

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO  
Dotting. PAOLUCUCINO  
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

ELABORATI GENERALI

Relazione idraulica bacini minori

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

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

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	L. De Barba	29/12/2021	D. Nave	31/12/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA P. Cucino  30/07/2022  ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROV. DI TRENTO Dotting. PAOLUCUCINO 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	

File: IB0U1BEZZRIID0000002B.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	2 di 54

## SOMMARIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>SINTESI DELLA NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3.</b>	<b>PRECEDENTI STUDI IDRAULICI NELL'AREA DI INTERESSE.....</b>	<b>8</b>
<b>4.</b>	<b>APPROCCIO METODOLOGICO .....</b>	<b>9</b>
<b>5.</b>	<b>ELENCO DELLE CARTE TEMATICHE CONSULTATE .....</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>RISULTATI DELLO STUDIO IDROLOGICO PER I BACINI MINORI .....</b>	<b>12</b>
6.1	PREMESSA .....	12
6.2	PORTATE LIQUIDE PER LE OPERE DEFINITIVE .....	12
6.3	TEMPO DI RITORNO E PORTATE LIQUIDE PER LE OPERE PROVVISORIALI.....	14
<b>7.</b>	<b>ELEMENTI POTENZIALMENTE ESPOSTI.....</b>	<b>16</b>
<b>8.</b>	<b>SCENARI DI ACCADIMENTO E QUANTIFICAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>19</b>
8.1	SCENARI DI ACCADIMENTO.....	19
8.2	QUANTIFICAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	21
8.2.1	Alluvionamenti torrentizi .....	21
8.2.2	Colate detritiche.....	22
<b>9.</b>	<b>PORTATE DI PROGETTO TOTALI.....</b>	<b>24</b>
<b>10.</b>	<b>VALUTAZIONI IDRAULICHE.....</b>	<b>28</b>
10.1	GENERALITA' .....	28
10.2	ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE ALLAGABILI .....	28
10.3	VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE DATE DA FENOMENI DI EROSIONE DI FONDO.....	31
10.4	BACINO 01.....	34
10.4.1	Premessa .....	34
10.4.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	34
10.4.3	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	35
10.4.4	Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere .....	35
10.4.5	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	36
10.5	BACINO 01.1.....	36
10.5.1	Premessa .....	36
10.5.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	36

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 3 di 54

10.5.3	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	37
10.5.4	Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere .....	38
10.5.5	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	38
10.6	BACINO 01S .....	38
10.6.1	Premessa .....	38
10.6.2	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	38
10.6.3	Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere .....	39
10.6.4	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	39
10.7	BACINO 02.1 .....	40
10.7.1	Premessa .....	40
10.7.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	40
10.8	BACINO 02.2 .....	41
10.9	BACINO 03 .....	41
10.9.1	Premessa .....	41
10.9.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	41
10.10	BACINO 04 .....	42
10.11	BACINO 05 .....	42
10.11.1	Premessa .....	42
10.11.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	43
10.12	BACINO 05.1 .....	43
10.12.1	Premessa .....	43
10.12.2	Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere .....	44
10.12.3	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	44
10.13	BACINO 06 .....	45
10.13.1	Premessa .....	45
10.13.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	45
10.14	BACINO 07 .....	46
10.14.1	Premessa .....	46
10.14.2	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	46
10.14.3	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	46
10.15	BACINO 08 .....	47

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 4 di 54

10.15.1	Premessa .....	47
10.15.2	Analisi della massima erosione potenziale al fondo .....	47
10.15.3	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	48
10.15.4	Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere .....	50
10.15.5	Aree potenzialmente allagabili - Stato finale .....	50
10.16	BACINO 09.1.....	51
10.16.1	Premessa .....	51
10.16.2	Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale.....	51
10.16.3	Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere .....	52
10.17	BACINI 09.2 E 09.03.....	52
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE .....</b>	<b>53</b>

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	5 di 54

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritte le metodologie e gli approcci applicati ed i risultati dello studio idraulico svolto al fine di verificare la compatibilità idraulica con i bacini minori individuati in sede di Progetto Definitivo delle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 della lunghezza complessiva di 22+492 km per il binario dispari e 21+917 km per il binario pari. La ferrovia prevista fa parte di un più ampio progetto che prevede il potenziamento della linea Bolzano – Confine di stato. Il tracciato del tratto oggetto del presente studio si sviluppa prevalentemente in galleria seguendo la valle del Fiume Isarco. In particolare il tracciato è costituito da due gallerie, la prima, denominata "Galleria Scaleres", corre lungo la sponda in idrografica destra nel tratto compreso tra Fortezza e Funes e la seconda, denominata "Galleria Gardena", in sponda sinistra dell'Isarco è sita tra Funes e Ponte Gardena. In località Funes un viadotto che attraversa l'Isarco costituisce il collegamento tra le due gallerie. La notevole lunghezza dei tratti previsti in galleria ha imposto di prevedere quattro finestre di accesso alla linea, queste sono rispettivamente previste nelle località di Chiusa, Funes, Albes e Forch. A tali elementi di interesse vanno aggiunti i tratti di interconnessione tra il tracciato in progetto e le stazioni ferroviarie di Ponte Gardena e di Fortezza.

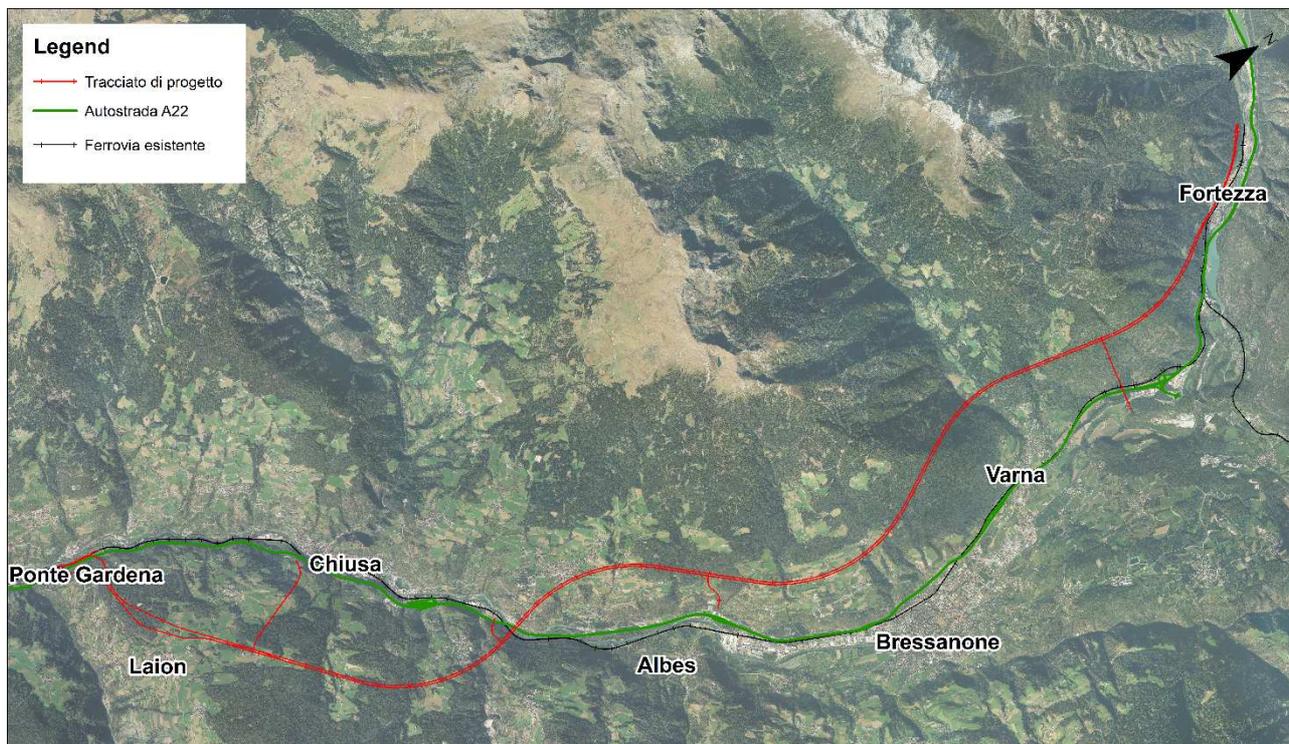


Fig. 1 – Corografia del tracciato di progetto.

L'obiettivo della presente relazione è quello di indagare l'interazione tra fenomeni idraulici e le opere infrastrutturali previste per i bacini imbriferi minori oggetto di studio, le relative portate totali e nei, casi in cui il tracciato corra in galleria, analizzare l'entità degli scavi associati al fenomeno di erosione al fondo. Tali indagini sono svolte con approcci diversificati a seconda dello specifico caso e sono finalizzate ad individuare

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	6 di 54

mirate misure di mitigazione del pericolo e del rischio idraulico in relazione allo specifico caso, a seconda che l'elemento potenzialmente esposto sia rappresentato dalla linea ferroviaria in galleria di progetto (stato post operam) o dalle aree e dalle installazioni di cantiere.

## 2. SINTESI DELLA NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le opere infrastrutturali previste si sviluppano interamente nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano e la normativa a cui si è fatto riferimento tiene conto di quanto previsto a livello nazionale e di quanto è stato recepito anche a livello provinciale.

Lo Statuto di Autonomia (d.p.r. 670/1972) delega alla Provincia di Bolzano competenza esclusiva in materia di opere di prevenzione e di pronto soccorso per calamità pubbliche, delle opere idrauliche della terza, quarta e quinta categoria, di urbanistica e tutela del paesaggio, anche rispetto ad un utilizzo del territorio conforme ai vincoli derivati dalla stabilità e sicurezza dello stesso, di acquedotti e lavori pubblici di interesse provinciale, ivi compresi gli interventi di messa in sicurezza dei corsi d'acqua, dei bacini montani e degli insediamenti abitativi, di gestione del demanio idrico, compresi i profili della sicurezza idraulica. Lo stesso Statuto prevede che la gestione delle risorse idriche avvenga in base a un piano generale, **Il Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche – PGUAP**, stabilito d'intesa tra i rappresentanti dello Stato e della Provincia in seno a un apposito comitato.

L'art. 2 del **D.Lgs. 11 novembre 1999, n. 463** completa il quadro autonomistico in materia di gestione delle risorse idriche, trasferendo alle Province autonome di Trento e Bolzano la competenza sull'intero demanio idrico e delegando inoltre a esse le funzioni amministrative in materia di opere idrauliche di prima e seconda categoria e in materia di concessioni di grandi derivazioni a scopo idroelettrico. Lo stesso decreto modifica inoltre l'art. 5, terzo comma, del d.p.r. 22 marzo 1974, n. 381 (recante: *"Norme di attuazione dello Statuto speciale della Regione Trentino-Alto Adige in materia di demanio idrico, di opere idrauliche e di concessioni di grandi derivazioni a scopo idroelettrico, produzione e distribuzione di energia"*), stabilendo che il Piano Generale per l'Utilizzazione delle Acque Pubbliche **vale anche, per il rispettivo territorio, quale Piano di bacino di rilievo nazionale**; il Piano di Bacino, previsto dal d.lgs. 152/2006 (Testo unico ambientale).

Il PGUAP stabilisce inoltre che *"l'insieme degli elaborati cartografici relativi ai piani comunali delle zone di pericolo confluisce nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico"*, che pertanto, insieme al Piano di Tutela delle Acque, costituisce uno dei due piani stralcio del PGUAP stesso.

Ai sensi delle attuali normative (D.P.P. n. 23 del 10 ottobre 2019), si rende necessaria la presente perizia al fine di valutare la pericolosità idrogeologica ed idraulica insistente sulle aree oggetto di intervento, redatta anche in base alla D.G.P nr. 989 del 13 settembre 2016. Qualora gli interventi proposti siano localizzati all'interno di zone H2, H3 o H4 è necessario effettuare una verifica di compatibilità idrogeologica e idraulica, da redigersi ai sensi del D.P.P. n. 23 del 10 ottobre 2019.

A completamento del quadro normativo vanno inserite inoltre le Norme Tecniche per le Costruzioni. Allo stato attuale risultano vigenti le NTC2018 approvate con decreto ministeriale del 18 gennaio 2018. Si ritiene comunque di dover far riferimento alla versione precedente delle NTC (2008) in quanto vigenti all'atto dell'approvazione del Progetto Definitivo, su cui si basano tutte le valutazioni tecniche e progettuali implementate in fase esecutiva.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IB0U</td> <td style="text-align: center;">1BEZZ</td> <td style="text-align: center;">RI</td> <td style="text-align: center;">ID0000002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">7 di 54</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	RI	ID0000002	B	7 di 54
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IB0U	1BEZZ	RI	ID0000002	B	7 di 54													
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori																		

Infine occorre sottolineare che per la determinazione dei contributi solidi associati a fenomeni di alluvionamento torrentizio si è fatto riferimento alle Linee Guida tedesche recanti *"Fachkonzept Wildbachgefährdungsbereiche"* sviluppate nel 2005 dal Bayerisches Landesamt für Umwelt e ad oggi vigenti, che consentono la stima dei parametri progettuali con un riconosciuto approccio matriciale.

Ad integrazione di quanto sopra, la normativa nazionale relativa ai principali riferimenti nazionali, provinciali e settoriali in materia di studi idrologici e di compatibilità idraulica alla base di tutte le assunzioni e le verifiche progettuali effettuate è infine riassunta di seguito:

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

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	8 di 54

### 3. PRECEDENTI STUDI IDRAULICI 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 Funes (Patscheider & Partner, 2020);
- Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Velturmo (Ingenieurbüro Passer & Partner, 2017);
- 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, 2020);
- Progetto: Opere di protezione idraulica e da caduta massi, Fossato Schindler - B.440 (hydro's, 2019);
- Piano Fluviale della Media Valle Isarco (Progetto "StadtLandFluss" - ARE, 2010).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	9 di 54

#### 4. APPROCCIO METODOLOGICO

Nell'ambito della Progettazione Esecutiva si è proceduto per step successivi. È stata in primis eseguita un'analisi di plausibilità dei dati riportati nel Progetto Definitivo e laddove si sia ritenuto opportuno sono state apportate delle modifiche in linea con le esigenze progettuali. Per quanto riguarda i bacini minori si evidenzia quanto segue:

- È risultato necessario ridefinire il perimetro e l'estensione della superficie di numerosi bacini imbriferi già considerati nel Progetto Definitivo. Sulla scorta del Modello Digitale del Terreno della Provincia Autonoma di Bolzano (2006, risoluzione a terra 2,5 m) e del Modello Lidar Solar Tirol (2013, risoluzione a terra 0,5 m), si è provveduto a ritracciare in ambiente GIS l'estensione dei bacini imbriferi in modo da ottenere una rappresentazione più realistica delle superfici drenanti oggetto di indagine.
- Dopo appositi sopralluoghi in campo ed una attenta analisi del Progetto Definitivo, si è provveduto a stralciare dall'analisi alcuni bacini minori, per i quali non si registra in campagna alcun segno di attività torrentizia e/o alcuna evidenza di potenziale pericolo per le opere in oggetto. Parimenti si è provveduto ad inserire alcuni corsi d'acqua non considerati nella precedente fase progettuale perché ritenuti di interesse e a dettagliare ulteriormente altri bacini minori suddividendoli in più sottobacini.
- Si è provveduto ad uniformare i dati di pioggia utilizzati. Nel Progetto Definitivo sono stati utilizzati sia i dati derivanti da processi di regionalizzazione (ad es. VAPI), che notoriamente in provincia di Bolzano non rispecchiano in modo rappresentativo il regime delle precipitazioni, che i dati forniti dall'Agenzia per la Protezione Civile della Provincia Autonoma di Bolzano (Webbasin 2.0). Nel Progetto Esecutivo sono stati considerati esclusivamente i secondi per tutti i bacini, in modo da allineare i dati ed eliminare eventuali discrepanze imputabili alle diverse serie di dati considerati.
- Parimenti, si è provveduto ad uniformare per tutti i bacini gli approcci idrologici di calcolo e le formulazioni utilizzate, ad esempio per il tempo di ritardo ed il tempo di corrivazione. Si è scelte di utilizzare degli abachi di letteratura che tengano conto non solo della destinazione d'uso dei suoli, ma anche del tempo di ritorno degli eventi incidenti, delle pendenze dei versanti e delle caratteristiche geologiche e litostratigrafiche degli stessi.
- Si è provveduto ad inquadrare in dettaglio i fenomeni idraulici attesi per ogni bacino minore in relazione al tempo di ritorno degli eventi di progetto. Mentre nel Progetto Definitivo si è considerato esclusivamente il contributo liquido, nell'ambito del Progetto Esecutivo si è preso in considerazione anche il contributo solido, discriminando tra fenomeni di alluvionamento, alluvionamento torrentizio, colata detritica ed erosione di fondo, in accordo con le definizioni della D.G.P. 989/2016.
- Per alcuni bacini minori ritenuti particolarmente critici si è provveduto a valutare in dettaglio il contributo solido mobilizzato dalle portate liquide influenti per ogni tempo di ritorno in relazione allo specifico fenomeno atteso, arrivando pertanto a definire una portata totale di progetto che tenesse conto dei contributi liquidi e solidi per i corsi d'acqua di interesse.
- Nelle sezioni e negli ambiti di interesse di ciascun bacino imbrifero è stata eseguita una valutazione di dettaglio delle dinamiche erosive potenziali indagando le potenziali interferenze attese. Laddove ritenuto opportuno, le interazioni tra le installazioni di cantiere e/o le opere ferroviarie ed i

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI  REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA  LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA  TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>10 di 54</b>

processi idrogeologici attesi sono state indagate con il supporto di modellazioni bidimensionali a fondo fisso.

Dopo una sommaria sintesi dei risultati degli studi idrologici condotti, sono stati evidenziati tutti gli elementi vulnerabili potenzialmente esposti al pericolo idraulici imputabile ai bacini minori. Sono stati definiti gli scenari di accadimento più probabili al variare del tempo di ritorno e laddove necessario ed utile si è provveduto a quantificare il trasporto solido. Per ogni bacino minore sono state infine condotte tutte le valutazioni idrauliche del caso, atte a definire le interferenze con le opere in progetto sia in fase di cantiere che in fase di esercizio.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	11 di 54

## 5. ELENCO DELLE CARTE TEMATICHE CONSULTATE

Si riporta l'elenco delle carte tematiche analizzate per la redazione del presente studio:

- Modello digitale del terreno (DTM risoluzione 2,5 m del 2006 e 0,5 m del 2013). Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Pianificazione territoriale e cartografia;
- Ortofotocarte del 1992-1997, 1999, 2006, 2008, 2011, 2014-2015, 2017, 2020. Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Pianificazione territoriale e cartografia;
- Piani Urbanistici Comunali. Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Pianificazione Territoriale e Cartografia;
- Carta Tecnica Provinciale (1:10.000 e 1:5.000). Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Pianificazione Territoriale e Cartografia;
- Carta dell'Uso del Suolo Reale. Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Pianificazione Territoriale e Cartografia;
- Carta Geologica (1:100.000). Provincia Autonoma di Bolzano, Ufficio Geologia e Prove Materiali;
- Documentazione Eventi (ED30). Agenzia per la Protezione Civile, Provincia Autonoma di Bolzano;
- Catasto delle Opere di Protezione (BAUKAT). Agenzia per la Protezione Civile, Provincia Autonoma di Bolzano;
- Mappe Catastali;
- Mappe Tabacco.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>						
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 12 di 54		

## 6. RISULTATI DELLO STUDIO IDROLOGICO PER I BACINI MINORI

### 6.1 PREMESSA

L'elaborazione del Progetto Definitivo si è basata sulla normativa nazionale, che prevede di indagare la pericolosità idraulica dei corsi d'acqua considerando eventi di piena marcati da tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Nell'ambito della redazione del Progetto Esecutivo si è fatto invece riferimento alla normativa di settore della Provincia Autonoma di Bolzano (D.G.P. 989/2016) che considera le forzanti idrologiche di piena associate a tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni. Si specifica che per alcuni bacini minori il focus dell'indagine verte sulla quantificazione della potenziale interferenza in asse galleria, associata ad una stima della massima profondità di erosione attesa in alveo. Pertanto, per questi bacini è stato indagato solamente lo scenario estremo associato al verificarsi di una piena con tempo di ritorno 300 anni.

Per le verifiche idrauliche condotte presso il nuovo attraversamento lungo il Rio di Funes (bacino 08) è stata calcolata anche la portata marcata da tempi di ritorno di 200 anni in virtù delle prescrizioni normative imposte dalle NTC per la verifica del franco idraulico minimo. Le fasi di cantiere sono state infine indagate con piene marcate da tempi di ritorno di 21 anni, come illustrato nel paragrafo 6.3. Si rimanda al paragrafo 8.1 per un inquadramento di dettaglio dei tempi di ritorno degli eventi di piena utilizzati per le verifiche di progetto.

### 6.2 PORTATE LIQUIDE PER LE OPERE DEFINITIVE

Si riportano nelle seguenti tabelle i valori ottenuti per i bacini in esame. Sono indicati i parametri morfometrici dei bacini idrografici delimitati ed i valori di portata stimate per tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni, in accordo con la normativa provinciale vigente. I simboli presenti nella tabella sono:

- AREA area bacino [Km<sup>2</sup>]
- L Asta lunghezza asta [m]
- J Asta pendenza asta [m/m]
- tr Kerby tempo di corrivazione calcolato con la relazione di Kerby [min]
- tr B-W tempo di corrivazione calcolato con la relazione di Bransby William [min]
- tr F.A.A. tempo di corrivazione calcolato con la relazione di F.A.A. [min]
- tr medio tempo di corrivazione calcolato come la media dei precedenti tre valori [min]
- $\varphi$  Tr30, 100 e 300 coefficiente di deflusso superficiale in funzione del tempo di ritorno [-]
- h Tr30, 100 e 300 altezza di pioggia in funzione del tempo di ritorno [-]

Nr. BACINO	ZONA	AREA [Km <sup>2</sup> ]	L Asta [m]	J Asta [m/m]	tr Kerby [min]	tr B-W [min]	tr F.A.A. [min]	tr medio [min]	h Tr30 [mm]	h Tr100 [mm]	h Tr300 [mm]	$\varphi$ Tr30 [-]	$\varphi$ Tr100 [-]	$\varphi$ Tr300 [-]
<b>01</b>	Albes	1.24	1548	0.32	VALORI DESUNTI DAL PIANO DELLE ZONE DI PERICOLO DEL COMUNE DI VELTURNO									
<b>01.1</b>	Albes	0.09	480	0.74	24.41	9.43	18.16	17.33	25.93	30.93	35.45	0.21	0.26	0.30
<b>01s</b>	Albes	0.08	478	0.65	25.39	9.78	18.88	18.02	26.30	31.37	35.96	0.21	0.26	0.29
<b>02.1</b>	Varna	0.94	2000	0.64	50.36	32.06	35.17	39.19	31.47	37.97	43.86	0.42	0.52	0.60
<b>03</b>	Fortezza	1.14	2033	0.61	49.16	32.24	34.80	38.73	31.10	37.56	43.40	0.41	0.50	0.58

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 13 di 54

05	Fortezza	0.54	1905	0.66	48.83	32.06	33.94	38.28	30.97	37.39	43.22	0.42	0.52	0.60
05.1	Fortezza	0.22	1688	0.68	44.38	30.94	30.51	35.28	30.06	36.29	41.94	0.43	0.53	0.61
06	Fortezza	0.31	1760	0.61	44.67	31.74	30.95	35.79	30.22	36.49	42.17	0.43	0.54	0.62
07	Forch	0.04	312	0.06	32.17	10.96	30.39	24.51	26.50	31.98	36.94	0.39	0.48	0.56
08	Funes	72.78	16543	0.09	193.73	256.15	177.57	209.15	54.39	64.89	74.41	0.18	0.22	0.26
09.1	Laion	0.18	876	0.33	36.96	18.83	31.89	29.23	32.26	37.99	43.19	0.31	0.38	0.44

Tabella 1 – Parametri principali dei bacini minori.

I dati pluviometrici assunti per tutte le elaborazioni idrologiche alla base delle attività di progettazione svolte sono riferiti all'analisi del regime delle piogge intense per la Provincia Autonoma di Bolzano, redatto per conto dell'Azienda Speciale per la Regolazione dei Corsi d'Acqua e la Difesa del Suolo dall'Associazioni Italiana di Idronomia (*WebBasin 2.0*, 2015 e successivi aggiornamenti). Le serie di dati messe a disposizione dal competente Ufficio idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano coprono quasi cento anni di dati (dal 1923), sono stati considerati sia i massimi annuali di intensità della precipitazione di durata compresa tra 15 min e 24 h (113 stazioni pluviografiche della Provincia) che i valori giornalieri di precipitazione. Dalle elaborazione svolte per ogni punti afferente al reticolo idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano è possibile ottenere le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometria per differenti tempi di ritorno.

Per un'illustrazione delle basi teoriche utilizzate per la stima delle portate di piena al variare del tempo di ritorno per tutti i bacini analizzati si rimanda a quanto riportato nella Relazione Idrologica generale (IBOU1BEZZRIID0000001B).

Nr. BACINO	ZONA	Q T=30 [m³/s]	Q T=100 [m³/s]	Q T=300 [m³/s]	Q T=200 [m³/s]
01	Albes	3,68	5,43	7,20	
01.1	Albes	0,49	0,72	0,94	
01s	Albes	0,40	0,58	0,77	
02.1	Varna	5,29	7,88	10,47	
03	Fortezza	6,18	9,21	12,24	
05	Fortezza	3,06	4,56	6,07	
05.1	Fortezza	1,33	1,98	2,63	
06	Fortezza	1,91	2,84	3,78	
07	Forch	0,30	0,45	0,59	
08	Funes	57,18	84,22	111,06	101,19
09.1	Laion	1,04	1,51	1,98	

Tabella 2 – Portate liquide di piena per i bacini minori.

Per i corsi d'acqua afferenti ai bacini 01 e 08 si fa inoltre riferimento a quanto riportato rispettivamente nel Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Velturmo e del Comune di Funes. Le portate stimate nel presente documento sono in linea con quanto dettagliato nei suddetti Piani. Si sottolinea che solo per il corso d'acqua 08 è stata calcolata, per interpolazione lineare, la portata liquida associata ad un evento 200ennale al fine di verificare il ponte di progetto lungo il Rio Funes.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IB0U	1BEZZ	RI	ID0000002	B	14 di 54

### 6.3 TEMPO DI RITORNO E PORTATE LIQUIDE PER LE OPERE PROVVISORIALI

Per la determinazione del tempo di ritorno da assegnare alle portate di progetto per la valutazione della funzionalità delle opere provvisorie in esame previste lungo i corsi d'acqua oggetto di studio è stato fatto riferimento alla Direttiva tecnica riguardante i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture di interesse pubblico della Autorità di Bacino del fiume Po, in quanto ritenuta valida anche per l'area in esame in considerazione della vicinanza territoriale e della similarità legislativa.

Secondo quanto riportato nella Direttiva Tecnica n.4 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" assunta dalla Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione di Comitato Istituzionale n.2 dell'11 maggio 1999 e aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006, "il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni idrauliche delle opere provvisorie è quello in cui la probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera".

Il rischio di insufficienza dell'opera, ovvero la probabilità che un evento con tempo di ritorno T venga raggiunto e superato negli N anni di vita prevista dell'opera, viene definito come:

$$R(N, T) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Il tempo di permanenza delle opere provvisorie nelle aree di cantiere è pari a 10 anni. Assumendo una vita nominale della linea ferroviaria pari a 100 anni, il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni idrauliche delle opere provvisorie viene assunto pari a 21 anni. Risulta pertanto verificato che la probabilità delle opere provvisorie di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di cantiere (10 anni) è inferiore alla probabilità che ha la portata di progetto (portata associata ad un tempo di ritorno pari a 200 anni) di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera. Il rischio di insufficienza per le opere provvisorie previsto calcolato con la formula riportata sopra viene pari a 0.386 risultando essere inferiore al rischio associato alla fase definitiva dell'opera in esame, pari a 0,394. Per il dimensionamento delle opere provvisorie è stata utilizzata una portata di progetto con tempo di ritorno pari a 21 anni. Nella progettazione delle opere provvisorie è stata dunque determinata la portata di progetto relativa definita tramite interpolazione lineare dei valori di portata liquida di picco determinati per i tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni, ottenendo i dati riportati in seguito.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 15 di 54

Nr. BACINO	ZONA	Q T=21 [m³/s]
01	Albes	3,11
01.1	Albes	0,41
01s	Albes	0,34
02.1	Varna	4,45
03	Fortezza	5,19
05	Fortezza	1,12
05.1	Fortezza	1,60
06	Fortezza	2,57
07	Forch	0,25
08	Funes	48,48
09.1	Laion	0,89

Tabella 3 – Portate liquide di piena per i bacini minori calcolate per il tempo di ritorno di verifica per le opere provvisionali.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 16 di 54

## 7. ELEMENTI POTENZIALMENTE ESPOSTI

Nel presente capitolo vengono descritti gli elementi potenzialmente esposti ai fenomeni idraulici oggetto di studio per ciascun bacino analizzato nelle zone di riferimento di Fortezza, di Varna/Forch, di Albes e di Funes/Laion. Per elementi potenzialmente esposti a tali fenomeni ci si riferisce in particolare alla Galleria Scaleres, alla Galleria Gardena, alla linea fuori galleria e alle aree di cantiere.

### Zona Fortezza:

Nella zona Fortezza sono stati individuati e studiati gli impluvi denominati 03, 05, 05.1 e 06. Si riportano di seguito gli elementi potenzialmente esposti a fenomeni idraulici per ciascuno degli impluvi oggetto di studio nelle seguenti immagini.

Nr. Bacino	Elementi potenzialmente esposti
05.1	Cantiere operativo CO.01A
05	Galleria Scaleres
03	Galleria Scaleres
06	Galleria Scaleres

Tabella 4 – Elementi potenzialmente esposti per i bacini minori indagati nella zona di Fortezza.

Rispetto al Progetto Definitivo, è stato stralciato in questa zona il bacino Nr. 4. Dai sopralluoghi effettuati non esistono in quest'area incisioni torrentizie o evidenze di attività o di pericolosità idraulica. Sono attesi sulla sottostante Strada Statale SS12, peraltro non oggetto di studio, esclusivamente venute d'acqua di versante, che non possono minimamente interferire con il tunnel ferroviario in progetto.

### Zona Varna/Forch:

Nella zona Varna/Forch sono stati individuati e studiati gli impluvi denominati 02.1 e 07. Si riportano di seguito gli elementi potenzialmente esposti a fenomeni idraulici per ciascuno degli impluvi oggetto di studio nelle seguenti immagini.

Nr. Bacino	Elementi potenzialmente esposti
02.1	Galleria Scaleres
07	Cantiere operativo CO.02A Area stoccaggio AS.02E Area tecnica AT.02D

Tabella 5 – Elementi potenzialmente esposti per i bacini minori indagati nella zona di Varna/Forch.

Per quanto riguarda l'area di stoccaggio AS.02B non sono stati eseguiti approfondimenti in quanto, da evidenze emerse in sede di sopralluogo, non sono presenti impluvi nè peculiarità morfologiche propense alla formazione di fenomeni idraulici che possano interessare l'area.

Rispetto al Progetto Definitivo, è stato stralciato in questa zona il bacino 02.2 che afferisce al Lago di Varna, biotopo provinciale. L'intera area rappresenta di fatto una naturale depressione del terreno, che ospita il lago e che giace diversi metri sotto il piano rotabile della ferrovia esistente. Pertanto la possibilità che i deflussi

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 17 di 54

generati dai versanti drenati dal lago siano tali da riempire completamente la conca morfologia esistente e superare la barriera ferroviaria esistente è molto remota e ricade senza dubbio nell'ambito del pericolo residuo.



Fig. 2 – Strada di accesso all'area di stoccaggio AS.02B, tra l'area e i versanti sono presenti delle discontinuità morfologiche.

#### Zona Albes:

Nella zona Albes sono stati individuati e studiati gli impluvi denominati 01, 01s e 01.1. Si riportano di seguito gli elementi potenzialmente esposti a fenomeni idraulici per ciascuno degli impluvi oggetto di studio nelle seguenti immagini.

Nr. Bacino	Elementi potenzialmente esposti
01	Galleria Scaleres Cantiere operativo CO.03 Cantiere base CB.02
01s	Cantiere operativo CO.03 Cantiere base CB.02
01.1	Finestra di Albes Cantiere operativo CO.03 Cantiere base CB.02

Tabella 6 – Elementi potenzialmente esposti per i bacini minori indagati nella zona di Albes.

#### Zona Funes/Laion:

Nella zona Funes/Laion sono stati individuati e studiati gli impluvi denominati 08, 09.1. Si riportano di seguito gli elementi potenzialmente esposti a fenomeni idraulici per ciascuno degli impluvi oggetto di studio nelle seguenti immagini.

Per quanto concerne il bacino 09, rispetto al Progetto Definitivo questo è stato suddiviso morfologicamente in tre sottobacini distinti (09,1, 09.2 e 09.3). Dai sopralluoghi effettuati, dalla documentazione storica consultata e dalle analisi effettuate, i bacini 09.2 e 09.3 non presentano segni di dissesto idrogeologico, di attività torrentizia e non sono presenti testimoni muti. Pertanto si è ritenuto opportuno concentrare l'attenzione esclusivamente sul bacino 09.1, l'unico tra i tre sopra citati che può in qualche modo arrecare qualche disturbo alle aree di cantiere.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 18 di 54

Nr. Bacino	Elementi potenzialmente esposti
08	Galleria Gardena Cantiere operativo CO.04C Cantiere base CB.03 Area stoccaggio AS.04B Area tecnica AT.04B Area tecnica AT.04D
09.1	Area stoccaggio AS.05 Area tecnica AT.05

Tabella 7 – Elementi potenzialmente esposti per i bacini minori indagati nella zona di Laion

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 19 di 54

## 8. SCENARI DI ACCADIMENTO E QUANTIFICAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

### 8.1 SCENARI DI ACCADIMENTO

I corsi d'acqua laterali oggetto del presente studio risultano potenzialmente soggetti a fenomeni idraulici di varia natura. I fenomeni naturali di tipo idraulico raggruppano i processi alluvione, alluvione torrentizia, colata detritica ed erosione ai sensi delle definizioni della D.G.P. 989/2016. La definizione del particolare fenomeno associato allo specifico corso d'acqua e in relazione al tempo di ritorno di riferimento è stata effettuata in base alle caratteristiche geomorfologiche, alla presenza di materiale solido disponibile ed alla propensione dello specifico corso d'acqua a mobilitare detrito. Si riporta una breve descrizione per i diversi fenomeni idraulici come esposta nelle direttive provinciali "*Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo (PZP) e per la classificazione del rischio specifico (CRS)*":

- Le **alluvioni** sono suddivise in statiche e dinamiche. La transizione da alluvione dinamica a statica o viceversa può avvenire in spazi ristretti nell'ambito di eventi alluvionali in prossimità di fiumi di fondovalle e di grandi corsi d'acqua montani. Un'alluvione statica è definita da una lenta e costante salita dello specchio d'acqua, che comporta inondazioni e spesso il deposito di materiali fini. Essa è caratteristica dei fondovalle poco pendenti. L'alluvione dinamica (alluvione torrentizia, alluvione con trasporto solido) invece è caratterizzata da un'energia di deflusso dell'acqua variabile durante l'evento con conseguenti danni erosivi e depositi di materiale solido. Essa si manifesta prevalentemente nei fondovalle più pendenti.
- La **colata detritica** è un processo innescato da forti precipitazioni nel bacino imbrifero e/o occlusioni (frane laterali, ponti, ecc.) e caratterizzato da elevata energia, nel quale in un alveo si muove verso valle una miscela inomogenea di detriti, sabbia, limo, legname ed acqua. Essa comprende generalmente i fenomeni idraulici caratterizzati da concentrazioni di materiale solido superiore al 30%.
- Per **erosione** si intendono tutte le forme di trasporto di materiale per effetto degli agenti atmosferici. L'erosione può manifestarsi in modo puntuale, lineare oppure areale ed è spesso l'innescò per eventi di maggiore entità. Nell'ambito delle alluvioni è da considerare in modo speciale l'erosione di sponda, perché provoca spesso ingenti danni.

I corsi d'acqua oggetto del presente studio sono generalmente soggetti a fenomeni di alluvionamento torrentizio e debris flow, solo per casi specifici si parla di alluvionamento. In particolare sono stati considerati i seguenti scenari per ciascun corso d'acqua in relazione dello specifico tempo di ritorno di interesse.

#### Bacino 01:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;
- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Alluvionamento torrentizio;
- Tr300 Alluvionamento torrentizio.

#### Bacino 01.1:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 20 di 54

- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Alluvionamento torrentizio;
- Tr300 Colata detritica.

Bacino 01s:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;
- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Alluvionamento torrentizio;
- Tr300 Colata detritica.

Bacino 02.1:

- Tr300 Colata detritica.

Bacino 03:

- Tr300 Colata detritica.

Bacino 05:

- Tr300 Colata detritica.

Bacino 05.1:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;
- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Colata detritica;
- Tr300 Colata detritica.

Bacino 05:

- Tr300 Colata detritica.

Bacino 06:

- Tr300 Colata detritica.

Bacino 07:

- Tr21 Alluvionamento;
- Tr30 Alluvionamento;
- Tr100 Alluvionamento;
- Tr300 Alluvionamento.

Bacino 08:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;
- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Alluvionamento torrentizio;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL	SIST		
	M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	21 di 54

- Tr200 Alluvionamento torrentizio;
- Tr300 Alluvionamento torrentizio.

#### Bacino 09.1:

- Tr21 Alluvionamento torrentizio;
- Tr30 Alluvionamento torrentizio;
- Tr100 Alluvionamento torrentizio;
- Tr300 Alluvionamento torrentizio.

Si specifica che per alcuni bacini minori il focus dell'indagine verte sulla quantificazione della potenziale interferenza in asse galleria, associata ad una stima della massima profondità di erosione attesa in alveo. Pertanto, per questi bacini è stato indagato solamente lo scenario estremo associato al verificarsi di una piena con tempo di ritorno 300 anni.

## 8.2 QUANTIFICAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

### 8.2.1 Alluvionamenti torrentizi

Per quanto riguarda il calcolo del contributo solido nel caso di fenomeni di alluvionamento torrentizio si fa riferimento alle Linee Guida *"Fachkonzept Wildbachgefährdungsbereiche"* sviluppate nel 2005 dal Bayerisches Landesamt für Umwelt, le quali permettono di definire un fattore di intensità da moltiplicare alla portata liquida ricavata dalle analisi idrologiche, al fine di determinare la portata totale, considerando il contributo solido. Tale fattore è il risultato di una valutazione matriciale, che incrocia le caratteristiche relative al potenziale detritico sull'asse delle ordinate e quelle che definiscono la propensione al dissesto, sull'asse delle ascisse.

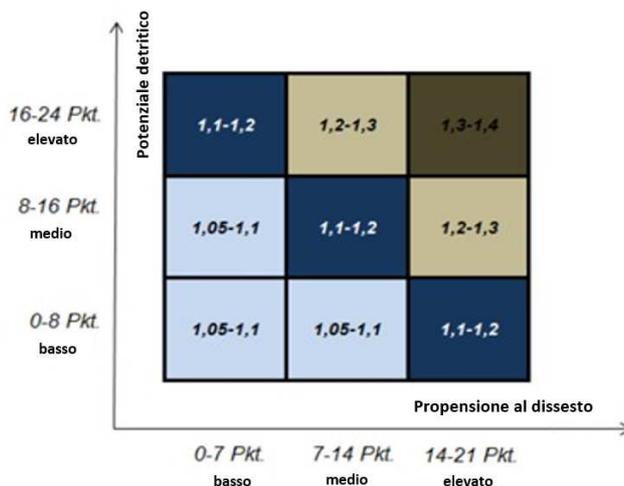


Fig. 3 – Matrice per la definizione del fattore di intensità da applicare per la definizione del contributo solido in concomitanza degli eventi più frequenti, potenziale detritico sull'asse delle ordinate e propensione al dissesto sull'asse delle ascisse (Linee Guida *"Fachkonzept Wildbachgefährdungsbereiche"*, Bayerisches Landesamt für Umwelt 2005).

Sulla base di quanto descritto precedentemente, l'analisi del fattore di intensità associato a fenomeni di alluvionamento torrentizio secondo le Linee Guida *"Fachkonzept Wildbachgefährdungsbereiche"* è stata

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 22 di 54

eseguita per i bacini **01.1, 01s, 05.1 e 09.1**. Dalla compilazione dei moduli di valutazione, che riportano una serie di domande aperte valutate con un opportuno sistema di punteggi, si ottengono i seguenti risultati.

Nr. BACINO	ZONA	Propensione al dissesto	Potenziale detritico	Range	Fattore d'Intensità IF
01.1	Albes	10	06	1.05 – 1.10	1.10
01s	Albes	10	06	1.05 – 1.10	1.10
05.1	Fortezza	09	13	1.10 – 1.20	1.20
09.1	Laion	05	05	1.05 – 1.10	1.10

Tabella 8 – Tabella fattori di intensità calcolati per fenomeni di alluvionamento torrentizio per alcuni bacini corsi d'acqua minori

In particolare nel range risultante dalle valutazioni è stato considerato cautelativamente il fattore d'intensità superiore.

Si evidenzia come solo per il corso d'acqua afferente al bacino 08 (Rio di Funes, B.300) il calcolo del trasporto solido sia stato calcolato in linea con quanto fatto nel Piano delle Zone di pericolo del Comune di Funes mediante la formulazione semplificata di Smart e Jaggi (1983):

$$Q_s = 2.5 \cdot Q_w \cdot i^{1.6}$$

dove  $Q_w$  è la portata liquida e  $i$  la pendenza in m/m.

### 8.2.2 Colate detritiche

Per lo studio della magnitudo e dell'intensità dei fenomeni di colamento attesi nell'area di progetto per eventi ultracentenari sono stati comparati ed utilizzati due differenti metodi noti in letteratura, di seguito illustrati. Si è provveduto pertanto a determinare i picchi delle colate detritiche di progetto e l'entità delle concentrazioni solide che caratterizzano i fenomeni studiati. La portata liquida che corrisponde all'inizio di una colata detritica viene determinata per mezzo della relazione di Tognacca et al. (1999):

$$q_c = \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{0.5} g^{0.5} \frac{d^{1.5}}{(\tan \alpha)^{1.17}},$$

dove  $q_c$  è la portata critica per unità di larghezza ( $m^2/s$ ),  $\rho_s$  e  $\rho$  la densità del sedimento e dell'acqua ( $kg/m^3$ ),  $g$  l'accelerazione di gravità ( $m/s^2$ ),  $d$  il diametro medio del sedimento (m) e  $\alpha$  è l'angolo del fondo rispetto all'orizzontale (gradi). La concentrazione di picco  $c_v$  è stata inoltre calcolata secondo l'approccio di Takahashi (Takahashi, 1978) come:

$$c_v = \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{-1} \frac{\tan \alpha}{(\tan \phi - \tan \alpha)},$$

dove  $\phi$  è l'angolo di attrito interno del materiale, assunto pari a  $38^\circ$ . Nel presente studio l'andamento nel tempo della concentrazione solida in volume della colata è stato ricostruito sulla base del metodo proposto da Marchi (2006) che prevede i seguenti passi:

- calcolo della concentrazione solida di picco: per alvei con pendenze inferiori a  $20^\circ$  si è applicata la succitata formula di Takahashi, mentre per pendenze superiori a  $20^\circ$  la concentrazione solida di picco

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	23 di 54

è stata assunta pari a  $0,9 c^*$ , essendo  $c^*$  la concentrazione di massimo impaccamento. Quest'ultima è stata assunta, coerentemente con quanto proposto in letteratura, pari a  $0,65$  (Armanini, 1999);

- individuazione dell'intervallo temporale in cui si realizza il fenomeno di colamento come l'intervallo in cui la portata liquida supera il valore critico individuato secondo la formula di Tognacca;
- assegnazione di un valore di concentrazione solida  $c_v$  pari a  $0.3 c^*$  al primo e all'ultimo istante temporale per cui si ipotizza avvenga il fenomeno di colamento;
- calcolo della concentrazione solida per interpolazione lineare fra il primo istante e il picco e analogamente per la fase calante della colata.

La portata totale del debris flow ( $Q_{Tot}$ ), è stata determinata mediante le formule relative al metodo volumetrico, applicando un fattore di amplificazione (F) alla portata frutto delle analisi idrologiche ( $Q_w$ ). La portata solida viene quindi ricavata in base alla concentrazione volumetrica tramite la seguente espressione:

$$Q_{Tot} = F \cdot Q_w = \left( \frac{c_*}{c_* - c_v} \right) \cdot Q_w$$

dove  $c_*$  è la concentrazione di massimo impaccamento del materiale costituente l'ammasso e  $c_v$  è la concentrazione volumetrica di equilibrio del fronte stazionario della colata in movimento. Considerando all'apice del fenomeno  $c_*$  pari a  $0.65$  (Armanini, 1999) e  $c_v$  pari a  $0.585$ , si ottiene un fattore di amplificazione (F) pari a  $10$ . La portata solida viene quindi ricavata in base alla concentrazione volumetrica tramite la seguente espressione:

$$Q_S = c_v \cdot Q_{Tot}$$

Come descritto nella Relazione Idrologica Generale (elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), per quanto riguarda i bacini 08 e 01 sono stati considerati i valori definiti rispettivamente nel Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes e di Velturmo.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 24 di 54

## 9. PORTATE DI PROGETTO TOTALI

Si riportano nelle seguenti tabelle le portate di progetto considerate per ciascun corso d'acqua oggetto di studio, riportando di caso in caso caratteristiche volumetriche e debrisgrammi, qualora rilevanti per lo specifico caso. Con il termine portate totali si intendono le portate di picco comprendenti il contributo solido associato allo specifico fenomeno. Si riportano i dati di portata calcolati per gli scenari con tempo di ritorno 30ennale, 100ennale e 300ennale. Tali valutazioni sono integrate, al fine di verificare il ponte previsto lungo il corso d'acqua 08 dallo scenario associato al tempo di ritorno 200ennale.

### Zona Albes:

Come descritto nella Relazione Idrologica Generale (elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), per quanto riguarda il bacino 01 sono stati considerati i valori definiti nel Piano delle Zone di Pericolo del comune di Velturmo. Il suddetto Piano delle zone di pericolo tiene conto della presenza di una piazza di deposito presidiata da una briglia filtrante tale da intercettare un volume pari a 4000 m<sup>3</sup>. L'interazione di tale opera determina un declassamento del fenomeno a valle associato alla riduzione della concentrazione solida. Per quanto riguarda i Bacini 01.1 e 01s è stato in particolare analizzato lo scenario 300ennale in termini di volumetrie solide mobilizzabili in relazione anche ai relativi debrisgrammi generati in occasione di tale scenario.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=30	Fattore d'Intensità IF T=100	Fattore d'Intensità IF T=300	Qtot T=30 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=100 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=300 [m <sup>3</sup> /s]
01	Albes	1,30	1,30	1,30	4,8	7,1	9,4
01.1	Albes	1,10	1,10	10	0,5	0,8	9,4
01s	Albes	1,10	1,10	10	0,4	0,6	7,7

Tabella 9 – Fattori d'intensità e portate totali Bacini minori – Zona Albes.

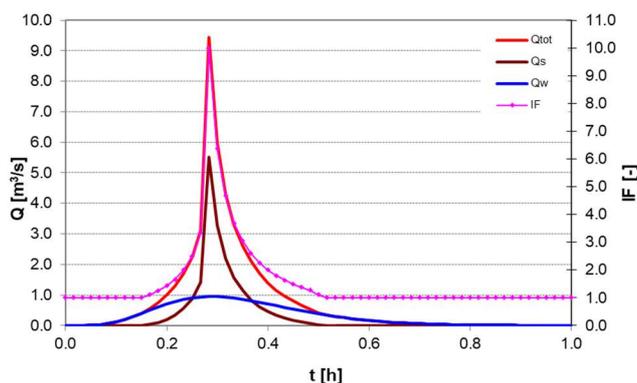


Fig. 4 – Debrisgramma Bacino nr.01.1 per uno scenario con tempo di ritorno pari a 300 anni (Qtot portata totale, Qs portata solida, Qw portata liquida, IF fattore di intensità).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<b>Mandatario:</b> SWS Engineering S.p.A.	<b>Mandanti:</b> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>25 di 54</b>

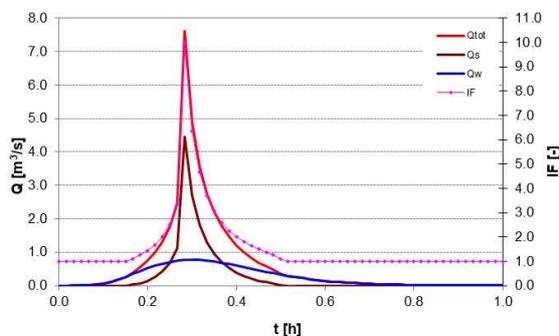


Fig. 5 – Debrisgramma Bacino nr.01s per uno scenario con tempo di ritorno pari a 300 anni ( $Q_{tot}$  portata totale,  $Q_s$  portata solida,  $Q_w$  portata liquida,  $IF$  fattore di intensità).

Per quanto riguarda le volumetrie solide mobilizzabili esse risultano rispettivamente pari a  $1.200 \text{ m}^3$  per il corso d'acqua 01.1 e pari a  $980 \text{ m}^3$  in occasione di un evento 300ennale.

#### Zona Varna/Forch:

Per quanto riguarda il bacino 02.1 è stata valutata la portata totale associata ad un evento parossistico allo scopo di determinare unicamente l'entità massima di erosione di fondo associata ad un evento 300ennale, come descritto nel paragrafo di dettaglio.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=300	$Q_{tot} T=300$ [m³/s]
02.1	Varna	10	104,7

Tabella 10 –Fattori d'intensità e portate totali Bacini minori – Zona Varna.

Nella zona di Forch, per il bacino nr.07, è stato considerato un fenomeno alluvionale in assenza di contributo solido pertanto è stato considerato un fattore di intensità pari a 1.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=30	Fattore d'Intensità IF T=100	Fattore d'Intensità IF T=300	$Q_{tot} T=30$ [m³/s]	$Q_{tot} T=100$ [m³/s]	$Q_{tot} T=300$ [m³/s]
07	Forch	1	1	1	0,3	0,4	0,6

Tabella 11 –Fattori d'intensità e portate totali Bacini minori – Zona Forch.

#### Zona Fortezza:

Nella zona di Fortezza per i bacini 03, 05 e 06 sono state valutate la portate totali associate ad un evento parossistico allo scopo di determinare unicamente l'entità massima di erosione di fondo associata ad un evento 300ennale, come descritto nei relativi paragrafi di dettaglio.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=300	$Q_{tot} T=300$ [m³/s]
03	Fortezza	10	122,4
05	Fortezza	10	26,3
06	Fortezza	10	60,7

Tabella 12 –Fattori d'intensità e portate totali Bacini minori – Zona Fortezza.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO. IB0U    1BEZZ    RI    ID0000002    B    26 di 54	

Per quanto concerne il bacino 05.1 esso è caratterizzato dai seguenti valori di portate.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=30	Fattore d'Intensità IF T=100	Fattore d'Intensità IF T=300	Qtot T=30 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=100 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=300 [m <sup>3</sup> /s]
05.1	Fortezza	1,2	10	10	2,3	28,4	37,8

Tabella 13 –Fattori d'intensità e portate totali Bacino 05.1 – Zona Fortezza.

Poiché esso è sistemato mediante cunettone di deviazione in grado di smaltire un evento 100ennale che convoglia il materiale in una piazza di deposito ed inoltre nel tratto di valle è sistemato mediante barriere paramassi, il contributo che raggiunge il fondovalle è costituito dal sottobacino limitato a monte dal cunettone stesso per eventi con tempo di ritorno uguale e inferiore a 100 anni, mentre nel caso di eventi 300ennali a tale contributo va sommato quello relativo alla portata eccedente dal cunettone di deviazione.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=30	Fattore d'Intensità IF T=100	Fattore d'Intensità IF T=300	Qtot T=30 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=100 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=300 [m <sup>3</sup> /s]
05.1 valle cunettone	Fortezza	1,2	1,2	10	0,24	0,36	3,94

Tabella 14 –Fattori d'intensità e portate totali Bacino 05.1 con perimetro a monte delimitato dal cunettone di deviazione – Zona Fortezza.

### Zona Funes

Come descritto nella Relazione Idrologica Generale (elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), per quanto riguarda il bacino 08 sono stati considerati i valori definiti nel Piano delle Zone di Pericolo del Comune di Funes (BZ).

Nr. BACINO	ZONA	Qtot T=30 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=100 [m <sup>3</sup> /s]	Qtot T=300 [m <sup>3</sup> /s]
08	Funes	58,36	82,97	113,36

Tabella 15 –Valori di portata totale Bacino 08 - estratto dal Piano delle Zone di Pericolo del comune di Funes.

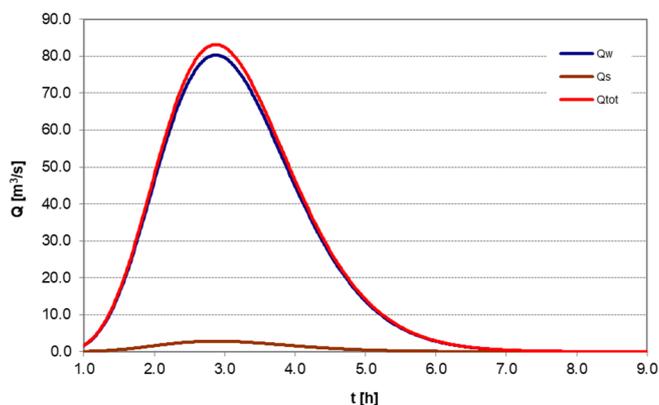


Fig. 6 – Sedimentogramma Bacino nr.08 per uno scenario con tempo di ritorno pari a 100 anni (Qtot portata totale, Qs portata solida, Qw portata liquida).

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 27 di 54

A tali valori si integrano i risultati ottenuti in occasione di un evento 200ennale.

Nr. BACINO	ZONA	Qtot T=200 [m³/s]
08	Funes	103,28

Tabella 16 –Portata totale Bacino 08 in occasione di un evento 200ennale – Zona Fortezza.

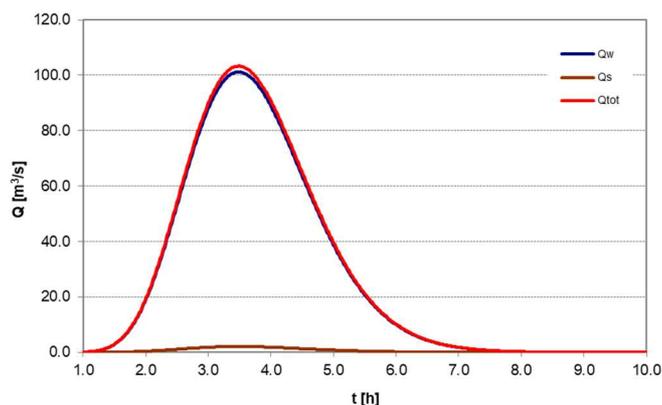


Fig. 7 – Sedimentogramma Bacino nr.08 per uno scenario con tempo di ritorno pari a 200 anni (Qtot portata totale, Qs portata solida, Qw portata liquida).

### Zona Laion

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF T=30	Fattore d'Intensità IF T=100	Fattore d'Intensità IF T=300	Qtot T=30 [m³/s]	Qtot T=100 [m³/s]	Qtot T=300 [m³/s]
09.1	Laion	1,1	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2

Tabella 17 –Fattori d'intensità e portate totali Bacino 09.1 – Zona Laion.

Per quanto riguarda infine la fase di cantiere, si riportano le portate totali corrispondenti ad un evento avente tempo di ritorno pari a 21 anni, sulla base di quanto riportato nella Relazione Idrologica Generale (elaborato IBOU1BEZZRIID0000001B) al fine di verificare le opere provvisorie. Si riportano dunque i corsi d'acqua per i quali tale dato risulta rilevante ai fini progettuali.

Nr. BACINO	ZONA	Fattore d'Intensità IF	Qtot T=21 [m³/s]
01	Albes	1,3	4,0
01.1	Albes	1,1	0,5
01s	Albes	1,1	0,37
05.1 valle cunettone	Fortezza	1,2	0,2
07	Forch	1	0,25
08	Funes	-	49,48
09.1	Laion	1,1	1,0

Tabella 18 –Fattori d'intensità e portate totali per i bacini minori calcolate per il tempo di ritorno di verifica per le opere provvisorie.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	28 di 54

## 10. VALUTAZIONI IDRAULICHE

### 10.1 GENERALITA'

Le verifiche idrauliche eseguite sono state di due tipi, in funzione del tipo di fenomeno idraulico di interesse per gli elementi potenzialmente esposti. In particolare un tipo di verifica idraulica ha riguardato l'analisi delle aree potenzialmente inondabili a seguito di fenomeni idraulici, mentre la seconda ha indagato l'interazione dei fenomeni erosivi associati al passaggio di eventi idraulici ad alta concentrazione con i manufatti oggetto di studio e nel dettaglio con le gallerie naturali previste. Nei seguenti paragrafi vengono descritte da un lato le modalità di analisi delle aree potenzialmente inondabili e dall'altro come sono state eseguite le valutazioni per la definizione delle interferenze date da fenomeni di erosione di fondo.

### 10.2 ANALISI DELLE AREE POTENZIALMENTE ALLAGABILI

Le analisi e le valutazioni idrauliche sono state generalmente svolte con l'ausilio di formulazioni dell'idraulica classica e mediante valutazioni peritali, in aggiunta sono state svolte simulazioni 2D nei siti dove queste potessero dare informazioni utili al fine del presente studio. Nei paragrafi che seguono sono descritte le caratteristiche e le peculiarità delle simulazioni e delle valutazioni effettuate.

#### Modellazioni bidimensionali:

Nel caso in cui il corso d'acqua in oggetto richiedesse approfondimenti, a seconda del tipo di fenomeno studiato si è provveduto ad eseguire le modellazioni bidimensionali con il software per le simulazioni numeriche con un modello a fondo fisso (Flo2D) nel caso dei bacini minori e con Hydro\_As-2D nel caso del Bacino nr.08 (rio di Funes). Di seguito sono riportate le caratteristiche salienti di entrambi i modelli utilizzati.

Si riportano le caratteristiche principali del software Hydro\_As-2D:

<b>Software:</b>	Hydro_As-2D Release 3.0 (2013, Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt GmbH)
<b>Base topografica rio di Funes:</b>	D.T.M. 2006 e 2013 Provincia Autonoma di Bolzano Rilievi topografici Patscheider & Partner (2019-2020)
<b>Base topografica Isarco:</b>	D.T.M. 2013 Provincia Autonoma di Bolzano Rilievi topografici Provincia Autonoma di Bolzano (2009-2010) Sezioni fornite da studio tecnico SWS (2021)
<b>Mesh di base:</b>	Elementi rettangolari in alveo e triangolazione nelle aree esterne con infittimento della maglia in corrispondenza di aree urbanizzate o critiche. In tutti i modelli sono stati inseriti gli edifici.  Dimensioni celle: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alvei: da un minimo di 1,85 ad un massimo di 6 m<sup>2</sup></li> <li>- Aree di cantiere: mediamente 11,5 m<sup>2</sup></li> <li>- Aree perifluviali: a partire da 40 m<sup>2</sup></li> </ul>
<b>Scabrezze floodplain:</b>	alveo 20 m <sup>1/3</sup> /s

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 29 di 54	

sponde  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

**Condizioni al contorno:**

inflow, outflow e caratteristiche ponti

Per l'approfondimento dell'evoluzione dei fenomeni in corrispondenza dei corsi d'acqua 01, 01s e 01.1 si è provveduto ad eseguire una modellazione bidimensionale con l'ausilio del software a fondo fisso Flo2D. Si riportano le caratteristiche principali :

- Software:** Flo2D 2007.01 (O'Brien et al., 2007)
- Base topografica:** D.T.M. 2013 Provincia Autonoma di Bolzano
- Risoluzione di calcolo:** da  $2 \times 2 \text{ m}$  (inclusi tutti i vincoli puntuali, case e muri di confine)
- Scabrezze floodplain:**  $0,1 \text{ s/m}^{1/3}$

I valori di riferimento del coefficiente di Manning sono forniti in Tabella 19.

Surface	n value
Dense turf	0.17 - 0.80
Dense grass, dense vegetation	0.17 - 0.48
Shrubs and forest litter, pasture	0.30 - 0.40
Average grass cover	0.20 - 0.40
Poor grass cover on rough surface	0.20 - 0.30
Short prairie grass	0.10 - 0.20
Sparse vegetation	0.05 - 0.13
Open ground with debris	0.10 - 0.20
Fallow fields	0.08 - 0.12
Open ground, no debris	0.04 - 0.10

Tabella 19 - Valori del coefficiente di Manning in relazione agli usi del suolo (O'Brien, 2007).

Il modello numerico alla base di Flo2D è stato concepito per la propagazione di fluidi non newtoniani sul piano campagna in ambito di conoide (si veda ad es. O'Brien et al., 1993, ASCE), è stato sviluppato sulla scorta di evidenze di campo e di laboratorio ed è pertanto in grado di simulare la propagazione di onde di acqua pulita, flussi iperconcentrati e colamenti detritici. Il software utilizza inoltre un modello reologico quadratico (quadratic shear stress model, si veda O'Brien e Julien, 1985), così definito:

$$\tau = \tau_y + n \left( \frac{dv}{dy} \right) + C \left( \frac{dv}{dy} \right)^2$$

dove:

$$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc}$$

$$C = \rho_m l^2 + f(\rho_m, C_v) d_s^2$$

Indicando con  $n$  la viscosità dinamica, con  $\tau_c$  lo yield stress coesivo, con  $\tau_{MC}$  lo sforzo di Mohr-Coulomb e con  $C$  il coefficiente di sforzo tangenziale inerziale che dipende dalla densità della miscela  $\rho_m$ , dalla lunghezza di mescolamento  $l$ , dalla dimensione dei sedimenti  $d_s$  e dalla concentrazione volumetrica dei sedimenti  $C_v$ . Quest'ultima dipende a sua volta dalla massima concentrazione di impaccamento  $C^*$  dei sedimenti. Lo yield stress  $\tau_y$  e la viscosità  $\eta$  variano principalmente con la concentrazione dei sedimenti. Una volta note le proprietà del materiale, il modello utilizza le seguenti espressioni empiriche per la determinazione di queste due grandezze:

APPALTAZIONE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 30 di 54

$$n = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v}$$

$$\tau_y = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v}$$

dove  $\alpha_i$  e  $\beta_i$  sono due coefficienti empirici definiti tramite esperienze di laboratorio. Secondo le indicazioni degli autori, la tipologia di fenomeno atteso e la dimensione media dei grani stimata in campo, per le simulazioni condotte per i bacini 1.1 e 1.s sono stati assunti valori di  $\tau_y$  variabili tra 13,1 e 16,9 N/m<sup>2</sup> ed un valore di viscosità  $\eta$  pari a 2,01·10<sup>-3</sup> Pa.

#### Implementazione delle opere in alveo nelle mesh:

In tutti i codici di calcolo 2D implementati sono state inserite tutte le opere presenti in alveo. In ambiente HYDRO\_As-2D si è provveduto sempre ad inserire:

- I ponti e gli attraversamenti dei torrenti, qualora presenti, esplicitando come condizione interna al modello la quota di intradosso dell'impalcato delle strutture ed imponendo una quota superiore (corrispondente allo spessore dell'impalcato) oltre la quale idraulicamente la struttura viene calcolata come stramazzo;
- Le cunette artificiali, le soglie e le briglie di consolidamento sono implicitamente già incluse nella geometria di base dei modelli, determinata in sede di rilievo topografico o DTM, grazie alla quale è possibile ricostruire la geometria delle sezioni trasversali e l'entità degli eventuali salti di fondo;
- La presenza di paratie artificiali, simulate se del caso come opere impermeabili al deflusso funzionanti unicamente come degli stramazzi. Anche in questo caso posizione e geometria sono tratte dai dati topografici disponibili e si provvede unicamente a dichiarare la quota altimetria oltre la quale il funzionamento idraulico atteso è a stramazzo.

Per quanto concerne i modelli in ambiente FLO-2D, nei bacini 1.1. e 01.s non si è censita la presenza di opere di regimazione di alcun tipo, pertanto la propagazione delle onde di colata è avvenuta esclusivamente su piano campagna. Per il bacino 1 invece si è implementata nel modello la geometria del cunetta rettangolare che caratterizza il tratto di corso d'acqua a valle dell'opera di trattenuta. Una volta appurato tramite opportuni sopralluoghi che un'esondazione laterale della briglia di trattenuta non era possibile, la geometria delle celle in modalità *channel* è stata implementata in modo da ricostruire l'esatta topografia del canale, sia in termini di larghezza, di profondità e di pendenze trasversali e longitudinali. Un controllo topografico è stato poi condotto con opportuni tools presenti nel pacchetto del software. Essendo un modello a maglia strutturata di dimensioni e forma costante, l'approccio di calcolo di FLO-2D non è ovviamente flessibile come quello di HYDRO\_As-2D che lavora invece con TIN non strutturali ed infittibili.

#### Valutazioni qualitative mododimensionali e peritali:

Per i torrenti per i quali non si è ritenuto necessario un grado di approfondimento mediante modellazione idraulica, le verifiche idrauliche atte a stabilire la capacità di deflusso dei corsi d'acqua e quindi a determinare le sezioni critiche di esondazione nonché i volumi esondabili sono state condotte adottando condizioni di moto uniforme. Queste verifiche hanno permesso di confrontare a livello di massima la capacità di deflusso di una o più sezioni rappresentative dello stato di fatto, valutando se le piene influenti da monte (al variare del tempo di ritorno) potessero essere smaltite dalle sezioni stesse o meno.

In condizioni di moto uniforme, il legame tra la portata fluente ed i parametri rappresentativi di un corso d'acqua è il seguente, secondo la formulazione di Gauckler – Strickler:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 31 di 54

$$Q = A \cdot K_s \cdot R_H^{2/3} \cdot i_F^{1/2}$$

dove si indica con Q la portata fluente (m<sup>3</sup>/s), con A l'area della sezione (m<sup>2</sup>), con Ks il coefficiente di scabrezza di Gauckler – Strickler (m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>), con R<sub>H</sub> il raggio idraulico (m) e con i<sub>F</sub> l'inclinazione del fondo.

Un problema rilevante per le verifiche idrauliche effettuate su canali con presenza di vegetazione nella sezione di deflusso consiste nella stima della scabrezza idraulica, ossia del valore del coefficiente Ks utilizzato nella formulazione precedente. In letteratura esistono numerosi criteri per stimare la scabrezza associata a diverse tipologie di vegetazione, così come tabelle che ne quantificano il valore in funzione delle caratteristiche vegetazionali e morfologiche di alveo e sponde. Nel presente studio si è fatto in particolare riferimento ad una delle pubblicazioni più note e riconosciute in tale ambito, quella di Chow (Chow, 1959). I valori di scabrezza utilizzati variano pertanto generalmente da Ks=10 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup> a Ks=25 m<sup>1/3</sup>s<sup>-1</sup>, a seconda delle caratteristiche vegetazionali e morfologiche della sezione di deflusso, del grado di sistemazione del corso d'acqua e della granulometria del fondo alveo. Note le portate di progetto, le potenziali aree alluvionabili al variare del tempo di ritorno dell'evento di progetto considerato sono state perimetrare in base alle evidenze emerse in sede di sopralluoghi e su base topografica digitale con l'ausilio di software GIS. Dai calcoli idraulici effettuati è stato successivamente possibile stimare i valori delle grandezze idrauliche caratteristiche delle aree alluvionate (tiranti, velocità).

### 10.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE DATE DA FENOMENI DI EROSIONE DI FONDO

Un fenomeno che deve essere tenuto nel debito conto in corrispondenza degli impluvi oggetto di studio è quello della aratura dell'alveo che si accompagna al passaggio della colata. È importante valutare e prevedere adeguatamente il fenomeno di erosione al fondo che può interessare l'alveo di un torrente ed in particolare il suo valore massimo al fine di non intaccare l'opera prevista durante la sua vita utile. Come riportato nella seguente immagine, in corrispondenza dell'alveo di un corso d'acqua soggetto a fenomeni idraulici ad alta concentrazione solida la sezione è caratterizzata da una profondità alla quale viene individuato il Bedrock, considerato inerodibile, uno strato di copertura colluviale e uno strato di materiale movimentato e depositato da fenomeni idraulici, questi ultimi due strati sono considerati erodibili.

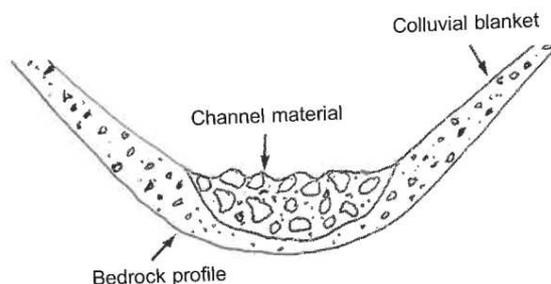


Fig. 8 – Diagramma schematico di una sezione di un canale soggetto a debris flow (fonte: Debris-flow Hazard and Related Phenomena, autori: Matthias Jakob, Oldrich Hungr, 2005)

Al fine di determinare se il fenomeno di erosione del fondo alveo possa provocare delle interferenze con la linea che transita in galleria naturale o con le finestre di accesso ad essa sono stati incrociati tre diversi dati:

- Massima profondità di erosione legata a fenomeni idraulici;

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	32 di 54

- Profondità della calotta delle gallerie;
- Profondità del bedrock in corrispondenza degli impluvi.

Per il presente studio sono stati considerati due approcci al fine di stimare la massima profondità di erosione causata da fenomeni idraulici nei tratti oggetti di studio. In particolare è stato considerato un approccio basato su trattazioni empiriche (Blodgett, 1986) e una seconda analisi basata sull’algoritmo di erosione implementato anche nel software RAMMS e che permette di stimare la massima profondità di erosione potenziale in funzione dello sforzo tangenziale associato al fenomeno idraulico (NHES, 2015).

I torrenti continuamente modellano e rimodellano i loro alvei erodendo e depositando sedimenti e generando delle fluttuazioni rispetto ad un valore medio. Blodgett (1986) ha studiato tali fluttuazioni del letto di 21 corsi d’acqua con una gamma variabile di dimensioni del materiale e ha determinato una relazione tra il  $D_{50}$  (diametro percentile relativo al 50%) e la massima profondità di erosione di fondo, come riportato nella seguente immagine.

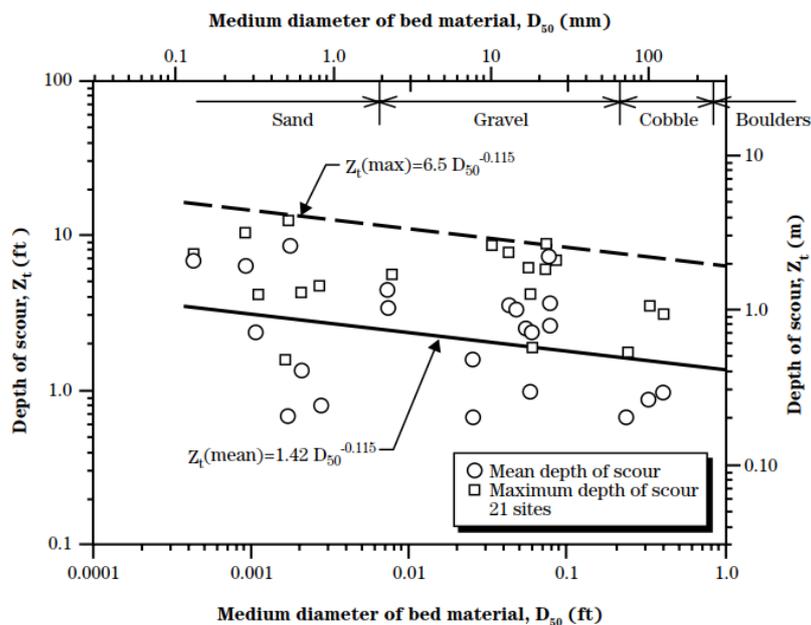


Fig. 9 – Relazione tra profondità di erosione, media e massima, e diametro,  $d_{50}$ , del letto del impluvio (Blodgett, 1986).

Nel presente studio il calcolo della massima erosione in alveo,  $Z_t(max)$ , è stato appunto eseguito con il metodo proposto da Blodgett, che prevede la seguente relazione:

$$Z_t(max) = 6.5 \cdot D_{50}^{-0.115}$$

Il secondo approccio adottato permette di definire la massima erosione in alveo  $e_m$  in funzione dello sforzo tangenziale generato dal fenomeno idraulico  $\tau$  (KPa) calcolato con le classiche formule dell’idraulica:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot i$$

Dove  $\rho$  è la densità della mistura in  $kg/m^3$ ,  $g$  l’accelerazione gravitazionale  $9,81 m/s^2$ ,  $R_h$  il raggio idraulico e  $i$  la pendenza in  $m/m$ .

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandataria:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	33 di 54

$$e_m = \begin{cases} 0 & \text{per } \tau < 1\text{KPa} \\ -\frac{dz}{d\tau} \cdot (\tau - \tau_c) & \text{per } \tau > 1\text{KPa} \end{cases}$$

Dove  $\tau_c$  è lo sforzo tangenziale critico ed è stato calcolato con la teoria di Shields:

$$\tau_c = \theta_c \cdot \rho \cdot g \cdot d \cdot \Delta$$

Con  $d$  si considera il diametro percentile relativo al 50% e  $\Delta$  la densità relativa ridotta dei sedimenti. Il fattore di proporzionalità  $dz/d\tau$  è stato considerato pari a 0,25 m/kPa (Berger et al., 2011). Per la verifica idraulica eseguita con questo secondo approccio è stato considerato, cautelativamente, il contributo dell'intero bacino imbrifero.

Per la profondità della calotta si è fatto riferimento agli elaborati "Profilo idrogeologico in asse al tracciato", Tavole da 1 a 5 (IBL11BD69F5GE0102001B, IBL11BD69F5GE0102002B, IBL11BD69F5GE0102003B, Elaborati finestra di albes). Per quanto riguarda la profondità del bedrock in corrispondenza degli impluvi oggetto di studio si è fatto riferimento ai dati forniti dallo Studio di Ingegneria geotecnica GDP-Geomin s.r.l. in data 18.11.2021.

Sezione	Spessore depositi	Spessore suolo
	[m]	[m]
05	2	0
03	3	0
06	3	0,5
02.2		
02.1	5	0,5
01	0	0
01s	3	0,5
08	7	0,5
01.1	10	1

Tabella 20 – Tabella Profondità del BedRock in corrispondenza degli impluvi oggetto di studio (fonte: Studio di Ingegneria geotecnica GDP-Geomin s.r.l. in data 18.11.2021).

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	34 di 54

## 10.4BACINO 01

### 10.4.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e di alluvionamento e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a indagare l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto e definire le aree inondabili sia allo stato attuale che di progetto e quelle interessate in funzione del tempo di ritorno legato alla durata del cantiere.

### 10.4.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.01, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come elemento potenzialmente esposto la galleria Scaleres. Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino nr.01 (progressiva di ca. 2.792 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) è quello dell'erosione di fondo.

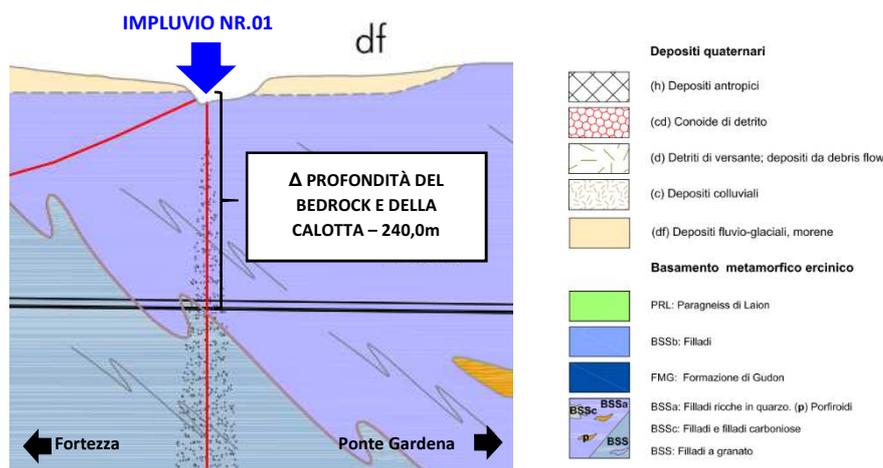


Fig. 10 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 01.

Poiché, dai dati in nostro possesso, il BedRock risulta coincidente con il piano campagna ed è considerato inerosibile, emerge come la massima profondità di erosione sia nulla e pertanto non vi siano interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria Scaleres in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.01.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	$d_{50}$ [m]	Massima profondità di erosione [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
Bacino 01	Galleria Scaleres	0.05	0	204.00	0	204.00	NO

Tabella 21 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 01.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 35 di 54

### 10.4.3 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Coerentemente con quanto emerso in sede di sopralluogo, in funzione delle caratteristiche geomorfologiche e morfo-altimetriche del corso d'acqua, della documentazione storica disponibile e delle informazioni raccolte è stato assunto l'accadimento di colate detritiche che evolvono a valle della piazza di deposito presidiata dalla briglia di trattenuta in alluvionamento torrentizio. Gli scenari a valle della briglia sono definiti in relazione alla capacità di trattenuta delle opere stesse e in relazione alle volumetrie solide disponibili e mobilizzabili anche del tratto a valle della briglia stessa. I risultati del modello eseguito per lo scenario 300ennale mostrano come siano possibili scenari di esondazione in idrografica destra, non interessando le aree di progetto, e alluvionamento delle aree poste in idrografica destra. In particolare tali aree sono previste adibite a cantiere di base e viabilità di accesso al cantiere e alla finestra di Albes nel progetto. Il fenomeno di alluvionamento interessa anche le aree di futuro intervento presenti appunto in idrografica destra e raggiungendo tiranti di 1 m che attualmente sono favoriti anche dalla presenza di un edificio sito nel piazzale.

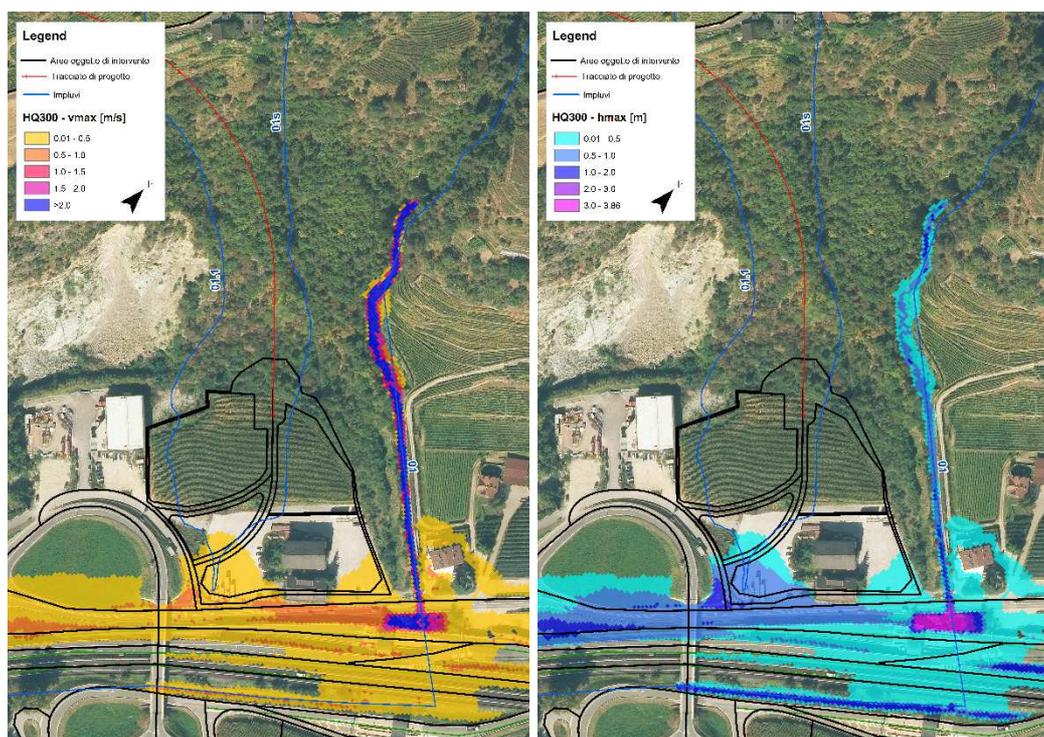


Fig. 11 – Stato attuale ,Tr 300anni, velocità massima. Fig. 12 – Stato attuale ,Tr 300anni, tirante massimo.

### 10.4.4 Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere

Per quanto riguarda le aree allagabili durante la fase di cantiere, esse sono generate da una portata associata ad un tempo di ritorno pari a 21 anni e dunque notevolmente ridotte rispetto a quanto previsto in occasione di un evento 300ennale. Peraltro non si possono escludere scenari di alluvionamento caratterizzati da tiranti inferiori a 0.5 m che possono interessare l'area perimetrale del cantiere di base C.B.02 e la viabilità di accesso allo stesso. In particolare pertanto sono da prevedere opere atte ad arginare tale fenomeno al fine di proteggere il cantiere lungo il perimetro sud-est del cantiere stesso.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	36 di 54

#### 10.4.5 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Come descritto nel paragrafo relativo allo stato attuale lo scenario 300ennale non si discosta di tanto nemmeno nello stato finale. Pertanto, in relazione alle opere e infrastrutture definitive, sono da attendersi tiranti massimi di 1.2 m a causa dell'ostruzione del ponte lungo la SS12 che possono interessare principalmente i primi 30 m della strada che porta alla finestra di Albes. Sono pertanto da prevedere opere di protezione definitive atte sfavorire che il fenomeno si propaghi verso la galleria. Inoltre si evidenzia come la morfologia del piazzale fronte finestra di Albes non debba essere modificata, al fine di evitare che eventuali fenomeni alluvionali possano raggiungere la finestra stessa.

### 10.5 BACINO 01.1

#### 10.5.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e di alluvionamento e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e la galleria in progetto, le aree inondabili sia allo stato attuale che di progetto e quelle interessate in funzione del tempo di ritorno legato alla durata del cantiere.

#### 10.5.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.01.1, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come elemento potenzialmente esposto la Finestra di Albes. Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria di servizio in corrispondenza dell'impluvio del Bacino Nr.01.1 (progressiva di ca. 263,5 m dall'imbocco della finestra di Albes) è quello dell'erosione di fondo e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,67 m dalle formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 1,41 m in occasione di un evento 300ennale (NHESD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (11,00 m da p.c.) e della calotta della galleria (156,86 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria di servizio finestra di Albes in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.01.1.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	d <sub>50</sub> [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHESD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
<b>Bacino 01.1</b>	Finestra Albes	0,02	2,67	1,41	156,86	11,00	145,86	<b>NO</b>

Fig. 13 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 01.1.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 37 di 54

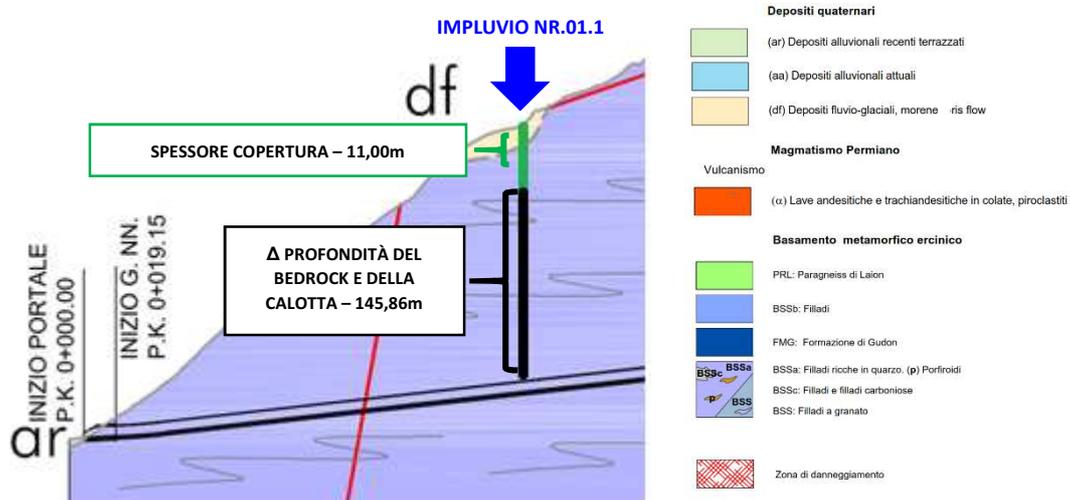


Fig. 14 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 01.1.

### 10.5.3 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Coerentemente con quanto emerso in sede di sopralluogo, in funzione delle caratteristiche geomorfologiche e morfo-altimetriche del corso d'acqua, della documentazione storica disponibile e delle informazioni raccolte è stato assunto l'accadimento di alluvionamento torrentizio per eventi 30 e 100ennali, mentre colata detritica in occasione di eventi 300ennali.

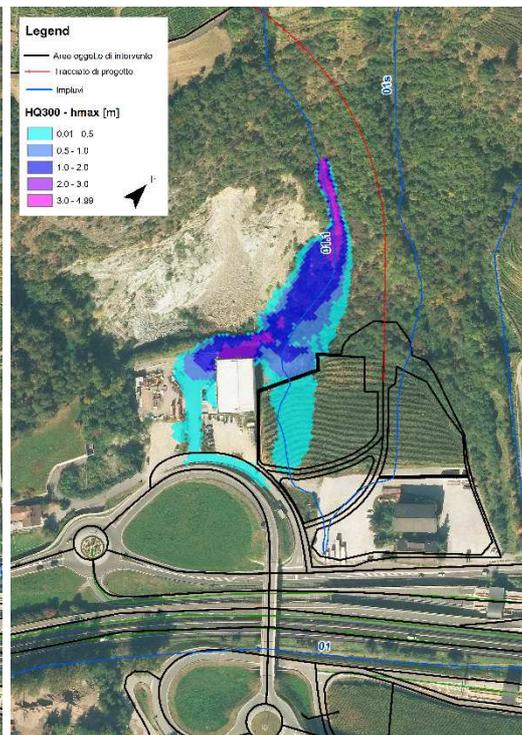
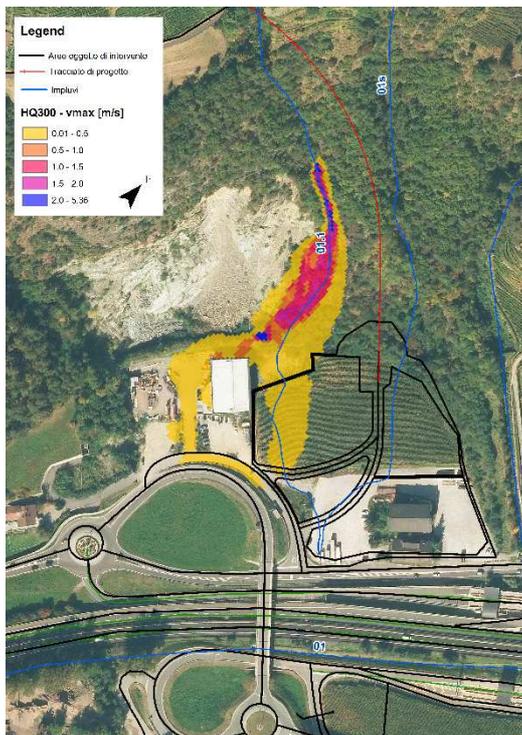


Fig. 15 – Stato attuale ,Tr 300anni, velocità massima Fig. 16 – Stato attuale ,Tr 300anni, tirante massimo

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IB0U	1BEZZ	RI	ID0000002	B	38 di 54

I risultati del modello eseguito in occasione di un evento 300ennale mostrano come il fenomeno possa interessare il fondovalle raggiungendo depositi/tiranti di 0.5 m nella zona occidentale del terreno coltivato e anche di 1 m a ridosso del cambio di pendenza. Le velocità risultano limitate dalla presenza della vegetazione e dall'assenza di un alveo marcatamente inciso nel tratto finale del versante. I deflussi infatti tendono a divagare sul piano campagna determinando una riduzione delle velocità superficiali di flusso.

#### 10.5.4 Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere

Per quanto riguarda le aree allagabili durante la fase di cantiere, esse sono generate da una portata associata ad un tempo di ritorno pari a 21 anni e dunque notevolmente ridotte rispetto a quanto previsto in occasione di un evento 300ennale. Peraltro non si possono escludere scenari di alluvionamento caratterizzati da tiranti inferiori a 0.5 m che possono interessare l'area perimetrale del cantiere operativo C.B.03 e la viabilità di accesso allo stesso. In particolare pertanto sono da prevedere opere atte ad arginare tale fenomeno al fine di proteggere il cantiere stesso, in particolare, lungo il suo perimetro nord-ovest.

#### 10.5.5 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Come descritto nel paragrafo relativo allo stato attuale, lo scenario 300ennale non si discosta di tanto nemmeno nello stato finale. Pertanto, in relazione alle opere e infrastrutture definitive, sono da attendersi tiranti massimi pari a 0.5 m nella zona occidentale del terreno coltivato e anche di 1 m a ridosso del cambio di pendenza possono interessare principalmente l'area nei pressi dell'accesso alla finestra di Albes. Al fine di evitare che il fenomeno si possa propagare fino alle infrastrutture previste è necessario prevedere opere di protezione ed interventi atti a contenere il fenomeno, anche in relazione al materiale solido mobilizzabile in occasione dell'evento di colamento detritico.

### 10.6 BACINO 01S

#### 10.6.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari alluvionali e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto, le aree inondabili sia allo stato attuale che di progetto e quelle interessate in funzione del tempo di ritorno legato alla durata del cantiere.

#### 10.6.2 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Coerentemente con quanto emerso in sede di sopralluogo, in funzione delle caratteristiche geomorfologiche e morfo-altimetriche del corso d'acqua, della documentazione storica disponibile e delle informazioni raccolte è stato assunto l'accadimento di alluvionamento torrentizio per eventi 30 e 100ennali ed il verificarsi di una colata detritica in occasione di eventi 300ennali. I risultati del modello eseguito in occasione di un evento 300ennale mostrano come il fenomeno possa interessare il fondovalle raggiungendo depositi/tiranti di 1.3 m nella zona occidentale del terreno coltivato e anche di 1.9 m a ridosso del cambio di pendenza. Le velocità risultano limitate dalla presenza di vegetazione e dall'assenza di un alveo marcatamente inciso nel tratto finale del versante

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 39 di 54

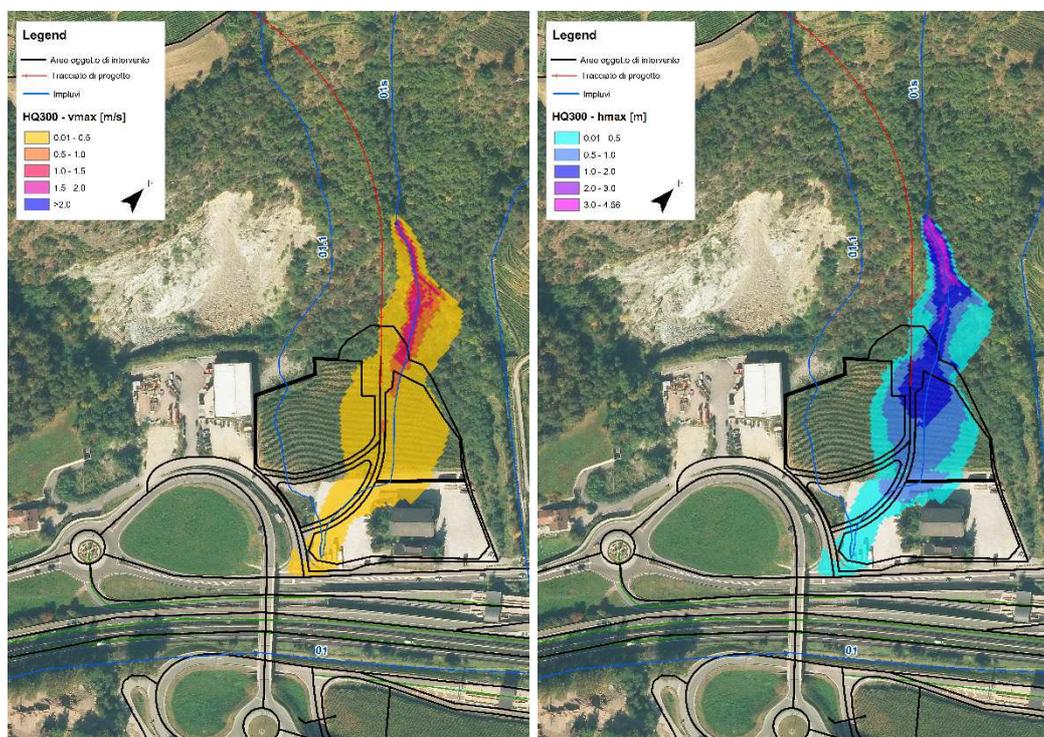


Fig. 17 – Stato attuale ,Tr 300anni, velocità massima Fig. 18 – Stato attuale ,Tr 300anni, tirante massimo

### 10.6.3 Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere

Per quanto riguarda le aree allagabili durante la fase di cantiere, esse sono generate da una portata associata ad un tempo di ritorno pari a 21 anni e dunque notevolmente ridotte rispetto a quanto previsto in occasione di un evento 300ennale. Peraltro non si possono escludere scenari di alluvionamento caratterizzati da tiranti inferiori a 0.5 m che possono interessare l'area perimetrale del cantiere operativo C.B.03 e la viabilità di accesso allo stesso. Pertanto sono da prevedere opere atte ad arginare tale fenomeno al fine di proteggere il cantiere stesso, in particolare lungo il suo perimetro nord-est.

### 10.6.4 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Come descritto nel paragrafo relativo allo stato attuale lo scenario 300ennale non si discosta di tanto nemmeno nello stato finale. Pertanto, in relazione alle opere e infrastrutture definitive, sono da attendersi tiranti massimi pari a 1.3 m nella zona orientale del terreno coltivato e anche di 1.9 m a ridosso del cambio di pendenza possono interessare principalmente l'area nei pressi dell'accesso alla finestra di Albes. Al fine di evitare che il fenomeno si possa propagare fino alle infrastrutture previste è necessario prevedere opere di protezione ed interventi atti a contenere il fenomeno, anche in relazione al materiale solido mobilizzabile in occasione dell'evento di colamento detritico.

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 idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 40 di 54

## 10.7BACINO 02.1

### 10.7.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto.

### 10.7.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.02.1, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come unico elemento potenzialmente esposto la galleria Scaleres.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	$d_{50}$ [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHESSD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
Bacino 02.1	Galleria Scaleres	0,02	2,67	3,52	362,00	5,50	356,50	NO

Fig. 19 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 02.1.

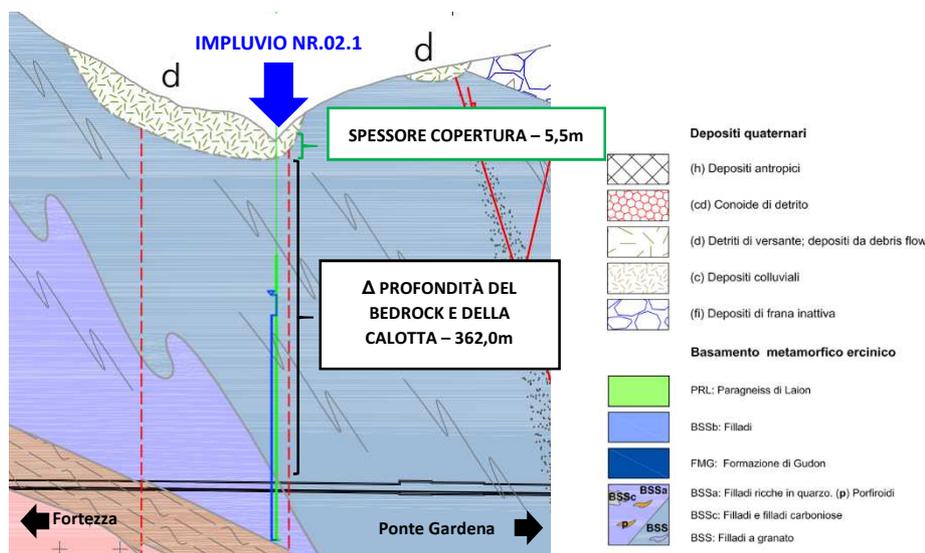


Fig. 20 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 02.1.

Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino nr.02.1 (progressiva di ca. 2.792 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) è quello dell'erosione di fondo e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,67 m dalle

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 41 di 54

formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 3,6 m in occasione di un evento 300ennale (NHESD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (5,5 m da p.c.) e della calotta della galleria (362,0 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria Scaleres in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.02.1.

## 10.8BACINO 02.2

Come riportato anche nella Relazione idrologica relativa ai bacini minori (si rimanda all'elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), il bacino 02.2 non è stato studiato nella presente relazione, poiché in sede di sopralluogo non sono emerse evidenze associabili a fenomeni idraulici. I deflussi generati dai versanti afferenti a tale bacino infatti alimentano il lago di Varna, biotopo provinciale. Quest'ultimo è situato in una depressione morfologica naturale del terreno il cui piano si localizza diversi metri al di sotto del piano rotabile della linea ferroviaria esistente. Pertanto, la probabilità che le acque di piena colmino completamente tale area e tracimino sopra il rilevato ferroviario è molto remota. Tale accadimento è ascrivibile alla sfera del pericolo residuo e non comporta una situazione di pericolosità per la pista di cantiere prevista.



Fig. 21 – Il Lago di Varna e, a destra, la linea ferroviaria esistente, sovralzata di diversi metri rispetto al piano del lago.

## 10.9BACINO 03

### 10.9.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto.

### 10.9.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.03, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come unico elemento potenzialmente esposto la galleria Scaleres. Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino nr.03 (progressiva di ca. 867 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) è quello dell'erosione di fondo e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,42 m dalle formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 2,06 m in occasione di un evento 300ennale (NHESD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (3 m da p.c.) e della calotta della galleria (88,40 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 42 di 54

di erosione di fondo che possono interessare la galleria Scaleres in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.03.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	$d_{50}$ [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHESD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
<b>Bacino 03</b>	Galleria Scaleres	0,05	2,42	2,06	88,40	3	85,40	<b>NO</b>

Fig. 22 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 03.

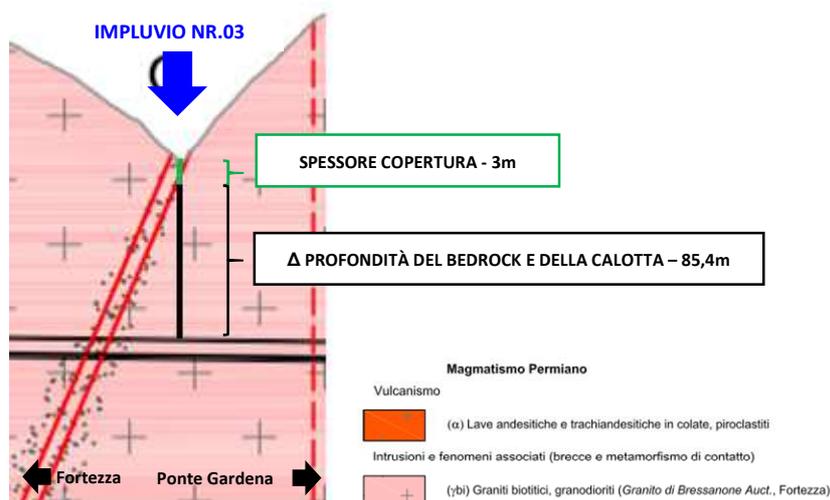


Fig. 23 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 03.

## 10.10 BACINO 04

Come riportato anche nella Relazione idrologica relativa ai bacini minori (si rimanda all'elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), il bacino 04 non è stato studiato nella presente relazione, poiché in sede di sopralluogo non sono emerse evidenze associabili a fenomeni idraulici.

## 10.11 BACINO 05

### 10.11.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	43 di 54

### 10.11.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.05, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come unico elemento potenzialmente esposto la galleria Scaleres. Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino nr.05 (progressiva di ca. 391 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) è quello dell'erosione di fondo e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,42 m dalle formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 2,10 m in occasione di un evento 300ennale (NHESD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (2 m da p.c.) e della calotta della galleria (65 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria Scaleres in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.05.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	d <sub>50</sub> [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHESD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
Bacino 05	Galleria Scaleres	0,05	2,42	2,10	65,00	2,00	63,00	NO

Fig. 24 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 05.

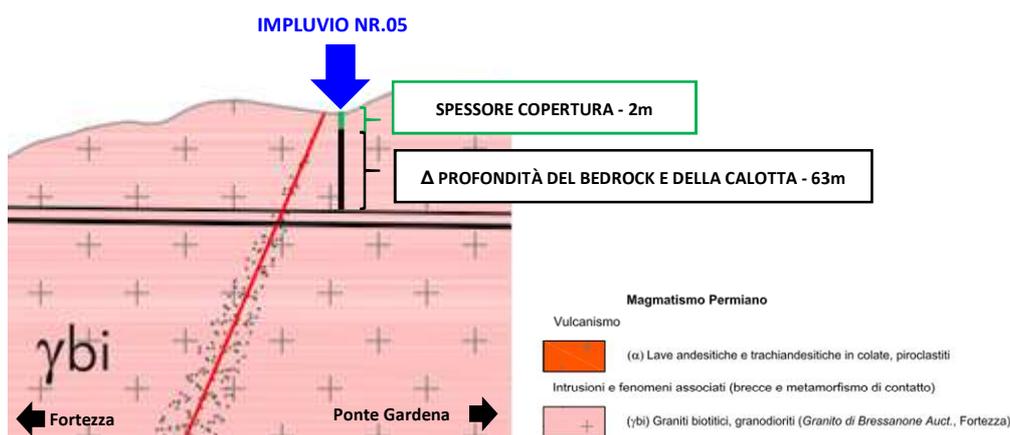


Fig. 25 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 05.

## 10.12 BACINO 05.1

### 10.12.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari alluvionali e noti gli elementi potenzialmente esposti (cantiere CO.01°), sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire le aree inondabili in funzione del

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 44 di 54

tempo di ritorno legato alla durata del cantiere. Per quanto riguarda le infrastrutture definitive previste, in particolare il raccordo con la linea esistente, essa non risulta suscettibile in quanto in occasione di eventi con tempo di ritorno inferiore e uguale a 100 anni il fenomeno che raggiunge il fondovalle risulta laminato grazie alla presenza di un cunettone di deviazione a monte, mentre per eventi 300ennali l'interferenza del fenomeno risulta limitata dalla morfologia e dalla presenza della strada (via Riol) lungo la quale il fenomeno è favorito a scorrere. Pertanto la verifica idraulica effettuata ha riguardato unicamente la portata generata dal bacino delimitato a monte dal cunettone di deviazione per fenomeni associati al tempo di ritorno di 21 anni, determinato sulla base del tempo di cantiere, che è stata ssunta pari a 10 anni.

### 10.12.2 Aree potenzialmente allagabili - Fase di cantiere

Per quanto riguarda le aree allagabili durante la fase di cantiere, esse sono generate da una portata associata ad un tempo di ritorno pari a 21 anni e da un bacino il cui perimetro è limitato a monte dal cunettone di deviazione. Si tratta inoltre di fenomeni caratterizzati da una bassa concentrazione solida. Pertanto le aree così interessate sono caratterizzate da estensione e tiranti limitati, nel dettaglio sono da attendersi tiranti inferiori a 0.5 m che possono raggiungere l'area del previsto cantiere operativo C.O.01A seguendo la direzione preferenziale come mostrato nelle seguenti immagini.



Fig. 26 – Direzione preferenziale verso il cantiere operativo C.O.01A – Lato nord-ovest cantiere operativo.

Pertanto sono da prevedere opere atte ad arginare tale fenomeno, al fine di proteggere il cantiere, in particolare, lungo il lato nord-ovest del cantiere stesso.

### 10.12.3 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Per completezza, poiché la portata totale di progetto considerata per la verifica del cunettone di deviazione nell'ambito del progetto "Opere di protezione idraulica e da caduta massi, Fossato Schindler" - B.440 (hydro's, 2019) risulta pari a 24 m<sup>3</sup>/s ed è inferiore rispetto a quella definita nel presente progetto, posta pari a 28,4 m<sup>3</sup>/s per Tr100, è stata eseguita una verifica di capacità del cunettone con le nuove portate.

Considerando la sezione della cunetta come riportano nel progetto del 2019 previsto per la realizzazione della cunetta stessa, ed in particolare una sezione con base minore pari a 3.5 m, pendenze delle sponde pari a 1:3 e 1:1 ed altezza pari a 3 m, considerando cautelativamente una pendenza di 29°, si ottiene un tirante pari a 1.26 m. A fini cautelativi si è tenuto conto anche del rialzo in curva al passaggio della piena calcolato con la seguente formula:

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 45 di 54

$$\Delta h = \alpha_{df} \frac{b U^2}{r g}$$

dove b ed r sono rispettivamente la larghezza del canale ed il raggio di curvatura. Trattandosi di correnti con numeri di Froude maggiori dell'unità, il coefficiente  $\alpha_{df}$  dovrebbe essere posto pari a  $\sim 2$ . Si deve tuttavia osservare che, almeno durante il passaggio del fronte della colata, la non stazionarietà del moto può dare luogo a sovralti più elevati. Pertanto il calcolo è stato fatto un un coefficiente  $\alpha_{df}$  pari a 10 così come proposto da A. Armanini e in linea con le raccomandazioni del Ministero dei lavori pubblici giapponese. Sulla base di tali valutazioni si ottiene un tirante massimo totale pari a 2.95 m per il quale di poco la sezione del cunettone di deviazione risulta verificata pr un evento 100ennale.

Come accennato nella parte introduttiva, per eventi 300ennali l'interferenza del fenomeno risulta limitata dalla morfologia e dalla presenza della strada (via Riol) lungo la quale il fenomeno è favorito a scorrere e pertanto per quanto riguarda le infrastrutture definitive previste, in particolare il raccordo con la linea esistente esso non risulta suscettibile, data la limitata interferenza possibile dovuta a fenomeni alluvionali.

## 10.13 BACINO 06

### 10.13.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e noti gli elementi potenzialmente esposti, sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto.

### 10.13.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.06, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come elemento potenzialmente esposto a fenomeni di erosione di fondo la galleria Scaleres. Tale fenomeno idraulico può interessare la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino nr.06 (progressiva di ca. 1.429 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,67 m dalle formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 3,00 m in occasione di un evento 300ennale (NHSSD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (3,5 m da p.c.) e della calotta della galleria (261,0 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria Scaleres in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.06.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	$d_{50}$ [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHSSD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
Bacino 06	Galleria Scaleres	0,02	2,67	3,00	261,00	3,50	257,50	NO

Fig. 27 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 06.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 46 di 54

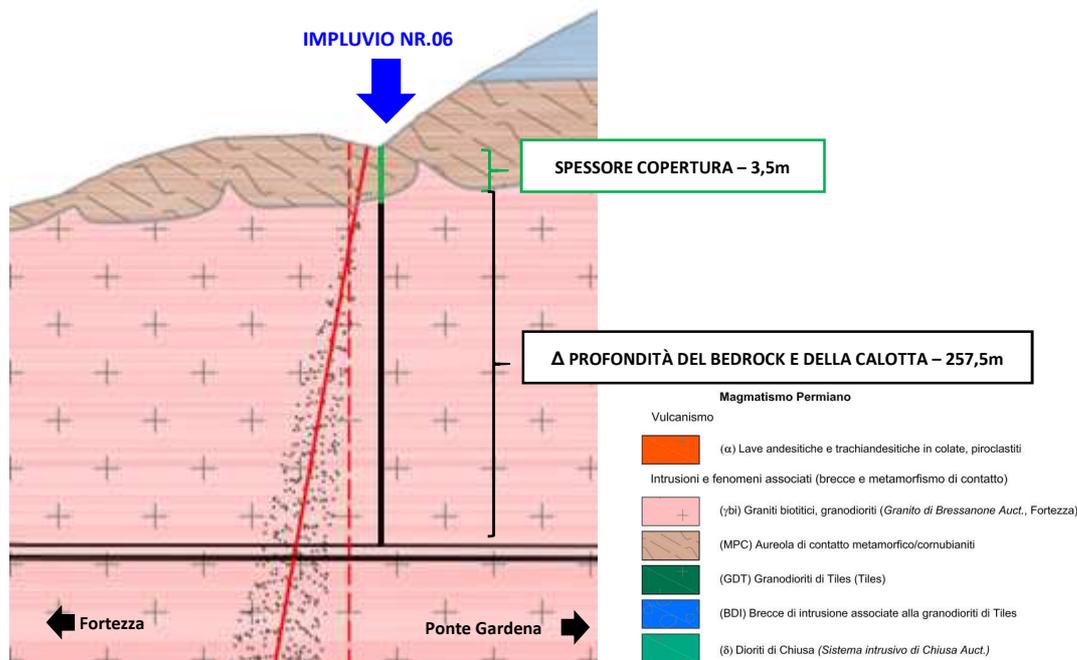


Fig. 28 – Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 06.

## 10.14 BACINO 07

### 10.14.1 Premessa

Per il presente bacino dati i potenziali scenari alluvionali e gli elementi potenzialmente esposti (cantiere operativo CO.02A, area di stoccaggio AS.02E, area tecnica AT.02D) sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire le aree inondabili in funzione del tempo di ritorno sia allo stato attuale che allo stato finale.

### 10.14.2 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Allo stato attuale il bacino imbrifero che contribuisce alla formazione di fenomeni idraulici risulta prevalentemente boscato. I fenomeni idraulici che possono essere generati in occasione dei tempi di ritorno di progetto (30, 100 e 300 anni) risultano di modesta entità. Allo stato attuale si attendono fenomeni a bassa concentrazione solida che possono raggiungere tiranti massimi dell'ordine di 0,2 m in occasione degli eventi più estremi. Anche i valori di velocità sono da ritenersi di bassa entità in quanto non vi è un canale fortemente inciso, tali valori possono aumentare in corrispondenza delle strade.

### 10.14.3 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Allo stato finale è stata considerata la creazione di un nuovo deposito definitivo di stoccaggio del materiale. È previsto il disboscamento della superficie boscata che costituisce il bacino imbrifero, con rimodellamento del terreno e pendenze tali da non modificare le attuali linee di compluvio e displuvio. Pertanto la direzione di drenaggio delle acque meteoriche ricalcherà quella attuale. Sono da attendersi anche in questo caso fenomeni idraulici di modesta entità e bassa concentrazione di materiale solido in occasione dei tempi di ritorno di progetto (30, 100 e 300 anni). Data l'assenza di copertura vegetata del suolo, dal bacino sotteso

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
Mandatario:	Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori		IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	47 di 54

può originarsi un aumentato deflusso superficiale, il quale però, se associato alla nuova scabrezza, non comporta notevoli variazioni di tiranti attesi rispetto allo stato attuale, bensì un aumento di velocità.

## 10.15 BACINO 08

### 10.15.1 Premessa

Il Bacino 08 corrisponde al Rio Di Funes, Codice Acque Pubbliche della Provincia Autonoma di Bolzano B.300. Per il presente bacino, dati i potenziali scenari di erosione in alveo e di alluvionamento e noti gli elementi potenzialmente esposti (Galleria Gardena, Cantiere operativo CO.04C, Cantiere base CB.03, Area stoccaggio AS.04B, Area tecnica AT.04B, Area tecnica AT.04D), sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire l'intenferenza tra erosione in alveo e galleria in progetto, le aree inondabili sia allo stato attuale che di progetto e quelle interessate in funzione del tempo di ritorno legato alla durata del cantiere.

### 10.15.2 Analisi della massima erosione potenziale al fondo

Il corso d'acqua afferente al Bacino Nr.08, in relazione alle opere ferroviarie previste nell'ambito del quadruplicamento della Linea FF.SS. Fortezza – Verona, Asse Ferroviario Monaco – Verona, Lotto1 e oggetto del presente studio, ha come unico elemento potenzialmente esposto la galleria Gardena. Il fenomeno idraulico potenzialmente interferente con la galleria in corrispondenza dell'impluvio del Bacino Nr.08 (progressiva di ca. 16.334 m dall'imbocco della galleria artificiale di Fortezza) è quello dell'erosione di fondo e pertanto sono state valutate le massime profondità d'erosione che sono risultate pari a 2,42 m dalle formule empiriche (Blodgett, 1986) e pari a 0,39 m in occasione di un evento 300ennale (NHESD,2015). Tali valori, se confrontati con la profondità dal piano campagna del BedRock (7,5 m da p.c.) e della calotta della galleria (45,73 m da p.c.) risultano notevolmente inferiori e pertanto non emergono interferenze dovute a fenomeni di erosione di fondo che possono interessare la galleria Gardena in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino Nr.08.

Bacino nr.	Elemento potenzialmente esposto	$d_{50}$ [m]	Massima profondità di erosione (Blodgett, 1986) [m]	Massima profondità di erosione (NHESD, 2015) [m]	Profondità della calotta della galleria dal piano campagna [m]	Profondità del Bedrock dal piano campagna [m]	Differenza tra Profondità del Bedrock e della calotta della galleria [m]	Interferenza Fenomeno di erosione alveo e elementi potenzialmente esposti
<b>Bacino 08</b>	Galleria Gardena	0,05	2,42	0,39	45,73	7,50	38,23	<b>NO</b>

Fig. 29 – Tabella riassuntiva degli elementi potenzialmente esposti, dell'entità del fenomeno erosivo e della profondità del BedRock in corrispondenza dell'impluvio nr. 08.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 48 di 54

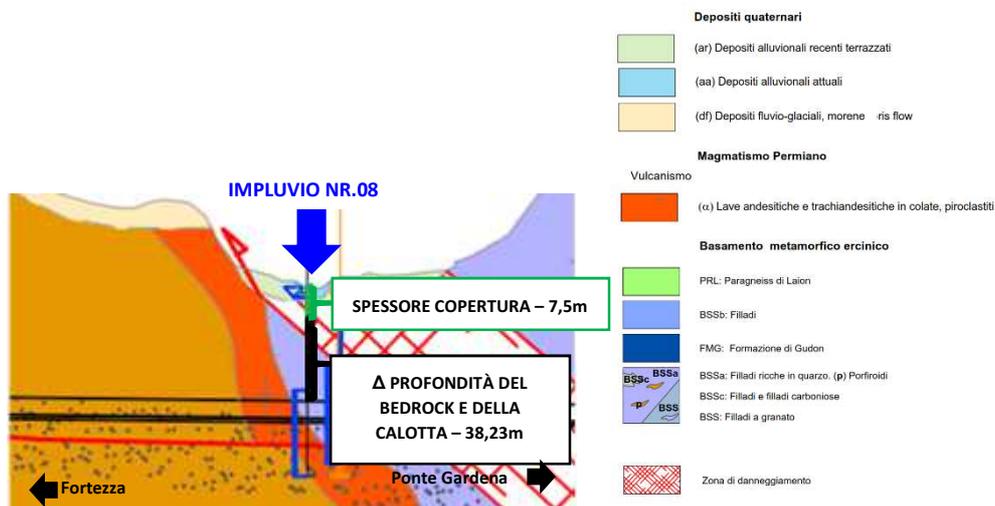


Fig. 30 –Spessore della copertura e profondità tra il BedRock e la calotta della galleria in corrispondenza dell'impluvio afferente al Bacino nr. 08.

### 10.15.3 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Per quanto riguarda la zona denominata Schmelze si riportano i dati estratti dal Piano delle zone di pericolo del Comune di Funes. I risultati dei modelli recepiscono gli scenari di ostruzione parziale del ponte esistente in corrispondenza dell'attraversamento della strada comunale S.C.22.4 (codice identificativo BN464). In occasione dell'evento 100ennale è stata considerata una parziale ostruzione del 30%, mentre in occasione di eventi 300ennali pari a 50%. Le aree alluvionate interessano le aree di cantiere poste sia in idrografica destra che in idrografica sinistra, ma solo in occasione di eventi 300ennali. In particolare in occasione di tali eventi si raggiungono tiranti anche di 2,3 m in idrografica destra a causa di una depressione del piano campagna, area dove è prevista la finestra di Funes, e tiranti inferiori a 0,5 m in idrografica sinistra.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>ID0000002</b>	REV. <b>B</b>	FOGLIO. <b>49 di 54</b>

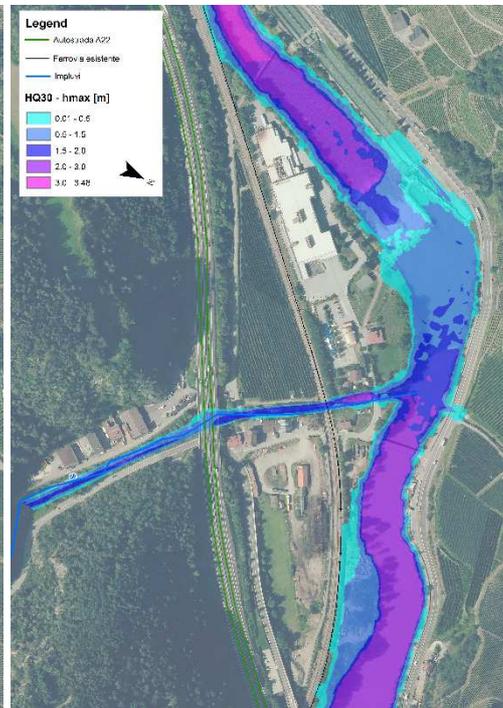
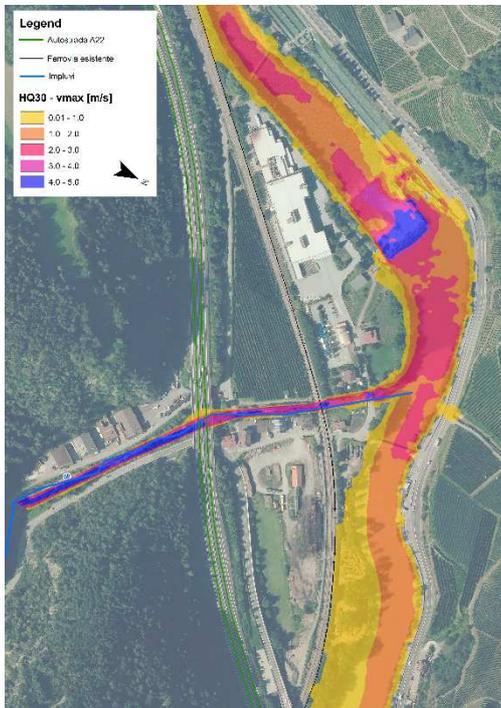


Fig. 31 – Stato attuale ,Tr 30anni, velocità massima Fig. 32 – Stato attuale ,Tr 30anni, tirante massimo

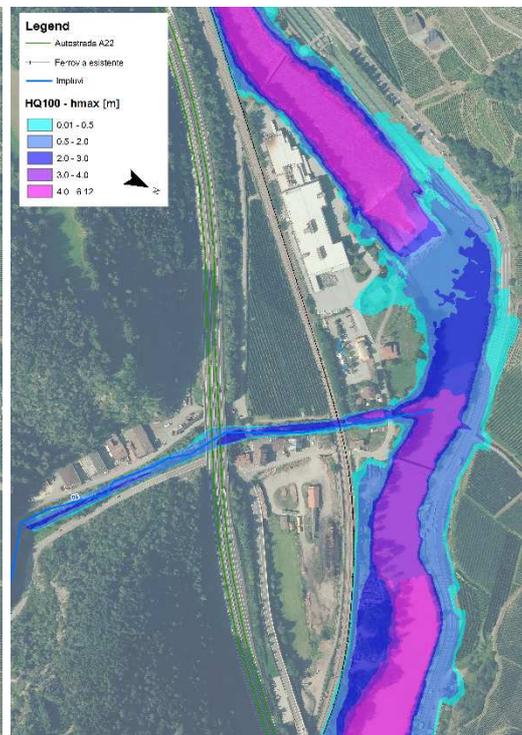
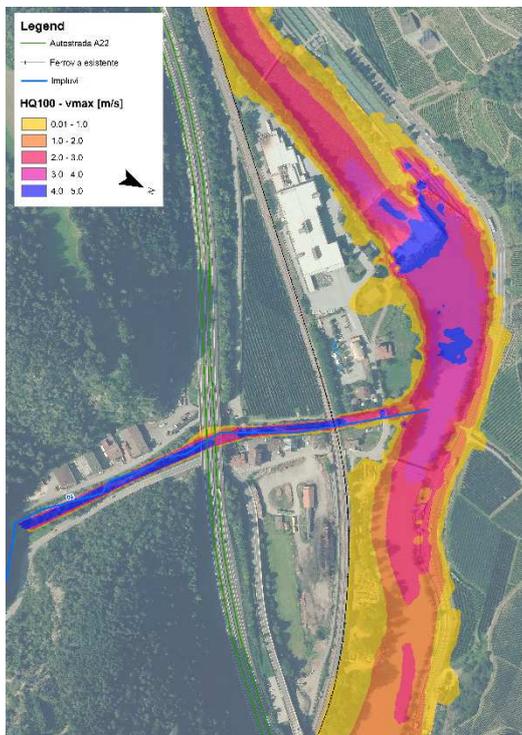


Fig. 33 – Stato attuale ,Tr 100anni, velocità massima Fig. 34 – Stato attuale ,Tr 100anni, tirante massimo

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	50 di 54

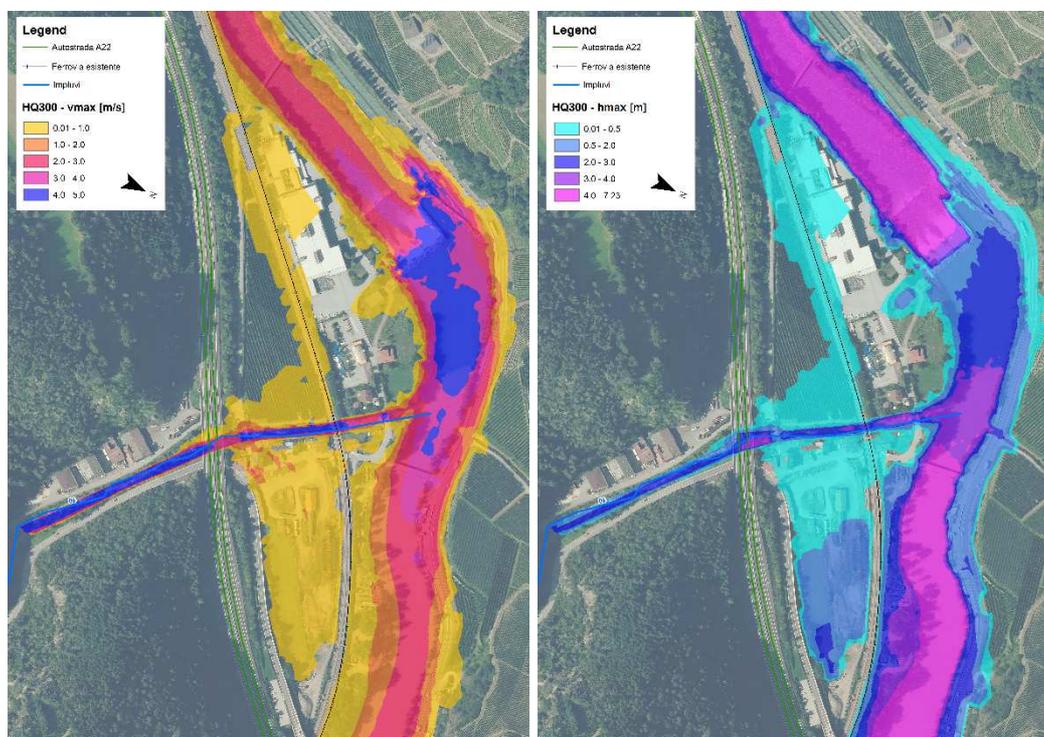


Fig. 35 – Stato attuale ,Tr 300anni, velocità massima Fig. 36 – Stato attuale ,Tr 300anni, tirante massimo

#### 10.15.4 Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere

Per la fase di cantiere è prevista la presenza di aree destinate a stoccaggio di materiale e aree con funzioni tecniche e operative per una durata di 10 anni. Il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni idrauliche delle opere provvisorie viene assunto pari a 21 anni, come definito nella Relazione idrologica generale (elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A). In occasione dell'evento associato a tale tempo di ritorno non sono da aspettarsi alluvionamenti delle aree di cantiere, anche tenendo conto del nuovo ponte previsto a monte dell'esistente ponte ferroviario.

#### 10.15.5 Aree potenzialmente allagabili - Stato finale

Per l'analisi delle aree potenzialmente allagabili nello stato finale, è stata considerata la presenza del nuovo ponte sul Rio Funes a servizio delle aree di cantiere, da considerarsi definitivo e non provvisorio in base alle prescrizioni in essere. Coerentemente con la normativa di settore, è stato pertanto modellato un evento di piena influente lungo il Rio Funes marcato da una portata con tempo di ritorno di 200 anni in presenza del nuovo ponte di progetto, per il quale si rimanda alla Figura 37. Si evidenzia come, in corrispondenza della prima sezione utile a monte del ponte, la quota del pelo libero in occasione di un evento 200ennale sia pari a 536,96 m s.l.m.; coerentemente con le NTC 2008 dev'essere garantito un franco di almento 1 m da tale quota. Dai risultati emerge come non vi siano fenomeni di alluvionamento che interessano le infrastrutture definitive previste, ed in particolare l'area della prevista finestra di Funes, come riportato nelle seguenti immagini. Permane in ogni caso la situazione di pericolosità censita per un evento di piena marcato da 300 anni, che non è però imputabile alla presenza del nuovo attraversamento sul Rio Funes ma deriva da una

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 51 di 54

limitata capacità di deflusso e dall'elevata probabilità di ostruzione del ponte stradale per Gudon esistente sotto il viadotto A22.

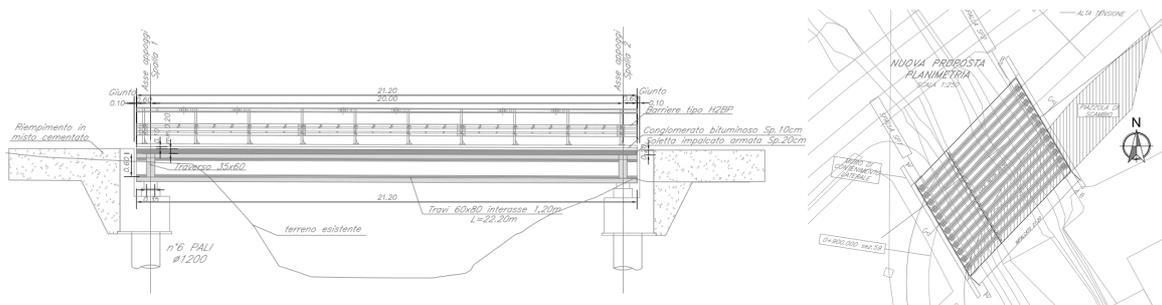


Fig. 37 – Sezione e posizione planimetria del nuovo ponte sul Rio Funes.

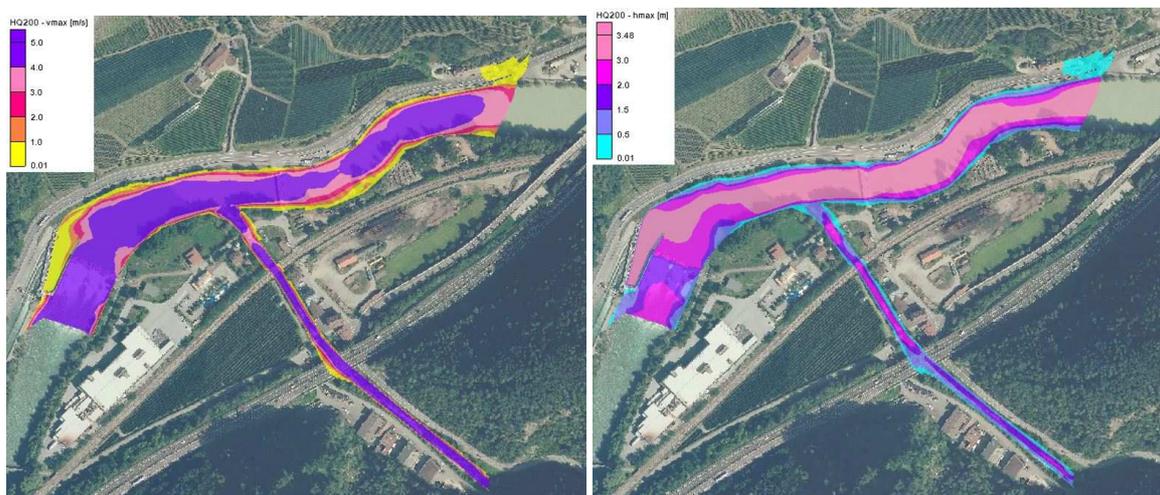


Fig. 38 – Stato finale, Tr 200anni, velocità massima Fig. 39 – Stato finale, Tr 200anni, tirante massimo

## 10.16 BACINO 09.1

### 10.16.1 Premessa

Per il presente bacino, dati i potenziali scenari alluvionali e noti gli elementi potenzialmente esposti (area di stoccaggio AS.05), sono state eseguite delle verifiche idrauliche mirate a definire le aree inondabili in funzione del tempo di ritorno sia allo stato attuale che per la fase di cantiere.

### 10.16.2 Aree potenzialmente allagabili - Stato attuale

Allo stato attuale il bacino imbrifero che contribuisce alla formazione di fenomeni idraulici risulta prevalentemente boscato. I fenomeni idraulici che possono essere generati in occasione dei tempi di ritorno di progetto (30, 100 e 300 anni) risultano di modesta entità. Allo stato attuale si attendono fenomeni a bassa concentrazione solida che possono raggiungere tiranti massimi dell'ordine di 0,5 m in occasione degli eventi più estremi. Il fenomeno può interessare principalmente la strada statale S.S.242Dir. - di Val Gardena e Passo Sella e raggiungere le aree morfologicamente favorite nei pressi della strada stessa.

APPALTATORE: 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>																	
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>RI</td> <td>ID0000002</td> <td>B</td> <td>52 di 54</td> </tr> </tbody> </table>						COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.													
IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	52 di 54													

### 10.16.3 Aree potenzialmente allagabili – Fase di cantiere

Allo stato finale è stata considerata la creazione di un nuovo deposito di stoccaggio del materiale (A.S. 05), sfruttando un piazzale già attualmente esistente. Pertanto la direzione di drenaggio delle acque meteoriche ricalcherà quella attuale. Sono da attendersi anche in questo caso fenomeni idraulici di modesta entità e bassa concentrazione di materiale solido in occasione dei tempi di ritorno di progetto (30, 100 e 300 anni). L'unico elemento vulnerabile interessato è la strada di accesso al cantiere. Per la protezione dell'infrastrutture si ritiene sufficiente prevedere un'opera di collettamento delle portate liquide influenti unitamente ad una barriera di arginamento del materiale solido. Quest'ultima può essere considerata al pari di una piccola piazza di deposito con estensione massima di 10 m<sup>2</sup> arginata da un piccolo terrapieno con elevazione massima sopra il piano campagna pari a 0,5 m. Con tali accorgimenti si ritiene di proteggere adeguatamente il cantiere stesso lungo il perimetro est.

### 10.17 BACINI 09.2 E 09.03

Come riportato anche nella Relazione idrologica relativa ai bacini minori (si rimanda all'elaborato IB0U1BEZZRIID0000001A), i bacini 09.2 e 09.3 non sono stati indagati nella presente relazione, poiché in sede di sopralluogo non sono emerse evidenze associabili a fenomeni idraulici. Data la limitata estensione superficiali, l'assenza di testimoni muti e l'assenza di evidenze di torrenzialità, si ritiene che questi sottobacini siano caratterizzati esclusivamente da piccole venute d'acqua di versante che non arrecano nessun problema di sicurezza alle previste aree di cantiere.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b> Relazione idraulica bacini minori	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0000002	REV. B	FOGLIO. 53 di 54

## 11. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Armanini A. (1997), *Nuovi sviluppi applicativi dell'idraulica dei corsi d'acqua*.

Armanini, A. (2005): „*Principi di idraulica fluviale* “. Edizioni Bios, Castrolibero (CS).

Armanini, A. (1999), “*Dinamica delle colate di detriti* “, *Atti del Convegno „Previsione e prevenzione di movimenti franosi rapidi* “, Trento 17-18-19 giugno 1999, GEAM, Torino, pp. 207 – 221.

Aron, G., White, E.L. (1982). "Fitting a Gamma Distribution over a Synthetic Unit Hydrograph". JAWRA Journal of the American Water Resources Association 18: 95–98.

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).

BAFU – Bundesamtes für Umwelt (2013), „*Abschätzung der mittleren jährlichen Geschiebelieferung in Vorfluter*“.

Camera di Commercio, Industria, Artigianato ed Agricoltura di Bolzano (1967). “*Studio idrogeologico del problema delle alluvioni nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano*”. Estratto dal Bollettino dei mesi di Marzo ed Aprile 1967.

Cannon, S.H. (1993). "An empirical model for the volume-change 1280 behavior of debris flows". In: Shen, H.W., Su, S.T., Wen, F. (Eds.), *Proceedings, Hydraulic Engineering '93*. American Society of Civil Engineers, New York: 1768–1777.

Chiari, M., Rickenmann, D. (2007). “*The influence of form roughness on modelling sediment transport at steep slopes*.” *Erosion and torrent control as a factor in sustainable river basin management*, 25.-28. September 2007, Belgrad

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W. (1988): “*Applied Hydrology*“, McGraw – Hill International Editions, Civil Engineering Series.

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

Fischer, K. e vari (1976). “*Lokalklimatische Untersuchungen im inneren Villnößtal*”. *Der Schlern*, 50/1976, Heft 10.

Marchi, L. (2006). „*Comprensione dei meccanismi di trasporto solido in ambiente montano*. “In: Il rilievo geomorfologico dei corsi d'acqua: la loro evoluzione e stima del trasporto solido. CISM, Udine, 1 dicembre 2006.

Marchi, L., Pasuto, A., Tecca P. R., (1993), “*Flow processes on alluvional fan in the Eastern Italian Alps*”, *Z. Geomorph. N. F.*, 37(4), 447-458.

Marchi, L. (2006), “*Comprensione dei meccanismi del trasporto solido in ambiente montano*”, in Il rilievo geomorfologico dei corsi d'acqua. La loro evoluzione e stima del trasporto solido. Udine, 1 dicembre 2006.

“*Memoriale dei lavori di riparti ai torrenti eseguiti in Tirolo in occasione delle inondazioni del 1882 durante gli anni 1883-1893, in base alla Legge dell'Impreso del 13 marzo 1883*”. Innsbruck, 1894. Tipografia Rohrer, Bruna.

APPALTATORE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>09 - IDROLOGIA ED IDRAULICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione idraulica bacini minori	IBOU	1BEZZ	RI	ID0000002	B	54 di 54

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

Melton, M.A. (1965), “*The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits in southern Arizona*”, The Journal of Geology Volume 73.

O'Brien, J. S., (2007), “*Flo 2D User's Manual*”, Version 2007.01, P.O. Box 66, Nutrioso, AZ 85932.

Provincia Autonoma di Bolzano (2012), “*Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo (PZP) e per la classificazione del rischio specifico (CRS)*”.

Provincia Autonoma di Bolzano (2016), “*Direttive per la redazione dei piani delle zone di pericolo (PZP) e per la classificazione del rischio specifico (CRS)*”.

Rickenmann, D., Hunzinger L., Koschini, A. (2008). „*Hochwasser und Sedimenttransport während des Unwetter vom August 2005 in der Schweiz*“. Conference Proceedings. Interpraevent, 8, 465-476.

Rickenmann, D. (2001). “*Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams*”. Water Resources Research, 37(12): 3295-3305.

Schleiss, A. (1999), “*Bedeutung des Geschiebes beim Hochwasserschutz*”. Wasser, Energie, Luft, 91. Jahrgang, Heft 3/4.

Smart, J.M., Jäggi, M.N.R. (1983), “*Sediment transport on steep slopes*“. Mitteil. 64, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH-Zürich, Switzerland, 191 pp.

Spreafico, M. et al., (1999), “*Recommandationes concernant l'estimation de la charge sedimentaire dans les torrents*”, Groupe de travail pour l'hydrologie operationelle, Berne.

Takahashi. T. (1978) "Mechanical characteristics of debris flow." *Journal of the Hydraulics Division of the American Society of Civil Engineers* 104 (8), 1153–1169.

Tognacca, C. (1999), “*Beitrag zur Untersuchung der Entstehungsmechanismen von Murgängen*”, Mitteilung 164 der VAW – Versuchsanstalt für Wasserbau, Hdrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 259 pp.

Tognacca C., Bezzola G. R., Minor H.E. (2000): “*Threshold criterion for debris-flow initiation due to channel-bed failure*”. In: G.F. Wieczorek & N.D Naeser (eds.), Proceedings of the Second International Conference on Debris-flow Hazards Mitigation, Balkema, Rotterdam, 89-97.