



PROGETTO DEFINITIVO

REGIMAZIONE IDRAULICA TORRENTE GARZETTA DI COSTALUNGA, COLI VAL
BOTTESA E VAL BARBISONA

Elaborato
n. T04

RELAZIONE IDRAULICA

DATA

OGGETTO

Ottobre 2020

Prima stesura

Aggiornamenti

**IL GRUPPO DI
PROGETTAZIONE A.T.I.**

*Ing. Landrini Girolamo
Ing. Bondioni Matteo
Dott. forestale Donati Christian
Geologo Salvetti Luigi P. N.*

**IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO**

Sommario

Premessa..... 2

Normativa di riferimento 4

Criteri di verifica idraulica 4

Modelli di verifica idraulica 5

Verifiche idrauliche in A: Nuovo tratto intubato di Val Bottesa e Barbisona 8

Verifiche idrauliche in B: tombotto in Via Val di Fassa 12

Verifiche idrauliche in C: Briglie sul Rio Roncai 15

Verifiche idrauliche in D: Briglietta selettiva e tombino sul Rio Cascina Termini..... 21

Conclusioni..... 24

Premessa

Questa relazione ha come obbiettivo la verifica idraulica delle opere in progetto nell'area del bacino del torrente Garzetta di Costalunga e affluenti (Rio Roncai e Rio cascina Termini) e del torrente Val Bottesa e Barbisona.

La portata di progetto è stata stimata a partire dai dati di precipitazione massima annua per durate di 15, 30, 45 minuti, 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Le Linee Segnalatrici di probabilità pluviometrica per durate maggiori e minori di un'ora sono state infatti calcolate sulla base dei dati reali di precipitazione del pluviometro dell'istituto pastori di Brescia.

I parametri geomorfologici dei bacini sono stati stimati attraverso l'uso delle DTM fornite dal geoportale della Regione Lombardia e sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1: Informazioni geomorfologiche del bacino

Bacino	Interventi	Area kmq	Asta principale km	Pendenza media °	Elevazione massima mslm	Elevazione punto di chiusura mslm	Elevazione media mslm
Valle Bottesa	A.	1.12	2.11	23.30	516	164	280
Garzetta Sud	B./D.	1.79	2.90	24.45	795	173	455
Rio Roncai	C.	1.15	1.94	26.62	865	227	516

La formula di Giandotti è stata usata per stimare il tempo di corrivazione, assunto come durata critica dell'evento di progetto.

Il valore della portata al colmo è stato calcolato usando uno ietogramma di piogge lorde di progetto rettangolare di durata ed intensità critica. L'infiltrazione ed il ruscellamento superficiale sono stati stimati utilizzando sia il metodo percentuale con un coefficiente di deflusso \emptyset pari a 0.20 (Superfici di bosco e pascoli) che con il metodo SCS-CN con il parametro CN pari a 78 (Terreni poco profondi ma permeabili, superficie di bosco con discreta capacità drenante, terreno già parzialmente saturato da piogge antecedenti). Il metodo di depurazione percentuale sembra sottostimare gravemente le portate per tempi di ritorno alti, non tenendo conto dell'andamento della saturazione del terreno durante un evento estremo, perciò i risultati ottenuti con il metodo SCS-CN sono stati preferiti.

Il modello di afflusso-deflusso usato è il metodo cinematico (della corrivazione) con curva area-tempi lineare. La formula empirica di Bacchi (1999) è stata usata come confronto per validare i risultati, in quanto tarata proprio su piccoli bacini della provincia di Brescia.

Per quanto riguarda il ragguglio delle altezze di precipitazione è stata usata la formula di Marchetti per la chiusura dei tre bacini rappresentata dall'area di intervento A, B e C. Per quanto riguarda l'area di intervento D, situata nella parte alta del bacino del ramo sud del Garzetta, le portate sono state

stimate usando il rapporto tra l'area del sottobacino sotteso a D e l'area totale del bacino moltiplicato per la portata (non raggugiata) sull'intero bacino. I valori adottati come portata di progetto alla chiusura dei bacini sono quelli calcolati per tempi di ritorno di 100 anni riportati in tabella:

Tabella 2: Portate di progetto alla chiusura dei bacini

	A.	B.	C.	D
Raggiungimento	a', n'	a', n'	a', n'	-
Depurazione	SCS-CN	SCS-CN	SCS-CN	-
Q m ³ /s	7.32	11.78	8.24	1.95

Le aree di intervento ed i bacini principali sono riportati nella seguente immagine.

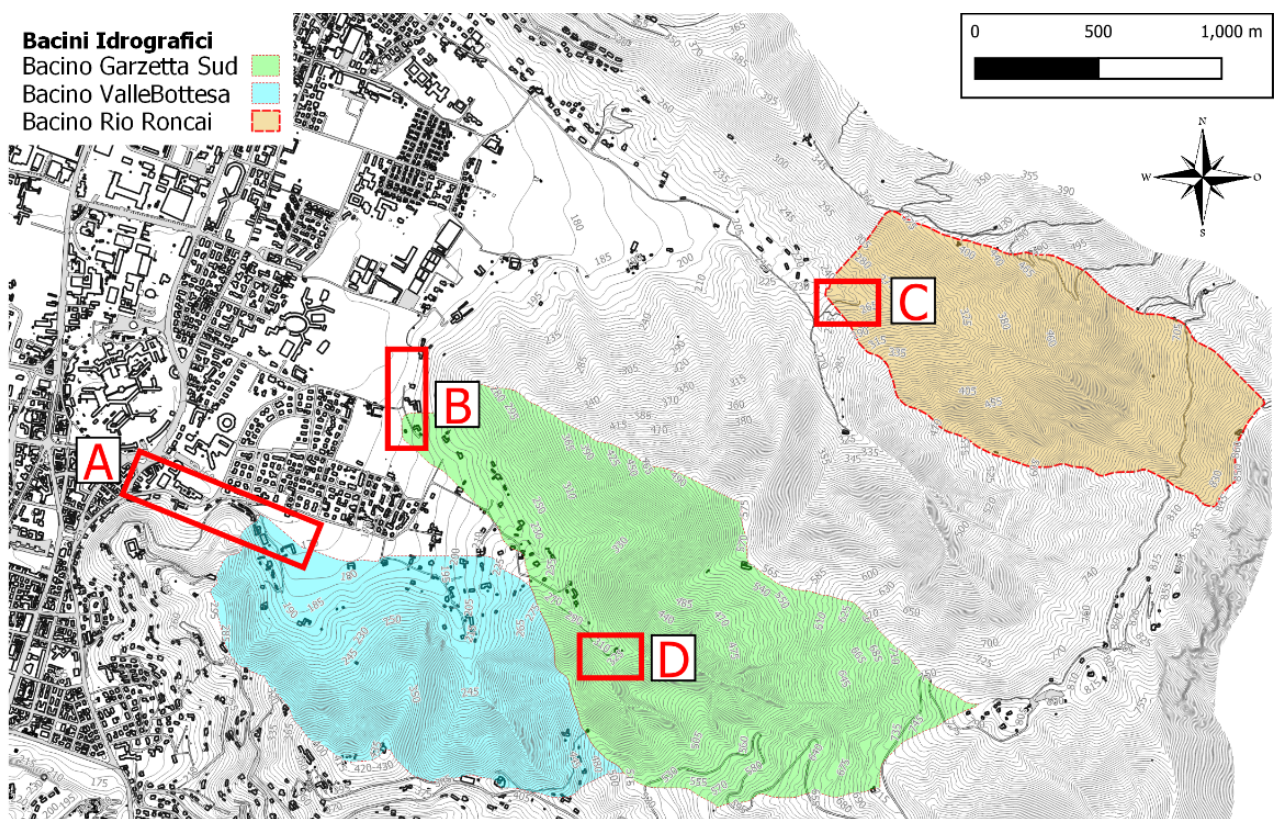


Figura 1: Bacini e aree di intervento

In dettaglio per ogni area sono necessarie le seguenti verifiche idrauliche:

Area di intervento A:

- Nuovo tratto intubato della Val Bottesa e Barbisona

Area di intervento B:

- Tombotto e successivo tratto di canale rifatto

Area di intervento C:

- Ponticello con griglia filtrante a monte
- Briglia filtrante centrale

- Briglietta filtrante e manufatto ex-ploveriera a valle

Area di intervento D:

- Briglietta filtrante e ponticello;

Normativa di riferimento

– R.D. 25 luglio 1904, n°523 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;

- Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (Legge 18 maggio 1989, n. 183, e successive modifiche e integrazioni, art. 17, comma 6-ter, approvato con D.P.C.M. 24 luglio 1998)

Criteri di verifica idraulica

Le opere in progetto appartengono essenzialmente a 4 diverse categorie (Tombotto/ponticello, argini e platea di fondo, briglia selettiva, tratto intubato. Per ognuna delle 4 tipologie di opere la verifica idraulica è considerata superata nelle seguenti condizioni.

- Tombotto/ponticello:** il franco idraulico di sicurezza deve essere il minimo tra metà dell'altezza cinetica della corrente e 1 metro tra l'altezza del pelo libero e il manufatto per almeno i 2/3 della luce del manufatto.
- Argini e platea di fondo:** il franco idraulico di sicurezza deve essere il minimo tra metà dell'altezza cinetica della corrente e 1 metro tra l'altezza del pelo libero e il culmine dell'argine.
- Briglia selettiva:** la portata di progetto deve essere smaltita completamente dalla gaveta della briglia. A favore di sicurezza si assume l'eventuale reticolo filtrante o pettine completamente intasato, in modo che l'acqua possa essere smaltita solo dall'area superiore al reticolo filtrante.
- Tratto intubato:** data la grande lunghezza del tratto intubato esso non può essere considerato come un manufatto di attraversamento. Viene dunque assunto come criterio di verifica che non si manifesti il rischio di flusso in pressione con la portata di progetto. Questo equivale a verificare che il livello del pelo libero non superi mai l'80% dell'altezza della sezione, oltre a cui si presenterebbe il rischio d'innescio di moto in pressione, con conseguente diminuzione della portata ed eventuali rigurgiti.

Modelli di verifica idraulica

La verifica idraulica delle opere viene effettuata utilizzando due dei software più utilizzati a livello mondiale per l'idraulica fluviale (HEC RAS dell' US Army Corps of Engineers) e per la modellazione di reti idrauliche in condotta (SWMM dell' United States Environmental Protection Agency).

SWMM:

EPA Storm Water Management Model (SWMM), prodotto e sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA) è un software integrato di modellazione idraulica ed idrologica che offre la possibilità di compiere calcoli e simulazioni di tipo idraulico (grazie alla risoluzione e integrazione numerica in forma completa delle equazioni di De Saint Venant) su una rete di canali o condotte, sollecitata da fenomeni meteorici o da ingressi di natura diversa.

HEC-RAS:

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centre's River Analysis System) è un modello di simulazione idraulica e idrodinamica prodotto dall' U.S. Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS è progettato per eseguire calcoli idraulici monodimensionali (1D), bidimensionali (2D) o combinati 1D e 2D per canali naturali e artificiali.

La componente a moto permanente (steady flow) è in grado di modellare profili di superficie dell'acqua a regime di flusso subcritico, supercritico e misto. La procedura di calcolo di base si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia. Le perdite di energia sono valutate per attrito (equazione di Manning) e contrazione / espansione (coefficiente moltiplicato per la variazione della velocità). L'equazione del momento viene utilizzata solo in situazioni in cui il profilo della superficie dell'acqua viene rapidamente variato. Queste situazioni includono calcoli di regime di flusso misto (es. risalti idraulici), idraulica dei ponti e valutazione dei profili alle confluenze fluviali. La componente di moto vario (unsteady flow) è invece basata sulla risoluzione numerica delle equazioni monodimensionali di de Saint Venant, inclusa la componente temporale, con la capacità di modellare flussi con variazioni spaziali rapide. Questa soluzione non solo è necessaria nel caso si voglia simulare l'andamento di un'onda di piena su scala temporale, ma è anche più adatta a modellare geometrie più irregolari (anche nel caso di una portata costante).

In casi di alvei molto pendenti l'uso della componente a moto vario (unsteady) può risultare però difficoltoso a causa della crescente instabilità numerica della simulazione. Questa è dovuta ad una combinazione dei limiti matematici e computazionali del modello stesso utilizzato dal software e

dell'effettiva instabilità e variabilità che il flusso assume in condizioni di alveo irregolare in condizioni di alta energia.

SCelta DEL MODELLO:

Sia SWMM che HEC-RAS offrono una esaustiva ed avanzata possibilità di modellazione idraulica, dato che entrambi offrono la risoluzione delle equazioni monodimensionali di De Saint Venant in condizioni di moto vario ed un'ampia possibilità di inserimento di strutture idrauliche.

Nonostante ciò i due software nascono da concetti fondamentalmente diversi e sono ottimali in tipologie differenti di problemi.

HEC-RAS è un puro modello idrodinamico nato per la modellazione di canali e corsi d'acqua di natura irregolare. HEC-RAS si basa perciò su sezioni che vengono interpolate per creare la geometria del modello. Geometrie molto irregolari possono essere dunque create con molta facilità, mentre il metodo può risultare eccessivamente laborioso e non pratico nel caso si vogliano modellare geometrie più semplici (lunghi canali a sezione costante o reti di canali e/o tubazioni), specie nel caso si tratti di un gran numero di canali interconnessi.

Il modulo di modellazione idrodinamica di SWMM (software integrato di modellazione sia idraulica che idrologica) al contrario risulta ottimale per la modellazione idraulica di tubazioni e/o canali prismatici (reti di fognature, canali artificiali), basandosi su un sistema di condotte e nodi che permette di modellare grandi sistemi complessi con molta facilità, assegnando ad ogni condotta una sua geometria valida per tutte le sue sezioni. Di contro, alvei fortemente non prismatici potrebbero essere quasi impossibili da modellare con successo, almeno in modo diretto.

Nonostante entrambi i software abbiano la possibilità di modellare il moto di fluidi in pressione e il passaggio da moto a pelo libero a moto in pressione, HEC-RAS tratta questo problema solo per la modellazione di strutture (ponti, couvert...) applicando diversi metodi (Energy only, pressure/weir...), perciò una condotta chiusa dovrebbe essere modellata come una lunga struttura. Questo "escamotage" dà buoni risultati nel caso di pochi tratti intubati di lunghezza limitata presenti nel modello, ma presenta grossi limiti nel caso di sistemi intubati complessi. SWMM, ampiamente usato per la modellazione fognaria è invece molto efficiente nel modellare sia i moti a pelo libero che quelli in pressione usando le equazioni di Darcy-Weissback o quelle semplificate di Haizen-Williams.

HEC-RAS viene usato in questo progetto per la verifica idraulica dei tratti di canale a cielo aperto e dei relativi manufatti (aree B, C e D). Ove possibile Hec-Ras è utilizzato nella sua componente a moto vario (area B), mentre ove la stabilizzazione numerica del modello non sia possibile a causa delle eccessive pendenze ed irregolarità d'alveo (aree C e D) si utilizza il solutore a moto permanente (steady), dove comunque elementi quali ponti e briglie sono opportunamente modellati con gli appositi moduli del software.

SWMM risulta invece la scelta ottimale per la verifica idraulica del tratto intubato della Valle Bottesa e Barbisona (Area A).

Verifiche idrauliche in A: Nuovo tratto intubato di Val Bottesa e Barbisona

La verifica idraulica del nuovo tratto intubato in A viene effettuata sulla portata di picco con un tempo di ritorno di 100 anni, pari a $7.32 \text{ m}^3/\text{s}$ per il nodo dell'inizio dell'attuale tratto intubato.

L'intervento consiste nella realizzazione di un primo nuovo tratto di canale scoperto e la successiva condotta. L'andamento delle pendenze è decrescente da monte verso valle con 4 tratti di diversa pendenza (dal 5.8 allo 0.5 %).

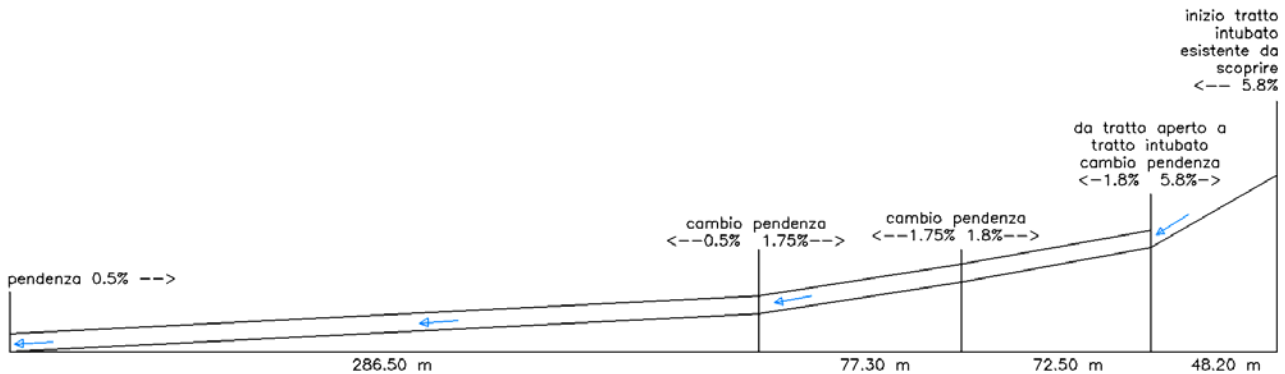


Figura 2: Schematizzazione delle pendenze della tubazione e del canale in progetto

Dato che il comportamento idraulico della nuova tubazione in progetto è fortemente condizionato a valle dal comportamento del Rio Celato, in cui essa si immette, è stato modellato anche un breve tratto dello stesso a monte e a valle della confluenza, in modo da creare delle condizioni al contorno più realistiche. La portata entrante utilizzata per il Rio Celato è di $10.26 \text{ m}^3/\text{s}$, valore di portata massima estrapolata dall' "Indagine relativa alla criticità di carattere idraulico riguardante il bacino del fiume Celato e suoi affluenti -torrente Garzetta di Costalunga e Rio Val Bottesa in comune di Brescia" (Rossi, 2016).

Si noti che la combinazione tra le condizioni di portata di ritorno di 100 per la Valle Bottesa e il Rio celato in regime di portata massima sono assunte a favore di sicurezza, e la verifica idraulica ottenuta utilizzandole sarà da considerarsi anch'essa a favore di sicurezza.

Il modello idraulico di verifica è costruito con SWMM utilizzando il solutore in modalità "Dynamic wave" in modo da tenere conto di ogni tipo di fenomeno idraulico, compresi eventuali rigurgiti causati da cambi di pendenza, restringimenti o immissioni.

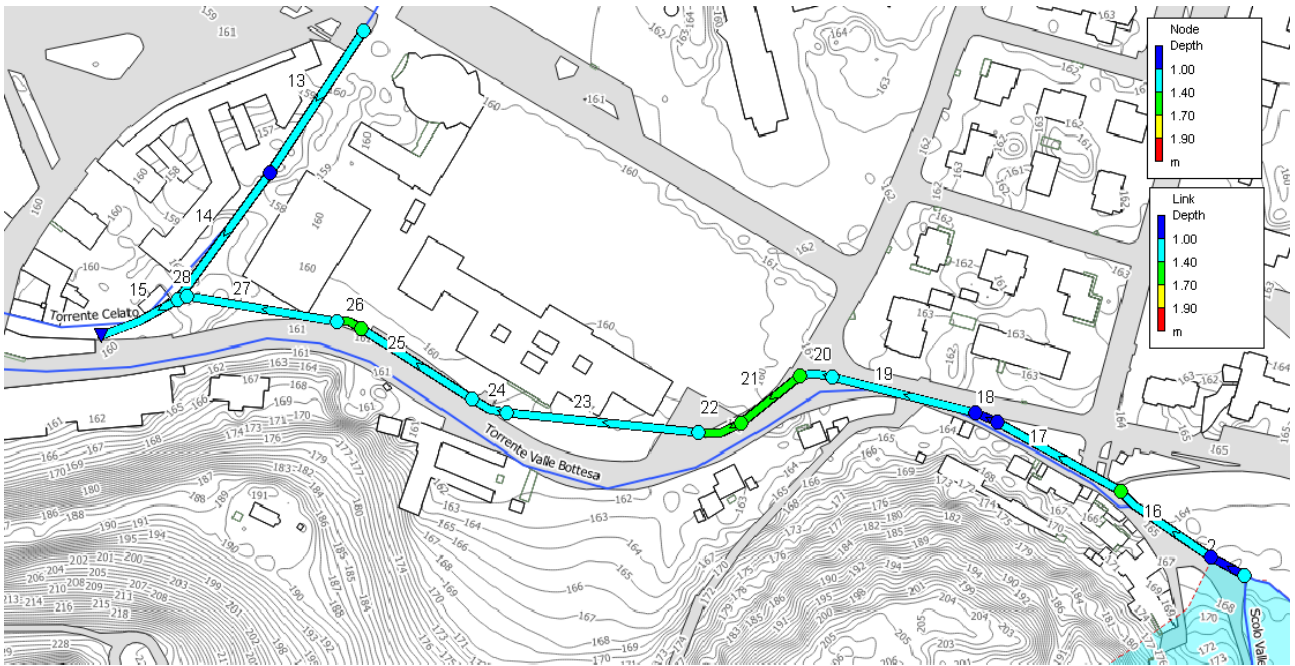


Figura 3: Planimetria dei tratti modellati per la verifica idraulica del nuovo tratto intubato. Per migliorare la realistica delle condizioni al contorno nell'immissione nel Rio Celato è stato modellato anche un breve tratto di quest'ultimo.

Per i diversi tratti modellati sono stati utilizzati i coefficienti di scabrezza di Manning mostrati nella seguente tabella.

Tabella 3: Coefficienti di scabrezza di Manning utilizzati per i diversi tratti modellati

Tipo di superficie:	Zona	Manning n
Alveo con fondo in limo e scarpate in muratura o terra	Rio celato	0.030
Alveo regolare in cemento con eventuale presenza di piccoli accumuli di sedimenti	Tratto non intubato della Valle Bottesa (nuovo e vecchio)	0.020
Tratti intubati prefabbricati o gettati in opera di calcestruzzo	Nuovo tratto intubato	0.015

Data la presenza di numerosi allargamenti e restringimenti lungo la tubazione dovuti all'alternanza di tratti di tubazione circolare rettilinea prefabbricata e raccordi rettangolari gettati in opera sulle curve, vengono utilizzati nel modello anche dei coefficienti di perdita di carico locale. Essi tengono conto sia dell'entità delle curvature che degli improvvisi cambi di sezione.

Tabella 4: Coefficienti di perdita localizzata utilizzati per il modello

Perdite di carico localizzate	Caratteristiche	K entrata	K uscita
Entrata in tratto intubato	Restringimento tra le due sezioni	0.5	0
Raccordo I e V	Curvatura molto dolce, allargamento e restringimento	0.1	0.1
Raccordo II e III	Curvatura molto netta, allargamento e restringimento	0.3	0.3
Raccordo IV	Curvatura moderata, allargamento e restringimento	0.2	0.2

I risultati del calcolo idraulico sono schematicamente rappresentati nel seguente profilo e tabelle per i nodi tra i tratti di condotta e le condotte stesse.

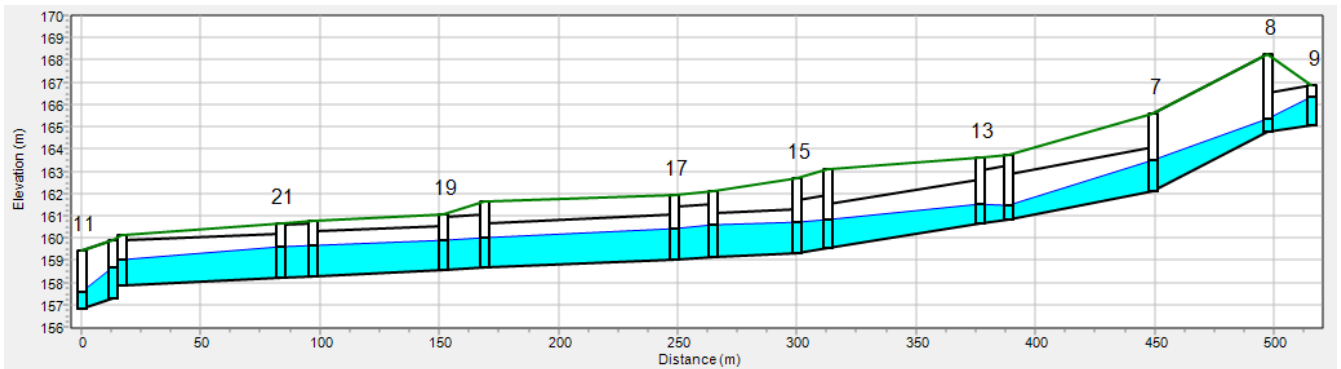


Figura 4: Profilo del massimo livello idraulico nei nuovi tratti scoperti ed intubati della Valle Bottesa in progetto

Tabella 5: Risultati SWMM per i nodi

Nodo SWMM	Tipo SWMM	Posizione	Q entrante	h max	Quota max
			m ³ /s	m	m
9	JUNCTION	Immissione V. Bottesa e barbisona	7.32	1.24	166.32
8	JUNCTION	Inizio tratto intubato attuale da scoprire		0.60	165.36
7	JUNCTION	Inizio tratto intubato in progetto d 2m		1.40	163.48
12	JUNCTION	inizio I raccordo		0.62	161.54
13	JUNCTION	fine I raccordo		0.90	161.8
14	JUNCTION	inizio II raccordo		1.33	160.89
15	JUNCTION	fine II raccordo		1.41	160.76
16	JUNCTION	inizio III raccordo		1.49	160.69
17	JUNCTION	fine III raccordo		1.37	160.49
18	JUNCTION	inizio VI raccordo		1.37	160.08
19	JUNCTION	fine VI raccordo		1.32	159.96
20	JUNCTION	inizio V raccordo		1.42	159.85
21	JUNCTION	fine V raccordo		1.40	159.78
22	JUNCTION	inizio tratto di immissione nel celato		1.14	159.07
1	JUNCTION	immissione nel Rio Celato		1.37	158.68
10	JUNCTION	nodo a monte Rio Celato	10.26	1.19	159.11
2	JUNCTION	nodo intermedio Rio Celato		0.97	158.76
11	OUTFALL	nodo a valle Rio Celato		0.77	157.57

Tabella 6: Risultati SWMM per i canali/condotte

Tratto SWMM	Tipo SWMM	Tratto	Sezione	Dim.	Vmax	h max (media)	Qmax /Qfull	Hmax /hFull
-------------	-----------	--------	---------	------	------	---------------	-------------	-------------

				D / BxH	m/sec	m	[-]	[-]
2	CHANNEL	Tratto scoperto esistente	irregolare	-	6.05		0.28	0.52
16	CONDUIT	Nuovo tratto scoperto	rettangolare	2x2.4	7.09	0.81	0.15	0.29
17	CONDUIT	I tratto d = 2m	circolare	2	5.66	1.02	0.39	0.51
18	CONDUIT	I raccordo	rettangolare	2.4x2.4	3.99	0.86	0.21	0.36
19	CONDUIT	II tratto d = 2m	circolare	2	5.14	1.14	0.46	0.57
20	CONDUIT	II raccordo	rettangolare	2.4x2.4	2.4	1.42	0.21	0.59
21	CONDUIT	III tratto d = 2m	circolare	2	4.11	1.46	0.81	0.73
22	CONDUIT	III raccordo	rettangolare	2.4x2.4	2.98	1.49	0.36	0.62
23	CONDUIT	VI tratto d = 2m	circolare	2	3.51	1.40	0.86	0.7
24	CONDUIT	VI raccordo	rettangolare	2.4x2.4	2.28	1.42	0.34	0.59
25	CONDUIT	V tratto d = 2m	circolare	2	3.45	1.46	0.84	0.73
26	CONDUIT	V raccordo	rettangolare	2.4x2.4	2.53	1.51	0.46	0.63
27	CONDUIT	VI tratto d = 2m	circolare	2	3.57	1.32	0.84	0.66
28	CONDUIT	Immissione	rettangolare	2x2	3.31	1.18	0.65	0.59
13	CHANNEL	I tratto Rio Celato	irregolare	-	3.64		0.33	0.42
14	CHANNEL	II tratto Rio Celato	irregolare	-	3.24		0.21	0.45
15	CHANNEL	III tratto Rio Celato	irregolare	-	4.45		0.14	0.42

Come si può notare le condizioni di verifica sono soddisfatte lungo tutto il tratto intubato in quanto nè lungo le tubazioni nè nei singoli nodi il livello idrico supera l'80% della sezione verticale della condotta (1.60 m).

Anche nel nuovo tratto iniziale scoperto le condizioni dei nuovi argini sono ampiamente soddisfatte in quanto l'altezza minima dell'argine lungo il tratto è di 2.8 metri ed il livello massimo della corrente 1.43 metro all'imbocco della nuova condotta: data la velocità massima del tratto di canale pari a 7.1 m/s si ottiene un'altezza cinetica 2.50 m corrispondente a un franco di sicurezza di 1.25 m, inferiore alla misure di 1.40 m tra il pelo libero e il limite degli argini.

Si noti che le alte velocità che si sviluppano nel primo nuovo tratto scoperto sono in questo contesto ammissibili dato che riferite ad una portata di progetto di ben 100 anni.

Verifiche idrauliche in B: tombotto in Via Val di Fassa

La verifica idraulica del tombino e del canale in B viene effettuata sulla portata di picco con un tempo di ritorno di 100 anni, pari a $11.78 \text{ m}^3/\text{s}$ per il nodo dove il tombino è situato come calcolato nella relazione idrologica.

La verifica è stata effettuata attraverso il software Hec-Ras con una simulazione di moto vario per la portata picco di progetto.

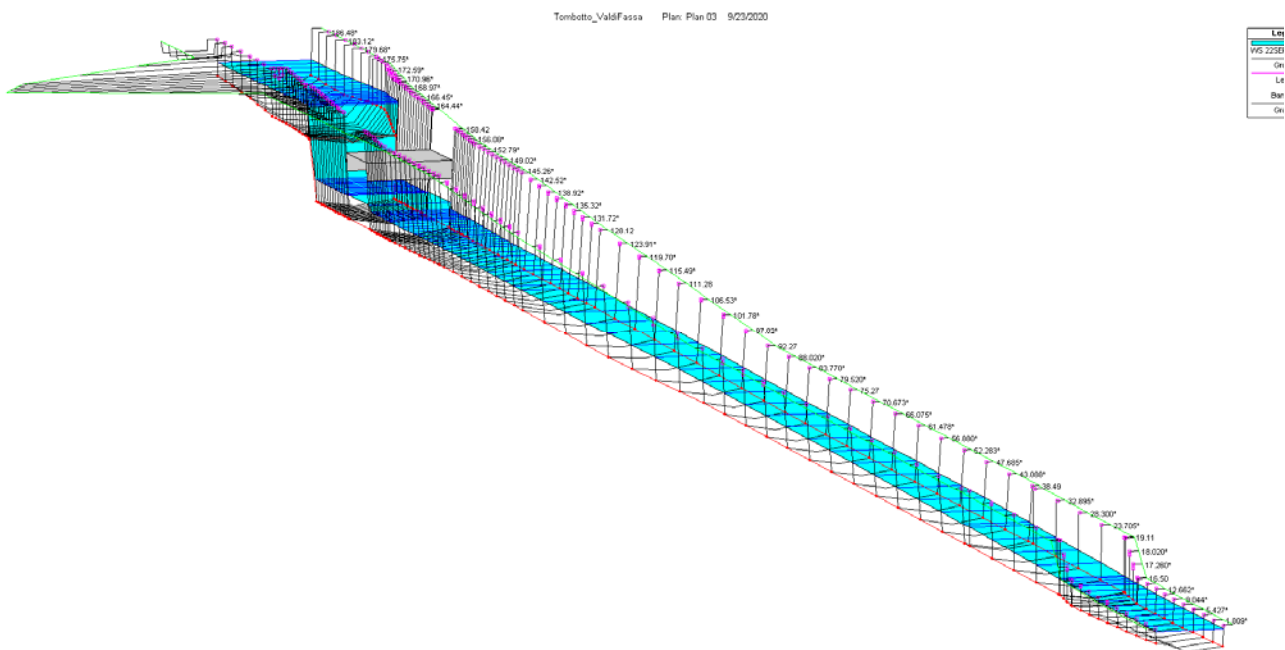


Figura 5: Vista 3D della geometria del modello monodimensionale di Hec-RAS usata per la verifica.

La geometria è stata creata utilizzando 25 sezioni dell'alveo, le quali sono state poi interpolate fra di loro in modo da avere una sezione di calcolo ogni $50 \text{ cm} - 3 \text{ m}$ per una buona stabilità numerica.

I valori dei coefficienti di Manning utilizzati sono 0.025 per i tratti non pavimentati prima della soglia di salto, 0.024 per la platea del torrente, 0.025 sia per i muri di cemento armato rivestiti in pietrame che per i muri in muratura esistenti e da alzare, 0.026 per la massciata alla fine del pezzo rivestito.

La soglia prima del ponte è stata modellata come un elemento di tipo “weir”, più nello specifico come un “Broad crested weir” (stramazzo a parete grossa) con un coefficiente di 1.4.

Il manufatto di attraversamento è stato invece mantenuto come pura geometria di riferimento, in quanto la sua presenza non costituisce nessuna strozzatura, espansione o cambio di pendenza nel canale e l'altezza del flusso per la portata di progetto mantiene una considerevole distanza dalla soletta, come dimostrato in seguito. Questo rende inutile modellare il manufatto come ponte o culvert, proprio per il fatto che esso, almeno nel caso delle portate testate, non influenza in nessun modo la corrente.

I risultati della simulazione idraulica sono mostrati nel seguente profilo e riportati nella seguente tabella.

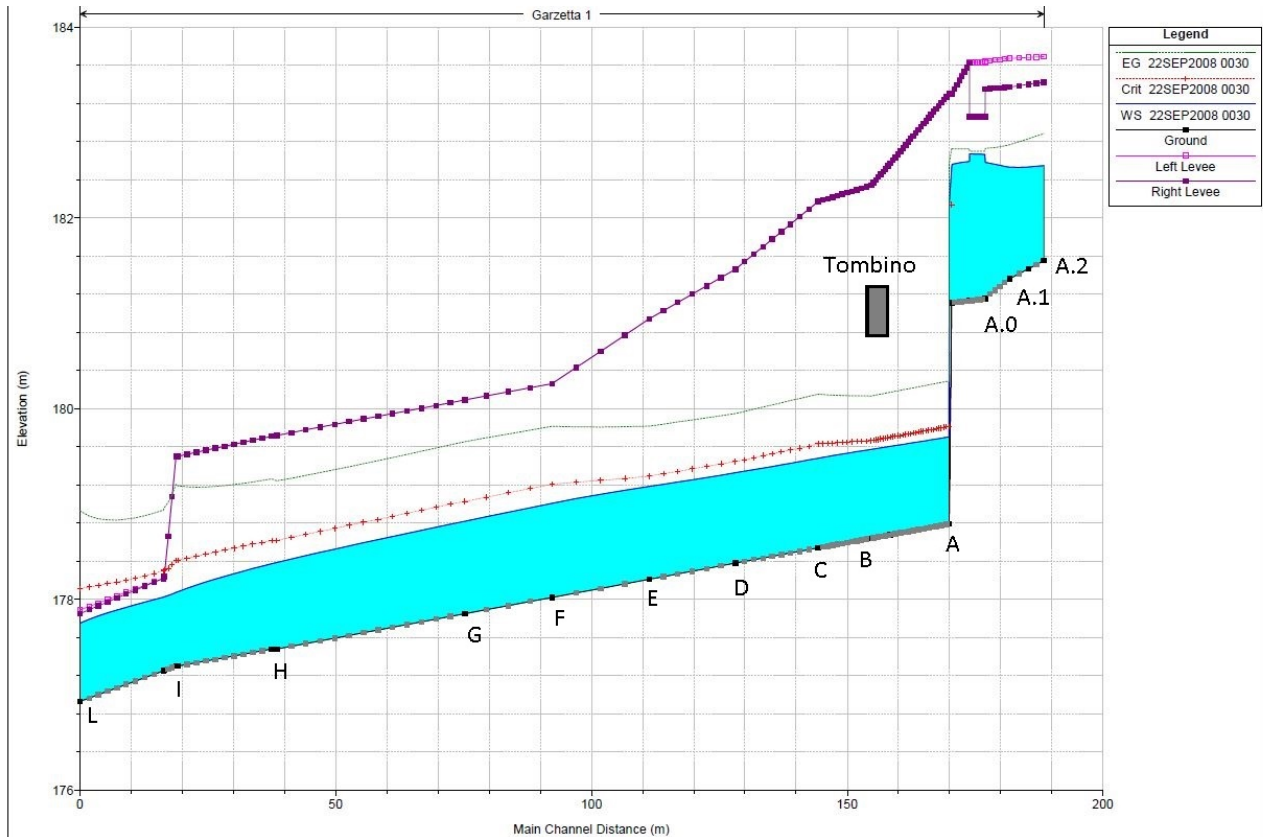


Figura 6: Profilo idraulico lungo il canale

Tabella 7: Risultati della simulazione monodimensionale in moto vario

Sezione	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude
A2	187.98	11.78	181.55	182.55		182.88	0.0051	2.57	4.6	5.2	0.87
	184.98	11.78	181.47	182.53		182.83	0.0041	2.41	4.89	5.2	0.79
A1	181.26	11.78	181.36	182.53		182.77	0.0028	2.16	5.47	5.2	0.67
A0	176.53	11.78	181.16	182.58		182.73	0.0014	1.7	6.95	5.41	0.48
Inizio entrata in alveo	176.44	11.78	181.15	182.66		182.7	0.0004	0.94	15.73	18.52	0.26
fine entrata in alveo	173.44	11.78	181.13	182.67		182.7	0.0003	0.85	17.25	19.32	0.23
	173.4	11.78	181.13	182.59		182.72	0.0012	1.61	7.3	5.46	0.45
	170.55	11.78	181.11	182.56		182.72	0.0013	1.79	6.72	5.04	0.49
A (soglia)	170.5	11.78	181.11	182.53	182.14	182.73	0.0018	1.97	6.12	5.04	0.56
A (fondo)	169.97	11.78	178.79	179.7	179.81	180.29	0.0089	3.39	3.5	4.41	1.21

Inizio Ponticello	163.44	11.78	178.73	179.65	179.75	180.22	0.0087	3.36	3.54	4.44	1.19
Fine Ponticello	158.42	11.78	178.68	179.6	179.7	180.17	0.0085	3.34	3.57	4.46	1.18
B	154.67	11.78	178.64	179.57	179.67	180.13	0.0083	3.31	3.6	4.48	1.17
C	144.32	11.78	178.54	179.48	179.63	180.15	0.0100	3.63	3.29	4.09	1.28
D	128.12	11.78	178.38	179.33	179.45	179.95	0.0089	3.49	3.42	4.14	1.21
E	111.28	11.78	178.21	179.18	179.29	179.82	0.0082	3.53	3.4	3.82	1.18
F	92.27	11.78	178.02	179.01	179.21	179.81	0.0109	3.98	3	3.46	1.35
G	75.27	11.78	177.85	178.82	179.03	179.65	0.0112	4.05	2.96	3.43	1.38
H	38.49	11.78	177.48	178.39	178.62	179.24	0.0129	4.1	2.92	3.67	1.45
	37.49	11.78	177.48	178.37	178.62	179.26	0.0136	4.17	2.82	3.54	1.49
I	19.11	11.78	177.3	178.08	178.41	179.19	0.0205	4.67	2.53	3.64	1.79
	18.78	11.78	177.3	178.07	178.41	179.21	0.0249	4.72	2.5	3.64	1.82
	16.5	11.78	177.26	178.03	178.31	178.96	0.0165	4.28	2.77	3.67	1.57
	16.28	11.78	177.25	178.02	178.3	178.94	0.0146	4.23	2.8	3.67	1.54
L	0	11.78	176.93	177.75	178.11	178.93	0.0240	4.81	2.46	3.79	1.9

Si può notare come in tutto il tratto di canale oggetto di interventi in alveo (sezioni A- I) il franco idraulico di sicurezza sia maggiore del franco minimo di sicurezza di 1 m o $0.5 \sqrt{2/g}$, dato che i muri hanno un'altezza minima di 2.20 m. Inoltre, come anche mostrato nell'immagine seguente, Il franco idraulico minimo del ponticello è di 1.08 m, superiore al minimo di un metro. Tutte le opere in progetto risultano perciò verificate.

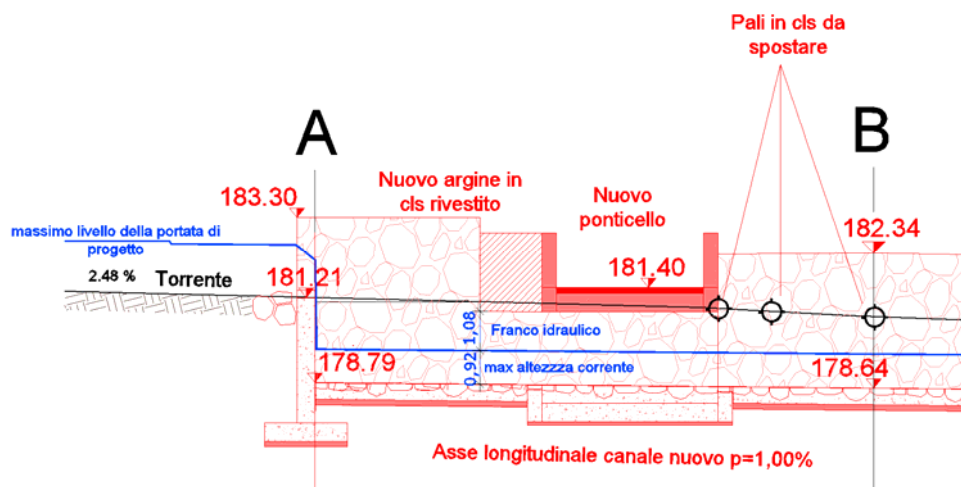


Figura 7: particolare del massimo livello del flusso ottenuto con la portata di progetto sotto il manufatto di attraversamento. Il franco di sicurezza di 1,08 m è superiore al franco minimo di 1 m stabilito dalla normativa.

Verifiche idrauliche in C: Briglie sul Rio Roncai

La verifica idraulica degli elementi dell'area di intervento C (prima briglietta filtrante e tombotto, briglia filtrante centrale e briglietta filtrante addossata al manufatto dell'ex polveriera) viene effettuata sulla portata di picco con un tempo di ritorno di 100 anni, pari a $8,24 \text{ m}^3/\text{s}$ per il nodo dove il tombino è situato come calcolato nella relazione idrologica.

La verifica è stata effettuata attraverso il software Hec-Ras con una simulazione di moto permanente per la portata picco di progetto. L'intero tronco di torrente è stato modellato come "unicum" in modo da verificare tutti e tre gli elementi con un unico modello. Le sezioni di progetto inserite nel software sono state interpolate in modo da creare delle sezioni a distanza compresa fra i 2 m e i 20 cm a seconda della geometria del tratto.

I valori dei coefficienti di Manning utilizzati sono 0.025 per i tratti di alveo naturale, 0.024 per la platea e i muri di cemento armato rivestiti in pietrame e 0.019 per la platea in cemento del manufatto esistente.

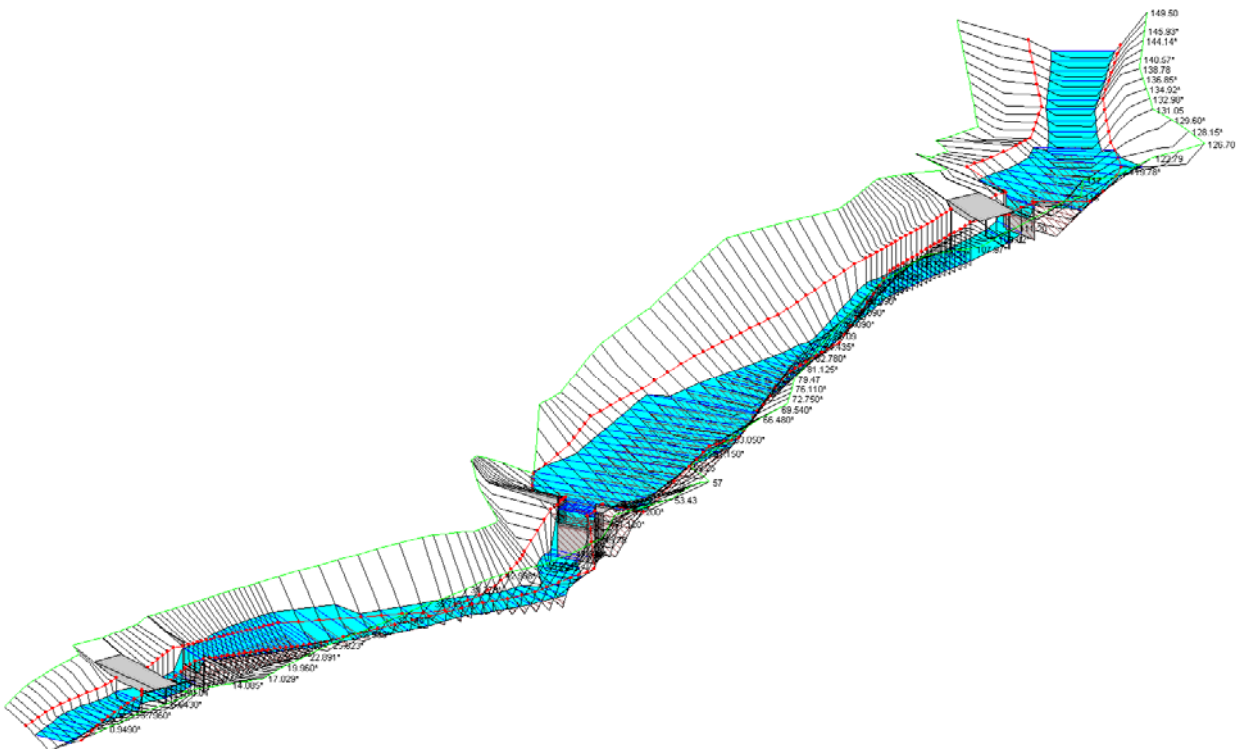


Figura 8: immagine del modello idraulico dell'area del Rio Roncai con i manufatti in progetto

A monte il ponticello è stato modellato come elemento "Deck/roadway" in quanto la soletta non presenta piloni che interferiscono con il flusso. La briglietta selettiva prima del ponticello è stata modellata come elemento di tipo "weir", più nello specifico come un "Broad crested weir" (stramazzo a parete grossa) con un coefficiente di 1.4 in modo da simulare il caso in cui i detriti a monte abbiano ostruito completamente il reticolo filtrante. Dietro la briglietta l'alveo è stato riempito di sedimenti per simulare il riempimento del bacino di accumulo a monte.

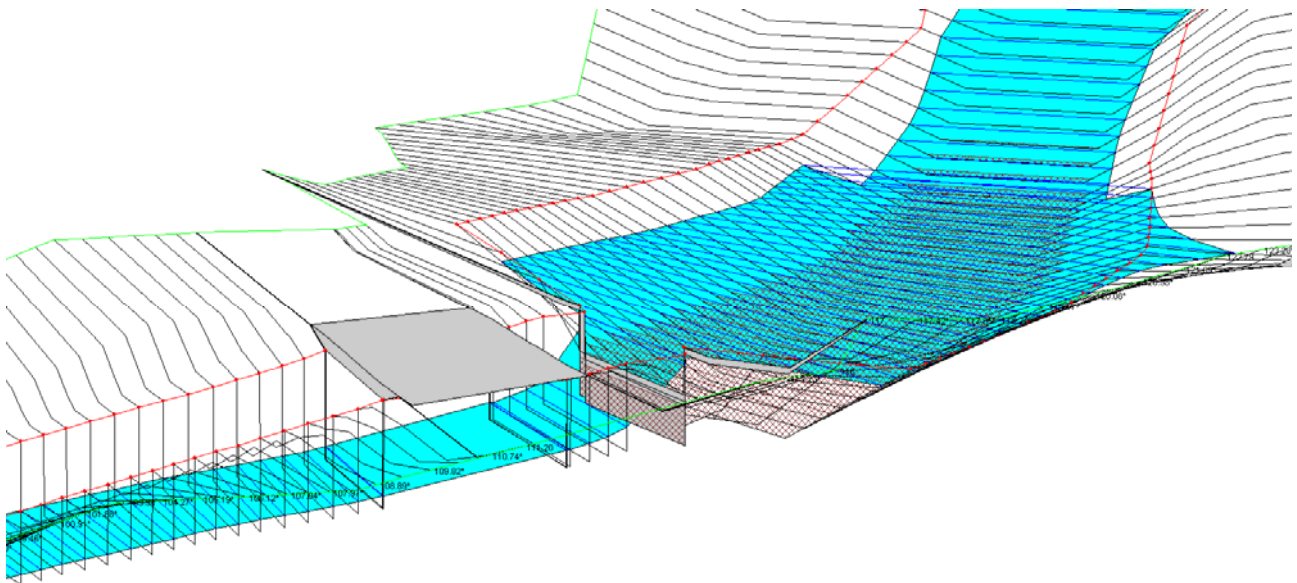


Figura 9: Modello del ponticello con briglietta selettiva a monte

Anche la briglia filtrante centrale è stata modellata come un “Broad crested weir” (stramazzo a parete grossa) con un coefficiente di 1.4 in modo da simulare il caso in cui i detriti a monte abbiano ostruito completamente il reticolo filtrante. Anche qui dietro la briglia l’alveo è stato riempito di sedimenti per simulare il riempimento del bacino di accumulo a monte.

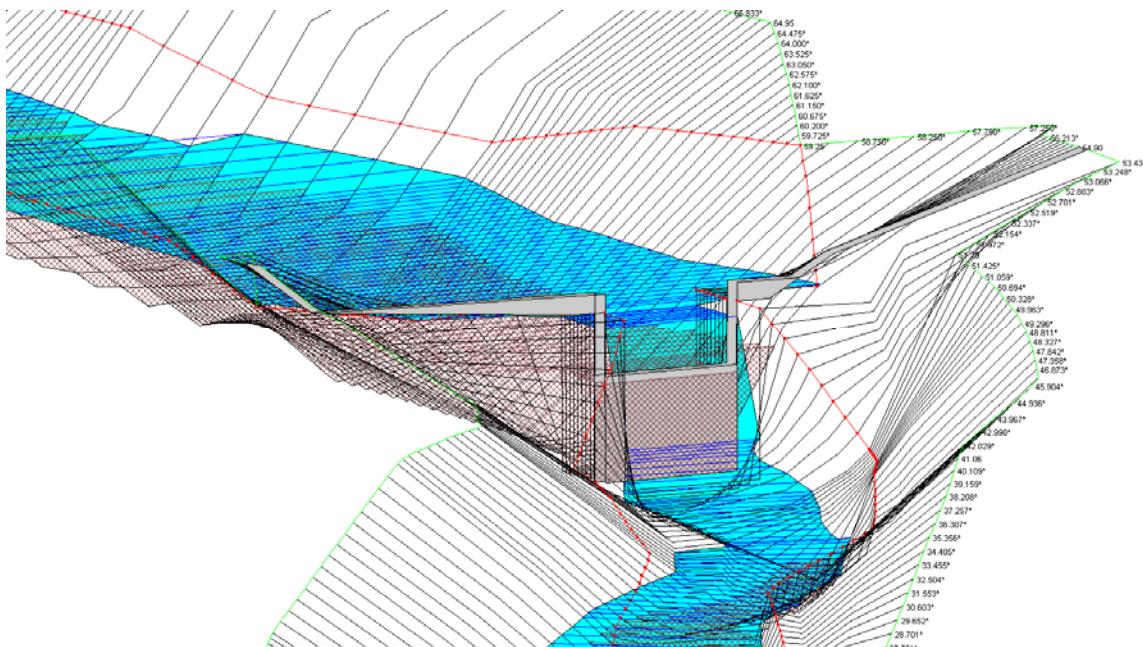


Figura 10: Modello della briglia selettiva centrale

La briglietta filtrante a ridosso del manufatto dell’ex polveriera è stata modellata al pari delle due a monte, mentre il manufatto esistente è stato modellato come elemento “Deck/roadway” al pari del ponticello a monte.

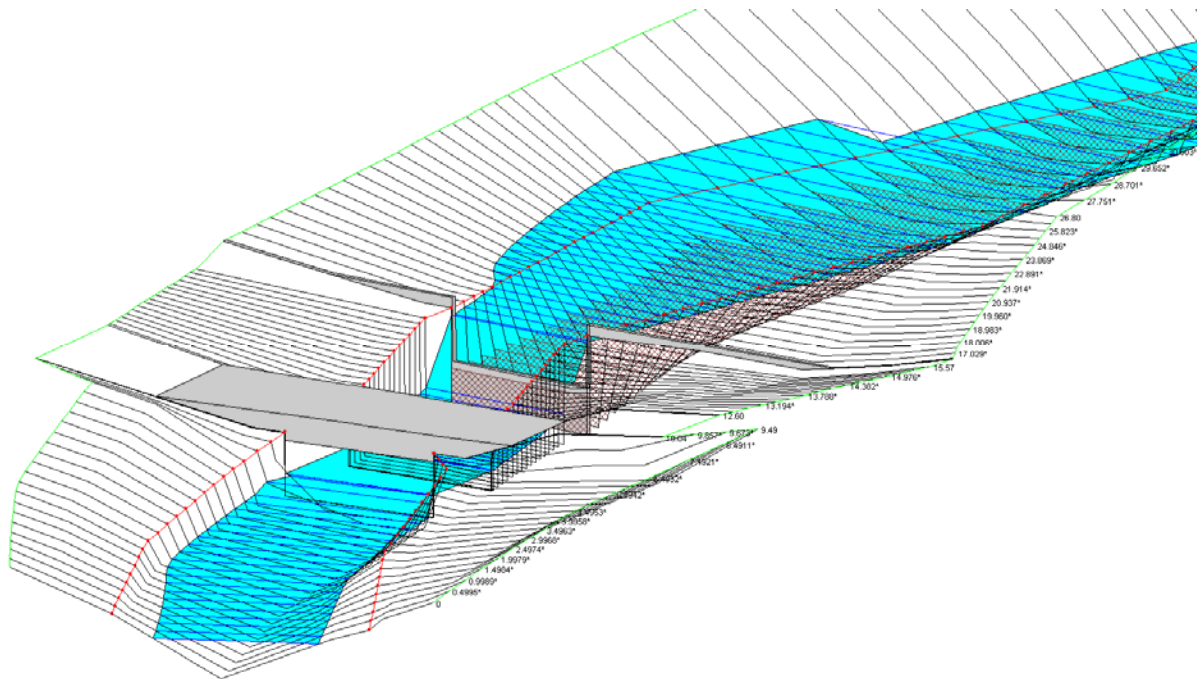


Figura 11: Modello del manufatto esistente al confine con l'ex polveriera e briglietta filtrante a monte in progetto

I risultati della simulazione idraulica sono mostrati nel seguente profilo e riportati nella seguente tabella.

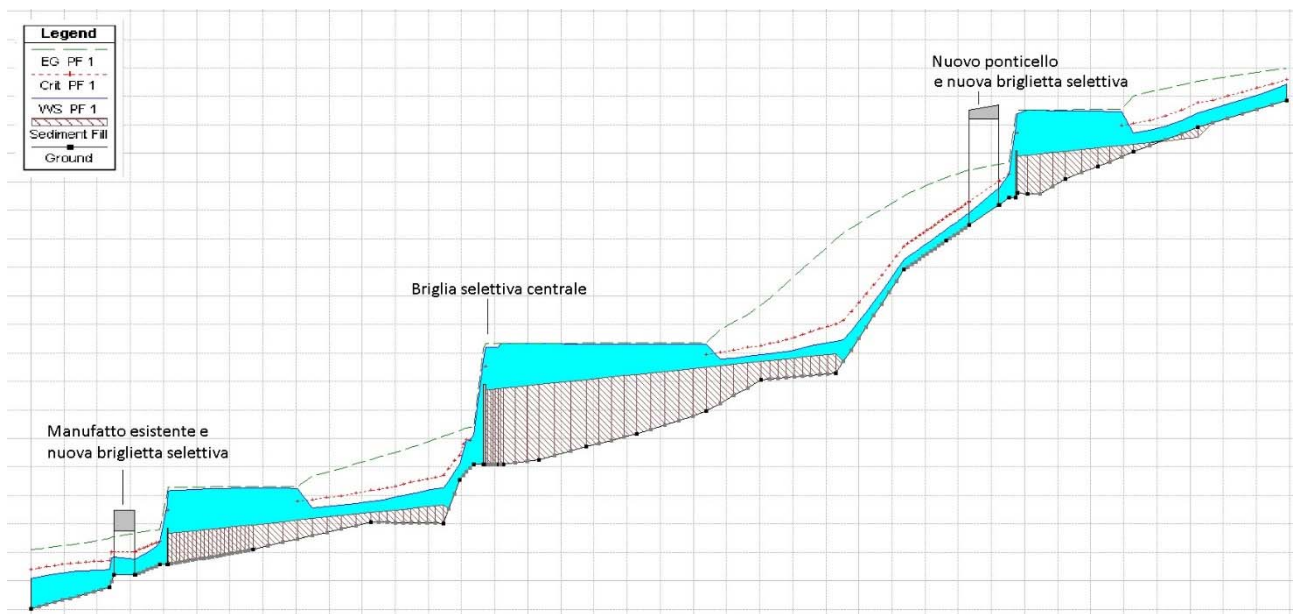


Figura 12: Profilo idraulico ottenuto da Hec-Ras per gli elementi in progetto

Tabella 8: Risultati della modellazione idraulica per gli elementi in progetto

Sezione	River Station	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
S0	149.5	8.24	246.85	247.42	247.59	247.97	0.0200	3.28	2.51	5.34	1.53

S1	138.78	8.24	245.91	246.40	246.77	247.52	0.0481	4.68	1.76	4.13	2.29
S2	131.05	8.24	245.32	245.73	246.06	247.00	0.0659	5.00	1.65	4.55	2.65
S3	126.7	8.24	245.19	246.49		246.54	0.0007	0.99	8.48	9.79	0.31
S4	122.79	8.24	245.07	246.50		246.53	0.0003	0.76	10.85	9.57	0.23
S5	118.27	8.24	244.94	246.51		246.52	0.0002	0.58	14.10	11.04	0.17
	117	8.24	244.90	246.39	245.72	246.51	0.0021	1.58	5.20	3.51	0.42
	116.9	Inl Struct									
	116	8.24	243.45	244.28	244.28	244.69	0.0102	2.86	2.88	3.50	1.01
	114.85	8.24	243.20	243.78	244.03	244.63	0.0290	4.07	2.02	3.49	1.71
S6	114.78	8.24	243.20	243.78	244.03	244.63	0.0290	4.07	2.02	3.49	1.71
	114.75	Bridge									
S7	111.2	8.24	242.48	242.92	243.31	244.41	0.0688	5.42	1.52	3.49	2.62
S8	108.43	8.24	241.94	242.34	242.77	244.15	0.0925	5.96	1.38	3.49	3.03
S9	103.34	8.24	240.92	241.28	241.75	243.51	0.1390	6.62	1.24	3.49	3.54
S10	95.09	8.24	237.97	238.41	239.00	241.95	0.1997	8.34	0.99	2.79	4.48
S11	86.09	8.24	237.70	237.93	238.26	239.69	0.1674	5.87	1.40	6.34	3.98
S12	79.47	8.24	237.50	238.30	237.94	238.36	0.0012	1.10	7.51	10.16	0.41
S13	71.07	8.24	237.25	238.32		238.35	0.0004	0.76	10.87	11.36	0.25
S14	64.95	8.24	237.06	238.31		238.34	0.0004	0.77	10.76	9.88	0.23
S15	59.25	8.24	236.89	238.32		238.34	0.0002	0.61	13.55	11.28	0.18
	57	8.24	236.76	238.32		238.34	0.0002	0.59	14.04	10.58	0.16
	56.4	8.24	236.74	238.19		238.32	0.0021	1.63	5.06	3.51	0.43
S16	54.9	8.24	236.70	238.19	237.52	238.32	0.0019	1.58	5.23	3.51	0.41
	54.8	Inl Struct									
S17	53.43	8.24	234.10	235.16		235.41	0.0050	2.24	3.68	3.48	0.70
S18	51.79	8.24	233.55	234.08	234.41	235.28	0.0597	4.86	1.69	4.57	2.55
S19	49.78	8.24	232.66	233.26	233.70	235.03	0.0738	5.89	1.40	2.89	2.71
S20	41.06	8.24	232.40	232.80	233.17	234.23	0.0704	5.44	1.60	4.19	2.74
S21	26.8	8.24	231.97	233.26		233.30	0.0005	0.92	9.11	8.84	0.28
	16.54	8.24	231.66	233.16	232.48	233.29	0.0020	1.56	5.29	3.53	0.41
	16.4	Inl Struct									
S22	15.57	8.24	230.57	231.39	231.39	231.81	0.0101	2.85	2.89	3.51	1.00
	12.6	8.24	230.21	230.76	231.03	231.68	0.0330	4.25	1.94	3.51	1.83
	12.54	8.24	230.21	230.76	231.03	231.68	0.0329	4.25	1.94	3.51	1.82
	12.53	Bridge									
	10.04	8.24	230.21	230.84	231.03	231.55	0.0245	3.75	2.20	3.51	1.51
S23	9.49	8.24	229.77	230.39	230.70	231.48	0.0468	4.62	1.79	4.03	2.21
S24	0	8.24	229.02	230.08	230.41	231.09	0.0360	4.46	1.85	3.50	1.96

Per quanto riguarda la verifica delle opere, a monte sia la briglietta selettiva che il ponticello risultano verificati in quanto l'acqua non fuoriesce dalla gaveta e la distanza tra il pelo libero della corrente e il ponticello è ampiamente sopra il franco di sicurezza di un metro, come meglio mostrato dal particolare seguente.

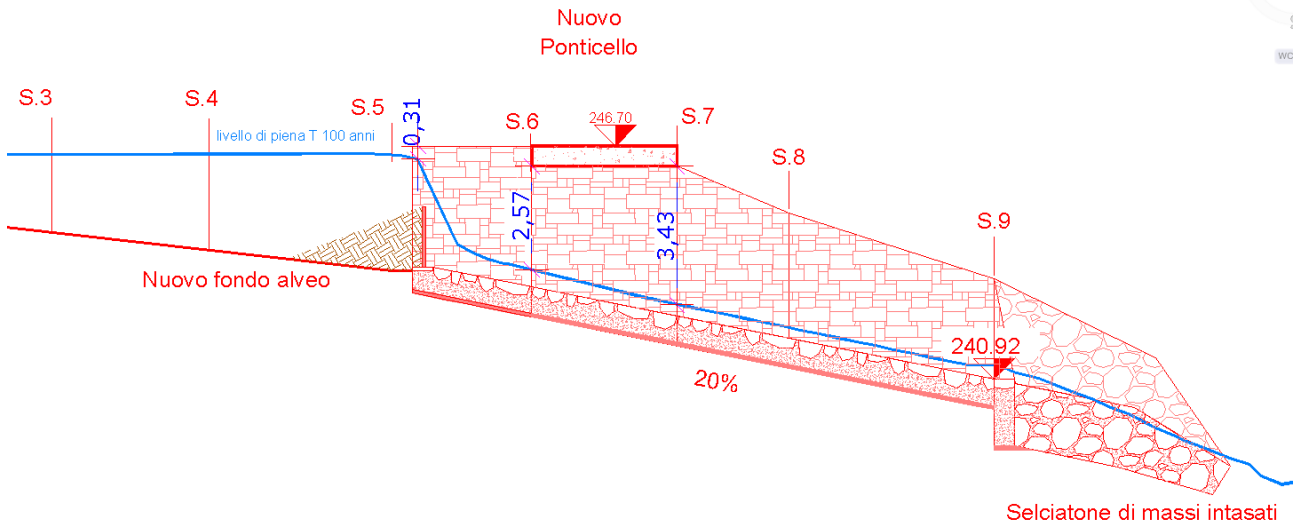


Figura 13: Particolare del profilo idraulico sulla briglietta selettiva e il ponticello a monte

Anche per la briglia centrale il livello della corrente non fuoriesce dalla gaveta, l'opera risulta perciò verificata dal punto di vista della portata di progetto.

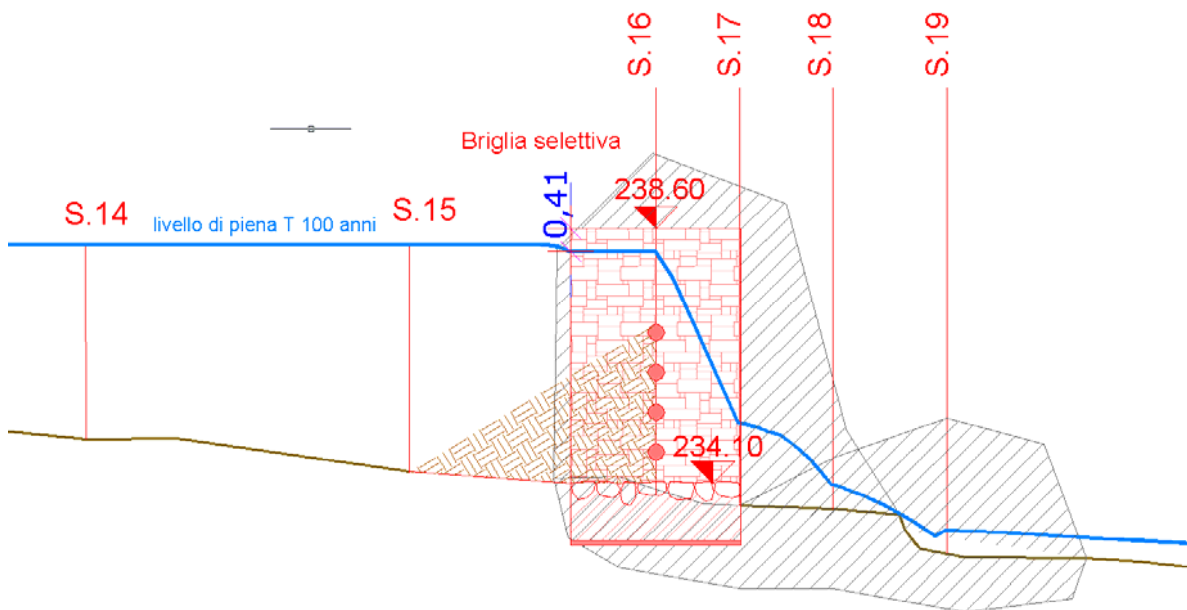


Figura 14: Particolare del profilo idraulico sulla briglia selettiva centrale

Per quanto riguarda a valle la briglietta filtrante è verificata in quanto la gaveta contiene l'intera portata di progetto, mentre il manufatto esistente presente in entrata un franco di 1 m e in uscita di 0.93 cm.

Si ritiene che un margine di 0.93 m (di soli 7 cm al di sotto del franco minimo), per giunta in uscita al manufatto e non in entrata dove potrebbe in effetti causare un ingorgo, non presenti di fatto una criticità idraulica.

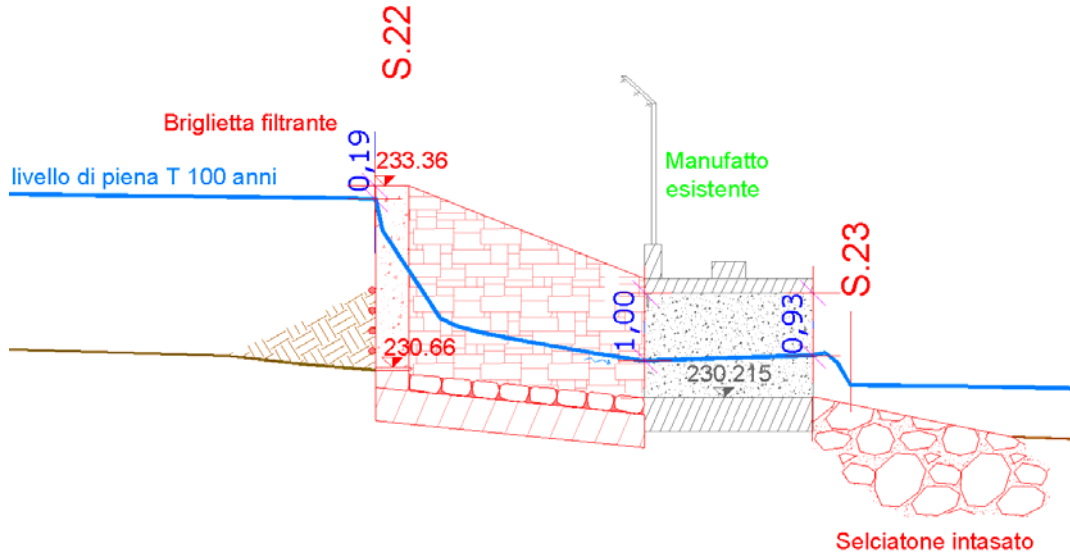


Figura 15: Particolare del profilo idraulico sulla briglietta selettiva ed il manufatto esistente al confine dell'ex polveriera

Verifiche idrauliche in D: Briglietta selettiva e tombino sul Rio Cascina Termini

La verifica idraulica del tombotto e della briglietta filtrante a monte in D viene effettuata sulla portata di picco con un tempo di ritorno di 100 anni, pari a $1,95 \text{ m}^3/\text{s}$ per il nodo dove il tombino è situato come calcolato nella relazione idrologica.

La verifica è stata effettuata attraverso il software Hec-Ras con una simulazione di moto permanente per la portata picco di progetto.

I valori dei coefficienti di Manning utilizzati sono 0.025 per i tratti di alveo naturale e 0.024 per la platea e i muri di cemento armato rivestiti in pietrame.

La soglia prima del ponte è stata modellata come un elemento di tipo “weir”, più nello specifico come un “Broad crested weir” (stramazzo a parete grossa) con un coefficiente di 1.4. Il tombotto è stato modellato come elemento “Deck/roadway” in quanto la soletta non presenta piloni che interferiscono con il flusso.

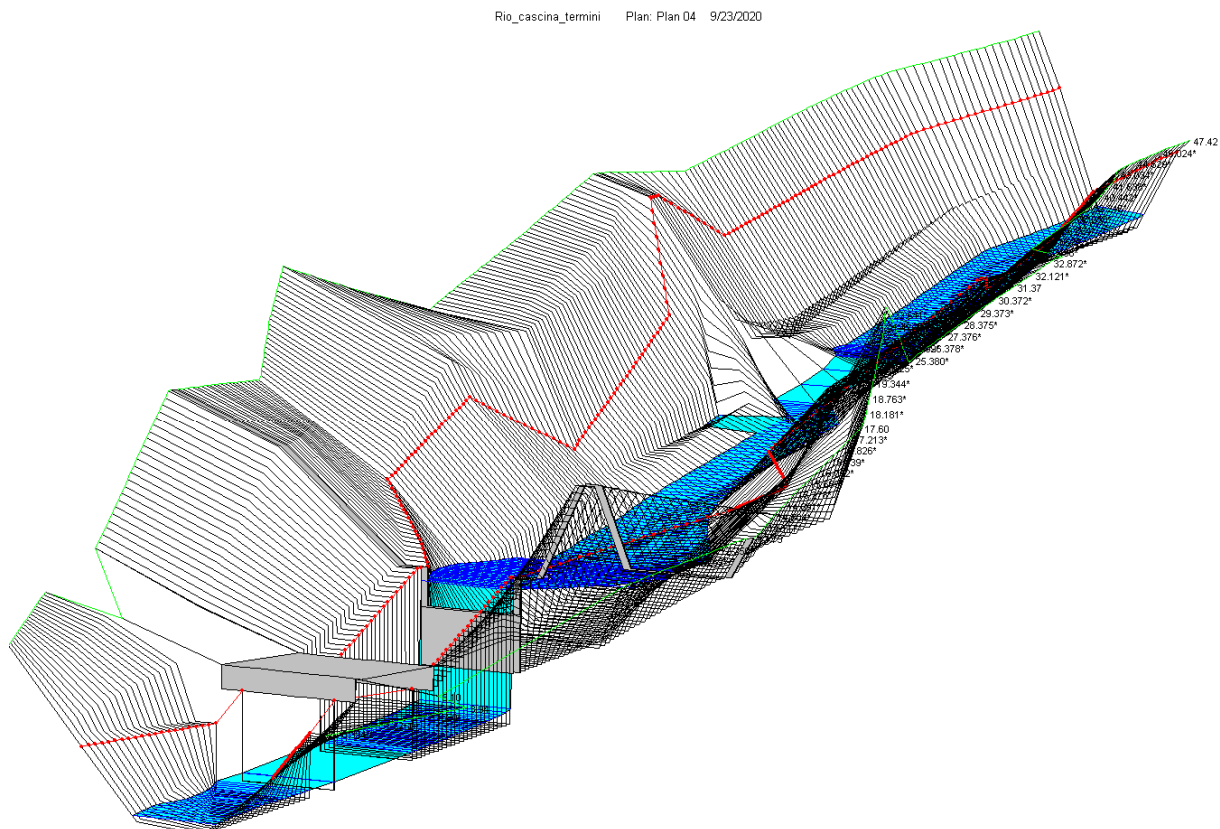


Figura 16: Modello dell'area di intervento sul Rio Cascina Termini con la briglietta selettiva e il tombotto.

I risultati della simulazione idraulica sono mostrati nel seguente profilo e riportati nella seguente tabella.

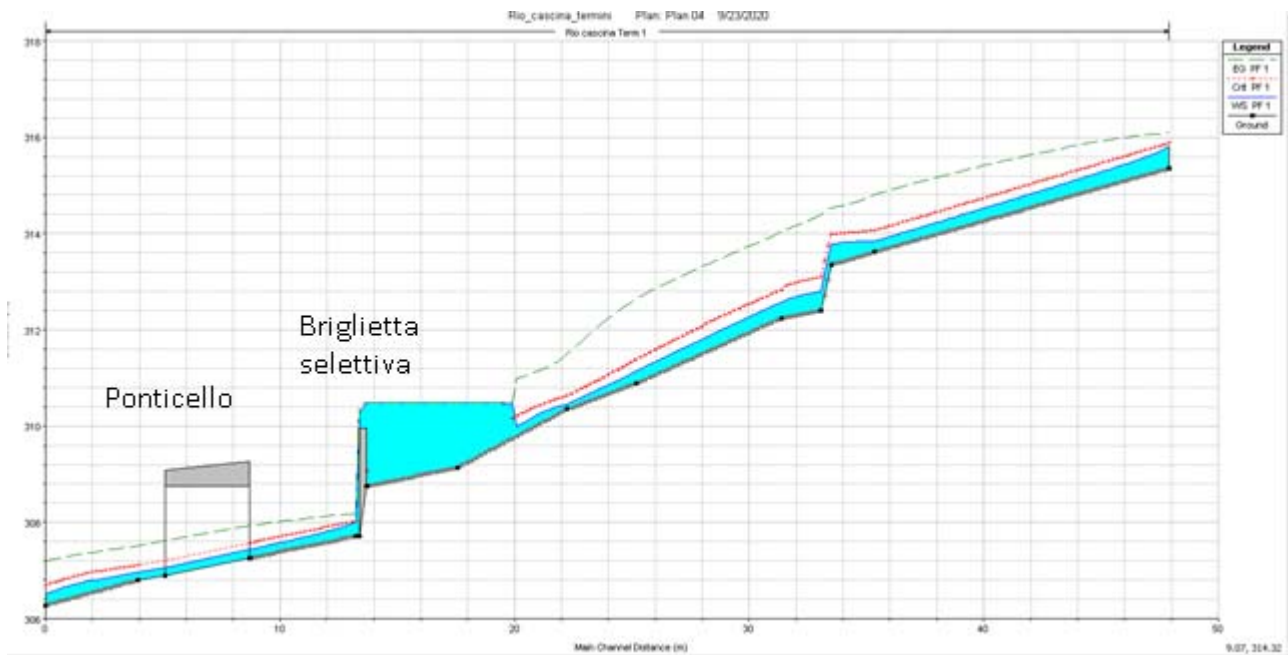


Figura 17: Profilo idraulico della simulazione

Tabella 9: Risultati della simulazione Hec-Ras

Sezione	River Station	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)
S1	47.42	1.95	315.35	315.80	315.88	316.10	0.0200	2.39
S2	34.86	1.95	313.62	313.84	314.06	314.81	0.1464	4.35
S3 (monte)	33.52	1.95	313.35	313.78	313.98	314.54	0.0878	3.87
S3 (valle)	33.06	1.95	312.40	312.80	313.10	314.40	0.2142	5.59
S4	31.37	1.95	312.24	312.57	312.82	314.03	0.2458	5.35
S5	25.18	1.95	310.88	311.13	311.38	312.63	0.2821	5.42
S6	22.25	1.95	310.35	310.46	310.62	311.50	0.3517	4.53
S7	17.60	1.95	309.14	310.49		310.49	0.0001	0.28
S8 (monte)	13.73	1.95	308.75	310.48	309.07	310.49	0.0001	0.32
		Inl Struct						
S8 (valle)	13.23	1.95	307.71	308.03	308.03	308.19	0.0123	1.77
S9	8.72	1.95	307.26	307.44	307.58	307.92	0.0711	3.08
		Bridge						
S10	5.10	1.95	306.89	307.06	307.21	307.63	0.0920	3.34
S11	3.94	1.95	306.80	306.97	307.11	307.52	0.0887	3.28

Sia la briglietta selettiva che il ponticello risultano verificati in quanto l'acqua non fuoriesce dalla gaveta e la distanza tra il pelo libero della corrente e il ponticello è ampiamente sopra il franco di sicurezza di un metro, come meglio mostrato dal particolare seguente.

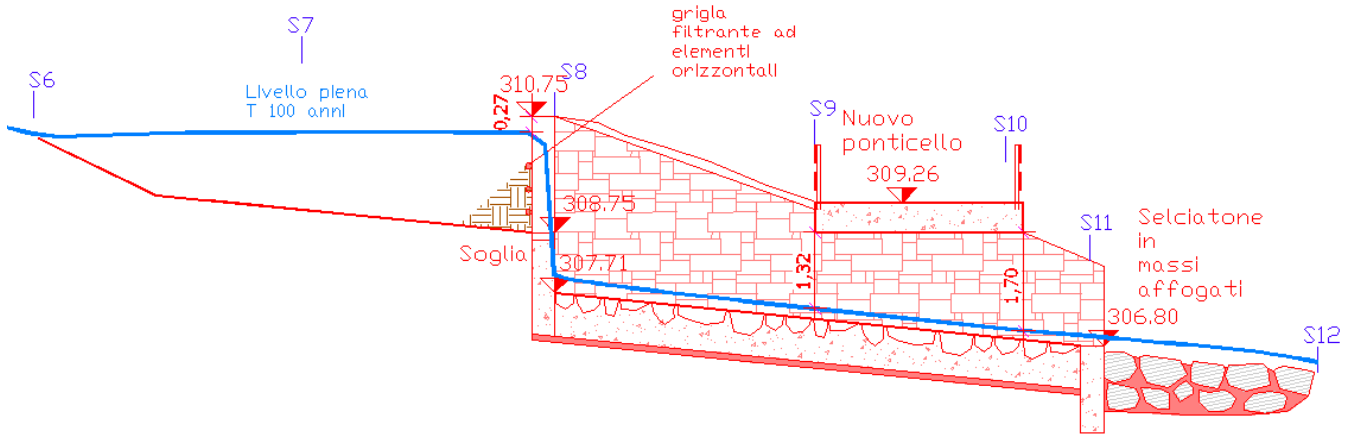


Figura 18: Particolare del profilo idraulico sulla briglietta selettiva e il ponticello.

Conclusioni

Tutte le opere in progetto risultano verificate secondo le portate ed i criteri utilizzati:

- Nell'area di intervento A il nuovo tratto di canale scoperto rispetta il franco idraulico di metà dell'altezza cinetica per gli argini, nel nuovo tratto intubato il pelo libero non supera mai l'80% dell'altezza della sezione, garantendo così un pieno regime di moto a pelo libero. Questo avviene con condizioni al contorno a valle (Rio Celato in condizioni di massima piena) a favore di sicurezza.
- Nell'area di intervento B il nuovo tombino che sostituisce il guado di Via Val di Fassa mantiene un franco idraulico minimo superiore al metro, la stessa cosa avviene per i nuovi muri d'argine.
- Nell'area d'intervento C sul Rio Roncai, appena a monte dell'area dell'ex polveriera, i tre manufatti filtranti sono in grado di smaltire l'intera portata di progetto anche nella condizione più sfavorevole in cui il reticolo filtrante sia completamente intasato da detriti e sedimenti ed impedisca quindi completamente il passaggio dell'acqua. Il ponticello previsto rispetta di gran lunga il franco idraulico minimo.
- Nell'area d'intervento D sul Rio Cascina Termini la briglietta filtrante è in grado di smaltire l'intera portata di progetto anche nella condizione più sfavorevole in cui il reticolo filtrante sia completamente intasato da detriti e sedimenti ed impedisca quindi completamente il passaggio dell'acqua. Il ponticello previsto per la sostituzione del guado esistente rispetta di gran lunga il franco idraulico minimo.

Riguardo le opere già presenti sul territorio il manufatto dell'ex polveriera non rispetta di soli 7 cm il franco minimo di sicurezza nella sua sezione di uscita. Si considerano però i seguenti fatti: la sua posizione infossata costringerebbe l'acqua a ritornare in alveo anche in caso la struttura venga sormontata; il manufatto non è nemmeno un vero e proprio attraversamento (fa parte della recinzione della ex-polveriera storica); il nuovo sistema di briglie selettive a monte dovrebbe ridurre drasticamente la possibilità di intasamento del manufatto.

Non si ritiene dunque che il manufatto all'ingresso dell'ex polveriera possa creare problematiche di tipo idraulico.