

# IMPIANTO IDROELETTRICO DI ROSAZZA

REGIONE PIEMONTE – PROVINCIA DI BIELLA – COMUNI DI PIEDICAVALLO E ROSAZZA

Oggetto:

DOMANDA DI VARIANTE IN SANATORIA

**RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA  
OPERA DI PRESA**

Elaborato:

**RCI**

EMISSIONE	PRESENTAZIONE					
COMMESSA	Rosazza_RCI					
	Data.	Sigla	Data	Sigla	Data	Sigla
Redazione	Marzo 2023	PG	Febbraio 2024	TC		
Verifica	Marzo 2023	AM	Febbraio 2024	AM		
Controllo	Marzo 2023	SC	Febbraio 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>4</b>
<b>2.</b>	<b>Torrente Chiobbia .....</b>	<b>9</b>
2.1	Caratteristiche morfologiche ed idrauliche dell'alveo .....	9
2.1.1	Assetto geometrico dell'alveo .....	9
2.1.2	Caratteristiche morfologiche dell'alveo .....	9
2.1.3	Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo .....	10
2.1.4	Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale.....	10
2.1.5	Determinazione delle portate di piena .....	11
2.1.6	Definizione dell'assetto idraulico locale .....	14
2.2	Determinazione dei livelli attesi in alveo .....	15
2.2.1	Verifica del comportamento idraulico: Metodologia Adottata .....	15
2.2.2	Verifica del comportamento idraulico: Scenari di Calcolo .....	17
2.2.3	Verifica del comportamento idraulico: Condizioni Al Contorno .....	17
2.2.4	SCENARI VERIFICATI: portata di piena 200aria, 500aria e media annua.....	19
2.2.5	SCENARI VERIFICATI: portata di piena 200aria, 500aria con riduzione della sezione di deflusso .....	22
2.2.6	Descrizione dei risultati.....	23
<b>3.</b>	<b>Definizione dei criteri quantitativi e qualitativi .....</b>	<b>25</b>
3.1.1	Criteri progettuali: localizzazione dell'opera.....	25
3.1.2	Criteri progettuali: tipologia dell'opera .....	26
3.1.3	Criteri progettuali: modalità di manutenzione ordinaria e straordinaria e di dismissione dell'opera.....	26
3.1.4	Criteri quantitativi: modifiche indotte sul profilo involuppo di piena .....	27
3.1.5	Criteri quantitativi: riduzione della capacità di invaso dell'alveo .....	27
3.1.6	Criteri quantitativi: interazioni previste con le opere di difesa idrauliche esistenti.....	27
3.1.7	Criteri quantitativi: effetti prodotti dalle opere idrauliche nell'ambito dell'intervento .....	27
3.1.8	Criteri quantitativi: modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo inciso e di piena	28
3.1.9	Criteri quantitativi: modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale.	28
3.1.10	Criteri quantitativi: condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena di riferimento .....	28
<b>4.</b>	<b>Giudizio finale di compatibilità idraulica dell'opera con l'assetto idraulico locale .....</b>	<b>29</b>

## **ALLEGATI**

---

APPENDICE 1: Il *software* HEC RAS.

APPENDICE 2: Ricostruzione idraulica mediante *software* HEC RAS - sezioni

---

## 1. PREMESSA

L'impianto idroelettrico di Rosazza 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.

Differenze minori sono le caratteristiche costruttive della scala di risalita dell'ittiofauna presso la prima briglia sul T.Cervo a valle della confluenza in esso del T.Chiobbia e un leggero scostamento della linea di posa della condotta nei suoi metri finali di avvicinamento alla centrale di lunghezza pari a circa 135 m.

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. Chiobbia dell'impianto idroelettrico di Rosazza, in funzione delle effettive caratteristiche costruttive.

Nel presente studio si fa esplicitamente riferimento alla compatibilità idraulica e alla perimetrazione delle aree potenzialmente esondabili lungo l'asta del torrente Chiobbia dell'elaborato "Verifiche di compatibilità idraulica" redatti da Studio "Mello Rella & Associati – ingegneria – Studio Tecnico di Fanton F.-Gattardi L.-Martiner Testa D.-Mello Rella P.", su incarico dell'Amministrazione Comunale di Piedicavallo, nel quale sono state definite le aree di pericolosità idraulica omogenea per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

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

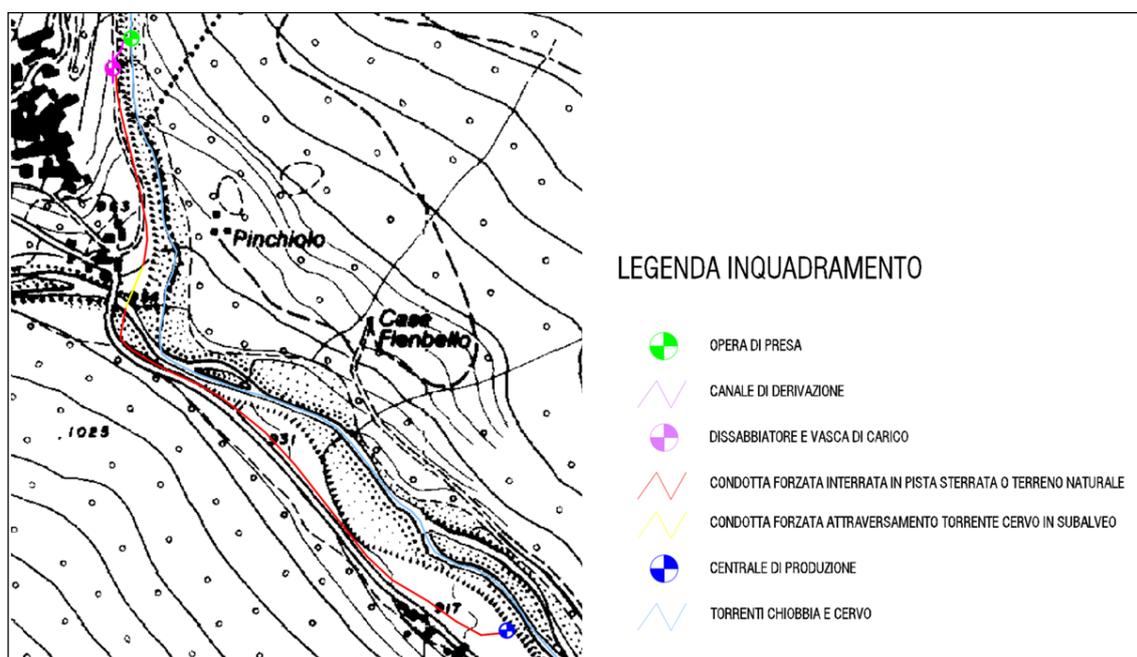


Figura 1.1– Estratto CTR 1:10.000 (foglio 092120)

Il bacino idrografico sotteso dalla captazione in progetto ha una superficie di circa 12.3 km<sup>2</sup> e interessa il T. Chiobbia, la quota di chiusura è posta a circa 987 m s.l.m. in corrispondenza dell'opera di presa.

La differente ubicazione della traversa di presa rispetto a quanto previsto nel progetto autorizzato comporta una impercettibile riduzione della superficie del bacino idrografico sotteso, motivo per cui si mantiene la stessa superficie.

Nell'ambito del Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po l'area in esame per l'opera di presa è compresa nel foglio 092 Sez. II – Lilianes scala 1:25.000 dell'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici (rif. figura seguente).

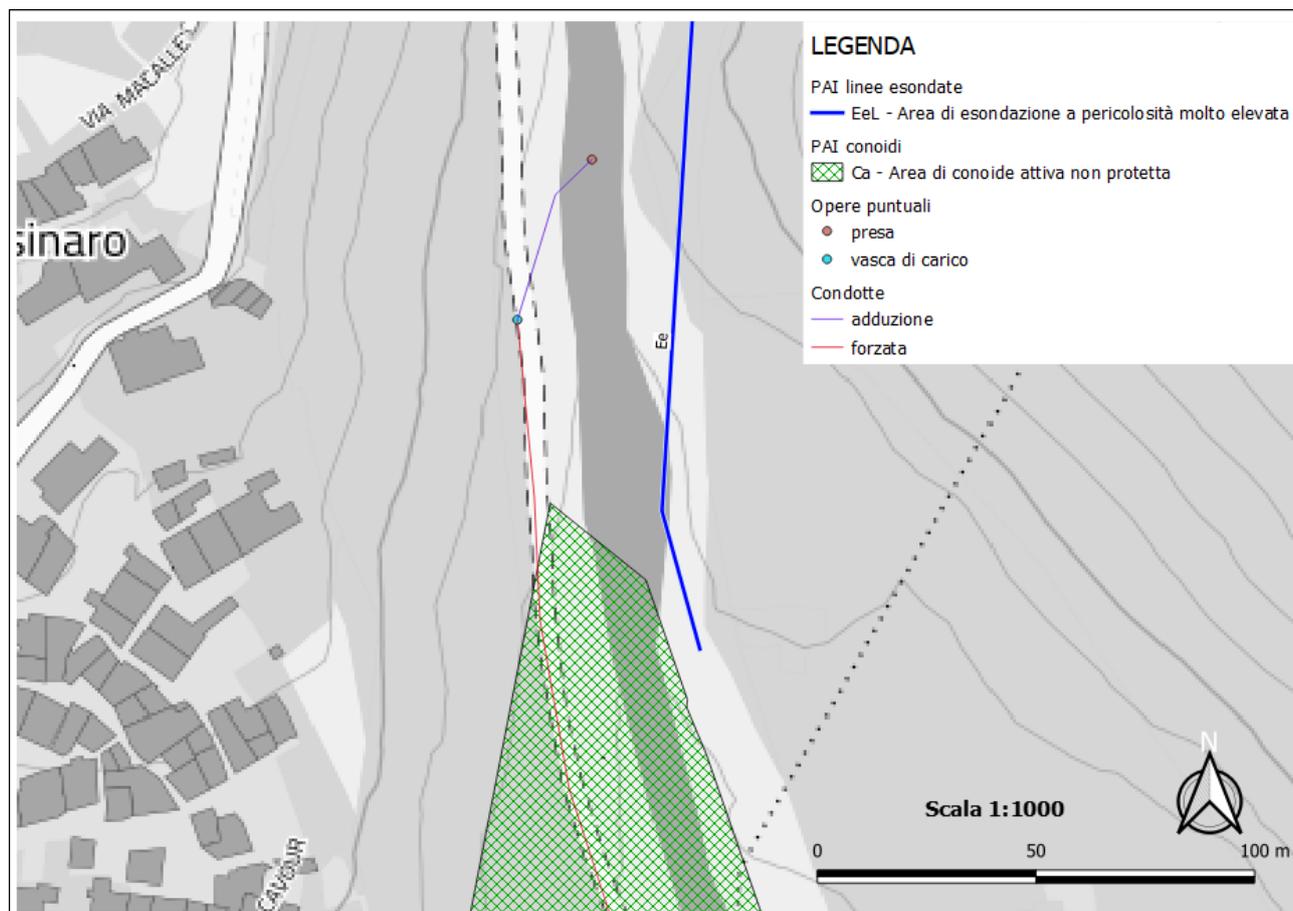


Figura 1.2– Inquadramento opere riguardante l’area relativa alla captazione ottenuta tramite shapefile riportati all’interno del Geoportale della Regione Piemonte riproducendo l’Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Delimitazione delle aree in dissesto.

La figura mostra come la traversa di derivazione è segnalata in “aree a pericolosità elevata non perimetrata (Ee)” lungo l’alveo del Torrente Chiobbia nel tratto compreso tra la confluenza con i torrenti Valdescola e lo sbocco nel Cervo.

La verifica di compatibilità idraulica è stata condotta secondo le modalità previste all’interno della direttiva contenente “I criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce fluviali – criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e di impianti per l’uso della risorsa idrica”, allegata alla deliberazione 21.12.2010, n. 8, del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del fiume Po.

Fra i contenuti dello studio richiesti si evidenziano:

- 1) la definizione dell’assetto geometrico dell’alveo;

- 2) la definizione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo;
- 3) la determinazione delle caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;
- 4) la definizione delle caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale;
- 5) la determinazione delle portate di piena;
- 6) l'indicazione delle opere di difesa idraulica;
- 7) la definizione di eventuali manufatti interferenti;
- 8) la definizione delle modalità di deflusso in piena;
- 9) la quantificazione degli effetti degli interventi in progetto, con particolare riferimento a:
  - a) modifiche indotte sul profilo involuppo di piena;
  - b) riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
  - c) interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;
  - d) opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento e connesse a questo;
  - e) modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena;
  - f) modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
  - g) condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Sulla scorta delle indicazioni di cui sopra, lo studio si articola nelle seguenti fasi:

- 1) determinazione delle caratteristiche fisiche e morfologiche dell'alveo, ai fini della definizione dell'assetto idraulico locale, secondo le indicazioni della Direttiva citata;
- 2) costruzione di un modello del corso del fiume mediante il tracciamento di alcune sezioni trasversali dell'alveo;
- 3) determinazione del livello idrico raggiunto nel tratto di alveo interessato dalla realizzazione delle opere;
- 4) giudizio finale di compatibilità delle opere previste con l'assetto idraulico generale dell'area, con approfondimenti tematici relativi a:
  - a) quantificazione degli effetti degli interventi in progetto (modifiche indotte sul profilo involuppo di piena, etc.);
  - b) criteri adottati per la localizzazione dell'opera (punto 3.1 della direttiva allegata alla deliberazione 21.12.2010, n. 8, del Comitato Istituzionale);
  - c) criteri adottati per la scelta della tipologia dell'opera (punto 3.2 della direttiva citata), con particolare riferimento al problema della continuità del trasporto solido;

- d) modalità di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'opera; modalità di esecuzione dei lavori di ripristino dei luoghi (punto 6 della direttiva).

## **2. TORRENTE CHIOBBIA**

### **2.1 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE ED IDRAULICHE DELL'ALVEO**

#### **2.1.1 ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO**

Il bacino idrografico sotteso dalla captazione in progetto ha una superficie di circa 12.3 kmq; la quota di chiusura è posta a circa 987 m s.l.m. in corrispondenza dell'opera di presa.

Il torrente Chiobbia presenta una superficie complessiva di circa 12.47 kmq ed un perimetro di 19.45 km con una lunghezza dell'asta principale di circa 5.35 km ed una pendenza media di 20.53 %.

Alla quota massima dello stesso bacino idrografico, pari ai 2556 m s.l.m. corrisponde una morfologia montana con trasporto solido rilevante. Trovano giustificazione per questo la presenza di numerose briglie che consentono la regimazione degli eventi meteorici oltre che la deposizione del materiale solido in sospensione.

La posizione dell'opera di presa in progetto, ubicata alla quota di 987 m s.l.m. si torva circa 380 m a monte della confluenza col fiume Cervo.

La ricostruzione dei fenomeni idrologici parte dalla corretta resa geometrica del corpo idrico. L'allestimento del modello parte dal rilievo di dettaglio comprendente 12 sezioni, in prossimità dei due sbarramenti (la traversa realizzata e la briglia esistente posta) sono state ricostruite ulteriori 2 sezioni a partire da quelle rilevate per permettere l'inserimento delle strutture all'interno del software HEC-RAS. La lunghezza totale dell'alveo indagata è di circa 160 metri. In tavola 03 marzo 2023 sono riportate la planimetria con la traccia delle sezioni e le stesse sezioni con i vari livelli idrici raggiunti in diverse condizioni di portata.

#### **2.1.2 CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DELL'ALVEO**

Dal punto di vista morfologico i parametri espressi dalle relazioni:

- fattore di circolarità:

$$R_c = 4\pi \frac{A}{P^2};$$

- Il rapporto di uniformità  $R_u$  è definito come il rapporto tra il perimetro del bacino ed il perimetro del cerchio di riferimento con la condizione che la superficie del bacino sia uguale a quella del cerchio:

$$R_u = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

- rapporto di allungamento

$$E = \frac{2\sqrt{A}}{L\sqrt{\pi}};$$

risultano: RC 0.41, RU 1.55, E 0.74.

Si sottolinea inoltre come il territorio comunale interessato dall'opera di presa sia fortemente caratterizzato da presenza antropica dimostrato dalla presenza di briglie e difese spondali.

L'analisi morfologica dell'intorno del sito in esame consente di individuare:

- un profilo d'alveo caratterizzato dalla presenza di un sistema di briglie (due) di cui una risulta gravemente ammalorata a causa della piena avvenuta nell'ottobre 2020;
- nei pressi delle briglie le sponde sono protette mediante difese spondali costituite da scogliere in massi ciclopici stondati ed intasati in sinistra in modo uniforme per tutta la distanza tra le due briglie e con materiale lapideo grossolano intasato in destra orografica in modo più irregolare;

### **2.1.3 CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEL MATERIALE D'ALVEO**

Per quanto concerne lo studio della granulometria dell'alveo necessario sia per la determinazione della scabrezza dell'alveo che del trasporto solido presente soprattutto in eventi di piena, si è fatto riferimento allo studio citato in premessa.

### **2.1.4 CARATTERISTICHE AMBIENTALI E PAESISTICHE DELLA REGIONE FLUVIALE**

Il sito di inserimento dell'opera di presa alla quota di 987 m s.l.m. è connotato da estesi interventi di artificializzazione che interferiscono con le principali componenti caratteristiche del sistema fluviale.

Dal punto di vista vegetazionale si osserva la sostanziale assenza di copertura strutturata poiché in sponda idrografica destra sono presenti arbusti sparsi di essenze infestanti o ripiantumati; in sponda idrografica sinistra si osserva la presenza di una copertura boschiva di alto fusto che non raggiunge l'alveo essendo l'argine privo di copertura perché costituito da scogliere massi intasati.

Dal punto di vista delle morfologie si rileva come sponde e alveo siano state oggetto di recenti interventi di sistemazione che hanno alterato la condizione naturale.

## **2.1.5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA**

### **2.1.5.1 Premessa**

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 Chiobbia non sono disponibili misure dirette di portata al colmo nella sezione di chiusura. Si procede alla valutazione delle portate al colmo sulla base dello studio "Verifiche di compatibilità idraulica" redatti 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).

### **2.1.5.2 Calcolo portate di Piena**

La verifica delle opere in progetto è svolta mediante il calcolo delle portate al colmo con tempo di ritorno pari a

TR = 200 anni (sulla base delle indicazioni delle normative di settore). Nel presente lavoro viene inoltre aggiunta la verifica idraulica con un TR 500.

Con riferimento alla compatibilità idraulica e alla perimetrazione delle aree potenzialmente esondabili lungo l'asta del torrente Chiobbia si è fatto riferimento allo studio "Verifiche di compatibilità idraulica" redatti da Studio "Mello Rella & Associati – ingegneria – Studio Tecnico di Fanton F.-Gattardi L.-Martiner Testa D.-Mello Rella P.", su incarico dell'Amministrazione Comunale di Piedicavallo, nel quale sono state definite le aree di pericolosità idraulica omogenea per i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Lo studio (al quale si rimanda interamente) si basa sulla mappatura delle aree potenzialmente esondabili lungo il T. Cervo già redatto dalla Provincia di Biella nell'ambito del Piano territoriale Provinciale calandosi nella scala di dettaglio di uno strumento urbanistico locale.

Al CAP. 2.4 "DETERMINAZIONE DELL PORTATE DI CALCOLO" si osserva la nota che viene riportata integralmente "... nel caso specifico viene considerato (*il coefficiente di deflusso*) pari a 1, che corrisponde a considerare il terreno totalmente impermeabile. Si tratta di una condizione poco realistica, anche nell'ipotesi che il terreno abbia già raggiunto la saturazione per eventi di pioggia precedenti a quello responsabile della piena; tuttavia, consente di definire portate di calcolo più cautelative, in considerazione soprattutto della difficoltà oggettiva di valutare l'entità del trasporto solido che accompagna sempre un evento di piena". La nota ci consente di ritenere i dati elaborati nello studio come comprensivi del valore del **Trasporto solido**.

La sezione analizzata dallo studio in esame, d'interesse per il calcolo della portata al colmo utile al progetto in oggetto risulta la sez T. CHIOBBIA – CONFLUENZA T. CREVO (pag. 13. dello studio) di cui di seguito si riporta integralmente la scheda.

<b>T. Chiobbia - confluenza T. Cervo</b>			
superficie:		12.468	km <sup>2</sup>
perimetro:		19.45	km
lunghezza asta:		5.35	km
rapporto di circolarità:		0.41	
coefficiente di uniformità:		1.55	
rapporto di allungamento:		0.74	
quota massima:		2556	m s.l.m.
quota minima:		935	m s.l.m.
quota media:		1721	m s.l.m.
pendenza media:		20.53	%
pendenza media dei versanti:		73.99	%
tempo di corrivazione	Pazzoli	0.65	ore
	Giandotti	0.99	ore
	Tournon	1.62	ore
tempo di corrivazione adottato		0.99	ore
<b>Portate di progetto</b>			
stazione pluviografica di riferimento:			<b>Oropa</b>
coefficiente di deflusso:			1.0
T <sub>R</sub> = 10 anni	Q <sub>10</sub> =	168	m <sup>3</sup> /s
T <sub>R</sub> = 30 anni	Q <sub>30</sub> =	201	m <sup>3</sup> /s
T <sub>R</sub> = 50 anni	Q <sub>50</sub> =	216	m <sup>3</sup> /s
T <sub>R</sub> = 100 anni	Q <sub>100</sub> =	236	m <sup>3</sup> /s
T <sub>R</sub> = 200 anni	Q <sub>200</sub> =	257	m <sup>3</sup> /s
T <sub>R</sub> = 500 anni	Q <sub>500</sub> =	283	m <sup>3</sup> /s

Figura 2.1 - Estratto da "Verifiche di compatibilità idraulica" redatti da Studio "Mello Rella & Associati – ingegneria – Studio Tecnico di Fanton F.-Gattardi L.-Martiner Testa D.-Mello Rella P."

La portata con **TR 200 anni** così calcolato offre un valore pari a **257,00 mc/s** che verrà preso come portata al

colmo di progetto per la sicurezza delle opere idrauliche realizzate. In aggiunta è stata condotta un'ulteriore verifica utilizzando la portata con TR 500 pari a **283,00 mc/s** come riportato nei paragrafi seguenti.

### **2.1.6 DEFINIZIONE DELL'ASSETTO IDRAULICO LOCALE**

L'assetto idraulico è stato indagato assumendo come riferimento lo studio geologico del Comune di Piedicavallo ed in particolar modo il già citato studio "Verifiche di compatibilità idraulica ai sensi del Piano per L'assetto idrogeologico (PAI) dell'ingegner Davide Martiner Testa (dic 2004)".

I calcoli idraulici puntuali descritti nei paragrafi che seguono, condotti con riferimento alle teorie che rappresentano il moto delle correnti a pelo libero, consentiranno di quantificare nel dettaglio i comportamenti qui sommariamente descritti, con riferimento alla situazione attuale relativa alle opere realizzate ed al contesto esistente valutata nelle condizioni che seguono:

1. al passaggio della piena di riferimento Q200 (257 m<sup>3</sup>/s);
2. al passaggio della piena di riferimento Q500 (283 m<sup>3</sup>/s);

Dato il modello di calcolo si è inoltre aggiunta lo scenario con portata media ordinaria:

3. al passaggio della portata media ordinaria QM (515 l/s per le sezioni a monte della sezione 9.5, 240 l/s per le sezioni a valle di tale sezione, valore ottenuto sottraendo la portata massima turbinabile pari a 275 l/s dalla portata media naturale media ordinaria di 515 l/s).

## 2.2 DETERMINAZIONE DEI LIVELLI ATTESI IN ALVEO

### 2.2.1 VERIFICA DEL COMPORTAMENTO IDRAULICO: METODOLOGIA ADOTTATA

Le verifiche idrauliche che seguono verranno 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 allegate 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 presenza delle opere realizzate.

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 dei fenomeni idrologici parte dalla corretta resa geometrica del corpo idrico. L'allestimento del modello parte dal rilievo di dettaglio comprendente 12 sezioni, in prossimità dei due sbarramenti (la traversa realizzata e la briglia esistente) sono state ricostruite ulteriori 2 sezioni a partire da quelle rilevate per permettere l'inserimento delle strutture all'interno del software HEC-RAS, come riportato nella tavola TT03 marzo 2023.

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.

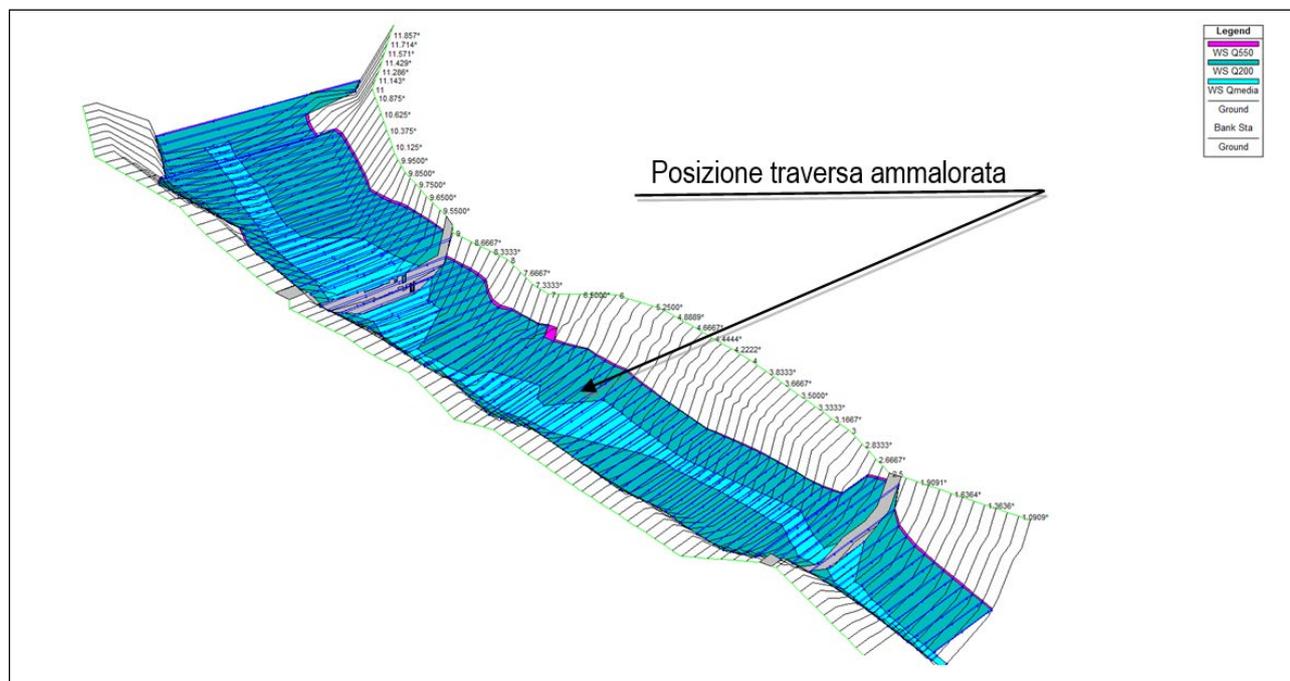


Figura 2.2– La figura riporta la ricostruzione in tridimensionale dell'alveo del T. Chiobbia nei pressi del sito di realizzazione dell'opera di presa.

## 2.2.2 VERIFICA DEL COMPORTAMENTO IDRAULICO: SCENARI DI CALCOLO

Per svolgere l'Analisi Idraulica in oggetto, sono stati ricostruiti mediante il codice di calcolo 3 scenari riferibili alle condizioni:

1. condizioni di piena bicentenaria – **Q200**=257.00 mc/s.
2. condizioni di piena cinquecentenaria – **Q500**=283.00 mc/s.
3. portata media annua – **Qm**=515 l/s per le sezioni poste a monte della derivazione, **Qm**=240 l/s per le sezioni poste a valle della derivazione ad impianto attivo.

## 2.2.3 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. 12);
- CONDIZIONI DI VALLE: la pendenza del tratto di torrente in corrispondenza della sezione di valle (sez. 1).

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

- |  |   |   |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scabrezza fondo alveo</li> </ul>                              | $n_{\text{alveo}}=0.067 \text{ s/m}^{(1/3)}$  | corrispondente alla scabrezza di <i>Strickler</i> $K_{\text{alveo}}=14,9 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , relativa ad un corso d'acqua montano costituito da ciottoli con grossi massi e caratterizzato dall'assenza di vegetazione nell'alveo |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scabrezza aree golenali (sponda orografica destra)</li> </ul> | $n_{\text{golena}}=0.06 \text{ s/m}^{(1/3)}$  | corrispondente alla scabrezza di <i>Strickler</i> $K_{\text{golena}}=16,7 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , relativa alla condizione di boscaglia rada, con sponde significativamente ripide vegetate con alberi e arbusti.                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Scabrezza sponda orografica sinistra (sezioni</li> </ul>      | $n_{\text{golena}}=0.045 \text{ s/m}^{(1/3)}$ | corrispondente alla scabrezza di <i>Strickler</i> $K_{\text{golena}}=22,2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , presenza della scogliera in   |

dalla 1 alla 5.5)

massi esistente.

- Scabrezza sponda orografica sinistra (sezioni dalla 6 alla 12)  $n_{golena}=0.05 \text{ s/m}^{(1/3)}$  corrispondente alla scabrezza di *Strickler*  $K_{golena}= 20,0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , roccia.

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: Chiobbo  Edit Interpolated XS's Channel n Values have a light green background

Reach: Chiobbo All Regions

Selected Area Edit Options: Add Constant ... Multiply Factor ... Set Values ... Replace ... Reduce to L Ch R ...

	River Station	Frctn (n/k)	n #1	n #2	n #3
1	12	n	0.05	0.067	0.06
2	11	n	0.05	0.067	0.06
3	10	n	0.05	0.067	0.06
4	9,5	n	0.05	0.067	0.06
5	9.1	Inl Struct			
6	9	n	0.05	0.067	0.06
7	8	n	0.05	0.067	0.06
8	7	n	0.05	0.067	0.06
9	6	n	0.05	0.067	0.06
10	5	n	0.045	0.067	0.06
11	4	n	0.045	0.067	0.06
12	3	n	0.045	0.067	0.06
13	2,5	n	0.045	0.067	0.06
14	2.2	Inl Struct			
15	2	n	0.045	0.067	0.06
16	1	n	0.045	0.067	0.06

Figura 2.3 – Valori di scabrezza di Manning adottati nella simulazione idraulica (HR)

**Valori dell'indice di scabrezza di Gauckler-Strickler**

<i>Natura delle pareti</i>	$k_s$ ( $m^{1/3}/s$ )
<b>Corsi d'acqua naturali</b>	
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua	30-40
piccoli corsi d'acqua di pianura, puliti, sinuosi e senza ristagni d'acqua	22-30
tratti lenti con erbacce e stagni profondi	13-20
tratti molto erbosi con stagni profondi, ostacolati da alberi e macchie	7-13
fiumi di montagna, con fondo in ghiaia, ciottoli e pochi massi e lati ripidi	20-33
fiumi di montagna, con fondo in ciottoli e grossi massi, lati ripidi	14-25
<b>Golene</b>	
con erba	20-40
con aree coltivate	20-50
con sottobosco	14-29
con molti alberi	8-13
<b>Grandi fiumi (larghezza in superficie maggiore di 30 m)</b>	
sezione regolare, senza massi o vegetazione	17-40
sezione irregolare	10-29

Figura 2.4 – Valori di scabrezza di Gauckler-Strickler (1/Manning) tipo.

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  $Wc = 1,49$  cui corrisponde un coefficiente  $\mu$  pari a 0.37 essendo valida la seguente relazione:

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

Tale indicazione, tiene conto di quanto definito in letteratura (i testi solitamente indicano valori sperimentali compresi tra 0.37 e 0.39; vedasi Manuale dell'Ingegnere – NUOVO COLOMBO).

**2.2.4 SCENARI VERIFICATI: PORTATA DI PIENA 200ARIA, 500ARIA 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.

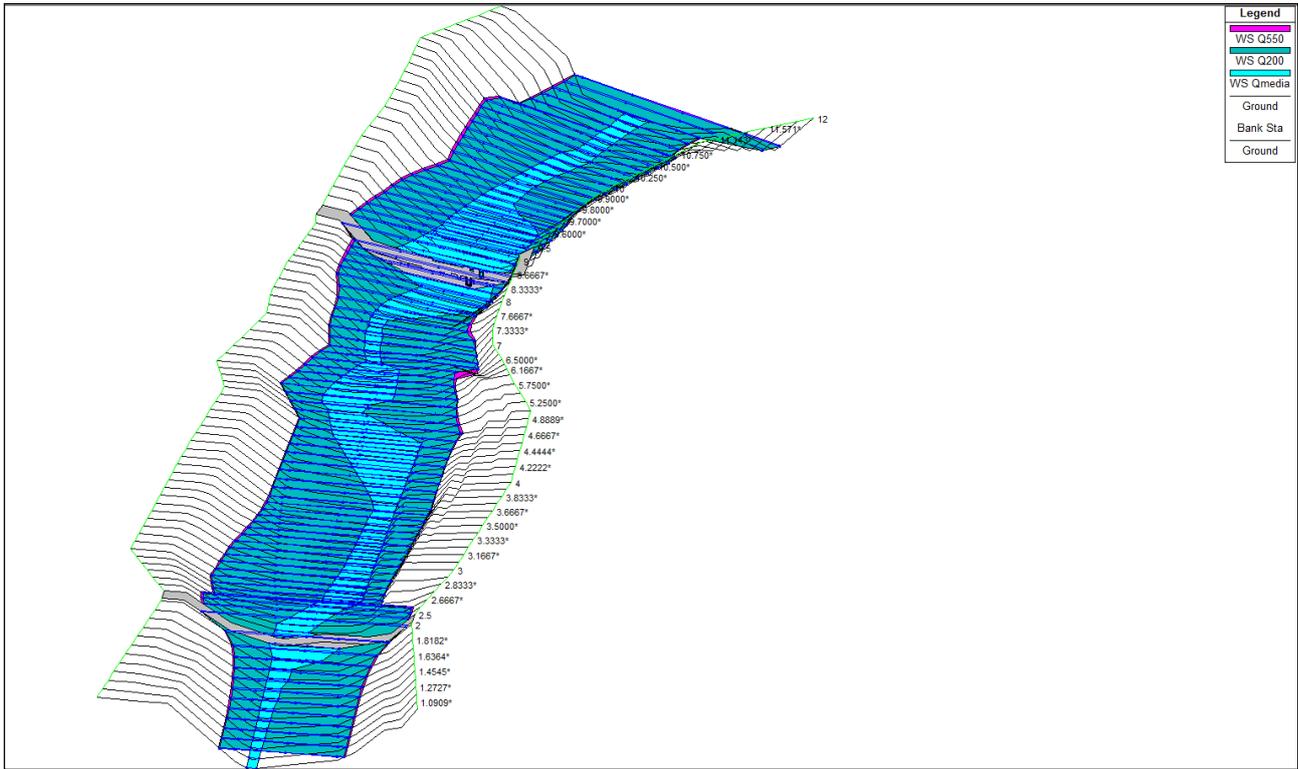


Figura 2.5– Area bagnata dell'alveo del Torrente Chiobbia: Q500, Q200 e Qmedia

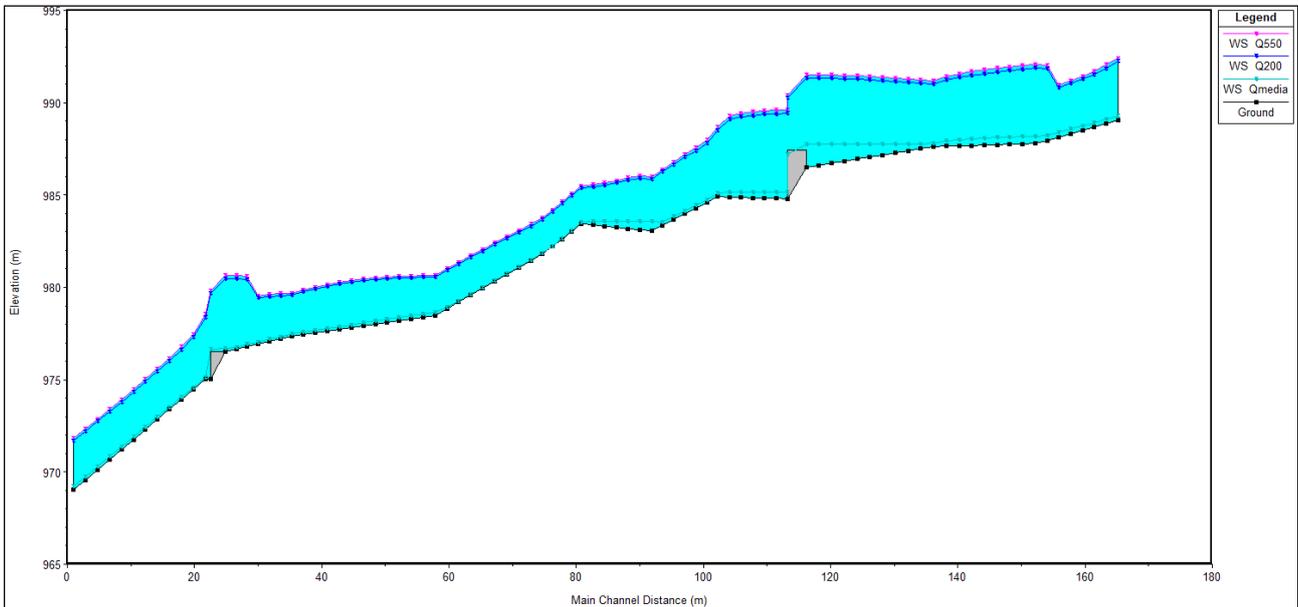


Figura 2.6- Profilo dell'alveo del Torrente Chiobbia: Q500, Q200 e Qmedia.

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 12 stazioni indagate, si rammenta che la sezione 9.5 e 2.5 sono state realizzate per avere la possibilità di inserire le opere presenti in alveo.

Reach	River Sta	Plan	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area
			(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )
Chiobbia	12	Q550	283	989.04	992.38	992.38	993.37	4.62	67.45
Chiobbia	12	Q200	257	989.04	992.24	992.24	993.18	4.5	62.31
Chiobbia	12	Qmedia	0.51	989.04	989.27	989.27	989.32	1.06	0.48
Chiobbia	11	Q550	283	987.78	992.09	992.09	992.58	3.14	92.81
Chiobbia	11	Q200	257	987.78	991.88	991.88	992.35	3.07	85.84
Chiobbia	11	Qmedia	0.51	987.78	988.18	988.04	988.2	0.48	1.07
Chiobbia	10	Q550	283	987.62	991.18	991.01	992.3	4.84	62.28
Chiobbia	10	Q200	257	987.62	991.01	990.83	992.06	4.67	58.27
Chiobbia	10	Qmedia	0.51	987.62	987.81	987.81	987.86	0.98	0.53
Chiobbia	9.5	Q550	283	986.5	991.54	989.51	991.85	2.69	116.64
Chiobbia	9.5	Q200	257	986.5	991.34	989.37	991.63	2.56	110.96
Chiobbia	9.5	Qmedia	0.24	986.5	987.75	986.53	987.75	0.01	18.71
Chiobbia	9.1		Inl Struct						
Chiobbia	9	Q550	283	984.8	989.63	989.63	990.17	3.46	91.63
Chiobbia	9	Q200	257	984.8	989.42	989.42	989.92	3.33	86.22
Chiobbia	9	Qmedia	0.24	984.8	985.16	985.16	985.16	0.08	2.9
Chiobbia	8	Q550	283	984.9	988.67	988.67	989.98	5.41	57.63
Chiobbia	8	Q200	257	984.9	988.49	988.49	989.74	5.26	53.59
Chiobbia	8	Qmedia	0.24	984.9	985.09	985.09	985.13	0.96	0.25
Chiobbia	7	Q550	283	983.05	985.97	986.87	988.96	8.38	38.37
Chiobbia	7	Q200	257	983.05	985.85	986.71	988.72	8.21	35.68
Chiobbia	7	Qmedia	0.24	983.05	983.59	983.25	983.59	0.14	1.68
Chiobbia	6	Q550	283	983.43	985.49	986.18	987.77	6.8	43.01
Chiobbia	6	Q200	257	983.43	985.4	986.04	987.51	6.52	40.64
Chiobbia	6	Qmedia	0.24	983.43	983.53	983.53	983.55	0.72	0.33
Chiobbia	5	Q550	283	981.81	983.75	984.73	986.97	8.08	35.86

Chiobbia	5	Q200	257	981.81	983.65	984.59	986.69	7.85	33.47
Chiobbia	5	Qmedia	0.24	981.81	981.84	981.84	981.86	0.6	0.4
Chiobbia	4	Q550	283	978.45	980.65	981.69	984.3	8.62	34.21
Chiobbia	4	Q200	257	978.45	980.56	981.53	984	8.35	32.02
Chiobbia	4	Qmedia	0.24	978.45	978.65	978.62	978.67	0.7	0.34
Chiobbia	3	Q550	283	977.35	979.69	980.31	981.79	6.78	44.76
Chiobbia	3	Q200	257	977.35	979.59	980.16	981.54	6.53	42.23
Chiobbia	3	Qmedia	0.24	977.35	977.48	977.47	977.5	0.66	0.37
Chiobbia	2.5	Q550	283	976.51	980.65	979.58	981.15	3.24	92.63
Chiobbia	2.5	Q200	257	976.51	980.47	979.42	980.93	3.13	87.02
Chiobbia	2.5	Qmedia	0.24	976.51	976.72	976.62	976.72	0.22	1.11
Chiobbia	2.2		Inl Struct						
Chiobbia	2	Q550	283	975.02	978.54	978.54	979.76	5.26	59.52
Chiobbia	2	Q200	257	975.02	978.37	978.37	979.53	5.12	55.55
Chiobbia	2	Qmedia	0.24	975.02	975.12	975.12	975.14	0.68	0.35
Chiobbia	1	Q550	283	969.02	971.81	973.17	976.71	9.96	29.41
Chiobbia	1	Q200	257	969.02	971.7	972.99	976.37	9.71	27.29
Chiobbia	1	Qmedia	0.24	969.02	969.21	969.25	969.35	1.64	0.15

### 2.2.5 SCENARI VERIFICATI: PORTATA DI PIENA 200ARIA, 500ARIA CON RIDUZIONE DELLA SEZIONE DI DEFLUSSO

Per svolgere l'Analisi Idraulica in oggetto ed analizzare anche il comportamento relativo al passaggio della piana duecentennale e cinque centennale in condizioni di alveo con sezione di deflusso ridotta causata dall'accumulo di materiale a monte della traversa, è stata utilizzata l'opzione "obstruction" presente all'interno del software attraverso la quale è possibile indicare un'area nel quale non è possibile il deflusso delle acque. In particolare è stata inserita un'area di ostruzione a deflusso nel tratto a monte fino a quota massima pari 988.02 m.s.l.m pari alla quota di coronamento della traversa in prossimità della gaveta.

Una volta modificate le sezioni sono state condotte le simulazioni con due differenti regime di deflusso:

- 1) La prima simulazione è stata condotta con le medesime condizioni di regime di deflusso utilizzate nelle simulazioni al paragrafo ovvero con regime di deflusso misto nel quale la risoluzione è bastata

sulla valutazione delle condizioni aia subcritiche (corrente lenta) che supercritiche (corrente veloce). Utilizzando questo approccio i livelli ottenuti risultano essere cautelativi in quanto le condizioni considerando anche condizioni subcritiche le velocità di deflusso risultano inferiori e di conseguenza i livelli idrici maggiori.

- 2) La seconda simulazione è stata effettuata utilizzando sole le condizioni supercritiche, condizioni che rispecchiano maggiormente sia la tipologia di alveo considerato che l'evento di piena.

Vengono di seguito riportati i risultati delle simulazioni condotte confrontando le due simulazioni appena descritte con i risultati riportati nel capitolo precedente per quanto concerne le sezioni di interesse partendo dalla sezione n° 8, ovvero dalla prima sezione che non riporta differenti valori di velocità e livello effettuando le modifiche sopra descritte.

Sez.	Plan	Q Total (m3/s)	Condizioni mixed senza occlusioni			Condizioni mixed con occlusioni			Condizioni supercritiche con occlusioni		
			Min Ch El (m)	W,S, Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Min Ch El (m)	W,S, Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Min Ch El (m)	W,S, Elev (m)	Vel Chnl (m/s)
12	Q550	283	989,04	992,38	4,62	989,04	992,38	4,62	989,04	992,37	4,65
12	Q200	257	989,04	992,24	4,5	989,04	992,24	4,5	989,04	992,24	4,5
11	Q550	283	987,78	992,09	3,14	988,02	992,19	3,05	988,02	990,65	6,05
11	Q200	257	987,78	991,88	3,07	988,02	991,98	2,97	988,02	990,55	5,85
10	Q550	283	987,62	991,18	4,84	988,02	991,28	4,82	988,02	991,12	5,13
10	Q200	257	987,62	991,01	4,67	988,02	991,14	4,62	988,02	990,95	4,98
9,5	Q550	283	986,5	991,54	2,69	988,02	991,39	3,27	988,02	990,21	5,08
9,5	Q200	257	986,5	991,34	2,56	988,02	991,21	3,15	988,02	990,08	4,92
9,1	Inl Struct										
9	Q550	283	984,8	989,63	3,46	984,8	989,58	3,51	984,8	988,23	5,34
9	Q200	257	984,8	989,42	3,33	984,8	989,37	3,37	984,8	988,04	5,19
8	Q550	283	984,9	988,67	5,41	984,9	988,67	5,41	984,9	988,67	5,41
8	Q200	257	984,9	988,49	5,26	984,9	988,49	5,26	984,9	988,49	5,26

## 2.2.6 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 rischio idraulico in quanto sia la portata di piena  $Q_{200}$  (tempo di

ritorno 200 anni) che la portata  $Q_{500}$  (tempo di ritorno 500 anni) risultano non esondare.

Inoltre analizzando i risultati ottenuti dalle simulazioni riportate nel paragrafo precedente si può notare come inserendo l'occlusione a monte della traversa, rappresentante il deposito di materiale, anche utilizzando l'ipotesi più conservativa di regime di deflusso misto si osserva una riduzione del livello massimo in corrispondenza della traversa dovuto ad un lieve aumento della velocità di transito, risalendo invece verso monte si ha un lieve peggioramento dei livelli massimi che però non comporta un aumento di rischio in quanto in corrispondenza della sezione n. 10 e 11 i franchi di sicurezza risultano notevoli.

Infine confrontando i risultati iniziali con quelli ottenuti in condizioni supercritiche si può notare come l'aumento di velocità in prossimità della traversa risulta più consistente e di conseguenza il livello massimo raggiunto dall'acqua diminuisce significativamente.

In conclusione per quanto sopra descritto si ritiene che sia verificate le condizioni di sicurezza nei confronti di possibili esondazioni sia in presenza di materiale che limiti l'area di deflusso.

Si segnala comunque la disponibilità ad effettuare attività di pulizia tramite esportazione del materiale dell'area in prossimità della traversa per garantire sia un corretto utilizzo della derivazione sia una maggiore sicurezza in caso di eventi di piena.

### 3. 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.

#### 3.1.1 CRITERI PROGETTUALI: LOCALIZZAZIONE DELL'OPERA

L'opera è stata realizzata in roccia affiorante garantendo così una migliore stabilità in occasione di eventi di piene che in precedenza hanno visto causare gravi danni alle biglie preesistenti.

### **3.1.2 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.

### **3.1.3 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.

Per quanto concerne il piano di dismissione, le misure di reinserimento e recupero ambientale si faccia riferimento al documento specifico Piano di dismissione, misure di reinserimento e recupero ambientale marzo 2023

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

Gli effetti prodotti dalla disposizione delle opere sul profilo inviluppo di piena sono stati approfonditamente esaminati nei capitoli precedenti. I calcoli condotti hanno dimostrato la sicurezza dell'opera rispetto al contesto circostante con contenimento delle piene all'interno dell'alveo.

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

La riduzione della capacità di invaso dell'alveo è circoscritta all'opera realizzata in quanto appena a monte di essa l'alveo risulta avere una sezione maggiore e quindi non risentire della presenza della traversa realizzata. Per quanto riguarda la riduzione di capacità relativa alla sezione realizzata si ritiene trascurabile l'effetto avendo effettuato la verifica con portata pluricentenaria (Q200 e Q500) non sono emersi problemi di esondazione.

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

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

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

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

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

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

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

Alla luce delle analisi condotte e vista la presenza di un sistema abbondantemente antropizzato (presenza di un sistema di regimazione a briglia oltre che di difese spondali sia in sinistra che in destra dell'alveo in esame è possibile affermare che l'impianto di derivazione è ritenuto compatibile con l'assetto paesaggistico esistente.

### **3.1.10 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.

#### **4. 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:

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

dove:

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

$Q_{lob}, Q_{rch}, Q_{lor}$ : 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.*

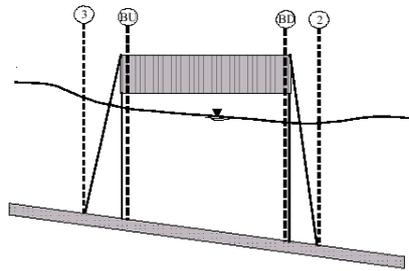
*Nel caso delle simulazioni effettuate, ovvero di corrente completamente subcritica (Classe A) che non interessa l'impalcato dei ponti, l'effetto di rigurgito indotto dalla presenza delle pile e delle spalle può essere valutato dal programma mediante diverse opzioni:*

*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

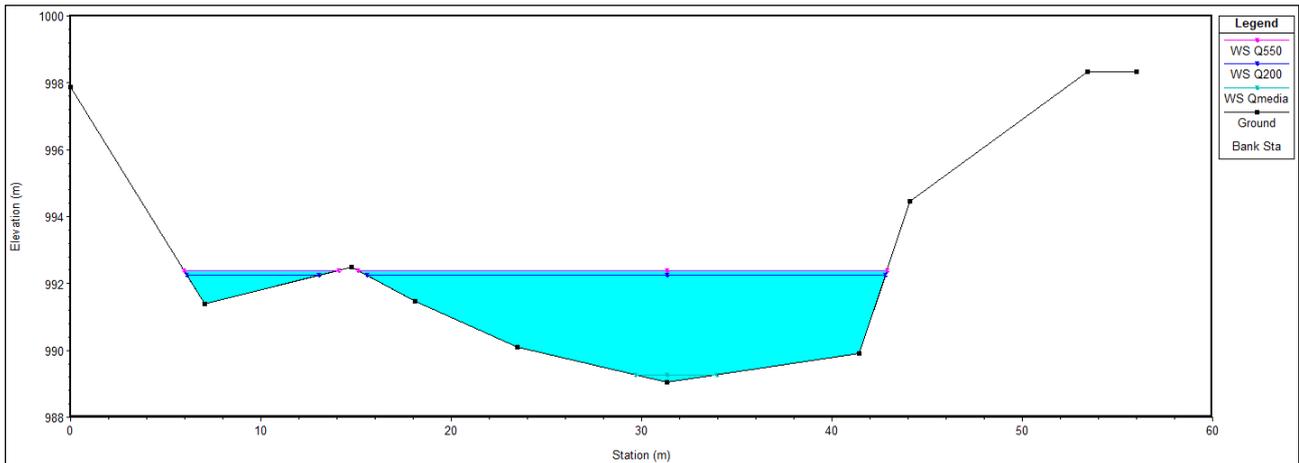
$\omega$  : Rapporto fra l'altezza cinetica e quella idrica alla sez. 2

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

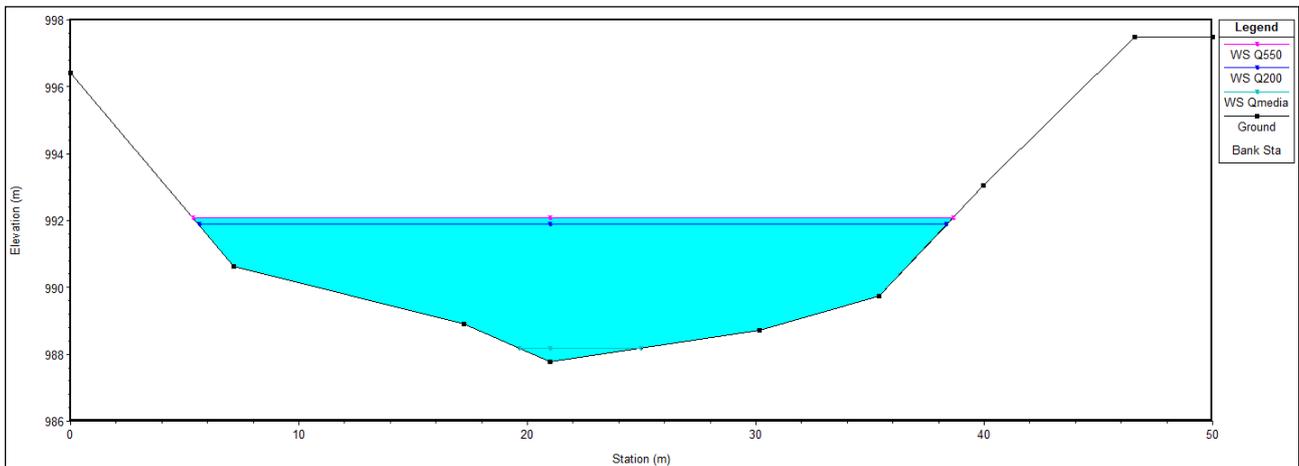
$V_2$ : Velocità media alla sez. 2

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

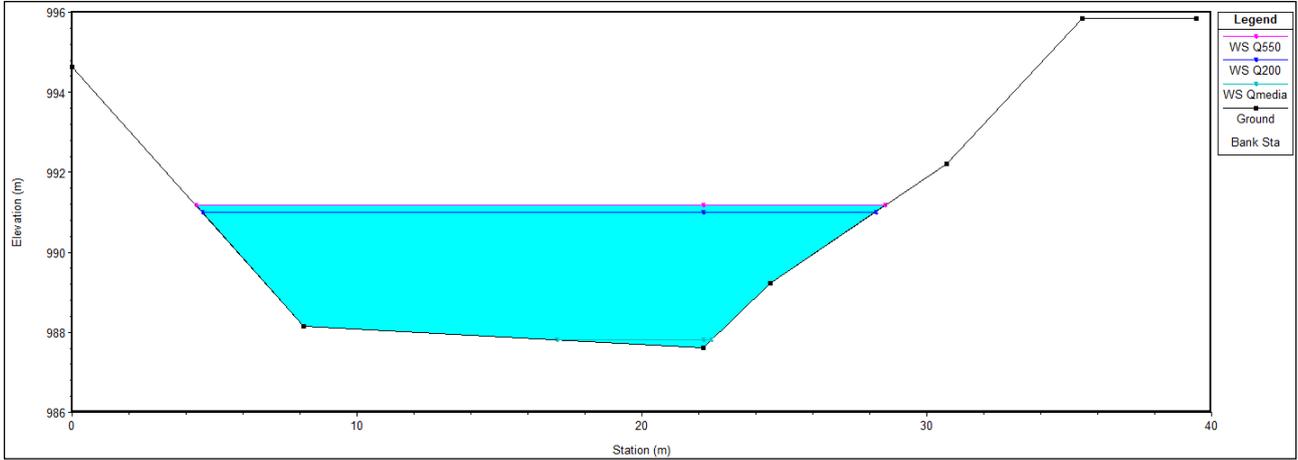
**T.Chiobbia / sezione 12**



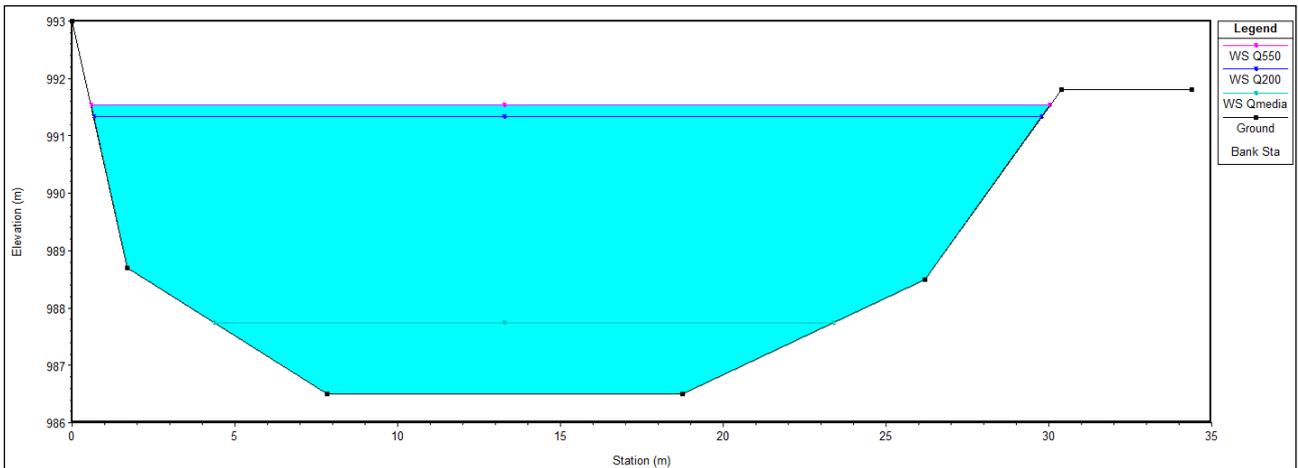
**T.Chiobbia / sezione 11**



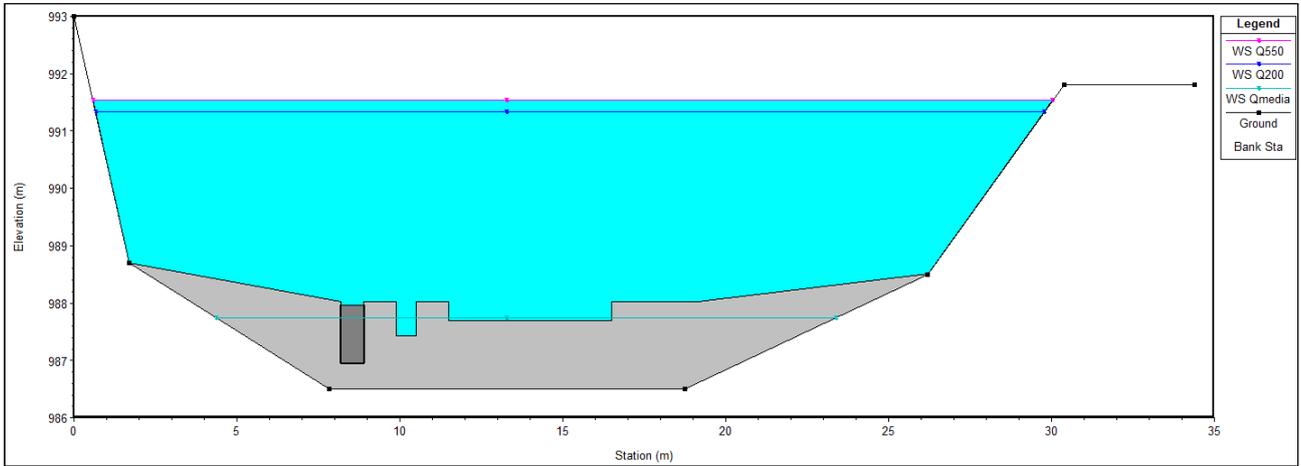
**T.Chiobbia / sezione 10**



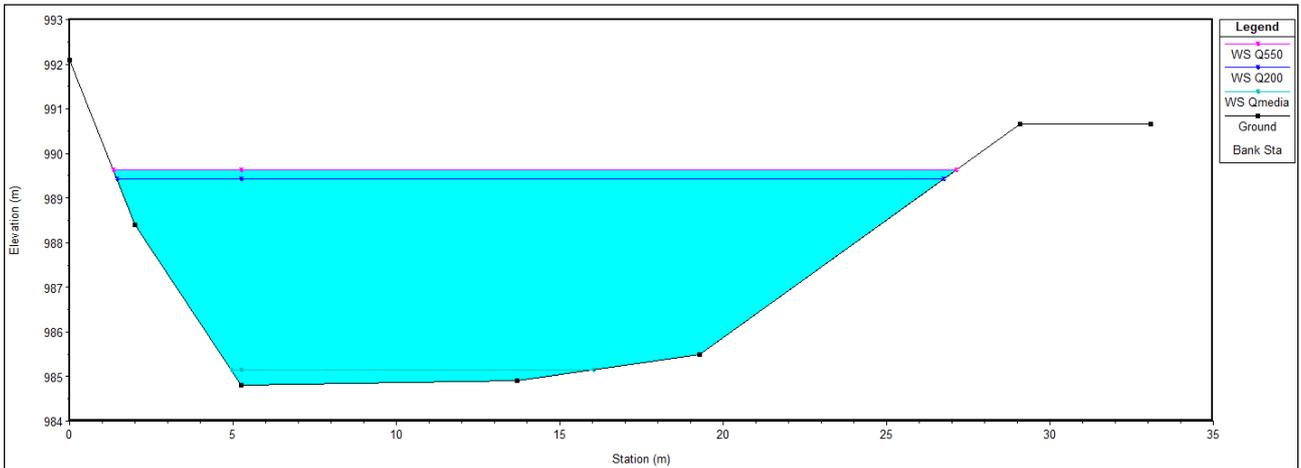
**T.Chiobbia / sezione 9.5**



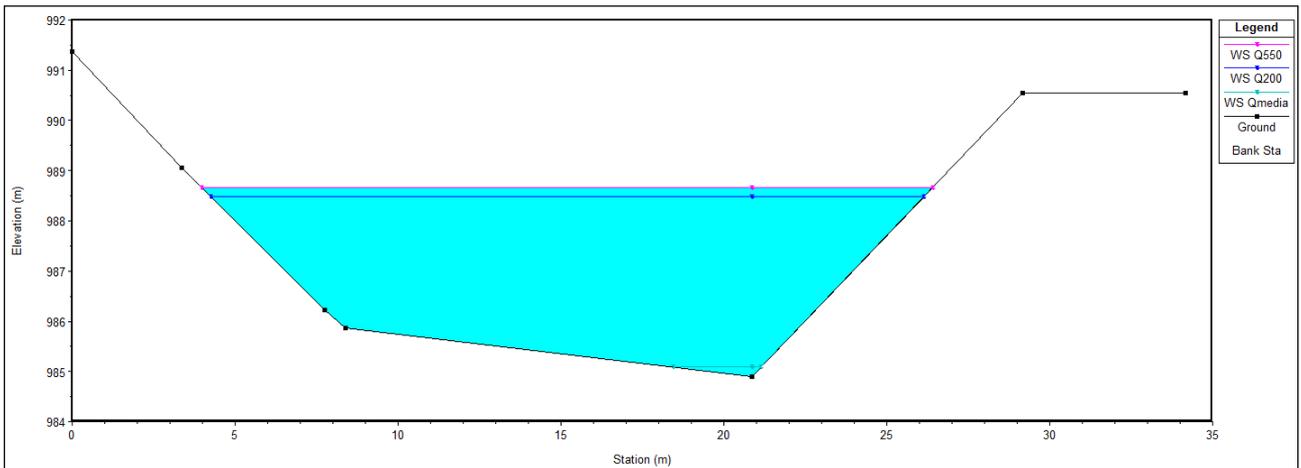
**T.Chiobbia / sezione 9.1**



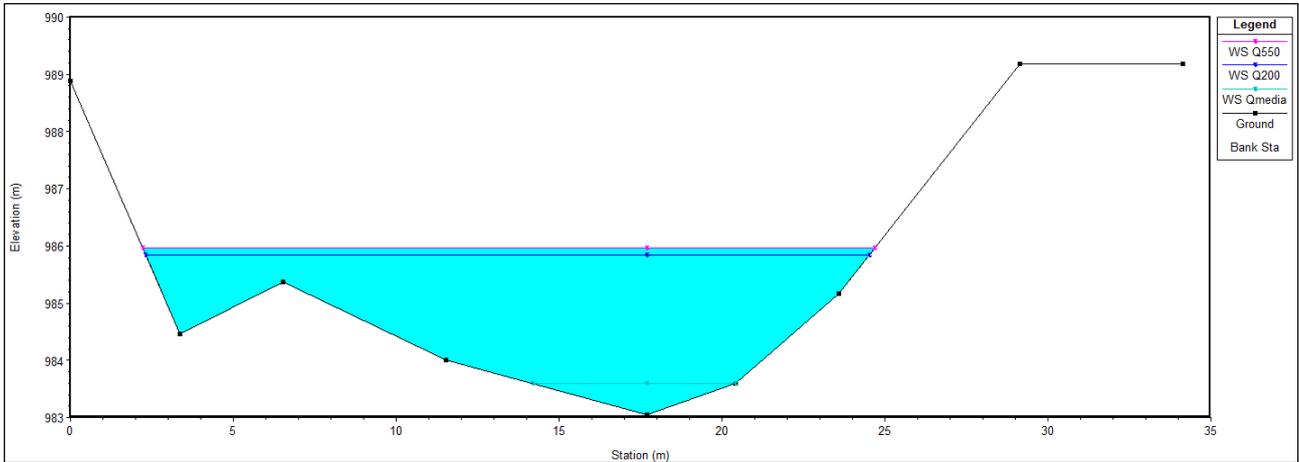
**T.Chiobbia / sezione 9**



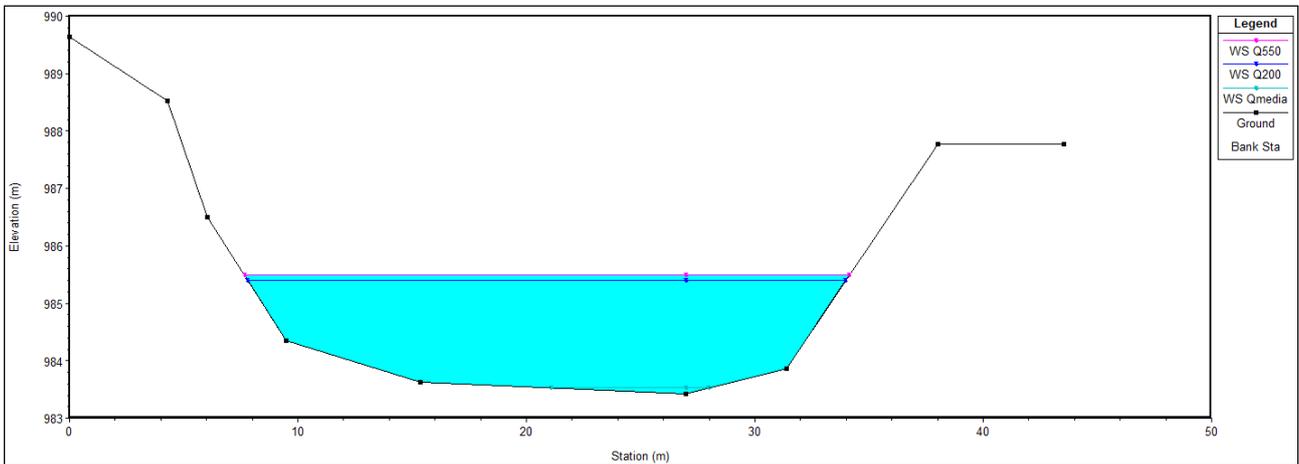
**T.Chiobbia / sezione 8**



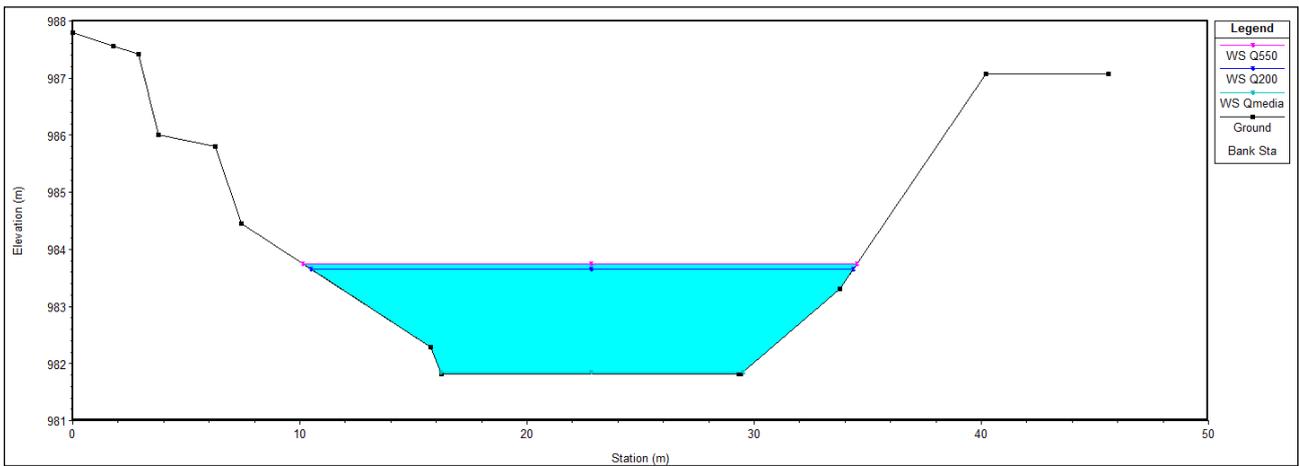
**T.Chiobbia / sezione 7**



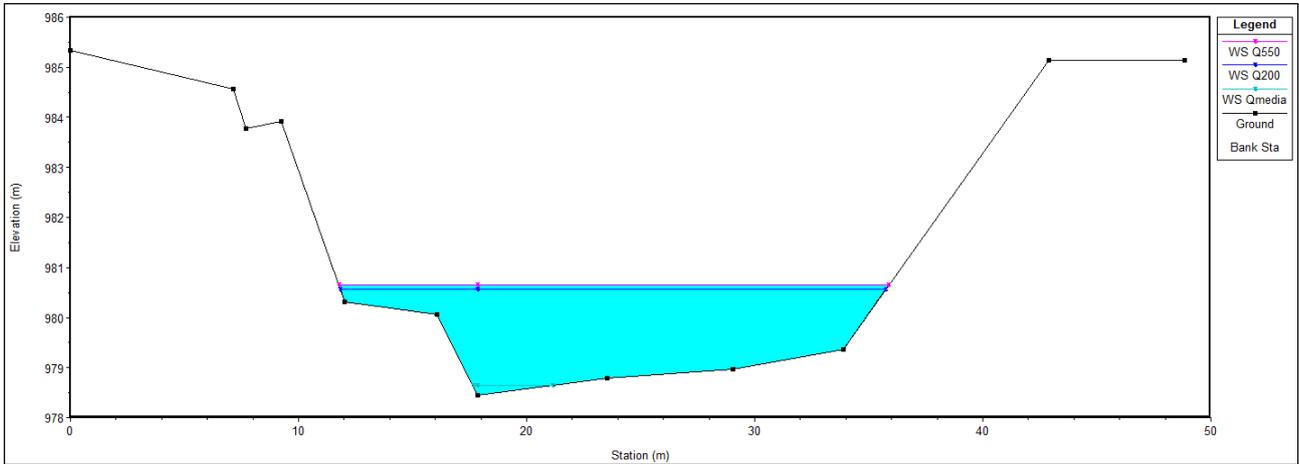
**T.Chiobbia / sezione 6**



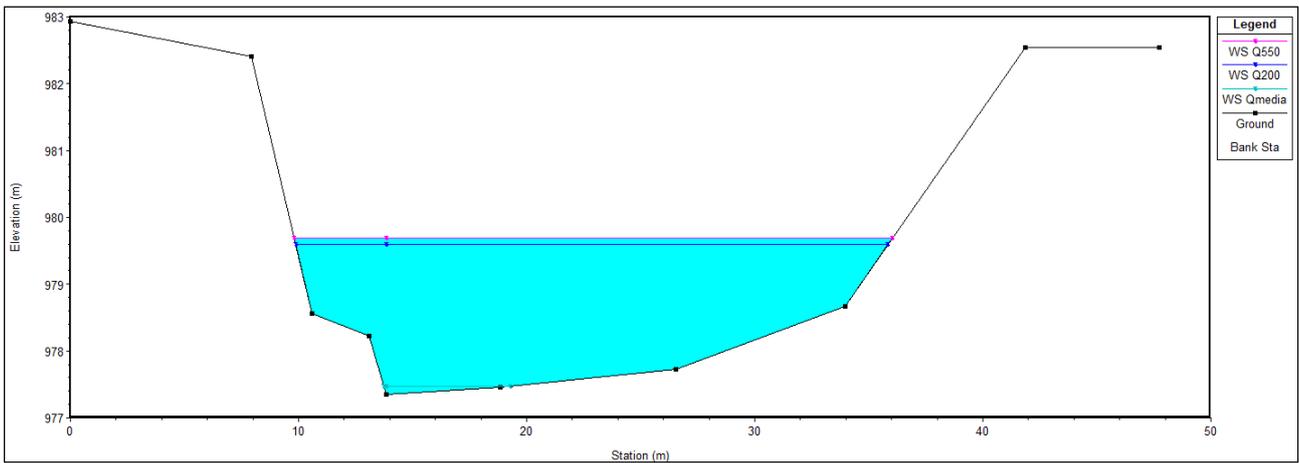
**T.Chiobbia / sezione 5**



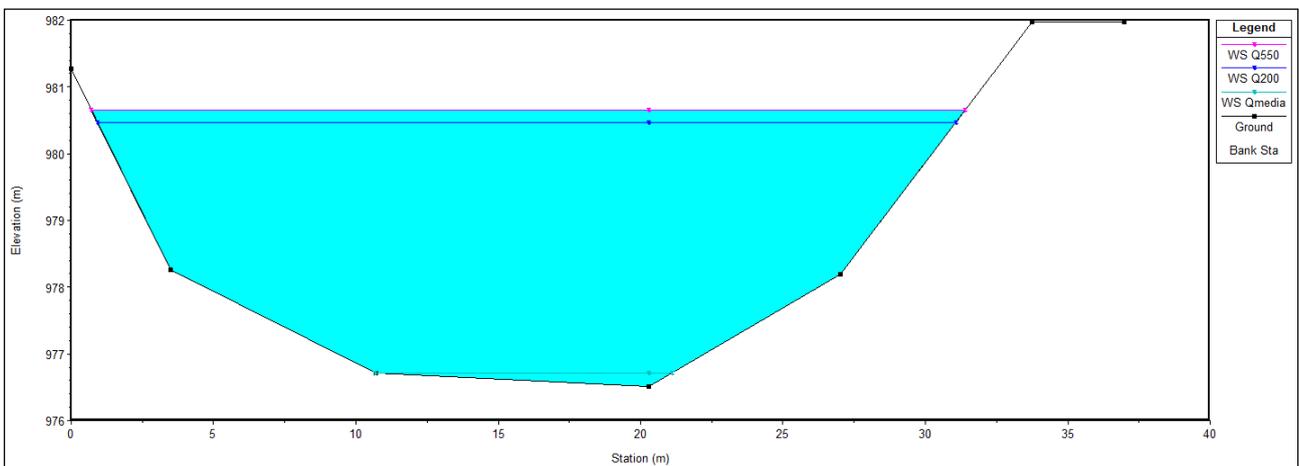
**T.Chiobbia / sezione 4**



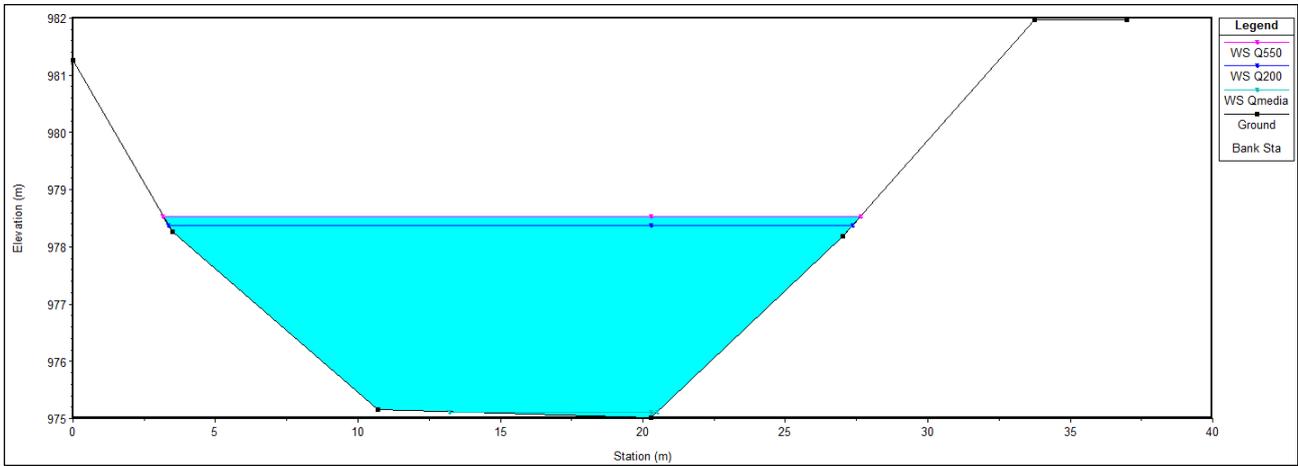
**T.Chiobbia / sezione 3**



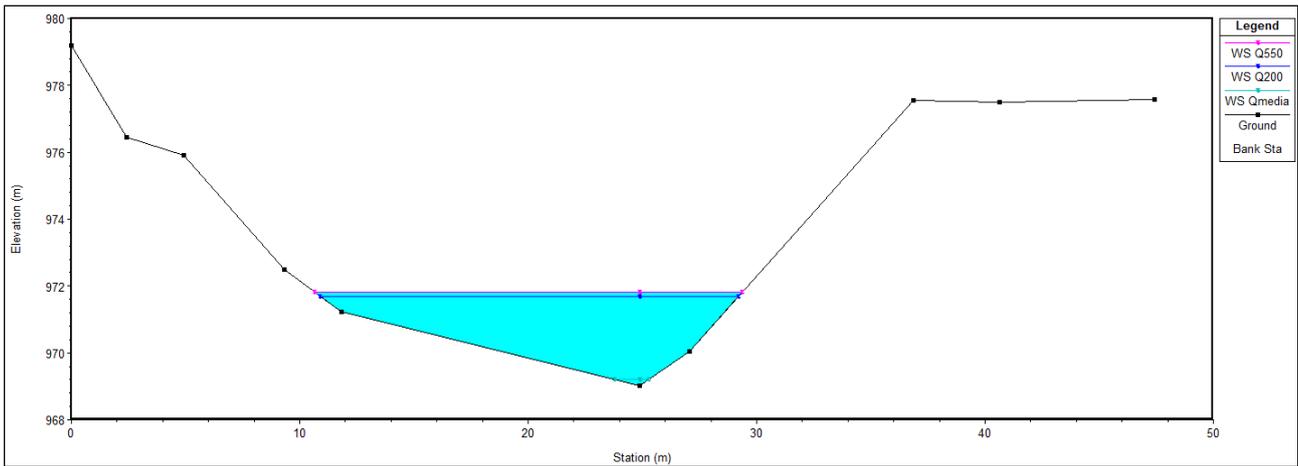
**T.Chiobbia / sezione 2.5**



**T.Chiobbia / sezione 2**



**T.Chiobbia / sezione 1**



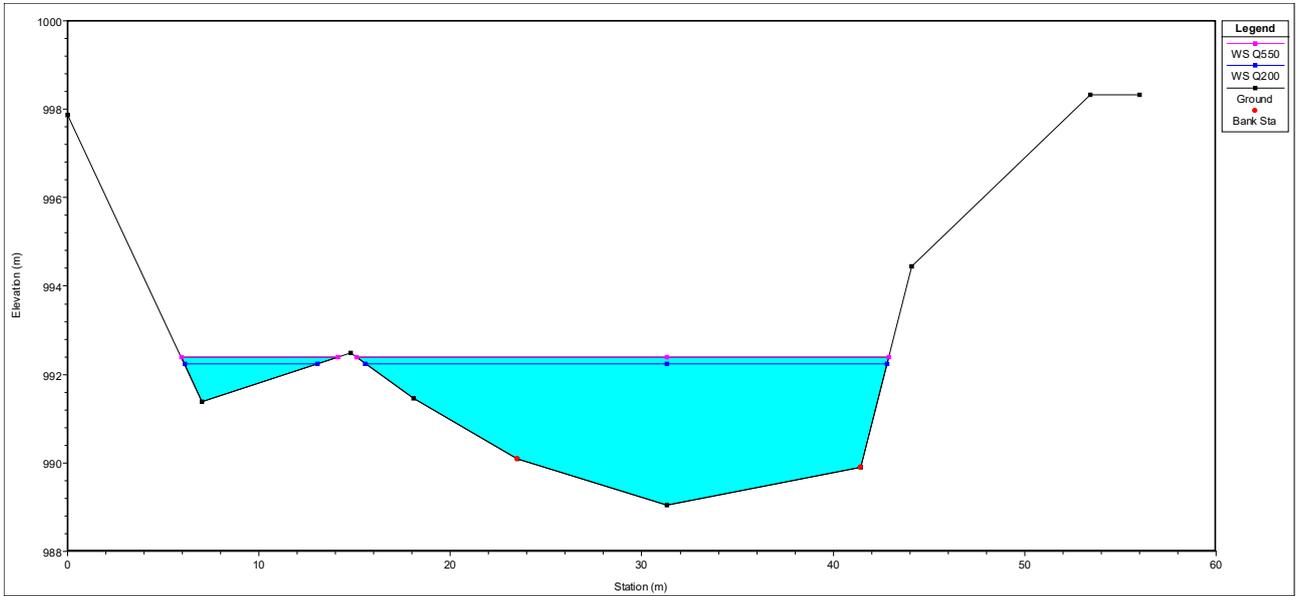


Figura 4.112 mix

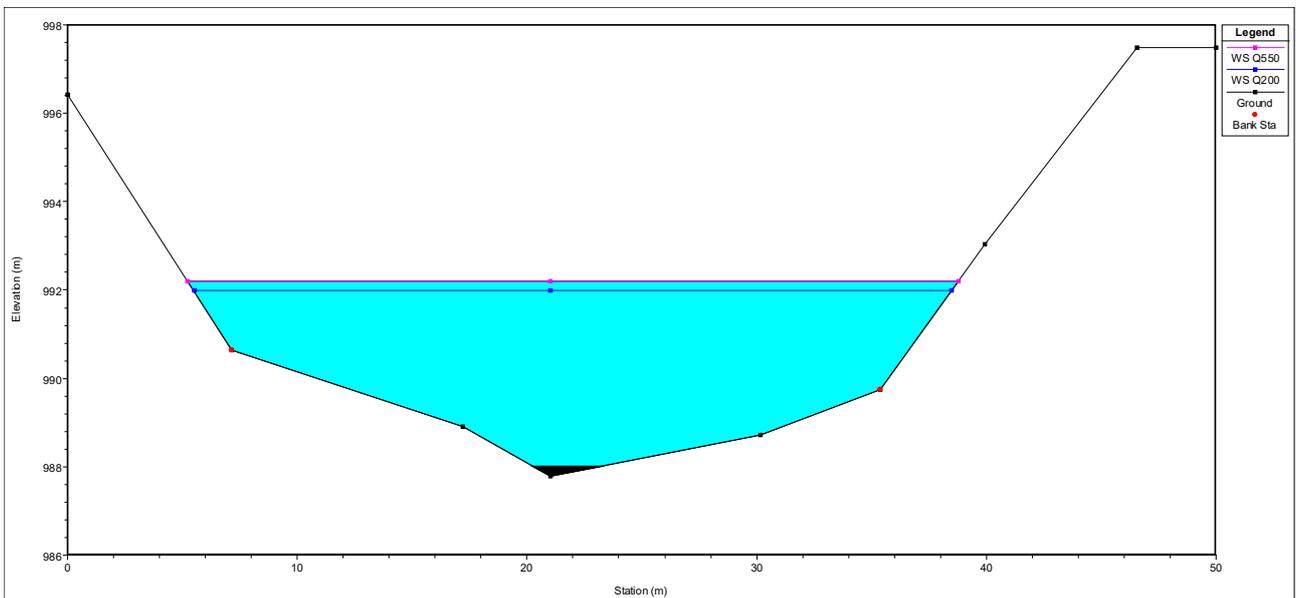


Figura 4.211 mix

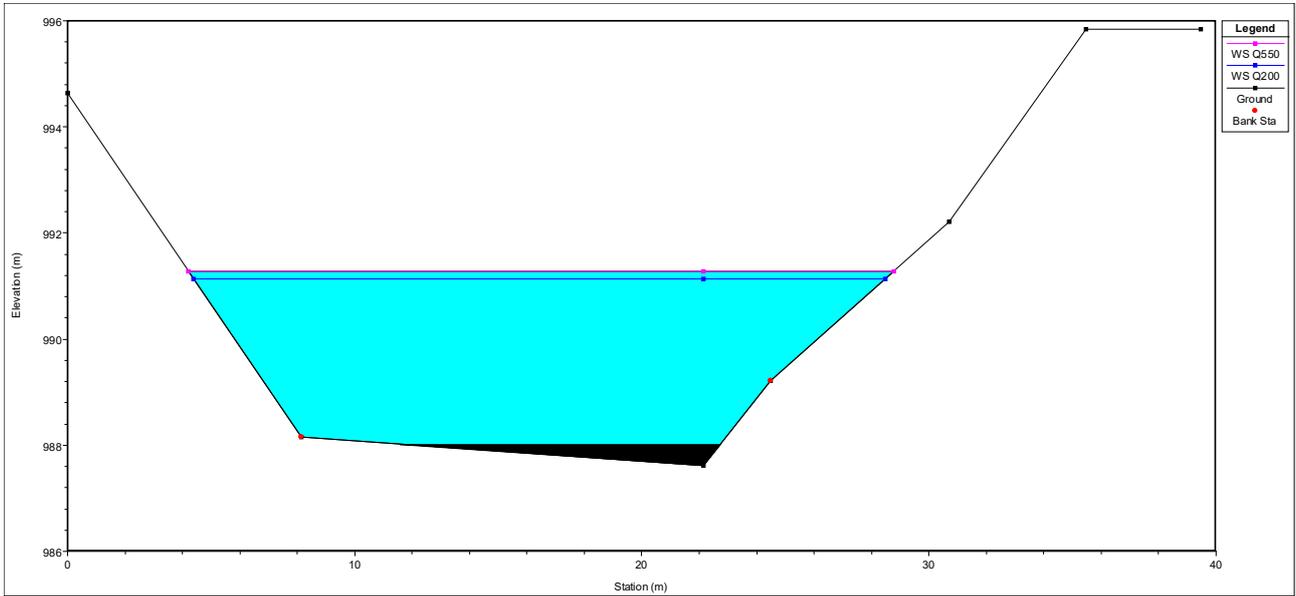


Figura 4.310 mix

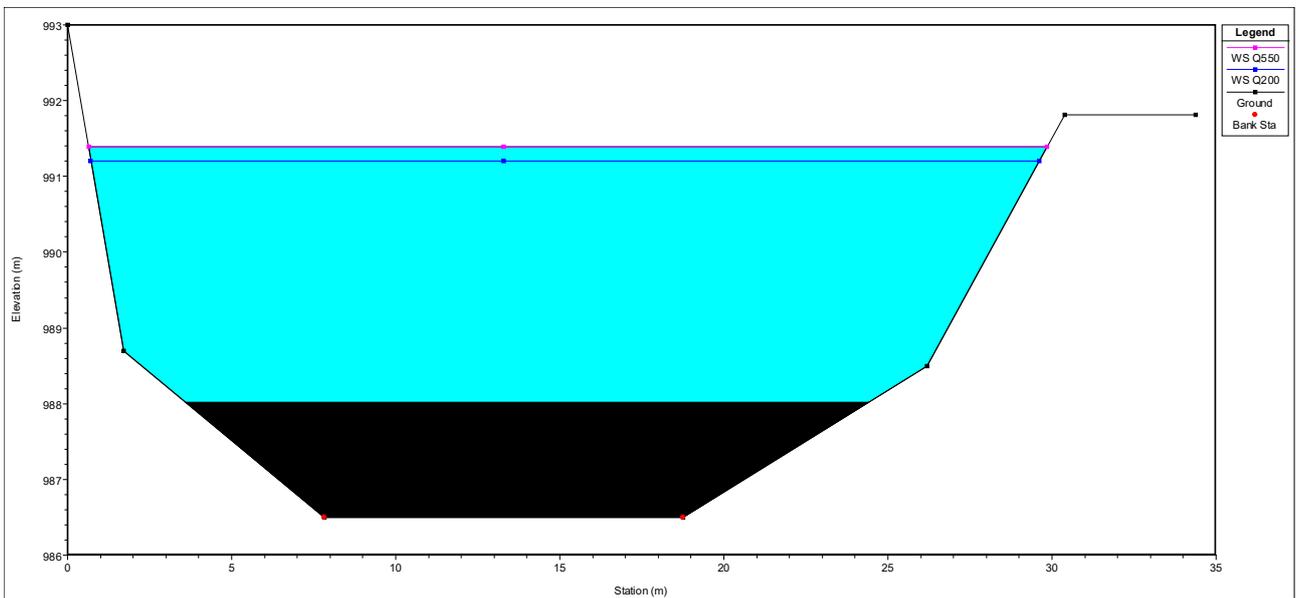


Figura 4.49.5 mix

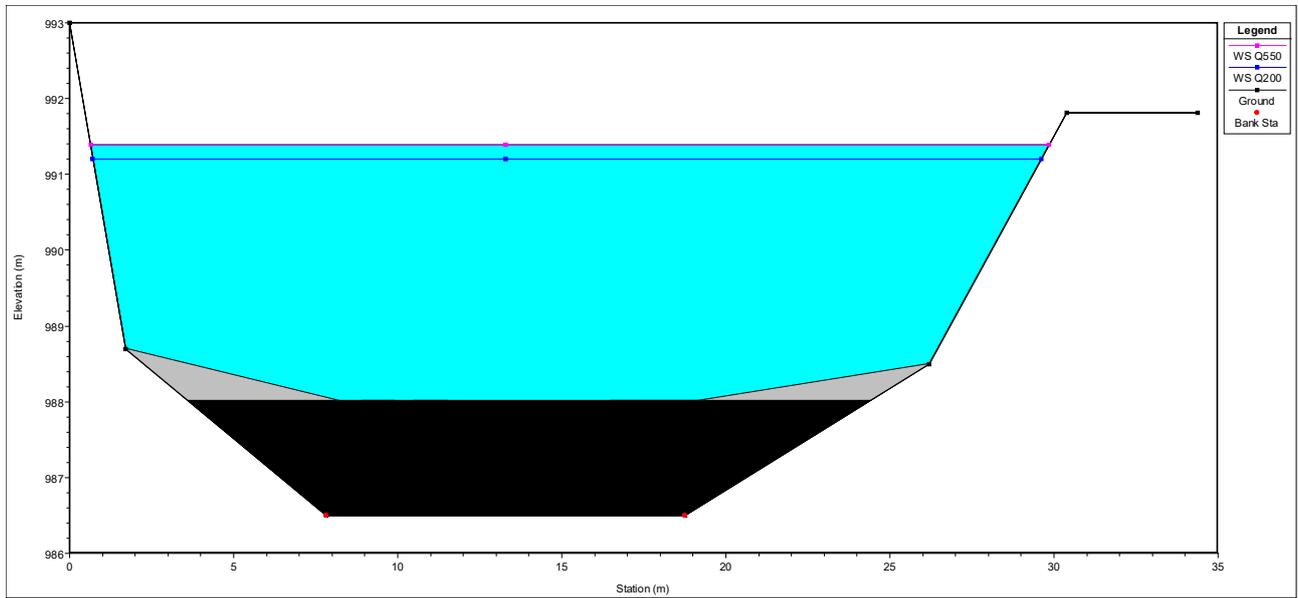


Figura 4.59.1 mix