



REGIONE LIGURIA

**autostrade** // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA  
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

**PROGETTO DEFINITIVO**

**IDROLOGIA IDRAULICA**

**INTERFERENZE IDROGRAFICHE**

Relazione idrologica – idraulica

**IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE  
SPECIALISTICA**

Ing. Paolo De Paoli  
Ord. Ingg. Pavia N.1739

RESPONSABILE UFFICIO IDR

**IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE**

Ing. Sara Frisiani  
Ord. Ingg. Genova N. 9810A

CAPO COMMESSA

**IL DIRETTORE TECNICO**

Ing. Maurizio Torresi  
Ord. Ingg. Milano N. 16492  
RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA  
TECNICA E PROGETTAZIONE

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO						DATA: DICEMBRE 2014	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE					n.	data
	codice commessa	N.Prog.	unita'	ufficio	n. progressivo	Rev.			
-	11001302		STPIDR0101						

 <b>Ingegneria europea</b>	<b>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA</b> Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
		ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UNITA' STP	Ing. Andrea Tanzi O.I. Parma N.1154

	<b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>  <b>autostrade</b> // per l'italia  R.U.P. – Ing. Andrea Frediani	<b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>   <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small>
--	--	--

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>AUTORITÀ DI BACINO</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI</b>	<b>4</b>
3.1	Normativa nazionale	4
3.2	Normativa regionale	6
<b>4.</b>	<b>IDROLOGIA</b>	<b>7</b>
4.1	Portate di riferimento per i bacini idrografici naturali	7
4.1.1	Tempo di corrivazione	8
<b>5.</b>	<b>IDRAULICA</b>	<b>11</b>
5.1	Verifiche idrodinamiche sulla rete idrografica	11
5.1.1	Opere definitive	11
5.1.1.1	Parametri di scabrezza	12
5.1.1.2	Franchi di sicurezza	12
5.1.2	Opere provvisorie	13
5.1.2.1	Franchi di sicurezza	14
<b>6.</b>	<b>INTERFERENZA SVINCOLO A12 – NUOVA INALVEAZIONE RIO TANGON</b>	<b>14</b>
6.1	Analisi idrologica	14
6.2	Analisi idraulica	17
6.2.1	Analisi idraulica dell'opera sul Rio Tangon	17
6.2.1.1	Schematizzazione geometrica dello stato attuale	17
6.2.1.2	Schematizzazione geometrica dello stato di progetto	18
6.2.1.3	Condizioni al contorno per la configurazione di stato attuale	22
6.2.1.4	Condizioni al contorno per la configurazione di progetto	23
6.2.1.5	Coefficienti di resistenza distribuita	23
6.2.1.6	Verifica nella situazione attuale	23
6.2.1.7	Verifica nella situazione di progetto	27
6.2.1.8	Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisorie)	37
6.2.2	Analisi idraulica delle opere 98A e 98B	38
6.2.3	Analisi idraulica dell'opera 98C	39
6.2.4	Analisi idraulica delle opere 98D e 99	39
6.2.5	Analisi idraulica dell'opera 100	40



8.2.2.2	Schematizzazione geometrica dello stato di progetto	78
8.2.2.3	Condizioni al contorno	81
8.2.2.4	Coefficienti di resistenza distribuita	81
8.2.2.5	Verifica nella situazione attuale	81
8.2.2.6	Verifica nella situazione di progetto	86
8.2.2.7	Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)	91
8.2.3	Analisi idraulica dell'opera sul Rio Colsio	94
8.2.3.1	Schematizzazione geometrica dello stato attuale	94
8.2.3.2	Schematizzazione geometrica dello stato di progetto	95
8.2.3.3	Condizioni al contorno	96
8.2.3.4	Coefficienti di resistenza distribuita	96
8.2.3.5	Verifica nella situazione attuale	96
8.2.3.6	Verifica nella situazione di progetto	100
8.2.3.7	Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)	103
8.2.4	Analisi idraulica dell'opera minore in sinistra Litteglia	104
<b>9.</b>	<b>INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SP22 – INTERFERENZA RETICOLO MINORE</b>	<b>104</b>
9.1	Analisi idrologica	104
9.2	Analisi idraulica	106
9.2.1	Analisi idraulica dell'attraversamento alimentato dal bacino 1	106
9.2.2	Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 2	107
9.2.3	Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con le aste alimentate dai bacini 3 e 4107	
9.2.4	Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 5	107
9.2.5	Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 6 (rio Tongusci)	107
9.2.6	Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 7	107
<b>10.</b>	<b>INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SP22 – PONTE SUL TORRENTE LAVAGNA</b>	<b>108</b>
10.1	Analisi idrologica	108
10.2	Analisi idraulica	109
10.2.1	Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni	111
10.2.1.1	Condizioni fisiche di riferimento	112
10.2.1.2	Metodologie applicate	112
10.2.1.3	Schematizzazione geometrica	117
10.2.1.4	Analisi dei risultati ottenuti	117

## **1. PREMESSA**

Oggetto della presente relazione è l'analisi idrologico-idraulica degli interventi necessari per la realizzazione del collegamento stradale tra la Val Fontanabuona e l'autostrada A12.

In questa sede si è effettuata un'analisi idrologico-idraulica volta al dimensionamento delle opere definitive e provvisorie sulle aste naturali interferenti con l'infrastruttura in progetto.

In particolare per le analisi idrologiche sul reticolo idrografico naturale, utili al dimensionamento delle opere definitive e provvisorie, si sono utilizzati i criteri prescritti nei Piani di bacino di assetto idrogeologico redatti dalla Provincia di Genova; le portate di riferimento per la progettazione delle opere definitive sono quelle a tempo di ritorno 200 anni mentre quelle per le opere provvisorie sono quelle a tempo di ritorno 50 anni.

## **2. AUTORITÀ DI BACINO**

Le autorità di bacino competenti sul territorio sono:

- Autorità di bacino della Regione Liguria – Provincia di Genova - Ambito 15, per la parte di tracciato lato Rapallo (connessione con l'autostrada A12)
- Autorità di bacino della Regione Liguria – Provincia di Genova – Torrente Lavagna, per la parte di tracciato in Val Fontanabuona.

Si segnala, inoltre, il PTA (Piano di Tutela delle Acque) approvato con delibera n. 32 del 24/11/09 ed il PTR (Piano Territoriale Regionale) della Regione Liguria.

## **3. RIFERIMENTI NORMATIVI**

### **3.1 Normativa nazionale**

Di seguito vengono riportate le principali leggi nazionali in materia ambientale e di difesa del suolo, accompagnate da un breve stralcio descrittivo.

RD 25/07/1904 n° 523

Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267

Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani. La legge introduce il vincolo idrogeologico.

DPR 15/01/1972 n° 8

Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici.

L. 431/85 (Legge Galasso)

Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.

L. 183/89

Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo. Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1 comma 1).

Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l'Autorità di Bacino (art. 12). Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15,16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).

DPR 14/4/94

Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183.

DPR 18/7/95

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino.

DPCM 4/3/96

Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli).

Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112

Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59.

DPCM 29/9/98

Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180. Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).

L. 267/98 (Legge Sarno)

Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania. La legge impone alle Autorità di Bacino

nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).

#### L. 365/00 (Legge Soverato)

Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000. La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).

### **3.2 Normativa regionale**

- Regolamento Regionale n°3 del 14/07/11 Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua<sup>1</sup>
- L.R. n. 4 del 22/01/99 Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico
- L.R. n. 39 del 28/10/08 Istituzione delle Autorità d'ambito per l'esercizio delle funzioni degli enti locali in materia di risorse idriche e gestione dei rifiuti
- L.R. n. 39 del 03/12/07 Programmi regionali di intervento strategico per agevolare la realizzazione delle grandi opere infrastrutturali attraverso la ricerca della coesione territoriale
- L.R. n. 19 del 13/08/07 Disposizione per la tutela delle risorse idriche
- L.R. n. 39 del 06/10/09 Conservazione delle geodiversità
- L.R. n. 30 del 06/08/09 Promozione della realizzazione delle autostrade di interesse regionale, delle infrastrutture ferroviarie regionali e della fattibilità di tratte viarie strategiche sul territorio regionale
- L.R. n. 10 del 09/04/09 Norme per le bonifiche dei siti contaminati
- R.R. n. 5 del 24/12/08 Misure per la conservazione e per la tutela delle zone ZPS
- L.R. n. 14 del 26/05/06 Regime Transitorio per l'Esercizio delle Funzioni delle Autorità di Bacino di Rilievo Regionale ed Interregionale
- L.R. n. 24 del 29/11/04 Inserimento dell'articolo 110 bis nella Legge Regionale 21 giugno 1999 n. 18 (Adeguamento delle discipline e conferimento delle funzioni agli enti locali in materia di ambiente, difesa del suolo e energia)
- L.R. n. 45 del 16/08/1994 Norme in materia di sicurezza urbana da rischi idrogeologici

---

<sup>1</sup> Bollettino Ufficiale della Regione Liguria del 20 luglio 2011.

Con riferimento alle prescrizioni contenute nei Piani di Bacino e nella normativa nazionale e regionale, nel seguito vengono descritte le ipotesi generali di calcolo adottate sia per lo studio idrologico sia per le verifiche idrauliche degli interventi in progetto.

## 4. IDROLOGIA

### 4.1 Portate di riferimento per i bacini idrografici naturali

Per tutti i corsi d'acqua superficiali interessati da un'opera in progetto è stato individuato il corrispondente bacino imbrifero sotteso a partire dalla CTR in scala 1:10.000.

Come portata di piena di progetto si è assunto in particolare:

- per le opere definitive quella con tempo di ritorno 200 anni;
- per le opere provvisorie quella con tempo di ritorno 50 anni.

Ove disponibili, si è fatto direttamente riferimento ai valori delle portate di piena di riferimento di assegnato tempo di ritorno pubblicate nei Piani di Bacino sopra citati.

Per i corsi d'acqua minori, privi di specifiche indicazioni di portata nei Piano di Bacino, si è assunta una portata di piena di progetto (a cui si è associato convenzionalmente un tempo di ritorno di 200 anni) calcolata utilizzando un contributo unitario pari a:

- $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini fino a  $1 \text{ km}^2$ ;
- $38 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $1$  a  $2 \text{ km}^2$ ;
- $36 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $2$  a  $3 \text{ km}^2$ ;
- $35 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $3$  a  $4 \text{ km}^2$ ;
- $34 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $4$  a  $5 \text{ km}^2$ ;
- $32 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $5$  a  $6 \text{ km}^2$ ;
- $31 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $6$  a  $7 \text{ km}^2$ ;
- $30 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per bacini da  $7$  a  $8 \text{ km}^2$ .

Per il dimensionamento delle opere provvisorie sono stati calcolati i valori di portata di assegnato tempo di ritorno mediante il metodo razionale (o cinematico), basato sulla determinazione indiretta delle portate in funzione delle precipitazioni (così come descritto nel paragrafo seguente), controllando che il valore della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni fosse uguale o prossimo al valore della piena di riferimento, calcolato con il contributo specifico sopra definito. Una volta eseguita la taratura si sono ricavati i valori di piena per tempo di ritorno inferiore che nel caso delle opere provvisorie è pari a 50 anni.

Alle piene sintetiche calcolate con tale criterio si attribuisce implicitamente lo stesso tempo di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

Per il calcolo delle portate di piena si è utilizzata pertanto la formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3,6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);

c = coefficiente medio di deflusso del bacino;

h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curva di possibilità pluviometrica;

t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione del bacino (ore).

#### 4.1.1 Tempo di corrivazione

Per la determinazione della precipitazione critica è necessario valutare il tempo di corrivazione utilizzando formule sperimentali e definendo un valore di riferimento in relazione alla letteratura tecnica sull'argomento e all'esperienza diretta in campo idrologico.

La determinazione del valore del tempo di corrivazione per i bacini di interesse è stata effettuata avvalendosi delle seguenti formule: Giandotti, Pezzoli, Ventura, Pasini e S.C.S.. Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alle corrispondenti sezioni di chiusura. Le grandezze considerate sono le seguenti:

- superficie S (km<sup>2</sup>);
- altitudine massima Hmax (m s.m.);
- altitudine media Hmed (m s.m.);
- quota della sezione di chiusura Hmin (m s.m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza dell'asta principale i (m/m);
- pendenza dei versanti y (m/m);
- parametro CN (definito successivamente).

Vengono di seguito esposte le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati.

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:

$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Pasini:

$$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i}}$$

Formula S.C.S.:

$$t_c = 0,057 \cdot \frac{L^{0,8} \cdot (S' + 1)^{0,7}}{\sqrt{y}}$$

dove il parametro  $S'$  rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, la cui espressione risulta:

$$S' = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN è il "Runoff Curve Number", coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture).

Il valore di CN si ricava con riferimento ai dati riportati nella Tabella 1 e nella Tabella 2 assegnando le seguenti condizioni: classe di appartenenza del suolo, tipo di copertura, destinazione d'uso del suolo e condizioni idrologiche.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

La classificazione del tipo di copertura del complesso è condotta attraverso la stima di 3 fattori: la destinazione d'uso del suolo, il tipo di utilizzo e la condizione idrologica del suolo. Essi sono riassunti nella *Tabella 2*.

Il contenuto d'acqua del suolo in condizioni naturali ha un effetto significativo sia sul volume d'acqua in gioco sia sul deflusso superficiale. Sono distinte tre condizioni:

- condizione I : suoli asciutti.
- condizione II : suoli in condizioni medie.
- condizione III: suoli saturi.

I valori di CN ottenuti dalla *Tabella 1* sono relativi a suoli in condizione II. Se si considerano differenti condizioni si può far riferimento alla *Tabella 2*.

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes  
(Antecedent Moisture Condition II, and  $I_a * 0.2 S$ )

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition			Hydrologic Soil Group				
			A	B	C	D	
Residential:							
Average lot size	Average Impervious						
1/8 acre or less	65		77	85	90	92	
1/4 acre	38		61	75	83	87	
1/3 acre	30		57	72	81	86	
1/2 acre	25		54	70	80	85	
1 acre	20		51	68	79	84	
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98	98	
Streets and roads:							
	paved with curbs and storm sewers		98	98	98	98	
	gravel		76	85	89	91	
	dirt		72	82	87	89	
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94	94	
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93	
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.							
	good condition: grass cover on 75% or more of the area		39	61	74	80	
	fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84	
Fallow	Straight row	----	77	86	91	94	
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91	
	Straight row	Good	67	78	85	89	
	Contoured	Poor	70	79	84	88	
	Contoured	Good	65	75	82	86	
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82	
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81	
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88	
		Good	63	75	83	87	
	Contoured	Poor	63	74	82	85	
		Good	61	75	81	84	
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82	
		Good	59	70	78	81	
Close - seeded legumes 4/ or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85	89	
	Straight row	Good	58	72	81	85	
	Contoured	Poor	64	75	83	85	
	Contoured	Good	55	69	78	83	
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83	
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80	
Pasture			Poor		68	79	86
or range	89						
			Fair			49	69
	79	84					
			Good			39	61
	74	80					
	Contoured	Poor	47	67	81	88	
	Contoured	Fair	6	35	70	79	
Meadow		Good	30	58	71	78	
Woods or Forest land		Poor	45	66	77	83	
		Fair	36	60	73	79	
		Good			25	55	70
Farmsteads	77	----	59	74	82	86	

Tabella 1 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Tabella 2 - Confronto fra i valori di CN nelle diverse condizioni idrologiche (Mc Cuen - SCS Method).

## 5. IDRAULICA

### 5.1 Verifiche idrodinamiche sulla rete idrografica

#### 5.1.1 Opere definitive

Le analisi idrauliche delle opere definitive in progetto sono state condotte applicando schemi di calcolo in moto permanente, visto il comportamento torrentizio dei corsi d'acqua interferenti, escludendo così fenomeni di laminazione del colmo di piena; la schematizzazione inoltre risulta cautelativa dal punto di vista idraulico (nell'ottica del dimensionamento degli attraversamenti) escludendo fenomeni di cappio di piena, in quanto le portate ed i livelli si propagano lungo l'asta fasati temporalmente (cioè coincidenti lungo l'asse tempo).

Le analisi idrauliche sono state condotte mediante la messa a punto ed applicazione di modelli idraulici monodimensionali basati sul codice di calcolo HEC RAS (si veda la descrizione in allegato 1).

## 5.1.1.1 Parametri di scabrezza

Nella scelta dei parametri di scabrezza utilizzati nelle verifiche idrauliche si è fatto riferimento ai valori relativi alla formulazione di Strickler indicati nella Tabella 3.

Descrizione del corso d'acqua	Ks Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee) in buono stato	35-40
Corsi d'acqua con fondo ed argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc.) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella 3 – Coefficienti di scabrezza proposti dal Regolamento Regionale 14 luglio 2011 N.3.

## 5.1.1.2 Franchi di sicurezza

Per la valutazione dell'adeguatezza idraulica delle opere in progetto si è fatto riferimento al succitato Regolamento Regionale che, in funzione della gerarchizzazione idrografica dei corsi d'acqua, stabilisce i seguenti franchi idraulici:

**1. Reticolo idrografico di 1° (S>1 km<sup>2</sup>) e 2° livello (0.25<S<1.0 km<sup>2</sup>)**

- a) Sezione minima tombinatura BxH=2,0x2,0 m
- b) Franco idraulico non inferiore al valore maggiore tra:

carico cinetico della corrente  $V^2/2g$  e

I	argini e difese spondali	cm. 50/100
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 100/150
III	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 150/200

**2. Reticolo idrografico 3° livello (0,1<S<0,25 km<sup>2</sup>)**

- a) Sezione minima tombinatura >3 m<sup>2</sup>
- b) Franco idraulico non inferiore al valore maggiore tra

semi carico cinetico della corrente  $0.5 V^2/2g$  e

I	argini e difese spondali	cm. 50
II	ponti e strutture di attraversamento fino a estensioni longitudinali di m. 12	cm. 75
III	coperture o tombinature (ove ammesse), ponti e strutture di attraversamento oltre m. 12	cm. 100

### 3. Reticolo idrografico minuto ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ )

- a) Sezione minima tombinatura  $> 3 \text{ m}^2$
- b) Franco idraulico non inferiore al valore:
  - 0,3 m per argini e difese spondali (sezioni aperte);
  - 0,5 m per ponti e tombini (sezioni a cielo chiuso).

#### 5.1.2 Opere provvisorie

Le analisi idrauliche delle opere provvisorie, finalizzate a consentire la realizzazione delle opere in progetto, sono state condotte applicando uno schema di calcolo idrodinamico locale, tenuto conto dei modesti valori di portata di piena in gioco e del limitato periodo temporale in cui rimarranno in alveo.

Il calcolo è avvenuto utilizzando come schematizzazione di base quella di moto uniforme, applicando la formulazione proposta da Chezy nel seguito riportata:

$$Q = \chi * \Omega * (R * i_f)^{0.5}$$

$$\chi = c * R^{(1/6)}$$

in cui:

c = coefficiente di resistenza distribuita secondo Gauckler – Strickler ( $\text{m}^{1/3} \text{s}^{-1}$ );

$\Omega$  = area bagnata della sezione idraulica ( $\text{m}^2$ );

R = raggio idraulico (m);

$i_f$  = pendenza del fondo (m/m).

Sulla base dei dati geometrici dell'attraversamento (sezione trasversale e pendenza di fondo) e delle caratteristiche geometriche dell'alveo a monte e a valle di esso, sono state eseguite le verifiche idrauliche relative alle opere provvisorie in progetto.

Malgrado il Regolamento Regionale non disciplini la metodologia di verifica delle opere provvisorie presenti durante la cantierizzazione utile alla realizzazione dell'autostrada in progetto, in sede di assunzione dei parametri di scabrezza utilizzati nelle verifiche idrauliche si è fatto riferimento comunque ai valori prescritti dal succitato Regolamento e indicati nella Tabella 3.

#### 5.1.2.1 Franchi di sicurezza

Le verifiche idrauliche delle opere provvisorie hanno considerato l'opera adeguata se riempita, in linea generale, per valori prossimi all'85% di riempimento della sua sezione; va specificato tuttavia che il criterio di dimensionamento delle opere provvisorie è quello di "immediata rimozione dei rilevati accessori alla presenza del cantiere" se sormontati, in modo da non generare anomalie di deflusso lungo l'asta a valle, non aggravando in questo modo le condizioni di deflusso rispetto allo stato attuale.

## 6. INTERFERENZA SVINCOLO A12 – NUOVA INALVEAZIONE RIO TANGON

### 6.1 Analisi idrologica

I bacini imbriferi dei rii interferenti con lo svincolo A12 (si veda la *Figura 1*) hanno le seguenti superfici:

Rio Tangon (TB001):	$S = 0,768 \text{ km}^2$ ;
Opera 98A (TB002):	$S = 0,028 \text{ km}^2$ ;
Opera 98B (TB003):	$S = 0,024 \text{ km}^2$ ;
Opera 98C (TB004):	$S = 0,021 \text{ km}^2$ ;
Opera 98D (TB005):	$S = 0,007 \text{ km}^2$ ;
Opera 99 (TB006):	$S = 0,013 \text{ km}^2$ ;
Opera 100 (TB007):	$S = 0,010 \text{ km}^2$ ;
Opera 101 (TB008):	$S = 0,006 \text{ km}^2$ ;
Opera bacino B1:	$S = 0,009 \text{ km}^2$ ;
Opera bacino B2:	$S = 0,005 \text{ km}^2$ .

Considerando un contributo specifico di  $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

Rio Tangon:	$Q_{TR200} = 30,72 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Opera 98A:	$Q_{TR200} = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Opera 98B:	$Q_{TR200} = 0,96 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Opera 98C:	$Q_{TR200} = 0,84 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Opera 98D:	$Q_{TR200} = 0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

Opera 99:	QTR200 = <b>0,52</b> m <sup>3</sup> /s;
Opera 100:	QTR200 = <b>0,40</b> m <sup>3</sup> /s;
Opera 101:	QTR200 = <b>0,24</b> m <sup>3</sup> /s;
Opera bacino B1:	QTR200 = <b>0,36</b> m <sup>3</sup> /s;
Opera bacino B2:	QTR200 = <b>0,20</b> m <sup>3</sup> /s.

I parametri fisiografici del bacino del rio Tangon sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

BACINO	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
Rio Tangon	0,768	620	373	125	1,120	38	60

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

BACINO	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
Rio Tangon	0,41	0,22	0,18	0,10	0,17

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,36** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella *Tabella 4* seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	17,6
25	21,6
50	24,6
100	27,6
200	30,5

Tabella 4 – Portate di assegnato tempo di ritorno del Rio Tangon.

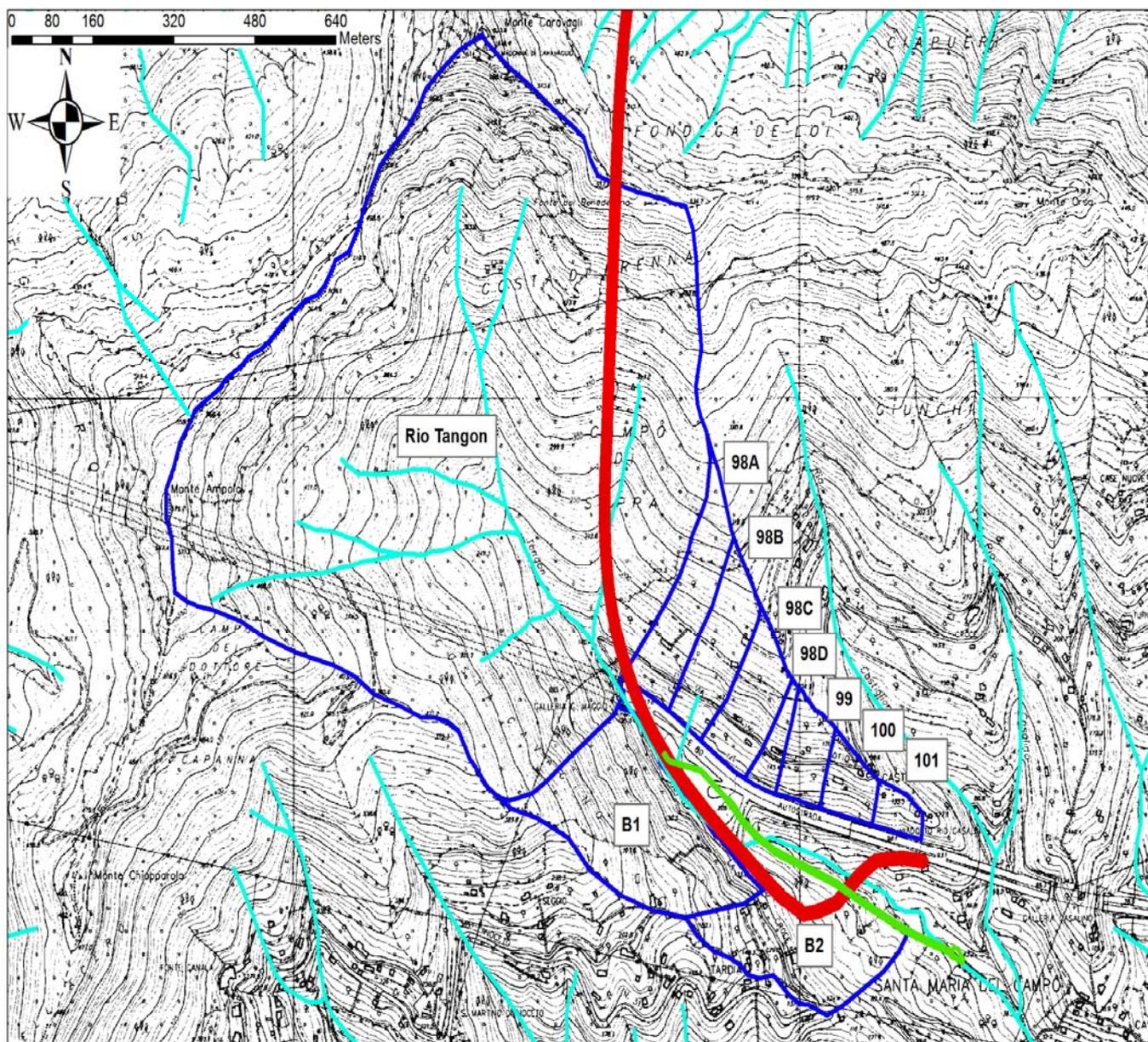


Figura 1 – Bacini imbriferi del rio Tangon e dei rii minori interferenti con lo svincolo A12 (colore blu), collegamento autostradale (colore rosso), deviazione rio Tangon (colore verde).

## 6.2 Analisi idraulica

### 6.2.1 Analisi idraulica dell'opera sul Rio Tangon

#### 6.2.1.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio Tangon nello stato attuale attraversa l'autostrada A12 esistente tramite un tombino ovoidale in ondolato metallico (ARMCO), di lunghezza pari a circa 340 m; l'opera è caratterizzata da una pendenza di fondo pari al 4% e da una sezione trasversale di diametro orizzontale pari a 3,2 m e diametro verticale di 3,85 m.

Il corso d'acqua, a monte dell'opera di attraversamento autostradale, scorre incassato tra i versanti, con pendenze molto elevate (valori compresi tra 18 e 35%). Nel tratto in analisi non vi sono abitati a rischio idraulico di esondazione.

A monte dell'attraversamento autostradale esistente è presente un ponte ad unica campata di una viabilità minore, la cui struttura non interferisce con la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

Da valle dello sbocco del manufatto di attraversamento autostradale la sezione diventa rivestita in cls secondo geometria rettangolare, caratterizzata da un andamento altimetrico a salti di fondo.

Di seguito (Tabella 5) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e manufatti di attraversamento presenti.

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0,00		130,23
	2	20,71		126,39
	3	36,07		123,69
	4	56,87		120,08
	5	64,24		117,52
ponte	5.5		127,00	
	6	75,34		115,64
	7	80,17		115,22
imbocco ovoidale	8	85,54	118,42	114,57
	8.5			
sbocco ovoidale	9	425,56	104,01	100,16
	10	426,52		100,09
	11	428,84		100,00
	12	430,16		98,09
	13	437,69		97,78

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)
	14	438,82		95,86
	15	441,94		95,67
	16	442,86		93,90
	17	444,17		92,77
	18	445,67		91,10
	19	458,42		82,24
	20	465,76		79,82

Tabella 5 – Profilo longitudinale del Tangon nelle condizioni di stato attuale.

#### 6.2.1.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza del Tangon rispetto allo stato attuale, prevedendo una sistemazione a salti di fondo di pendenza pari al 2%.

In particolare il corso d'acqua viene deviato a valle dell'attraversamento autostradale esistente, per la presenza dello svincolo autostradale in progetto; tale soluzione d'intervento comporta la deviazione della stessa opera ovoidale ARMCO.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 142 sezioni trasversali che ne rappresentano le diverse tipologie di sistemazione.

In particolare la sistemazione prevista risulta costituita:

- da un tratto di tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=4,0x4,0 m e di lunghezza di 88,0 m, che si innesta in quello esistente a sezione ovoidale;
- da un tratto di canale in c.a. a sezione rettangolare con il fondo rivestito in massi di cava, di dimensioni equivalenti a quelle dello scatolare e di estensione di circa 60 m;
- da un tratto rivestito in gabbioni metallici di altezza variabile da 3,7 a 2,7 m e lunghezza di circa 530 m, caratterizzato da un andamento altimetrico a salti di fondo, al fine di mantenere contenuta la pendenza e ridurre l'energia della corrente. Nel tratto terminale della sistemazione è prevista una vasca, sempre in gabbioni metallici, che consentirà l'inserimento dell'opera provvisoria durante le fasi di cantiere e che, ultimati i lavori, costituirà una vasca di dissipazione dell'energia della corrente di piena, regolata da una sezione tarata localizzata a fine sistemazione.

Non si è prevista, a monte del manufatto autostradale esistente, alcuna vasca di intercettazione del trasporto solido in quanto il fondo alveo del corso d'acqua incide il substrato affiorante. Non si è inoltre realizzata alcuna opera di trattenuta del trasporto flottante sempre a monte del manufatto esistente, in quanto l'elevatissima pendenza e la sezione ridottissima dell'alveo non lo consentono.

Di seguito, nella Tabella 6, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
naturale	142	0,00		133,11	134,57	130,23
naturale	141	20,71		129,92	129,58	126,39
naturale	140	36,07		126,34	126,90	123,69
naturale	139	56,87		125,00	123,24	120,08
naturale	138	64,24	127,00	129,03	127,57	117,52
ponte esistente	137			Bridge		
naturale	136	75,34		133,61	127,34	115,64
naturale	135	80,17		132,22	127,34	115,22
imbocco ovoidale esistente	134	85,54	118,42	118,80	118,80	114,57
	133			Culvert		
sbocco ovoidale inizio deviazione	132	221,93	113,02	113,40	113,40	109,17
imbocco scatolare	131	222,93	112,67	114,60	114,60	108,67
	130			Culvert		
sbocco scatolare inizio canale aperto in cls	129	310,00	111,36	113,29	113,29	107,36
canale aperto cls	128	320,52		111,15	111,15	107,15
canale aperto cls	127	335,52		110,85	110,85	106,85
canale aperto cls	126	350,60		110,55	110,55	106,55
fine canale aperto in cls	125	370,16		110,15	110,15	106,15
inizio gabbioni valle salto	124	370,36		110,15	110,15	105,65
monte salto	123	393,16		108,89	108,89	105,19
valle salto	122	393,36		108,89	108,89	104,69
monte salto	121	423,16		106,79	106,79	104,09
valle salto	120	423,36		106,79	106,79	103,09
monte salto	119	443,15		105,39	105,39	102,69
valle salto	118	443,35		105,39	105,39	101,69
monte salto	117	463,15		103,99	103,99	101,29
valle salto	116	463,35		103,99	103,99	100,29
monte salto	115	483,15		102,59	102,59	99,89
valle salto	114	483,35		102,59	102,59	98,89
monte salto	113	503,14		101,19	101,19	98,49
valle salto	112	503,35		101,19	101,19	97,49
monte salto	111	533,14		99,59	99,59	96,89
valle salto	110	533,34		99,59	99,59	96,39
monte salto	109	543,13		98,89	98,89	96,19
valle salto	108	543,33		98,89	98,89	95,19
monte salto	107	553,13		97,69	97,69	94,99
valle salto	106	553,33		97,69	97,69	93,99
monte salto	105	563,13		96,49	96,49	93,79
valle salto	104	563,33		96,49	96,49	92,79
monte salto	103	573,13		95,29	95,29	92,59

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
valle salto	102	573,33		95,29	95,29	91,59
monte salto	101	588,13		93,99	93,99	91,29
valle salto	100	588,33		93,99	93,99	90,29
monte salto	99	593,13		92,89	92,89	90,19
valle salto	98	593,33		92,89	92,89	89,19
monte salto	97	598,12		91,79	91,79	89,09
valle salto	96	598,32		91,79	91,79	88,09
monte salto	95	603,12		90,69	90,69	87,99
valle salto	94	603,32		90,69	90,69	86,99
monte salto	93	608,12		89,59	89,59	86,89
valle salto	92	608,32		89,59	89,59	85,89
monte salto	91	612,62		88,50	88,50	85,80
valle salto	90	612,82		88,50	88,50	84,80
monte salto	89	631,12		87,13	87,13	84,43
valle salto	88	631,32		87,13	87,13	83,43
monte salto	87	638,12		85,99	85,99	83,29
valle salto	86	638,32		85,99	85,99	82,29
monte salto	85	645,12		84,85	84,85	82,15
valle salto	84	645,32		84,85	84,85	81,15
monte salto	83	648,12		83,79	83,79	81,09
valle salto	82	648,32		83,79	83,79	80,09
monte salto	81	652,12		82,71	82,71	80,01
valle salto	80	652,32		82,71	82,71	79,01
monte salto	79	657,11		81,61	81,61	78,91
valle salto	78	657,31		81,61	81,61	77,91
monte salto	77	662,11		80,51	80,51	77,81
valle salto	76	662,31		80,51	80,51	76,81
monte salto	75	668,11		79,39	79,39	76,69
valle salto	74	668,31		79,39	79,39	75,69
imbocco scatolare	73	671,53	79,62	-	-	75,62
sbocco scatolare	72	679,73	79,46	-	-	75,46
monte salto	71	683,11		79,09	79,09	75,39
valle salto	70	683,31		79,09	79,09	74,39
monte salto	69	695,11		76,85	76,85	74,15
valle salto	68	695,31		76,85	76,85	73,15
monte salto	67	701,11		75,73	75,73	73,03
valle salto	66	701,31		75,73	75,73	72,03
monte salto	65	707,11		74,61	74,61	71,91
valle salto	64	707,31		74,63	74,63	70,93
monte salto	63	714,10		73,49	73,49	70,79
valle salto	62	714,30		73,51	73,51	69,81
monte salto	61	721,10		72,37	72,37	69,67
valle salto	60	721,30		72,39	72,39	68,69

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
monte salto	59	728,10		71,25	71,25	68,55
valle salto	58	728,30		71,26	71,26	67,56
monte salto	57	735,10		70,12	70,12	67,42
valle salto	56	735,30		70,14	70,14	66,44
monte salto	55	742,10		69,00	69,00	66,30
valle salto	54	742,30		69,02	69,02	65,32
monte salto	53	749,10		67,88	67,88	65,18
valle salto	52	749,30		67,88	67,88	64,18
monte salto	51	755,10		66,76	66,76	64,06
valle salto	50	755,30		66,76	66,76	63,06
monte salto	49	761,10		65,64	65,64	62,94
valle salto	48	761,30		65,64	65,64	61,94
monte salto	47	767,10		64,52	64,52	61,82
valle salto	46	767,30		64,52	64,52	61,32
monte salto	45	778,09		63,80	63,80	61,10
valle salto	44	778,29		63,80	63,80	60,60
monte salto	43	785,09		63,16	63,16	60,46
valle salto	42	785,29		63,16	63,16	59,46
monte salto	41	792,09		62,02	62,02	59,32
valle salto	40	792,29		62,02	62,02	58,32
monte salto	39	799,09		60,88	60,88	58,18
valle salto	38	799,29		60,88	60,88	57,18
monte salto	37	806,09		59,74	59,74	57,04
valle salto	36	806,29		59,74	59,74	56,04
monte salto	35	813,09		58,60	58,60	55,90
valle salto	34	813,29		58,60	58,60	54,90
monte salto	33	820,09		57,46	57,46	54,76
valle salto	32	820,29		57,46	57,46	53,76
monte salto	31	830,08		56,26	56,26	53,56
valle salto	30	830,28		56,26	56,26	52,56
monte salto	29	844,08		54,98	54,98	52,28
valle salto	28	844,28		54,98	54,98	51,28
monte salto	27	847,08		54,92	54,92	51,22
valle salto	26	847,28		54,92	54,92	50,22
monte salto	25	850,08		53,86	53,86	50,16
valle salto	24	850,28		53,86	53,86	49,16
monte salto	23	853,08		52,80	52,80	49,10
valle salto	22	853,28		52,80	52,80	48,10
monte salto	21	856,08		51,74	51,74	48,04
valle salto	20	856,28		51,74	51,74	47,04
monte salto	19	859,08		50,68	50,68	46,98
valle salto	18	859,28		50,68	50,68	45,98
monte salto	17	862,08		49,62	49,62	45,92

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
valle salto	16	862,28		49,62	49,62	44,92
monte salto	15	865,08		48,56	48,56	44,86
valle salto	14	865,28		48,56	48,56	43,86
monte salto	13	868,08		47,50	47,50	43,80
valle salto	12	868,28		47,50	47,50	42,80
monte salto	11	871,08		46,44	46,44	42,74
valle salto	10	871,28		46,44	46,44	41,74
monte salto	9	874,08		45,38	45,38	41,68
valle salto	8	874,28		45,38	45,38	41,08
gabbioni	7	876,28		45,32	45,32	41,02
gabbioni inizio vasca di dissipazione	6	877,78		44,69	44,69	40,99
	5	882,78		44,59	44,59	40,89
	4	887,78		44,49	44,49	40,79
	3	892,78		44,39	44,39	40,69
gabbioni fine vasca di dissipazione	2	897,78		44,29	44,29	40,59
gabbioni raccordo a esistente	1	902,78		44,19	44,19	40,49

Tabella 6 - Profilo longitudinale del rio nello stato di progetto.

Si specifica che nello stato di progetto, per esigenze numeriche si sono rinumerate le sezioni a partire da valle verso monte; nella seguente tabella si evidenzia la correlazione tra i codici di numerazione di stato attuale e progetto

Tipologia	Sezione attuale	Sezione progetto
(-)	(-)	(-)
	1	142
	2	141
	3	140
	4	139
	5	138
ponte	5.5	137
	6	136
	7	135
imbocco ovoidale	8	134

Tabella 7 – Corrispondenza tra i codici delle sezioni di stato attuale e progetto.

#### 6.2.1.3 Condizioni al contorno per la configurazione di stato attuale

Le condizioni al contorno introdotte nel modello nella configurazione di stato attuale sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 30,72 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- portate delle opere minori 98A-B-C-D inserite internamente all'opera, a ottenere un valore di 33,92 m<sup>3</sup>/s allo sbocco dell'opera (sez.9);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.1).

#### 6.2.1.4 Condizioni al contorno per la configurazione di progetto

In seguito degli interventi di deviazione previsti dal progetto riguardanti sia l'asta del Tangon che delle opere minori esistenti, le condizioni al contorno introdotte nel modello sono risultate le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 30,72 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- portate delle opere minori o confluenze naturali (unicamente bacino B2) così distribuite

Note	Sezione	Portata cumulata	Portata singola confluenza	Confluenza opera o confluenza naturale
-	-	m3/s	m3/s	-
imbocco scatolare in progetto	131	32,80	2,08	98A-B
canale aperto cls	127	33,64	0,84	98C
gabbioni valle salto	113	34,80	1,16	98D-99-B1
gabbioni monte salto	95	35,20	0,40	100
gabbioni monte salto	63	35,44	0,24	101
gabbioni valle salto	54	35,64	0,20	confluenza naturale B2

- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.20).

#### 6.2.1.5 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning); per il tratto di tombino ovoidale in ondulato metallico si è assunto un valore di 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s).

Per i tratti in progetto si sono assunti i seguenti valori:

- tombini o sezioni rivestite in cls, 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning),
- rivestimenti in gabbioni metallici, 30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

#### 6.2.1.6 Verifica nella situazione attuale

Come detto in precedenza lungo il torrente Tangon non vi sono aree soggette a rischio idraulico di inondazione; la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori molto disomogenei (1,0 e 12,7 m/s) a causa dei manufatti presenti e delle brusche variazioni di pendenza del fondo alveo, queste ultime presenti soprattutto nelle estremità dei tratti di monte e di valle. Il tipo di moto è di corrente veloce ad eccezione di un breve tratto a monte del manufatto ovoidale esistente in cui si ha corrente lenta.

Il manufatto di attraversamento autostradale fa registrare nella sezione localizzata 5 m a monte dell'imbocco un franco di sicurezza pari a 0,29 m (intradosso a quota 118,42 m s.m. e quota idrometrica di 118,13 m s.m.); se invece il franco di sicurezza viene misurato nella sezione di imbocco dell'opera risulta di 1,35 m, in quanto la corrente di piena assume una quota pari all'altezza critica (117,07 m s.m.). All'interno dell'opera il deflusso avviene con franchi di sicurezza superiori a 2,2 m. Il carico totale lungo l'estensione dell'attraversamento è confinato nello spessore della soletta del manufatto.

Di seguito (Tabella 8 e Figura 2) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)
	1	0,00		133,11	134,57	30,72	130,23	131,55	132,47	135,75	0,169	9,08	3,39	4,71	3,42	-
	2	20,71		129,92	129,58	30,72	126,39	128,05	129,04	132,28	0,164	9,12	3,37	4,06	3,20	-
	3	36,07		126,34	126,90	30,72	123,69	125,53	126,54	129,77	0,163	9,12	3,37	3,68	3,04	-
	4	56,87		125,00	123,24	30,72	120,08	120,62	121,46	125,35	0,280	9,64	3,19	6,19	4,29	-
	5	64,24	127,00	129,03	127,57	30,72	117,52	120,39	119,48	120,61	0,003	2,08	14,74	7,39	0,47	6,61
ponte	5.5			Bridge												-
	6	75,34		133,61	127,34	30,72	115,64	118,11	-	118,28	0,002	1,80	17,10	9,66	0,43	-
	7	80,17		132,22	127,34	30,72	115,22	118,10	-	118,19	0,001	1,31	23,43	10,66	0,28	-
imbocco ovoidale	8	85,54	118,42	118,80	118,80	30,72	114,57	118,13	115,99	118,18	0,000	1,01	30,51	10,60	0,19	0,29
	8.5			Culvert												-
sbocco ovoidale	9	425,56	104,01	105,95	105,95	33,92	100,16	101,06	102,01	104,99	0,192	8,78	3,50	3,90	2,96	2,95
	10	426,52		105,69	105,57	33,92	100,09	101,13	102,21	105,58	0,168	9,35	3,63	3,51	2,94	-
	11	428,84		104,48	104,05	33,92	100,00	101,13	102,15	105,07	0,141	8,80	3,85	3,44	2,65	-
	12	430,16		104,05	103,09	33,92	98,09	99,03	100,23	104,67	0,235	10,51	3,23	3,48	3,49	-
	13	437,69		99,37	99,35	33,92	97,78	98,99	100,09	102,79	0,137	8,63	3,93	3,48	2,59	-
	14	438,82		98,76	98,75	33,92	95,86	96,84	98,04	102,41	0,229	10,46	3,24	3,45	3,44	-
	15	441,94		97,10	97,11	33,92	95,67	96,64	97,52	101,54	0,202	9,94	3,77	6,74	3,24	-
	16	442,86		96,51	96,51	33,92	93,90	94,92	96,28	101,19	0,273	11,09	3,06	3,44	3,75	-
	17	444,17		95,66	95,66	33,92	92,77	94,39	95,48	100,81	0,284	11,22	3,02	3,16	3,67	-
	18	445,67		94,63	95,00	33,92	91,10	91,85	93,17	100,11	0,421	12,73	2,66	3,91	4,92	-
	19	458,42		84,70	84,66	33,92	82,24	83,94	83,94	84,61	0,013	3,60	9,41	7,13	1,00	-
	20	465,76		83,02	82,98	33,92	79,82	80,49	81,23	84,07	0,197	8,38	4,05	7,66	3,68	-

Tabella 8 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio Tangon per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

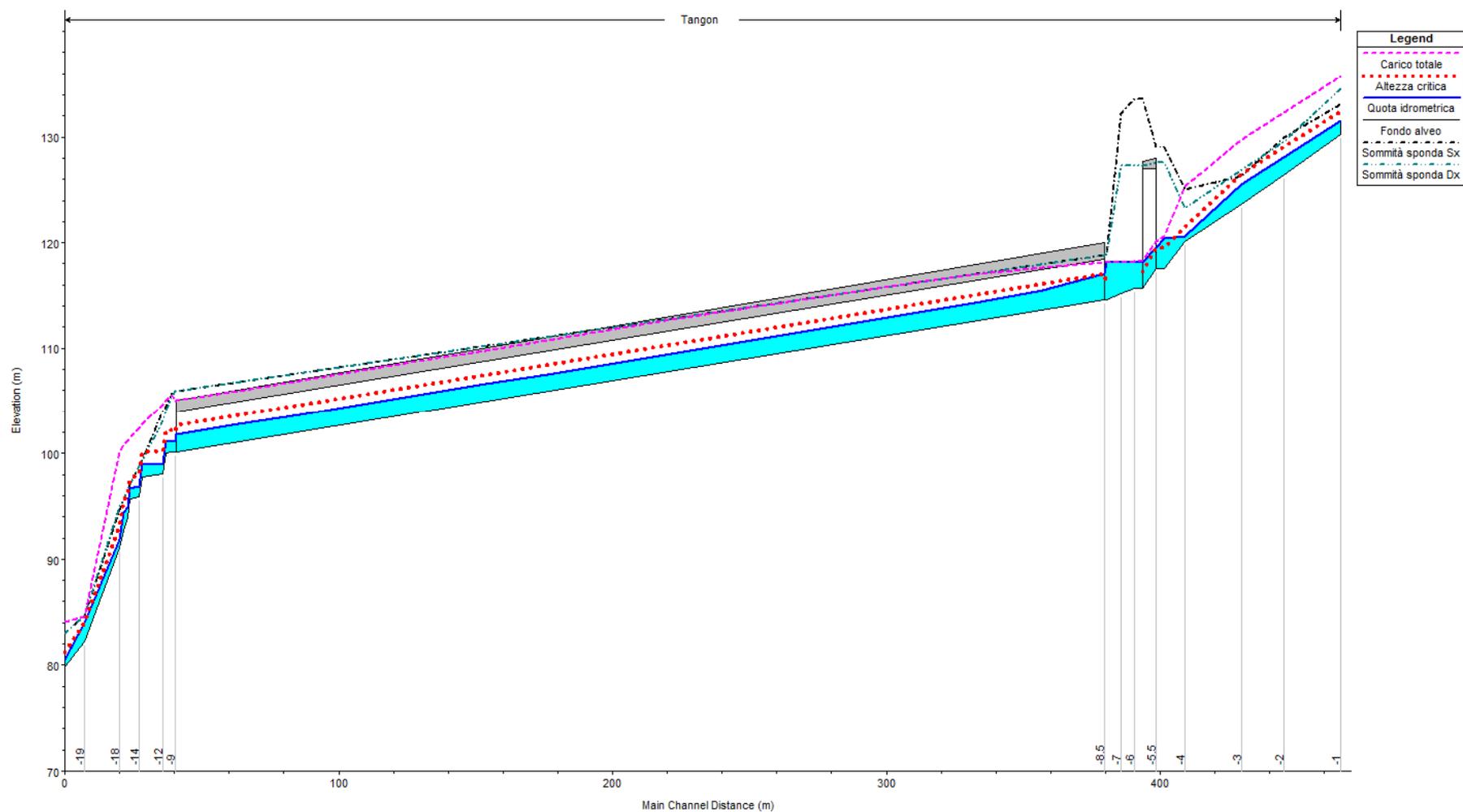


Figura 2 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio Tangon per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

### 6.2.1.7 Verifica nella situazione di progetto

Nello stato di progetto il Tangon viene deviato rispetto al tracciato attuale per effetto della presenza dell'area di svincolo del collegamento autostradale. La nuova inalveazione impone la necessità di dismettere parte dell'opera di attraversamento esistente in ondulato metallico per consentire la deviazione del corso d'acqua; la sistemazione prevista è descritta nel dettaglio nel paragrafo 6.2.1.2.

In particolare in corrispondenza dell'imbocco dell'opera esistente la configurazione idraulica relativa al franco di sicurezza è analoga allo stato attuale in quanto non vi sono variazioni di livello idrico.

I nuovi manufatti scatolari in progetto sono i seguenti:

- tombino scatolare di dimensioni BxH=4,0x4,0 m (sez.131-129) realizzato a prolungamento di una parte di quello esistente all'inizio della deviazione in progetto; esso presenta un franco di sicurezza pari a 3,26 m in corrispondenza dell'imbocco (adiacente allo sbocco dell'ovoidale esistente) e di 2,92 m in corrispondenza dello sbocco; rispetto a quanto previsto dal Regolamento regionale N.3 in termini di valori tabellari di franco idraulico il manufatto risulta adeguato; il carico cinetico è sempre inferiore alla quota d'intradosso dello scatolare in progetto ad eccezione del tratto di innesto con quello esistente di monte, in cui è contenuto all'interno dello spessore della soletta;
- tombino scatolare di dimensioni BxH=4,0x4,0 m (sez.73-72) realizzato nel tratto di corso d'acqua in deviazione sistemato in gabbioni metallici, al servizio della strada di accesso al presidio di trattamento delle acque di piattaforma; esso fa registrare un franco idraulico di sicurezza pari a 1,54 m nella sezione di imbocco e di 1,90 m in quella di sbocco, valori superiori a quelli richiesti dal Regolamento N.3; l'opera risulta pertanto adeguata.

Da valle del nuovo scatolare in cls di dimensioni BxH=4,0x4,0 m in progetto (sez. 131-129) che costituisce il prolungamento di quello esistente, la sistemazione diventa a cielo aperto caratterizzata da un primo tratto di sezione rettangolare in cls (sez.129-125); la nuova inalveazione in progetto risulta adeguata poiché ha franco di sicurezza sempre superiore a 2 m e il carico cinetico risulta inferiore alla sommità delle sponde. Anche l'ultimo tratto rivestito in gabbioni metallici risulta adeguato in quanto il franco di sicurezza è sempre abbondantemente superiore ad 0,5 m (valore minimo raggiunto pari a 0,77m) e il carico cinetico risulta quasi sempre contenuto all'interno delle sommità spondali; solo localmente si registrano valori del carico cinetico di poco superiori alle sommità spondali di valori compresi tra 0,01 e 0,29 m; quest'ultimo valore in corrispondenza del tratto immediatamente a monte della vasca di dissipazione, prevista a fine sistemazione. Sulla base di quanto previsto dal regolamento N.3 la sistemazione in progetto si può considerare adeguata idraulicamente.

Nel tratto terminale si prevede di realizzare una vasca di dissipazione sempre in gabbioni metallici (di larghezza massima di circa 13 m alla base e 15 in sommità) regolata dalla sezione di raccordo al corso d'acqua esistente a fine sistemazione (di larghezza alla base pari a 5 m e 7 m in sommità). La vasca riduce le velocità della corrente in arrivo da monte dal valore prossimo a 5 m/s nelle sez.7-8 a valori di 1,2-1,8 m/s

nel tratto tra le sez. 6-3; nel tratto di raccordo all'esistente la velocità acquisisce un valore di circa 3,0 m/s che risulta ancora in corrente lenta.

Di seguito (Tabella 9 e Figura 3) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)	(m)
naturale	142	0,00		133,11	134,57	30,72	130,23	131,55	132,47	135,75	0,169	9,08	3,39	4,71	3,42	-	0,00
naturale	141	20,71		129,92	129,58	30,72	126,39	128,05	129,04	132,28	0,164	9,12	3,37	4,06	3,20	-	0,00
naturale	140	36,07		126,34	126,90	30,72	123,69	125,53	126,54	129,77	0,163	9,12	3,37	3,68	3,04	-	0,00
naturale	139	56,87		125,00	123,24	30,72	120,08	120,62	121,46	125,35	0,280	9,64	3,19	6,19	4,29	-	0,00
naturale	138	64,24	127,00	129,03	127,57	30,72	117,52	120,39	119,48	120,61	0,003	2,08	14,74	7,39	0,47	<b>6,61</b>	0,00
ponte esistente	137			Bridge												-	0,00
naturale	136	75,34		133,61	127,34	30,72	115,64	118,11		118,28	0,002	1,80	17,10	9,66	0,43	-	0,00
naturale	135	80,17		132,22	127,34	30,72	115,22	118,10		118,19	0,001	1,31	23,43	10,66	0,28	-	0,00
imbocco ovoidale esistente	134	85,54	118,42	118,80	118,80	30,72	114,57	118,13	115,98	118,18	0,000	1,01	30,51	10,60	0,19	<b>0,29</b>	0,00
	133			Culvert													-
sbocco ovoidale inizio deviazione	132	221,93	113,02	113,40	113,40	30,72	109,17	109,81	110,58	113,87	0,104	8,93	3,44	6,86	4,02	<b>3,21</b>	-
imbocco scatolare	131	222,93	112,67	114,60	114,60	32,80	108,67	109,41	110,35	113,75	0,088	9,23	3,55	4,80	3,42	<b>3,26</b>	-
	130			Culvert													-
sbocco scatolare inizio canale aperto in cls	129	310,00	111,36	113,29	113,29	32,80	107,36	108,44	109,04	110,49	0,029	6,35	5,17	4,80	1,95	<b>2,92</b>	-
canale aperto cls	128	320,52		111,15	111,15	32,80	107,15	108,84	109,04	110,04	0,013	4,87	6,74	4,00	1,20	<b>2,31</b>	-
canale aperto cls	127	335,52		110,85	110,85	33,64	106,85	108,50	108,78	109,82	0,014	5,10	6,60	4,00	1,27	<b>2,35</b>	-
canale aperto cls	126	350,60		110,55	110,55	33,64	106,55	108,12	108,48	109,58	0,016	5,35	6,29	4,00	1,36	<b>2,43</b>	-

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
fine canale aperto in cls	125	370,16		110,15	110,15	33,64	106,15	107,67	108,08	109,23	0,018	5,54	6,07	4,00	1,44	<b>2,48</b>	-
inizio gabbioni valle salto	124	370,36		110,15	110,15	33,64	105,65	106,92	107,65	109,16	0,154	6,63	5,08	4,00	1,88	<b>3,23</b>	
monte salto	123	393,16		108,89	108,89	33,64	105,19	107,19	107,19	108,03	0,046	4,05	8,32	5,00	1,00	<b>1,70</b>	
valle salto	122	393,36		108,89	108,89	33,64	104,69	106,10	106,69	107,92	0,115	5,97	5,63	4,00	1,61	<b>2,79</b>	
monte salto	121	423,16		106,79	106,79	33,64	104,09	105,96	105,96	106,70	0,042	3,82	8,80	6,00	1,01	<b>0,83</b>	
valle salto	120	423,36		106,79	106,79	33,64	103,09	104,38	105,09	106,54	0,147	6,52	5,16	4,00	1,83	<b>2,41</b>	
monte salto	119	443,15		105,39	105,39	33,64	102,69	104,56	104,56	105,30	0,042	3,82	8,80	6,00	1,01	<b>0,83</b>	
valle salto	118	443,35		105,39	105,39	33,64	101,69	102,98	103,69	105,14	0,147	6,51	5,16	4,00	1,83	<b>2,41</b>	
monte salto	117	463,15		103,99	103,99	33,64	101,29	103,16	103,16	103,90	0,042	3,82	8,80	6,00	1,01	<b>0,83</b>	
valle salto	116	463,35		103,99	103,99	33,64	100,29	101,58	102,29	103,74	0,147	6,52	5,16	4,00	1,83	<b>2,41</b>	
monte salto	115	483,15		102,59	102,59	33,64	99,89	101,76	101,76	102,50	0,042	3,82	8,80	6,00	1,01	<b>0,83</b>	
valle salto	114	483,35		102,59	102,59	33,64	98,89	100,18	100,89	102,34	0,147	6,52	5,16	4,00	1,83	<b>2,41</b>	
monte salto	113	503,14		101,19	101,19	34,80	98,49	100,40	100,40	101,15	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	112	503,35		101,19	101,19	34,80	97,49	98,82	99,53	101,00	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	
monte salto	111	533,14		99,59	99,59	34,80	96,89	98,80	98,80	99,55	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	110	533,34		99,59	99,59	34,80	96,39	98,02	98,43	99,47	0,082	5,34	6,52	4,00	1,33	<b>1,57</b>	
monte salto	109	543,13		98,89	98,89	34,80	96,19	98,10	98,10	98,85	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	108	543,33		98,89	98,89	34,80	95,19	96,52	97,23	98,70	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	
monte salto	107	553,13		97,69	97,69	34,80	94,99	96,90	96,90	97,65	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	106	553,33		97,69	97,69	34,80	93,99	95,32	96,03	97,50	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	
monte salto	105	563,13		96,49	96,49	34,80	93,79	95,70	95,70	96,45	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	104	563,33		96,49	96,49	34,80	92,79	94,12	94,83	96,30	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	
monte salto	103	573,13		95,29	95,29	34,80	92,59	94,50	94,50	95,25	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	102	573,33		95,29	95,29	34,80	91,59	92,92	93,63	95,10	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
monte salto	101	588,13		93,99	93,99	34,80	91,29	93,20	93,20	93,95	0,041	3,85	9,04	6,00	1,00	<b>0,79</b>	
valle salto	100	588,33		93,99	93,99	34,80	90,29	91,62	92,33	93,80	0,144	6,53	5,33	4,00	1,81	<b>2,37</b>	
monte salto	99	593,13		92,89	92,89	34,80	90,19	91,60	92,10	93,12	0,098	5,46	6,37	5,00	1,54	<b>1,29</b>	
valle salto	98	593,33		92,89	92,89	34,80	89,19	90,41	91,23	92,99	0,182	7,11	4,89	4,00	2,05	<b>2,48</b>	
monte salto	97	598,12		91,79	91,79	34,80	89,09	90,58	91,00	91,93	0,147	5,15	6,75	5,00	1,42	<b>1,21</b>	
valle salto	96	598,32		91,79	91,79	34,80	88,09	89,35	90,13	91,78	0,298	6,90	5,04	4,00	1,96	<b>2,44</b>	
monte salto	95	603,12		90,69	90,69	35,20	87,99	89,64	89,90	90,75	0,109	4,66	7,56	5,00	1,21	<b>1,05</b>	
valle salto	94	603,32		90,69	90,69	35,20	86,99	88,30	89,04	90,59	0,271	6,69	5,26	4,00	1,86	<b>2,39</b>	
monte salto	93	608,12		89,59	89,59	35,20	86,89	88,52	88,81	89,66	0,113	4,72	7,46	5,00	1,23	<b>1,07</b>	
valle salto	92	608,32		89,59	89,59	35,20	85,89	87,20	87,94	89,50	0,273	6,72	5,24	4,00	1,87	<b>2,39</b>	
monte salto	91	612,62		88,50	88,50	35,20	85,80	87,39	87,72	88,59	0,123	4,86	7,25	5,00	1,29	<b>1,11</b>	
valle salto	90	612,82		88,50	88,50	35,20	84,80	86,10	86,85	88,44	0,280	6,77	5,20	4,00	1,90	<b>2,40</b>	
monte salto	89	631,12		87,13	87,13	35,20	84,43	86,35	86,35	87,11	0,074	3,87	9,10	6,00	1,00	<b>0,78</b>	
valle salto	88	631,32		87,13	87,13	35,20	83,43	84,78	85,48	86,94	0,251	6,52	5,40	4,00	1,79	<b>2,35</b>	
monte salto	87	638,12		85,99	85,99	35,20	83,29	85,03	85,21	86,01	0,107	4,39	8,01	6,00	1,21	<b>0,96</b>	
valle salto	86	638,32		85,99	85,99	35,20	82,29	83,62	84,34	85,85	0,261	6,61	5,33	4,00	1,83	<b>2,37</b>	
monte salto	85	645,12		84,85	84,85	35,20	82,15	83,84	84,07	84,89	0,102	4,55	7,74	5,00	1,17	<b>1,01</b>	
valle salto	84	645,32		84,85	84,85	35,20	81,15	82,47	83,20	84,73	0,267	6,66	5,28	4,00	1,85	<b>2,38</b>	
monte salto	83	648,12		83,79	83,79	35,20	81,09	82,54	83,01	84,02	0,166	5,39	6,53	5,00	1,51	<b>1,25</b>	
valle salto	82	648,32		83,79	83,79	35,20	80,09	81,34	82,14	83,86	0,311	7,03	5,00	4,00	2,01	<b>2,45</b>	
monte salto	81	652,12		82,71	82,71	35,20	80,01	81,52	81,93	82,87	0,145	5,14	6,84	5,00	1,40	<b>1,19</b>	
valle salto	80	652,32		82,71	82,71	35,20	79,01	80,29	81,06	82,71	0,295	6,90	5,10	4,00	1,95	<b>2,42</b>	
monte salto	79	657,11		81,61	81,61	35,20	78,91	80,53	80,83	81,68	0,116	4,76	7,40	5,00	1,25	<b>1,08</b>	
valle salto	78	657,31		81,61	81,61	35,20	77,91	79,22	79,96	81,53	0,275	6,73	5,23	4,00	1,88	<b>2,39</b>	
monte salto	77	662,11		80,51	80,51	35,20	77,81	79,44	79,73	80,57	0,113	4,71	7,47	5,00	1,23	<b>1,07</b>	

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)	(m)
valle salto	76	662,31		80,51	80,51	35,20	76,81	78,12	78,86	80,42	0,273	6,72	5,24	4,00	1,87	<b>2,39</b>	
monte salto	75	668,11		79,39	79,39	35,20	76,69	78,40	78,61	79,42	0,112	4,47	7,88	6,00	1,24	<b>0,99</b>	
valle salto	74	668,31		79,39	79,39	35,20	75,69	77,01	77,74	79,26	0,265	6,65	5,30	4,00	1,84	<b>2,38</b>	
imbocco scatolare	73	671,53	79,62	79,62	79,62	35,20	75,62	78,08	77,60	78,73	0,028	3,57	9,86	4,00	0,73	<b>1,54</b>	
sbocco scatolare	72	679,73	79,46	79,46	79,46	35,20	75,46	77,56	77,44	78,46	0,042	4,18	8,42	4,00	0,92	<b>1,90</b>	
monte salto	71	683,11		79,09	79,09	35,20	75,39	77,44	77,44	78,30	0,046	4,11	8,57	5,00	1,00	<b>1,65</b>	
valle salto	70	683,31		79,09	79,09	35,20	74,39	75,61	76,44	78,28	0,190	7,24	4,86	4,00	2,10	<b>3,48</b>	
monte salto	69	695,11		76,85	76,85	35,20	74,15	75,81	76,07	76,90	0,107	4,63	7,60	5,00	1,20	<b>1,04</b>	
valle salto	68	695,31		76,85	76,85	35,20	73,15	74,47	75,20	76,74	0,270	6,68	5,27	4,00	1,86	<b>2,38</b>	
monte salto	67	701,11		75,73	75,73	35,20	73,03	74,75	74,95	75,76	0,111	4,45	7,92	6,00	1,24	<b>0,98</b>	
valle salto	66	701,31		75,73	75,73	35,20	72,03	73,36	74,08	75,60	0,264	6,63	5,31	4,00	1,84	<b>2,37</b>	
monte salto	65	707,11		74,61	74,61	35,20	71,91	73,63	73,83	74,64	0,111	4,45	7,91	6,00	1,24	<b>0,98</b>	
valle salto	64	707,31		74,63	74,63	35,20	70,93	72,26	72,98	74,48	0,260	6,60	5,34	4,00	1,82	<b>2,37</b>	
monte salto	63	714,10		73,49	73,49	35,44	70,79	72,71	72,71	73,48	0,074	3,88	9,14	6,00	1,00	<b>0,78</b>	
valle salto	62	714,30		73,51	73,51	35,44	69,81	71,18	71,87	73,31	0,244	6,46	5,48	4,00	1,76	<b>2,33</b>	
monte salto	61	721,10		72,37	72,37	35,44	69,67	71,37	71,60	72,42	0,117	4,53	7,82	6,00	1,27	<b>1,00</b>	
valle salto	60	721,30		72,39	72,39	35,44	68,69	70,03	70,75	72,26	0,261	6,62	5,35	4,00	1,83	<b>2,36</b>	
monte salto	59	728,10		71,25	71,25	35,44	68,55	70,35	70,48	71,26	0,094	4,21	8,42	6,00	1,14	<b>0,90</b>	
valle salto	58	728,30		71,26	71,26	35,44	67,56	68,92	69,62	71,09	0,252	6,54	5,42	4,00	1,79	<b>2,34</b>	
monte salto	57	735,10		70,12	70,12	35,44	67,42	69,17	69,35	70,15	0,105	4,37	8,10	6,00	1,20	<b>0,95</b>	
valle salto	56	735,30		70,14	70,14	35,44	66,44	67,79	68,50	69,99	0,255	6,57	5,39	4,00	1,81	<b>2,35</b>	
monte salto	55	742,10		69,00	69,00	35,44	66,30	68,01	68,23	69,04	0,114	4,50	7,87	6,00	1,25	<b>0,99</b>	
valle salto	54	742,30		69,02	69,02	35,64	65,32	66,67	67,39	68,89	0,258	6,61	5,39	4,00	1,82	<b>2,35</b>	
monte salto	53	749,10		67,88	67,88	35,64	65,18	66,99	67,11	67,90	0,094	4,22	8,44	6,00	1,14	<b>0,89</b>	

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
valle salto	52	749,30		67,88	67,88	35,64	64,18	65,54	66,25	67,73	0,253	6,56	5,43	4,00	1,80	<b>2,34</b>	
monte salto	51	755,10		66,76	66,76	35,64	64,06	65,81	66,00	66,80	0,106	4,39	8,11	6,00	1,21	<b>0,95</b>	
valle salto	50	755,30		66,76	66,76	35,64	63,06	64,41	65,13	66,63	0,259	6,61	5,39	4,00	1,82	<b>2,35</b>	
monte salto	49	761,10		65,64	65,64	35,64	62,94	64,68	64,87	65,68	0,109	4,44	8,03	6,00	1,22	<b>0,96</b>	
valle salto	48	761,30		65,64	65,64	35,64	61,94	63,28	64,01	65,52	0,261	6,63	5,38	4,00	1,83	<b>2,36</b>	
monte salto	47	767,10		64,52	64,52	35,64	61,82	63,56	63,76	64,56	0,109	4,44	8,03	6,00	1,22	<b>0,96</b>	
valle salto	46	767,30		64,52	64,52	35,64	61,32	62,94	63,39	64,48	0,155	5,50	6,48	4,00	1,38	<b>1,58</b>	
monte salto	45	778,09		63,80	63,80	35,64	61,10	63,03	63,03	63,80	0,074	3,88	9,18	6,00	1,00	<b>0,77</b>	
valle salto	44	778,29		63,80	63,80	35,64	60,60	62,28	62,67	63,71	0,140	5,29	6,73	4,00	1,30	<b>1,52</b>	
monte salto	43	785,09		63,16	63,16	35,64	60,46	62,16	62,39	63,22	0,102	4,57	7,80	5,00	1,17	<b>1,00</b>	
valle salto	42	785,29		63,16	63,16	35,64	59,46	60,79	61,53	63,07	0,266	6,68	5,34	4,00	1,84	<b>2,37</b>	
monte salto	41	792,09		62,02	62,02	35,64	59,32	61,04	61,25	62,07	0,113	4,50	7,92	6,00	1,25	<b>0,98</b>	
valle salto	40	792,29		62,02	62,02	35,64	58,32	59,66	60,39	61,91	0,263	6,65	5,36	4,00	1,83	<b>2,36</b>	
monte salto	39	799,09		60,88	60,88	35,64	58,18	59,93	60,11	60,92	0,106	4,40	8,10	6,00	1,21	<b>0,95</b>	
valle salto	38	799,29		60,88	60,88	35,64	57,18	58,53	59,25	60,75	0,259	6,61	5,39	4,00	1,82	<b>2,35</b>	
monte salto	37	806,09		59,74	59,74	35,64	57,04	58,75	58,97	59,80	0,115	4,52	7,88	6,00	1,26	<b>0,99</b>	
valle salto	36	806,29		59,74	59,74	35,64	56,04	57,38	58,11	59,64	0,264	6,66	5,35	4,00	1,84	<b>2,36</b>	
monte salto	35	813,09		58,60	58,60	35,64	55,90	57,61	57,82	58,66	0,116	4,53	7,87	6,00	1,26	<b>0,99</b>	
valle salto	34	813,29		58,60	58,60	35,64	54,90	56,24	56,97	58,50	0,265	6,66	5,35	4,00	1,84	<b>2,36</b>	
monte salto	33	820,09		57,46	57,46	35,64	54,76	56,44	56,69	57,53	0,106	4,62	7,71	5,00	1,19	<b>1,02</b>	
valle salto	32	820,29		57,46	57,46	35,64	53,76	55,09	55,83	57,37	0,267	6,69	5,33	4,00	1,85	<b>2,37</b>	
monte salto	31	830,08		56,26	56,26	35,64	53,56	55,49	55,49	56,26	0,074	3,88	9,18	6,00	1,00	<b>0,77</b>	
valle salto	30	830,28		56,26	56,26	35,64	52,56	53,93	54,63	56,09	0,249	6,52	5,47	4,00	1,78	<b>2,33</b>	
monte salto	29	844,08		54,98	54,98	35,64	52,28	54,21	54,21	54,98	0,074	3,88	9,18	6,00	1,00	<b>0,77</b>	
valle salto	28	844,28		54,98	54,98	35,64	51,28	52,65	53,35	54,81	0,140	6,52	5,46	4,00	1,78	<b>2,33</b>	

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
monte salto	27	847,08		54,92	54,92	35,64	51,22	52,74	53,29	54,49	0,105	5,87	6,07	4,00	1,52	<b>2,18</b>	
valle salto	26	847,28		54,92	54,92	35,64	50,22	51,39	52,29	54,34	0,217	7,61	4,68	4,00	2,25	<b>3,53</b>	
monte salto	25	850,08		53,86	53,86	35,64	50,16	51,52	52,23	53,70	0,141	6,53	5,45	4,00	1,79	<b>2,34</b>	
valle salto	24	850,28		53,86	53,86	35,64	49,16	50,27	51,23	53,55	0,252	8,02	4,44	4,00	2,43	<b>3,59</b>	
monte salto	23	853,08		52,80	52,80	35,64	49,10	50,39	51,17	52,81	0,163	6,88	5,18	4,00	1,93	<b>2,41</b>	
valle salto	22	853,28		52,80	52,80	35,64	48,10	49,18	50,17	52,66	0,274	8,26	4,31	4,00	2,54	<b>3,62</b>	
monte salto	21	856,08		51,74	51,74	35,64	48,04	49,30	50,11	51,85	0,177	7,08	5,03	4,00	2,02	<b>2,44</b>	
valle salto	20	856,28		51,74	51,74	35,64	47,04	48,10	49,11	51,70	0,288	8,41	4,24	4,00	2,61	<b>3,64</b>	
monte salto	19	859,08		50,68	50,68	35,64	46,98	48,22	49,05	50,86	0,186	7,21	4,94	4,00	2,07	<b>2,46</b>	
valle salto	18	859,28		50,68	50,68	35,64	45,98	47,03	48,05	50,71	0,297	8,50	4,19	4,00	2,65	<b>3,65</b>	
monte salto	17	862,08		49,62	49,62	35,64	45,92	47,14	47,99	49,85	0,192	7,28	4,89	4,00	2,10	<b>2,48</b>	
valle salto	16	862,28		49,62	49,62	35,64	44,92	45,96	46,99	49,69	0,303	8,56	4,17	4,00	2,68	<b>3,66</b>	
monte salto	15	865,08		48,56	48,56	35,64	44,86	46,08	46,93	48,81	0,195	7,33	4,86	4,00	2,12	<b>2,48</b>	
valle salto	14	865,28		48,56	48,56	35,64	43,86	44,90	45,93	48,66	0,307	8,59	4,15	4,00	2,69	<b>3,66</b>	
monte salto	13	868,08		47,50	47,50	35,64	43,80	45,01	45,87	47,77	0,197	7,36	4,84	4,00	2,13	<b>2,49</b>	
valle salto	12	868,28		47,50	47,50	35,64	42,80	43,83	44,87	47,61	0,309	8,61	4,14	4,00	2,70	<b>3,67</b>	
monte salto	11	871,08		46,44	46,44	35,64	42,74	43,95	44,81	46,72	0,199	7,38	4,83	4,00	2,14	<b>2,49</b>	
valle salto	10	871,28		46,44	46,44	35,64	41,74	42,77	43,81	46,56	0,310	8,63	4,13	4,00	2,71	<b>3,67</b>	
monte salto	9	874,08		45,38	45,38	35,64	41,68	42,89	43,75	45,67	0,200	7,39	4,82	4,00	2,15	<b>2,49</b>	
valle salto	8	874,28		45,38	45,38	35,64	41,08	42,86	43,15	44,11	0,077	4,94	7,21	5,00	1,31	<b>2,52</b>	
gabbioni	7	876,28		45,32	45,32	35,64	41,02	42,71	42,95	43,79	0,058	4,59	7,76	5,00	1,18	<b>2,61</b>	
gabbioni inizio vasca di dissipazione	6	877,78		44,69	44,69	35,64	40,99	43,12	41,89	43,20	0,002	1,24	28,65	14,24	0,28	<b>1,57</b>	
	5	882,78		44,59	44,59	35,64	40,89	43,11		43,19	0,002	1,22	29,17	13,89	0,27	<b>1,48</b>	
	4	887,78		44,49	44,49	35,64	40,79	43,10		43,18	0,002	1,21	29,55	13,50	0,26	<b>1,39</b>	

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)	(m)
	3	892,78		44,39	44,39	35,64	40,69	43,07		43,17	0,003	1,38	25,83	11,87	0,30	<b>1,32</b>	
gabbioni fine vasca di dissipazione	2	897,78		44,29	44,29	35,64	40,59	42,97		43,14	0,005	1,82	19,57	9,23	0,40	<b>1,32</b>	
gabbioni raccordo a esistente	1	902,78		44,19	44,19	35,64	40,49	42,61	42,26	43,06	0,020	2,99	11,93	6,76	0,72	<b>1,58</b>	

Tabella 9 – Profilo idrometrico di progetto del rio Tangon per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

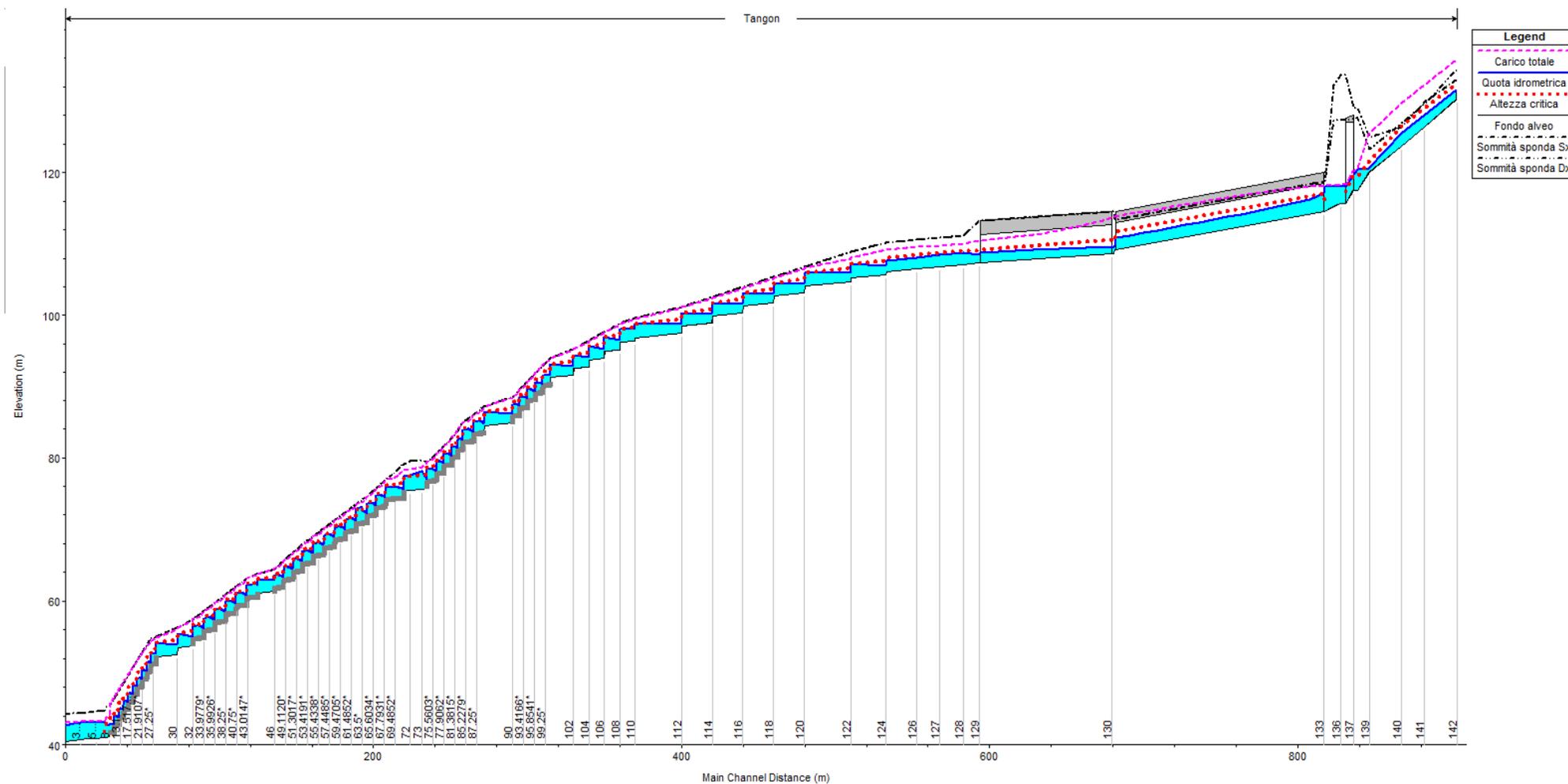


Figura 3 - Profilo idrometrico di progetto del rio Tangon per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

### 6.2.1.8 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)

Durante le fasi di costruzione delle opere in progetto, il rio Tangon verrà canalizzato all'interno di una tubazione ARMCO di diametro pari a 3,8 m (di dimensioni equivalenti all'opera esistente di attraversamento autostradale); la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 24,6 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito, ha mostrato che nel tratto a pendenza minima della tubazione ARMCO pari all'1,2%, la portata viene smaltita con un riempimento della tubazione pari al 48% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 1,82 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente. Di seguito si riportano i parametri idraulici caratteristici del calcolo eseguito.

Riempimento (%)	Livello idrico (m)	Largh. livello (m)	Contorno bagnato (m)	Area bagnata (m <sup>2</sup> )	Velocità (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcritica (m <sup>3</sup> /s)	Froude (-)	V <sup>2</sup> /2g (m)	R idraulico (m)
2	0,08	1,06	1,08	0,05	0,68	0,04	0,04	0,957	0,02	0,05
4	0,15	1,49	1,53	0,15	1,07	0,16	0,15	1,065	0,06	0,10
6	0,23	1,80	1,88	0,28	1,39	0,39	0,34	1,129	0,10	0,15
8	0,30	2,06	2,18	0,43	1,67	0,71	0,60	1,174	0,14	0,20
10	0,38	2,28	2,45	0,59	1,93	1,14	0,94	1,208	0,19	0,24
12	0,46	2,47	2,69	0,77	2,16	1,66	1,35	1,234	0,24	0,29
14	0,53	2,64	2,91	0,97	2,38	2,29	1,83	1,255	0,29	0,33
16	0,61	2,79	3,13	1,17	2,58	3,02	2,38	1,271	0,34	0,37
18	0,68	2,92	3,33	1,39	2,77	3,85	3,00	1,283	0,39	0,42
20	0,76	3,04	3,52	1,61	2,95	4,77	3,69	1,293	0,44	0,46
22	0,84	3,15	3,71	1,85	3,12	5,78	4,44	1,301	0,50	0,50
24	0,91	3,25	3,89	2,09	3,28	6,88	5,26	1,306	0,55	0,54
26	0,99	3,33	4,07	2,34	3,44	8,06	6,15	1,310	0,60	0,58
28	1,06	3,41	4,24	2,60	3,59	9,32	7,11	1,312	0,66	0,61
30	1,14	3,48	4,41	2,86	3,72	10,66	8,12	1,312	0,71	0,65
32	1,22	3,55	4,57	3,13	3,86	12,07	9,21	1,311	0,76	0,68
34	1,29	3,60	4,73	3,40	3,98	13,55	10,35	1,309	0,81	0,72
36	1,37	3,65	4,89	3,68	4,11	15,09	11,56	1,306	0,86	0,75
38	1,44	3,69	5,05	3,95	4,22	16,69	12,82	1,301	0,91	0,78
40	1,52	3,72	5,20	4,24	4,33	18,34	14,15	1,296	0,96	0,81
42	1,60	3,75	5,36	4,52	4,43	20,04	15,54	1,290	1,00	0,84
44	1,67	3,77	5,51	4,81	4,53	21,79	16,99	1,282	1,05	0,87
46	1,75	3,79	5,66	5,09	4,63	23,57	18,50	1,274	1,09	0,90
48	1,82	3,80	5,82	5,38	4,72	25,38	20,07	1,265	1,13	0,93

Tabella 10 – Scala di deflusso in moto uniforme della tubazione circolare provvisoria prevista sul rio Tangon.

### 6.2.2 Analisi idraulica delle opere 98A e 98B

Tali opere sono state analizzate contemporaneamente in quanto, dopo aver attraversato l'autostrada esistente, l'opera 98A viene deviata nella 98B. Quindi si sono eseguite le analisi idrauliche delle singole opere di attraversamento in progetto e di quella in cui esse confluiscono. Le opere sono state progettate con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 (BxH=2,00 x1,50 m).

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati delle verifiche idrauliche condotte:

#### Opera 98A

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 1,12 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,32 m
- altezza moto uniforme 0,26 m
- velocità media 2,22 m/s
- termine cinetico 0,25 m
- franco di sicurezza 1,24 m

#### Opera 98B

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,96 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,29 m
- altezza moto uniforme 0,23 m
- velocità media 2,08 m/s
- termine cinetico 0,22 m
- franco di sicurezza 1,27 m

#### Opera a valle confluenza 98A e 98B

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 2,08 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,49 m
- altezza moto uniforme 0,39 m
- velocità media 2,73 m/s
- termine cinetico 0,38 m
- franco di sicurezza 1,11 m

Trattandosi di corsi d'acqua inclusi nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risultano idraulicamente verificati in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.3 Analisi idraulica dell'opera 98C

L'opera è stata progettata con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 ( $B \times H = 2,00 \times 1,50 \text{ m}$ ).

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45,00 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,84 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,27 m
- altezza moto uniforme 0,22 m
- velocità media 2,03 m/s
- termine cinetico 0,21 m
- franco di sicurezza 1,28 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.4 Analisi idraulica delle opere 98D e 99

Tali opere sono state analizzate contemporaneamente in quanto, dopo aver attraversato l'autostrada esistente, l'opera 98D viene deviata nella 99. Quindi si sono eseguite le analisi idrauliche delle singole opere di attraversamento in progetto e di quella in cui esse confluiscono. Le opere sono state progettate con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 ( $B \times H = 2,00 \times 1,50 \text{ m}$ ).

- Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati delle verifiche idrauliche condotte:

#### OPERA 98D

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,28 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,13 m
- altezza moto uniforme 0,11 m
- velocità media 1,36 m/s
- termine cinetico 0,09 m
- franco di sicurezza 1,39 m

## OPERA 99

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,52 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,20 m
- altezza moto uniforme 0,16 m
- velocità media 1,70 m/s
- termine cinetico 0,15 m
- franco di sicurezza 1,34 m

## Opera a valle confluenza 98D e 99

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,80 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,26 m
- altezza moto uniforme 0,21 m
- velocità media 1,98 m/s
- termine cinetico 0,20 m
- franco di sicurezza 1,29 m

Trattandosi di corsi d'acqua inclusi nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risultano idraulicamente verificati in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.5 Analisi idraulica dell'opera 100

L'opera è stata progettata con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 (BxH=2,00 x1,50 m).

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,40 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,16 m
- altezza moto uniforme 0,13 m
- velocità media 1,51 m/s
- termine cinetico 0,12 m
- franco di sicurezza 1,37 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.6 Analisi idraulica dell'opera 101

L'opera è stata progettata con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 ( $B \times H = 2,00 \times 1,50 \text{ m}$ ).

- Dimensioni tombino rettangolare 2,00X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,24 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,12 m
- altezza moto uniforme 0,10 m
- velocità media 1,29 m/s
- termine cinetico 0,08 m
- franco di sicurezza 1,40 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.7 Analisi idraulica dell'opera in destra Tangon (alimentata dal bacino B1)

L'opera è stata progettata con pendenza di fondo pari al 2% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 ( $B \times H = 2,00 \times 1,50 \text{ m}$ ).

- Dimensioni tombino rettangolare 2,0X1,5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,02 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,36 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,16 m
- altezza moto uniforme 0,13 m
- velocità media 1,51 m/s
- termine cinetico 0,12 m
- franco di sicurezza 1,37 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 6.2.8 Corso d'acqua alimentato dal bacino B2

Il corso d'acqua alimentato dal bacino B2 non interferisce con l'autostrada in progetto e confluisce nell'asta del Tangon in deviazione.

## 7. FINESTRA ARBOCCÒ – NUOVA INALVEAZIONE RIO DEL GALLO E RIO SERRA

### 7.1 Analisi idrologica

I bacini imbriferi dei rii interferenti con la finestra Arboccò (si veda *Figura 4*) hanno le seguenti superfici:

Rio del Gallo:	$S = 0,296 \text{ km}^2$ ;
Rio Serra:	$S = 0,655 \text{ km}^2$ .
Rio Serra (valle confluenza):	$S = 0,951 \text{ km}^2$ .

Considerando un contributo specifico di  $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

Rio del Gallo:	$QTR200 = 11,84 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Rio Serra:	$QTR200 = 26,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ,
Rio Serra (valle confluenza):	$QTR200 = 38,04 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Al fine di determinare la portata per tempo di ritorno 50 anni sul rio Gallo, interessato da opere provvisorie, si sono calcolate le portate per tempo di ritorno assegnato attraverso il metodo razionale (o cinematico), basato sulla determinazione indiretta delle portate in funzione delle precipitazioni, controllando che il valore della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni sia uguale o prossimo al valore della piena di riferimento

I parametri fisiografici del bacino del rio del Gallo sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

BACINO	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
Rio del Gallo	0,296	450	255	140	0,995	31,2	55

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 70.

BACINO	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
Rio del Gallo	0,43	0,25	0,12	0,10	0,13

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,36** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella

*Tabella 11* seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m <sup>3</sup> /s)
10	6,8
25	8,3
50	9,5
100	10,6
200	11,8

Tabella 11 – Portate di assegnato tempo di ritorno del Rio del Gallo.

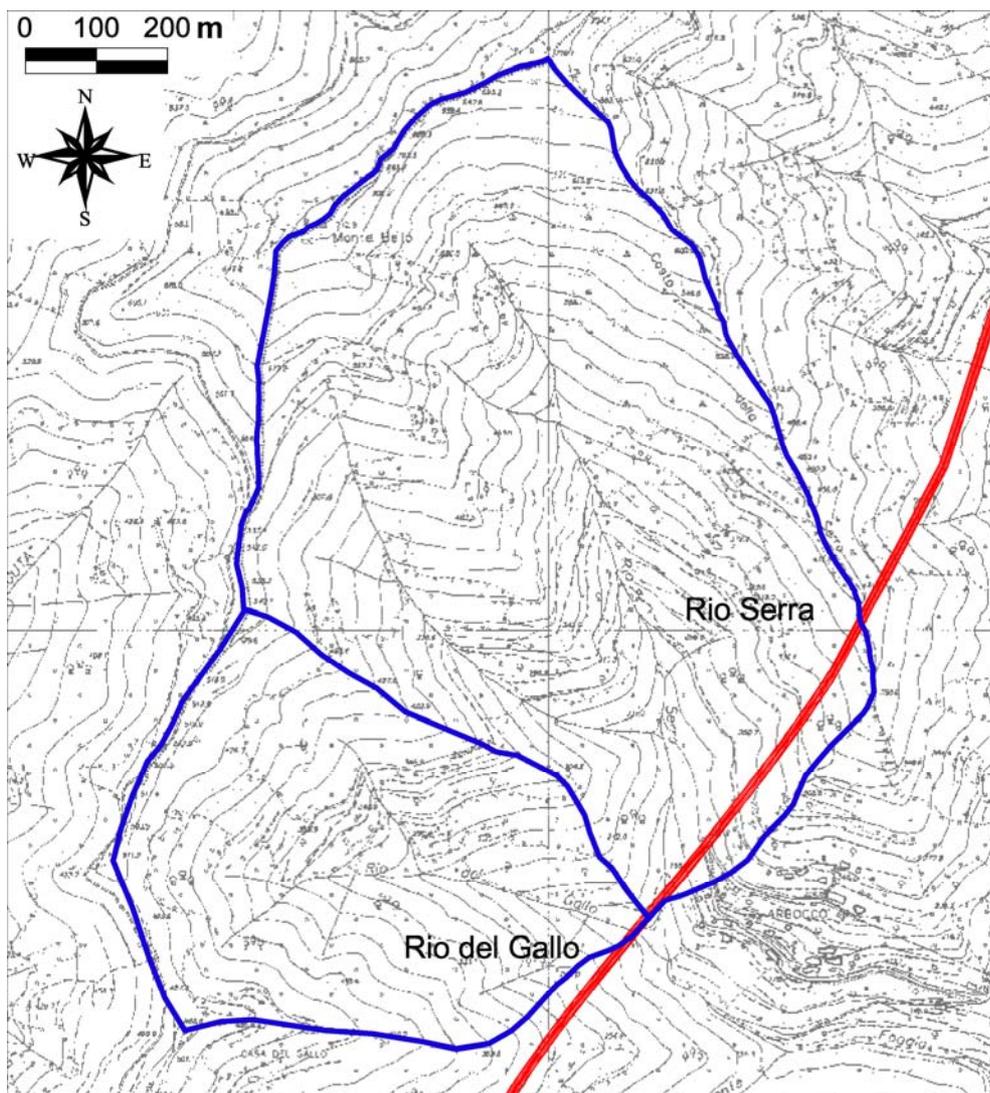


Figura 4 – Bacini imbriferi del rio del Gallo e del rio Serra.

## 7.2 Analisi idraulica

I rii Serra e del Gallo interferiscono con il collegamento autostradale in progetto all'altezza dell'abitato di Arbocò; il rio del Gallo è un affluente di destra del rio Serra.

### 7.2.1 Analisi idraulica dell'opera sul rio Serra

#### 7.2.1.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio Serra nello stato attuale scorre incassato tra le pendici dei versanti presenti, che ne costituiscono le sponde. Il corso d'acqua ha pendenza di fondo molto elevata secondo valori compresi:

- tra il 15 e 61% nel tratto a monte dell'interferenza con il collegamento autostradale in progetto;
- tra il 12 e 20% nel tratto a cavallo con il nodo di confluenza con il rio del Gallo;
- tra il 6 e 19% nel tratto a valle della confluenza.

Nel tratto in analisi non sono presenti interferenze con manufatti di attraversamento o opere idrauliche esistenti.

Il modello geometrico del corso d'acqua nello stato attuale analizza una lunghezza di asta fluviale di circa 220 m, estesa di 45 m a valle della sistemazione di progetto e di circa 35 m a monte di essa. Date le pendenze in gioco e l'assenza di manufatti interferenti con l'asta, l'estensione di valle è sufficiente a rappresentare il funzionamento idrodinamico in piena del corso d'acqua.

Di seguito (Tabella 12) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
	1	0,00	161,64
	2	12,62	159,71
	3	19,52	155,47
	4	27,15	156,69
	5	34,59	154,68
	6	64,53	151,00
	7	95,15	144,89
monte confluenza rio Gallo	8	129,81	140,00
valle confluenza rio Gallo	9	138,13	139,00
	10	143,23	138,67

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
	11	149,38	136,98
	12	162,82	134,35
	13	181,98	133,00
	14	185,24	132,40
	15	204,61	130,96
	16	219,62	130,00

Tabella 12 – Profilo longitudinale del Serra nelle condizioni di stato attuale.

#### 7.2.1.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza del rio Serra rispetto allo stato attuale, prevedendo una sistemazione di pendenza pari al 2%.

In particolare in corrispondenza dell'interferenza con il rilevato del collegamento autostradale in progetto, viene realizzato un attraversamento scatolare avente andamento altimetrico del fondo a salti.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 50 sezioni trasversali che ne rappresentano le diverse tipologie di sistemazione.

La sistemazione prevista è costituita:

- da un tratto di tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=3,5x3,5 m nel tratto di imbocco dell'opera (fino al primo salto di fondo), per poi diventare di dimensioni BxH=3,5x3,0 m nella rimanente parte del tratto, tale variazione è risultata necessaria per garantire il franco di sicurezza tabellare minimo richiesto dal Regolamento N.3;
- a valle dello sbocco è prevista una vasca in cls di sezione rettangolare, di larghezza pari a 10 m e altezza di 4 m, con il fondo rivestito da massi sporgenti in modo da generare un effetto di turbolenza sulla corrente di piena dissipandone parte dell'energia cinetica; tale vasca ha inoltre la funzione di garantire la stabilità morfologica dell'alveo in corrispondenza del nodo di confluenza con il rio del Gallo;
- da un tratto rivestito in gabbioni metallici di altezza variabile da 4,0 a 2,7 m e lunghezza di circa 27 m, caratterizzato da un andamento altimetrico a salti di fondo al fine di mantenere contenuta la pendenza e ridurre l'energia della corrente.

A monte del manufatto autostradale in progetto si è prevista una briglia selettiva di intercettazione del trasporto flottante; tale struttura idraulica trasversale eserciterà anche la funzione di trattenuta del trasporto solido grossolano che si accumulerà nell'allargamento naturale in roccia localizzato immediatamente a monte (visibile sul profilo idrometrico di progetto allegato nei paragrafi seguenti immediatamente a monte della Sez.4).

Di seguito, nella Tabella 13, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
naturale	1	0	-	163,00	163,00	161,64
naturale	2	12,62	-	161,26	161,00	159,71
naturale	3	19,52	-	157,00	157,00	155,47
naturale	4	27,15	-	158,24	158,24	156,69
briglia selettiva	4.75	28,15		Inl Struct		
imbocco scatolare	5	34,59	157,59	-	-	154,09
monte salto	6	43,09	157,42	-	-	153,92
valle salto	7	43,29	157,42	-	-	152,72
monte salto	8	50,59	155,57	-	-	152,57
valle salto	9	50,79	155,57	-	-	151,37
monte salto	10	58,48	154,21	-	-	151,21
valle salto	11	58,68	154,21	-	-	150,01
monte salto	12	65,98	152,86	-	-	149,86
valle salto	13	66,18	152,86	-	-	148,66
monte salto	14	73,47	151,51	-	-	148,51
valle salto	15	73,67	151,51	-	-	147,31
monte salto	16	81,37	150,15	-	-	147,15
valle salto	17	81,57	150,15	-	-	145,95
monte salto	18	88,86	148,80	-	-	145,80
valle salto	19	89,06	148,80	-	-	144,60
monte salto	20	96,36	147,45	-	-	144,45
valle salto	21	96,56	147,45	-	-	143,25
monte salto	22	104,25	146,10	-	-	143,10
valle salto	23	104,45	146,10	-	-	141,90
monte salto	24	111,75	144,75	-	-	141,75
valle salto	25	111,95	144,75	-	-	140,55
monte salto	26	119,25	143,40	-	-	140,40
valle salto	27	119,45	143,40	-	-	139,20
monte salto	28	127,14	142,04	-	-	139,04
valle salto	29	127,34	142,04	-	-	137,84
sbocco scatolare monte salto	30	130,74	142,04	-	-	137,77
inizio vasca valle salto	31	130,94	-	144,07	144,07	137,27
	32	137,14	-	141,27	141,27	137,27
	33	142,20	-	141,27	141,27	137,27
fine vasca monte salto	34	147,25	-	141,27	141,27	137,27
inizio gabbioni valle salto	35	147,45	-	140,77	140,77	136,77
monte salto	36	148,25	-	140,77	140,77	136,77
valle salto	37	148,45	-	140,77	140,77	136,64
monte salto	38	149,25	-	140,77	140,77	136,64
valle salto	39	149,45	-	140,77	140,77	136,51
monte salto	40	150,25	-	140,77	140,77	136,51

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
valle salto	41	150,45	-	140,77	140,77	136,21
monte salto	42	156,25	-	138,81	138,81	136,11
valle salto	43	156,45	-	138,81	138,81	135,11
monte salto	44	165,25	-	137,65	137,65	134,95
valle salto	45	165,45	-	137,65	137,65	133,95
fine gabbioni	46	174,25	-	136,46	136,46	133,76
sez.13 naturale	47	181,98	-	134,12	134,42	133,00
sez.14 naturale	48	185,24	-	134,33	134,35	132,40
sez.15 naturale	49	204,61	-	132,73	133,00	130,96
sez.16 naturale	50	219,62	-	132,03	132,00	130,00

Tabella 13 - Profilo longitudinale del rio Serra nello stato di progetto.

## 7.2.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno introdotte nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 26,20 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante a valle della confluenza del rio del Gallo, pari a 38,04 m<sup>3</sup>/s (sez.9);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez.16).

## 7.2.1.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

Per i tratti in progetto si sono assunti i seguenti valori:

- tombini e sezioni rivestite in cls, 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning),
- rivestimenti in gabbioni metallici, 30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

## 7.2.1.5 Verifica nella situazione attuale

Lungo il rio Serra non vi sono aree o infrastrutture di trasporto soggette a rischio idraulico di inondazione; la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori molto disomogenei (1,4 e 8,3 m/s) a causa delle elevate variazioni di sezione trasversale e di pendenza del fondo alveo dell'asta. Il tipo di moto è di corrente veloce ad eccezione di un breve tratto compreso tra le sezioni 3 e 4 in cui vi è un piccolo bacino naturale localizzato alla base di un salto in roccia.

Di seguito (Tabella 14 e Figura 5) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	1	0,00	163,00	163,00	26,20	161,64	162,66	163,19	164,75	0,153	6,40	4,09	7,43	2,75
	2	12,62	161,26	161,00	26,20	159,71	160,36	160,92	162,62	0,183	6,66	3,93	7,61	2,96
	3	19,52	157,00	157,00	26,20	155,47	158,47	157,28	158,57	0,001	1,45	19,04	9,70	0,31
	4	27,15	157,73	157,77	26,20	156,69	158,07	158,07	158,51	0,015	2,97	9,14	10,97	0,96
	5	34,59	156,73	157,00	26,20	154,68	155,41	156,05	158,02	0,185	7,16	3,66	6,26	2,99
	6	64,53	153,00	153,00	26,20	151,00	152,02	152,56	153,83	0,099	5,96	4,40	6,12	2,25
	7	95,15	146,37	146,51	26,20	144,89	145,74	146,50	149,19	0,238	8,22	3,19	5,32	3,39
monte confluenza rio Gallo	8	129,81	141,41	141,41	26,20	140,00	140,79	141,34	142,66	0,134	6,06	4,32	7,72	2,59
valle confluenza rio Gallo	9	138,13	141,03	141,00	38,04	139,00	140,69	141,07	141,89	0,048	4,84	7,85	8,78	1,63
	10	143,23	140,00	140,00	38,04	138,67	139,86	140,35	141,52	0,088	5,70	6,68	9,53	2,17
	11	149,38	139,25	139,08	38,04	136,98	138,12	138,77	140,70	0,166	7,12	5,34	8,78	2,91
	12	162,82	137,50	136,94	38,04	134,35	135,69	136,48	138,63	0,138	7,60	5,00	6,01	2,66
	13	181,98	134,12	134,42	38,04	133,00	134,21	134,82	136,32	0,086	6,46	6,15	9,98	2,04
	14	185,24	134,33	134,35	38,04	132,40	134,11	134,67	135,97	0,084	6,05	6,29	6,73	2,00
	15	204,61	132,73	133,00	38,04	130,96	132,80	133,39	134,54	0,062	5,85	6,50	5,94	1,77
	16	219,62	132,03	132,00	38,04	130,00	131,24	131,89	133,38	0,090	6,49	5,86	6,44	2,17

Tabella 14 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio Serra per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

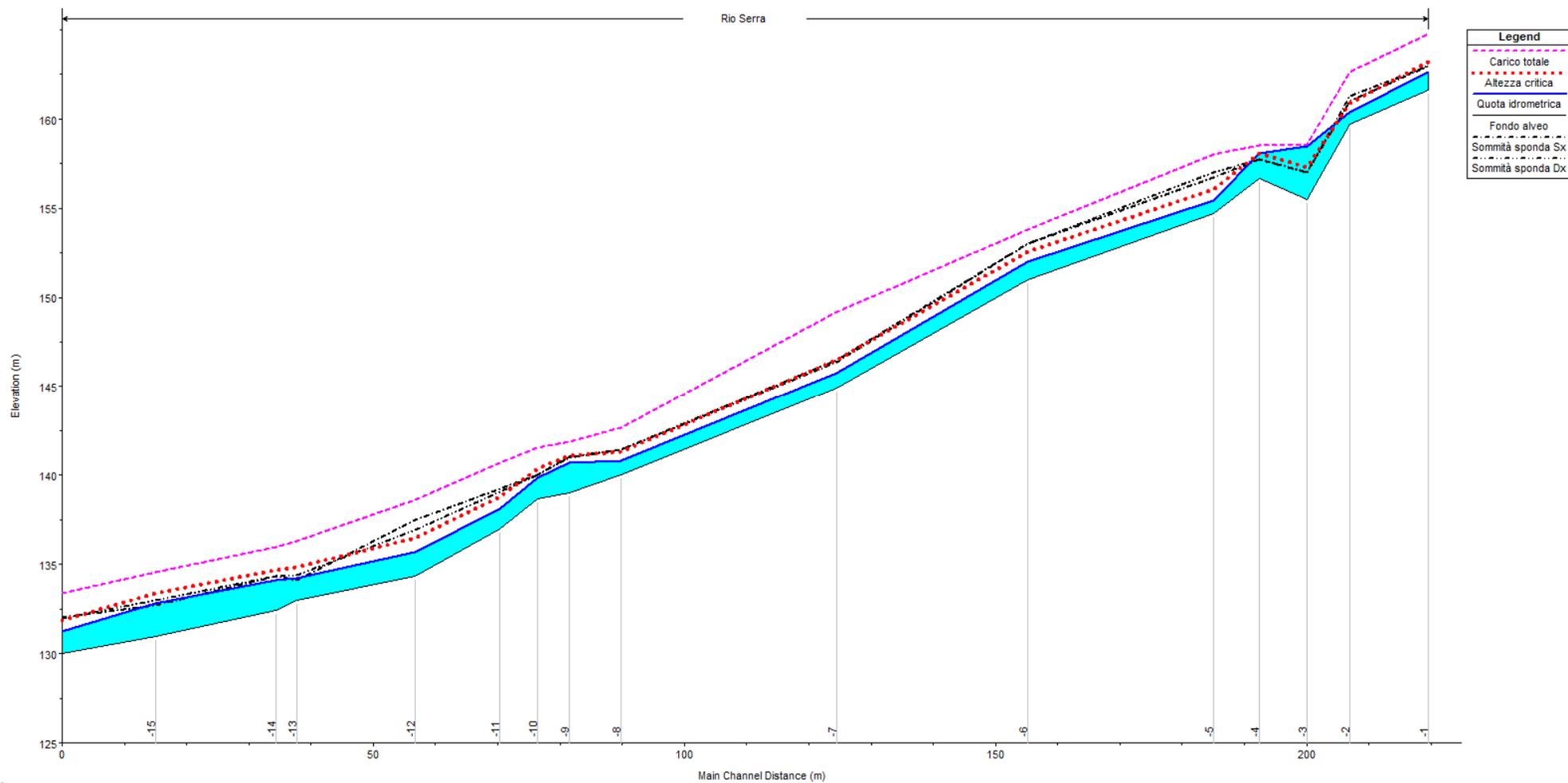


Figura 5 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio Serra per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

#### 7.2.1.6 Verifica nella situazione di progetto

Lo stato di progetto prevede la realizzazione di una briglia selettiva a monte dell'imbocco dell'attraversamento in scatolare; in particolare la briglia viene realizzata in corrispondenza della sezione 4 (denominata 4.75 nella tabella e nel profilo allegati nel seguito). Il tombino scatolare in progetto si estende tra le sezioni 5 e 30 e risulta costituito da:

- una sezione rettangolare di dimensioni  $B \times H = 3,5 \times 3,5$  m dalla sez.5 alla sez.6; il franco di sicurezza è compreso tra valori di 1,71 e 2,05 m risultando coerente con quanto richiesto dal regolamento N.3. In questo tratto il carico totale risulta inferiore alla quota di intradosso dell'opera;
- una sezione rettangolare di dimensioni  $B \times H = 3,5 \times \text{var.}3,0-4,20$  m dalla sez.7 alla sez.30; il franco di sicurezza è compreso tra valori di 1,73 e 3,7 m risultando coerente con quanto richiesto dal regolamento N.3. In questo tratto il carico totale rimane contenuto nella soletta del manufatto in progetto, superando cioè in alcuni tratti l'intradosso per valori compresi tra 0,05 e 0,25 m.

A valle dello sbocco dell'opera si è prevista una vasca di dissipazione e di controllo morfologico dell'alveo; in tale vasca avviene la confluenza del rio del Gallo; la vasca, di geometria rettangolare in cls, ha dimensioni  $B \times H = 10,0 \times 4,0$  m con il fondo costituito da massi sporgenti che hanno la finalità di generare turbolenza nella corrente dissipandone l'energia cinetica. Nel modello tale fenomeno è stato rappresentato assegnando al fondo una macro scabrezza di  $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ; rispetto allo stato attuale la velocità della sezione 9 pari a circa 4,8 m/s viene a ridursi ad un valore di circa 2,0 m/s (sez. 31-34 di progetto). Il franco di sicurezza è sempre abbondantemente superiore a 2,0 m ed il carico cinetico è completamente contenuto all'interno della sommità delle sponde.

Da valle della vasca viene realizzata una sistemazione in gabbioni metallici di altezza variabile da 4,00 a 2,70 m con un andamento altimetrico del fondo a salti; anche in questo caso il franco di sicurezza rispetta le prescrizioni del Regolamento N.3.

Di seguito (Tabella 15 e Figura 6) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
naturale	1	0	-	163,00	163,00	26,20	161,64	162,66	163,19	164,75	0,153	6,40	4,09	7,43	2,75	-	0,00
naturale	2	12,62	-	161,26	161,00	26,20	159,71	160,36	160,92	162,62	0,183	6,66	3,93	7,61	2,96	-	0,00
naturale	3	19,52	-	157,00	157,00	26,20	155,47	158,77	157,28	158,85	0,001	1,26	22,03	10,03	0,25	-	0,30
naturale	4	27,15	-	158,24	158,24	26,20	156,69	158,06	158,06	158,49	0,018	2,88	9,09	10,96	1,01	-	-0,01
briglia selettiva	4.75	28,15		Inl Struct													-
imbocco scatolare	5	34,59	157,59	-	-	26,20	154,09	155,88	155,88	156,77	0,003	4,19	6,25	3,50	1,00	1,71	-
monte salto	6	43,09	157,42	-	-	26,20	153,92	155,37	155,71	156,73	0,006	5,17	5,07	3,50	1,37	2,05	-
valle salto	7	43,29	157,42	-	-	26,20	152,72	153,72	154,51	156,58	0,126	7,49	3,50	3,50	2,39	3,70	-
monte salto	8	50,59	155,57	-	-	26,20	152,57	153,84	154,36	155,61	0,064	5,91	4,44	3,50	1,67	1,73	-
valle salto	9	50,79	155,57	-	-	26,20	151,37	152,32	153,16	155,46	0,143	7,85	3,34	3,50	2,56	3,25	-
monte salto	10	58,48	154,21	-	-	26,20	151,21	152,43	153,00	154,34	0,071	6,11	4,29	3,50	1,76	1,78	-
valle salto	11	58,68	154,21	-	-	26,20	150,01	150,95	151,80	154,18	0,150	7,97	3,29	3,50	2,62	3,26	-
monte salto	12	65,98	152,86	-	-	26,20	149,86	151,05	151,65	153,06	0,076	6,27	4,18	3,50	1,83	1,81	-
valle salto	13	66,18	152,86	-	-	26,20	148,66	149,59	150,45	152,91	0,155	8,07	3,25	3,50	2,67	3,27	-
monte salto	14	73,47	151,51	-	-	26,20	148,51	149,69	150,30	151,74	0,079	6,35	4,13	3,50	1,86	1,82	-
valle salto	15	73,67	151,51	-	-	26,20	147,31	148,23	149,10	151,59	0,158	8,12	3,23	3,50	2,70	3,28	-
monte salto	16	81,37	150,15	-	-	26,20	147,15	148,34	148,94	150,37	0,077	6,31	4,15	3,50	1,85	1,81	-
valle salto	17	81,57	150,15	-	-	26,20	145,95	146,87	147,74	150,21	0,157	8,09	3,24	3,50	2,69	3,28	-
monte salto	18	88,86	148,80	-	-	26,20	145,80	146,98	147,59	149,04	0,079	6,36	4,12	3,50	1,87	1,82	-
valle salto	19	89,06	148,80	-	-	26,20	144,60	145,52	146,39	148,89	0,159	8,13	3,22	3,50	2,70	3,28	-
monte salto	20	96,36	147,45	-	-	26,20	144,45	145,62	146,24	147,70	0,080	6,39	4,10	3,50	1,88	1,83	-
valle salto	21	96,56	147,45	-	-	26,20	143,25	144,17	145,04	147,55	0,160	8,15	3,22	3,50	2,71	3,28	-
monte salto	22	104,25	146,10	-	-	26,20	143,10	144,29	144,89	146,32	0,077	6,31	4,15	3,50	1,85	1,81	-
valle salto	23	104,45	146,10	-	-	26,20	141,90	142,82	143,69	146,16	0,157	8,09	3,24	3,50	2,69	3,28	-
monte salto	24	111,75	144,75	-	-	26,20	141,75	142,93	143,54	144,99	0,079	6,36	4,12	3,50	1,87	1,82	-

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
valle salto	25	111,95	144,75	-	-	26,20	140,55	141,47	142,34	144,84	0,159	8,13	3,22	3,50	2,70	3,28	-
monte salto	26	119,25	143,40	-	-	26,20	140,40	141,57	142,19	143,65	0,080	6,39	4,10	3,50	1,88	1,83	-
valle salto	27	119,45	143,40	-	-	26,20	139,20	140,12	140,99	143,50	0,160	8,15	3,22	3,50	2,71	3,28	-
monte salto	28	127,14	142,04	-	-	26,20	139,04	140,22	140,83	142,27	0,078	6,33	4,14	3,50	1,86	1,82	-
valle salto	29	127,34	142,04	-	-	26,20	137,84	139,88	139,63	140,57	0,018	3,66	7,15	3,50	0,82	2,16	-
sbocco scatolare monte salto	30	130,74	142,04	-	-	26,20	137,77	139,82	-	140,50	0,018	3,66	7,17	3,50	0,82	2,22	-
inizio vasca valle salto	31	130,94	-	144,07	144,07	26,20	137,27	139,30	-	139,64	0,009	2,58	10,16	5,00	0,58	4,77	-
	32	137,14	-	141,27	141,27	38,04	137,27	139,20	-	139,40	0,004	1,97	19,28	10,00	0,45	2,07	-
	33	142,20	-	141,27	141,27	38,04	137,27	139,16	-	139,37	0,004	2,01	18,92	10,00	0,47	2,11	-
fine vasca monte salto	34	147,25	-	141,27	141,27	38,04	137,27	139,13	-	139,35	0,004	2,04	18,63	10,00	0,48	2,14	-
inizio gabbioni valle salto	35	147,45	-	140,77	140,77	38,04	136,77	138,74	138,56	139,31	0,017	3,34	11,38	7,00	0,84	2,03	-
monte salto	36	148,25	-	140,77	140,77	38,04	136,77	138,56	138,56	139,28	0,024	3,77	10,10	7,00	1,00	2,21	-
valle salto	37	148,45	-	140,77	140,77	38,04	136,64	138,11	138,43	139,23	0,040	4,70	8,09	6,00	1,29	2,66	-
monte salto	38	149,25	-	140,77	140,77	38,04	136,64	138,43	138,43	139,15	0,024	3,77	10,10	7,00	1,00	2,34	-
valle salto	39	149,45	-	140,77	140,77	38,04	136,51	138,33	138,29	139,02	0,022	3,67	10,37	7,00	0,96	2,44	-
monte salto	40	150,25	-	140,77	140,77	38,04	136,51	138,30	138,30	139,02	0,024	3,77	10,10	7,00	1,00	2,47	-
valle salto	41	150,45	-	140,77	140,77	38,04	136,21	137,53	137,99	138,94	0,056	5,26	7,23	6,00	1,53	3,24	-
monte salto	42	156,25	-	138,81	138,81	38,04	136,11	137,43	137,89	138,84	0,056	5,25	7,24	6,00	1,53	1,38	-
valle salto	43	156,45	-	138,81	138,81	38,04	135,11	136,12	136,89	138,70	0,139	7,12	5,34	6,00	2,41	2,69	-
monte salto	44	165,25	-	137,65	137,65	38,04	134,95	136,15	136,73	137,90	0,078	5,88	6,47	6,00	1,81	1,50	-
valle salto	45	165,45	-	137,65	137,65	38,04	133,95	134,91	135,73	137,77	0,162	7,49	5,08	6,00	2,60	2,74	-
fine gabbioni	46	174,25	-	136,46	136,46	38,04	133,76	134,92	135,54	136,80	0,086	6,07	6,26	6,00	1,90	1,54	-
sez.13 naturale	47	181,98	-	134,12	134,42	38,04	133,00	134,21	134,82	136,32	0,086	6,46	6,15	9,98	2,04	-	0,00
sez.14 naturale	48	185,24	-	134,33	134,35	38,04	132,40	134,11	134,67	135,97	0,084	6,05	6,29	6,73	2,00	-	0,00
sez.15 naturale	49	204,61	-	132,73	133,00	38,04	130,96	132,80	133,39	134,54	0,062	5,85	6,50	5,94	1,77	-	0,00

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
sez.16 naturale	50	219,62	-	132,03	132,00	38,04	130,00	131,24	131,89	133,38	0,090	6,49	5,86	6,44	2,17	-	0,00

Tabella 15 – Profilo idrometrico di progetto del rio Serra per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

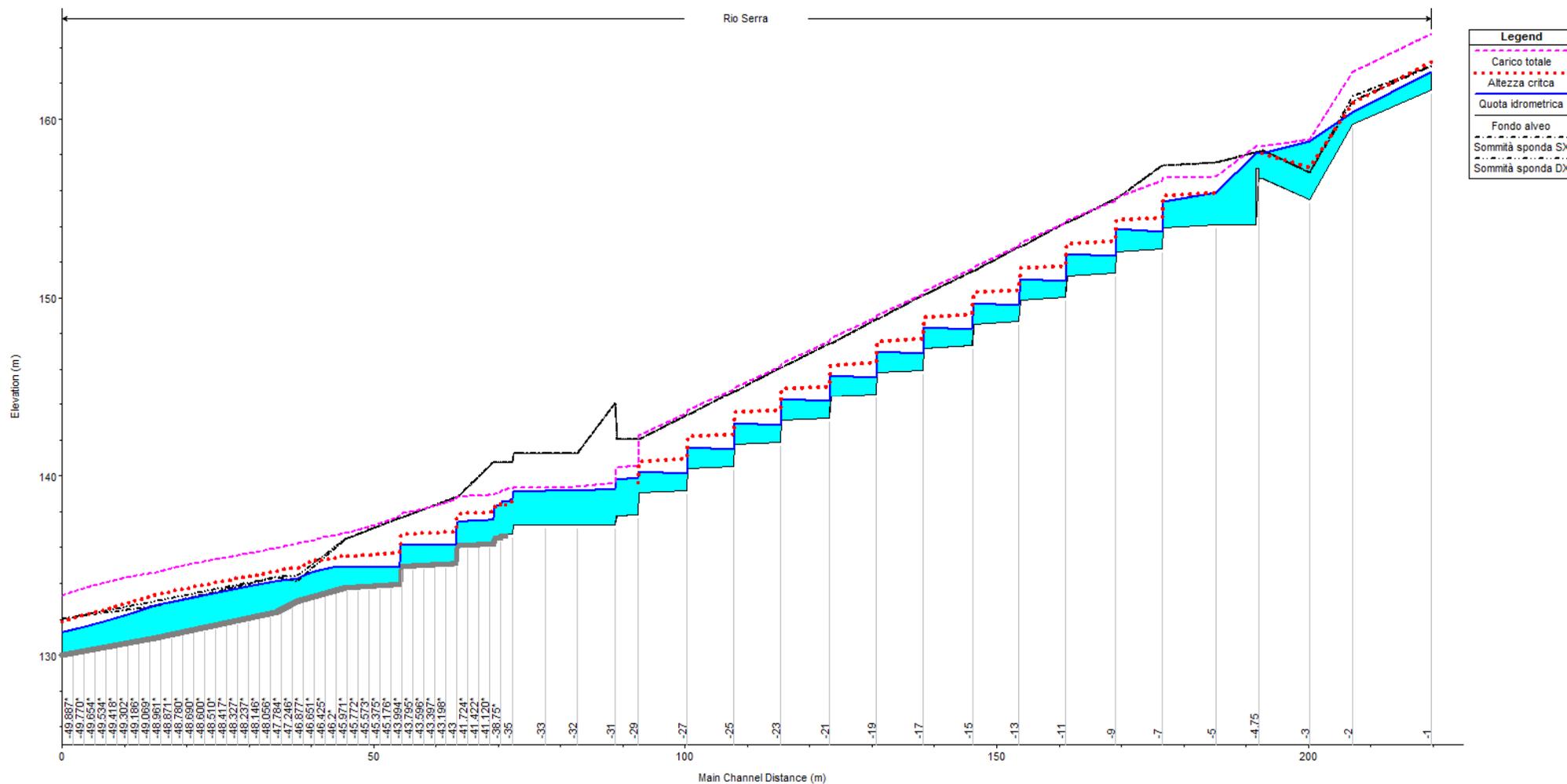


Figura 6 - Profilo idrometrico di progetto del rio Serra per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

### 7.2.1.7 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)

Non si prevedono opere provvisorie sul rio Serra.

## 7.2.2 Analisi idraulica dell'opera sul rio del Gallo

### 7.2.2.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio del Gallo nello stato attuale analogamente al Serra, scorre incassato tra le pendici dei versanti presenti, che ne costituiscono le sponde. Il corso d'acqua ha pendenza di fondo molto elevata secondo valori compresi tra 11 e 60%.

Nel tratto in analisi non sono presenti interferenze con manufatti di attraversamento o opere idrauliche esistenti.

Il modello geometrico del corso d'acqua nello stato attuale analizza una lunghezza di asta fluviale di circa 126 m, secondo un tratto di estensione pari a circa 50 m a monte dall'inizio degli interventi in progetto fino alla confluenza in Serra.

Di seguito (Tabella 16) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
	1	0	171,69
	2	18,48	168,00
	3	34,65	161,52
	4	50,34	152,28
	5	55,54	151,00
	6	73,23	149,00
	7	105,7	142,35
	8	124,22	139,99
confluenza	9	125,62	139,81

Tabella 16 – Profilo longitudinale del Gallo nelle condizioni di stato attuale.

## 7.2.2.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza del rio Serra rispetto allo stato attuale, prevedendo una sistemazione a salti di fondo di pendenza pari al 2%.

In corrispondenza dell'interferenza con il rilevato del collegamento autostradale in progetto viene realizzato un attraversamento scatolare avente andamento altimetrico del fondo a salti.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 23 sezioni trasversali che ne rappresentano le diverse tipologie di sistemazione.

La sistemazione prevista è costituita:

- da un tratto di lunghezza pari a circa 5 m caratterizzato da sezione rettangolare in cls di dimensioni  $B \times H = 2,50 \times \text{var.} 2,95-5,75$  m, la sezione di sistemazione è stata concepita di altezza variabile (malgrado sia a cielo aperto) per ottemperare alle prescrizioni del franco di sicurezza imposte dal Regolamento N.3 in corrispondenza dell'imbocco del manufatto scatolare di valle;
- da un tratto di tombino scatolare in cls di dimensioni  $B \times H = 2,5 \times 5,75$  m nel tratto di imbocco, per poi diventare di dimensioni  $B \times H = 2,5 \times \text{var.} 2,5-3,7$  m nella rimanente parte del tratto, tale variazione è risultata necessaria per garantire il franco di sicurezza minimo richiesto dal Regolamento N.3; il manufatto di attraversamento termina in corrispondenza della confluenza in Serra dove è ubicata la vasca di dissipazione.

Data l'elevatissima pendenza del fondo e la sezione d'alveo molto ristretta (spesso di larghezza in sommità inferiore a 2 m, misurata tra le 2 pendici del versante) non è possibile realizzare a monte della sistemazione alcuna opera di intercettazione del materiale flottante; inoltre i sopralluoghi eseguiti hanno mostrato che il fondo del corso d'acqua incide il substrato roccioso.

Di seguito, nella Tabella 17, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
naturale	1	0	-	173,00	173,00	171,69
naturale	2	18,48	-	169,89	169,74	168,00
naturale	3	34,65	-	163,00	163,00	161,52
inizio sezione aperta	4	50,34	-	155,20	155,20	152,25
sezione aperta	5	52,64	-	155,20	155,20	150,71
sezione aperta monte salto	6	54,94	-	155,20	155,20	150,66
sezione aperta valle salto	7	55,14	-	155,20	155,20	149,45
imbocco scatolare	8	63,14	155,20	-	-	149,45
monte salto	9	68,94	151,68	-	-	149,18
valle salto	10	69,14	151,68	-	-	147,98
monte salto	11	76,94	150,32	-	-	147,82
valle salto	12	77,14	150,32	-	-	146,62
monte salto	13	84,93	148,96	-	-	146,46

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m s.m.)
valle salto	14	85,13	148,96	-	-	145,26
monte salto	15	92,93	147,60	-	-	145,10
valle salto	16	93,13	147,60	-	-	143,90
monte salto	17	100,93	146,24	-	-	143,74
valle salto	18	101,13	146,24	-	-	142,54
monte salto	19	108,93	144,88	-	-	142,38
valle salto	20	109,13	144,88	-	-	141,18
monte salto	21	116,93	143,52	-	-	141,02
valle salto	22	117,13	143,52	-	-	139,82
sbocco scatolare	23	123,81	142,18	-	-	139,68

Tabella 17 - Profilo longitudinale del rio Gallo nello stato di progetto.

#### 7.2.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno introdotte nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 11,84 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- livello idrico indotto sul nodo di confluenza con il Serra.

#### 7.2.2.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto in progetto costituito dal manufatto di attraversamento e dalla sezione rivestita in cls si è assunto un valore di resistenza distribuita di 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

#### 7.2.2.5 Verifica nella situazione attuale

Lungo il rio del Gallo non vi sono aree o infrastrutture di trasporto soggette a rischio idraulico; la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori molto disomogenei (0,89 e 9,63 m/s) a causa delle elevate variazioni di geometria di sezione trasversale e di pendenza del fondo alveo, in particolare nella zona di confluenza (sez.8-9) la corrente rallenta per effetto del livello indotto dal Serra. Il tipo di moto è di corrente veloce ad eccezione della zona di confluenza.

Di seguito (Tabella 18 e Figura 7) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)
	1	0	173,00	173,00	11,84	171,69	172,41	172,92	174,49	0,200	6,39	1,85	3,93	2,97
	2	18,48	169,89	169,74	11,84	168,00	168,50	168,97	170,52	0,229	6,30	1,88	4,65	3,16
	3	34,65	163,00	163,00	11,84	161,52	162,17	162,76	165,52	0,416	8,10	1,46	3,87	4,20
	4	50,34	154,02	154,00	11,84	152,28	153,22	154,01	158,00	0,535	9,68	1,22	2,52	4,44
	5	55,54	153,00	153,00	11,84	151,00	151,74	152,48	155,40	0,361	8,47	1,40	2,65	3,72
	6	73,23	151,00	151,00	11,84	149,00	149,59	150,01	151,08	0,135	5,40	2,19	4,42	2,45
	7	105,7	144,00	144,00	11,84	142,35	143,71	144,32	145,85	0,191	6,47	1,83	2,76	2,54
	8	124,22	141,00	141,00	11,84	139,99	141,11	140,64	141,17	0,003	1,03	11,54	15,23	0,37
confluenza	9	125,62	141,00	140,82	11,84	139,81	141,07	140,46	141,11	0,002	0,89	13,39	15,43	0,30

Tabella 18 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio del Gallo per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

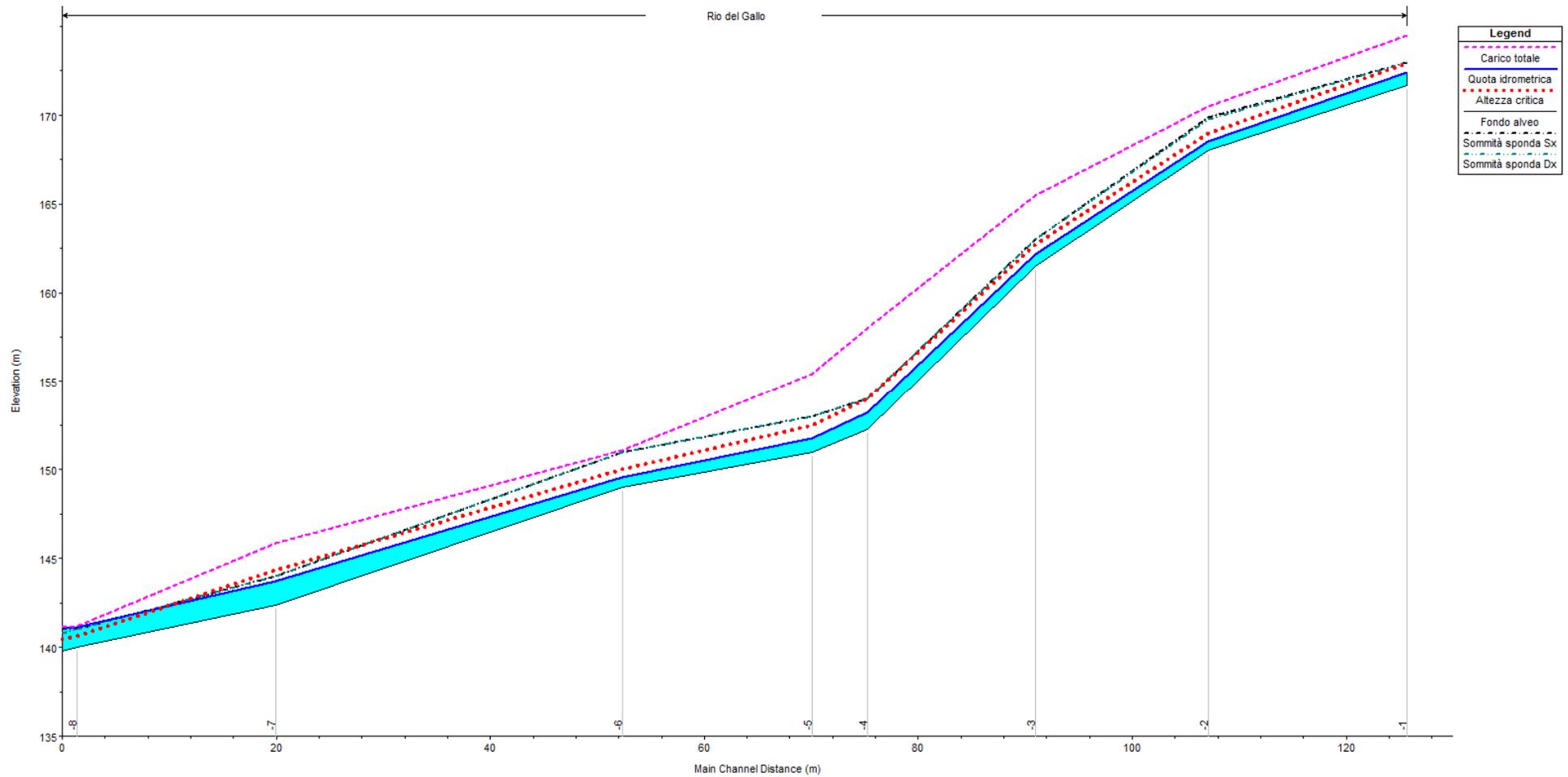


Figura 7 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio del Gallo per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

#### 7.2.2.6 Verifica nella situazione di progetto

Lo stato di progetto prevede a partire dalla sez.4 fino alla sez.7 una sistemazione dell'alveo costituita da una sezione rettangolare in cls di dimensioni BxH=2,50xvar.2,95-5,75 m; in corrispondenza della sez.8 viene realizzato l'imbocco dello scatolare in progetto di larghezza pari a 2,5 m e di altezza 5,75 m. Dalla sez.9 lo scatolare ha dimensioni BxH=2,5xvar 2,5-3,7 m fino in corrispondenza della confluenza in Serra:

La sistemazione ha un franco idraulico di sicurezza variabile da 2,48 a 5,28 m nel tratto di sistemazione caratterizzata da sezione aperta in cls; nel tratto in cui è previsto il tombino scatolare il franco idraulico di sicurezza varia da 1,50 m a 4,95 m. Nel complesso la sistemazione è coerente con quanto prescritto dal Regolamento N.3 in termini di franco tabellare. Per quanto attiene al carico cinetico, nel tratto di tombino scatolare (sez.8-23) esso risulta a quota sempre inferiore dell'intradosso dell'opera, nel tratto di sezione aperta a monte dell'attraversamento esso supera la sommità di sponda soltanto nella sezione di inizio sistemazione nel punto di innesto con l'alveo naturale e quindi rispetta i criteri di verifica imposti dal Regolamento.

Di seguito (Tabella 19 e Figura 8) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
naturale	1	0	-	173,00	173,00	11,84	171,69	172,41	172,92	174,49	0,200	6,39	1,85	3,93	2,97	-	0,00
naturale	2	18,48	-	169,89	169,74	11,84	168,00	168,50	168,97	170,52	0,229	6,30	1,88	4,65	3,16	-	0,00
naturale	3	34,65	-	163,00	163,00	11,84	161,52	162,17	162,76	165,52	0,416	8,10	1,46	3,87	4,20	-	0,00
inizio sezione aperta	4	50,34	-	155,20	155,20	11,84	152,25	152,72	153,57	157,97	0,532	10,15	1,17	2,50	4,74	2,48	-
sezione aperta	5	52,64	-	155,20	155,20	11,84	150,71	151,17	152,03	156,67	0,572	10,40	1,14	2,50	4,92	4,03	-
sezione aperta monte salto	6	54,94	-	155,20	155,20	11,84	150,66	151,19	151,98	155,20	0,357	8,87	1,34	2,50	3,87	4,01	-
sezione aperta valle salto	7	55,14	-	155,20	155,20	11,84	149,45	149,92	150,77	155,01	0,507	9,99	1,19	2,50	4,63	5,28	-
Imbocco scatolare	8	63,14	155,20	-	-	11,84	149,45	150,25	150,77	152,04	0,146	5,92	2,00	2,50	2,11	4,95	-
monte salto	9	68,94	151,68	-	-	11,84	149,18	150,18	150,50	151,33	0,060	4,75	2,50	2,50	1,52	1,50	-
valle salto	10	69,14	151,68	-	-	11,84	147,98	148,65	149,30	151,17	0,182	7,03	1,69	2,50	2,73	3,03	-
monte salto	11	76,94	150,32	-	-	11,84	147,82	148,80	149,14	149,99	0,064	4,83	2,45	2,50	1,56	1,52	-
valle salto	12	77,14	150,32	-	-	11,84	146,62	147,29	147,94	149,83	0,185	7,07	1,68	2,50	2,75	3,03	-
monte salto	13	84,93	148,96	-	-	11,84	146,46	147,43	147,78	148,64	0,065	4,86	2,44	2,50	1,57	1,53	-
valle salto	14	85,13	148,96	-	-	11,84	145,26	145,93	146,58	148,48	0,186	7,08	1,67	2,50	2,76	3,03	-
monte salto	15	92,93	147,60	-	-	11,84	145,10	146,07	146,42	147,28	0,065	4,87	2,43	2,50	1,58	1,53	-
valle salto	16	93,13	147,60	-	-	11,84	143,90	144,57	145,22	147,12	0,186	7,08	1,67	2,50	2,76	3,03	-
monte salto	17	100,93	146,24	-	-	11,84	143,74	144,71	145,06	145,92	0,065	4,87	2,43	2,50	1,58	1,53	-
valle salto	18	101,13	146,24	-	-	11,84	142,54	143,21	143,86	145,77	0,186	7,08	1,67	2,50	2,77	3,03	-
monte salto	19	108,93	144,88	-	-	11,84	142,38	143,35	143,70	144,56	0,065	4,87	2,43	2,50	1,58	1,53	-
valle salto	20	109,13	144,88	-	-	11,84	141,18	141,85	142,50	144,41	0,186	7,08	1,67	2,50	2,77	3,03	-
monte salto	21	116,93	143,52	-	-	11,84	141,02	141,99	142,34	143,20	0,065	4,87	2,43	2,50	1,58	1,53	-
valle salto	22	117,13	143,52	-	-	11,84	139,82	140,49	141,14	143,05	0,186	7,09	1,67	2,50	2,77	3,03	-

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso manufatto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)	(m)
sbocco scatolare	23	123,81	142,18	-	-	11,84	139,68	140,61	141,00	141,93	0,074	5,10	2,32	2,50	1,69	1,57	-

Tabella 19 – Profilo idrometrico di progetto del rio del Gallo per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

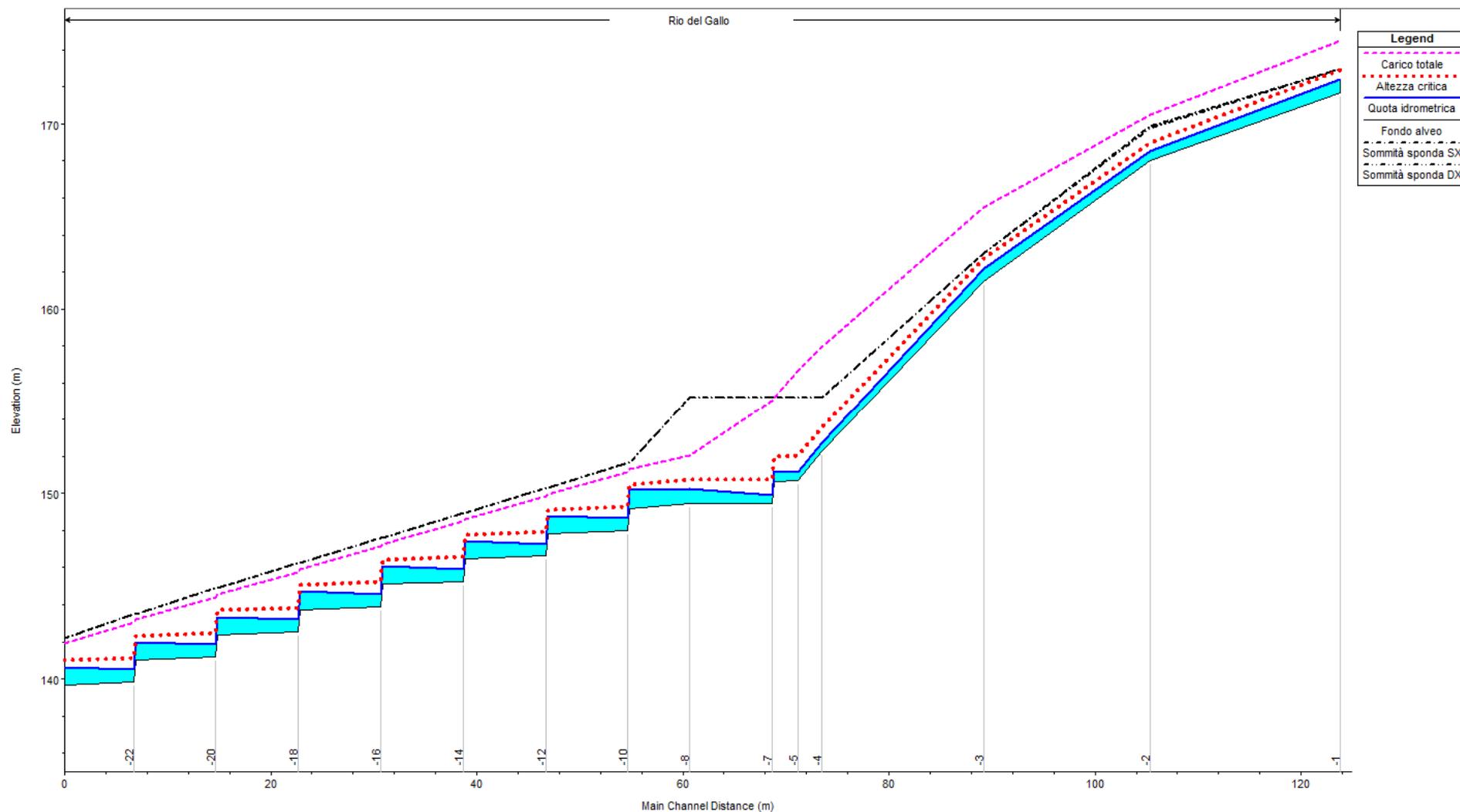


Figura 8 - Profilo idrometrico di progetto del rio del Gallo per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

### 7.2.2.7 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)

Durante le fasi di costruzione delle opere in progetto, il rio Gallo verrà attraversato da rilevati provvisionali destinati a consentire la viabilità di servizio al cantiere che ne ostruiranno la sezione incisa; al fine di consentire i deflussi sul rio è stata prevista all'interno del rilevato una tubazione provvisoria in ARMCO di diametro 2,0 m e pendenza minima non inferiore al 2%. La portata di verifica della tubazione è quella a tempo di ritorno 50 anni che è risultata pari a  $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La tubazione ARMCO prevista è in grado di smaltire la portata cinquantennale con un riempimento del 66% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 1,32 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente.

## 8. INTERFERENZA CASELLO VAL FONTANABUONA – NUOVA INALVEAZIONE TORRENTE LITTEGLIA

### 8.1 Analisi idrologica

I bacini imbriferi dei rii interferenti con il casello Val Fontanabuona (vedi *Figura 9*) hanno le seguenti superfici:

Rio della Prè:	$S = 0,781 \text{ km}^2$ ;
Rio Grande del Litteglia:	$S = 0,941 \text{ km}^2$ ;
Torrente Litteglia (monte confluenza rio Colsio):	$S = 1,810 \text{ km}^2$ ;
Rio Colsio:	$S = 0,644 \text{ km}^2$ ;
Torrente Litteglia (valle confluenza rio Colsio):	$S = 2,454 \text{ km}^2$ ;
Bacino minore residuo intercluso tra Rio Grande del Litteglia e rio Colsio	$S = 0,016 \text{ km}^2$ .

Considerando un contributo specifico di  $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per i bacini con superficie fino a  $1 \text{ km}^2$ , di  $38 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per il bacino con superficie compresa a 1 e  $2 \text{ km}^2$  e di  $36 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  per il bacino con superficie compresa a 2 e  $3 \text{ km}^2$ , si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

Rio della Prè:	$QTR200 = 31,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Rio Grande del Litteglia:	$QTR200 = 37,64 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Torrente Litteglia (monte confluenza rio Colsio):	$QTR200 = 68,78 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Rio Colsio:	$QTR200 = 25,76 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Torrente Litteglia (valle confluenza rio Colsio):	$QTR200 = 88,34 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino minore residuo intercluso tra Rio Grande del Litteglia e rio Colsio	$QTR200 = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}$ .

I parametri fisiografici dei bacini in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

BACINO	S (km <sup>2</sup> )	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
Rio della Prè	0,781	768	469	195	1,350	33,0	61
Rio Grande del Litteglia	0,941	725	446	209	1,380	27,0	55
Torrente Litteglia monte Colsio	1,810	768	456	195	1,400	27,0	58
Rio Colsio	0,644	670	424	185	0,650	30,0	54
Torrente Litteglia valle Colsio	2,454	768	447	176	1,640	23,0	57

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

BACINO	GIANDOTTI (ore)	S.C.S. (ore)	VENTURA (ore)	PEZZOLI (ore)	PASINI (ore)	tc assunto (ore)
Rio della Prè	0,42	0,26	0,20	0,13	0,19	0,36
Rio Grande del Litteglia	0,48	0,28	0,24	0,15	0,23	0,36
Torrente Litteglia monte Colsio	0,58	0,28	0,33	0,15	0,28	0,38
Rio Colsio	0,34	0,15	0,19	0,07	0,15	0,36
Torrente Litteglia valle Colsio	0,66	0,31	0,42	0,19	0,36	0,42

Assumendo i valori medi di calcolo del tempo di corrivazione riportati nell'ultima colonna del precedente prospetto, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella *Tabella 20* seguente.

BACINO	TR = 10 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 25 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 50 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 100 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 200 anni (m <sup>3</sup> /s)
Rio della Prè	17,9	22,0	25,0	28,0	31,0
Rio Grande del Litteglia	21,6	26,5	30,1	33,7	37,4
Torrente Litteglia monte Colsio	40,1	49,2	55,9	62,6	69,3

BACINO	TR = 10 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 25 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 50 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 100 anni (m <sup>3</sup> /s)	TR = 200 anni (m <sup>3</sup> /s)
Rio Colsio	14,8	18,1	20,6	23,1	25,6
Torrente Litteglia valle Colsio	51,1	62,5	71,0	79,5	87,9

Tabella 20 – Portate di assegnato tempo di ritorno dei rii interferenti con il casello di Val Fontanabuona.

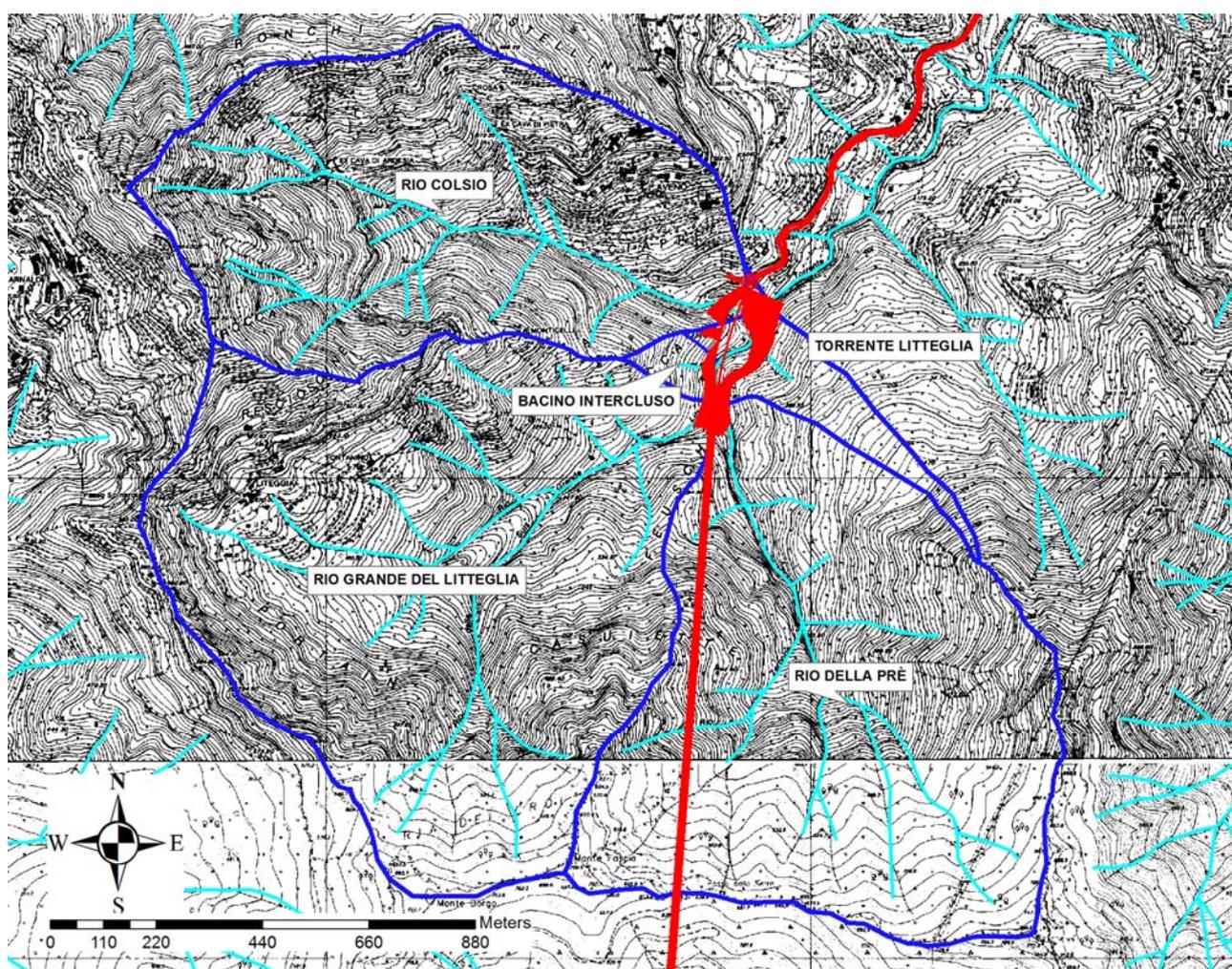


Figura 9 – Bacini imbriferi del torrente Litteglia interferenti con il casello di Val Fontanabuona.

## 8.2 Analisi idraulica

Nella corografia sopra riportata viene evidenziato il tracciato del collegamento autostradale tra la Val Fontanabuona e l'autostrada A12; che si sviluppa nei territori comunali di Cicagna e Tribogna. In corrispondenza della località Aveno, viene realizzata una stazione di esazione che interferisce con le aste del Litteglia, del rio Colsio e dell'incisione presente nel bacino residuo compreso tra il rio Grande del Litteglia

e il rio Colsio. Le aste principali verranno deviate rispetto all'attuale andamento dell'alveo inciso. Di seguito si descrivono le analisi idrauliche eseguite per le opere definitive e provvisorie.

### 8.2.1 Analisi idraulica delle opere sul Rio della Prè

#### 8.2.1.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio della Prè scorre incassato tra le pendici dei versanti presenti, che ne costituiscono le sponde. Il corso d'acqua ha pendenza di fondo molto elevata secondo valori compresi tra 8 e 17%.

Nel tratto in analisi non sono presenti interferenze con manufatti di attraversamento o opere idrauliche esistenti.

Il modello geometrico del corso d'acqua nello stato attuale analizza una lunghezza di asta fluviale di circa 135 m, secondo un tratto di estensione pari a circa 47 m a monte dall'inizio degli interventi in progetto fino alla confluenza in Litteglia.

Di seguito (Tabella 21) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
Rio della Prè	1	0,99	203,15
Rio della Prè	2	26,73	201,07
Rio della Prè	3	47,20	198,99
Rio della Prè	4	70,93	195,02
Rio della Prè	5	95,15	192,05
Rio della Prè	6	119,50	187,80
confluenza in Litteglia	7	135,09	181,89

Tabella 21 – Profilo longitudinale del rio della Prè nelle condizioni di stato attuale.

#### 8.2.1.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza di fondo rispetto allo stato attuale, prevedendo una sistemazione di pendenza pari all'1% con 1 solo salto di fondo, localizzato immediatamente a monte della confluenza in Litteglia.

Il rio della Pré non interferisce con i rilevati dell'infrastruttura in progetto e pertanto non vi sono attraversamenti in progetto; la sua sistemazione è finalizzata ad ottenere la stabilità morfologica dell'asta fluviale.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 7 sezioni trasversali atte a rappresentare la sistemazione in massi di cava sciolti; nella sezione di progetto localmente, in prossimità cioè dei punti più sollecitati idrodinamicamente come salti di fondo e punti di attacco tra fondo e sponda, vengono realizzati getti di consolidamento in cls per garantirne la stabilità strutturale. In particolare la sezione tipo di progetto è di geometria trapezia caratterizzata da una larghezza di base pari a 3,00 m, in sommità di 9,00 m, di altezza pari a 3,00 m con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).

Di seguito, nella Tabella 22, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
naturale	1	0,99	206,00	206,00	203,15
naturale	2	26,73	204,00	204,00	201,07
inizio sistemazione	3	47,20	202,12	202,12	199,12
	4	60,87	201,98	201,98	198,98
monte salto	5	119,50	201,40	201,40	198,40
valle salto	6	119,70	201,40	201,40	197,90
confluenza in Litteglia	7	135,09	201,25	201,25	197,75

Tabella 22 - Profilo longitudinale del rio della Pré nello stato di progetto.

#### 8.2.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno introdotte nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 31,24 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- livello idrico indotto sul nodo di confluenza con il Rio Grande del Litteglia.

#### 8.2.1.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto in progetto costituito dal rivestimento in massi sciolti si è assunto un valore di resistenza distribuita di 30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

#### 8.2.1.5 Verifica nella situazione attuale

Lungo il rio della Pré non vi sono aree o infrastrutture di trasporto soggette a rischio idraulico; la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori compresi tra 4,35 e 6,60 m/s a causa delle elevate variazioni di geometria di sezione trasversale e di pendenza del fondo alveo dell'asta; soltanto in corrispondenza della confluenza con il rio Grande del Litteglia la velocità rallenta per effetto del livello generato sul nodo, scendendo ad un valore di 0,48 m/s. Il tipo di moto è di corrente veloce ad eccezione della zona di confluenza.

Di seguito (Tabella 23 e Figura 10) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)
Rio della Prè	1	0,99	206,00	206,00	31,24	203,15	204,25	204,61	205,43	0,081	4,81	6,50	7,13	1,61
Rio della Prè	2	26,73	204,00	204,00	31,24	201,07	201,84	202,19	203,00	0,111	4,77	6,55	10,24	1,90
Rio della Prè	3	47,20	202,00	202,00	31,24	198,99	200,12	200,41	201,10	0,075	4,38	7,14	9,12	1,58
Rio della Prè	4	70,93	198,31	198,26	31,24	195,02	196,20	196,73	198,15	0,225	6,17	5,06	8,76	2,59
Rio della Prè	5	95,15	195,17	195,00	31,24	192,05	193,30	193,68	194,49	0,097	4,84	6,45	8,86	1,81
Rio della Prè	6	119,50	189,90	190,00	31,24	187,80	188,51	189,08	190,72	0,265	6,59	4,74	9,01	2,90
confluenza in Litteglia	7	135,09	185,06	185,22	68,78	181,89	186,93	183,63	186,94	0,0001	0,48	69,07	25,66	0,08

Tabella 23 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio della Prè per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

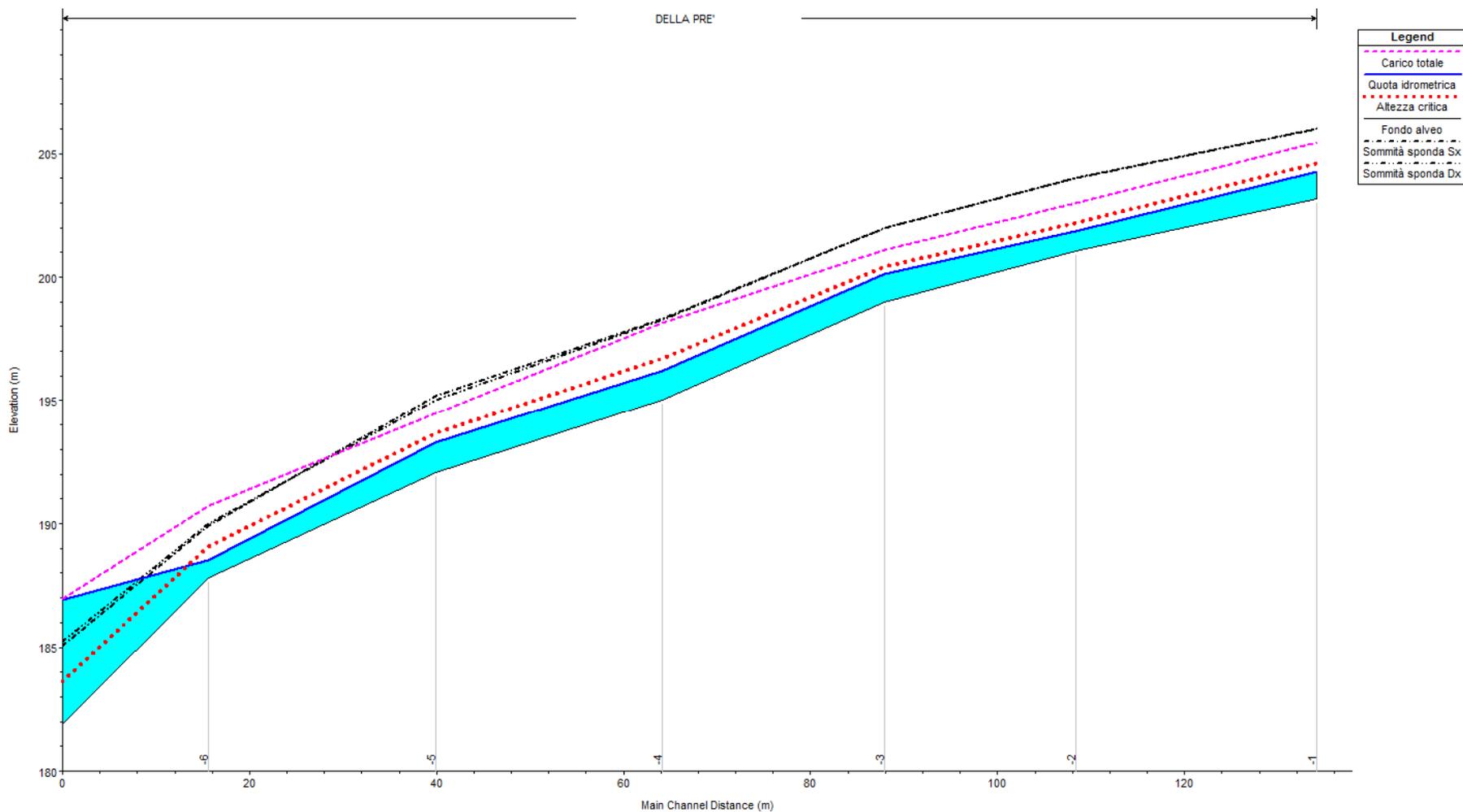


Figura 10 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio della Pré per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

#### 8.2.1.6 Verifica nella situazione di progetto

La simulazione dello stato di progetto ha evidenziato l'adeguatezza idraulica degli interventi di riprofilatura e rivestimento in massi di cava sciolti previsti; in particolare si osserva che il carico totale è sempre inferiore alle quote di sommità spondale; il franco idraulico di sicurezza è sempre superiore a 0,83 m (valore raggiunto nella sezione 4) è quindi rientra nei criteri previsti dal Regolamento Regionale per le aste di secondo livello.

Non sono previsti interventi di intercettazione del trasporto solido in quanto l'alveo del della Prè è quasi totalmente in roccia; non sono previste briglie selettive per la trattenuta del flottante in quanto la sezione di sistemazione sul presente rio e su tutte le aste di valle è aperta e quindi non vi sono rischi di ostruzione della sezione di deflusso.

Di seguito (Tabella 24 e Figura 11) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)	(m)
naturale	1	0,99	206,00	206,00	31,24	203,15	204,25	204,61	205,43	0,081	4,81	6,50	7,13	1,61	-	0,00
naturale	2	26,73	204,00	204,00	31,24	201,07	201,84	202,19	203,00	0,111	4,77	6,55	10,24	1,90	-	0,00
inizio sistemazione	3	47,20	202,12	202,12	31,24	199,12	200,60	200,93	201,73	0,039	4,69	6,66	5,97	1,42	1,52	
	4	60,87	201,98	201,98	31,24	198,98	201,15	200,79	201,55	0,009	2,78	11,25	7,35	0,72	0,83	
monte salto	5	119,50	201,40	201,40	31,24	198,40	200,40		200,90	0,013	3,12	10,02	7,01	0,83	1,00	
valle salto	6	119,70	201,40	201,40	31,24	197,90	200,40		200,70	0,040	2,43	12,85	7,28	0,58	1,00	
confluenza in Litteglia	7	135,09	201,25	201,25	68,78	197,75	200,03	199,18	200,21	0,003	1,88	16,60	9,56	0,46	1,22	

Tabella 24 – Profilo idrometrico di progetto del rio della Prè per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

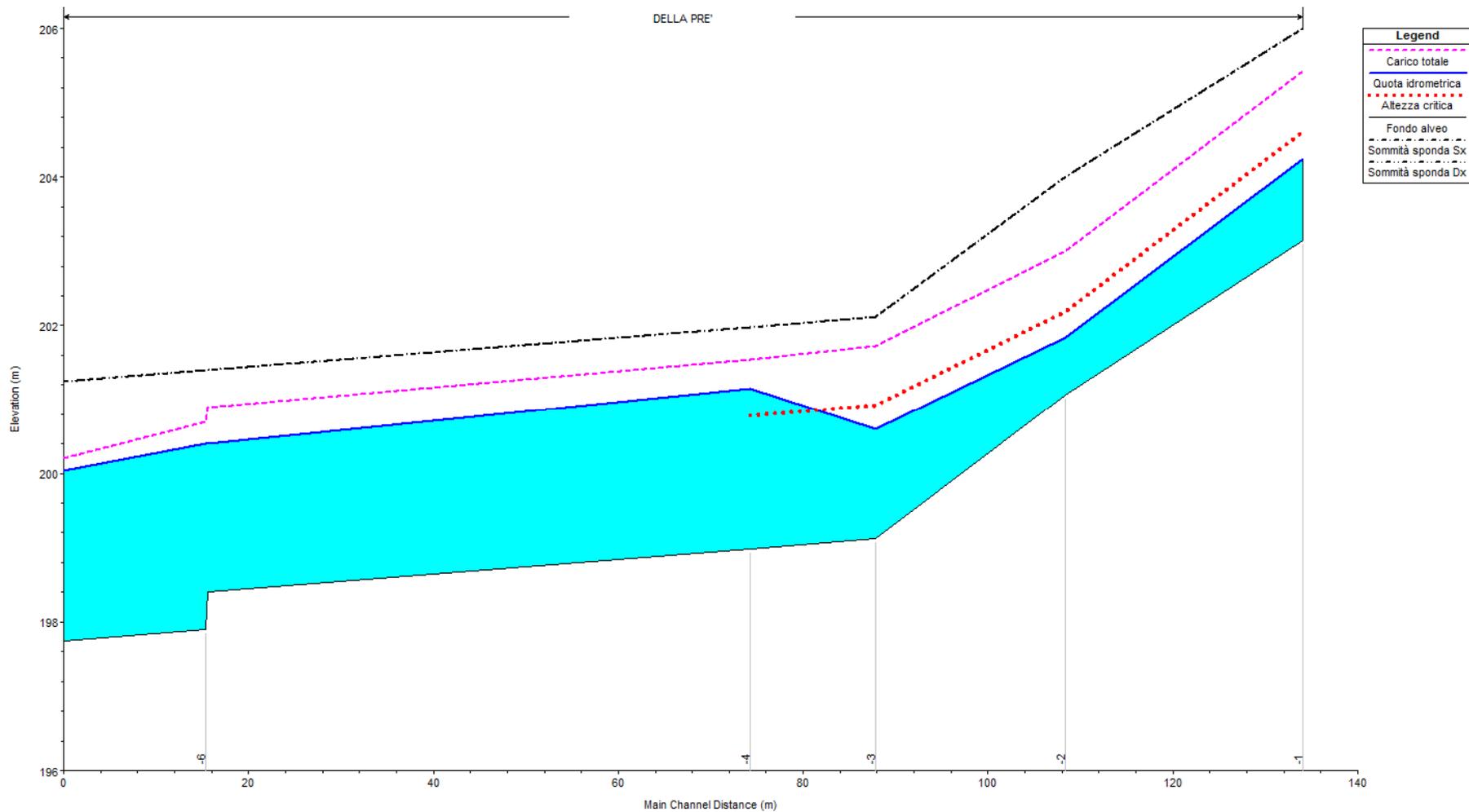


Figura 11 - Profilo idrometrico di progetto del rio della Prè per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

**8.2.1.7 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisorie)**

Durante le fasi di costruzione delle opere in progetto, il rio verrà canalizzato all'interno di una tubazione ARMCO di diametro pari a 2,8 m; la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 25,0 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito ha mostrato che la pendenza minima della tubazione ARMCO da posare non dovrà essere inferiore al 2%, la portata cinquantennale viene smaltita con un riempimento della tubazione pari al 70% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 1,96 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente. Di seguito si riportano i parametri idraulici caratteristici del calcolo eseguito.

Riempimento (%)	Livello idrico (m)	Largh. livello (m)	Contorno bagnato (m)	Area bagnata (m <sup>2</sup> )	Velocità (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcritica (m <sup>3</sup> /s)	Froude (-)	V <sup>2</sup> /2g (m)	R idraulico (m)
2	0,06	0,78	0,79	0,03	0,71	0,02	0,02	1,165	0,03	0,04
4	0,11	1,10	1,13	0,08	1,11	0,09	0,07	1,297	0,06	0,07
6	0,17	1,33	1,39	0,15	1,45	0,22	0,16	1,375	0,11	0,11
8	0,22	1,52	1,61	0,23	1,75	0,40	0,28	1,430	0,16	0,14
10	0,28	1,68	1,80	0,32	2,01	0,64	0,44	1,471	0,21	0,18
12	0,34	1,82	1,98	0,42	2,26	0,94	0,63	1,503	0,26	0,21
14	0,39	1,94	2,15	0,52	2,48	1,30	0,85	1,528	0,31	0,24
16	0,45	2,05	2,30	0,64	2,70	1,72	1,11	1,547	0,37	0,28
18	0,50	2,15	2,45	0,75	2,90	2,18	1,40	1,563	0,43	0,31
20	0,56	2,24	2,60	0,88	3,09	2,71	1,72	1,575	0,49	0,34
22	0,62	2,32	2,73	1,00	3,26	3,28	2,07	1,584	0,54	0,37
24	0,67	2,39	2,87	1,14	3,43	3,90	2,45	1,591	0,60	0,40
26	0,73	2,46	3,00	1,27	3,59	4,57	2,87	1,595	0,66	0,42
28	0,78	2,51	3,12	1,41	3,75	5,29	3,31	1,597	0,72	0,45
30	0,84	2,57	3,25	1,55	3,89	6,05	3,79	1,598	0,77	0,48
32	0,90	2,61	3,37	1,70	4,03	6,85	4,29	1,597	0,83	0,50
34	0,95	2,65	3,49	1,85	4,17	7,69	4,82	1,594	0,88	0,53
36	1,01	2,69	3,60	2,00	4,29	8,56	5,39	1,590	0,94	0,55
38	1,06	2,72	3,72	2,15	4,41	9,47	5,98	1,585	0,99	0,58
40	1,12	2,74	3,83	2,30	4,53	10,41	6,60	1,578	1,04	0,60
42	1,18	2,76	3,95	2,45	4,64	11,38	7,24	1,570	1,10	0,62
44	1,23	2,78	4,06	2,61	4,74	12,37	7,92	1,561	1,14	0,64
46	1,29	2,79	4,17	2,77	4,84	13,38	8,62	1,551	1,19	0,66
48	1,34	2,80	4,29	2,92	4,93	14,40	9,35	1,540	1,24	0,68
50	1,40	2,80	4,40	3,08	5,02	15,45	10,11	1,528	1,28	0,70
52	1,46	2,80	4,51	3,24	5,10	16,50	10,90	1,514	1,33	0,72
54	1,51	2,79	4,62	3,39	5,18	17,56	11,71	1,499	1,37	0,73
56	1,57	2,78	4,74	3,55	5,25	18,63	12,55	1,484	1,40	0,75
58	1,62	2,76	4,85	3,70	5,32	19,69	13,43	1,467	1,44	0,76
60	1,68	2,74	4,96	3,86	5,38	20,76	14,33	1,449	1,48	0,78
62	1,74	2,72	5,08	4,01	5,44	21,81	15,26	1,429	1,51	0,79
64	1,79	2,69	5,19	4,16	5,49	22,85	16,22	1,409	1,54	0,80
66	1,85	2,65	5,31	4,31	5,54	23,88	17,22	1,387	1,56	0,81

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	$V^2/2g$	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
68	1,90	2,61	5,43	4,46	5,58	24,88	18,25	1,364	1,59	0,82
70	1,96	2,57	5,55	4,60	5,62	25,87	19,31	1,339	1,61	0,83
72	2,02	2,51	5,67	4,75	5,65	26,82	20,42	1,313	1,63	0,84

Tabella 25 – Scala di moto uniforme per la tubazione ARMCO di diametro 2,8 m e pendenza pari a 2%.

## 8.2.2 Analisi idraulica delle opere sul Rio Grande del Litteglia e torrente Litteglia

### 8.2.2.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio Grande del Litteglia dopo il nodo di confluenza con il rio della Prè acquisisce il nome di torrente Litteglia. Il tratto di corso d'acqua analizzato si estende sul rio Grande del Litteglia per una lunghezza di circa 183,0 m a monte della confluenza con il rio della Prè e sul Litteglia per un'estensione di circa 436 m a partire dalla confluenza del della Prè fino a valle della confluenza del rio Colsio.

Le caratteristiche morfologiche e morfometriche delle aste analizzate appartengono a quelle dei corsi d'acqua montani, contraddistinti da alvei incisi molto incisi, con sponde adiacenti alle pendici dei versanti e con pendenze di fondo molto elevate.

Nel tratto in analisi non sono presenti interferenze con manufatti di attraversamento o opere idrauliche esistenti.

Di seguito (Tabella 26) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
Rio grande del Litteglia	1	0,00	201,84
Rio grande del Litteglia	2	11,92	200,00
Rio grande del Litteglia	3	24,30	199,41
Rio grande del Litteglia	4	40,87	196,21
Rio grande del Litteglia	5	60,75	195,74
Rio grande del Litteglia	6	73,14	194,79
Rio grande del Litteglia	7	91,50	193,60
Rio grande del Litteglia	8	116,50	190,31
Rio grande del Litteglia	9	135,51	189,81
Rio grande del Litteglia	10	167,39	186,90
Litteglia valle confluenza della Prè	11	183,03	181,89
Litteglia	12	207,93	181,85

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
Litteglia	13	228,05	181,90
Litteglia	14	256,37	179,03
Litteglia	15	284,23	177,43
Litteglia	16	327,04	174,33
Litteglia	17	382,23	168,11
Litteglia a valle confluenza Colsio	18	402,79	166,37
Litteglia	19	446,19	164,26
Litteglia	20	493,02	162,77
Litteglia	21	556,27	158,49
Litteglia	22	586,13	157,37
Litteglia	23	597,79	156,25
Litteglia	24	618,87	154,62

Tabella 26 – Profilo longitudinale del rio Grande del Litteglia e torrente Litteglia nelle condizioni di stato attuale.

#### 8.2.2.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; anche in questo caso, come per il rio della Prè, gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza di fondo rispetto allo stato attuale; in particolare la sistemazione risulta eseguita con pendenza variabile ed andamento altimetrico a salti di fondo, secondo le tipologie di sezione aperta di seguito descritte.

- Rio Grande del Litteglia fino alla confluenza con il della Prè - tratto compreso tra sez. 4-14: riprofilatura e rivestimento dell'alveo in deviazione tramite massi di cava sciolti, ad ottenere una sezione tipo di geometria trapezia, di larghezza di base pari a 3,00 m, in sommità di 9,00 m, altezza pari a 3,00 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).
- Torrente Litteglia a valle confluenza della Prè – tratto compreso tra sez.15-33: riprofilatura e rivestimento dell'alveo in deviazione tramite massi di cava sciolti, ad ottenere una sezione tipo di geometria trapezia di larghezza di base pari a 5,00 m, in sommità di 12,00 m, altezza pari a 3,50 m e con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).
- Torrente Litteglia – tratto compreso tra sez. 33 (monte confluenza rio Colsio) e sez.65: riprofilatura e rivestimento dell'alveo in cls ad ottenere una sezione rettangolare di dimensioni di base pari a 6,5 m e altezza variabile da 3,50 a 8,10 m.
- Torrente Litteglia – tratto compreso tra sez. 65-67: riprofilatura e rivestimento dell'alveo in deviazione tramite massi di cava sciolti, ad ottenere una sezione tipo di geometria trapezia di larghezza di base pari a 6,00 m, in sommità di 13,00 m, altezza pari a 3,50 m e con sponde inclinate secondo

pendenza 1 su 1 (45°). Quest'ultimo tratto di sistemazione, oltre che costituire il raccordo con la sezione naturale del corso d'acqua, ha funzione di vasca di dissipazione dell'energia cinetica; dai risultati di velocità a confronto tra la sezione 24 nella simulazione di stato attuale e la 69 nella simulazione di progetto si vede che i valori indotti dalla realizzazione della vasca sono di poco inferiori a quelli del corso d'acqua nello stato naturale e quindi assolvono regolarmente l'obiettivo di non modificare il regime di deflusso del corso d'acqua.

La sistemazione sopra descritta è finalizzata ad ottenere la stabilità morfologica dell'asta fluviale in deviazione. L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 69 sezioni trasversali atte a rappresentare la sistemazione in massi di cava sciolti e in cls prevista; per quanto attiene al rivestimento in massi di cava sciolti va specificato che localmente, in prossimità cioè dei punti più sollecitati idrodinamicamente come salti di fondo e punti di attacco tra fondo e sponda, vengono realizzati getti di consolidamento in cls per garantirne la stabilità strutturale.

Il rio Grande del Litteglia e il torrente Litteglia non vengono tominati poiché non devono attraversare alcun rilevato dell'infrastruttura in progetto; l'autostrada in progetto attraversa il rio Grande del Litteglia soltanto in corrispondenza della sezione di progetto 11 (quota fondo 198,58 m s.m.) tramite un ponte avente intradosso a quota 205,33 m s.m.

Di seguito, nella Tabella 27, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
sez.1 naturale	1	0,00		204,00	203,91	201,84
sez.2 naturale	2	11,92		203,00	203,00	200,00
sez.3 naturale	3	24,30		202,76	202,78	199,41
inizio sistemazione	4	40,87		202,70	202,70	199,70
	5	51,46		202,61	202,61	199,61
	6	73,14		202,38	202,38	199,38
	7	78,67		202,32	202,32	199,32
	8	95,72		202,15	202,15	199,15
	9	116,49		201,93	201,93	198,93
	10	135,50		201,73	201,73	198,73
	11	149,53	205,33	201,58	201,58	198,58
monte salto	12	167,38		201,40	201,40	198,40
valle salto	13	167,58		201,40	201,40	197,90
confluenza della Prè	14	183,03		201,25	201,25	197,75
	15	198,03		201,11	201,11	197,61
	16	213,03		200,97	200,97	197,47
	17	228,05		200,83	200,83	197,33
	18	243,18		200,63	200,63	197,13

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	19	256,43		200,53	200,53	197,03
monte salto	20	260,23		200,50	200,50	197,00
valle salto	21	260,43		200,50	200,50	196,00
monte salto	22	268,23		199,35	199,35	195,85
valle salto	23	268,43		199,35	199,35	194,85
monte salto	24	276,23		198,19	198,19	194,69
valle salto	25	276,43		198,19	198,19	193,69
monte salto	26	284,23		197,04	197,04	193,54
valle salto	27	284,43		197,04	197,04	192,54
	28	299,23		195,81	195,81	192,31
	29	314,23		195,59	195,59	192,09
	30	329,23		195,36	195,36	191,86
	31	344,23		195,14	195,14	191,64
	32	359,23		194,91	194,91	191,41
monte salto	33	382,23		194,57	194,57	191,07
valle salto	34	382,43		194,57	194,57	190,07
confluenza Colsio	35	393,63		194,40	194,40	189,90
monte salto	36	402,66		194,26	194,26	189,76
valle salto	37	402,86		194,26	194,26	188,76
monte salto	38	407,63		193,84	193,84	188,66
valle salto	39	407,83		193,84	193,84	186,17
monte salto	40	421,63		191,50	191,50	185,89
valle salto	41	421,83		191,50	191,50	183,39
monte salto	42	431,63		188,64	188,64	183,19
valle salto	43	431,83		188,64	188,64	181,19
monte salto	44	443,63		187,04	187,04	180,95
valle salto	45	443,83		187,04	187,04	178,95
monte salto	46	455,63		183,61	183,61	178,71
valle salto	47	455,83		183,61	183,61	176,71
monte salto	48	467,63		181,92	181,92	176,47
valle salto	49	467,83		181,92	181,92	174,97
monte salto	50	479,63		180,35	180,35	174,73
valle salto	51	479,83		180,35	180,35	172,73
monte salto	52	489,63		177,85	177,85	172,53
valle salto	53	489,83		177,85	177,85	170,53
monte salto	54	499,63		175,35	175,35	170,33
valle salto	55	499,83		175,35	175,35	167,83
monte salto	56	509,63		172,85	172,85	167,63
valle salto	57	509,83		172,85	172,85	165,63
monte salto	58	529,63		170,50	170,50	165,23
valle salto	59	529,83		170,50	170,50	164,23
monte salto	60	539,63		169,32	169,32	164,03
valle salto	61	539,83		169,32	169,32	162,03

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
monte salto	62	549,63		166,82	166,82	161,83
valle salto	63	549,83		166,82	166,82	159,33
monte salto	64	559,63		164,38	164,38	159,13
valle salto	65	559,83		164,38	164,38	157,63
inizio vasca	66	573,63		162,50	162,50	157,35
fine vasca	67	586,13		162,50	162,50	157,00
sez. 23 naturale	68	597,79		158,83	159,13	156,25
sez. 24 naturale	69	618,87		158,00	157,76	154,62

Tabella 27 - Profilo longitudinale del rio Grande del Litteglia e torrente Litteglia nello stato di progetto.

#### 8.2.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno introdotte nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 37,64 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 68,78 m<sup>3</sup>/s nel tratto tra le confluenze dei rii della Prè e Colsio;
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 88,34 m<sup>3</sup>/s a valle della confluenza del rio Colsio;
- scala di deflusso in moto uniforme nella sezione di valle (avente codice 24 per lo stato naturale e 69 per quello di progetto).

Si è eseguita inoltre un'analisi di sensibilità sulla variazione di livello idrico rispetto a quello ottenuto dalla scala di deflusso imposta; essa ha mostrato di non influenzare i livelli di calcolo nel tratto sistemato e quindi ha certificato la validità della condizione al contorno inserita.

#### 8.2.2.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto in progetto costituito dal rivestimento in massi sciolti si è assunto un valore di resistenza distribuita di 30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning) mentre per quello in cls di 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning)

#### 8.2.2.5 Verifica nella situazione attuale

Lungo le aste in analisi non vi sono aree o infrastrutture di trasporto soggette a rischio idraulico; la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori compresi tra 1,00 e 7,50 m/s a causa delle elevate

variazioni di geometria di sezione trasversale e di pendenza del fondo alveo dell'asta. Il tipo di moto è di corrente veloce ad eccezione della zona di confluenza con il rio della Prè.

Di seguito (Tabella 28 e Figura 12) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)
Rio grande del Litteglia	1	0,00	204,00	203,91	37,64	201,84	203,12	203,67	204,98	0,150	6,03	6,24	8,67	2,27
Rio grande del Litteglia	2	11,92	203,00	203,00	37,64	200,00	202,33	202,38	202,99	0,126	3,60	10,47	9,00	1,06
Rio grande del Litteglia	3	24,30	202,76	202,78	37,64	199,41	200,67	200,97	201,71	0,064	4,52	8,32	9,21	1,52
Rio grande del Litteglia	4	40,87	200,44	200,73	37,64	196,21	198,14	198,77	200,18	0,122	6,33	5,95	5,52	1,95
Rio grande del Litteglia	5	60,75	199,35	199,00	37,64	195,74	197,12	197,45	198,24	0,061	4,67	8,06	7,88	1,47
Rio grande del Litteglia	6	73,14	198,56	198,00	37,64	194,79	195,87	196,31	197,29	0,090	5,28	7,12	7,74	1,76
Rio grande del Litteglia	7	91,50	196,00	196,00	37,64	193,60	195,03	195,26	195,90	0,052	4,12	9,15	9,71	1,35
Rio grande del Litteglia	8	116,50	193,00	193,00	37,64	190,31	191,36	191,95	193,53	0,191	6,54	5,76	8,37	2,51
Rio grande del Litteglia	9	135,51	192,96	192,95	37,64	189,81	191,26	191,32	191,83	0,032	3,35	11,24	11,65	1,09
Rio grande del Litteglia	10	167,39	189,00	188,87	37,64	186,90	187,47	187,94	189,30	0,359	5,99	6,29	17,71	3,21
Litteglia valle confluenza della Prè	11	183,03	185,06	185,22	68,78	181,89	186,93	184,23	186,98	0,001	1,05	69,01	25,62	0,17
Litteglia	12	207,93	186,41	185,68	68,78	181,85	185,97	185,97	186,85	0,048	4,17	16,51	9,67	1,01
Litteglia	13	228,05	184,00	183,55	68,78	181,90	184,38	184,78	185,86	0,045	5,42	13,10	7,83	1,18
Litteglia	14	256,37	182,00	181,96	68,78	179,03	180,61	181,40	183,46	0,179	7,48	9,19	10,18	2,51
Litteglia	15	284,23	180,81	181,00	68,78	177,43	178,91	179,24	179,98	0,070	4,60	14,96	18,02	1,61
Litteglia	16	327,04	177,44	177,10	68,78	174,33	175,61	175,98	176,85	0,076	4,93	13,94	15,46	1,66
Litteglia	17	382,23	171,00	171,00	68,78	168,11	170,70	171,25	172,53	0,078	6,00	11,47	7,99	1,60
Litteglia a valle confluenza Colsio	18	402,79	169,26	169,00	88,34	166,37	168,30	169,05	170,70	0,094	6,85	12,90	9,69	1,90
Litteglia	19	446,19	167,67	167,81	88,34	164,26	166,06	166,47	167,51	0,050	5,35	16,52	11,23	1,41
Litteglia	20	493,02	166,00	166,00	88,34	162,77	165,23	165,23	166,24	0,027	4,45	19,86	9,95	1,01
Litteglia	21	556,27	161,47	161,16	88,34	158,49	160,13	161,01	162,96	0,116	7,45	11,86	9,01	2,07
Litteglia	22	586,13	159,66	160,83	88,34	157,37	159,17	159,51	160,25	0,050	4,59	19,26	17,88	1,41
Litteglia	23	597,79	158,83	159,13	88,34	156,25	157,98	158,59	159,90	0,013	6,13	14,41	11,99	1,79

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)
Litiglia	24	618,87	158,00	157,76	88,34	154,62	156,46	157,29	159,20	0,114	7,34	12,04	9,52	2,08

Tabella 28 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio Grande del Litiglia e del torrente Litiglia per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

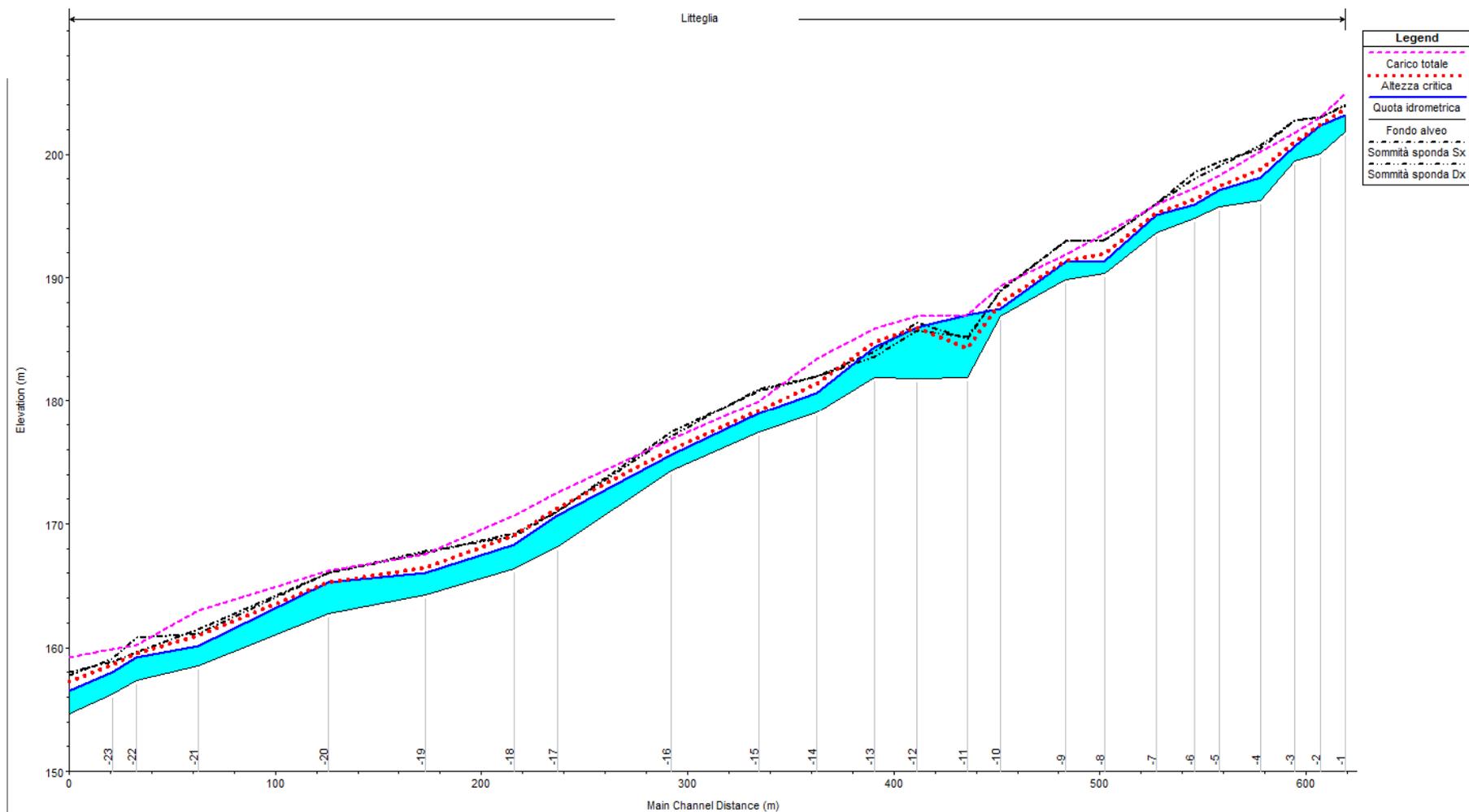


Figura 12 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio Grande del Litteglia e del torrente Litteglia per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

#### 8.2.2.6 Verifica nella situazione di progetto

Il rio Grande del Litteglia e il torrente Litteglia non vengono tominati poiché non devono attraversare alcun rilevato dell'infrastruttura in progetto; l'autostrada in progetto attraversa il rio Grande del Litteglia in corrispondenza della sezione di progetto 11 (quota fondo 198,58 m s.m.) tramite un ponte avente intradosso a quota 205,33 m s.m., che confrontato con la quota idrometrica di 200,73 m s.m. conferisce alla struttura un franco idraulico di sicurezza di 4,60 m. Va specificato che il franco idraulico di sicurezza misurato rispetto al carico totale (201,32 m s.m.) risulta di 4,01 m. L'opera di attraversamento secondo i criteri previsti dal Regolamento N.3 è pertanto adeguata idraulicamente.

Per quanto attiene alla sistemazione dell'alveo costituita dalla realizzazione di una sezione a cielo aperto secondo le caratteristiche descritte nel paragrafo 8.2.2.2, la simulazione dello stato di progetto ha evidenziato l'adeguatezza idraulica degli interventi di riprofilatura e rivestimento della sezione incisa in deviazione; in particolare si osserva che il carico totale è sempre inferiore alle quote di sommità spondale tranne nel tratto di raccordo alla sezione naturale di valle; il franco idraulico di sicurezza è sempre superiore a 0,72 m (valore raggiunto nelle sezioni 12 e 13 immediatamente a monte della confluenza del rio della Prè) è quindi rientra nei criteri previsti dal Regolamento Regionale per le aste di secondo livello.

Non sono previsti interventi di intercettazione del trasporto solido in quanto gli alvei sono quasi totalmente in roccia; non sono previste briglie selettive per la trattenuta del flottante in quanto la sezione di sistemazione sulle aste è aperta e quindi non vi sono rischi di ostruzione della sezione di deflusso.

Di seguito (Tabella 29 e Figura 13) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
sez.1 naturale	1	0,00		204,00	203,91	37,64	201,84	203,12	203,67	204,98	0,150	6,03	6,24	8,67	2,27	-
sez.2 naturale	2	11,92		203,00	203,00	37,64	200,00	202,52	202,38	203,00	0,083	3,06	12,29	9,91	0,88	-
sez.3 naturale	3	24,30		202,76	202,78	37,64	199,41	202,45	-	202,54	0,002	1,33	28,21	13,10	0,29	-
inizio sistemazione	4	40,87		202,70	202,70	37,64	199,70	201,79	201,70	202,43	0,008	3,54	10,64	7,18	0,93	0,91
	5	51,46		202,61	202,61	37,64	199,61	201,61	201,61	202,33	0,009	3,77	9,99	7,00	1,01	1,00
	6	73,14		202,38	202,38	37,64	199,38	201,10	201,39	202,19	0,016	4,62	8,14	6,45	1,31	1,28
	7	78,67		202,32	202,32	37,64	199,32	201,18	201,33	202,06	0,012	4,18	9,01	6,71	1,15	1,14
	8	95,72		202,15	202,15	37,64	199,15	201,03	201,15	201,89	0,012	4,12	9,14	6,75	1,13	1,12
	9	116,49		201,93	201,93	37,64	198,93	200,86	200,93	201,66	0,011	3,96	9,50	6,86	1,07	1,07
	10	135,50		201,73	201,73	37,64	198,73	200,66	200,73	201,46	0,010	3,95	9,53	6,86	1,07	1,07
	11	149,53	205,33	201,58	201,58	37,64	198,58	200,73	200,58	201,32	0,007	3,41	11,04	7,29	0,88	0,85
monte salto	12	167,38		201,40	201,40	37,64	198,40	200,68	-	201,18	0,006	3,12	12,05	7,56	0,79	0,72
valle salto	13	167,58		201,40	201,40	37,64	197,90	200,68	-	201,00	0,002	2,51	14,97	7,77	0,58	0,72
confluenza della Prè	14	183,03		201,25	201,25	68,78	197,75	200,03	200,03	200,90	0,004	4,15	16,58	9,56	1,01	1,22
	15	198,03		201,11	201,11	68,78	197,61	199,68	199,89	200,80	0,006	4,69	14,66	9,14	1,18	1,43
	16	213,03		200,97	200,97	68,78	197,47	199,52	199,75	200,68	0,012	4,77	14,43	9,09	1,21	1,45
	17	228,05		200,83	200,83	68,78	197,33	199,46	199,61	200,50	0,010	4,53	15,19	9,26	1,13	1,37
	18	243,18		200,63	200,63	68,78	197,13	199,55	199,41	200,30	0,007	3,84	17,92	9,83	0,91	1,08
	19	256,43		200,53	200,53	68,78	197,03	199,44	199,31	200,20	0,007	3,84	17,89	9,83	0,91	1,09
monte salto	20	260,23		200,50	200,50	68,78	197,00	199,28	199,28	200,15	0,008	4,15	16,58	9,56	1,01	1,22
valle salto	21	260,43		200,50	200,50	68,78	196,00	197,61	198,35	200,00	0,102	6,85	10,05	7,50	1,89	2,89
monte salto	22	268,23		199,35	199,35	68,78	195,85	197,48	198,13	199,53	0,086	6,34	10,84	8,27	1,77	1,87
valle salto	23	268,43		199,35	199,35	68,78	194,85	196,29	197,20	199,41	0,150	7,83	8,79	7,23	2,27	3,06
monte salto	24	276,23		198,19	198,19	68,78	194,69	196,26	196,97	198,53	0,100	6,69	10,29	8,13	1,90	1,93
valle salto	25	276,43		198,19	198,19	68,78	193,69	195,09	196,04	198,41	0,164	8,07	8,52	7,18	2,37	3,10

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
monte salto	26	284,23		197,04	197,04	68,78	193,54	195,10	195,82	197,40	0,101	6,72	10,24	8,12	1,91	1,94
valle salto	27	284,43		197,04	197,04	68,78	192,54	193,94	194,89	197,28	0,165	8,10	8,50	7,17	2,37	3,10
	28	299,23		195,81	195,81	68,78	192,31	194,00	194,59	195,89	0,077	6,10	11,28	8,37	1,68	1,81
	29	314,23		195,59	195,59	68,78	192,09	193,85	194,37	195,55	0,053	5,77	11,92	8,52	1,56	1,74
	30	329,23		195,36	195,36	68,78	191,86	193,62	194,14	195,32	0,053	5,77	11,92	8,52	1,56	1,74
	31	344,23		195,14	195,14	68,78	191,64	193,40	193,92	195,10	0,053	5,77	11,92	8,52	1,56	1,74
	32	359,23		194,91	194,91	68,78	191,41	193,17	193,69	194,87	0,053	5,77	11,92	8,52	1,56	1,74
monte salto	33	382,23		194,57	194,57	68,78	191,07	193,13	193,31	194,47	0,039	5,13	13,40	6,50	1,14	1,44
valle salto	34	382,43		194,57	194,57	68,78	190,07	191,49	192,31	194,31	0,113	7,43	9,26	6,50	1,99	3,08
confluenza Colsio	35	393,63		194,40	194,40	88,34	189,90	191,56	192,14	193,62	0,072	6,36	10,82	6,50	1,57	2,84
monte salto	36	402,66		194,26	194,26	88,34	189,76	191,51	192,00	193,37	0,062	6,03	11,40	6,50	1,45	2,75
valle salto	37	402,86		194,26	194,26	88,34	188,76	190,12	191,00	193,22	0,131	7,81	8,81	6,50	2,14	4,14
monte salto	38	407,63		193,84	193,84	88,34	188,66	190,15	190,90	192,73	0,100	7,12	9,67	6,50	1,86	3,69
valle salto	39	407,83		193,84	193,84	88,34	186,17	187,56	188,83	192,46	0,203	9,81	9,01	6,50	2,66	6,28
monte salto	40	421,63		191,50	191,50	88,34	185,89	187,70	188,55	190,56	0,093	7,49	11,79	6,50	1,78	3,80
valle salto	41	421,83		191,50	191,50	88,34	183,39	184,69	186,05	190,26	0,245	10,46	8,45	6,50	2,93	6,81
monte salto	42	431,63		188,64	188,64	88,34	183,19	184,83	185,85	188,34	0,125	8,31	10,64	6,50	2,07	3,81
valle salto	43	431,83		188,64	188,64	88,34	181,19	182,49	183,85	188,09	0,247	10,49	8,42	6,50	2,94	6,15
monte salto	44	443,63		187,04	187,04	88,34	180,95	182,64	183,61	185,94	0,114	8,05	10,98	6,50	1,98	4,40
valle salto	45	443,83		187,04	187,04	88,34	178,95	180,27	181,61	185,69	0,235	10,32	8,56	6,50	2,87	6,77
monte salto	46	455,63		183,61	183,61	88,34	178,71	180,41	181,37	183,65	0,111	7,97	11,08	6,50	1,95	3,20
valle salto	47	455,83		183,61	183,61	88,34	176,71	178,03	179,37	183,41	0,232	10,27	8,60	6,50	2,85	5,58
monte salto	48	467,63		181,92	181,92	88,34	176,47	178,18	179,13	181,40	0,110	7,95	11,11	6,50	1,94	3,74
valle salto	49	467,83		181,92	181,92	88,34	174,97	176,36	177,63	181,21	0,199	9,75	9,06	6,50	2,64	5,56
monte salto	50	479,63		180,35	180,35	88,34	174,73	176,49	177,39	179,52	0,101	7,72	11,45	6,50	1,86	3,86

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso ponte in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)
valle salto	51	479,83		180,35	180,35	88,34	172,73	174,07	175,39	179,28	0,221	10,11	8,74	6,50	2,78	6,28
monte salto	52	489,63		177,85	177,85	88,34	172,53	174,20	175,19	177,57	0,118	8,14	10,86	6,50	2,01	3,65
valle salto	53	489,83		177,85	177,85	88,34	170,53	171,84	173,19	177,33	0,239	10,38	8,51	6,50	2,89	6,01
monte salto	54	499,63		175,35	175,35	88,34	170,33	171,97	172,99	175,46	0,123	8,27	10,68	6,50	2,06	3,38
valle salto	55	499,83		175,35	175,35	88,34	167,83	169,07	170,49	175,16	0,279	10,93	8,08	6,50	3,13	6,28
monte salto	56	509,63		172,85	172,85	88,34	167,63	169,22	170,29	172,93	0,134	8,52	10,36	6,50	2,15	3,63
valle salto	57	509,83		172,85	172,85	88,34	165,63	166,91	168,29	172,68	0,258	10,65	8,30	6,50	3,01	5,94
monte salto	58	529,63		170,50	170,50	88,34	165,23	167,13	167,89	169,74	0,082	7,16	12,34	6,50	1,66	3,37
valle salto	59	529,83		170,50	170,50	88,34	164,23	165,80	166,89	169,60	0,140	8,63	10,23	6,50	2,20	4,70
monte salto	60	539,63		169,32	169,32	88,34	164,03	165,88	166,69	168,63	0,088	7,34	12,04	6,50	1,72	3,44
valle salto	61	539,83		169,32	169,32	88,34	162,03	163,41	164,69	168,37	0,206	9,87	8,95	6,50	2,69	5,91
monte salto	62	549,63		166,82	166,82	88,34	161,83	163,52	164,49	166,81	0,113	8,03	11,00	6,50	1,97	3,30
valle salto	63	549,83		166,82	166,82	88,34	159,33	160,59	161,99	166,51	0,267	10,78	8,20	6,50	3,06	6,23
monte salto	64	559,63		164,38	164,38	88,34	159,13	160,74	161,79	164,38	0,132	8,46	10,44	6,50	2,13	3,64
valle salto	65	559,83		164,38	164,38	88,34	157,63	158,97	160,29	164,19	0,222	10,12	8,73	6,50	2,79	5,41
inizio vasca	66	573,63		162,50	162,50	88,34	157,35	158,96	159,88	162,00	0,100	7,73	11,43	8,19	2,09	3,54
fine vasca	67	586,13		162,50	162,50	88,34	157,00	158,77	159,55	161,27	0,075	7,01	12,60	8,25	1,81	3,73
sez. 23 naturale	68	597,79		158,83	159,13	88,34	156,25	157,82	158,59	160,35	0,095	7,04	12,55	11,25	2,13	1,01
sez. 24 naturale	69	618,87		158,00	157,76	88,34	154,62	156,59	157,29	158,83	0,070	6,62	13,35	9,93	1,82	1,41

Tabella 29 – Profilo idrometrico di progetto del rio Grande del Litteglia e torrente Litteglia per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

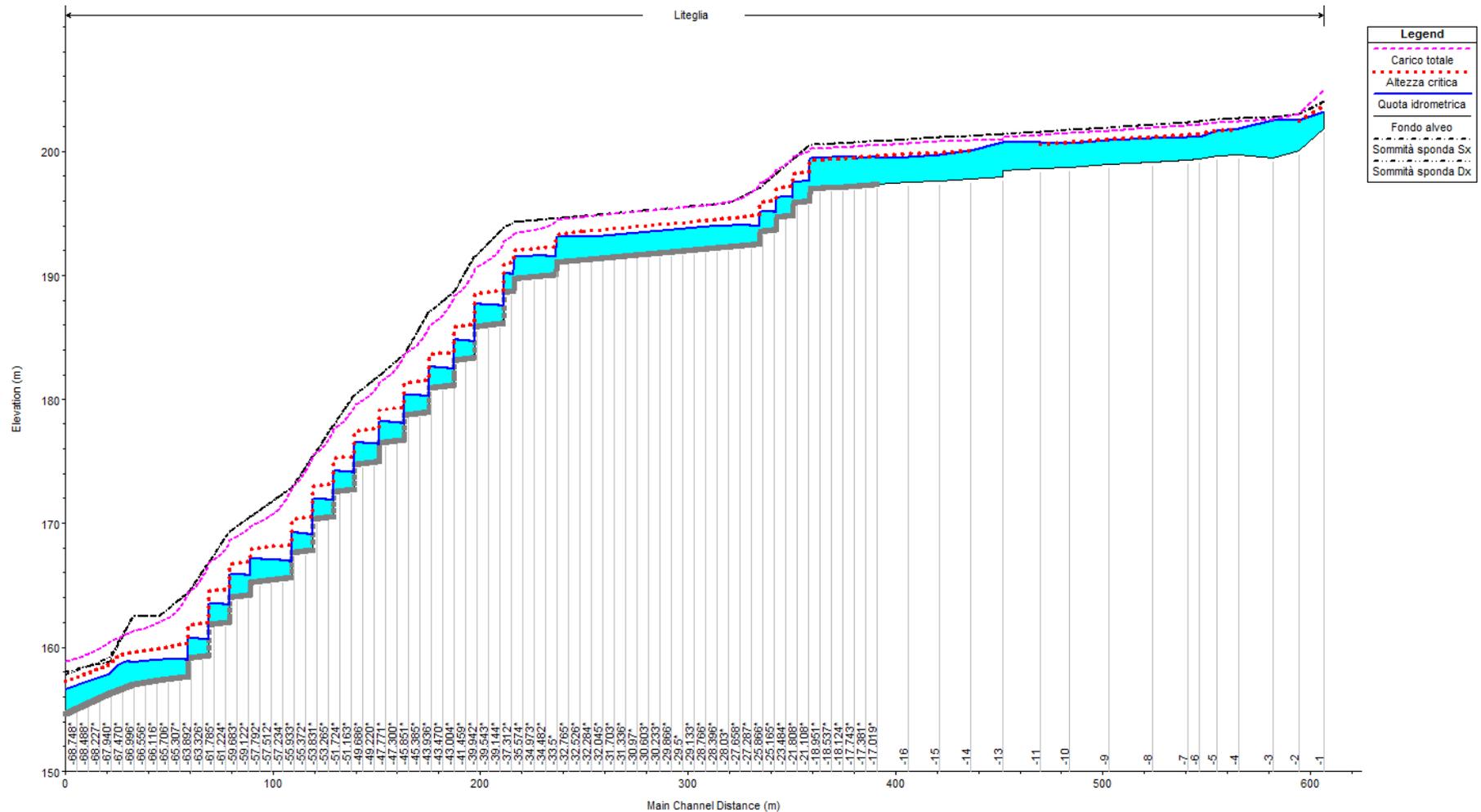


Figura 13 - Profilo idrometrico di progetto del rio Grande del Litteglia e torrente Litteglia per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

**8.2.2.7 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisorie)**

Durante le fasi di costruzione delle opere in progetto, le aste dei corsi d'acqua verranno canalizzate all'interno di tubazioni ARMCO così dimensionate:

- di diametro pari a 2,8 m sul rio Grande del Litteglia; la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 30,1 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito ha mostrato che la pendenza minima della tubazione ARMCO da posare non dovrà essere inferiore al 2% affinché la portata cinquantennale venga smaltita con un riempimento della tubazione pari al 80% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 2,24 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente;
- di diametro pari a 3,5 m sul torrente Litteglia nel tratto compreso tra le confluenze dei rii della Prè e Colsio; la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 55,9 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito ha mostrato che la pendenza minima della tubazione ARMCO da posare non dovrà essere inferiore al 2% affinché la portata cinquantennale venga smaltita con un riempimento della tubazione pari al 82% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 2,87 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente;
- di diametro pari a 4,1 m sul torrente Litteglia a valle della confluenza del rio Colsio; la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 71,0 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito ha mostrato che la pendenza minima della tubazione ARMCO da posare non dovrà essere inferiore al 2% affinché la portata cinquantennale venga smaltita con un riempimento della tubazione pari al 70% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 2,87 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente;

Di seguito si riportano i parametri idraulici caratteristici dei calcoli eseguiti.

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	V <sup>2</sup> /2g	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
2	0,06	0,78	0,79	0,03	0,71	0,02	0,02	1,165	0,03	0,04
4	0,11	1,10	1,13	0,08	1,11	0,09	0,07	1,297	0,06	0,07
6	0,17	1,33	1,39	0,15	1,45	0,22	0,16	1,375	0,11	0,11
8	0,22	1,52	1,61	0,23	1,75	0,40	0,28	1,430	0,16	0,14
10	0,28	1,68	1,80	0,32	2,01	0,64	0,44	1,471	0,21	0,18
12	0,34	1,82	1,98	0,42	2,26	0,94	0,63	1,503	0,26	0,21
14	0,39	1,94	2,15	0,52	2,48	1,30	0,85	1,528	0,31	0,24
16	0,45	2,05	2,30	0,64	2,70	1,72	1,11	1,547	0,37	0,28
18	0,50	2,15	2,45	0,75	2,90	2,18	1,40	1,563	0,43	0,31
20	0,56	2,24	2,60	0,88	3,09	2,71	1,72	1,575	0,49	0,34
22	0,62	2,32	2,73	1,00	3,26	3,28	2,07	1,584	0,54	0,37
24	0,67	2,39	2,87	1,14	3,43	3,90	2,45	1,591	0,60	0,40
26	0,73	2,46	3,00	1,27	3,59	4,57	2,87	1,595	0,66	0,42

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	V <sup>2</sup> /2g	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
28	0,78	2,51	3,12	1,41	3,75	5,29	3,31	1,597	0,72	0,45
30	0,84	2,57	3,25	1,55	3,89	6,05	3,79	1,598	0,77	0,48
32	0,90	2,61	3,37	1,70	4,03	6,85	4,29	1,597	0,83	0,50
34	0,95	2,65	3,49	1,85	4,17	7,69	4,82	1,594	0,88	0,53
36	1,01	2,69	3,60	2,00	4,29	8,56	5,39	1,590	0,94	0,55
38	1,06	2,72	3,72	2,15	4,41	9,47	5,98	1,585	0,99	0,58
40	1,12	2,74	3,83	2,30	4,53	10,41	6,60	1,578	1,04	0,60
42	1,18	2,76	3,95	2,45	4,64	11,38	7,24	1,570	1,10	0,62
44	1,23	2,78	4,06	2,61	4,74	12,37	7,92	1,561	1,14	0,64
46	1,29	2,79	4,17	2,77	4,84	13,38	8,62	1,551	1,19	0,66
48	1,34	2,80	4,29	2,92	4,93	14,40	9,35	1,540	1,24	0,68
50	1,40	2,80	4,40	3,08	5,02	15,45	10,11	1,528	1,28	0,70
52	1,46	2,80	4,51	3,24	5,10	16,50	10,90	1,514	1,33	0,72
54	1,51	2,79	4,62	3,39	5,18	17,56	11,71	1,499	1,37	0,73
56	1,57	2,78	4,74	3,55	5,25	18,63	12,55	1,484	1,40	0,75
58	1,62	2,76	4,85	3,70	5,32	19,69	13,43	1,467	1,44	0,76
60	1,68	2,74	4,96	3,86	5,38	20,76	14,33	1,449	1,48	0,78
62	1,74	2,72	5,08	4,01	5,44	21,81	15,26	1,429	1,51	0,79
64	1,79	2,69	5,19	4,16	5,49	22,85	16,22	1,409	1,54	0,80
66	1,85	2,65	5,31	4,31	5,54	23,88	17,22	1,387	1,56	0,81
68	1,90	2,61	5,43	4,46	5,58	24,88	18,25	1,364	1,59	0,82
70	1,96	2,57	5,55	4,60	5,62	25,87	19,31	1,339	1,61	0,83
72	2,02	2,51	5,67	4,75	5,65	26,82	20,42	1,313	1,63	0,84
74	2,07	2,46	5,80	4,89	5,68	27,73	21,58	1,285	1,64	0,84
76	2,13	2,39	5,93	5,02	5,70	28,60	22,79	1,255	1,65	0,85
78	2,18	2,32	6,06	5,15	5,71	29,43	24,06	1,223	1,66	0,85
80	2,24	2,24	6,20	5,28	5,72	30,20	25,40	1,189	1,67	0,85

Tabella 30 – Scala di moto uniforme per la tubazione ARMCO di diametro 2,8 m e pendenza pari a 2% sul rio Grande del Litteglia.

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	V <sup>2</sup> /2g	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
2	0,07	0,98	0,99	0,05	0,82	0,04	0,03	1,209	0,03	0,05
4	0,14	1,37	1,41	0,13	1,29	0,17	0,12	1,346	0,09	0,09
6	0,21	1,66	1,73	0,24	1,68	0,40	0,28	1,427	0,14	0,14
8	0,28	1,90	2,01	0,36	2,03	0,73	0,49	1,485	0,21	0,18
10	0,35	2,10	2,25	0,50	2,34	1,17	0,77	1,527	0,28	0,22
12	0,42	2,27	2,48	0,65	2,62	1,71	1,10	1,560	0,35	0,26
14	0,49	2,43	2,68	0,82	2,88	2,36	1,49	1,586	0,42	0,30
16	0,56	2,57	2,88	0,99	3,13	3,11	1,94	1,606	0,50	0,34
18	0,63	2,69	3,07	1,18	3,36	3,96	2,44	1,622	0,58	0,38
20	0,70	2,80	3,25	1,37	3,58	4,91	3,00	1,635	0,65	0,42
22	0,77	2,90	3,42	1,57	3,79	5,94	3,62	1,644	0,73	0,46

Riempimento (%)	Livello idrico (m)	Largh. livello (m)	Contorno bagnato (m)	Area bagnata (m <sup>2</sup> )	Velocità (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcritica (m <sup>3</sup> /s)	Froude (-)	V <sup>2</sup> /2g (m)	R idraulico (m)
24	0,84	2,99	3,58	1,78	3,98	7,08	4,29	1,651	0,81	0,50
26	0,91	3,07	3,75	1,99	4,17	8,29	5,01	1,655	0,89	0,53
28	0,98	3,14	3,90	2,21	4,35	9,59	5,79	1,658	0,96	0,56
30	1,05	3,21	4,06	2,43	4,52	10,97	6,61	1,658	1,04	0,60
32	1,12	3,27	4,21	2,65	4,68	12,42	7,49	1,657	1,12	0,63
34	1,19	3,32	4,36	2,88	4,83	13,94	8,43	1,655	1,19	0,66
36	1,26	3,36	4,50	3,12	4,98	15,53	9,41	1,651	1,26	0,69
38	1,33	3,40	4,65	3,35	5,12	17,18	10,44	1,645	1,34	0,72
40	1,40	3,43	4,79	3,59	5,25	18,88	11,52	1,638	1,41	0,75
42	1,47	3,45	4,94	3,83	5,38	20,63	12,65	1,630	1,47	0,78
44	1,54	3,47	5,08	4,08	5,50	22,42	13,83	1,621	1,54	0,80
46	1,61	3,49	5,22	4,32	5,61	24,25	15,06	1,610	1,61	0,83
48	1,68	3,50	5,36	4,57	5,72	26,12	16,34	1,598	1,67	0,85
50	1,75	3,50	5,50	4,81	5,82	28,01	17,66	1,586	1,73	0,88
52	1,82	3,50	5,64	5,06	5,92	29,92	19,04	1,571	1,78	0,90
54	1,89	3,49	5,78	5,30	6,01	31,84	20,46	1,556	1,84	0,92
56	1,96	3,47	5,92	5,54	6,09	33,77	21,93	1,540	1,89	0,94
58	2,03	3,45	6,06	5,79	6,17	35,71	23,45	1,522	1,94	0,95
60	2,10	3,43	6,20	6,03	6,24	37,63	25,03	1,504	1,99	0,97
62	2,17	3,40	6,35	6,27	6,31	39,54	26,65	1,484	2,03	0,99
64	2,24	3,36	6,49	6,50	6,37	41,43	28,34	1,462	2,07	1,00
66	2,31	3,32	6,64	6,74	6,43	43,30	30,07	1,440	2,11	1,01
68	2,38	3,27	6,79	6,97	6,48	45,12	31,87	1,416	2,14	1,03
70	2,45	3,21	6,94	7,19	6,52	46,90	33,74	1,390	2,17	1,04
72	2,52	3,14	7,09	7,42	6,56	48,62	35,68	1,363	2,19	1,05
74	2,59	3,07	7,25	7,63	6,59	50,28	37,70	1,334	2,21	1,05
76	2,66	2,99	7,41	7,85	6,61	51,86	39,81	1,303	2,23	1,06
78	2,73	2,90	7,58	8,05	6,63	53,35	42,02	1,270	2,24	1,06
80	2,80	2,80	7,75	8,25	6,64	54,75	44,36	1,234	2,24	1,06
82	2,87	2,69	7,93	8,44	6,64	56,04	46,86	1,196	2,24	1,06

Tabella 31 – Scala di moto uniforme per la tubazione ARMCO di diametro 3,5 m e pendenza pari a 2% sul torrente Litteglia nel tratto compreso tra le confluenze della Prè e Colsio.

Riempimento (%)	Livello idrico (m)	Largh. livello (m)	Contorno bagnato (m)	Area bagnata (m <sup>2</sup> )	Velocità (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcritica (m <sup>3</sup> /s)	Froude (-)	V <sup>2</sup> /2g (m)	R idraulico (m)
2	0,08	1,15	1,16	0,06	0,91	0,06	0,05	1,241	0,04	0,05
4	0,16	1,61	1,65	0,18	1,44	0,25	0,18	1,382	0,11	0,11
6	0,25	1,95	2,03	0,32	1,87	0,61	0,41	1,466	0,18	0,16
8	0,33	2,22	2,35	0,49	2,25	1,11	0,73	1,524	0,26	0,21
10	0,41	2,46	2,64	0,69	2,60	1,78	1,14	1,568	0,34	0,26
12	0,49	2,66	2,90	0,90	2,91	2,61	1,63	1,602	0,43	0,31
14	0,57	2,85	3,14	1,12	3,20	3,60	2,21	1,628	0,52	0,36
16	0,66	3,01	3,37	1,36	3,48	4,74	2,88	1,649	0,62	0,40

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	$V^2/2g$	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
18	0,74	3,15	3,59	1,62	3,74	6,04	3,63	1,665	0,71	0,45
20	0,82	3,28	3,80	1,88	3,98	7,48	4,46	1,678	0,81	0,49
22	0,90	3,40	4,00	2,15	4,21	9,07	5,37	1,688	0,90	0,54
24	0,98	3,50	4,20	2,44	4,43	10,79	6,37	1,695	1,00	0,58
26	1,07	3,60	4,39	2,73	4,64	12,64	7,44	1,700	1,10	0,62
28	1,15	3,68	4,57	3,03	4,83	14,63	8,59	1,702	1,19	0,66
30	1,23	3,76	4,75	3,33	5,02	16,73	9,82	1,703	1,29	0,70
32	1,31	3,83	4,93	3,64	5,20	18,94	11,13	1,702	1,38	0,74
34	1,39	3,88	5,10	3,96	5,37	21,26	12,52	1,699	1,47	0,78
36	1,48	3,94	5,28	4,28	5,53	23,68	13,97	1,695	1,56	0,81
38	1,56	3,98	5,45	4,60	5,69	26,19	15,51	1,689	1,65	0,85
40	1,64	4,02	5,61	4,93	5,84	28,78	17,11	1,682	1,74	0,88
42	1,72	4,05	5,78	5,26	5,98	31,45	18,79	1,674	1,82	0,91
44	1,80	4,07	5,95	5,60	6,11	34,19	20,55	1,664	1,90	0,94
46	1,89	4,09	6,11	5,93	6,24	36,98	22,37	1,653	1,98	0,97
48	1,97	4,10	6,28	6,27	6,36	39,82	24,27	1,641	2,06	1,00
50	2,05	4,10	6,44	6,60	6,47	42,71	26,24	1,628	2,13	1,03
52	2,13	4,10	6,60	6,94	6,58	45,62	28,28	1,613	2,20	1,05
54	2,21	4,09	6,77	7,27	6,68	48,56	30,39	1,598	2,27	1,07
56	2,30	4,07	6,93	7,61	6,77	51,50	32,57	1,581	2,34	1,10
58	2,38	4,05	7,10	7,94	6,86	54,45	34,83	1,563	2,40	1,12
60	2,46	4,02	7,27	8,27	6,94	57,39	37,17	1,544	2,45	1,14
62	2,54	3,98	7,43	8,60	7,01	60,30	39,59	1,523	2,51	1,16
64	2,62	3,94	7,60	8,92	7,08	63,18	42,08	1,501	2,56	1,17
66	2,71	3,88	7,78	9,24	7,14	66,02	44,67	1,478	2,60	1,19
68	2,79	3,83	7,95	9,56	7,20	68,80	47,34	1,453	2,64	1,20
70	2,87	3,76	8,13	9,87	7,24	71,51	50,11	1,427	2,67	1,21

Tabella 32 – Scala di moto uniforme per la tubazione ARMCO di diametro 4,1 m e pendenza pari a 2% sul torrente Litteglia nel tratto a valle della confluenza del rio Colsio.

### 8.2.3 Analisi idraulica dell'opera sul Rio Colsio

#### 8.2.3.1 Schematizzazione geometrica dello stato attuale

Il rio Colsio scorre incassato tra le pendici dei versanti presenti, che ne costituiscono le sponde. Il corso d'acqua ha pendenza di fondo molto elevata secondo valori compresi tra 7 e 26%.

Nel tratto in analisi il rio interferisce con un tombino circolare ARMCO di diametro pari a 2,00 m che attraversa una viabilità minore.

Il modello geometrico del corso d'acqua nello stato attuale analizza una lunghezza di asta fluviale di circa 197,50 m, secondo un tratto di estensione pari a circa 50 m a monte dall'inizio degli interventi in progetto, fino alla confluenza in Litteglia.

Di seguito (Tabella 33) si riporta il profilo longitudinale di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate caratterizzandole in termini di progressiva metrica e quota di fondo (thalweg).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)
Colsio	1	0,00	200,00
Colsio	2	25,65	196,44
Colsio	3	50,37	194,75
Colsio	4	74,90	190,40
Colsio	5	123,21	180,57
Colsio	6	147,34	177,45
Colsio	Culvert		
Colsio	6.5	155,34	176,42
Colsio	7	159,44	175,94
Colsio	8	177,37	172,38
Confluenza in Litteglia	9	197,48	167,15

Tabella 33 – Profilo longitudinale del rio Colsio nelle condizioni di stato attuale.

#### 8.2.3.2 Schematizzazione geometrica dello stato di progetto

La simulazione dello stato di progetto schematizza la sistemazione del corso d'acqua; in particolare gli interventi previsti riducono in modo significativo la pendenza di fondo rispetto allo stato attuale, prevedendo una sistemazione di pendenza pari all'1,5 % con un andamento altimetrico a salti.

Il rio Colsio attraversa il rilevato dell'infrastruttura in progetto tramite un tombino scatolare (sez.10-11) di dimensioni BxH=4,00x3,00 m.

L'intervento di canalizzazione è stato simulato introducendo nel modello 12 sezioni trasversali atte a rappresentare in modo esaustivo sia la sistemazione in massi di cava sciolti nel tratto più a monte, che l'opera di attraversamento nel tratto in corrispondenza della confluenza in Litteglia; va specificato che, anche in questo caso, per il rivestimento in massi di cava sciolti vengono realizzati getti di consolidamento in cls localmente, in prossimità cioè dei punti più sollecitati idrodinamicamente come salti di fondo e punti di attacco tra fondo e sponda, per garantirne la stabilità strutturale. In particolare la sezione tipo di progetto è di geometria trapezia caratterizzata da una larghezza di base pari a 3,00 m, in sommità di 8,00 m, di altezza pari a 2,50 m con sponde inclinate secondo pendenza 1 su 1 (45°).

Di seguito, nella Tabella 34, si riporta il profilo longitudinale del modello di progetto.

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso scatolare in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Quota fondo alveo
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
naturale	1	0,00	-	204,00	204,00	200,00
naturale	2	25,65	-	200,00	200,00	196,44
inizio sezione trapezia	3	50,37	-	197,50	197,50	195,00
monte salto	4	68,08	-	197,26	197,26	194,76
valle salto	5	68,08	-	197,26	197,26	194,06
monte salto	6	80,08	-	196,38	196,38	193,88
valle salto	7	80,08	-	196,38	196,38	193,18
monte salto	8	92,08	-	195,50	195,50	193,00
valle salto	9	92,08	-	195,50	195,50	192,30
inizio scatolare	10	104,08	195,12	-	-	192,12
fine scatolare	11	197,66	193,72	-	-	190,72
sbocco in Litteglia	12	205,25		193,61	193,61	190,61

Tabella 34 - Profilo longitudinale del rio Colsio nello stato di progetto.

#### 8.2.3.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno introdotte nel modello sono le seguenti:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a 25,76 m<sup>3</sup>/s e pendenza di fondo imposte in entrata nel modello (sez.1);
- livello idrico indotto sul nodo di confluenza con il torrente Litteglia.

#### 8.2.3.4 Coefficienti di resistenza distribuita

Per i tratti naturali si è assunta una scabrezza di Strickler di valore pari a 25-30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,04-0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

Per il tratto in progetto costituito dal rivestimento in massi sciolti si è assunto un valore di resistenza distribuita di 30 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,033 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning) mentre per il tombino scatolare di 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup> (0,022 m<sup>-1/3</sup> s secondo l'espressione di Manning).

#### 8.2.3.5 Verifica nella situazione attuale

Lungo il rio Colsio la piena di riferimento transita con velocità caratterizzate da valori compresi tra 1,00 e 8,60 m/s; l'opera di attraversamento della viabilità minore, costituita da un tombino in ondulato metallico di tipo ARMCO di diametro 2,00 m, è inadeguata a smaltire la portata a tempo di ritorno 200 anni e viene sormontata dalla corrente di piena per una quantità di circa 0,3 m (valore misurato rispetto al piano viabile in corrispondenza dell'imbocco).

Di seguito (Tabella 35 e Figura 14) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia	Sezione modello	Progressiva	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
(-)	(-)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)
Colsio	1	0,00	204,00	204,00	25,76	200,00	201,12	201,69	203,24	0,139	6,46	3,99	6,53	2,64
Colsio	2	25,65	200,00	200,00	25,76	196,44	197,46	198,07	199,72	0,135	6,66	3,87	5,72	2,59
Colsio	3	50,37	198,00	198,00	25,76	194,75	195,56	195,92	196,75	0,087	4,83	5,34	9,70	2,08
Colsio	4	74,90	194,00	194,00	25,76	190,40	191,23	191,79	193,54	0,197	6,74	3,82	7,83	3,08
Colsio	5	123,21	184,00	184,00	25,76	180,57	181,60	182,25	184,29	0,185	7,27	3,55	5,74	2,95
Colsio	6	147,34	180,32	179,90	25,76	177,45	180,61	178,69	180,67	0,001	1,04	27,04	16,88	0,20
Colsio			Culvert											
Colsio	6.5	155,34	179,29	178,87	25,76	176,42	178,43		178,60	0,005	1,80	14,30	8,23	0,44
Colsio	7	159,44	180,00	179,49	25,76	175,94	178,15	178,15	178,54	0,025	2,76	9,34	12,36	1,01
Colsio	8	177,37	176,00	176,00	25,76	172,38	173,21	173,91	177,00	0,489	8,62	2,99	7,22	4,28
Confluenza in Litteglia	9	197,48	169,00	169,24	88,34	167,15	168,83	168,17	168,91	0,002	1,27	20,32	16,23	0,36

Tabella 35 – Profilo idrometrico di stato attuale del rio Colsio per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

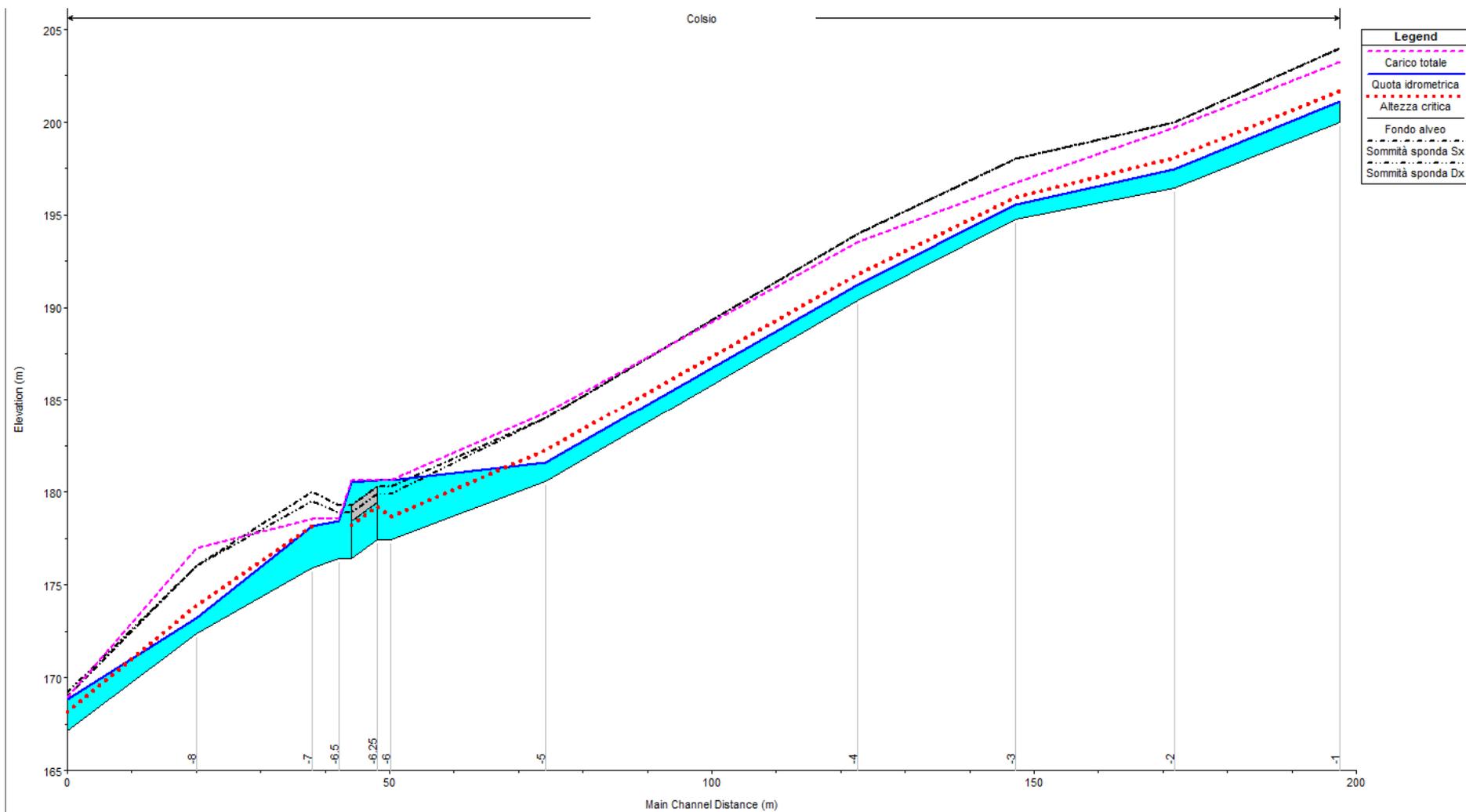


Figura 14 - Profilo idrometrico di stato attuale del rio Colsio per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

### 8.2.3.6 Verifica nella situazione di progetto

La simulazione dello stato di progetto ha evidenziato sia l'adeguatezza idraulica degli interventi di riprofilatura e rivestimento in massi di cava sciolti che di quelli di attraversamento in scatolare BxH=4,00x3,00 m previsti.

In particolare per quanto attiene al tratto costituito da sezione aperta sistemata in massi di cava sciolti si osserva che il carico totale è sempre inferiore alle quote di sommità spondale ad eccezione della sez.8 in cui è superiore di 0,08 m ; il franco idraulico di sicurezza è sempre superiore a 0,88 m (valore raggiunto nella sezione 4) è quindi rientra nei criteri previsti dal Regolamento Regionale per le aste di secondo livello.

Per quanto attiene al manufatto di attraversamento, esso è localizzato tra le sezioni 10 (imbocco) e 11 (sbocco); la piena di riferimento defluisce generando in corrispondenza dell'imbocco una quota idrometrica di 193,25 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di sicurezza di 1,87 m (intradosso a quota 195,12 m s.m.); in corrispondenza dello sbocco il franco di sicurezza è pari a 1,54 m, in considerazione di una quota idrometrica di 192,18 m s.m. e un intradosso a quota 193,72 m s.m. Il carico totale è sempre inferiore alla quota di intradosso dell'opera. In accordo con il Regolamento N.3 il manufatto di attraversamento in progetto è quindi verificato idraulicamente.

Non sono previsti interventi di intercettazione del trasporto solido in quanto l'alveo del Colsio è quasi totalmente in roccia.

Di seguito (Tabella 36 e Figura 15) si riportano i risultati della simulazione eseguita sia in forma tabulare che grafica rappresentando il profilo idrometrico per la portata di riferimento (Tr200 anni).

Tipologia sistemazione	Sezione modello	Progressiva	Intradosso scatolare in progetto	Quota sommità sponda SX	Quota sommità sponda DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Franco di sicurezza	Differenza con attuale
(-)	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m <sup>3</sup> /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(-)	(m)	m
naturale	1	0,00	-	204,00	204,00	25,76	200,00	201,12	201,69	203,24	0,139	6,46	3,99	6,53	2,64	-	0,00
naturale	2	25,65	-	200,00	200,00	25,76	196,44	197,46	198,07	199,72	0,135	6,66	3,87	5,72	2,59	-	0,00
inizio sezione trapezia	3	50,37	-	197,50	197,50	25,76	195,00	196,24	196,62	197,47	0,051	4,92	5,24	5,47	1,60	1,26	-
monte salto	4	68,08	-	197,26	197,26	25,76	194,76	196,38	196,38	196,98	0,011	3,45	7,47	6,23	1,01	0,88	-
valle salto	5	68,08	-	197,26	197,26	25,76	194,06	195,22	195,74	196,88	0,042	5,71	4,51	4,81	1,88	2,04	-
monte salto	6	80,08	-	196,38	196,38	25,76	193,88	195,12	195,50	196,34	0,029	4,89	5,27	5,48	1,59	1,26	-
valle salto	7	80,08	-	196,38	196,38	25,76	193,18	194,25	194,86	196,25	0,055	6,27	4,11	4,67	2,13	2,13	-
monte salto	8	92,08	-	195,50	195,50	25,76	193,00	194,18	194,62	195,56	0,034	5,20	4,95	5,37	1,73	1,32	-
valle salto	9	92,08	-	195,50	195,50	25,76	192,30	193,34	193,98	195,48	0,060	6,47	3,98	4,63	2,23	2,16	-
inizio scatolare	10	104,08	195,12	-	-	25,76	192,12	193,25	193,73	194,91	0,024	5,70	4,52	4,00	1,71	1,87	-
fine scatolare	11	197,66	193,72	-	-	25,76	190,72	192,18	192,33	193,17	0,012	4,41	5,84	4,00	1,17	1,54	-
sbocco in Litteglia	12	205,25		193,61	193,61	88,34	190,61	192,04	192,22	193,07	0,013	4,51	5,71	4,00	1,20	1,57	-

Tabella 36 – Profilo idrometrico di progetto del rio Colsio per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

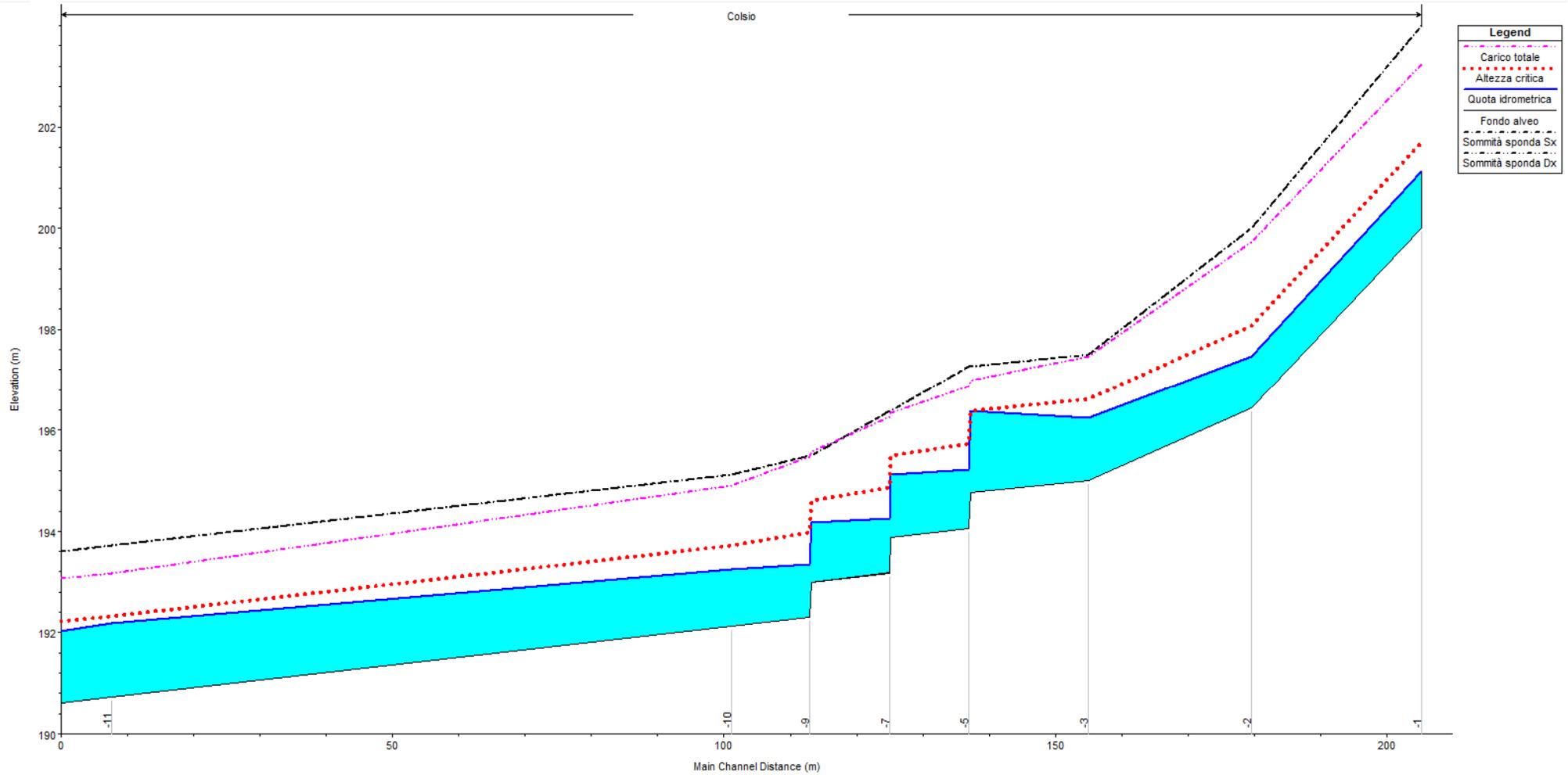


Figura 15 - Profilo idrometrico di progetto del rio Colsio per la portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

**8.2.3.7 Verifica nella situazione di cantiere (opere provvisionali)**

Durante le fasi di costruzione delle opere in progetto, il rio verrà canalizzato all'interno di una tubazione ARMCO di diametro pari a 2,5 m; la portata di verifica dell'opera provvisoria è quella a tempo di ritorno 50 anni che risulta pari a 20,6 m<sup>3</sup>/s. Il calcolo in moto uniforme eseguito ha mostrato che la pendenza minima della tubazione ARMCO da posare non dovrà essere inferiore al 2%, la portata cinquantennale verrà smaltita con un riempimento della tubazione pari al 74% a cui corrisponde un'altezza d'acqua di 1,85 m; essendo il valore di riempimento dell'opera inferiore all'85% essa è stata considerata adeguata idraulicamente. Di seguito si riportano i parametri idraulici caratteristici del calcolo eseguito.

Riempimento (%)	Livello idrico (m)	Largh. livello (m)	Contorno bagnato (m)	Area bagnata (m <sup>2</sup> )	Velocità (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Qcritica (m <sup>3</sup> /s)	Froude (-)	V <sup>2</sup> /2g (m)	R idraulico (m)
2	0,05	0,70	0,71	0,02	0,66	0,02	0,01	1,143	0,02	0,03
4	0,10	0,98	1,01	0,07	1,03	0,07	0,05	1,272	0,05	0,07
6	0,15	1,19	1,24	0,12	1,35	0,16	0,12	1,350	0,09	0,10
8	0,20	1,36	1,43	0,18	1,62	0,30	0,21	1,404	0,13	0,13
10	0,25	1,50	1,61	0,26	1,87	0,48	0,33	1,444	0,18	0,16
12	0,30	1,62	1,77	0,33	2,09	0,70	0,47	1,475	0,22	0,19
14	0,35	1,73	1,92	0,42	2,30	0,96	0,64	1,499	0,27	0,22
16	0,40	1,83	2,06	0,51	2,50	1,27	0,84	1,518	0,32	0,25
18	0,45	1,92	2,19	0,60	2,69	1,61	1,05	1,534	0,37	0,27
20	0,50	2,00	2,32	0,70	2,86	2,00	1,29	1,545	0,42	0,30
22	0,55	2,07	2,44	0,80	3,03	2,42	1,56	1,554	0,47	0,33
24	0,60	2,14	2,56	0,91	3,18	2,88	1,85	1,561	0,52	0,35
26	0,65	2,19	2,68	1,01	3,33	3,38	2,16	1,565	0,57	0,38
28	0,70	2,24	2,79	1,13	3,48	3,91	2,49	1,567	0,62	0,40
30	0,75	2,29	2,90	1,24	3,61	4,47	2,85	1,568	0,66	0,43
32	0,80	2,33	3,01	1,35	3,74	5,06	3,23	1,567	0,71	0,45
34	0,85	2,37	3,11	1,47	3,86	5,68	3,63	1,564	0,76	0,47
36	0,90	2,40	3,22	1,59	3,98	6,33	4,06	1,560	0,81	0,49
38	0,95	2,43	3,32	1,71	4,09	7,00	4,50	1,555	0,85	0,52
40	1,00	2,45	3,42	1,83	4,20	7,70	4,97	1,549	0,90	0,54
42	1,05	2,47	3,53	1,96	4,30	8,41	5,46	1,541	0,94	0,55
44	1,10	2,48	3,63	2,08	4,39	9,14	5,97	1,532	0,98	0,57
46	1,15	2,49	3,73	2,20	4,48	9,89	6,49	1,522	1,03	0,59
48	1,20	2,50	3,83	2,33	4,57	10,65	7,05	1,511	1,06	0,61
50	1,25	2,50	3,93	2,45	4,65	11,42	7,62	1,499	1,10	0,63
52	1,30	2,50	4,03	2,58	4,73	12,20	8,21	1,486	1,14	0,64
54	1,35	2,49	4,13	2,70	4,80	12,98	8,82	1,471	1,17	0,66
56	1,40	2,48	4,23	2,83	4,87	13,77	9,46	1,456	1,21	0,67
58	1,45	2,47	4,33	2,95	4,93	14,56	10,11	1,439	1,24	0,68
60	1,50	2,45	4,43	3,08	4,99	15,34	10,79	1,422	1,27	0,69
62	1,55	2,43	4,53	3,20	5,04	16,12	11,49	1,403	1,30	0,71
64	1,60	2,40	4,64	3,32	5,09	16,89	12,22	1,383	1,32	0,72

Riempimento	Livello idrico	Largh. livello	Contorno bagnato	Area bagnata	Velocità	Q	Qcritica	Froude	V <sup>2</sup> /2g	R idraulico
(%)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m/s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(m)	(m)
66	1,65	2,37	4,74	3,44	5,14	17,65	12,97	1,361	1,34	0,72
68	1,70	2,33	4,85	3,55	5,17	18,39	13,74	1,338	1,36	0,73
70	1,75	2,29	4,96	3,67	5,21	19,12	14,55	1,314	1,38	0,74
72	1,80	2,24	5,07	3,78	5,24	19,82	15,38	1,288	1,40	0,75
74	1,85	2,19	5,18	3,89	5,26	20,50	16,26	1,261	1,41	0,75
76	1,90	2,14	5,29	4,00	5,28	21,14	17,17	1,232	1,42	0,76

Tabella 37 – Scala di moto uniforme per la tubazione ARMCO di diametro 2,5 m e pendenza pari a 2%.

### 8.2.4 Analisi idraulica dell'opera minore in sinistra Litteglia

Il bacino residuo (denominato bacino intercluso in Figura 10) compreso tra il rio Grande del Litteglia e il rio Colsio viene drenato tramite un tombino scatolare di dimensioni BxH=2,0x1,5 m; l'apporto idrico di piena del versante non è intercettato da alcuna asta o incisione, pertanto l'opera di attraversamento è stata progettata soltanto per garantire il completo drenaggio dell'interbacino sopra descritto.

L'opera è stata progettata con pendenza di fondo pari all'1% e con sezione minima coerente con quanto richiesto dal Regolamento N.3 (BxH=2,00 x1,50 m).

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- Dimensioni tombino rettangolare 2,0X1.5 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,01 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45,00 m<sup>1/3</sup>/s
- portata progetto (Tr200) 0,64 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,23 m
- altezza moto uniforme 0,23 m
- velocità media 1,47 m/s
- termine cinetico 0,11 m
- franco di sicurezza 1,27 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" (S<0,1 km<sup>2</sup>) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

## 9. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SP22 – INTERFERENZA RETICOLO MINORE

### 9.1 Analisi idrologica

I bacini imbriferi dei rii interferenti con la SP22 (vedi Figura 16) hanno le seguenti superfici:

Bacino 1:	S = 0,004 km <sup>2</sup> ;
Bacino 2:	S = 0,015 km <sup>2</sup> ;

Bacino 3:	$S = 0,030 \text{ km}^2$ ;
Bacino 4:	$S = 0,085 \text{ km}^2$ ;
Bacino 5:	$S = 0,135 \text{ km}^2$ ;
Bacino 6:	$S = 0,356 \text{ km}^2$ ;
Bacino 7:	$S = 0,040 \text{ km}^2$ .

Considerando un contributo specifico di  $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$  si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

Bacino 1:	$Q_{TR200} = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 2:	$Q_{TR200} = 0,60 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 3:	$Q_{TR200} = 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 4:	$Q_{TR200} = 3,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 5:	$Q_{TR200} = 5,40 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 6:	$Q_{TR200} = 14,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
Bacino 7:	$Q_{TR200} = 1,60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

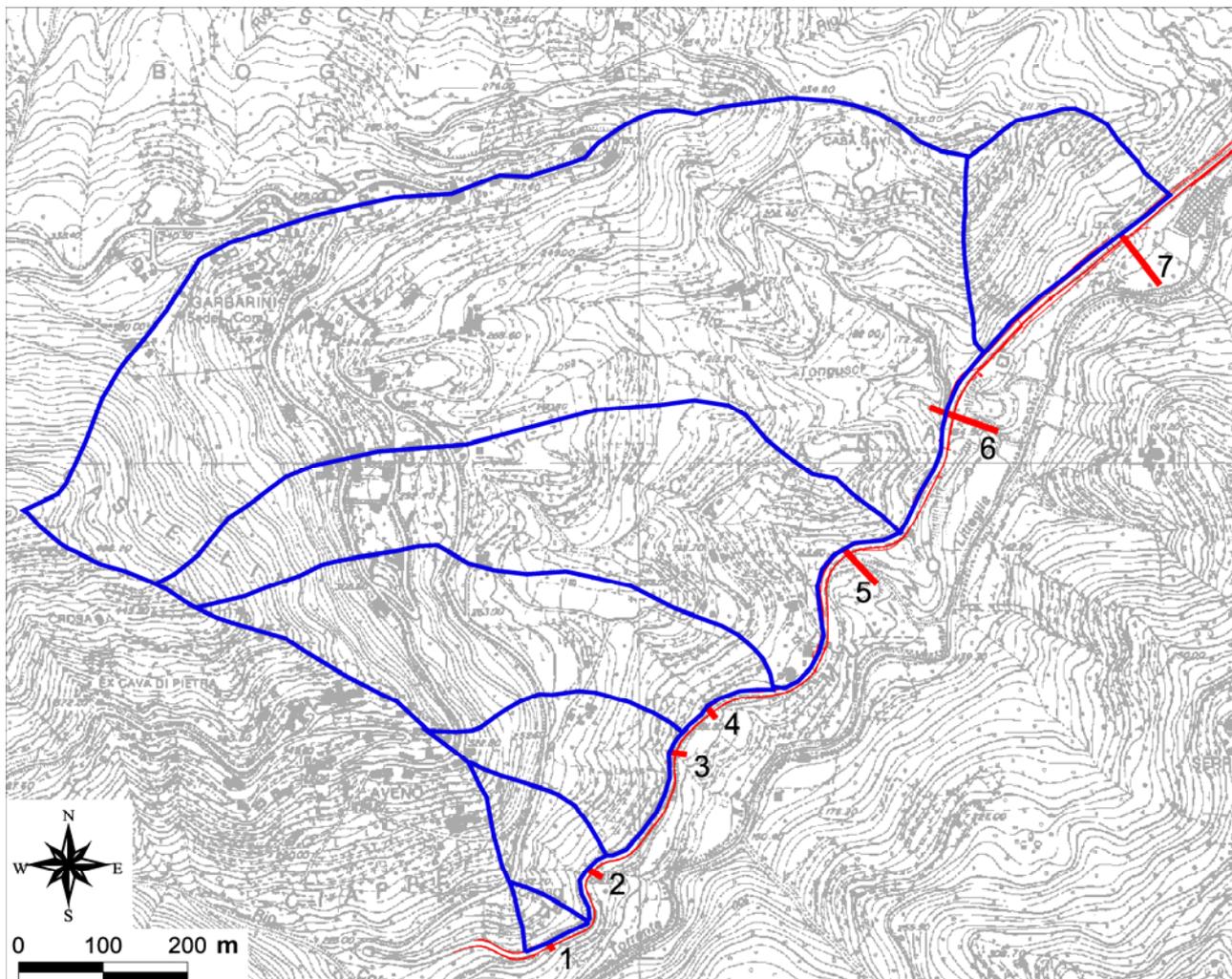


Figura 16 – Bacini imbriferi interferenti con la SP22.

## 9.2 Analisi idraulica

### 9.2.1 Analisi idraulica dell'attraversamento alimentato dal bacino 1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni tombino rettangolare 2,00x1,50 m (area minima 3,0 m<sup>2</sup>)
- pendenza 0,015 m/m
- materiale c.a.
- scabrezza 45 m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup>
- portata di progetto (TR200) 0,16 m<sup>3</sup>/s
- altezza critica 0,09 m
- altezza moto uniforme 0,08 m
- velocità media 0,97 m/s
- termine cinetico 0,05 m
- franco di sicurezza 1,50-0,08 = 1,42 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

### 9.2.2 Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 2

L'attraversamento in progetto è costituito da un ponte di luce netta (misurata tra le spalle) di 60,0 m e altezza rispetto al fondo di circa 10,0 m. L'opera non interferisce con il deflusso di piena del rio (appartenente al reticolo minuto) che ha una portata di riferimento trascurabile rispetto alla morfologia al contorno ed alla geometria dell'attraversamento, pari a  $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Non si sono eseguite verifiche idrauliche in quanto l'opera è adeguata.

### 9.2.3 Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con le aste alimentate dai bacini 3 e 4

In corrispondenza dell'interferenza idrografica della SP.22 con le aste alimentate dai bacini 3 e 4 viene realizzato un attraversamento costituito da un viadotto di luce pari a 110 m, denominato viadotto Tongusci. L'opera di attraversamento in progetto presenta un'altezza rispetto al fondo alveo dell'asta alimentata dal bacino 3 pari a circa 11,0 m e di 10,0 m rispetto a quella alimentata dal bacino 4; anche in questo caso le portate dei due corsi d'acqua (appartenenti al reticolo minuto) sono trascurabili a fronte della morfologia del terreno e della geometria dell'opera di attraversamento. Non si sono eseguite verifiche idrauliche in quanto l'opera è adeguata rispetto ad entrambe le interferenze. In corrispondenza della pila, localizzata in adiacenza della spalla destra del viadotto, viene realizzata una difesa di sponda con massi di cava sciolti di peso pari a 1000-1400 kg.

### 9.2.4 Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 5

Il bacino 5 interferisce con la SP.22 in corrispondenza del ponte denominato Garbarini avente luce pari a 65 m. Anche in questo caso valgono le considerazioni idrauliche fatte al punto precedente. A difesa della spalla sinistra del ponte verrà realizzata una difesa spondale in massi di cava sciolti di peso pari a 1000-1400 kg.

### 9.2.5 Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 6 (rio Tongusci)

In corrispondenza dell'interferenza con il rio Tongusci le opere di adeguamento della SP22 in progetto non variano la geometria monte/valle del corso d'acqua e non interferiscono con l'attraversamento esistente, che verrà mantenuto di dimensioni equivalenti allo stato attuale, senza essere ampliato in estensione.

### 9.2.6 Analisi idraulica dell'attraversamento interferente con l'asta alimentata dal bacino 7

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

• dimensioni	tombino rettangolare 2,00x1,50 m (area minima 3,0 m <sup>2</sup> )
• pendenza	0,015 m/m
• materiale	c.a.
• scabrezza	45 m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>
• portata di progetto (TR200)	1,60 m <sup>3</sup> /s
• altezza critica	0,41 m
• altezza moto uniforme	0,36 m
• velocità media	2,27 m/s
• termine cinetico	0,26 m
• franco di sicurezza	1,50-0,36 = 1,14 m

Trattandosi di un corso d'acqua incluso nel cosiddetto "reticolo idrografico minuto" ( $S < 0,1 \text{ km}^2$ ) in base al Regolamento regionale 14 luglio 2011 N.3, risulta idraulicamente verificato in quanto il franco di sicurezza risulta maggiore di quello minimo richiesto pari a 0,5 m.

## 10. INTERVENTO DI ADEGUAMENTO SP22 – PONTE SUL TORRENTE LAVAGNA

### 10.1 Analisi idrologica

Il ponte in progetto sul torrente Lavagna è ubicato in prossimità della sezione idrologica 36A in corrispondenza della quale, nel "Piano di Bacino Stralcio del Torrente Lavagna" redatto dalla Provincia di Genova, è stata definita una "curva di crescita delle portate al colmo" derivata secondo un modello geomorfoclimatico per le sezioni salienti, limitatamente all'asta principale del Lavagna. Per ognuna delle sezioni prescelte viene fornita una tabella con l'indicazione dei parametri della distribuzione, della frequenza di non superamento, del periodo di ritorno e della portata corrispondente a tale frequenza.

Nella *Figura 17* è rappresentato il grafico della curva di crescita delle portate al colmo per la sezione di interesse in base al quale risulta che la portata di piena di progetto del ponte risulta:

$$Q_{TR200} = 1074 \text{ m}^3/\text{s}.$$

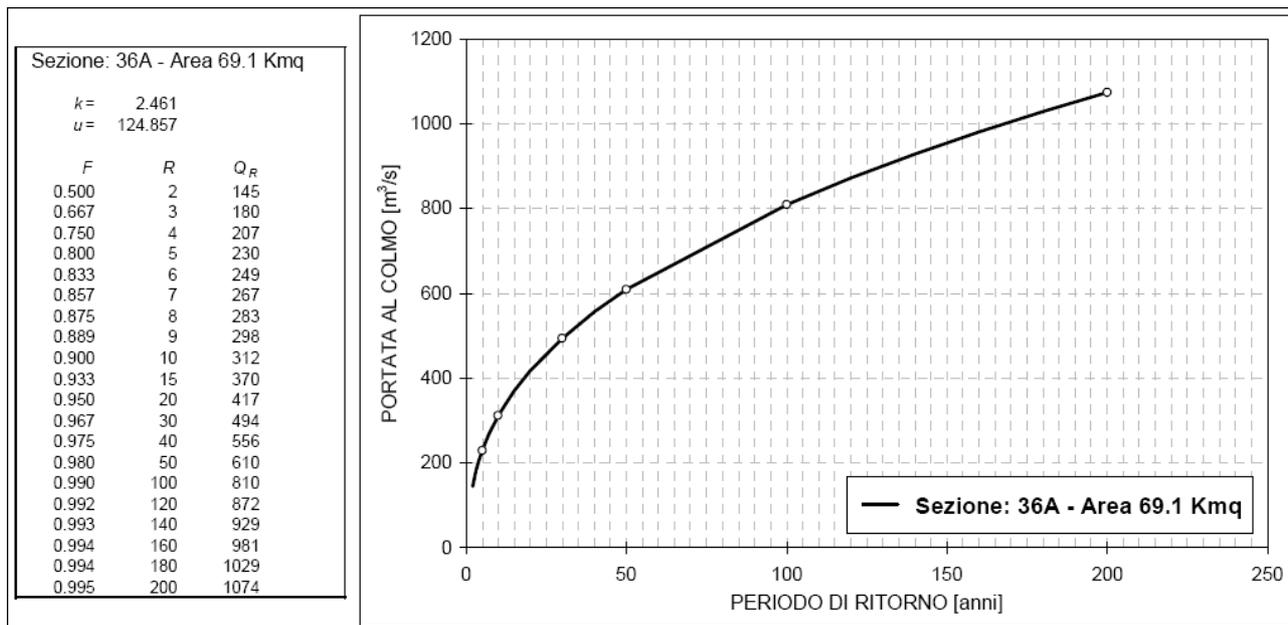


Figura 17 - Curva di crescita della portata al colmo per la sezione 36A del torrente Lavagna.

## 10.2 Analisi idraulica

Un'analisi idraulica preliminare delle condizioni di deflusso in piena in corrispondenza del ponte in progetto è stata condotta considerando ipotesi cautelative di moto uniforme.

Nella *Figura 18* è riportata la sezione trasversale d'alveo del torrente Lavagna ubicata a monte del ponte in progetto che è stata considerata per le verifiche idrauliche.

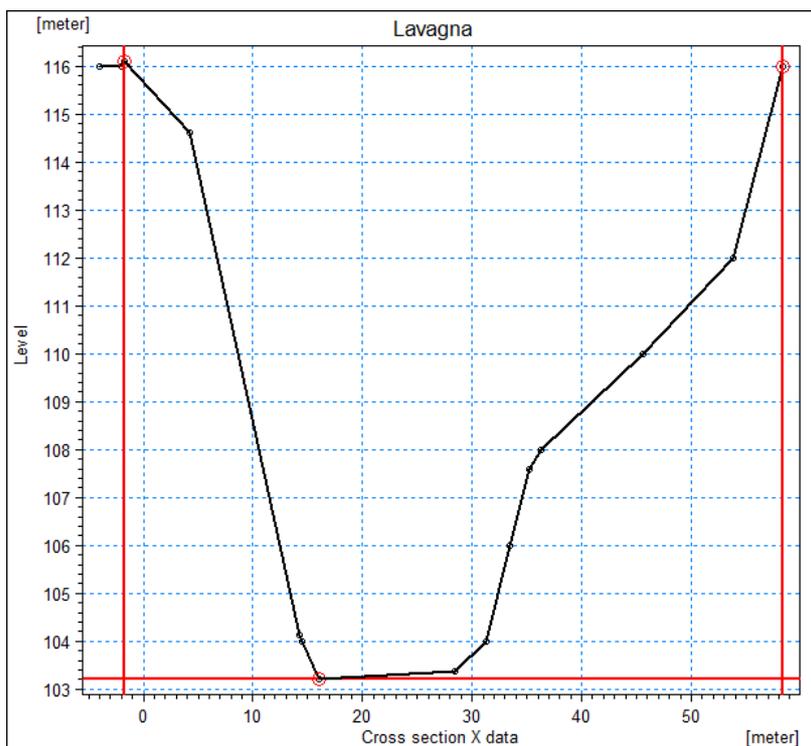


Figura 18 – Sezione trasversale d'alveo del torrente Lavagna a monte del ponte in progetto.

Adottando una pendenza cautelativa minima del fondo alveo pari a 0,86% e un coefficiente di scabrezza particolarmente a favore di sicurezza pari a  $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , si ottiene la scala di deflusso riportata nella Figura 19.

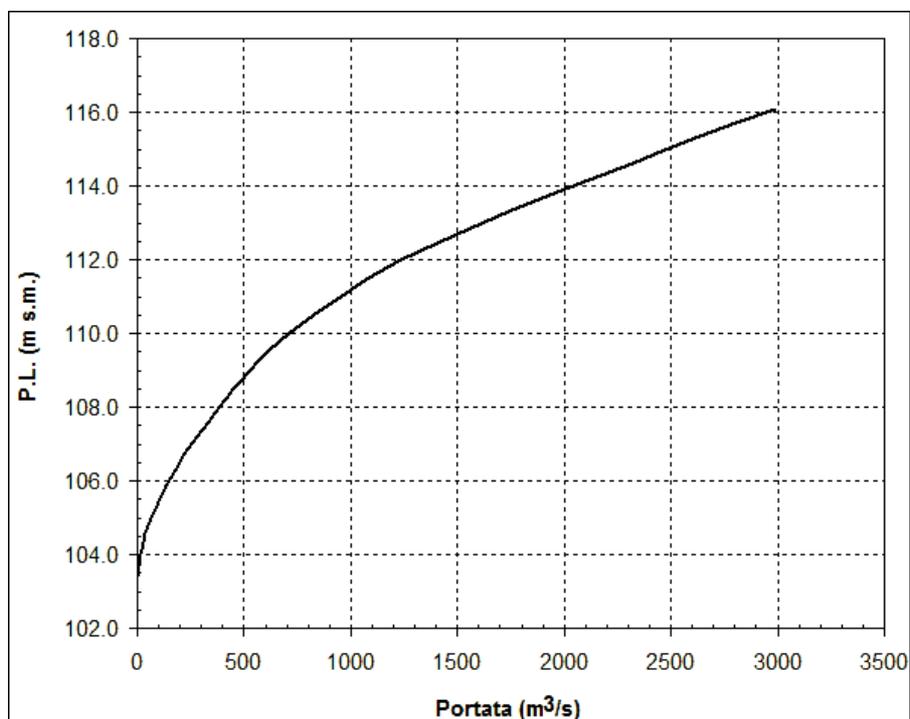


Figura 19 – Scala di deflusso della sezione trasversale d'alveo a monte del ponte in progetto.

La verifica idraulica condotta ha consentito di ottenere i seguenti risultati:

- portata di progetto (TR200) 1074 m<sup>3</sup>/s
- quota massima di pelo libero 111,46 m s.m.
- velocità media 4,95 m/s
- termine cinetico 1,25 m
- intradosso minimo 118,13 m s.m.
- franco di sicurezza 118,13-111,46 = **6,67 m**

Il franco di sicurezza risulta pertanto abbondante e sicuramente sufficiente a coprire eventuali incertezze introdotte nelle valutazioni idrauliche effettuate e nell'aver trascurato l'effetto di rigurgito indotto dalla pile del ponte che si ritiene comunque modesto per il fatto che le due pile in progetto sono sulle aree golenali e non direttamente nell'alveo inciso.

### 10.2.1 Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni

Lo scalzamento delle pile dei ponti è un complesso fenomeno idraulico legato al trasporto solido e all'erosibilità del materiale di fondo alveo.

Causa dell'erosione del fondo è il "vortice a ferro di cavallo" che si forma attorno alla pila per l'effetto localizzato della presenza di un ostacolo nella corrente idrica.

La dimensione del vortice e la massima profondità dell'erosione sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della corrente, dalla forma geometrica dell'ostacolo e dalle caratteristiche del materiale di fondo alveo.

Il fenomeno di scalzamento è progressivo nel tempo ed è soggetto ad un'alternanza di condizioni di erosione e di deposito di materiale nella buca al piede della pila, determinata dal regime idrologico cui è soggetto il corso d'acqua e quindi dal manifestarsi di eventi caratterizzati da portate di entità differente.

La profondità massima che viene calcolata attraverso le formule rappresenta una condizione ultima di equilibrio cui tende il fenomeno: per tale motivo risulta sufficientemente cautelativo fare riferimento a condizioni idrodinamiche della corrente che abbiano probabilità di manifestarsi pari a quelle dell'evento di piena di progetto.

Sulla base di un'approfondita indagine di letteratura sulle formule empiriche ed i metodi di calcolo più diffusamente adottati per il calcolo della massima profondità di erosione prevedibile al piede delle pile dei ponti, sono stati scelti ed utilizzati i metodi di Yaroslavtziev, Holmes e Breusers.

Rispetto ad una copiosa parte di formulazioni riportate in letteratura che spesso legano il massimo scalzamento solamente alle dimensioni trasversali dell'ostacolo in alveo, le formule adottate tengono conto sia delle caratteristiche idrodinamiche di deflusso della corrente di piena di riferimento, che della granulometria del materiale di fondo, che dello sviluppo longitudinale delle opere di fondazione.

#### 10.2.1.1 Condizioni fisiche di riferimento

Lo sviluppo del fenomeno di erosione al piede delle pile dei ponti è continuo nel tempo seguendo un trend di evoluzione temporale fortemente dipendente dalla variabilità delle condizioni idrologiche di contorno.

L'assegnazione di una portata di calcolo di riferimento risulta quindi problematica in quanto si tratta di assegnare una condizione sufficientemente cautelativa ma che al tempo stesso non abbia bassissima probabilità di manifestarsi.

La portata massima al colmo è un evento che si manifesta istantaneamente nel corso d'acqua, o almeno per il tempo di persistenza del colmo che è comunque una caratteristica idrologica molto differente da bacino a bacino dipendendo dalla fenomenologia di formazione dell'onda di piena: per queste caratteristiche non risulterebbe quindi teoricamente adeguata al calcolo dello scalzamento.

I fenomeni di erosione in alveo sono comandati, secondo l'accezione scientifica attuale, da un valore di portata, detto "dominante", che è quello che determina la massima movimentazione di materiale di fondo nel tempo.

Tale valore della portata (che ad esempio per corsi d'acqua con caratteristiche idrologiche pedemontane corrisponde generalmente al valore del deflusso che ha mediamente persistenza in alveo per un quarto dell'anno, cioè la portata di morbida Q91 sulla scala di durata delle portate) non tiene però in conto l'effetto di scalzamento prodotto da eventi puntuali nel tempo particolarmente gravosi.

In definitiva, al fine di fare riferimento ad una condizione idrologica sufficientemente gravosa ma non tale da corrispondere ad un eccesso di cautela nel sovradimensionamento delle opere, si è adottata come condizione idraulica di riferimento per il calcolo dello scalzamento quella prodotta dal transito in condizioni stazionarie della portata di piena di progetto a tempo di ritorno 200 anni.

Di seguito si descrivono le formulazioni utilizzate per la valutazione dello scavo potenziale intorno alle fondazioni degli attraversamenti considerati.

#### 10.2.1.2 Metodologie applicate

##### Formula di Breusers

La formula di Breusers è una delle espressioni recenti più diffusamente applicate nell'ingegneria per la valutazione dell'erosione localizzata al piede delle pile.

In effetti l'impostazione del metodo di calcolo e la dipendenza del fenomeno da una serie ben definita di caratteristiche idrauliche, geometriche e sedimentologiche del sito rappresentano lo stato più avanzato della pratica di calcolo, rimanendo i singoli parametri che determinano lo scalzamento oggetto di continue revisioni alla luce di nuovi risultati su sperimentazioni modellistiche di laboratorio e di nuovi dati di campo.

La formula proposta da Breusers è la seguente:

$$d_s = 2 \cdot b \cdot \tanh\left(\frac{Y_0}{b}\right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4, \quad [1]$$

nella quale:

$d_s$ = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

$Y_0$ = profondità media della corrente indisturbata;

$b$ = larghezza della pila;

$f_1$ = parametro che tiene conto della capacità erosiva della corrente in rapporto alla velocità critica di trasporto:

$f_1 = f(U/U_c)$ :

$$f_1 = 0 \quad \text{per } U/U_c < 0.5;$$

$$f_1 = 2(U/U_c) - 1 \quad \text{per } 0.5 < U/U_c < 1.0;$$

$$f_1 = 1 \quad \text{per } U/U_c > 1.0; \quad [2]$$

$U$ = velocità della corrente indisturbata;

$U_c$ = velocità critica della corrente:

$$U_c = 5 \cdot \sqrt{D}; \quad [3]$$

$D$ = diametro caratteristico del materiale;

$f_2$ = parametro che tiene conto della forma della pila:

$f_2 = f(\text{pila})$ :

$$f_2 = 1 \quad \text{per pila circolare};$$

$$f_2 = 0.75 \quad \text{per pila sagomata idraulicamente};$$

$$f_2 = 1.30 \quad \text{per pila rettangolare}; \quad [4]$$

$f_3$ = parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b, \alpha); \quad [5]$$

$f_4$ = parametro che tiene conto dell' "effetto gruppo" e cioè della mutua vicinanza tra le pile attraverso il rapporto tra la larghezza della singola pila e l'interasse (da Elliot e Baker):

$f_4 = f(x/b)$ :

$$f_4 = 1 + \frac{1.79}{\left(\frac{x}{b} - 1\right)^{0.695}} \quad \text{per } x/b < 4;$$

$$f_4 = 2.95 - 0.278 \cdot \left(\frac{x}{b}\right) \quad \text{per } 4 < x/b < 7;$$

$$f_4 = 1 \quad \text{per } x/b > 7; \quad [6]$$

Il parametro  $f_3$  è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ( $\alpha=0$ ) il parametro  $f_3$  vale 1.

#### Formula di Holmes

Holmes, elaborando i dati del rilevamento diretto dello scalzamento di 36 ponti crollati in Nuova Zelanda, è pervenuto alla seguente formula:

$$H_s = H_{sl} + d_{so}, \quad [7]$$

nella quale:

$H_s$ = profondità di scalzamento valutata dalla quota di pelo libero della piena di riferimento;

$H_{sl}$ = profondità dello scalzamento medio del fondo in corrispondenza della pila dovuto all'erosione generalizzata del fondo;

$d_{so}$ = profondità dell'erosione localizzata ai piedi della pila a partire dalla quota prodotta da  $H_{sl}$ .

Il termine  $H_{sl}$  è il maggiore tra i valori forniti dalle due seguenti espressioni:

$$H_{sl} = Y_0 \quad [8]$$

$$H_{sl} = y_r \cdot \frac{V_{o'}}{\left( \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot K_H \right)} \quad [9]$$

nelle quali:

$Y_0$ = profondità della corrente di piena indisturbata;

$y_r$ = differenza tra il livello idrico medio ed il livello di piena;

$A$ = area della sezione trasversale della corrente indisturbata;

$B$ = larghezza della sezione trasversale;

$V_{o'}$ = velocità caratteristica della corrente in piena:

$$V_{o'} = \frac{Q}{A} \cdot \left[ \frac{Y_0}{\frac{A}{B}} \right]^{2/3} \cdot C_H; \quad [10]$$

$Q$ = portata di piena di calcolo;

$C_H$ = parametro che vale 1,2 per correnti convergenti e 1,0 negli altri casi;

$K_H$ = parametro che rappresenta la capacità di trasporto della corrente:

$$K_H = \sqrt{\frac{B}{B_r}}, \text{ nella quale:} \quad [11]$$

$$B_r = 4.85 \cdot \sqrt{Q}. \quad [12]$$

Il termine  $H_{si}$  diventa efficace solamente quando si manifesta un reale e consistente abbassamento generalizzato del fondo, cioè quando:

$$\left( \frac{y_r \cdot V_0}{\left( \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}} \cdot K_H \right)} \right) - Y_0 > 0. \quad [13]$$

Il termine  $d_{s0}$  è dato dalla seguente espressione:

$$d_{s0} = 0.8 \cdot \sqrt{(V_0 \cdot b)}, \quad [14]$$

nella quale:

$b$ = dimensione trasversale caratteristica della pila, data dall'espressione:

$$b = b' \cdot f_3; \quad [15]$$

$b'$ = larghezza della pila;

$l$ = lunghezza della pila;

$\alpha$ = angolo di attacco della corrente;

$f_3$ = parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b, \alpha). \quad [16]$$

Il parametro  $f_3$  è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ( $\alpha=0$ ) il parametro  $f_3$  vale 1.

Nell'applicazione sistematica della formula, al fine di assumere condizioni cautelative di verifica, si è considerato sempre un valore di  $y_r$  pari ad  $Y_0$ , considerando totalmente l'effetto della piena di riferimento.

#### Formula di Yaroslavtziev

Yaroslavtziev, elaborando numerosi dati di scalzamento raccolti nell'ex Unione Sovietica, è pervenuto ad una formula avente la seguente espressione:

$$S = K_v \cdot K_f \cdot (e + K_h) \cdot \frac{V_0^2}{g} - 30 \cdot D85 \quad [17]$$

nella quale:

S= profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

$K_v$ = funzione del rapporto tra il termine cinetico della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_v = f\left(\frac{V_0^2}{g \cdot bl}\right); \quad [18]$$

$K_h$ = funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_h = f\left(\frac{Y_0}{bl}\right); \quad [19]$$

$K_f$ = funzione del rapporto di forma della pila (lunghezza divisa per la larghezza) e dell'angolo di attacco della corrente:

$$K_f = f\left(\frac{l}{b}, \alpha\right) \quad [20]$$

$v_0$ = velocità della corrente di piena;

$Y_0$ = altezza d'acqua della corrente di piena sul fondo naturale di riferimento;

$b$ = larghezza della pila;

$l$ = lunghezza della pila;

$\alpha$ = angolo di attacco della corrente;

$bl$ = larghezza efficace della pila:

$$bl = (l-b) \sin \alpha + b \quad [21]$$

$e$ = parametro che assume valore 1,0 per pile in alveo e 0,6 per pile in golena;

D85= dimensione caratteristica del materiale di fondo.

Per l'applicazione sistematica della formula è stato necessario interpolare linearmente, mediante procedura automatica di calcolo, tra i valori della tabella di Yaroslavtziev che rappresentano l'espressione di  $K_f$  [20], e monomizzare le espressioni di  $K_v$  [18] e di  $K_h$  [19] a partire dai grafici riportati nella pubblicazione originale dell'autore<sup>2</sup>.

L'espressione [18] è riportata in un diagramma con asse delle ordinate logaritmico ed asse delle ascisse parabolico del terzo ordine; la forma monomia risulta la seguente:

<sup>2</sup> da MAGINI, R. & REMEDIA, G. "Fondazioni in alvei mobili. Scalzamento localizzato per sistemi di pile e tecniche di fondazione", XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova, 1986.

$$K_v = 10^{\left[ -0.283 \left( \frac{v_0^2}{g \cdot bl} \right)^{1/3} + 0.024 \right]} \quad [22]$$

L'espressione [19] è riportata in un diagramma semilogaritmico sull'asse delle ordinate; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_h = 10^{\left[ -0.281 \left( \frac{Y_0}{bl} \right) + 0.096 \right]} \quad [23]$$

L'applicazione del metodo di calcolo è stato effettuato sia in riferimento alla forma completa dell'espressione [17], sia tralasciando da tale espressione il secondo termine, dipendente dal diametro caratteristico del materiale, che determina una consistente riduzione della quota di scavo; in via cautelativa si è poi dichiarato il valore di scalzamento più elevato ottenuto dall'applicazione di entrambe le espressioni.

#### 10.2.1.3 Schematizzazione geometrica

Per il calcolo dello scalzamento si è ipotizzato inizialmente e cautelativamente che l'alveo del Lavagna possa divagare in piena e andare ad interessare indifferentemente una delle due pile presenti sulle sponde attuali.

Parametri di calcolo dello scalzamento:

- portata  $Q = 1074 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- altezza d'acqua  $Y = 8,25 \text{ m}$ ;
- velocità media  $V = 4,95 \text{ m/s}$ .

Infine, per quanto riguarda la granulometria del materiale di fondo alveo, si è considerato un diametro caratteristico  $D_{85}$  pari a  $0,03 \text{ m}$ .

#### 10.2.1.4 Analisi dei risultati ottenuti

I risultati dell'applicazione delle formule di Breusers, Holmes e Yarovlastziev sia considerando la sola presenza della pila (circolare di diametro  $2,0 \text{ m}$ ) che del plinto (rettangolare  $5,0 \times 8,0 \text{ m}$ ) sono i seguenti:

- Breusers:      pila =  $4,0 \text{ m}$       plinto =  $12,1 \text{ m}$
- Holmes:        pila =  $13,7 \text{ m}$       plinto =  $15,2 \text{ m}$
- Yarovlastziev: pila =  $7,2 \text{ m}$       plinto =  $12,5 \text{ m}$

Possono essere considerati i seguenti valori di scalzamento teorici di riferimento: per la pila  $8,0 \text{ m}$  e per il plinto  $13,0 \text{ m}$ . Questi valori sono ovviamente validi solo nel caso di alveo alluvionale con reale possibilità di erosione del fondo e possibilità di scalzamento delle fondazioni.

Nel caso attuale, vista la presenza di affioramenti rocciosi sul fondo alveo non erodibili, si prescrive di attestare i plinti di fondazione ai livelli rocciosi compatti e se ciò non fosse possibile, di non considerare contribuenti i primi tratti di pali e micropali che attraversano ammassi alluvionali o rocciosi fratturati.

I valori teorici di scalzamento sopra calcolati sono da considerare a partire dalla quota minima di fondo alveo presente sulla sezione trasversale d'alveo di calcolo pari a 103,21 m s.m.

Pertanto per il dimensionamento dei pali (o micropali) di fondazione non è possibile considerare contribuenti i tratti a quota superiore a  $103,21 - 13,0 = 90,21$  m s.m. a meno che non siano già intestati in strati di roccia compatta.

## **ALLEGATO 1**

### **Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS**

Il codice di calcolo HEC-RAS dell' U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale. in condizioni di moto stazionario e vario.

Possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta. condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche. tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua. ma anche all'interno della stessa sezione. ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua. sia in ambito monodimensionale che quasi-2D. indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golena in sponda sinistra. la golena in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa a seconda delle caratteristiche della corrente. lenta o veloce. dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte. dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno. e procede verso l'altro estremo.

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa. dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi. vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente. viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + \Delta E \quad (1)$$

dove (si veda la figura 1):

- $H_1, H_2$  : quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- $v_1, v_2$  : velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- $\alpha_1, \alpha_2$  : coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- $\Delta E$  : perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

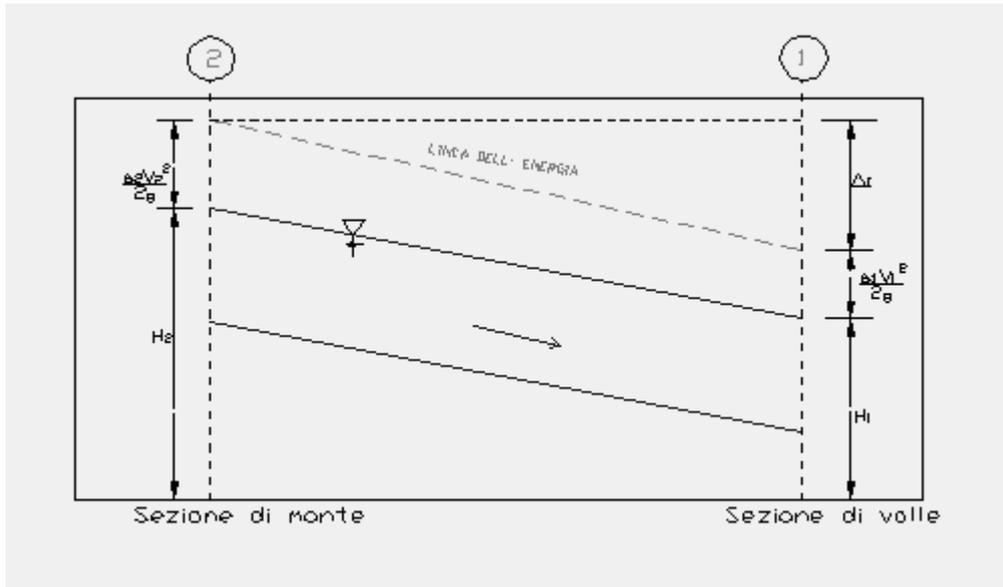


Figura 1: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia.

La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

- $L$  : lunghezza del tratto d'alveo in esame;
- $J$  : cadente piezometrica;
- $C$  : coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza  $L$  tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs} Q_{qs} + L_c Q_c + L_{gd} Q_{qd}}{Q_{qs} + Q_c + Q_{qd}} \quad (3)$$

dove:

- $L_{gs}$ ,  $L_{gd}$ ,  $L_c$ : distanza percorsa dalla corrente rispettivamente in golena sinistra, destra e nel canale principale;
- $Q_{gs}$ ,  $Q_{gd}$ ,  $Q_c$ : portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (4)$$

essendo:

- $Q_1$ ,  $Q_2$ : portata transitata rispettivamente alla sezione 1 e alla sezione 2;
- $k_1$ ,  $k_2$ : capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

essendo:

- $n$ : coefficiente di Manning;
- $A$ : area bagnata;
- $R$ : raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la (5) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left( \frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3} \quad (6)$$

dove:

- $A_t, A_{gs}, A_{gd}, A_c$  : rispettivamente area totale bagnata della sezione, area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;
- $k_t, k_{gs}, k_{gd}, k_c$  : rispettivamente capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere in conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati nella tabella 1.

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0	0.0
Transizione graduale	0.1	0.3
Ponti	0.3	0.5
Transizioni molto brusche	0.6	0.8

Tabella 1 - Valori tipici del coefficiente C.

La risoluzione delle equazioni (1) e (2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema.

Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso

dalla (1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli di calcolo si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto in corrente lenta e moto in corrente veloce e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a elevati cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata ed al manuale scientifico del codice di calcolo, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (7)$$

dove (vedi figura 2):

- $P_i$ : forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;
- $W_x$ : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- $F_f$ : forza legata agli attriti;
- $Q$ : portata;
- $\rho$ : densità dell'acqua;
- $\Delta V_x$ : variazione di velocità nella direzione del moto.

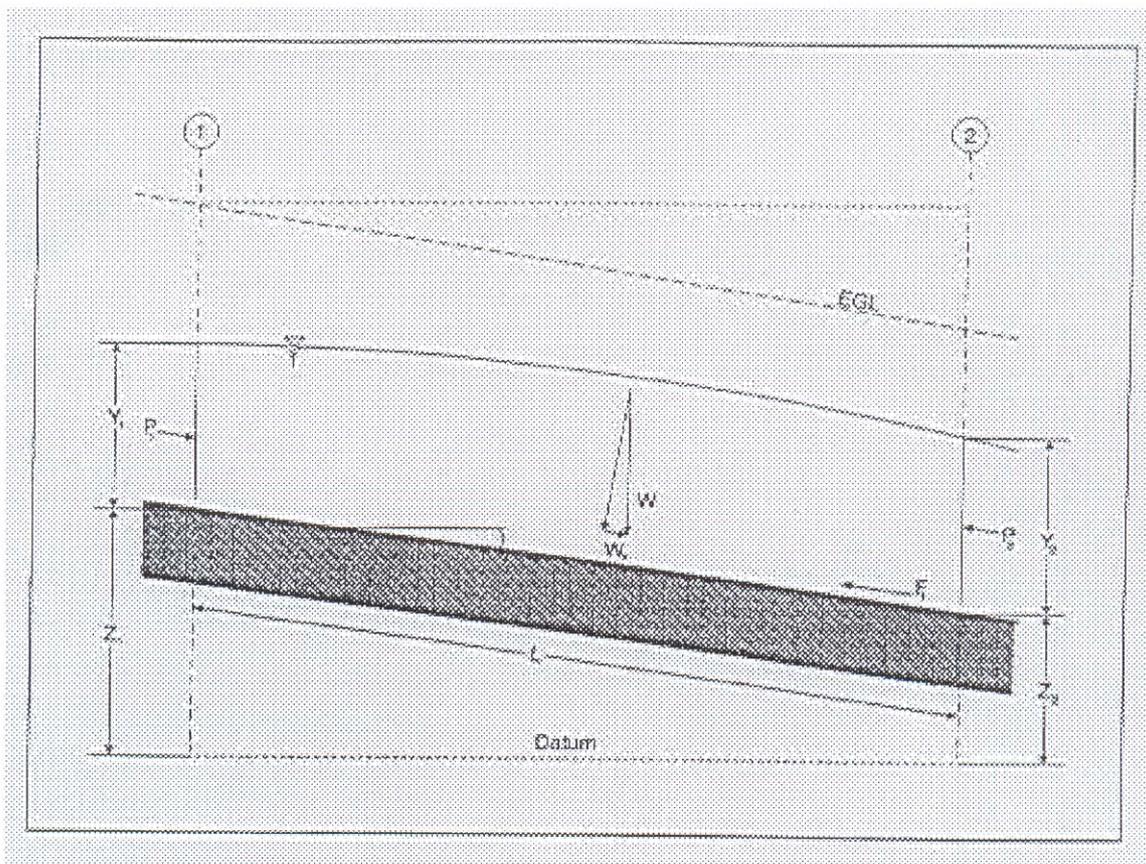


Figura 2 - Elementi caratteristici dell'equazione del momento.

In corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni sono di seguito riportate:

- la corrente non viene in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow);
- la corrente viene in contatto con l'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- la corrente si mantiene lenta durante l'attraversamento del ponte (Class A low flow);
- la corrente transita attraverso la profondità critica (Class B low flow);
- la corrente si mantiene veloce durante l'attraversamento del ponte (Class C low flow).

La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);

- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto; tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;
- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso di portata anche attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (cfr. "*Open Channel Hydraulics*". V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito "**inlet control**") o con sezione di controllo presso l'uscita ("**outlet control**").

Nel caso di "inlet control" la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco, dalla scabrezza del tombino, dalla sua lunghezza e pendenza. Le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

Nel caso di "outlet control" gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di "inlet control" sia quelle per i casi di "outlet control". Si assume quindi che la soluzione sia quella cui è associato il massimo tirante idrico.

Nei casi di "inlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di "outlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.

