m.)	Franco energetico (m)
<b>Viadotto binario dispari</b>	567,59	562,95	535,81	27,14	536,51	26,44
<b>Viadotto binario pari</b>	567,16	562,52	535,72	26,80	536,42	26,10

Tabella 7 – Determinazione del franco idraulico e del franco energetico per le strutture in progetto per Tr 200 anni.

	Quota piano ferro (m s.l.m.)	Quota Intradosso (m s.l.m.)	Livello idrico Tr 300 anni (m s.l.m.)	Franco Idrico (m)	Livello energetico Tr 300 anni (m s.l.m.)	Franco energetico (m)
<b>Viadotto binario dispari</b>	567,59	562,95	536,00	26,95	536,73	26,22
<b>Viadotto binario pari</b>	567,16	562,52	535,91	26,61	536,64	25,88

Tabella 8 – Determinazione del franco idraulico e del franco energetico per le strutture in progetto per Tr 300 anni.

	Quota piano ferro (m s.l.m.)	Quota Intradosso (m s.l.m.)	Livello idrico Tr 500 anni (m s.l.m.)	Franco Idrico (m)	Livello energetico Tr 500 anni (m s.l.m.)	Franco energetico (m)
<b>Viadotto binario dispari</b>	567,59	562,95	536,29	26,66	537,05	25,90
<b>Viadotto binario pari</b>	567,16	562,52	536,19	26,33	536,96	25,56

Tabella 9 – Determinazione del franco idraulico e del franco energetico per le strutture in progetto per Tr 500 anni.

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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	46 di 53

Da quanto riportato in Figura 46, si evince che anche per una piena marcata da un tempo di ritorno di 500 anni il livello di massima piena si mantiene sempre inferiore alla quota del terreno riprofilato in golena orografica destra ed è sempre garantito un franco superiore a 3 m dalla base degli archi del ponte ferroviario.

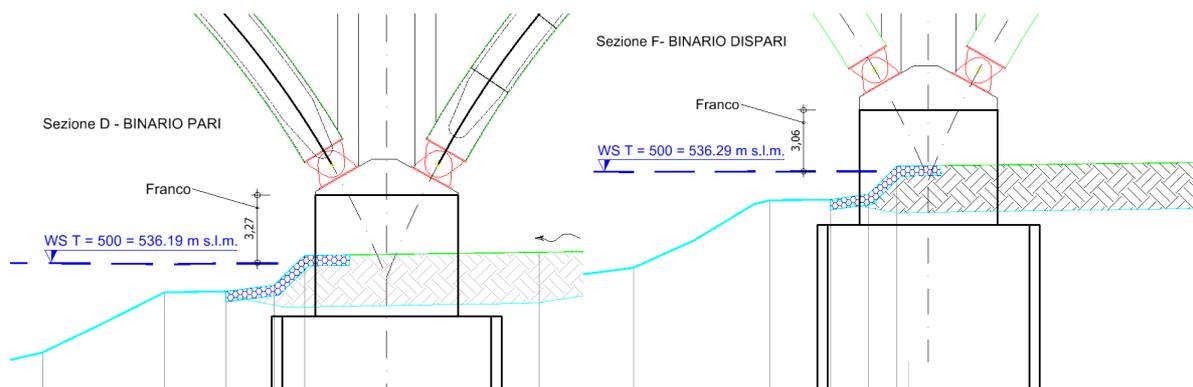


Figura 46 – Livelli idrici nel Fiume Isarco per Tr 500 nelle sezioni relative alle pile del ponte.

Da quanto esposto nel presente paragrafo si evince come i franchi risultati dalle analisi condotte siano da considerarsi sempre compatibili con le prescrizioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

#### 6.4 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..

L'area oggetto di intervento ricade nel comune amministrativo di Veltuno (BZ) che ad oggi non si è ancora dotato di un Piano delle Zone di Pericolo approvato ed ufficiale. La competente Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano, dopo opportuno nulla osta dell'Amministrazione Comunale, ha messo in ogni caso a disposizione lo stato attuale della pianificazione delle zone di pericolo a livello comunale. L'area di golena in destra orografica del Fiume Isarco nel tratto di interesse ricade in aree a pericolosità elevata (blu, H3) e molto elevata (rosso, H3).



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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	48 di 53

del ponte, la quota del pelo libero in occasione di un evento 200ennale sia pari a 536,96 m s.l.m.; coerentemente con le NTC 2008 dev'essere garantito un franco di almento 1,5-2,0 m da tale quota.

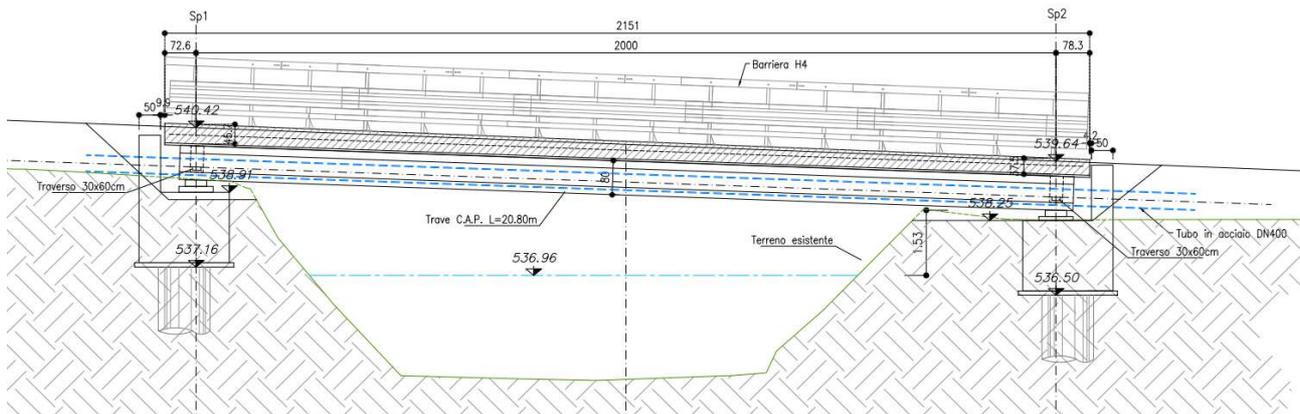


Figura 48 – Sezione trasversale del nuovo ponte definitivo sul Rio Funes.

Si determinano pertanto franchi idraulici ai 1,53 m rispetto all'intradosso della spalla in destra orografica e di 1,95 m rispetto all'intradosso della struttura della spalla in sinistra orografica. Pertanto la compatibilità idraulica della nuova struttura è verificata.

Nell'ambito della Relazione Idraulica dei Bacini Minori (IBOU1BEZZRIID0000002B) è stata eseguita anche una modellazione 2D a fondo fisso in ambiente HYDRO\_AS-2D. L'approccio matematico è bidimensionale (2D), si citano di seguito le principali impostazioni del modello sviluppato:

- Software:** Hydro\_As-2D Release 3.0 (2013, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt GmbH)
- Base topografica rio di Funes:** D.T.M. 2006 e 2013 Provincia Autonoma di Bolzano  
Rilievi topografici Patscheider & Partner (2019-2020)
- Base topografica Isarco:** D.T.M. 2013 Provincia Autonoma di Bolzano  
Rilievi topografici Provincia Autonoma di Bolzano (2009-2010)  
Sezioni fornite da studio tecnico SWS (2021)
- Mesh di base:** Elementi rettangolari in alveo e triangolazione nelle aree esterne con infittimento della maglia in corrispondenza di aree urbanizzate o critiche. In tutti i modelli sono stati inseriti gli edifici.
- Dimensioni celle:
- Alvei: da un minimo di 1,85 ad un massimo di 6 m<sup>2</sup>
  - Aree di cantiere: mediamente 11,5 m<sup>2</sup>
  - Aree perfluviali: a partire da 40 m<sup>2</sup>
- Scabrezze floodplain:** alveo 20 m<sup>1/3</sup>/s  
sponde 15 m<sup>1/3</sup>/s

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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	49 di 53

**Condizioni al contorno:** inflow, outflow e caratteristiche ponti.

Dai risultati conseguiti si apprezza come non vi siano fenomeni di alluvionamento che interessano le infrastrutture definitive previste in destra e sinistra orografica, ed in particolare l'area della prevista finestra di Funes, come riportato nelle seguenti immagini.

Nell'ambito delle verifiche idrauliche condotte sono state replicate le simulazioni anche considerando eventi di piena influenti lungo il Rio di Funes marcati da tempi di ritorno di 200 anni. Come condizione al contorno di valle nel modello numerico sviluppato è stata inserita come inflow di monte lungo il Fiume Isarco una portata liquida costante pari a  $544 \text{ m}^3/\text{s}$ , corrispondente ad un evento di piena influente lungo l'Isarco marcato da un tempo di ritorno di ca. 14-15 anni. Le dimensioni dei bacini imbriferi sottesi dai due corsi d'acqua alla sezione di confluenza risultano infatti molto diverse ed anche le caratteristiche idrologiche sono ovviamente tali da rendere assai improbabile una sovrapposizione dei picchi di piena marcati da medesimi tempi di ritorno. La portata imposta come condizione al contorno determina di fatto un livello idrico di riferimento alla sezione di confluenza con il Rio di Funes, assunto di fatto come condizione di valle nella zona dello sbocco. I risultati delle elaborazioni effettuate sono illustrati nella Tavola IBOU1BEZZW9ID0000105A, in cui sono riportati per completezza profilo longitudinale e sezioni relativi ai risultati di entrambi gli scenari idraulici considerati (piene sul Fiume Isarco e sul Rio di Funes) Si riporta in Figura 49 il profilo idraulico longitudinale relativo ad entrambi gli scenari considerati.

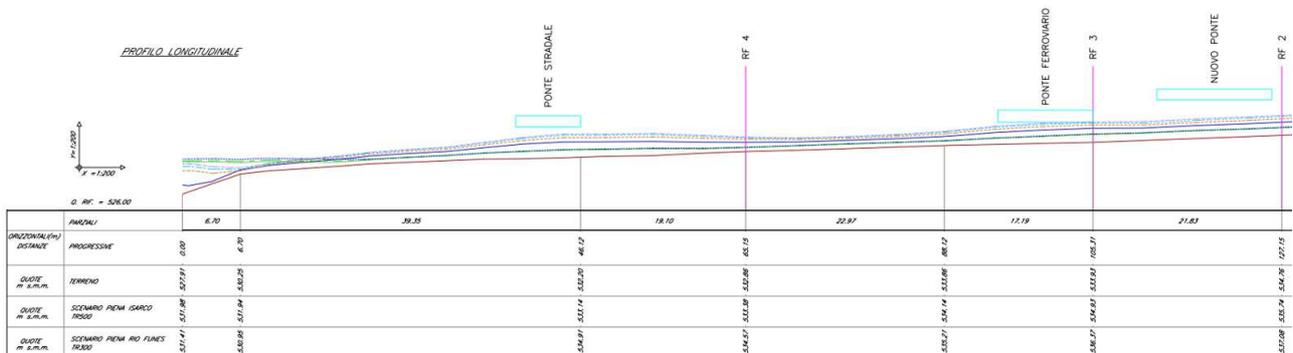


Figura 49 – Profilo longitudinale lungo il Rio Funes nel tratto intervento (Tavola IBOU1BEZZW9ID0000105A).

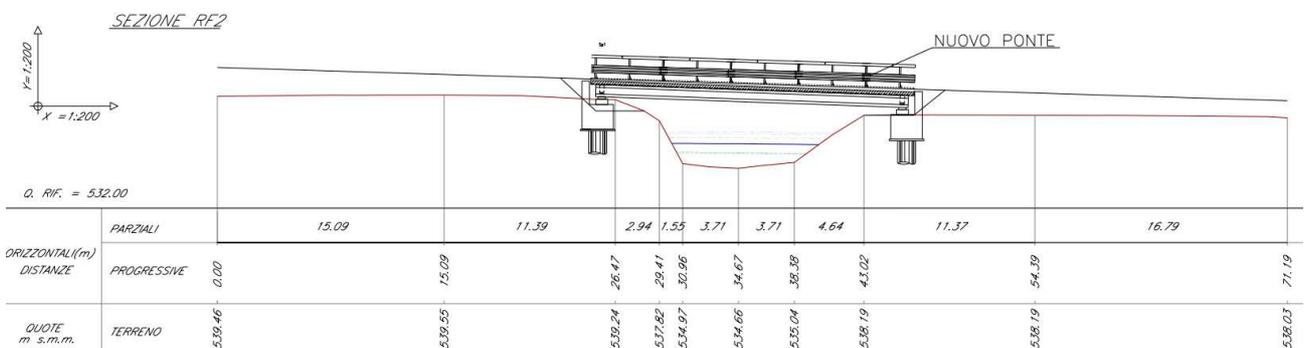


Figura 50 – Sezione subito a monte del nuovo ponte in progetto (Tavola IBOU1BEZZW9ID0000105A).

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000101	REV. C	FOGLIO. 50 di 53

In Figura 50 è riportata anche la sezione subito a monte del nuovo ponte stradale in progetto. Come riportato in precedenza, sono garantiti sempre adeguati franchi idraulici in entrambi gli scenari idrologici di riferimento. Riprendendo quanto già dichiarato all'inizio del presente paragrafo, si riportano nella seguente tabella i risultati delle analisi idrauliche effettuate per tutti gli scenari e per tutti i tempi di ritorno. Oltre a garantire il franco di legge per l'evento TR 200 si intuisce come sia garantito anche un abbondante franco idraulico per l'evento TR 300.

TR (anni)	WSE (m s.l.m.)	Quote intradosso destra orografica (m s.l.m.)	Quote intradosso sin. orografica (m s.l.m.)	Franco idraulico destra orografica (m)	Franco idraulico sin. orografica (m)
30	536,32	538,49	538,91	2,17	2,59
100	536,70			1,79	2,21
200	536,96			<b>1,53</b>	<b>1,95</b>
300	537,08			1,41	1,83

Tabella 10. Franchi idraulici presso il nuovo ponte stradale per tutti i tempi di ritorno nello scenario di piena del Rio di Funes.

TR (anni)	WSE (m s.l.m.)	Quote intradosso destra orografica (m s.l.m.)	Quote intradosso sin. orografica (m s.l.m.)	Franco idraulico destra orografica (m)	Franco idraulico sin. orografica (m)
200	535,67	538,49	538,91	2,82	3,24
300	535,70			<b>2,79</b>	<b>3,21</b>
500	535,74			2,75	3,17

Tabella 11. Franchi idraulici presso il nuovo ponte stradale nello scenario di piena del Fiume Isarco.

Permane in ogni caso la situazione di pericolosità alluvionale nelle aree perifluviali censita per un evento di piena marcato da 300 anni nell'ambito del redigendo PZP del Comune di Funes, che non è però imputabile alla presenza del nuovo attraversamento sul Rio Funes ma deriva da una limitata capacità di deflusso e dall'elevata probabilità di ostruzione del ponte stradale per Gudon esistente a ridosso del viadotto A22.

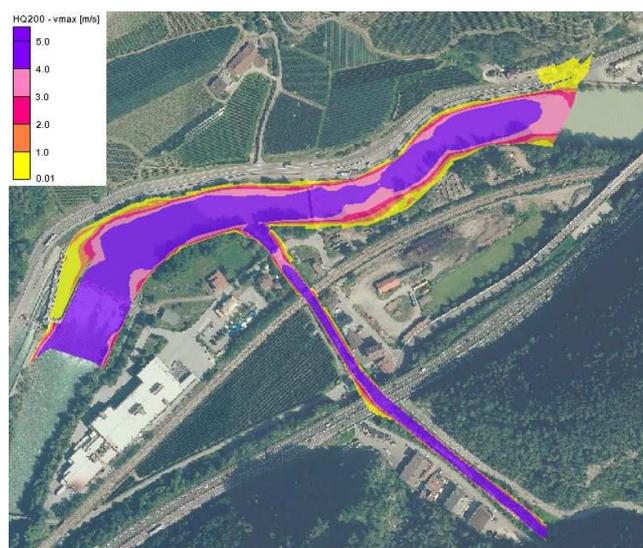


Figura 51 – Stato finale sul Rio Funes, mappa delle velocità massime attese per TR200.

Si sottolinea anche che il ponte ferroviario esistente esercita un effetto assolutamente marginale sul deflusso transitante lungo il Rio di Funes pur essendo collocato a valle del nuovo ponte stradale in progetto. Si rimanda

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 E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000101</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>51 di 53</b>

a quanto riportato in Figura 53 e nella Tavola IB0U1BEZZW9ID0000105A. In Tabella 12 ed in Tabella 13 sono riportati anche i franchi idraulici residui attesi nelle diverse configurazioni idrologiche di progetto.

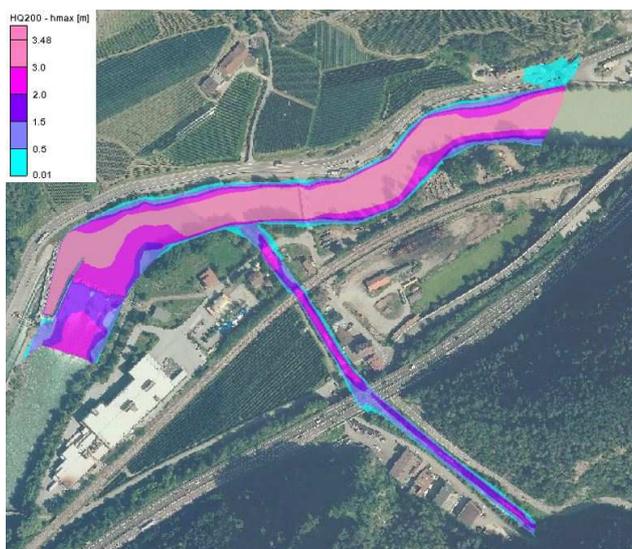


Figura 52 – Stato finale sul Rio Funes, mappa dei tiranti massimi attesi per TR200.

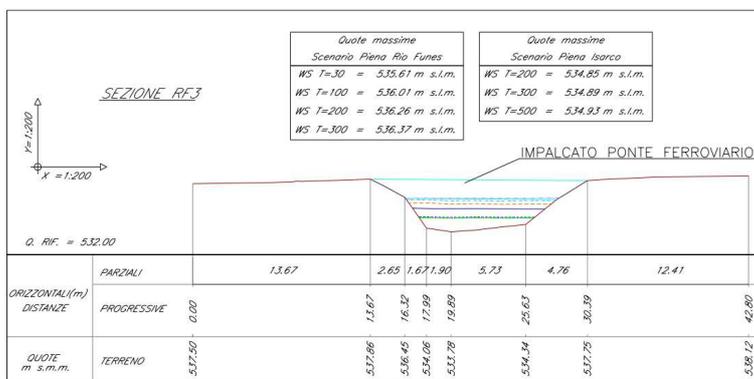


Figura 53 – Sezione subito a monte del ponte ferroviario esistente collocato a valle del nuovo ponte stradale sul Rio di Funes (Tavola IB0U1BEZZW9ID0000105A).

TR (anni)	WSE (m s.l.m.)	Quote intradosso (m s.l.m.)	Franco idraulico (m)
30	535,61	536,35	0,74
100	536,01		0,34
200	536,26		0,09
300	536,37		- 0,02

Tabella 12. Franchi idraulici presso il ponte ferroviario esistente nello scenario di piena del Rio di Funes.

TR (anni)	WSE (m s.l.m.)	Quote intradosso (m s.l.m.)	Franco idraulico (m)
200	534,85	536,35	1,50
300	534,89		1,46
500	534,93		1,42

Tabella 13. Franchi idraulici presso il ponte ferroviario esistente nello scenario di piena del Fiume Isarco.

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>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b> Relazione idraulica Fiume Isarco	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000101</b>	REV. <b>C</b>	FOGLIO. <b>52 di 53</b>

Da quanto sopra riportato emerge una sostanziale trasparenza della struttura in caso di piena del Fiume Isarco, dato che i franchi idraulici garantiti sono sempre molto ampi. In caso di piena del Rio di Funes invece un minimo franco idraulico (0,09 m) è garantito per la piena marcata da TR 200 mentre per la piena marcata da TR 300 il franco idraulico residuo è sostanzialmente nullo, anche se non si determinano effetti particolari di rigurgito. Occorre ricordare che per l'evento TR300 va severamente in pressione il ponte stradale superiore per Gudon, pertanto è molto probabile che il carico flottante trasportato dal Rio di Funes venga intercettato dall'impalcato del ponte e tenda ad essere disperso sulle sedi stradali e non raggiunga il ponte ferroviario sottostante. Pertanto in questo senso non sono attesi effetti sostanziali a valle e la probabilità di ostruzione del ponte ferroviario per TR 300 risulta effettivamente molto bassa. I risultati delle simulazioni idrauliche sono pertanto state considerate plausibili e non si hanno interferenze particolari presso il nuovo ponte stradale in 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 E IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica Fiume Isarco	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000101	C	53 di 53

## 7. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

AA.VV. NCHRP. *Evaluation of Bridge-Scour Research: Abutment and Contraction Scour Processes and Prediction*. The National Academies of Sciences Engineering Medicine (2011).

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

Enlow, H . K. et al.. *Watershed variability in Streambank Erodibility and Implications for Erosion Prediction*. Water, MDPI, 9, 605 (2017).

Ferro, V., Porto, P.. Predicting the equilibrium bed slope in natural streams using a stochastic model for incipient sediment motion. Earth Surf. Process. Landforms 36, 1007–1022 (2011).

Fugazza, M.. *Effetti idraulici prodotti dai ponti sui corsi d'acqua*. Corso di Sistemazioni Fluviali, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale. Università di Pavia. A.A. 2004/05.

Ghetti, A.. *Idraulica*. Seconda Edizione. Edizioni Libreria Cortina, Padova (1996).

Lai, Y. G.. *Modeling of multilayer cohesive bank erosion with a coupled bank stability and mobile-bed mode*. Geomorphology, 243. 116 - 129. ISSN 0169-555X (2015).

Lauchlan, C., May, R.. *Comparison of General Scour Prediction Equations for River Crossing*. Conference Paper. HENRY, Hydraulic Engineering Repository (2002).

Langendoen, E. J. Et al.. *Quantifying Sediment Loadings from Streambank Erosion in Selected Agricultural Watershed Draining to Lake Champlain*. US Department of Agricoltura. Agricultural Research Service (2012).

*Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*. Quarta Edizione. Volume Primo. Ingegneria geotecnica, Idraulica, Costruzioni Idrauliche. Zanichelli / ESAC (2007).

National Engineering Handbook. Technical Supplement 14B. *Scour Calculations*. 210-VI-NEH. (2007).

Richardson, E. V. et al.. *Estimating Scour at Bridges*. Transportation Research Record 1290, pp. 245-253 (2009).

US Department of Transportation, Federal Highway Administration (2001). *"River Engineering for Highway Encroachments"*. Hydraulic Design Serie Number 6. Publication No. FHWA NHI 01-004. Dicembre 2001.