



Mit Beteiligung der Europäischen Union aus dem Haushalt der Transeuropäischen Verkehrsnetze finanziertes Vorhaben
 Opera finanziata con la partecipazione dell'Unione Europea attraverso il bilancio delle reti di trasporto transeuropee



AUSBAU EISENBahnACHSE MÜNCHEN-VERONA

BRENNER BASISTUNNEL

Ausführungsplanung

POTENZIAMENTO ASSE FERROVIARIO MONACO-VERONA

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

Progettazione esecutiva

Baulos H81 – Bahnhof Franzensfeste

Lotto H81- Stazione Fortezza

Sub-Baulos

Entwässerungsstollens für den Riolbach

Fachbereich

03- HYDRAULIK UND HYDROLOGIE

Titel

Hydrologischer und hydraulischer Bericht

Sublotto

Collettore di drenaggio rio Riol

Settore

03 - IDRAULICA E IDROLOGIA

Titolo

Relazione idrologica e idraulica

	Datum/data	Name/nome
Bearbeitet / Elaborato	30.10.2022	G. Festa
Geprüft / Verificato	30.10.2022	A. Polli
Freigegeben Autorizzato		
Gesehen BBT Visto BBT		

GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO - BRENNER BASISTUNNEL BBT SE

Piazza Stazione 1 • I-39100 Bolzano
 Tel.: +39 0471 0622-10 • Fax: +39 0471 0622-11
 Amraser Str. 8 • A-6020 Innsbruck
 Tel.: +43 512 4030 • Fax: +43 512 4030-110
 Email: bbt@bbt-se.com • www.bbt-se.com

Projekt- kilometer / Progressiva di progetto	von / da bis / a bei / al	Bau- kilometer / Chilometro opera	von / da bis / a bei / al	Status Dokument / Stato documento
Staat Stato	Los Lotto	Einheit Unità	Nummer Numero	Dokumentenart Tipo Documento
02	H81	AF	001	RT4
				Vertrag Contratto
				Nummer Codice
				Revision Revisione
				D1538
				01035
				01

Bearbeitungsstand Stato di elaborazione			
Revision Revisione	Änderungen / Cambiamenti	Verantwortlicher Änderung Responsabile modifica	Datum Data
02			
01	Recepimento istruttoria	-	30.10.2022
00	Erstversion Prima Versione	-	10.08.2022

1	VORWORT	
1	PREMESSA	4
2	EINLEITUNG	
2	INTRODUZIONE	6
3	BEZUGSNORM UND LITERATUR	
3	NORMATIVA E LETTERATURA DI RIFERIMENTO	6
4	HYDROLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DES STANDORTES	
4	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL SITO	7
4.1	NIEDERSCHLAGSKURVEN	
4.1	CURVE SEGNALETRICI DI PIOGGIA	10
4.2	HYDRAULISCHE CHARAKTERISIERUNG DER BECKEN	
4.2	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEI BACINI	10
4.3	DETERMNAZIONE DELL'ONDA DI PIENA	11
5	HYDRAULISCHE SIMULATION	
5	SIMULAZIONE IDRAULICA	16
5.1	GRUNDGLEICHUNG - HECRAS	
5.1	EQUAZIONI DI BASE - HECRAS	16
5.2	DEFINITION DES BERECHNUNGSBEREICHS	
5.2	DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO	21
5.3	RAHMENBEDINGUNGEN	
5.3	CONDIZIONI AL CONTORNO	22
5.4	ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLIERUNGSERGEBNISSE	
5.4	SINTESI DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE	23
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN	
6	CONCLUSIONI	25

1 VORWORT

Der Brenner Basistunnel ist mit einer Länge von knapp über 55 km das Kernelement des Eisenbahnkorridors München-Verona. Dieser ist gemäß der Entscheidung Nr. 884/2004/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 als TEN – Achse Nr. 1 Bestandteil der Eisenbahnverbindungen für Nord-Süd-Verkehre.

Das entsprechende Einreichprojekt wurde mit CIPE-Beschluss Nr. 71/2009 genehmigt.

Beim Bahnhof Franzensfeste, im Abschnitt zwischen dem Südportal des Brenner Basistunnels (im Folgenden BBT) und dem Nordportal des Schalderer Tunnels (viergleisiger Ausbau Franzensfeste - Verona - Los 1 Franzensfeste - Waidbruck), verläuft die neue HG/HL-Strecke oberirdisch.

In diesem Bereich sind laut Projekt eine Reihe von Nebenbauten zum Basistunnel vorgesehen, die darauf abzielen, die Konfiguration des Bahnhofs Franzensfeste zu verbessern und aufzuwerten, und zwar in Übereinstimmung mit den neuen Funktionen, die im genehmigten Einreichprojekt definiert und nachstehend beschrieben sind:

- Abfahrtsbahnhof für die Pustertaler Bahnlinie
- Durchgangsbahnhof für die neue HG/HL-Brennerlinie
- Verbindung zwischen der Bestandsstrecke und der neuen HG/HL-Brennerlinie
- Wartungsbahnhof für den Brenner Basistunnel
- Wartungsbahnhof eines Teils der Bestandsstrecke
- Notbahnhof am Südportal des Basistunnels.

Diese Bauwerke umfassen unter Anderem technische Funktionsgebäude, eine Zufahrtsstraße zum Rettungsplatz im Nahbereich des Portals, wasserbauliche Maßnahmen an den Wasserläufen rechts des Eisacks und Steinschlagschutzbauten, zur Minderung des geomorphologischen Risikos auf der neuen Bahnstrecke und im gesamten Bahnhofsbereich Franzensfeste.

1 PREMESSA

La Galleria di Base del Brennero si sviluppa per una lunghezza poco superiore ai 55 Km e costituisce la parte centrale del corridoio ferroviario Monaco di Baviera – Verona. Tale tratta è inserita nel collegamento ferroviario Nord-Sud denominato TEN – Asse n. 1 previsto dalla decisione n. 884/2004/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004.

Il relativo progetto definitivo è stato autorizzato con delibera CIPE 71/2009.

In corrispondenza della Stazione ferroviaria di Fortezza, nel tratto compreso tra l'imbocco sud del Galleria di Base del Brennero (nel seguito BBT) e l'imbocco nord della Galleria Scaleres (Quadruplicamento Fortezza-Verona - lotto 1 Fortezza-Ponte Gardena), la nuova linea ferroviaria AV/AC si sviluppa in esterno.

In quest'area il progetto prevede la costruzione di una serie di opere civili accessorie alla Galleria di Base volte potenziare e riqualificare la configurazione della stazione ferroviaria di Fortezza, in coerenza con le nuove funzioni definite nel progetto definitivo approvato e di seguito riportate:

- Stazione di partenza per la linea ferroviaria della Val Pusteria
- Stazione di transito per la nuova linea AV/AC del Brennero
- Collegamento tra la linea esistente e la nuova linea AV/AC del Brennero
- Stazione per la manutenzione della Galleria di Base del Brennero
- Stazione per la manutenzione di parte della linea esistente
- Stazione di emergenza situata al portale Sud della Galleria di Base.

Queste opere comprendono tra l'altro fabbricati tecnici di servizio, una viabilità di accesso all'area di soccorso in prossimità dell'imbocco, opere di sistemazione idraulica dei corsi d'acqua affluenti di destra del Fiume Isarco e opere di protezione contro la caduta massi, volte alla mitigazione del rischio geomorfologico sulla nuova linea ferroviaria e sull'intera area della stazione di Fortezza.

Ein Teil dieser Bauwerke interferiert mit den Arbeiten zur Errichtung der bahntechnischen Ausrüstung des Basistunnels und mit der Einrichtung der entsprechenden Baustellen am Bahnhof Franzensfeste bzw. dient der Vorbereitung dieser Arbeiten.

Gegenstand dieses Ausführungsprojektes ist die Errichtung des Entwässerungsstollens für den Riobach.

Dieser bildet den letzten Abschnitt der wasserbaulichen Maßnahmen des Baches, die mit dem Bau der oberen Geschiebesperre durch die Autonome Provinz Bozen begannen und mit der Regulierung des Flussbettes im Abschnitt zwischen dieser Geschiebesperre und dem Bahnhofsareal fortgesetzt wurden.

Durch die Begradigung der bestehenden Trasse und durch Anpassung des hydraulischen Querschnitts wird das neue Bauwerk es ermöglichen, den Wasserabfluss in Richtung Eisack zu verbessern und die hydraulische Sicherheit im Bahnhofsbereich zu erhöhen.

Die Maßnahme besteht aus der Errichtung einer kreisförmigen Sammelleitung aus Stahlbeton mit einem Innendurchmesser von 2,85 m. Die Trasse schließt flussaufwärts an das neue, bereits angelegte Flussbett an, unterquert dann die Gleise der Strecke Verona-Brennero, das gesamte Bahngelände und die Staatsstraße SS 12 und endet an der Einmündung in den Eisack.

Die Gesamtlänge der Maßnahme beträgt rund 135m, wovon 112 m auf die neue kreisförmige Sammelleitung aus Stahlbeton entfallen, während die restlichen Abschnitte aus den Portal- und Auslaufbauwerken bestehen.

Parte di queste opere è interferente e/o propedeutica con i lavori per la realizzazione dell'attrezzaggio ferroviario del tunnel di base e con l'allestimento dei relativi cantieri presso la stazione di Fortezza.

Il presente progetto esecutivo ha ad oggetto la realizzazione del cunicolo idraulico per il drenaggio del rio Riol.

Esso costituisce l'ultimo tratto della sistemazione idraulica del rio, avviata con la realizzazione, da parte della Provincia Autonoma di Bolzano, della briglia di ritenuta a monte e proseguita con la sistemazione dell'alveo nel tratto compreso tra detta briglia e l'areale di stazione.

La nuova opera, rettificando il tracciato esistente ed adeguando la sezione idraulica, consentirà di migliorare il deflusso delle acque verso il fiume Isarco, migliorando la sicurezza idraulica in corrispondenza della stazione.

L'intervento consiste nella realizzazione di un collettore circolare in c.a. a pelo libero, di diametro interno utile pari a 2,85 m. Il tracciato si raccorda, a monte, al nuovo alveo già realizzato, prosegue sotto attraversando i binari della linea Verona-Brennero, tutto l'areale ferroviario e la Strada Statale 12 e termina alla confluenza con il fiume Isarco.

La lunghezza complessiva dell'intervento è di ca. 135 m, di cui m 112, sono costituiti dal nuovo collettore circolare in c.a., mentre i restanti tratti sono costituiti dalle opere di imbocco e di sbocco.

2 EINLEITUNG

In diesem Bericht wird die Vorgehensweise bei der Erarbeitung der hydrologischen Charakterisierung der Einzugsgebiete B.440 und B.445 (Rio Riol bzw. Rio Schindler) für die Dimensionierung der hydraulischen Querung des Bahnhofs Franzenfeste dargestellt.

Die nachstehenden Analysen berücksichtigen die hydrologisch-hydraulischen Studien, die von der Wildbachverbauung durchgeführt wurden und im 2018 erstellten Gefahrenzonenplan enthalten sind, d.h. die Aktualisierungen des GZP von 2022, die geprüft wurden, obwohl sie sich zum Zeitpunkt der Erstellung des folgenden Berichts noch in der Phase der Voruntersuchung zur "Genehmigung" durch die zuständigen Stellen befinden. Die im vorigen Absatz erwähnte Überarbeitung bezieht sich auch auf die hydraulischen Arbeiten, die für den Schindlerbach und nach der Ausarbeitung/Genehmigung des GZP 2018 durchgeführt wurden. In seiner jetzigen Form kanalisiert der Schindlerbach seine hydrologischen Beiträge in das unmittelbar vor dem Eingriffsbereich gelegene Rückhaltebecken. Die im Folgenden vorgestellten Analysen berücksichtigen daher die gesamten hydrologischen Prozesse, die durch den Riolbach und den Schindlerbach ausgelöst werden.

Das vorliegende Dokument wird daher in den folgenden Kapiteln entwickelt:

- 1) Hydrologische Studien zur Bestimmung der kritischen Hochwasserwelle;
- 2) Hydraulische Studien, die darauf abzielen, die Mindestabmessungen für die hydraulische Querung des Projekts zu bestimmen.

Die unter Punkt 2 erwähnten Simulationen wurden mit der Open-Source-Software Hec-Ras 6.1 unter der Annahme eingeschränkter Strömungsbedingungen im Bereich der eindimensionalen permanenten Bewegung entwickelt.

3 BEZUGSNORM UND LITERATUR

Diese Studie wurde unter Berücksichtigung der folgenden Punkte entwickelt:

- Hydrogeologischer Gefahrenzonenplan - Detaillierter Bericht - Hydraulische Gefahren - 15/11/2019;

2 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra le procedure adottate per lo sviluppo della caratterizzazione idrologica dei bacini B.440 e B.445 (Rio Riol e Rio Schindler rispettivamente) finalizzata al dimensionamento dell'opera di attraversamento idraulico della Stazione Ferroviaria di Fortessa /Franzenfeste.

Le analisi di seguito esposte tengono conto degli studi in materia idrologica-idraulica condotti dall'Autorità dei Bacini Montani e contenuti all'interno del Piano delle Zone di Pericolo redatto nel 2018, ovvero degli aggiornamenti del PZP del 2022 che sono stati esaminati pur risultando, alla stesura della relazione che segue, ancora in fase di istruttoria per "approvazione" da parte degli Enti competenti. Nel dettaglio, la revisione di cui al precedente capoverso, risulta anche correlata agli interventi di sistemazione idraulica realizzati per il Rio Schindler e successivi alla redazione/approvazione del PZP 2018. Nella sua configurazione attuale, il Rio Schindler convoglia i propri contributi idrologici all'interno del bacino di ritenzione posizionato subito a monte dell'area di intervento. Le analisi di seguito esposte, dunque, tengono conto dei processi idrologici complessivamente generati dal Rio Riol e Rio Schindler.

Il presente documento, dunque, si sviluppa nei capitoli che seguono:

- 1) Studi idrologici finalizzati alla determinazione dell'onda di piena critica;
- 2) Studi idraulici finalizzati alla progettazione delle dimensioni minime da assegnare all'attraversamento idraulico di progetto.

Le simulazioni di cui al precedente punto due sono state sviluppate mediante adozione del software Open Source Hec-Ras 6.1, nell'ipotesi di condizioni di deflusso confinate in regime di moto permanente monodimensionale.

3 NORMATIVA E LETTERATURA DI RIFERIMENTO

Il presente studio è stato sviluppato in riferimento a:

- Piano delle zone di pericolo idrogeologico – Relazione Dettagliata – Pericoli Idraulici – 15/11/2019;
- Piano delle zone di pericolo idrogeologico –

- Hydrogeologischer Gefahrenzonenplan - Anhänge;
- LSPP 2022 für das Einzugsgebiet des Riobach - Amt für Zivilschutz der Autonomen Provinz Bozen - Amt für Meteorologie und Lawinenverhütung.

Allegati;

- LSPP 2022 per Bacino Rio Riol – Agenzia della Protezione Civile Provincia Autonoma di Bolzano – Ufficio Meteorologia e prevenzione Valanghe.

4 HYDROLOGISCHE CHARAKTERISIERUNG DES STANDORTES

Ziel dieses Kapitels ist es, die kritische Hochwasserwelle zu definieren, die das untersuchte Gebiet charakterisiert.

Wie aus den verfügbaren technischen Unterlagen hervorgeht, befindet sich der Durchlass des Projektes stromabwärts des Rückhaltebeckens, das den Feststoffabfluss im Falle eines Extremereignisses eindämmen soll.

4 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL SITO

Il presente capitolo ha come obiettivo la definizione dell'onda di piena critica che caratterizza il sito oggetto di studio.

Come è possibile desumere dalla documentazione tecnica a disposizione, il tombino di progetto risulta collocato a valle del bacino di ritenzione finalizzato al contenimento della portata solida in caso di evento estremo.



Abbildung 1 – Ausgleichsbecken oberhalb des Eingriffsbereiches

Figura 1 Bacino di compensazione a monte dell'area oggetto dell'intervento

Das Schichtsystem wird nämlich durch die Beiträge der Becken B.445 und B.440 des Riobaches bzw. Schindlerbaches gespeist.

Il sistema di laminazione risulta di fatto alimentato dai contributi attribuibili rispettivamente ai bacini B.445 e B.440, relativi al Rio Riol e Rio Schindler.

Das Wassereinzugsgebiet des Riobaches (497 ha) ist durch geringe durchschnittliche Steigungen zwischen 40-25 % (über 60 % des Einzugsgebiets) gekennzeichnet. Der Hauptkanal hat eine Ausdehnung von 2600 m und ist durch "zwei homogene Abschnitte mit nicht sehr hohem Gefälle" gekennzeichnet (durchschnittliches Gefälle von 29 %). Wie im GZP 2018 besser dargestellt, beträgt der Formkoeffizient 1,011, was auf ein reifes Stadium in der morphologischen Entwicklung des Beckens hinweist (Scheidegger, 1987).

Lo spartiacque del Rio Riol (497ha) è caratterizzato da pendenze medie non elevate comprese tra il 40-25% (oltre il 60% del bacino). L'asta principale presenta uno sviluppo di 2600m ed è caratterizzata da "due tratti omogenei a pendenze non molto elevate" (pendenza media pari al 29%). Come meglio indicato all'interno del PZP 2018, il coefficiente di forma risulta pari a 1.011, indicativo di uno stadio maturo dell'evoluzione morfologica del bacino (Scheidegger, 1987).

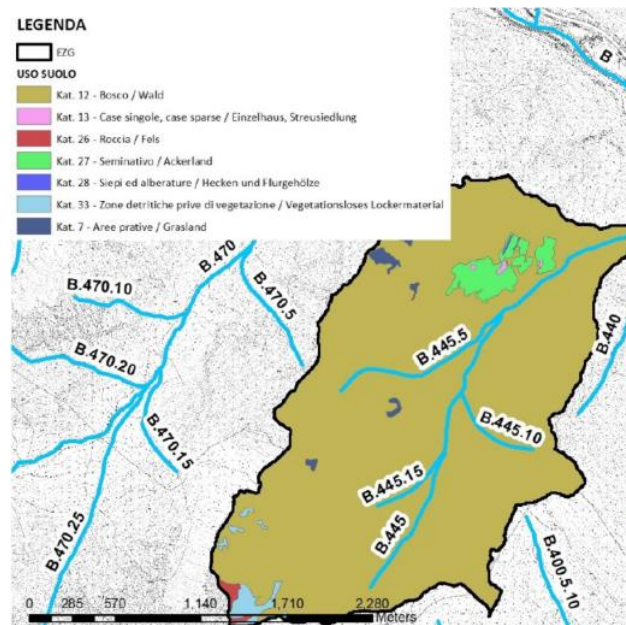


Abbildung 2 Einzugsbecken Riobach (GZP 2018)

Figura 2 Bacino Rio Riol (PZP 2018)

Das Einzugsgebiet des Schindlerbaches (31 ha) ist schmal und langgestreckt und weist eine Neigung von 15-55° auf. Der Hauptstamm mit einer Gesamtlänge von 1200 m weist durchschnittliche Steigungswerte in der Größenordnung von 50 % auf. Eine Prüfung des GZP 2018 beigefügten Unterlagen ergibt einen Formkoeffizienten von 1,124, der auf ein reifes Stadium des Beckens hinweist, das eigentlich durch eine verringerte Erosionstätigkeit gekennzeichnet sein müsste (Scheidegger, 1987).

Il bacino imbrifero relativo al Rio Schindler (31ha) presenta una conformazione stretta e allungata, con valori della pendenza compresi tra 15-55°. L'asta principale, caratterizzata da uno sviluppo complessivo di 1200m, presenta valori di pendenza media dell'ordine del 50%. Dall'esame della documentazione allegata al PZP 2018 è possibile desumere un coefficiente di forma pari a 1.124, indicativo di uno stadio maturo del bacino che risulterebbe di fatto caratterizzato da una ridotta attività erosiva (Scheidegger, 1987).

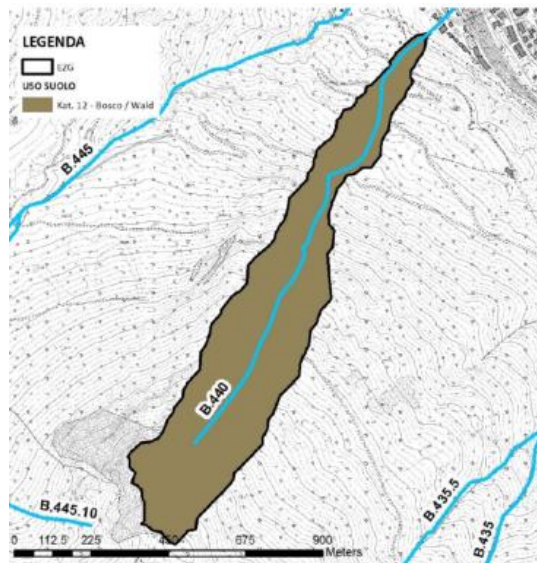


Abbildung 3 Einzugsbecken Schindlerbach (GZP 2018)

Figura 3 Bacino Rio Schindler (PZP 2018)

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, münden die beiden Becken flussaufwärts des Untersuchungsgebiets in ein Murgangrückhaltebecken. Stromabwärts wird der Abfluss über eine hydraulische Anlage aus zementierten Steinen (trapezförmiger Querschnitt - Basis 5,0 m; Höhe 1,50 m) abgeleitet, die entlang eines Höhenprofils mit einem starken Längsgefälle in der Größenordnung von 30-40 % verlaufen. In der jetzigen Form werden die erhobenen Massen seitlich an der Bahntrasse gelagert.

Come già accennato in sede di Introduzione, i due bacini confluiscono a monte dell'area oggetto di studio, all'interno di un bacino per la ritenuta delle colate detritiche. A valle dello stesso, il deflusso è convogliato a mezzo di una sistemazione idraulica in massi cementati (sezione trapezoidale – base 5.0m; altezza 1.50m), sviluppata lungo un profilo altimetrico caratterizzato da pendenze longitudinali elevate dell'ordine dei 30-40%. Allo stato di fatto, i contributi raccolti vengono convogliati lateralmente alla ferrovia.



Abbildung 4 hydraulische Systemierung

Figura 4 Sistemazione idraulica

Wie aus den vorliegenden Unterlagen hervorgeht, ermöglicht das Speichersystem im Falle eines Extremereignisses mit einer durchschnittlichen statistischen Periodizität von dreihundert Jahren eine fast vollständige Kompensation des Feststofftransports, da die Kapazität des Beckens größer ist als die potenziell aktivierten Mengen. Unter den angegebenen Bedingungen übersteigt also die Bemessungswelle, die zur hydraulischen Querung des Bahnhofs geleitet wird, nicht die kritische hydrologische Komponente (sintflutartige Überschwemmung).

In den folgenden Abschnitten werden die hydraulischen Verfahren und Ergebnisse zur Bestimmung der kritischen Welle für Wiederkehrperioden von 200 und 300 Jahren beschrieben.

4.1 NIEDERSCHLAGSKURVEN

Die Niederschlagsmöglichkeitskurven für das Untersuchungsgebiet wurden vom Amt für Wildbachverbauung zur Verfügung gestellt und anschließend mit den bereits im GZP 2018 vorhandenen Werten (TR=300Jahre) verglichen. Nachfolgend ist der synthetische Trend der Niederschlagshöhe für ein Ereignis mit TR=200 Jahre und TR=300 Jahre sowie die abgeleiteten Parameter der Monomialfunktion dargestellt.

	TR=200 anni		TR=300 anni	
	a mm/h ⁿ	n	a mm/h ⁿ	n
Rio Riol	38.8	0.352	40.8	0.352
Rio Schindler	38.8	0.384	40.8	0.384

Tabelle 1 Parameter der Wahrscheinlichkeitskurven des Niederschlages nach Monomialfunktion der Bäche Riol und Schindler

Come è possibile desumere dagli elaborati a disposizione, in caso di evento estremo con periodicità statistica media trecentennale, il sistema di accumulo permette la pressoché completa compensazione del trasporto solido, risultando la capacità del bacino superiore ai volumi potenzialmente attivabili. Alle condizioni indicate, dunque, l'onda di progetto convogliata all'attraversamento idraulico della stazione ferroviaria non eccede la componente idrologica critica di riferimento (alluvionamento torrentizio).

I paragrafi che seguono riportano le procedure idrauliche e i risultati inerenti alla determinazione dell'onda critica per periodi di ritorno pari a 200 e 300 anni.

4.1 CURVE SEGNALATRICI DI PIOGGIA

Le curve di possibilità pluviometrica per il sito oggetto di studio sono state fornite dall'Ufficio Bacini Montani e successivamente raffrontati con i valori già presenti all'interno del PZP 2018 (TR=300 anni). Di seguito si riporta l'andamento dell'altezza sintetica di pioggia per un evento con TR=200anni e TR=300anni e i parametri derivati della funzione monomia.

Tabella 1 Parametri della curva di possibilità pluviometrica per forma monomia riferite ai bacini del Rio Riol e Rio Schindler.

4.2 HYDRAULISCHE CHARAKTERISIERUNG DER BECKEN

In den folgenden Tabellen sind die Parameter zur hydrologischen Charakterisierung der Einzugsgebiete aufgeführt, die sich aus der Morphologie des Gebiets ergeben. Die Werte wurden für die Bestimmung der Abflusszeit und der anschließenden

4.2 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEI BACINI

Le tabelle che seguono riportano i parametri idrologici di caratterizzazione dei bacini dedotti in funzione in ragione della morfologia del territorio. I valori sono stati utilizzati per la determinazione del tempo di corrivazione e la successiva dell'onda di piena di progetto.

Bemessungshochwasserwelle verwendet.

	BACINO B. 440	BACINO B. 445
Superficie [km ²]	0.31	4.97
Qmax [m]	1910	2288
Qmin [m]	795	767
L [km]	1.2	2.6
Sasta	0.50	0.29
Sversante	0.38	0.30

Tabelle 2 Hydrologische Daten der Becken

Tabella 2 Dati idrologici dei bacini

Die Hochlaufzeit, definiert als die Mindestdauer, die erforderlich ist, damit der hydraulisch am weitesten entfernte Punkt des Beckens zum Schließungsquerschnitt wird, wird mit den Formeln von Ventura, Kirpich, Viparelli und Pasini berechnet. Der Referenzwert ergibt sich aus dem Durchschnitt der erzielten Ergebnisse

Il tempo di corrivazione, definito come la durata minima necessaria affinché il punto idraulicamente più distante del bacino contribuisca alla sezione di chiusura, è calcolato mediante le formule di Ventura, Kirpich, Viparelli e Pasini. Il valore di riferimento è ottenuto come media dei risultati ottenuti

	<i>VENTURA</i> (h)	<i>KIRPICH</i> (h)	<i>VIPARELLI</i> (h)	<i>PASINI</i> (h)	<i>MEDIA</i> (h)
<i>B. 440</i>	0.09	0.08	0.32	0.091	0.14
<i>B. 445</i>	0.54	0.28	0.67	0.52	0.50

Tabelle 3 Hochlaufzeit

Tabella 3 Tempo di corrivazione

Wie man sieht, haben die beiden Becken eine Anlaufzeit von 30 Minuten bzw. 9 Minuten (B440 und B445), was zu einer leichten Asynchronität der Hochwasserereignisse führt. Die Ergebnisse scheinen vollständig mit den im GZP 2018 (und der Aktualisierung der GZP 2022) angegebenen Werten vergleichbar zu sein.

Come è possibile osservare, i due bacini presentano un tempo di corrivazione pari a 30 minuti e 9 minuti (B440 e B445 rispettivamente), condizione questa che comporta una leggera asincronia si sovrapposizione degli eventi di piena. I risultati appaiono pienamente raffrontabili ai valori riportati all'interno del PZP 2018 (e aggiornamento PZP 2022).

4.3 DETERMNAZIONE DELL'ONDA DI PIENA

Die Bestimmung des Bemessungsdurchflusses erfolgt durch Anwendung der rationalen Formel:

La determinazione della portata di progetto è realizzata per applicazione della formula razionale:

$$Q(d, TR) = I_n(d, TR)A$$

wobei:

Con:

- 1) $I_n(d, TR)$ Nettointensität Regenereignis für die kritische Dauer und Wiederkehrzeit;
- 2) A Einzugsgebiet.

- 3) $I_n(d, TR)$ intensità netta di pioggia per assegnata durata critica e periodo di ritorno;
- 4) A area del bacino.

Der Wert der Nettoregenintensität wird durch Anwendung der Curve Number-Methode des Soil Conservation Service gemäß dem Bericht ermittelt:

Il valore dell'intensità netta di pioggia è determinato per applicazione del metodo del Curve Number del Soil Conservation Service secondo la relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Mit P_e Nettoregenmenge, P Bruttoregenmenge, der erste hydrologische Verlust und S als maximales Wasserrückhaltevermögen des Bodens. Der Wert des letztgenannten Parameters hängt nämlich von der Art der Bodenbedeckung, dem Versiegelungsgrad und dem Durchfeuchtungszustand ab.

Con P_e pioggia netta, P pioggia lorda, la perdita idrologica iniziale e S massima capacità di ritenzione idrica del suolo. Il valore di quest'ultimo parametro risulta di fatto legato alla tipologia di copertura del suolo, al grado di impermeabilizzazione e al stato di imbibizione.

Wie aus den Informationen des Geoportals der Autonomen Provinz Bozen hervorgeht, ist die Bodenbedeckung in den beiden untersuchten Einzugsgebieten im Großen und Ganzen einem bewaldeten Gebiet mit durchschnittlich undurchlässigen Böden (Klasse C) zuzuordnen. Unter den angegebenen Bedingungen wird der CN-Wert auf 76 festgelegt.

Come è possibile desumere dalle informazioni fornite dal Geoportale della Provincia Autonoma di Bolzano, per i due bacini oggetto di indagine la copertura del suolo risulta nel complesso ascrivibile ad area boschiva con terreni mediamente impermeabili (classe C). Alle condizioni indicate, il valore del CN è fissato pari a 76.

Die Anfangsverluste werden als Prozentsatz der Aufnahmefähigkeit des Bodens bestimmt (Kalibrierungsparameter zwischen 0,05 und 0,20). Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Hochwasserspitzen für die beiden betrachteten Einzugsgebiete.

Le perdite iniziali sono determinate in percentuale λ della capacità di imbibizione del suolo (parametro di calibrazione compreso tra 0.05 e 0.20). Le tabelle che seguono riportano per i due bacini i risultati del picco di piena per i due bacini in esame.

RIO-RIOL									
TR	a mm/h ⁿ	n	tc min	h mm	S ha	CNI	S mm	hn mm	Q mc/s
100	35.4	0.352	31.7	28.28	497	76	34.87	9.39	24.55
200	38.8	0.352	31.7	30.44	497	76	34.87	10.81	28.24
300	40.8	0.352	31.7	32.59	497	76	34.87	12.27	32.06

RIO-SCHINDLER									
TR	a mm/h ⁿ	n	tc min	h mm	S ha	CN	S mm	hn mm	Q mc/s
100	35.4	0.384	8.64	16.82	31	76	34.87	5.47	3.27
200	38.8	0.384	8.64	18.10	31	76	34.87	6.19	3.70
300	40.8	0.384	8.64	19.39	31	76	34.87	6.93	4.14

Tabella 4 Portata di progetto

Wie ersichtlich, betragen die Abflusswerte für ein Ereignis mit TR=200 Jahre 28,24 m³/s und 3,70m³/s (Riol bzw. Schindler). Geht man synthetisch von einer linearen UHI aus (Dreieckshydrogramm mit einer Nachspitzendauer von 1,5 Tc), so garantiert der Unterschied in den Reaktionszeiten der Becken, dass sich die Spitzen nicht überlagern. Unter den angegebenen Bedingungen wird die Querung daher nur für den 200-jährlichen Abfluss des Einzugsgebiets des Riol ausgelegt.

Come è possibile osservare, i valori della portata per un evento con TR=200 anni risultano pari a 28.24 m³/s e 3.70m³/s (rispettivamente Rio Riol e Rio Schindler). Ipotizzando sinteticamente l'adozione di IUH lineari (idrogramma triangolare con durata post picco pari a 1.5 Tc), la differenza dei tempi di risposta dei bacini garantisce la non sovrapposizione dei picchi. Alle condizioni indicate, dunque, la progettazione dell'opera di attraversamento è realizzata in riferimento alla sola portata duecentennale generata dal bacino del Rio Riol.

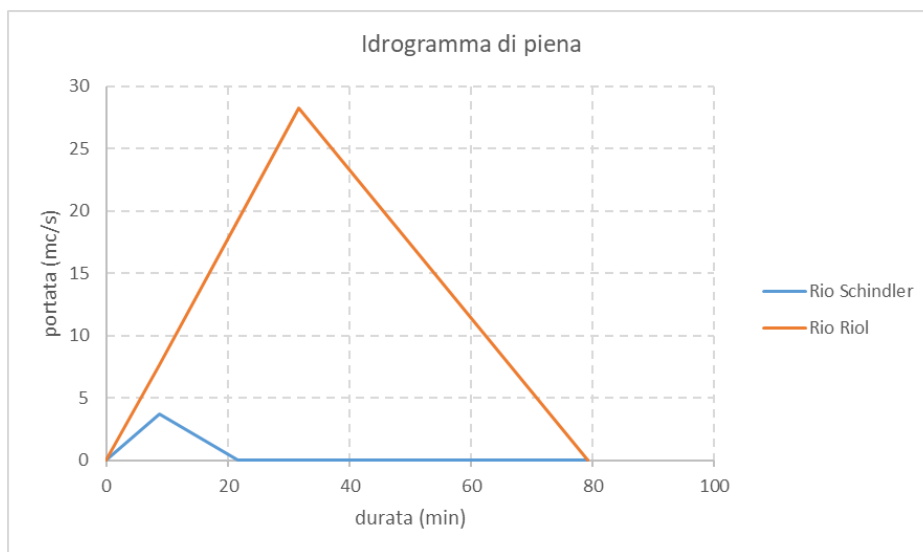


Abbildung 5 Gegenüberstellung der Hydrogramme des Vollabflusses des Rio- und Schindlerbaches

Figura 5 Raffronto idrogrammi di piena Rio Riol e Rio Schindler

Die gleiche Analyse wurde auch mit der Open-Source-Software Hec Hms durchgeführt, um die Überlappung der Hydrogramme zu überprüfen. Die folgenden Bilder veranschaulichen die Ergebnisse des Hydrogramms (UHI: SCS) und bestätigen, was in Abbildung 5 kurz dargestellt ist.

La medesima analisi, inoltre, è stata sviluppata a mezzo del software Open Source Hec Hms al fine di verificare la sovrapposizione degli idrogrammi. Le immagini che seguono illustrano i risultati ottenuti in termini di idrogramma (IUH: SCS) e validano quanto sinteticamente rappresentato in Figura 5.

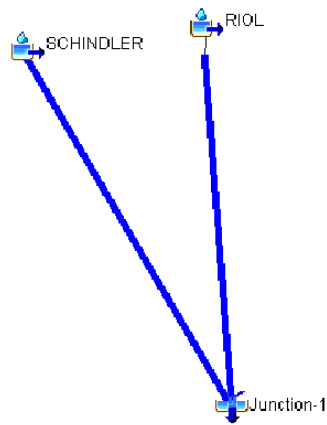
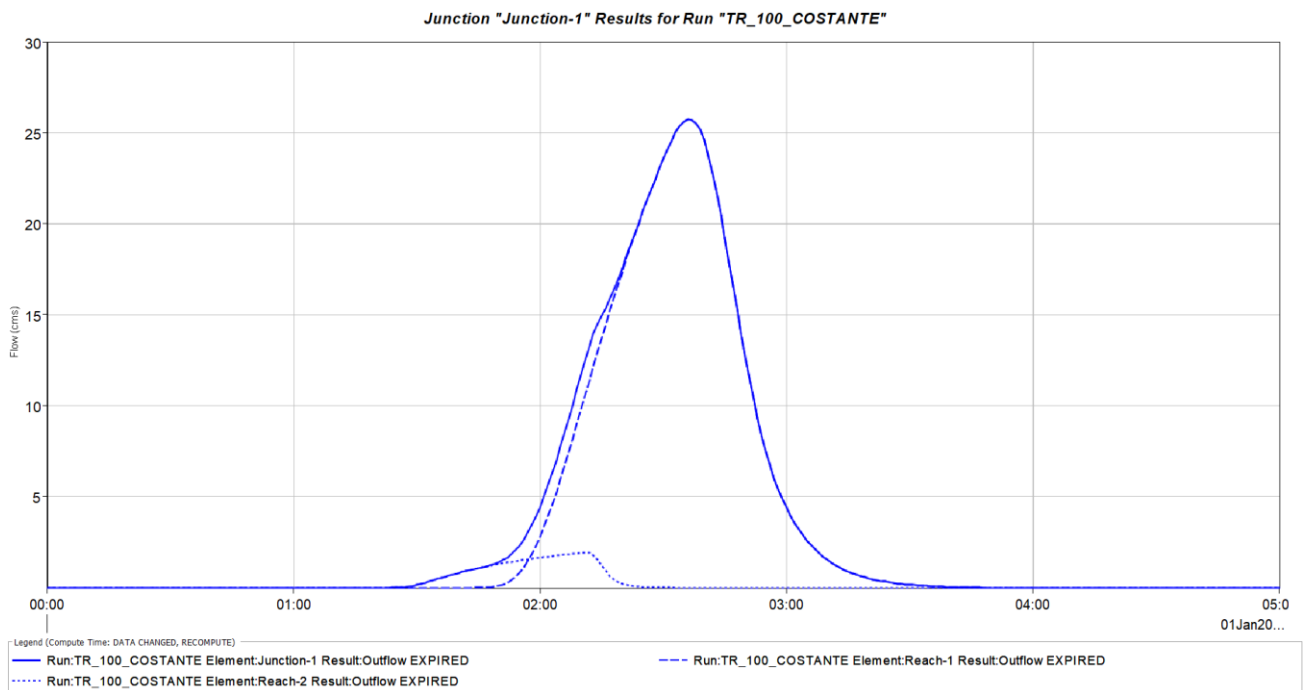


Abbildung 6 Hydrologisches Modell Hec Hms – Riobach und Schinderbach

Figura 6 Modello idrologico Hec Hms - Rio Riol + Rio Schindler



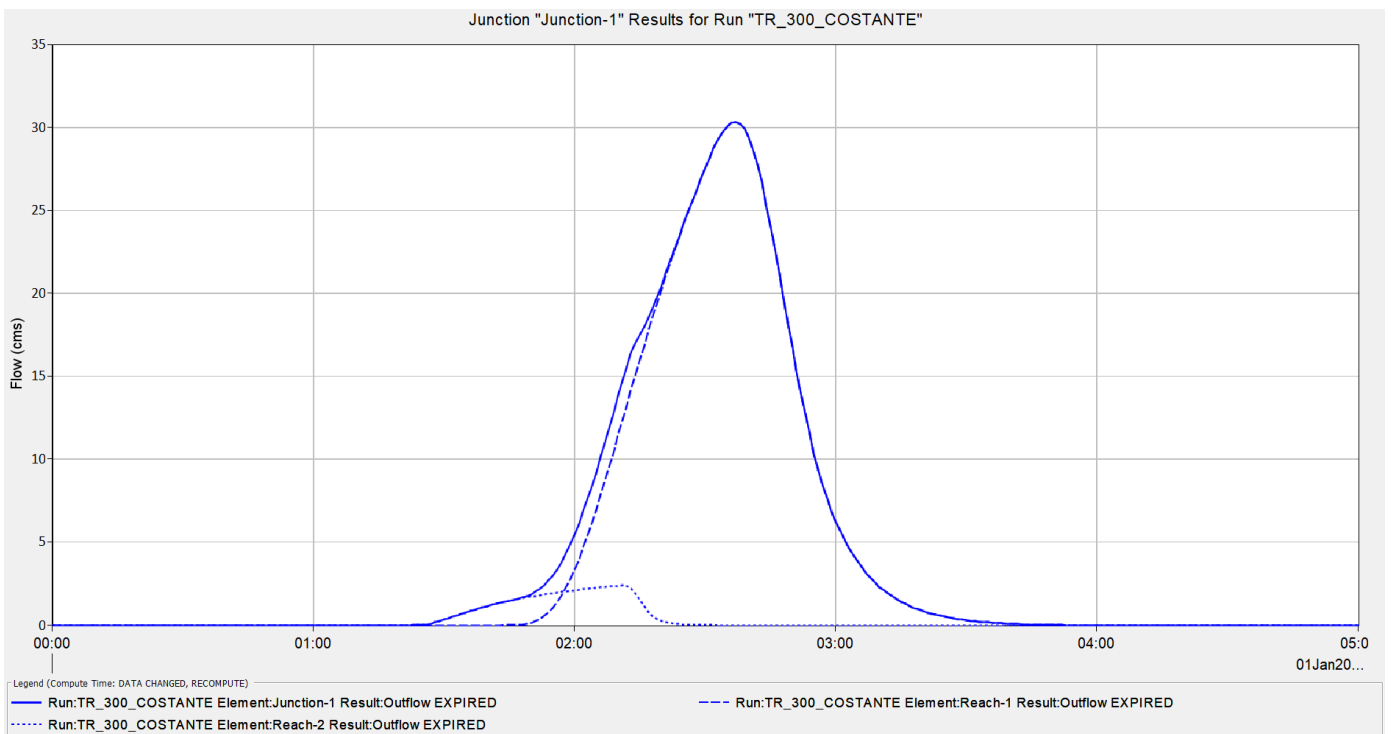
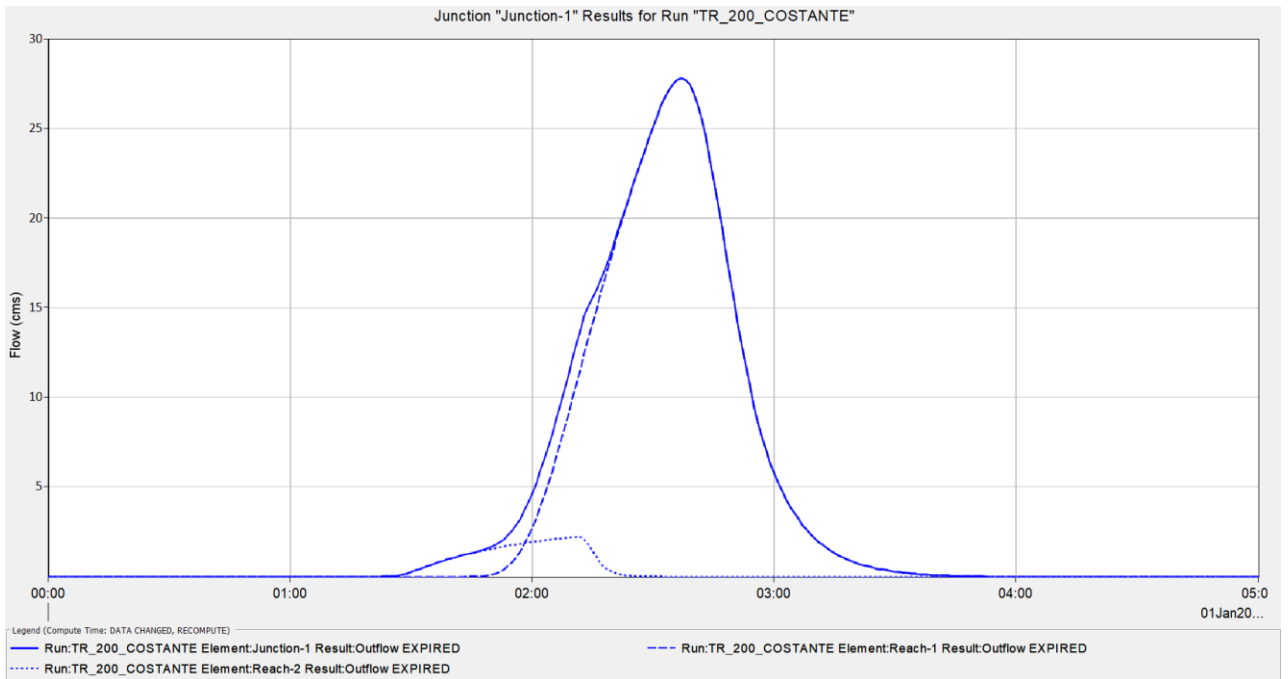


Abbildung 7 Hydrologisches Modell Hec-Hms – Hydrogramme Vollabfluss

Figura 7 Modello Idrologico Hec-Hms - idrogrammi di piena

5 HYDRAULISCHE SIMULATION

In diesem Kapitel werden die Verfahren und Ergebnisse der hydraulischen Simulationsphase für den Projektübergang am Bahnhof Franzensfeste dargestellt.

Alle Analysen wurden mit Hilfe der Open-Source-Software Hec Ras 6.1 unter der Annahme eines permanenten eindimensionalen Strömungsregimes durchgeführt. Die Rekonstruktion des Bestands der bestehenden Kanäle erfolgt durch eine spezielle topografische Vermessung, die im Jahr 2022 durchgeführt wird.

5.1 GRUNDGLEICHUNG - HECRAS

Das Berechnungsverfahren von HEC-RAS erlaubt es, die Energiegleichungen nach dem eindimensionalen Schema zu lösen, indem nur die Geschwindigkeitskomponente analysiert wird, die nach der vorherrschenden Bewegungsrichtung (longitudinal) ausgerichtet ist.

Die Berechnung der Stromprofile erfolgt in der Software durch Lösung der Energiegleichung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abschnitten in einem iterativen Verfahren (Standardschrittverfahren).

5 SIMULAZIONE IDRAULICA

Il presente capitolo illustra le procedure e i risultati ottenuti in fase di simulazione idraulica per l'attraversamento di progetto collocato in attraversamento alla stazione ferroviaria di Fortezza.

Tutte le analisi sono state realizzate a mezzo di software Open Source Hec Ras 6.1 nell'ipotesi di regime di deflusso monodimensionale permanente. La ricostruzione dello stato delle canalizzazioni esistenti è ottenuta a mezzo di rilievo topografico dedicato realizzato nel 2022.

5.1 EQUAZIONI DI BASE - HECRAS

La procedura di calcolo di HEC-RAS permette la risoluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale, andando ad analizzare solamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto (longitudinale).

Il calcolo dei profili di corrente viene effettuato all'interno del software attraverso la risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive, mediante un processo iterativo (standard step method).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

wobei:

- Y_1, Y_2 sind die hydraulischen Hauptlinien;
- Z_1, Z_2 sind die geodätischen Höhen;
- V_1, V_2 sind die mittleren Geschwindigkeiten;
- a_1, a_2 sind die Ausgleichskoeffizienten der kinetischen Höhen;
- g ist die Erdgeschleunigung;
- h_e ist die Verlusthöhe des betreffenden Abschnittes;

Der Wert von h_e wird durch die Summe der Reibungsverluste (verteilte Verluste) und der Druckverluste aufgrund der Kontraktion oder Expansion der Flüssigkeitsader (örtliche Verluste) bestimmt.

Dove:

- Y_1, Y_2 sono i tiranti idrici;
- Z_1, Z_2 sono le quote geodetiche;
- V_1, V_2 sono le velocità medie;
- a_1, a_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e è la perdita di carico totale nel tratto considerato;

Il valore di h_e è definito dalla somma delle perdite dovute all'attrito (perdite distribuite) e delle perdite di carico dovute alla contrazione o all'espansione della vena liquida (perdite localizzate).

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

L ist die über die Durchflüsse gemittelte Länge des Flussabschnitts, die wie folgt berechnet wird:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

Die tiefgestellten Buchstaben lob, rob und ch bezeichnen das linke, rechte und mittlere Überschwemmungsgebiet, bezogen auf die Länge und den Durchfluss;

- 1) S_f ist das Gefälle der gesamten Lasten;
- 2) C ist der Koeffizient der Expansion/Kontraktion zwischen 0 und 1, der die Druckverluste aus der Expansion und Kontraktion der Flüssigkeit berücksichtigt.

Mit Hilfe der Chezy-Formel ist es möglich, den Wert der Durchflüsse unter Berücksichtigung der einzelnen Abschnitte des Flusses (im linken und rechten Kanal und im Mittelkanal) zu berechnen:

$$Q = K S_f^{1/2} \quad \text{e} \quad K = \frac{1}{n} A R^{2/3}$$

mit:

- K conveyance in m^3/s ;
- n Rauigkeitskoeffizient nach Manning in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$;
- A Abflussquerschnitt in m^2 ;
- R hydraulischer Radius in m .

K conveyance wird für die einzelnen Abflussabschnitte berechnet, so dass sich ein Gesamtförderwert als Summe der Beiträge von Krob, Klob und Kch ergibt.

Schließlich wird der Ausgleichskoeffizient α berechnet, wobei berücksichtigt wird, dass die kinetische Höhe aus dem gewichteten Mittelwert der Durchflussmenge auf den einzelnen Abschnitten (Kanal und Zentrum) abgeleitet

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

Con L la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate, calcolata come segue:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

Dove il pedice lob, rob e ch indica la golena sinistra, destra e il canale centrale, relativamente alle lunghezze e alle portate;

- 3) S_f è la cadente della linea dei carichi totali;
- 4) C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida.

Tramite la formula di Chezy è possibile calcolare il valore delle conveyance considerando le singole porzioni di flusso (in golena destra e sinistra e nel canale centrale):

$$Q = K S_f^{1/2} \quad \text{e} \quad K = \frac{1}{n} A R^{2/3}$$

con:

- K conveyance espressa in m^3/s ;
- n coefficiente di scabrezza di Manning espressa in $\text{m}^{1/3}/\text{s}$;
- A area relativa al deflusso espressa in m^2 ;
- R raggio idraulico espresso in m .

Il valore della conveyance viene calcolato per le singole sezioni di deflusso, ottenendo quindi un valore totale della stessa, come somma dei contributi di Krob, Klob e Kch.

Infine il coefficiente di raggualgio α viene calcolato considerando che l'altezza cinetica deriva dal valore medio pesato sulla portata sulle singole sezioni (golenali

$$\frac{a \bar{v}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \frac{v_i^2}{2g}}{Q_{tot}} \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 Q_i}{Q_{tot} \bar{v}^2}$$

$$\frac{a \bar{v}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \frac{v_i^2}{2g}}{Q_{tot}} \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 Q_i}{Q_{tot} \bar{v}^2}$$

Der Wert für die Höhe der unbekanntes freien Oberfläche wird iterativ aus den zugeordneten Strömungsdaten und den geometrischen Eigenschaften der einzelnen Abschnitte ermittelt.

Das Berechnungsverfahren beinhaltet die iterative Lösung der Energie- und Druckverlustgleichung, wie unten beschrieben:

- Auswahl eines Erstversuchswertes für die Höhe der freien Oberfläche WS1, im stromaufwärts gelegenen Abschnitt bei langsamer Strömung oder stromabwärts bei schneller Strömung.
- Berechnung der entsprechenden Werte für die Gesamtfördermenge und die kinetische Höhe aus dem in Schritt 1 festgelegten Wert;
- Schätzung von Sf und Lösung der Druckverlustgleichung zur Berechnung des Gesamtdruckverlustes he ;
- Lösung der Energiegleichung zur Berechnung der freien Oberfläche WS2 anhand der in Schritt 2 und 3 erhaltenen Werte;
- Vergleich des berechneten WS2-Wertes mit dem in Schritt 1 angenommenen Wert und Wiederholung der Schritte 1 bis 5 bis zum Erreichen der Konvergenz, die standardmäßig durch eine Differenz zwischen den beiden Werten von weniger als 0,003 m (oder einer anderen vom Benutzer definierbaren Toleranz) definiert ist.

Die Wahl des Wertes für die Höhe der freien Ausgangsfläche erfolgt nach Methoden, die zwischen der ersten und den folgenden Iterationen variieren: Für den ersten Versuch wird ein Wert angenommen, der sich aus der Projektion der im vorherigen Abschnitt berechneten Höhe ergibt; bei der zweiten Iteration wird der Wert des ersten Versuchs um 70 % des Fehlers (WS berechnet - WS angenommen) im Vergleich zum ersten Schritt erhöht; der dritte und die folgenden Versuche basieren schließlich auf der "Sekanten"-Methode, bei der der Wert der Differenz zwischen der berechneten Höhe und der

e centrale):

// valore relativo all'altezza della superficie libera incognita viene determinato in maniera iterativa a partire dai dati assegnati di portata e dalle caratteristiche geometriche delle singole sezioni.

La procedura di calcolo prevede la risoluzione dell'equazione dell'energia e delle perdite di carico in maniera iterativa, come di seguito descritto:

- Scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera WS1, in corrispondenza della sezione di monte per correnti lente, o di valle per correnti veloci.
- Calcolo a partire dal valore definito al punto 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;
- Stima di Sf e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali he ;
- Soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS2 ;
- Confronto fra il valore di WS2 calcolato ed il valore assunto al punto 1 e reiterazione dei passi da 1 a 5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a 0,003 m (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall'utente).

La scelta del valore dell'altezza della superficie libera di partenza è effettuata con metodi che variano fra la prima e le successive iterazioni: per il primo tentativo si adotta un valore ottenuto dalla proiezione dell'altezza calcolata alla sezione precedente; alla seconda iterazione il valore di primo tentativo è incrementato del 70% dell'errore (WScalcolata - WSassunta) relativo al primo step; infine il terzo tentativo e seguenti sono basati sul metodo "secante", che proietta il valore della differenza fra quota

bei den beiden vorherigen Versuchen angenommenen Höhe projiziert wird, gemäß der Beziehung:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{diff}}$$

calcolata e quota assunta ai due tentativi precedenti, secondo la relazione:

$$WS_i = WS_{i-2} - Err_{i-2} \cdot \frac{Err_{ass}}{Err_{diff}}$$

dove:

wobei:

WS_i = Wert von WS angenommen für i

WS_{i-1} = Wert von WS angenommen für (i-1) Iteration;

WS_{i-2} = Wert von WS angenommen für (i-2) Iteration;

Err i-2 = Fehler bezogen auf die 2 vorhergehenden Iterationen ($WS_{gerechnet, i-2} - WS_{i-2}$);

Err_{ass} = $WS_{i-2} - WS_{i-1}$;

Err_{diff} = $WS_{i-1} - WS_{gerechnet, i-1} + Err_{i-2}$

WS_i = valore di WS assunto al passo i-esimo

WS_{i-1} = valore di WS assunto nella (i-1)-esima iterazione ;

WS_{i-2} = valore di WS assunto nella (i-2)-esima iterazione ;

Err i-2 = errore relativo alle due iterazioni precedenti ($WS_{calcolato, i-2} - WS_{i-2}$);

Err_{ass} = $WS_{i-2} - WS_{i-1}$;

Err_{diff} = $WS_{i-1} - WS_{calcolato, i-1} + Err_{i-2}$

Die maximale Abweichung von WS zwischen den Iterationen beträgt 50 % und die maximale Anzahl der Iterationen, die das Programm durchführt, beträgt 20. Wird der Ausgleich nicht vor dieser Anzahl von Iterationen erreicht, berechnet das Programm die kritische Höhe und prüft, ob der mit der minimalen freien Oberfläche verbundene Fehler kleiner als eine festgelegte Toleranz ist. Wenn dies der Fall ist, wird auch geprüft, ob diese Fläche innerhalb der berechneten kritischen Höhe liegt, d. h. bei langsamer Strömung größer als die kritische Höhe und bei schneller Strömung kleiner als die kritische Höhe. Wenn dieser weitere Test bestanden ist, nimmt das Programm genau diesen Wert als Ergebnis des iterativen Prozesses an.

In der Regel ist dieses Problem (Unausgewogenheit der Energiegleichung) auf eine unzureichende Anzahl von Abschnitten zurückzuführen. Wenn die freie Fläche hingegen schlecht in Bezug auf die kritische Höhe positioniert ist, bestimmt das Programm die kritische Höhe durch einen iterativen Prozess, bei dem ein Wert von WS angenommen wird, der dem Minimum der Gesamtlast entspricht.

In Fällen, in denen es einen kritischen Höhenübergang gibt, d. h. bei Vorhandensein von Phänomenen, die

La massima variazione di WS tra un'iterazione e l'altra è del 50% e il numero massimo delle iterazioni che il programma effettua è 20. Nei casi in cui non si arriva ad un bilanciamento prima di tale numero di iterazioni, il programma calcola l'altezza critica e verifica se l'errore connesso alla superficie libera di minimo errore è inferiore ad una prefissata tolleranza. Se ciò accade viene verificato inoltre se tale superficie risulta essere ben posta rispetto all'altezza critica calcolata, ovvero maggiore dell'altezza critica in caso di corrente lenta e minore dell'altezza critica in caso di corrente veloce. Superato quest'ulteriore test il programma assume proprio tale valore come output del processo iterativo.

Solitamente tale problema (non bilanciamento dell'equazione dell'energia) è da imputare ad un insufficiente numero di sezioni. Quando invece la superficie libera risulta essere mal posta rispetto all'altezza critica, il programma determina l'altezza critica mediante un processo iterativo dove viene assunto un valore di WS pari al minimo del carico totale.

Nei casi in cui vi sia passaggio per l'altezza critica, quindi in presenza di fenomeni che producono transizione corrente lenta-veloce o viceversa il software HEC-RAS utilizza l'equazione dei momenti, in quanto

einen Übergang von langsamer zu schneller Strömung oder umgekehrt bewirken, verwendet die Software HEC-RAS die Momentengleichung, da die Energiegleichung, die auf der Annahme einer allmählich variierenden Strömung beruht, nicht anwendbar ist.

Im Folgenden wird die im Programm angewandte Momentengleichung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Abschnitten 1 und 2 dargestellt.

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

wobei:

P_1 e P_2 sind der hydrostatische Beitrag;

W_x ist der Beitrag zur Trägheitskraft in Richtung der Bewegung;

F_f ist die Reibungskraft

$Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$ ist die Impulsänderung, mit ΔV_x Geschwindigkeitsfeldänderung zwischen Abschnitt 1 und 2 und ρ Wasserdichte.

Die Erläuterung der obigen Begriffe führt zu der von der Software verwendeten Momentengleichung:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot Y_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot S_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot Y_1$$

In der obigen Gleichung bezeichnet der Term S_f die Steigung der Gesamtlastlinie.

In einem Abschnitt wird der durchschnittliche Durchhang S_f anhand der Manning-Gleichung für gleichförmige Bewegung berechnet.

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

Der Wert des mittleren Rückgangs S_f wird anhand von vier verschiedenen Modi berechnet, die in der Software angeboten werden:

Durchschnitt der Conveyance zwischen den Abschnitten 1 und 2 unter der Annahme $S_f = S_f$ (Standardoption)

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

l'equazione dell'energia, basandosi sull'ipotesi di flusso gradualmente variato, risulta essere non applicabile.

Di seguito viene riportata l'equazione dei momenti applicata nel programma tra due sezioni consecutive 1 e 2.

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

Dove i termini:

P_1 e P_2 rappresentano il contributo dovuto alla pressione idrostatica;

W_x è il contributo relativo alla forza d'inerzia nella direzione del moto;

F_f rappresenta la forza d'attrito

$Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$ è la variazione di quantità di moto, con ΔV_x variazione del campo di velocità tra la sezione 1 e la 2 e ρ densità dell'acqua.

Esplicitando i termini sopra riportati si arriva all'equazione dei momenti utilizzata dal software:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot Y_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot L \cdot S_f = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot Y_1$$

Nell'equazione sopra riportata il termine S_f indica la cadente della linea dei carichi totali.

In corrispondenza di una sezione la cadente media S_f viene calcolata con l'equazione di Manning per moto uniforme

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

Il valore della cadente media S_f viene calcolato mediante quattro modalità diverse proposte all'interno del software:

Media delle conveyance tra le sezioni 1 e 2 assumendo $S_f = S_f$ (opzione di default)

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2}\right)^2$$

Media aritmetica della cadente S_f tra le sezioni 1 e 2

Arithmetisches Mittel der fallenden S_f zwischen den Abschnitten 1 und 2

$$\bar{S}_f = \left(\frac{S_{f,1} + S_{f,2}}{2} \right)$$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{S_{f,1} + S_{f,2}}{2} \right)$$

Media geometrica della cadente S_f tra le sezioni 1 e 2

Geometrisches Mittel des Gefälles S_f zwischen den Abschnitten 1 und 2

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f,1} \cdot S_{f,2}}$$

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f,1} \cdot S_{f,2}}$$

Media armonica della cadente S_f tra le sezioni 1 e 2

Harmonisches Mittel des fallenden S_f zwischen den Abschnitten 1 und 2

$$\bar{S}_f = \left(\frac{S_{f,1} \cdot S_{f,2}}{S_{f,1} + S_{f,2}} \right)$$

$$\bar{S}_f = \left(\frac{S_{f,1} \cdot S_{f,2}}{S_{f,1} + S_{f,2}} \right)$$

5.2 DEFINITION DES BERECHNUNGSBEREICHS

5.2 DEFINIZIONE DEL DOMINIO DI CALCOLO

Das Berechnungsgebiet, das durch die zu simulierenden bathymetrischen Querschnitte repräsentiert wird, ergibt sich aus der topographischen Vermessung des Ist-Zustandes (Vermessung 2022), anhand derer das hydraulische Gestaltungsprojekt entwickelt und das hydraulische Durchgängigkeitswerk (runder Schacht DN 2850mm) plan-altimetrisch positioniert wird.

Il dominio di calcolo, rappresentato dalle sezioni batimetriche trasversali da simulare, è ricavato dal rilievo topografico dello stato di fatto (Indagine del 2022) rispetto al quale viene sviluppato il progetto della sistemazione idraulica e posizionata plano-altimetricamente l'opera di continuità idraulica (tombino circolare DN 2850mm).

Wie man auch aus den Schalplänen des Bauwerks ersehen kann, ist die Einführung in den Einlauf durch eine hydraulische Verbindungsanordnung vermittelt, die durch ein "sinusförmiges" Profil mit variablen Krümmungsradien gekennzeichnet ist, das den Abfluss während des Hochwasserereignisses transportierten festen Bestandteile erleichtert. Die Anlage aus zementierten Felsblöcken erstreckt sich über eine Länge von etwa 470 cm außerhalb der für den Bau des Durchlasses erforderlichen Konstruktion. Im Inneren des Beckens (15 m) verliert die Abflusshöhe allmählich an Höhe (ca. 7,0 m) und mündet in das Innere des Kanals. Um die Effizienz der Entsorgung des festen Bestandteils zu verbessern, weist der Querschnitt der Intervention ebenfalls eine gekrümmte Geometrie auf.

Come è inoltre possibile osservare dagli elaborati di carpenteria dedicati all'opera, l'imbocco al tombino è mediato da una sistemazione idraulica di raccordo caratterizzata da un profilo "sinusoidale" con raggi di curvatura variabili che permette di agevolare il processo di deflusso e smaltimento dell'eventuale componente solida trasportata durante l'evento di piena. La sistemazione, realizzata in massi cementati, si sviluppa per circa 470cm all'esterno del manufatto necessario alla cantierizzazione del cunicolo. All'interno della vasca (15m), l'inalveazione realizzata perde progressivamente quota (circa 7.0m) e s'innesta all'interno del condotto. Al fine di migliorare l'efficienza dello smaltimento della componente solida, inoltre, la sezione trasversale dell'intervento presenta anch'essa una geometria curvilinea.

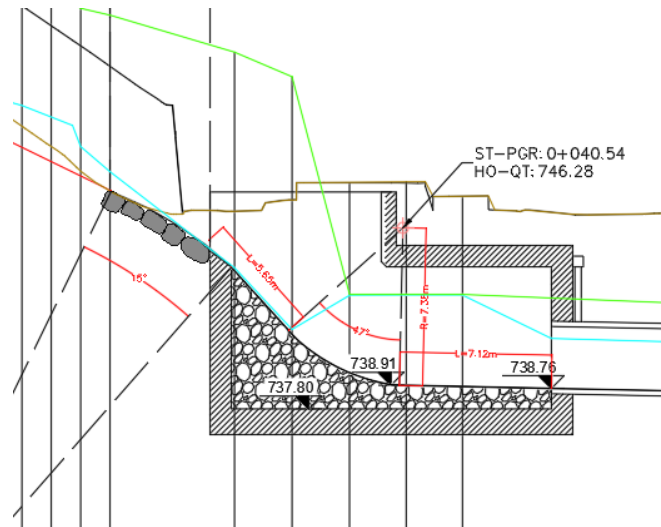


Abbildung 8 hydraulischen Systemierung – Profil

Figura 8 Sistemazione idraulica – profilo.

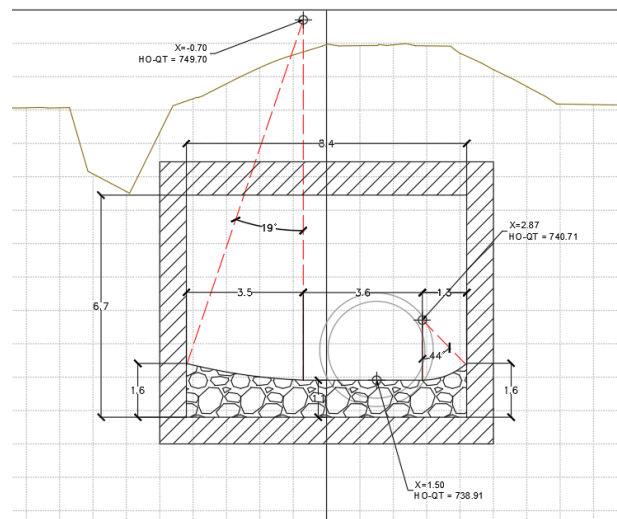


Abbildung 9 hydraulischen Systemierung –Schnitt

Figura 9 Sistemazione Idraulica - sezioni.

5.3 RAHMENBEDINGUNGEN

Durch die Definition von Randbedingungen erhalten die Simulationsmodelle Informationen über das Strömungsregime (Pegel, Energiegradienten und Hydrogramme), das den Bereich an den Extremen des analysierten Feldes charakterisiert. Im betrachteten Fall (Simulationen im eindimensionalen Dauerbewegungsregime) können die Randbedingungen wie folgt zusammengefasst werden:

- Stromaufwärts (Durchfluss) - zwei- und dreihundertjähriger Durchfluss (Technische Normen für das Bauwesen 2018);
- Stromaufwärts gelegener Zustand (Pegel) - in Ermangelung spezifischer Informationen über die

5.3 CONDIZIONI AL CONTORNO

La definizione delle condizioni al contorno attribuisce ai modelli di simulazione le informazioni in merito al regime di deflusso (livelli, gradienti energetici e idrogrammi) caratterizzanti il dominio agli estremi del campo analizzato. Nel caso in esame (simulazioni in regime di moto permanente monodimensionale) le condizioni al contorno possono sintetizzarsi come segue:

- Condizione di monte (flusso) – portata duecentennale e trecentennale (Norme Tecniche delle Costruzioni 2018);
- Condizione di monte (livello) – in assenza di informazioni specifiche sui livelli caratterizzanti una specifica sezione collocata a monte

Pegel, die einen bestimmten Abschnitt stromaufwärts des Eingriffs kennzeichnen, wird vorsichtig angenommen, dass der Abfluss durch den extremsten Abschnitt des Feldes durch "kritische" hydraulische Bedingungen gekennzeichnet sein kann. Wäre das Strömungsregime unterkritisch, hätte der Zustand flussaufwärts keinen Einfluss auf die Entwicklung des Abflusses flussabwärts. Im umgekehrten Fall wäre der Pegel flussaufwärts größer als die Werte, die dem gleichmäßigen Abflussregime zuzuschreiben sind;

- Flussabwärts (Pegel/Gefälle) - der Abfluss der untersuchten kleineren Wasserläufe scheint potenziell von den Überschwemmungsgebieten des Eisackflusses bestimmt zu werden. Wie aus den von der zuständigen Einzugsgebietsbehörde zur Verfügung gestellten Daten hervorgeht, hat er jedoch bei einem Hochwasserereignis mit TR=300 Jahren einen maximalen Tiefgang von 3,84 m, bei einem Thalweg von +730,00 m ü. NN (GZP 2018 - Anlagen - Zwischenprodukte). Unter den angegebenen Bedingungen wird im Hochwasserfall ein maximaler Pegel von 733,84 m ü. NN erreicht, so dass ein Rückstau innerhalb des Querbauwerks grundsätzlich ausgeschlossen werden kann.

Die Ergebnisse der hydraulischen Modellierung sind in Form von Profilen, Schnitten und Tabellen im Berechnungsanhang dargestellt.

5.4 ZUSAMMENFASSUNG DER MODELLIERUNGSERGEBNISSE

Wie aus dem Berechnungsanhang ersichtlich ist:

- Ereignis TR=200 Jahre – Das Projektbauwerk ist während seines gesamten Verlaufs durch eine Strömung unter belüfteten Bedingungen gekennzeichnet. Diese Bedingung, die vor allem durch die starke Neigung des Bauwerks (s=2,0%) hervorgerufen wird, garantiert eine durchschnittliche Füllung der Rinne in der Größenordnung von 170 cm, was 58,60% der Verfügbarkeit entspricht. Die erzielten Ergebnisse entsprechen daher in vollem Umfang den Vorschriften des Rundschreibens 21 2019 zum NTC 2018;
- Ereignis TR=200 Jahre - Der Abfluss innerhalb des Bauwerks erfolgt in einem überkritischen

dell'intervento, si ipotizza cautelativamente che il deflusso attraverso la sezione più estrema del campo possa essere caratterizzato da condizioni idrauliche "critiche". In tale modalità, difatti, ove il regime di corrente fosse subcritico la condizione a monte non influenzerebbe l'evoluzione del deflusso a valle. In caso opposto, il livello a monte risulterebbe maggiore dei valori attribuibili al regime di moto uniforme;

- Condizione di valle (livello/gradiente) – il deflusso dei corsi d'acqua minori in esame appare potenzialmente governato dalle fasce di esondazione del Fiume Isarco. Come tuttavia è possibile osservare dai dati messi a disposizione dell'Autorità di Bacino Competente, in presenza di un evento di piena con TR=300anni presenta un tirante massimo di 3.84m, con un thalweg a +730.00 m msl (PZP 2018 – Allegati – Zwischenprodukte). Alle condizioni indicate, il massimo livello raggiunto in caso di piena risulta pari a 733.84 m msl, condizione che permette di escludere qualsivoglia principio di rigurgito all'interno del manufatto di attraversamento.

I risultati della modellazione idraulica sono riportati in forma di profili, sezioni e tabelle all'interno dell'Allegato di calcolo.

5.4 SINTESI DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

Come è possibile osservare dall'Allegato di calcolo:

- Evento TR=200 anni - Il cunicolo di progetto è caratterizzato da deflusso in condizioni di corrente areata per l'intero suo sviluppo. Tale condizione, prevalentemente ingenerata dalle importanti pendenze del manufatto (s=2.0%) garantisce valori di riempimento medio in canna dell'ordine dei 170cm, corrispondenti al 58.60% della luce disponibile. I risultati ottenuti sono dunque del tutto rispondenti alle prescrizioni riportate all'interno della Circolare 21 2019 relativa alle NTC 2018;
- Evento TR=200 anni - Il deflusso all'interno del manufatto avviene in regime di corrente supercritica, con valori di velocità compresi tra i

Strömungsregime, mit Geschwindigkeitswerten zwischen 4,95-7,39 m/s (TR=200 Jahre).

- Ereignis TR=300 Jahre - Das Projektbauwerk ist durch eine Strömung in einer belüfteten Strömung gekennzeichnet, deren Profil den "Ansaugbedingungen" der Flüssigkeitsader in der Nähe der Mündung entspricht. Die großen Neigungen der Struktur ($s=2,0\%$) garantieren durchschnittliche Füllungswerte in der Rinne in der Größenordnung von 175cm, was 60,00% der Verfügbarkeit entspricht. Die erzielten Ergebnisse entsprechen daher in vollem Umfang den Anforderungen des Rundschreibens 21 2019 zum NTC 2018;
- Ereignis TR=300 Jahre - Der Abfluss im Inneren der Struktur erfolgt in einem überkritischen Strömungsregime mit Geschwindigkeitswerten zwischen 4,85-7,87m/s (TR=300 Jahre).
- Ereignis TR200-300 Jahre - Wie bei der Charakterisierung des Gebiets vorausgesehen, ist am Einlauf des Bauwerks eine hydraulische Anordnung vorgesehen, die durch gekrümmte Verbindungen gekennzeichnet ist. Unter den angegebenen Bedingungen führt das Erreichen von ziemlich ausgeprägten Längsgefällen zum Auftreten von überkritischen Abflüssen mit Geschwindigkeiten überall über 10 m/s. Als Ergebnis des vorigen Absatzes wird es als notwendig erachtet, die hydraulischen Oberflächen (durchschnittlicher Durchmesser 40-50 cm) in Beton zu bauen. Außerdem ist festzustellen, dass die plötzliche Verringerung des Längsgefälles eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten und der Froude-Zahl zur Folge hat, was zu einem hydraulischen Rückstau in den Einlaufbereichen führt. Der Rückstaupegel bei einem Ereignis mit TR=300 Jahren liegt schließlich innerhalb der Seitenwände des Bauwerks (WSE: +743,85 m ü. NN; Beckeninnenwand: +749,16 m ü. NN);
- Ereignis TR200-300 Jahre - Im Auslauf des Bauwerkes ist zum Schutz vor Erosionserscheinungen der Einbau von betonierten Felsblöcken (40-50 cm) vorgesehen.

Unter den angegebenen Bedingungen ist es also möglich, die hydraulische Verträglichkeit des Eingriffs zu bestätigen.

4.95-7.39 m/s (TR=200anni).

- Evento TR=300 anni - Il cunicolo di progetto è caratterizzato da deflusso in condizioni di corrente areata, con profilo prossimo alle condizioni di "adescamento" della vena fluida in prossimità dell'imbocco. Le importanti pendenze del manufatto ($s=2,0\%$) garantiscono valori di riempimento medio in canna dell'ordine dei 175cm, corrispondenti al 60.00% della luce disponibile. I risultati ottenuti sono dunque del tutto rispondenti alle prescrizioni riportate all'interno della Circolare 21 2019 relativa alle NTC 2018;
- Evento TR=300 anni - Il deflusso all'interno del manufatto avviene in regime di corrente supercritica, con valori di velocità compresi tra 4.85-7.87m/s (TR=300anni).
- Evento TR200-300 anni - Come anticipato in sede di caratterizzazione del dominio, in imbocco al manufatto è prevista la realizzazione di una sistemazione idraulica caratterizzata da raccordi curvilinei. Alle condizioni indicate, il raggiungimento di pendenze longitudinali piuttosto marcate comporta il manifestarsi di deflusso supercritico con velocità ovunque superiori ai 10m/s. In ragione di quanto al precedente capoverso si ritiene necessario realizzare la sistemazione idraulica in rip-rap (diametro medio 40-50cm) cementato. Inoltre, si osserva che la repentina riduzione della pendenza longitudinale implica un abbattimento delle velocità di deflusso e del numero di Froude, con il manifestarsi di un rigurgito idraulico alle sezioni di imbocco. Il livello di rigurgito in presenza di un evento con TR=300anni risulta contenuto all'interno delle sponde laterali del manufatto realizzato (WSE: +743.85m msl; intradosso della vasca: +749.16m msl);
- Evento TR200-300 anni - In uscita dall'opera è prevista la realizzazione di una sistemazione idraulica in massi cementati (40-50cm) per la protezione rispetto a fenomeni di erosione.

Alle condizioni indicate è dunque possibile ammettere la compatibilità idraulica dell'intervento.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Dieser Bericht veranschaulicht die hydrologischen und hydraulischen Analysen zur Überprüfung des Bauwerkes flussabwärts des Riobaches und die Eisenbahn kreuzt.

Die Studien wurden unter Berücksichtigung der hydrologischen Ergebnisse durchgeführt, die bereits in den offiziellen Dokumenten der Wildbachverbauung (Autonome Provinz Bozen Südtirol) enthalten sind.

Die Ergebnisse der hydraulischen Modellierung im Dauerbewegungsregime zeigen die generelle Kompatibilität des Eingriffs (kreisförmiger Querschnitt DN 2850mm).

6 CONCLUSIONI

La presente relazione ha illustrato le analisi idrologiche e idrauliche finalizzate alla verifica del cunicolo di progetto collocato a valle del Rio Rioli in attraversamento dell'infrastruttura ferroviaria.

Gli studi, condotti in riferimento ai risultati idrologici già rappresentati all'interno dei documenti ufficiali forniti dall'Autorità dei Bacini Montani (Provincia Autonoma di Bolzano Alto Adige).

I risultati ottenuti a mezzo di modellazione idraulica in regime di moto permanente mettono in luce la generale compatibilità dell'intervento (sezione circolare DN 2850mm).