

# IMPIANTO IDROELETTRICO DI CAMPIGLIA CERVO

REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI BIELLA – COMUNE DI CAMPIGLIA CERVO

Oggetto:

DOMANDA DI VARIANTE IN SANATORIA

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA  
OPERA DI PRESA**

Elaborato:

**RCI**

EMISSIONE	PRESENTAZIONE		REVISIONE			
COMMESSA	Campiglia Cervo_RCI					
	Data.	Sigla	Data	Sigla	Data	Sigla
Redazione	Giugno 2023	PG	Marzo 2024	TC		
Verifica	Giugno 2023	AM	Marzo 2024	AM		
Controllo	Giugno 2023	SC	Marzo 2024	SC		

Timbro e firma dei professionisti

**OVADAPROGETTI s.a.s.**

ing. SERGIO COLOMBO  
VIA VITTORIO VENETO 11 - 15076 OVADA (ALESSANDRIA)  
tel/fax +39-0143-81293 - email sergio.colombo@ovadaprogetti.it



SIPEA srl

**INDICE GENERALE**

<b>1.</b>	<b>Premessa.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Determinazione delle portate di piena .....</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Verifica idraulica .....</b>	<b>6</b>
3.1	<i>Premessa.....</i>	6
3.2	<i>Verifica del comportamento idraulico: metodologia adottata .....</i>	6
3.3	<i>Verifica del comportamento idraulico: scenari di calcolo.....</i>	8
3.4	<i>Verifica del comportamento idraulico: condizioni al contorno.....</i>	8
3.5	<i>Scenari verificati: portata di piena 200aria e media annua. ....</i>	10
3.6	<i>Descrizione dei risultati.....</i>	12
<b>4.</b>	<b>Definizione dei criteri quantitativi e qualitativi.....</b>	<b>14</b>
4.1.1	Criteri progettuali: localizzazione dell'opera.....	14
4.1.2	Criteri progettuali: modalità di manutenzione ordinaria e straordinaria e di dismissione dell'opera.....	15
4.1.3	Criteri quantitativi: modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena.....	15
4.1.4	Criteri quantitativi: riduzione della capacità di invaso dell'alveo .....	16
4.1.5	Criteri quantitativi: interazioni previste con le opere di difesa idrauliche esistenti.....	16
4.1.6	Criteri quantitativi: effetti prodotti dalle opere idrauliche nell'ambito dell'intervento .....	16
4.1.7	Criteri quantitativi: modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena	16
4.1.8	Criteri quantitativi: modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale .	16
4.1.9	Criteri quantitativi: condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena di riferimento .....	17
<b>5.</b>	<b>Giudizio finale di compatibilità idraulica dell'opera con l'assetto idraulico locale .....</b>	<b>18</b>

**ALLEGATI**APPENDICE 1: Il *software* HEC RAS.APPENDICE 2: Ricostruzione idraulica mediante *software* HEC RAS - sezioni

## 1. PREMESSA

L'impianto idroelettrico di Campiglia Cervo per il quale si presenta istanza di variante in sanatoria differisce rispetto al progetto autorizzato essenzialmente per la posizione della traversa di presa che ha comportato quindi anche una diversa ubicazione della vasca dissabbiatrice / carico.

Differmità minori sono le caratteristiche costruttive della scala di risalita dell'ittiofauna presso la seconda briglia sul T.Cervo a valle della confluenza in esso del T.Chiobbia.

La presente relazione costituisce la valutazione di compatibilità idraulica ai sensi della direttiva n.8/2010 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l'uso della risorsa idrica) relativamente all'opera di captazione delle acque del T. Concabbia dell'impianto idroelettrico di Campiglia Cervo, in funzione delle effettive caratteristiche costruttive.

Nel presente elaborato non disponendo di misure dirette di portate al colmo nelle sezioni di chiusura si fa esplicitamente riferimento alla compatibilità idraulica riportato nello studio "Verifiche di compatibilità idraulica" redatto dallo Studio "Mello Rella & Associati – ingegneria – Studio Tecnico di Fanton F.-Gattardi L.-Martiner Testa D.-Mello Rella P. - dic.2004" redatto ai sensi del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

Viene di seguito riporta l'ubicazione delle opere realizzate su CTR.

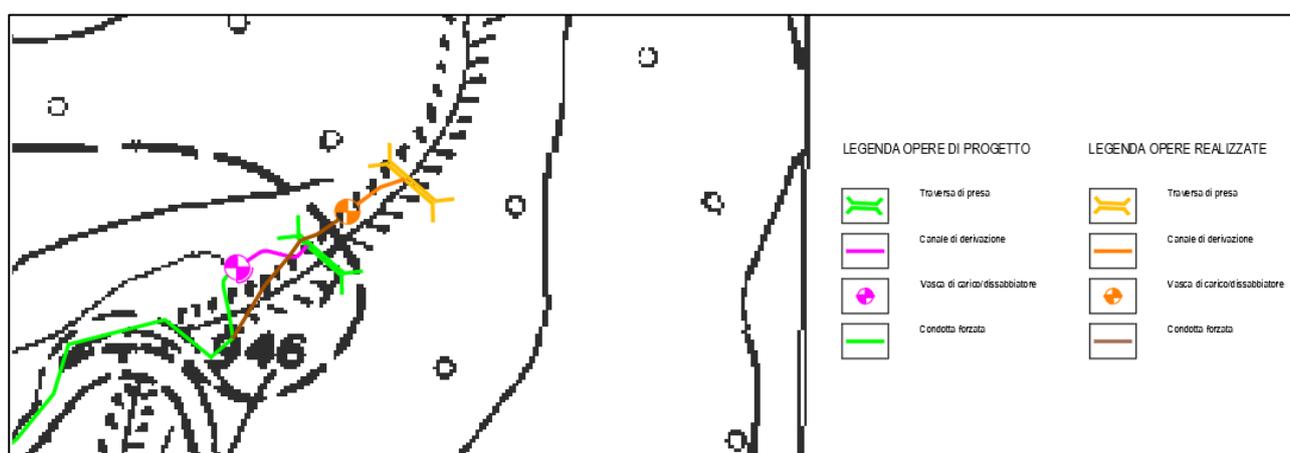


Figura 1- Estratto CTR 1:10.000 (foglio 092120)

Il bacino idrografico sotteso dalla captazione autorizzata interessa il T.Concabbia e ha una superficie di circa

4.12 km<sup>2</sup>.

La differente ubicazione della traversa di presa rispetto a quanto previsto nel progetto autorizzato comporta una riduzione della superficie del bacino idrografico sotteso non significativa e a favore di sicurezza nella stima delle portate delle portate di piena, motivo per cui si mantiene la stessa superficie.

Il presente studio è stato condotto per verificare il comportamento idraulico riferito al contesto nei dintorni dell'opera di presa.

## 2. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

La stabilità e la sicurezza di un manufatto realizzato in alveo (come l'opera di presa) o nei pressi del corso d'acqua (ad esempio il canale di adduzione) possono essere verificate solo in seguito ad una attenta valutazione delle portate di piena del torrente, la cui determinazione può essere fatta per via diretta, nel caso siano presenti idrometri per la misurazione delle portate medie, o per via indiretta.

Nel secondo caso, poiché non risultano serie storiche di misure di portata relative al corso d'acqua considerato, la stima delle portate di piena con tempo di ritorno significativo può essere affrontata attraverso l'impiego di metodi analitici che consentono la ricostruzione di un bilancio idrologico relativo ad un evento di piena espresso in termini probabilistici.

Nel caso in questione per il Torrente Concabbia non sono disponibili misure dirette di portata al colmo nella sezione di chiusura.

In analogia a quanto presentato in fase di autorizzazione si mantengono gli stessi valori di portata al colmo di progetto e di portata media naturale annua transitanti alla sezione di presa:

- portata al colmo di progetto: 86,20 mc/s
- portata media ordinaria  $Q_m$  (175 l/s per le sezioni a monte della presa, 50 l/s per le sezioni a valle di tale sezione, valore ottenuto considerando il rilascio della portata di deflusso ecologico non derivata).

### 3. VERIFICA IDRAULICA

#### 3.1 Premessa

La realizzazione dell'impianto idroelettrico ha visto l'inserimento di una traversa di captazione. L'inserimento di un nuovo elemento lineare trasversale al flusso di corrente genera un inevitabile innalzamento dei tiranti idrici a monte della struttura.

#### 3.2 Verifica del comportamento idraulico: metodologia adottata

Le verifiche idrauliche che seguono sono state condotte mediante l'ausilio del programma di calcolo HEC-RAS, ideato dal U.S. Army Corps of Engineers quale sistema di analisi dei fiumi dell'Hydrologic Center (HEC). Il software è in grado di analizzare le reti di canali naturali ed artificiali, calcolando i profili del pelo libero basandosi su di un'analisi a moto permanente e/o moto vario monodimensionale: HEC-RAS risolve l'equazione monodimensionale dell'energia, valutando le perdite di carico per attrito attraverso l'equazione di Manning; tiene conto, inoltre, delle perdite localizzate con opportuni coefficienti moltiplicativi della velocità. Il calcolo del profilo locale può essere svolto anche in corrispondenza di punti singolari (ponti, briglie, ecc...), valutando, quando necessario, il flusso di stramazzo e/o il flusso in pressione.

I paragrafi che seguono espongono la metodologia e le assunzioni seguite per la verifica idraulica delle opere in progetto e, a conclusione, i risultati delle analisi svolte; nelle tavole allegare alla documentazione di progetto sono riportati i tiranti idrici per ogni sezione nei casi esaminati.

La metodologia adottata per la valutazione delle modifiche ai deflussi idrici in seguito alla realizzazione delle opere si avvale del seguente schema procedurale:

1. stima della portata al colmo ad assegnata frequenza nelle sezioni determinate del corso d'acqua oggetto di studio;
2. definizione delle principali caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo in esame;
3. calcoli idraulici in condizioni di moto permanente in assenza delle opere in progetto;
4. calcoli idraulici in condizioni di moto permanente in presenza delle opere in progetto.

Per eseguire con accuratezza tale procedura sono state svolte le seguenti analisi:

- analisi topografica, consistente nell'acquisizione e nell'integrazione della base cartografica esistente, con particolare riferimento alle sezioni trasversali del corso d'acqua;
- analisi idrologica, consistente nell'acquisizione ed elaborazione dei dati pluviometrici e idrometrici esistenti, al fine di definire la portata al colmo ad assegnata frequenza (periodo di ritorno) per le sezioni di interesse lungo il corso d'acqua;
- analisi idraulica (modello di calcolo), consistente nel valutare la capacità di smaltimento delle singole sezioni o dei tratti di corso d'acqua mediante l'utilizzo di un modello per il calcolo del profilo idraulico in condizioni di moto permanente;
- definizione delle modifiche dei tiranti idrici, mediante la propagazione dei livelli idrometrici calcolati in alveo e loro rappresentazione cartografica.

La ricostruzione idraulica del tratto di alveo considerato si basa sul rilievo topografico riportato nelle tavole di progetto allegate, in particolare si sono considerate le 15 sezioni riportate, la cui numerazione è coincidente con quella indicata nella Tav.03, più un'ulteriore sezione (8.5) necessaria all'inserimento della sezione 8.2 relativa alla traversa di captazione per i soli plan di progetto. Allo scopo di affinare l'approccio al comportamento idraulico del tratto d'alveo il programma permette l'introduzione di ulteriori sezioni trasversali fittizie, realizzate mediante un processo di interpolazione lineare; tali sezioni, usate in fase di calcolo, non vengono riportate nelle tabelle seguenti in modo da avere una corrispondenza di lettura con le tavole allegate.

Nella figura sottostante viene riportata la ricostruzione 3D dell'alveo come elaborata dal codice di calcolo in cui si può vedere la traversa di captazione.

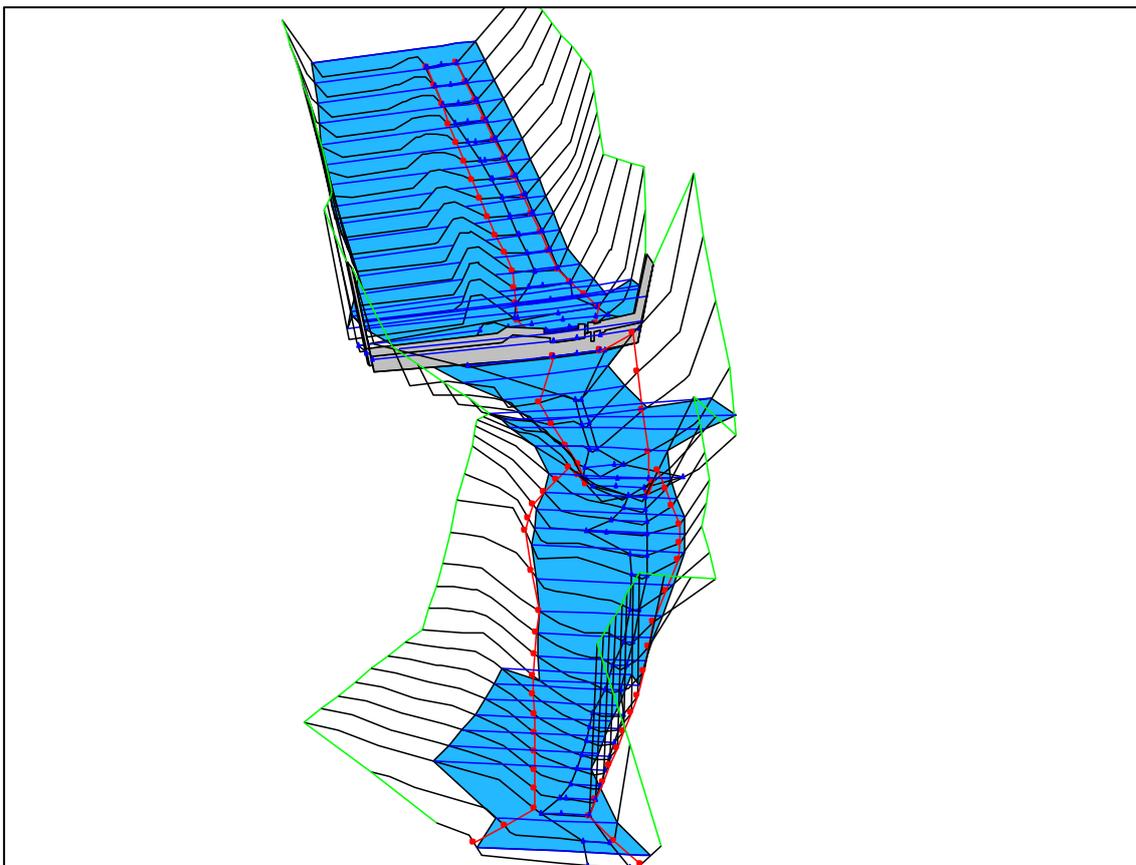


Figura 2 La figura riporta la ricostruzione in tridimensionale dell'alveo del T. Concabbia nei pressi del sito di realizzazione dell'opera di presa.

### 3.3 Verifica del comportamento idraulico: scenari di calcolo

Per svolgere l'Analisi Idraulica in oggetto, è stato ricostruito il codice di calcolo riferibili alle condizioni:

1. scenario  $Q_{200}$ : condizioni di piena bicentenaria = 86.20 mc/s.
2. portata media annua –  $Q_m=175$  l/s per le sezioni poste a monte della derivazione,  $Q_m=50$  l/s per le sezioni poste a valle della derivazione ad impianto attivo.

### 3.4 Verifica del comportamento idraulico: condizioni al contorno

Per le **Condizioni al Contorno** richieste dal modello si è considerata:

- CONDIZIONI di MONTE: la pendenza del tratto di torrente in corrispondenza della sezione di monte (sez. 8);
- CONDIZIONI DI VALLE: la pendenza del tratto di torrente in corrispondenza della sezione di valle (sez. 0).

Per quanto riguarda la scabrezza del fondo alveo e delle aree golenali sono stati considerati quattro valori differenti come indicato di seguito:

- Scabrezza fondo alveo  $n_{alveo}=0.040 \text{ s/m}^{(1/3)}$  corrispondente alla scabrezza di *Strickler*  $K_{alveo}=25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , relativa ad un corso d'acqua montano costituito da ghiaia, pietre ed alcuni massi ciclopici e caratterizzato dall'assenza di vegetazione nell'alveo
- Scabrezza aree golenali  $n_{golena} = 0.060$  corrispondente alla scabrezza di *Strickler*  $K_{golena}= 16,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , relativa alla condizione di boscaglia rada, con sponde significativamente ripide vegetate con alberi e arbusti

(sponda orografica destra)  $\text{s/m}^{(1/3)}$

Sebbene a prima vista i valori di scabrezza adottati possono sembrare elevati, nel presente studio si è considerato che all'interno delle perdite distribuite per attrito vi siano anche tutte le perdite concentrate legate alla tortuosità dell'alveo e alle irregolarità del fondo (macro-scabrezze).

A tale riguardo si riporta di seguito l'estratto del programma riportante i valori di Manning utilizzati ed i valori di scabrezza da bibliografia

Edit Manning's n or k Values

River: T. CONCABBIA  Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: T. concabbia All Regions

Selected Area Edit Options:

River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1 12	n	0.06	0.04	0.06
2 11	n	0.06	0.04	0.06
3 10	n	0.06	0.04	0.06
4 9	n	0.06	0.04	0.06
5 8.5	n	0.06	0.04	0.06
6 8.2	Inl Struct			
7 8	n	0.06	0.04	0.06
8 7	n	0.06	0.04	0.06
9 6.5	n	0.06	0.04	0.06
10 6	n	0.06	0.067	0.06
11 5	n	0.06	0.067	0.06
12 4	n	0.06	0.067	0.06
13 3	n	0.06	0.067	0.06
14 2	n	0.06	0.067	0.06
15 1.5	n	0.06	0.067	0.06
16 1	n	0.06	0.067	0.06

Figura 3– Valori di scabrezza di Manning adottati nella simulazione idraulica (HR)

Per quanto riguarda la valutazione dello stato di fatto (opere realizzate), è stata inserita la schematizzazione

dell'opera realizzata sostituita, nella sezione 8.2. Per quanto riguarda le condizioni al contorno si sono considerati gli stessi valori indicati in precedenza (scabrezza, pendenza dell'alveo, ecc...). Il coefficiente di deflusso dello stramazzo (weir coefficient) è stato stimato pari a  $Wc = 1,44$  cui corrisponde un coefficiente  $\mu$  pari a 0.322 essendo valida la seguente relazione:

$$Wc = \mu \cdot \sqrt{2g}$$

Tale indicazione, cautelativa se confrontata con quanto definito in letteratura (i testi solitamente indicano valori sperimentali compresi tra 0.37 e 0.39; vedasi Manuale dell'Ingegnere – NUOVO COLOMBO), permette di considerare la particolare condizione in cui si trova a lavorare la struttura: alveo in piena ricco di materiale in sospensione, che tende a mutare la vocazione a spigolo vivo dello stramazzo in parete grossa favorendo il deflusso e, in termini analitici, innalzando il valore del coefficiente in oggetto.

### 3.5 Scenari verificati: portata di piena 200aria e media annua.

Nelle figure e nelle tabelle riportate di seguito sono rappresentati i risultati riassuntivi delle elaborazioni eseguite tramite il *software*, relativamente alle sezioni principali originate dal modello di calcolo e disposte lungo il tratto d'alveo considerato.

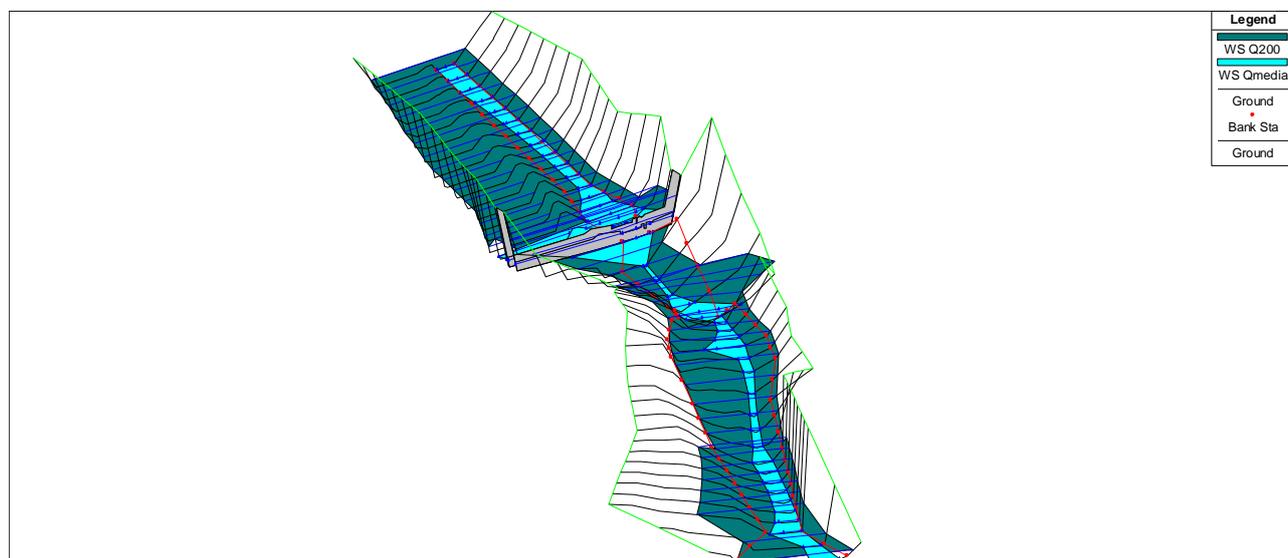


Figura 4– Area bagnata dell'alveo del Torrente Concabbia: Q200

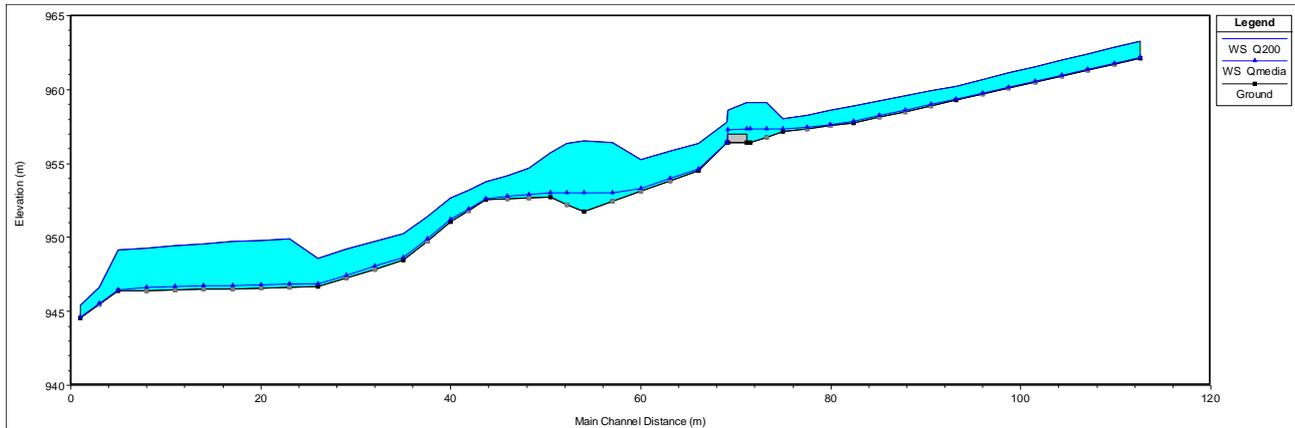


Figura 5- Profilo dell'alveo del Torrente Concabbia: Q200 e Qmedia.

Viene di seguito riportato il risultato delle simulazioni effettuate in forma tabellare, nel quale sono riportati i valori di portata utilizzati ed i livelli di pelo libero ottenuti per le 16 stazione indagate.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)
T. concabbia	12	Q200	86.20	962.10	963.29	964.07	966.35	0.140067	10.41
T. concabbia	12	qmedia	0.18	962.10	962.17	962.19	962.24	0.139873	1.23
T. concabbia	11	Q200	86.20	959.27	960.21	960.95	963.21	0.202872	9.93
T. concabbia	11	qmedia	0.18	959.27	959.38	959.42	959.47	0.137735	1.35
T. concabbia	10	Q200	86.20	957.75	958.91	959.61	961.47	0.121590	9.00
T. concabbia	10	qmedia	0.18	957.75	957.86	957.89	957.96	0.141536	1.37
T. concabbia	9	Q200	86.20	957.17	958.00	958.64	960.56	0.165594	8.45
T. concabbia	9	qmedia	0.18	957.17	957.32	957.27	957.32	0.004233	0.29
T. concabbia	8,5	Q200	86.20	956.40	959.15	957.55	959.24	0.001373	1.82
T. concabbia	8,5	qmedia	0.18	956.40	957.32	956.43	957.32	0.000000	0.01
T. concabbia	8.2	Inl Struct	Inl Struct						
T. concabbia	8	Q200	86.20	956.40	957.80	957.80	958.41	0.022061	4.65
T. concabbia	8	qmedia	0.18	956.40	956.43	956.43	956.44	0.089918	0.65
T. concabbia	7	Q200	86.20	954.50	956.34	956.51	958.18	0.059020	6.78
T. concabbia	7	qmedia	0.18	954.50	954.63	954.74	955.65	1.399.491	4.48

T. concabbia	6.5	Q200	86.20	951.74	956.55		956.71	0.000989	2.08
T. concabbia	6.5	qmedia	0.18	951.74	953.03		953.03	0.000001	0.03
		Q200							
T. concabbia	6	qmedia	86.20	952.73	955.72	955.72	956.61	0.033314	4.28
T. concabbia	6		0.18	952.73	952.99		953.03	0.049239	0.81
		Q200							
T. concabbia	5	qmedia	86.20	952.54	953.74	954.33	955.72	0.182713	6.24
T. concabbia	5		0.18	952.54	952.63	952.63	952.65	0.121739	0.66
		Q200							
T. concabbia	4	qmedia	86.20	951.06	952.65	953.30	954.91	0.239558	6.67
T. concabbia	4	Q200	0.18	951.06	951.23	951.26	951.32	0.226340	1.34
		qmedia							
T. concabbia	3		86.20	948.45	950.23	951.10	953.42	0.311847	7.92
T. concabbia	3	Q200	0.18	948.45	948.66	948.71	948.82	0.333190	1.78
		qmedia							
T. concabbia	2		86.20	946.66	948.59	949.38	951.22	0.187402	7.18
T. concabbia	2	Q200	0.18	946.66	946.88	946.80	946.89	0.012679	0.44
		qmedia							
T. concabbia	1	Q200	86.20	946.37	949.16	949.27	950.08	0.026537	4.70
T. concabbia	1	qmedia	0.18	946.37	946.47	946.47	946.50	0.117399	0.72
T. concabbia	0	Q200	86.20	944.54	945.39	946.17	948.93	0.577076	8.38
T. concabbia	0	qmedia	0.18	944.54	944.63	944.64	944.67	0.210237	0.90

### 3.6 Descrizione dei risultati

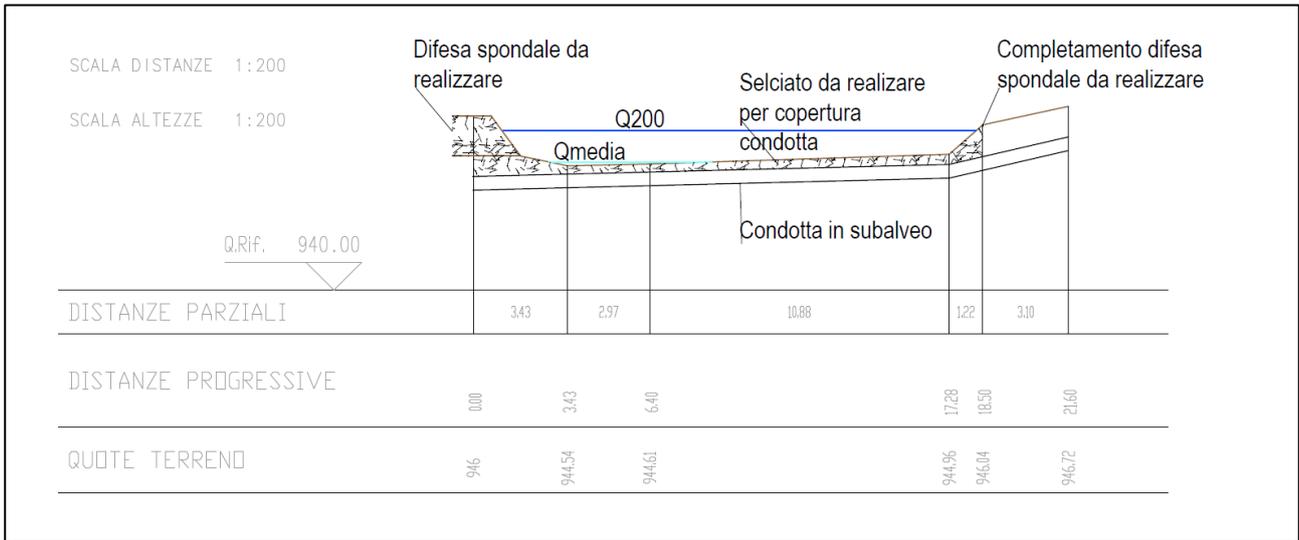
Dai risultati dell'analisi idraulica svolta nel presente studio emerge che l'azione esercitata dall'inserimento dell'opera di captazione non comporta un aumento del rischio idraulico in quanto la portata di piena  $Q_{200}$  risulta occupare l'area di espansione già esistente, mentre a valle della traversa le acque rientrano nell'alveo principale.

In corrispondenza dell'attraversamento in subalveo rappresentato dalla sezione 0-0 la quota massima raggiunta con portata duecentennale risulta essere pari a 945,39 m.s.l.m. che tale quota risulta essere superiore, anche se di poco alla quota rilevata pari a 945,24 m.s.l.m. Queste simulazioni sono state effettuate a favore di sicurezza in quanto alvei torrentizi di piccole dimensioni risultano molto irregolari e più difficoltosa da simulare. Per questo motivo le simulazioni sono state condotte utilizzando condizioni al contorno miste e non supercritiche (condizione standard per alvei a forte pendenza) restituendo quindi livelli maggiori.

Essendo però in prossimità di viabilità è stato previsto un adattamento degli argini.

Per quanto concerne l'argine in sinistra idrografica si prevede la creazione di una scogliera in massi a protezione dei due ponti, mentre in destra idrografica sarà effettuato il completamento della scogliera già

esistente. La nuova difesa idraulica garantisce una sezione che permetta il naturale deflusso dalla portata duecentennale come indicato nella sezione sottostante. **L'origine riferimento non è stata trovata.** e nella Tavola 03-rev2. La quota prevista relativa alla difesa spondale è pari a 946 m.s.l.m..



## 4. DEFINIZIONE DEI CRITERI QUANTITATIVI E QUALITATIVI

La competente Autorità di Bacino, tramite la già più volte menzionata direttiva allegata alla deliberazione 21.12.2010, n. 8, del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po, ha fissato i criteri generali cui attenersi nella progettazione di nuove opere di trasversali a corsi d'acqua, con particolare riferimento:

- 1) ai criteri adottati per la localizzazione dell'opera;
- 2) ai criteri adottati per la scelta della tipologia dell'opera, con riferimento alla possibile formazione di barriere impermeabili al trasporto solido e derivanti dalla realizzazione dell'impianto;
- 3) alle modalità previste per la manutenzione ordinaria e straordinaria dell'opera, e per l'esecuzione dei lavori di dismissione dell'impianto e di ripristino dei luoghi.

In aggiunta a quanto sopra, il punto 4 della originaria "Direttiva n. 4", aggiornata dal testo più recente, suggerisce di concentrare il giudizio di compatibilità idraulica dell'opera proposta sulla quantificazione degli effetti da essa prodotti, con riferimento:

- 4) alle modifiche indotte sul profilo involuppo di piena (eventuale innalzamento del profilo di piena per una certa estensione a monte dell'opera);
- 5) alla possibile riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- 6) alle interazioni previste con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;
- 7) agli effetti prodotti dalle opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento;
- 8) alle modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena;
- 9) alle modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- 10) alle condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Di seguito si riporta la valutazione di compatibilità idraulica dell'opera effettuata secondo i criteri appena definiti.

### 4.1.1 CRITERI PROGETTUALI: LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

L'opera è stata realizzata in roccia affiorante garantendo così una migliore stabilità in occasione di eventi.

Criteri progettuali: tipologia dell'opera

L'opera di captazione è stata realizzata mediante griglia a coanda per garantire una captazione costante limitando i problemi di intasamento rispetto ad un eventuale presa laterale e garantendo una luce indipendente per il rilascio del deflusso ecologico.

#### **4.1.2 CRITERI PROGETTUALI: MODALITÀ DI MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA E DI DISMISSIONE DELL'OPERA**

Le operazioni di manutenzione ordinaria dell'impianto prevedono:

- la rimozione periodica del materiale accumulatosi (operazione da eseguire secondo necessità, con maggiore frequenza nei mesi tardo autunnali-invernali);
- la pulizia del canale di derivazione da eventuali sedimenti fini captati dall'opera di presa (operazione da eseguire con cadenza annuale nella stagione idrologicamente più povera, per contenere le perdite di produzione, con impianto fermo);
- il controllo delle apparecchiature elettromeccaniche, di regolazione e di telecontrollo, con eventuale sostituzione delle parti usurate (da eseguire con cadenza annuale, sebbene il buon funzionamento delle apparecchiature installate sia per questi componenti di norma garantito dai fornitori per l'intero ciclo di vita dell'impianto);
- la valutazione dello stato della condotta di scarico del sistema dissabbiatore e vasca di carico e sua eventuale pulizia (operazione da eseguire con cadenza annuale nella stagione idrologicamente più povera, per contenere le perdite di produzione, con impianto fermo).

Non si ravvisa, nell'elenco stilato, la presenza di operazioni che possano in alcuna maniera risultare incompatibili con il regime idraulico ordinario del corso d'acqua.

Le operazioni di manutenzione straordinaria verranno invece di norma eseguite a seguito di eventi di piena eccezionale, e potranno comportare attività di parziale ripristino di parti delle opere, di rimozione dei sedimenti e di rimessa in esercizio dell'impianto. La loro esecuzione dovrà essere di volta in volta oggetto di un progetto di dettaglio, che assicuri una esecuzione in condizioni di sicurezza per l'opera stessa da ripristinare e per l'intera regione fluviale.

#### **4.1.3 CRITERI QUANTITATIVI: MODIFICHE INDOTTE SUL PROFILO INVILUPPO DI PIENA**

Gli effetti prodotti dalla disposizione delle opere sul profilo inviluppo di piena sono stati esaminati nei capitoli precedenti.

#### **4.1.4 CRITERI QUANTITATIVI: RIDUZIONE DELLA CAPACITÀ DI INVASO DELL'ALVEO**

La riduzione della capacità di invaso dell'alveo è circoscritta all'opera realizzata in quanto la pendenza dell'alveo e l'altezza ridotta della traversa influenza in maniera limitata la capacità di invaso.

#### **4.1.5 CRITERI QUANTITATIVI: INTERAZIONI PREVISTE CON LE OPERE DI DIFESA IDRAULICHE ESISTENTI**

L'esame condotto non evidenzia modifiche significative rispetto l'assetto delle arginature presenti nelle normali condizioni di funzionamento dell'impianto.

#### **4.1.6 CRITERI QUANTITATIVI: EFFETTI PRODOTTI DALLE OPERE IDRAULICHE NELL'AMBITO DELL'INTERVENTO**

Anche in questo caso, non sono emersi elementi degni di nota.

#### **4.1.7 CRITERI QUANTITATIVI: MODIFICHE INDOTTE SULL'ASSETTO MORFOLOGICO PLANIMETRICO E ALTIMETRICO DELL'ALVEO INCISO E DI PIENA**

Possono essere senza dubbio escluse modifiche di sorta alla morfologia ed alla struttura dell'alveo inciso e di piena.

#### **4.1.8 CRITERI QUANTITATIVI: MODIFICHE INDOTTE SULLE CARATTERISTICHE NATURALI E PAESAGGISTICHE DELLA REGIONE FLUVIALE**

Alla luce delle analisi condotte è possibile affermare che l'impianto di derivazione è ritenuto compatibile con l'assetto paesaggistico esistente.

#### **4.1.9 CRITERI QUANTITATIVI: CONDIZIONI DI SICUREZZA DELL'INTERVENTO RISPETTO ALLA PIENA DI RIFERIMENTO**

L'opera realizzata è stata tassellata con barre di 30 cm in roccia affiorante per garantire la stabilità dell'intera regione fluviale interessata dalla stessa.

## **5. GIUDIZIO FINALE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELL'OPERA CON L'ASSETTO IDRAULICO LOCALE**

Tenuto presente l'intero complesso dei fattori citati in precedenza, ai fini della determinazione della compatibilità dell'opera con l'assetto idraulico locale, si segnalano:

- la coerenza dei principi ispiratori della concezione dell'opera con gli indirizzi di settore, sia quanto a scelta della localizzazione, sia quanto a scelta tipologica, e sia quanto a definizione delle modalità di manutenzione (ordinaria e straordinaria) e di dismissione delle opere;
- la presenza di effetti non significativi sull'assetto assunto dall'area in caso di piena, nell'intorno dell'impianto;
- l'assenza di interferenze con le arginature presenti;
- l'assenza di effetti significativi indotti dalle nuove opere idrauliche;
- l'assenza di modifiche di rilievo sull'assetto dell'alveo inciso;
- l'assenza di significative modifiche al contesto paesistico esistente;

Alla luce delle considerazioni qui svolte, si ritiene quindi di poter attestare la compatibilità dell'opera realizzata con il regime idraulico caratteristico dell'area in esame, come emerso nel corso del presente studio.

## APPENDICE 1 - IL SOFTWARE HEC-RAS: DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

*Il pacchetto software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), elaborato dall' U.S. Army Corps of Engineers è uno strumento di calcolo idraulico monodimensionale dalla consolidata affidabilità, ampiamente utilizzato in campo internazionale e nazionale. HEC-RAS permette di condurre l'analisi idraulica monodimensionale sia a moto permanente che vario. L'interfaccia utente (Graphical User Interface GUI) permette un agevole inserimento di dati e una pronta analisi dei risultati e la possibilità di georeferenziare le sezioni introdotte permette una intuitiva rappresentazione grafica dei risultati.*

*Il modello di moto permanente, costruito con il codice di calcolo HEC-RAS permette di valutare tutte le grandezze idrauliche di interesse per una corrente gradualmente variata in regime subcritico, supercritico o misto.*

*Tale codice è basato essenzialmente sull'integrazione, alle differenze finite, dell'equazione dell'energia di una corrente. Le perdite di energia sono valutate mediante il coefficiente di scabrezza di Manning per le perdite distribuite e mediante i coefficienti di contrazione ed espansione della corrente per valutare le perdite concentrate dovute alla variazione della sezione trasversale. Nella simulazione del moto vario il modello utilizza il motore di calcolo UNET sviluppato dal Dr. Robert L. Barkau's, UNET risolve le equazioni complete di de St. Venant utilizzando uno schema di risoluzione implicito alle differenze finite. Tale schema di calcolo è stato sviluppato per il moto vario in corrente subcritica.*

*Lo schema di risoluzione utilizza il metodo di Newton-Raphson iterativo per risolvere equazioni non lineari. Tale codice di calcolo, comunque, pur utilizzando una soluzione linearizzata, per una corrente subcritica fornisce risultati affidabili e stabili, avendo l'accortezza di utilizzare intervalli di calcolo sufficientemente ridotti. Permette inoltre di simulare in modo efficace le singolarità introdotte nel modello: ponti, tratti tombinati, invasi in linea e in derivazione, sfioratori in linea, sfioratori laterali, luci a battente.*

*I profili di corrente sono calcolati risolvendo, mediante procedura iterativa (standar step method) la seguente equazione del bilancio dell'energia fra due sezioni*

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

*Y1, Y2: Altezze idriche in corrispondenza delle sezioni 1 e 2*

*Z1, Z2: Quote dei punti di talweg in corrispondenza delle sezioni 1 e 2*

*V1, V2: Velocità medie*

$a_1, a_2$ : Coefficienti di perdita

$g$  : Accelerazione di gravità

$h_e$ : Perdite fra le sezioni calcolate con la seguente espressione:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

$L$  : Distanza fra le sezioni pesata sulle portate

$S$ : Pendenza della linea dell'energia per le perdite distribuite

$C$  : Coefficiente di espansione o contrazione  $f$ .

Per distanza fra le sezioni pesata sulle portate si intende la lunghezza calcolata con la seguente formula:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{lch} \bar{Q}_{lch} + L_r}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{lch} + \bar{Q}_{ro}}$$

dove:

$L_{lob}, L_{lch}, L_r$ : Distanza fra le sezioni specificata rispettivamente per la golena sinistra, per l'alveo per la golena destra

$Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{lor}$ : Somma aritmetiche delle portate defluenti rispettivamente nella golena sinistra, nell'alveo e nella golena destra

1. Si ipotizza che il moto si gradualmente variato, ovvero che, in corrispondenza di ciascuna sezione, vi sia una distribuzione idrostatica delle pressioni

2. In prossimità di singolarità, dove il moto diventa rapidamente variato, il programma utilizza in automatico, invece dell'equazione dell'energia, l'equazione dell'equilibrio delle spinte o altre equazioni empiriche.

3. Il moto è ipotizzato monodimensionale.

Con il supporto del software HEC-RAS, è possibile calcolare, in tutte le sezioni di interesse del modello, le

*principali caratteristiche della corrente sia in moto permanente che vario. I dati necessari per la costruzione del modello sono i dati geometrici relativi alle sezioni, le distanze fra le sezioni, coefficienti di scabrezza, coefficienti di espansione e contrazione, la descrizione geometrica ed i parametri idraulici di eventuali strutture aggiuntive (ponti, traverse, sfioratori).*

*Nell'inserimento dei dati relativi alla geometria, HEC-RAS permette di georeferenziare sia il tracciato dell'asta fluviale, sia le sezioni fluviali, permettendo così la costruzione di una visualizzazione prospettica del modello e dei suoi risultati in termini di livelli idrici.*

*L'opzione "Ineffective Areas" permette di definire, per ciascuna sezione, una porzione della stessa che non partecipa attivamente al deflusso; in tali aree, soggette comunque ad allagamento, la velocità di deflusso è molto prossima allo zero. Il volume invasato è incluso nell'equazione di continuità, ma la porzione di perimetro bagnato relativo a tali aree non partecipa al calcolo delle perdite distribuite.*

*È inoltre possibile fissare una quota di disattivazione di tali aree; ovvero quando il livello idrico nella sezione raggiunge o supera tale valore la porzione di sezione viene attivata e partecipa al deflusso.*

*La contrazione e l'espansione della vena liquida fra due sezioni adiacenti è causa di perdite di carico valutate dal codice di calcolo come concentrate con l'utilizzo di opportuni valori del coefficiente C.*

*Tipici valori, nel caso di correnti supercritiche variano fra 0.1 e 0.3 per il coefficiente di contrazione e fra 0.3 e 0.5 per il coefficiente di espansione. I valori più elevati sono tipici in prossimità dei restringimenti causati dall'ingombro delle spalle e delle pile dei manufatti di attraversamento.*

*Tali coefficienti sono quindi utilizzati per valutare le perdite di energia a valle e a monte dei ponti inseriti nel modello. L'area che, a monte e valle dei manufatti di attraversamento, partecipa attivamente al deflusso può essere introdotta nel calcolo mediante il posizionamento nelle sezioni adiacenti di opportune "Ineffective Areas". Il programma ha la capacità di utilizzare approcci di calcolo differenti per modellare le differenti configurazioni del passaggio della corrente a seconda che l'altezza idrica interessi l'impalcato del ponte e che il deflusso sia in regime di corrente lenta veloce o passi lo stato critico in corrispondenza dell'attraversamento.*

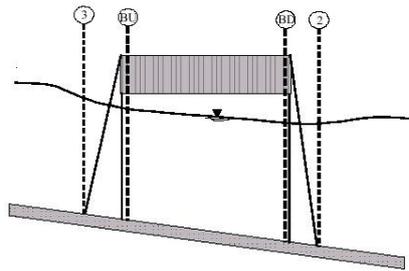
*Nel caso delle simulazioni effettuate, ovvero di corrente completamente subcritica (Classe A) che non interessa l'impalcato dei ponti, l'effetto di rigurgito indotto dalla presenza delle pile e delle spalle può essere valutato dal programma mediante diverse opzioni:*

*1 - Standard Step Method*

*2 - Bilancio delle spinte*

*3 - L'equazione empirica di Yarnell*

*4 - Il metodo FHWA WSPRO*



Nel modello costruito si sono valutate le perdite con la formula empirica di Yarnell. Il livello idrico a monte dell'attraversamento (sez. 3 in figura A.1) è calcolato sommando al livello a valle la quantità

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V^2}{2g}$$

Dove:

$K$  : Coefficiente di forma delle pile del ponte

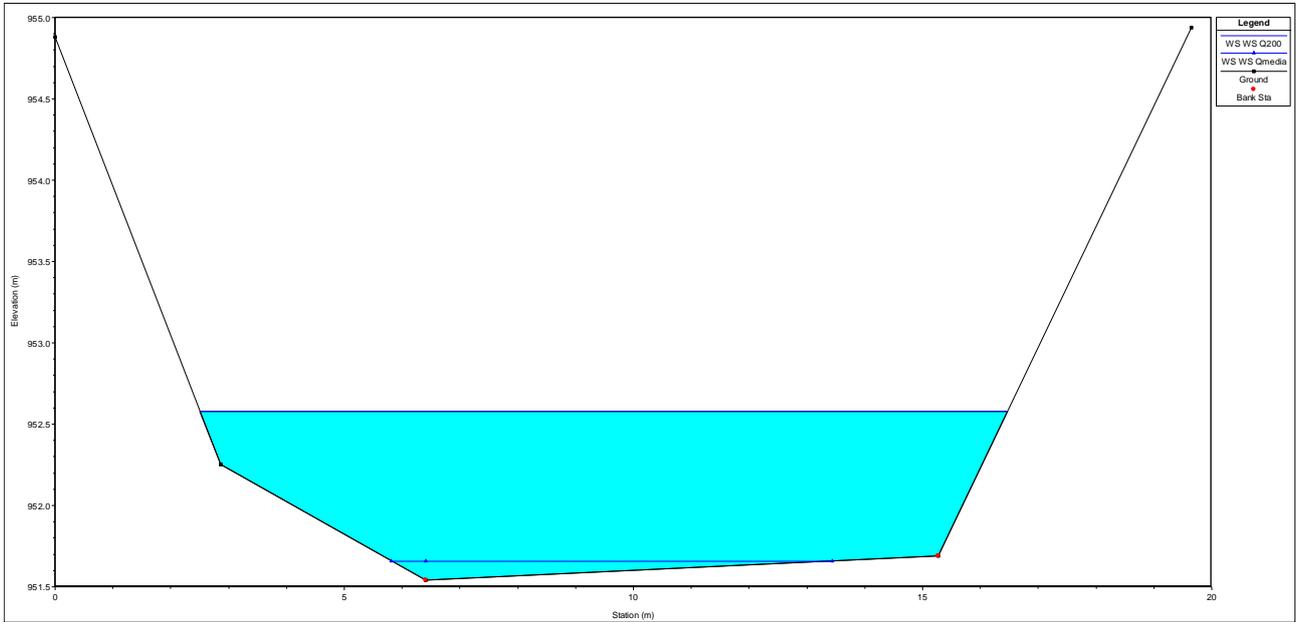
$\omega$  : Rapporto fra l'altezza cinetica e quella idrica alla sez. 2

$\alpha$  : Rapporto fra l'area ostruita dal manufatto e l'area totale alla sez.2

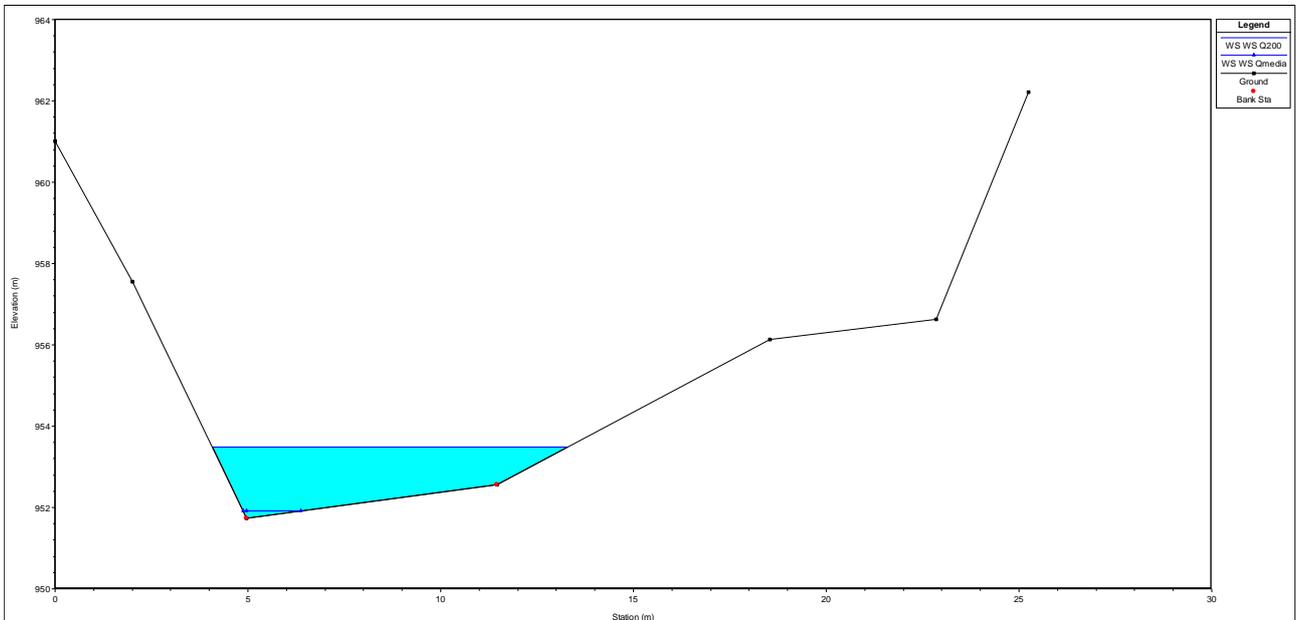
$V_2$ : Velocità media alla sez. 2

**APPENDICE 2 – RICOSTRUZIONE IDRAULICA MEDIANTE SOFTWARE HEC-RAS: SEZIONI**

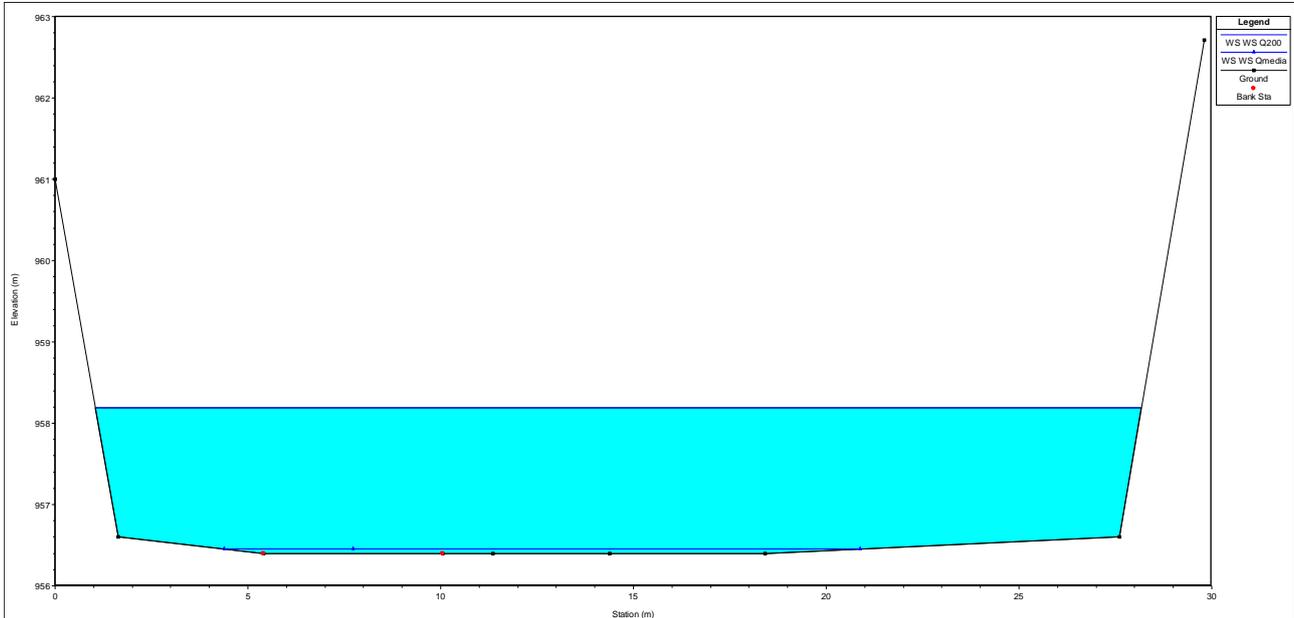
**T.Concabbia / sezione 1**



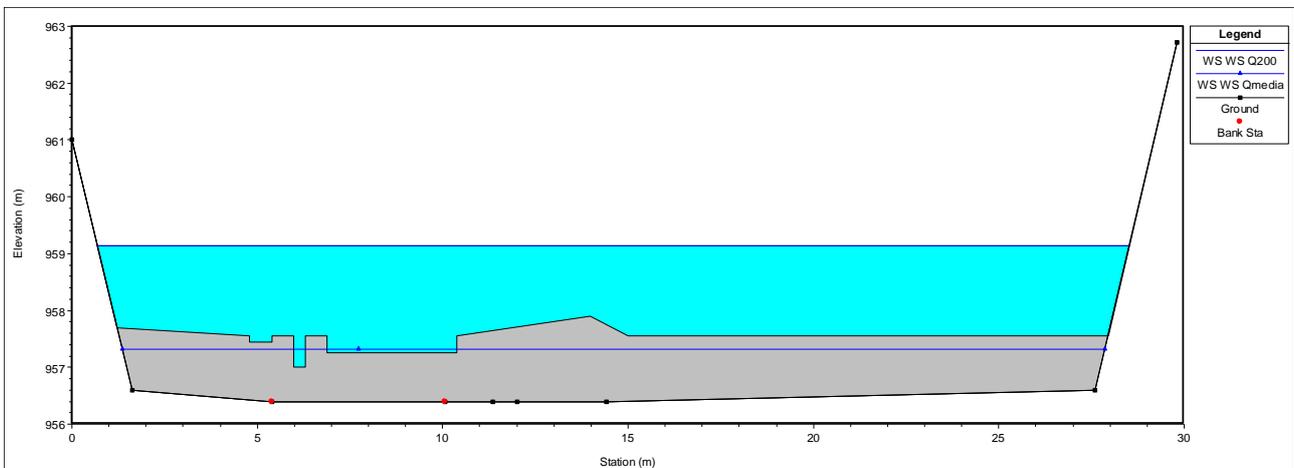
**T.Concabbia / sezione 2**



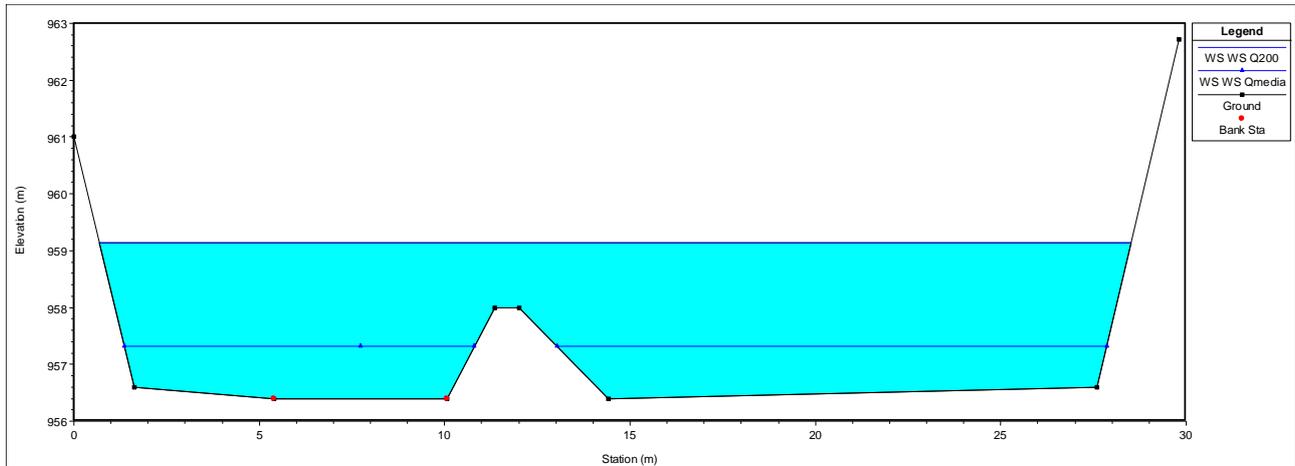
**T.Concabbia / sezione 3**



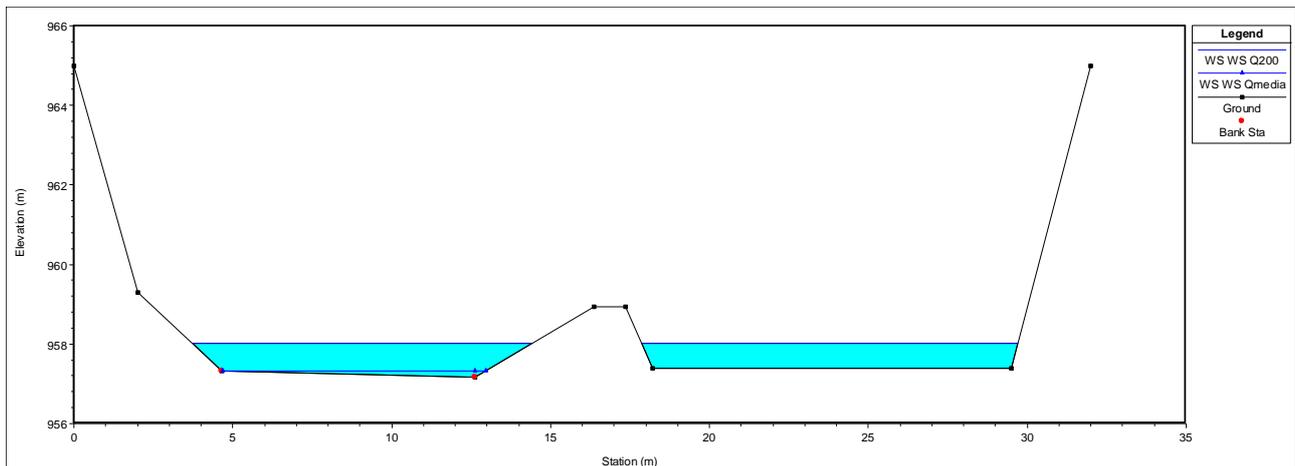
**T.Concabbia / sezione 3.2**



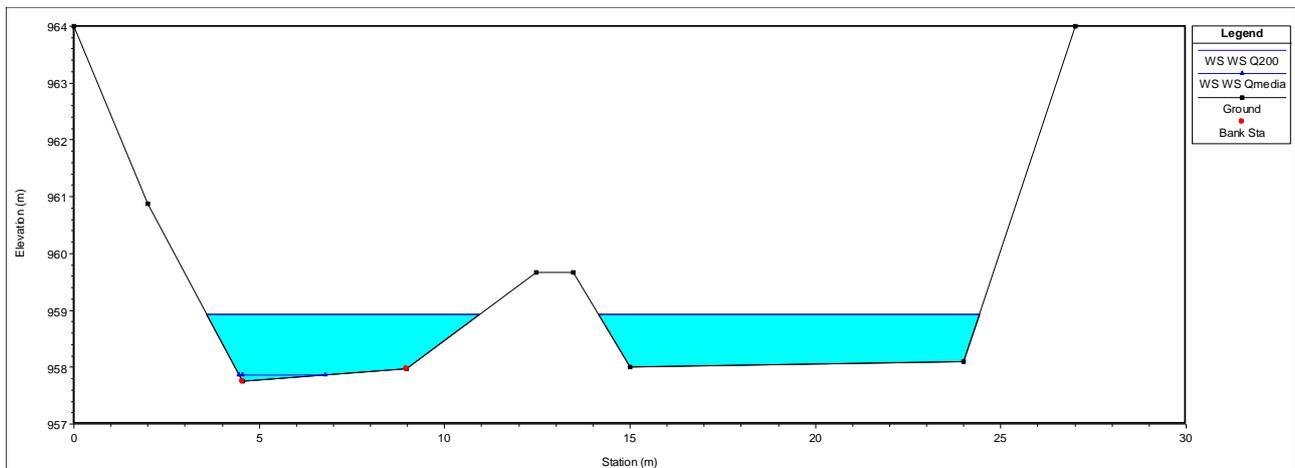
**T.Concabbia / sezione 3.5**



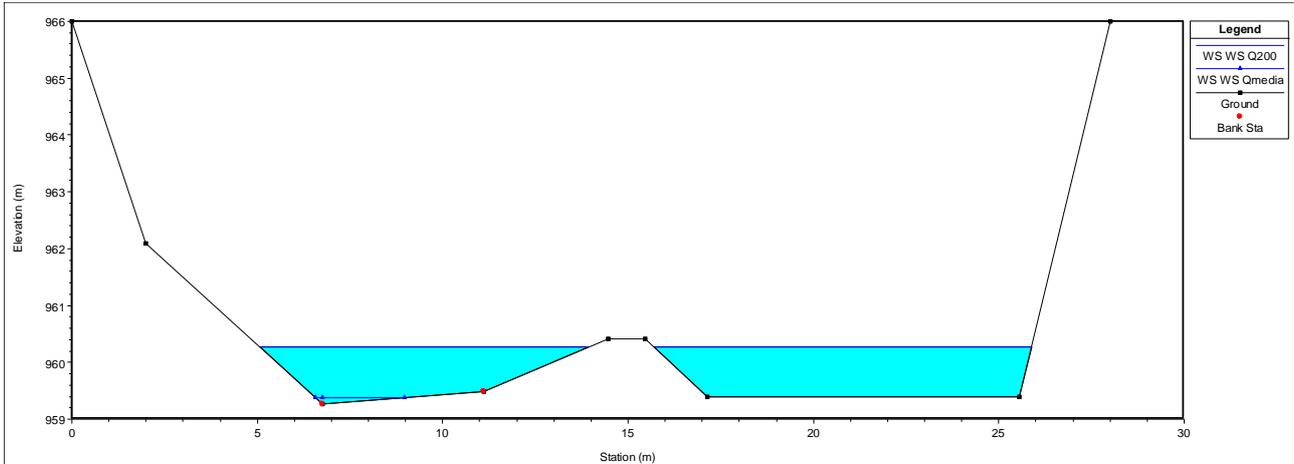
**T.Concabbia / sezione 4**



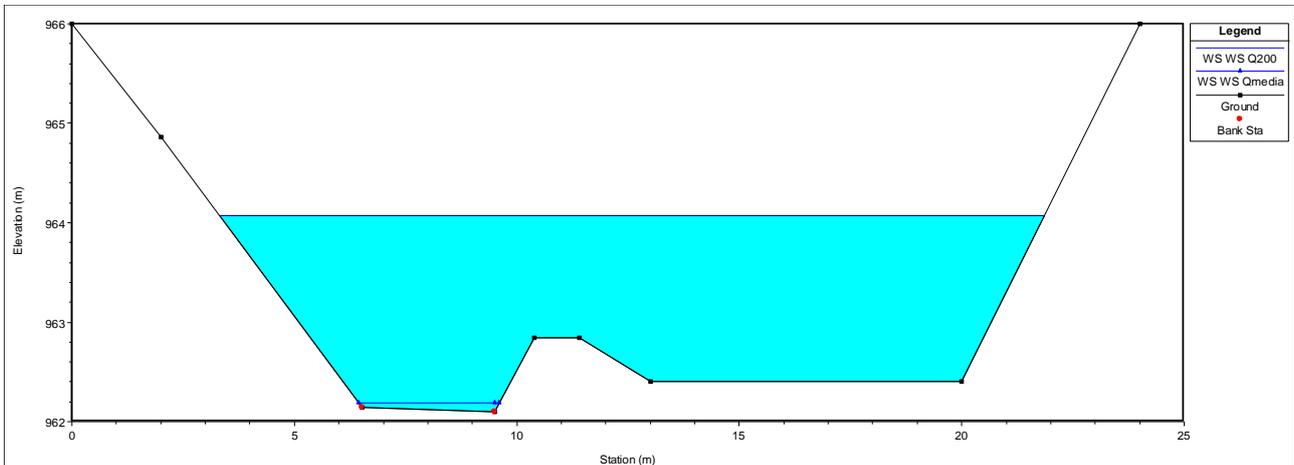
**T.Concabbia / sezione 5**



**T.Concabbia / sezione 6**



**T. Concabbia / sezione 7**



**T. Concabbia / sezione 8**

