

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO
Doct. PAOLO CUCINO
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

PROGETTO ESECUTIVO

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

RELAZIONE

09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA

A-IDROLOGIA ED IDRAULICA

IDROLOGIA E IDRAULICA DEPOSITI

Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. Pietro Gianvecchio 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R I	I D 0 0 0 0	3 0 1	C

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

File: IB0U1BEZZRIID0000301C.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 2 di 50

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. SINTESI DEI PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3. PRECEDENTI STUDI NELL'AREA DI INTERESSE	6
4. APPROCCIO METODOLOGICO	7
5. STUDIO IDROLOGICO	8
5.1 DATI DISPONIBILI E STUDI PREGRESSI.....	8
5.2 REGIONALIZZAZIONE DELLE PORTATE	10
5.3 IL FIUME ISARCO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA DI PROGETTO	11
6. STUDIO IDRAULICO	14
6.1 PREMESSA	14
6.2 SIMULAZIONI BIDIMENSIONALI	14
6.2.1 Dati di base topografici	14
6.2.2 Mesh di progetto.....	14
6.2.3 Codice di calcolo.....	15
6.2.4 Condizioni al contorno e regime delle scabrezze.....	17
7. RISULTATI	19
7.1 DEPOSITO UNTERPLATTNER.....	19
7.2 DEPOSITO HINTERRIGGER.....	25
7.2.1 Descrizione dello stato attuale.....	25
7.2.2 Risultati delle simulazioni.....	26
8. COERENZA DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CONDOTTE ALLO STATO ATTUALE	34
9. STATO DI PROGETTO	36
9.1 PREMESSA	36
9.2 DEPOSITO HINTERRIGGER.....	36
9.2.1 Evidenze modellistiche.....	36
9.2.2 Dimensionamento delle scogliere della nuova barriera	42
10. COMPATIBILITA' IDRAULICA	46
10.1 COERENZA CON IL D.P.P. 23/2019	46
10.1.1 Premessa	46

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 3 di 50

10.1.2	Deposito Hinterrigger.....	46
10.1.3	Conclusioni	48
10.2	P.G.R.A.....	48
11.	BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE	50

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandataria:	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 idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	4 di 50

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 idrologico e idraulico condotto lungo il Fiume Isarco tra gli abitati di Fortezza e Novacella con particolare riferimento alle interazioni tra il noto corso d'acqua di fondovalle ed i depositi delle aree Hinterrigger e Unterplattner.

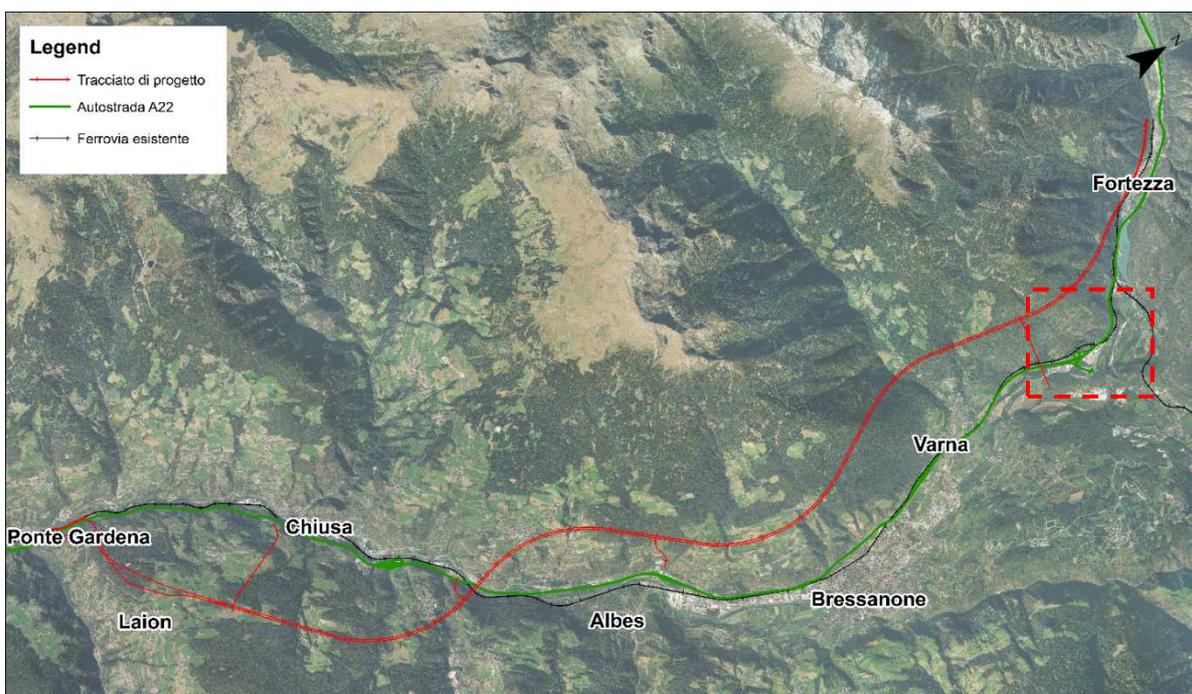


Figura 1. Corografia del tracciato di progetto con localizzazione dell'area oggetto del presente studio.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 5 di 50

Per la determinazione delle portate di piena di progetto nelle sezioni interessate dai depositi si è fatto riferimento ai valori delle portate al colmo di piena utilizzati nell'ambito del Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss" - ARE, 2010), 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. Tali valori sono stati recepiti anche nei Piani delle Zone di Pericolo dei Comuni di Naz Sciaves, Varna e Bressanone.

Lo studio idraulico qui presentato è articolato nelle seguenti fasi:

- Perimetrazione dei bacini imbriferi del Fiume Isarco a monte di Novacella in località Val di Riga, 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 della Val di Riga (BZ) a valle della diga di Fortezza;
- Modellazioni idrauliche bidimensionali sulla scorta della topografia e dei rilievi disponibili considerando la topografia delle aree perfluviali interessate al 2021 sulla scorta dei recenti voli Lidar disponibili;
- Verifica delle aree interessate dal transito delle portate di piena e plausibilizzazione dei risultati del calcolo eseguito sulla scorta delle zonazioni disponibili redatte nell'ambito del citato Piano dell'Area Fluviale e dei Piani delle Zone di Pericolo esistenti, approvato o in fase di elaborazione;
- Analisi delle criticità idrauliche e definizione di idonee misure di protezione e mitigazione idraulica con valutazione delle compatibilità idrauliche delle stesse ai sensi del D.P.P. 23/2019.

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:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	6 di 50

3. PRECEDENTI STUDI NELL'AREA DI INTERESSE

Al fine di garantire opportuna tracciabilità di tutte le argomentazioni trattate nel presente documento, si ritiene utile ripercorrere brevemente tutti gli studio a cui si è fatto riferimento per la redazione del presente studio.

- Studio del GNDCI relativo all'analisi delle piogge estreme nell'Italia Nord-Orientale (Villi V. 1994);
- Studio del GNDCI relativo all'analisi regionale delle piene (Villi V., 1994 e 2001);
- Studi condotti dall'Autorità di Bacino del Fiume Adige, nell'ambito di stesura del PAI (Piano Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico Bacino dell'Adige, Regione Veneto Adottato dal Comitato Istituzionale con delibera n. 1/2012 del 9 novembre 2012) e degli studi connessi alla attività istituzionale;
- Associazione italiana di Idronomia, Provincia Autonoma di Bolzano, Azienda Speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo. Analisi del regime delle piogge intense per la Provincia Autonoma di Bolzano, Relazione Tecnica Scientifica (maggio 2003);
- Associazione Italiana di Idronomia, Provincia Autonoma di Bolzano, Azienda Speciale per la regolazione dei corsi d'acqua e la difesa del suolo. Linee guida per il calcolo della portata di progetto. Definizione e progettazione dell'ambiente di lavoro (maggio 2003);
- Associazione Italiana di Idronomia, Analisi del Regime delle Piogge Intense per la Provincia Autonoma di Bolzano, Provincia Autonoma di Bolzano, Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo (2013/2017);
- Università degli Studi di Padova, Procedura di calcolo dell'idrogramma di piena a frequenza di superamento assegnata per il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano (2015);
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Bressanone (PPS Group, 2020);
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Fortezza (hydro's, 2019);
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Varna (Passer & Partner, 2019);
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Naz Sciaves (in.ge.na, 2011);
- Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss" - ARE, 2010).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 7 di 50

4. APPROCCIO METODOLOGICO

Al fine di effettuare tutte le verifiche idrologiche ed idrauliche di dettaglio per identificare le interferenze con le aree di deposito Hinterrigger e Unterplattner e procedere all'individuazione delle più idonee misure di protezione e mitigazione idraulica, si è proceduto come segue per step successivi:

- **Studio idrologico**, effettuando un'attenta analisi di plausibilità di tutte le forzanti di sistema, sulla scorta di consolidate metodologie di regionalizzazione considerando i numerosi studi idrologici disponibili per il Fiume Isarco;
- Analisi e strutturazione del **dataset topografico** disponibile, verificando l'accuratezza e la plausibilità dei dati disponibili per procedere alla costruzione di una dettagliata mesh di calcolo propedeutica per l'implementazione delle simulazioni numeriche 2D per i tempi di ritorno di progetto.
- **Studio idraulico**, elaborato sulla scorta delle evidenze del Progetto Esecutivo, implementando tutte le caratteristiche geometriche e dimensionali di tutti i depositi nella mesh di calcolo ed effettuando tutte le simulazioni numeriche 2D a fondo fisso per lo studio dello stato attuale e di progetto;
- Dopo un'attenta fase di plausibilizzazione dei risultati e di verifica delle possibili criticità idrauliche, si è provveduto ad estrarre i valori di tutti i parametri idraulici (WSE, velocità di flusso, sforzi tangenziali al fondo e sulle sponde) utili per la definizione di **misure di mitigazione e di protezione idraulica**, che sono state adeguatamente dimensionate e verificate da un punto di vista idraulico anche in termini di compatibilità idraulica degli interventi stessi.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
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 idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	8 di 50

5. STUDIO IDROLOGICO

5.1 DATI DISPONIBILI E STUDI PREGRESSI

Senza procedere ad uno studio idrologico di nuova fattura, si è proceduto per quanto concerne il Fiume Isarco a verificare la plausibilità dell'idrologia di piena utilizzata nell'ambito degli studi ad oggi disponibili. Per quanto concerne il tratto compreso tra la diga di Fortezza ed il borgo di Novacella si citano ad esempio:

- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Naz Sciaves (BZ), in vigore e modificato con Deliberazione della Giunta Comunale Nr. 327/2018, Delibera consiliare Nr. 7 del 31.014.2019 e Deliberazione della Giunta Provinciale Nr. 304 del 16/04/2019;
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Fortezza (BZ), la cui Proposta di Piano è stata approvata con Delibera del Consiglio Comunale Nr. 8 del 29.03.2021
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Varna (BZ), attualmente in elaborazione e non ancora approvato ufficialmente;
- Piano Area Fluviale della Media Valle Isarco – Progetto "CittàPaeseFiume" promosso dall'allora Rip. 30 Opere Idrauliche (oggi Agenzia per la Protezione Civile) della Provincia di Bolzano e sviluppato tra il 2009 ed il 2011.

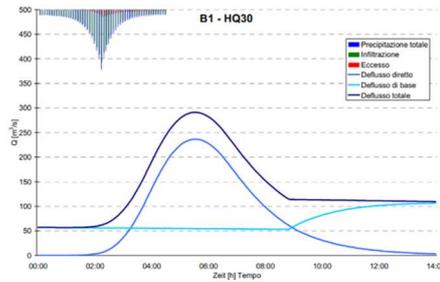
Di particolare interesse per il Fiume Isarco nel tratto di studio è il Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss"), sul quale si basano sostanzialmente tutti gli studi successivi. L'iniziativa "CittàPaeseFiume – Area Fluviale Media Val d'Isarco" è stata promossa nell'ambito del programma UE "Competitività Regionale ed Occupazione FESR 2007 – 2013" con un piano di gestione dei bacini idrografici con lo scopo di garantire una buona condizione ecologica delle acque nella Media Val d'Isarco, progettare un bacino fluviale come area ricreativa ed allo stesso tempo ridurre i rischi legati alle alluvioni per le persone, la natura e l'economia. Nell'ambito di tale studio il Fiume Isarco è stato indagato con elevato grado di dettaglio, le portate di piena sono state definite con un accurato modello afflussi deflussi e la taratura è stata effettuata anche sulla scorta dei dati idrometrici registrati dalle stazioni presenti. Si è inoltre tenuto conto della presenza a monte delle dighe di Fortezza e Rio Pusteria, a servizio dell'impianto idroelettrico di Bressanone. Per il dettaglio tecnico delle valutazioni effettuate si rimanda alla Relazione Tecnica del Modulo Pericoli Idraulici del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco (versione 30.04.2010). Il nodo idraulico del Fiume Isarco più vicino all'area di studio era rappresentato dal nodo B1 in prossimità della diga a servizio dell'invaso di Fortezza e dell'impianto idroelettrico di Bressanone, che sottende un'area pari a 662 Km². Occorre sottolineare che i Piani delle Zone di Pericolo dei Comuni di Varna, Naz Sciaves e Bressanone recepiscono integralmente quanto riportato nel Piano dell'Area Fluviale citato. Occorre sottolineare che nell'ambito di tale studio è stata valutata la massima capacità di laminazione dell'invaso di Fortezza, arrivando alla conclusione che vi è da attendersi una laminazione seppur minima esclusivamente per un evento influente di piena marcato da tempi di ritorno di 30 anni. Per tempi di ritorno maggiori la laminazione indotta dall'invaso è pressochè trascurabile. Le portate di piena alla diga di Fortezza sono indicate di seguito.

	Q T=30 [m ³ /s]	Q T=100 [m ³ /s]	Q T=200 [m ³ /s]	Q T=300 [m ³ /s]
Isarco alla diga di Fortezza	291	366	411	436

Tabella 1. Portate di piena del Fiume Isarco presso la diga di Fortezza (BZ).

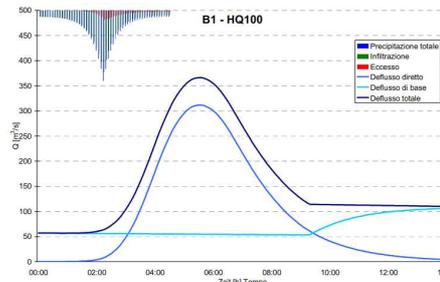
APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 9 di 50

Di seguito sono riportati i dati sui deflussi di piena e gli idrogrammi caratteristici del Fiume Isarco alla sezione di chiusura della diga di Fortezza (nodo B1) ai sensi del citato Piano dell'Area Fluviale.



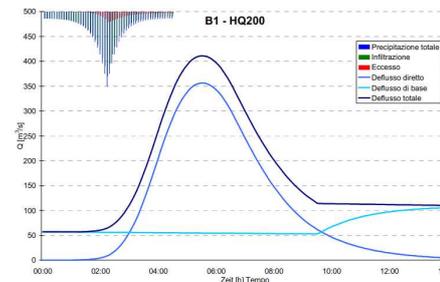
Parametro	Valore
Superf. bacino imbrifero	662 km ²
Somma precipitazioni	48,64 mm
Perdita da infiltrazione	43,13 mm
Contrib. deflusso diretto	5,51 mm
Deflusso diretto	3,65 x 10 ⁶ m ³
Deflusso di base	15,24 x 10 ⁶ m ³
Deflusso totale	18,89 x 10 ⁶ m ³
HQ30	291 m ³ /s

Figura 2. Idrogrammi e deflussi di piena alla diga di Fortezza per un TR di 30 anni lungo il Fiume Isarco.



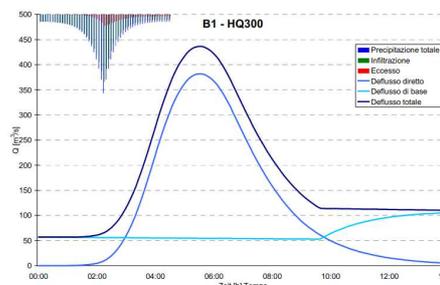
Parametro	Valore
Superf. bacino imbrifero	662 km ²
Somma precipitazioni	56,33 mm
Perdita da infiltrazione	49,07 mm
Contrib. deflusso diretto	7,26 mm
Deflusso diretto	4,81 x 10 ⁶ m ³
Deflusso di base	15,19 x 10 ⁶ m ³
Deflusso totale	19,99 x 10 ⁶ m ³
HQ100	366 m ³ /s

Figura 3. Idrogrammi e deflussi di piena alla diga di Fortezza per un TR di 100 anni lungo il Fiume Isarco.



Parametro	Valore
Superf. bacino imbrifero	662 km ²
Somma precipitazioni	60,53 mm
Perdita da infiltrazione	52,23 mm
Contrib. deflusso diretto	8,30 mm
Deflusso diretto	5,50 x 10 ⁶ m ³
Deflusso di base	15,16 x 10 ⁶ m ³
Deflusso totale	20,66 x 10 ⁶ m ³
HQ200	411 m ³ /s

Figura 4. Idrogrammi e deflussi di piena alla diga di Fortezza per un TR di 200 anni lungo il Fiume Isarco.



Parametro	Valore
Superf. bacino imbrifero	662 km ²
Somma precipitazioni	62,81 mm
Perdita da infiltrazione	53,92 mm
Contrib. deflusso diretto	8,89 mm
Deflusso diretto	5,89 x 10 ⁶ m ³
Deflusso di base	15,15 x 10 ⁶ m ³
Deflusso totale	21,04 x 10 ⁶ m ³
HQ300	436 m ³ /s

Figura 5. Idrogrammi e deflussi di piena alla diga di Fortezza per un TR di 300 anni lungo il Fiume Isarco.

Considerando il fatto che il bacino imbrifero sotteso presso il deposito Hinterrigger ammonta a ca. 671 Km² i valori dei picchi di piena e gli idrogrammi sopra riportati possono essere considerati rappresentativi anche

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 10 di 50

per l'area di progetto di cui al presente documento. Si trascura cautelativamente la laminazione indotta per la piena marcata da tempi di ritorno di 30 anni.

5.2 REGIONALIZZAZIONE DELLE PORTATE

Per lo studio dell'idrologia di piena dei grandi fiumi di pianura in Provincia di Bolzano è stata in passato molto utilizzata la regionalizzazione presentata da Villi e Bacchi (2001) nell'ambito del progetto VAPI. Senza scendere nel dettaglio tecnico, si ricorda brevemente come in generale i metodi di regionalizzazione prevedono il calcolo di una portata indice tramite la quale stimare la portata di progetto attraverso la definizione di un fattore di crescita. Secondo l'approccio del Villi, la portata indice è così esprimibile:

$$q_i = a \cdot A^b$$

dove q_i è la portata indice, A rappresenta l'area del bacino (km^2), a e b sono dei parametri della regionalizzazione che dipendono dalle caratteristiche geografiche e morfometriche del bacino di studio. Pertanto, secondo le indicazioni del Villi, si ricava la seguente portata di progetto come:

$$q_p = q_i \cdot K_T$$

in cui q_p è la portata di progetto e K_T un fattore probabilistico di crescita.

BACINO	Sottobacini	Relazione interpolare	Limiti di validità
ADIGE	Alto bacino fino a Tel e Rienza fino alla confluenza	$m(Q) = 10.4 \cdot 10^{-2} A$	$200 \leq A \leq 2000 km^2$
	Affluenti dell'alto Adige e della Rienza	$m(Q) = 5.5 A^{0.52}$	$70 \leq A \leq 800 km^2$
	Affluenti medio bacino dell'Adige da Merano a Rovereto	$m(Q) = 10.63 A^{0.40}$	$70 \leq A \leq 1200 km^2$

Tabella 2. Limiti di validità della regionalizzazione VAPI di Villi & Bacchi per la Provincia Autonoma di Bolzano.

Si considera pertanto alternativamente anche la procedura sviluppata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del CNR nell'ambito del Progetto Speciale di Valutazione delle Piene (VAPI), sulla base delle indicazioni fornite da Rosso e De Michele (2000). Tralasciando i dettagli per i quali si rimanda alla parte bibliografica, la stima della portata indice viene ricavata attraverso la seguente relazione:

$$q_i = q(1) \cdot A^m$$

in cui q_i rappresenta la portata indice, $q(1)$ il contributo unitario caratteristico, A l'area del bacino (km^2) mentre m è un esponente caratteristico, al quale lo stesso metodo di regionalizzazione assegna una certa variabilità, cosa che permette di tenere in parte conto delle caratteristiche peculiari di ogni bacino di studio. In Tabella 3 sono indicate le subregioni individuate da Rosso e De Michele (2000) e sono forniti i valori assegnati a $q(1)$ e m per le differenti subregioni di calcolo. La portata di progetto viene pertanto calcolata come segue:

$$q_p = q_i \cdot x_T$$

dove q_p è la portata di progetto e x_T il fattore di crescita che tiene conto del tempo di ritorno dell'evento. Il calcolo delle portate di piena con la metodologia adottata passa inoltre necessariamente attraverso la stima

APPALTATORE:										
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"									
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA				LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU				1BEZZ	RI	ID0000301	C	11 di 50
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi										

di un esponente caratteristico m che può essere tarato sulla base delle caratteristiche del bacino e che rende in questo modo la valutazione tramite regionalizzazione più facilmente adattabile alle diverse situazioni studiate data la differente natura dei bacini imbriferi considerati. Per le stime relative al Fiume Isarco si assume un coefficiente m pari a 0,671.

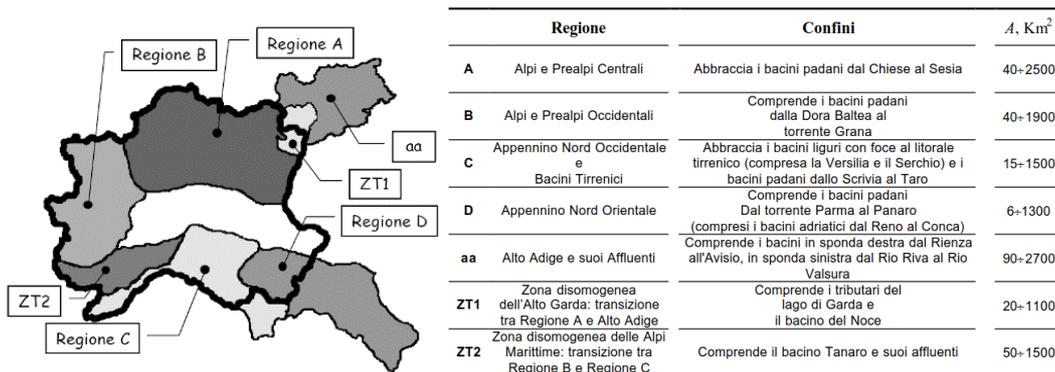


Figura 6. Suddivisione in macrobacini e limiti di validità della regionalizzazione proposta da Rosso (2000).

Regione	m	$\bar{q}(1), \text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{Km}^{-2m}$	$R^2(\text{LN})$
A Alpi e Prealpi Centrali	0.799 (± 0.183)	2.098	0.61
B Alpi e Prealpi Occidentali	0.901 (± 0.148)	0.525	0.76
C Appennino Nord Occidentale e Bacini Tirrenici	0.728 (± 0.077)	5.866	0.74
D Appennino Nord Orientale	0.772 (± 0.062)	2.487	0.89
aa Alto Adige e suoi affluenti	0.638 (± 0.089)	1.586	0.69

Tabella 3. Subregioni individuate nella procedura di Rosso e De Michele (2000) e valori di progetto dei coefficienti.

Regione	Periodo di Ritorno, anni					
	10	20	50	100	200	500
A Alpi e Prealpi Centrali	1.61+1.74	1.93+2.12	2.37+2.68	2.71+3.15	3.05+3.69	3.49+4.51
B Alpi e Prealpi Occidentali	1.69+1.90	2.20+2.56	3.00+3.74	3.71+4.95	4.47+6.58	5.45+9.69
C Appennino NO & B. Tirrenici	1.74+1.86	2.23+2.43	2.99+3.36	3.66+4.25	4.41+5.35	5.51+7.26
D Appennino Nord Orientale	1.56+1.66	1.84+1.98	2.22+2.44	2.52+2.83	2.81+3.26	3.19+3.90
aa Alto Adige e suoi affluenti	1.49+1.57	1.74+1.85	2.07+2.26	2.33+2.59	2.59+2.96	2.92+3.52

Tabella 4. Valori dei limiti di confidenza del fattore di crescita per alcuni valori salienti del periodo di ritorno T.

Da quanto riportato precedentemente si nota che entrambe le metodologie di regionalizzazione citate risultano valide ed applicabili al bacino imbrifero del Fiume Isarco considerato (662 Km²).

5.3 IL FIUME ISARCO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA DI PROGETTO

In Tabella 5 sono riportati i picchi al colmo di piena relativi all'Isarco presso la diga di Fortezza (BZ) così come determinati nel Piano dell'Area Fluviale prima citato. La portata di picco per il tempo di ritorno di 500 anni è stata stimata estrapolandone il valore dai dati ad oggi disponibili.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 12 di 50

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo (m ³ /s)
30	291
100	366
200	411
300	436
500	468

Tabella 5. Portate al colmo di piena definite per la sezione di chiusura di progetto presso il deposito Unterplattner.

Al fine di verificare la plausibilità del dato riportato in Tabella 5 si è provveduto ad applicare alla sezione del Fiume Isarco citata sia la metodologia VAPI (Villi) che quanto proposto da Rosso e De Michele (2000). Nella seguente tabella sono riportati i valori al colmo di piena per i differenti tempi di ritorno, in Figura 3 è riportato invece un confronto con quanto determinato nel citato Piano dell'Area Fluviale.

Tempo di ritorno (anni)	VAPI (Villi) Portata al colmo (m ³ /s)	VAPI (Rosso) Portata al colmo (m ³ /s)
30	329	242
100	414	305
200	463	344
300	492	368
500	528	399

Tabella 6. Risultati delle regionalizzazioni applicate alla sezione di progetto (662 Km²) del Fiume Isarco.

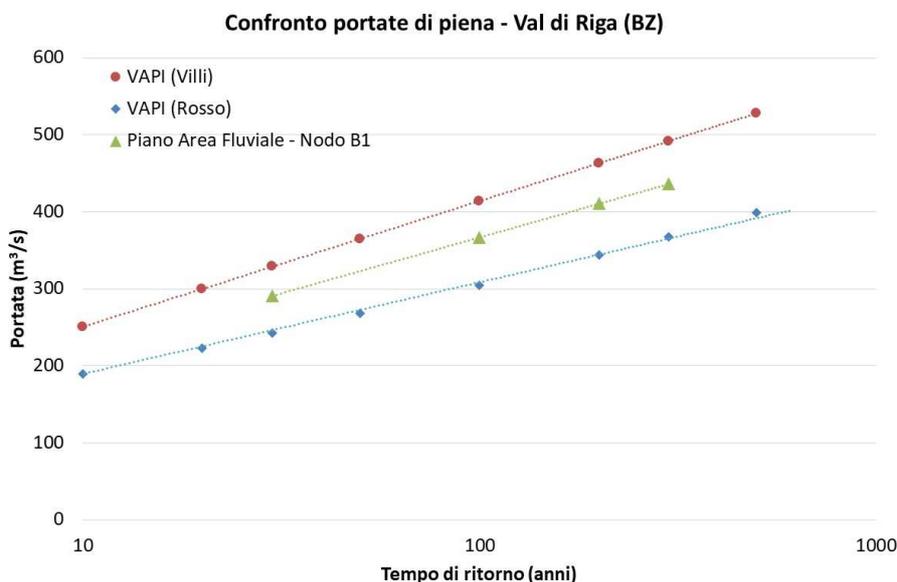


Figura 7. Confronto tra le portate di piena determinate nell'ambito del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco (nodo B1) con le metodologie di regionalizzazione considerate.

Come si evince da quanto sopra riportato, i valori al colmo di piena determinati nell'ambito del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco ricadono tra le regressioni di stima ottenute dalle due regionalizzazioni, che possono così essere semplicisticamente assunte come intervallo di plausibilità delle portate di piena del Fiume Isarco alla sezione di chiusura considerata. Si ritiene pertanto che i risultati

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 13 di 50

riportati nel Piano dell'Area Fluviale siano sufficientemente rappresentativi e possano essere considerati plausibili. Si sottolinea altresì che le elaborazioni effettuate nell'ambito di tale studio si basavano anche sui dati registrati presso gli idrometri disponibili sia a monte che a valle dell'area di studio.

Per le verifiche idrauliche del Progetto Esecutivo si sono pertanto adottati i picchi di piena illustrati in Tabella 5, i relativi idrogrammi di piena sono rappresentati graficamente di seguito e sono stati ottenuti per normalizzazione di quelli utilizzati nell'ambito del Piano dell'Area Fluviale più volte citato.

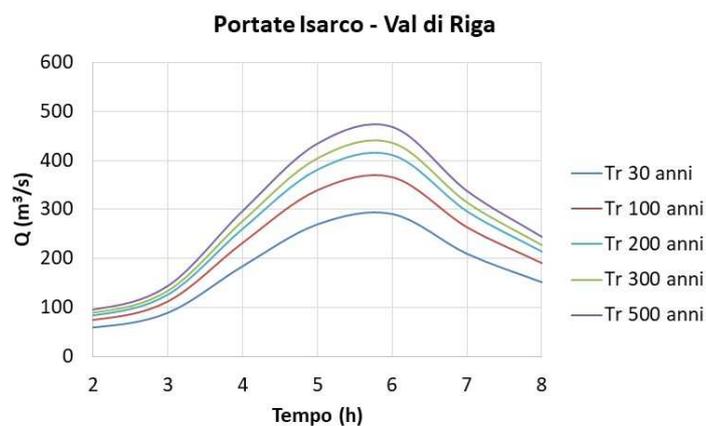


Figura 8. Idrogrammi di piena assunti nel Progetto Esecutivo alla sezione di chiusura del deposito Unterplattner.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
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 idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	14 di 50

6. STUDIO IDRAULICO

6.1 PREMESSA

Lo studio idraulico di cui al presente documento è finalizzato alla determinazione dei livelli idrici del Fiume Isarco nel tratto compreso tra i depositi definitivi Unterplattner e Hinterrigger tra i Comune di Naz Sciaves e Varna. In particolare lo scopo è quello di valutare le aree interessate dalle possibili esondazioni del Fiume Isarco in relazione ai diversi tempi di ritorno assunti e determinare l'eventuale necessità di opere di protezione idraulica. 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 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 relativi al Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco (2009-2010);
- Volo Lidar effettuato nel 2021 in sponda orografica destra nelle aree che ospitano i depositi Unterplattner e Hinterrigger e le relative strutture e pertinenze;
- Lidar Solar Tirol 2013 della Provincia Autonoma di Bolzano (risoluzione a terra 0,5 m);

6.2.2 Mesh di progetto

Le mesh di calcolo sono state implementate con il codice commerciale SMS (*Surface-Water Modeling System*, versione 12.2) commercializzato da AQUAVEO (<https://www.aquaveo.com/>). Le griglie di calcolo proprie della mesh dell'alveo del Fiume Isarco sono costituite da elementi modulari rettangolari di dimensioni pari a 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 dell'Area Fluviale 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. A titolo di esempio, sono fornite nelle immagini seguenti due estratti delle mesh di calcolo elaborate per la zona di Unterplattner (Figura 9) e per le aree di Hinterrigger (Figura 10).

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	15 di 50

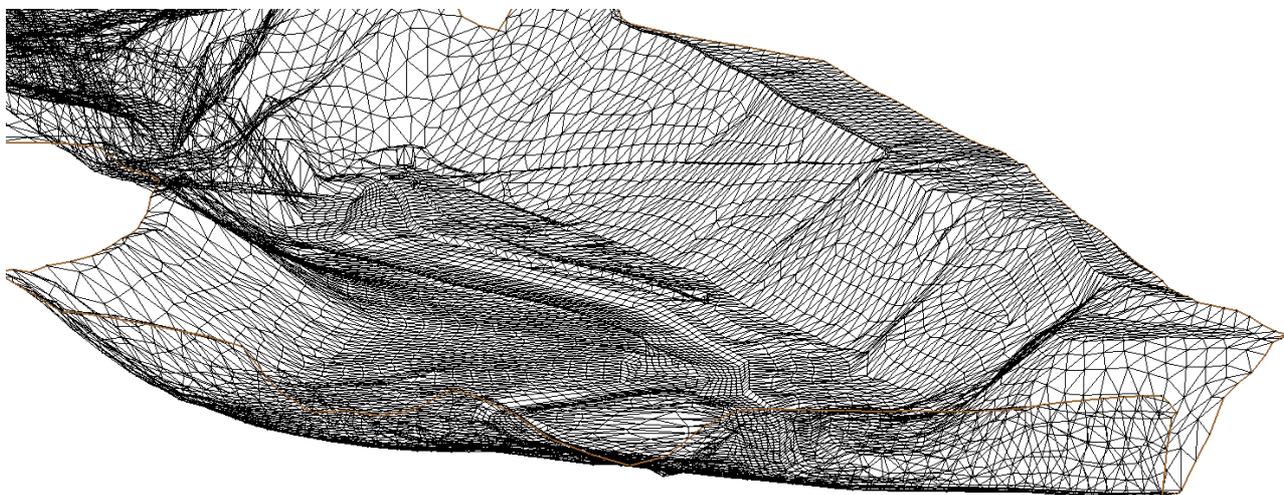


Figura 9. Mesh di calcolo per lo stato attuale nell'area del deposito Unterplattner.

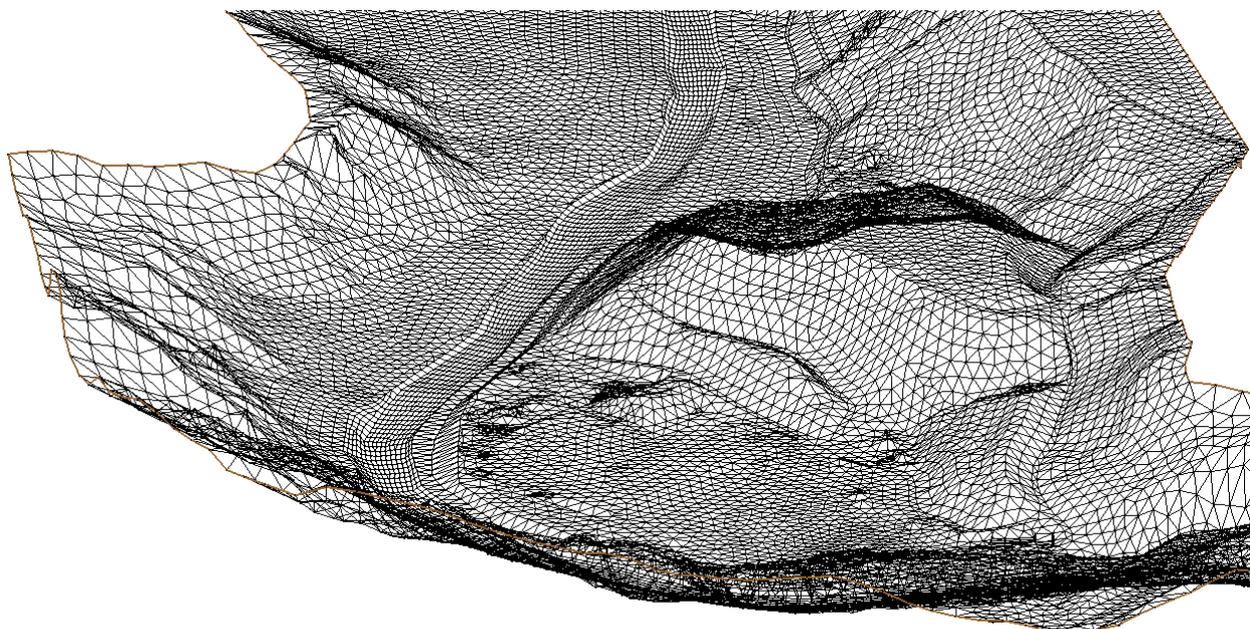


Figura 10. Mesh di calcolo per lo stato attuale nell'area del deposito Hinterrigger.

6.2.3 Codice di calcolo

Per le simulazioni bidimensionali condotte nell'ambito delle verifiche idrauliche effettuate è stato utilizzato il codice commerciale HYDRO_AS-2D (https://www.hydrotec.de/hydro_as-2d-en/), 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:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	16 di 50

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.

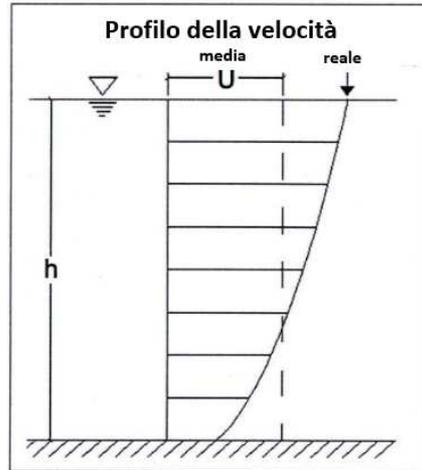


Figura 11. Velocità di flusso mediata sulle verticale.

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

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	17 di 50

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

- **Dati topografici:** mesh di calcolo agli elementi finiti non strutturata, creata come descritto nel paragrafo 6.2.2;
- **Dati idrologici:** idrogrammi di piena così come riportati nel capitolo 5.3;
- **Dati di resistenza:** valori del coefficiente di Gauckler – Strickler in funzione delle coperture e degli utilizzi di suolo così come descritto nel paragrafo 6.2.2.

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.

6.2.4 Condizioni al contorno e regime delle scabrezze

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. 620 m a valle della diga di Fortezza per tutti i tempi di ritorno simulati;
- L'outflow è stato posto ca. 1.330 m a valle della zona del deposito Hinterrigger. È stata imposta una pendenza della linea dell'energia pari a 1,56 %.

In Tabella 7 sono riportati i coefficienti di scabrezza di Gauckler Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$) assunti per le simulazioni bidimensionali condotte, coerentemente con i dettami di letteratura ed il Manuale di Progettazione RFI.

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

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA						
Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	18 di 50

Materiale	$K_s [m^{1/3}/s]$
Isarco - Alveo	20
Alveo secondario	18
Isarco - sponde	12 - 25
Strade, pista ciclabile	40
Piste di cantiere	20
Depositi	15
Calcestruzzo	50
Siepi ed alberature	12
Bosco	10
Discariche	15
Case singole, case sparse	12
Seminativo	15
Colture permanenti	12
Superfici industriali e commerciali	12
Altre attrezzature di interesse pubblico	12
Area a copertura artificiale non classificabile	12
Aree prative	20
Altre superfici agricole	16
Linee ferroviarie e spazi associati	15

Tabella 7. Scabrezze assunte nelle simulazioni 2D effettuate.

APPALTATORE:  CONSORZIODOLOMITI	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 19 di 50

7. RISULTATI

7.1 DEPOSITO UNTERPLATTNER

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 al deposito Unterplattner. Le simulazioni sono state condotte per TR 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

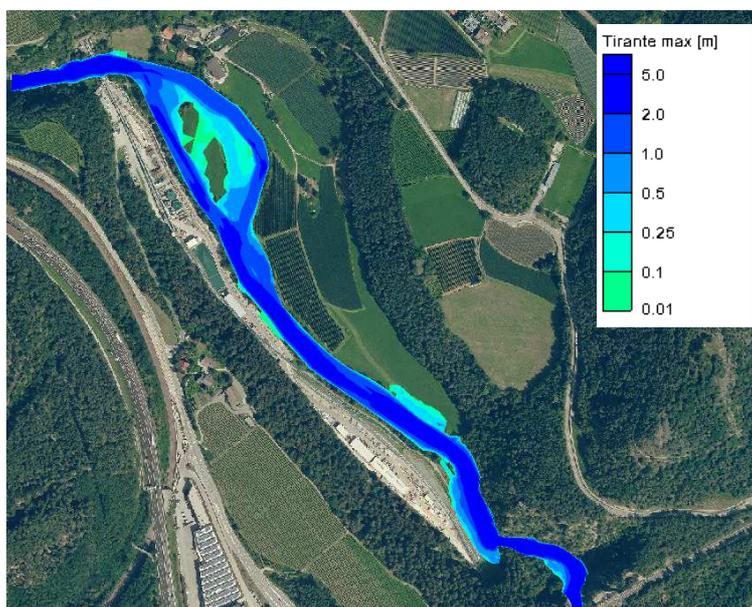


Figura 12. Tiranti massimi per l'evento TR30 in prossimità del deposito Unterplattner.

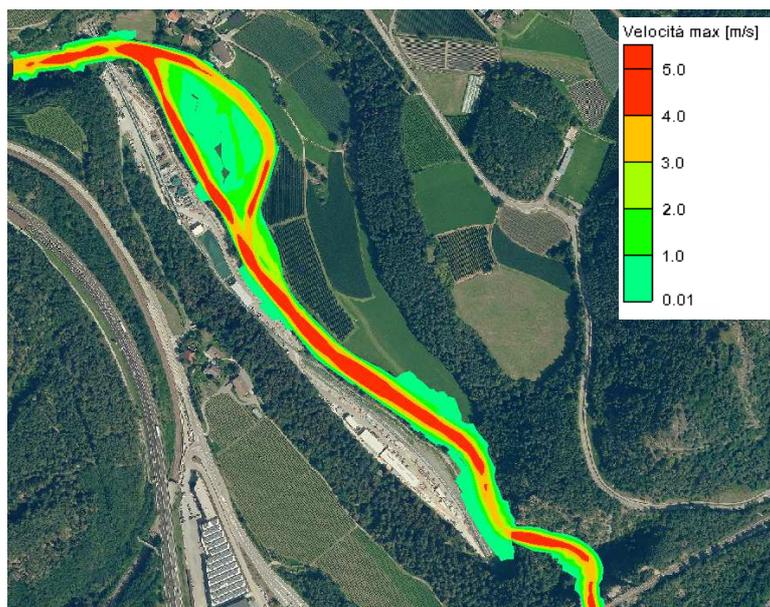


Figura 13. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 in prossimità del deposito Unterplattner.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 20 di 50

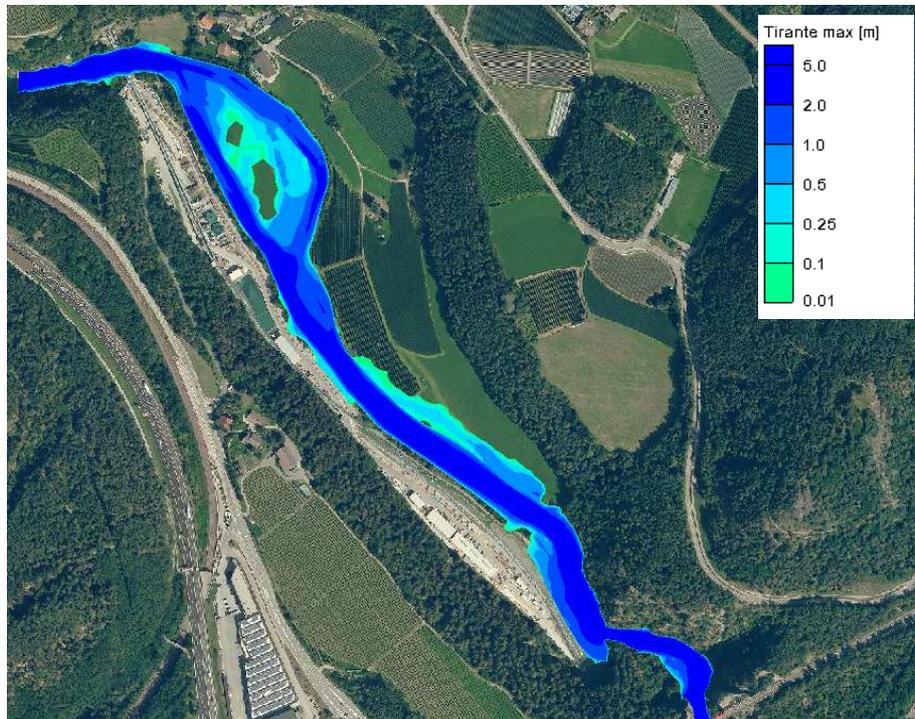


Figura 14. Tiranti massimi per l'evento TR100 in prossimità del deposito Unterplattner.

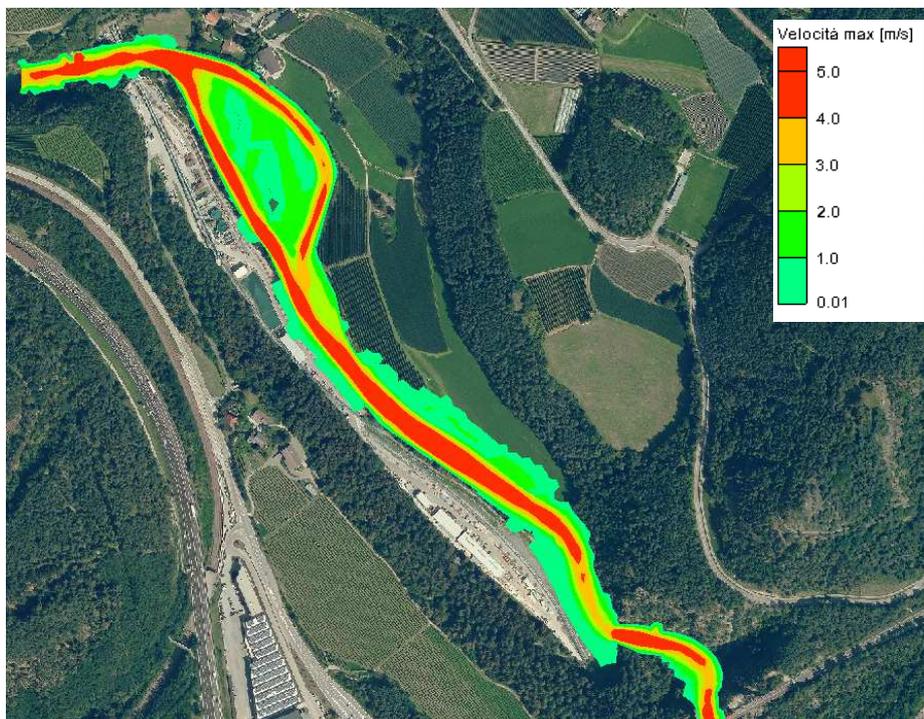


Figura 15. Velocità di flusso massime per l'evento TR100 in prossimità del deposito Unterplattner.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 21 di 50

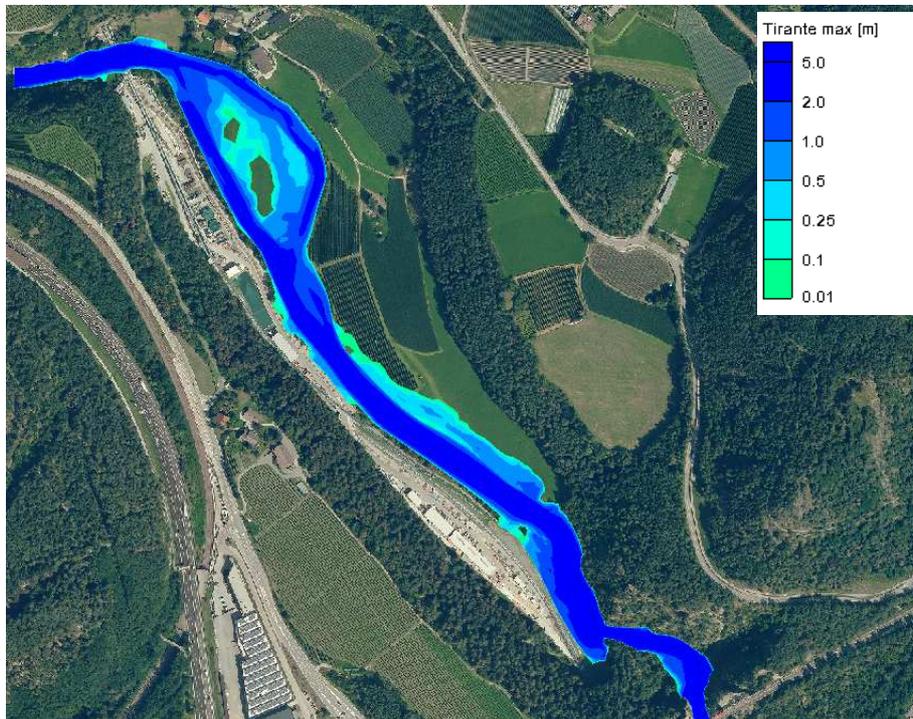


Figura 16. Tiranti massimi per l'evento TR200 in prossimità del deposito Unterplattner.

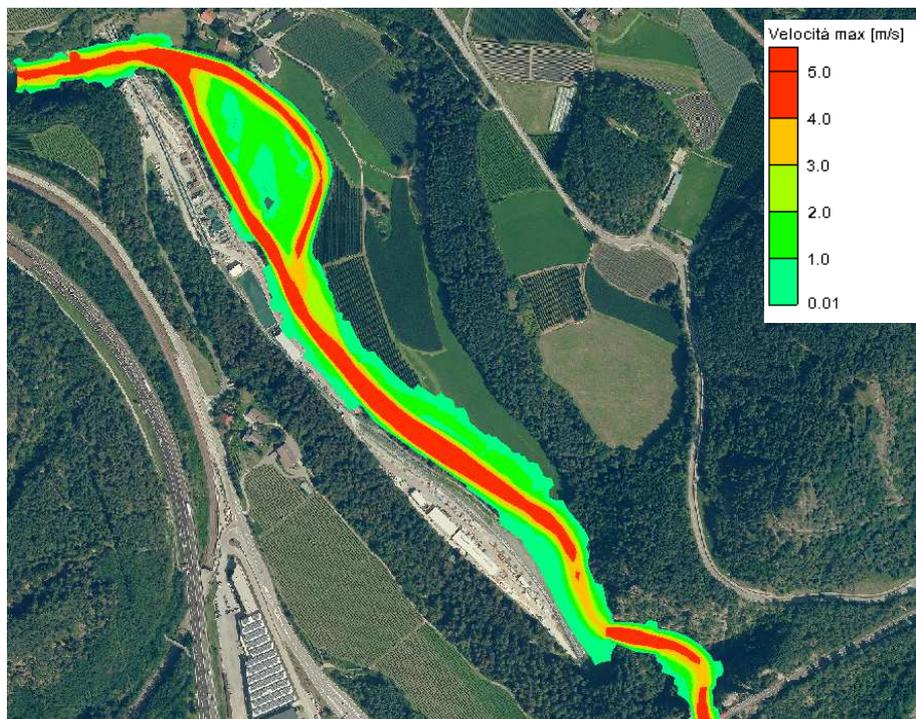


Figura 17. Velocità di flusso massime per l'evento TR200 in prossimità del deposito Unterplattner.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 22 di 50

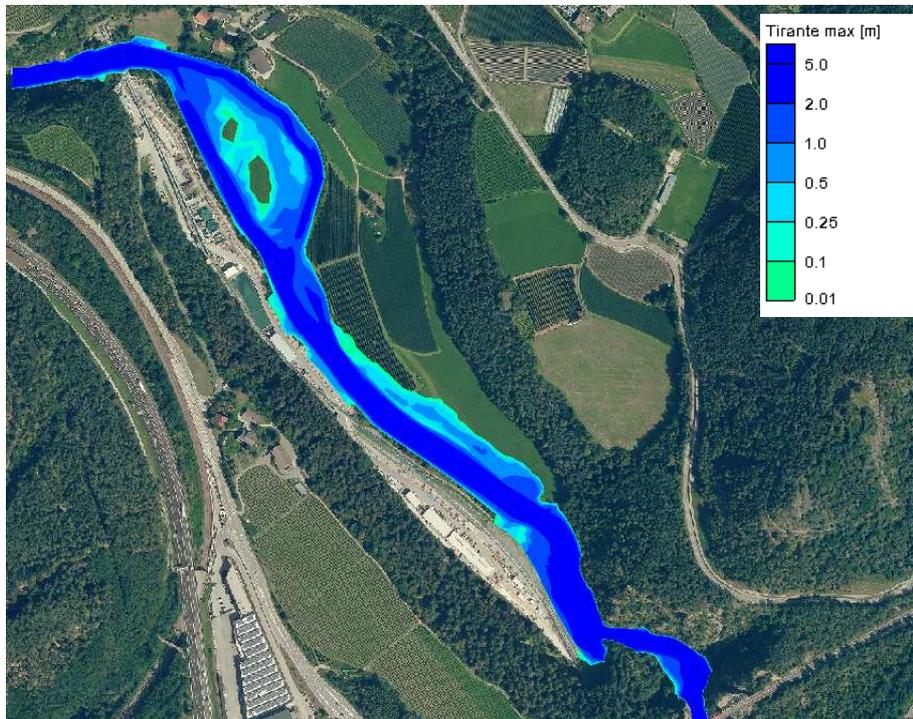


Figura 18. Tiranti massimi per l'evento TR300 in prossimità del deposito Unterplattner.

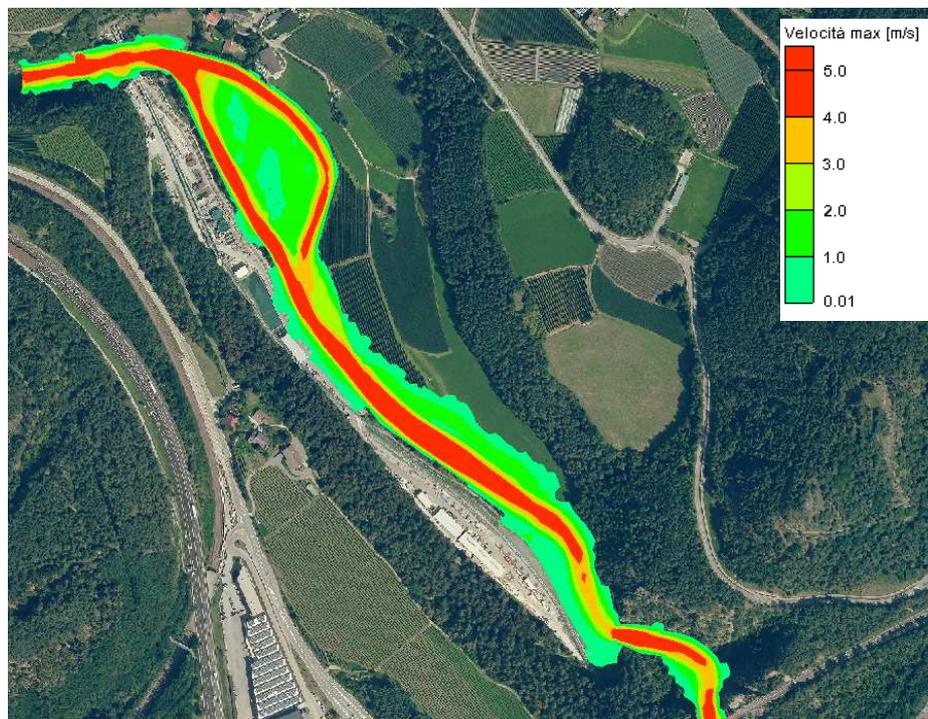


Figura 19. Velocità di flusso massime per l'evento TR300 in prossimità del deposito Unterplattner.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 23 di 50

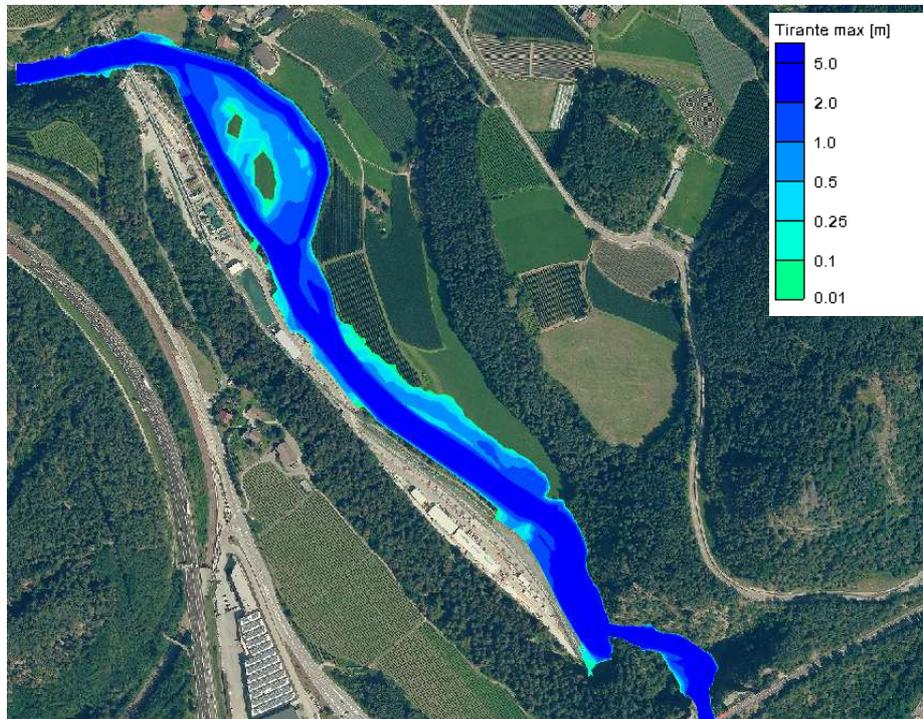


Figura 20. Tiranti massimi per l'evento TR500 in prossimità del deposito Unterplattner.

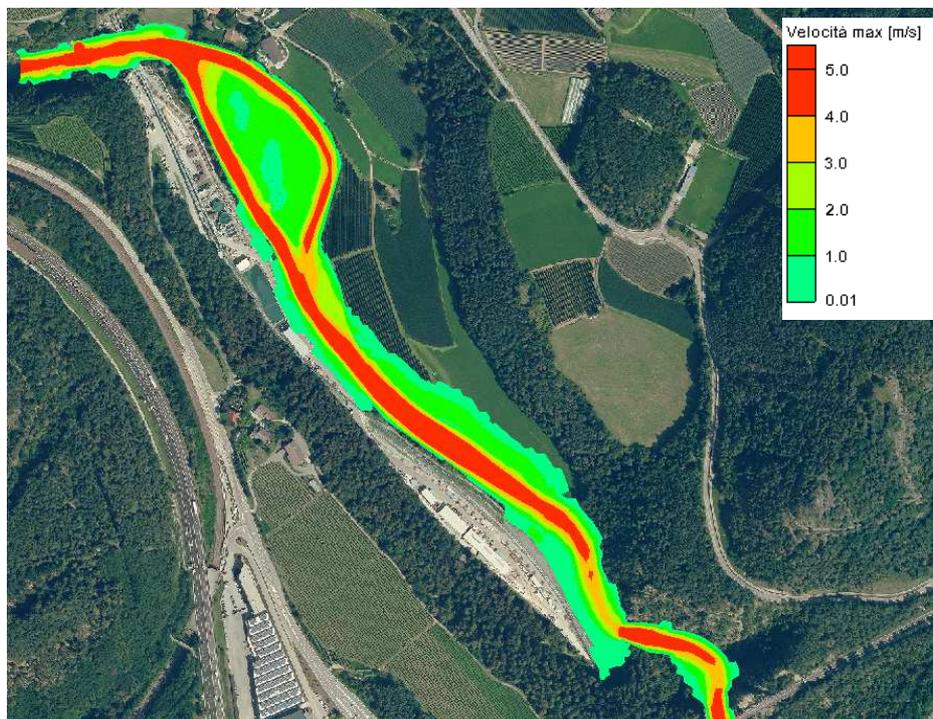


Figura 21. Velocità di flusso massime per l'evento TR500 in prossimità del deposito Unterplattner.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 24 di 50

Dalle simulazioni condotte emerge che la capacità di deflusso del Fiume Isarco nel tratto di competenza è sufficientemente elevata da far transitare in destra orografica le piene fino a TR300 senza esondazioni rilevanti. Per una piena marcata da tempi di ritorno TR 300 e 500 anni è atteso un deflusso a piene rive tra le sezioni 14 a, 14 b e 14 c, localizzate alla fine del tratto di studio, presso le quali si verifica una limitata esondazione in destra orografica. Si veda in Figura 22 l'area di cui sopra.



Figura 22. Il tratto in destra orografica a monte del viadotto sul Fiume Isarco in cui è atteso un deflusso a piene rive per TR 500 anni.

Come risulta dalla documentazione del progetto esecutivo, nonostante il deflusso a piene rive e la condizione di incipiente esondazione riscontrata in precedenza nel tratto terminale di studio, si sottolinea come la quota di imposta dei depositi risulta sempre superiore alla quota di massima piena raggiunta per TR 500 anni. Pertanto non si prevedono interventi di protezione del piene del versante in cui è prevista la realizzazione del deposito definitivo.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 25 di 50

7.2 DEPOSITO HINTERRIGGER

7.2.1 Descrizione dello stato attuale

Allo stato attuale le aree del deposito "Hinterrigger" si presentano già parzialmente sistemate. Il piede del deposito lato Isarco risulta per due terzi già protetto da una possente scogliera, come testimoniato dalle immagini fornite di seguito.

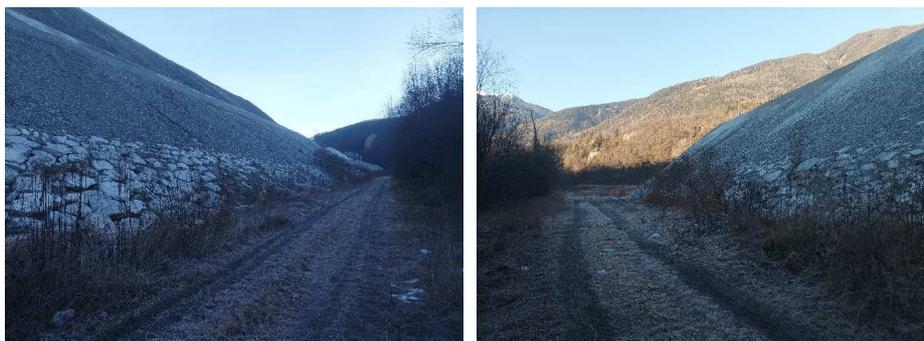


Figura 23. Il piede del deposito di Hinterrigger come si presentava nel febbraio 2022. Si nota la scogliera in massi ciclopici già realizzata nella parte di valle.



Figura 24. Anche nel tratto centrale il piede del deposito è stato già preventivamente protetto con una opportuna scogliera.



Figura 25. Tra le sezioni 16 e 19 e nell'intorno dell'accesso nord all'area del deposito non è invece presente alcuna protezione.

La presenza di tali strutture e le criticità emerse durante i sopralluoghi eseguiti sono state adeguatamente considerate nell'implementazione di tutti i modelli idraulici e nelle valutazioni idrauliche relative alle necessarie misure di mitigazione del pericolo indotto imputabile al Fiume Isarco.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 26 di 50

7.2.2 Risultati delle simulazioni

Nelle immagini seguenti è riportata la rappresentazione cartografica dei massimi tiranti idraulici (m) e delle massime velocità di deflusso nel tratto del Fiume Isarco afferente al deposito Hinterrigger. Le simulazioni sono state condotte per TR 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

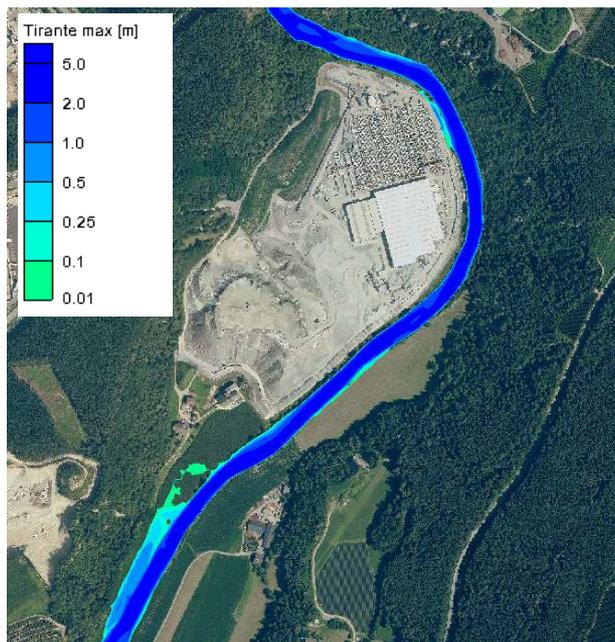


Figura 26. Tiranti massimi per l'evento TR30 in prossimità del deposito Hinterrigger.

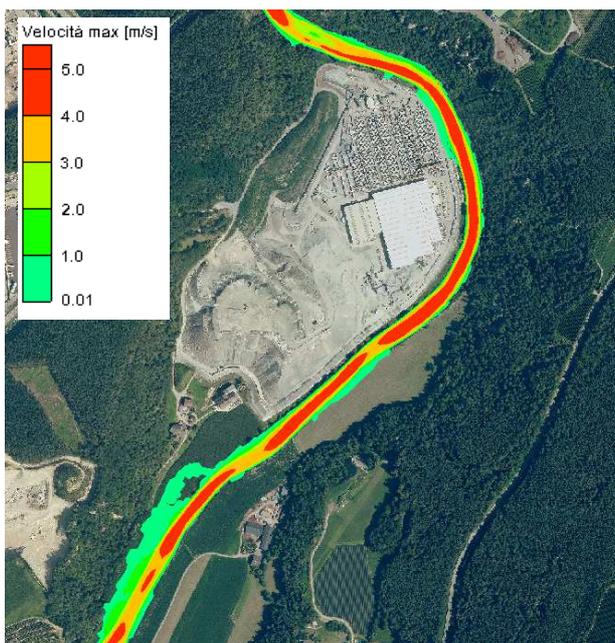


Figura 27. Velocità di flusso massime per l'evento TR30 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 27 di 50

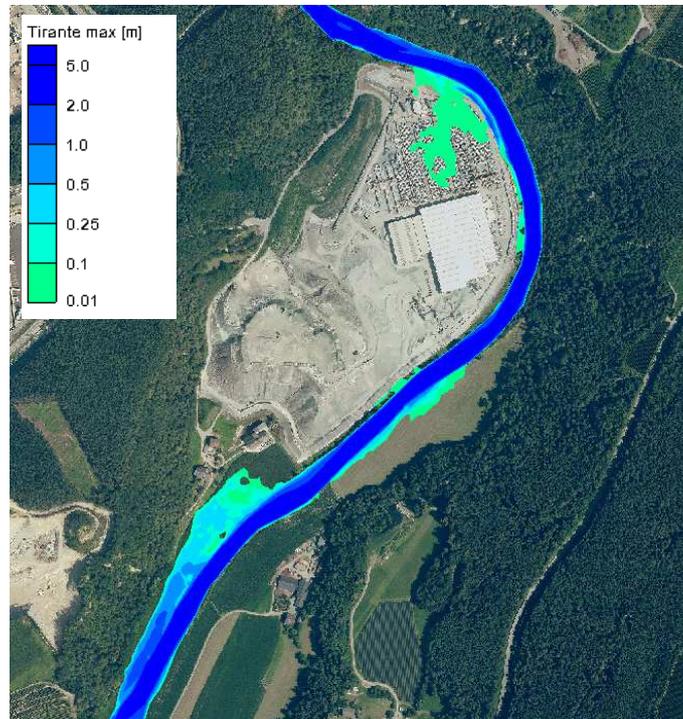


Figura 28. Tiranti massimi per l'evento TR100 in prossimità del deposito Hinterrigger.

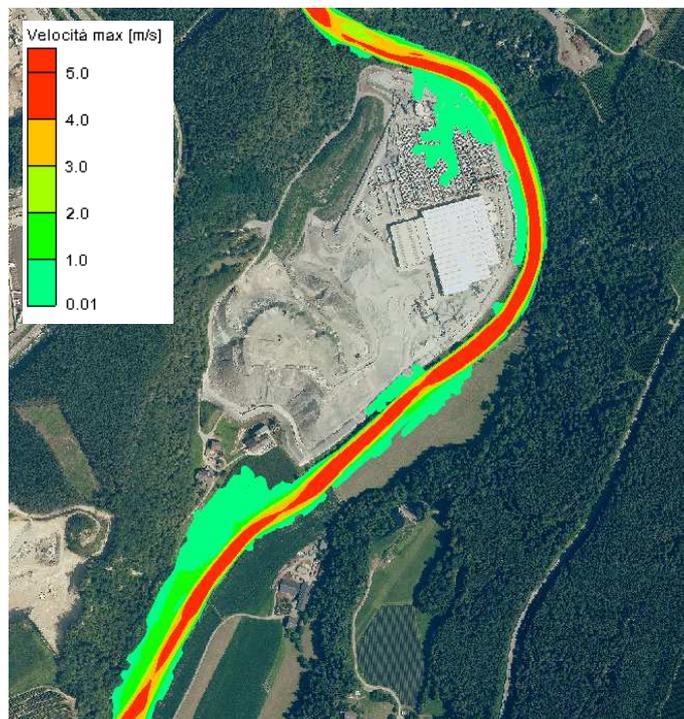


Figura 29. Velocità di flusso massime per l'evento TR100 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 28 di 50

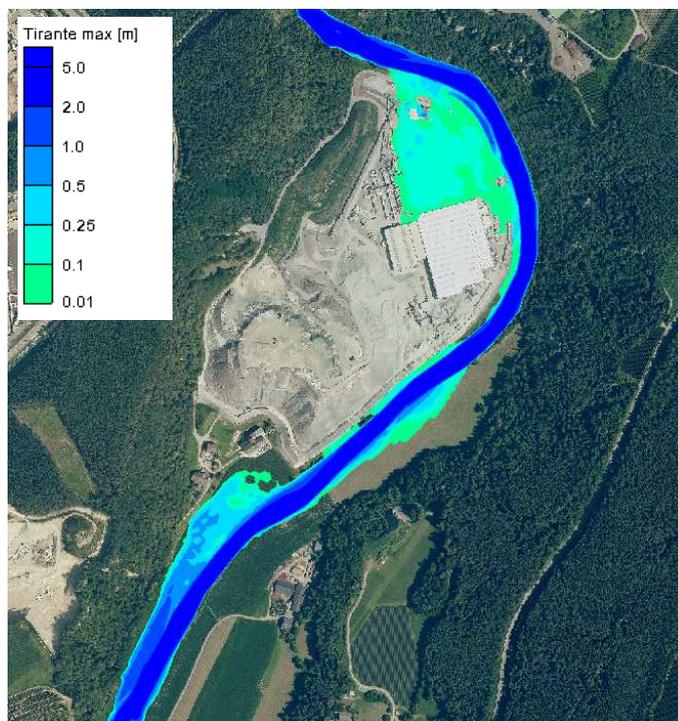


Figura 30. Tiranti massimi per l'evento TR200 in prossimità del deposito Hinterrigger.

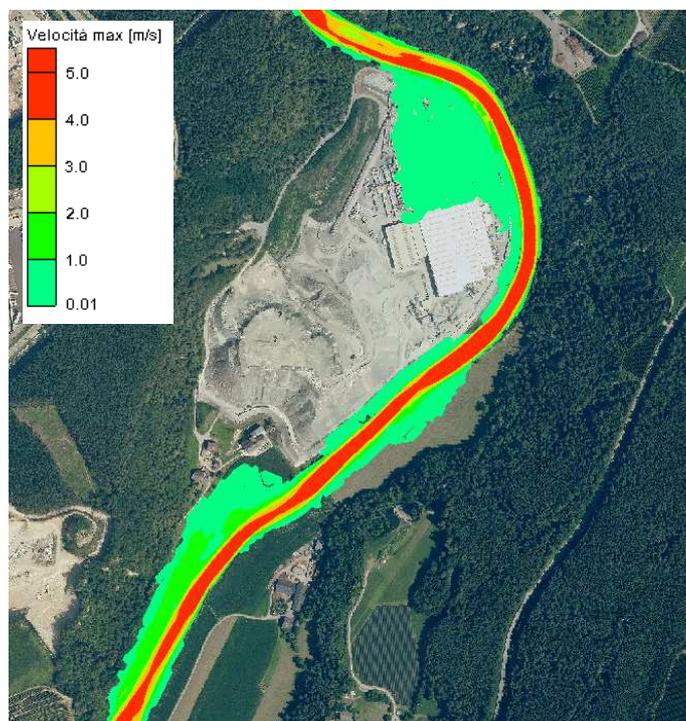


Figura 31. Velocità di flusso massime per l'evento TR200 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 29 di 50

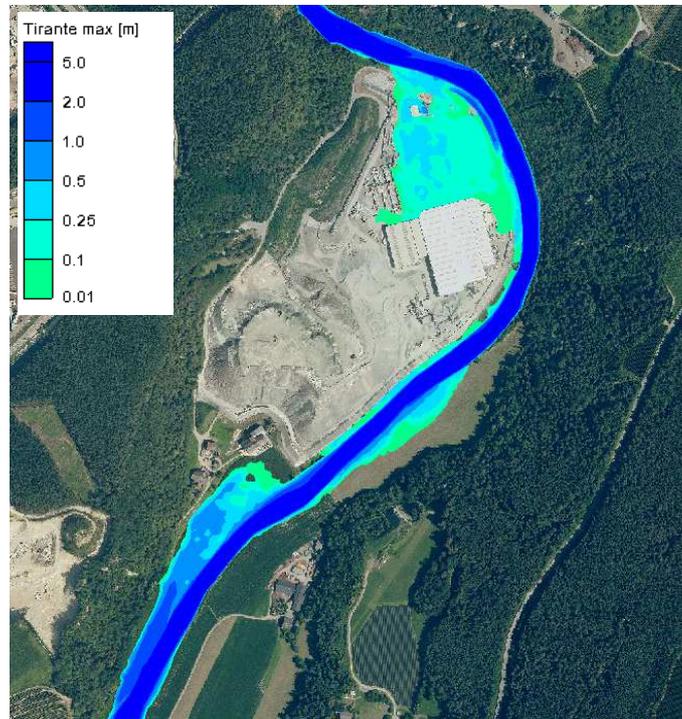


Figura 32. Tiranti massimi per l'evento TR300 in prossimità del deposito Hinterrigger.

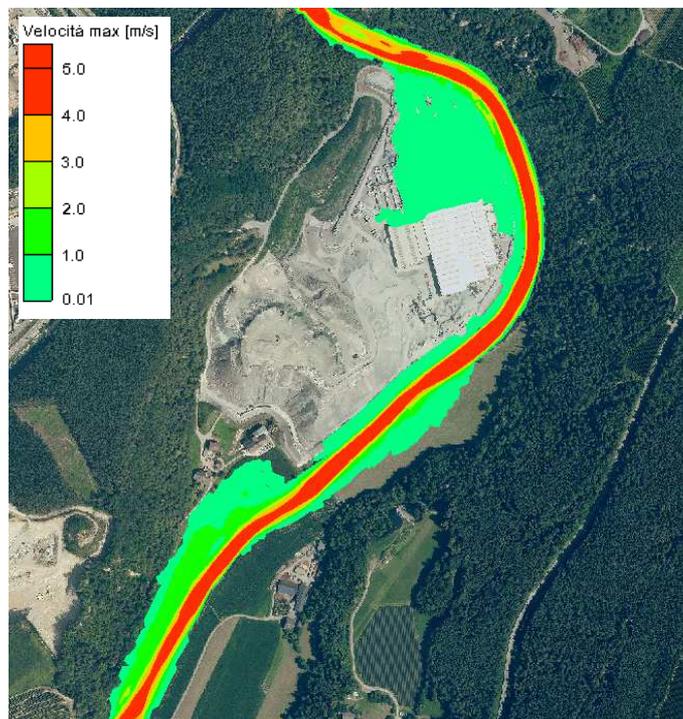


Figura 33. Velocità di flusso massime per l'evento TR300 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 30 di 50

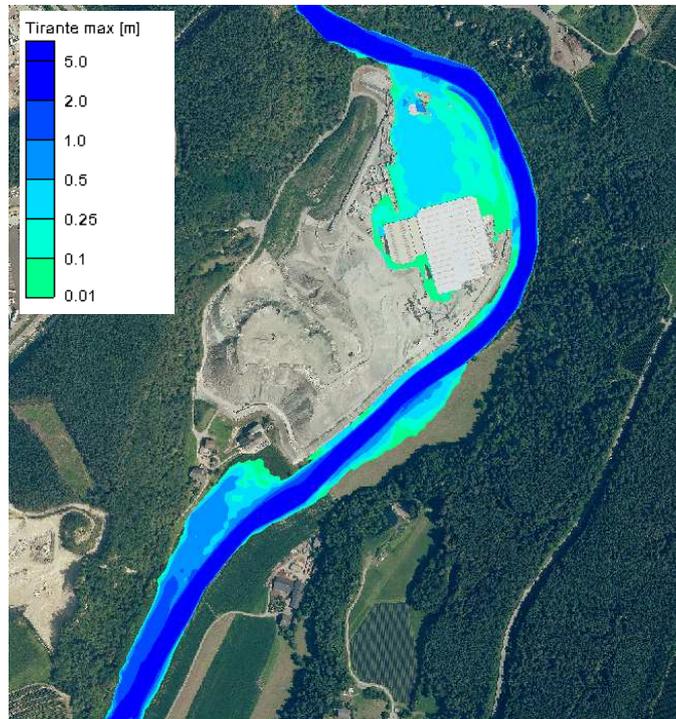


Figura 34. Tiranti massimi per l'evento TR500 in prossimità del deposito Hinterrigger.

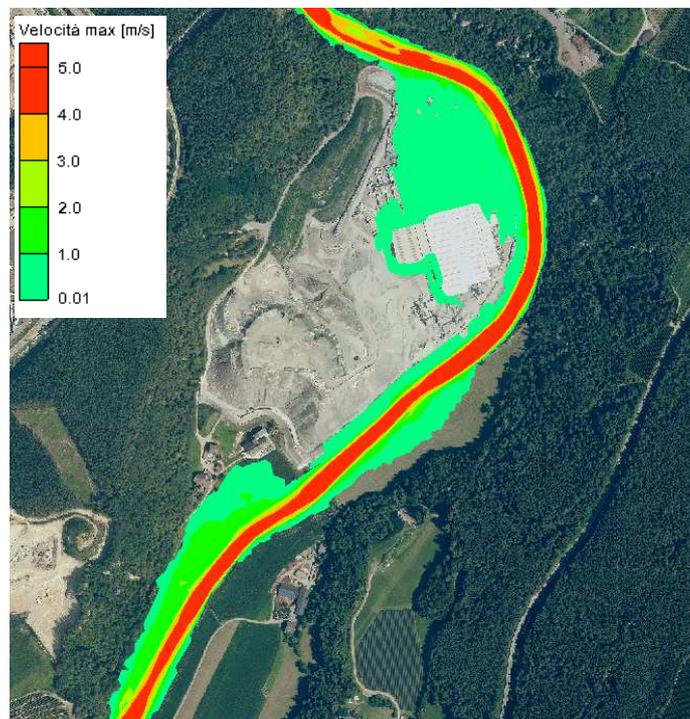


Figura 35. Velocità di flusso massime per l'evento TR500 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 31 di 50

Alla luce dei risultati delle simulazioni idrauliche 2D presentati in precedenza, si determina che a valle delle aree di deposito e del maso "Hinterriggerhof" si verificano allo stato attuale estese esondazioni in destra orografica già per piene marcate da tempi di ritorno di 30 anni. Medesimo risultato è stato censito anche nell'ambito del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco. Le esondazioni per TR30 non interessano né le aree oggetto di intervento né le strutture abitate esistenti.

A partire da una piena marcata da tempi di ritorno di 100 anni il Fiume Isarco comincia ad esondare in orografica destra già a monte del deposito in prossimità dell'ansa interna del meandro (si veda ad esempio Figura 28). Le aree di cantiere e di deposito vengono interessate da tiranti relativamente modesti. Tale tendenza si amplifica a crescere del tempo di ritorno degli eventi di progetto, data la sostanziale assenza allo stato attuale di opere di protezione idraulica o di diversione delle acque in esondazione. Per TR500 le strutture esistenti vengono interessate quasi completamente dall'alluvionamento (si veda Figura 34), sempre con tiranti inferiori a 1 m e velocità di flusso inferiori a 1 m/s.



Figura 36. Le aree del deposito di Hinterrigger ed il maso "Hinterriggerhof" (fonte: Umwelt&GIS, 2018).

In nessun caso a valle del deposito si verifica un'interferenza diretta con il maso "Hinterriggerhof" che risulta posto ad una quota topografica più elevata del piano alluvionale. Più a valle le aree agricole presenti in orografica destra del Fiume Isarco nei pressi del maso "Vorderrigger" non vengono alluvionate.



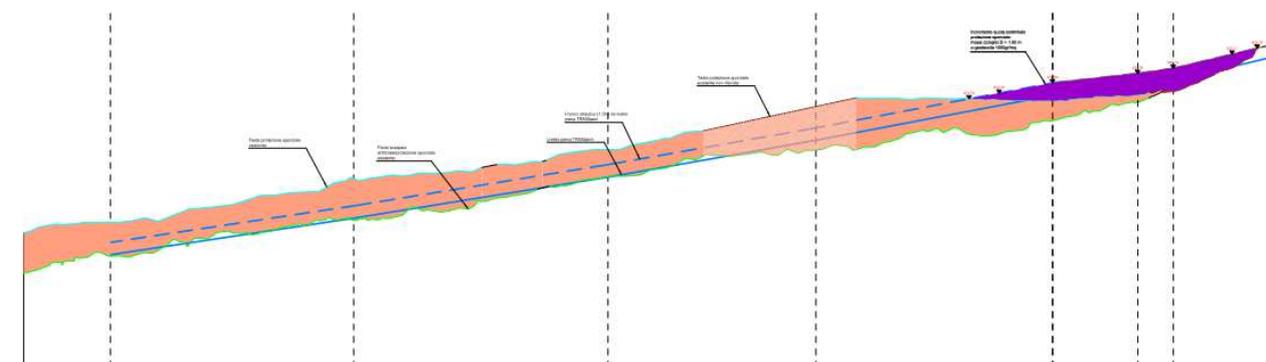
Figura 37. La Val di Riga con il maso "Vorderrigger" sulla sinistra.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 32 di 50

Si evince quindi quanto segue:

- Risulta evidente la necessità di proteggere le aree di intervento predisponendo una nuova adeguata barriera idraulica in destra orografica in corrispondenza dell'ansa interna del meandro tra le sezioni Nr. 16 e 20 in modo da limitare la divagazione sul piano campagna delle acque in orografica e minimizzare il rischio di interferenza idraulica con le nuove strutture in progetto. Risulta inoltre integrare la difesa spondale esistente con un adeguamento dei franchi tra le sezioni 20 e 22.
- Dalla sezione 22 verso valle invece, come descritto in precedenza, il piede del deposito risulta già allo stato attuale protetto con una robusta scogliera in massi ciclopici, pertanto in tale tratto non si ravvisa la necessità di realizzare ulteriori interventi.

Di seguito è fornito il profilo longitudinale dello stato di fatto, che consente di inquadrare meglio quanto sopra riportato. Nella tabella seguente sono riportati per le sezioni trasversali del Fiume Isarco la quota della WSE per TR 500 anni, la quota del fondo del fiume e la quota di sommità delle scogliere esistenti, ovviamente dove presenti (si rimanda alla Tavola IB0U1BEZZF7RI0350002B).



LEGENDA:

- As-built protezione spondale esistente
- Integrazione protezione spondale
- Quota TR500
- Quota franco TR500

Figura 38. Profilo longitudinale del Fiume Isarco con le quote di massima piena (TR500) e le quote dei cigli superiori delle scogliere di protezione, dove esistenti..

Sezione	Quota ciglio scogliera [m.s.l.m]	TR500 – WSE max [m.s.l.m]	Franco idraulico [m]
15	637,08	635,45	1,63
16	636,25	635,08	1,17
17	634,21	634,48	-0,27
18	632,31	633,09	-0,78

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 33 di 50

19	632,04	632,70	-0,66
20	631,56	631,98	-0,42
21	631,64	630,95	0,69
22	631,77	629,66	2,11
23	631,76	629,17	2,59
24	631,09	628,38	2,71
25	630,01	627,48	2,53
26	629,10	626,46	2,64
27	627,63	625,41	2,22
28	626,49	624,03	2,46
29	625,82	623,10	2,72
30	625,30	622,10	3,20
31	623,18	620,38	2,80
32	621,79	619,23	2,56

Tabella 8. Quota della WSE per TR500, quota dei cigli superiori della scogliera esistente e franco idraulico disponibile allo stato attuale.

Si intuisce quindi come debba essere necessariamente previsto un nuovo intervento di integrazione della protezione idraulica tra le sezioni 16 e 20 ed un adeguamento dei franchi sulle sistemazioni esistenti tra le sezioni 20 e 22.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 34 di 50

8. COERENZA DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CONDOTTE ALLO STATO ATTUALE

Al fine di valutare la coerenza delle simulazioni condotte con gli strumenti pianificatori attualmente vigenti in Provincia di Bolzano si è provveduto a confrontare l'estensione delle aree alluvionabili determinate nell'ambito del presente studio con quelle definite oltre 10 anni nell'ambito del Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco. Il confronto è riportato in Figura 39.



Figura 39. Aree alluvionabili in Val di Riga rispetto al Piano dell'Area Fluviale della Media Valle Isarco e rispetto a quanto illustrato nel presente elaborato.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
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 idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	35 di 50

Ricordando che nel Piano dell'Area Fluviale è stata assunta la base topografica provinciale disponibile nel biennio 2006-2008 e che tutte le elaborazioni sono state redatto sulla scorta di una valutazione 1D e di una approssimata determinazione delle aree alluvionabili (zonazione) si evidenzia quanto segue:

- Nell'area del deposito Unterplattner le simulazioni condotte restituiscono aree attese di esondazione leggermente meno estese in orografica sinistra a valle dell'isola centrale sul Fiume Isarco nota come "Steuerinsel" ed in destra orografica tra la località "Waldwiesele" ed il ponte stradale sul Fiume Isarco;
- Nell'area del deposito Hinterrigger risultano evidenti le differenze relative alle grandi aree del deposito, che nel corso degli anni sono state modificate in modo sostanziale da un punto di vista morfologico (si veda Figura 40). Pertanto una variazione delle aree alluvionabile era sicuramente da attendersi. Tale modificazioni non implica ad ogni modo nessuna sostanziale variazione delle aree di esondazione a valle dell'area del deposito dato che in prossimità del maso "Hinterriggerhof" la larghezza trasversale della fascia alluvionabile del Fiume Isarco rimane inalterata.



Figura 40. L'area del deposito Hinterrigger nel 2008 (sinistra) e nel 2021 (destra).

Risulta pertanto evidente da quanto riportato in Figura 39 come a valle dei depositi l'estensione delle aree alluvionabili rimanga pressochè invariata. Pertanto le simulazioni numeriche condotte possono essere considerate coerenti con gli strumenti di pinaificazione ad oggi vigenti in Provincia di Bolzano per le aree oggetto di intervento.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 36 di 50

9. STATO DI PROGETTO

9.1 PREMESSA

Dall'analisi dello stato di fatto presentata nei paragrafi precedenti è emersa la necessità di provvedere alla realizzazione di opportune opere di protezione idraulica delle aree destinate ad ospitare i depositi ed attualmente occupate dalle installazioni di cantiere per il deposito Hinterrigger, mentre per il deposito Unterplattner non si riscontrano necessità di intervento. Per raggiungere tale scopo si è provveduto a considerare la presenza di una barriera longitudinale per il sito di Hinterrigger, il cui sviluppo planimetrico è illustrato di seguito in Figura 41. La nuova barriera sarà lunga ca. 180 m e sarà posizionata come indicato in figura. A valle della barriera prevista la quota della massima piena attesa per tempi di ritorno TR 500 anni è tale da non garantire un franco di almeno 1 metro sul ciglio delle sistemazioni già realizzate per l'argine esistente. Pertanto è necessario adeguare per un tratto di ca. 60 m la struttura esistente prevedendo una ulteriore scogliera in massi ciclopici.

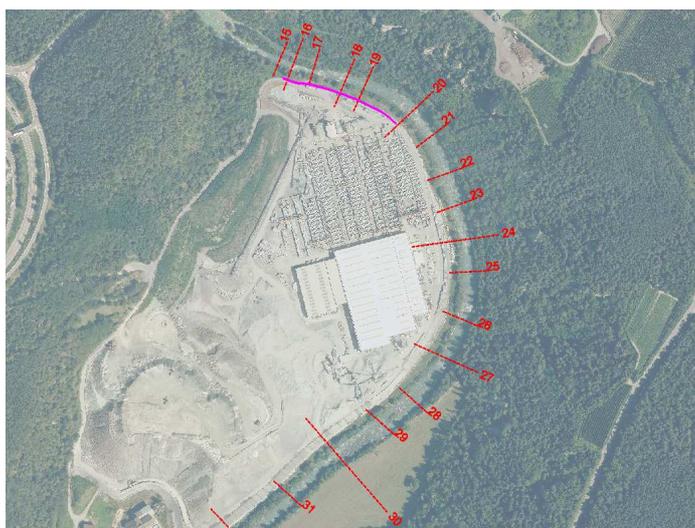


Figura 41. Localizzazione della barriera di protezione presso il deposito Hinterrigger tra le sezioni 15 e 20.

Al fine di simulare la presenza della barriera nelle mesh di calcolo si è provveduto a disabilitare le celle in corrispondenza dello sviluppo longitudinale dell'opera così come illustrato precedentemente al fine di determinare le quote della WSE a tergo della stessa e permetterne così il corretto dimensionamento idraulico. Si è provveduto quindi a simulare il futuro stato di progetto (in presenza della citata barriera) per eventi di piena influenti marcati da TR 100, 200, 300 e 500 anni. È stata omessa la simulazione con TR 30 anni in quanto allo stato attuale non si verificano esondazioni. Tutte le simulazioni sono state condotte in ambiente HYDROAs2D a fondo fisso.

9.2 DEPOSITO HINTERRIGGER

9.2.1 Evidenze modellistiche

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 al deposito Hinterrigger in presenza delle succitate barriere di protezione. Le simulazioni sono state condotte per TR 100, 200, 300 e 500 anni.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 37 di 50

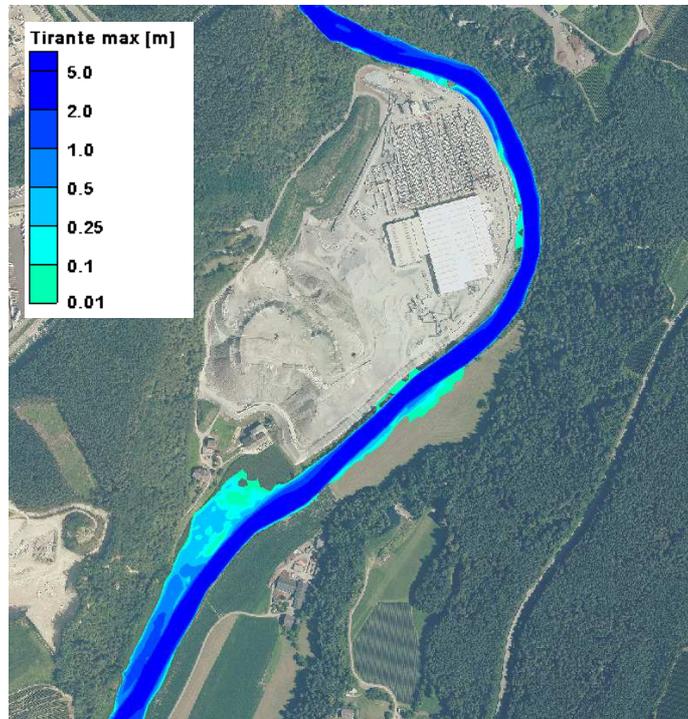


Figura 42. Tiranti massimi per l'evento TR100 in prossimità del deposito Hinterrigger.

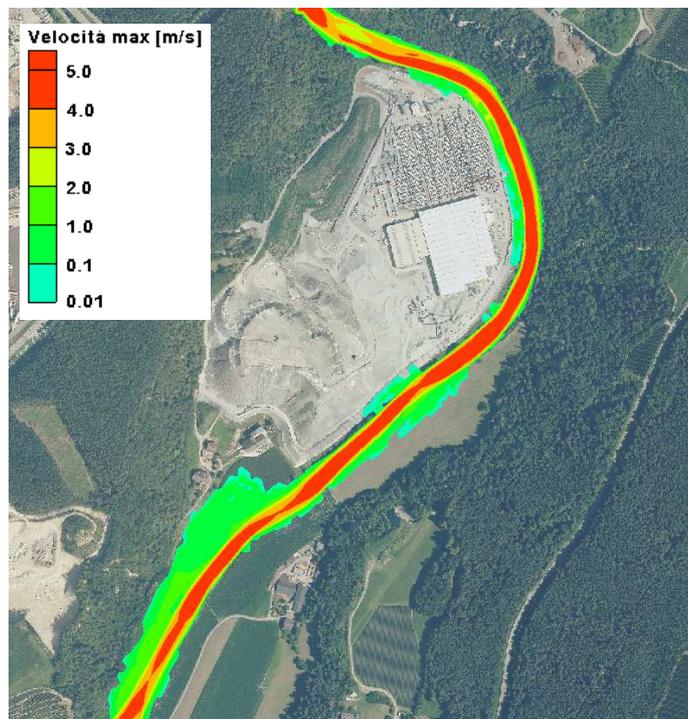


Figura 43. Velocità di flusso massime per l'evento TR100 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 38 di 50

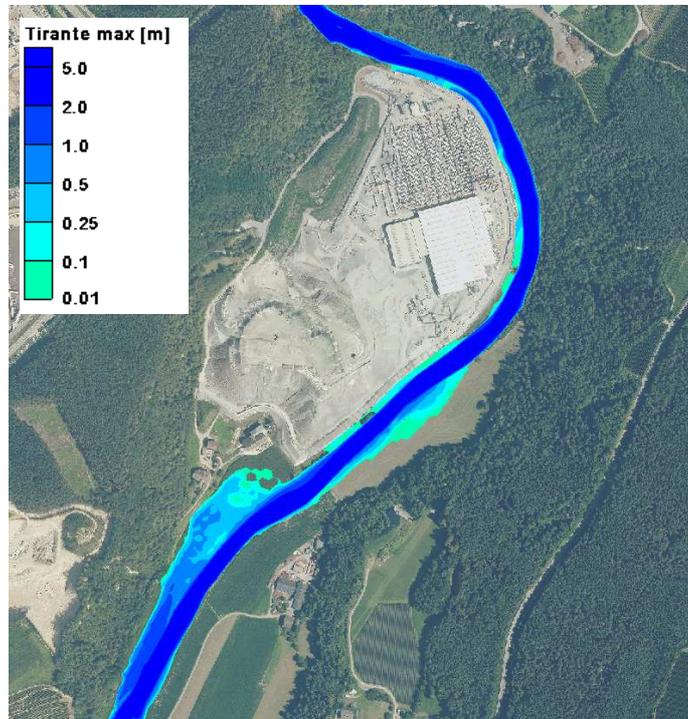


Figura 44. Tiranti massimi per l'evento TR200 in prossimità del deposito Hinterrigger.

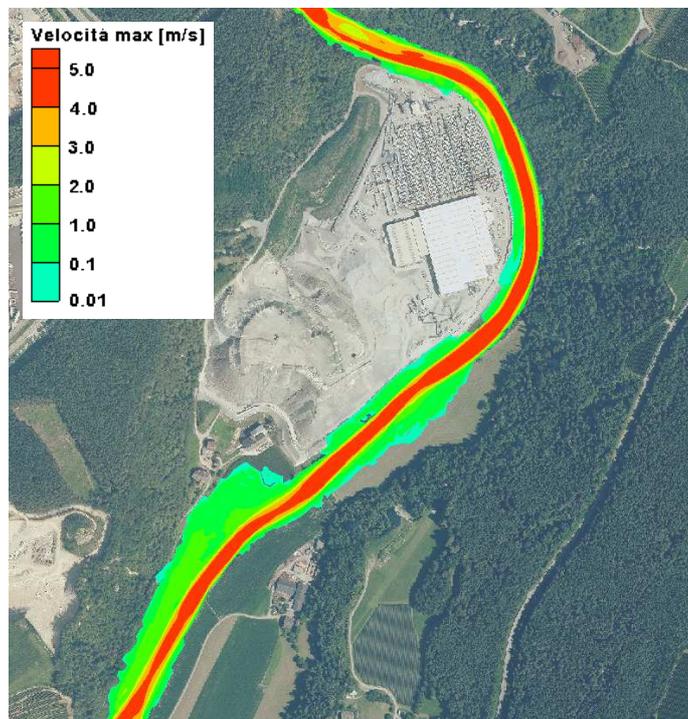


Figura 45. Velocità di flusso massime per l'evento TR200 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 39 di 50

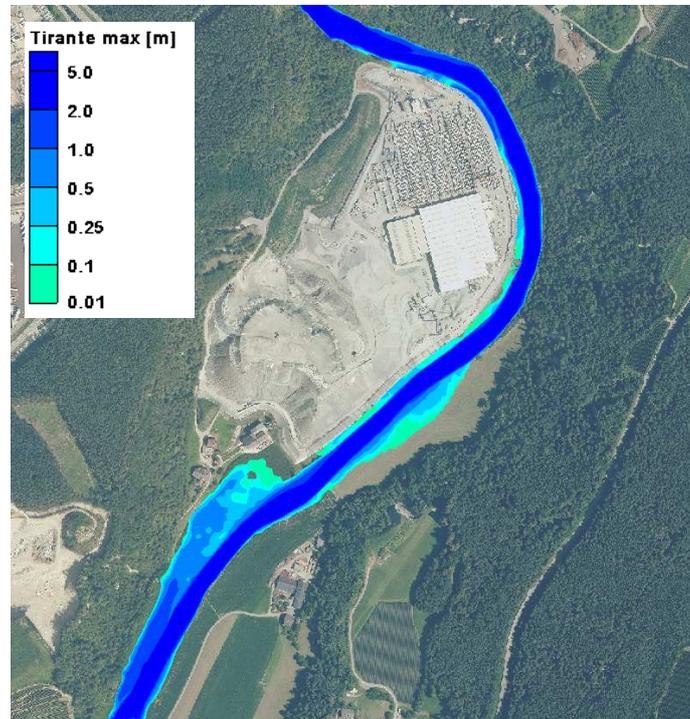


Figura 46. Tiranti massimi per l'evento TR300 in prossimità del deposito Hinterrigger.

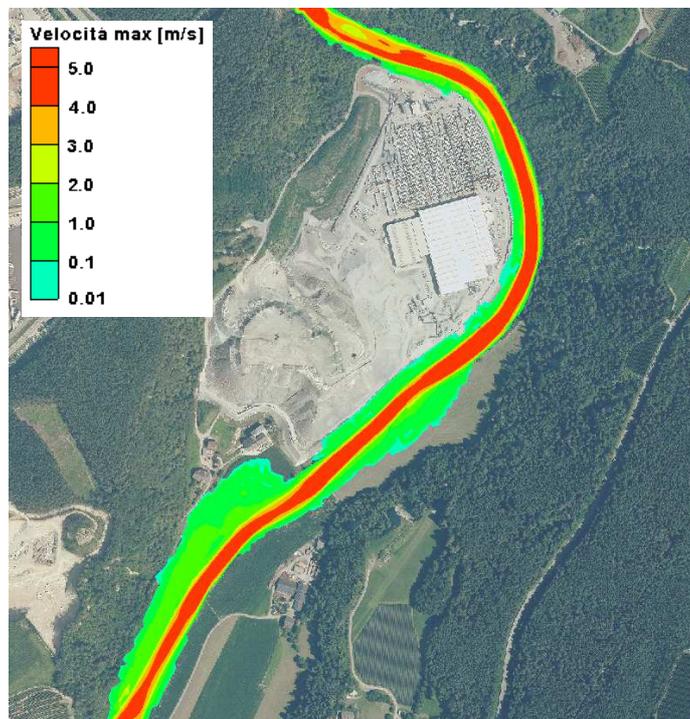


Figura 47. Velocità di flusso massime per l'evento TR300 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 40 di 50

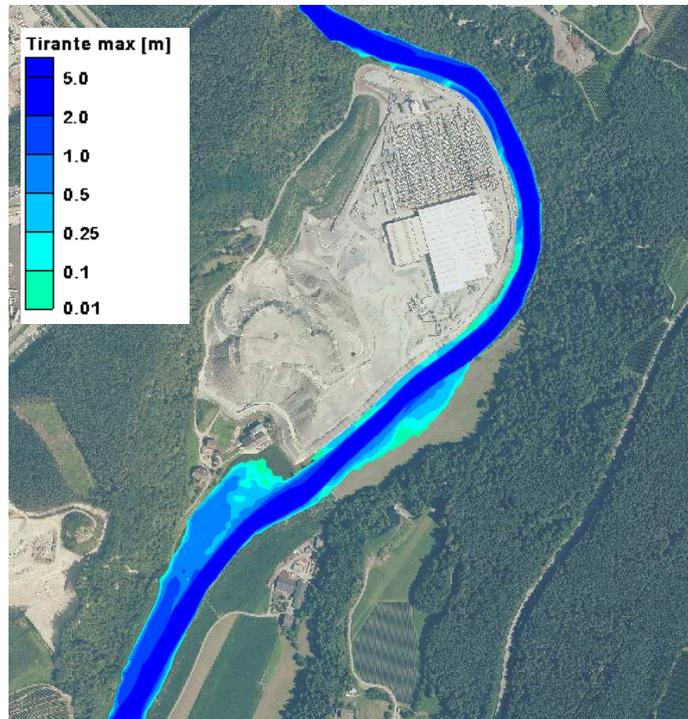


Figura 48. Tiranti massimi per l'evento TR500 in prossimità del deposito Hinterrigger.

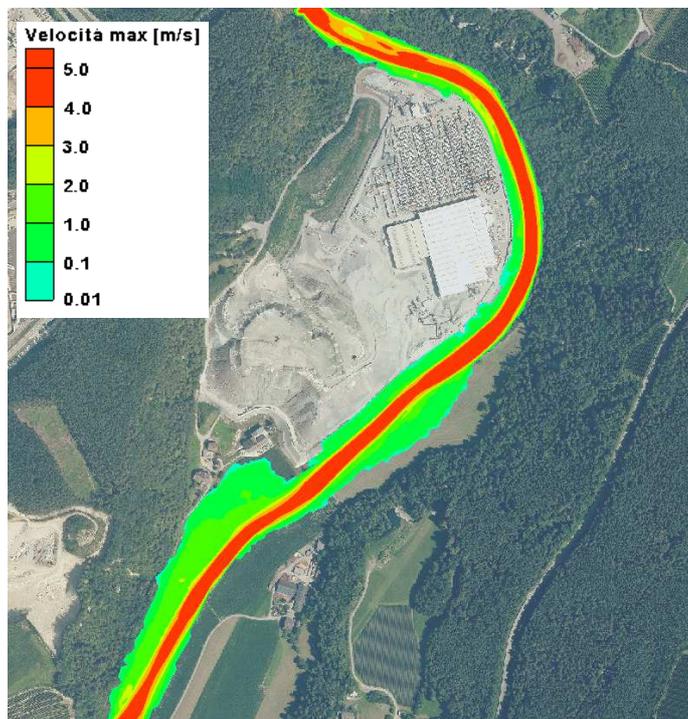


Figura 49. Velocità di flusso massime per l'evento TR500 in prossimità del deposito Hinterrigger.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO					
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	41 di 50
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi							

Nella seguente tabella si riportano i valori della WSE in corrispondenza delle sezioni trasversali di cui alla Figura 41. Rispetto allo stato di fatto si determina un leggero sovrizzo del pelo libero della corrente di pochi cm nelle sezioni 18, 19, 20, 21 e 22.

Sezione	STATO DI FATTO		STATO DI PROGETTO	
	TR300 – WSE max [m.s.l.m]	TR500 – WSE max [m.s.l.m]	TR300 – WSE max [m.s.l.m]	TR500 – WSE max [m.s.l.m]
15	635,33	635,45	635,33	635,45
16	634,95	635,08	634,95	635,08
17	634,37	634,48	634,37	634,48
18	633,00	633,09	633,06	633,18
19	632,60	632,70	632,64	632,76
20	631,84	631,98	631,84	632,00
21	630,80	630,95	630,81	630,95
22	629,54	629,66	629,55	629,66
23	629,03	629,17	629,03	629,17
24	628,22	628,38	628,23	628,38
25	627,35	627,48	627,36	627,49
26	626,37	626,46	626,37	626,47
27	625,27	625,41	625,28	625,41
28	623,89	624,03	623,89	624,03
29	623,02	623,10	623,02	623,10
30	621,99	622,10	621,99	622,10
31	620,23	620,38	620,24	620,38
32	619,03	619,23	619,03	619,23
33	617,62	617,71	617,62	617,71
34	617,23	617,33	617,23	617,33
35	616,48	616,57	616,48	616,57
36	615,78	615,86	615,78	615,86

Tabella 9. Confronto tra i tiranti idraulici massimi nelle sezioni trasversali per TR300 e TR500 in presenza della barriera simulata.

La nuova barriera sarà realizzata come un argine in terra protetto sul lato esterno da una scogliera, secondo la sezione tipologica di seguito riportata. In figura sono riportate anche le specifiche tecniche di esecuzione

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 42 di 50

del nuovo rilevato. Si sottolinea che il materiale con cui sarà realizzato il nuovo argine di protezione sarà prelevato nell'ambito degli scavi messi a deposito.

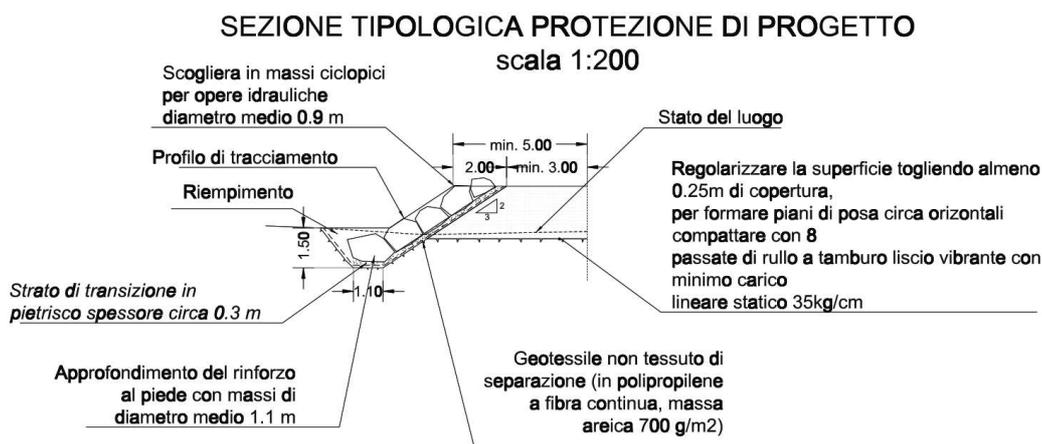


Figura 50. Sezione tipologica della nuova barriera di protezione tra le sezioni 16 e 20 (Elaborato IB0U1BEZZW9ID0000303C).

Nella tabella seguente viene riportato un inquadramento della nuova opera in termini di efficienza idraulica. Si nota come con la nuova barriera di progetto sono sempre garantiti franchi idraulici di almeno 1 m. L'opera pertanto risulta verificata idraulicamente.

Sezione	Quota coronamento barriera [m.s.l.m]	TR500 WSE max [m.s.l.m]	Franco idraulico [m]
16	636,25	635,08	1,17
17	635,48	634,48	1,00
18	634,18	633,18	1,00
19	633,76	632,76	1,00
20	633,00	632,00	1,00
21	632,18	630,95	1,00
22	631,77	629,66	2,11

Tabella 10. Quota della WSE TR 500, quota al coronamento della nuova barriera nelle varie sezioni e franco idraulico garantito.

9.2.2 Dimensionamento delle scogliere della nuova barriera

9.2.2.1. Premessa

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

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 43 di 50

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

9.2.2.2. 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 ϑ , 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), Δ 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 α e dall'angolo di attrito ϕ del materiale di cui è costituito il fondo.
- **Effetto dell'inclinazione trasversale delle sponde:** nel caso di materiae giacente su sponde inclinate le forze di portanza, di galleggiamento e la forza peso danno luogo ad una componente anche nel piano tangente alla sponda. La risultante delle forze parallele alla sponda risulta inclinata rispetto alla direzione della corrente. Occorre pertanto introdurre un fattore correttivo che tenga conto anche dell'inclinazione della sponda α_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:

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

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 44 di 50

A questo punto, imponendo la condizione di incipiente movimento ($\vartheta = \vartheta_{\text{CRITICO}}$), si determina agilmente il valore del diametro dei grani, noto come *diametro stabile*, che occorre considerare come valore di riferimento nell'ambito delle attività di progettazione delle difese spondali, al netto di opportuni coefficienti di sicurezza. Nel caso in esame sono stati considerati coefficienti di sicurezza (FS) di 1,6 per i massi al piede delle scogliere e di 1,3 per quelli in scarpata. Il valore critico del parametro di Shields è assunto pari a 0,057. Si riportano di seguito i dati utilizzati ed i risultati conseguiti.

Sezione		τ_{MAX} (N/m ²)	h (m)	u* (m/s)	d' (m)	FS	d (m)
16	<i>piede</i>	462	3,56	0,679	0,592	1,6	0,95
	<i>scarpata</i>					1,3	0,77
17	<i>piede</i>	525	3,66	0,724	0,668	1,6	1,07
	<i>scarpata</i>					1,3	0,87
18	<i>piede</i>	510	3,02	0,714	0,631	1,6	1,01
	<i>scarpata</i>					1,3	0,82
19	<i>piede</i>	410	2,91	0,641	0,518	1,6	0,83
	<i>scarpata</i>					1,3	0,67

Tabella 11. Dati salienti e risultati del calcolo effettuato secondo la trattazione di Shields.

9.2.2.3. Dimensionamento secondo FHWA

Come suggerito dalla Committenza, il dimensionamento dei massi propri delle protezioni laterali è stato effettuato anche con un secondo approccio tratto dall'esperienza ingegneristica americana (Federal Highway Administration, FHWA, si veda la parte bibliografica, US Department of Transportation, 2001). Il diametro medio da assegnare alla scogliera, una volta noto lo sforzo tangenziale che agisce sulla superficie inclinata della sponda, è così definibile:

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

in cui τ_0 è lo sforzo tangenziale in sponda, S_s è il peso specifico del materiale (assunto pari 2,65), γ è il peso specifico dei grani (assunto pari a ca. 16.000 N/m³) e η 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 θ è l'angolo di inclinazione della sponda. In Figura 51 è illustrato il valore del coefficiente di stabilità in funzione del coefficiente SF (assunto nel grafico pari a 1,5) (FHWA, 2011). Si riportano successivamente in Tabella 12 i dati utilizzati per i calcoli effettuati in questa sede ed i risultati conseguiti per tutte le sezioni oggetto di analisi.

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 45 di 50

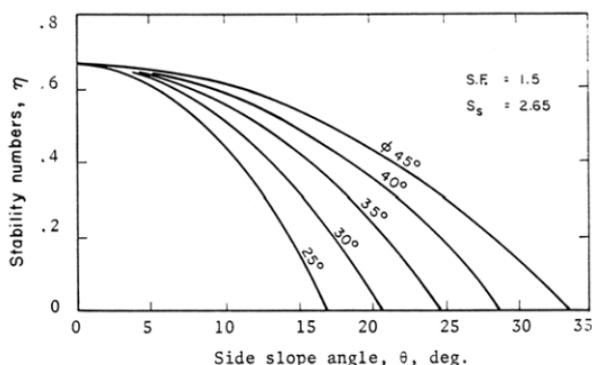


Figura 51. Valore del coefficiente di stabilità in funzione del coefficiente SF (assunto nel grafico pari a 1,5) (FHWA, 2011).

Sezione		τ_{MAX} (N/m ²)	S _s	γ (Kg/m ³)	θ (°)	ϕ (°)	S _m	SF	d (m)
16	piede	462	2,65	1.600	45	70	2,747	1,6	0,91
	scarpata							1,3	0,63
17	piede	525	2,65	1.600	45	70	2,747	1,6	1,03
	scarpata							1,3	0,71
18	piede	510	2,65	1.600	45	70	2,747	1,6	1,00
	scarpata							1,3	0,69
19	piede	410	2,65	1.600	45	70	2,747	1,6	0,80
	scarpata							1,3	0,56

Tabella 12. Dati salienti e risultati del calcolo effettuato secondo la trattazione FHWA (2011).

9.2.2.4. Risultati dei calcoli effettuati

In base ai modelli numerici effettuati e presentati nei capitoli successivi, lo sforzo tangenziale massimo τ_{MAX} che si determina lungo il paramento esterno della nuova barriera in occasione di una piena TR500 varia tra 410 e 525 Pa a seconda della sezione considerata. Nella seguente tabella sono riportati i risultati dei dimensionamenti eseguito con i due approcci prima descritti. Si nota come secondo la trattazione FHWA si ottengono dei valori dei diametri stabili sempre leggermente inferiori a quelli derivanti dalla trattazione di Shields, corretti con opportuni fattori di sicurezza.

Arginatura		TRATTAZIONE	TRATTAZIONE	SCELTA PROGETTUALE (m)
		SHIELDS (m)	FHWA (m)	
Sezione 16	in scarpata	0,77	0,63	0,80
	al piede	0,95	0,91	1,00
Sezione 17	in scarpata	0,87	0,71	0,90

APPALTAZIONE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 46 di 50

	al piede	1,07	1,03	1,10
Sezione 18	in scarpata	0,82	0,69	0,80
	al piede	1,01	1,00	1,00
Sezione 19	in scarpata	0,67	0,56	0,70
	al piede	0,83	0,80	0,90

Tabella 13. Diametri stabili della scogliera in scarpata ed al piede nelle sezioni di intervento.

Cautelativamente si è scelto di assumere come diametro di progetto il massimo derivante dalle due trattazioni, arrotondato al diametro commerciale più prossimo. Data la prossimità di tutte le sezioni, si ritiene utile omogeneizzare i diametri su tutto il tratto. Pertanto si considera un diametro stabile di 1,10 m al piede del nuovo argine ed un diametro stabile di 0,90 m in scarpata.

10. COMPATIBILITA' IDRAULICA

10.1 COERENZA CON IL D.P.P. 23/2019

10.1.1 Premessa

La compatibilità idraulica degli interventi di protezione proposti nel Progetto Esecutivo è stata valutata confrontando le risultanze della condizione post operam (stato di progetto) con lo stato di fatto ai sensi delle disposizioni normative relative alla Pianificazione delle Zone di Pericolo per la Provincia Autonoma di Bolzano (D.P.P. 23/2019). Nelle zone interessate da fenomeni alluvionali che presentino livelli di pericolo molto elevato, elevato o intermedio tutti gli interventi devono essere tali da:

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

Risulta altresì necessario che ogni intervento realizzato e/o in progetto non vada ad incrementare il pericolo, il danno potenziale ed il rischio specifico per le aree di valle e per terzi.

Si è pertanto provveduto ad analizzare le modifiche indotte sulle dinamiche alluvionali e sui parametri idraulici nelle aree di esondazione dalla realizzazione della barriera prevista per il deposito Hinterrigger, così come simulato nello stato post-opera (stato di progetto). L'analisi è limitata alla piena TR300 anni ai sensi della normativa vigente in Provincia di Bolzano, per la quale eventi marcati da tempi di ritorno maggiori di 300 anni ricadono sempre nella sfera del pericolo residuo.

10.1.2 Deposito Hinterrigger

Per quanto concerne l'area del deposito di Hinterrigger l'effetto idraulico indotto dalla presenza della barriera è evidente. In Figura 52 è riportato il confronto in termini di tiranti idraulici massimi e velocità di flusso massime per un evento di progetto marcato da tempi di ritorno di 300 anni.

Le attuali aree di cantiere ed il sito che ospiterà il deposito definitivo vengono adeguatamente protetti con la realizzazione della nuova barriera di protezione. Come risulta anche da quanto riportato in Tabella 9, la

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 47 di 50

variazione indotta sui tiranti idrici massimi in alveo risulta essere molto contenuta e ristretta unicamente ad alcune sezioni, dato che la quota parte di volume di piena in esondazione allo stato attuale risulta essere relativamente contenuta. A valle del deposito, nei campi prospicienti il maso "Hinterrigger", l'estensione delle aree alluvionate rimane sostanzialmente identica a quanto già determinato per lo stato attuale.

Per quanto concerne l'area del deposito, allo stato attuale una parte della zona è soggetta ad alluvionamento. La vulnerabilità delle strutture esistenti risulta essere elevata, il danno potenziale è pertanto elevato. Si determina pertanto una situazione di rischio elevato (Rs3). Con la realizzazione della barriera l'effetto mitigatorio è evidente, pertanto si censisce nello stato post operam un livello di rischio medio (Rs2) o minore.

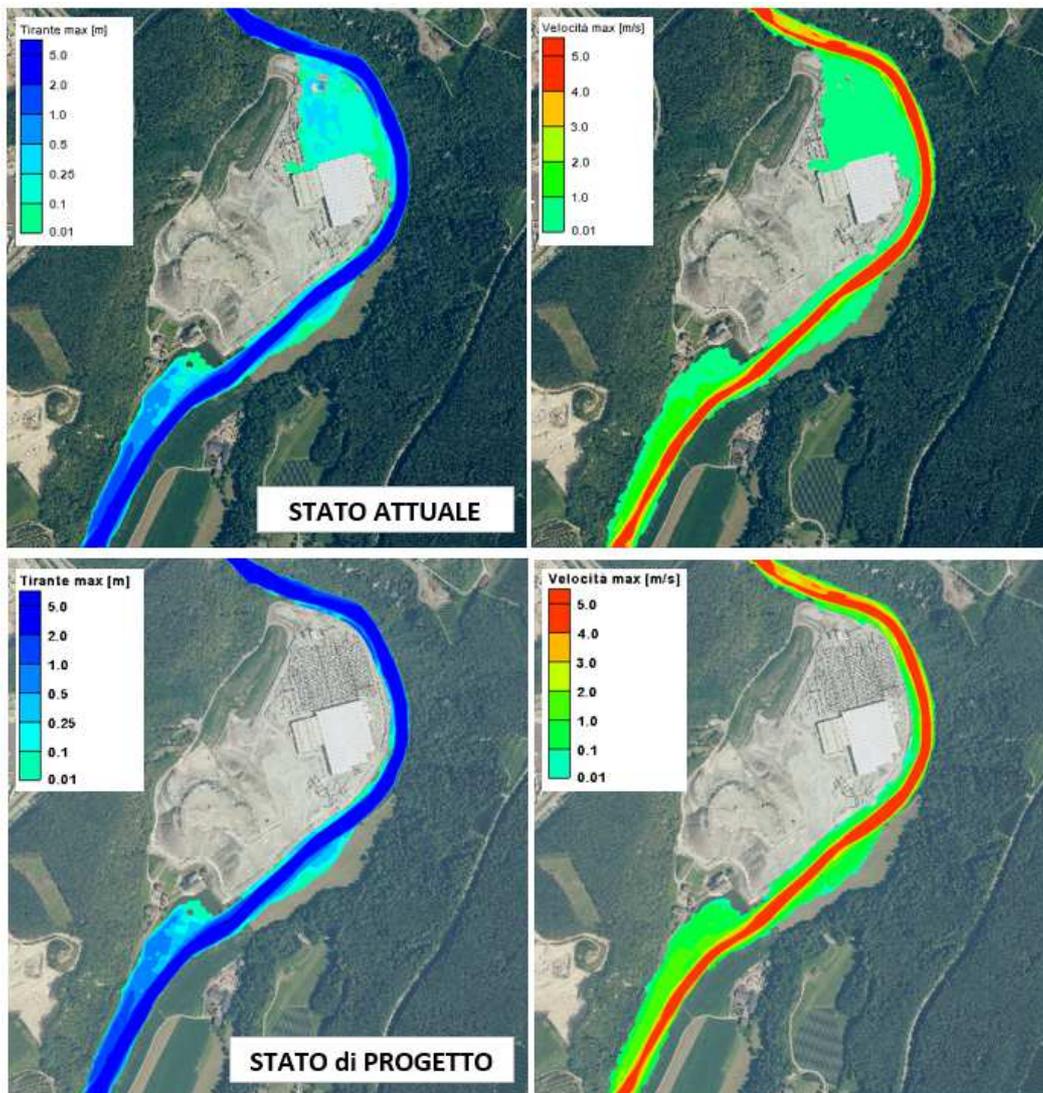


Figura 52. Confronto delle carte dei tiranti idraulici e delle velocità di flusso per TR300 nello stato attuale (sopra) e nello stato di progetto (sotto) per il deposito Hinterrigger.

Come si intuisce anche da Figura 52, la realizzazione della barriera non induce variazioni sostanziali a valle. L'estensione delle aree di espansione nei pressi del maso "Hinterrigger" non varia nello stato post operam.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
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 idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000301	C	48 di 50

Tali aree ospitano campi coltivati, caratterizzati da una bassa vulnerabilità e da un danno potenziale relativamente modesto. Data la sostanziale invarianza idraulica che risulta dalle simulazioni numeriche 2D condotte, si determina sia allo stato attuale che nello stato post operam un livello di rischio specifico intermedio (Rs2) pertanto accettabile e tollerabile.

Per quanto concerne i franchi minimi di sicurezza, si rimanda a quanto riportato nelle Tabelle 8 e 10, dalle quali si evince che con gli interventi previsti sarà garantito un franco idraulico minimo di almeno 1 m lungo tutto lo sviluppo longitudinale del deposito.

10.1.3 Conclusioni

In base a quanto sopra argomentato, si può pertanto concludere come in entrambi i casi la realizzazione delle opere di protezione idraulica non comporti sensibili modificazioni delle dinamiche alluvionali e dei parametri idraulici nelle aree di valle. Non vengono causati danni e rischi maggiori a terzi. La realizzazione delle misure di protezione può essere pertanto considerata **idraulicamente compatibile** ai sensi della legislazione vigente in provincia di Bolzano.

10.2P.G.R.A.

Per valutare la coerenza degli interventi in progetto con i dettami del P.G.R.A. si è fatto riferimento alle Norme di Attuazione degli strumenti di pianificazione dell'assetto idrogeologico. In particolare si è tenuto conto del primo aggiornamento del P.G.R.A. recentemente adottato. Occorre sottolineare che la Conferenza Istituzionale Permanente del 18 marzo 2022 ha preso atto della correzione dell'errore materiale presente nell'allegato V "Norme Tecniche di Attuazione" del Piano dell'Autorità di bacino distrettuale delle Alpi Orientali, che sostituisce i commi 3 e 5 dell'articolo 16 delle Norme Tecniche di Attuazione e rettifica l'allegato B alle norme medesime. Tale articolo reca "Efficacia del Piano e Coordinamento con la pregressa pianificazione di bacino" mentre l'allegato B cita "Utilizzo dei bacini idroelettrici ai fini della laminazione delle piene". Tali modifiche non inficiano gli altri articoli delle NTA che quindi si possono considerare ancora in vigore.

Si è provveduto pertanto a consultare le mappe della pericolosità idraulica del P.G.R.A. (si veda ad esempio le immagini seguenti). In particolare si è consultato il WebGIS del Sistema Informativo per la Gestione ed il Monitoraggio delle informazioni e dei procedimenti Ambientali della Direttiva Alluvioni (SIGMA) (Figura 53). Si nota come proprio nell'area di intervento ci sia un sostanziale vuoto di dati. Pertanto tale riferimento non può essere utilizzato. A titolo di confronto, si riporta in Figura 54 anche uno stralcio delle Carte delle Zone di Pericolo idraulico (IX) vigenti in Provincia di Bolzano, così come riportato nel Geocatalogo provinciale, da cui si intuisce invece una buona corrispondenza con quanto ottenuto dalle valutazioni idrauliche effettuate in questa sede. Si cita ad ogni modo l'enunciato dell'Art. 13 recante "Disciplina delle aree fluviali" che dispone che nelle aree fluviali sono escluse tutte quelle attività e/o utilizzazioni che diminuiscono la sicurezza idraulica ed in particolare quelle che possono determinare una riduzione della capacità di invaso e di deflusso del corpo idrico influente ed interferire con la morfologia in atto e/o prevedibile del corpo idrico influente.

Da quanto discusso nei paragrafi precedenti si evince come le opere in progetto non inficiano la sicurezza idraulica, non riducono la capacità di deflusso del Fiume Isarco e non interferiscono con la morfologia caratteristica del corso d'acqua, inserendosi peraltro in un tratto già fortemente artificializzato e ad acqua residua essendo a valle della diga di Fortezza. Pertanto si ritiene che il progetto possa essere considerato senza problemi **coerente e conforme con la disciplina del P.G.R.A.**

APPALTATORE:		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO			
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 49 di 50

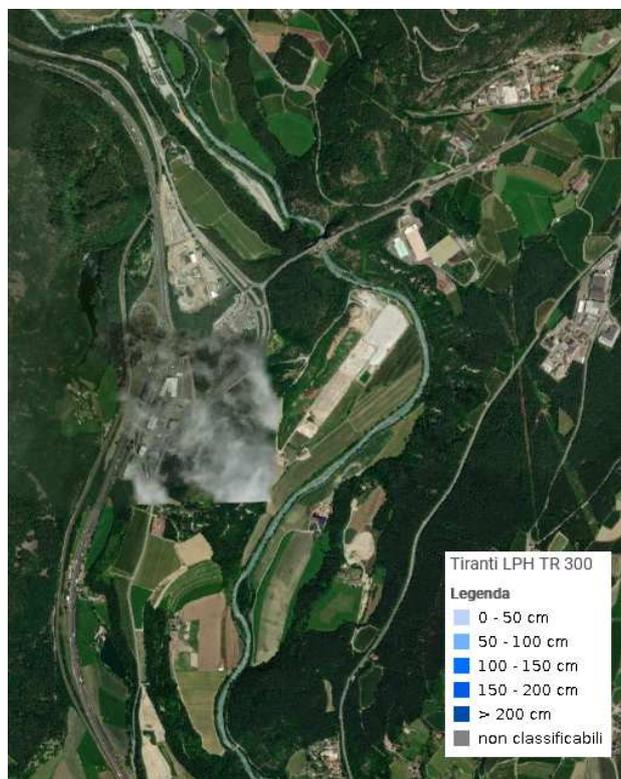


Figura 53. Estratto della Carta dei Tiranti Idraulici attesi per TR300 ai sensi del WebGIS del portale SIGMA dell’Autorità Distrettuale di Bacino secondo il Piano 2021-2027 ad oggi in vigore.

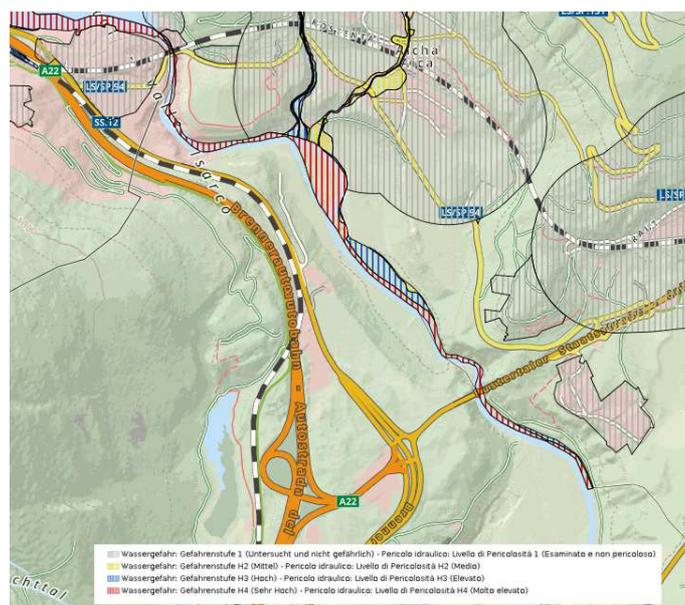


Figura 54. Stralcio delle Carte IX dei Piani delle Zone di Pericolo vigenti in Provincia di Bolzano (Geoportale, Rete Civica, Provincia Autonoma di Bolzano).

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" PROGETTO ESECUTIVO					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA Relazione idrologica e idraulica fiume Isarco - Depositi	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000301	REV. C	FOGLIO. 50 di 50

11. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Associazione Italiana di Idronomia, *Analisi del Regime delle Piogge Intense per la Provincia Autonoma di Bolzano*, Provincia Autonoma di Bolzano, Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo (2013).

Chow, V. T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Company (1959).

Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W., *Applied hydrology*, McGraw-Hill (1988).

McCuen, R. H., *Hydrology Analysis and Design*, Prentice-Hall. 3ed (2004).

Università degli Studi di Padova, *Procedura di calcolo dell'idrogramma di piena a frequenza di superamento assegnata per il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano* (2015).