

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

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

### PROGETTO ESECUTIVO

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

RELAZIONE

09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA

A-IDROLOGIA ED IDRAULICA

IDROLOGIE ED IDRAULICA PONTE GARDENA

Relazione idraulica delle fasi di cantiere

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

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

| Rev | Descrizione                                    | Redatto      | Data       | Verificato | Data       | Approvato                  | Data       | Autorizzato Data   |
|-----|--|--------------|------------|------------|------------|----------------------------|------------|--|
| A   | Emissione                                      | C. Lucarelli | 30/12/2021 | D. Nave    | 31/12/2021 | D. Buttafoco<br>(Dolomiti) | 19/01/2022 | IL PROGETTISTA<br>P. Cucino<br><br>30/07/2022<br>ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO<br>Dotto Paolo Cucino<br>ISCRIZIONE ALBO N° 2216 |
| B   | Emissione a seguito di indicazioni Committenza | C. Lucarelli | 18/07/2022 | D. Nave    | 19/07/2022 | D. Buttafoco<br>(Dolomiti) | 20/07/2022 |  |
|     |  |              |            |            |            |                            |            |  |
|     |  |              |            |            |            |                            |            |  |

File: IB0U1BEZZRIID0000202B.docx

n. Elab.: X

|  |   |  |       |          |           |      |         |
|--|---|--|-------|----------|-----------|------|---------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |       |          |           |      |         |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |       |          |           |      |         |
| Mandatario:                                | Mandanti:   |  |       |          |           |      |         |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |       |          |           |      |         |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   | COMMESSA   | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   | IBOU   | 1BEZZ | RI       | ID0000202 | B    | 2 di 46 |

## SOMMARIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. PREMESSA</b> .....  | <b>4</b>  |
| <b>2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI</b> .....      | <b>5</b>  |
| <b>3. INQUADRAMENTO GENERALE</b> .....                            | <b>6</b>  |
| <b>4. INSTALLAZIONI DI CANTIERE PREVISTE</b> .....                | <b>8</b>  |
| <b>5. VALUTAZIONI IDROLOGICHE</b> .....                           | <b>11</b> |
| 5.1 TEMPI DI RITORNO DI PROGETTO .....                            | 11        |
| 5.2 PORTATE DI PROGETTO.....                                      | 12        |
| 5.2.1 Contributi liquidi .....                                    | 12        |
| 5.2.2 Trasporto solido .....                                      | 12        |
| <b>6. STUDIO IDRAULICO</b> .....                                  | <b>14</b> |
| 6.1 PREMESSA .....  | 14        |
| 6.2 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI .....                              | 14        |
| 6.2.1 Generalità.....   | 14        |
| 6.2.2 Dati di base topografici .....                              | 14        |
| 6.2.3 Mesh di progetto.....                                       | 15        |
| 6.2.4 Codice di calcolo.....                                      | 16        |
| 6.2.5 Scenari simulati .....                                      | 18        |
| 6.2.6 Condizioni al contorno .....                                | 18        |
| 6.2.7 Regime delle scabrezze .....                                | 20        |
| <b>7. RISULTATI</b> .....   | <b>22</b> |
| 7.1 STATO ATTUALE.....  | 22        |
| 7.1.1 Scenario A.....   | 22        |
| 7.1.2 Scenari B e C.....  | 23        |
| 7.2 FASE DI CANTIERE.....   | 25        |
| 7.2.1 Scenario A.....   | 25        |
| 7.2.2 Scenario B.....   | 28        |
| 7.2.3 Scenario C.....   | 29        |
| <b>8. ACCORGIMENTI NECESSARI PER LA SICUREZZA IDRAULICA</b> ..... | <b>31</b> |
| 8.1 GENERALITA' .....   | 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>Mandatario:</b><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <b>Mandanti:</b><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST<br>M Ingegneria  | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                    |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>3 di 46 |

|       |  |           |
|-------|--|-----------|
| 8.2   | ARGINE PROVVISORIALE PER L'INTERCONNESSIONE BINARIO PARI.....  | 31        |
| 8.3   | ARGINE PROVVISORIALE ZONA MURO 2 .....                         | 32        |
| 8.4   | ARGINE PROVVISORIALE ZONA MURO 1 .....                         | 33        |
| 8.5   | ULTERIORI MISURE DI PROTEZIONE.....                            | 33        |
| 8.5.1 | SCAVI ATTESI .....   | 33        |
| 8.5.2 | SCOGLIERE IN MASSI CIPLOPICI.....                              | 35        |
| 9.    | <b>COMPATIBILITA' IDRAULICA.....</b>                           | <b>38</b> |
| 10.   | <b>PREDISPOSIZIONE DI UN SISTEMA DI ALLERTA E ALLARME.....</b> | <b>43</b> |
| 11.   | <b>BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE .....</b>                           | <b>46</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 ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO                     | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ                     | RI       | ID0000202 | B    | 4 di 46 |

## 1. PREMESSA

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

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

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

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

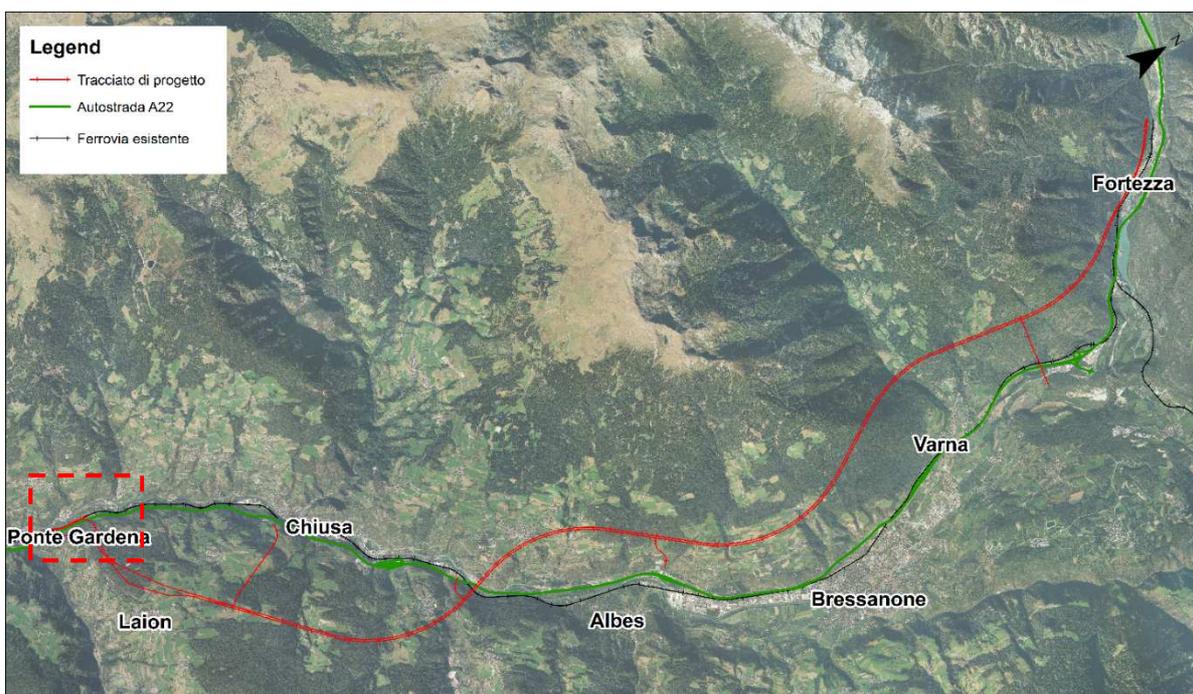


Figura 1. Corografia del tracciato di progetto con localizzazione dell'area oggetto del presente studio.

|  |  |                |                |                        |           |                    |
|--|--|----------------|----------------|------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTAZIONE:<br>               | <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:<br>Mandatario: SWS Engineering S.p.A.<br>Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |                |                |                        |           |                    |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere                                 | COMMESSA<br>IBOU   | LOTTO<br>1BEZZ | CODIFICA<br>RI | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>5 di 46 |

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

Lo studio idraulico qui presentato è articolato nelle seguenti fasi:

- Perimetrazione del bacini imbrifero del Fiume Isarco a monte di Ponte Gardena, mediante analisi GIS ed interpretazione della cartografia a disposizione, nonché confronto diretto con tutti gli studi pregressi disponibili;
- Determinazione delle portate di piena al variare del tempo di ritorno in corrispondenza della sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ);
- Modellazioni idrauliche bidimensionali sulla scorta della topografia disponibile e dei rilievi già effettuati in sede di progettazione definitiva, sia nello stato attuale che nel futuro stato di cantiere;
- Verifica delle aree interessate dal transito delle portate di piena ed individuazione di tutte le eventuali misure di protezione di mitigazione del pericolo idraulico nella fase di realizzazione delle opere in progetto.

## 2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI

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

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

|  |   |  |                           |                        |           |                    |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                    |
| PROGETTAZIONE:   | <u>Mandatario:</u><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                    |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>6 di 46 |

### 3. INQUADRAMENTO GENERALE

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



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

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

|  |  |                           |          |           |      |         |
|--|--|---------------------------|----------|-----------|------|---------|
| APPALTATORE:                               |   |                           |          |           |      |         |
| 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 ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO                     | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ                     | RI       | ID0000202 | B    | 7 di 46 |

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

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



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

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

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

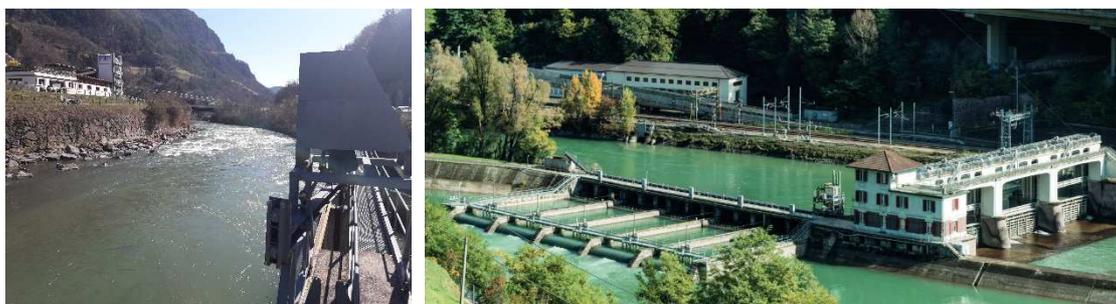


Figura 4. La restituzione dell'impianto di Barbiano / Ponte Gardena e l'opera di presa di Colma (BZ).

|  |   |  |                           |                        |           |                    |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|--------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                    |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                    |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>8 di 46 |

#### 4. INSTALLAZIONI DI CANTIERE PREVISTE

Nell'ambito delle cantierizzazioni previste, occorre considerare tre tratti differenti su cui basare l'analisi e la verifica idraulica di cui al presente documento.

Nel tratto iniziale di intervento è prevista la realizzazione di un argine provvisorio della lunghezza complessiva di ca. 421 m da realizzare in interferenza con il letto del Fiume Isarco in sponda orografica sinistra. Si veda l'estratto planimetrico riportato in Figura 5 relativo all'interconnessione binario pari (GA08). Sul coronamento dell'arginatura verrà realizzata una pista di cantiere e sul paramento esterno (lato Isarco) della struttura è prevista la realizzazione di una scogliera di protezione in massi ciclopici. L'intera opera provvisoria si rende necessaria per garantire un opportuno grado di sicurezza idraulica al manufatto di approccio della TBM ed al suo camerone di estrazione per realizzare la citata interconnessione. L'opera provvisoria è prevista tra le chilometriche 2+589,41 e 3+010,702 ed avrà una vita utile pluriennale corrispondente alla durata dell'intervento complessivo.

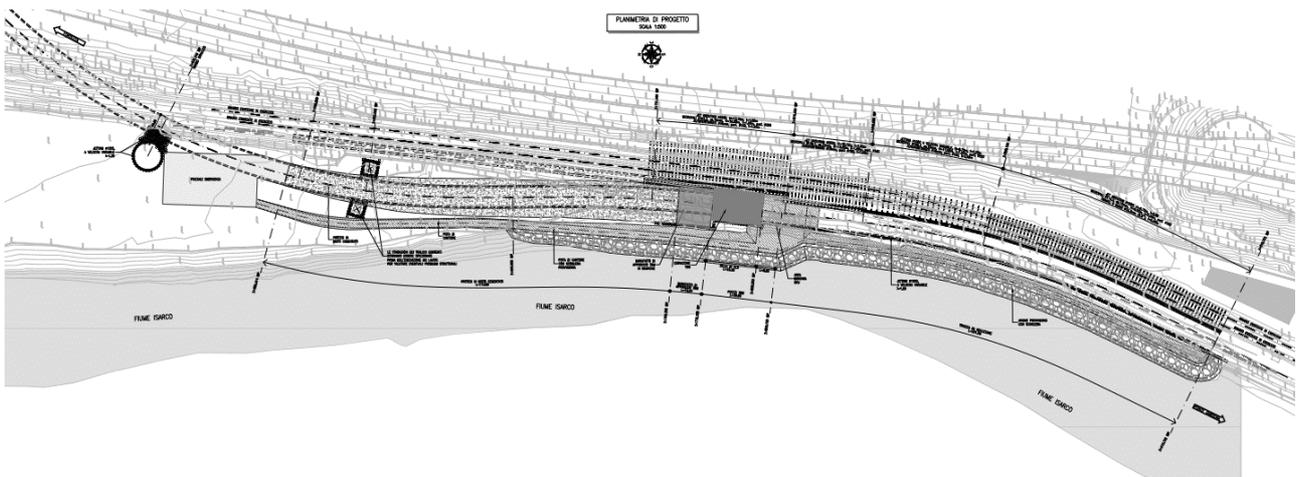


Figura 5. Planimetria dell'argine provvisorio tra le chilometriche 2+589,41 e 3+010,702.

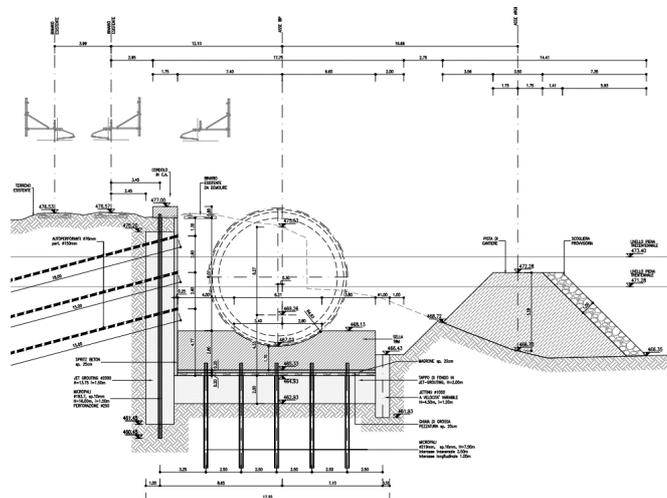


Figura 6. Sezione tipologica di progetto del nuovo argine provvisorio.



|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <b>Mandanti:</b><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>10 di 46 |

contempo consentire le lavorazioni in un arco di tempo idrologicamente sostenibile, ovvero fuori dal periodo primaverile e tardo autunnale in cui generalmente si verificano le piene del Fiume Isarco.

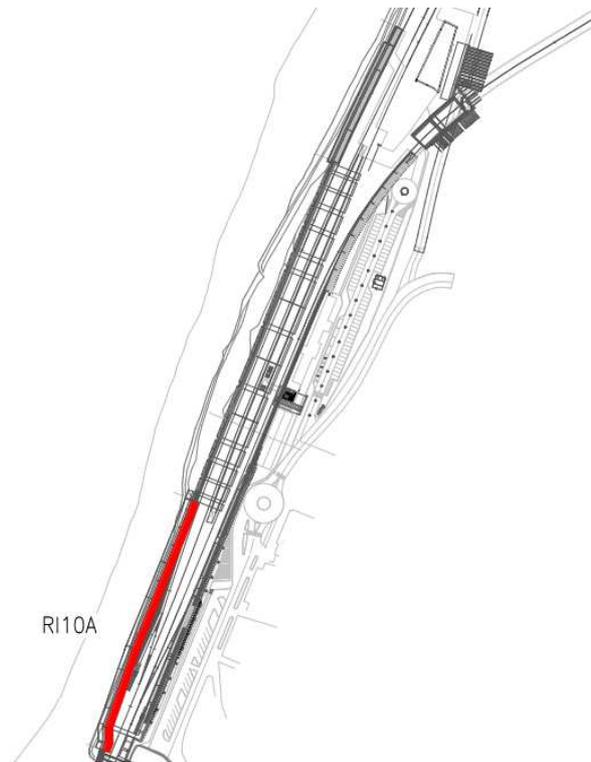


Figura 9. Planimetria e localizzazione dei muri di sponda presso la "zona muro 1".

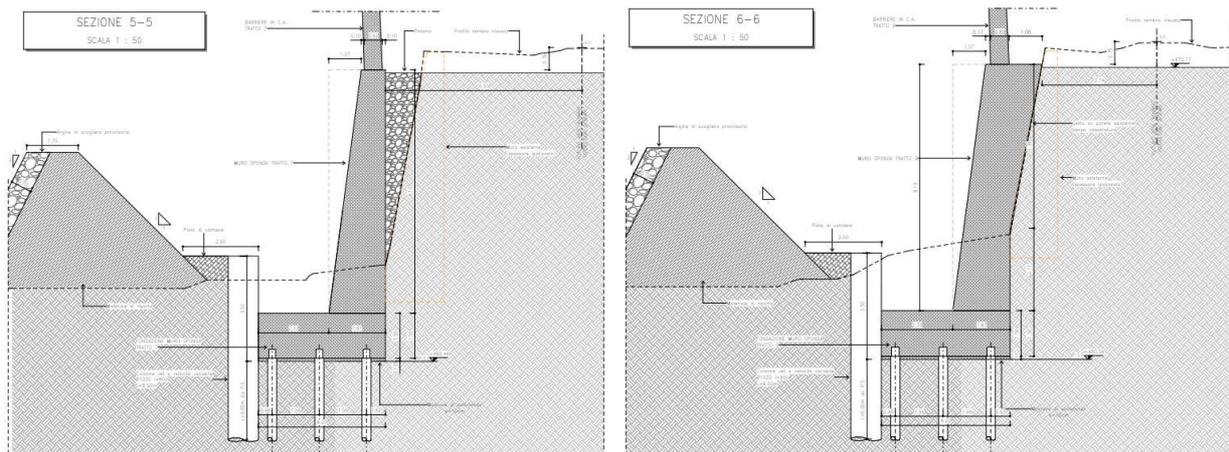


Figura 10. Sezioni tipologiche di progetto dell'argine di protezione e di servizio nella "zona muro 1".

|  |   |  |          |           |      |          |
|--|---|--|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:   |  |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA  | LOTTO  | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU  | 1BEZZ  | RI       | ID0000202 | B    | 11 di 46 |

## 5. VALUTAZIONI IDROLOGICHE

### 5.1 TEMPI DI RITORNO DI PROGETTO

Al fine di orientare correttamente le valutazioni idrauliche si è scelto un opportuno approccio idrologico ed in generale di progetto in modo da:

- Evitare la formazione di fenomeni di rigurgito in fase di cantiere e di realizzazione e di esercizio di tutte le installazioni provvisionali previste;
- 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 delle opere 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 ovviamente anche 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 i ponti e per le arginature esistenti un franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello di massima piena pari a 0,50 m e comunque mai inferiori ad 1 m sul livello idrico. Per i tombini si è proceduto in modo da non determinare un grado di riempimento superiore al 70 % dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento.

Per quanto concerne le verifiche specifiche di cui al presente documenti, relativo esclusivamente alla fase 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:

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

Per quanto riguarda l'argine per l'interconnessione binario pari (GA08), 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 ca. 28 anni, cautelativamente approssimato a **30** anni.

Parimenti, per quanto concerne invece i muri 1 e 2, assumendo una vita utile dell'opera ferroviaria pari a 100 anni ed un tempo di ritorno di riferimento pari a 300 anni, si determina analogamente 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

|  |   |  |       |          |           |      |          |
|--|---|--|-------|----------|-----------|------|----------|
| 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       | ID0000202 | B    | 12 di 46 |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   |  |       |          |           |      |          |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   |  |       |          |           |      |          |

provvisoria, caratterizzata da una durata massima di 0,5 anni, si ottiene un tempo di tritorno della fase provvisoria pari a 2 anni.

## 5.2 PORTATE DI PROGETTO

### 5.2.1 Contributi liquidi

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

| Tempo di ritorno (anni) | Portata al colmo (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 2                       | 352                                  |
| 30                      | 670                                  |
| 100                     | 893                                  |
| 200                     | 998                                  |
| 300                     | 1.060                                |
| 500                     | 1.138                                |

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

Parimenti nelle simulazioni idrauliche 2D sono stati considerati gli idrogrammi di piena illustrati in Figura 11.

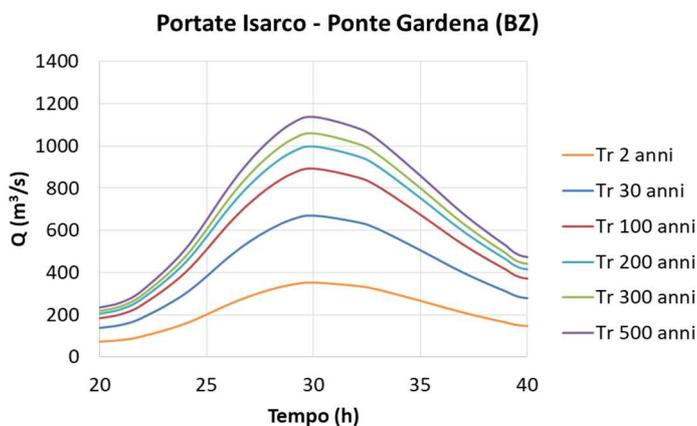


Figura 11 – Idrogrammi di piena assunti nel Progetto Esecutivo alla sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ).

### 5.2.2 Trasporto solido

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

|  |   |  |       |          |           |      |          |
|--|---|--|-------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |       |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |       |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:   |  |       |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |       |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   | COMMESSA   | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   | IBOU   | 1BEZZ | RI       | ID0000202 | B    | 13 di 46 |

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 0,8 % sulla scorta dei rilievi topografici disponibili. Considerando una larghezza media del fondo attivo pari a 45 m si determina per un tempo di ritorno di 30 anni una portata solida massima dell'ordine di 1,7 m<sup>3</sup>/s che corrisponde ad un volume trasportato al fondo di ca. 150.000 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 30 anni (vedasi Tabella 1), risulta del tutto trascurabile rappresentando di fatto una concentrazione solida di picco pari a 0,3 %. A maggior ragione, risulta trascurabile il contributo solido in occasione di una piena marcata da un tempo di ritorno di 2 anni.

Pertanto, nelle valutazioni idrauliche condotte nell'ambito del Progetto Esecutivo per il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Ponte Gardena (BZ), il contributo in termini quantitativi del trasporto solido al fondo è stato trascurato.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>14 di 46 |

## 6. STUDIO IDRAULICO

### 6.1 PREMESSA

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

### 6.2 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI

#### 6.2.1 Generalità

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. Si rimanda per ogni approfondimento alla relazione idraulica della fase definitiva di esercizio;
- La topografia disponibile è stata successivamente analizzata in dettaglio ed opportunamente integrata con le indagini topografiche integrative realizzate tra dicembre 2021 e gennaio 2022 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 5.1;
- Sulla scorta delle evidenze del Progetto Esecutivo, le caratteristiche geometriche e dimensionali di tutte le opere provvisorie in progetto sono state implementate nella mesh di calcolo e sono state effettuate tutte le simulazioni numeriche 2D per lo studio dello stato di cantiere;
- Dopo un'attenta fase di plausibilizzazione dei risultati e di verifica delle possibili criticità idrauliche, si è provveduto a definire opportune misure di mitigazione e di protezione idraulica, che sono state adeguatamente dimensionate e verificate anche da un punto di vista prettamente modellistico.

#### 6.2.2 Dati di base topografici

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

- Rilievi topografici forniti dall'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano (2010-2013);
- Rilievi topografici del Progetto Definitivo e rilievi integrativi concentrati nel tratto di intervento svolti nel dicembre 2021 dalla ditta Cartorender di Bolzano;
- Volo Lidar effettuato nel 2021 in sponda orografica sinistra nelle aree che ospiteranno i cantieri ed i pilastri del nuovo ponte ferroviario;
- Lidar Solar Tirol 2013 della Provincia Autonoma di Bolzano (risoluzione a terra 0,5 m);

|  |  |                           |          |           |      |          |
|--|--|---------------------------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |   |                           |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:  | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   |                           |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO                     | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ                     | RI       | ID0000202 | B    | 15 di 46 |

- Rilievi topografici integrativi realizzati nell’ambito del Progetto Esecutivo tra dicembre 2021 e gennaio 2022, realizzati successivamente all’analisi del grado di accuratezza delle verifiche idrauliche condotte nell’ambito del Progetto Definitivo;
- Rilievi topografici lungo il Rio Gardena (Codice delle Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Bolzano I) effettuati nell’ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Ponte Gardena (BZ) (2013).

### 6.2.3 Mesh di progetto

Le mesh di calcolo sono state implementato 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  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . Tale valore è stato scelto coerentemente con quanto fatto per il Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Barbiano (BZ) ed in base alle Indicazioni di Lavoro dell’Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano. Nelle aree perifluviali è stata invece costruita una maglia a celle triangolari di dimensioni variabili su base Lidar. Le caratteristiche delle aree perifluviali sono tratte dalla Carta ufficiale di Uso del Suolo della Provincia Automa di Bolzano reperibile sul Geobrowser provinciale (<https://www.provincia.bz.it/informatica-digitalizzazione/digitalizzazione/open-data/maps-e-webgis-geobrowser.asp>). Le simulazioni idrauliche degli attraversamenti esistenti ed in progetto sono state condotte considerando la quota dell’intradosso delle strutture, così come risulta dai rilievi disponibili e dagli elaborati progettuali del Progetto Esecutivo. Parimenti, le pile dei ponti sono state simulate come elementi “disable”, ovvero impermeabili al flusso della corrente. A titolo di esempio, sono fornite nelle immagini seguenti alcuni estratti delle mesh di calcolo elaborate per lo stato di cantiere dell’interconnessione binario pari (Figura 12), della zona muro 2 (Figura 13) e della zona muro 1 (Figura 14).

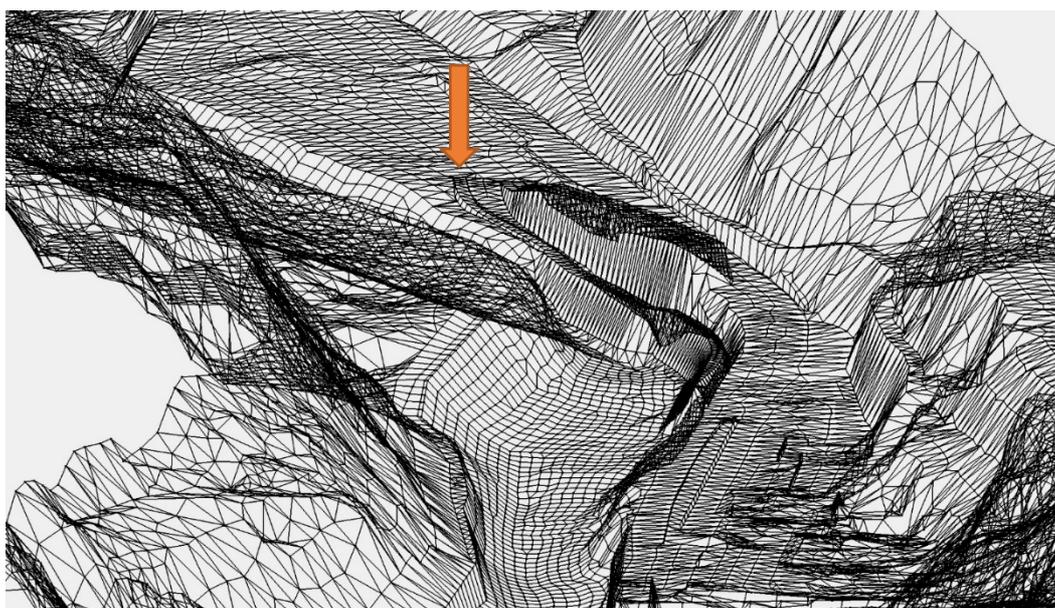


Figura 12. Mesh di calcolo per lo stato di cantiere del Fiume Isarco relativamente all’interconnessione binario pari.

|  |   |  |       |          |           |                     |
|--|---|--|-------|----------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |       |          |           |                     |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |       |          |           |                     |
| Mandatario:                                | Mandanti:   |  |       |          |           |                     |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |       |          |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   | COMMESSA   | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV.                |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   | IBOU   | 1BEZZ | RI       | ID0000202 | B                   |
|  |   |  |       |          |           | FOGLIO.<br>16 di 46 |

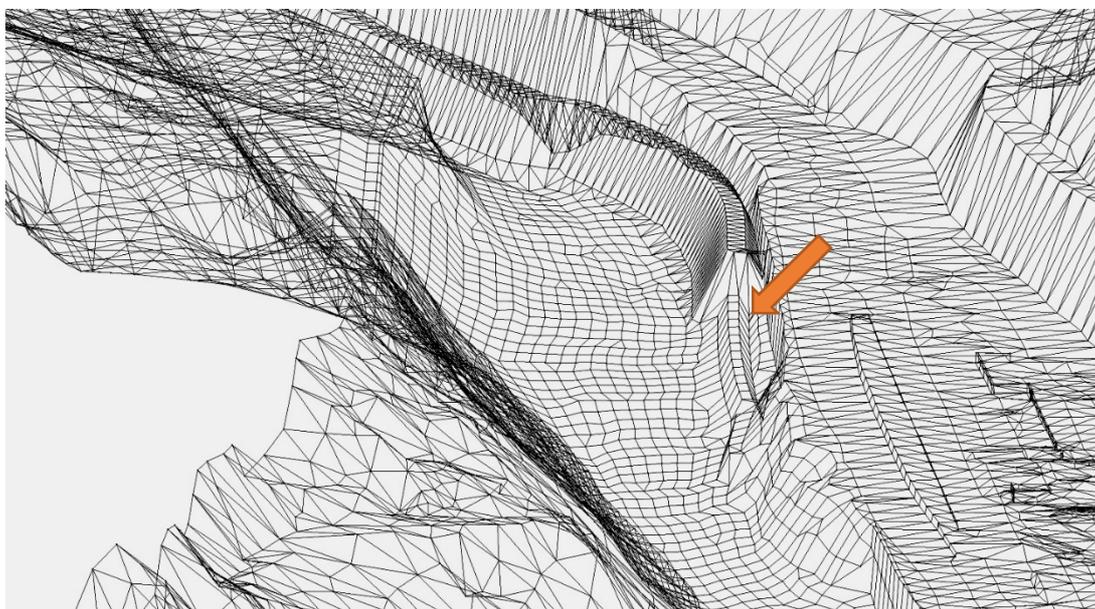


Figura 13. Mesh di calcolo per lo stato di cantiere del Fiume Isarco relativamente alla zona muro 2.



Figura 14. Mesh di calcolo per lo stato di cantiere del Fiume Isarco relativamente alla zona muro 1.

#### 6.2.4 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

|  |  |            |                    |           |      |          |
|--|--|------------|--------------------|-----------|------|----------|
| 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 ED IDRAULICA                | COMMESSA   | LOTTO      | CODIFICA           | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ      | RI                 | ID0000202 | B    | 17 di 46 |

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.

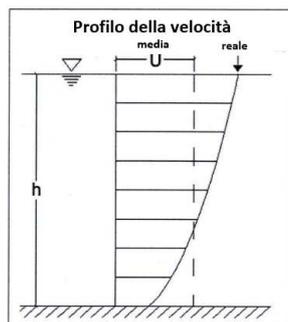


Figura 15. Velocità di flusso mediata sulle verticale.

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

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

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

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

|  |  |                           |          |           |      |          |
|--|--|---------------------------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |   |                           |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:  | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   |                           |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO                     | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ                     | RI       | ID0000202 | B    | 18 di 46 |

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 6.2.2;
- **Dati idrologici:** idrogrammi di piena così come riportati in Figura 11;
- **Dati di resistenza:** valori del coefficiente di Gauckler – Strickler in funzione delle coperture e degli utilizzi di suolo così come descritto nel paragrafo 2.

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

### 6.2.5 Scenari simulati

Coerentemente con quanto descritto nel capitolo 4 si è provveduto ad indagare i seguenti scenari:

- **Scenario A:** presenza dell'argine provvisoriale relativo al cantiere dell'interconnessione binario pari (GA08) con una piena influente marcata da un tempo di ritorno di **30 anni**;
- **Scenario B:** presenza contestuale dell'argine provvisoriale relativo al cantiere dell'interconnessione binario pari (GA08) e dell'argine provvisoriale della "zona muro 2" con una piena influente marcata da un tempo di ritorno di **2 anni**;
- **Scenario C:** presenza contestuale dell'argine provvisoriale relativo al cantiere dell'interconnessione binario pari (GA08) e dell'argine provvisoriale della "zona muro 1" con una piena influente marcata da un tempo di ritorno di **2 anni**;

### 6.2.6 Condizioni al contorno

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

- Portate influenti da monte nel Fiume Isarco con sezione di ingresso posta ca. 2.150 m a monte dello sbocco del Rio Gardena per tutti i tempi di ritorno simulati;
- Portate influenti da monte nel Rio Gardena (I) in moto stazionario con contributi liquidi alla piena del Fiume Isarco pari rispettivamente a 30,3 m<sup>3</sup>/s per Tr 30 anni e a 14,1 m<sup>3</sup>/s per Tr 2 anni;
- Le celle di outflow sono state poste ca. 1.050 m a valle della confluenza del Rio Gardena (I), ovvero ca. 330 m a valle dalla traversa idroelettrica di Colma. È stata imposta una pendenza della linea dell'energia pari a 1,2 %.

Come appena riportato, i contributi di piena del Rio Gardena alla piena transitante nel Fiume Isarco sono stati considerati stazionari anziché in moto vario o non stazionario. Appare evidente come il tributario laterale non contribuisca con le "proprie" portate di piena, così come calcolate nella Relazione Idrologica generale,

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>19 di 46 |

ma semplicemente con un contributo, la cui entità è assunta stazionaria per l'intera durata della simulazione. Occorre sottolineare quanto segue:

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

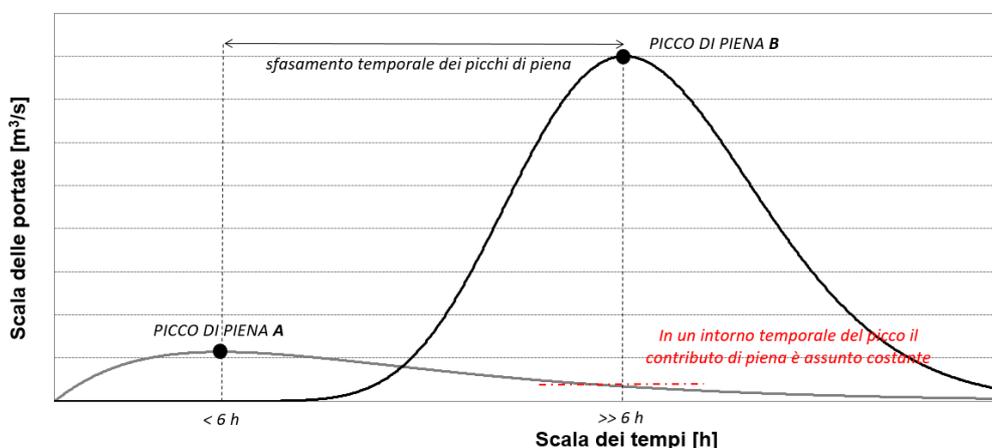


Figura 16. Schema concettuale delle valutazioni in merito ai contributi di piena del Rio Gardena (A) rispetto al Fiume Isarco (B).

- I picchi di piena saranno pertanto sfasati, ovvero la probabilità che i due corsi d'acqua adducano alla confluenza picchi di piena marcati da stessi tempi di ritorno è molto ridotta e tale accadimento è da ascrivere senza ombra di dubbio ad un evento con tempi di ritorno ultra-millennari. È intuitivo pensare come la piena generata dal Rio Gardena sia molto più veloce di quella generata dal Fiume Isarco, pertanto è realistico ipotizzare che nel momento in cui la piena dell'Isarco transita nella sezione di controllo considerata il Rio Gardena non contribuirà con il relativo picco di piena ma con un contributo di piena molto più ridotto, essendo coinvolta unicamente la fase discendente dell'onda di piena stessa.
- Come riportato in Figura 16, si intuisce altresì come in un intorno temporale del picco del Fiume Isarco il contributo di piena del Rio Gardena non vari sensibilmente nel tempo. Pertanto risulta giustificato considerare lo stesso costante ed in regime stazionario.

Per quanto concerne la quantificazione del contributo di piena del Rio Gardena nel Fiume Isarco, data la buona corrispondenza con i risultati delle regionalizzazioni come indicato nella Relazione Idrologica generale, si è provveduto a stimare per ogni tempo di ritorno le portate di piena del Fiume Isarco a monte ed a valle della confluenza con il Rio Gardena. Tale differenza corrisponde di fatto al contributo di piena del torrente laterale alla piena del corso d'acqua principale. I risultati del calcolo effettuato sono riportati nella seguente tabella, in cui sono illustrati gli input di portata caratteristici per il nodo idraulico simulato. Occorre sottolineare che la portata TR 2 anni per il Fiume Isarco alla sezione di chiusura di Ponte Gardena è stata ricavata per estrapolazione logaritmica dai noti dati di portata riportati nella Relazione Idrologica generale (IBOU1BEZZRIID000001B). Dato che lo studio non è incentrato sulla pericolosità idraulica del Rio Gardena, non si è proceduto a quantificare le portate di piena del corso d'acqua ma ci si è limitati alla stima dei contributi di piena alla piena del Fiume Isarco come sopra illustrato.

|  |   |  |       |          |           |          |
|--|---|--|-------|----------|-----------|----------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |       |          |           |          |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |       |          |           |          |
| Mandataria:                                | Mandanti:   |  |       |          |           |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |       |          |           |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   | COMMESSA   | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV.     |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   | IB0U   | 1BEZZ | RI       | ID0000202 | B        |
|  |   |  |       |          |           | FOGLIO.  |
|  |   |  |       |          |           | 20 di 46 |

| Tempo di ritorno (anni) | Portata al colmo Isarco (m <sup>3</sup> /s) | Contributo Rio Gardena (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------|---|--|
| 2                       | 272   | 14,1                                       |
| 30                      | 670   | 30,3                                       |

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

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

Per quanto concerne la configurazione simulata della traversa idroelettrica di Colma, a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano, sono state simulate due situazioni differenti:

- Paratoie di settore completamente aperte per lo scenario A, in ottemperanza con quanto previsto in tema di sicurezza idraulica dal Foglio Condizioni della concessione idroelettrica GS/57;
- In base alle regole (N-1), dove N rappresenta il numero di paratoie di settore a servizio di un qualsiasi opera trasversale regolata, si assume per gli scenari B e C la chiusura della paratoia di settore in sinistra orografica e l'apertura delle altre due paratoie a servizio dell'opera di presa dell'impianto idroelettrico di Cardano.

Le bocche di presa laterali a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano sono state considerate cautelativamente chiuse per tutti i tempi di ritorno simulati. Si ricorda che, ai sensi della citata concessione, l'impianto idroelettrico può derivare una portata massima di 90 m<sup>3</sup>/s.

### 6.2.7 Regime delle scabrezze

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

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

Tabella 3. Scabrezze assunte nelle simulazioni 2D effettuate.

| APPALTATORE:                                  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI<br/>         REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA<br/>         LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA<br/>         TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b><br><br><b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |          |           |      |          |  |   |  |  |  |  |  |          |       |          |           |      |         |
|--|--|----------|-----------|------|----------|--|---|--|--|--|--|--|----------|-------|----------|-----------|------|---------|
| PROGETTAZIONE:<br><u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.<br><u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria |  |          |           |      |          |  | <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>ID0000202</td> <td>B</td> <td>21 di 46</td> </tr> </tbody> </table> |  |  |  |  |  | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. |
| COMMESSA   | LOTTO  | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |  |   |  |  |  |  |  |          |       |          |           |      |         |
| IBOU   | 1BEZZ  | RI       | ID0000202 | B    | 21 di 46 |  |   |  |  |  |  |  |          |       |          |           |      |         |

Per quanto concerne il Fiume Isarco, è stato considerato un alveo caratterizzato da un letto prevalentemente ghiaioso con sponde in sistemate con protezioni diffuse ed in parte vegetate, assumendo una scabrezza equivalente del fondo pari a  $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ . 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.

|  |   |  |       |          |           |      |          |
|--|---|--|-------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |       |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |       |          |           |      |          |
| Mandataria:                                | Mandanti:   |  |       |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |       |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         |   | COMMESSA   | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere |   | IBOU   | 1BEZZ | RI       | ID0000202 | B    | 22 di 46 |

## 7. RISULTATI

### 7.1 STATO ATTUALE

#### 7.1.1 Scenario A

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comune di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato attuale per TR 30 anni. Le paratoie di settore dell'opera di presa a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano sono considerate aperte.

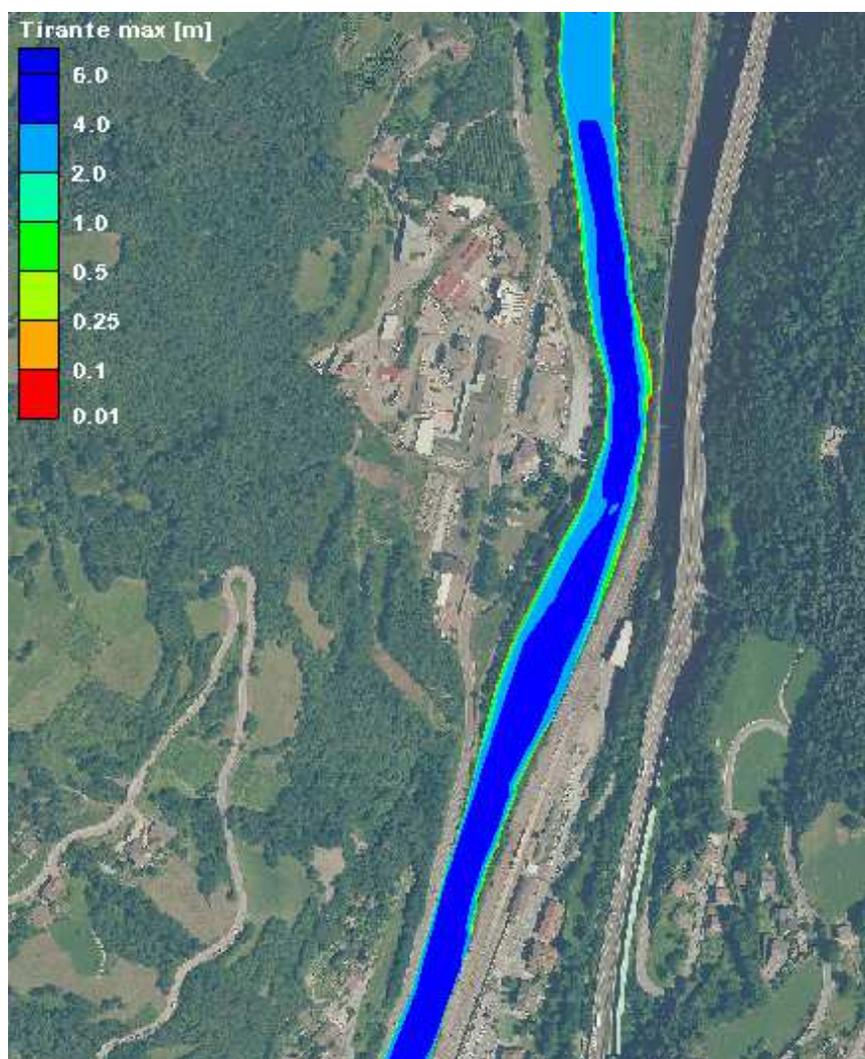


Figura 17. Tiranti massimi per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato attuale.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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:   | <u>Mandatario:</u><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>23 di 46 |

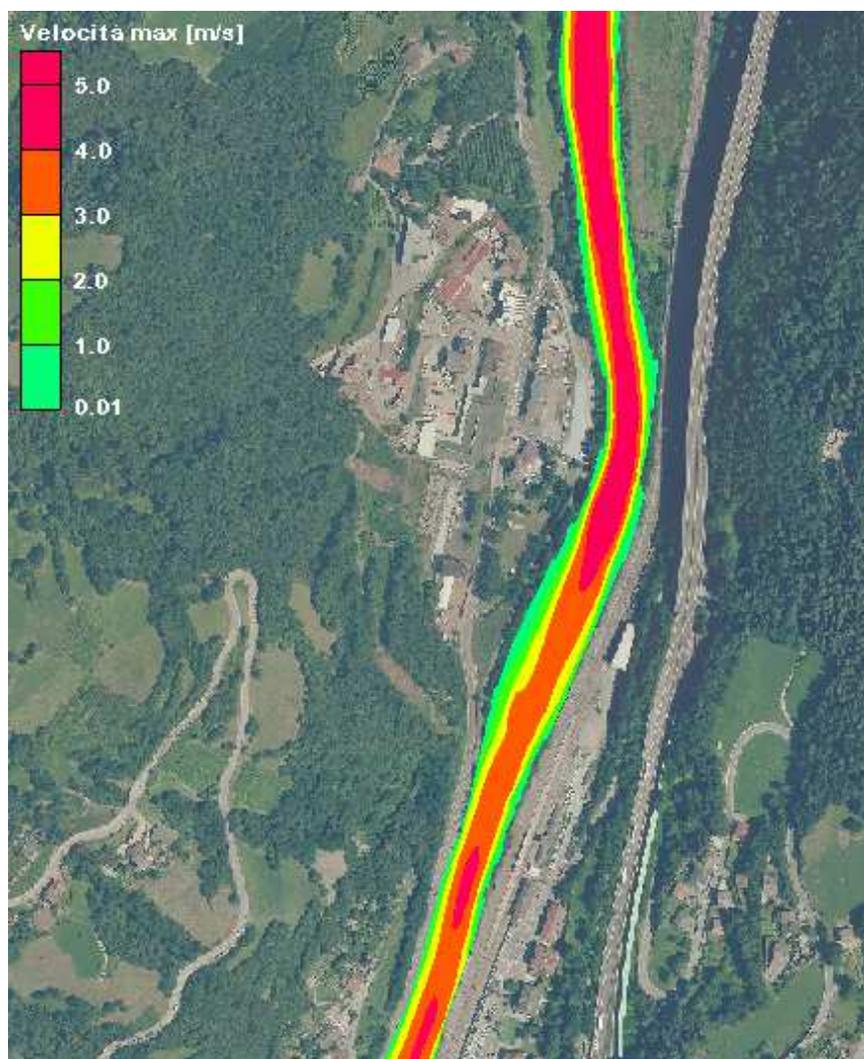


Figura 18. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato attuale.

Come si evince agevolmente dalle immagini sopra riportate, allo stato attuale per un evento alluvionale marcato da TR 30 anni non si verificano esondazioni né in destra che in sinistra orografica in tutto l'areale di intervento.

### 7.1.2 Scenari B e C

Per gli scenari B e C è riportata nelle immagini seguenti la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comune di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato attuale per TR 2 anni. Solo la paratoia di settore in sinistra orografica è assunta chiusa, le altre due paratoie di settore sono invece simulate aperte.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>24 di 46 |

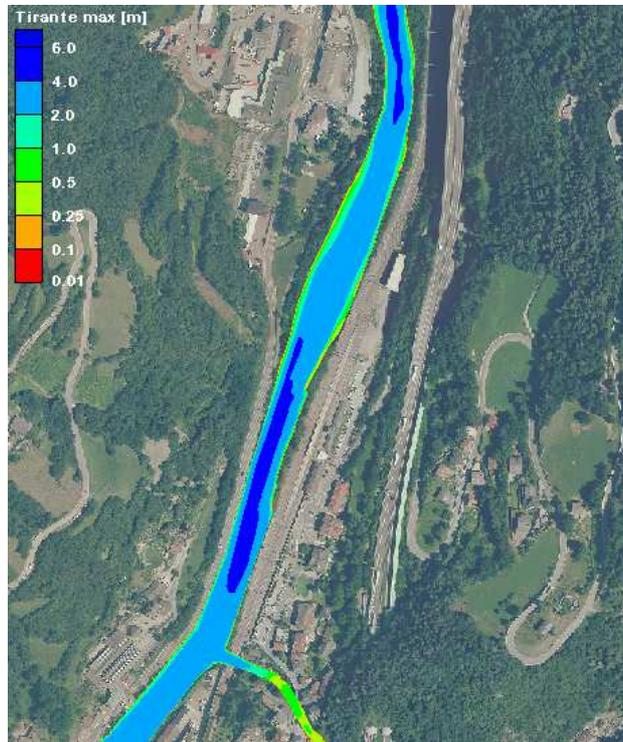


Figura 19. Tiranti massimi per l'evento TR2 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato attuale.

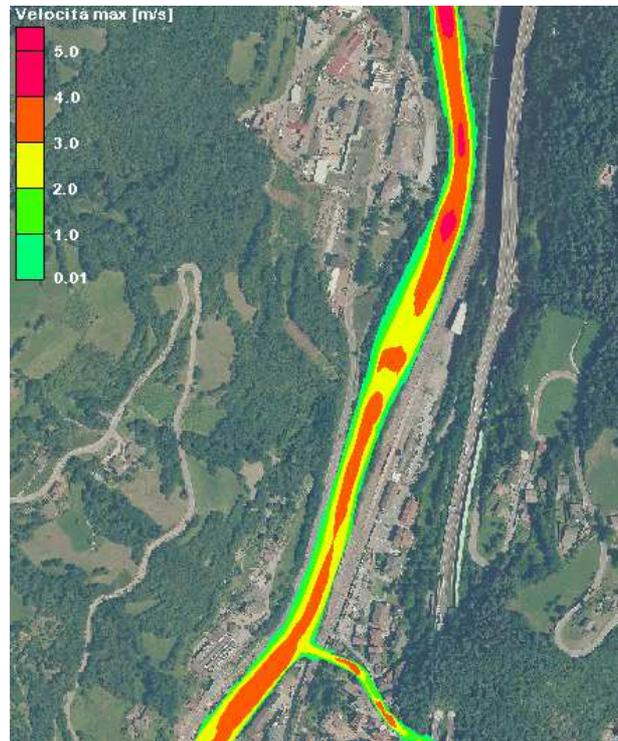


Figura 20. Velocità di flusso massime per l'evento TR2 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato attuale.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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 ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>25 di 46 |

Come si evince agevolmente dalle immagini sopra riportate, allo stato attuale per un evento alluvionale marcato da TR 2 anni non si verificano esondazioni né in destra che in sinistra orografica in tutto l'areale di intervento e sono contestualmente garantiti franchi idraulici su entrambe le sponde superiori a 1 m.

## 7.2 FASE DI CANTIERE

### 7.2.1 Scenario A

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comune di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato di cantiere per TR 30 anni. Le paratoie di settore dell'opera di presa a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano sono considerate aperte. Si considera unicamente la presenza dell'argine provvisorio relativo all'interconnessione binario pari (GA08).

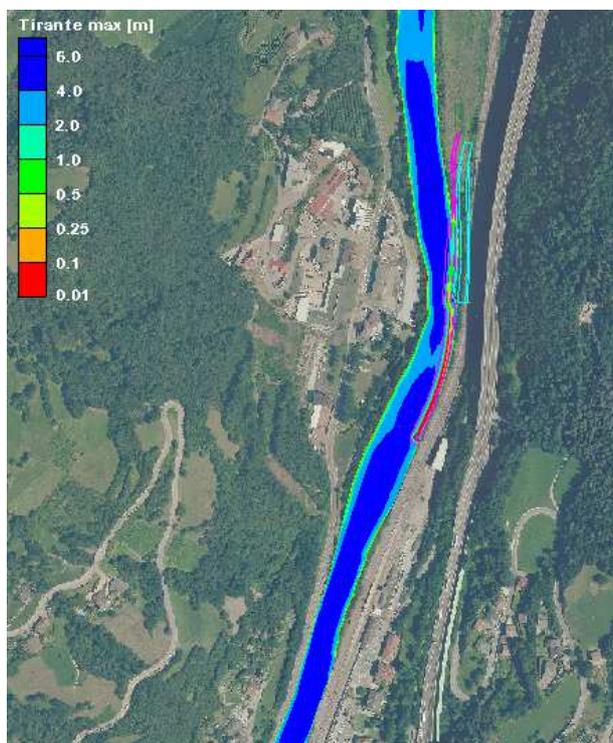


Figura 21. Tiranti massimi per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato di cantiere.

Come si intuisce chiaramente dalle immagini sopra riportate, nello stato di cantiere le dimensioni dell'argine provvisorio non sono sufficienti ad evitare il sormonto della struttura. La realizzazione dello stesso comporta infatti un netto restringimento delle sezioni di deflusso del Fiume Isarco, peraltro in un tratto già relativamente stretto rispetto al contesto generale. Nella sezione più ristretta (sezione Nr. 8) la larghezza media del corso d'acqua passa da 27 a 12 m se si considera il piede del paramento lato acqua della struttura. Si determina pertanto un rigurgito notevole che causa un aumento del pelo libero della corrente. Si riportano di seguito in forma tabellare i risultati dell'analisi modellistica condotta. In Figura 23 si riporta anche un estratto planimetrico con indicate le sezioni trasversali per una migliore localizzazione dei risultati. Nella

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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 GOMIN SIFEL SIST M Ingegneria  | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>26 di 46 |

colonna "Differenza" è riportata la differenza di quota tra il coronamento dell'arginatura e la quota della WSE nello stato di cantiere.

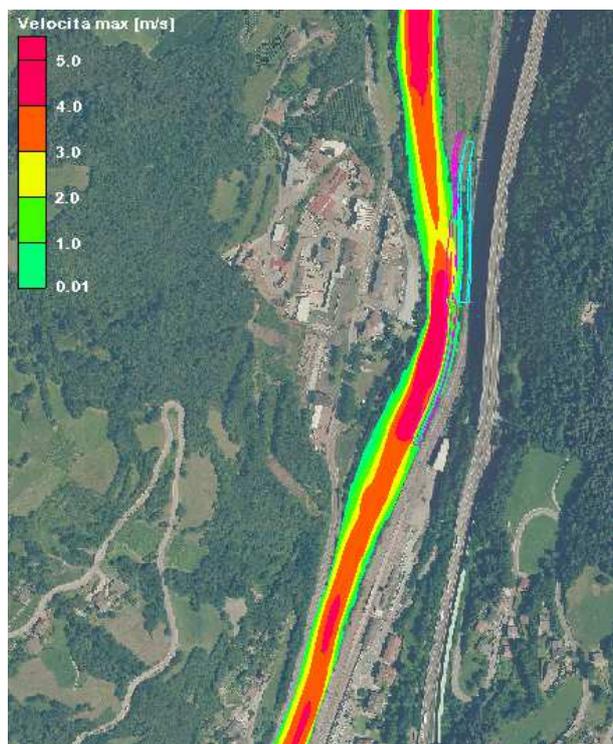


Figura 22. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato di cantiere.

| Sezione ID | Quota coronamento argine (m s.l.m.) | WSE TR30 stato attuale (m s.l.m.) | WSE TR30 stato cantiere (m s.l.m.) | Differenza (m) |
|------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------|
| 10         | 477,59                              | 472,49                            | 473,70                             | 1,21           |
| 9          | 475,19                              | 472,15                            | 473,64                             | 1,49           |
| Sez N1     | 473,69                              | 472,02                            | 473,62                             | 1,60           |
| Sez N2     | 472,28                              | 471,75                            | 473,53                             | 1,78           |
| Sez N3     | 472,28                              | 471,18                            | 472,90                             | 1,72           |
| 8          | 472,28                              | 470,64                            | 470,94                             | 0,30           |
| Sez N4     | 472,28                              | 469,84                            | 469,63                             | 0,21           |
| 7          | 472,28                              | 469,66                            | 469,78                             | 0,12           |
| Sez N5     | 472,28                              | 469,60                            | 469,43                             | -0,17          |

Tabella 4. Confronto tra le quote di coronamento dell'argine provvisoria, la WSE nello stato attuale e nello stato di cantiere e l'entità del sormonto che si genera a causa del rigurgito.

|  |   |  |                           |                               |                  |                            |
|--|---|--|---------------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <b>Mandanti:</b><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                               |                  |                            |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br><b>IBOU</b>   | LOTTO<br><b>1BEZZ</b>  | CODIFICA<br><b>RI</b>     | DOCUMENTO<br><b>ID0000202</b> | REV.<br><b>B</b> | FOGLIO.<br><b>27 di 46</b> |

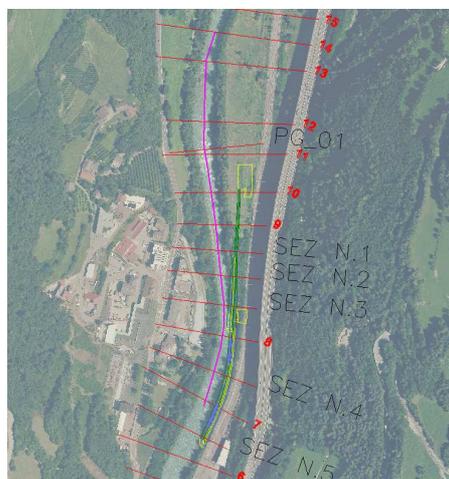


Figura 23. Planimetria di localizzazione delle sezioni trasversali.

Quanto riportato in Tabella 4 si evince anche dal profilo idraulico di seguito riportato.

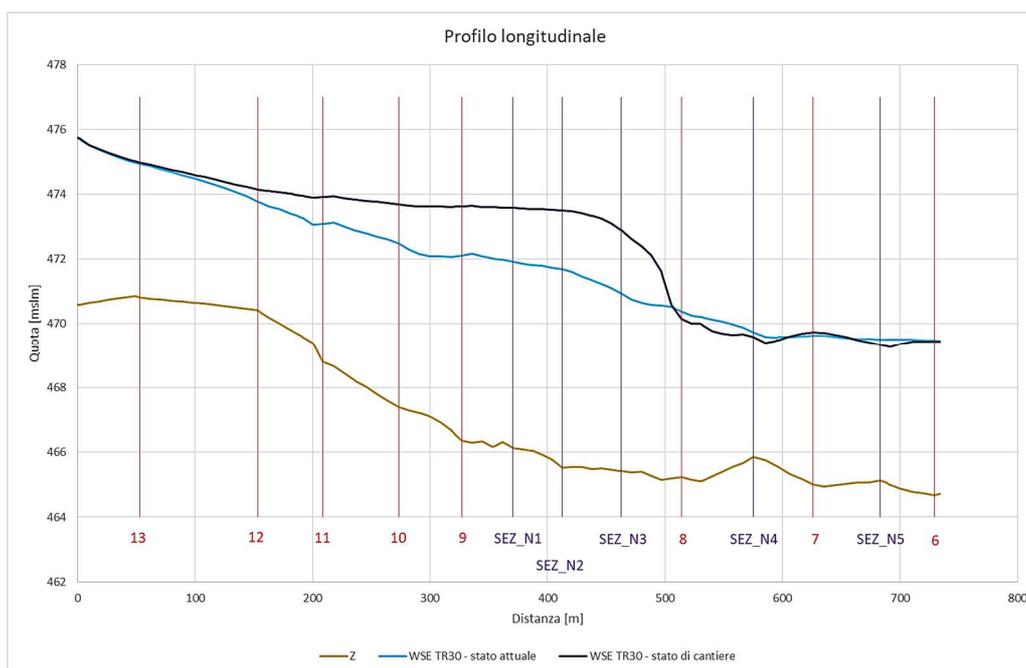


Figura 24. Profilo longitudinale del tratto indagato, si intuisce l'entità del rigurgito causato dall'argine provvisoriale per una TR30.

In merito al fatto che il franco idraulico minimo di sicurezza garantito non risulti uniforme ed omogeneo ed in alcune sezioni esiguo, si sottolinea che le sezioni longitudinali del coronamento dell'argine provvisorio non ha la stessa pendenza del profilo di rigurgito della corrente indotto dal restringimento. Unendo a questo aspetto anche l'effetto della pendenza del fondo, si intuisce come il franco non possa essere distribuito omogeneamente su tutto lo sviluppo dell'argine stesso. Ad ogni modo, come illustrato, si determinano pertanto sormonti sostanziali, si ritiene di conseguenza utile proporre nel capitolo successivo opportune misure di mitigazione idraulica del fenomeno di sormonto.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>28 di 46 |

### 7.2.2 Scenario B

Si riporta nelle immagini seguenti la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comune di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato di cantiere per TR 2 anni. Solo la paratoia di settore in sinistra orografica è assunta chiusa, le altre due paratoie di settore sono invece simulate aperte. Si considera la presenza contestuale dell'argine provvisorio relativo all'interconnessione binario pari (GA08) e dell'argine provvisorio in "zona muro 2".

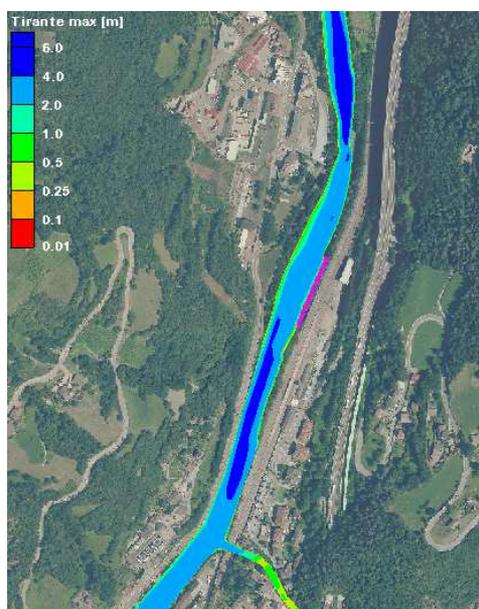


Figura 25. Tiranti massimi per l'evento TR2 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato di cantiere nello scenario B.

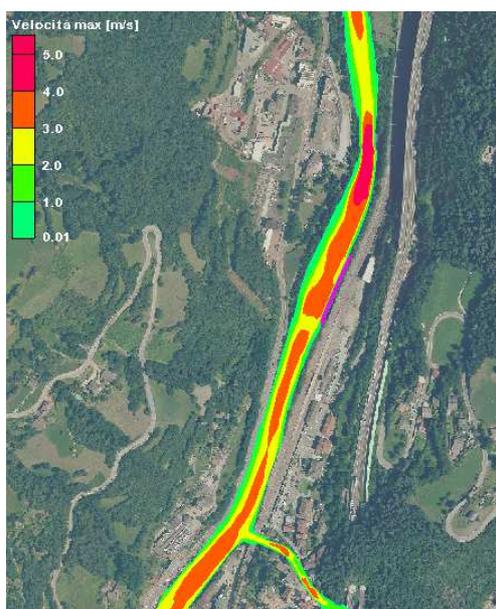


Figura 26. Velocità di flusso massime per l'evento TR2 nel tratto oggetto di intervento allo di cantiere nello scenario B.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | <u>Mandatario:</u><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>29 di 46 |

Da quanto sopra riportato si evince come le aree di espansione del Fiume Isarco rimangano sostanzialmente invariate rispetto allo stato attuale, una modifica marginale ed assolutamente locale si determina unicamente per la zona protetta dall'argine simulato. A monte del muro 2 si registra un rigurgito imputabile alla presenza dell'argine provvisorio per la realizzazione dell'interconnessione binario pari presente appunto nel tratto di monte. Nella zona di influenza del muro 2 si registrano variazioni marginali dei tiranti idraulici e delle velocità di flusso in alveo rispetto allo stato attuale, quantificate in pochi cm ed in una frazione di m/s, pertanto assolutamente trascurabili. Nel tratto di valle si determina invece un leggero aumento della velocità (ca. 0,8 m/s in più) a causa della mutata condizione della sponda in orografica sinistra che causa di fatto una variazione di rugosità. L'argine non viene sormontato ed è sempre garantito un minimo franco idraulico (almeno di 25 cm) lungo l'intero sviluppo planimetrico dell'opera. Per quanto concerne il muro 2, i franchi minimi garantiti, pur variando lungo lo sviluppo longitudinale dell'argine provvisorio, si mantengono relativamente omogenei data l'assenza di uno spiccato profilo di rigurgito.

### 7.2.3 Scenario C

Si riporta nelle immagini seguenti la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso (m/s) nel tratto del Fiume Isarco afferente ai Comuni di Barbiano, Ponte Gardena e Laion nello stato di cantiere per TR 2 anni. Solo la paratoia di settore in sinistra orografica presso l'opera di presa di ALPERIA S.p.a. è assunta chiusa, le altre due paratoie di settore sono invece simulate aperte. Si considera la presenza contestuale dell'argine provvisorio relativo all'interconnessione binario pari (GA08) e dell'argine provvisorio in "zona muro 1".

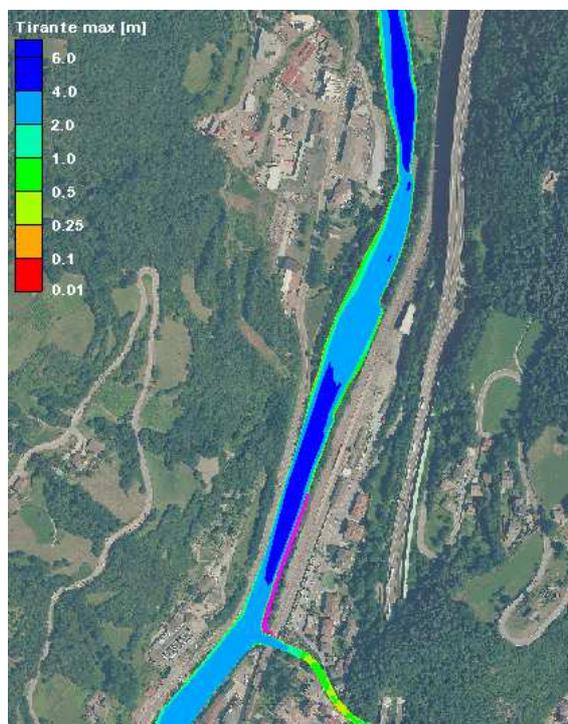


Figura 27. Tiranti massimi per l'evento TR2 nel tratto del Fiume Isarco oggetto di intervento allo stato di cantiere nello scenario C.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>30 di 46 |

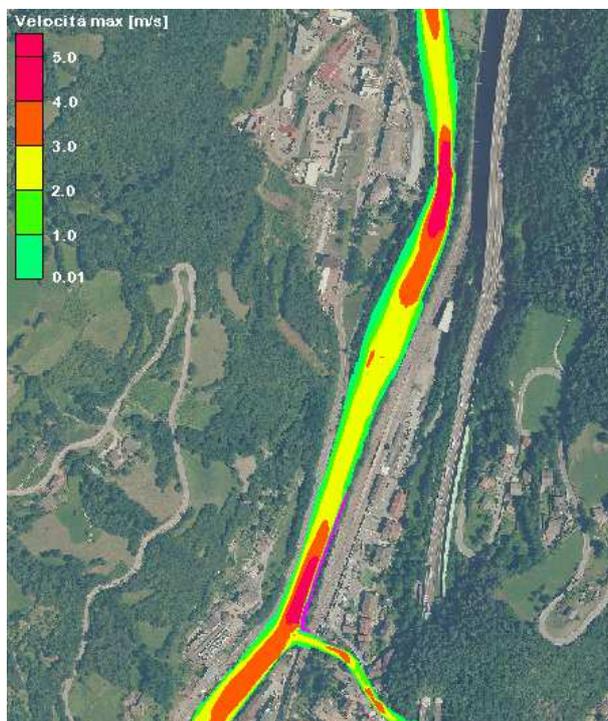


Figura 28. Velocità di flusso massime per l'evento TR2 nel tratto di fiume oggetto di intervento allo di cantiere nello scenario C.

Da quanto sopra riportato si evince come le aree di espansione del Fiume Isarco rimangano sostanzialmente invariate rispetto allo stato attuale, una modifica marginale ed assolutamente locale si determina unicamente per la zona protetta dall'argine simulato. A causa del restringimento indotto si determina un rigurgito in alveo, che causa il sormonto dell'argine nel tratto di monte. Si determina infatti un aumento locale dei tiranti di ca. 0,8 m a partire dalla progressiva 0+165 dell'opera. Nella zona del rigurgito si registra invece un locale abbassamento delle velocità di flusso in alveo, mentre a monte della confluenza con il Rio Gardena l'incremento di velocità è netto (ca. 1,5 m/s in più rispetto allo stato attuale). A valle della confluenza con il Rio Gardena non si determinano invece variazioni sostanziali dei parametri idraulici rispetto allo stato attuale. Si conclude pertanto che una modifica sostanziale del regime idraulico del Fiume Isarco si registra unicamente in uno stretto intorno del tratto interessato dalla realizzazione dell'opera provvisoria, senza che tale modifica causa esondazioni nelle zone perfluviali. Per quanto concerne la zona muro 1, anche in questo caso i franchi minimi idraulici, dove garantiti, pur variando lungo lo sviluppo longitudinale dell'argine provvisoria, si mantengono relativamente omogenei data l'assenza di uno spiccato profilo di rigurgito.

|  |  |           |                    |           |      |          |
|--|--|-----------|--------------------|-----------|------|----------|
| 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 GEMIN | SIFEL SIST         |           |      |          |
|  | M Ingegneria   |           |                    |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO     | CODIFICA           | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ     | RI                 | ID0000202 | B    | 31 di 46 |

## 8. ACCORGIMENTI NECESSARI PER LA SICUREZZA IDRAULICA

### 8.1 GENERALITA'

Tutti gli argini provvisori saranno realizzati con materiali facilmente asportabili ed amovibili in occasione delle piene del Fiume Isarco di entità superiore a quella di riferimento adottata per il loro dimensionamento. Al fine di non peggiorare le attuali condizioni di deflusso, in caso di tracimazione tali strutture saranno progettate per cedere progressivamente durante il sormonto delle acque. Occorre ricordare che il Fiume Isarco in tale tratto è morfologicamente tendente al deposito e poco a valle delle zone di intervento comincia il rigurgito indotto dalle sottostante opera di presa di Colma a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano. In caso di cedimento arginale non si determinerebbe un effetto dam break in quanto le strutture non sono realizzate trasversalmente alla corrente, pertanto non si genererebbero picchi anomali di portata. Inoltre il materiale solido in gioco è di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello trasportabile dal corso d'acqua in caso di piena se si guarda alla potenziale capacità di trasporto solido del fiume stesso. I grandi massi utilizzati per la realizzazione delle scogliere eccedono di gran lunga il diametro stabile mobilizzabile dalla corrente per TR 2 e 30 anni, pertanto rimarrebbero immobili in un intorno ben definito delle opere. Il materiale costituente le arginature, verosimilmente ghiaia e ciottoli con opportuni fusi granulometrici, verrebbero trasportati a valle dalla corrente e si distribuirebbero uniformemente sull'intera larghezza del fiume in tutto il tratto di valle, senza inficiare i franchi idraulici presso i ponti stradali di valle. Pertanto, anche nell'eventualità che dovessero verificarsi cedimenti o sormonti delle arginature provvisorie, non sono da attendersi fenomeni tali da peggiorare la sicurezza idraulica delle aree latitanti al fiume. Secondo il PAA descritto nel capitolo 10 le aree di cantiere verranno evacuate per tempo, quindi anche sotto questo aspetto non vi sono da attendersi particolari problemi di sicurezza.

### 8.2 ARGINE PROVVISORIALE PER L'INTERCONNESSIONE BINARIO PARI

Da quanto esposto nel capitolo precedente, risulta evidente come l'arginatura provvisoria per la realizzazione dell'interconnessione del binario pari GA08 risulti inefficiente a garantire un'adeguata sicurezza per una piena marcata da tempi di ritorno di 30 anni. Posto che le simulazioni idrauliche 2D sono state condotte a fondo fisso trascurando il trasporto solido, si individuano di seguito alcune misure ritenute essenziali per limitare l'entità del rigurgito ed evitare pertanto il sormonto dell'arginatura:

- Nel tratto compreso tra le sezioni 10 e N5 verrà eseguita una riprofilatura della sponda in destra orografica del Fiume Isarco in modo da guadagnare sezione utile al deflusso della portata di piena marcata da un tempo di ritorno di 30 anni. Verranno asportati i depositi presenti all'intradosso della curva, verranno realizzate ex novo le strutture di protezione spondale e verrà eseguita una generale bonifica dell'intero tratto in sponda orografica destra. Si agirà quindi sulla scabrezza della sponda, a fronte di un leggero aumento delle velocità di flusso (che si reputa comunque non sostanziale) si determinerà una diminuzione della quota del pelo libero della corrente per una TR30 anni che contribuirà ad una generale calmierazione dell'entità del rigurgito causato dal restringimento dell'alveo indotto dalla presenza dell'opera.
- Nel medesimo tratto si determina una naturale tendenza al deposito del corso d'acqua nella zona d'alveo localizzata all'intradosso della curva. Allo stato attuale è evidente la presenza di forme di fondo imputabili al deposito del materiale trasportato in condizioni di piena. Si ritiene pertanto utile

|  |  |            |                    |           |      |          |
|--|--|------------|--------------------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |   |            |                    |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |            |                    |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:  |            | PROGETTO ESECUTIVO |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA  | GDP GEOMIN | SIFEL SIST         |           |      |          |
|  | M Ingegneria   |            |                    |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO      | CODIFICA           | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ      | RI                 | ID0000202 | B    | 32 di 46 |

provvedere ad una costante manutenzione del fondo alveo nel tratto di competenza, in modo da evitare fluttuazioni del fondo alveo che vadano a parzializzare la sezione di deflusso. Tale misura è prevista già in fase di realizzazione dell'arginatura provvisoria, in modo da abbassare e regolarizzare il fondo del Fiume Isarco guadagnando così ulteriore sezioni utile al deflusso.

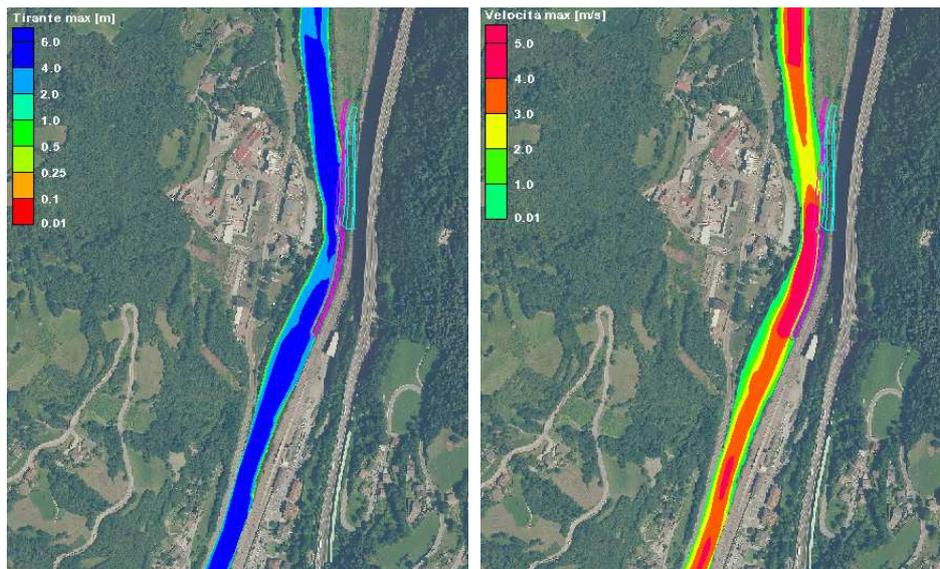


Figura 29. Tiranti e velocità di deflusso in alveo per TR30 in base alle modifiche discusse nel presente paragrafo.

Si ritiene che con tali interventi mirati e protratti per l'intera vita utile dell'opera provvisoria sia possibile mantenere la situazione sotto controllo ed evitare il sormonto delle arginature in caso di una piena marcata da TR30 anni, garantendo nel contempo un minimo franco idraulico di sicurezza. Nelle prossime fasi della progettazione tali azioni di controllo e manutenzione saranno oggetto di una più dettagliata simulazione numerica 2D al fine di caratterizzare in dettaglio le peculiarità ed il cadenzamento degli interventi necessari.

### 8.3 ARGINE PROVVISORIALE ZONA MURO 2

La zona muro 1 in un tratto prettamente rettilineo del Fiume Isarco in cui non sono attesi particolari fenomeni di scavo, data la spiccata tendenza al deposito del materiale solido. Come illustrato precedentemente la verifica idraulica per TR 2 anni è soddisfatta. Pertanto, oltre alla realizzazione a regola d'arte delle scogliere di protezione ed ad una mirata azione di manutenzione delle stesse, si ritiene opportuno prevedere unicamente l'asportazione del materiale solido che regolarmente si deposita sottospoonda su entrambi i lati del corso d'acqua prima della realizzazione delle opere. Data la non concomitanza temporale delle stesse e la vita utile di ca. 6 mesi stimata in sede di progetto, si ritiene che non ci siano interferenze sostanziali tali da determinare l'implementazione di ulteriori interventi di mitigazione del pericolo idraulico in alveo. L'opera sarà infatti realizzata a cavallo dei mesi invernali, indicativamente tra fine novembre e metà aprile, in un periodo in cui il Fiume Isarco raggiunge le magre annuali, pertanto anche la probabilità di accadimento di una piena è molto ridotta.

|  |   |  |          |           |      |          |
|--|---|--|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             |   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:   |  |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria                                    |  |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA  | LOTTO  | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU  | 1BEZZ  | RI       | ID0000202 | B    | 33 di 46 |

## 8.4 ARGINE PROVVISORIALE ZONA MURO 1

Dalla verifica modellistica effettuata dello stato di cantiere per l'argine provvisorio previsto nella zona muro 1 emerge una parziale insufficienza idraulica della struttura in relazione all'accadimento di una piena marcata da un tempo di ritorno TR 2 anni. L'argine simulato presenta infatti una quota costante al coronamento pari a 465,5 m s.l.m.. Da un punto di vista strettamente geometrico, è intuibile come, a parità di quota di coronamento, nel suo sviluppo verso monte l'alveo del Fiume Isarco tenda ad incrementare grazie alla naturale pendenza morfologica del tratto fluviale indagato. Pertanto nella metà superiore dello sviluppo planimetrico del rilevato l'altezza utile della struttura non risulta sufficiente ad impedirne lo sfioro. Si sottolinea anche che tale geometria si inserisce in una zona in cui il Fiume Isarco non risulta particolarmente largo, pertanto si innesca un fenomeno di rigurgito che amplifica tale reazione idraulica.

Si ritiene pertanto imprescindibile realizzare l'argine provvisorio imponendo al coronamento, a partire dalla quota di valle di 465,5 m s.l.m., una pendenza pari a quella dell'alveo del Fiume Isarco. In questo modo verrà garantita all'arginatura provvisoria un'altezza utile adeguata in tutto il suo sviluppo longitudinale. Tale accorgimento, che si ritornerà nelle tavole definitive del progetto esecutivo, consentirà di evitare il sormonto della struttura garantendo anche un franco residuo quantificabile in almeno 20-40 cm in tutta la lunghezza dell'opera. Alla luce di tali modifiche, la struttura può dichiararsi idraulicamente verificata.

Occorre infine ricordare che tale argine provvisorio si inserisce in un tratto prettamente rettilineo del Fiume Isarco in cui non sono attesi particolari fenomeni di scavo, data la spiccata tendenza al deposito del materiale solido, in cui il fondo dell'Isarco nella zona terminale dell'argine è condizionato dallo sbocco del torrente Gardena. Data la non concomitanza temporale delle stesse e la vita utile di ca. 6 mesi stimata in sede di progetto, si ritiene che non ci siano interferenze sostanziali tali da determinare l'implementazione di ulteriori interventi di mitigazione del pericolo idraulico in alveo. L'opera sarà infatti realizzata a cavallo dei mesi invernali, indicativamente tra fine novembre e metà aprile, in un periodo in cui il Fiume Isarco raggiunge le magre annuali, pertanto anche la probabilità di accadimento di una piena è molto ridotta.

## 8.5 ULTERIORI MISURE DI PROTEZIONE

### 8.5.1 SCAVI ATTESI

Dato che per le zone dei muri 1 e 2 il tempo di ritorno dell'evento di progetto è limitato a TR 2 anni, la configurazione del corso d'acqua è sostanzialmente rettilinea e la tendenza morfologica del corso d'acqua è nettamente di deposito, non si è effettuata una valutazione di dettaglio in relazione ai possibili scavi attesi sotto sponda. Si ritiene comunque utile consigliare di fondare le sogliere di protezione in sinistra orografica ad una profondità pari ad almeno un diametro stabile dell'opera per garantire protezione contro eventuali fenomeni di scavo localizzati al piede delle arginature.

Per quanto concerne invece l'argine provvisorio per la realizzazione dell'interconnessione binario pari, questo si inserisce in un tratto di curva del Fiume Isarco, pertanto è dato un certo rischio imputabile all'insorgenza di scavi al piede delle strutture in caso di evento alluvionale TR30 anni. Al fine di determinare la massima entità degli scavi attesi nel tratto del Fiume Isarco oggetto di studio, si è provveduto ad applicare gli approcci empirico-sperimentali dettati dal Laboratorio di Idraulica, Idrologia e Glaciologia (VAW) dell'Università ETH di Zurigo in Svizzera (Peter, 1986). Sottolineando che il tratto in oggetto presenta una curva molto poco marcata e che nel tratto di valle l'Isarco si configura come rettilineo da un punto di vista

|  |  |            |                    |           |      |          |
|--|--|------------|--------------------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |   |            |                    |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |            |                    |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:  |            | PROGETTO ESECUTIVO |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA  | GDP GEOMIN | SIFEL SIST         |           |      |          |
|  | M Ingegneria   |            |                    |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO      | CODIFICA           | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ      | RI                 | ID0000202 | B    | 34 di 46 |

prettamente morfologico, su base ortofotografica si è determinato il raggio di curvatura del corso d'acqua in relazione alla sezione di mezzaria ed alla sezione esterna della curva. Noto dalle simulazioni effettuate il tirante idrico medio sulle sezioni trasversali per TR30 anni nello stato di cantiere, la profondità dello stesso sulla trasversale è determinabile in relazione alla seguente equazione secondo quanto illustrato in Figura 30:

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

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

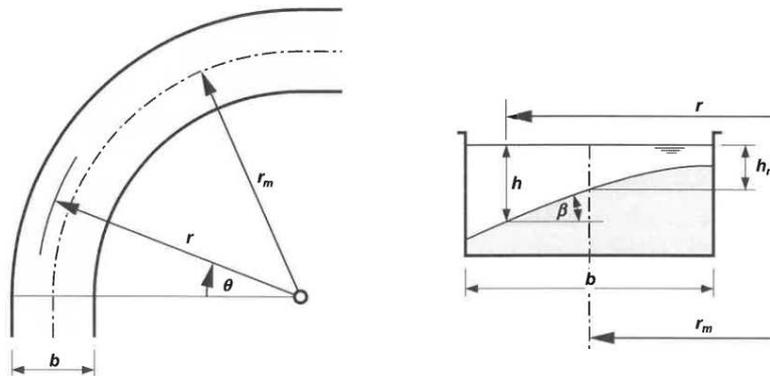


Figura 30. Rappresentazione schematica della geometria e dell'andamento del fondo alveo in una generica curva di un fiume.

Ponendo  $r = r_{max}$ , corrispondente di fatto all'estradosso della curva del Fiume Isarco nel tratto indagato, si ottiene il punto minimo raggiunto in sezione, da cui si può ricavare l'entità dello scavo massimo atteso. Per quanto concerne la determinazione dell'esponente  $K$  si fa riferimento all'approccio di Bridge (1970) che definisce tale parametro come segue:

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

indicando con  $\omega$  l'angolo di attrito del materiale costituente il letto del fondo alveo. Data la composizione fortemente ghiaiosa del letto e l'elevato grado di compattazione e colmazione riscontrato, si assume un angolo pari a  $32^\circ$ .

L'analisi di cui sopra è stata replicata nelle sezioni trasversali in cui si manifesta un'interazione tra l'opera e l'alveo inciso del Fiume Isarco. I risultati delle stime condotte sono riportate in Tabella 5. Per il calcolo è stato considerato il tirante medio e la larghezza media bagnata in ciascuna sezione risultante dalle simulazioni numeriche condotte.

| Arginatura | Entità dello scavo atteso (m) |
|------------|-------------------------------|
| Sez N1     | 1,21                          |
| Sez N2     | 1,28                          |
| Sez N3     | 1,23                          |
| 8          | 0,86                          |

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>35 di 46 |

|        |      |
|--------|------|
| Sez N4 | 0,60 |
| 7      | 0,77 |
| Sez N5 | 0,71 |

Tabella 5. Entità degli scavi attesi in orografia sinistra nel tratto in cui l'arginatura interferisce con l'alveo inciso del Fiume Isarco.

Si intuisce chiaramente come siano attesi scavi al piede della sponda orografica sinistra mediamente pari a ca. 1,00 m. Pertanto il piano di appoggio della scogliera a protezione dell'arginatura sul paramento esterno (lato Isarco) dovrà essere previsto ad una quota uguale o minore all'entità del massimo scavo atteso. Mediamente questa è localizzata a -1,5 m dall'attuale quota del fondo alveo in orografia sinistra. Non risultano invece particolari accorgimenti in sponda orografica destra.

## 8.5.2 SCOGLIERE IN MASSI CIPLOPICI

### 8.5.2.1. Premessa

Indipendentemente dallo scenario di riferimento, il paramento lato fiume di tutte le arginature in progetto verrà adeguatamente protetto con scogliere in massi ciclopici. Come suggerito dalla Committenza, si è proceduto a dimensionare il diametro stabile delle scogliere secondo due approcci, in primis in base alla classica trattazione di Shields e successivamente effettuando una verifica con formulazioni più cautelative (FHWA) rispetto alla relazione di Shields, che fornisce valori medi della tensione resistente in condizioni di moto uniforme, condizioni che spesso non sembrano essere coerenti con la realtà dei fenomeni osservati in passato.

### 8.5.2.2. Dimensionamento secondo Shields

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

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

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

- **Effetto della pendenza del fondo:** qualora la pendenza del fondo non sia nulla, nel bilancio delle forze agenti nella direzione del moto deve essere introdotto anche l'effetto della forza peso. Occorre pertanto considerare un fattore correttivo dipendente dalla pendenza del fondo  $\alpha$  e dall'angolo di attrito  $\phi$  del materiale di cui è costituito il fondo.
- **Effetto dell'inclinazione trasversale delle sponde:** nel caso di materiae giacente su sponde inclinate le forze di portanza, di galleggiamento e la forza peso danno luogo ad una componente anche nel

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IB0U  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>36 di 46 |

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 di 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:

$$\left( \frac{u_*^2}{g \Delta d} \right) = g_0 \left( \cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \phi} \right) \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_{sp}}{\sin^2 \phi}} \left[ 1 + 0,67 \frac{d}{h} \right]^{0,5}$$

A questo punto, imponendo la condizione di incipiente movimento ( $\vartheta = \vartheta_{CRITICO}$ ), si determina agevolmente il valore del diametro dei grani, noto come *diámetro 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 si è assunto un fattore di sicurezza  $c_1$  pari a 2 per i massi al piede delle scarpate ed un fattore di sicurezza  $c_2$  pari a 1,5 per i massi in scarpata.

### 8.5.2.3. Dimensionamento secondo FHWA

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

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

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

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

In cui  $S_m$  è dato dal rapporto delle tangenti dell'angolo di attrito e dell'inclinazione della sponda, S.F. è un fattore di sicurezza e  $\theta$  è l'angolo di inclinazione della sponda.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>37 di 46 |

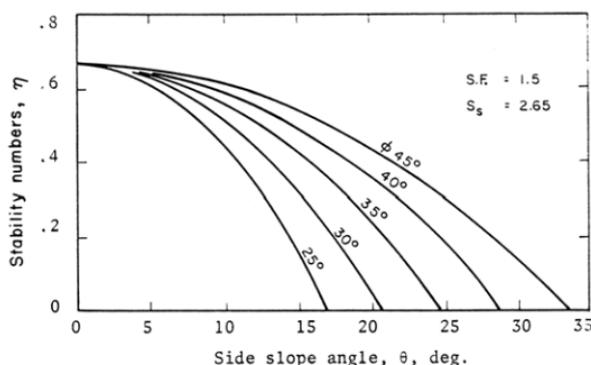


Figura 31. Valore del coefficiente di stabilità in funzione del coefficiente SF (assunto nel grafico pari a 1,5) (FHWA, 2011).

#### 8.5.2.4. 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 TR30 è pari a 310 Pa al piede della struttura prevista per l'interconnessione binario pari GA08, a 190,5 Pa al piede del "muro 2" ed a 252,54 Pa al piede del "muro 1". Nella seguente tabella sono riportati i risultati dei dimensionamenti eseguiti 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, che sono stati opportunamente corretti con alcuni fattori di sicurezza.

| Arginatura                         |             | TRATTAZIONE | TRATTAZIONE | SCELTA PROGETTUALE |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
|                                    |             | SHIELDS     | FHWA        |                    |
|                                    |             | (m)         | (m)         | (m)                |
| Interconnessione binario pari GA08 | in scarpata | 0,90        | 0,79        | 0,90               |
|                                    | al piede    | 1,20        | 1,07        | 1,20               |
| Zona muro 2                        | in scarpata | 0,65        | 0,49        | 0,70               |
|                                    | al piede    | 0,74        | 0,66        | 0,80               |
| Zona muro 1                        | in scarpata | 0,73        | 0,65        | 0,80               |
|                                    | al piede    | 0,97        | 0,87        | 1,00               |

Tabella 6. Diametri stabili delle scogliere in scarpata ed al piede per le opere provvisorie trattate.

Cautelativamente si è scelto di assumere come diametro di progetto il massimo derivante dalle due trattazioni, arrotondato al diametro commerciale più prossimo. Come precedentemente sottolineato, il piano di posa delle scogliere dovrà essere previsto al di sotto del massimo scavo atteso, si vedano a tal proposito le indicazioni fornite in Tabella 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>Mandatario:</b><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <b>Mandanti:</b><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>38 di 46 |

## 9. COMPATIBILITA' IDRAULICA

Per l'analisi di compatibilità degli interventi provvisionali trattati nel presente documenti si è fatto in primis riferimento ai Piani delle Zone di Pericolo approvati per i Comuni di Ponte Gardena, Barbiano e Laion. Un estratto della pianificazione vigente è fornita in Figura 32. Secondo tali strumenti vincolistici, allo stato non sono attese esondazioni né in destra che in sinistra orografica in tutto il tratto oggetto di studio. In base alle tutte le elaborazione svolte, anche nello stato di cantieri, nonostante i problemi legati alla sicurezza delle opere, non si determinano esondazioni nelle aree perifluviali. Pertanto, in base ai dettami della legislazione vigente di cui al D.P.P. 23/2019, gli interventi proposti risultano compatibili.

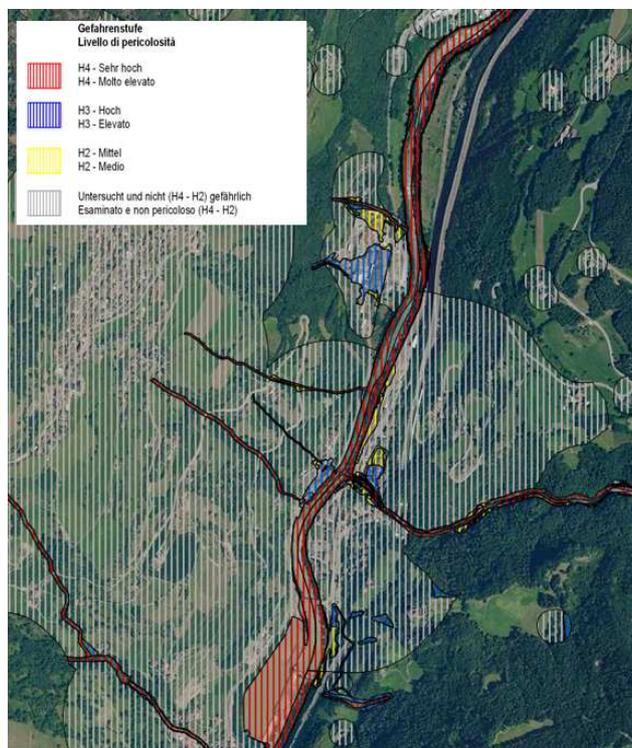


Figura 32. Estratto dei Piani delle Zone di Pericolo dei Comuni di Ponte Gardena, Laion e Barbiano (fonte: Hazardbroswer, Provincia Autonoma di Bolzano).

Occorre altresì specificare che, rispetto a quanto fatto per i PZP prima citati, lo studio idraulico di cui al presente documento è stato condotto con una maggiore accuratezza, sia topografica che numerica. Pertanto si ritiene utile procedere all'analisi dell'invarianza idraulica attraverso un mero confronto delle risultanze numeriche derivanti dall'analisi dello stato attuale e dello 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:   | <u>Mandatario:</u><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>39 di 46 |

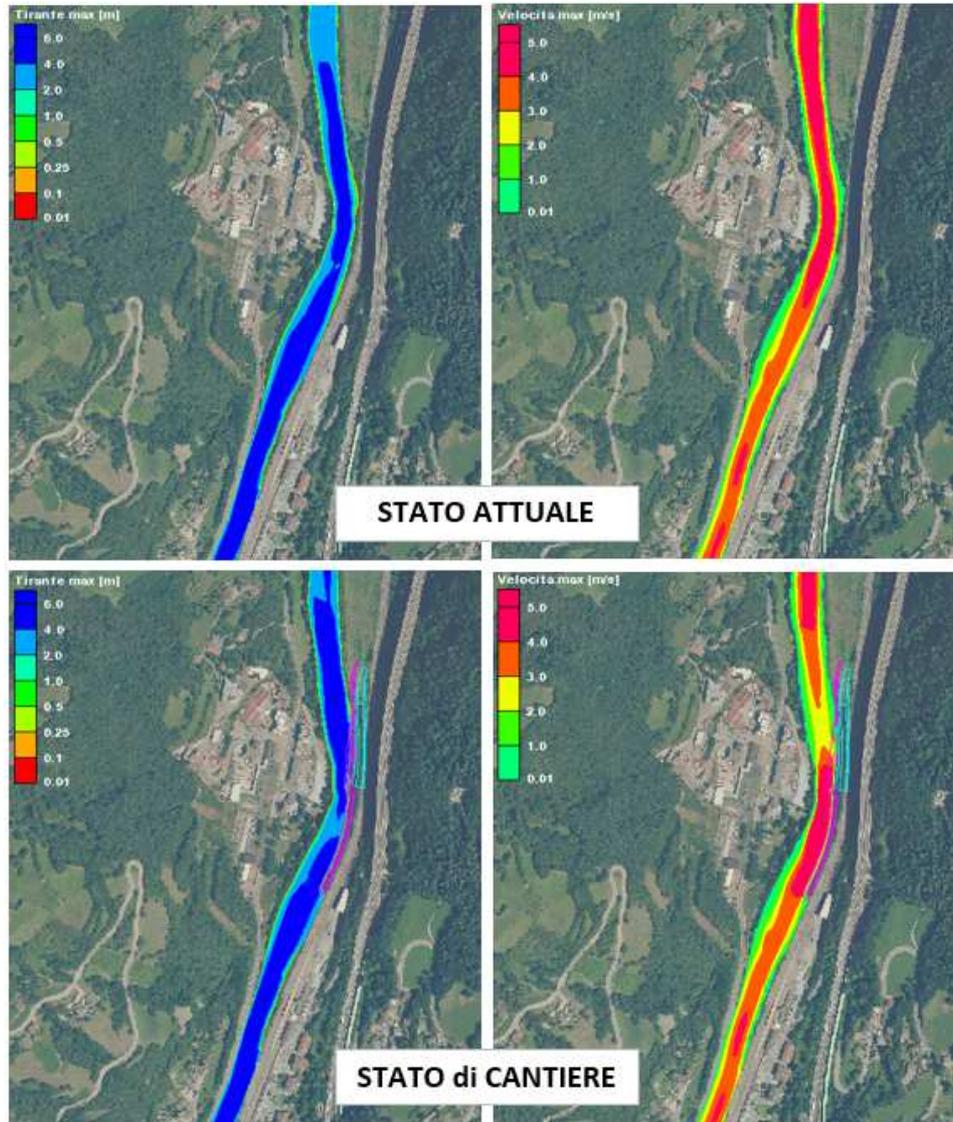


Figura 33. Confronto tra i tiranti e le velocità di flusso nello stato attuale e nello stato di cantiere per TR30 anni ai sensi delle simulazioni condotte nella presente indagine.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>40 di 46 |

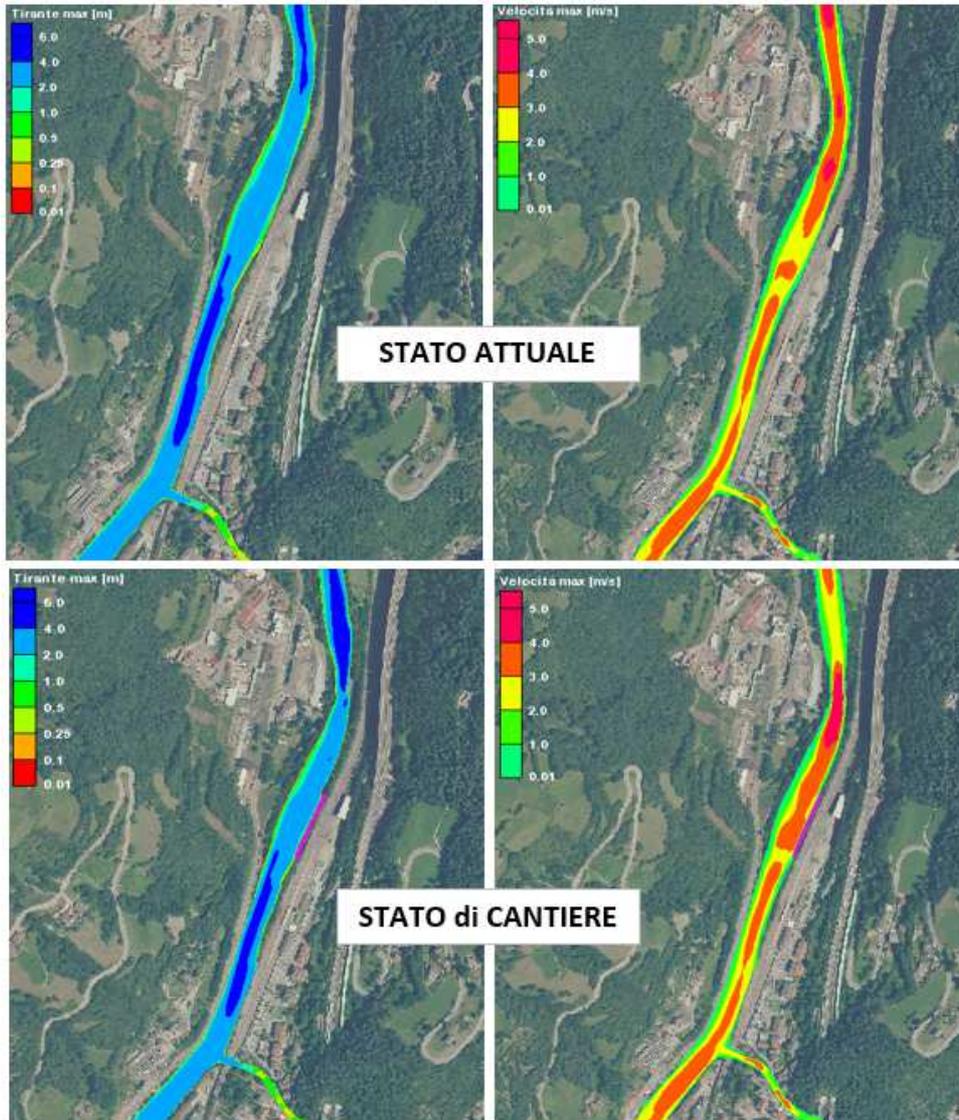


Figura 34. Confronto tra i tiranti e le velocità di flusso nello stato attuale e nello stato di cantiere per TR2 anni per il muro 2 ai sensi delle simulazioni condotte nella presente indagine.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| 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><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <u>Mandanti:</u><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>41 di 46 |

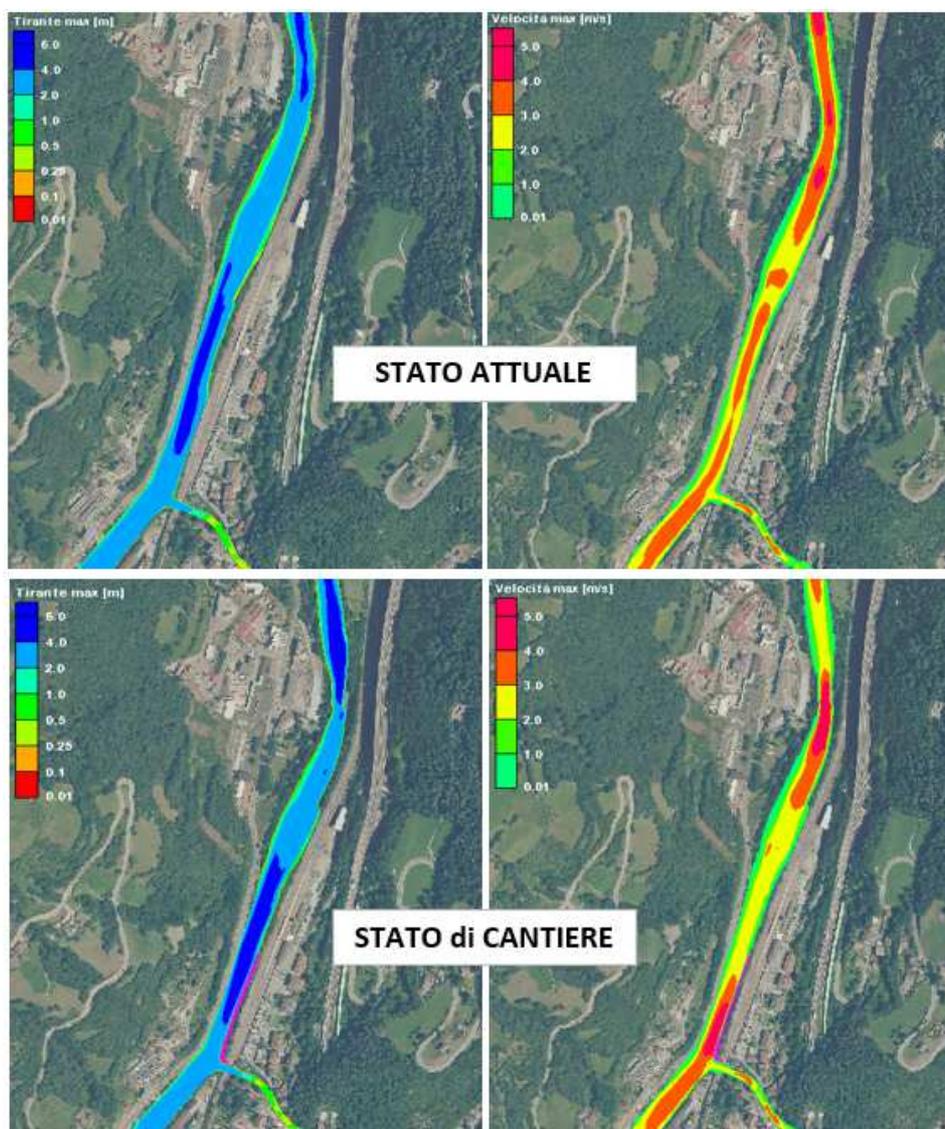


Figura 35. Confronto tra i tiranti e le velocità di flusso nello stato attuale e nello stato di cantiere per TR2 anni per il muro 1 ai sensi delle simulazioni condotte nella presente indagine.

Dall'analisi e dal confronto dei dati di cui sopra si evince quanto segue:

- Nello stato di cantiere non si verifica una alterazione delle aree alluvionate nelle zone perifluviali rispetto allo stato attuale. Vi è un lieve peggioramento in orografica sinistra nei pressi nel tratto iniziale dell'argine per la realizzazione dell'interconnessione pari GA08, ma tali variazioni sono limitate ad uno stretto intorno delle aree che ospiteranno l'opera e non influiscono direttamente sulla linea ferroviaria esistente;
- I rigurgiti prodotti dalla realizzazione delle arginature determinano, soprattutto per l'argine provvisorio per la realizzazione dell'interconnessione pari GA08, un aumento dei tiranti in alveo. Nonostante questo, le quote della superficie libera in tutto il tratto di analisi rimangono confinate

|  |   |                       |                       |                               |                  |                            |
|--|---|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------|
| APPALTATORE:                                  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI<br/> REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA<br/> LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA<br/> TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                       |                       |                               |                  |                            |
| PROGETTAZIONE:<br>Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b><br>Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b> | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>   |                       |                       |                               |                  |                            |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere   | COMMESSA<br><b>IBOU</b>   | LOTTO<br><b>1BEZZ</b> | CODIFICA<br><b>RI</b> | DOCUMENTO<br><b>ID0000202</b> | REV.<br><b>B</b> | FOGLIO.<br><b>42 di 46</b> |

entro i cigli arginali esistenti e non si verificano esondazioni. Si verifica esclusivamente una diminuzione dei franchi di sicurezza, quantificabile al minimo a qualche decina di centimetri nelle sezioni maggiormente influenzate dalla presenza delle opere. Alla luce di questi risultati, nella fase di cantiere diventa prioritario rispettare un periodico cadenzamento di interventi di manutenzione in alveo, sgonnberando eventuali depositi nelle zone di rigurgito e monitorando attentamente i tratti in cui è atteso un aumento dela velocità di flusso.

- Tutti gli interventi sono previsti a monte della confluenza del Rio Gardena (I) mentre tutti i ponti stradali esistenti sono localizzati a valle, in una zona che è interessata unicamente dal rigurgito causato dalla presenza dello sbarramento trasversale a servizio dell’impianto idroelettrico di Ponte Gardena. Pertanto la situazione idraulica presso i ponti esistenti non risente minimamente dell’influenza delle opere previste allo stato di cantiere.

Si intuisce quindi come le opere provvisionali previste in alveo non vada ad interferire in modo sostanziale con le zone di pericolo ad oggi vigenti, non causino di fatto una variazione sostanziale dello stato attuale per le aree perfluviali, non determinino rischi maggiori per terzi e non vi siano da attendersi danni potenziali particolari. Ai sensi dell’Art. 11 del D.P.P. 23/2019 tutte le opere provvisionali in progetto sono pertanto compatibili da un punto di vista idraulico, previa implementazione di tutte le misure già discusse nel capitolo 8 del presente documento.

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | Mandatario: SWS Engineering S.p.A.  | Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>43 di 46 |

## 10. PREDISPOSIZIONE DI UN SISTEMA DI ALLERTA E ALLARME

Al fine di garantire un'elevata sicurezza durante le fasi di realizzazione delle opere in alveo, verrà predisposto un Piano di Allerta ed Allarme (PAA) in stretta collaborazione con l'Agencia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano, in modo da garantire l'interruzione preventiva e temporanea delle lavorazioni nel caso di accadimento di piene lungo il Fiume Isarco ed il Rio Gardena marcate da intensità ed entità superiore di quelle considerate per il dimensionamento delle opere provvisionali.

Come riportato nella Relazione Idrologica generale (cfr. IB0U1BEZZRIID0000001B) per quanto concerne il monitoraggio dei principali corsi d'acqua che afferiscono alle aree di cantiere, si sottolinea che nella Rete di Monitoraggio della Provincia Autonoma di Bolzano sono inclusi tre idrometri lungo il Fiume Isarco ed uno lungo il Rio Gardena (cerchi rossi in Figura 36). Inoltre ogni asta fluviale è sfruttata per la produzione idroelettrica, pertanto sono presenti diverse dighe e traverse fluviali sia sull'asta principale del Fiume Isarco che lungo la Rienza a monte di Rio Pusteria che lungo il Rio Gardena a Pontives (cerchi blu in Figura 36).

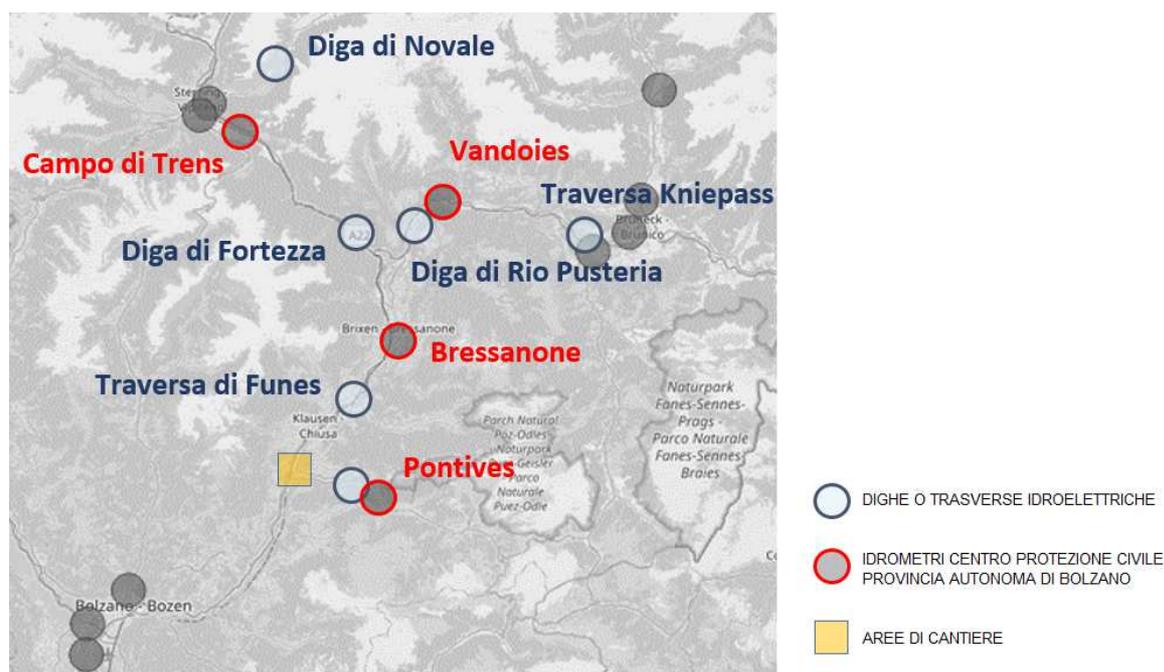


Figura 36. Stazioni idrometriche e opere di presa idroelettriche utili ad inquadrare il regime dei deflussi lungo Rienza, Isarco e Rio Gardena nelle aree oggetto di intervento.

Si sottolinea che le attuali installazioni risulta strategiche per la gestione delle aree di cantiere in caso di allarme meteorologico. Infatti:

- L'idrometro di Pontives dista ca. 8 Km dal fondovalle di Ponte Gardena. Ipotizzando realisticamente una velocità delle onde di piena dell'ordine di 4 m/s, nel momento in cui il picco di una piena dovesse transitare per la sezioni strumentata di monte si avrebbero ca. 0,5 h a valle per evacuare preventivamente le aree di cantiere;
- L'idrometro di Bressanone è sito ca. 16 Km a monte della confluenza con il Rio Gardena, si intuisce come in questo caso il tempo di allertamento delle aree di cantiere sia sicuramente superiore ai 30 minuti;

|  |  |                           |          |           |      |          |
|--|--|---------------------------|----------|-----------|------|----------|
| APPALTATORE:                               |   |                           |          |           |      |          |
| PROGETTAZIONE:                             | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |          |           |      |          |
| Mandatario:                                | Mandanti:  | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |          |           |      |          |
| SWS Engineering S.p.A.                     | PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   |                           |          |           |      |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>         | COMMESSA   | LOTTO                     | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |
| Relazione idraulica delle fasi di cantiere | IBOU   | 1BEZZ                     | RI       | ID0000202 | B    | 44 di 46 |

- Ai sensi di ciascun Foglio Condizioni, redatto nell’ambito del rilascio delle concessioni a derivare, per ciascuna traversa idroelettrica sono fissate delle soglie di portata oltre le quali il Gestore dovrà provvederà ad abbassare i livelli di invaso e/o a rendere completamente trasparente l’impianto alla corrente. Queste operazioni vengono gestite in stretta collaborazione con la Centrale Operative della Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano;
- Tutte le opere di presa idroelettriche, siano esse traverse o dighe, sono costantemente monitorate dal Gestore che trasmette in tempo reale i dati registrati di portata e di livello di invaso alla Centrale Operativa di Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano.

Si ritiene pertanto che le condizioni idrauliche al contorno delle aree di cantiere siano tali e perfettamente monitorate da non richiedere l’installazione di ulteriori stazioni idrometriche lungo le aste del Fiume Isarco e del Rio Gardena a monte delle zone di intervento. Nell’ambito del citato PAA sarà pertanto approntato un sistema di allerta ed allarme in stretta collaborazione con il Centro di Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano agganciato alla rete di comunicazione e trasmissione dati provinciale.

Il PAA prevedrà l’organizzazione delle potenziali situazioni critiche di cantiere in quattro fasi distinte, che vengono descritte di seguito:

1. In seguito alla ricezione di un avviso meteo e/o di criticità e/o dopo il raggiungimento del livello idrometrico di attenzione presso uno o più idrometri si attiverà una **fase di attenzione**, in cui verrà dato avvio al controllo preventivo dell’evoluzione della situazione meteorologica e verranno controllati saltuariamente i dati idro-pluviometrici disponibili;
2. Qualora si determini un superamento significativo dei livelli di attenzione verrà attivata una **fase di pre-allarme**. Si attiverà pertanto un presidio idraulico stabile presso tutte le aree di cantiere, verranno avviate tutte le funzionalità della Centrale Operativa di Sorveglianza Idraulica di cantiere e verrà avviato un servizio di sorveglianza delle arginature provvisionali e di tutti i manufatti idraulici presenti in alveo. In questa fase si avvierà anche la collaborazione con il Centro di Protezione Civile provinciale;
3. Qualora di verificasse il superamento dei livelli indicativi di preallarme, verrà attivata la **fase di allarme**. Verrà intensificato il presidio territoriale idraulico, verranno intensificate le attività di sorveglianza delle arginature, verranno evacuate tutte le aree di cantiere potenzialmente a rischio e si predisporranno eventuali interventi di contenimento;
4. In caso di superamento dei franchi arginali provvisionali, si determinerà una **fase di crisi**, in cui saranno allestiti interventi di contenimento delle acque, eventuali interventi di somma urgenza, azioni a tutela di eventuali operatori che dovessero ancora trovarsi nelle aree di cantiere sulla scorta delle più comuni prescrizioni del Piano di Protezione Civile.

Nell’area principale di cantiere verrà predisposta una apposta centrale operativa di sorveglianza idraulica, che funga da centro nevralgico delle operazioni di monitoraggio e di evacuazione delle aree di cantiere qualora necessario. In questa sarà installata una stazione informatizzata con opportuno PLC in grado di ricevere e registrare tutte le comunicazioni provenienti dalla Centrale Operativa della Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano e di visualizzare i dati della relativa rete di monitoraggio. La raccolta e la gestione dei dati saranno garantiti a prescindere dalla velocità e dalle intensità con cui gli eventi si manifesteranno, grazie alla ridondanza dei sistemi trasmissivi di cui è dotata la Rete di Monitoraggio della Provincia Autonoma di Bolzano, a cui la centrale di cantiere sarà costantemente collegata. La stazione

| APPALTATORE:                                  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI<br/>         REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA<br/>         LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA<br/>         TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b><br><br><b>PROGETTO ESECUTIVO</b>  |          |           |      |          |  |          |       |          |           |      |         |      |       |    |           |   |          |
|--|---|----------|-----------|------|----------|--|----------|-------|----------|-----------|------|---------|------|-------|----|-----------|---|----------|
| PROGETTAZIONE:<br><u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.<br><u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IBOU</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0000202</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">45 di 46</td> </tr> </tbody> </table> |          |           |      |          |  | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO. | IBOU | 1BEZZ | RI | ID0000202 | B | 45 di 46 |
| COMMESSA   | LOTTO   | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO.  |  |          |       |          |           |      |         |      |       |    |           |   |          |
| IBOU   | 1BEZZ   | RI       | ID0000202 | B    | 45 di 46 |  |          |       |          |           |      |         |      |       |    |           |   |          |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere   |   |          |           |      |          |  |          |       |          |           |      |         |      |       |    |           |   |          |

informatizzata di monitoraggio sarà progettata per acquisire principalmente dati di livello idrometrico e per generare dei messaggi SMS di pre-allarme e allarme al superamento delle soglie preimpostate presso i nodi della Rete di Monitoraggio provinciale ai sensi del Piano di Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano. Si avvierà inoltre anche una comunicazione strategica con i Gestori delle centrali idroelettriche presenti lungo le aste fluviali interessate in modo da acquisire anche gli eventuali messaggi di allerta ed allarme relativi alla opere idroelettriche. Tutti i dati saranno implementati per poter essere rappresentati su una pagina web in formato sinottico, grafico e tabellare, sempre accessibile con username e password da PC, tablet o smartphone e di facile consultazione. Tutta la logica di funzionamento da un apposito datalogger in grado di visualizzare, acquisire, memorizzare e trasmettere i dati a distanza via GPRS. Il sistema disporrà inoltre di una serie di comandi attivabili da tastiera per modificare le modalità di visualizzazione o di configurazione dello schermo. Si sottolinea che, qualora l'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia di Bolzano lo ritenesse necessario, il datalogger si potrà eventualmente interfacciare anche anche sensori meteorologici già dislocati sul territorio (es. termoigrometri, anemometri, pluviometri). Tutti i dati verranno memorizzati in formato testo standard (CSV format) compatibile con Excel, database e con i più comuni software disponibili in commercio.

Come anticipato inizialmente, il PAA dovrà essere necessariamente definito di concerto con il Centro di Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano, attivando un tavolo di concertazione anche con i Comuni interessati (Ponte Gardena, Laion e Barbiano) e con il Gestore dell'opera di presa a servizio dell'impianto idroelettrico di Cardano (ALPERIA S.p.a.).

|  |   |  |                           |                        |           |                     |
|--|---|--|---------------------------|------------------------|-----------|---------------------|
| APPALTATORE:   |  | <b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b> |                           |                        |           |                     |
| PROGETTAZIONE:   | <b>Mandatario:</b><br>SWS Engineering S.p.A.                                      | <b>Mandanti:</b><br>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria   | <b>PROGETTO ESECUTIVO</b> |                        |           |                     |
| <b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b><br>Relazione idraulica delle fasi di cantiere | COMMESSA<br>IBOU  | LOTTO<br>1BEZZ   | CODIFICA<br>RI            | DOCUMENTO<br>ID0000202 | REV.<br>B | FOGLIO.<br>46 di 46 |

## 11. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

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

Distretto delle Alpi Orientali. *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. Flood Risk Management Plan*. (2016).

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

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

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

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

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

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