



*Il Commissario Straordinario
delegato all'attuazione degli interventi
di mitigazione del rischio idrogeologico*



Regione
Lombardia



Parco Regionale
Valle del Lambro

Comune di Costa Masnaga (LC)



Oggetto

UTILIZZAZIONE DELLA CAVA DI BRENNO QUALE VASCA DI LAMINAZIONE
DEL TORRENTE BEVERA DI MOLTENO - COMUNE DI COSTA MASNAGA (LC)

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

Progettisti -Timbri e Firme



PARCO REGIONALE DELLA
VALLE DEL LAMBRO

Via Veneto 19
TRIUGGIO

web: www.parcovalldelambro.it
web: www.progettolambro.it

Consulenze

Progettazione Idraulica: prof. ing. Maurizio ROSSO - ing. Santo LA FERLITA

Progettazione Strutturale: ing. Piergiorgio LOCATELLI

Consulenza Geotecnica: prof. ing. Claudio DI PRISCO

Consulenza Ambientale: arch. Moris LORENZI

VERSIONE N°	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE E RIFERIMENTI DOCUMENTI SOSTITUTIVI	Elaborato
0	SETTEMBRE 2017	EMISSIONE	R02
1	NOVEMBRE 2017	REVISIONE IN SEGUITO ALLA PROCEDURA DI VALIDAZIONE	



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. STUDI PREGRESSI E DATI DISPONIBILI	4
3. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO FLUVIALE NEL TRATTO D'INTERESSE	6
3.1 CENNI TEORICI SULLA LAMINAZIONE DELLE PIENE	8
3.2 INTERVENTI DI LAMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA PREVISTI NEL P.A.I. NEL TRATTO D'INTERESSE.....	9
4. STUDIO IDROLOGICO	11
4.1 PORTATE DI PIENA DELLA BEVERA DI MOLTENO	11
4.2 AGGIORNAMENTO DELLE INFORMAZIONI IDROLOGICHE E IDRAULICHE	13
4.3 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO	15
4.4 CALCOLO DEL VOLUME D'INVASO NELLA CAVA DI BRENNIO	15
5. STUDIO E VERIFICHE IDRAULICHE.....	18
5.1 VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI	20
5.1.1 Ipotesi 0: mancata realizzazione delle opere.....	20
5.1.2 Ipotesi 1: zona di esondazione esterna alla Cava di Brenno.....	21
5.1.3 Ipotesi 2: realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni	23
5.1.4 Ipotesi 3: realizzazione di una vasca di laminazione nella Cava di Brenno	23
5.1.5 Ipotesi 4: riempimento della cava fino a quota 235 m s.l.m.	25
5.1.6 Ipotesi 5: riempimento della cava con espansione dello scavo verso nord	26
5.1.7 Ipotesi 6: riempimento di una parte della miniera fino a quota 240-250 m s.l.m. e utilizzo della sola zona est della miniera come vasca di laminazione	27
5.1.8 Ipotesi 7: riempimento totale della cava con massi ciclopici.....	28
5.1.9 Ipotesi 8: riprofilatura della parete sud e parziale riempimento della cava.....	28
5.1.10 Ipotesi 9: impermeabilizzazione delle pareti e parziale riempimento della cava	29
5.1.11 Ipotesi 10: soluzione progettuale adottata	30
5.2 MODELLAZIONE NUMERICA IDRAULICA: DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO	31
5.2.1 Equazione di continuità	32
5.2.2 Equazione di bilancio della quantità di moto (equazione del moto)	32
5.2.3 Metodo risolutivo numerico alle differenze finite.....	33
5.3 SCENARI SIMULATI E COSTRUZIONE DELLA GEOMETRIA DEI MODELLI.....	34
5.3.1 Informazioni topografiche disponibili.....	36
5.4 DESCRIZIONE DEI RISULTATI	37
5.4.1 Bevera di Molteno – Stato attuale.....	37
5.4.1 Bevera di Molteno – Configurazione di progetto	38
5.4.2 Canale scolmatore – Configurazione di progetto	42
6. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	45
6.1 OPERA DI DERIVAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DELLA BEVERA DI MOLTENO	45
6.2 CANALE SCOLMATORE	48



6.3	OPERA DI RESTITUZIONE DELLE PORTATE ALLA BEVERA DI MOLTENO.....	50
7.	SULLE CONDIZIONI DI STABILITÀ DELLE PARETI DELLA CAVA DI BRENNO	54
8.	CONCLUSIONI	55

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Risultati simulazione idraulica: Bevera di Molteno – Stato attuale
- ALLEGATO 2 – Risultati simulazione idraulica: Bevera di Molteno – Configurazione di progetto
- ALLEGATO 3 – Risultati simulazione idraulica: Canale scolmatore – Configurazione di progetto
- ALLEGATO 4 – Planimetria delle sezioni di calcolo



1. PREMESSA

La relazione tecnica descrive lo studio idrologico-idraulico condotto per le opere di regolazione delle portate finalizzate alla *"utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)"*.

Il Parco Regionale del Lambro ha affidato agli scriventi l'esecuzione della progettazione idraulica degli interventi da condurre nel rispetto della normativa vigente in materia di lavori pubblici.

Il presente documento descrive le attività di dimensionamento delle opere di derivazione idrica verso la Cava di Brenno eseguite con un modello numerico monodimensionale in moto vario e delle opere di restituzione nella Bevera di Molteno.

Specificata cura è stata riservata alla definizione delle soglie idrauliche di innesco dell'opera di presa, in funzione dei livelli idrici presenti in alveo, e alla scelta di sistemi di pompaggio che consentano lo svuotamento dell'invaso, minimizzando il rapporto costi/benefici, nel rispetto delle condizioni idrodinamiche della Bevera e assicurando quanto prima il ripristino della capacità d'invaso della cassa in derivazione e la possibilità di accedere al fondo della stessa per consentire i previsti interventi di riempimento.

Ulteriore attenzione è stata dedicata alla verifica di compatibilità delle velocità di deflusso dell'acqua derivata nel canale scolmatore al fine di dimensionarlo al meglio, assicurandone funzionalità e durabilità.

Si sottolinea che l'esecuzione delle prestazioni è stata condotta in modo partecipato, coinvolgendo la Committenza e gli Enti interessati attraverso incontri e sopralluoghi in sito.



2. STUDI PREGRESSI E DATI DISPONIBILI

Prima di procedere con l'esecuzione delle attività richieste dalla Committenza, gli scriventi hanno eseguito un'attenta analisi degli studi, della documentazione e dei dati disponibili al fine di verificarne i contenuti, per definire compiutamente l'ambito in cui collocare le prestazioni descritte nel presente elaborato.

Sin dai primi decenni del secolo scorso il bacino del Lambro è stato interessato da numerosi studi e progetti di sistemazione fluviale sia a scala d'asta, sia localizzati. In particolare:

- Sistemazione del fiume Lambro proposta dal "Comitato Coordinatore per le Acque della Provincia di Milano" nel 1937;
- "Proposte per la sistemazione idraulica del Lambro e per il riassetto paesaggistico della sua valle", detto "Piano Lambro" – Provincia di Milano, 1986;
- Progetto esecutivo per i "Lavori di sistemazione delle opere idrauliche del Lambro Settentrionale nel tronco compreso tra il ponte dell'autostrada MI-BG ed il ponte di innesto alla tangenziale est di C.na Gobba nei comuni di Brugherio e Milano" del Magistrato per il Po di Parma – 1989 ÷ 1997.
- "Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta" di competenza della Regione Lombardia, redatto dagli scriventi nel 1998;
- "Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

Già nel "*Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*" del 1998 si inserisce la proposta di destinare la Cava di Brenno alla laminazione delle portate di piena della Bevera di Molteno, principale affluente sublacuale del fiume Lambro, in modo da ridurre consistentemente il contributo in caso di eventi idrologici intensi.

In seguito all'evento alluvionale occorso nel mese di novembre 2002, gli Enti preposti hanno affidato un incarico per la predisposizione dello "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*" che identificasse le criticità idrauliche esistenti lungo il corso d'acqua e, alla luce degli effetti generati dall'evento dell'autunno 2002, ne individuasse una compiuta soluzione. Anche questo studio ha confermato l'esigenza di utilizzare la Cava di Brenno quale vasca di laminazione.

In seguito, nel mese di marzo 2004, è stata adottata la "*Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Fasce fluviali del fiume Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi*" che sostanzialmente ha recepito e fatto propri gli esiti del citato Studio di Fattibilità. I principali interventi ricadenti nel tratto del fiume Lambro compreso tra il lago di Pusiano e Inverigo (CO), la cui esecuzione è stata



pianificata con la Variante e tra i quali sono compresi quelli oggetto della presente attività, sono descritti nel paragrafo §3.2.

Oltre a quanto elencato in precedenza, gli scriventi hanno anche potuto acquisire ed analizzare le informazioni desumibili da:

- Studio di fattibilità *"sull'utilizzo della Miniera di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC) quale vasca di laminazione"*, predisposto nel febbraio 2005 da ETATEC s.r.l.;
- Progetto preliminare di *"utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno – Comune di Costa Masnaga (LC)"*, predisposto nel mese di maggio 2014 dal Parco Regionale della Valle del Lambro con la consulenza geotecnica del prof. ing. Claudio di Prisco e quella paesaggistica ambientale dell'arch. Andrea Fiorentini;
- Tesi di Laurea Magistrale dell'ing. Chiara Vellani redatta presso il Politecnico di Milano con il supporto del relatore prof. G. Becciu e inerente lo *"Studio del sistema delle aree di laminazione lungo il Lambro sublacuale ed affluenti finalizzata alla stesura del protocollo di gestione integrato per la difesa idraulica della valle e della città di Monza"*.

Infine, la Committenza ha reso disponibile una serie di informazioni topografiche, riguardanti il tratto d'alveo e le aree perfluviali d'interesse, la cui descrizione è riportata nello specifico paragrafo §5.3.

Ciò che emerge dall'analisi della documentazione a disposizione è che l'idea di utilizzare il sito di Costa Masnaga per laminare le portate di piena della Bevera di Molteno risale a molti anni orsono e che nel periodo trascorso la soluzione progettuale si è evoluta attraverso numerosi scenari principalmente funzione delle passate condizioni di esercizio dell'attività estrattiva nella cava condotta dalla Holcim S.p.A.

Soltanto la scelta recente della multinazionale di dismettere l'impianto di Costa Masnaga, avviando le previste attività per il ripristino ambientale dei luoghi, ha creato le condizioni affinché la progettazione dell'intervento potesse contemplare la soluzione definitiva proposta dagli Scriventi, qui descritta, quale evoluzione e approfondimento delle proposte tecniche originariamente formulate dai tecnici del Parco Regionale della Valle del Lambro.



3. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO FLUVIALE NEL TRATTO D'INTERESSE

L'area di interesse si colloca nei pressi del nodo idraulico di Merone, laddove la Bevera di Molteno confluisce nel fiume Lambro poco a valle del Lago di Pusiano, dal quale le acque defluiscono sia per mezzo di un emissario naturale, ossia il fiume Lambro, sia grazie ad un'opera antropica di regolazione delle portate, nota come "Cavo Diotti", la quale è stata recentemente interessata da consistenti interventi di ristrutturazione.

Il tratto della Bevera di Molteno oggetto della presente attività di progettazione definitiva è collocato a valle dell'immissione del torrente Gandaloglio ed è rappresentato graficamente in Figura 1.

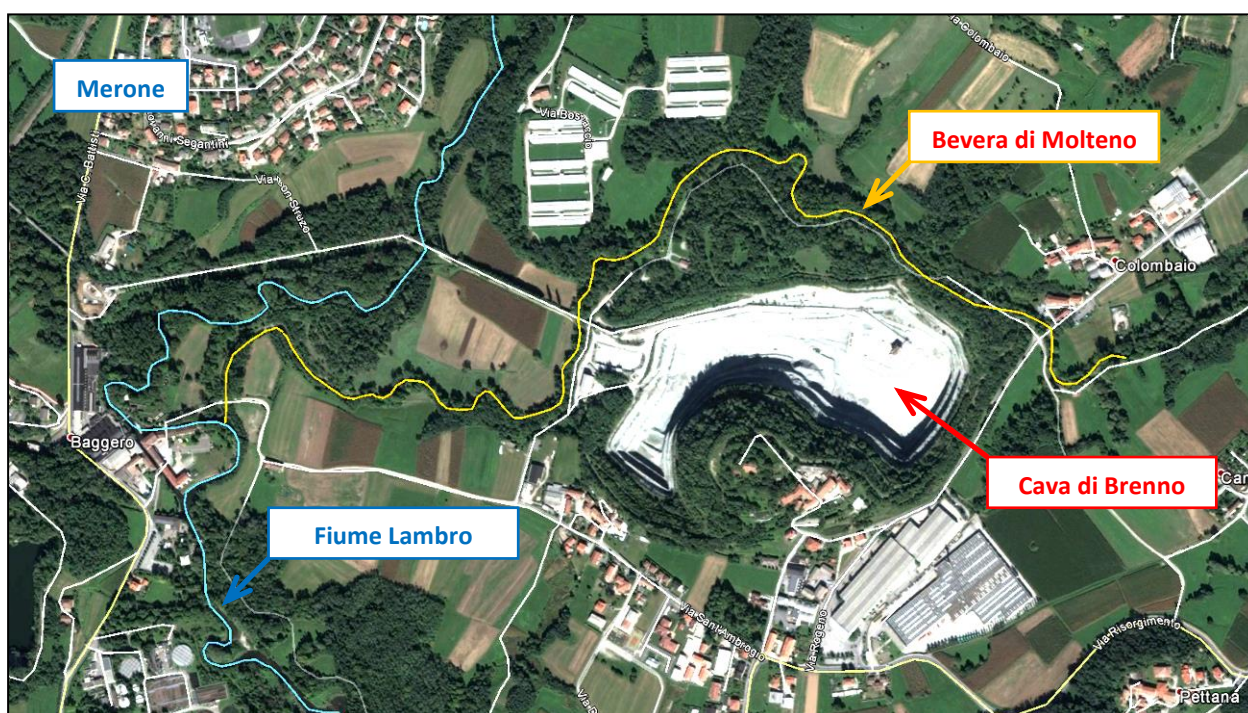


Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area d'interesse (fonte: Google Earth)

A partire dal Lago di Pusiano il corso d'acqua principale, col nome di Lambro settentrionale, inizia il suo percorso collinare e attraversa diversi comuni come: Merone, Costa Masnaga, Lambrugo, Nibionno, Inverigo, Briosco, Giussano, Verano Brianza, Albiate, Triuggio, Carate Brianza, Sovico, Lesmo, Biassono e Arcore, giungendo infine a Villasanta, appena prima del suo ingresso nel Parco di Monza.

La struttura morfologica di quest'area è caratterizzata da allineamenti semicirculari concentrici di cordoni collinari, appartenenti ad apparati morenici depositatisi in fasi successive durante i periodi glaciali.

Come è possibile osservare nello schema idrografico mostrato in Figura 2, il Lambro riceve anche i contributi idrici di altri affluenti (Bevere di Veduggio e Renate), oltre alla Bevera di Molteno d'interesse per il presente progetto, e ovviamente i contributi diretti di alcuni sottobacini denominati LAM 4, 5, 6 e 7 nel citato Studio di Fattibilità.

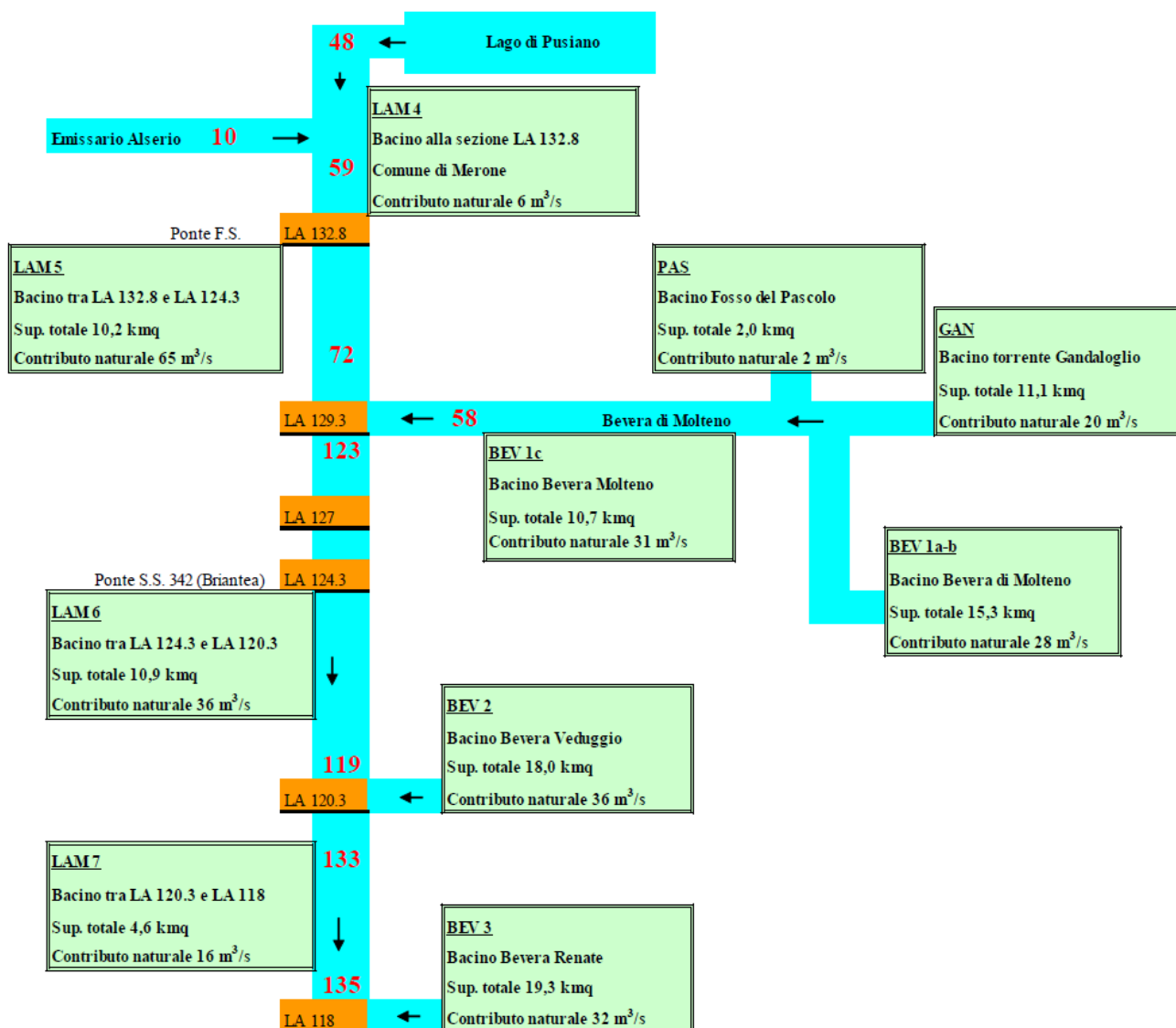


Figura 2 – Schema idrografico del fiume Lambro nel tratto d'interesse (fonte: SdF – 2003)

Gli approfonditi studi condotti a supporto del P.A.I. hanno consentito di appurare come la realizzazione di interventi di difesa passiva nei territori vallivi del Lambro (comuni di Monza, Milano, etc.) debbano necessariamente essere accompagnati da interventi attivi di riduzione delle portate al colmo in caso di piena. Dette opere sono da realizzarsi in aree poste più a monte, come ad esempio nei Comuni di Inverigo e Costa Masnaga, poiché meglio si prestano allo scopo essendo ancora relativamente libere da insediamenti antropici.



3.1 CENNI TEORICI SULLA LAMINAZIONE DELLE PIENE

Interventi attivi di riduzione del colmo delle portate di piena sono abitualmente attuati realizzando le seguenti tipologie di opere:

- Canali scolmatori;
- Casse di laminazione in derivazione;
- Casse di laminazione in linea.

In realtà nel tratto d'interesse il P.A.I. prevede la realizzazione di interventi appartenenti alle ultime due categorie e sulla Bevera di Molteno è prevista proprio l'esecuzione di una cassa in derivazione mediante l'utilizzo del volume d'invaso offerto dalla Cava di Brenno in comune di Costa Masnaga (LC).

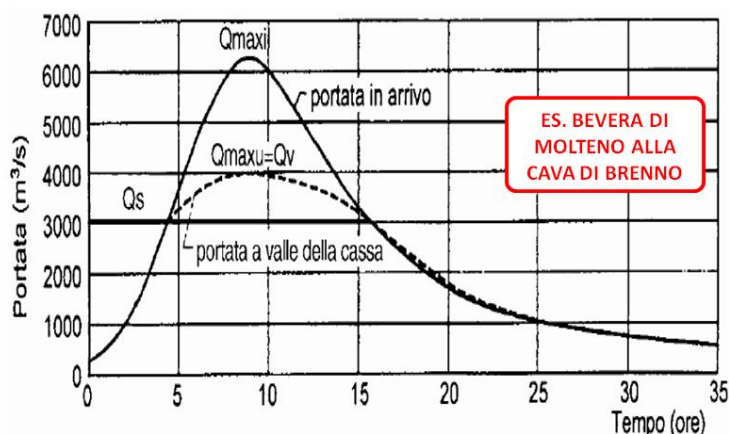
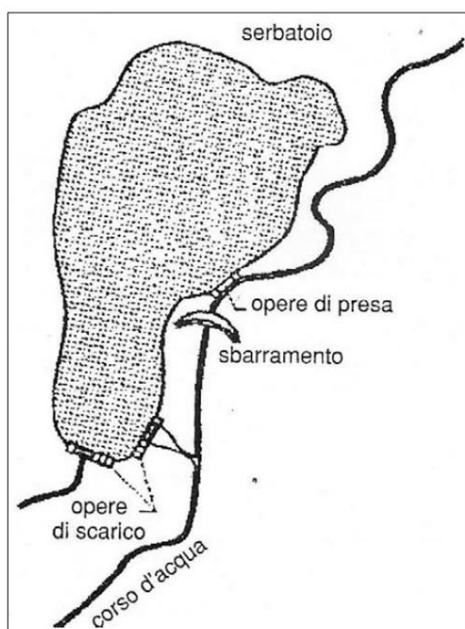


Figura 3 – Schema di funzionamento di una cassa di espansione in derivazione

Come è possibile osservare nei precedenti schemi grafici la laminazione in derivazione si attua sottraendo una quota parte della portata defluente nel corso d'acqua: di solito ciò avviene realizzando uno sbarramento in alveo che consente un locale innalzamento dei livelli idrici a monte dello stesso e lo sfioro laterale delle portate attraverso un organo di regolazione appositamente dimensionato che governa la derivazione stessa.

Come descritto più avanti, nel presente progetto non sarà tuttavia necessaria la costruzione dello sbarramento in alveo, grazie al restringimento di sezione offerto dalla morfologia dell'alveo a valle dell'opera di presa.

Il volume idrico sottratto è stoccato temporaneamente in un invaso che di solito è realizzato appositamente, ma nel presente caso si tratta di una cava già esistente. Al termine dell'evento di piena il volume immagazzinato è rilasciato in alveo non appena i livelli idrici si riducono a quote compatibili con le condizioni di sicurezza dei



territori posti a valle. L'efficienza di laminazione è tanto più evidente, quanto maggiore è il volume d'invaso disponibile e quanto più rapidamente si riesce ad attivare la derivazione prima del passaggio del colmo di piena (cfr. idrogrammi di Figura 3).

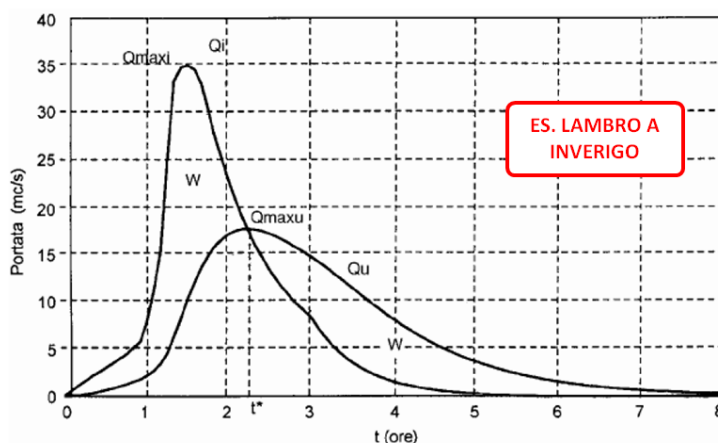
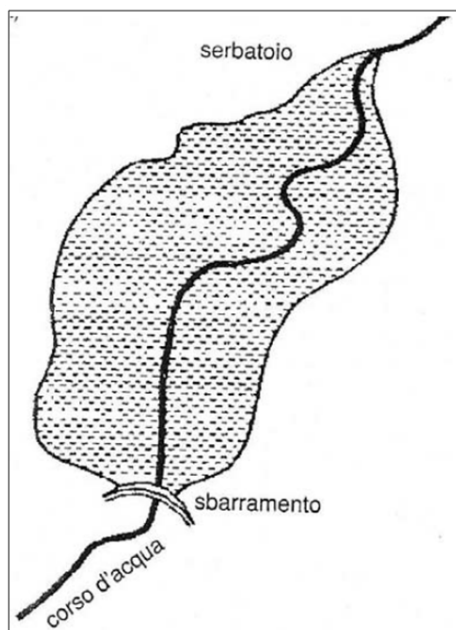


Figura 4 – Schema di funzionamento di una cassa di espansione in linea

Per quanto concerne le casse di espansione "in linea", analogamente al caso precedente, l'attivazione della laminazione avviene di solito mediante realizzazione di un'opera di regolazione delle portate in alveo che determini un innalzamento dei livelli a monte della stessa. Un tipico esempio è rappresentato dall'ormai quasi completata opera sul fiume Lambro ad Inverigo (CO). L'obiettivo è quello di determinare un più esteso coinvolgimento delle aree golenali di monte al deflusso della portata di piena, cui consegue l'incremento dell'ampiezza delle sezioni idrauliche e dei tiranti, la consistente riduzione delle velocità di deflusso e l'appiattimento dell'idrogramma di piena, ossia una riduzione del colmo di piena così come mostrato a destra nella precedente figura. Il volume idrico dell'onda di piena è dunque costante, ma la sua traslazione a valle avviene in tempi più lunghi e con un picco di portata più modesto.

3.2 INTERVENTI DI LAMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA PREVISTI NEL P.A.I. NEL TRATTO D'INTERESSE

Come accennato in precedenza il P.A.I. prevede una serie di interventi di laminazione delle portate nel tratto sublacuale del Lambro. La localizzazione degli interventi ed i benefici attesi in termini di riduzione dei picchi di portata sono sintetizzati nello schema mostrato in Figura 5.

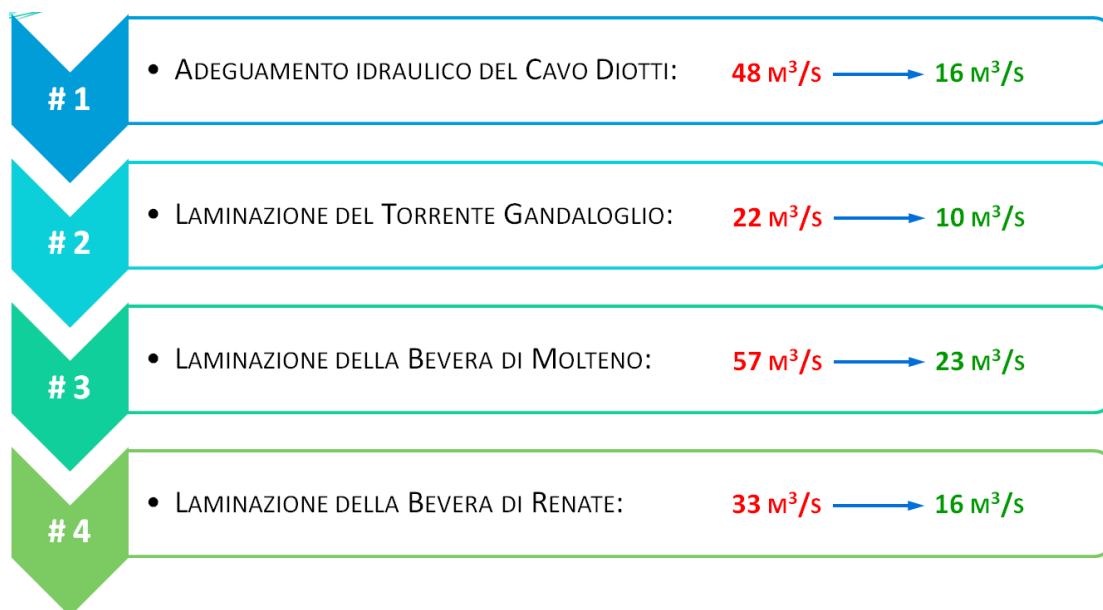


Figura 5 – Schema dei benefici attesi in termini di riduzione del colmo di portata grazie alla realizzazione degli interventi di regolazione e laminazione previsti nel P.A.I.

Oltre agli interventi anzidetti, tra i quali quello oggetto della presente attività, il P.A.I. prevede anche la conservazione della capacità di laminazione naturale nell'area di Inverigo garantita dalla realizzazione dell'opera cui si è accennato in precedenza.



4. STUDIO IDROLOGICO

Il presente capitolo della relazione è dedicato alla descrizione delle attività condotte al fine di individuare le portate di riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto.

4.1 PORTATE DI PIENA DELLA BEVERA DI MOLTEÑO

In allegato alla Relazione descrittiva della "Variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Fasce fluviali del fiume Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi", predisposta dall'Autorità di Bacino del fiume Po, sono resi disponibili i valori attualmente vigenti delle portate della piena di progetto riferite a diverse sezioni significative del fiume Lambro e dei suoi principali affluenti tra i quali la Bevera di Molteno.

In Figura 6 è riportato uno stralcio della tabella allegata a detta relazione dal quale è infatti possibile desumere il valore limite delle portate di progetto scaricabili dagli affluenti naturali e dai recapiti urbani nel corso d'acqua principale: per la Bevera di Molteno il valore indicato è di 22 m³/s per il tempo di ritorno duecentennale.

Sezione	Progr.	Descrizione	Portata idrologica stato attuale (T=200)	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto completo (T=200)	Valori limite delle portate di progetto scaricabili dagli affluenti naturali e dai recapiti urbani	Denominazione
	[m]		[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	
LA 132.19	21249	uscita Lago di Pusiano	70	50	15	15	Lago di Pusiano
LA 132.11	22545	Ponte S.P. 41 Merone	85	60	20		
LA 129.2	25528	confluenza Bevera Molteno	150	120	55	22	Bevera di Molteno
LA 127	27039	Ponte via Dante Lambrugo	150	120	65		
LA 124.3	28882	Ponte S.S. 342 (Briantea)	155	115	65		

Figura 6 – Valori delle portate di piena di progetto in corrispondenza di alcune sezioni significative del bacino del Lambro (fonte: AdBPo – P.A.I. fiume Lambro)

In condizioni attuali la differenza di portata attesa in Lambro tra la sez. LA 132.11 e la sez. LA 129.2, pari a 60 m³/s, è dunque da attribuire prevalentemente al contributo della Bevera di Molteno.

Più precisamente è possibile desumere il valore esatto della portata di piena duecentennale della Bevera facendo riferimento ai già citati seguenti studi:

- "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" predisposto nel dicembre 2003 da Lotti & Associati S.p.A. con la consulenza del prof. ing. Alessandro Paoletti: si rammenta che detto studio costituì la base sulla quale è stata predisposta e successivamente approvata la Variante al P.A.I. del fiume Lambro;



- Studio di fattibilità "sull'utilizzo della Miniera di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC) quale vasca di laminazione" predisposto nel febbraio 2005 da ETATEC s.r.l. a firma del prof. ing. Alessandro Paoletti.

Nell'elaborato "5.2.2./2/1R/LA1: Relazione descrittiva e di analisi dell'attività", allegato al primo studio, alle pagg. 35 e 36 della seconda parte è contenuto il paragrafo del quale si riportano alcuni stralci significativi:

*"La laminazione sul torrente Bevera di Molteno è prevista poco a monte della confluenza in Lambro. La vasca in oggetto, prevista nel Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta, è formata da un volume complessivo di 1.400.000 m³ ricavabili nella sede dell'attuale cava in località Brenno della Torre di Costa Masnaga, gestita dalla Holcim S.p.A. Un primo lotto, di 60.000 m³ è già stato realizzato, ed è stato inserito nel modello idrologico-idraulico dello stato attuale. Un secondo lotto, di cui si dispone già del finanziamento e di cui dovrà essere svolta la progettazione, prevede una volumetria pari a ulteriori 200.000 m³, ricavabili per scavo della porzione di terreno compresa tra gli alvei del fiume Lambro e del torrente Bevera in comune di Costa Masnaga. **L'opera di sbarramento e regolazione dell'intero sistema, con bocca di uscita tarata per un massimo di 22.5 m³/s, è già stata realizzata congiuntamente nel I lotto.***

Nella configurazione finale la vasca assicura una laminazione tale per cui la portata al colmo a monte di tale opera, pari a 57 m³/s allo stato attuale (...), viene ridotta a 22.5 m³/s, per eventi legati a tempo di ritorno duecentennale (...).

Nell'elaborato "01.00-SF-365-01/05-RT: Relazione tecnica", allegato al secondo studio, a partire dalla pag. 23 è descritta l'analisi idrologica condotta dai professionisti. Anche in questo caso si riprendono gli elementi ritenuti più significativi.

Il bacino della Bevera è stato suddiviso in quattro sottobacini:

- BEV1AB – Bevera di Molteno a monte della confluenza con il torrente Gandaloglio;
- GAN – Torrente Gandaloglio, tributario della Bevera di Molteno;
- PAS – Fosso del Pascolo, tributario della Bevera di Molteno;
- BEV1C – Bevera di Molteno tra la confluenza del torrente Gandaloglio e il fiume Lambro.

Pertanto, "(...) i valori complessivi di portata al colmo attendibili sul torrente Bevera di Molteno nella zona della Cassa di Espansione di Merone e Costa Masnaga sono quelli riportati nella seguente tabella (...)"

Tabella 1 – Portate e volumi stimati per la Bevera di Molteno dall'analisi idrologica (fonte: ETATEC s.r.l.)

Tempo di ritorno	Portata al colmo Bevera di Molteno a Costa Masnaga	Volume evento Bevera di Molteno a Costa Masnaga
10 anni	27 m ³ /s	1.543.000 m ³
200 anni	59 m ³ /s	3.406.000 m ³
500 anni	98 m ³ /s	4.158.000 m ³



È dunque possibile notare una lieve incongruenza nella definizione della portata di piena della Bevera di Molteno per il tempo di ritorno duecentennale, stimata in $57 \text{ m}^3/\text{s}$ nel primo studio e $59 \text{ m}^3/\text{s}$ nel secondo.

La differenza è da ritenersi del tutto trascurabile e gli Scriventi assumono comunque per le successive elaborazioni il valore di $59 \text{ m}^3/\text{s}$ sia perché desunto da uno studio più recente, sia perché maggiormente cautelativo.

Come visto, il P.A.I. prevede dunque che il sistema di laminazione complessivamente realizzato nel bacino della Bevera di Molteno consenta di ottenere una **consistente riduzione di detto valore: da 59 a $22 \text{ m}^3/\text{s}$.**

Seppur si prevedeva che l'obiettivo fosse conseguito sommando il contributo della cassa di laminazione già realizzata in Comune di Merone alla confluenza tra il fiume Lambro e la Bevera di Molteno, di quella da realizzare sul torrente Gandaloglio e di quella oggetto della presente progettazione, grazie al volume d'invaso disponibile nella della Cava di Brenno (cfr. §4.4) sarà possibile ottenere il beneficio grazie alla sola attivazione di quest'ultima. In questo modo, oltre a garantire positivi effetti di ridondanza in caso di malfunzionamento di impianti e opere o imprevisti legati alle tempistiche realizzative delle stesse, di volta in volta l'Ente gestore potrà scegliere quale/i casse di laminazione attivare per minimizzare il rapporto "costi da sostenere/benefici attesi". Tra i costi si considerano quelli legati al ripristino delle aree agricole interessate dagli allagamenti, all'attivazione dei sistemi di pompaggio, etc.

4.2 AGGIORNAMENTO DELLE INFORMAZIONI IDROLOGICHE E IDRAULICHE

Nell'ambito della progettazione delle "Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo", anch'essa condotta dagli Scriventi, la Regione Lombardia aveva espresso alcune osservazioni con una specifica nota scritta. Una di esse era relativa alla richiesta l'esecuzione di un "aggiornamento delle informazioni idrologiche e idrauliche dello 'Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Lambro'".

Intenzione dell'Ente era quella di verificare se gli eventi idrologici occorsi nel periodo successivo alla predisposizione di detto studio potessero aver modificato le assunzioni poste alla base dello stesso.

Considerando che l'area oggetto della presente attività si colloca nella stessa zona, si ritiene utile riportare nuovamente le conclusioni della verifica a suo tempo condotta per le opere di Inverigo.

Dato che l'evento più gravoso che ha colpito il bacino del fiume Lambro si è verificato nel novembre 2002, si evidenzia che tale evento era già stato considerato come elemento di input nelle valutazioni condotte nel citato Studio di Fattibilità. Anzi, è stato proprio il verificarsi dell'evento parossistico una delle cause principali che hanno indotto gli Enti competenti a ritenere necessario uno studio a scala d'asta del corso d'acqua.

Considerando che l'obiettivo della progettazione fosse la realizzazione di opere di regolazione della portata di piena duecentennale del fiume Lambro, al fine di fornire riscontro alla richiesta della Regione, gli scriventi avevano ritenuto significativo verificare se nel periodo intercorso tra il novembre 2002 e il maggio 2014 (data di



stesura del presente studio allegato al progetto definitivo) si fossero verificati eventi di eguale magnitudo o più gravosi di quello dell'autunno 2002.

Alla luce di detta premessa si era provveduto ad eseguire un corposo lavoro di raccolta dei dati idrologici e idraulici registrati da numerose stazioni di monitoraggio dislocate nel territorio d'interesse. In particolare erano state analizzate in dettaglio le serie storiche inerenti le seguenti grandezze idrologiche e idrauliche:

1. precipitazioni orarie registrate ai pluviometri disponibili nell'area in studio (Caslino d'Erba, Molteno, Lambrugo, Nibionno, Carate Brianza e Casatenovo) riportate in Figura 7;
2. livelli idrometrici del fiume Lambro (Caslino d'Erba, Lambrugo, Peregallo);
3. livelli idrometrici della Bevera di Molteno a Molteno;
4. livelli idrometrici del lago di Pusiano;

Come si nota, già in quel momento l'indagine era stata estesa al bacino della Bevera di Molteno e, dunque, se ne conferma l'interesse e la validità per la presente progettazione.

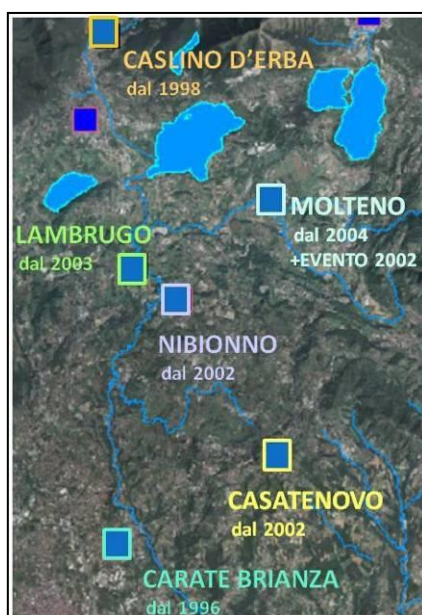


Figura 7 – Stazioni pluviometriche d'interesse

Rinviando all'Elaborato "R02 - Relazione idrologico-idraulica" del Progetto Definitivo delle "Opere di regolazione delle portate previste nell'intervento "Area di laminazione di Inverigo" per una descrizione più dettagliata delle verifiche svolte, l'esito delle stesse ha consentito **di confermare la validità delle portate definite dallo Studio di Fattibilità in quanto gli eventi successivi, seppur non compresi nell'analisi statistica dello stesso, sono di entità inferiore e con caratteristiche molto differenti e meno gravose rispetto all'evento critico del 2002.**



Si può pertanto ragionevolmente affermare che, da un punto di vista statistico, l'eventuale aggiornamento della serie storica dei dati non comporterebbe comunque modifiche apprezzabili in aumento rispetto alle portate di riferimento (vigenti), calcolate nelle sezioni di interesse, che comprendono anche quelle del 2002.

4.3 DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO

Per quanto descritto nei paragrafi precedenti, gli scriventi ritengono aggiornati e attendibili i valori di portata pubblicati nel P.A.I. e negli studi di accompagnamento dello stesso e/o successivi.

Pertanto detti valori saranno assunti quale riferimento per l'esecuzione delle verifiche idrauliche e per il dimensionamento delle opere del presente progetto definitivo (cfr. Tabella 2).

Tabella 2 – Portate di piena di riferimento assunte per le successive verifiche idrauliche

<i>Sezione</i>	<i>Portata stato attuale (TR = 200 anni)</i>	<i>Valore limite della portata di progetto scaricabile dalla Bevera di Molteno nel corso d'acqua principale (TR = 200 anni)</i>
Confluenza della Bevera di Molteno nel fiume Lambro	59 m ³ /s	22 m ³ /s

4.4 CALCOLO DEL VOLUME D'INVASO NELLA CAVA DI BRENNO

Il calcolo del volume idrico minimo che sarà necessario invasare all'interno della Cava di Brenno è stato effettuato in funzione dell'idrogramma di piena appositamente ricostruito. La taratura dell'idrogramma è stata condotta con riferimento alle portate misurate all'idrometro di Molteno in occasione dell'evento alluvionale del novembre 2002 il cui grafico è mostrato in Figura 8. Il colmo di piena misurato è stato di circa 45 m³/s.



Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)

Progetto Esecutivo

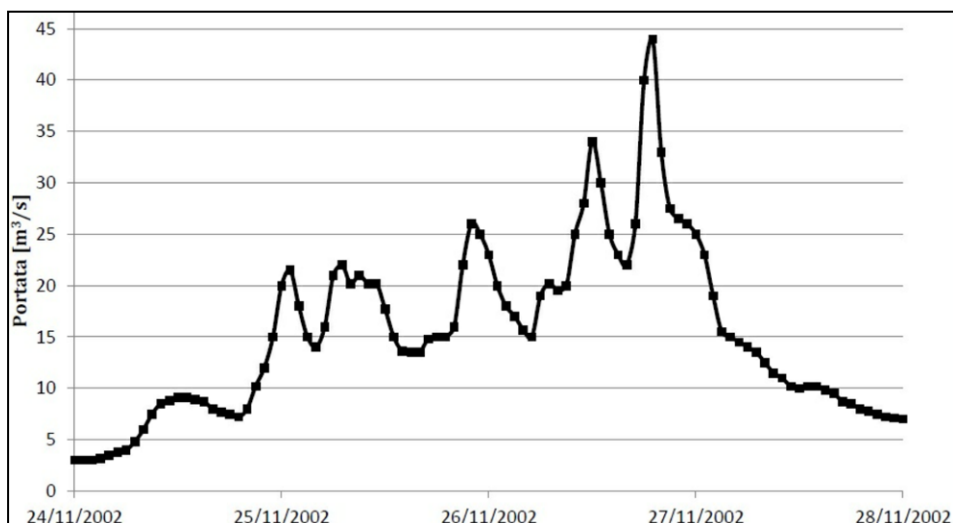


Figura 8 – Portate osservate a Molteno (novembre 2002)

Di seguito si riporta l'idrogramma di piena della Bevera di Molteno per tempo di ritorno duecentennale.

Il colmo di piena è di 59 m³/s ed è anche indicato il valore limite della portata di progetto scaricabile dalla Bevera di Molteno nel corso d'acqua principale: 22 m³/s.

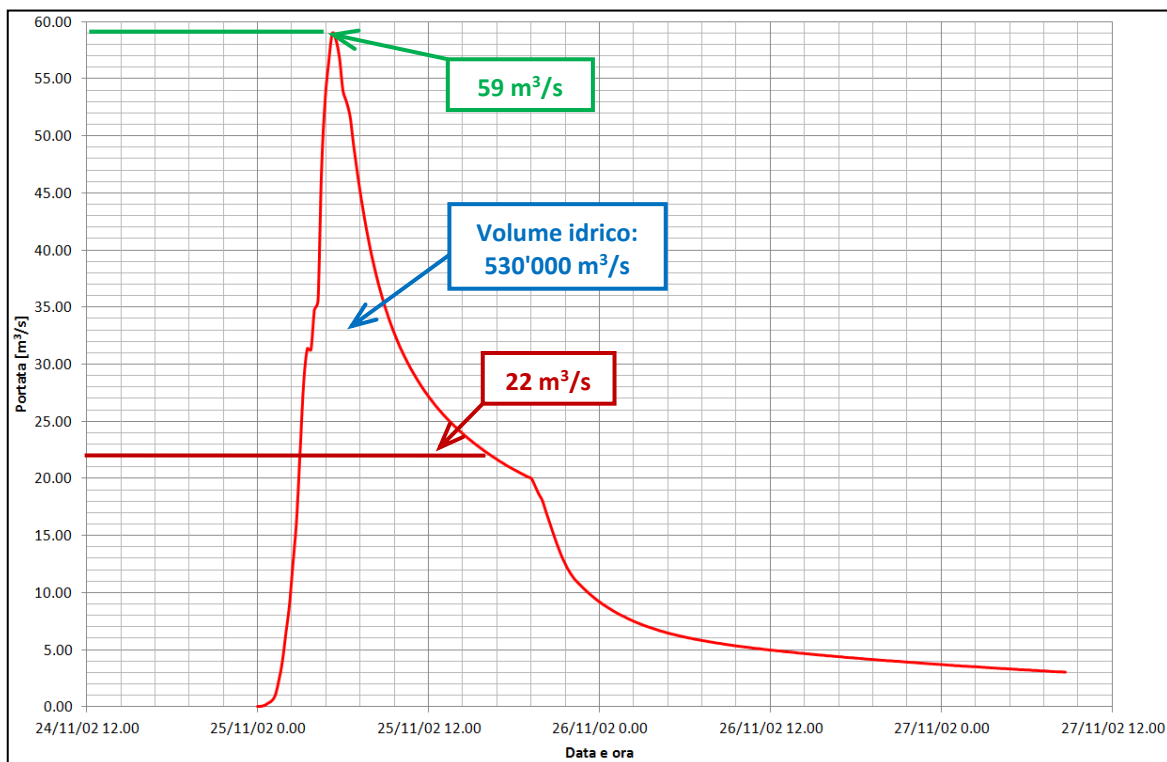


Figura 9 – Idrogramma di piena della Bevera di Molteno (TR = 200 anni)



Come noto, l'area sottesa dall'idrogramma rappresenta il volume idrico dell'onda di piena. Pertanto, quella tra i due valori di portata (59 e 22 m³/s) è proprio pari al volume idrico minimo da invasare all'interno della Cava di Brenno per assicurare il conseguimento del beneficio atteso, ossia 530'000 m³.

Il valore non è dissimile da quello definito nel citato studio di fattibilità del 2005 prodotto da ETATEC s.r.l. nel quale si afferma che: *"l'analisi dell'evento del 2002 dimostra come la disponibilità immediata, sia pure parziale, dell'invaso di cava, con volumetria da un minimo di 300'000 ad un massimo di 500'000 m³, determini un notevole beneficio in termini di riduzione dei colmi a valle (...) e quindi un'opportunità di salvaguardia per il territorio (...)".* Tuttavia, come descritto in dettaglio più avanti, **gli Scriventi ritengono che il volume invasabile che dovrà essere garantito all'interno della Cava di Brenno ammonti almeno a 1'060'000 m³.** In tal modo le opere di svuotamento dell'invaso (sistema di pompaggio) possono avere dimensioni più contenute, con consistente riduzione dei costi di realizzazione e manutenzione, venendo meno l'esigenza di ripristinare in tempi molto brevi l'originario volume di invaso: **la Cava sarà infatti in grado di accogliere i volumi idrici necessari a laminare oltre due eventi aventi la stessa magnitudo di quello occorso nel novembre 2002.**

Considerando che il volume attualmente disponibile compreso tra la quota di massima (236 m s.l.m.) e minima regolazione dell'invaso (215 m s.l.m.) ammonta a circa 1'720'000 m³ (calcolato con tecniche GIS), il riempimento del fondo cava con materiale di risulta potrà avvenire anche oltre la quota di minimo invaso per ulteriori 1'720'000 – 1'060'000 = 660'000 m³ senza in tal modo inficiare la capacità di invaso necessaria per la laminazione delle portate di piena della Bevera di Molteno.

Nel periodo transitorio necessario per l'esecuzione degli interventi di riempimento il volume disponibile per l'invaso sarà ovviamente maggiore.



5. STUDIO E VERIFICHE IDRAULICHE

Obiettivo dello studio idraulico condotto dagli scriventi e descritto nel presente capitolo è stato quello di identificare e dimensionare le opere necessarie per garantire il conseguimento degli obiettivi di laminazione delle portate di piena del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga.

Si tratta di un intervento strategico per la sicurezza idraulica della valle del Lambro secondo la pianificazione dell'Autorità di Bacino. L'opportunità di utilizzare la Cava di Brenno quale vasca di laminazione delle portate di piena della Bevera è stata riconosciuta e accettata da molti anni. Prova ne è l'evoluzione progettuale registrata nel passato anche in relazione alle opere complementari previste lungo il maggior tributario sublacuale del Lambro: di seguito se ne riporta la sintesi tratta dallo studio di fattibilità redatto da ETATEC s.r.l.

Tabella 3 – Evoluzione progettuale e realizzativa dell'opera (sintesi elaborata da ETATEC s.r.l.)

Data	Progetto – Attività – Accadimento	Committente	Redazione	Note
Dicembre 1997	Progetto Preliminare Interventi a Merone	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	Risulta analizzata l'opera di I e II lotto ma per mancanza di fondi è progettato solo il I lotto
Gennaio 1998	Approvazione progetto preliminare	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97) – Comitato Tecnico Scientifico		Indicazione prescrizioni per la redazione del progetto esecutivo
Luglio 1998	Progetto Preliminare Sistemazione Lambro a monte di Villasanta	Regione Lombardia (settore LL.PP./E.R. Servizio O.I.D.S.)	Studio Paoletti Ingegneri Associati (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	Viene inserita l'opera nella sua completezza compresa l'estensione alla cava (III lotto)
Ottobre 1998	Progetto Esecutivo Interventi a Merone – I lotto cassa di espansione	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	Progetto esecutivo del I lotto
Dicembre 1998	Conferenza dei servizi sul Prog. Esec. Interventi a Merone – I lotto cassa di espansione			Approvazione con prescrizioni a modifica del progetto esecutivo



Data	Progetto – Attività – Accadimento	Committente	Redazione	Note
Aprile 1999 – Agosto 2001	Cantiere I lotto	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	Impresa: ATI tra: COSTRUZIONI CERRI S.r.l. (Capogruppo) e CUSIN EDIL S.r.l. D.L.: ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	Cantiere con interessamento piena autunno 2000.
Dicembre 1999	Perizia Suppletiva e di Variante al Progetto Esecutivo Interventi a Merone – I lotto cassa di espansione	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	Vengono inserite le modifiche proposte dalla Conferenza dei Servizi (ponte sul fiume Bevera a protezione collettore ASIL).
Gennaio 2001	Studio di fattibilità della trasformazione in invaso permanente della cava Ca' di Brenno	Comune di Costa Masnaga (LC)	Geoidrica Prospezioni S.a.S. Con relazione idraulica di ETATEC S.r.l. (Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Mauro Degiorgi)	Viene studiata la trasformazione della cava in invaso permanente tenendo conto dell'uso per laminazione (III lotto)
Febbraio 2001	Collaudo opere in c.a. cantiere I lotto	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	dott. ing. Marco Selva	
Settembre 2001	Trasmissione bozza Disciplinare di Gestione della Cassa realizzata	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	D.L.: ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	È stato trasmesso a: Regione Lombardia e Genio Civile di Como
Marzo 2002	Trasmissione atti DL al collaudatore	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	D.L.: ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giuseppe Floreale, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi)	
Agosto 2002	Collaudo tecnico amministrativo cantiere I lotto	Regione Lombardia (Ufficio gestione emergenza eventi alluvionali nov-dic 96 e gen. 97)	Dott. Ing. Arturo Donadio	



Data	Progetto – Attività – Accadimento	Committente	Redazione	Note
Novembre 2002	Evento alluvionale			Entrata in funzione dell'opera con sopralluogo della DL e della Regione Lombardia durante l'evento
Febbraio / Dicembre 2003	Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona – Fiume Lambro	Autorità di bacino del Po	ETATEC S.r.l. (Prof. Ing. Alesandro Paoletti, Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi) per conto di: C. Lotti & Associati S.p.A.	L'opera viene confermata come strategica nella gestione del bacino

Al precedente elenco è necessario aggiungere ovviamente il più volte citato studio di fattibilità *"sull'utilizzo della Miniera di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC) quale vasca di laminazione"*, predisposto nel febbraio 2005 da ETATEC s.r.l., il Progetto Preliminare di *"utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno – Comune di Costa Masnaga (LC)"*, predisposto nel mese di maggio 2014 dal Parco Regionale della Valle del Lambro con la consulenza geotecnica del prof. ing. Claudio di Prisco e quella paesaggistica ambientale dell'arch. Andrea Fiorentini e la precedente fase di progettazione definitiva (dicembre 2014) da cui è scaturito il presente progetto esecutivo.

Tralasciando le soluzioni progettuali precedenti, ormai superate, si ritiene utile nei seguenti paragrafi riportare una breve descrizione di alcune delle ipotesi progettuali poi scartate, ma esaminate nella fase di progettazione preliminare, oltre alle ulteriori ipotesi formulate dagli Scriventi in questa progettazione ivi compresa quella che è stata assunta quale soluzione definitiva.

5.1 VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

Il processo decisionale seguito dagli scriventi per l'individuazione delle opere oggetto della presente attività di progettazione è stato supportato dalla valutazione di una serie di possibili alternative progettuali via via scartate per le specifiche motivazioni descritte puntualmente di seguito, sino all'individuazione di una soluzione ottimale ritenuta fattibile e in grado di conseguire gli obiettivi previsti dal P.A.I.

5.1.1 Ipotesi 0: mancata realizzazione delle opere

La prima ipotesi al vaglio degli scriventi ha riguardato la possibilità di non realizzare alcuna opera che utilizzasse la Cava di Brenno per la laminazione delle portate di piena della Bevera.

A seguito di una approfondita analisi dello stato di fatto tale ipotesi è stata scartata per le seguenti motivazioni:



- avrebbe negato la cogente attuazione del P.A.I.;
- avrebbe impedito di ottenere i benefici assicurati dalla possibilità di regolare le portate idriche del Lambro in collaborazione con le altre opere di laminazione previste a monte e a valle dell'area di interesse (Cavo Diotti, Inverigo, etc.).

Avendo a disposizione un'efficiente rete di monitoraggio dei livelli/portate dei corsi d'acqua d'interesse e conoscendone il comportamento idrologico-idraulico sulla scorta dell'esperienza e della modellistica numerica, il Gestore dell'opera di regolazione è in grado di decidere caso per caso quale sia il momento più opportuno per avviare la regolazione delle portate in corrispondenza di ciascuna opera.

5.1.2 Ipotesi 1: zona di esondazione esterna alla Cava di Brenno

Corrisponde allo "Scenario A" descritto nel paragrafo §2.1 della Relazione tecnica di accompagnamento del Progetto Preliminare: se ne condividono integralmente i contenuti di seguito riportati.

"Questo scenario consiste nella realizzazione del secondo lotto delle opere di laminazione a Baggero di Merone. Si tratta, nei propositi, di un approfondimento ed allargamento della vasca esistente, che attualmente è capace di invasare 60'000 m³, sino a poterne contenere un volume massimo di 250'000 m³. Il progetto prevede l'interessamento di un'area di circa 200'000 m² localizzata tra il Fiume Lambro e l'area della cava (fig. 1 e 2). Si tratta di un'area in parte boscata e in parte destinata ad uso agricolo, non interessata da scavi o movimentazione di materiale e attualmente è considerata parzialmente esondabile.



Figura 10 – Area di intervento esterna alla Cava di Brenno

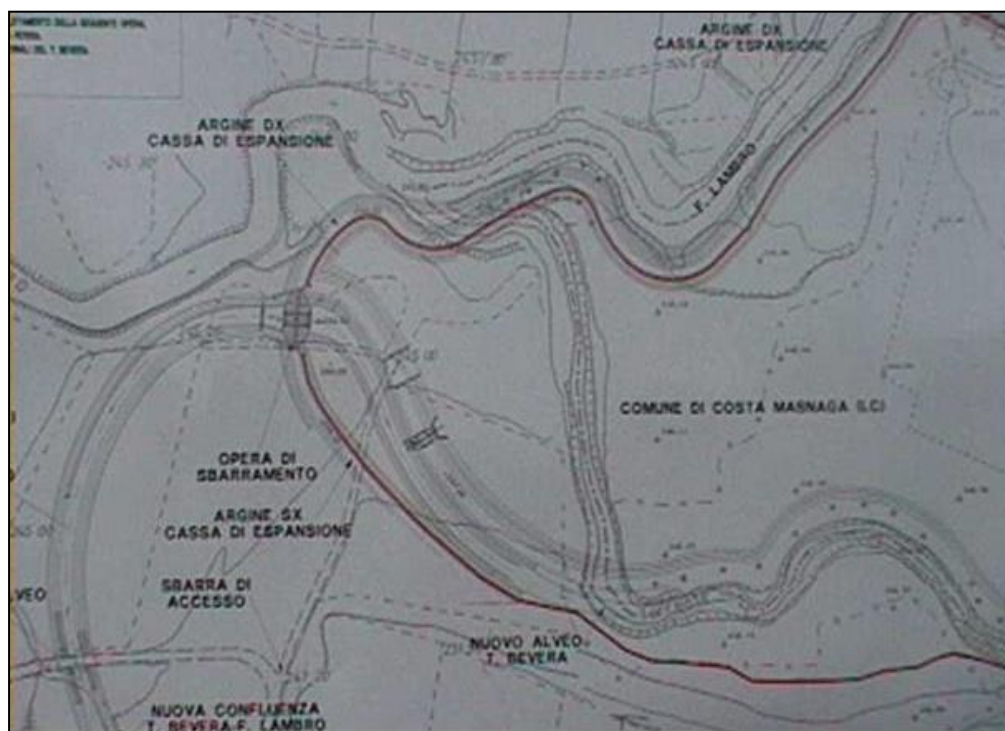


Figura 11 – Vasca di laminazione di Merone (primo lotto realizzato nel 2002)

- **Efficacia**

Il volume totale massimo possibile dell'intervento considerando la superficie dell'area considerata e la profondità di scavo ipotizzata è stimato in circa 250'000 m³, meno del 25 % del volume necessario. In tali condizioni, l'intervento non costituisce una soluzione completa ed efficace al problema di esondazione del Fiume Lambro. Al di là degli aspetti ambientali ed economici questa soluzione non è stata considerata nel prosieguo per via della consistente limitazione in termini di volume disponibile che renderebbe, di fatto, l'opera inutile.

- **Impatto ambientale**

L'intervento ricade in un'area interna al Parco naturale non interessata in precedenza da attività invasive, ciò che comporta un significativo impatto ambientale

- **Costi**

L'ampliamento dell'attuale capacità avverrebbe per mezzo di consistenti scavi pari al maggior volume disponibile ottenuto, circa 190'000 m³, l'implementazione del sistema di svuotamento della vasca, la creazione di tutte le opere di protezione necessarie a garantire la sicurezza dell'area e gli interventi di sistemazione ambientale finale.

Costi stimati per l'intervento pari a circa 3 milioni di Euro".



5.1.3 Ipotesi 2: realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni

Anche questa ipotesi corrisponde ad uno scenario ("C") descritto nel paragrafo §2.3 della Relazione tecnica di accompagnamento del Progetto Preliminare: se ne condividono integralmente i contenuti di seguito riportati.

"Un altro intervento alternativo è quello che prevede l'utilizzazione di alcune aree del Parco di Monza come zone di spandimento indotto del fiume Lambro in caso di piena. L'induzione all'esondazione verrebbe provocata attraverso la riattivazione ed il potenziamento di rogge già esistenti e la restrizione locale e temporanea di alcuni punti dell'alveo, ed i volumi d'acqua sarebbero contenuti entro apposite linee arginali.

- **Efficacia**

L'efficacia di tale intervento è direttamente connessa con le allegare opere provvisorie che verrebbero allestite nell'ambito cittadino di Monza e sarebbe più evidente per tempi di ritorno bassi (entro i 50 anni) e meno per tempi di ritorno superiori.

- **Impatto ambientale**

L'impatto sarebbe legato alla formazione delle linee d'argine ed alle opere di restringimento d'alveo in un contesto di vincolo storico, architettonico e paesaggistico che ha pochi uguali in Europa.

- **Costi**

I costi di quest'opera sono stati stimati in circa 6 milioni di euro".

5.1.4 Ipotesi 3: realizzazione di una vasca di laminazione nella Cava di Brenno

Corrisponde allo "Scenario B" descritto nel paragrafo §2.2 della Relazione tecnica di accompagnamento del Progetto Preliminare ed a grandi linee alla soluzione poi adottata dagli scriventi, anche se con una serie di consistenti modifiche descritte negli specifici paragrafi. Se ne riporta di seguito il contenuto.

"La Cava di Brenno è una ex cava di estrazione della marna per la produzione del cemento nel territorio del Comune di Costa Masnaga che, in virtù della concessione mineraria rilasciata dell'ex Distretto Minerario di Milano (oggi Regione Lombardia), ha cessato l'attività estrattiva nel mese di ottobre 2013. Il progetto di recupero ambientale autorizzato prevede la realizzazione di un lago artificiale alimentato dal torrente Bevera di Molteno con quota libera a 245 m s.l.m. La morfologia dell'area è caratterizzata da una fossa di circa 115'000 m² di superficie e di circa 55 m di profondità nella configurazione finale del progetto autorizzato.

In questo scenario la soluzione consiste nell'utilizzo della fossa ottenuta alla fine della fase di coltivazione come bacino di accumulo delle acque di piena del torrente Bevera, mediante la creazione di un'opera di presa sul torrente, un sistema di canalizzazione delle acque verso il fondo della fossa e l'installazione di un sistema di pompaggio per lo svuotamento del bacino. L'intervento permetterebbe sia di sfruttare al meglio la morfologia risultante dalla fase di scavo, sia di proporre un'adeguata sistemazione finale del sito con caratteristiche tali da garantire la fruibilità futura dell'area. Inoltre, una pianificazione accurata dell'attività di recupero ambientale e della realizzazione delle opere del progetto permetterebbe l'impiego sin da subito della Miniera di Brenno quale bacino di accumulo delle acque di piena del torrente Bevera.



- **Efficacia**

Il volume totale massimo possibile dell'intervento considerando la superficie e la profondità della fossa di scavo è superiore ai 4'000'000 m³, tuttavia, è evidente che in fase di realizzazione dovranno essere introdotti interventi di rimodellamento morfologico per garantire un adeguato recupero paesaggistico ed ambientale dell'area, le condizioni biologiche del lago e la fruibilità futura dell'area che porteranno necessariamente ad una riduzione di tale volume. In ogni caso, le dimensioni della miniera consentono la progettazione di un intervento con capacità superiore ai volumi necessari stimati e quindi l'intervento può costituire una soluzione efficace al problema di esondazione del fiume nel territorio a valle. Inoltre, una pianificazione coordinata dalle attività di recupero ambientale permetterebbe la disponibilità in tempi brevi di un bacino per il contenimento delle piene del torrente Bevera.

- **Impatto ambientale**

Il progetto si svilupperebbe per la maggior parte all'interno di un'area già interessata da un'attività invasiva quale la coltivazione mineraria appena conclusa e che deve comunque essere oggetto di interventi di riqualifica ambientale. In queste condizioni, i potenziali impatti ambientali negativi saranno dovuti ad interventi di rimodellamento morfologico, alle opere di presa e di svuotamento del bacino. Tuttavia tali impatti potranno essere ampiamente compensati con interventi di recupero ambientale e di sistemazione finale del sito che dovranno essere mirati a garantire un adeguato reinserimento paesaggistico ambientale e la fruibilità futura del sito.

- **Costi**

La realizzazione dell'intervento consiste nella rimodellazione morfologica del sito, l'implementazione del sistema di svuotamento della vasca, la creazione di tutte le opere di protezione necessarie a garantire la sicurezza dell'area e gli interventi di sistemazione ambientale finale.

Parte dei costi di realizzazione di tali interventi sarebbero a carico dell'attività estrattiva appena cessata.

Costi complessivi stimati per l'intervento pari a circa 10 milioni di Euro".

Gli estensori del Progetto Preliminare concludono la trattazione delle ipotesi alternative con quanto segue:

"Le considerazioni precedenti hanno evidenziato che la realizzazione della vasca di laminazione all'interno dell'area della ex Miniera di Brenno costituisce la migliore soluzione in quanto presenta, rispetto agli altri possibili scenari, una serie di vantaggi in merito a:

- **Morfologia attuale:** *la morfologia a "fossa" risultante dall'attività estrattiva è la più favorevole per la realizzazione di una vasca di laminazione in quanto non richiede la realizzazione di argini artificiali o interventi simili che si configurerebbero, di fatto, come una diga artificiale.*
- **Volumetria:** *la dimensione del vuoto disponibile in seguito all'attività estrattiva svolta consente la realizzazione di una vasca con volumetria sufficiente per la laminazione delle piene nei periodi critici (oltre 1'000'000 m³).*



- **Efficacia:** essendo localizzata a monte consente la salvaguarda di tutto il territorio lungo il percorso del fiume evitando quindi eventuali altri interventi minori che comporterebbero ulteriori costi ed impatti ambientali.
- **Impatto ambientale:** l'intervento non interesserà nuove aree ma un'area degradata dall'attività estrattiva appena cessata che deve comunque essere sottoposta ad interventi di riqualificazione ambientale. L'inserimento della realizzazione della vasca di laminazione nell'ambito di un progetto generale di sistemazione finale del sito risulta compatibile con una sua riqualificazione ambientale complessiva, nonché con la futura fruibilità di una parte dell'area.
- **Disponibilità a breve termine:** la configurazione morfologica attuale, caratterizzata dalla presenza di un grande "vuoto" consente di ritenere possibile lo svolgimento simultaneo delle attività di laminazione delle piene e di recupero ambientale del sito.
- **Costi:** la disponibilità dei vuoti necessari per la realizzazione dell'intervento comporta una riduzione significativa dei costi relativi allo scavo e movimentazione di materiale. Inoltre la prossimità dell'area della miniera al Torrente Bevera permette di contenere i costi di realizzazione delle opere di captazione e restituzione delle acque.

Sulla base delle analisi preliminari effettuate e dei risultati ottenuti è stata scelta come alternativa progettuale la realizzazione della vasca di laminazione all'interno della Cava di Brenno.

Nella fase successiva, le analisi di dettaglio sono state concentrate sulle caratteristiche del sito e sulla valutazione dei diversi parametri tecnici necessari per l'elaborazione di un progetto preliminare. In particolar modo, è stata eseguita un'analisi delle caratteristiche geotecniche e delle condizioni di stabilità a medio lungo termine dei fronti di scavo sia nelle condizioni previste nel progetto autorizzato, sia alla presenza della vasca di laminazione".

Gli Scriventi concordano con le valutazioni sopra riportate e in particolare con la scelta di utilizzare la Cava di Brenno per la laminazione delle portate di piena della Bevera di Molteno. Tuttavia la soluzione progettuale definitiva contiene alcune modifiche, anche consistenti, rispetto a quella delineata in fase preliminare: le motivazioni sono riportate nello specifico paragrafo (§6).

5.1.5 Ipotesi 4: riempimento della cava fino a quota 235 m s.l.m.

Sempre in sede di Progetto Preliminare, nell'ambito della soluzione preferita ("Scenario B") prima descritta e sulla scorta degli approfondimenti geotecnici condotti dal prof. Di Prisco, i tecnici del Parco hanno vagliato un'ulteriore serie di alternative progettuali di dettaglio tra le quali la prima "consisterebbe nel riempimento progressivo della miniera sino a raggiungere quota 235 metri sul livello del mare lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera a quota 245 m s.l.m. circa per la laminazione delle piene.

Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, non garantirebbe la stabilità delle pareti in quanto sarebbe mantenuta la morfologia attualmente prevista dal progetto autorizzato e quindi sarebbero riscontrate tutte le criticità evidenziate dall'analisi geotecnica eseguita. Inoltre, l'area della



vasca rimarrebbe scollegata dall'area esterna, a causa della porzione di circa 10 m di altezza di parete in roccia esposta, rendendo critico l'inserimento paesaggistico dell'opera e la fruibilità futura dell'area (...).

Una possibile soluzione sarebbe il rimodellamento morfologico con materiale di riporto sulle pareti esposte nell'area tra le quote 235 e 245 m s.l.m. Questo intervento potrebbe risolvere il problema della stabilità a nord, dove l'altezza del fronte libero rimanente sarebbe contenuta. Nella parete a sud, invece, dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte, elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.) rimarrebbero le condizioni critiche attuali già evidenziate dalle analisi geotecniche eseguite.

Un altro aspetto da considerare è che le condizioni descritte si verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, circa 3.0 milioni di metri cubi, si deve prevedere un periodo di almeno 25-30 anni per l'avviamento della vasca di laminazione.

Questa prima alternativa che, nonostante non richieda interventi sostanziali all'esterno dell'area della miniera, non è stata considerata nel prosieguo del progetto in quanto come evidenziato non consente il rispetto delle condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione".

Gli Scriventi concordano integralmente con le valutazioni sopra riportate.

5.1.6 Ipotesi 5: riempimento della cava con espansione dello scavo verso nord

La seconda ipotesi di dettaglio esaminata dai tecnici del Parco in sede di Progetto Preliminare consiste "in un'espansione dello scavo verso nord sulla superficie attuale del Parco nel riempimento progressivo della miniera sino a raggiungere quota 230 metri sul livello del mare, lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera per la laminazione delle piene. Lo scopo sarebbe quello di allontanare per quanto possibile l'area di accumulo delle acque dalla parete sud che presenta le condizioni più critiche dal punto di vista di stabilità dei fronti.

Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, comporta in ogni caso la ridefinizione dei profili di pendio, a nord verrebbero riprofilati a 30° rispettando completamente le indicazioni emerse dall'analisi geotecniche. Nella parete a sud, invece, dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte, elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.), le condizioni di stabilità sarebbero garantite nel settore sudovest dove il riporto di materiale consentirebbe di rispettare le indicazioni dell'analisi geotecnica, mentre, nella parte centrale del fronte rimarrebbero sostanzialmente le condizioni critiche attuali già evidenziate dalle analisi geotecniche eseguite. Anche in questo caso si deve considerare che le condizioni descritte si verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, (...), si deve prevedere un periodo di almeno 12-15 anni per l'avviamento della vasca di laminazione.



L'intervento di ampliamento verso nord andrebbe ad interessare un'area recuperata in precedenza e attualmente adibita a parco pubblico.

Nel recupero ambientale di questa area sono stati utilizzati materiali provenienti dalla scopertura dell'area della miniera quindi i nuovi fronti dovranno essere progettati sulla base di un'accurata indagine geotecnica. Tale intervento comporterebbe lo scavo e movimentazione di circa 0.5 milioni di metri cubi di materiale da destinare al riempimento della fossa attuale: ciò comporterebbe da un lato un forte impatto negativo su un'area del parco naturale già recuperata, dall'altro potrebbe ridurre i tempi di rimodellamento di 2-3 anni.

Questa alternativa non è stata considerata nel prosieguo del progetto in quanto come evidenziato consente solo in parte il rispetto delle condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione, comporta un inserimento paesaggistico ambientale piuttosto critico e limita fortemente la fruibilità del sito. Infine, va sottolineato che anche in questa soluzione le possibilità di sfruttare sinergie con l'attività privata in corso sono molto limitate e ciò comporterebbe maggiori costi dell'opera, in particolare se si considerano gli interventi di rimodellamento morfologico necessari. Costo totale stimato dell'intervento 7-8 milioni di euro".

Gli Scriventi concordano integralmente con le valutazioni sopra riportate.

5.1.7 Ipotesi 6: riempimento di una parte della miniera fino a quota 240-250 m s.l.m. e utilizzo della sola zona est della miniera come vasca di laminazione

Un'ulteriore soluzione di dettaglio esaminata dai tecnici del Parco in sede di Progetto Preliminare "consiste nel riempimento dal bordo miniera (250 m s.l.m.) alla quota 240 m s.l.m. di tutta la zona ovest della Cava e nell'utilizzo della sola parte a est come vasca di laminazione. Quest'ultima area verrà riempita fino a 210 m s.l.m. lasciando il restante dislivello sino al bordo miniera per la laminazione delle piene.

Naturalmente questa soluzione, per quanto esaminato in sede di analisi geotecniche, comporta in ogni caso la ridefinizione dei profili di pendio nell'area di accumulo delle acque utilizzando il materiale di riempimento. I nuovi profili dovranno comunque rispettare la pendenza media di circa 20° indicate dalle indagini geotecniche per le scarpate nell'area di accumulo realizzate con materiale di riporto, ciò comporterà una significativa riduzione del volume effettivo della vasca non superiore al 40-50% del volume necessario.

Anche in questo caso si deve considerare che le condizioni descritte si verificherebbero solo al completamento dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico e, quindi, nella fase di realizzazione le condizioni morfologiche non consentirebbero l'utilizzo dell'area come vasca di laminazione in condizioni di sicurezza. Considerando i maggiori volumi necessari per completare il riempimento della fossa e il rimodellamento delle pareti, circa 3.5 milioni di metri cubi, si deve prevedere un periodo di almeno 25 anni per l'avviamento della vasca di laminazione in condizioni di sicurezza.

Questa alternativa non è stata considerata nel prosieguo del progetto per l'insufficiente capacità di laminazione e perché, come evidenziato, richiede un lungo periodo per l'avviamento della vasca di laminazione in condizioni di sicurezza".



Gli Scriventi concordano integralmente con le valutazioni sopra riportate.

5.1.8 Ipotesi 7: riempimento totale della cava con massi ciclopici

I tecnici del Parco hanno esaminato anche questa soluzione, seppur la sua attuazione appaia già al primo impatto quale molto difficoltosa a causa delle problematiche in essa comunque evidenziate.

Essa consisterebbe "nel riempimento totale della miniera, fino alla quota di 250 m s.l.m., con massi ciclopici ricoperti in superficie con un manto erboso. Lo scopo sarebbe quello di creare attraverso il riempimento un volume di materiale con capacità di accumulo negli spazi interstiziali. In questo caso il volume di invaso sarebbe ricavato dai vuoti presenti tra i massi. Naturalmente questa soluzione non comporterebbe la modifica verso l'esterno dell'attuale morfologia dell'area della miniera. La sistemazione finale proposta con questo tipo di intervento dovrebbe garantire le condizioni di stabilità del sito a medio lungo termine. Tuttavia, sarebbero da verificare le condizioni della parete sud che rimarrebbe con le elevate pendenze attuali e verrebbe comunque a contatto con le acque sotto la quota finale di riempimento (245 m s.l.m. circa).

Gli aspetti più critici di questa soluzione riguardano sia la tempistica e il costo di un riempimento di questo natura di un vuoto di 3.5-4.0 milioni di metri cubi sia la capacità di riempimento in breve tempo di un volume significativo come quello stimato. Inoltre, si registrerebbe un progressivo intasamento degli spazi interstiziali con perdita di capacità di accumulo. Infine, il costo di realizzazione di questo intervento risulterebbe sicuramente eccessivo, dell'ordine di alcune decine di milioni di euro. Questa soluzione che non prevedrebbe interventi rilevanti all'esterno dell'area della miniera non è stata considerata nel prosieguo per l'inadeguatezza della scelta tecnica e per i costi ed i tempi necessari per la realizzazione".

Gli Scriventi concordano integralmente con le valutazioni sopra riportate.

5.1.9 Ipotesi 8: riprofilatura della parete sud e parziale riempimento della cava

La quinta soluzione di dettaglio esaminata in sede di Progetto Preliminare "consisterebbe nell'attuare una riprofilatura della parete sud dove si verificano le condizioni più critiche (maggiore altezza del fronte, elevata pendenza delle pareti, disposizione meno favorevole degli strati, presenza di eventi franosi, ecc.) in accordo con le indicazioni geotecniche al fine di garantire le condizioni di stabilità a medio lungo termine. Parallelamente si procederebbe ad un parziale riempimento della miniera fino alla quota 215 m s.l.m. circa con un raccordo a pendenze contenute, come indicato nelle analisi geotecniche, al fine di creare una zona depressa con una capacità di accumulo equivalente al volume richiesto. Il raccordo dell'area pianeggiante con le pareti realizzato con l'apporto di materiale consentirebbe sia di garantire le condizioni di stabilità nella parete nord, sia di permettere diverse sistemazioni morfologiche e paesaggistiche dell'area. La morfologia finale del sito consentirebbe in questo caso progettare una sistemazione finale con un adeguato inserimento paesaggistico ed ambientale nel contesto locale e con diverse possibilità di fruizione futura del sito.

Anche in questo caso, le condizioni descritte sono relative alla situazione a fine dei lavori di riempimento e rimodellamento morfologico. Essendo il livello di riempimento inferiore però, il volume di materiale necessario sarà dell'ordine dei 2.0 milioni di metri cubi ed inoltre, la riprofilatura della parete sud comporterà la rimozione



di un volume significativo di materiale di scopertura messo a dimora nella parte più alta del fronte nella fase precedente di coltivazione. L'aspetto critico di questa soluzione è senza dubbio la complessità della rimodellazione morfologica sia per quanto riguarda le volumetrie necessarie sia i relativi costi che, conclusa l'attività estrattiva, ricadrebbero come costo sugli importi di progetto.

Questa alternativa, come evidenziato richiede interventi di riprofilatura che interessano l'area della Torre di Brenno, risulta comunque la più idonea per lo sviluppo del progetto in quanto sicuramente consente sia di progettare una sistemazione finale che rispetti tutte le condizioni ritenute necessarie per garantire la sicurezza del sito a lungo termine sia permetterebbe un adeguato reinserimento paesaggistico ed ambientale del sito nel contesto locale con diverse possibilità di fruibilità futura. Tuttavia i costi connessi superano le attuali disponibilità sia del soggetto pubblico sia dell'attuale proprietario della miniera".

Gli Scriventi concordano integralmente con le valutazioni sopra riportate.

5.1.10 Ipotesi 9: impermeabilizzazione delle pareti e parziale riempimento della cava

L'ultima soluzione di dettaglio vagliata dai tecnici del Parco è stata anche quella che loro intendevano realizzare. Essa "consisterebbe in attuare una messa in sicurezza e impermeabilizzazione delle sponde attraverso getti di spritz-beton armato al fine di garantire le condizioni di stabilità a medio lungo termine. Parallelamente si procederebbe ad un parziale riempimento della miniera fino alla quota 203 m s.l.m., alla base, e 236 m s.l.m. sui lati creando così una zona depressa con una capacità di accumulo equivalente al volume richiesto.



La morfologia finale del sito consentirebbe in questo caso progettare una sistemazione finale del sito con un relativo inserimento paesaggistico ed ambientale nel contesto locale e con possibilità di fruizione futura del sito almeno per la parte pianeggiante posta a quota 236 m s.l.m.



Il vantaggio di questa soluzione, rispetto alla precedente, è la possibilità di contenere i costi complessivi dell'intervento, sia pubblico che privato, entro 11 milioni di Euro".

Gli Scriventi concordano parzialmente con le valutazioni sopra riportate: **per motivazioni legate a precise scelte tecniche, oltre ad una disponibilità finanziaria consistentemente ridotta, si ritiene che la miglior soluzione progettuale sia quella descritta in sintesi nel successivo paragrafo e approfondita nel capitolo §6.**

5.1.11 Ipotesi 10: soluzione progettuale adottata

Avendo escluso le numerose ipotesi progettuali alternative descritte in precedenza e pur confermato l'idea di base di utilizzare la cava di Brenno quale cassa di laminazione, la preferenza degli scriventi si è indirizzata sulla realizzazione di un'opera di presa sulla sponda sinistra della Bevera di Molteno in prossimità dell'ingresso del Parco Comunale di Brenno. La derivazione sarà attivata in caso di eventi di piena della Bevera il cui colmo superi il massimo valore di portata compatibile con le condizioni idrauliche di valle ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) e avverrà per mezzo di quattro luci sottobattente servite da paratoie a tenuta su quattro lati.

Il flusso sarà indirizzato ad un canale scolmatore che presenterà due tratti ben distinti per caratteristiche geometriche, il primo dei quali avrà pendenza ridotta, una sezione più ampia e sarà raccordato con il secondo tratto da realizzare sul sedime dell'attuale pista di accesso al fondo della cava.

Quest'ultima è caratterizzata da pendenze molto elevate e, pertanto, a fronte della possibile riduzione della sezione del canale grazie all'atteso incremento delle velocità di deflusso della corrente, si renderà necessario limitare queste ultime incrementando la scabrezza del fondo scorrevole con massi disposti alla rinfusa e cementati. Il rivestimento del canale, originariamente non previsto, eviterà anche l'instaurarsi di rischiose infiltrazioni idriche e consistenti fenomeni erosivi per azione della corrente.

Per le motivazioni descritte più in dettaglio nel capitolo §6, in sede di progetto definitivo all'interno della cava si era scelto di mantenere un lago permanente il cui **livello minimo si attestasse su 215 m s.l.m. mentre il livello massimo di regolazione non potesse superare i 236 m s.l.m.**

Tuttavia, l'esigenza di poter accedere al fondo della cava nel periodo transitorio necessario ad eseguire il previsto parziale riempimento della stessa ha indotto gli scriventi a studiare un aggiornamento del sistema di svuotamento avente le seguenti finalità:

- allontanare le acque piovane e quelle invase per ruscellamento superficiale e/o per venute dai versanti della cava;
- svuotare la cava con sufficiente rapidità al fine di ripristinare l'originario volume d'invaso, che si ridurrà in occasione di eventi idrologici intensi grazie all'attivazione dell'opera di presa e del canale scolmatore;
- proseguire con lo svuotamento della cava fino al raggiungimento della quota minima di fondo (190 m s.l.m.) qualora sia necessario consentire il deposito in loco del materiale previsto per il riempimento.

Il primo scopo sarà raggiunto grazie all'installazione di una pompa a galleggiante in grado di attivarsi in continuo non appena il sensore rileverà un incremento del livello idrico minimo prefissato.



Il secondo obiettivo sarà conseguito mediante installazione di una coppia di pompe, ciascuna equipaggiata con modulo di galleggiamento e in grado di assicurare una portata in mandata variabile in funzione della prevalenza da superare.

Le pompe saranno ancorate ad un pontile galleggiante e connesse ad una coppia di condotte che addurranno la portata ad una vasca collocata nei pressi del ciglio di monte della scarpata nord-est della cava di Brenno. Da questa le acque defluiranno a pelo libero nuovamente nella Bevera di Molteno grazie ad una condotta interrata il cui sbocco sarà presidiato da una valvola antiriflusso del tipo a "clapet".

Rinviamo al capitolo §6 per una descrizione di maggior dettaglio delle opere in progetto, si sottolinea come la principale differenza tra le soluzioni progettuali identificate in sede di Progetto Preliminare e quelle del presente Definitivo risieda proprio nell'opera di svuotamento. Infatti, non sarà più realizzata la torre di sollevamento in calcestruzzo armato, molto più rigida e impattante, ma al suo posto si costruirà il sistema flessibile galleggiante di cui sopra.

5.2 MODELLAZIONE NUMERICA IDRAULICA: DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche per il dimensionamento delle opere in progetto e il calcolo dell'efficienza di laminazione delle stesse sul picco dell'onda di piena per TR = 200 anni della Bevera di Molteno sono state condotte grazie alla predisposizione di un modello numerico idraulico in moto vario.

L'allestimento del modello è avvenuto mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS River Analysis System, sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineering – Hydrologic Engineering Center. La versione del software utilizzata è la 4.1, aggiornata al mese di gennaio 2010.

HEC-RAS consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali e artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori, luci servite da paratoie, ecc.) eventualmente presenti nel sistema. Possono essere modellati sia canali singoli che reti di canali naturali o artificiali, chiusi o aperti, con l'integrazione di profili di corrente lenta, veloce o di tipo "misto".

Un evento di piena è idraulicamente descritto dalle equazioni del moto vario per correnti a pelo libero. Esse costituiscono un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine, non lineare e non integrabile analiticamente, dette equazioni di De Saint Venant.

Si assume di studiare il moto dal punto di vista monodimensionale, pertanto l'unica variabile spaziale presente è l'ascissa curvilinea.

Le variabili che compaiono nelle equazioni sono funzioni dello spazio e del tempo e sono caratterizzate dal fatto che le derivate parziali spaziali e temporali sono diverse da zero: si consideri ad esempio il vettore di velocità $v = v(x,t)$, per quanto detto, segue:

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0 \text{ e } \frac{\partial v}{\partial x} \neq 0$$



in ogni istante e in ogni punto del dominio.

Le due equazioni di D.S.V. elencate di seguito sono valide assumendo le seguenti ipotesi:

- Corrente gradualmente variata: le linee di flusso si mantengono parallele e sensibilmente orizzontali. Da questa ipotesi segue che:
 - Le sezioni fluviali possono essere ritenute piane
 - La distribuzione delle pressioni è di tipo idrostatico, per cui vale la

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{cost.}$$

- Sezioni trasversali verticali: causa la ridotta pendenza dell'alveo si può assumere che l'affondamento del fondo alveo (misurato sulla verticale) coincida con l'altezza del pelo libero (misurata sulla normale al fondo).
- Densità del fluido costante, cioè il fluido è incomprimibile.

5.2.1 Equazione di continuità

Rappresenta il principio di conservazione della massa secondo il quale, per un volume di controllo W, la differenza tra la portata in ingresso al volume e la portata in uscita è pari alla variazione di volume all'interno del volume di controllo sommata agli apporti laterali:

$$Q_i - Q_u = \frac{\partial W}{\partial t} + Q_l$$

5.2.2 Equazione di bilancio della quantità di moto (equazione del moto)

$$\frac{\partial(sQ)}{\partial t} + \frac{\partial \left[\beta \left(\frac{Q^2}{A} \right) \right]}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L' = 0$$

dove:

- Q = portata (m^3/s);
- h = livello idrico (m);
- x = distanza longitudinale misurata lungo il corso d'acqua (m);
- t = tempo (s);
- s = fattore di sinuosità funzione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo ai diversi livelli idrici;



- A = sezione attiva di deflusso (m^2);
- A_0 = sezione non attiva di deflusso (m^2);
- q = portata specifica in ingresso o uscita ($m^3/s\ m$);
- β = coefficiente di distribuzione delle velocità;
- S_f = pendenza della linea dei carichi totali, valutata con l'equazione di Manning di moto uniforme stazionario:

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

- S_e = pendenza della linea dei carichi per variazioni di forma della sezione (resistenze localizzate);
- S_i = pendenza della linea dei carichi conseguente a dissipazioni interne di tipo viscoso per fluidi di tipo non newtoniano;
- L' = quantità di moto effetto di una corrente laterale entrante o uscente perpendicolarmente alla direzione della corrente principale.

Il sistema costituito dalle precedenti equazioni non è integrabile analiticamente, pertanto la risoluzione avviene per via numerica come descritto di seguito.

5.2.3 Metodo risolutivo numerico alle differenze finite

Il metodo può essere utilizzato per la risoluzione del sistema di equazioni di D.S.V. ed è lo stesso utilizzato da HEC – RAS. La procedura di calcolo utilizzata per la risoluzione delle equazioni si basa su uno schema implicito alle differenze finite, applicato a celle di calcolo a quattro nodi. In questo schema le derivate spaziali e i valori delle funzioni sono calcolati in un punto interno alla cella, di coordinate $[0,5; (n + \theta)]$.

Il sistema di equazioni viene così trasformato, per ogni tronco di corso d'acqua, in una successione di equazioni algebriche calcolate all'interno di ogni cella. Si perviene così a una soluzione simultanea su tutto il tronco, in cui l'intervallo temporale di calcolo può essere maggiore rispetto a un analogo schema di tipo esplicito. Le analisi di stabilità di Von Neumann mostrano che lo schema implicito è incondizionatamente stabile (teoricamente) per $0,5 < \theta < 1$ e condizionatamente stabile per $\theta = 0,5$.

Se lo schema risolutivo implicito alle differenze finite viene applicato direttamente si ottiene un sistema algebrico non lineare che può essere risolto con il metodo iterativo di Newton – Raphson. Tuttavia questo metodo presenta problemi di convergenza della soluzione in casi di discontinuità della geometria. Per evitare di risolvere il sistema non lineare, Preissman e Chen (1973) hanno sviluppato una tecnica di linearizzazione delle equazioni, che è applicata anche all'interno del software HEC–RAS.

La prima fase necessaria all'implementazione del modello consiste nel creare la geometria del sistema, ossia nel rappresentare l'alveo da analizzare, tracciando il sistema dei corsi d'acqua e le loro connessioni, secondo la



direzione di scorrimento dell'acqua. Successivamente si provvede ad inserire le sezioni trasversali estratte dalle basi topografiche disponibili, definendo le quote e le distanze progressive dal punto di origine di ciascuna sezione, convenzionalmente individuato in sponda sinistra, e ad indicare le distanze reciproche procedendo in senso contrario a quello dello scorrimento dell'acqua. Per ogni sezione si identificano, mediante l'inserimento della distanza progressiva specifica, l'alveo e le zone golenali.

L'operazione prosegue con l'inserimento dei dati di scabrezza dell'alveo e delle sponde, secondo il coefficiente n di *Manning*. Il programma, al termine dell'inserimento delle informazioni geometriche, restituisce il grafico delle sezioni e il profilo altimetrico dell'alveo.

All'interno della geometria che schematizza il sistema si inseriscono inoltre le strutture presenti lungo il corso d'acqua, come ponti o soglie.

Il calcolo del livello del pelo libero si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, valuta le perdite di carico mediante l'equazione di Manning e tiene conto di perdite localizzate a mezzo di opportuni coefficienti moltiplicativi del carico cinetico. L'equazione del momento è utilizzata ogni volta in cui il profilo del moto subisce brusche variazioni, ad esempio in corrispondenza di ponti, confluenze o risalti idraulici.

Il calcolo dei profili idraulici è avvenuto in "moto vario" e si basa sulle leggi fisiche che governano il flusso in un corso d'acqua, ossia il "principio di conservazione della massa" e quello di "conservazione del momento"; tali leggi sono matematicamente espresse secondo equazioni differenziali come precedentemente descritto.

5.3 SCENARI SIMULATI E COSTRUZIONE DELLA GEOMETRIA DEI MODELLI

I calcoli e le verifiche idrauliche sono state condotte allestendo due distinti modelli numerici:

- modello in moto vario del tratto d'interesse della Bevera di Molteno per il dimensionamento dell'opera di presa;
- modello in moto stazionario per il dimensionamento del canale scolmatore.

Il risultato calcolato con il primo di essi, in termini di altezza della corrente in corrispondenza della sezione d'interesse (opera di presa), è stato assunto quale condizione al contorno di monte per il secondo modello.

La geometria in condizioni attuali della Bevera di Molteno è stata definita per mezzo di n. 35 sezioni estrapolate dalle informazioni topografiche disponibili, previa verifica di attendibilità delle stesse. Sono poi state introdotte ulteriori informazioni geometriche per il dimensionamento delle opere strutturali.

Complessivamente il tratto d'interesse della Bevera di Molteno si estende dalla località "Colombaio", a nord-est della Cava, sin quasi alla confluenza nel fiume Lambro, per uno sviluppo di oltre 2 km (cfr. Figura 12).

La pendenza longitudinale media del tratto di corso d'acqua in esame si attesta intorno al 3 ‰.

La geometria del canale scolmatore è invece stata definita affinché esso sia adeguato al deflusso della portata di progetto, pur rispettando i vincoli geometrici esistenti: pendenza della pista di accesso al fondo cava, necessità di mantenere la funzionalità di quest'ultima per consentire l'accesso ai mezzi pesanti che trasporteranno il



materiale di riempimento, etc. La geometria è stata costruita per mezzo di n. 25 sezioni di progetto (cfr. Figura 13).



Figura 12 – Traccia delle sezioni idrauliche utilizzate per la predisposizione del modello numerico idraulico della Bevera di Molteno



Figura 13 – Traccia delle sezioni idrauliche utilizzate per la predisposizione del modello numerico idraulico del canale scumatore che sarà realizzato lungo la pista di accesso al fondo cava già esistente

La pendenza del canale scumatore sarà modesta nel tratto iniziale (1%) per poi crescere repentinamente laddove esso seguirà la traccia della rampa di accesso al fondo cava fino a raggiungere valori di oltre il 17%.

Per tal ragione in questo tratto di canale si è reso necessario prevedere un rivestimento del fondo in massi che svolgeranno funzione di macroscabrezze.



La definizione delle condizioni di resistenza al moto della Bevera di Molteno (alveo e golena) è avvenuta introducendo dei coefficienti di scabrezza, caratterizzati da adeguati valori del parametro n di Manning, espresso in $s/m^{1/3}$.

In generale, tale coefficiente dipende dalla granulometria del materiale presente in alveo, dalla regolarità delle sezioni, dall'andamento planimetrico del corso d'acqua, dalle caratteristiche idrauliche delle sponde e dalla possibilità che il materiale di fondo subisca fenomeni di trasporto. Esistono alcune formulazioni che consentono di determinare il coefficiente di scabrezza, note le caratteristiche medie del materiale presente in alveo, facendo ricorso a espressioni logaritmiche derivate dalla teoria della turbolenza.

Per il corso d'acqua il valore caratteristico della scabrezza in alveo e nelle aree golenali è stato definito attraverso l'analisi dei valori consigliati in letteratura (cfr. *"Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"*, allegata alla deliberazione n. 2/99 in data 11 maggio 1999 dell'A.d.B.Po) e dall'osservazione operata in sito.

Come accennato in precedenza, il canale scolmatore, con la sua lunghezza di circa 540 m, con larghezza di 6 m e pendenze che localmente supereranno il 17%, rappresenta una struttura la cui funzione non è limitata al convogliamento delle portate ma deve necessariamente includere una consistente capacità di dissipazione dell'energia cinetica della stessa corrente.

In questo senso si è ritenuto opportuno proporre una struttura in cls caratterizzata dalla presenza sul fondo di materiale lapideo di opportune dimensioni e annegato nel cls (cfr. §6.2 e tavole progettuali) allo scopo di assicurare scabrezze idonee per una sufficiente dissipazione energetica. Infatti, la soluzione consente di attribuire il seguente valore di scabrezza per il tratto a maggior pendenza: $n = 0,05 \text{ s/m}^{1/3}$ (coefficiente di Manning). La profondità di corrente conseguente è dell'ordine di $0,80 \div 1,20$ e le velocità attese di deflusso, come si vedrà più avanti, non supereranno mediamente i 7 m/s (se non localmente).

Considerando che alcuni tratti del canale saranno in curva, si è provveduto anche a calcolare il relativo sopralzo della corrente mediante le formulazioni di Hager per correnti supercritiche: l'altezza delle sponde sarà sufficiente a contenere la vena liquida.

5.3.1 Informazioni topografiche disponibili

Al fine di costituire un adeguato set di dati topografici per le finalità della commessa si è provveduto a raccogliere quanto già esistente e reso disponibile dalla committenza, oppure da altre fonti, oltre a far eseguire uno specifico rilievo topografico di dettaglio.

In particolare, sono stati assunti i seguenti riferimenti topografici:

- Digital Terrain Model (DTM) ottenuto per elaborazione di rilievo lidar (Prodotti Lidar Regione Lombardia, Griglia 1x1 (Bacini e aree critiche);
- Rilievi topografici plano-altimetrici dell'area di cava eseguiti nel tempo dalla Holcim S.p.A. per monitorare lo stato di avanzamento dell'attività estrattiva;



- Rilievi topografici plano-altimetrici di dettaglio eseguiti presso le aree dell'opera di presa e di restituzione appositamente eseguiti nel mese di novembre 2014 dal geom. Davide Quadrini su incarico del Parco Regionale della Valle del Lambro e sotto la direzione degli Scriventi.

Le sezioni d'alveo estratte dal DTM, dagli altri dati disponibili e battute ex-novo nel corso del recente rilievo topografico eseguito specificatamente per lo svolgimento della presente commessa, sono state sottoposte ad un'approfondita verifica di congruenza.

5.4 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

5.4.1 Bevera di Molteno – Stato attuale

Il primo scenario simulato con il supporto del modello numerico è stato quello relativo alla condizione attuale del tratto di corso d'acqua indagato in riferimento alle portate di verifica (TR = 200 anni) ed alla configurazione morfologica esistente.

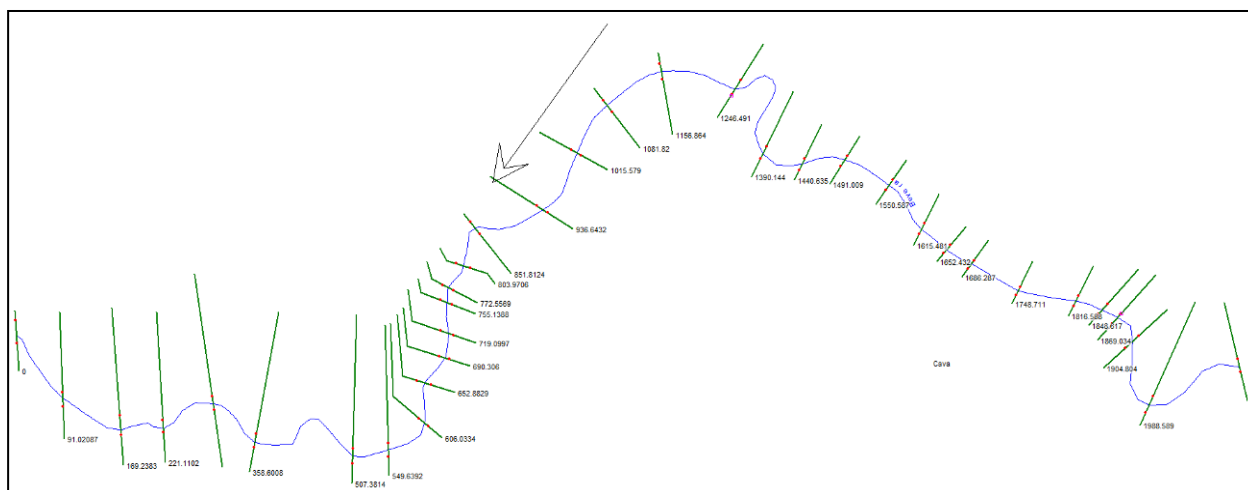


Figura 14 – Geometria di calcolo per la situazione attuale della Bevera di Molteno

Per quanto riguarda le portate defluenti utilizzate per il calcolo del profilo di moto si è imposto quale condizione al contorno di monte l'idrogramma in ingresso al sistema caratterizzato da un picco di portata pari a $59 \text{ m}^3/\text{s}$, così come individuato nello specifico paragrafo (§4.3). Invece, quale condizione al contorno di valle è stata imposta la pendenza media dell'alveo.

La simulazione numerica ha quindi consentito di calcolare i livelli idrici massimi raggiunti in ciascuna sezione di calcolo, compresa quella in corrispondenza della quale sarà realizzata l'opera di presa, la loro evoluzione nel tempo e l'idrogramma di piena in uscita dal sistema. In ALLEGATO 1 sono inoltre riportati gli output completi ottenuti dal modello di calcolo in termini di sintesi delle principali grandezze idrauliche, profilo di piena ottenuto quale involucro dei massimi livelli raggiunti nel tratto di corso d'acqua d'interesse e massimi livelli idrici raggiunti per ciascuna sezione di calcolo con rappresentazione grafica della distribuzione della velocità di deflusso.

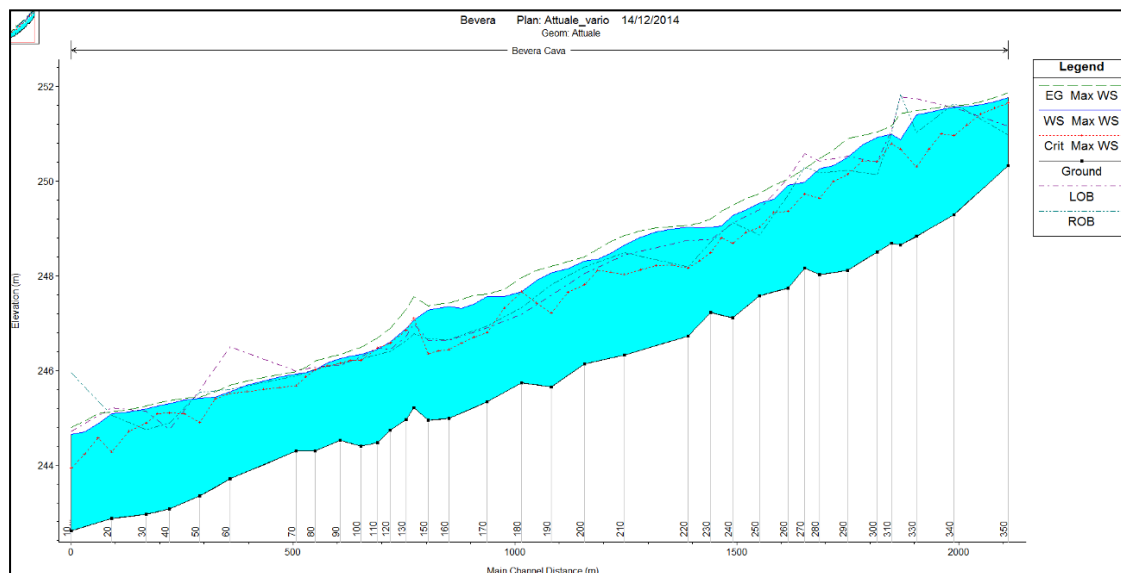


Figura 15 – Profilo di piena della Bevera di Molteno in condizioni attuali

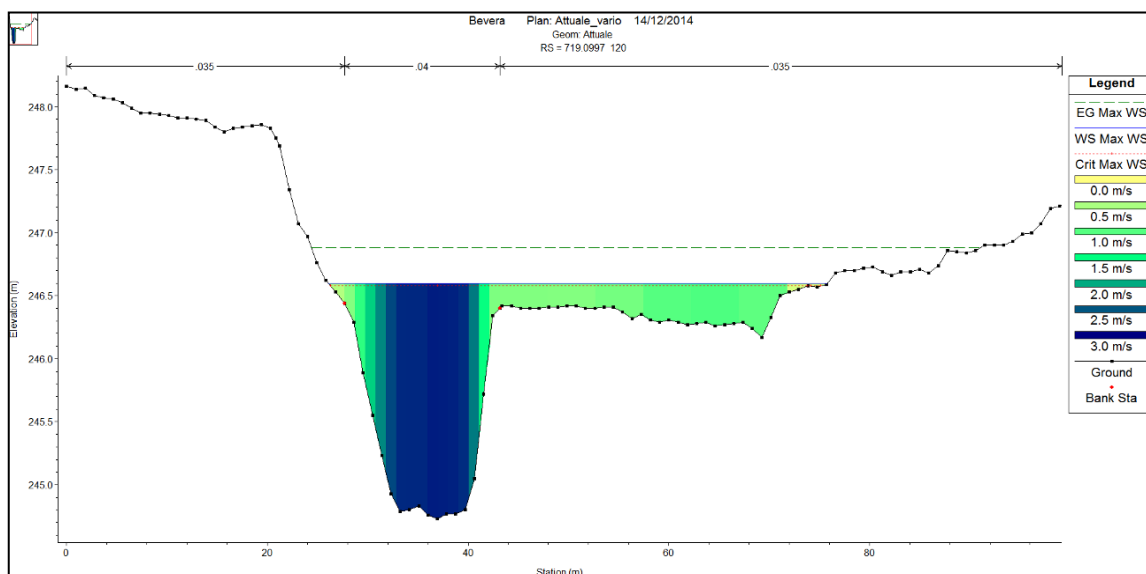


Figura 16 – Bevera di Molteno in condizioni attuali: sezione di calcolo n.120

A titolo di esempio in Figura 16 si riporta la rappresentazione della sezione di calcolo n.120: si può notare come la portata di piena defluisca con velocità relativamente ridotte (< 3 m/s) e con battenti inferiori a 2 m che determinano un parziale coinvolgimento delle aree perfluviali poste in destra idrografica.

5.4.1 Bevera di Molteno – Configurazione di progetto

Il secondo scenario considerato per le verifiche idrauliche è stato quello determinato dall'inserimento dell'opera di presa delle portate per la laminazione delle stesse. In questo scenario le portate di verifica in arrivo da monte



sono le stesse della condizione precedente, ossia quelle relative al tempo di ritorno duecentennale ($Q_{\text{picco}} = 59 \text{ m}^3/\text{s}$). Tuttavia, l'obiettivo della progettazione è proprio quello di scolmare una quota parte delle stesse affinché a valle defluisca una portata non superiore a $22 \text{ m}^3/\text{s}$, così come previsto nella pianificazione vigente (cfr. §4.3).

L'opera di presa sarà realizzata nei pressi dell'attuale accesso al Parco di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC) (cfr. §6.1) ed è stata pertanto dimensionata in modo tale da consentire la derivazione delle portate in eccesso: $59 - 22 = 37 \text{ m}^3/\text{s}$.

In sede di progetto preliminare si prevedeva che il carico idraulico necessario per il conseguimento dell'obiettivo fosse ottenuto mediante realizzazione di un'opera di sbarramento in alveo. Gli Scriventi hanno invece optato per una soluzione meno impattante dal punto di vista ambientale ed economico. Infatti, si è verificato che il naturale restringimento della sezione posta a valle dell'opera di presa (sez. 110) genera un fenomeno di rigurgito a monte in grado di garantire le necessarie condizioni di carico.

Il dimensionamento dell'opera è avvenuto per passi, imponendo una graduale variazione delle principali caratteristiche della stessa: numero e dimensioni geometriche delle luci, tipologia delle paratoie, quota di intradosso del nuovo attraversamento della strada comunale, modalità di funzionamento, etc. Ciò al fine di massimizzare la funzionalità dell'intervento in termini di efficienza di laminazione del colmo della portata di piena di progetto.

La scelta definitiva è ricaduta sulla realizzazione in sinistra idrografica di quattro luci, ciascuna delle quali avente larghezza 3,5 m e altezza 2,0 m. Ogni luce sarà servita da una paratoia a scorrimento verticale in grado di parzializzarne gradualmente e progressivamente la sezione sino ad annullarla del tutto in condizioni di riposo, ossia quando le portate nell'alveo della Bevera di Molteno sono ritenute compatibili con le condizioni di valle.

Il fondo alveo della Bevera in corrispondenza dell'opera di presa sarà protetto da una platea e saranno realizzate delle opere di difesa spondale in sinistra idrografia, a monte e valle della nuova opera, e in destra di fronte alla stessa.

In Figura 17 è mostrato lo schema grafico dell'opera, così come implementata nel modello numerico idraulico, nella configurazione di massima derivazione. Il livello idrico della Bevera in corrispondenza dell'opera di presa si attesta su 246.23 m s.l.m. Questo è il valore assunto quale condizione al contorno di monte per il dimensionamento del canale scolmatore che si diparte dall'opera di presa (cfr. §5.4.2).

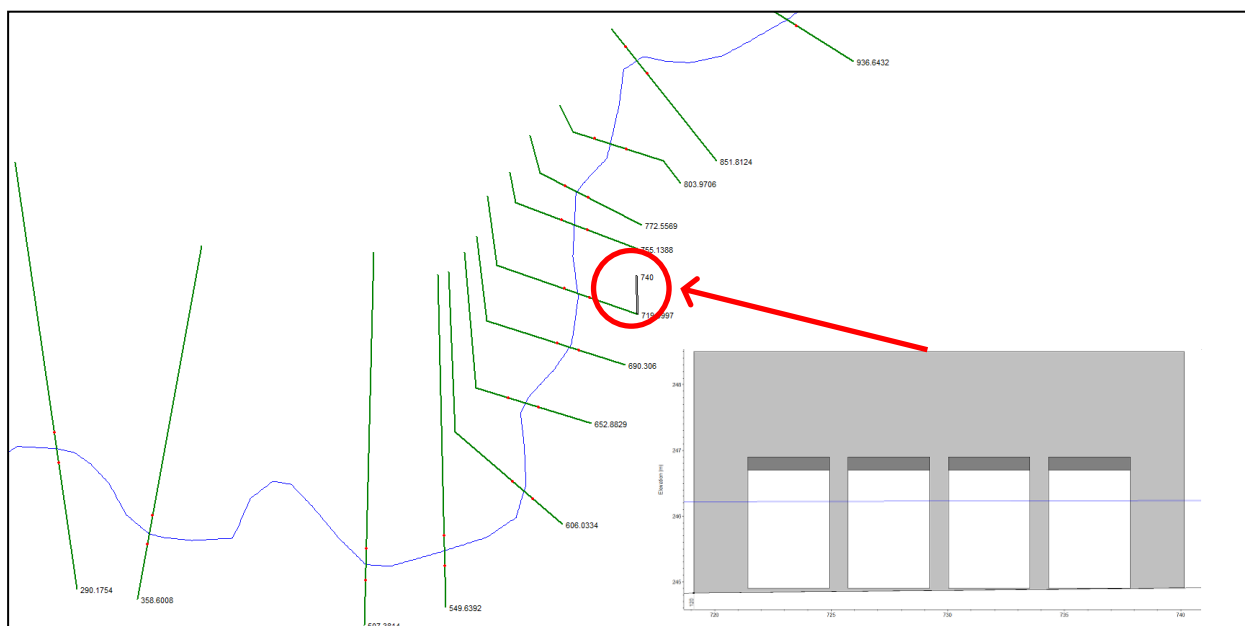


Figura 17 – Geometria di calcolo per la situazione attuale (Scenario "B"): oltre agli attraversamenti di via Fornacetta e "ex-Victory" è stata inserita anche l'opera di regolazione schematizzata in figura

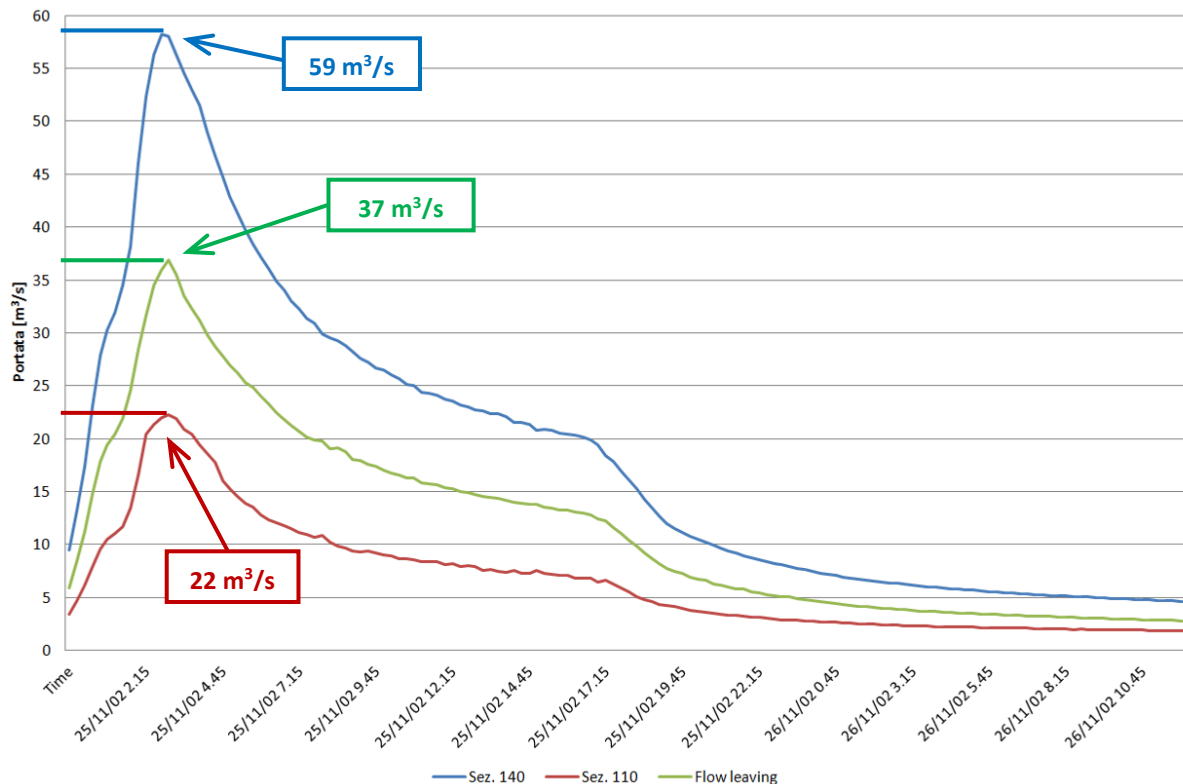


Figura 18 – Idrogrammi di piena della Bevera a monte e a valle dell'opera di presa e idrogramma della portata derivata e indirizzata al canale scolmatore



Nella precedente figura è riportato il confronto tra gli idrogrammi di piena attesi nella Bevera di Molteno a monte e a valle dell'opera di presa e l'idrogramma delle portate derivate e indirizzate al canale scolmatore: è evidente il raggiungimento dell'obiettivo progettuale, ossia garantire che a valle dell'opera non defluisca una portata maggiore di quella compatibile con le condizioni idrauliche del fiume Lambro (22 m³/s).

In particolare, facendo riferimento alla precedente Figura 18 e al fatto che la portata in alveo si riduce da 59 m³/s (condizioni attuali) a 22 m³/s, è possibile calcolare l'"efficienza di laminazione" dell'opera con la formulazione seguente:

$$\varepsilon = 1 - \max(Q_u) / \max(Q_i)$$

Il risultato è pari al 62,7%, che rappresenta un risultato significativo per casse di laminazione appartenenti alla tipologia "in derivazione" (cfr. §3.1).

Già in questa sede si ritiene importante sottolineare che la frequenza di attivazione dell'opera sarà relativamente ridotta, poiché avverrà soltanto in occasione di eventi idrologici parossistici. Per questa ragione sarà necessario movimentare le paratoie con cadenza almeno semestrale in modo da verificarne e assicurarne con continuità l'efficienza e la funzionalità.

Rinviando all'ALLEGATO 2 per il dettaglio analitico e integrale dei risultati ottenuti con la simulazione numerica idraulica, è utile osservare il profilo di piena mostrato in Figura 19. È evidente la riduzione dei livelli in corrispondenza dell'opera di presa grazie alla derivazione delle portate eccessive.

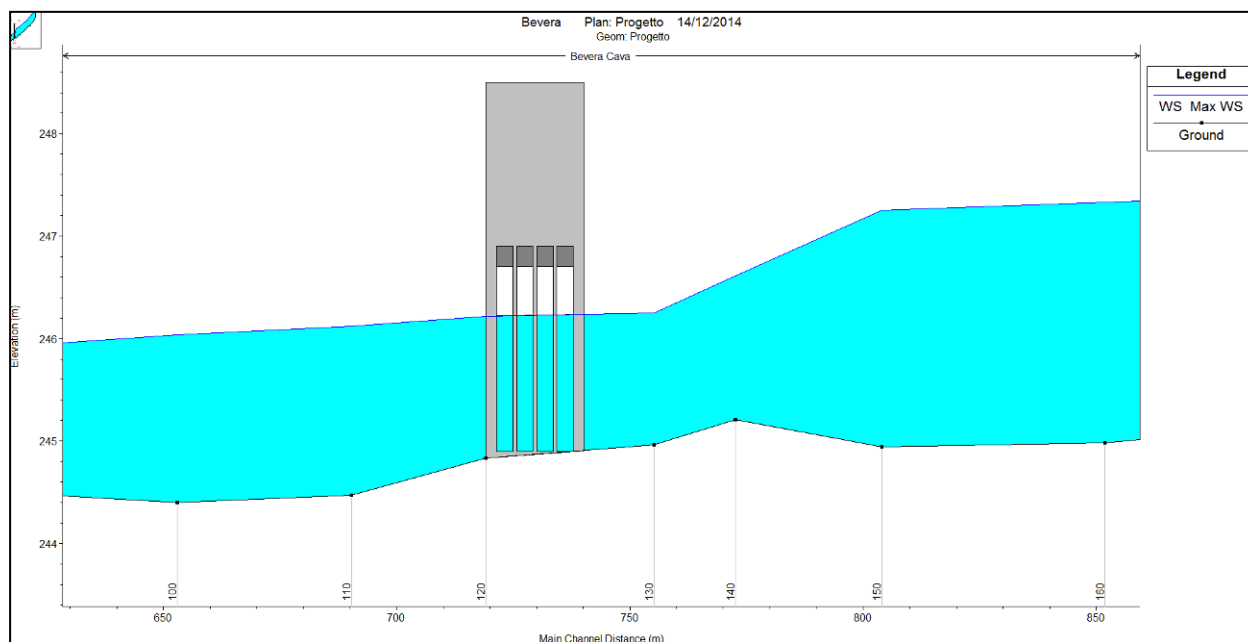


Figura 19 – Profilo di piena della Bevera di Molteno in corrispondenza dell'opera di presa che sarà realizzata in sinistra idrografica: è evidente la riduzione dei livelli idrici in alveo indotta dalla derivazione delle portate.



5.4.2 Canale scolmatore – Configurazione di progetto

Il terzo ed ultimo scenario considerato è quello simulato mediante l'allestimento di un modello numerico in moto stazionario al fine di dimensionare il canale scolmatore che sarà realizzato per convogliare le portate derivate al fondo della Cava di Brenno laddove, al termine del periodo transitorio legato al previsto riempimento parziale della cava, si formerà un lago permanente avente quota minima di regolazione 215 m s.l.m. Questo livello è stato assunto quale condizione al contorno di valle del modello, stante la prevista realizzazione di un'apposita vasca destinata alla dissipazione dell'energia posseduta dalla corrente idrica.

Invece, la condizione di monte è rappresentata dal livello idrico che si instaura nella Bevera di Molteno presso la sezione dell'opera di presa al momento del deflusso del colmo di piena, ossia quando il canale scolmatore riceve la portata massima per la quale deve essere dimensionato: 37 m³/s. Così come avvenuto per l'opera di presa, anche in questo caso il dimensionamento dell'opera è avvenuto per passi, imponendo una graduale variazione delle principali caratteristiche della stessa: tracciato del canale, ampiezza delle sezioni, scabrezza, etc.

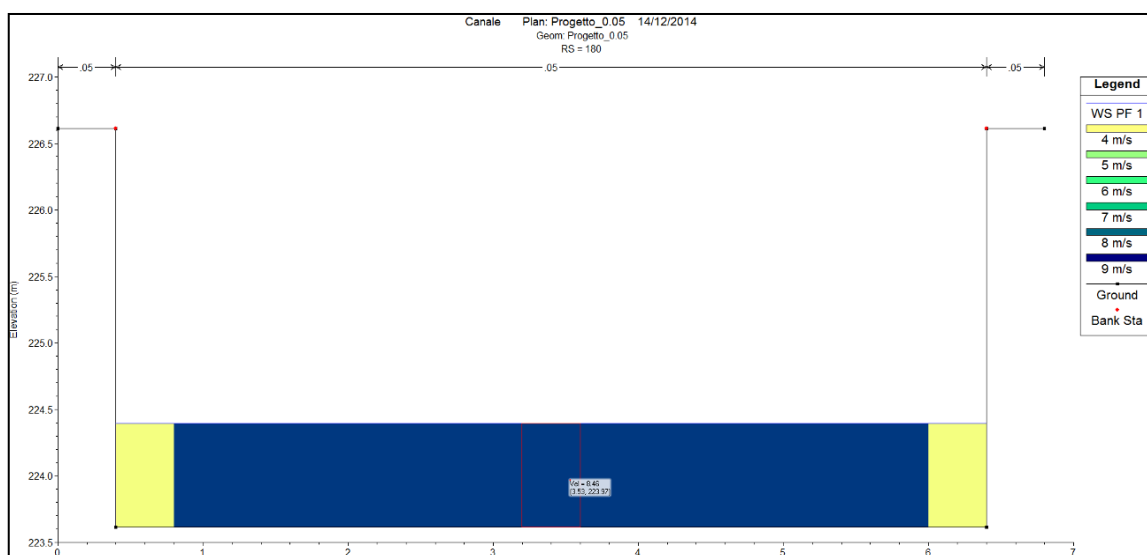


Figura 20 – Canale scolmatore: sezione di progetto n.180, laddove si registra la maggior pendenza di fondo del canale (17,6%). La velocità di deflusso attesa è di 8,5 m/s.

Come accennato in precedenza, quest'ultimo aspetto è stato quello che ha richiesto una maggiore attenzione, stante la ripidità della rampa di accesso al fondo cava, localmente superiore al 17%, lungo cui si svilupperà il tratto di valle del canale. Era infatti necessario individuare una tipologia di rivestimento che consentisse di dissipare diffusamente l'energia cinetica della corrente idrica. La soluzione individuata, grazie alle numerose simulazioni eseguite variando gradualmente il coefficiente di Manning, consiste nel rivestire i tratti più pendenti del fondo canale con massi di grossa pezzatura. Essi saranno annegati nel cls ed emergeranno per un'altezza sul fondo di circa 0,5 m. Ciò consente di assumere un valore del coefficiente di Manning pari a 0,05 m/s^{1/3}, che comporta un contenimento delle velocità di flusso entro gli 8,5 m/s, attesi in corrispondenza della sezione n. 180 laddove si registra la maggior pendenza di fondo: 17,6% (cfr. Figura 20).



La definizione del coefficiente di Manning è avvenuta anche sulla scorta delle esperienze empiriche descritte in letteratura, ad esempio nel testo di H.H. Barnes *"Roughness Characteristics of natural channels"* (1967).

L'ampiezza delle sezioni del canale varia tra un massimo di 16,4 m in corrispondenza dell'incile di monte, ossia all'opera di presa (cfr. sezione n.340, Figura 21), e un minimo di 6 m che si mantiene costante lungo l'intero tratto a pendenza elevata, ossia da sez. 230 sino allo scarico di fondo (cfr. Figura 20).

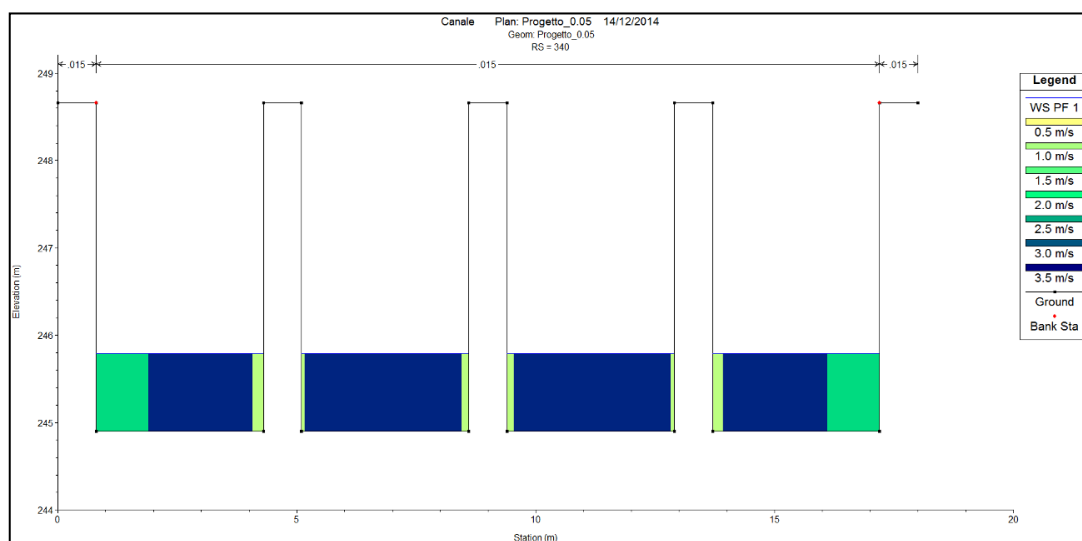


Figura 21 – Sezione di calcolo n.340 posta in corrispondenza dell'incile di monte del canale, ossia all'opera di presa. È la sezione in cui si registra la maggior larghezza del canale: 16,4 m

Nonostante all'interno della cava si consentirà la formazione del lago permanente con quota minima di regolazione fissata a 215 m s.l.m., la scelta di prolungare il canale sino a raggiungere quota 203 m s.l.m. risiede principalmente nell'esigenza di allontanare il punto di scarico dal versante della cava, indirizzando la corrente verso il centro della vasca ed evitando così una serie di criticità (stabilità delle pareti, etc.) che si potrebbero altrimenti verificare, oltre che offrire una maggiore funzionalità anche nel periodo transitorio necessario per il riempimento parziale della cava. L'osservazione del profilo idrico della corrente mostrato in Figura 22 consente di apprezzare come il deflusso della portata di progetto sia sempre integralmente contenuto entro le sponde del canale in progetto con adeguati franchi idraulici. Inoltre, si può notare la condizione al contorno di valle imposta al modello, ossia il livello minimo d'invaso della cava posto a 215 m s.l.m.

Considerando le alte velocità di deflusso nel tratto a maggior pendenza e le variazioni planimetriche del tracciato che si registrano nello stesso tratto, si è provveduto ad eseguire anche il calcolo del sovrizzo in curva delle correnti ipercritiche mediante la formulazione di Hager. Infatti, il calcolo del massimo battente in curva può essere ottenuto applicando la seguente formula:

$$h_{max} = h_0 Fr^2 \sin\left(\beta + \frac{\theta}{2}\right)^2 = 1,54 \text{ m}$$



Le verifiche hanno dunque dato esito positivo, infatti nonostante il sopralzo, la vena liquida è contenuta con sufficiente margine entro le sponde del canale in progetto (altezza interna delle sponde = 3 m).

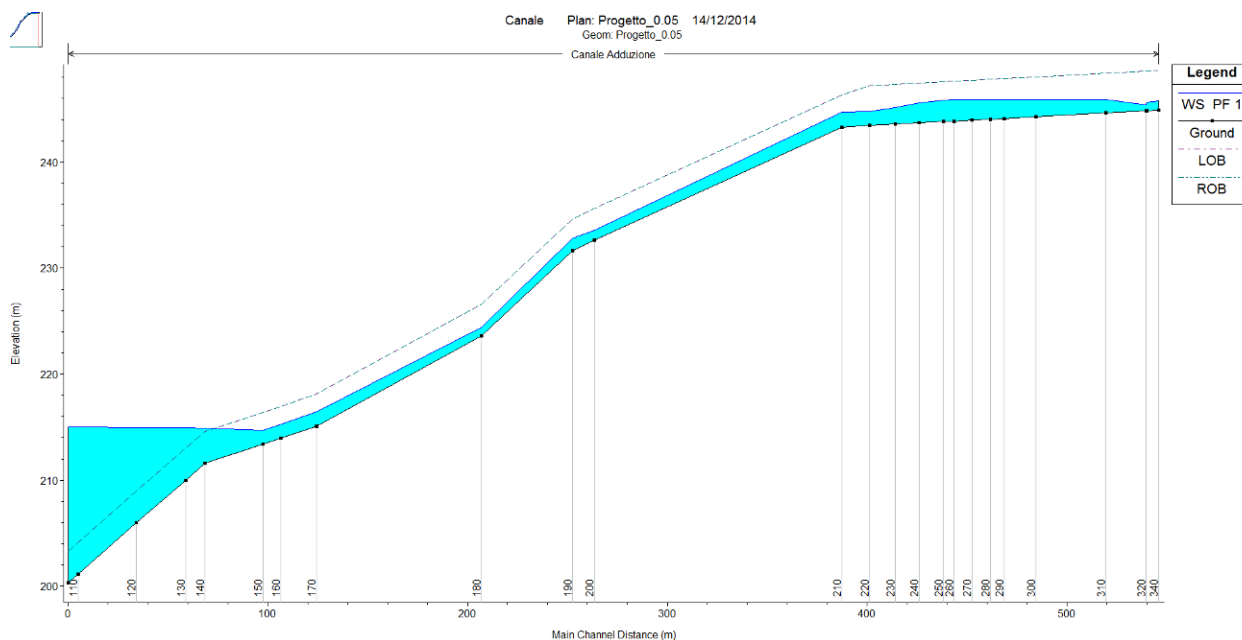


Figura 22 – Profilo di progetto del canale scolmatore: la corrente è sempre contenuta al suo interno con franchi idraulici adeguati. Si può notare il livello minimo d'invaso della cava posto a 215 m s.l.m.



6. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Gli obiettivi di sistemazione idraulica previsti lungo la Bevera di Molteno, per assicurare una consistente riduzione delle portate di piena che contribuiscono alla genesi delle criticità idrauliche esistenti sul fiume Lambro, saranno conseguiti mediante la realizzazione delle opere e descritte nel presente capitolo e nelle tavole grafiche appositamente predisposte.

Il dimensionamento delle stesse è stato eseguito mediante simulazioni numeriche idrauliche in moto vario, così come descritto nelle pagine precedenti e con calcoli idraulici necessari per identificare il più adeguato sistema di pompaggio per lo svuotamento dei volumi temporaneamente immagazzinati nella Cava di Brenno. L'attività di svuotamento si rende indispensabile dopo ogni azionamento dell'opera di presa finalizzato alla laminazione delle portate della Bevera, per ripristinare in tempi ragionevoli il volume d'invaso originario e renderlo disponibile per l'accumulo dei volumi idrici da stoccare in occasione di successivi eventi di piena.

Nel dettaglio saranno realizzate le seguenti opere:

- Opera di derivazione delle portate di piena realizzata sulla sponda sinistra della Bevera di Molteno in prossimità dell'ingresso del Parco Comunale di Brenno;
- Canale scolmatore avente funzione di addurre le portate derivate per la laminazione all'interno della Cava di Brenno;
- Opera di restituzione alla Bevera di Molteno dei volumi stoccati nella cava di Brenno non appena siano cessate le condizioni di criticità idraulica presso i territori a valle.

6.1 OPERA DI DERIVAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DELLA BEVERA DI MOLTEÑO

L'opera di derivazione delle portate di piena della Bevera di Molteno sarà realizzata sulla sponda idrografica sinistra del corso d'acqua nei pressi dell'attuale ingresso al Parco di Brenno in Comune di Costa Masnaga (LC).





Figura 23 – Riprese fotografiche del luogo ove sarà realizzata l'opera di derivazione delle portate di piena.

Nell'area interessata dalla costruzione dell'opera di presa è attualmente presente un guado sul corso d'acqua (cfr. Figura 23), oltre a linee elettriche e condotte fognarie: tutte le interferenze saranno adeguatamente risolte, garantendo la futura funzionalità dei servizi. Per quanto riguarda, invece, gli impianti attualmente esistenti all'interno dell'area di cava, che potenzialmente potrebbero interferire con le opere in progetto, si rammenta che essi saranno interamente smantellati nell'ambito dei lavori previsti per il ripristino ambientale della cava e pertanto non creeranno ostacolo in alcun modo alle costruende opere.

Rinviando agli specifici elaborati grafici per un maggior dettaglio progettuale, l'osservazione dello stralcio planimetrico riportato in Figura 24 consente di apprezzare i principali elementi che costituiranno la nuova opera di derivazione delle portate di piena.

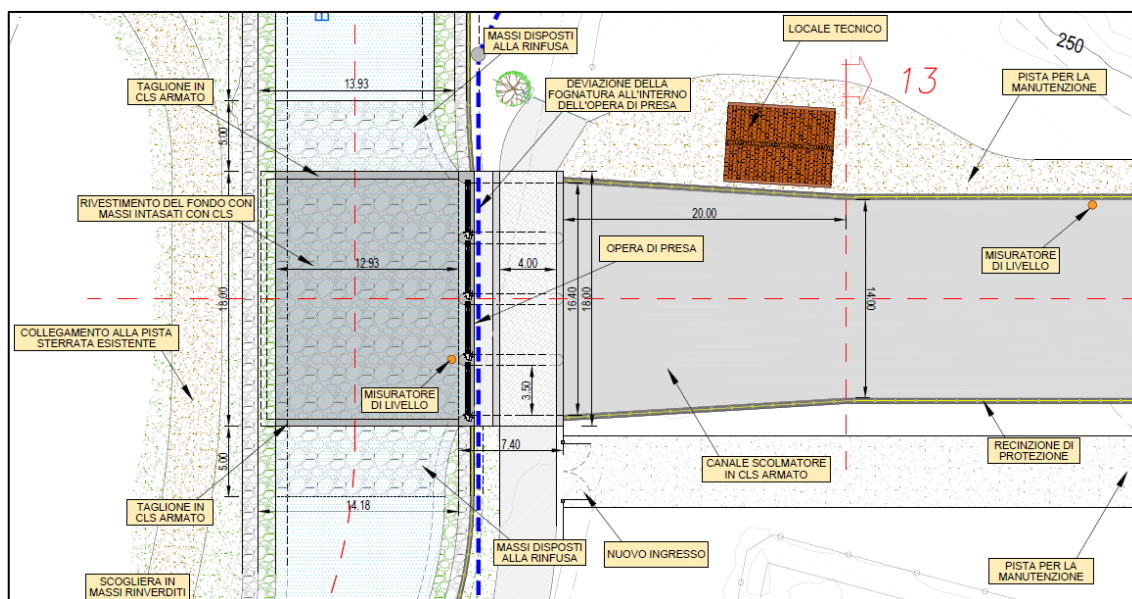


Figura 24 – Stralcio planimetrico dell'opera di presa



Innanzitutto, come affermato in precedenza, si può notare l'assenza dell'opera di sbarramento in alveo originariamente prevista nel progetto preliminare degli interventi. Infatti, è stato possibile non prevederne la realizzazione grazie all'effetto di rigurgito generato dal restringimento d'alveo della Bevera immediatamente a valle della sezione ove è prevista la realizzazione dell'opera di presa: il naturale innalzamento dei livelli atteso a monte consentirà già di per sé l'instaurarsi di un battente idraulico sufficiente a consentire la derivazione idrica per mezzo della nuova opera di presa in sinistra idrografica.

Quest'ultima sarà costituita da n.4 paratoie piane a comando elettromeccanico di luce 3,5 m e altezza 2,0 m e telecommandabili.

I gargami saranno costituiti da lamiere piegate che formeranno le controbattute di soglia, laterali e superiore e saranno realizzati in modo da permettere l'estrazione delle paratoie senza difficoltà.

Le traverse porta meccanismo di manovra saranno realizzate con profilati laminati fissati all'estremità superiore delle guide mediante bulloni in acciaio e i piani di scorrimento e tenuta a contatto con la paratoia saranno in acciaio inossidabile.

Le paratoie garantiranno la tenuta sui quattro lati grazie a guarnizioni in gomma neoprenica e garantiranno perdite complessive, riferite a ogni organo idraulico, non superiori a 0,5 l/s per metro di guarnizione.

Lo scudo sarà costituito da una struttura in acciaio saldata, con cordone continuo su foglio di lamiera d'acciaio piana, fiancate laterali di chiusura e travi orizzontali. Essa sarà formata da un mantello piano in lamiera di acciaio supportato da travi principali orizzontali in UNP disposte secondo zone di uguale carico idrostatico e da irrigidimenti secondari verticali in piatto collegati alle travi principali. Queste ultime sono collegate alle fiancate per la trasmissione dei carichi alle parti fisse. L'insieme avrà una robustezza tale da sopportare il massimo carico idraulico e le sollecitazioni dinamiche derivanti dalle manovre di apertura e chiusura. Il mantello, costituito da una lamiera di adeguato spessore, sarà posto a monte rispetto alla direzione di deflusso dell'acqua.

In caso di azionamento ciascuna paratoia sarà in grado di scorrere verticalmente consentendo così la derivazione delle portate. Altrimenti, in condizioni di riposo, le luci saranno mantenute completamente chiuse.

I quadri elettrici, gli accessori e tutto quanto necessario per il corretto funzionamento delle opere elettromeccaniche sarà alloggiato all'interno di un edificio tecnico appositamente realizzato in testa alla sponda sinistra del nuovo canale scolmatore nei pressi dell'opera di presa. Nel locale tecnico sarà collocato anche un attuatore portatile da utilizzare in caso di necessità.

Le luci dell'opera di presa saranno delimitate da setti verticali adeguatamente fondati e la scelta di realizzarne quattro distinte risponde all'esigenza di garantire comunque l'officiosità di almeno una di esse in caso di guasto/malfunzionamento delle altre, oltre che ridurre la dimensione delle paratoie per agevolarne la movimentazione anche in caso di emergenza.

I setti svolgeranno anche la funzione di pile per il nuovo ponte di attraversamento che sarà contestualmente realizzato per assicurare anche in futuro la continuità della viabilità locale.



A monte, a valle e di fronte alla nuova opera di presa (sponda destra della Bevera) saranno realizzate delle opere di protezione spondale aventi il duplice obiettivo di indirizzare correttamente la corrente di piena ed evitare rischiosi fenomeni erosivi in grado di minare la stabilità della nuova opera di presa (cfr. Figura 24).

Inoltre, per la stessa ragione, il fondo scorrevole della Bevera sarà localmente rivestito in massi ciclopici cementati, contenuti a monte e valle da taglioni adeguatamente immorsati nel fondo alveo.

Entrambi gli accorgimenti sopra descritti sono stati progettati per offrire ulteriori margini di sicurezza e durabilità dell'opera, a fronte di velocità di deflusso non eccessive anche per portate di piena caratterizzate da tempi di ritorno plurisecolari.

6.2 CANALE SCOLMATORE

Il canale scolmatore avrà la funzione di convogliare le portate derivate dall'opera di presa all'interno della Cava di Brenno: si originerà dalla presa e, utilizzando il sedime dell'attuale pista di accesso al fondo della cava, sarà in grado di consentire il deflusso delle acque dal piano campagna (quota media 249 m s.l.m. ca.) sino alla quota di 203 m s.l.m., laddove è attualmente collocato l'impianto di frantumazione della marna.

Anche in questo caso si rammenta che detto impianto, così come il nastro trasportatore collocato lungo la pista di accesso citata in precedenza, saranno smantellati nell'ambito dei lavori di ripristino ambientale dell'area e pertanto non interferiranno con le opere in progetto.





Figura 25 – Riprese fotografiche dei luoghi ove sarà realizzato il canale scolmatore previo smantellamento del nastro trasportatore, dell'impianto di frantumazione e delle altre strutture a servizio dell'attività estrattiva.

Il canale è dimensionato per consentire il deflusso di una portata massima di $35 \text{ m}^3/\text{s}$, come stabilito dalle verifiche idrauliche descritte in precedenza.

Gli Scriventi hanno inoltre effettuato delle valutazioni sugli innalzamenti del pelo libero per correnti rapide dovuti al fenomeno dei treni d'onda e dell'areazione spontanea della corrente e gli effetti di detti fenomeni si possono ritenere compresi entro l'ampio franco idraulico imposto per determinare l'altezza delle sponde del canale.

Facendo riferimento agli specifici elaborati grafici per il dettaglio visivo, è possibile notare come la sezione del canale si modifichi gradualmente tra il tratto di monte, caratterizzato da una modesta pendenza del fondo e dunque da una maggiore larghezza delle sezioni trasversali, e quello che si sviluppa lungo l'attuale pista di accesso fino al fondo della futura vasca.

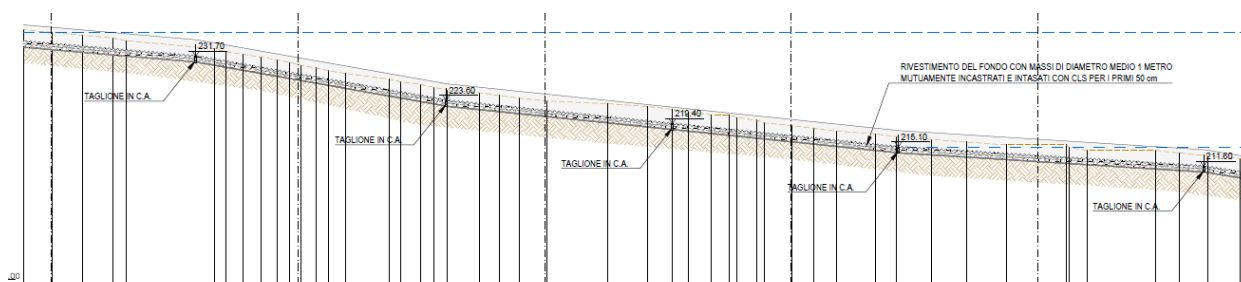


Figura 26 – Stralcio del profilo del canale scolmatore: si noti il cambio di pendenza del fondo

La pista è caratterizzata da pendenze molto elevate, localmente superiori al 17%, e pertanto se da una parte è possibile ridurre consistentemente la sezione dell'opera rispetto al tratto di monte (da 14 a 6 m di larghezza), dall'altra si rende necessario rivestirne il fondo con massi di grossa pezzatura (cfr. Figura 27) i quali, determinando un considerevole incremento del coefficiente di scabrezza, consentiranno un contenimento entro limiti ragionevoli delle velocità di deflusso che altrimenti sarebbero eccessive (cfr. §5.4.2).

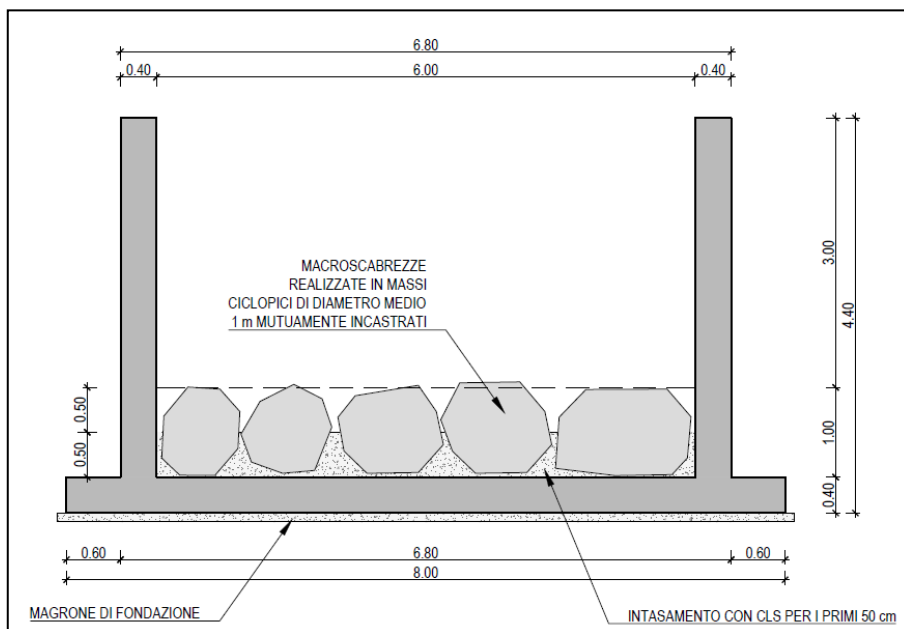


Figura 27 – Sezione tipo del canale scolmatore nel tratto a forte pendenza

Le sponde del canale saranno realizzate in calcestruzzo armato ed avranno sezione adeguata per sopportare anche le spinte generate dal transito di mezzi pesanti lungo la pista di accesso al fondo della vasca che sarà realizzata parallelamente al canale e in destra allo stesso. Su quest'ultima infatti transiteranno gli autocarri che trasporteranno il materiale destinato al parziale riempimento della cava così come previsto nel progetto di ripristino ambientale dell'area. Come già illustrato in precedenza, la scelta di prolungare il canale sino a raggiungere quota 203 m s.l.m. risiede principalmente nell'esigenza di allontanare il punto di scarico dal versante della cava, indirizzando la corrente verso il centro della vasca ed evitando così le criticità descritte in precedenza che si potrebbero altrimenti verificare.

6.3 OPERA DI RESTITUZIONE DELLE PORTATE ALLA BEVERA DI MOLTEÑO

Le portate derivate dalla Bevera di Molteno in occasione di eventi idrologici intensi e temporaneamente accumulate all'interno della Cava di Brenno saranno successivamente restituite al corso d'acqua per consentire il ripristino dell'originario volume d'invaso. Inoltre, si garantirà il controllo del livello del lago che si formerà allontanando in continuo le acque piovane e quelle arriveranno all'invaso per ruscellamento superficiale e/o venute dai versanti della cava affinché il volume disponibile per la laminazione sia mantenuto libero nel tempo. Entrambi gli obiettivi saranno raggiunti grazie a due distinti sistemi di pompaggio fissati ad un pontile galleggiante opportunamente ancorato al fondo e al versante.

Il sistema sarà inoltre in grado di consentire il completo svuotamento dell'invaso durante il periodo transitorio necessario per consentire il previsto parziale riempimento della vasca con materiale di risulta.



Con riferimento allo stralcio grafico riportato in Figura 28 e rinviando agli specifici elaborati progettuali per ulteriori dettagli, è possibile comprendere come i precedenti obiettivi saranno raggiunti:

- mediante installazione di una coppia di pompe per lo svuotamento, ciascuna equipaggiata con modulo di galleggiamento e in grado di assicurare una portata in mandata variabile in funzione della prevalenza da superare;
- grazie all'installazione di una pompa in grado di attivarsi in continuo non appena il sensore rileverà un incremento del livello minimo del lago, ossia una quota del pelo libero superiore a 190 m s.l.m.

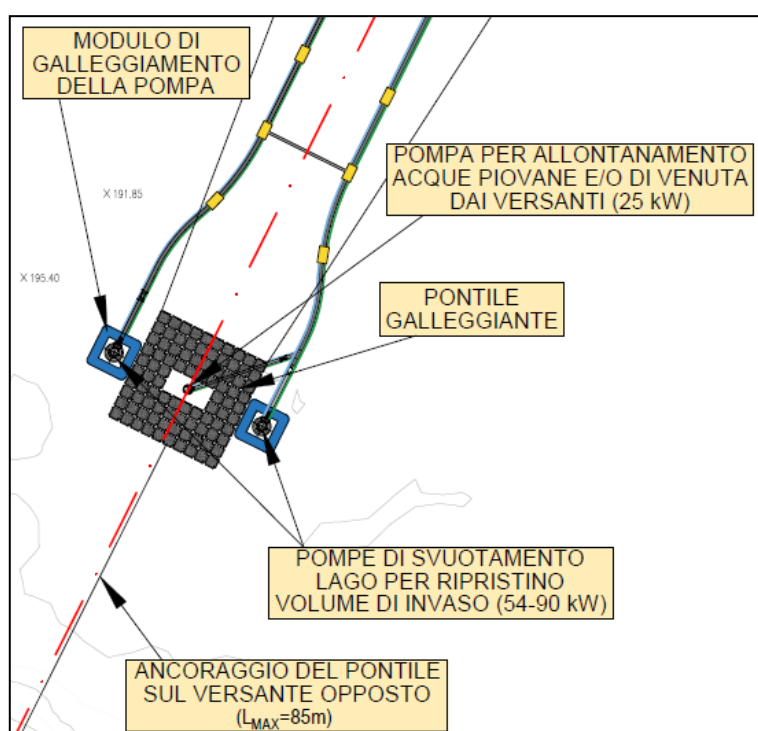


Figura 28 – Stralcio planimetrico del pontile galleggiante al quale saranno ancorate le pompe

Le pompe saranno connesse ad una coppia di condotte flessibili il cui tratto iniziale sarà reso galleggiante grazie alla predisposizione di specifici moduli (in giallo nelle figure).

Si noti come la pompa per l'allontanamento delle acque piovane utilizzerà la stessa tubazione di mandata di una delle due pompe di drenaggio: apposite valvole antiriflusso impediranno interferenze di funzionamento tra i tre sistemi di pompaggio.

La manutenzione alle pompe potrà essere facilmente eseguita raggiungendo in battello il pontile galleggiante. Il battello potrà essere di volta in volta trasportato sul luogo e varato direttamente dalla pista di accesso al fondo cava.

Ad una quota maggiore del massimo livello di regolazione del lago (236 m s.l.m.) le tubazioni flessibili saranno raccordate a condotte metalliche di analogo diametro (150 mm), fisse ed ancorate al versante della cava.



Le condotte metalliche addurranno le portate ad una vasca interrata (cfr. Figura 29) collocata nei pressi del ciglio della cava e del nuovo locale tecnico che sarà realizzato per ospitare i quadri di comando e l'attrezzatura tecnica necessaria al funzionamento del sistema di pompaggio.

Le condotte flessibili e metalliche saranno accoppiate ai cavidotti per i cavi di potenza/segnale collegati all'edificio tecnico ove saranno alloggiati i quadri di controllo delle pompe.

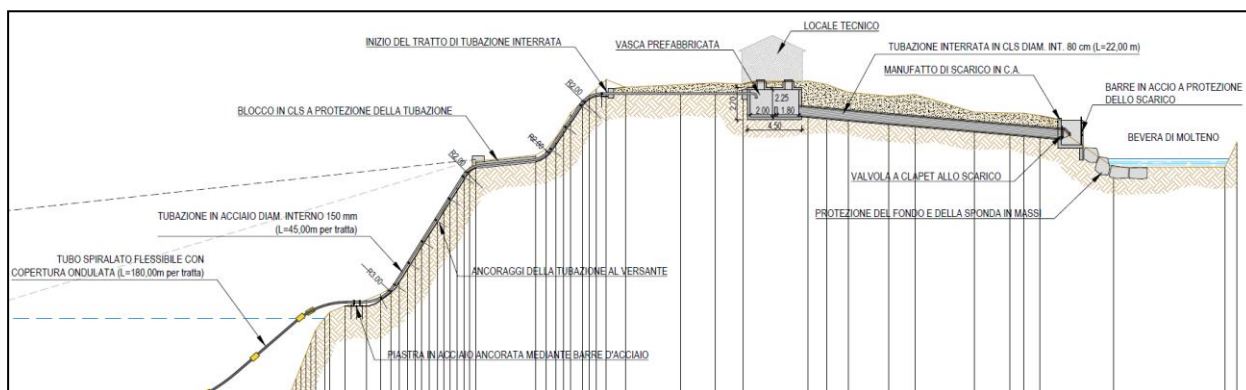


Figura 29 – Stralcio del profilo delle condotte di mandata e della vasca interrata

Nello stesso luogo sarà predisposta l'area per la collocazione del generatore elettrico necessario per il funzionamento delle n. 2 pompe di svuotamento dell'invaso. Infatti, se il funzionamento della pompa a galleggiante per l'allontanamento delle acque piovane dovrà essere garantito in continuo e dunque se ne renderà necessario il collegamento alla rete elettrica, le pompe di svuotamento dell'invaso saranno azionate solo ed esclusivamente in seguito all'apertura dell'opera di presa in occasione di eventi idrologici molto intensi. Considerando che ciò avverrà presumibilmente con una frequenza molto bassa, che lo svuotamento del lago non avverrà in condizioni di emergenza e che la potenza assorbita dalle pompe sarà elevata (oltre 100 kW), si ritiene che l'alimentazione possa e debba essere assicurata da un generatore elettrico da trasportare all'occorrenza sul posto.

In Figura 29 si noti l'area appositamente prevista per la collocazione temporanea del generatore a noleggio che potrà essere trasportato agevolmente sul posto con idoneo mezzo utilizzando la viabilità già esistente.

L'Ente gestore dovrà comunque provvedere all'azionamento periodico, quantomeno semestrale, dell'intero sistema di derivazione e restituzione per verificarne costantemente l'efficienza di funzionamento.

Infine, le portate addotte alla vasca prefabbricata interrata saranno scaricate a gravità nella Bevera di Molteno grazie alla realizzazione di una condotta in cls, anch'essa interrata. Lo sbocco della stessa avverrà all'interno di un manufatto gettato in opera sulla sponda sinistra del corso d'acqua all'interno del quale sarà alloggiata una valvola antiriflusso del tipo "a clapet". L'apertura lato fiume del manufatto sarà presidiata da barre d'acciaio aventi la duplice funzione antintrusione e di evitare che materiale flottante o altro possa ostacolare il cinematismo della clapet.

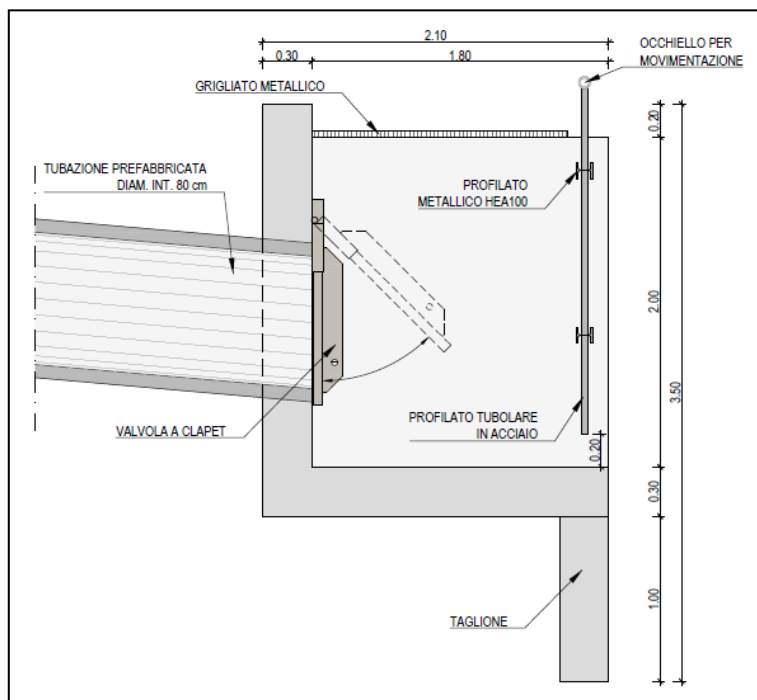


Figura 30 – Sezione del manufatto di scarico che sarà realizzato sulla sponda sinistra della Bevera di Molteno



7. SULLE CONDIZIONI DI STABILITÀ DELLE PARETI DELLA CAVA DI BRENNIO

Le verifiche geotecniche sulla stabilità delle pareti della Cava di Brenno sono state valutate a partire dal Progetto Preliminare dal prof. ing. Claudio Di Prisco, Ordinario di Geotecnica al Politecnico di Milano.

Rinviando agli specifici elaborati allegati alla Relazione Geologica-Geotecnica per una trattazione più approfondita delle problematiche esistenti e delle soluzioni prospettate e sottolineando che le opere in progetto non determinano modifiche della geometria attuale dei versanti, in questa sede si ritiene utile precisare che nel presente progetto sono state definite soltanto le caratteristiche geologico-geotecniche del terreno da assumere per la progettazione strutturale delle opere previste e nulla si intende affermare sulle condizioni di stabilità dei versanti della cava in condizioni pre e post-esecuzione dei previsti interventi di sistemazione delle scarpate. Questi aspetti, infatti, sono stati già ampiamente trattati in studi precedenti e dovranno necessariamente essere ulteriormente approfonditi prima dell'entrata in esercizio della vasca di laminazione con riferimento all'interazione tra i cicli di riempimento e svuotamento della stessa e, per l'appunto, le condizioni di stabilità dei versanti.



8. CONCLUSIONI

La presente relazione idrologico-idraulica è stata predisposta con l'intento di descrivere le approfondite attività svolte dagli scriventi al fine di selezionare e progettare le opere necessarie per consentire "*l'utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*".

In particolare, nel rispetto di quanto richiesto dal Committente in sede di conferimento dell'incarico, si è riservata specifica cura alla definizione delle soglie di innesco dell'opera di presa, in funzione dei livelli idrici presenti in alveo, e alla scelta di sistemi di pompaggio che consentano lo svuotamento dell'invaso, minimizzando il rapporto costi/benefici, nel rispetto delle condizioni idrodinamiche della Bevera e assicurando quanto prima il ripristino della capacità d'invaso della cassa in derivazione.

Ulteriore attenzione è stata dedicata alla verifica di compatibilità delle velocità di deflusso dell'acqua derivata nel canale scolmatore al fine di dimensionarlo al meglio, assicurandone la funzionalità e durabilità.

L'attività è stata svolta provvedendo a raccogliere e analizzare criticamente gli studi pregressi e i dati resi disponibili dal Committente. Ciò ha costituito la base sulla quale impostare il successivo studio idrologico volto alla verifica dell'attendibilità e aggiornamento dei dati ufficiali pubblicati nel P.A.I.

La selezione delle opere da realizzare è stata eseguita valutando attentamente una serie di alternative progettuali. In particolare:

- Ipotesi 0: mancata realizzazione delle opere
- Ipotesi 1: zona di esondazione esterna alla Cava di Brenno
- Ipotesi 2: realizzazione di interventi alternativi nei territori di altri comuni
- Ipotesi 3: realizzazione di una vasca di laminazione nella Cava di Brenno
- Ipotesi 4: riempimento della cava fino a quota 235 m s.l.m.
- Ipotesi 5: riempimento della cava con espansione dello scavo verso nord
- Ipotesi 6: riempimento di una parte della miniera fino a quota 240-250 m s.l.m. e utilizzo della sola zona est della miniera come vasca di laminazione
- Ipotesi 7: riempimento totale della cava con massi ciclopici
- Ipotesi 8: riprofilatura della parete sud e parziale riempimento della cava
- Ipotesi 9: impermeabilizzazione delle pareti e parziale riempimento della cava

Ciascuna di esse è stata scartata per molteplici ragioni dettagliatamente descritte nel paragrafo §5.1.

La soluzione prescelta prevede la realizzazione di un'opera di presa sulla sponda sinistra della Bevera di Molteno in prossimità dell'ingresso del Parco Comunale di Brenno. La derivazione sarà attivata in caso di eventi di piena della Bevera il cui colmo superi il massimo valore di portata compatibile con le condizioni idrauliche di valle ($22 \text{ m}^3/\text{s}$) e avverrà per mezzo di quattro luci sottobattente servite da paratoie a tenuta su quattro lati.



Il flusso sarà indirizzato ad un canale scolmatore che presenterà due tratti ben distinti per caratteristiche geometriche il primo dei quali avrà pendenza ridotta, una sezione più ampia e sarà raccordato con il secondo tratto da realizzare sul sedime dell'attuale pista di accesso al fondo della cava.

Quest'ultima è caratterizzata da pendenze molto elevate e, pertanto, a fronte della possibile riduzione della sezione del canale grazie all'atteso incremento delle velocità di deflusso della corrente, si renderà necessario limitare queste ultime incrementando la scabrezza del fondo scorrevole con massi disposti alla rinfusa e cementati. Il rivestimento del canale, non previsto in sede di progetto preliminare, eviterà anche l'instaurarsi di rischiose infiltrazioni idriche e consistenti fenomeni erosivi per azione della corrente.

Per le motivazioni descritte più in dettaglio nel capitolo §6, all'interno della cava si è scelto di mantenere un lago permanente il cui **livello minimo si attesterà su 215 m s.l.m. mentre il livello massimo di regolazione non potrà superare i 236 m s.l.m.**

Si precisa, tuttavia, che alla realizzazione delle opere seguirà un periodo transitorio nel corso del quale l'invaso dovrà essere del tutto svuotato per consentire il conferimento del materiale di risulta previsto per il parziale riempimento della vasca.

Per queste ragioni è stato studiato un sistema di svuotamento avente le seguenti finalità:

- Allontanare le acque piovane e quelle invase per ruscellamento superficiale e/o per venute dai versanti della cava;
- Svuotare la cava con sufficiente rapidità al fine di ripristinare l'originario volume d'invaso che si ridurrà in occasione di eventi idrologici intensi grazie all'attivazione dell'opera di presa.

Il primo scopo sarà raggiunto grazie all'installazione di una pompa a galleggiante in grado di attivarsi in continuo non appena il sensore rileverà un incremento del livello minimo di regolazione, posto inizialmente a 190 m s.l.m. (invaso vuoto) e in futuro portato a 215 m s.l.m. (livello minimo lago permanente).

Il secondo obiettivo sarà conseguito mediante installazione di una coppia di pompe, ciascuna equipaggiata con modulo di galleggiamento e in grado di assicurare una portata in mandata variabile in funzione della prevalenza richiesta.

Le pompe saranno ancorate ad un pontile galleggiante e connesse ad una coppia di condotte che addurranno la portata ad una vasca collocata nei pressi del ciglio di monte della scarpata nord-est della cava di Brenno. Da questa le acque defluiranno a pelo libero nuovamente nella Bevera di Molteno grazie ad una condotta interrata il cui sbocco sarà presidiato da una valvola antiriflusso del tipo a "clapet".

Rinviando al capitolo §6 per una descrizione di maggior dettaglio delle opere in progetto, si sottolinea come la principale differenza tra le soluzioni progettuali identificate in sede di Progetto Preliminare e quelle delle successive fasi progettuali risieda proprio nell'opera di svuotamento. Infatti, non sarà più realizzata la torre di sollevamento in calcestruzzo armato, molto più rigida e impattante, ma al suo posto si costruirà il sistema flessibile galleggiante di cui sopra.



Il comportamento idrodinamico della Bevera di Molteno nel tratto d'interesse è stato approfonditamente studiato grazie all'allestimento di un modello numerico idraulico in moto vario che ha indagato i seguenti scenari di simulazione:

- Stato attuale;
- Configurazione di progetto;

Inoltre, è stato predisposto un ulteriore modello numerico in moto stazionario per il dimensionamento del canale scolmatore.

Le simulazioni numeriche idrauliche hanno consentito di stabilire con un ragionevole grado di certezza l'entità dei benefici attesi con la realizzazione degli interventi in progetto, soprattutto in riferimento agli effetti benefici di laminazione dovuti alla realizzazione della citata opera di presa: è stata calcolata un'efficienza di laminazione del colmo di piena di oltre il 60%, (da 59 a 22 m³/s), così come stabilito nella pianificazione vigente.



PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione
del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*

Progetto Esecutivo



ALLEGATI



PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

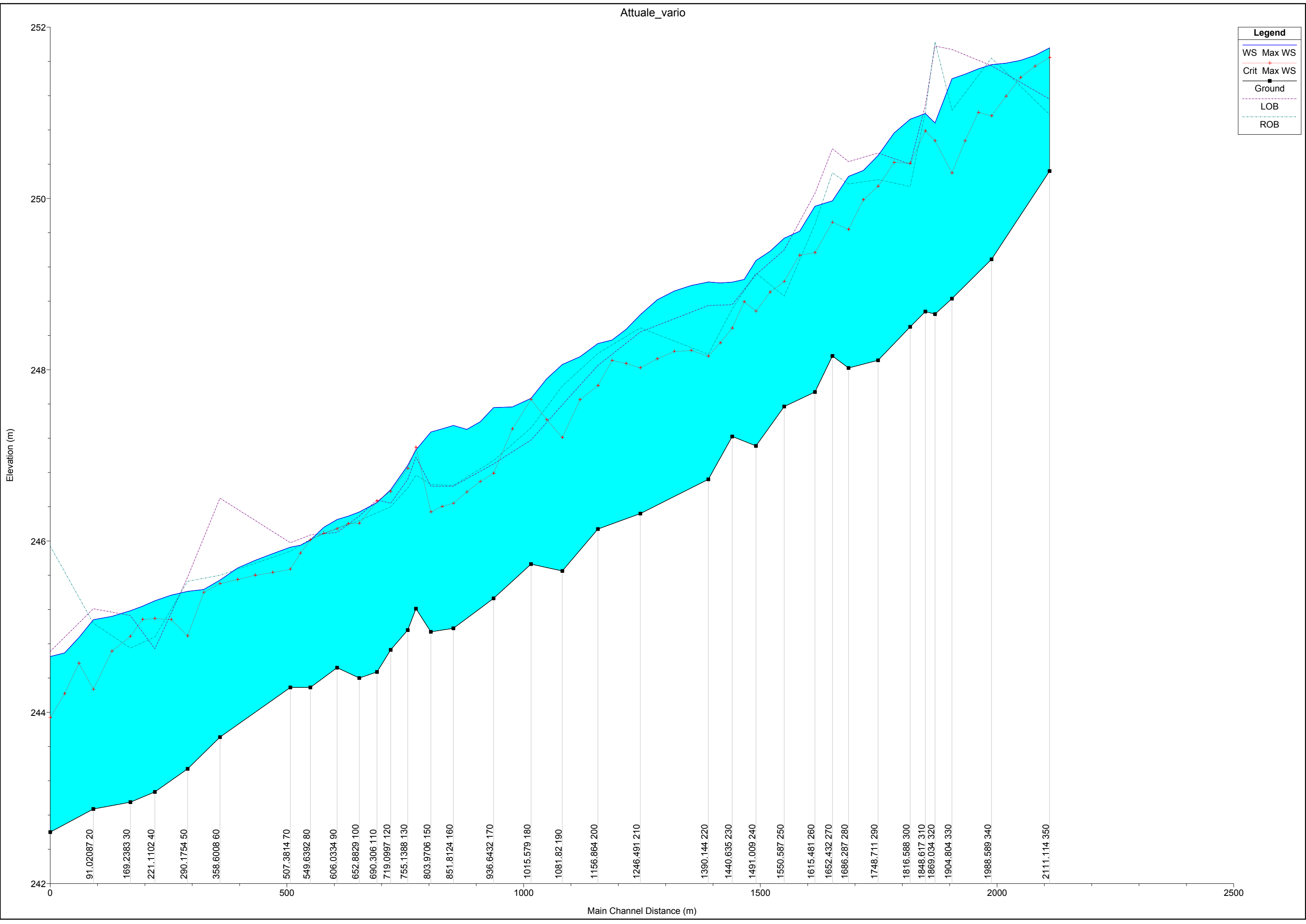
*Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione
del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*

Progetto Esecutivo



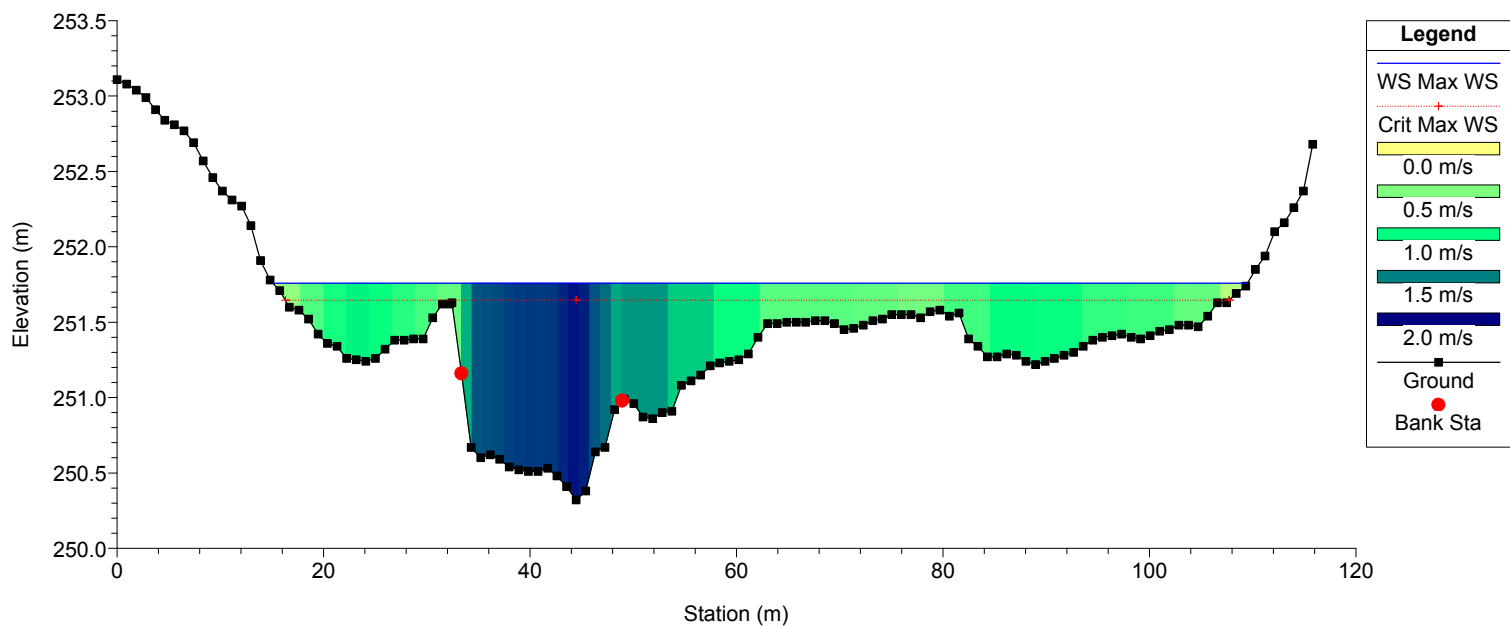
ALLEGATO 1

– Risultati simulazione idraulica: Bevera di Molteno – Stato attuale

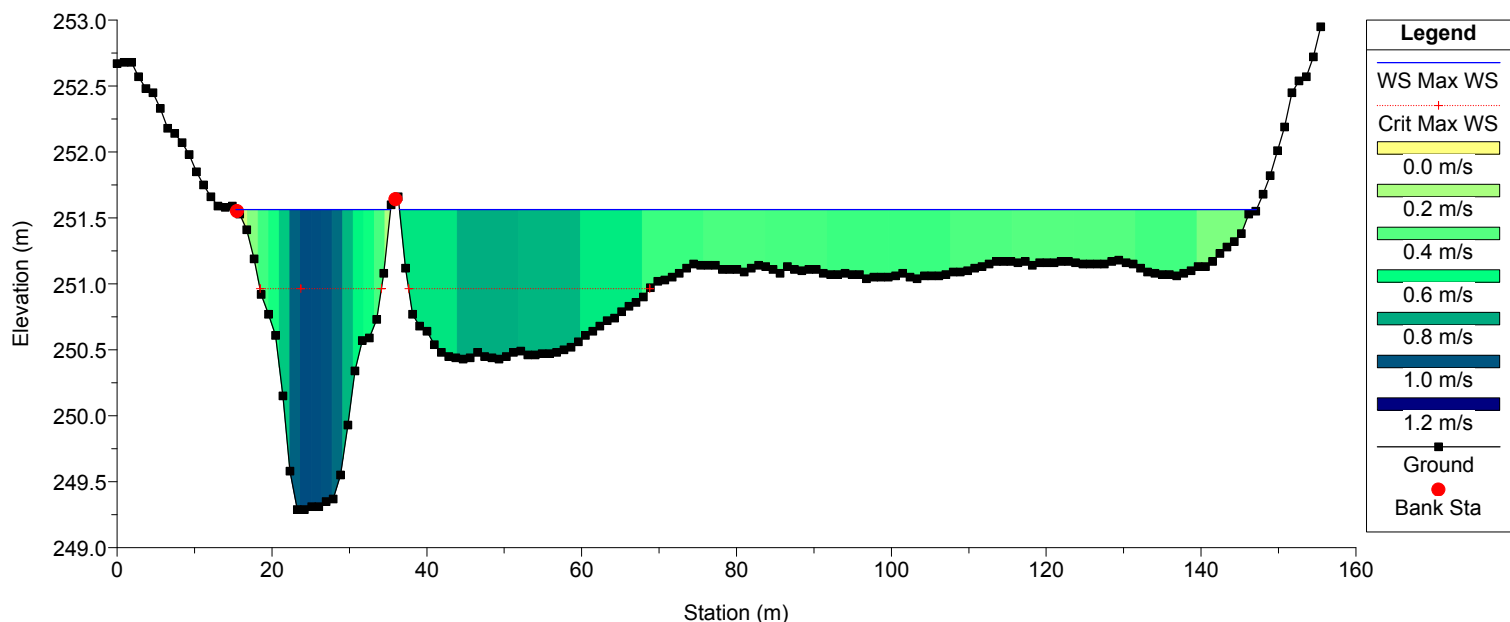


Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Cava	2111.114 350	Max WS	58.83	250.32	251.76	251.65	251.86	0.003879	1.72	47.87	94.37	0.51
Cava	1988.589 340	Max WS	58.65	249.29	251.56	250.96	251.59	0.000804	0.83	91.27	130.66	0.23
Cava	1904.804 330	Max WS	58.63	248.83	251.40	250.30	251.49	0.001482	1.40	48.06	51.37	0.33
Cava	1869.034 320	Max WS	58.63	248.65	250.88	250.67	251.43	0.011045	3.29	17.84	11.36	0.84
Cava	1848.617 310	Max WS	58.55	248.68	250.99	250.79	251.16	0.004903	2.06	38.02	54.37	0.56
Cava	1816.588 300	Max WS	58.60	248.50	250.93	250.41	251.04	0.002079	1.69	44.58	38.81	0.39
Cava	1748.711 290	Max WS	58.58	248.11	250.50	250.14	250.90	0.007008	2.86	23.72	29.80	0.67
Cava	1686.287 280	Max WS	58.57	248.02	250.26	249.64	250.48	0.004300	2.21	29.61	19.98	0.53
Cava	1652.432 270	Max WS	58.55	248.16	249.97	249.72	250.27	0.008503	2.65	25.24	22.48	0.73
Cava	1615.481 260	Max WS	58.55	247.74	249.91	249.37	250.04	0.002901	1.79	41.80	41.80	0.44
Cava	1550.587 250	Max WS	58.55	247.57	249.54	249.03	249.74	0.004037	2.10	29.68	21.04	0.53
Cava	1491.009 240	Max WS	58.55	247.11	249.27	248.68	249.49	0.004310	2.13	29.55	23.90	0.53
Cava	1440.635 230	Max WS	58.54	247.22	249.02	248.49	249.20	0.004353	2.01	32.31	38.93	0.54
Cava	1390.144 220	Max WS	58.53	246.72	249.02	248.16	249.06	0.000877	1.07	73.57	73.51	0.25
Cava	1246.491 210	Max WS	58.50	246.32	248.64	248.02	248.85	0.004195	2.04	30.69	45.79	0.53
Cava	1156.864 200	Max WS	58.46	246.14	248.31	247.81	248.39	0.002972	1.56	52.00	75.15	0.44
Cava	1081.82 190	Max WS	58.40	245.65	248.06	247.21	248.20	0.002346	1.72	43.20	57.53	0.41
Cava	1015.579 180	Max WS	58.40	245.73	247.67	247.65	247.96	0.006923	2.62	30.09	56.01	0.68
Cava	936.6432 170	Max WS	58.38	245.33	247.56	246.79	247.60	0.000965	1.14	69.19	60.92	0.27
Cava	851.8124 160	Max WS	58.37	244.98	247.35	246.44	247.42	0.001334	1.35	56.09	54.81	0.32
Cava	803.9706 150	Max WS	58.36	244.94	247.27	246.34	247.36	0.001506	1.43	50.16	45.43	0.33
Cava	772.5569 140	Max WS	58.35	245.21	247.06	247.09	247.56	0.011830	3.16	19.79	25.01	0.88
Cava	755.1388 130	Max WS	58.35	244.96	246.88	246.85	247.28	0.009194	2.86	22.67	30.66	0.78
Cava	719.0997 120	Max WS	58.35	244.73	246.60	246.58	246.88	0.007125	2.49	28.26	49.76	0.69
Cava	690.306 110	Max WS	58.34	244.47	246.45	246.47	246.69	0.007356	2.49	33.09	71.02	0.68
Cava	652.8829 100	Max WS	58.34	244.40	246.34	246.21	246.48	0.003581	1.86	42.93	88.60	0.49
Cava	606.0334 90	Max WS	58.33	244.52	246.25	246.14	246.33	0.003262	1.61	54.54	119.33	0.46
Cava	549.6392 80	Max WS	58.31	244.29	246.01	246.01	246.20	0.006451	2.21	38.74	104.73	0.64
Cava	507.3814 70	Max WS	58.27	244.29	245.93	245.67	245.98	0.002204	1.24	64.47	127.20	0.37
Cava	358.6008 60	Max WS	58.26	243.71	245.54	245.50	245.68	0.004764	2.00	44.30	107.89	0.55
Cava	290.1754 50	Max WS	58.10	243.34	245.41	244.89	245.44	0.000998	0.88	88.21	173.10	0.25
Cava	221.1102 40	Max WS	58.07	243.07	245.30	245.09	245.36	0.002125	1.38	72.73	141.02	0.38
Cava	169.2383 30	Max WS	58.02	242.95	245.19	244.89	245.25	0.002249	1.33	67.61	139.61	0.38
Cava	91.02087 20	Max WS	57.95	242.87	245.08	244.27	245.12	0.001195	1.07	74.50	81.94	0.28
Cava	0 10	Max WS	57.92	242.60	244.65	243.94	244.80	0.003019	1.71	33.81	23.54	0.46

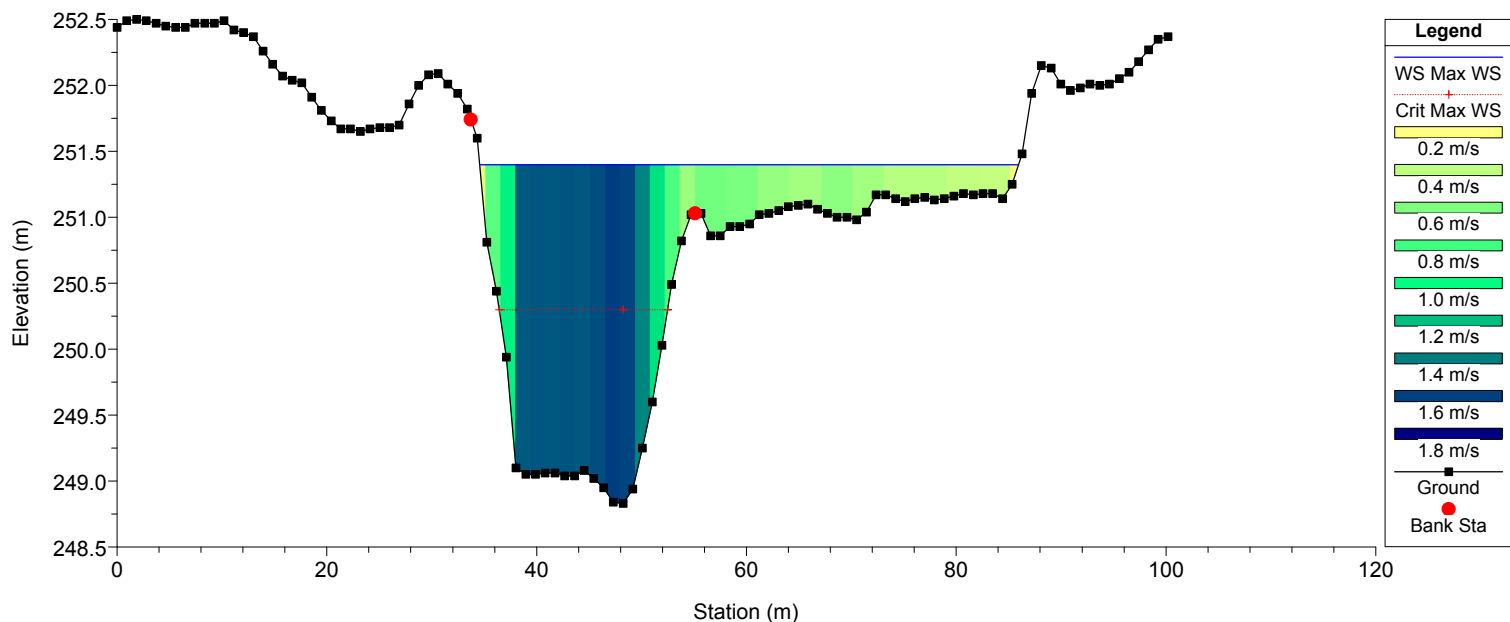
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 2111.114 350



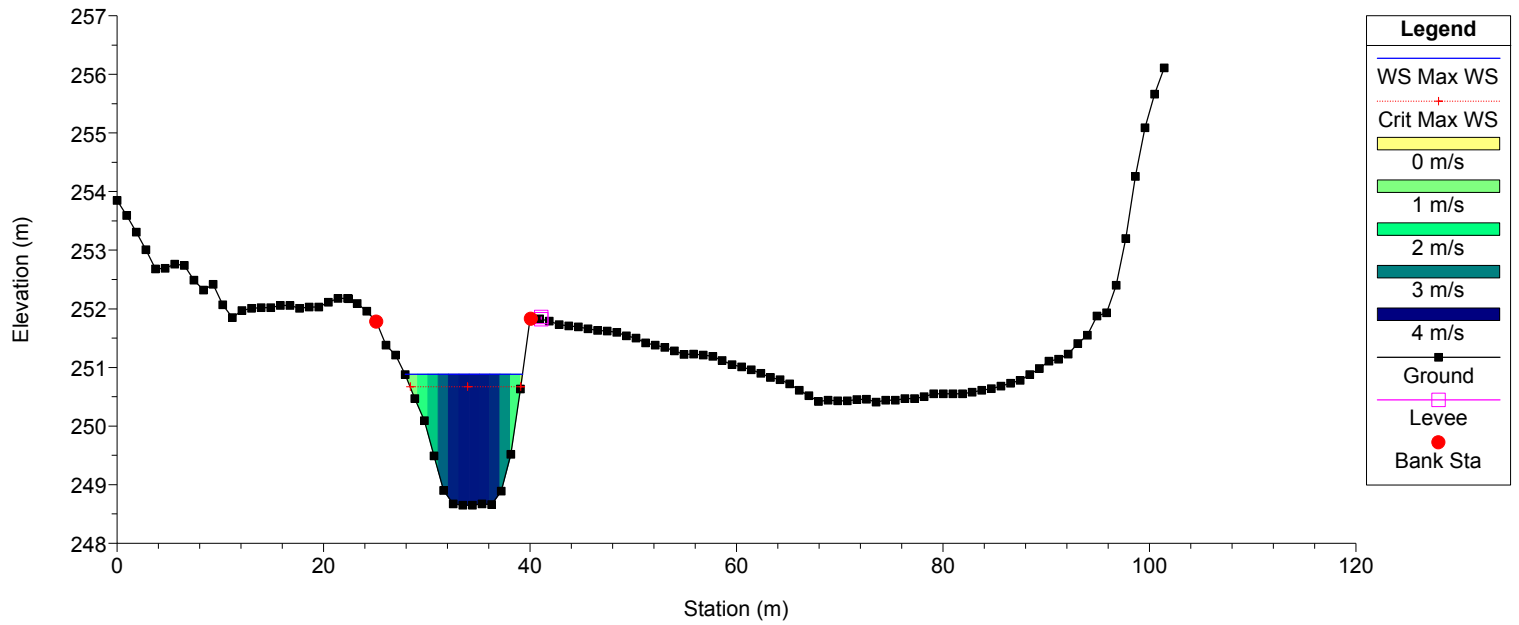
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1988.589 340



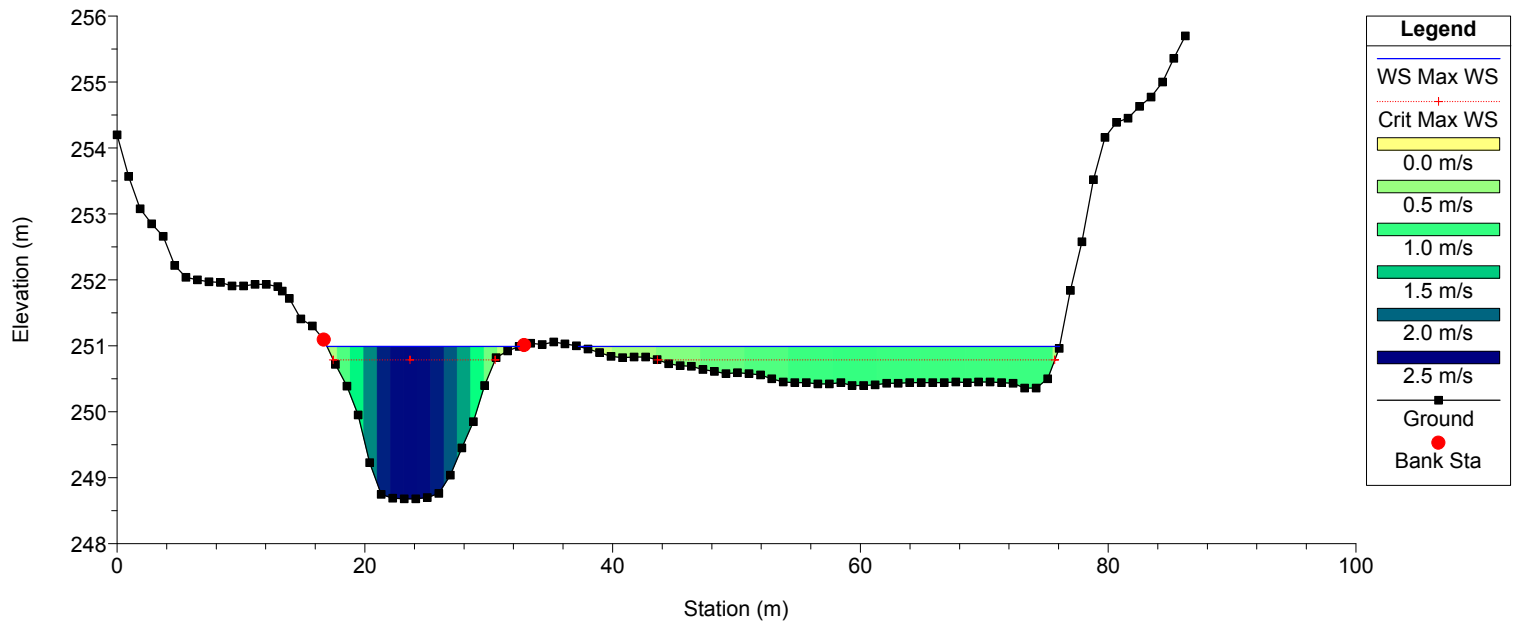
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1904.804 330



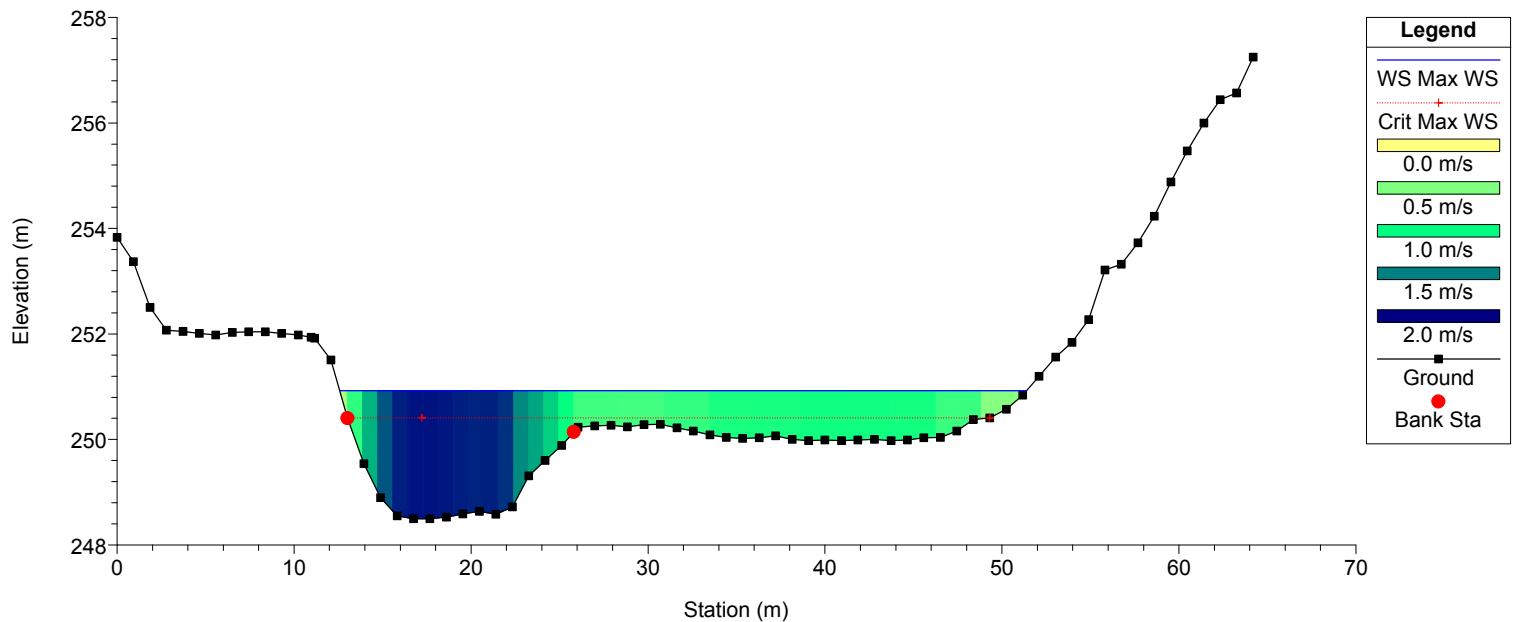
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1869.034 320



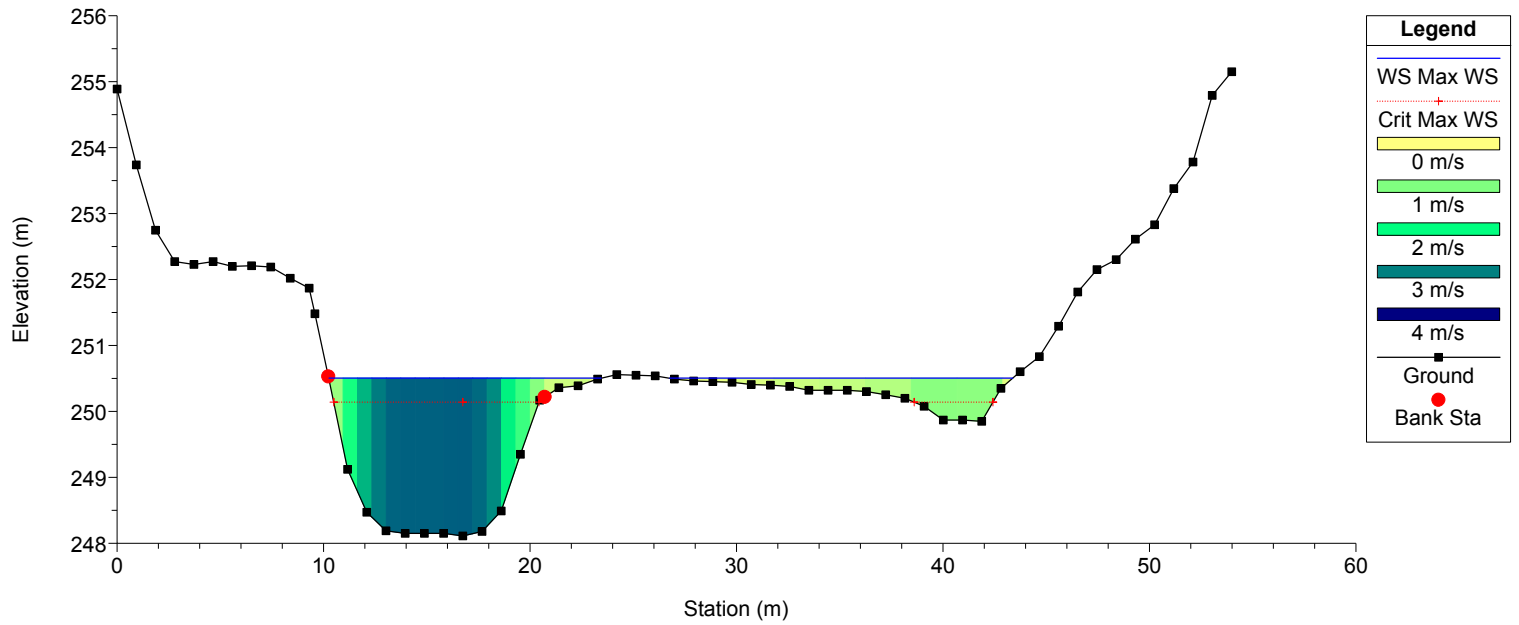
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1848.617 310



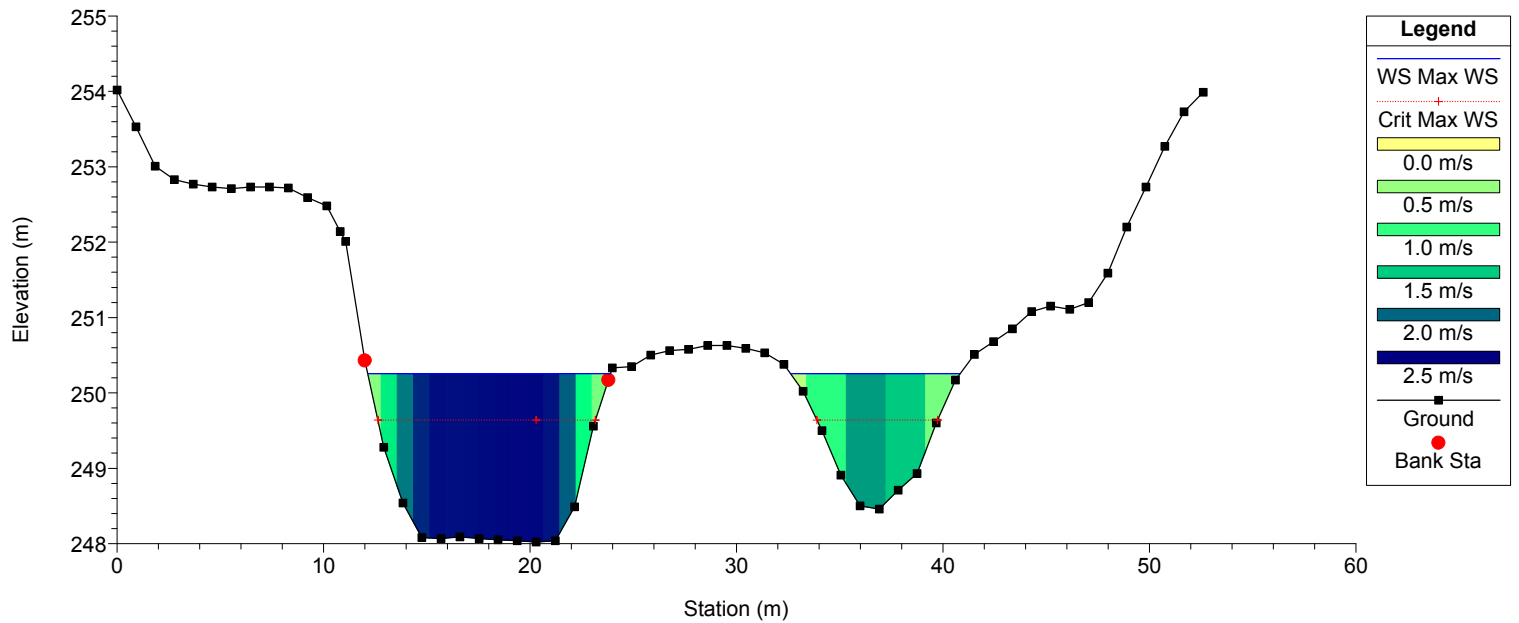
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1816.588 300



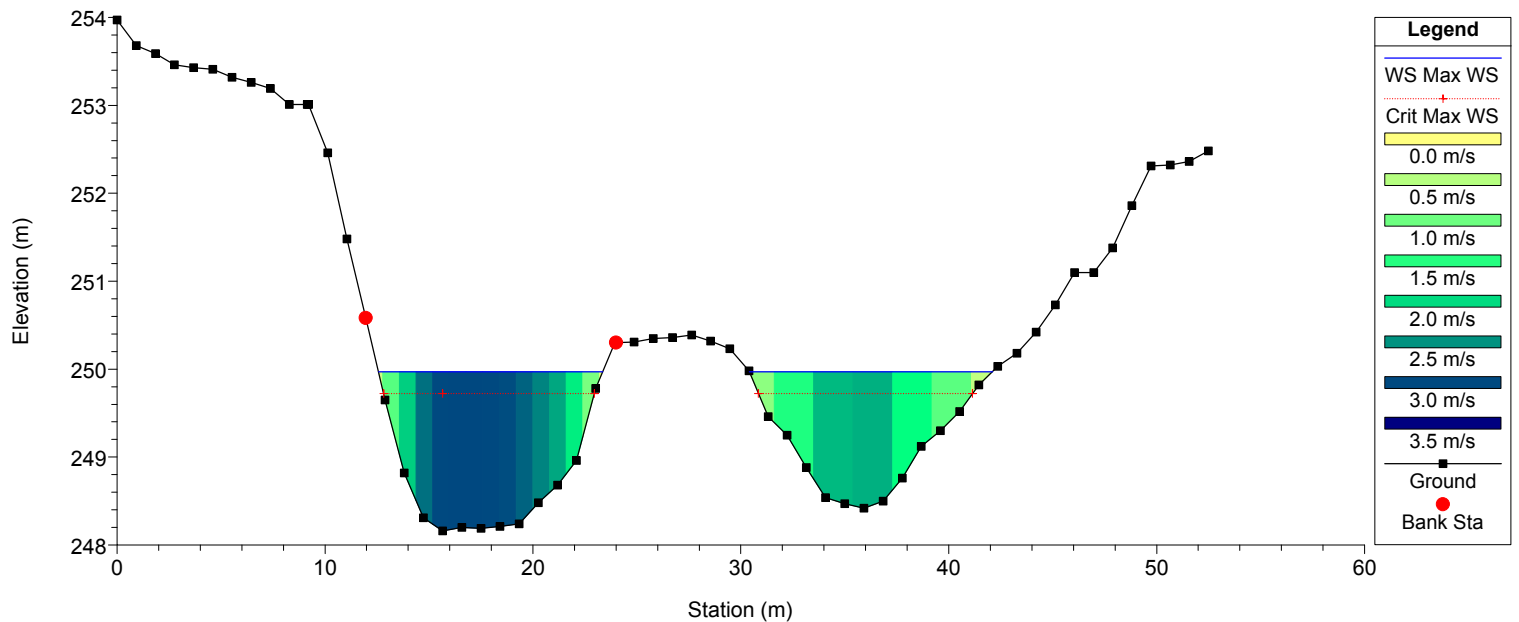
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1748.711 290



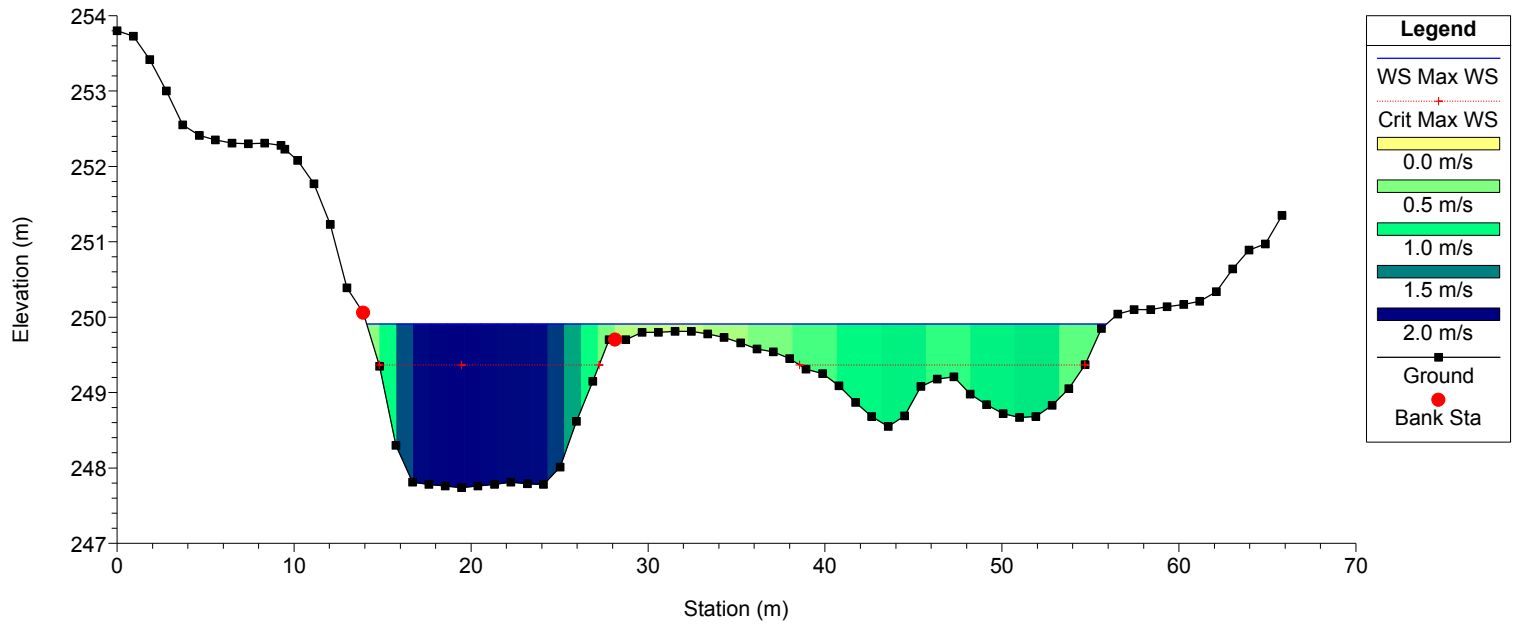
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1686.287 280



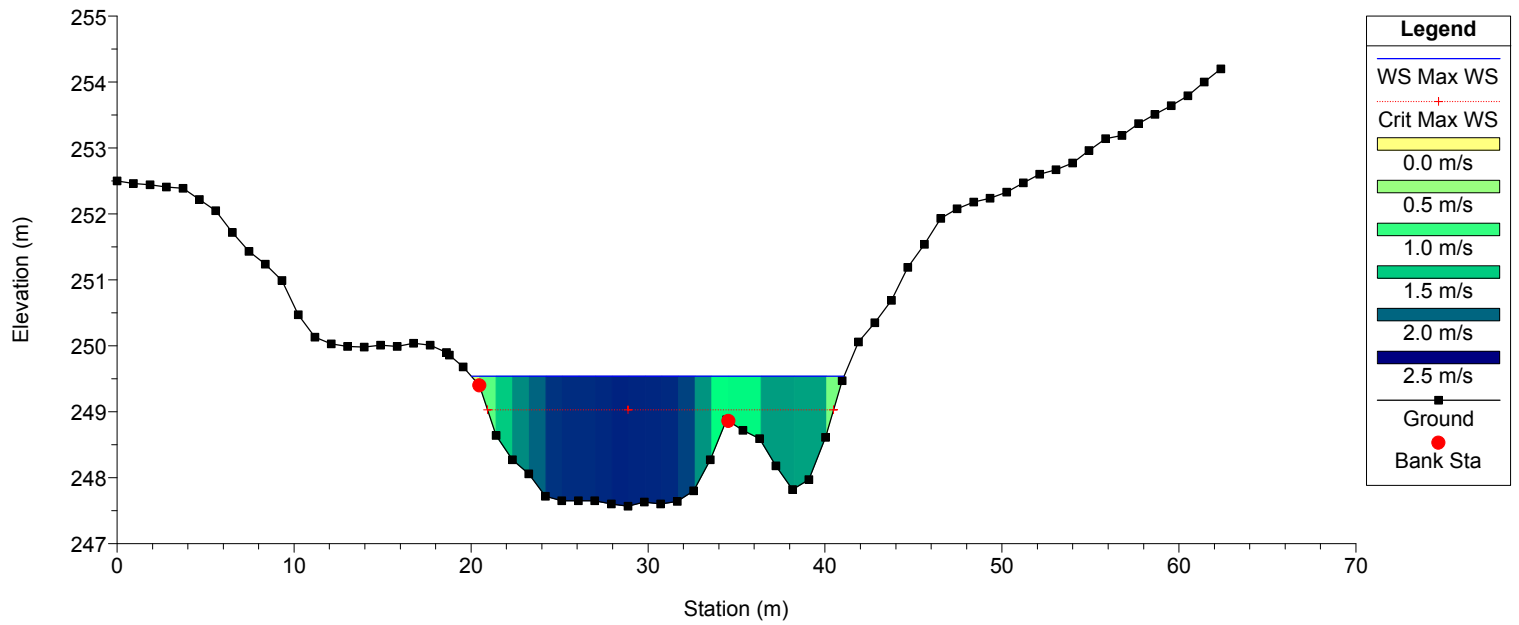
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1652.432 270



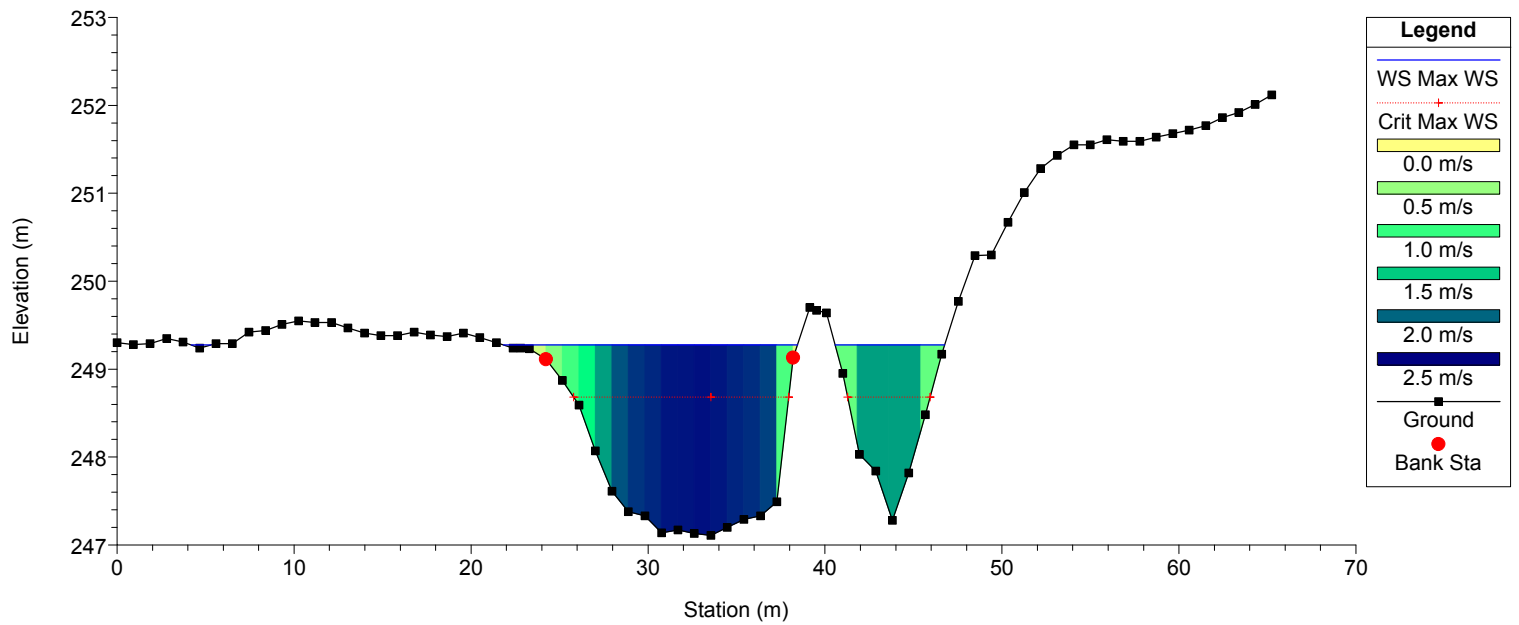
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1615.481 260



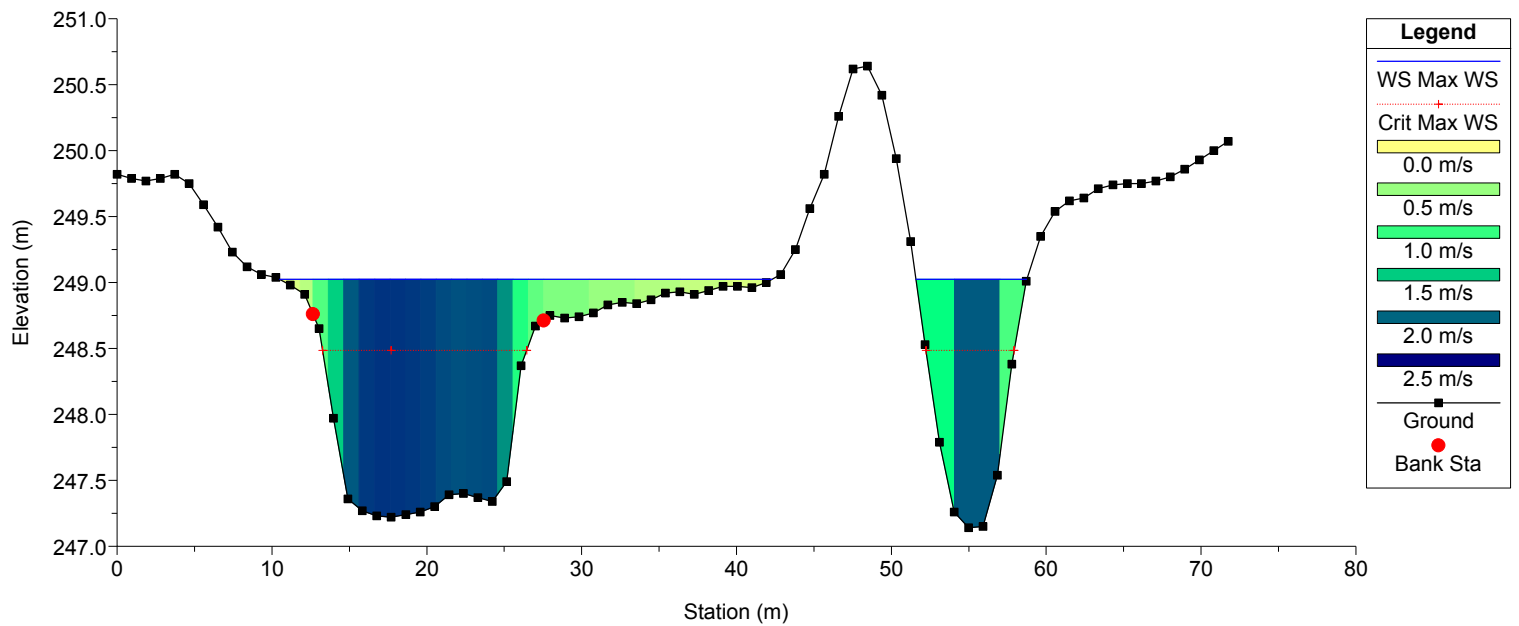
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1550.587 250



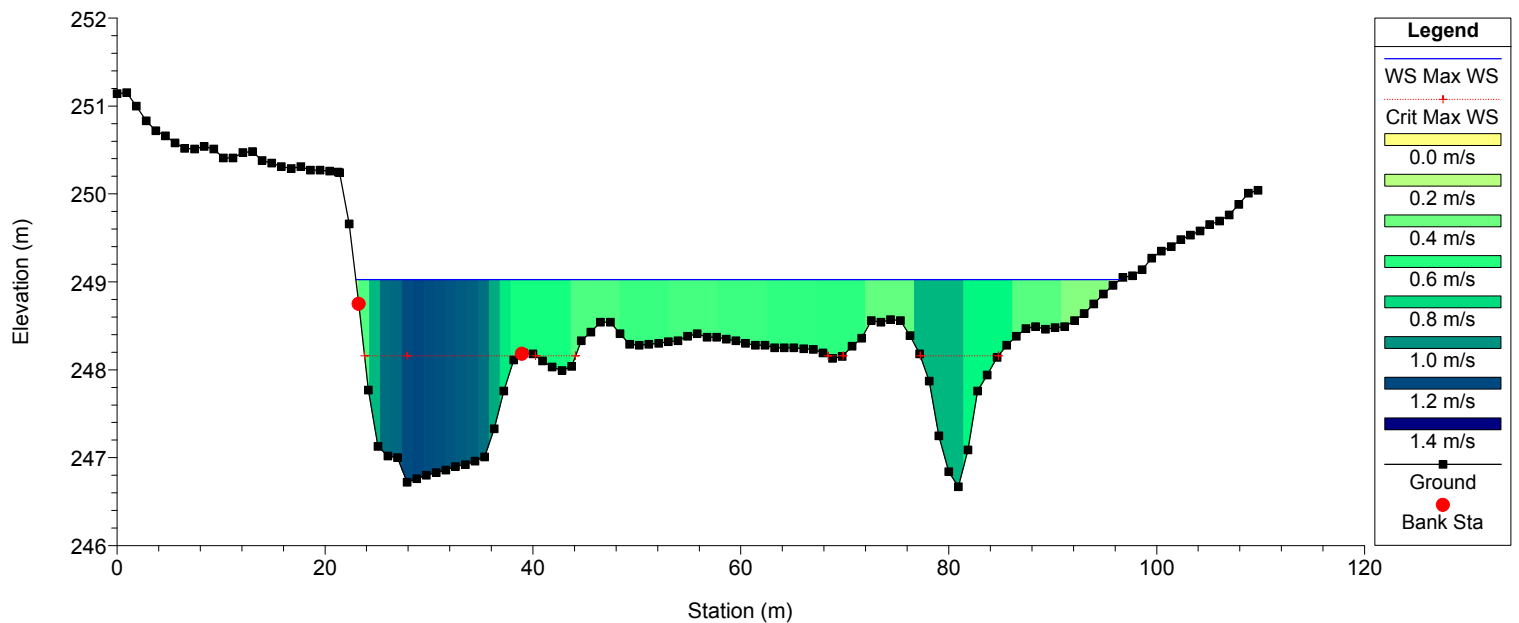
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1491.009 240



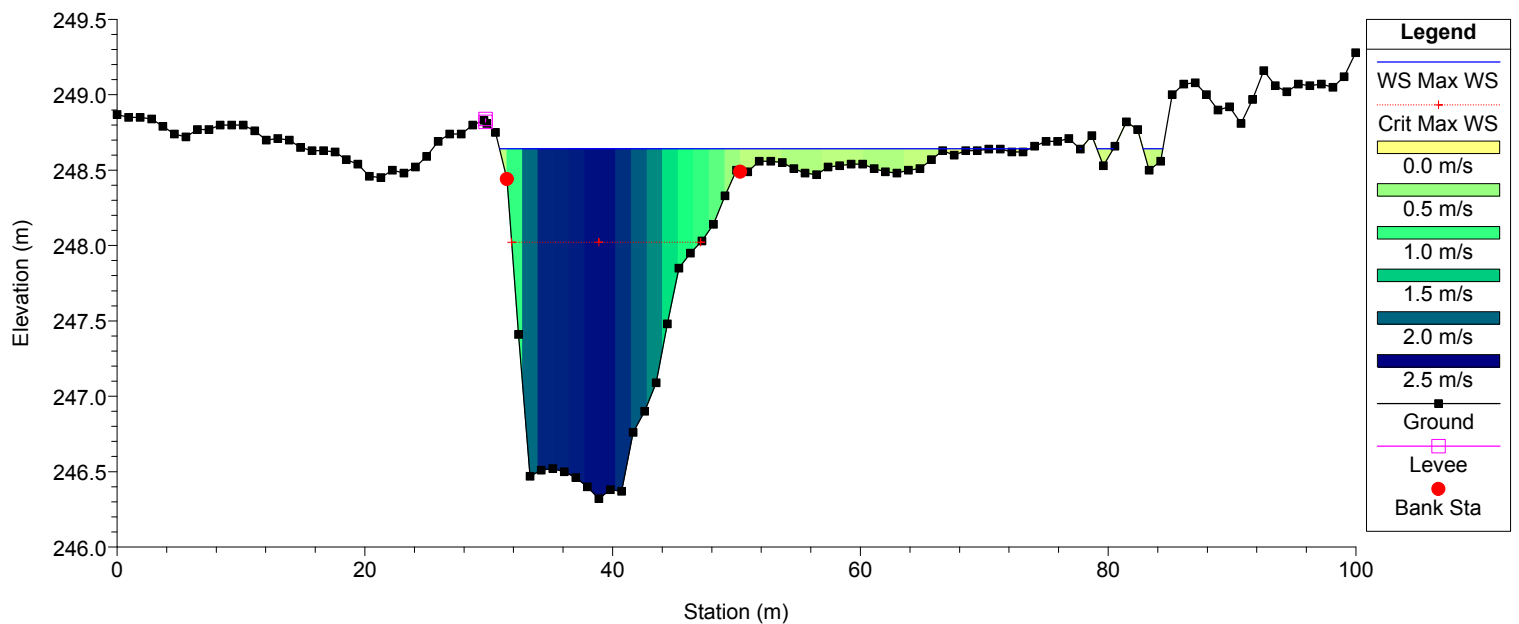
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1440.635 230



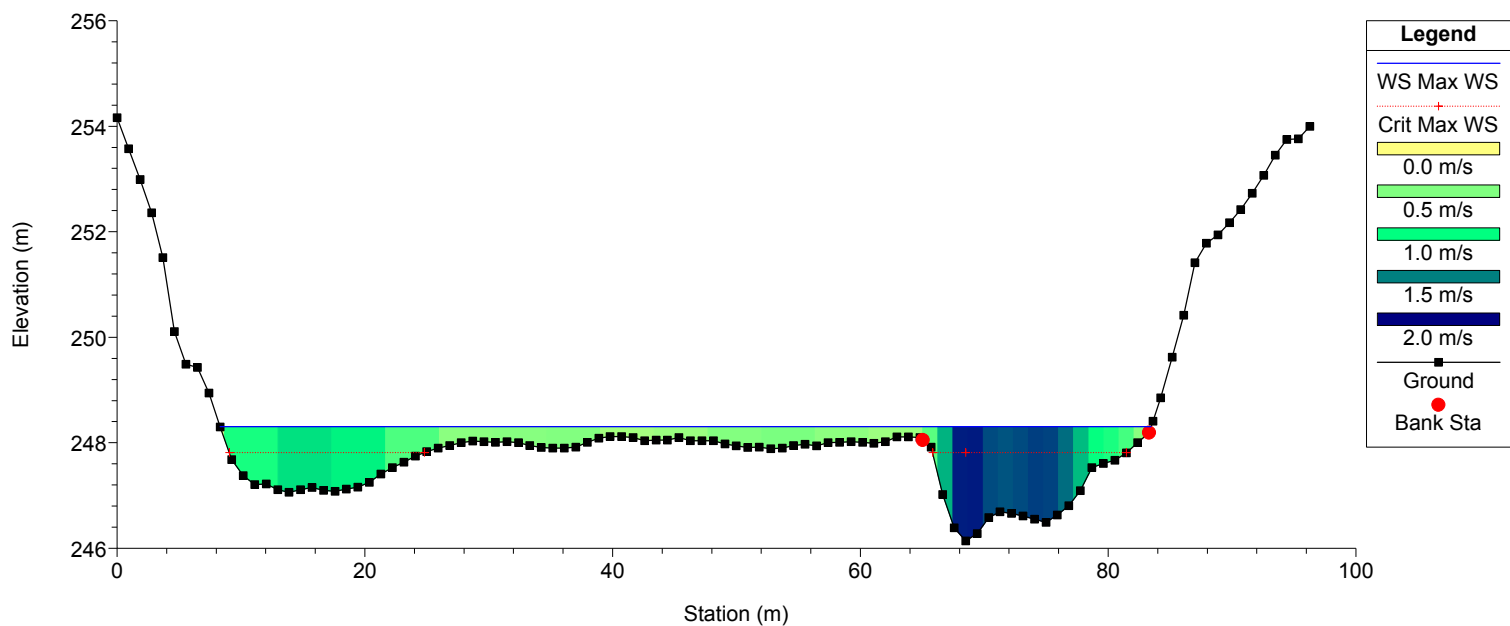
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1390.144 220



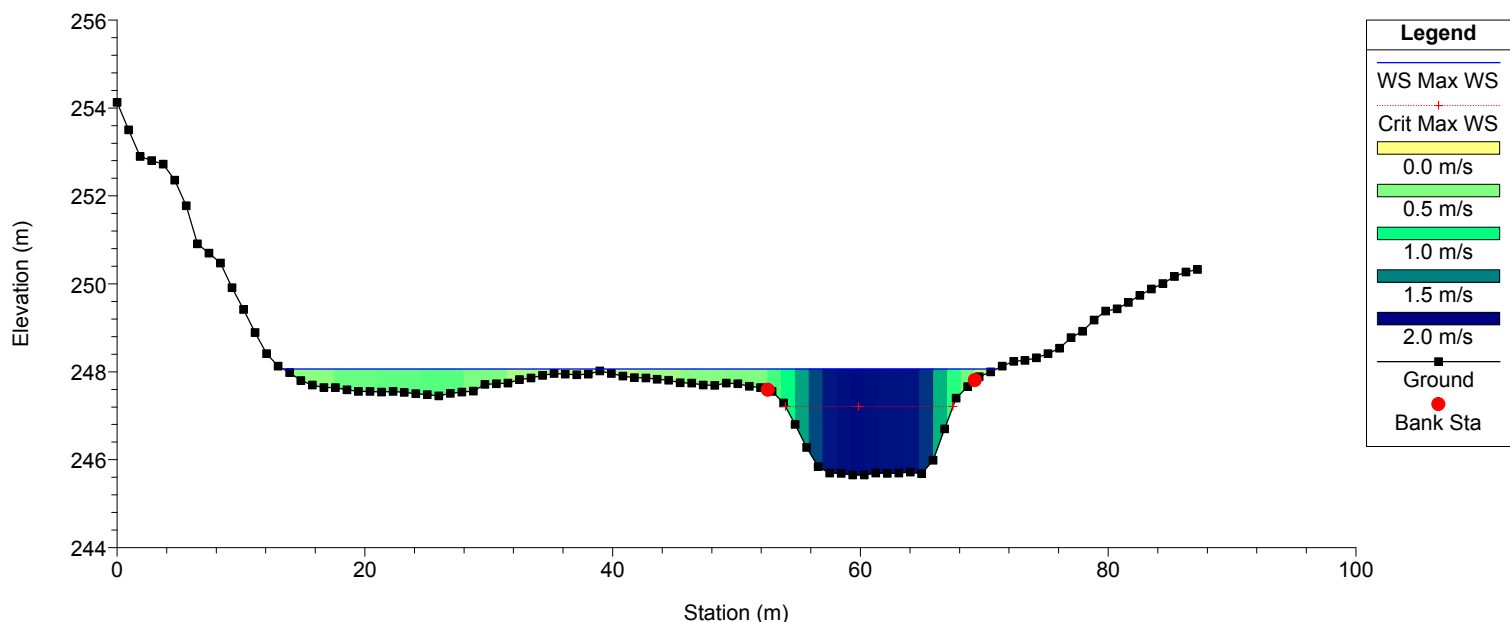
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1246.491 210



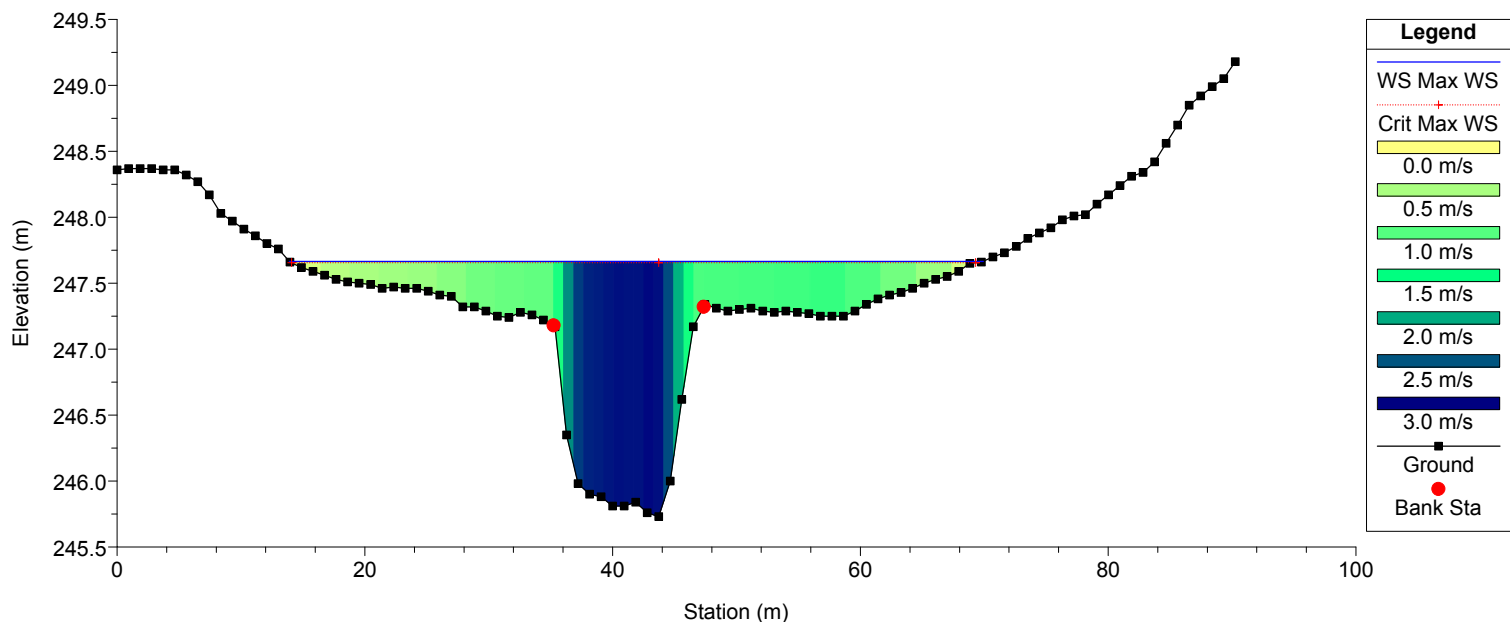
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1156.864 200



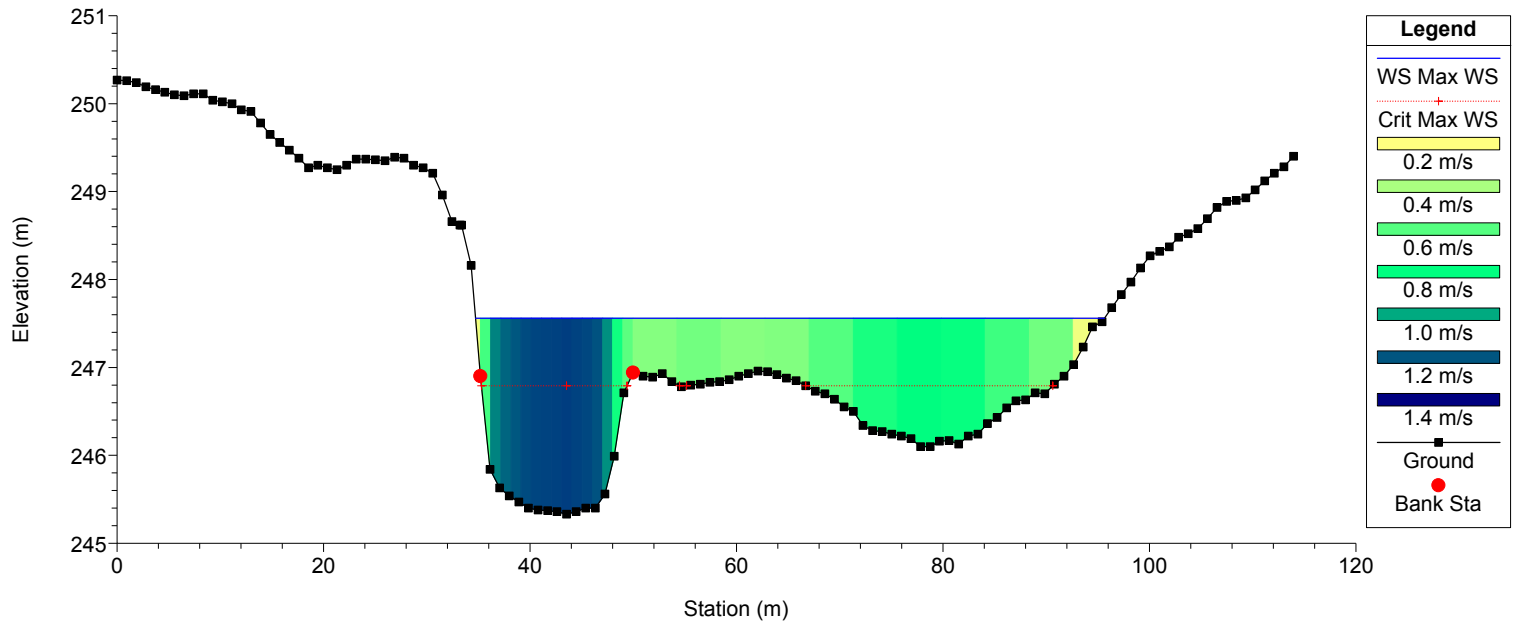
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1081.82 190



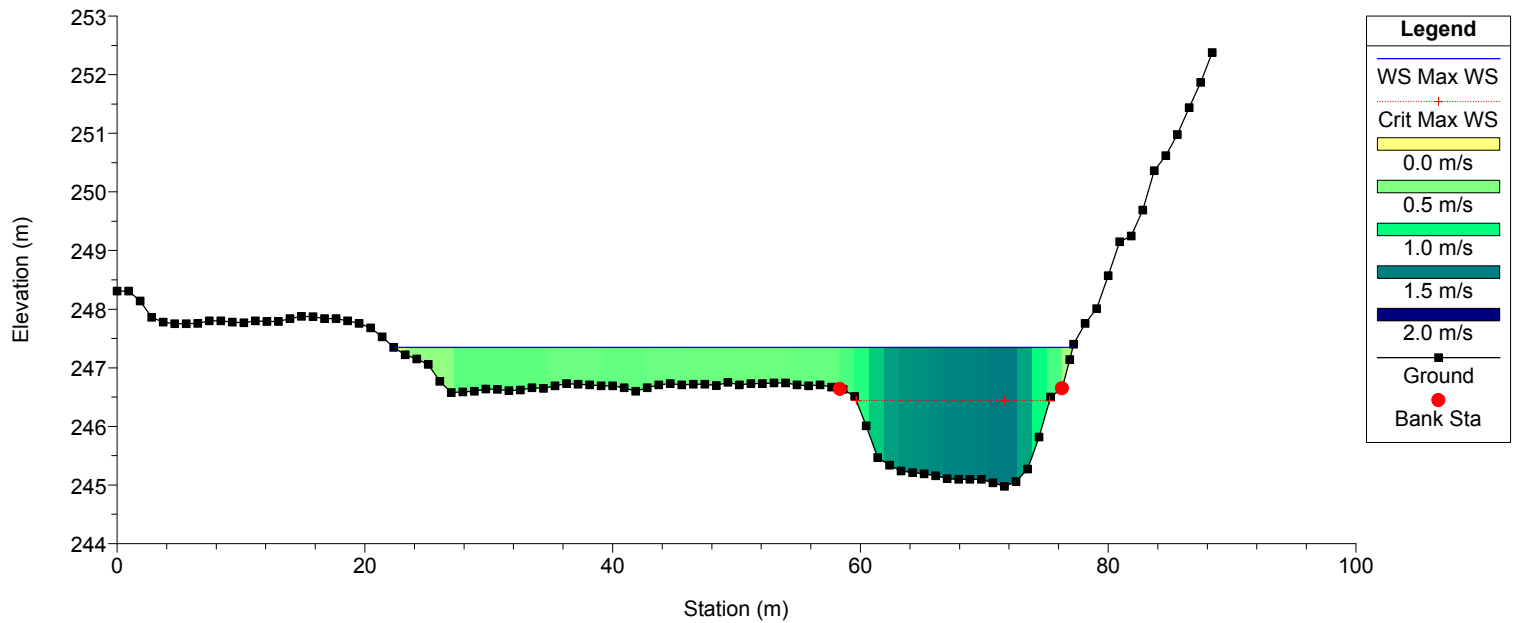
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 1015.579 180



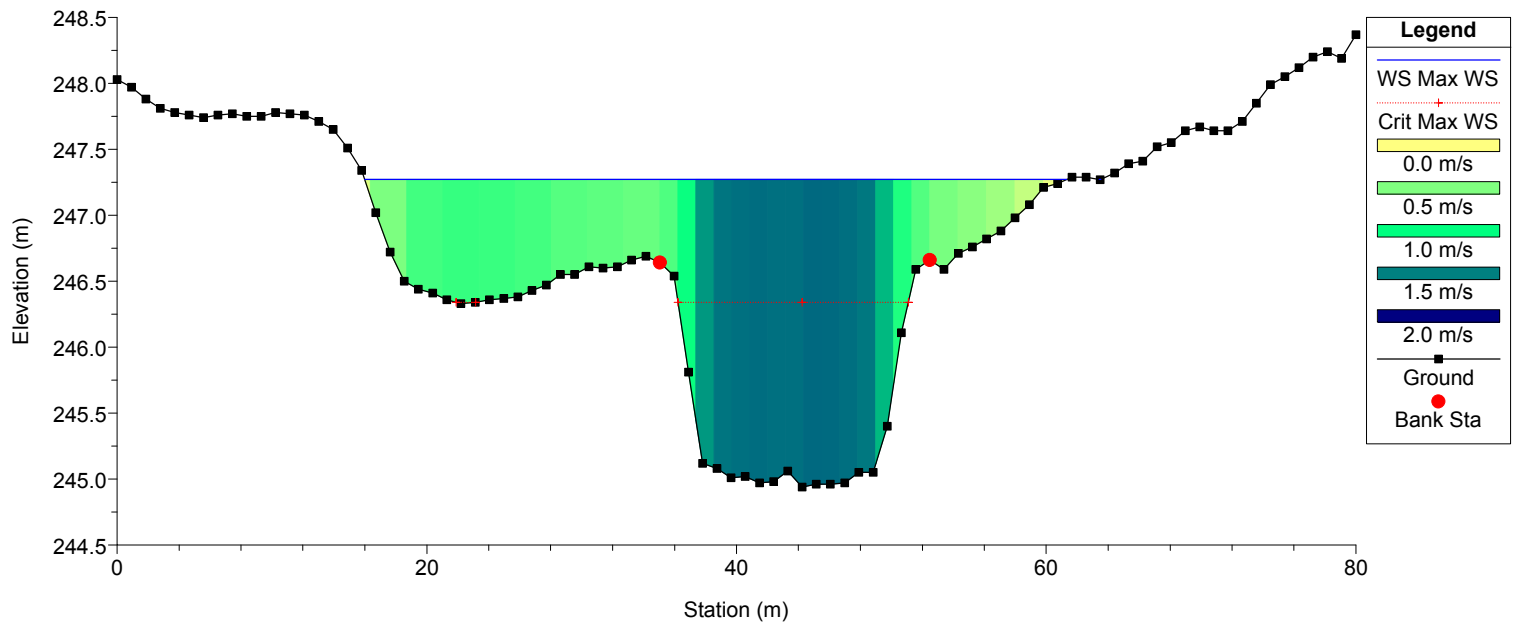
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 936.6432 170

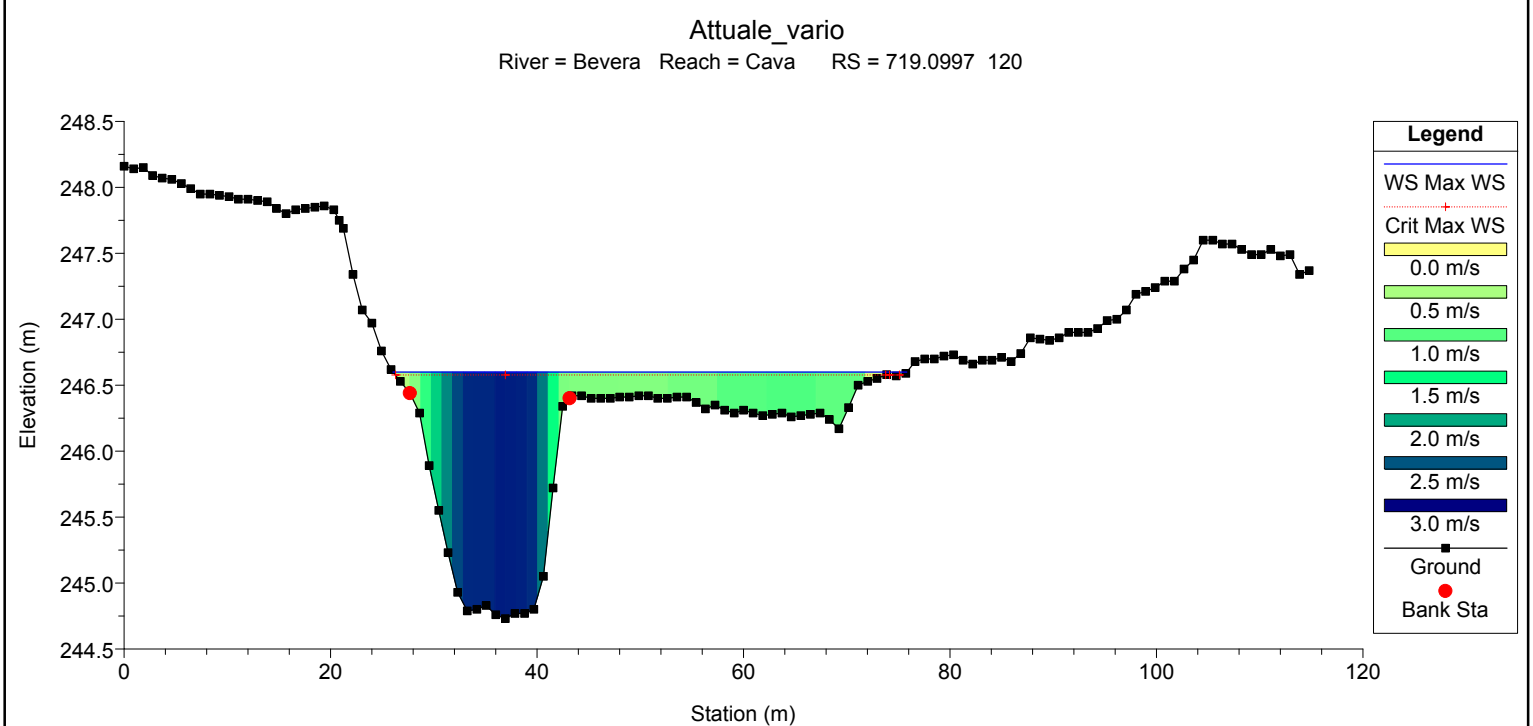
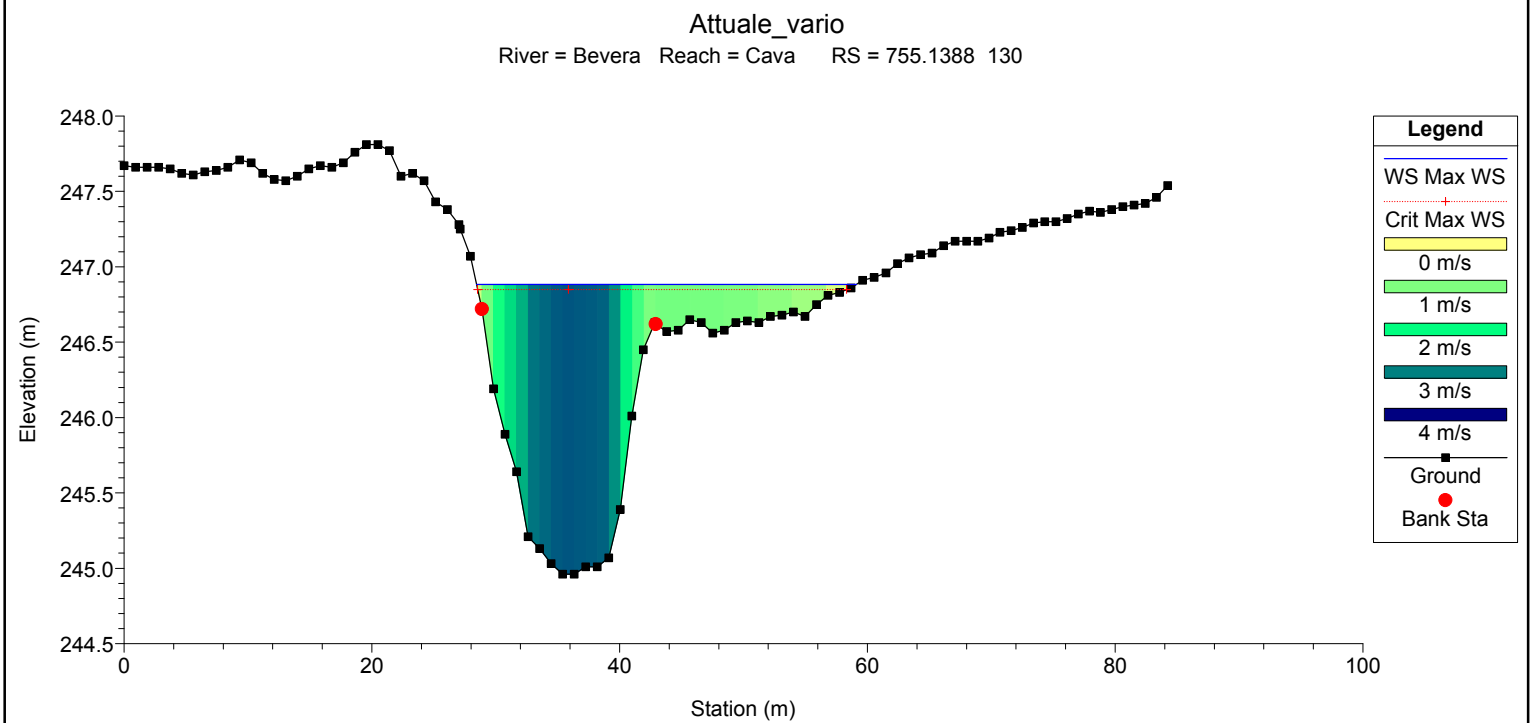
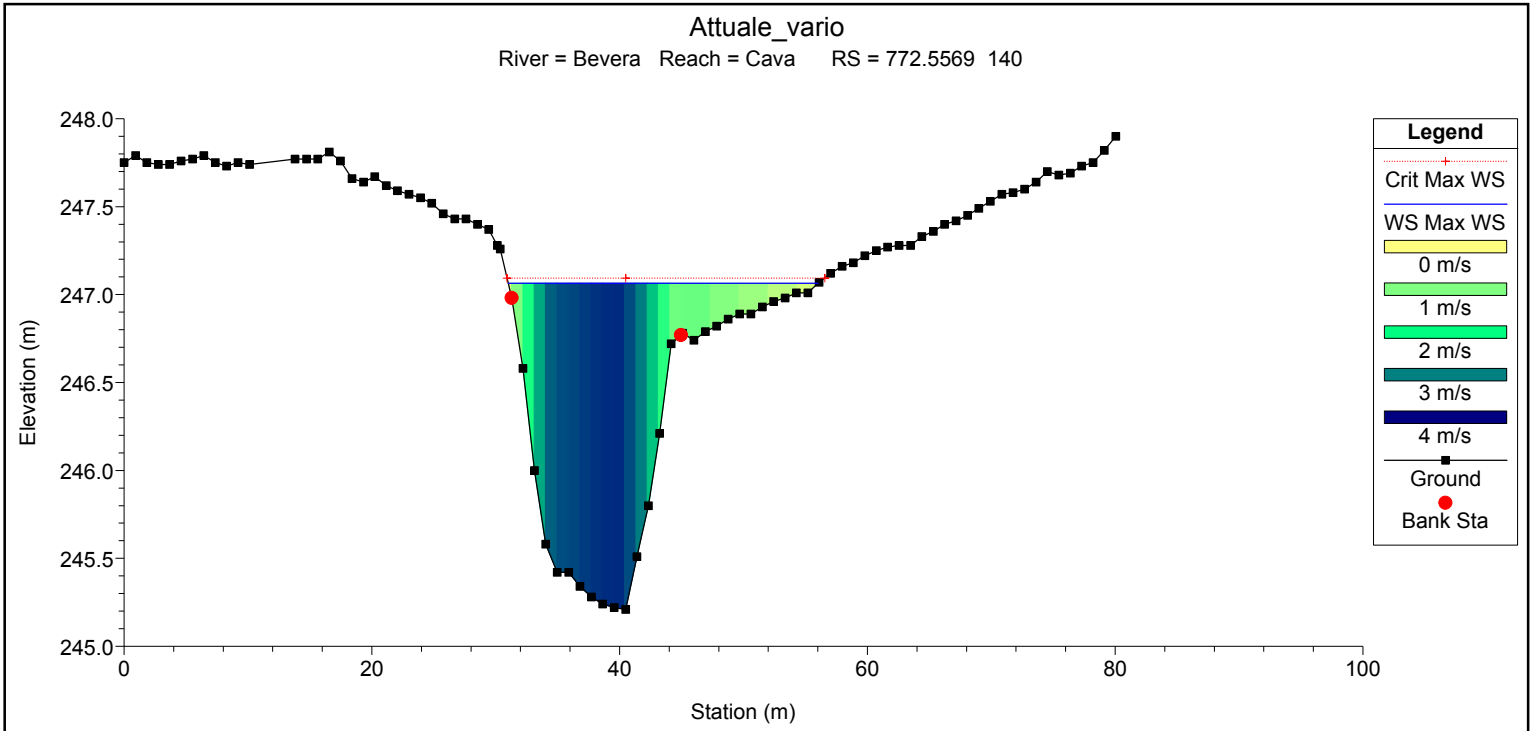


Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 851.8124 160

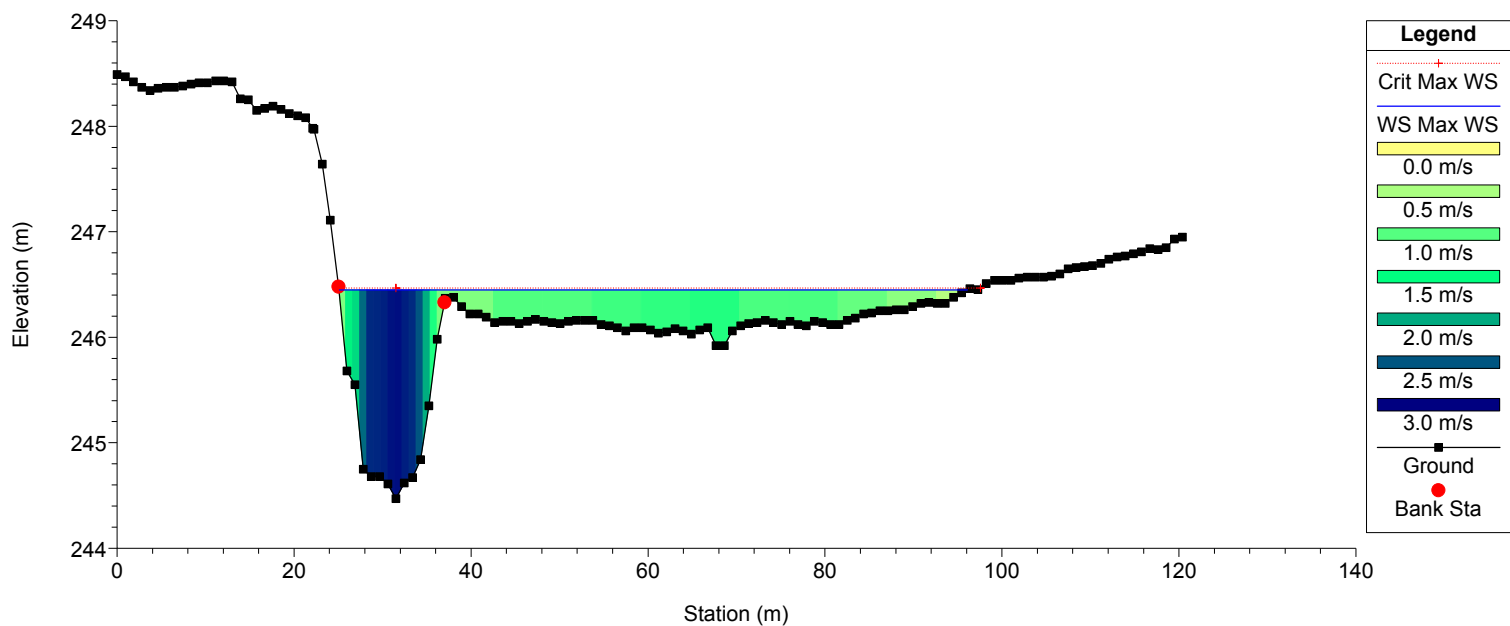


Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 803.9706 150

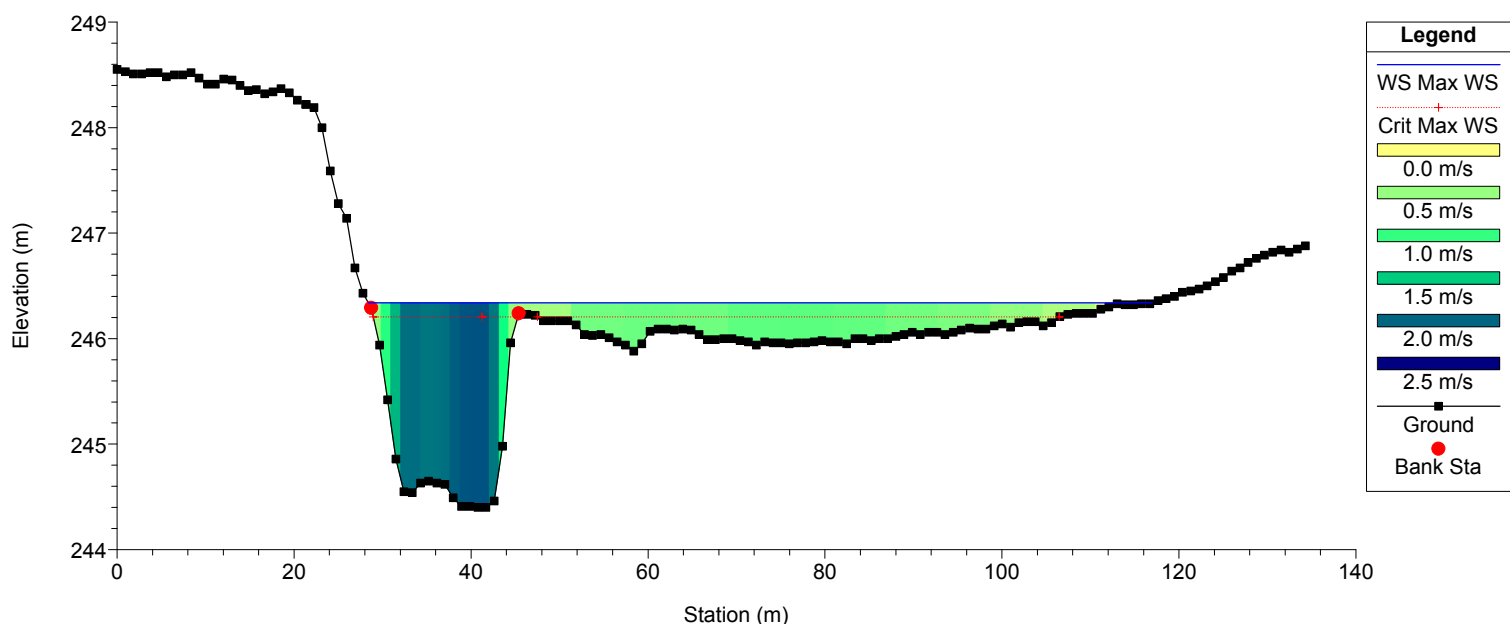




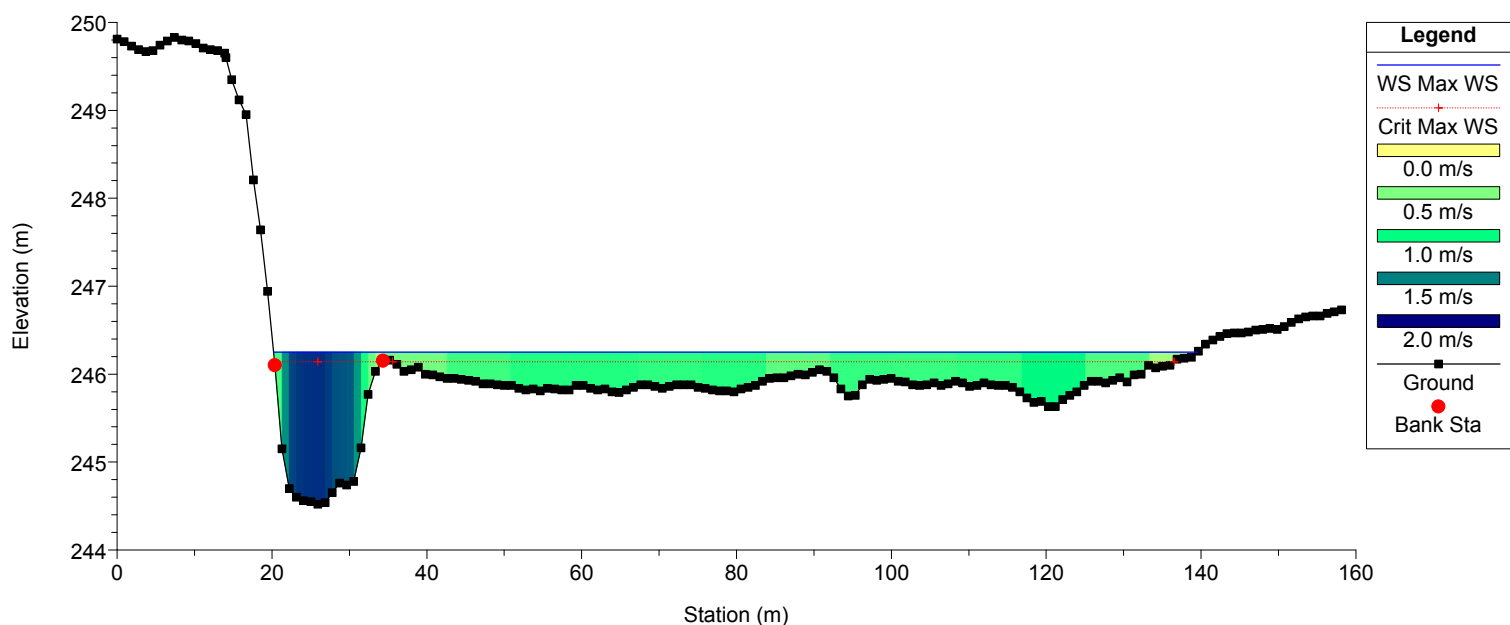
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 690.306 110



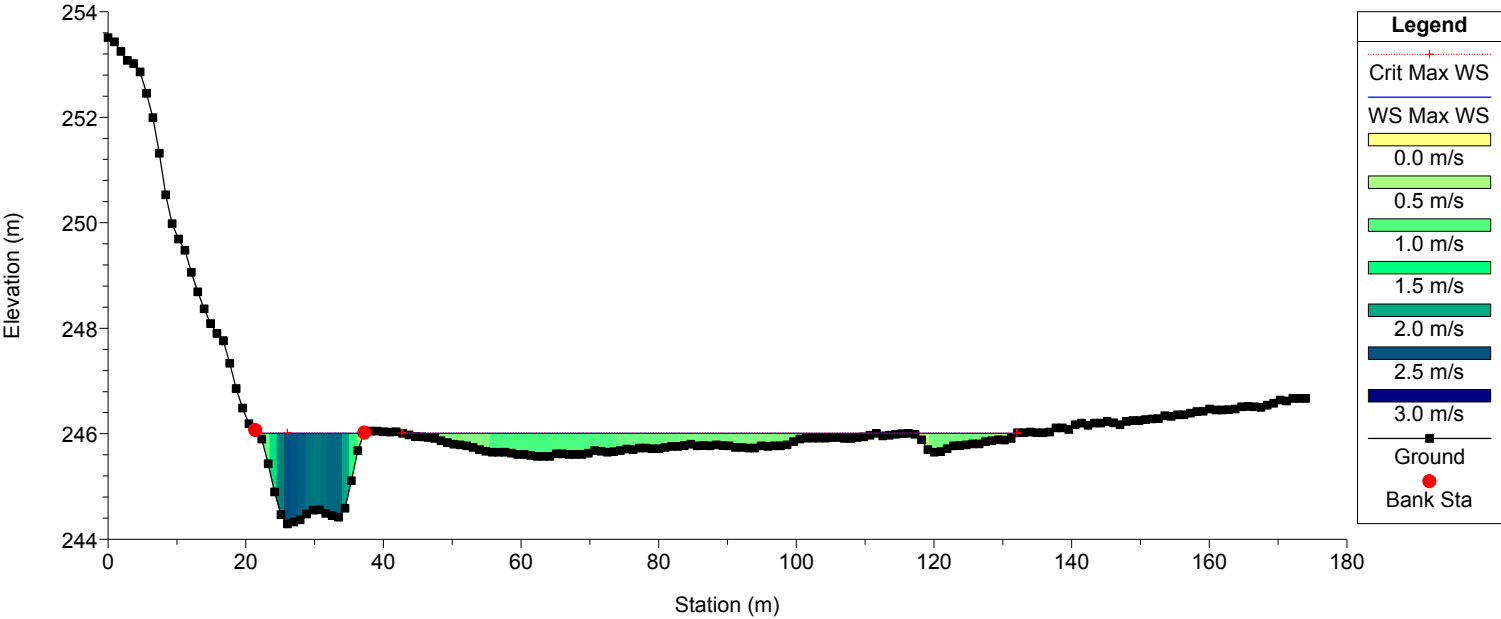
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 652.8829 100



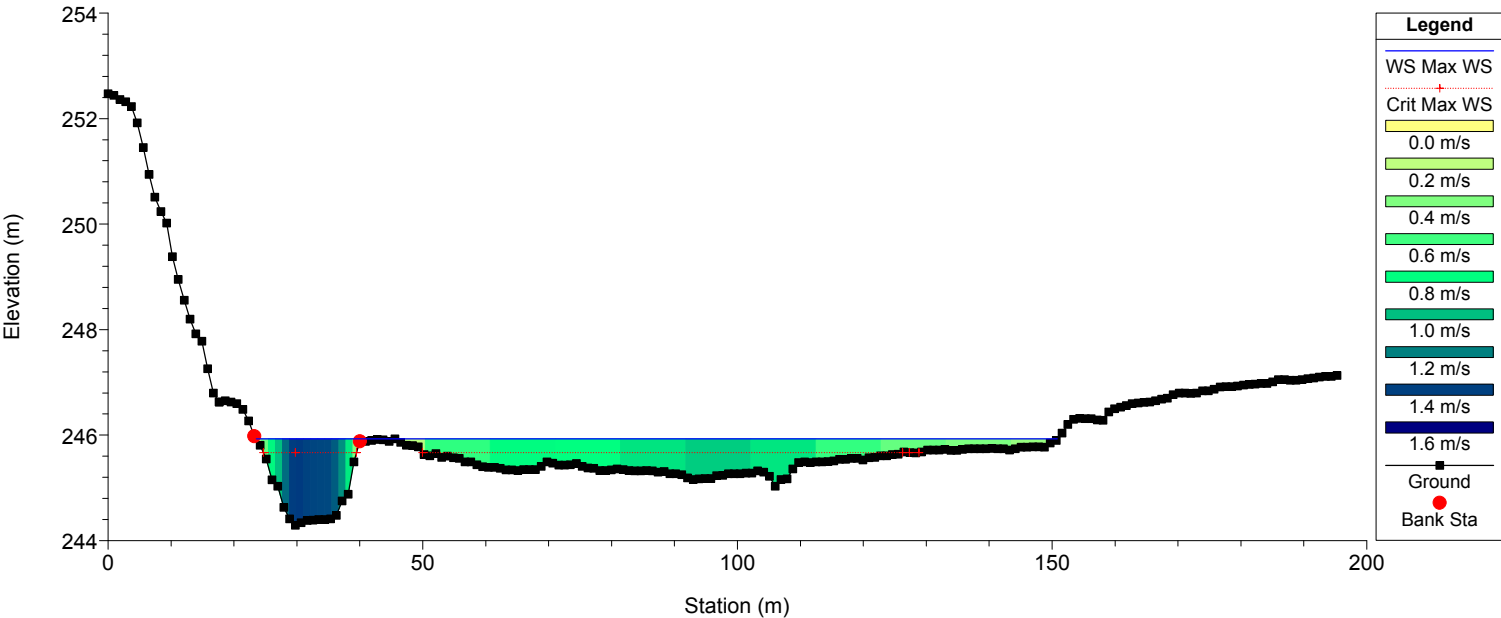
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 606.0334 90



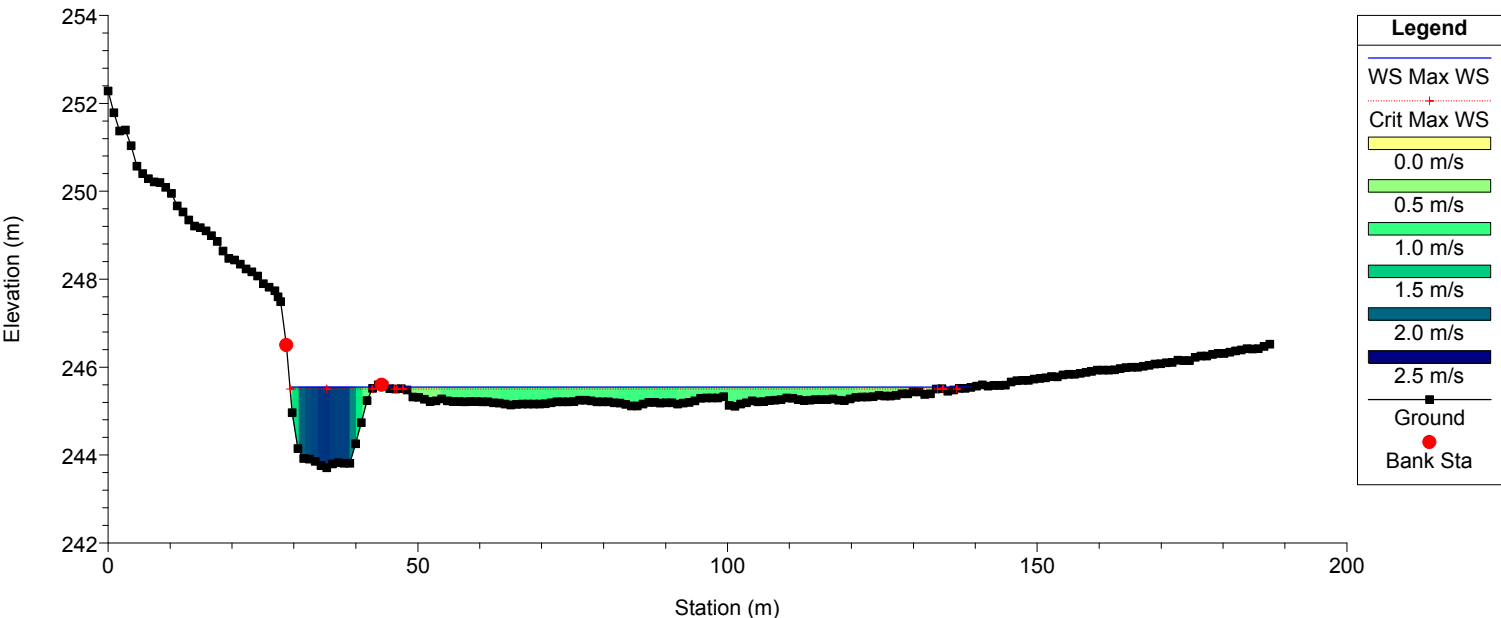
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 549.6392 80



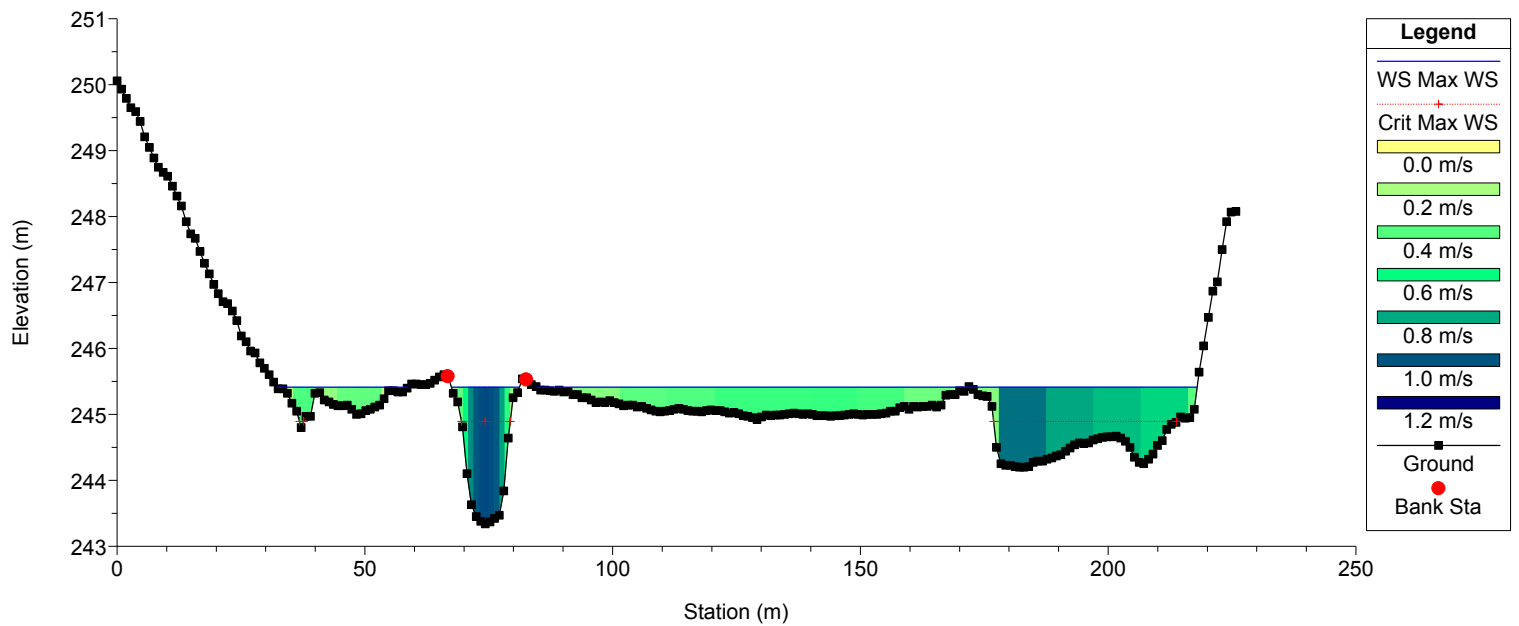
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 507.3814 70



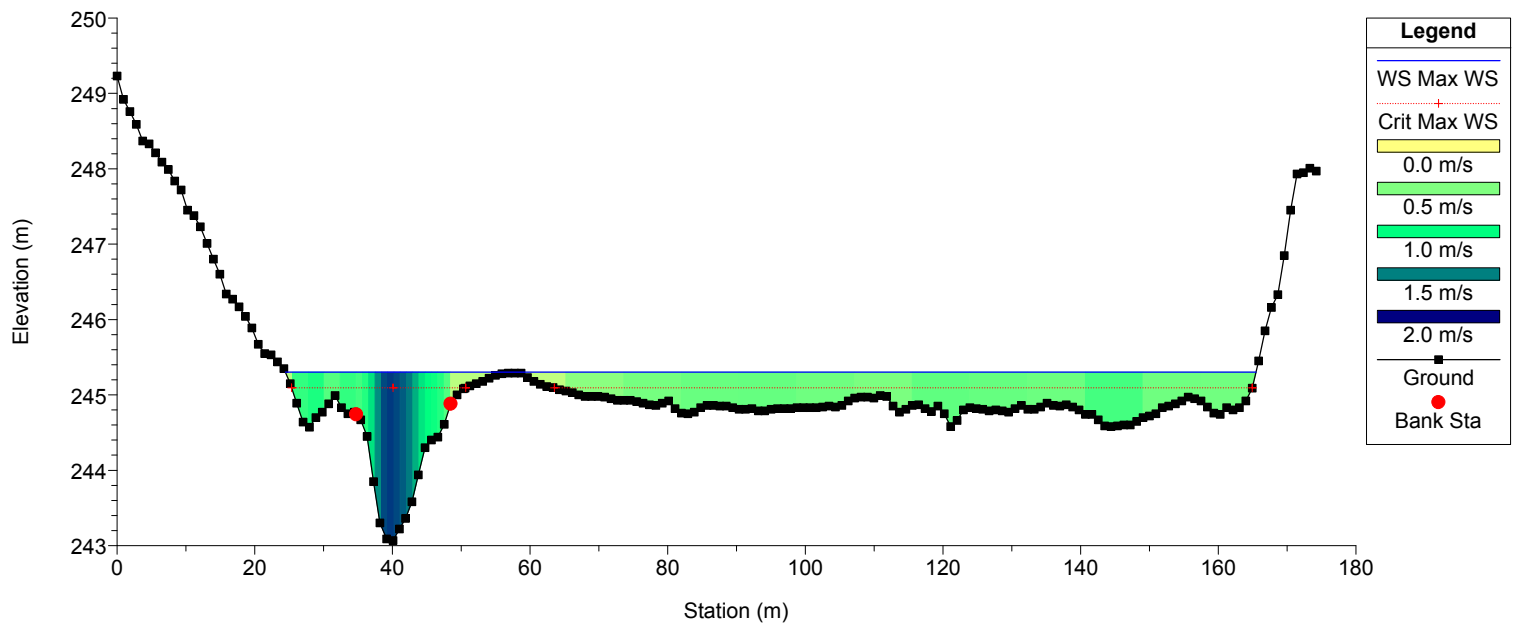
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 358.6008 60



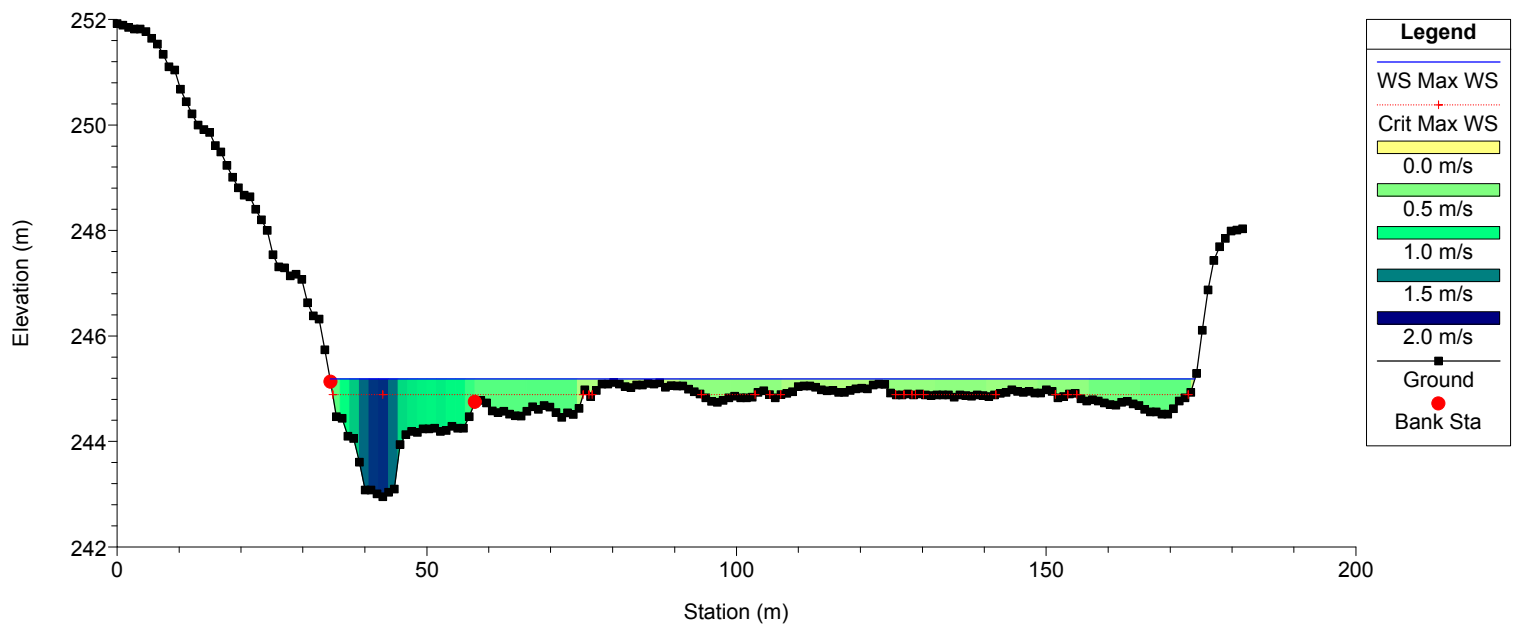
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 290.1754 50



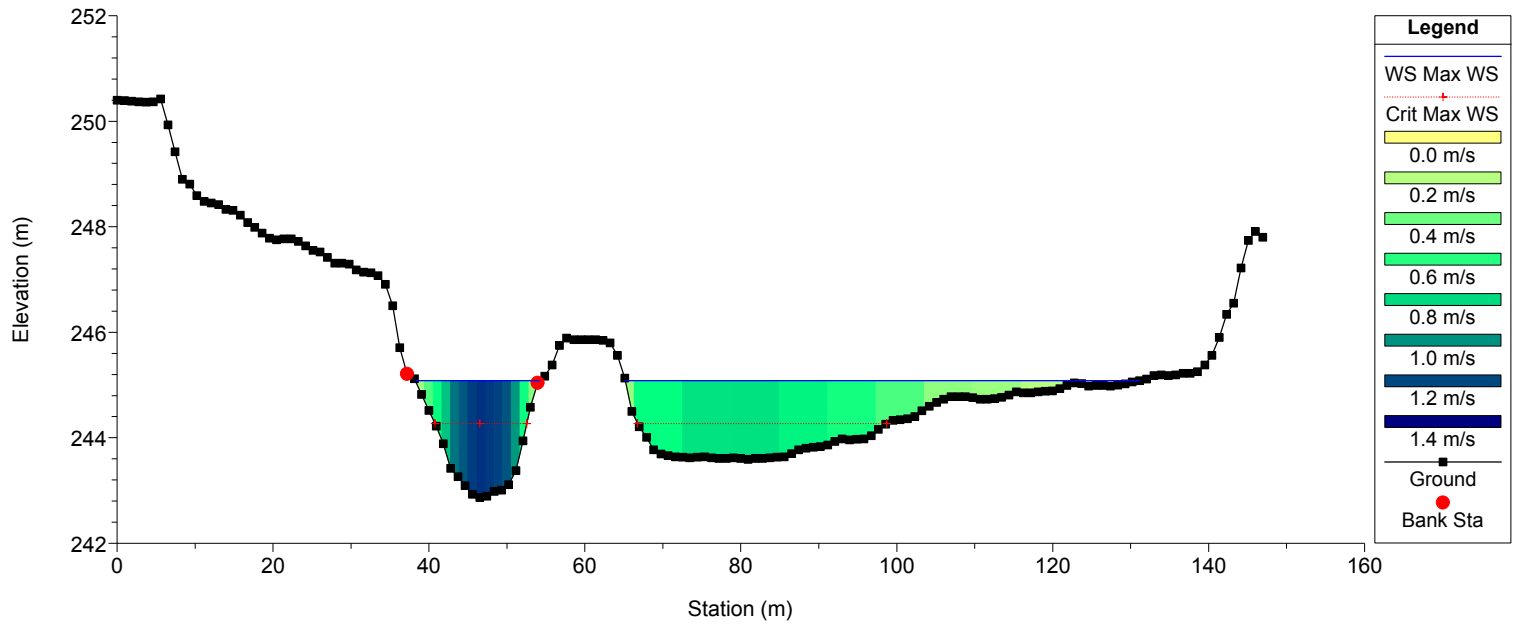
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 221.1102 40



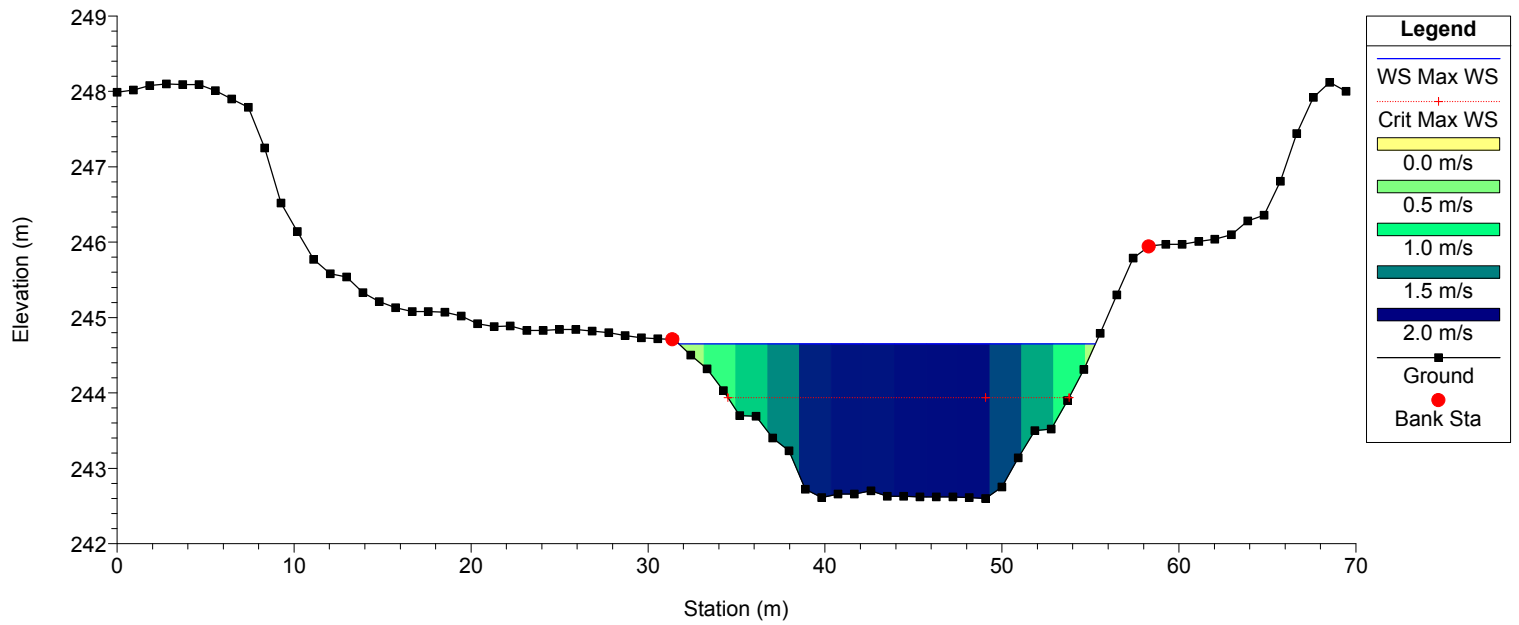
Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 169.2383 30



Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 91.02087 20



Attuale_vario
River = Bevera Reach = Cava RS = 0 10





PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

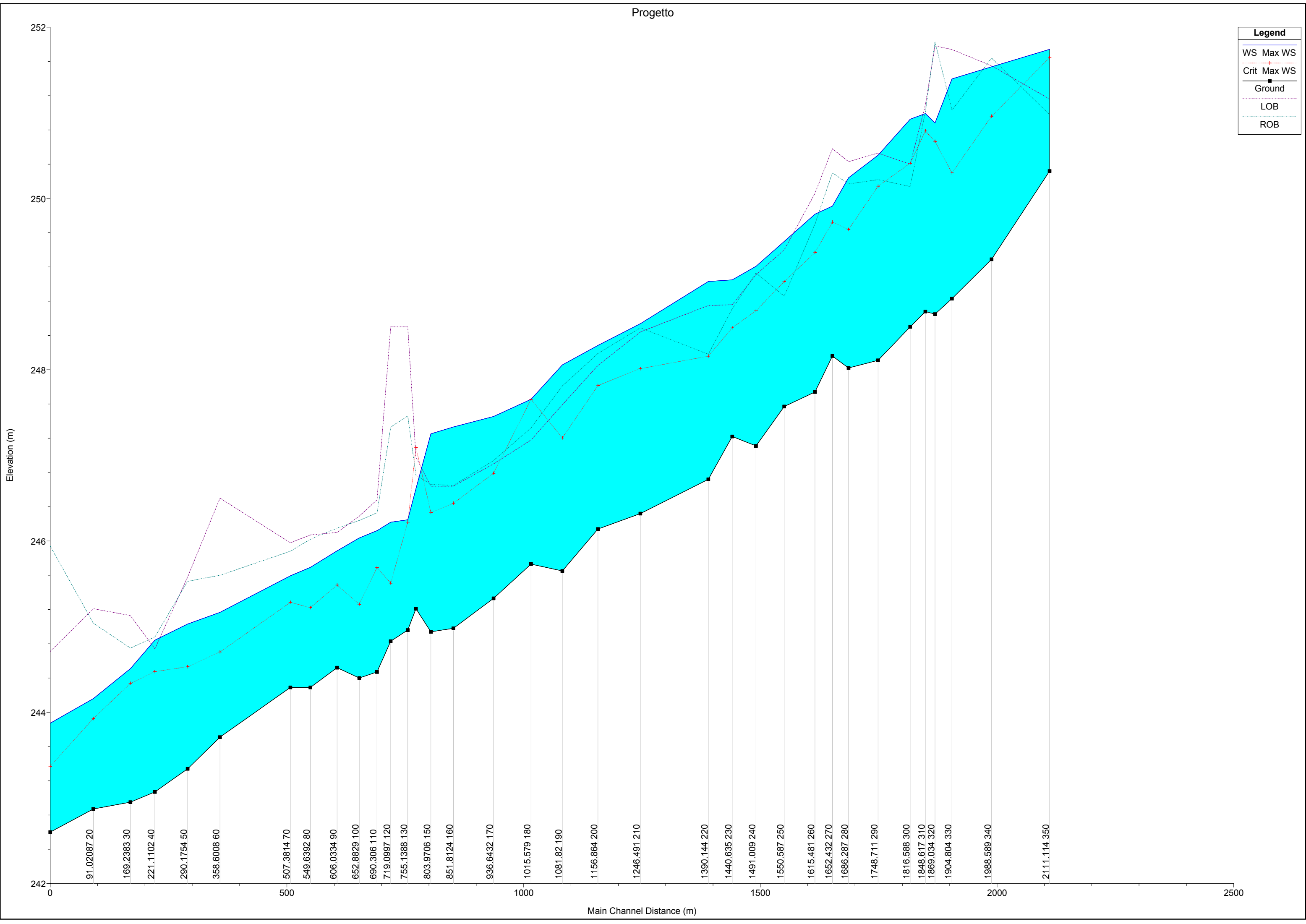
*Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione
del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*

Progetto Esecutivo



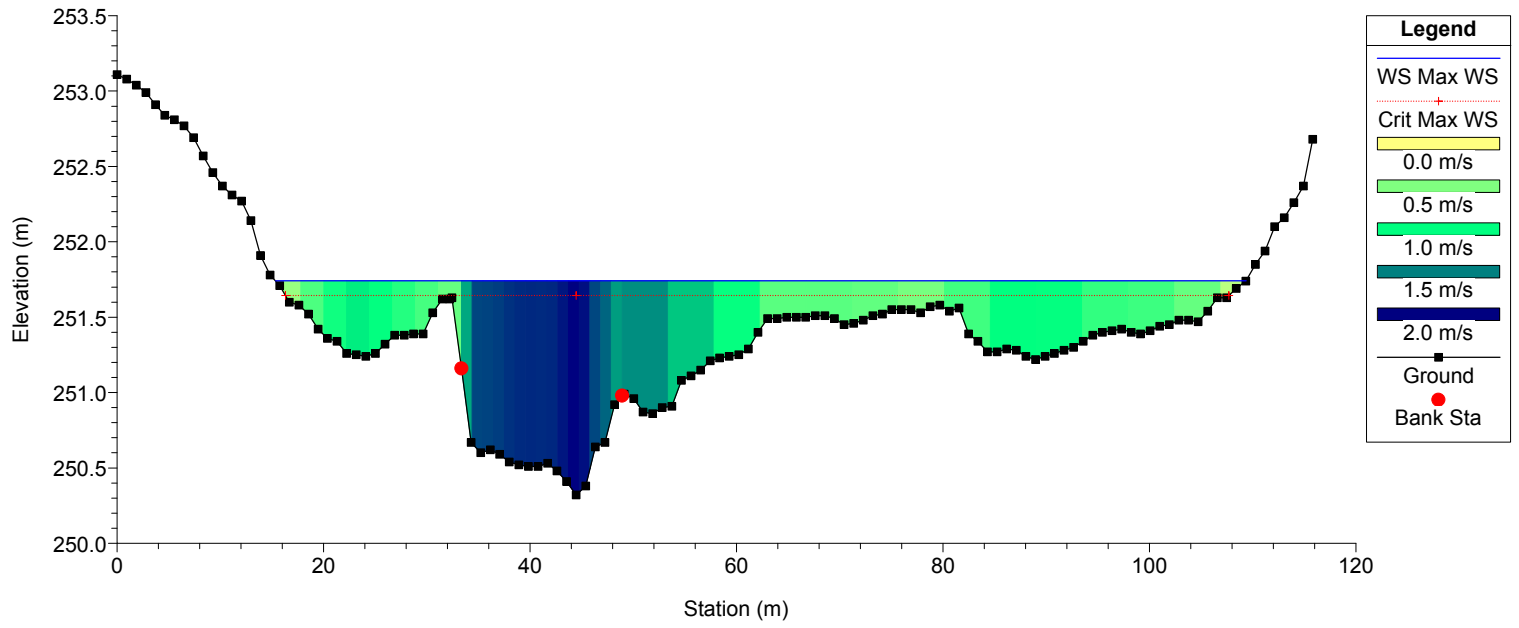
ALLEGATO 2

– Risultati simulazione idraulica: Bevera di Molteno – Configurazione di progetto

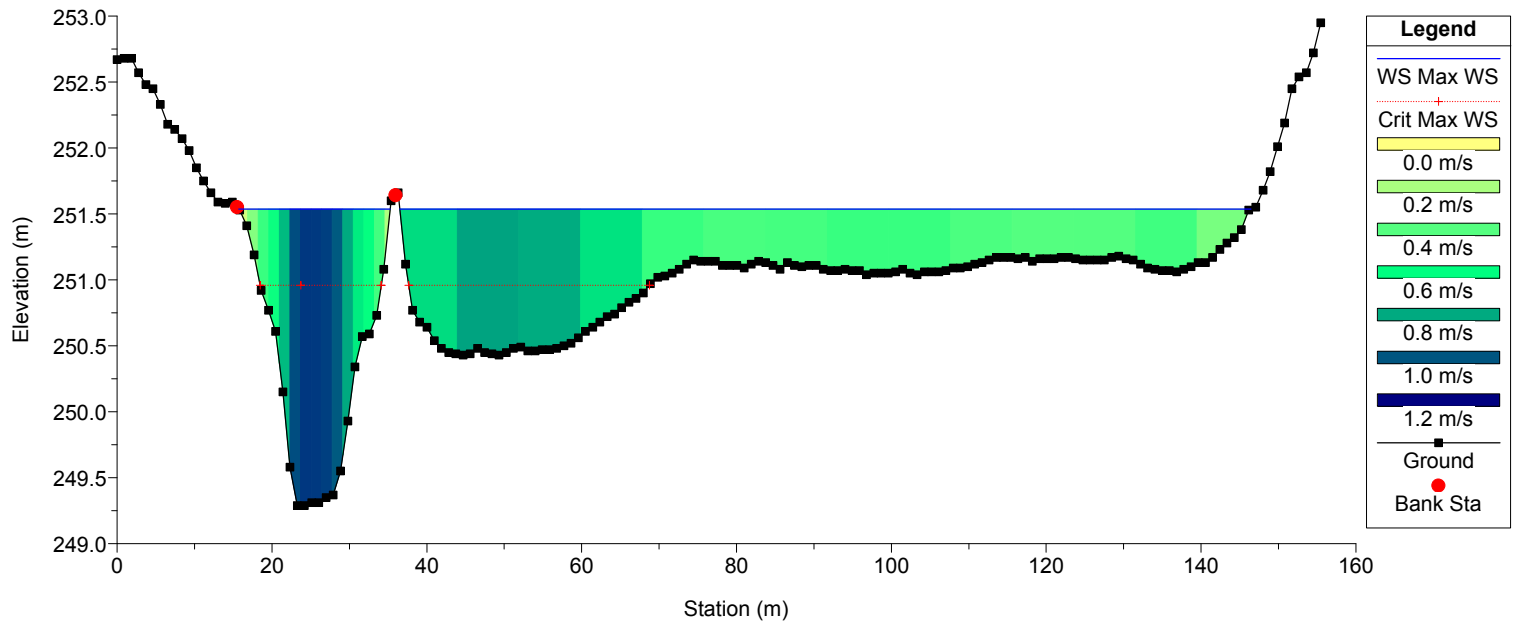


Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Cava	2111.114 350	Max WS	58.67	250.32	251.74	251.64	251.85	0.004226	1.78	46.32	94.01	0.53
Cava	1988.589 340	Max WS	58.64	249.29	251.54	250.96	251.56	0.000893	0.87	87.93	129.46	0.24
Cava	1904.804 330	Max WS	58.61	248.83	251.40	250.30	251.49	0.001482	1.40	48.04	51.37	0.33
Cava	1869.034 320	Max WS	58.60	248.65	250.88	250.67	251.43	0.011042	3.29	17.84	11.36	0.84
Cava	1848.617 310	Max WS	58.59	248.68	250.99	250.79	251.16	0.004906	2.06	38.04	54.38	0.56
Cava	1816.588 300	Max WS	58.54	248.50	250.93	250.41	251.04	0.002073	1.69	44.59	38.81	0.39
Cava	1748.711 290	Max WS	58.55	248.11	250.51	250.14	250.90	0.006954	2.85	23.81	29.91	0.67
Cava	1686.287 280	Max WS	58.54	248.02	250.24	249.64	250.46	0.004417	2.23	29.31	19.88	0.53
Cava	1652.432 270	Max WS	58.54	248.16	249.91	249.72	250.24	0.009838	2.79	23.90	21.94	0.78
Cava	1615.481 260	Max WS	58.54	247.74	249.82	249.37	249.98	0.003736	1.97	38.00	41.33	0.50
Cava	1550.587 250	Max WS	58.53	247.57	249.50	249.03	249.72	0.004390	2.16	28.89	20.85	0.55
Cava	1491.009 240	Max WS	58.53	247.11	249.21	248.69	249.44	0.004986	2.23	28.06	20.86	0.57
Cava	1440.635 230	Max WS	58.52	247.22	249.05	248.49	249.22	0.004069	1.97	33.32	40.11	0.52
Cava	1390.144 220	Max WS	58.50	246.72	249.03	248.16	249.07	0.000860	1.06	74.04	73.58	0.25
Cava	1246.491 210	Max WS	58.46	246.32	248.54	248.01	248.79	0.005461	2.22	26.74	31.31	0.60
Cava	1156.864 200	Max WS	58.38	246.14	248.28	247.82	248.38	0.003233	1.61	50.42	75.09	0.46
Cava	1081.82 190	Max WS	58.38	245.65	248.06	247.20	248.19	0.002372	1.73	42.96	57.47	0.41
Cava	1015.579 180	Max WS	58.36	245.73	247.66	247.65	247.96	0.007178	2.65	29.52	55.29	0.69
Cava	936.6432 170	Max WS	58.29	245.33	247.45	246.79	247.51	0.001260	1.26	62.89	59.67	0.30
Cava	851.8124 160	Max WS	58.20	244.98	247.33	246.44	247.41	0.001385	1.37	55.16	54.67	0.32
Cava	803.9706 150	Max WS	58.13	244.94	247.25	246.33	247.34	0.001561	1.45	49.30	44.93	0.34
Cava	772.5569 140	Max WS	58.21	245.21	246.61	247.09	247.80	0.038899	4.83	12.04	11.84	1.53
Cava	755.1388 130	Max WS	58.20	244.96	246.25	246.22	246.84	0.003091	3.41	17.08	13.59	0.97
Cava	740		Lat Struct									
Cava	719.0997 120	Max WS	22.80	244.83	246.22	245.51	246.30	0.000379	1.23	18.47	13.64	0.34
Cava	690.306 110	Max WS	22.77	244.47	246.12	245.69	246.28	0.004914	1.80	13.48	29.50	0.54
Cava	652.8829 100	Max WS	22.73	244.40	246.04	245.26	246.10	0.001624	1.14	21.32	44.52	0.32
Cava	606.0334 90	Max WS	22.65	244.52	245.89	245.49	246.02	0.004480	1.67	16.20	67.61	0.52
Cava	549.6392 80	Max WS	21.35	244.29	245.69	245.22	245.80	0.003551	1.48	15.51	36.38	0.46
Cava	507.3814 70	Max WS	21.24	244.29	245.59	245.28	245.63	0.001971	1.04	28.86	83.31	0.34
Cava	358.6008 60	Max WS	22.39	243.71	245.17	244.70	245.31	0.004109	1.66	13.75	24.90	0.50
Cava	290.1754 50	Max WS	22.36	243.34	245.03	244.53	245.05	0.000882	0.81	35.80	87.73	0.23
Cava	221.1102 40	Max WS	22.33	243.07	244.84	244.48	244.97	0.005029	1.64	17.29	75.69	0.54
Cava	169.2383 30	Max WS	22.32	242.95	244.51	244.34	244.65	0.008629	1.66	13.53	24.62	0.67
Cava	91.02087 20	Max WS	22.30	242.87	244.16	243.93	244.22	0.003320	1.31	22.75	41.77	0.44
Cava	0 10	Max WS	22.28	242.60	243.87	243.37	243.96	0.003038	1.28	17.39	18.93	0.43

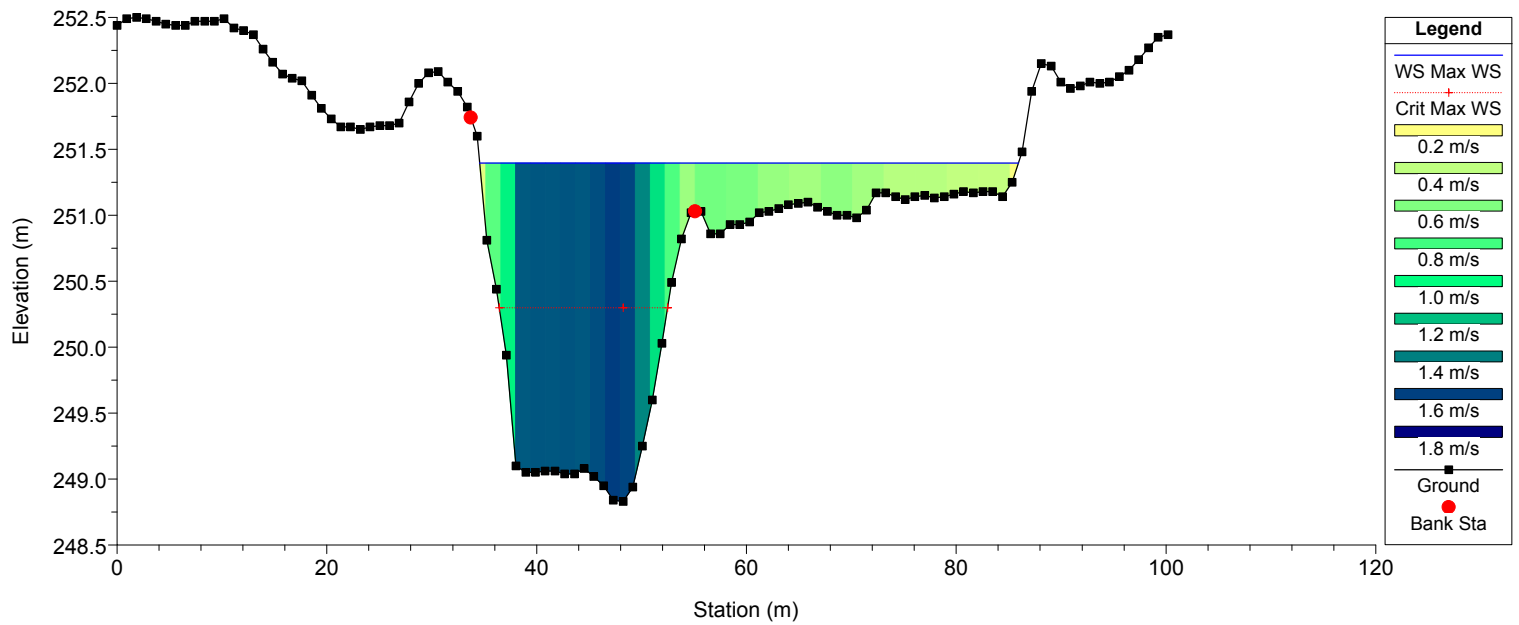
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 2111.114 350



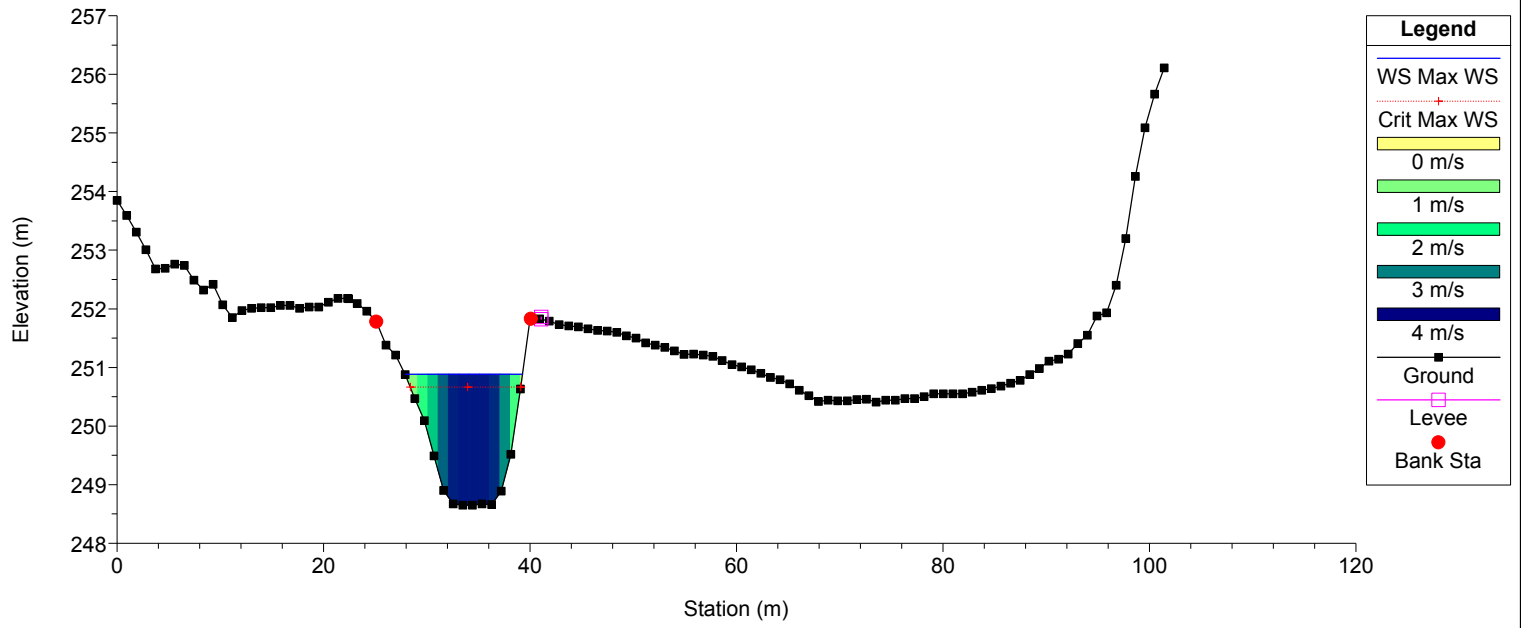
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1988.589 340



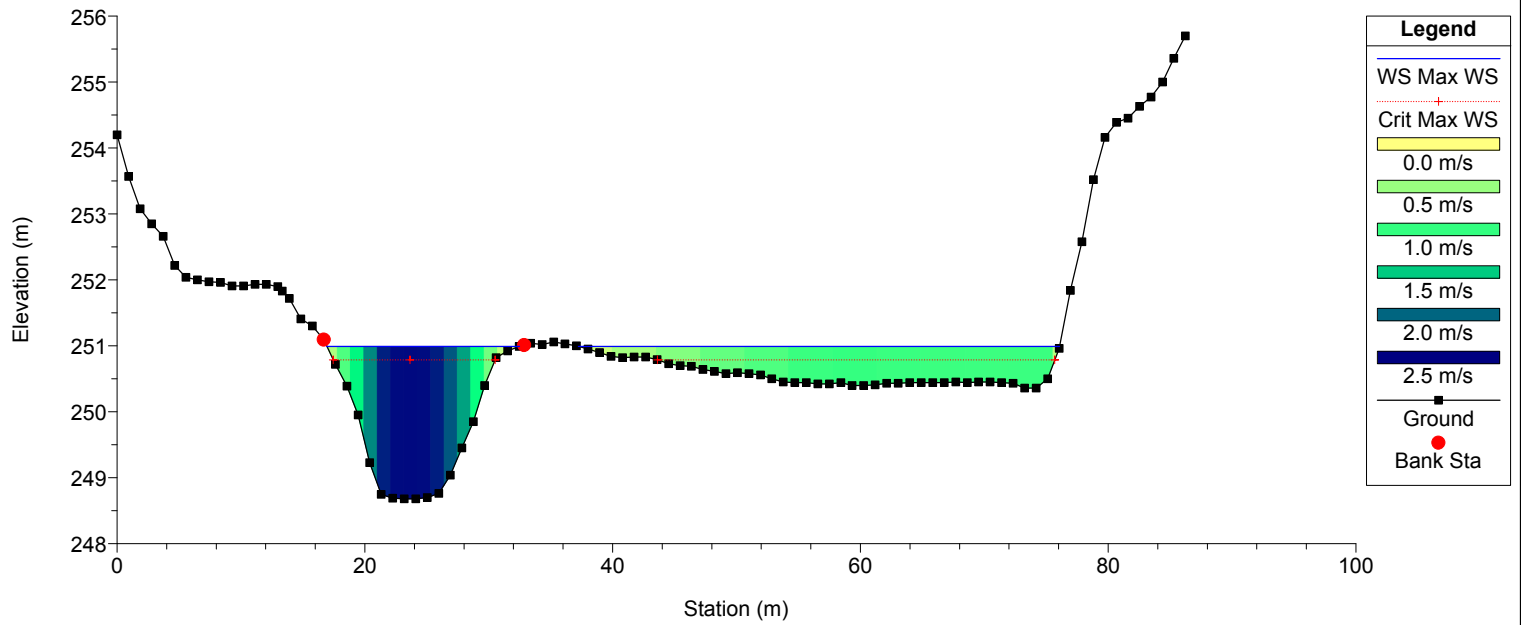
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1904.804 330



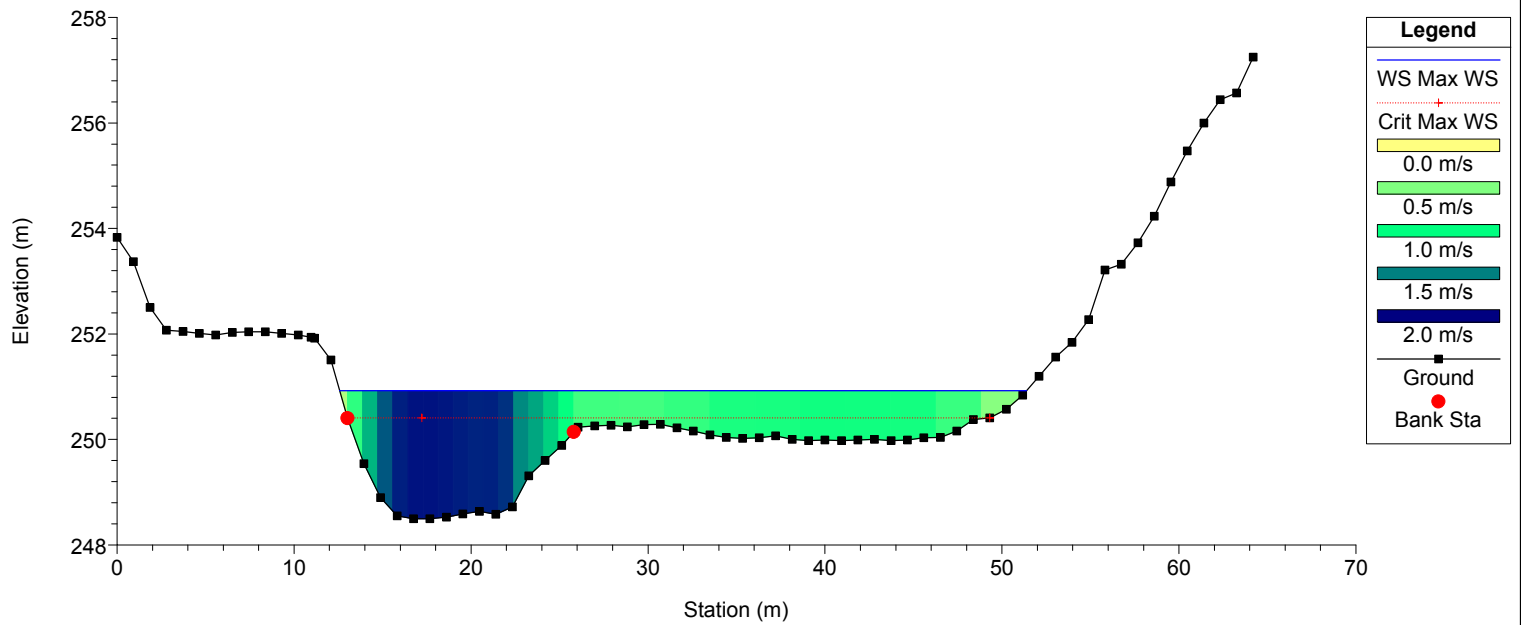
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1869.034 320



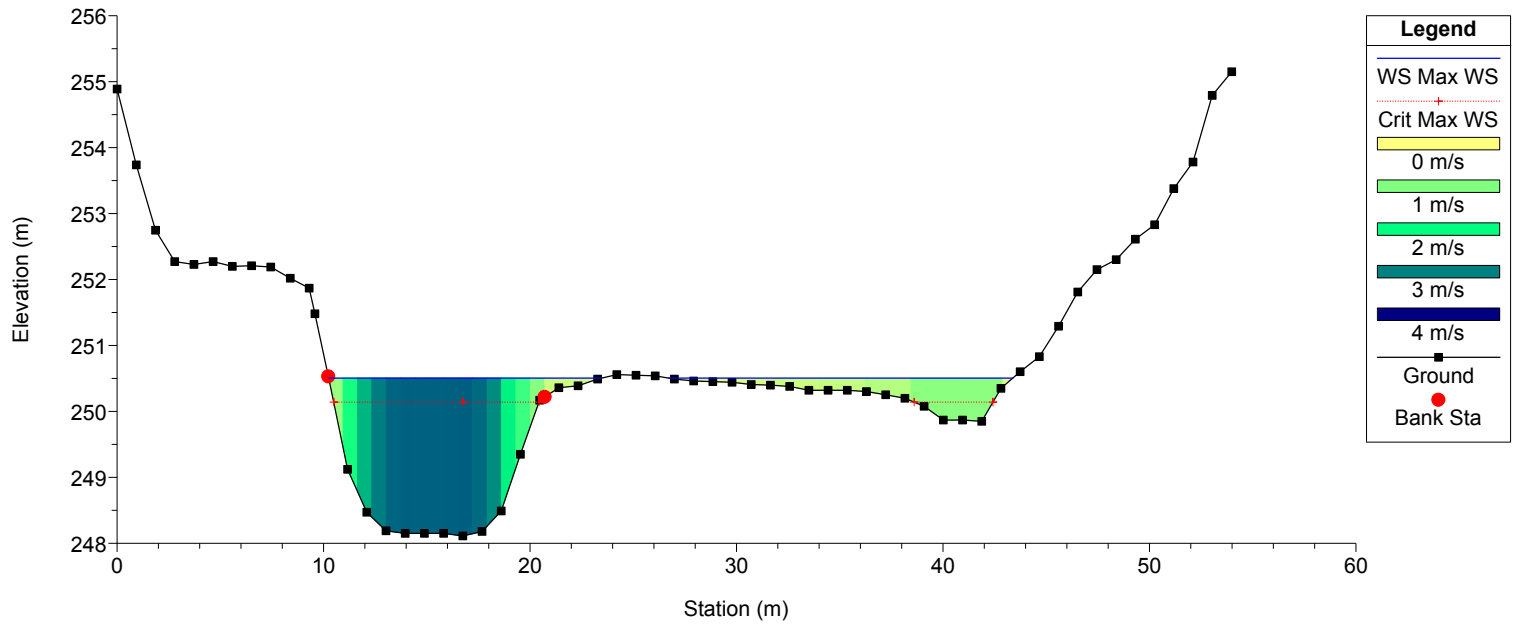
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1848.617 310



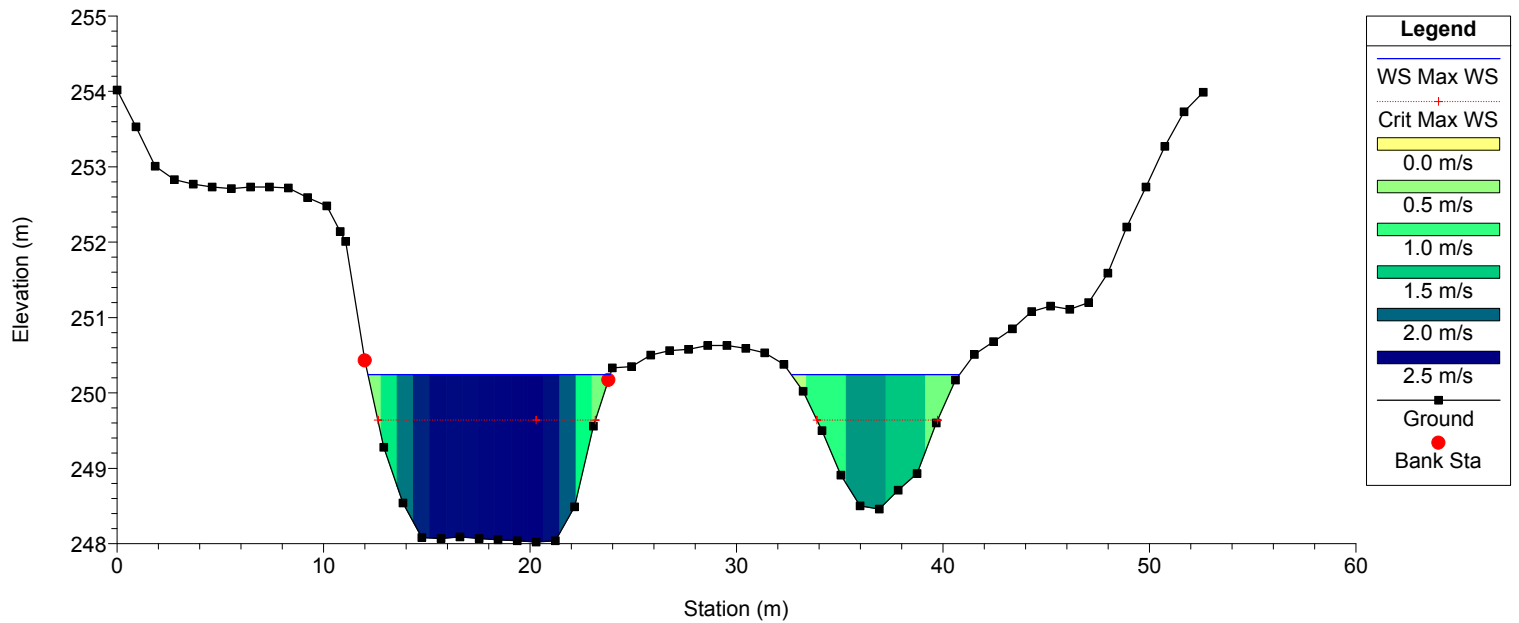
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1816.588 300



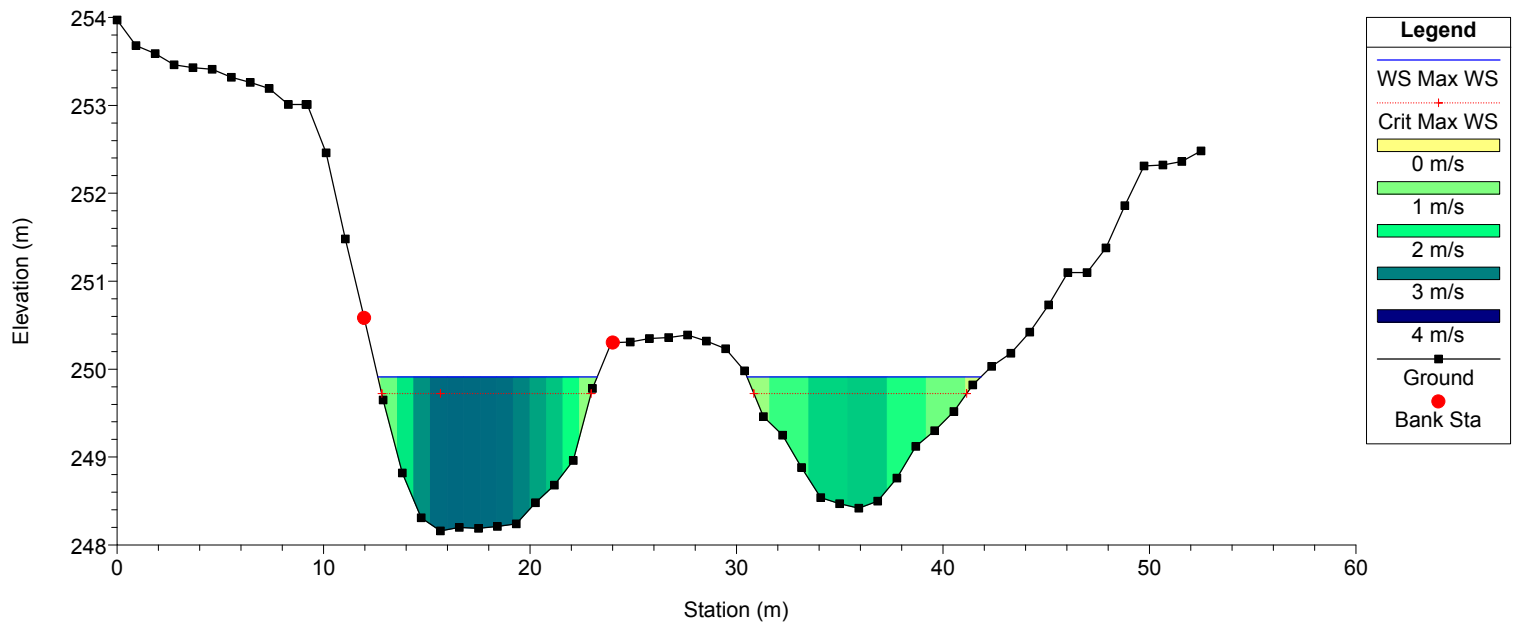
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1748.711 290



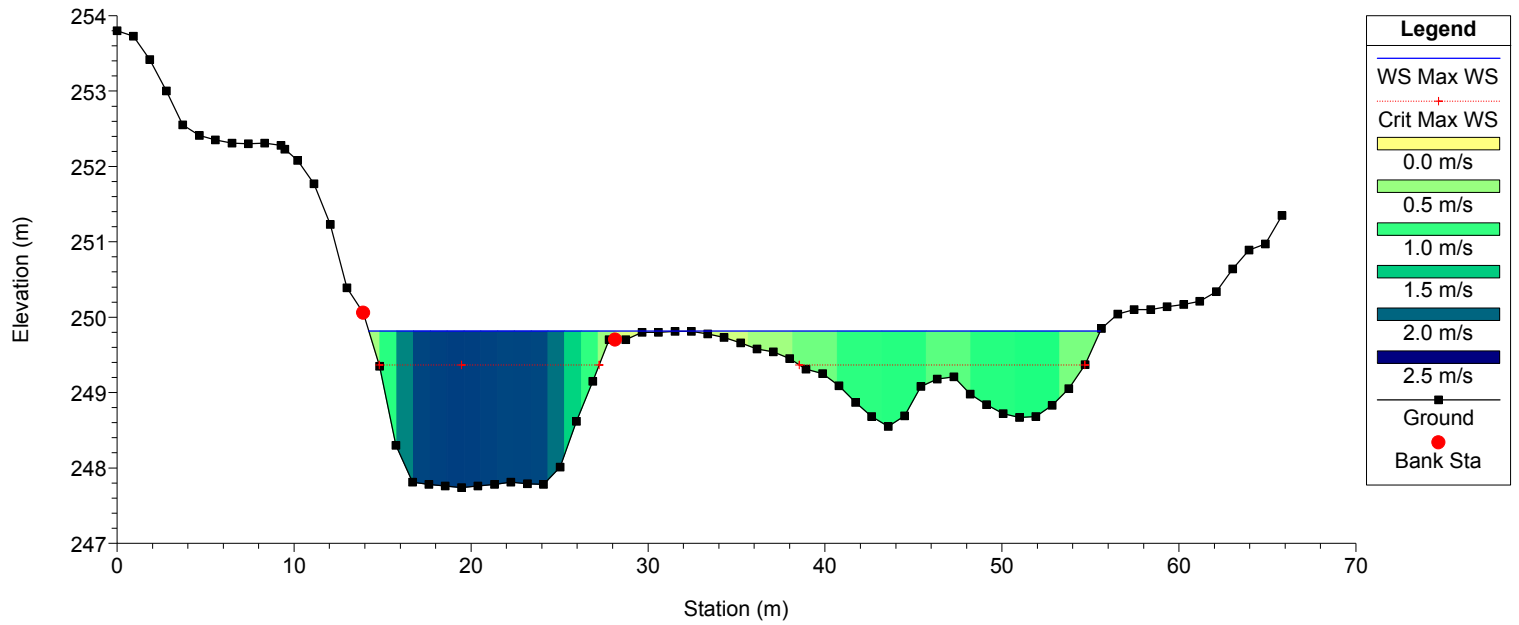
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1686.287 280



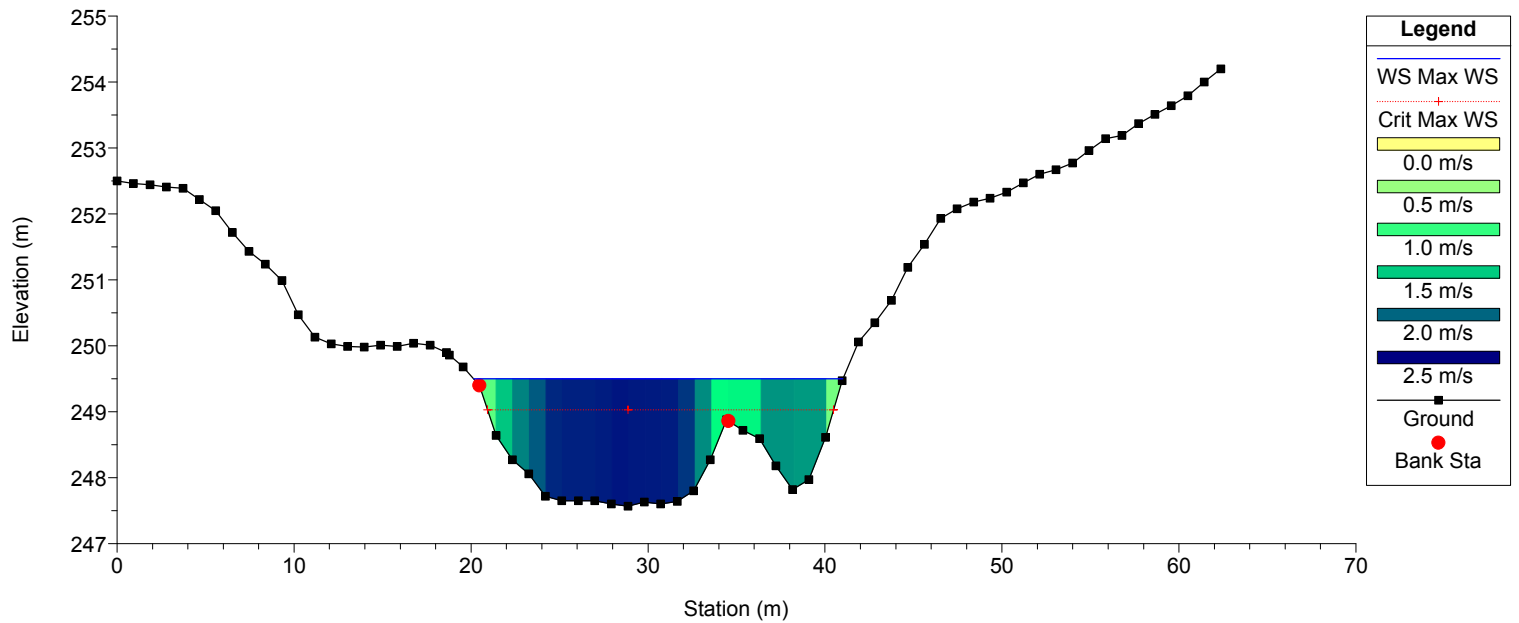
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1652.432 270



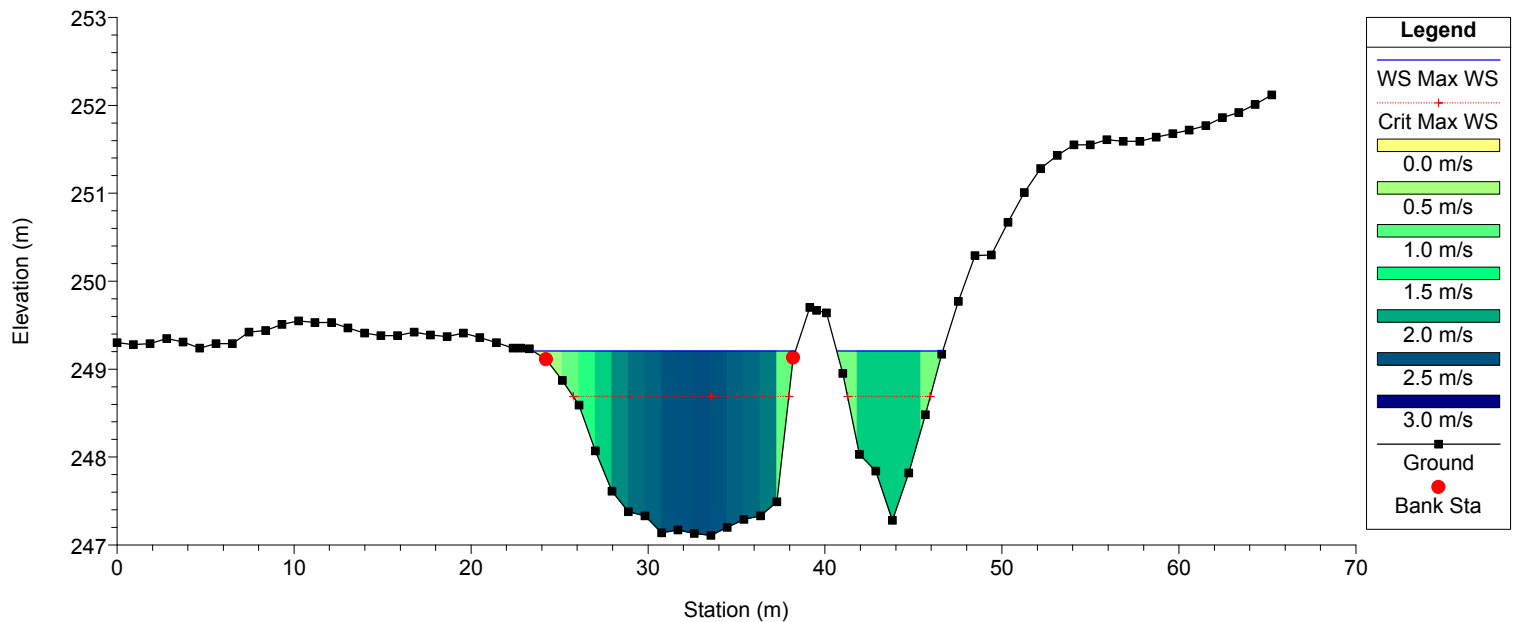
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1615.481 260



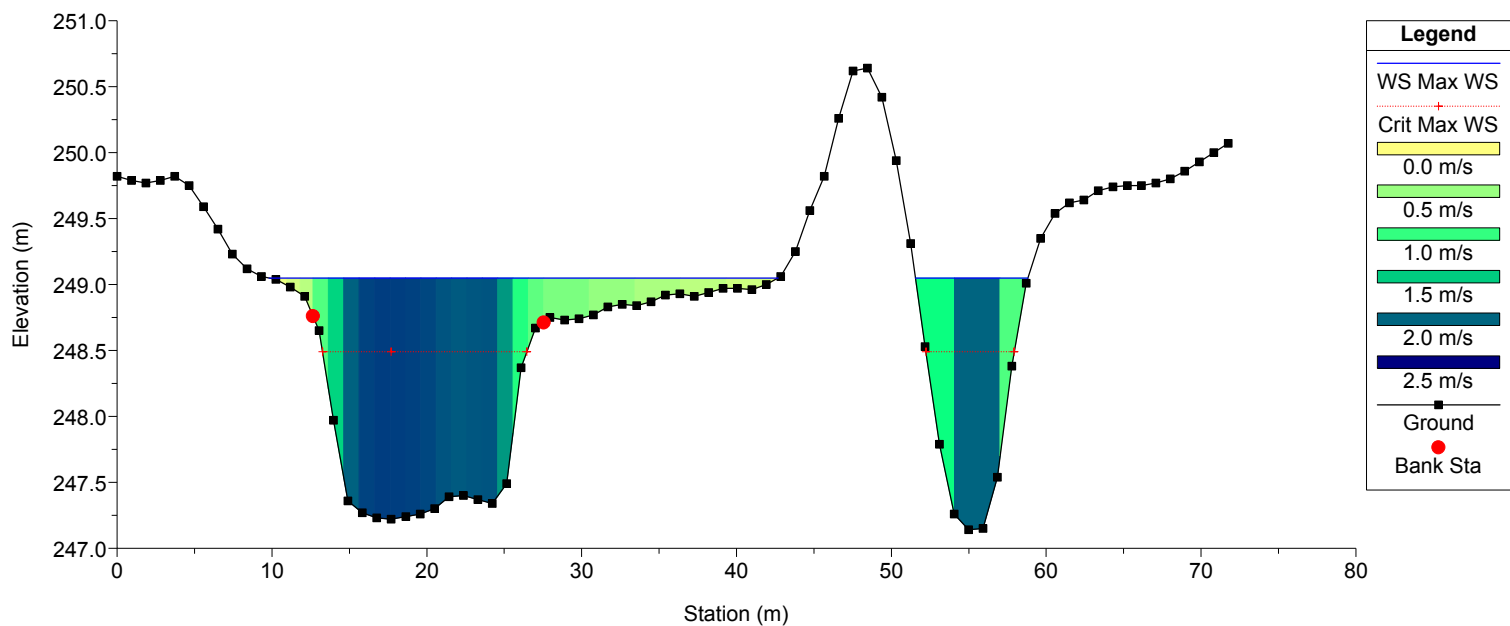
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1550.587 250



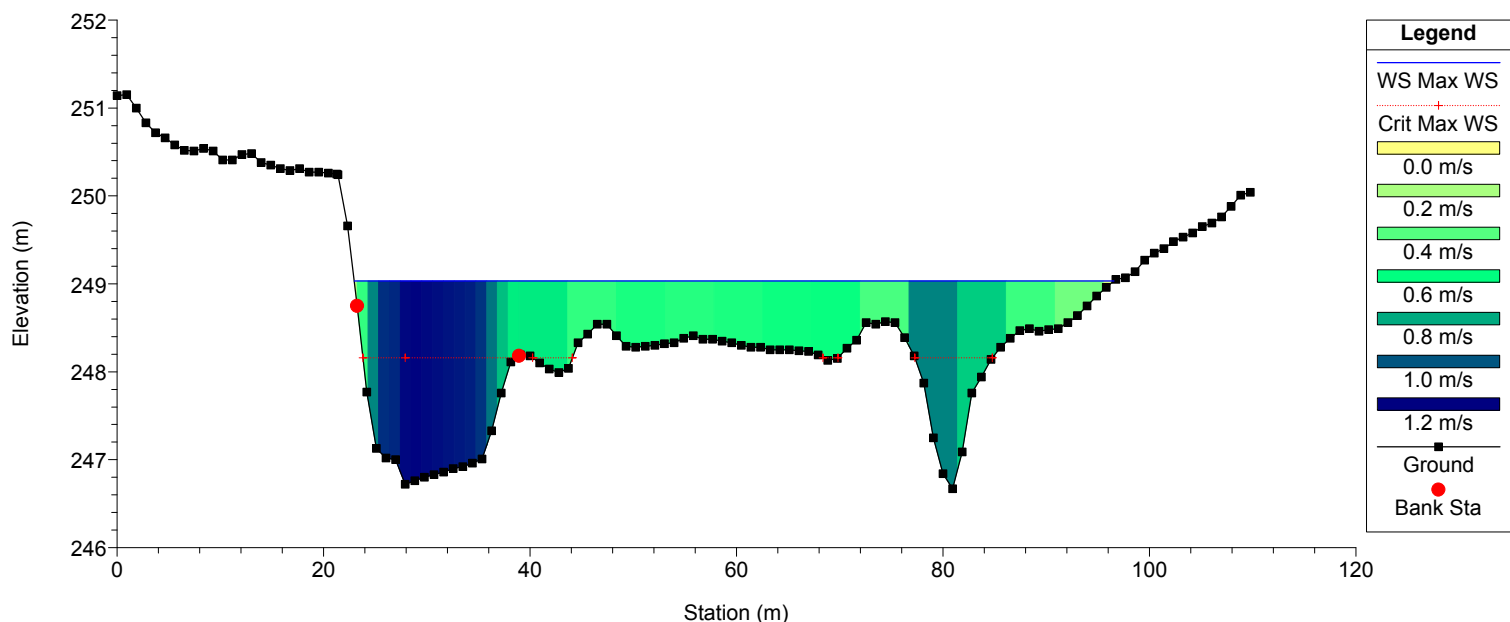
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1491.009 240



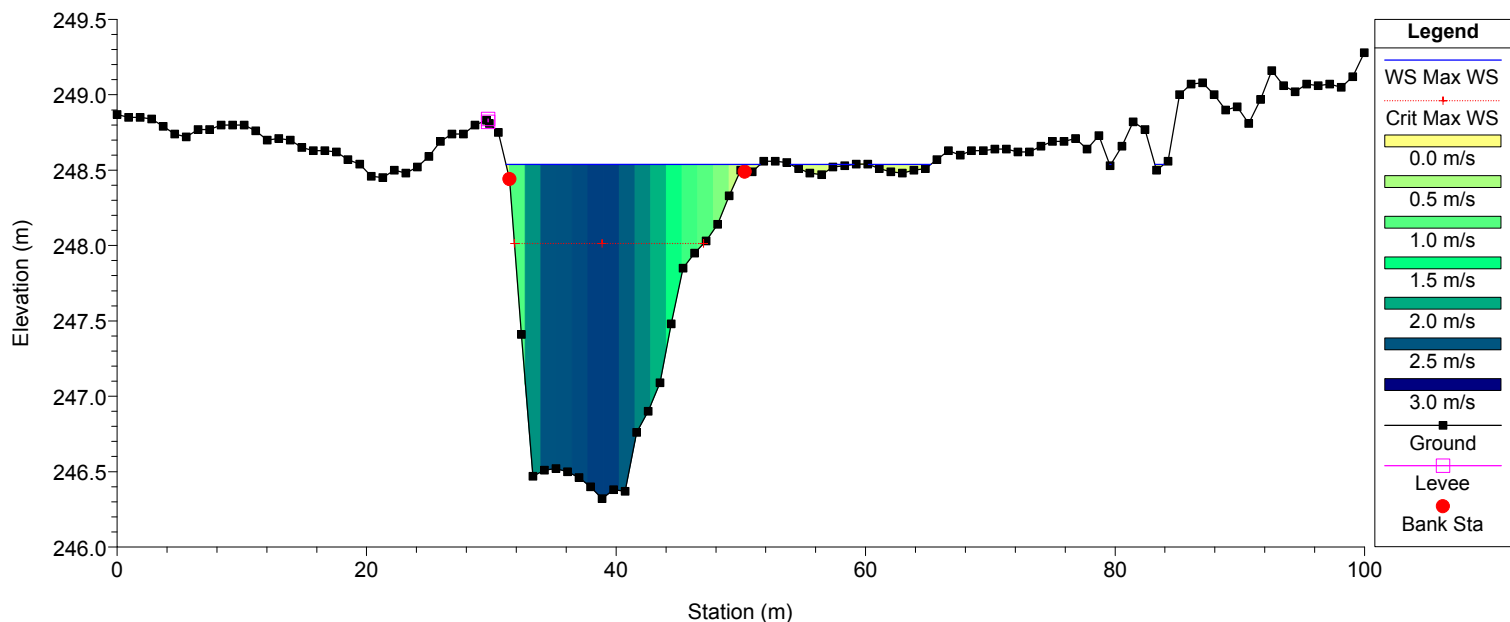
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1440.635 230



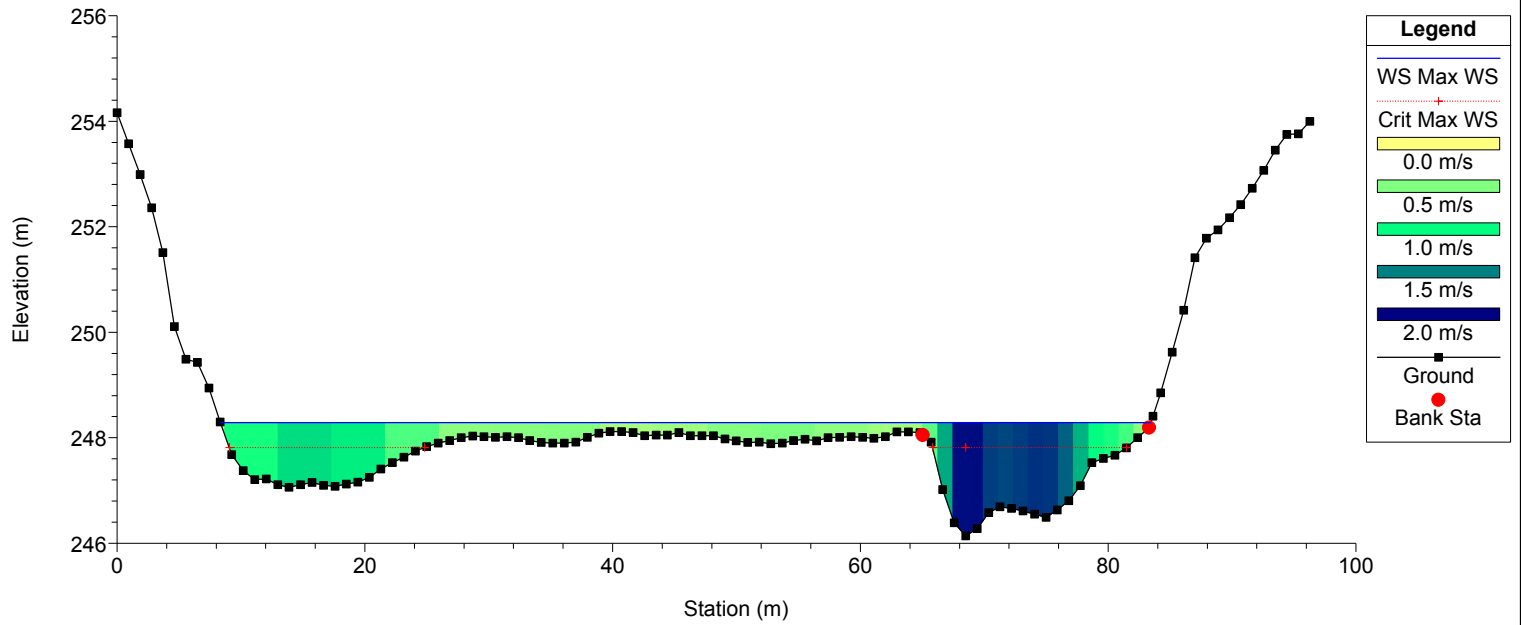
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1390.144 220



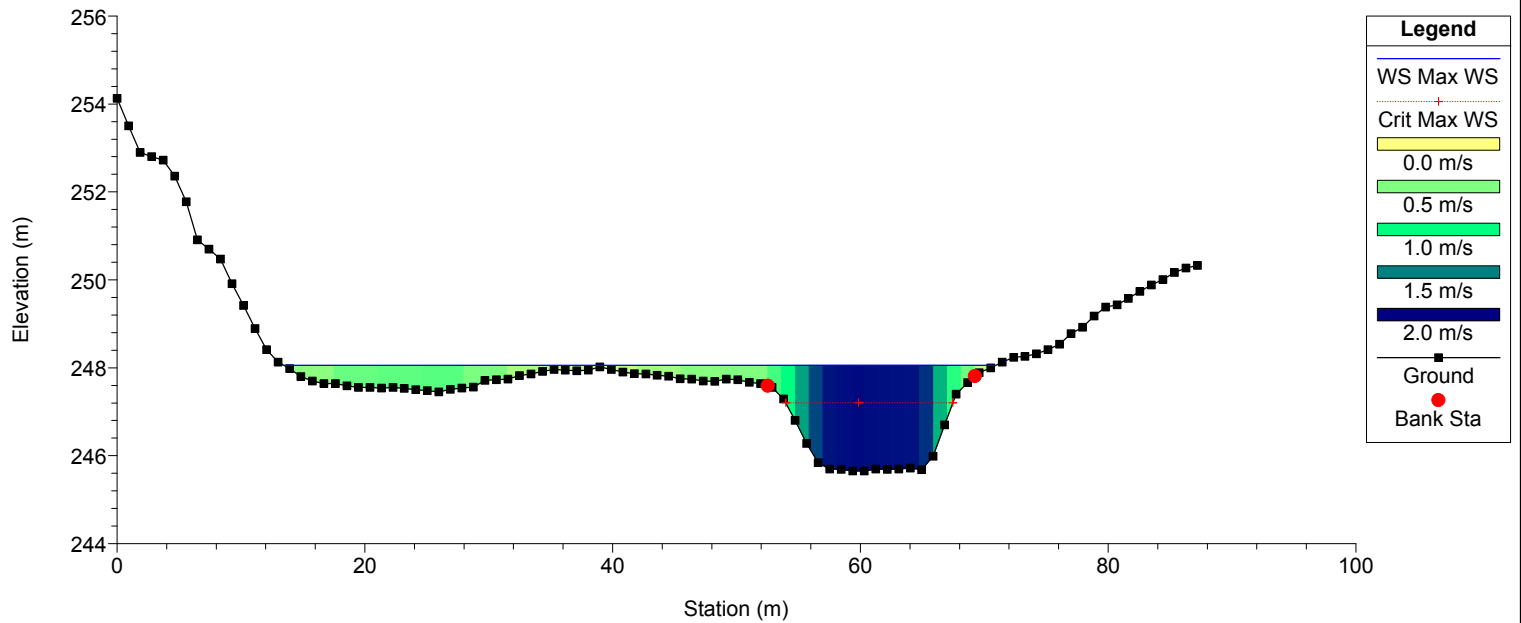
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1246.491 210



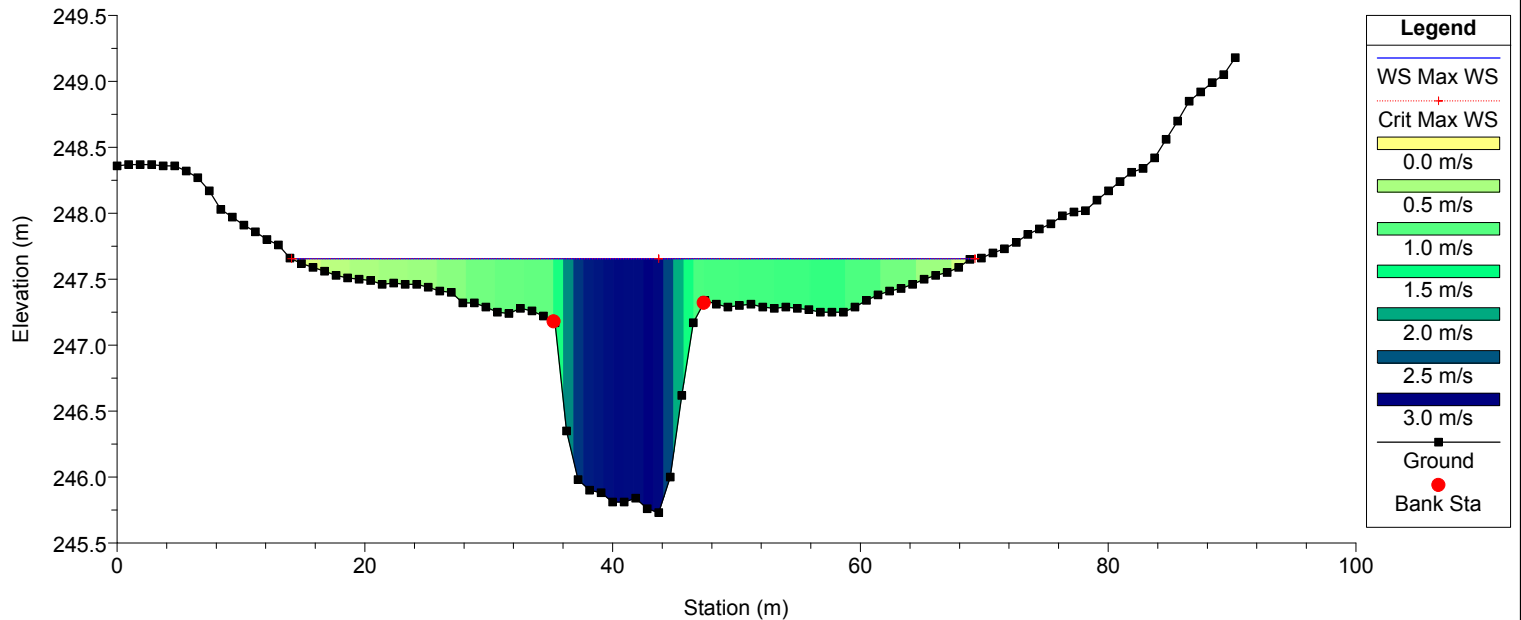
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1156.864 200



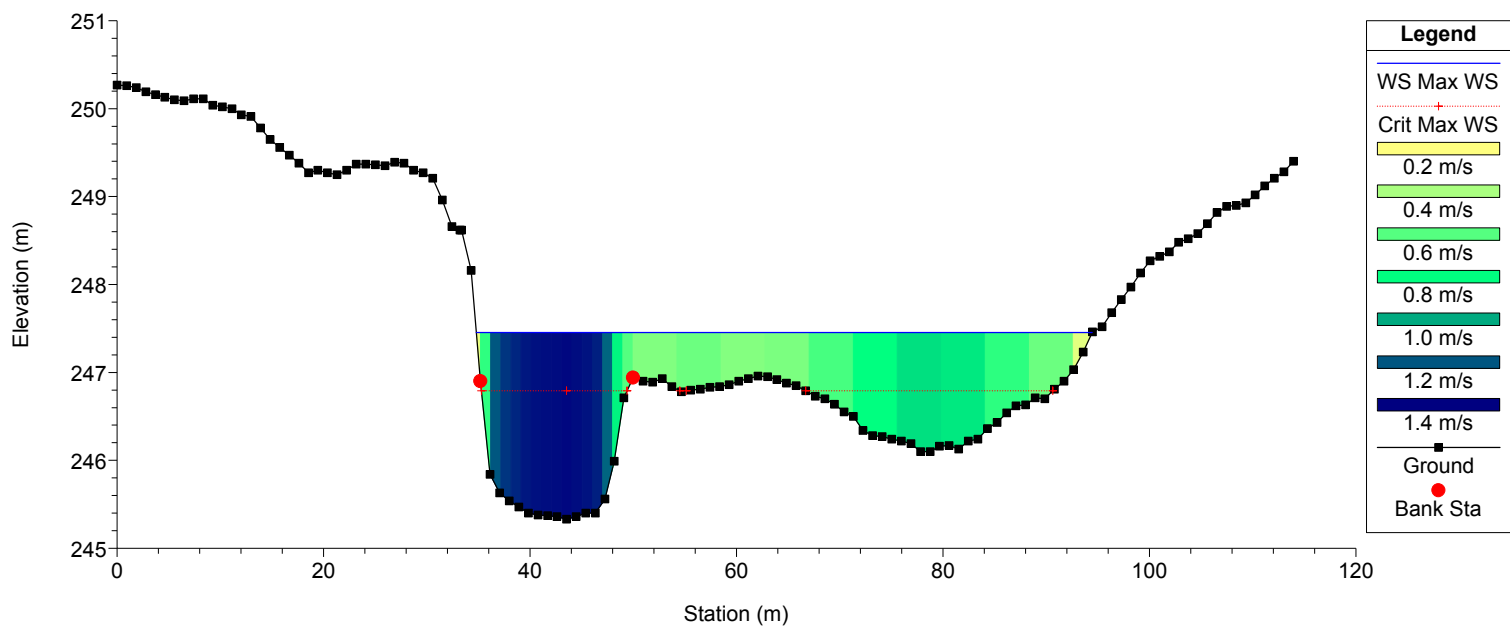
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1081.82 190



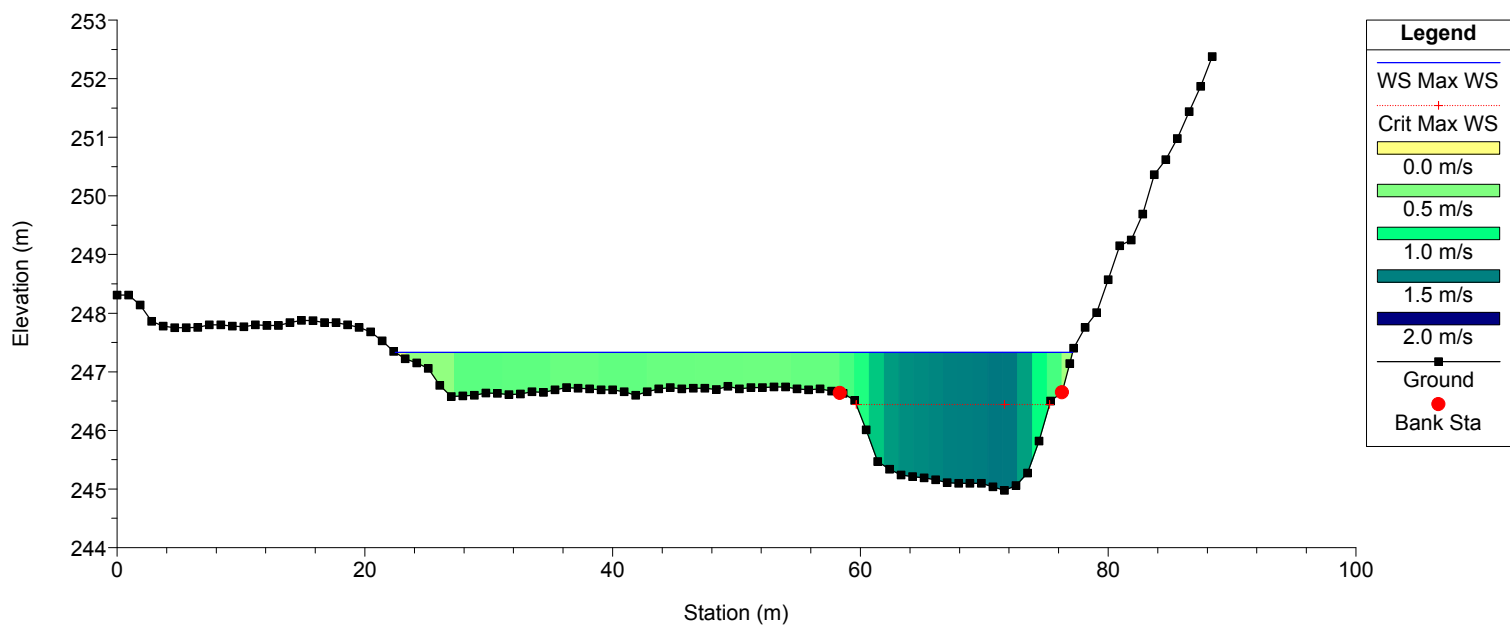
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 1015.579 180



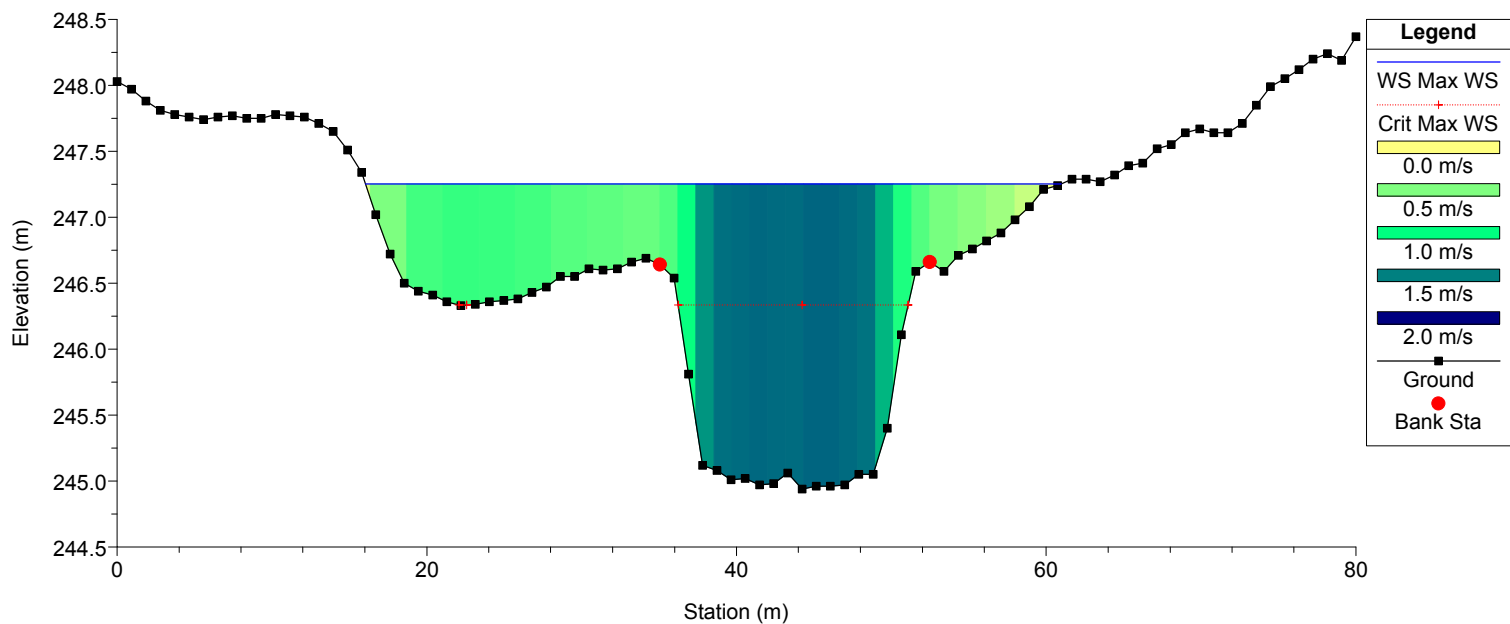
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 936.6432 170

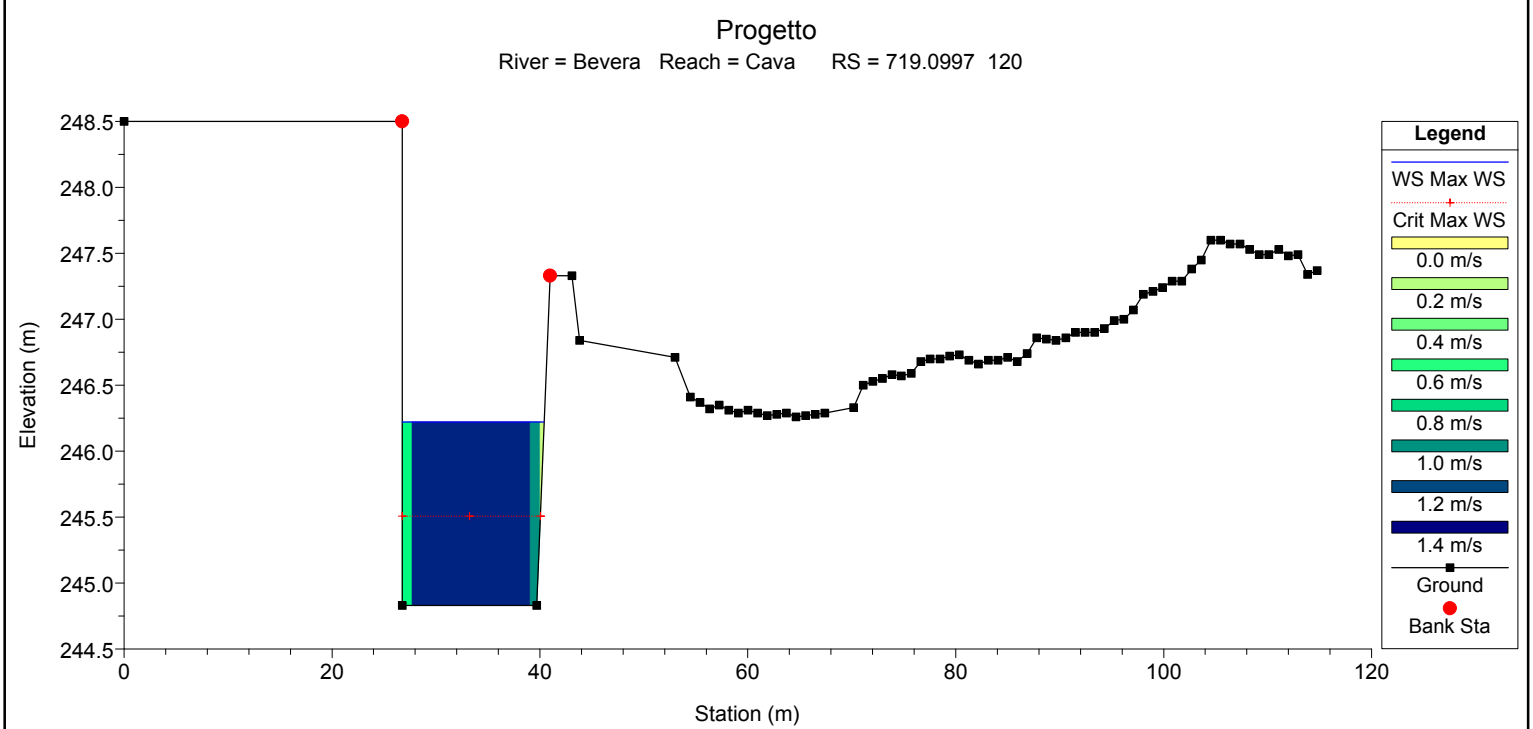
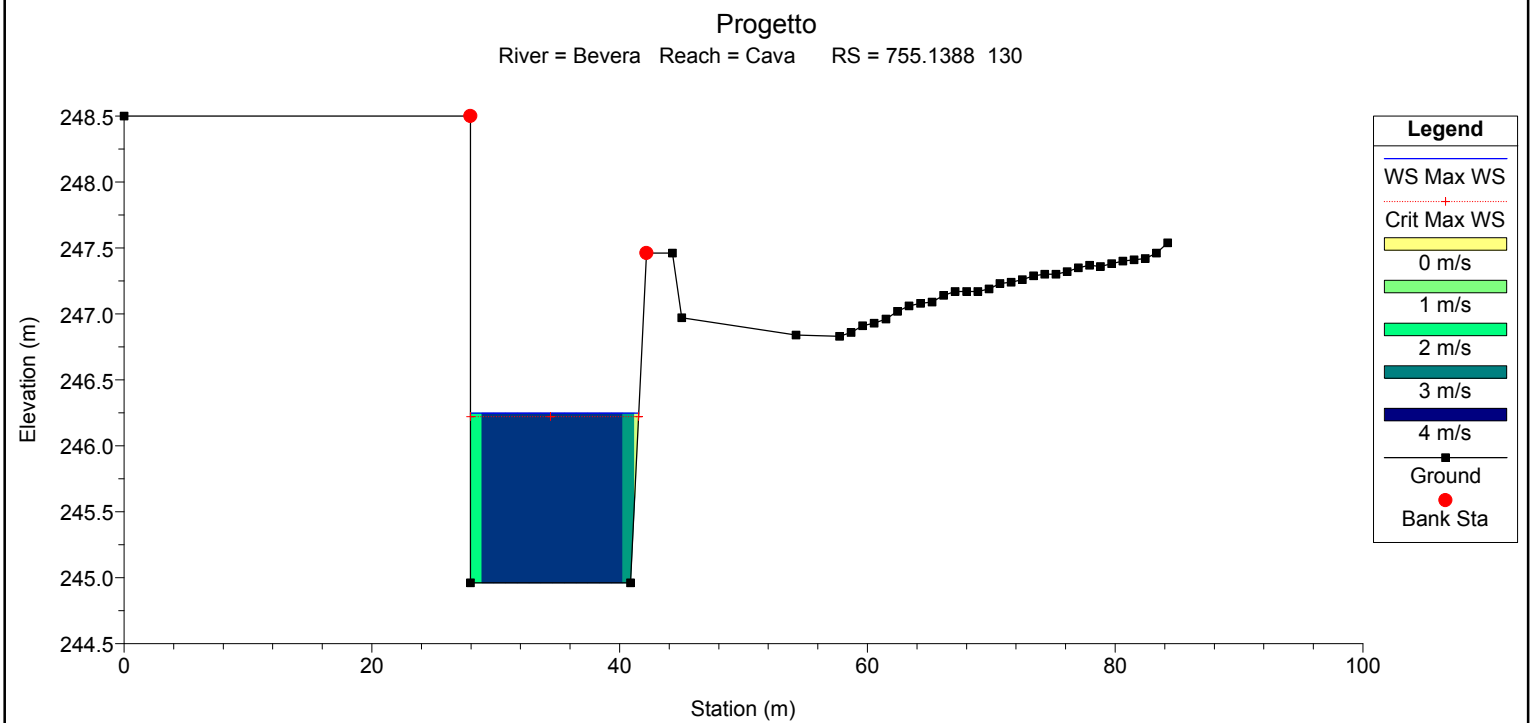
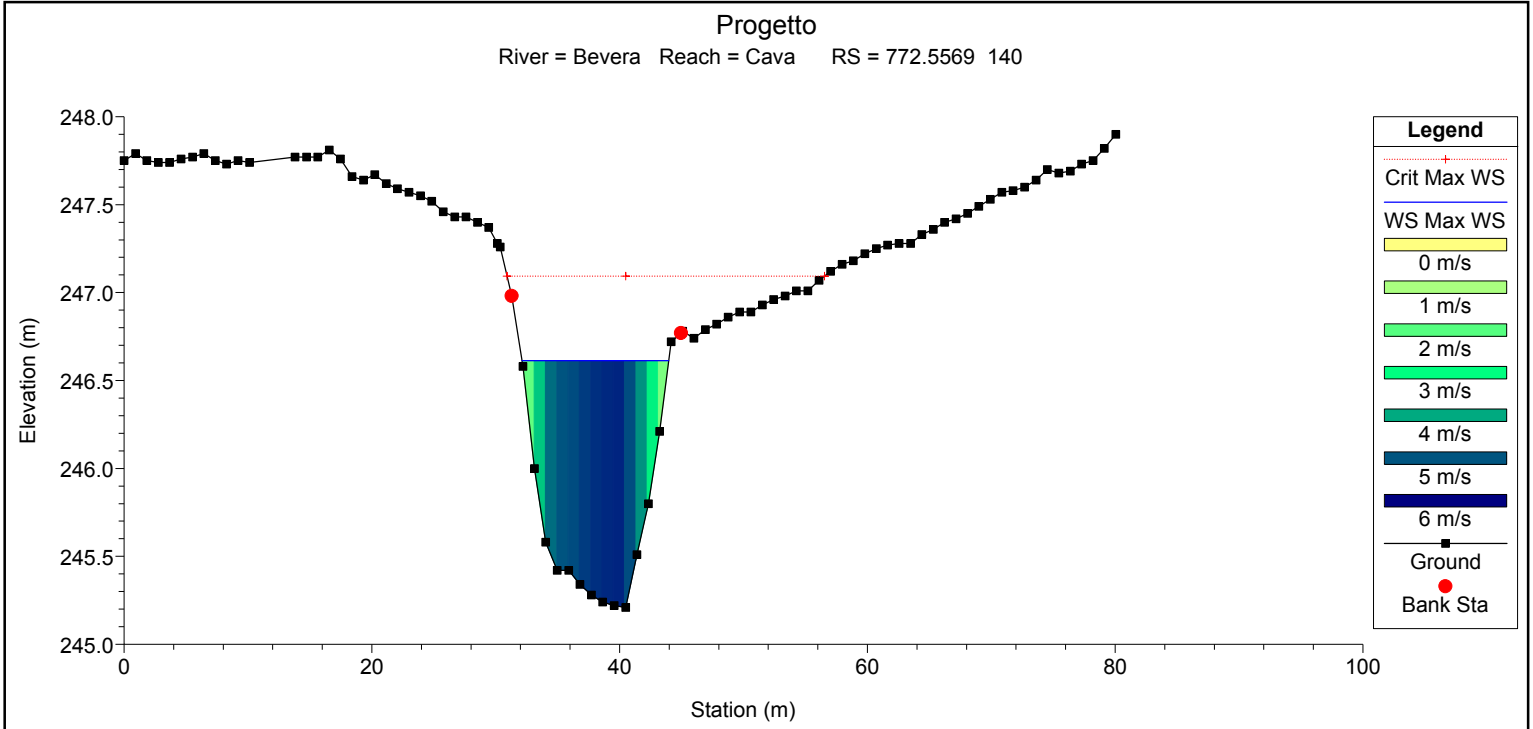


Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 851.8124 160

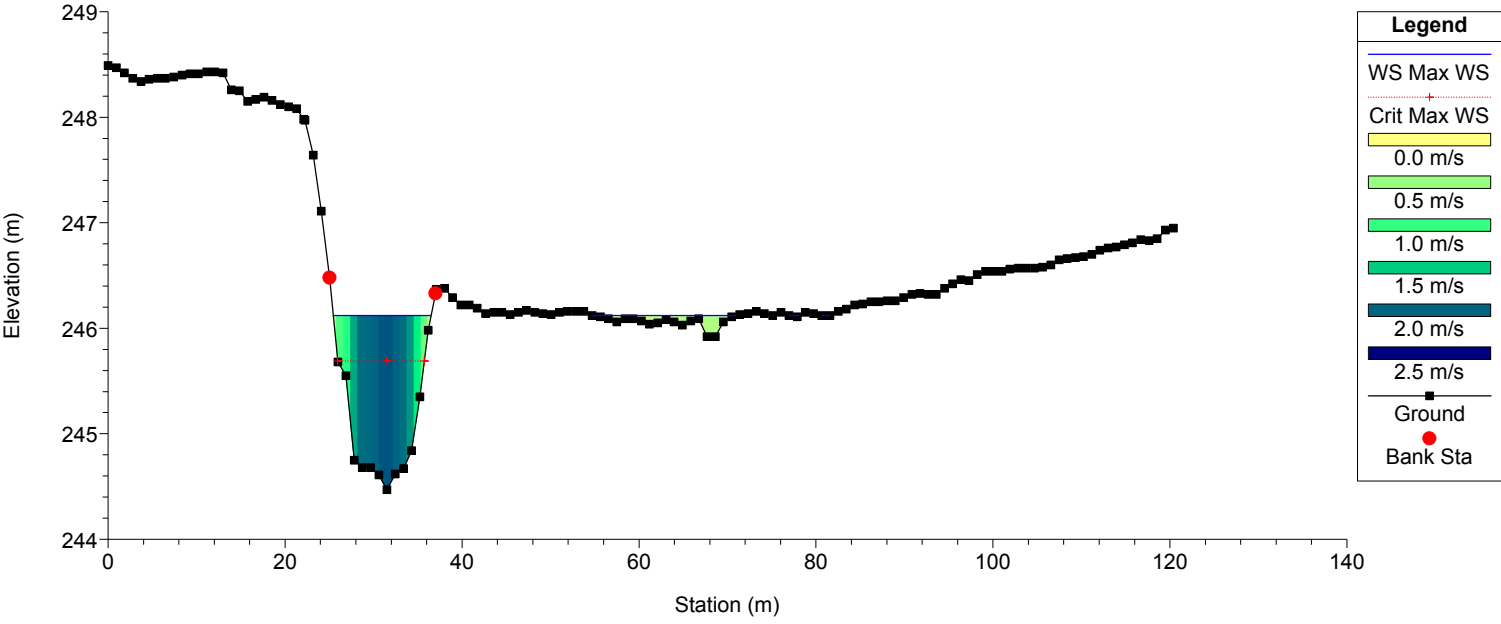


Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 803.9706 150

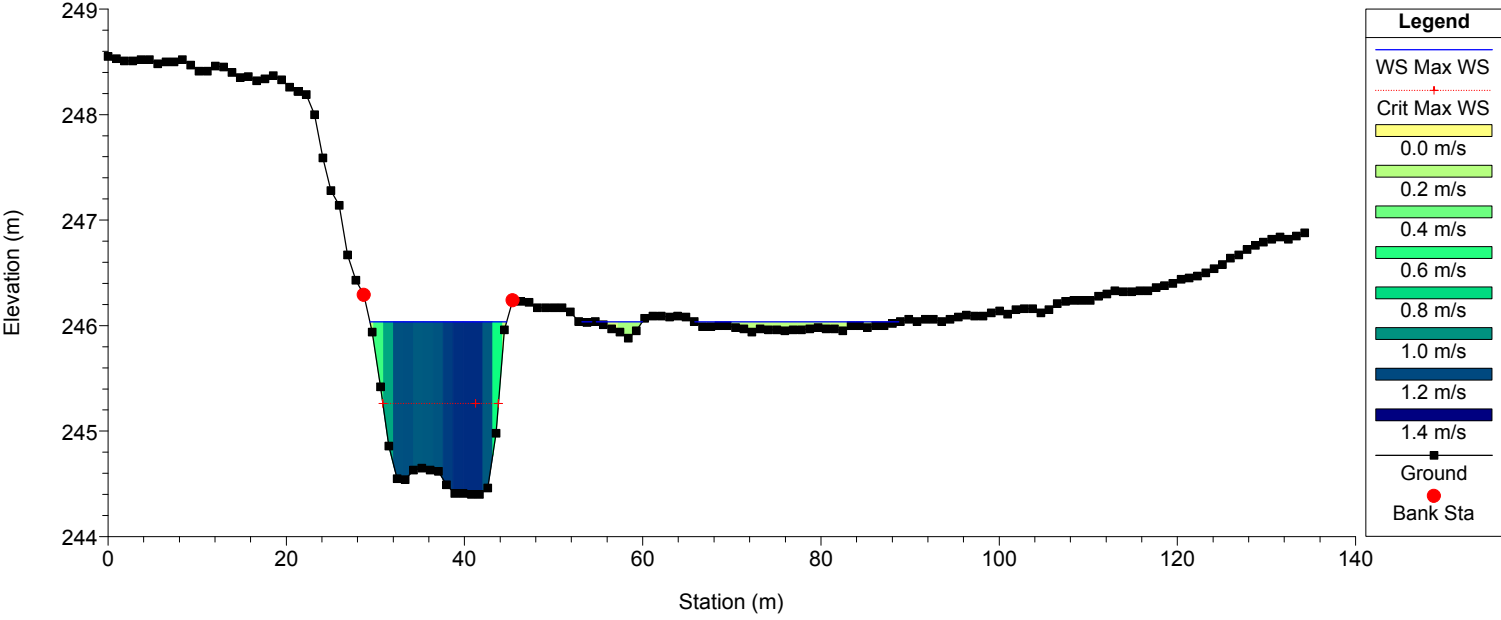




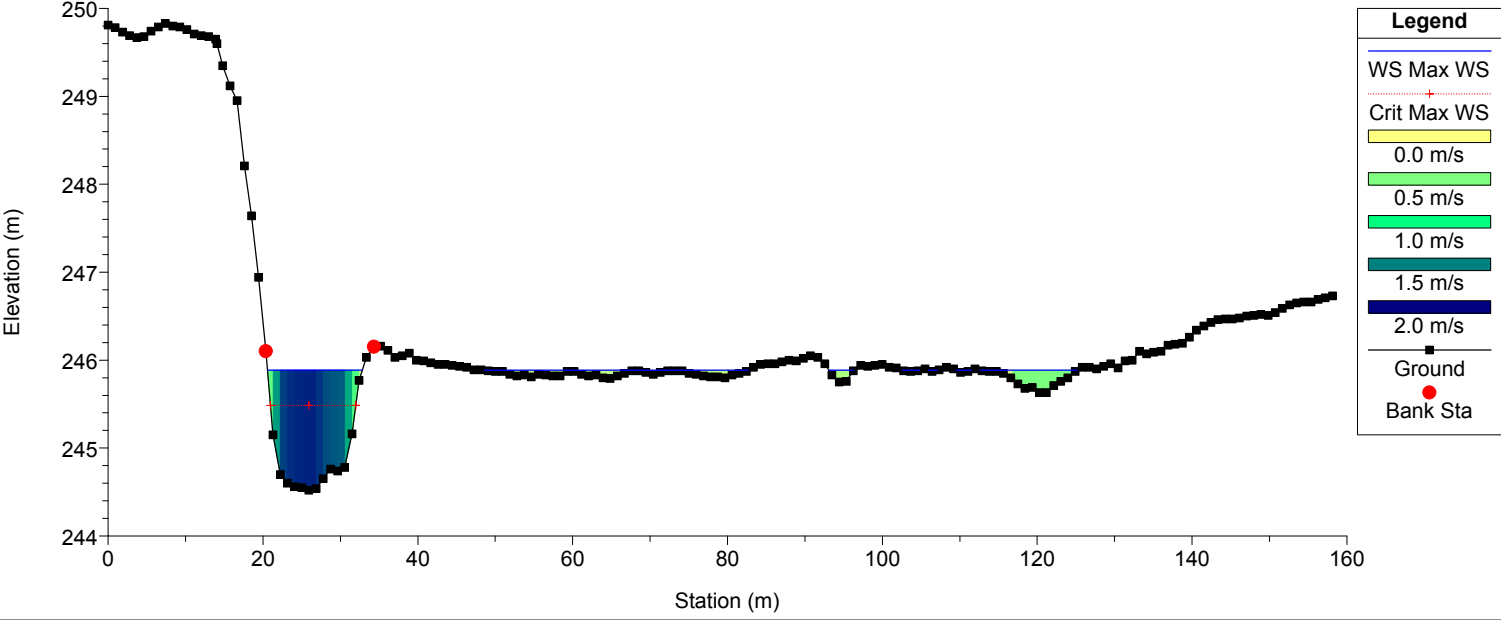
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 690.306 110



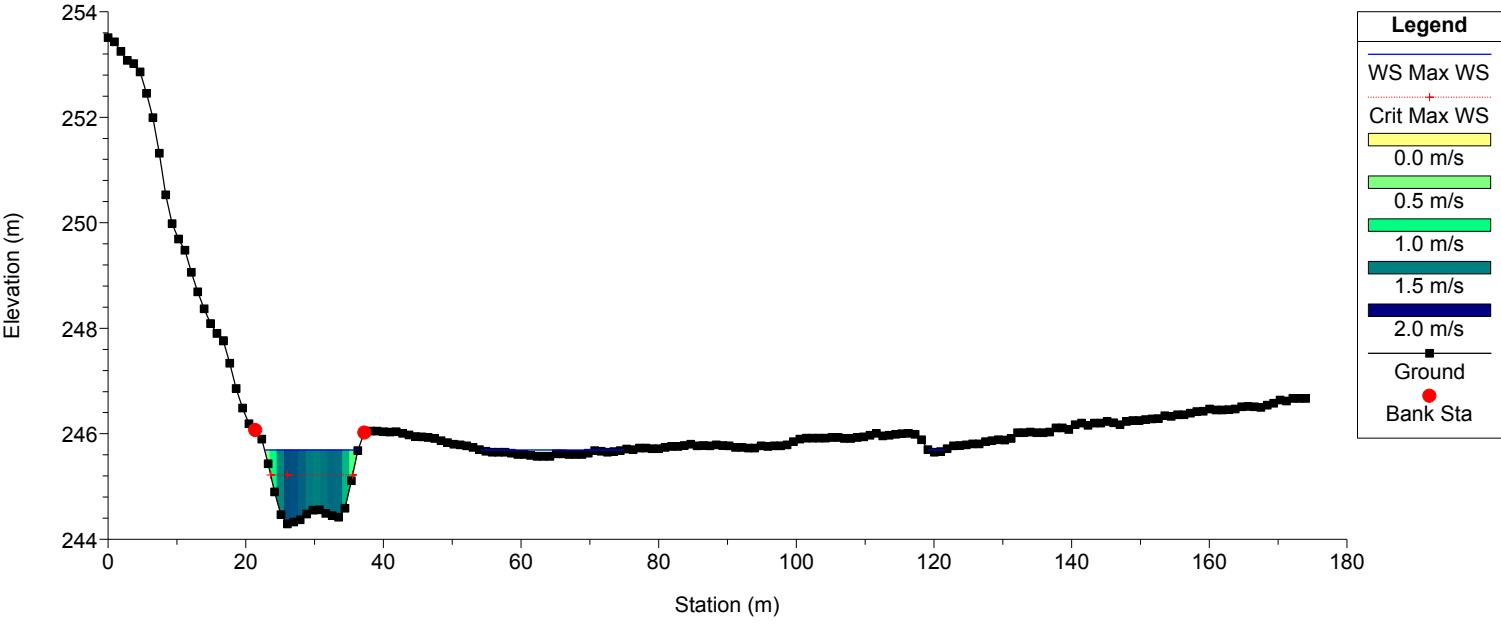
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 652.8829 100



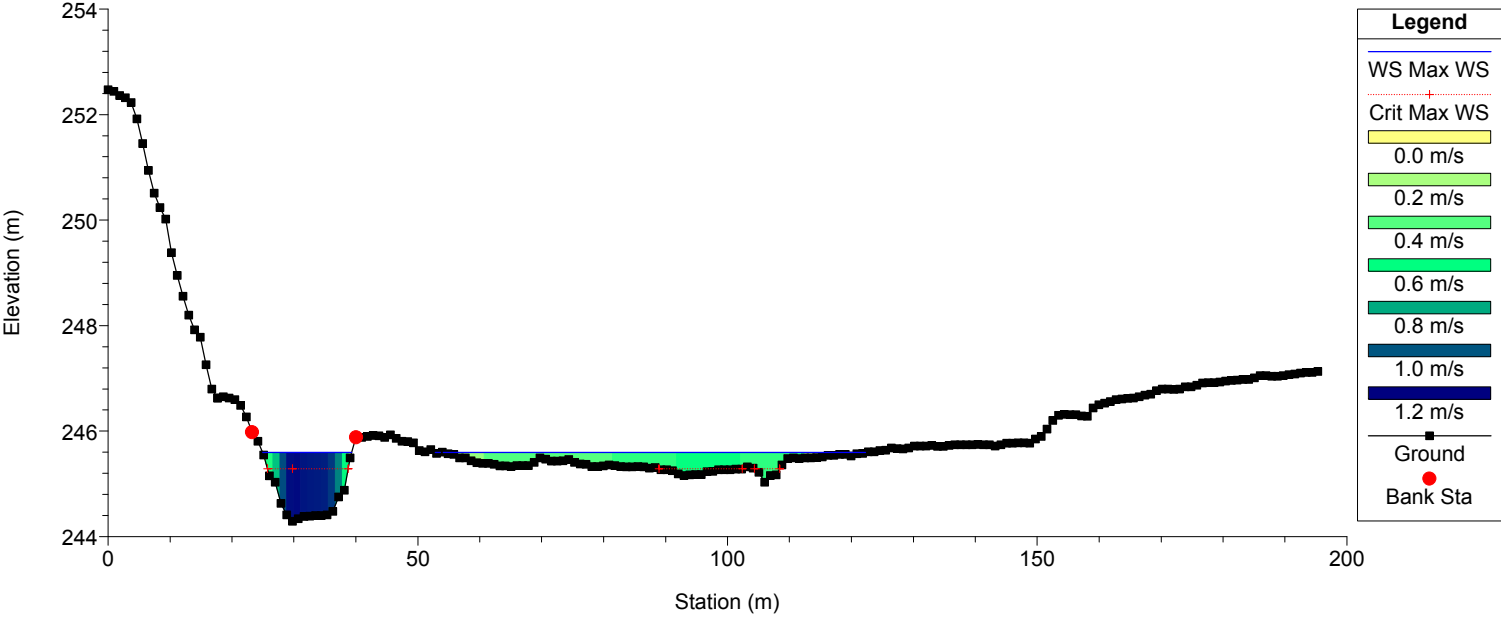
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 606.0334 90



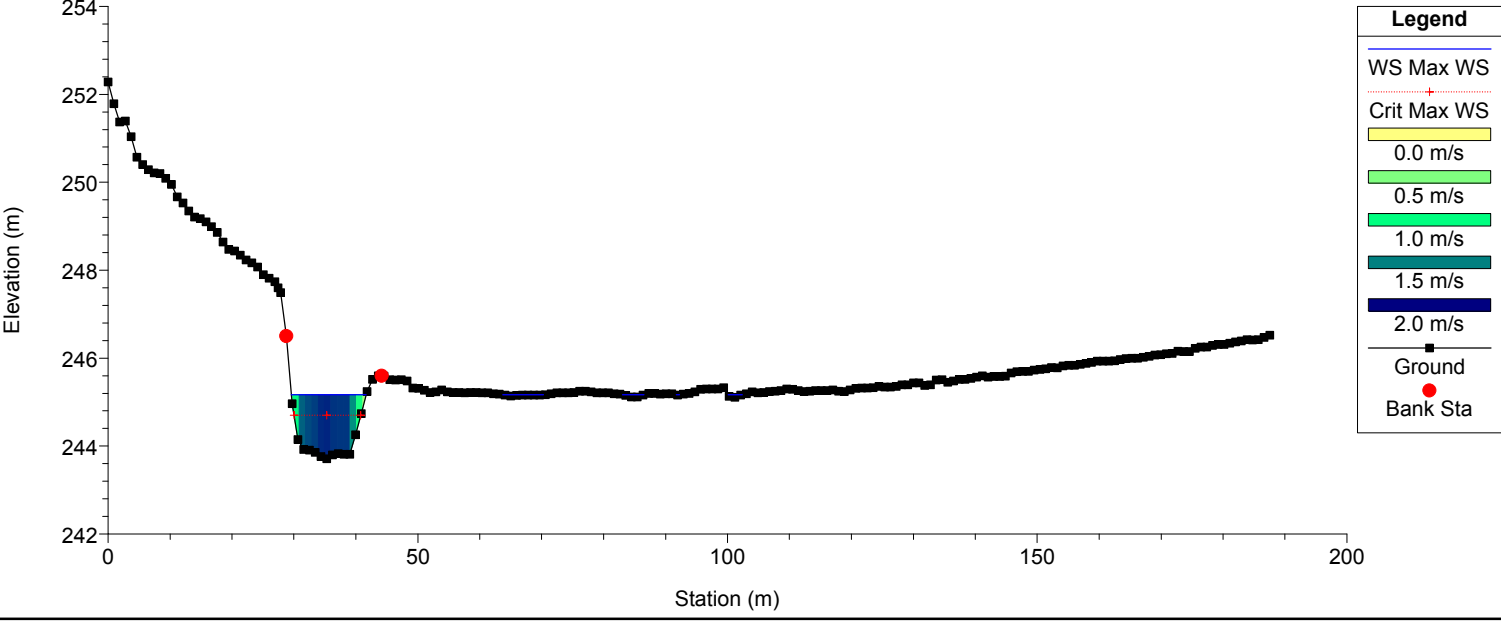
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 549.6392 80



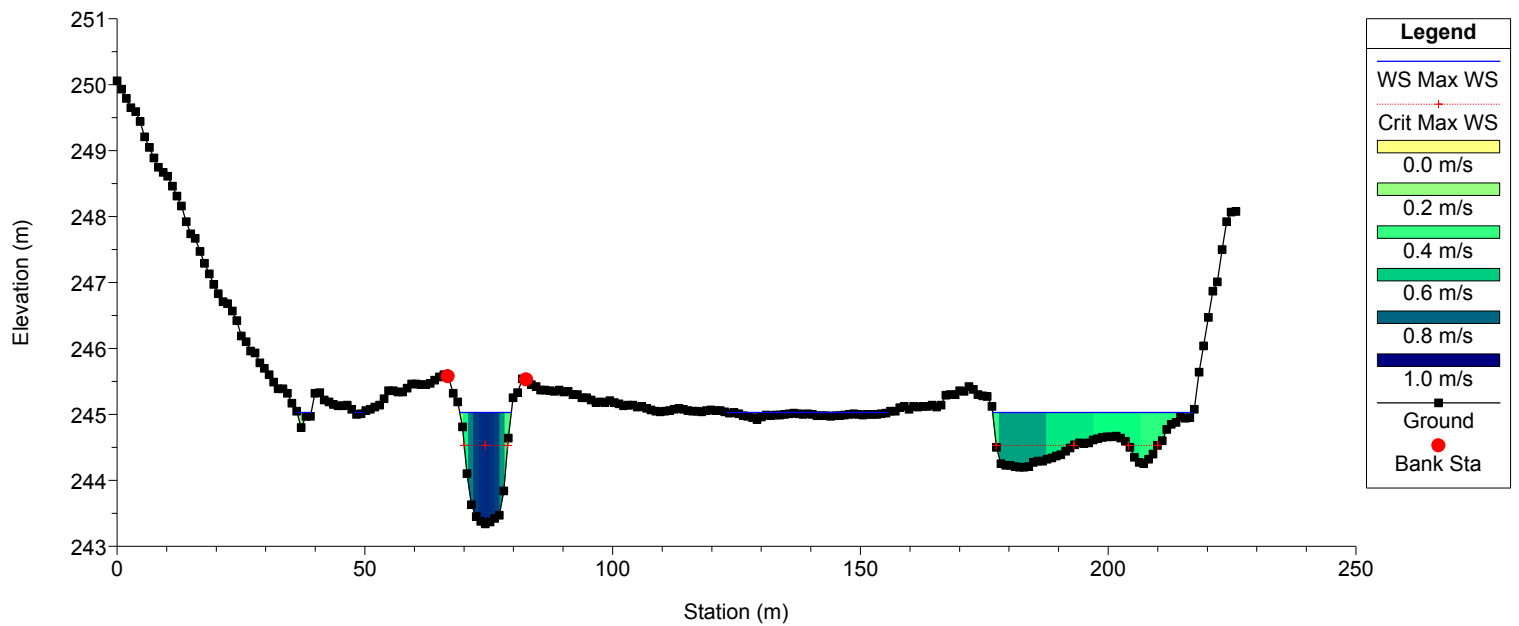
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 507.3814 70



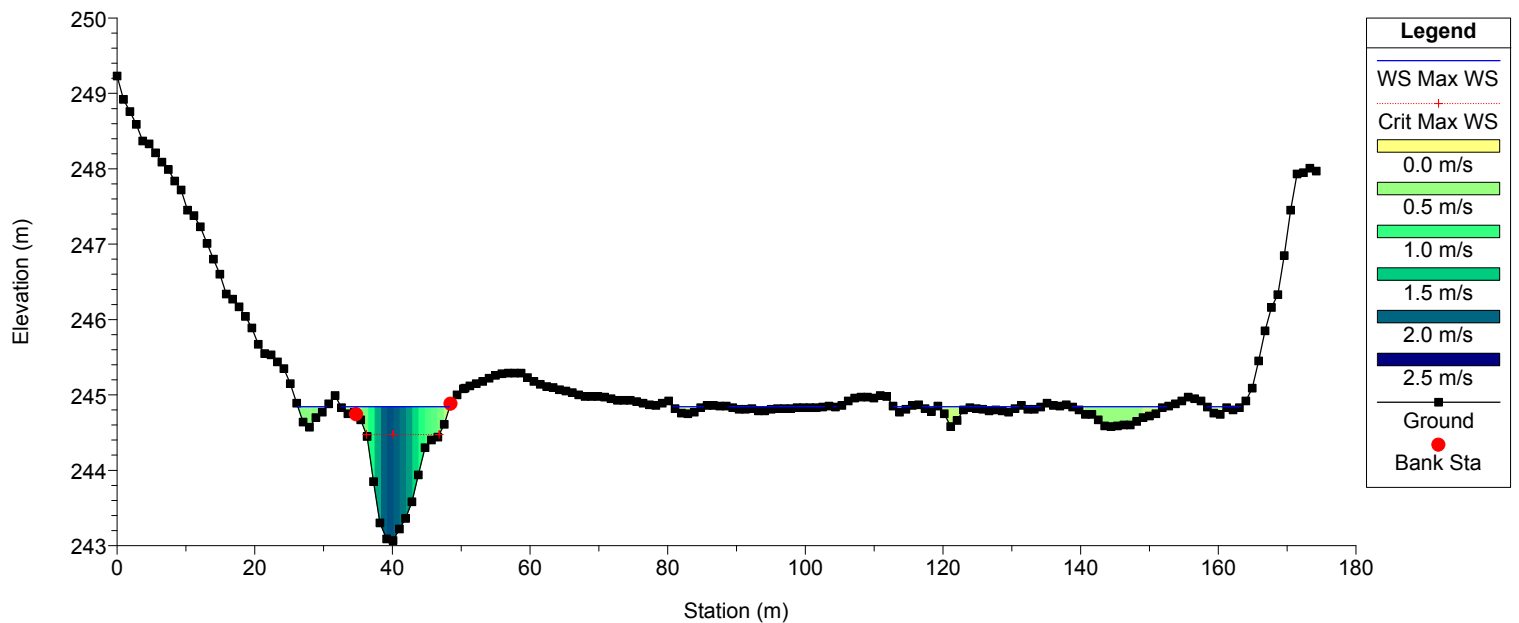
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 358.6008 60



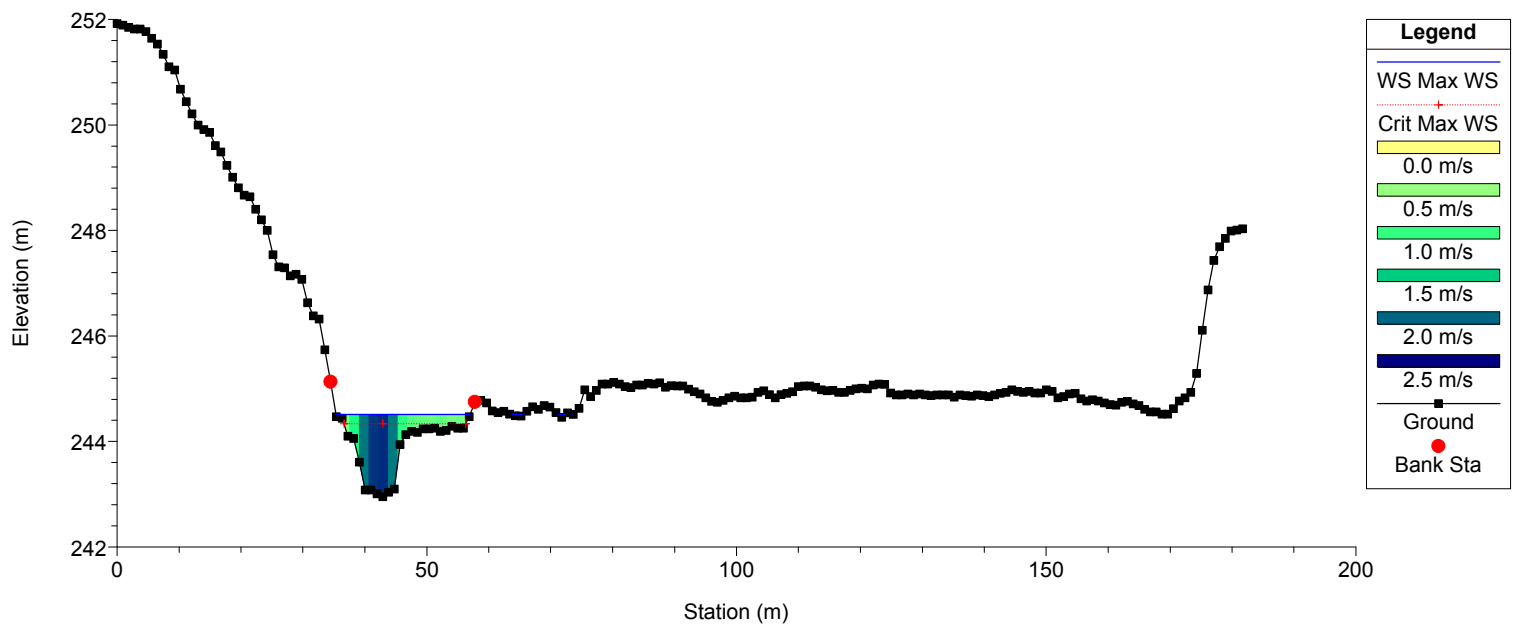
Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 290.1754 50

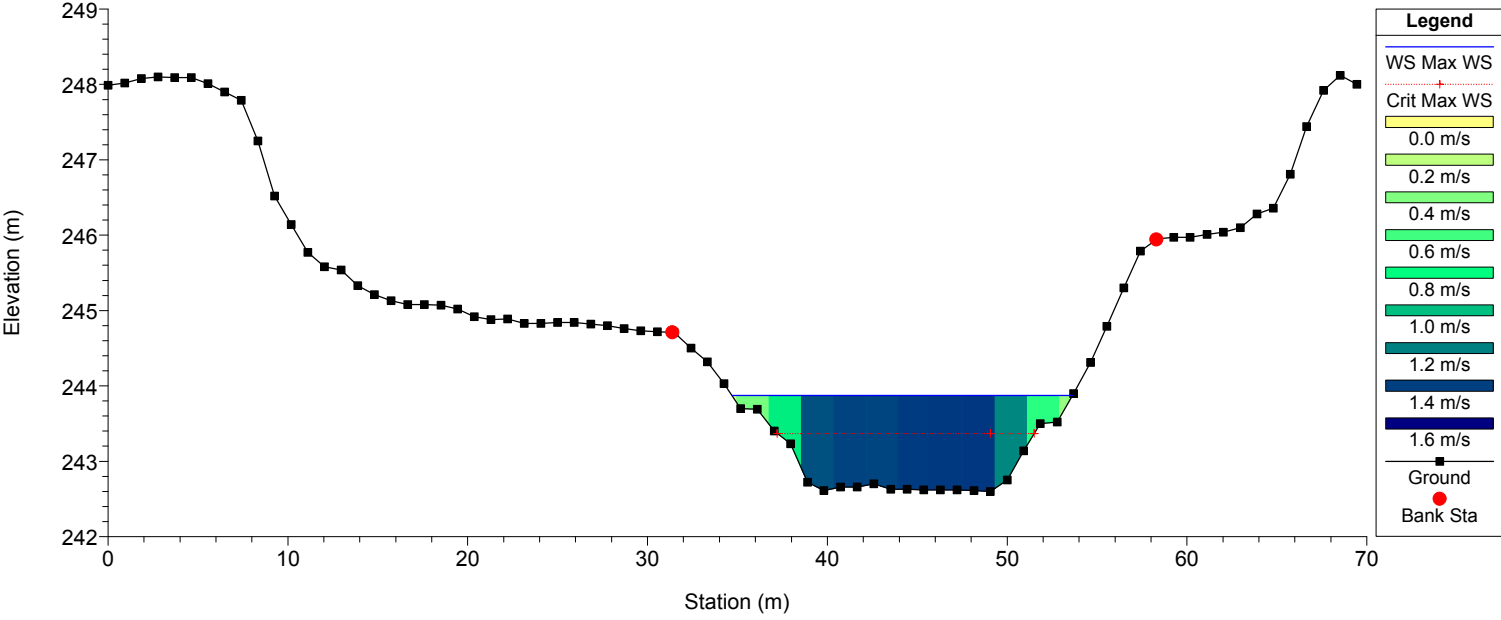
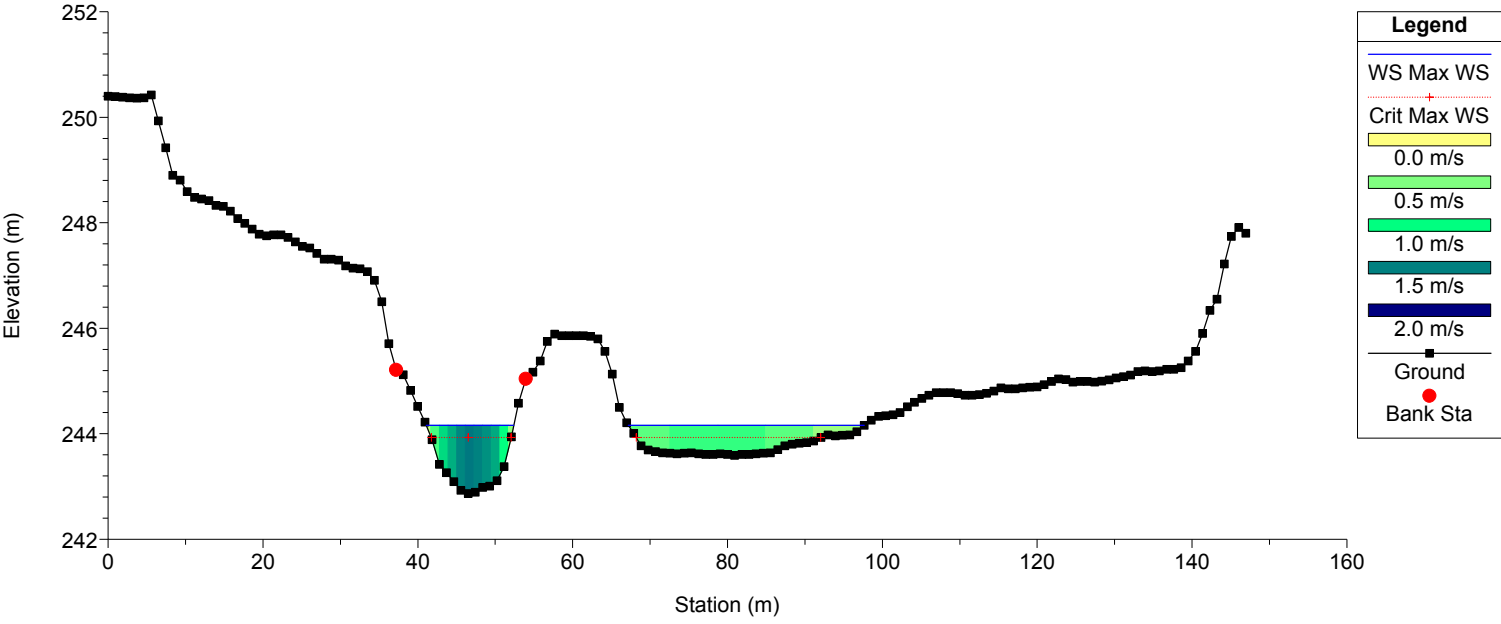


Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 221.1102 40



Progetto
River = Bevera Reach = Cava RS = 169.2383 30







PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

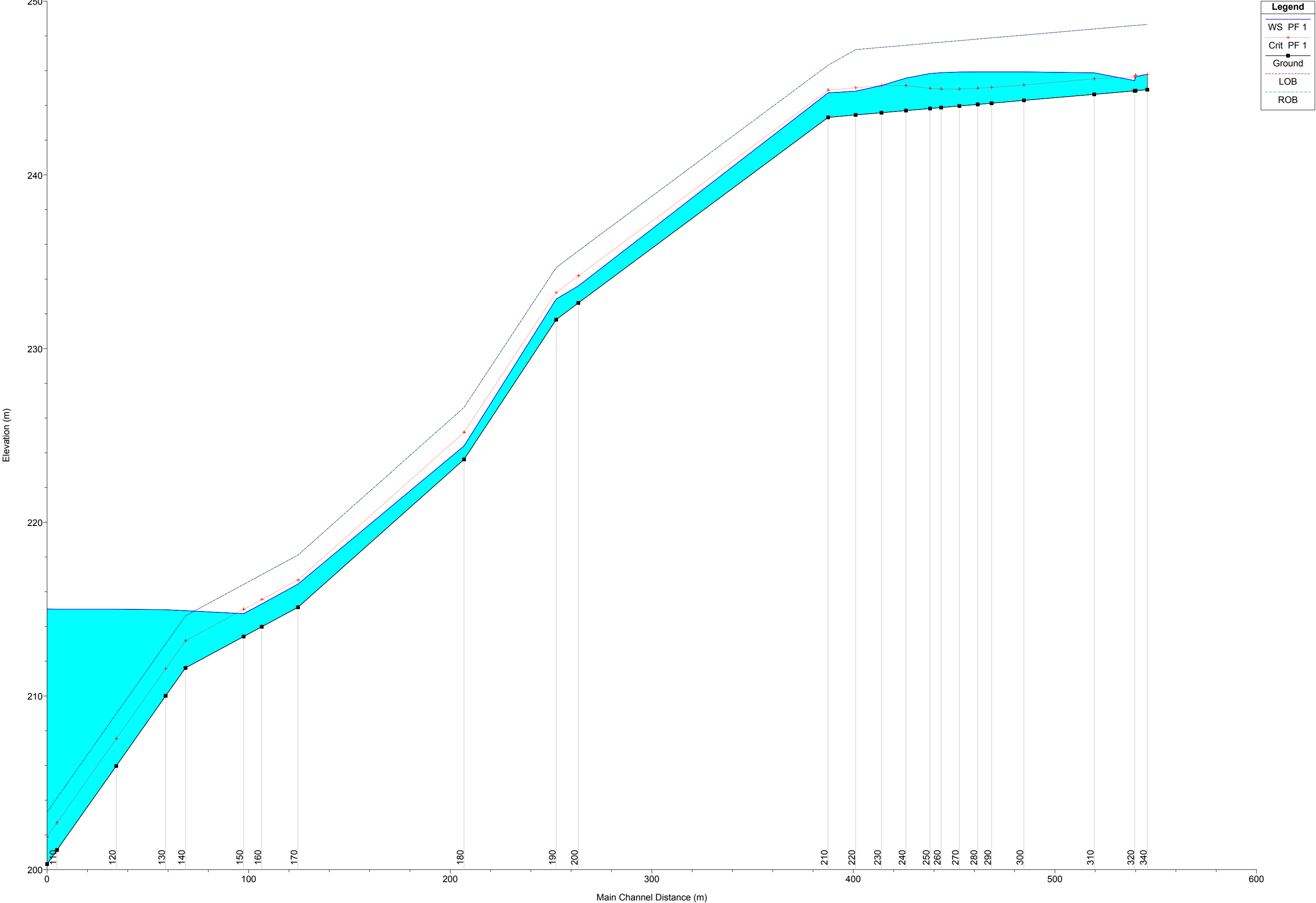
*Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione
del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*

Progetto Esecutivo



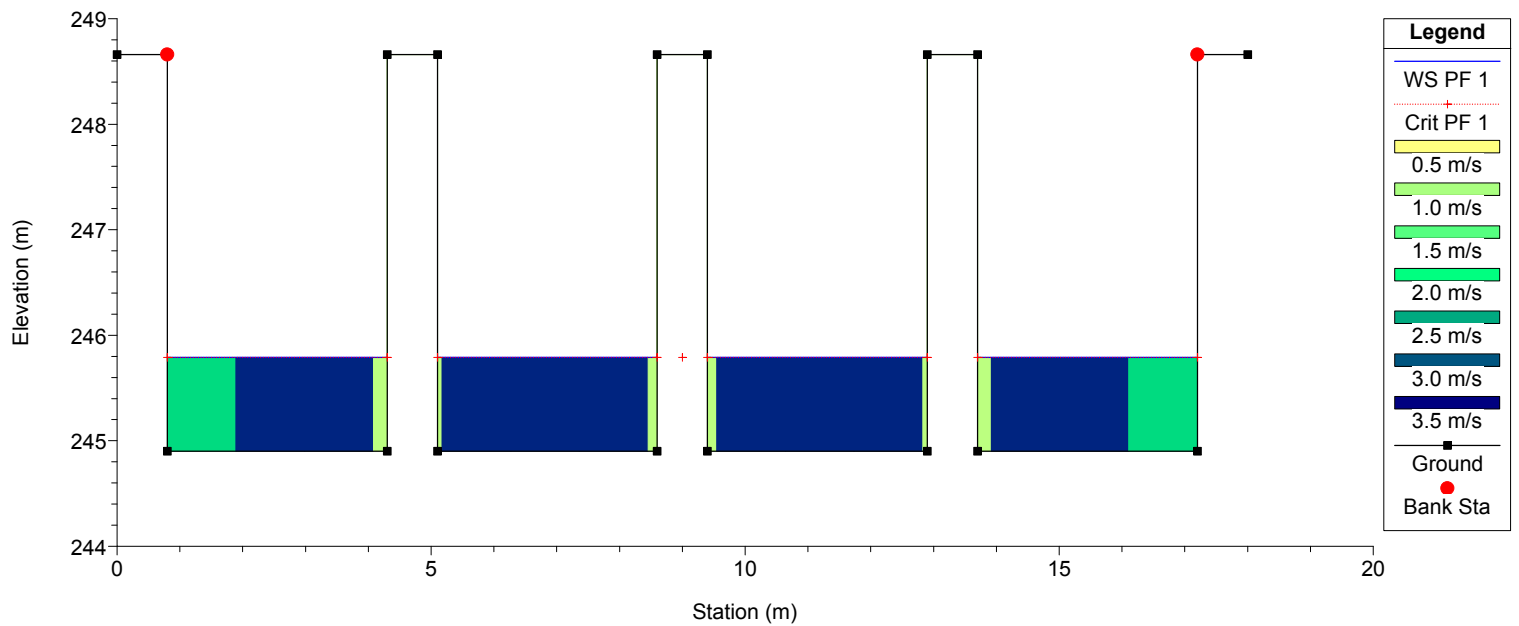
ALLEGATO 3

– Risultati simulazione idraulica: Canale scolmatore – Configurazione di progetto

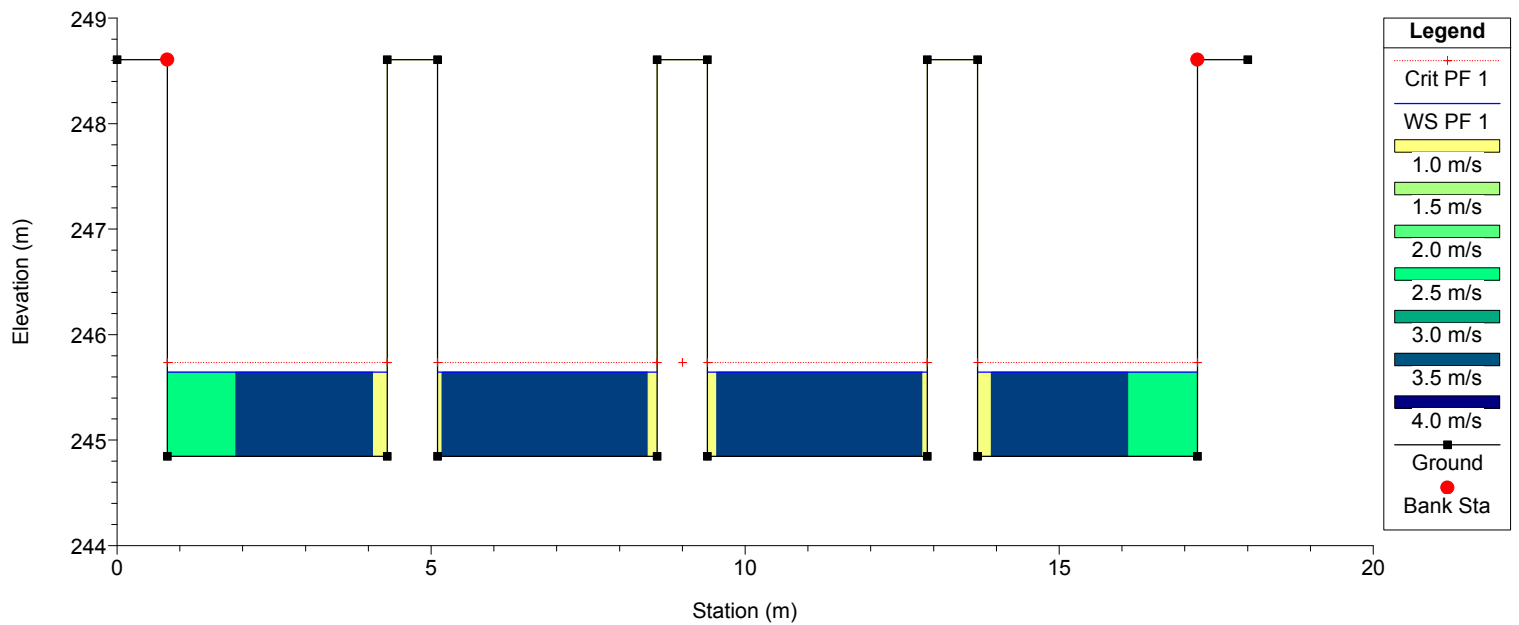


Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Adduzione	340	PF 1	37.00	244.90	245.79	245.79	246.24	0.004013	2.97	12.46	14.00	1.01
Adduzione	330	PF 1	37.00	244.84	245.65	245.73	246.20	0.005443	3.30	11.21	14.00	1.18
Adduzione	320	PF 1	37.00	244.84	245.43	245.64	246.18	0.007369	3.84	9.65	16.40	1.60
Adduzione	310	PF 1	37.00	244.64	245.88	245.53	246.11	0.000959	2.13	17.33	14.00	0.61
Adduzione	300	PF 1	37.00	244.29	245.93	245.18	246.06	0.000402	1.61	22.93	14.00	0.40
Adduzione	290	PF 1	37.00	244.13	245.93	245.04	246.05	0.000323	1.52	24.41	13.53	0.36
Adduzione	280	PF 1	37.00	244.06	245.93	244.99	246.05	0.000312	1.51	24.48	13.08	0.35
Adduzione	270	PF 1	37.00	243.97	245.92	244.94	246.04	0.000322	1.55	23.84	12.21	0.35
Adduzione	260	PF 1	37.00	243.88	245.89	244.94	246.04	0.000400	1.72	21.55	10.72	0.39
Adduzione	250	PF 1	37.00	243.82	245.83	244.98	246.03	0.000546	1.96	18.89	9.39	0.44
Adduzione	240	PF 1	37.00	243.70	245.57	245.14	246.00	0.001449	2.88	12.84	6.86	0.67
Adduzione	230	PF 1	37.00	243.58	245.14	245.14	245.93	0.003361	3.94	9.39	6.00	1.00
Adduzione	220	PF 1	37.00	243.45	244.81	245.01	245.85	0.005021	4.52	8.18	6.00	1.24
Adduzione	210	PF 1	37.00	243.31	244.72	244.88	245.70	0.050453	4.37	8.47	6.00	1.17
Adduzione	200	PF 1	37.00	232.62	233.61	234.19	235.62	0.148193	6.29	5.88	6.00	2.03
Adduzione	190	PF 1	37.00	231.66	232.85	233.23	234.22	0.083660	5.19	7.12	6.00	1.52
Adduzione	180	PF 1	37.00	223.61	224.40	225.18	227.55	0.292634	7.87	4.70	6.00	2.84
Adduzione	170	PF 1	37.00	215.11	216.44	216.67	217.53	0.060266	4.65	7.97	6.00	1.29
Adduzione	160	PF 1	37.00	213.99	215.29	215.55	216.43	0.062996	4.72	7.85	6.00	1.32
Adduzione	150	PF 1	37.00	213.42	214.73	214.99	215.86	0.062474	4.70	7.87	6.00	1.31
Adduzione	140	PF 1	37.00	211.61	214.91	213.18	215.09	0.004453	1.86	20.04	6.80	0.33
Adduzione	130	PF 1	37.00	210.01	214.96	211.57	215.04	0.001122	1.23	31.31	6.80	0.18
Adduzione	120	PF 1	37.00	205.97	214.99	207.54	215.02	0.000152	0.67	58.95	6.80	0.07
Adduzione	110	PF 1	37.00	201.13	215.00	202.70	215.01	0.000036	0.44	91.89	6.80	0.04
Adduzione	100	PF 1	37.00	200.32	215.00	201.89	215.01	0.000030	0.41	97.43	6.80	0.03

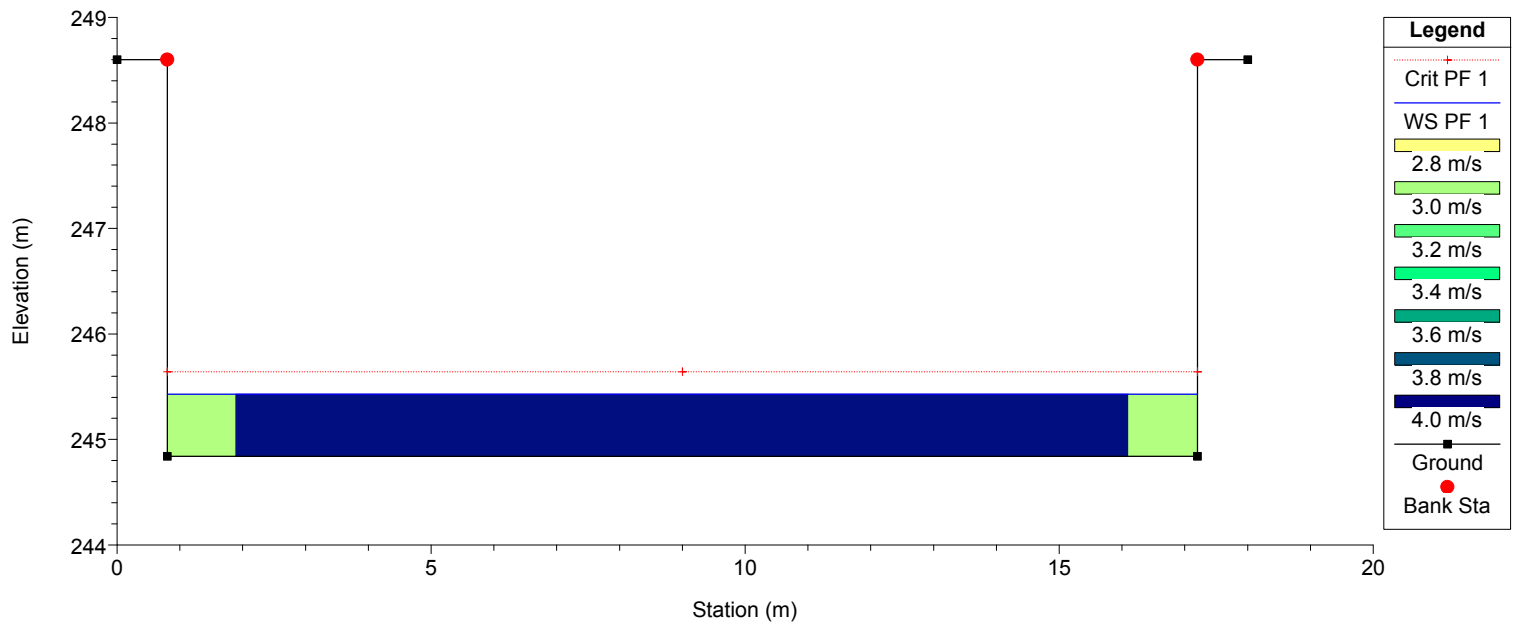
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 340



Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 330

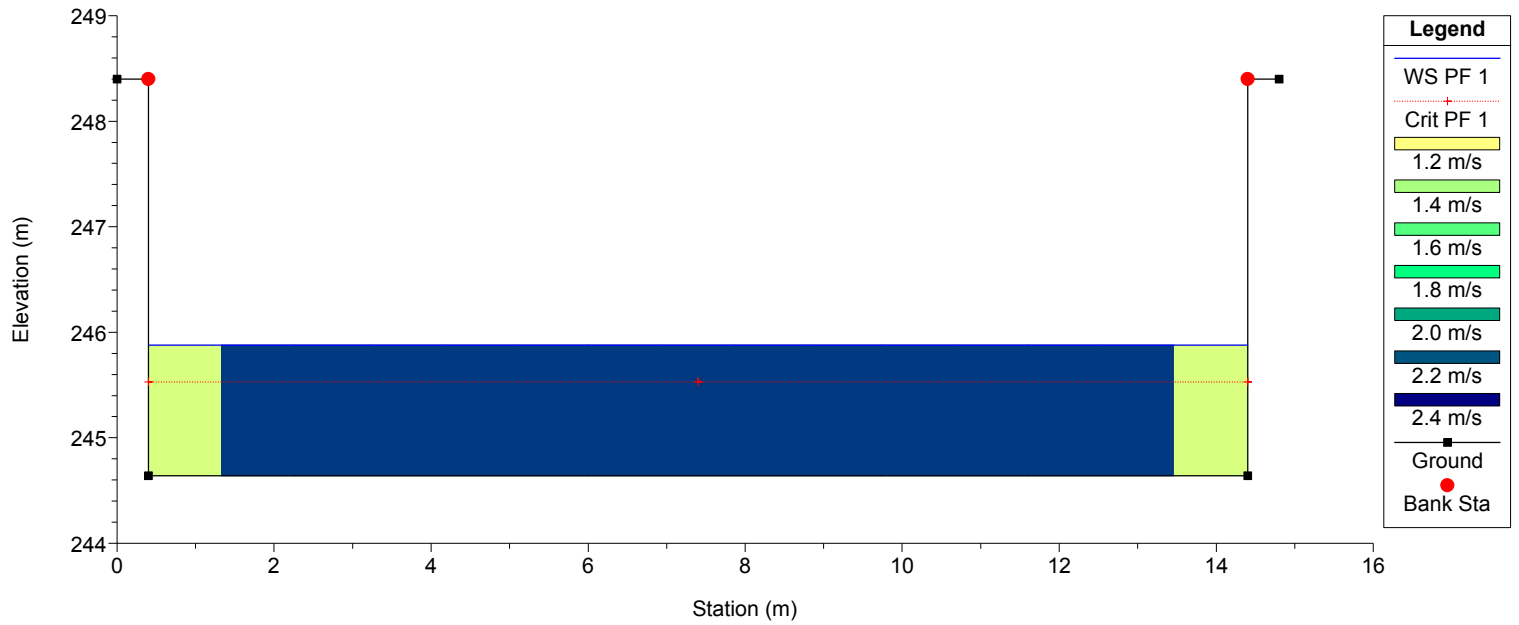


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 320



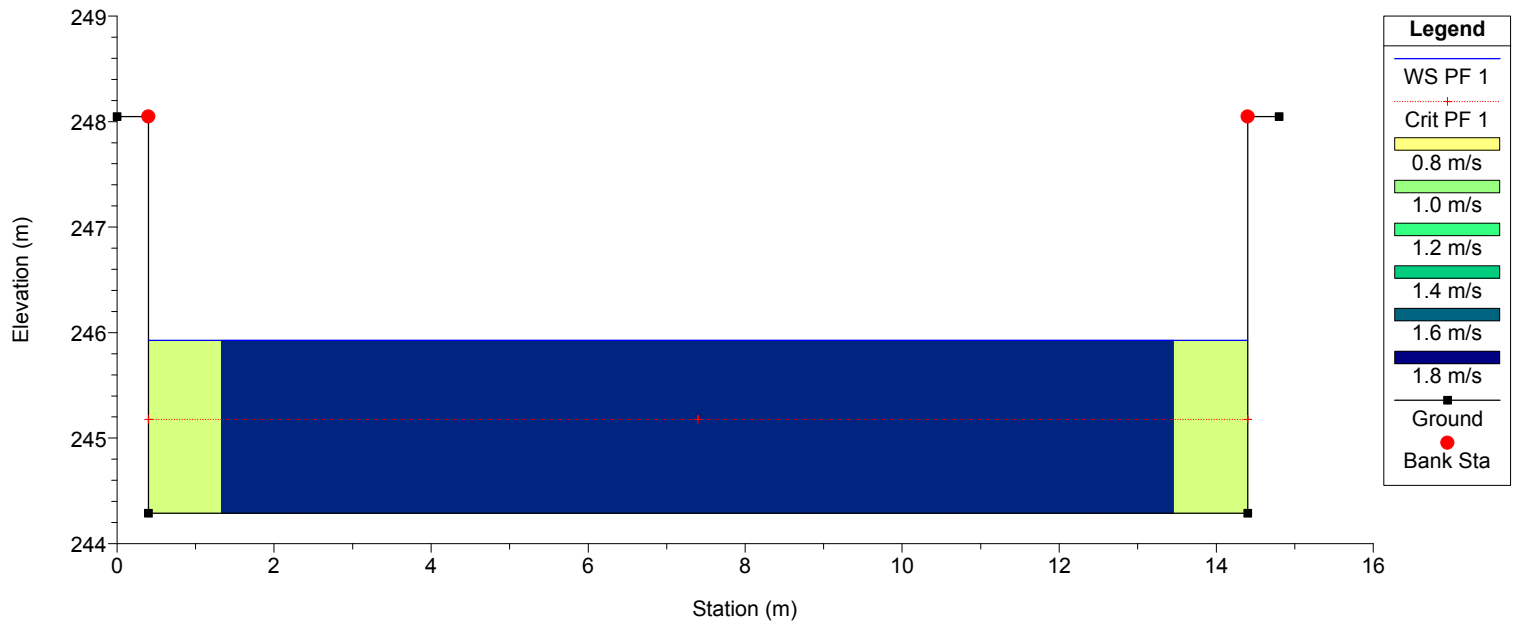
Progetto_0.05

River = Canale Reach = Adduzione RS = 310



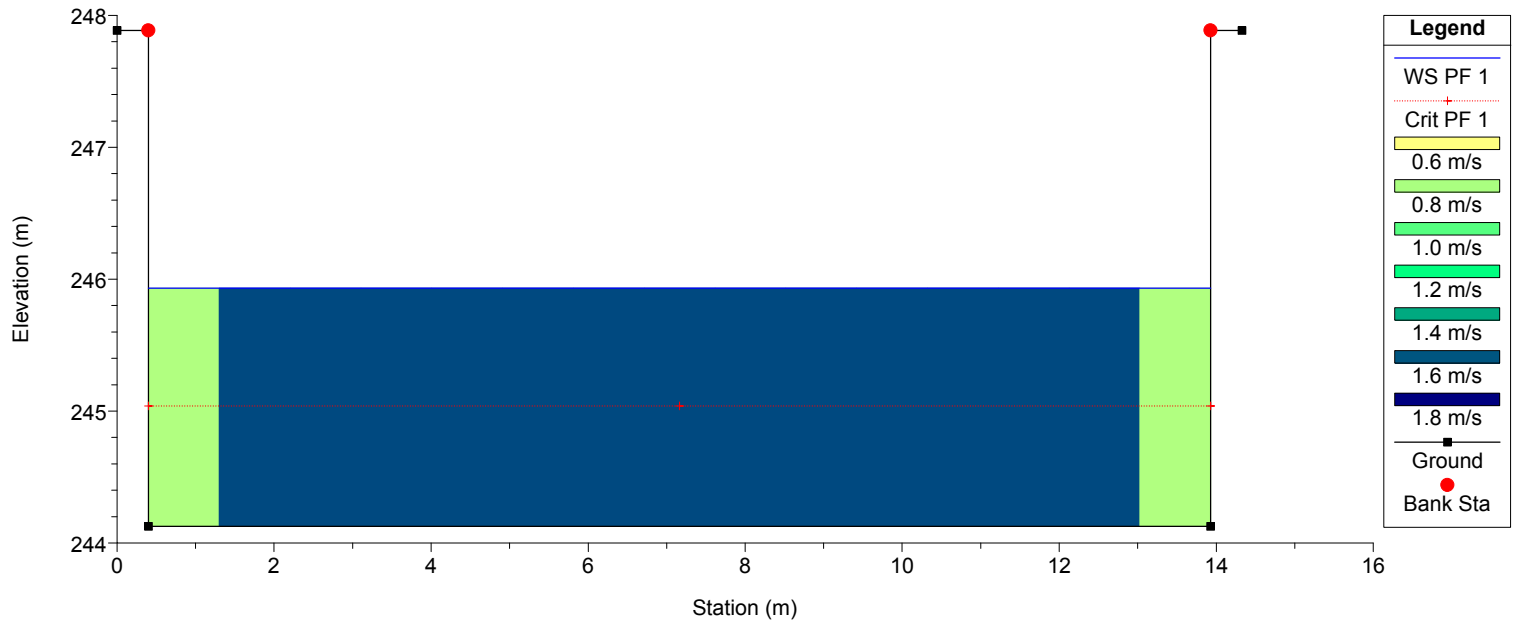
Progetto_0.05

River = Canale Reach = Adduzione RS = 300

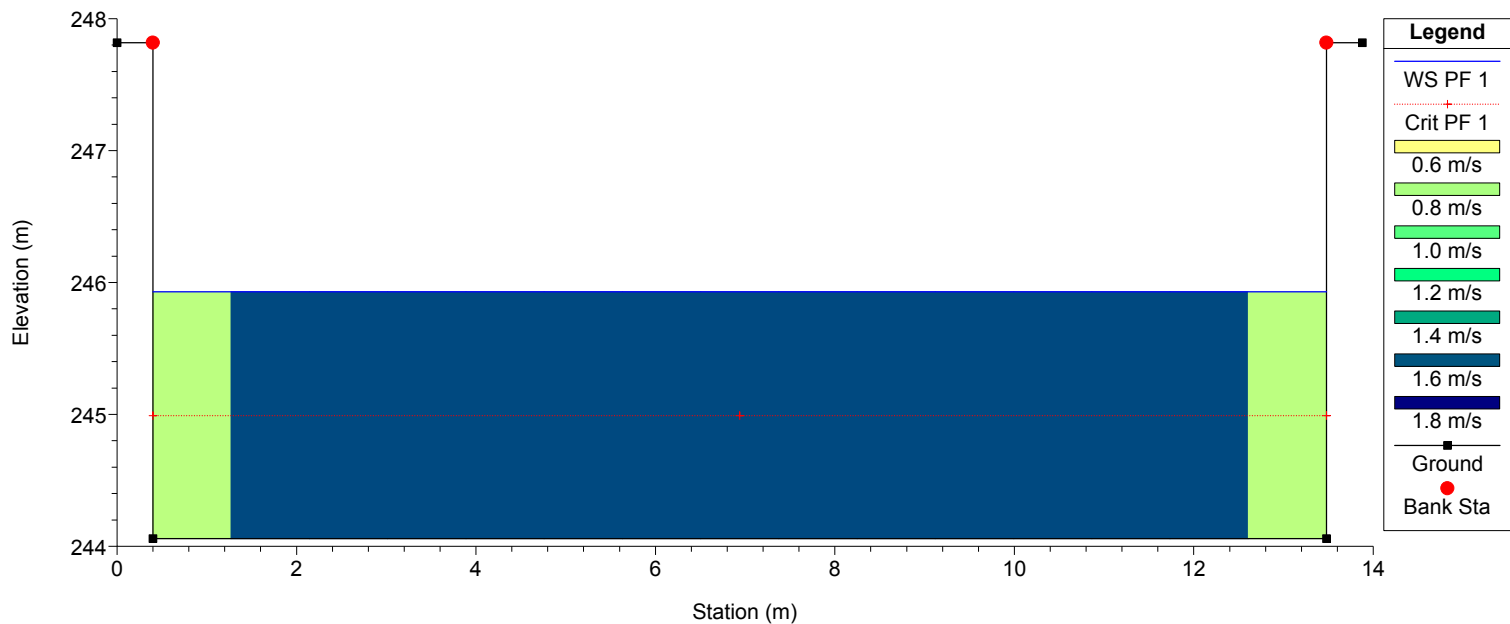


Progetto_0.05

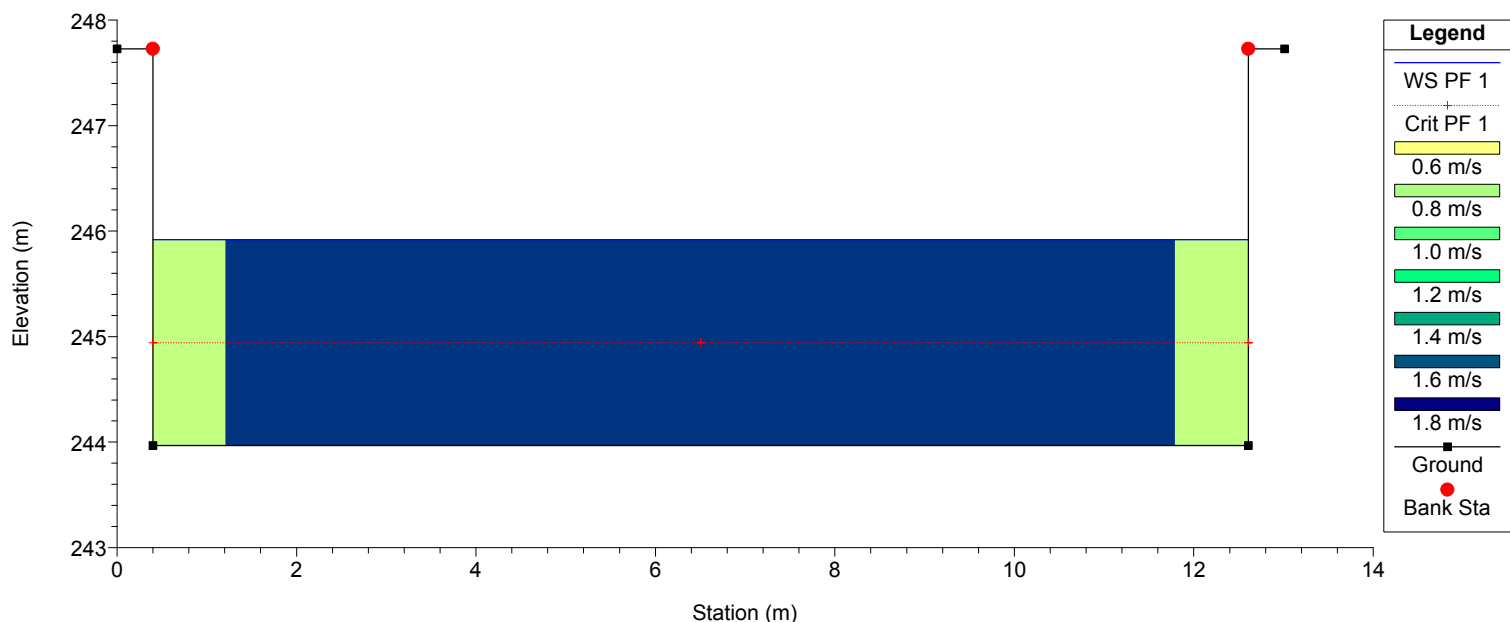
River = Canale Reach = Adduzione RS = 290



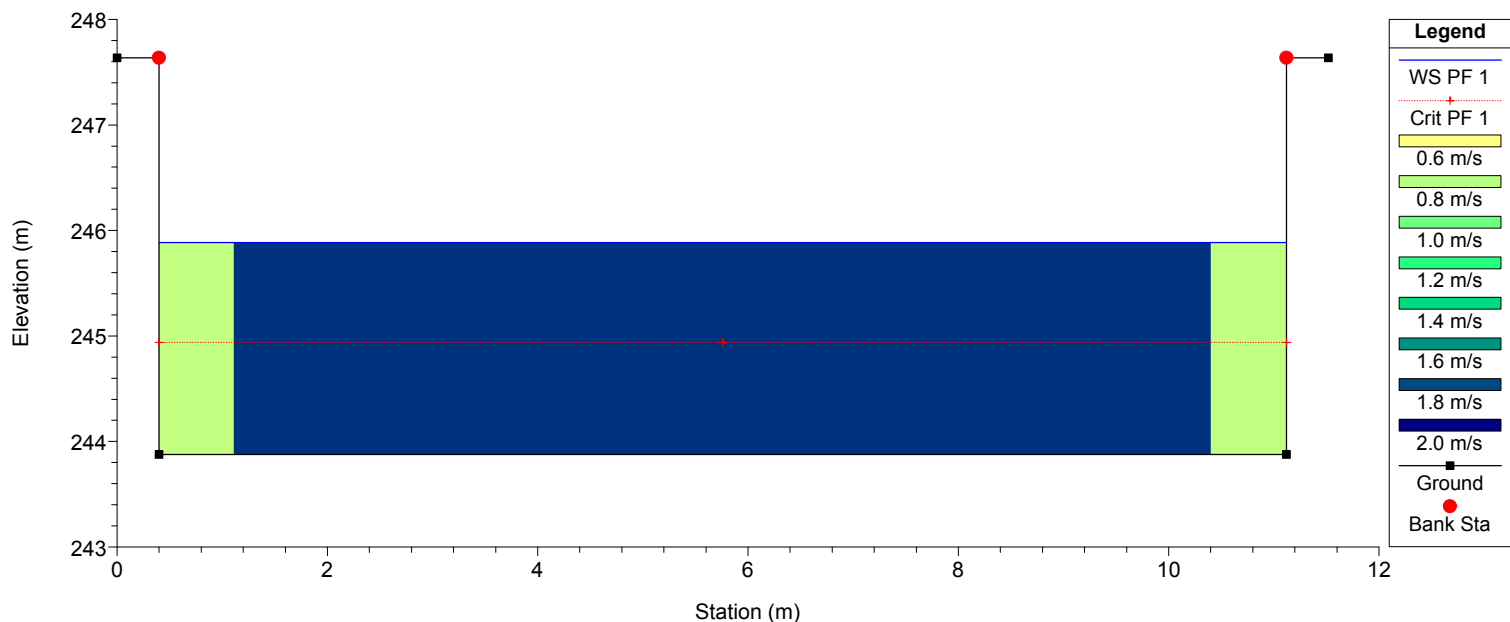
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 280



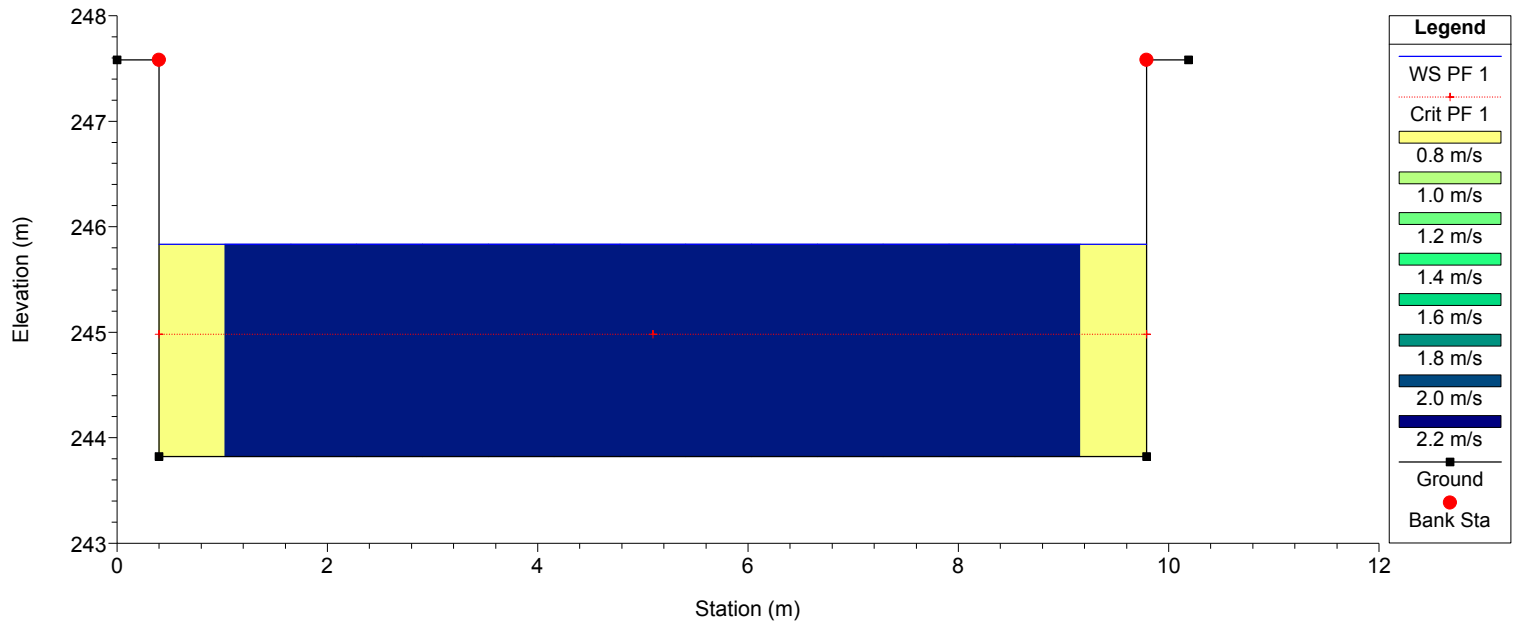
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 270



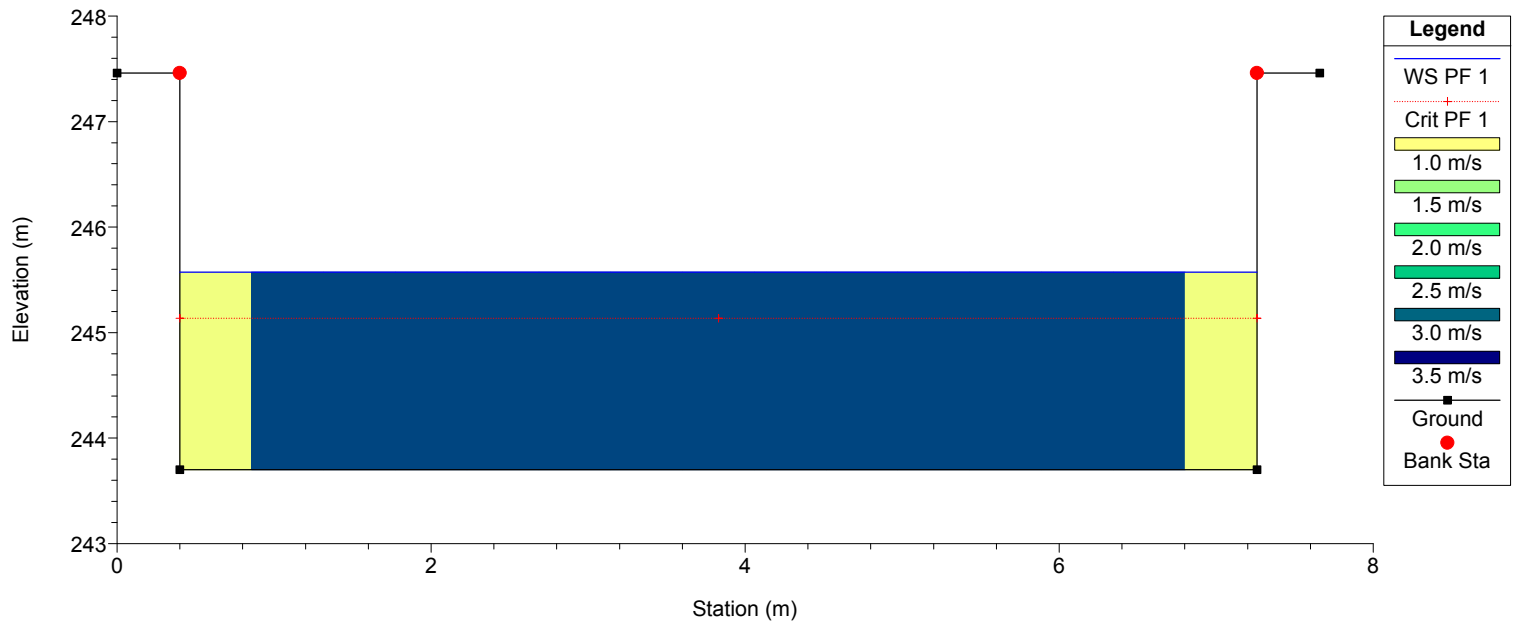
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 260



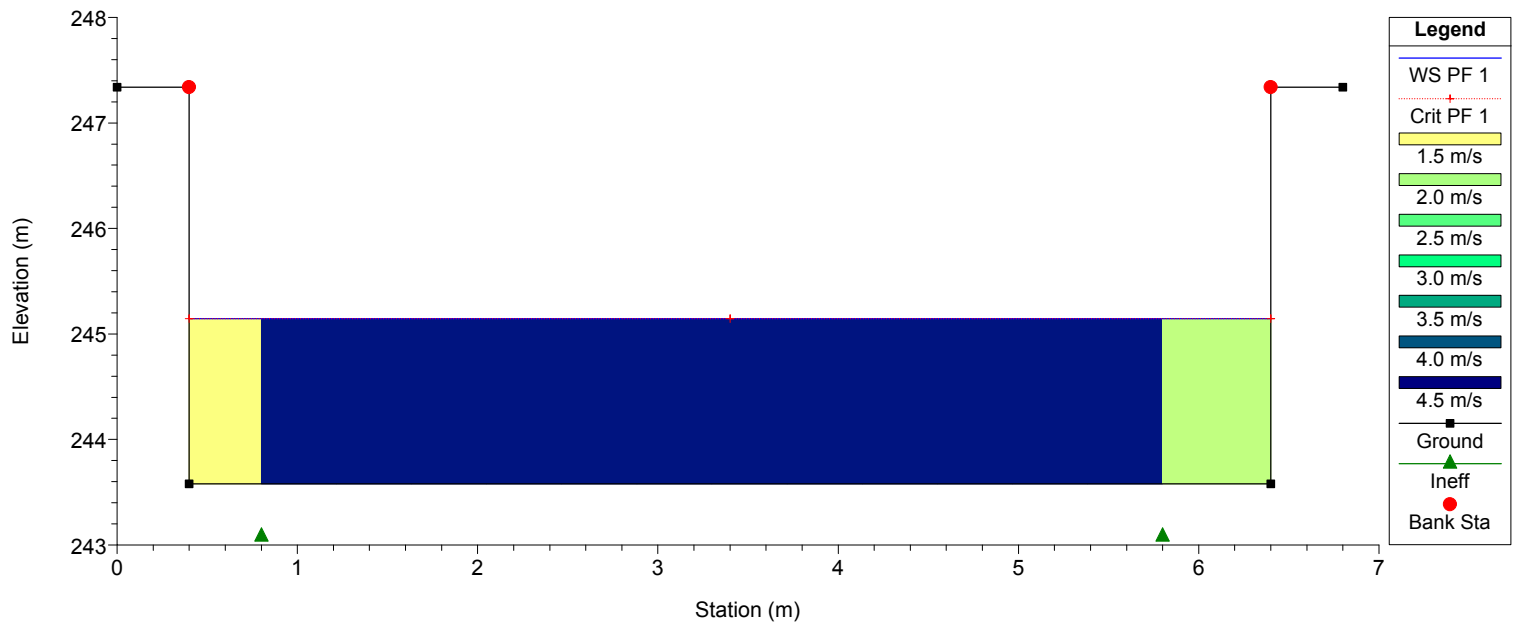
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 250

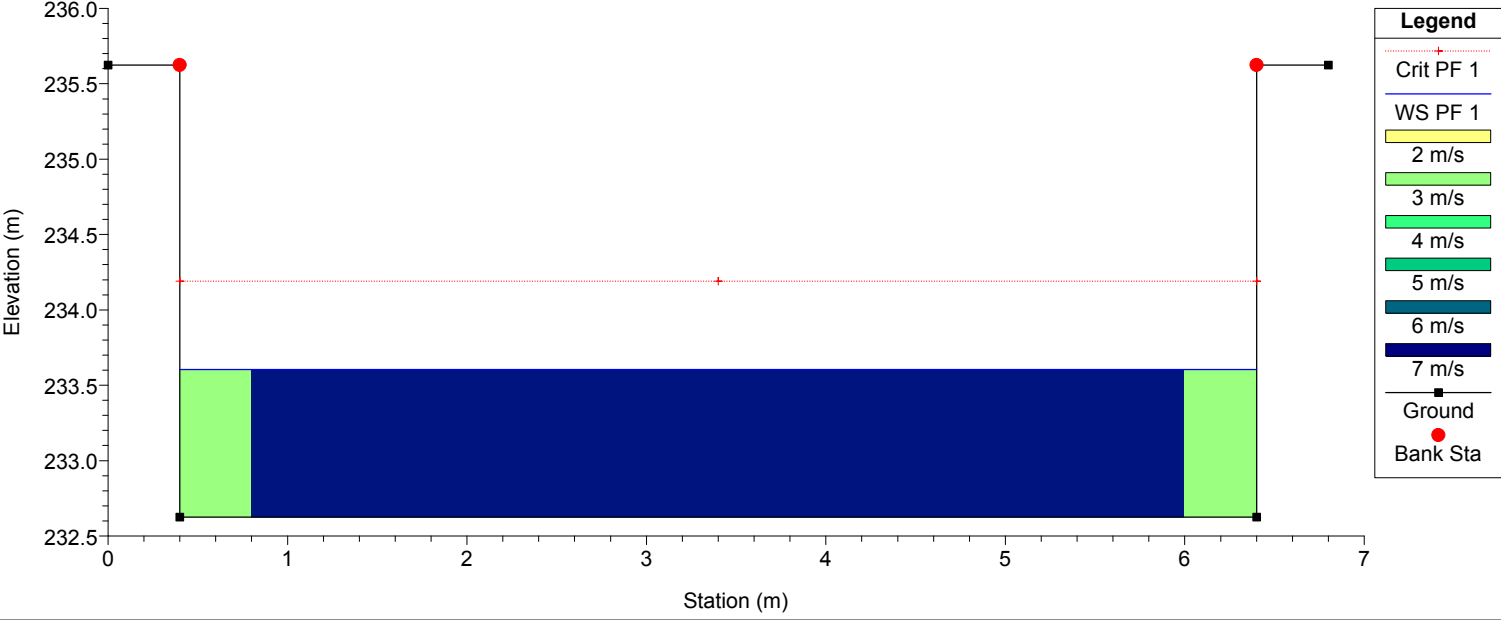
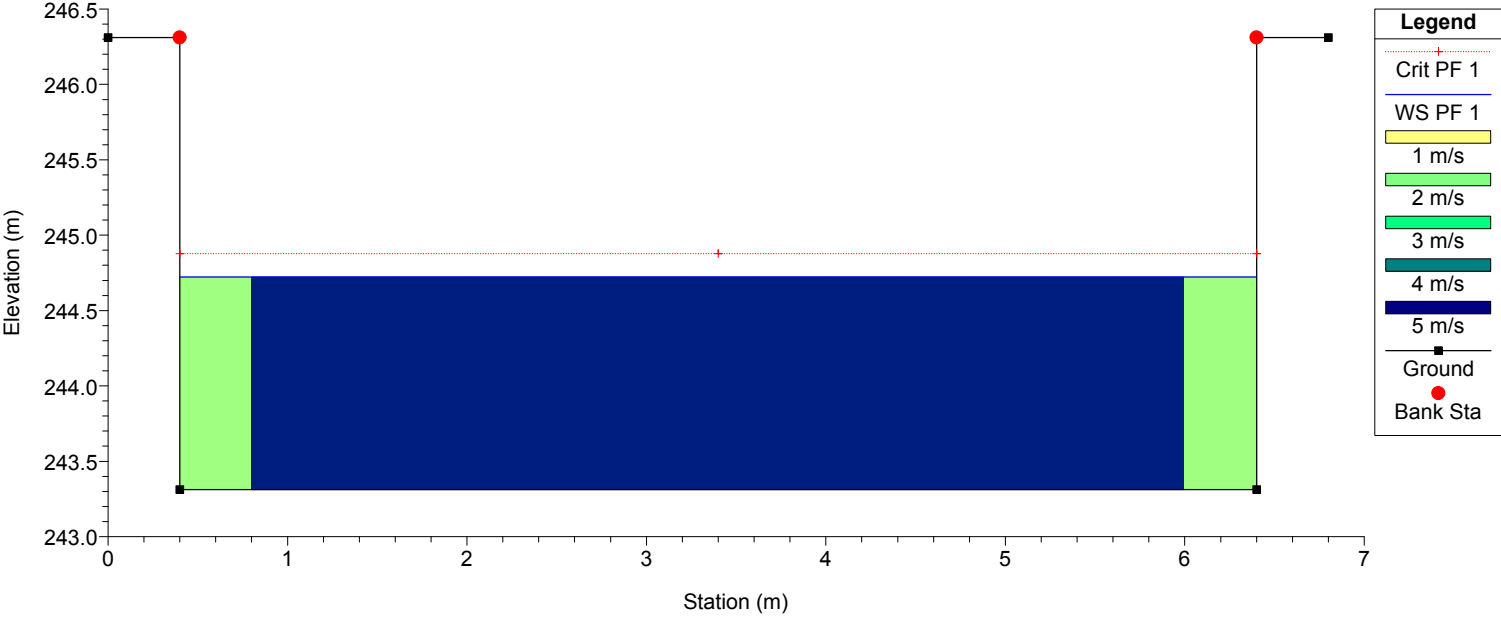
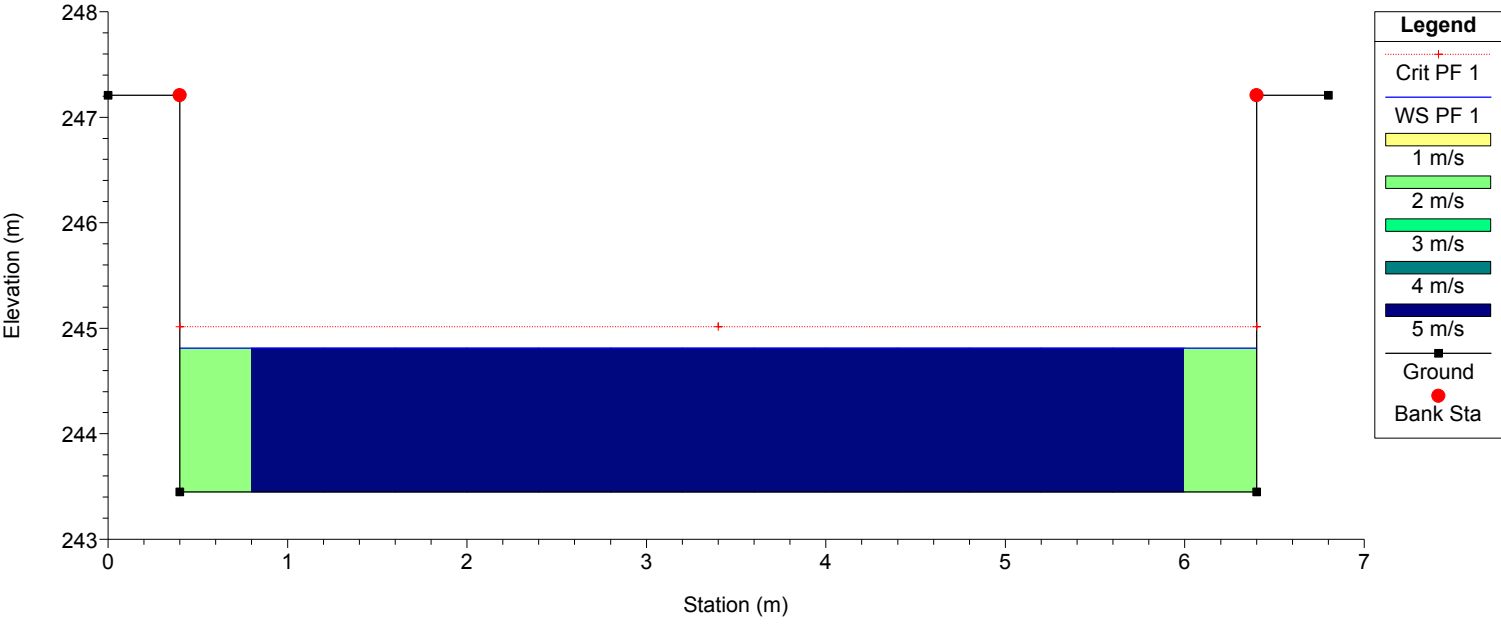


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 240

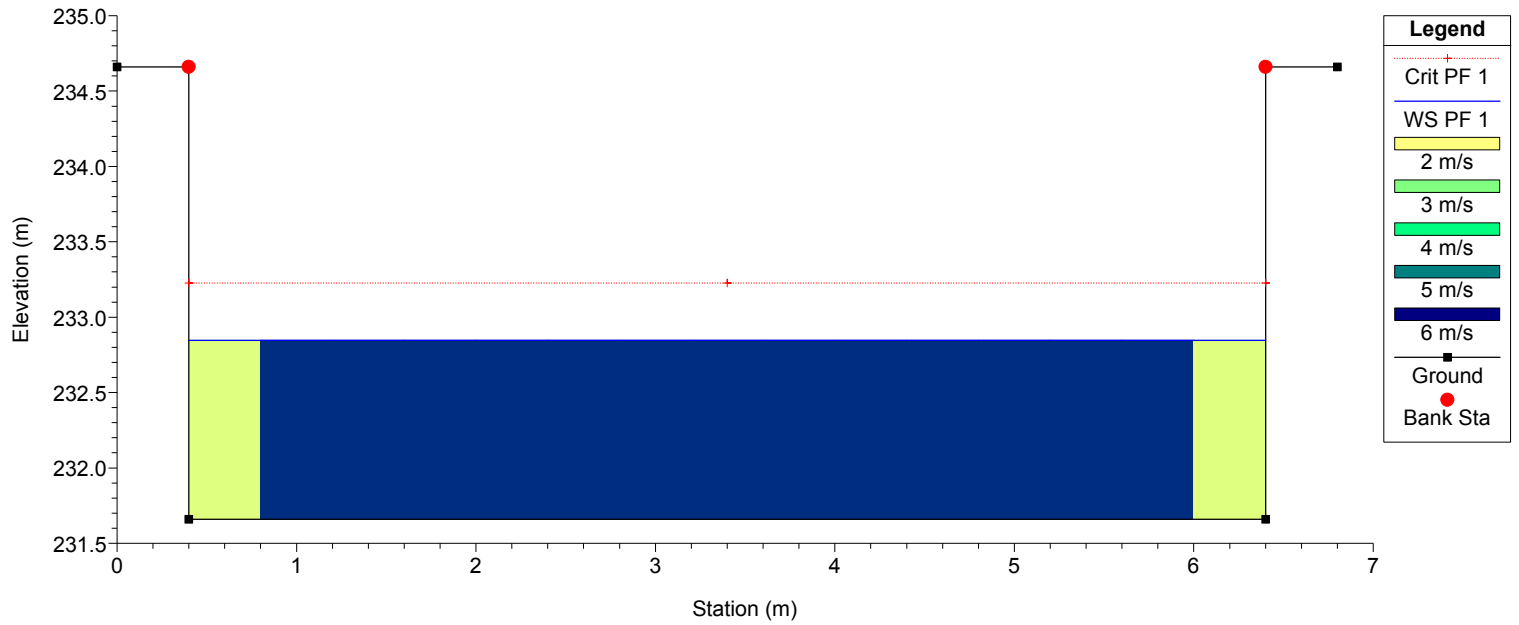


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 230

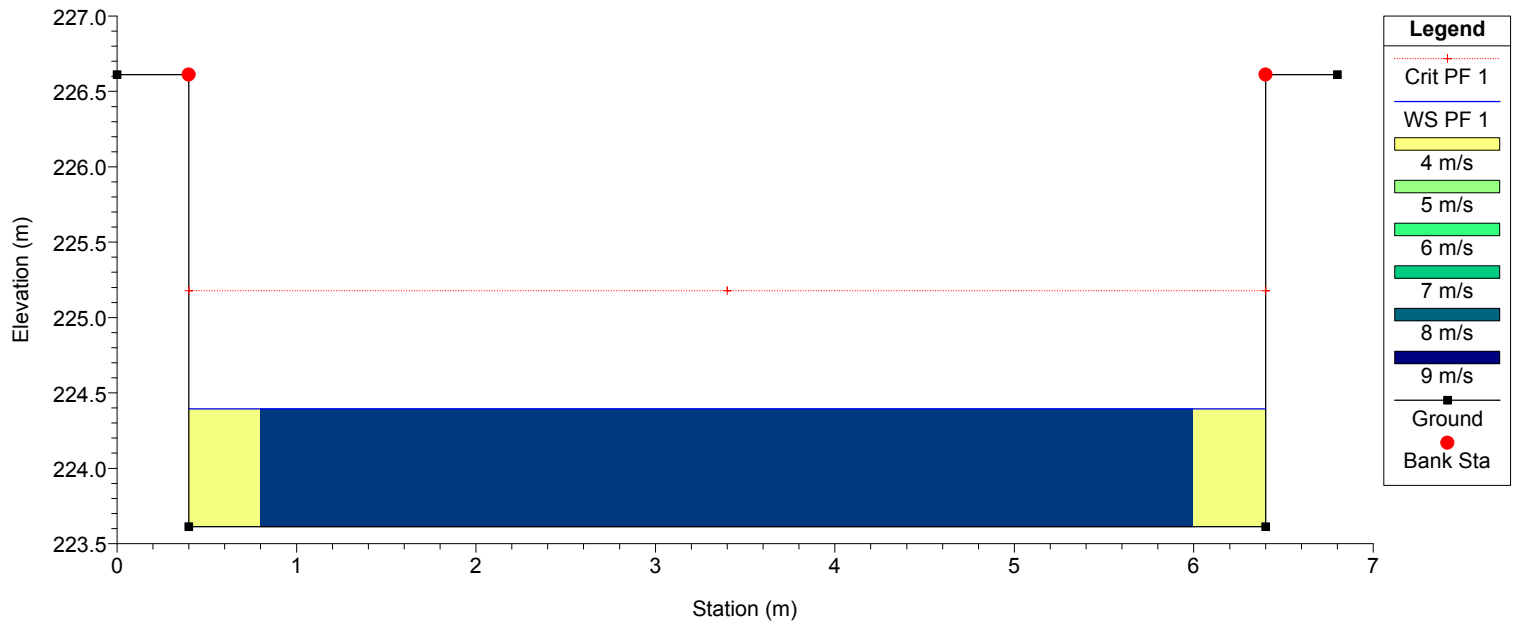




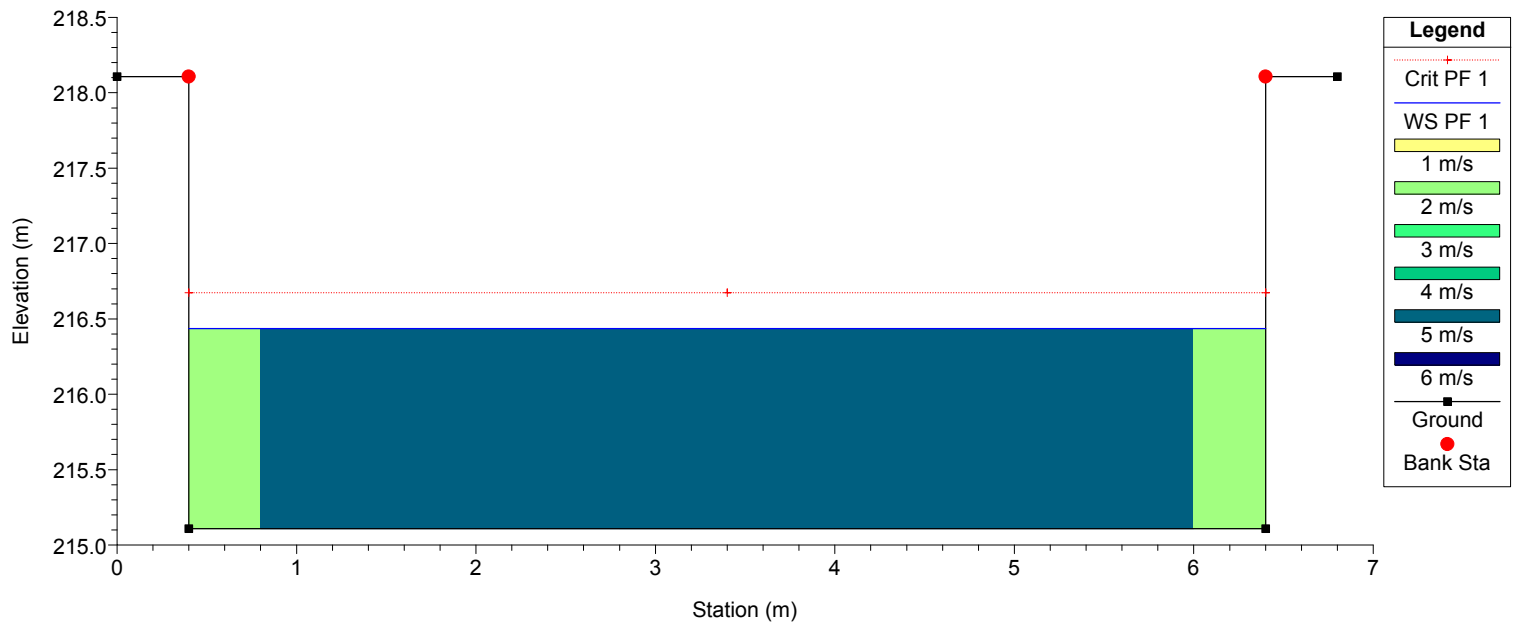
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 190

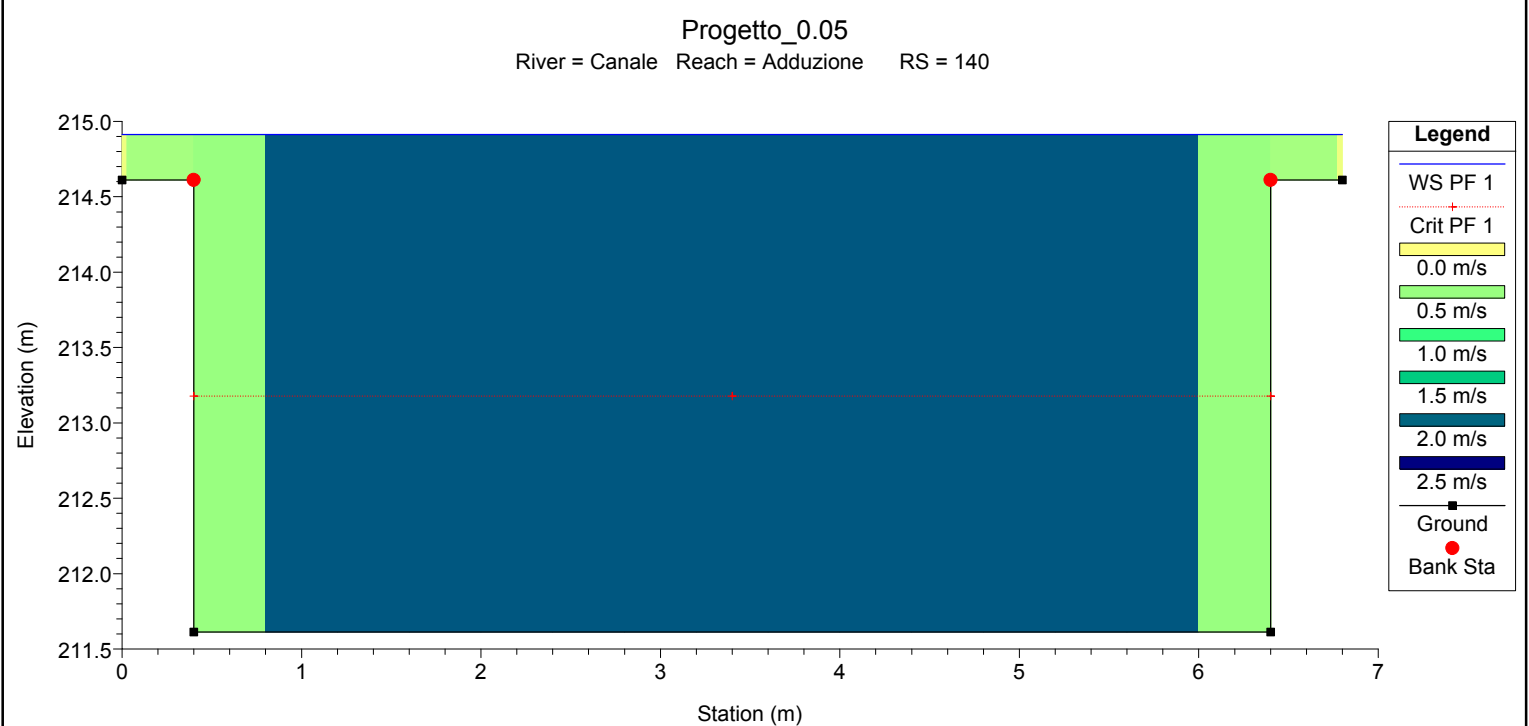
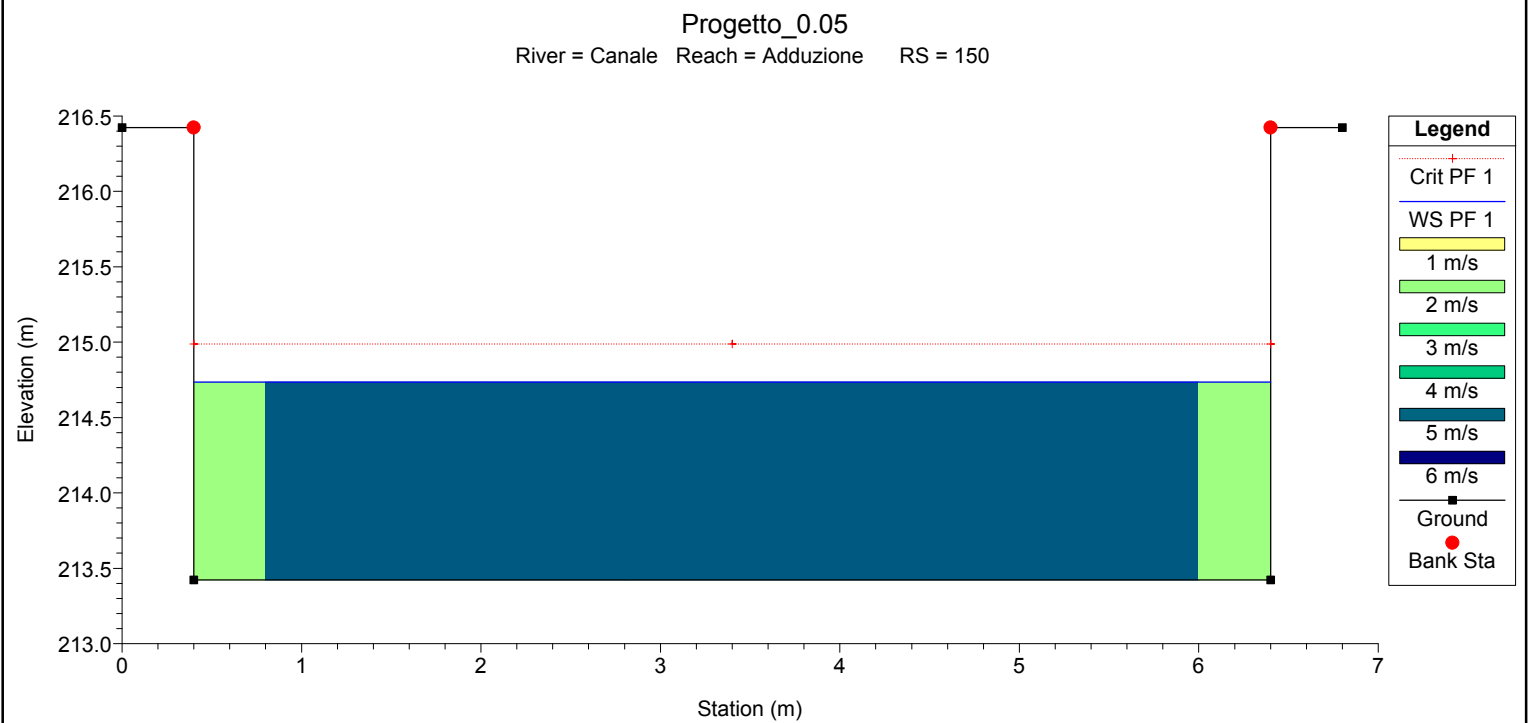
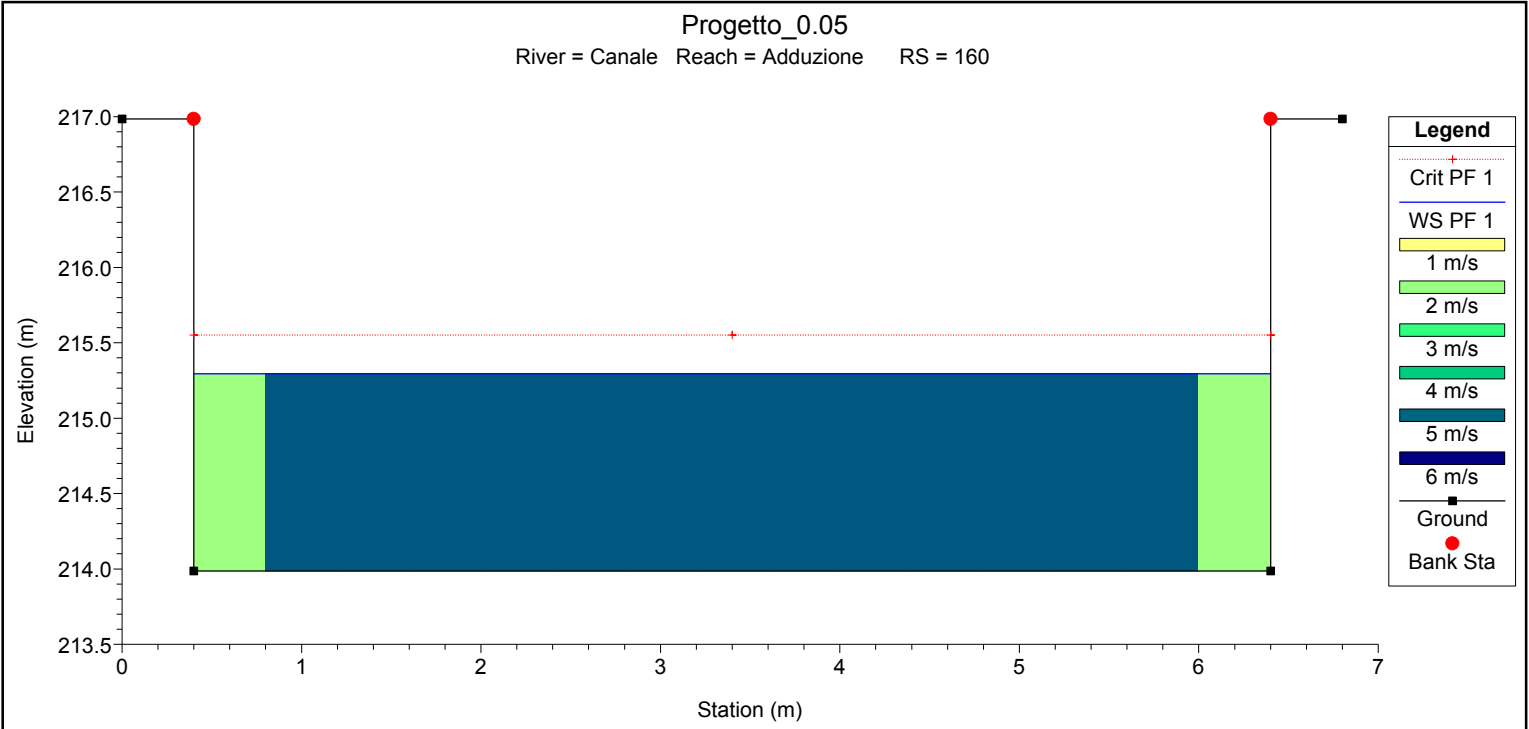


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 180

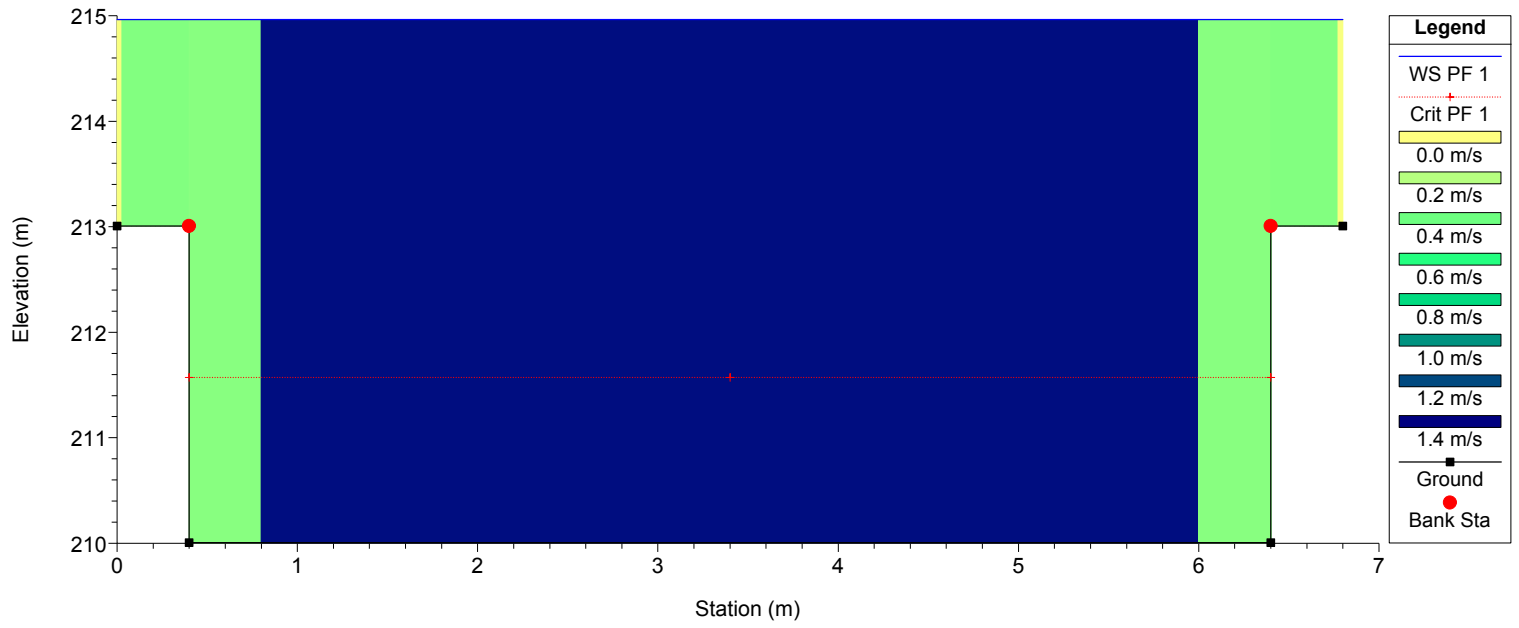


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 170

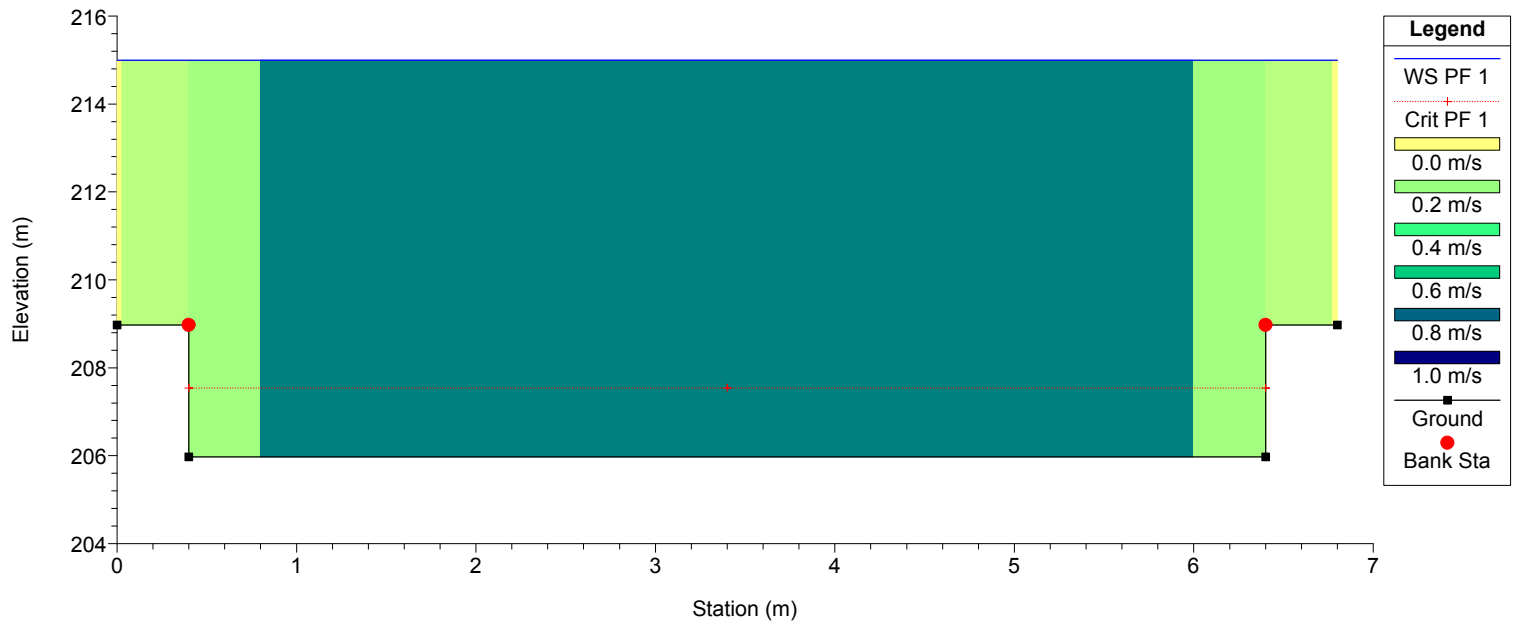




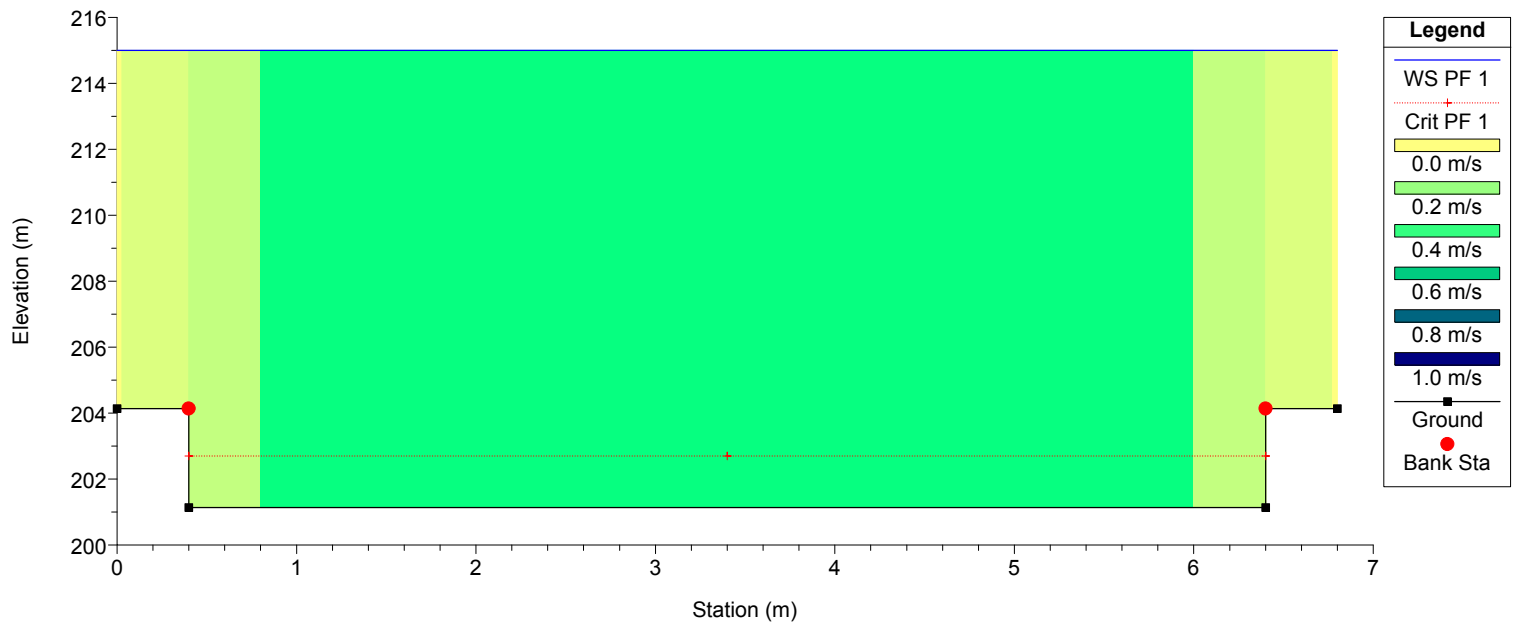
Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 130



Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 120

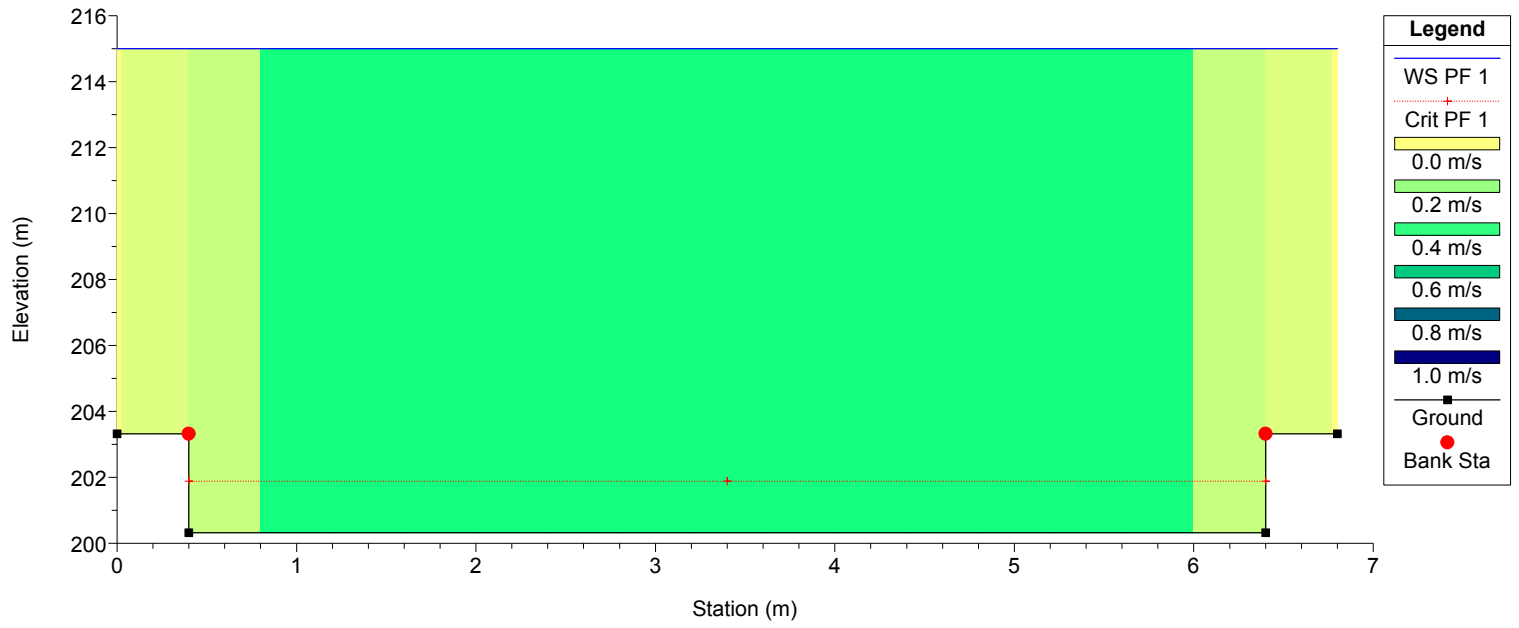


Progetto_0.05
River = Canale Reach = Adduzione RS = 110



Progetto_0.05

River = Canale Reach = Adduzione RS = 100





PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO

*Utilizzazione della Cava di Brenno quale vasca di laminazione
del torrente Bevera di Molteno in Comune di Costa Masnaga (LC)*

Progetto Esecutivo



ALLEGATO 4

– Planimetria delle sezioni di calcolo

