

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**Sistemazione idraulica Fosso Rio Predella  
Relazione idraulica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing.P.P.Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	R I	I N 1 1 0 X	0 0 1	B

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Prima Emissione	ALPINA <i>gl</i>	15/07/2013	ALPINA <i>Adriano...</i>	15/07/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	19/07/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. <b>Alto Mancarella</b> Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX
-----------	--



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 3 di 64

## INDICE

INDICE.....	3
1.     PREMESSA.....	5
2.     OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE.....	6
3.     INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI.....	6
4.     DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO.....	8
5.     DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO.....	9
6.     PORTATA DI PROGETTO.....	11
6.1.   Portata al colmo Rio Predella.....	11
6.2.   Portata di smaltimento piattaforma.....	13
7.     VERIFICHE IDRAULICHE.....	14
7.1.   Simulazione in moto permanente.....	14
7.1.1.   Descrizione modello di calcolo.....	14
7.1.2.   La base geometrica.....	17
7.1.3.   Scabrezze.....	18
7.1.4.   Condizioni al contorno.....	18
7.1.5.   Risultati.....	19
8.     VERIFICA PROTEZIONI DI SPONDA.....	25
8.1.   Metodo di Calcolo.....	25
8.1.1.   Risultati.....	26
9.     OPERE PROVVISORIALI.....	27
9.1.   Portata di progetto.....	27
9.1.1. <i>Periodo di ritorno</i> .....	27
9.1.2. <i>Metodo della portata indice</i> .....	28
9.2.   Verifica del tombino provvisorio.....	29
10.    CONCLUSIONI.....	30
ALLEGATO 1.....	31
ALLEGATO 2.....	49

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX  
Relazione idraulica

Foglio  
4 di 64

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 5 di 64

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifica idraulica del Rio Predella, appartenente al reticolo idrografico minore del torrente Scrivia, interferente con la linea AC Milano –Genova alla pk 28+335.45 in zona Libarna nel Comune di Arquata Scrivia (AL).

Lo studio è finalizzato alla verifica di compatibilità idraulica dell'attraversamento nell'ambito del progetto esecutivo della tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo valico dei Giovi.

Il progetto per la realizzazione della linea ferroviaria prevede la tombinatura del Rio nel territorio comunale di Arquata in corrispondenza dell'imbocco della galleria artificiale (wbs GA1J); è stata inoltre operata la riprofilatura di alcune sezioni a valle dell'attraversamento per renderle compatibili con il tracciato della linea A.C.

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con DPCM del 24/5/01, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Le verifiche e il dimensionamento idraulico delle opere sono state condotte mediante verifiche idrauliche a carattere puntuale con la portata 200-ennale in accordo con le norme del Piano.

Lo studio ha dimostrato la compatibilità idraulica dell'intervento.

Il progetto esecutivo oggetto della presente relazione risponde a quanto previsto nel precedente livello di progettazione definitiva; in questa ulteriore fase sono stati sviluppati gli elaborati conformemente al livello progettuale esecutivo per fornire i necessari elementi di dettaglio.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 6 di 64

## 2. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE

In fase di approvazione del Progetto Definitivo del Terzo valico dei Giovi – linea AV/AC Milano-Genova – con delibera CIPE 80/2006 non sono presenti prescrizioni specifiche relative all'intervento oggetto della presente relazione.

## 3. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI

La normativa idraulica di riferimento per il versante padano è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 ed approvato con DPCM del 24 maggio 2001, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Il PAI è sovraordinato a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti e costituisce la norma a cui attenersi per l'esecuzione di opere e infrastrutture che interferiscano con il reticolo idrografico.

Esso fornisce i valori delle portate di piena da assumere alla base delle verifiche idrauliche per alcune sezioni significative del reticolo idrografico padano; fornisce altresì le indicazioni per il calcolo delle portate di piena nelle sezioni non indagate sulla base delle curve di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno elaborate per tutto il territorio di competenza.

Il PAI contiene inoltre i criteri a cui attenersi per il dimensionamento delle opere in funzione della tipologia e dei vincoli esistenti.

I criteri adottati nel dimensionamento idraulico delle opere tengono conto delle norme di attuazione del PAI e degli indirizzi e delle indicazioni emerse nel corso dei colloqui con il competente Ufficio provinciale del Genio Civile di Alessandria della Regione Piemonte.

Da un punto di vista generale, per quanto riguarda la viabilità, si distinguono i casi di adeguamento della viabilità esistente e di realizzazione di nuova viabilità.

Nei casi in cui l'adeguamento della viabilità esistente, pur se a raso, si limita ad un semplice intervento di manutenzione senza interferenze con l'attuale assetto idraulico dell'alveo e delle aree adiacenti, non è prevista alcuna sistemazione idraulica, anche se l'intervento dovesse ricadere in area inondabile.

Nei casi in cui tale adeguamento comporti invece la realizzazione di opere interferenti con il corso d'acqua e/o con le sponde (muri di sostegno, argini, sbalzi ecc.), e nei casi di realizzazione di nuovi tratti di viabilità e/o nuovi attraversamenti, l'intervento previsto, pur nel rispetto dei vincoli imposti dalla progettazione stradale, è stato comunque orientato a garantire il deflusso della portata 200-ennale in condizioni di sicurezza lungo tutto il tronco del corso d'acqua interessato, anche attraverso una nuova sistemazione dell'alveo e delle sponde.

Da un punto di vista generale le sistemazioni idrauliche sono limitate allo stretto necessario alla funzionalità dell'opera nel rispetto dell'attuale configurazione dei corsi d'acqua interferenti; si è verificato che gli interventi non comportassero in nessun caso restringimenti di alveo e non inducessero in generale effetti peggiorativi sul regime idraulico del corso d'acqua, con particolare riferimento agli effetti indotti sulla sponda opposta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 7 di 64

Al fine di preservare le opere dai possibili fenomeni erosivi della corrente, le fondazioni dei muri d'argine e delle opere in alveo in genere quali briglie, spalle e pile dei ponti, sono impostate ad una quota adeguatamente inferiore alla quota minima del fondo alveo (Talweg) e, quando necessario, protette con strutture elastiche quali scogliere di massi naturali, materassi tipo "Reno" o gabbioni, mantenendo per quanto possibile la naturalità dell'alveo e delle sponde.

Lungo i tratti di viabilità di cui è previsto l'adeguamento è stata effettuata la verifica idraulica dei manufatti di attraversamento esistenti al fine di individuare quelli ritenuti sufficienti al deflusso della portata 200-ennale, che possono pertanto essere mantenuti, e quelli di cui è opportuno prevedere il rifacimento perché insufficienti.

Il criterio adottato è quello di un franco minimo di 0.5 m rispetto all'intradosso per ponti, ponticelli e scatolari per i corsi d'acqua significativi (con superficie del bacino sotteso superiore a 0.2 Km<sup>2</sup>) e di un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 per i manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua minori (superficie del bacino inferiore a 0.2 Km<sup>2</sup>).

Nel caso di nuova viabilità a raso è stato adottato ovunque un franco rispetto al deflusso della portata di piena 200-ennale di 1.0 m rispetto al piano viabile anche in presenza di un'eventuale struttura a sbalzo.

Nel caso di nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua significativi si è preferito anche in questo caso, ove possibile, l'adozione di struttura a campata unica senza ingombri in alveo; il franco minimo rispetto all'intradosso è stato assunto pari a 1.0 m e comunque non inferiore alla metà del carico cinetico della corrente; in accordo a quanto indicato nel P.A.I. tale valore deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia orizzontale e comunque per almeno 40 m nel caso di luci superiori a tale valore; nel caso di ponti e ponticelli si è assunto comunque un valore minimo dell'altezza libera di 2 m; per gli scatolari si è assunta una dimensione minima di 2x2 m.

Per i corsi d'acqua secondari, in mancanza di specifiche indicazioni contenute nel P.A.I. o fornite direttamente dagli Uffici tecnici competenti, si è assunta quale dimensione minima dei manufatti di attraversamento una tubazione Ø 1500.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 8 di 64

#### 4. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

Il Rio Predella, affluente di sinistra del torrente Scrivia interferisce con la linea in progetto alla pk 28+335.45; nel tratto interessato dall'intervento il fosso ha andamento Nord- Sud

L'area complessiva del bacino sotteso alla sezione di interferenza con la linea è di circa 0.75 km<sup>2</sup>; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Arquata Scrivia.

Il bacino presenta una forma arrotondata, con quote comprese tra 230 m s.l.m. e 365 m s.l.m.; il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di una sola asta principale con lunghezza di circa 1500 m, e pendenza media pari al 8% circa; Il bacino non risulta urbanizzato.

L'intervento riguarda un tratto dell'asta principale della lunghezza complessiva di circa 850 m; l'alveo naturale è caratterizzato in tale tratto da sezioni di forma trapezia irregolare.

In un primo tratto a monte della linea AC in progetto l'alveo è caratterizzato da forte pendenza (circa 5.0%) e le sezioni sono relativamente strette e incavate con larghezza di fondo pari a circa 2 m.

Dopo aver attraversato una viabilità secondaria mediante manufatto costituito da una sezione rettangolare di dimensioni 2.5x1.80, il rio prosegue con un tratto, in affiancamento alla piazzola tecnologica di progetto, caratterizzato da pendenza molto minore e sezioni in allargamento; in tale tratto il rio riceve l'affluente denominato fosso2 (wbs IN1U).

Più a valle le sezioni si allargano ulteriormente fino a formare un piccolo laghetto di larghezza pari a circa 50m,

al termine dello stesso è presente un manufatto di sbocco di protezione del canale che torna ad essere a forte pendenza, subito a valle di tale tratto sono presenti le immissioni dei fossi 3 e 4.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 9 di 64

## 5. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'intervento sul fosso Predella prevede la realizzazione di un tombino scatolare in cemento armato di dimensioni  $b \times h = 4,00 \times 3,00$  m lungo complessivamente 176,14 m che sottopassa la galleria artificiale (wbs GA1J) della linea A.C. alla progressiva 28+335.45 e la viabilità prevista a valle (wbs IR1D).

L'asse del tombino ricalca l'andamento planimetrico del Rio, indi per cui l'attraversamento della linea ferroviaria avviene in modo non perpendicolare.

Il tombino risulta ispezionabile mediante due aperture protette tramite appositi parapetti metallici: la prima a circa metà della lunghezza, sita nella zona tra la galleria e la viabilità IR1D, di larghezza pari a 6 m; la seconda sita nella zona tra la viabilità IR1D e la strada di accesso al piazzale e di lunghezza pari a circa 4 m.

In corrispondenza delle aperture di ispezione vengono recapitate le acque di smaltimento della piattaforma stradale in progetto.

Nel tratto compreso tra le progressive di linea km 28+600 e km 28+900 il rilevato ferroviario si affianca al fosso Predella fino a sovrapporsi per un breve tratto nell'area in cui è presente un laghetto, per evitare l'interferenza con il rilevato della linea AC si è reso necessario riprofilare le sezioni del laghetto per uno sviluppo pari a circa 90 m, secondo le seguenti fasi realizzative:

### Fase 1:

Riempimento del laghetto in massi di cava con pezzatura decrescente dal fondo lago verso la superficie (filtro rovescio) fino a +1.00 m sul livello del pelo libero del laghetto.

Il riempimento prevede 3 strati

- strato 1 (fondo lago): massi ciclopici di volume  $0.6 \div 0.8$  mc
- strato 2: massi di volume  $0.40 \div 0.6$  mc
- strato 3: massi di volume  $0.2 \div 0.4$  mc

Lato lago il riempimento in massi sarà realizzato fino alla quota di piano campagna e funzionerà da protezione spondale definitiva, realizzata con pendenza 3/2.

### Fase 2:

Stendimento di un geotessile ( grammatura  $\geq 150$  g/mc ) di separazione tra il riempimento in massi ed il materiale di ritombamento

### Fase 3:

Ritombamento con materiale da rilevato tipo a1 fino alla quota di p.c. attuale. Lato rilevato ferroviario si garantisce una fascia minima di 6.00 m di larghezza da testa scogliera regolarizzando la sponda del laghetto.

### Fase 4:

Costruzione del rilevato ferroviario secondo le modalità e caratteristiche riportate nelle sezioni tipo geotecniche in rilevato

Al fine di eliminare l'interferenza con l'infrastruttura in progetto e di garantire la sicurezza di quest'ultima in occasione di eventi di piena gravosi sul corso d'acqua è prevista la realizzazione di una difesa spondale in massi, su entrambi i lati.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica</p> <p>Foglio 10 di 64</p>

Le difese di sponda in progetto si sviluppano per circa 450 m a valle della tombinatura, e per circa 30 m a monte; esse saranno costituite da una scogliera in massi di cava di spessore medio 1,20 m, con paramento alto 2,00 m inclinato 2/3, e piede di fondazione sufficientemente ampio (spessore 2,0 m, estensione in alveo 3.00 m) per assicurare una adeguata flessibilità all'opera.

L'opera verrà realizzata su un piano di posa precostituito e a seguito della stesa di un telo di geotessile di peso non inferiore a 400 g/m<sup>2</sup> posato con sovrapposizione dei teli pari al 30% fissati mediante graffatura metallica.

Quest'ultimo svolgerà la duplice funzione di assicurare:

- una corretta ripartizione dei carichi sul terreno;
- la stabilità del terreno sottostante alla difesa in progetto che altrimenti potrebbe essere rimosso ed asportato, attraverso i vuoti esistenti tra i massi, per effetto della corrente.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 11 di 64

## 6. PORTATA DI PROGETTO

### 6.1. Portata al colmo Rio Predella

Data la mancanza di osservazioni dirette dei deflussi naturali (idrometria), nella valutazione delle portate massime probabili del corso d'acqua intercettato, si è fatto necessariamente riferimento a schemi di calcolo basati su una determinazione indiretta, a partire dalle curve di possibilità climatica caratteristiche dei rispettivi bacini.

Le curva di possibilità climatica vengono espresse nella seguente forma:

$$h = a \cdot t^n$$

Dove:

h = altezza di pioggia

t = tempo

a, n = costanti

Le costanti delle CPP, per i diversi tempi di ritorno, provenienti dalla media delle celle regionalizzate su griglia 4 km<sup>2</sup>, utilizzati per il bacino del Predella sono i seguenti:

a 50	n 50	a 200	n 200	a 500	n 500
68.77	0.394	85.16	0.391	95.98	0.390

Tabella 1 – Valori di a,n delle CPP per il bacino del Predella

Il calcolo della portata al colmo è stato eseguito secondo il “metodo razionale”.

La caratterizzazione idrologica di piena per un bacino idrografico viene eseguita ragguagliando il valore di pioggia intensa per prefissato tempo di ritorno assegnato allo stesso bacino e successivamente attraverso un metodo di correlazione afflussi - deflussi si calcola il valore della portata. In tali casi vengono attribuiti alle piene gli stessi tempi di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

Tale metodo di correlazione afflussi-deflussi è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni di intensità costante nel tempo, si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino stesso e si verifica dopo il tempo  $t_c$  dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

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

c = coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale;

$h$  = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);  
 $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Si è precedentemente osservata la necessità di valutare il tempo di corrivazione del bacino in esame allo scopo di definire la durata critica dell'evento di pioggia da considerare nell'applicazione del metodo razionale, considerando come tempo minimo di corrivazione 10 minuti.

La formula adottata per la stima di tale valore è quella di Pezzoli;

Esse necessitano, come dati di input, di alcuni valori relativi alle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alle rispettive sezioni di chiusura;  
 per il bacino in esame tali dati sono riassunti di seguito:

S (km <sup>2</sup> )	0.75
Hmax (m slm)	365.00
Hmed (m slm)	280.00
Hsez (m slm)	241.00
L (km)	1.50
i asta (%)	8.00

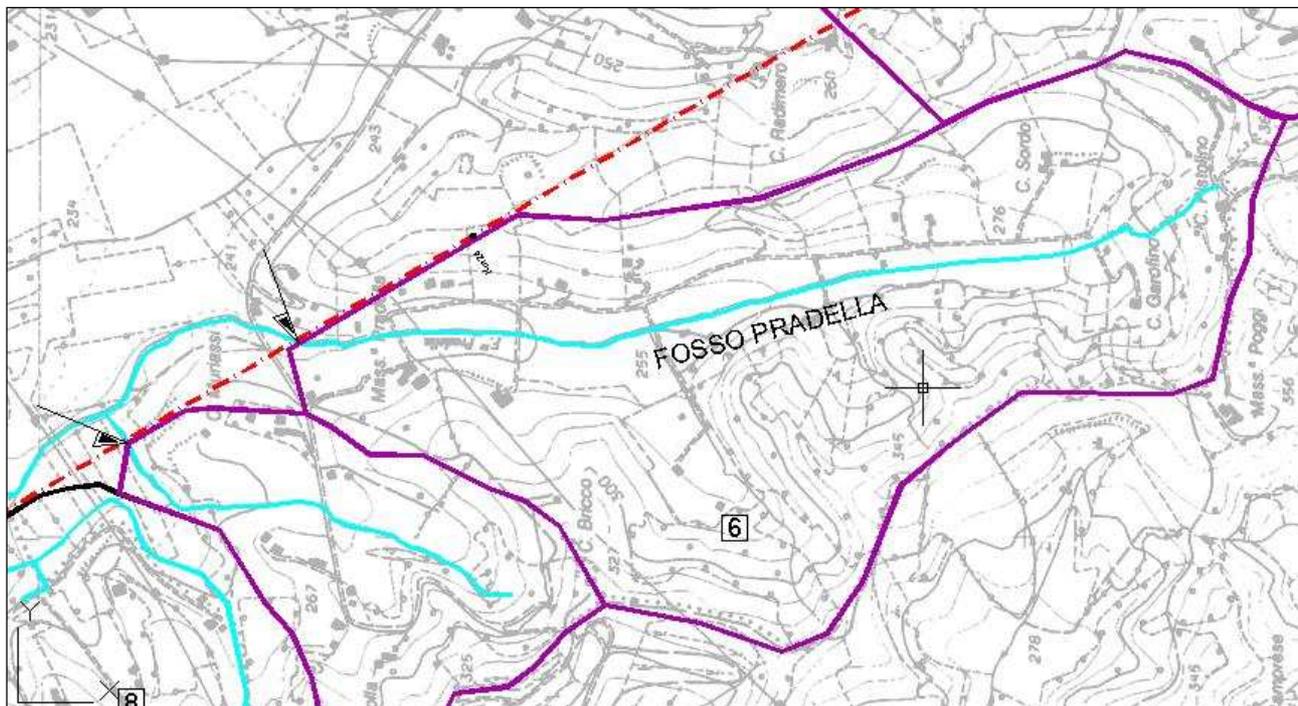


Figura 1 – Delimitazione bacino Rio Predella

La pendenza dell'asta principale è stata determinata utilizzando la relazione del Fornari che permette la determinazione di tale parametro dal valore della pendenza dei singoli tratti, utilizzando la media pesata:

$$i_i = (\sum_{k=1}^n i_k / \sqrt{i_k})^{-1} * L$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 13 di 64

dove  $l_k$  ed  $i_k$  sono rispettivamente la lunghezza e la pendenza dei singoli tratti omogenei in cui l'asta principale si considera divisa.

#### Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0.055 \cdot \frac{L}{i^{0.5}};$$

Il valore risultante è pari a circa 28 minuti.

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente delicata e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Esso ha un significato "sintetico", essendo mediato su tutto il comprensorio in esame: esprime globalmente il rapporto fra i deflussi, che attraversano la sezione di chiusura in un intervallo definito nel tempo, e gli afflussi meteorici.

Tale parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, adattandoli alle effettive caratteristiche del bacino in studio, anche in base all'esperienza.

Per il caso in esame è stato adottato un coefficiente pari a 0,8

Le portate idrologiche risultanti per i differenti tempi di ritorno, sono riassunte in tabella 2:

Q50	Q200	Q500
[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
17.83	22.16	25.01

Tabella 2 – Valori di portata al colmo del Rio Predella

## **6.2. Portata di smaltimento piattaforma**

Per il calcolo della portata al colmo derivante dallo smaltimento delle acque di piattaforma della linea AC si rimanda alle relazioni di smaltimento delle acque meteoriche della linea.

L'apporto complessivo afferente al Rio Predella è pari a circa 1,5 m<sup>3</sup>/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 14 di 64

## 7. VERIFICHE IDRAULICHE

Le verifiche idrauliche riguardano il calcolo dei livelli idrici che si instaurano nel Rio prima e dopo la realizzazione dell'opera in progetto in corrispondenza della portata al colmo con tempo di ritorno 200 anni.

Si è anche provveduto alla verifica delle protezioni spondali.

### 7.1. Simulazione in moto permanente

Il tronco d'alveo in oggetto è stato esaminato mediante l'ausilio del noto modello di calcolo idraulico monodimensionale (HEC-RAS) della US Army; sono state condotte due differenti simulazioni: lo stato di fatto per definire la situazione idraulica ante operam e lo stato di progetto in cui è stata inserita l'infrastruttura interferente.

#### 7.1.1. Descrizione modello di calcolo

Le verifiche idrauliche di tipo globale sono state effettuate mediante l'ausilio di un software per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove  $H_1[m]$  ed  $H_2[m]$  sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f[m]$  sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre  $h_e[m]$  è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con  $j_f$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L[m]$ .

Il calcolo di  $j_f$  è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice  $J$  in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la:

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove  $A[m^2]$  l'area della sezione liquida,  $R[m]$  il raggio idraulico e  $n[m^{-1/3} s]$  è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il termine  $h_e$  dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_1$  e  $V_2 [m/s]$  sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita attraverso la luce di area  $A[m^2]$ ,  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e  $C$  è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica <table border="1" data-bbox="1420 235 1546 295"> <tr> <td>Foglio 16 di 64</td> </tr> </table>	Foglio 16 di 64
Foglio 16 di 64		

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita sulla soglia di larghezza  $L[m]$  e  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e  $C$  è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

La verifica del nodo di confluenza è eseguita mediante l'applicazione del teorema della quantità di moto.

In particolare è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione generale:

$$F_e + G = M_u - M_e$$

dove  $F_e$  è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo,  $G$  è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso),  $M_u$  ed  $M_e$  le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

La metodologia di calcolo è applicabile al caso specifico di due rami che confluiscono in un terzo ella confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo di incidenza  $\alpha$  rispetto alla direttrice principale di deflusso.

Il volume di controllo è individuato dalle due sezioni poste a monte della confluenza (individuate dai pedici 1 e 2 rispettivamente) ed una posta a valle (pedice 3).

Proiettando l'equazione della quantità di moto secondo l'asse del corso d'acqua di valle, che forma un angolo  $\alpha_{1-2}$  e  $\alpha_{1-3}$  con gli assi dei due corsi d'acqua a monte, vale la relazione:

$$(my + mq)_3 = (my + mq)_1 \cdot \cos \alpha_{1-3} + (W - F_f)_{1-3} + (my + mq)_{2-3} \cdot \cos \alpha_{2-3} + (W - F_f)_{2-3}$$

avendo indicato con:

$my = A \cdot Y$  = prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso.

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

$F_f$  = forza dovuta all'attrito sul fondo e sulle pareti.

$W_x$  = forza peso nella direzione del flusso.

Ai fini della risoluzione dell'equazione dei momenti sono state fatte le seguenti assunzioni:

- rigurgito in corrente lenta con profondità del pelo libero nota nella sezione di valle;
- uguaglianza tra le quote del pelo libero nelle sezioni di monte del corso d'acqua principale e in quella dell'affluente;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 17 di 64

- calcolo delle componenti di attrito e del peso come media pesata dei valori tra le sezioni di monte del corso d'acqua principale, dell'affluente e di valle, in funzione delle portate e dell'angolo di incidenza.

### 7.1.2. La base geometrica

Per lo studio idraulico è stato condotto un rilievo celerimetrico, che ha comportato la restituzione di 31 sezioni trasversali.

Le sezioni sono state restituite in scale 1:100; la lunghezza rilevata varia da 40 a 100 m.

In corrispondenza della sezione 5 è stato rilevato il manufatto di attraversamento della strada che consta in un tombino scatolare di dimensioni 2.5x1.8 m.

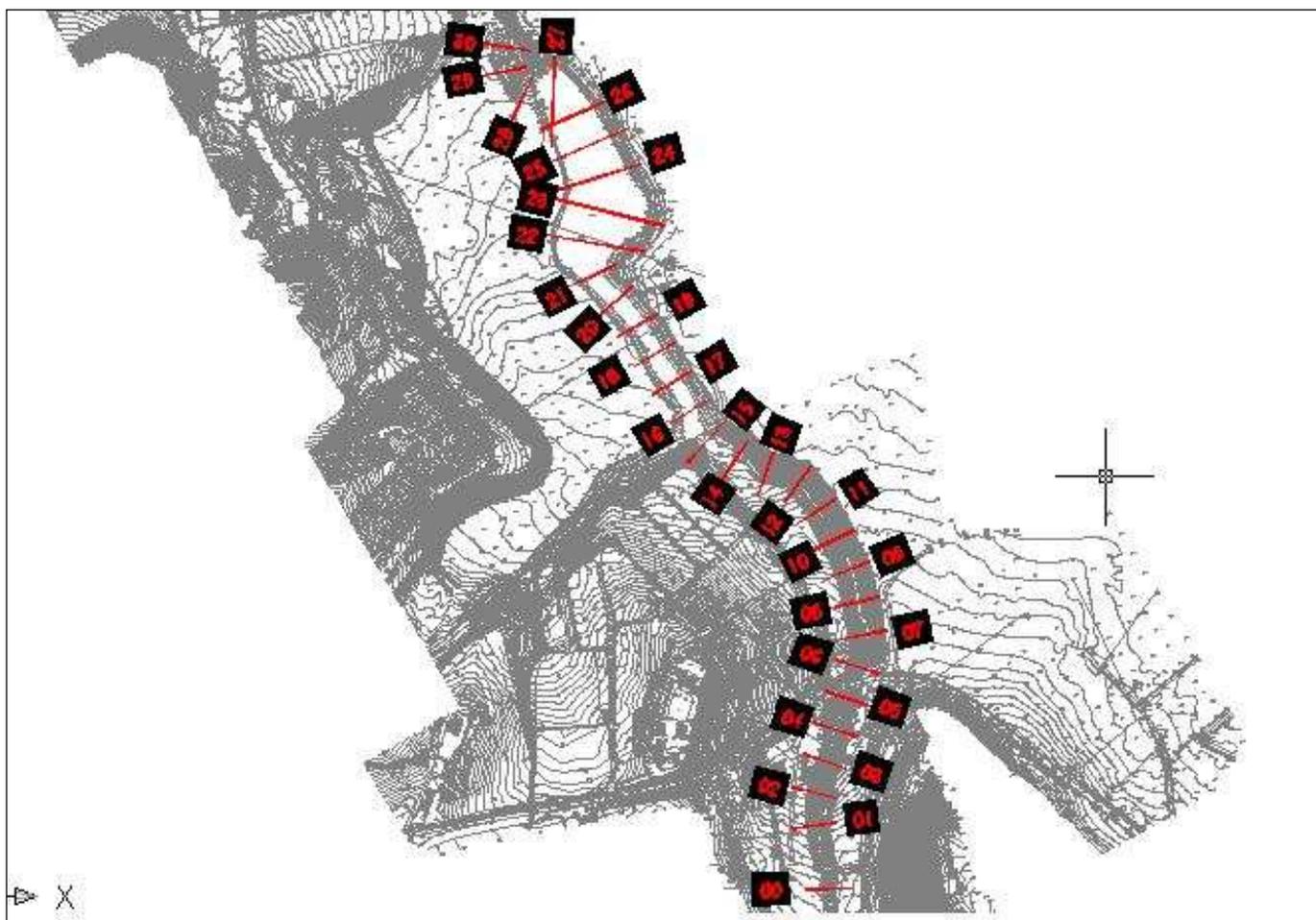


Figura 2 – Tacche delle sezioni del rilievo celerimetrico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 18 di 64

### 7.1.3. Scabrezze

Non avendo operato uno studio specifico riguardante la granulometria e le condizioni morfologiche dell'alveo, per quanto riguarda la definizione del coefficiente di scabrezza da utilizzare nel modello, sono stati presi a riferimento gli standard Italferr.

Per il tratto di alveo esaminato sono stati quindi considerati coefficienti di Strickler, pari a  $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  per i canali in terra e pari a  $67 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  per i canali in calcestruzzo.

### 7.1.4. Condizioni al contorno

Non avendo a disposizione osservazioni inerenti il livello idrico in corrispondenza delle sezioni iniziale e finale, è stata assunta quale condizione al contorno sia di monte che di valle l'altezza di moto uniforme generata da un tratto di canale prismatico avente la medesima sezione trasversale e come pendenza quella media del tratto immediatamente a monte della sezione, considerando un tratto di lunghezza pari a circa 50 m.

### 7.1.5. Risultati

#### Stato di fatto

In figura 3 viene riportato il profilo del livello idrico in corrispondenza della portata  $Q_{200}=22.16 \text{ m}^3/\text{s}$ .

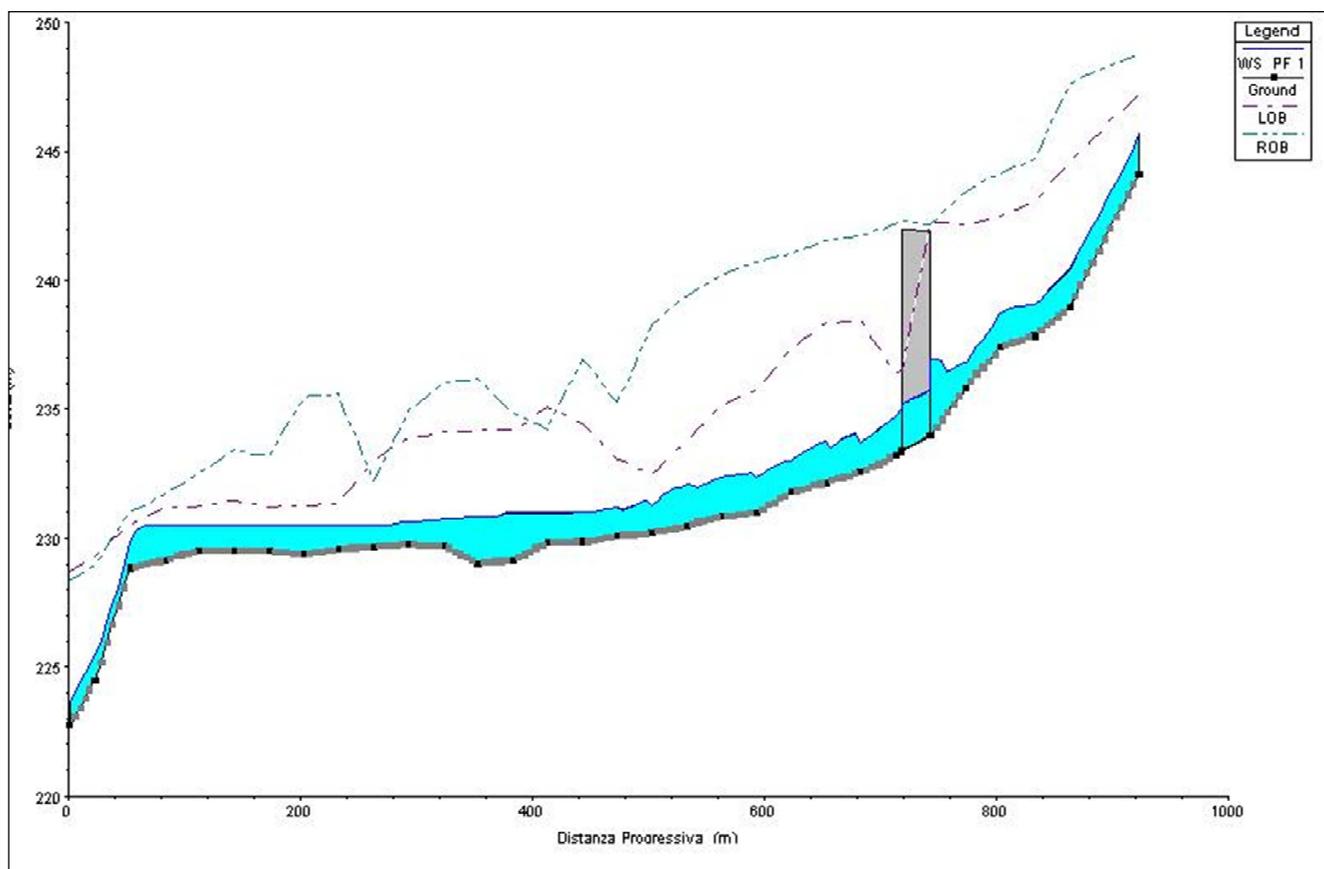


Figura 3 – Profilo idraulico stato di fatto

In tabella vengono riassunte le grandezze significative per ogni sezione di calcolo.

River Station	Sezione	Progressiva	Quota fondo	Quota pelo libero	Battente	Velocità	Froude
		(m)	(mslm)	(mslm)	(m)	(m/s)	
1	30	0	222.72	223.66	0.94	5.74	2.46
2	29	22.08	224.46	225.41	0.95	6.53	2.90
3	28	52.08	228.82	229.86	1.04	3.15	1.01
4	27	82.08	229.16	230.47	1.31	0.36	0.12
5	26	112.08	229.48	230.48	1.00	0.58	0.20
6	25	142.08	229.47	230.49	1.02	0.50	0.17
7	24	172.08	229.47	230.50	1.03	0.43	0.14
8	23	202.08	229.38	230.51	1.13	0.29	0.09
9	22	232.08	229.54	230.52	0.98	0.41	0.14
10	21	262.08	229.66	230.51	0.85	1.08	0.39
11	20	292.08	229.73	230.62	0.89	1.30	0.46
12	19	322.08	229.69	230.70	1.01	1.61	0.57
13	18	352.08	229.00	230.84	1.84	1.12	0.32
14	17	382.08	229.13	230.98	1.85	0.71	0.19
15	16	412.08	229.79	230.98	1.19	1.06	0.34
16	15	442.08	229.83	231.00	1.17	1.61	0.59
17	14	472.08	230.06	231.19	1.13	1.67	0.69
18	13	502.08	230.18	231.27	1.09	3.44	1.31
19	12	532.08	230.47	232.06	1.59	1.98	0.64
20	11	562.08	230.82	232.36	1.54	2.38	0.77
21	10	592.08	230.99	232.35	1.36	3.55	1.29
22	09	622.08	231.75	232.94	1.19	3.55	1.28
23	08	652.08	232.15	233.74	1.59	2.17	0.68
24	07	682.08	232.53	233.64	1.11	4.27	1.64
25	06	712.08	233.19	234.69	1.50	3.81	1.27
25.1	06.1	717.08	233.34	235.01	1.67	3.20	1.01
25.5	a valle scatolare		233.40	235.20	1.80	4.92	
25.5	a monte scatolare		233.90	235.70	1.80	4.92	
26	05	742.08	233.95	236.89	2.94	1.86	0.47
27	04	772.08	235.79	236.83	1.04	5.11	1.92
28	03	802.08	237.40	238.70	1.30	3.67	1.26
29	02	832.08	237.83	239.03	1.20	5.21	1.94
30	01	862.08	238.94	240.42	1.48	6.29	2.33
31	00	922.08	244.13	245.65	1.52	5.23	1.77

Tabella 3 – Risultati simulazione stato di fatto

Il livello idrico risulta contenuto all'interno delle sponde del canale.

A monte del tombino scatolare si crea un rigurgito tale da provocarne un funzionamento in pressione, il rigurgito risulta comunque contenuto all'interno del canale, l'acqua non scavalca quindi il livello stradale.

Anche in corrispondenza dello sbocco del laghetto (Sez 28) si crea un rigurgito dovuto al brusco restringimento della sezione, anche in tal caso il livello risulta contenuto all'interno delle sponde.

## Progetto

In figura 4 viene riportato il profilo del livello idrico in corrispondenza della portata  $Q_{200}=22.16 \text{ m}^3/\text{s}$ , addizionata alla portata di piattaforma  $Q=1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

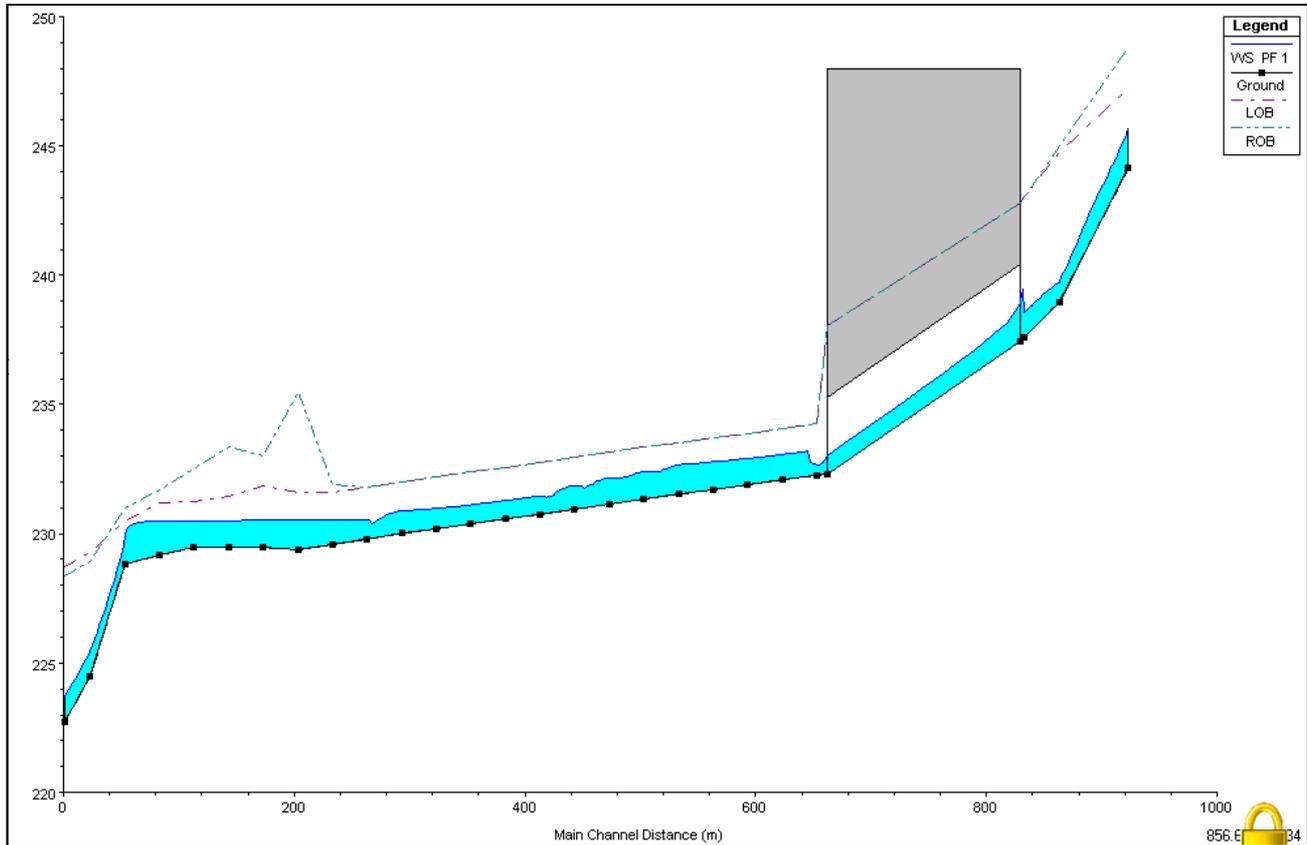


Figura 4 – Profilo idraulico di progetto

In tabella 4 vengono riassunte le grandezze significative per ogni sezione di calcolo

River Station	Sezione	Progressiva (m)	Quota fondo (mslm)	Quota pelo libero	Battente	Velocità (m/s)	Froude
1	30	0	222.72	223.66	0.94	5.76	2.46
2	29	22.08	224.46	225.42	0.96	6.54	2.89
3	28	52.08	228.82	229.87	1.05	3.16	1.00
4	27	82.08	229.16	230.48	1.32	0.36	0.12
5	26	112.08	229.48	230.49	1.01	0.58	0.20
6	25	142.08	229.47	230.51	1.04	0.5	0.17
7	24	172.08	229.47	230.52	1.05	0.43	0.15
8	23	202.08	229.39	230.53	1.14	0.31	0.10
9	22	232.08	229.59	230.53	0.94	0.65	0.22
10	21	262.08	229.8	230.53	0.73	1.48	0.57
11	20	292.08	230.01	230.89	0.88	1.4	0.50
12	19	322.08	230.19	230.98	0.79	1.57	0.58
13	18	352.08	230.38	231.12	0.74	1.69	0.65
14	17	382.08	230.57	231.28	0.71	1.75	0.68
15	16	412.08	230.76	231.46	0.7	1.78	0.70
16	15	442.08	230.95	231.87	0.92	1.54	0.53
17	14	472.08	231.14	232.18	1.04	1.66	0.55
18	13	502.08	231.34	232.42	1.08	1.67	0.55
19	12	532.08	231.52	232.67	1.15	1.66	0.53
20	11	562.08	231.71	232.78	1.07	1.81	0.59
21	10	592.08	231.89	232.91	1.02	1.91	0.64
22	09	622.08	232.08	233.07	0.99	1.99	0.68
22.5	08	652.08	232.27	232.65	0.38	5.58	2.96
23	Manufatto sbocco	660.64	232.3	233.03	0.73	7.7	2.88
24	A valle scatolare		232.31	233.78	1.47	7.73	
24	A monte scatolare		237.44	239.01	1.57	3.81	
24.5	Manufatto imbocco	828.39	237.45	239.01	1.56	3.6	0.92
25	02	831.99	237.6	238.57	0.97	5.21	1.78
26	01	861.99	238.96	239.72	0.76	6.77	2.58
27	00	921.99	244.13	245.66	1.53	5.25	1.77

Tabella 4 – Risultati simulazione progetto

Il livello idrico risulta contenuto in alveo con un franco di tutta sicurezza, la tombinatura di progetto crea un piccolo rigurgito a monte che rimane ampiamente contenuto nelle sponde, viene eliminato il rigurgito dovuto al tombino esistente; in corrispondenza dell' uscita del tombino si verifica un leggero risalto idraulico causato dalla variazione di pendenza del fondo alveo, ampiamente contenuto nelle sponde.

L'alveo a monte del tombino, a forte pendenza, è caratterizzato da una corrente di tipo veloce, in corrispondenza dell'immissione del tombino la corrente diventa lenta per un breve tratto a causa del rigurgito, all'interno del tombino si verifica una corrente di tipo veloce, mentre a valle dello stesso dopo il risalto torna ad essere lenta e si mantiene tale fino al termine del laghetto dove la pendenza dell'alveo torna ad aumentare.

Il tombino di progetto è caratterizzato da un livello di riempimento a monte pari al 36% e a valle pari al 24%.

### Confronto

In figura 5 viene riportato il profilo di confronto dei livelli idrici dello stato di fatto e di progetto.

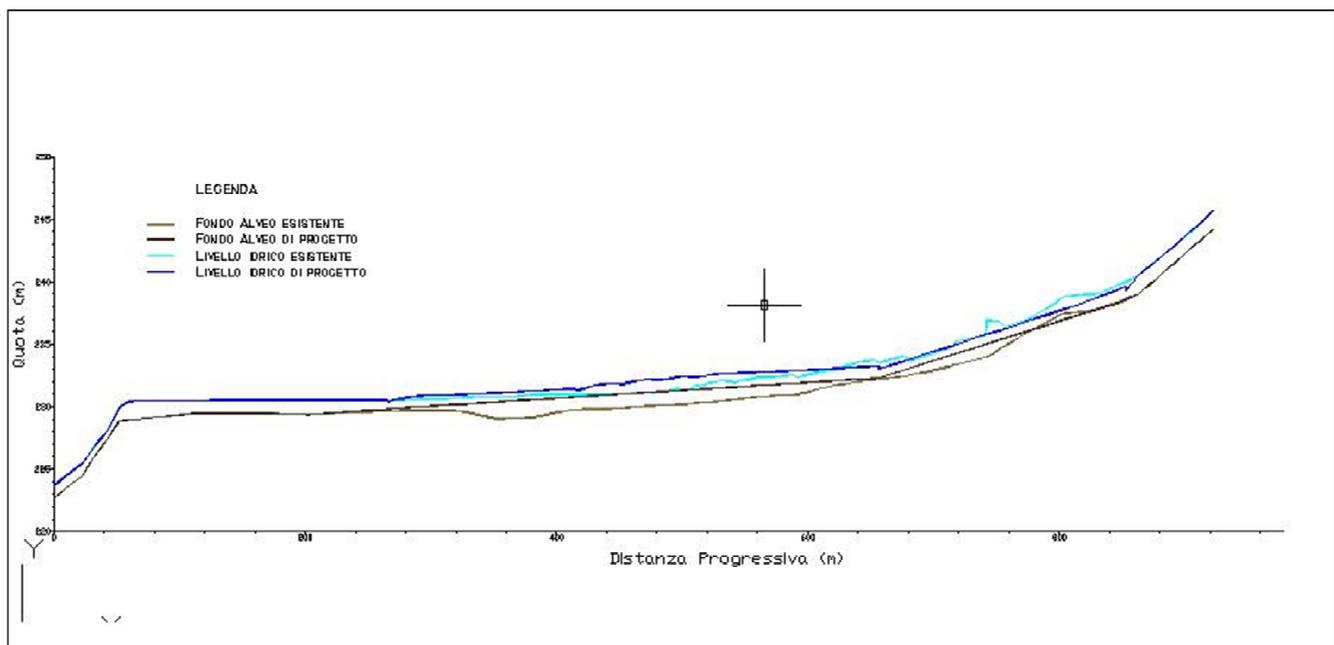


Figura 5 – Confronto tra i profili esistenti e di progetto

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica		Foglio 24 di 64

In tabella 5 vengono evidenziate le differenze di livello per ogni sezione di calcolo.

Sezione stato di fatto	Sezione progetto	Quota pelo libero Stato di fatto (mslm)	Quota pelo libero Progetto (mslm)	Differenza Quote (m)	Battente Stato di fatto (m)	Battente progetto (m)	Differenza Battente (m)
30	30	223.66	223.66	<b>0.00</b>	0.94	0.94	<b>0.00</b>
29	29	225.41	225.42	<b>0.01</b>	0.95	0.96	<b>0.01</b>
28	28	229.86	229.87	<b>0.01</b>	1.04	1.05	<b>0.01</b>
27	27	230.47	230.48	<b>0.01</b>	1.31	1.32	<b>0.01</b>
26	26	230.48	230.49	<b>0.01</b>	1.00	1.01	<b>0.01</b>
25	25	230.49	230.51	<b>0.02</b>	1.02	1.04	<b>0.02</b>
24	24	230.50	230.52	<b>0.02</b>	1.03	1.05	<b>0.02</b>
23	23	230.51	230.53	<b>0.02</b>	1.13	1.14	<b>0.01</b>
22	22	230.52	230.53	<b>0.01</b>	0.98	0.94	<b>-0.04</b>
21	21	230.51	230.53	<b>0.02</b>	0.85	0.73	<b>-0.12</b>
20	20	230.62	230.89	<b>0.27</b>	0.89	0.88	<b>-0.01</b>
19	19	230.70	230.98	<b>0.28</b>	1.01	0.79	<b>-0.22</b>
18	18	230.84	231.12	<b>0.28</b>	1.84	0.74	<b>-1.10</b>
17	17	230.98	231.28	<b>0.30</b>	1.85	0.71	<b>-1.14</b>
16	16	230.98	231.46	<b>0.48</b>	1.19	0.70	<b>-0.49</b>
15	15	231.00	231.87	<b>0.87</b>	1.17	0.92	<b>-0.25</b>
14	14	231.19	232.18	<b>0.99</b>	1.13	1.04	<b>-0.09</b>
13	13	231.27	232.42	<b>1.15</b>	1.09	1.08	<b>-0.01</b>
12	12	232.06	232.67	<b>0.61</b>	1.59	1.15	<b>-0.44</b>
11	11	232.36	232.78	<b>0.42</b>	1.54	1.07	<b>-0.47</b>
10	10	232.35	232.91	<b>0.56</b>	1.36	1.02	<b>-0.34</b>
09	09	232.94	233.07	<b>0.13</b>	1.19	0.99	<b>-0.20</b>
08	08	233.74	232.65	<b>-1.09</b>	1.59	0.38	<b>-1.21</b>
-	Manufatto sbocco	-	233.03	-	-	0.73	-
07	-	233.64	-	-	1.11	-	-
06	-	234.69	-	-	1.50	-	-
A valle scatolare	-	235.20	-	-	1.80	-	-
A monte scatolare	-	235.70	-	-	1.80	-	-
05	-	236.89	-	-	2.94	-	-
04	-	236.83	-	-	1.04	-	-
03	-	238.70	-	-	1.30	-	-
	Manufatto imbocco	-	239.01	-	-	1.56	-
02	02	239.03	238.57	<b>-0.46</b>	1.20	0.97	<b>-0.23</b>
01	01	240.42	239.72	<b>-0.70</b>	1.48	0.76	<b>-0.72</b>
00	00	245.65	245.66	<b>0.01</b>	1.52	1.53	<b>0.01</b>

Tabella 5 – Confronto Simulazioni

Tra la sezione 09 e la sezione 20 il livello idrico assoluto risulta superiore nello stato di progetto in quanto la riprofilatura di tale tratto comporta quote di fondo di progetto superiori a quelle esistenti; l'innalzamento di livello non provoca alcun problema essendo abbondantemente contenuto in alveo.

Nella zona dove verrà realizzato il tombino di progetto (sez02/sez08) il livello idrico di progetto è inferiore a quello dello stato attuale.

Esaminando invece i battenti idrici cioè la differenza tra quota dell'acqua e quota di fondo alveo si evince che, nonostante la portata di progetto sia leggermente superiore a quella dello stato di fatto, la situazione di progetto è idraulicamente migliorativa in quasi tutte le sezioni.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 25 di 64

## 8. VERIFICA PROTEZIONI DI SPONDA

### 8.1. Metodo di Calcolo

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, quali le scogliere in pietrame sciolto, gabbioni, o materassi Reno, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media  $v$ .

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica  $v_{cr}$  che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente  $d$  della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione

$$v_{cr} = k d^{0.5}$$

con  $v_{cr}$  espresso in m/s e  $d$  in metri.

Il coefficiente  $k$  assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale si assume per  $k=5^1$ .

Quando  $k$  supera il valore di 8 si determinano le condizioni di movimento del singolo masso: pertanto, per il dimensionamento di massi cementati sul fondo dell'alveo, cautelativamente si assume un valore di  $k$  pari a 8.

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo  $d$ , si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

La velocità che interessa è quella al fondo: nel caso in cui il battente idrico sia molto maggiore della dimensione del materiale la velocità al fondo può essere assunta pari al 75% della velocità media; nel caso in cui invece la dimensione del materiale sia confrontabile con la profondità della corrente è bene assumere come velocità al fondo la velocità media.

Analogamente alle soluzioni con massi naturali, sarà possibile fare ricorso a sistemi di gabbioni di dimensioni tali da garantire i pesi corrispondenti ai dimensionamenti precedentemente indicati, privilegiando la dimensione standard 1.0x1.0x2.0 m o materassi Reno di spessore pari a 0.5 m.

<sup>1</sup> L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 26 di 64

### 8.1.1. Risultati

Al fine del calcolo del diametro minimo viene assunta la massima velocità di progetto che si instaura nelle sezioni dove è previsto il rivestimento (sez 08 / sez28), la velocità massima si verifica subito in uscita dallo scatolare (sez8 ) ed è pari a 2.05 m/s.

A favore di sicurezza è stato considerato che la velocità locale possa innalzarsi fino a un valore massimo di 4 m/s

Il diametro minimo dei massi per garantire la stabilità (considerando un coefficiente  $k=8$ ) risulta pari a  $d=0,25m$ .

La protezione spondale costituita da massi di cava di volume medio pari a  $0.4 m^3$  risulta quindi abbondantemente verificata.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 27 di 64

## 9. OPERE PROVVISORIALI

Per garantire le continuità del reticolo idrografico durante la realizzazione del manufatto di attraversamento ferroviario, si prevede la seguente fasistica realizzativa:

- 1 il posizionamento di un tubo provvisorio DN1500 in prossimità del tombino da realizzare, in modo da ridurre al minimo gli scavi
- 2 la realizzazione del tombino privo dei muri di imbocco
- 3 la realizzazione dei muri di imbocco previo posizionamento di un ulteriore tubo provvisorio all'interno del tombino precedentemente realizzato; in tal modo si può procedere alla realizzazione dei muri di imbocco all'asciutto.

### 9.1. Portata di progetto

#### 9.1.1. Periodo di ritorno

Per il dimensionamento delle opere provvisionali è stata utilizzata una portata di progetto con tempo di ritorno pari a 5 anni.

Secondo quanto riportato nella Direttiva Tecnica n.4 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" assunta dell'Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione di Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999 e aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006, "il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni idrauliche delle opere provvisionali è quello in cui la probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera".

Il rischio di insufficienza di opera, ovvero la probabilità che un evento con periodo di ritorno T venga raggiunto e superato negli N anni di vita prevista dell' opera, viene definito come:

—

Considerando una durata di realizzazione del tombino non superiore a 6 mesi e una durata di vita dell'opera pari a 100 anni, si ottiene che la probabilità di superamento della piena di progetto con periodo di ritorno pari a 200 anni nel corso della vita dell'opera è superiore alla probabilità che una piena con periodo di ritorno di 5 anni venga superata nel periodo di costruzione dell'opera stessa. Si riporta di seguito il calcolo del rischio di insufficienza dell'opera in fase provvisoriale e in fase definitiva.

T VITA [ANNI]	T RITORNO [ANNI]	RISCHIO
0.5	5	0.11
100	200	0.39

Tabella 6 – Rischio di insufficienza dell'opera durante in periodo di vita della stessa e in fase di realizzazione

Pertanto l'assunzione di eventi con periodo di ritorno di 5 anni per il dimensionamento delle opere provvisionali è assolutamente cautelativa ed in linea con la normativa vigente.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 28 di 64

### 9.1.2. Metodo della portata indice

Per il calcolo della portata di progetto con periodo di ritorno di 5 anni è stato utilizzato il metodo della portata indice, proposto all'interno del Progetto VAPI.

Tale metodo assume che all'interno di una zona omogenea, la portata al colmo massima annuale relativa ad una assegnata sezione fluviale si possa definire come:

Dove:

- $Q(T)$  : portata al colmo massima annuale relativa alla sezione  $i$  e con tempo di ritorno  $T$
- $Q_i$  : portata indice
- $X_t$ : fattore di crescita regionale; rappresenta il quantile adimensionale valido per l'intera regione

Una regione viene definita omogenea quando tutti i siti in essa contenuta sono caratterizzati dalla stessa distribuzione di probabilità dei colmi di piena massimi annuali, a meno di un fattore di scala.

Secondo il Progetto VAPI, il bacino in esame rientra nella regione C – Appennino Nord-Occidentale e bacini Tirrenici (tale bacino abbraccia i bacini liguri con foce lungo il litorale Tirreno ed i bacini padani dallo Scrivia al Taro).

Il fattore di crescita è espresso dalla formula seguente (Modello probabilistico GEV)

—

Dove

—

Per la zona in esame i parametri  $\epsilon$ ,  $\alpha$  e  $k$  assumono i seguenti valori

$\epsilon=0.643$

$\alpha=0.377$

$K=-0.276$

Il fattore di crescita  $X_t$  assume il valore di 1.34.

La portata indice viene definita secondo una regressione lineare semplice:

Dove, per l'area in esame, i parametri  $Q(1)$  e  $m$  assumono i seguenti valori:

- $Q(1)= 5.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{Km}^{-2m}$
- $m=0.750$
- $A$  rappresenta la superficie del bacino in  $\text{Km}^2$ .

Il bacino in esame ha, nella configurazione di stato di fatto, una superficie pari a  $0.75 \text{ Km}^2$ , al quale corrisponde una portata indice  $Q_i=4.19 \text{ m}^3/\text{s}$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 29 di 64

e una portata di progetto per un periodo di ritorno di 5 anni  $Q_5=5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 9.2. Verifica del tombino provvisorio

Il dimensionamento idraulico delle opere provvisorie è stato effettuato mediante la formula di Chezy, descritta nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

### ***Tombino Circolare $\phi 1500$***

Sono stati considerati i seguenti dati di input:

Pendenza  $i= 1.8\%$   
 Portata  $Q=5.6 \text{ m}^3/\text{s}$   
 Scabrezza  $K_s=67$

L'altezza di moto uniforme che ne deriva è pari a  $0.93\text{m}$ , con una velocità pari a  $4.93 \text{ m/s}$ , il rapporto di riempimento è pari al  $62\%$  e un franco rispetto all'estradosso pari a  $0.57 \text{ m}$ .

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 30 di 64

## 10. CONCLUSIONI

L'interferenza tra il Rio Predella e le opere in progetto risulta idraulicamente compatibile, la riprofilatura dell'alveo e l'inserimento di una tombinatura di sufficiente dimensioni creano situazioni migliorative dal punto di vista idraulico.

Il nodo critico rappresentato dalla strizione provocata dal tombino scatolare esistente viene rimosso. Il torrente è inoltre in grado di smaltire senza alcun problema il sovrappiù di portata dovuto all'infrastruttura in progetto.

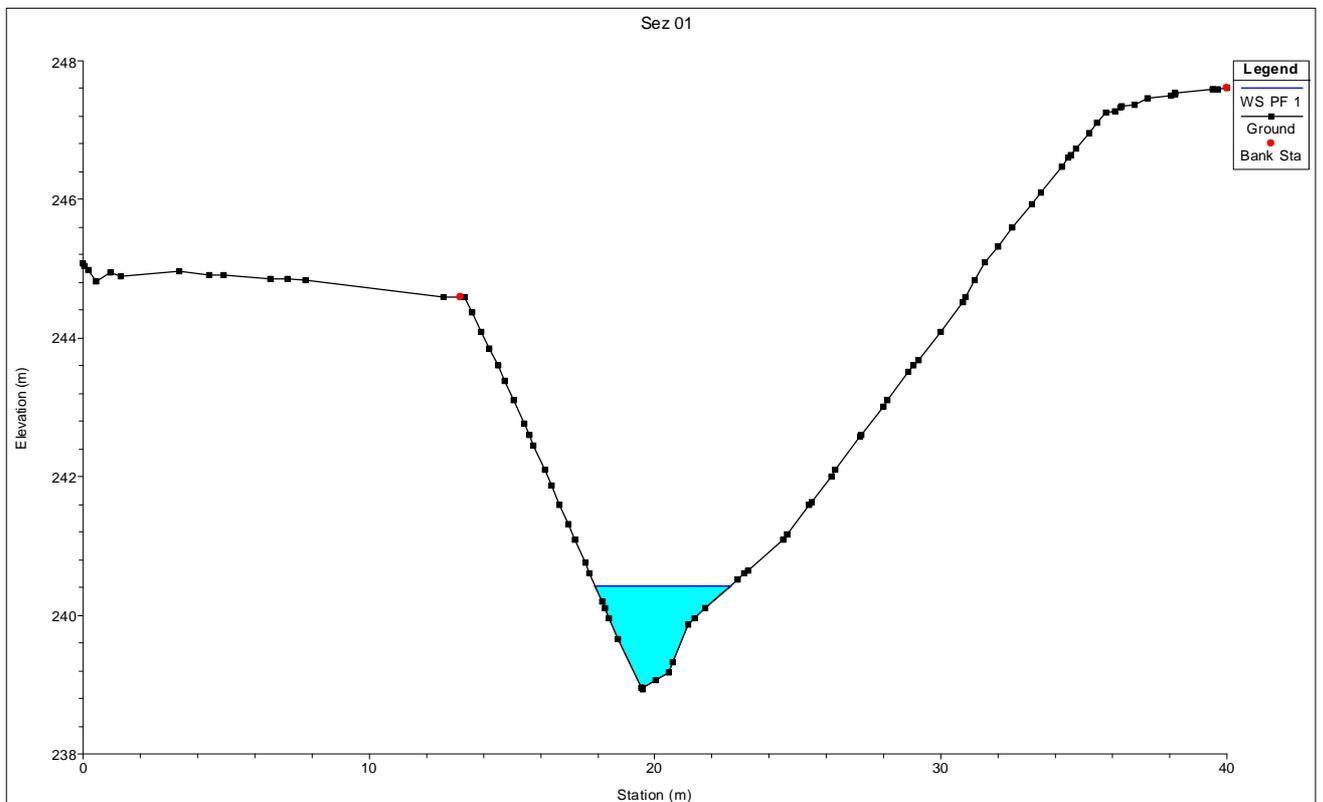
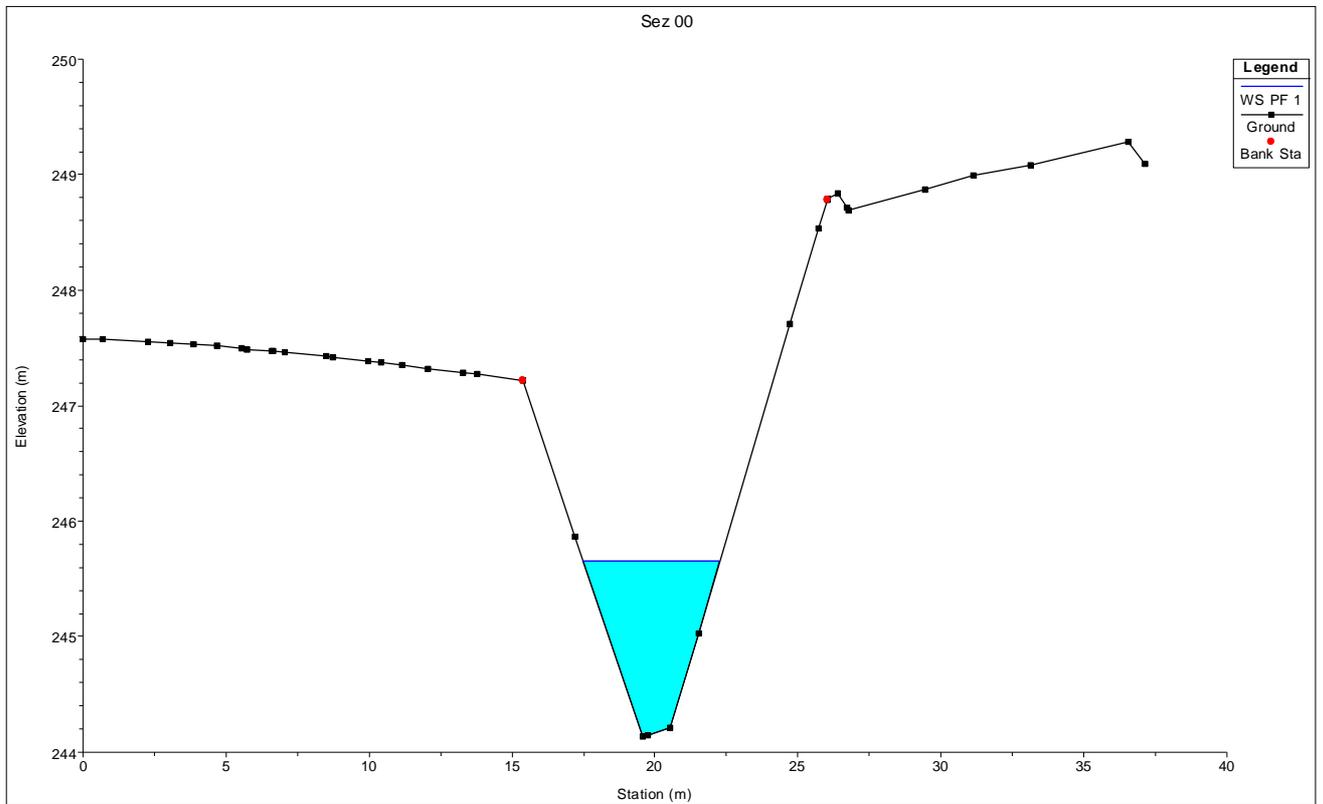
L'andamento naturale del Rio non viene deturpato in quanto non è prevista una deviazione planimetrica del tracciato e la profilatura delle sezioni serve solamente a garantire una pendenza uniforme e, per un breve tratto ad evitare la sovrapposizione con il rilevato della linea ferroviaria. Il laghetto formato dal Rio a valle dell'attraversamento viene leggermente riprofilato, senza tuttavia diminuirne la capacità in quanto i livelli idrici si mantengono invariati.

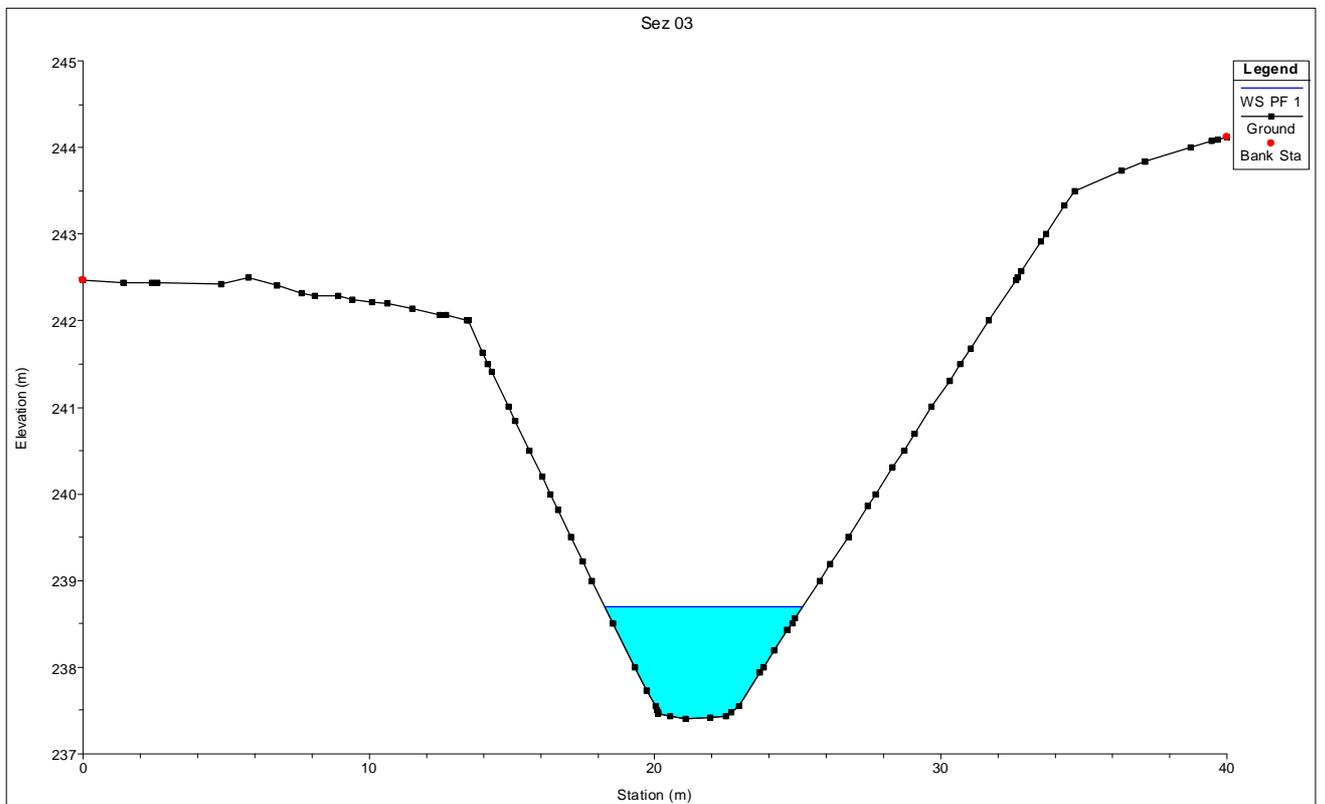
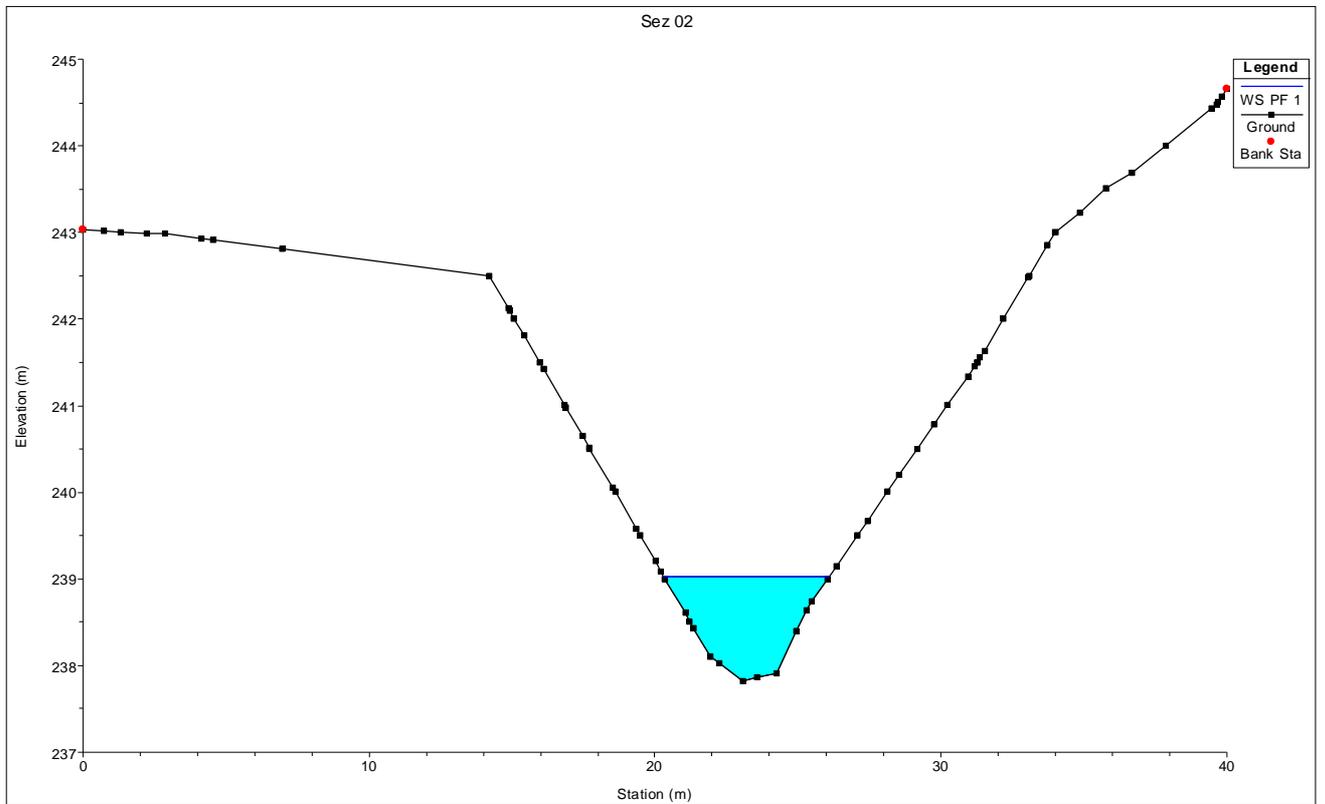
Il rivestimento di sponda atto a proteggere il rilevato della linea risulta abbondantemente verificato.

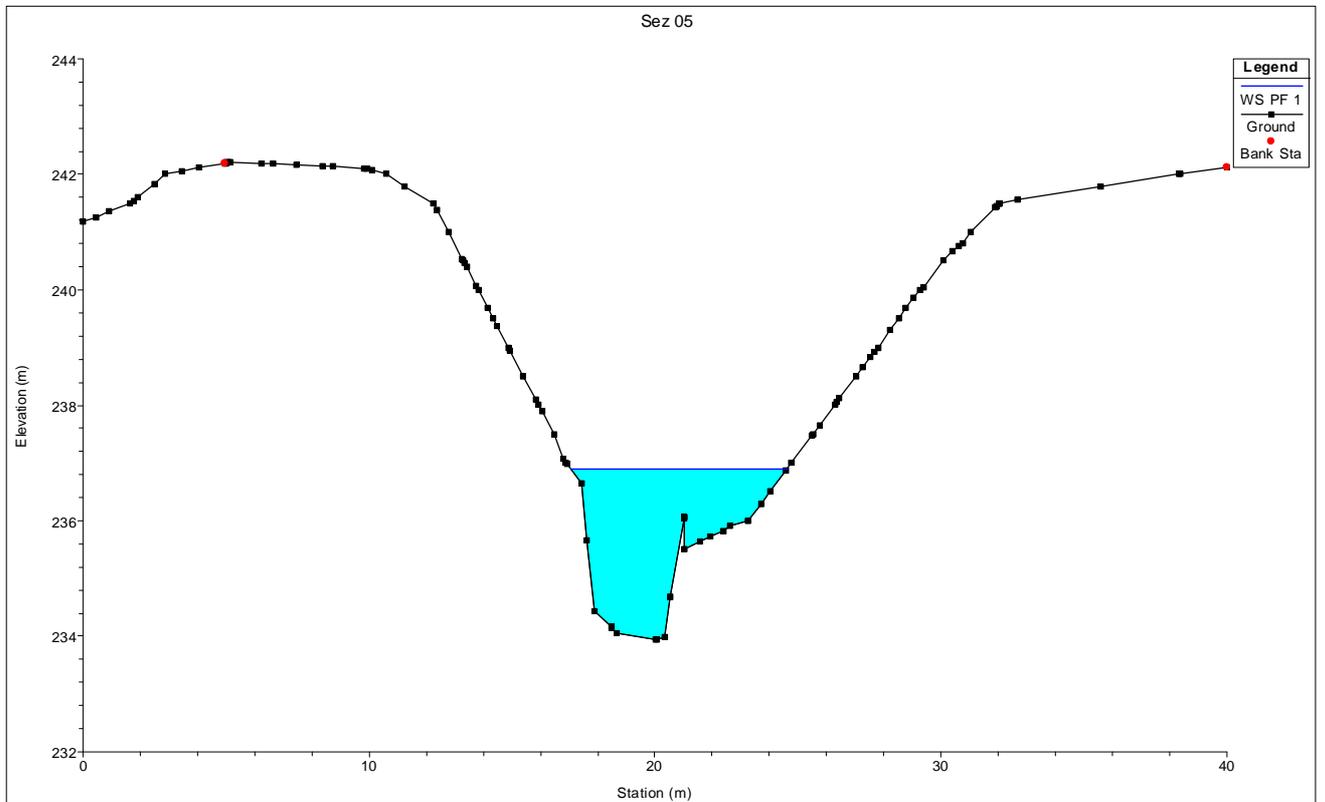
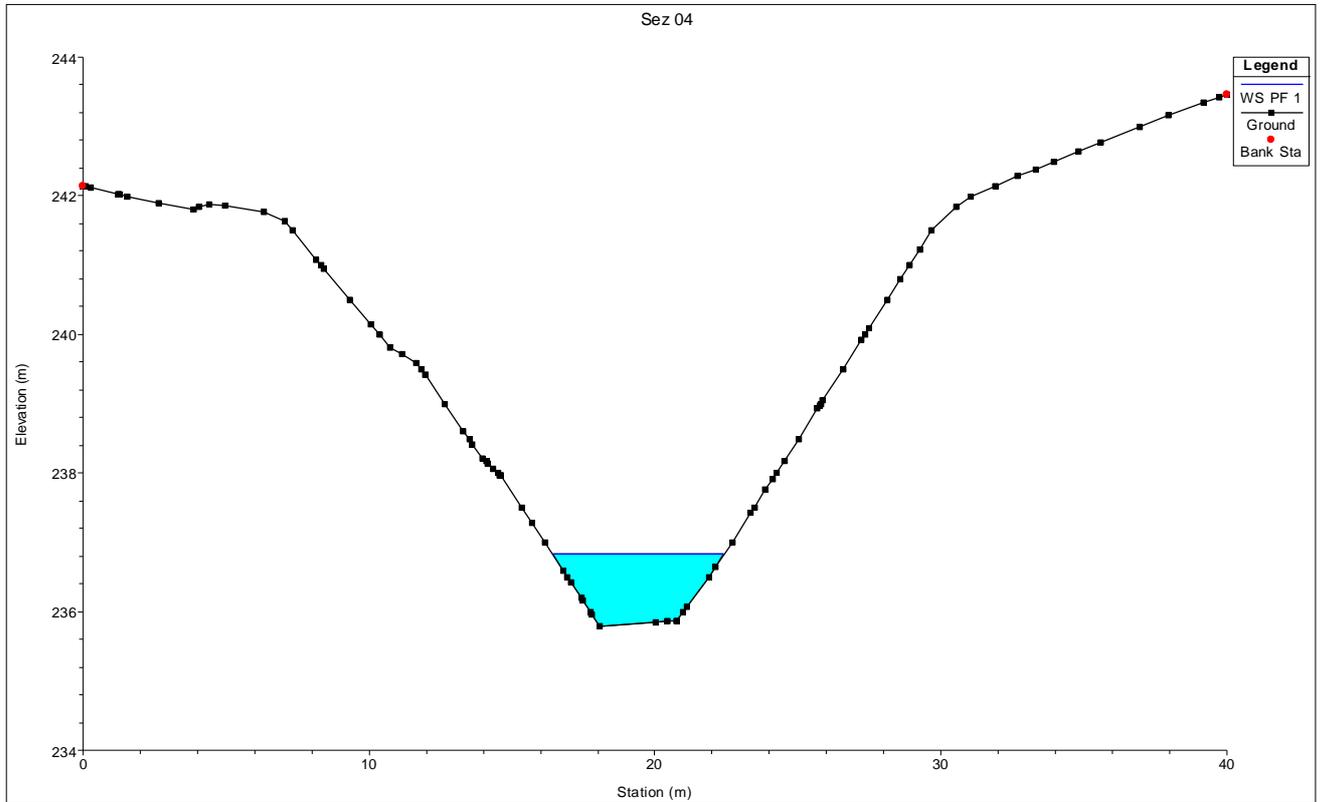
GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica	Foglio 31 di 64

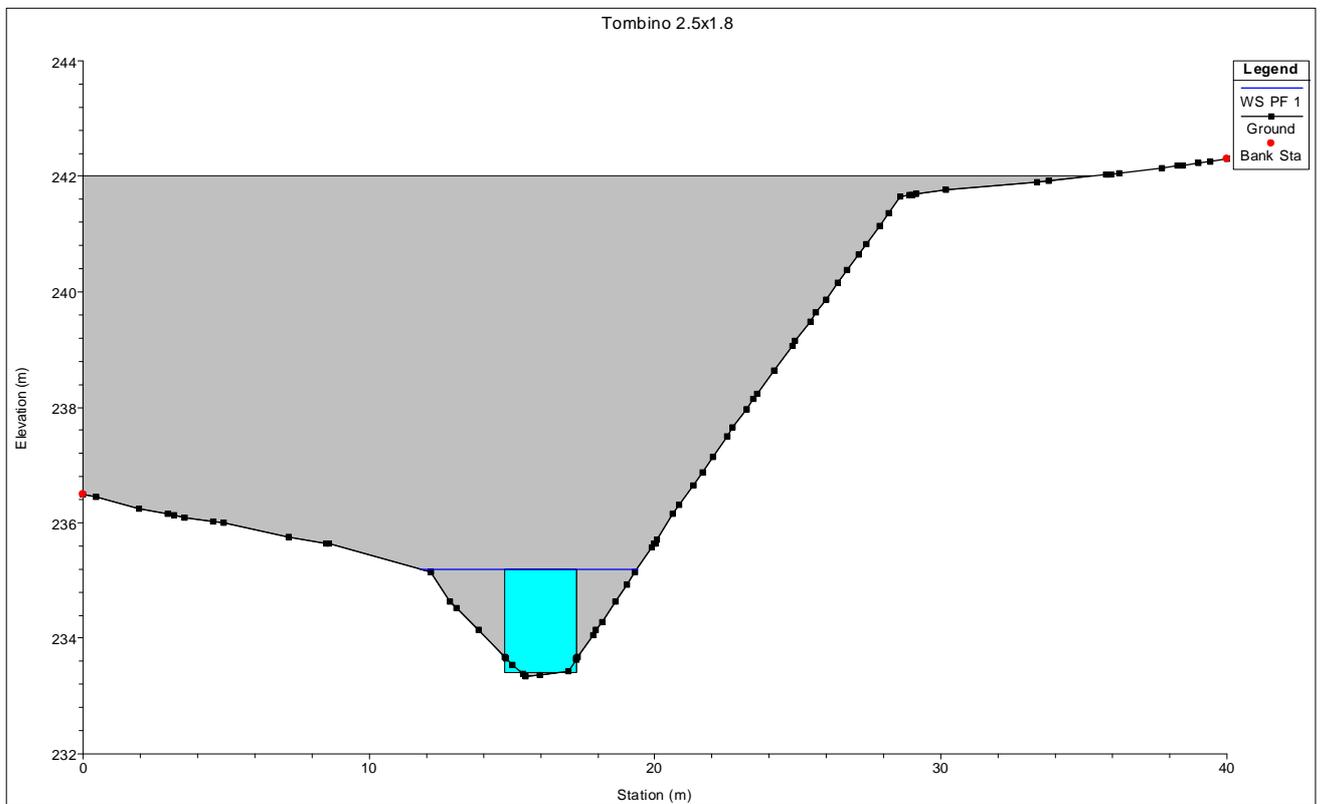
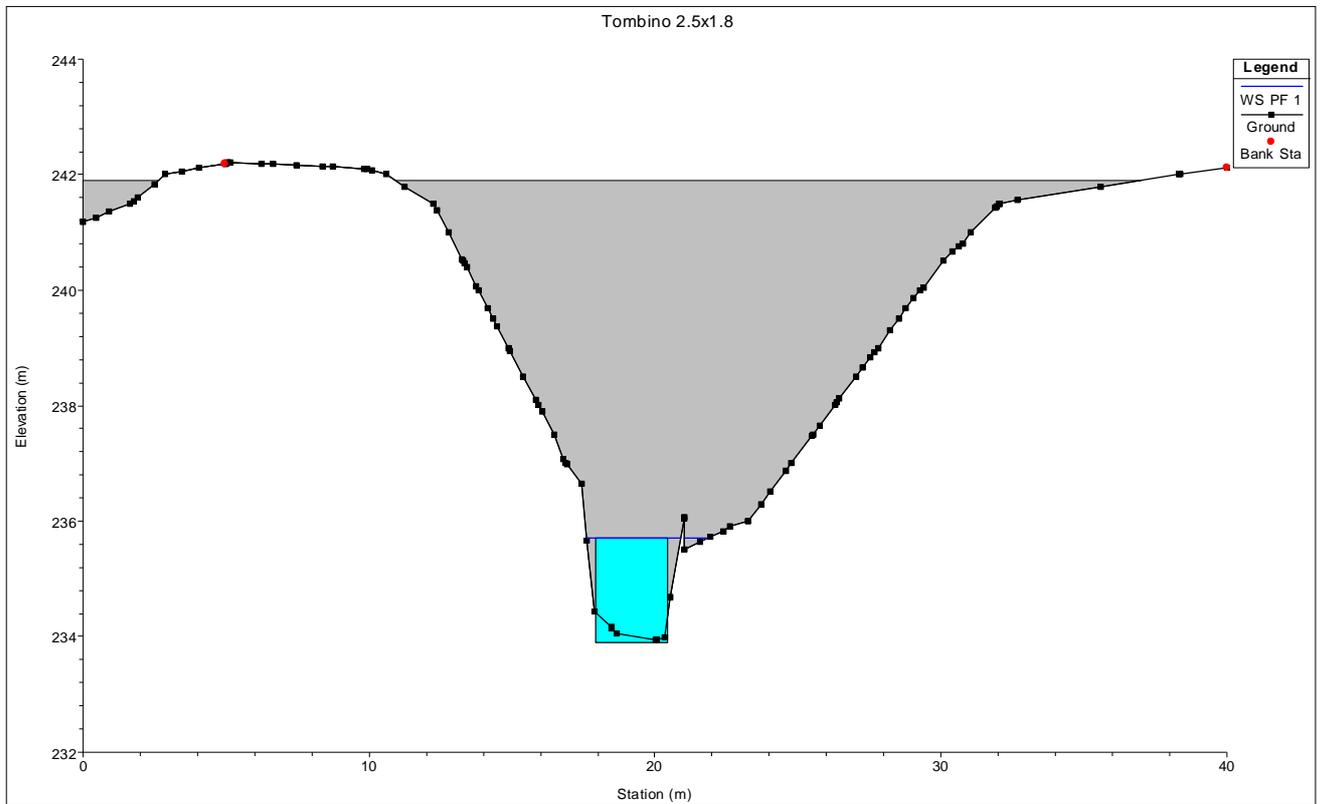
## ALLEGATO 1

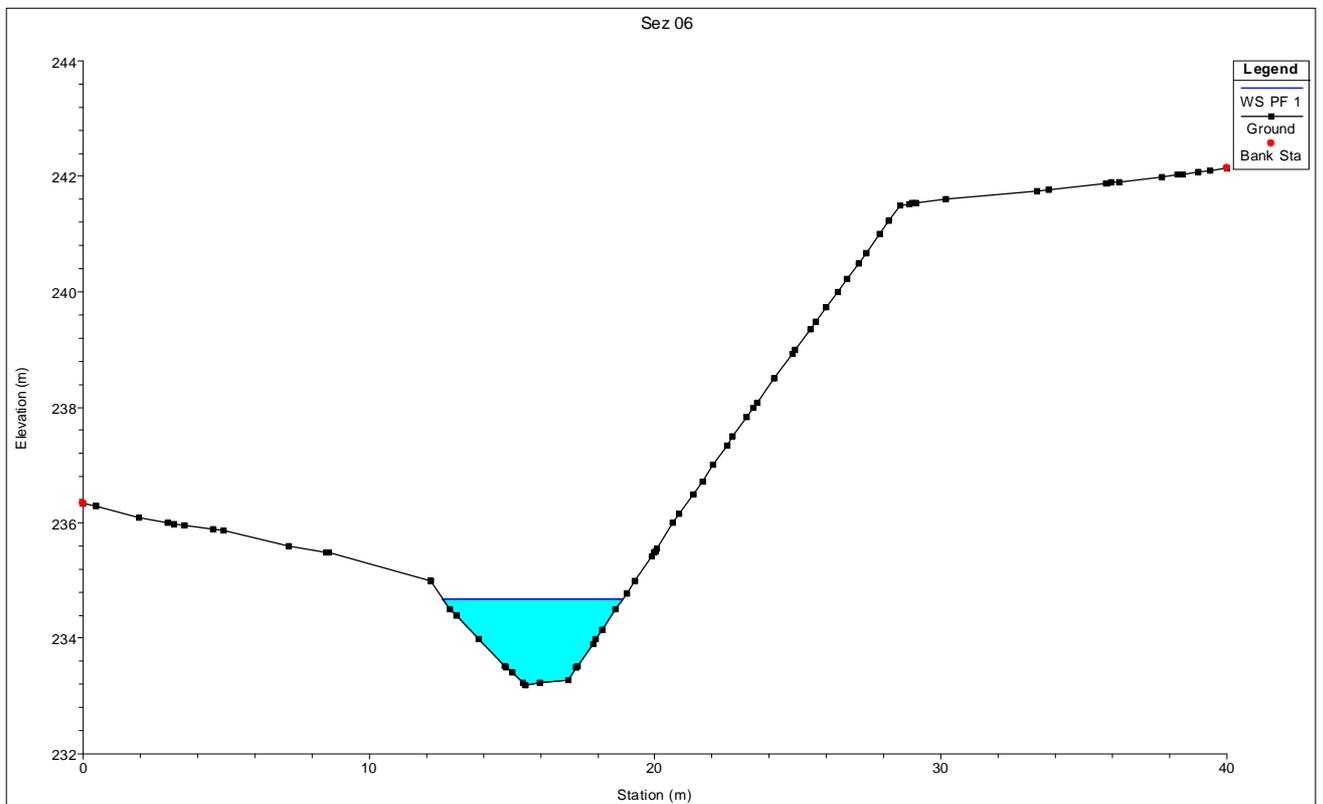
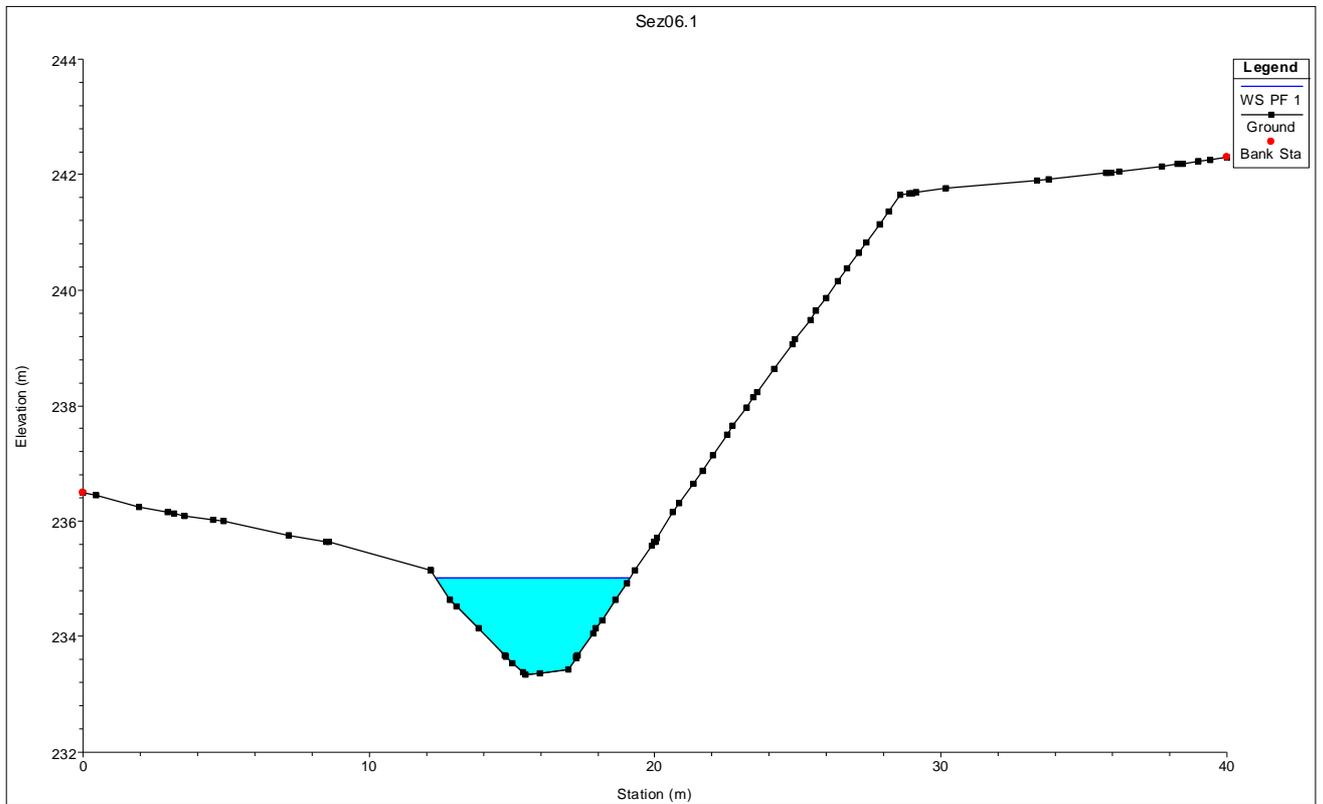
### SEZIONI STATO DI FATTO

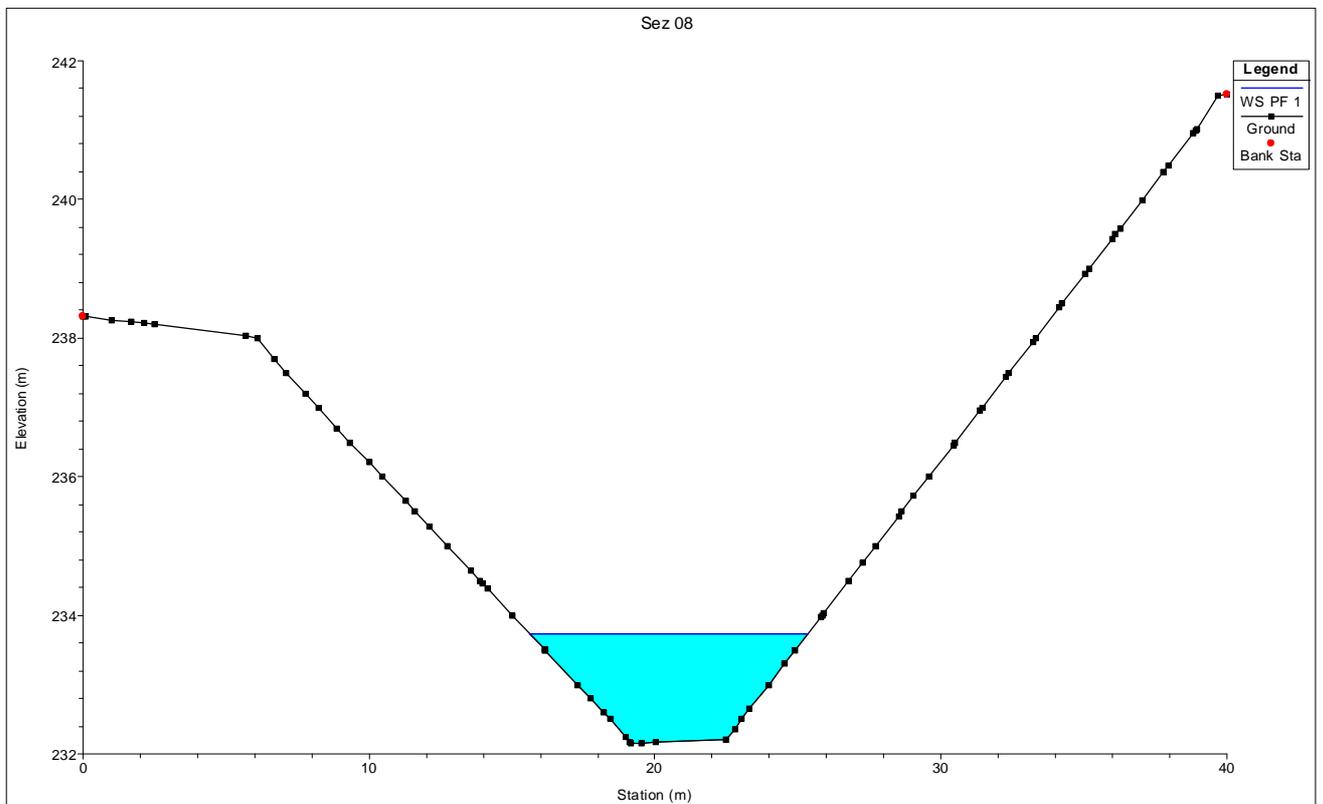
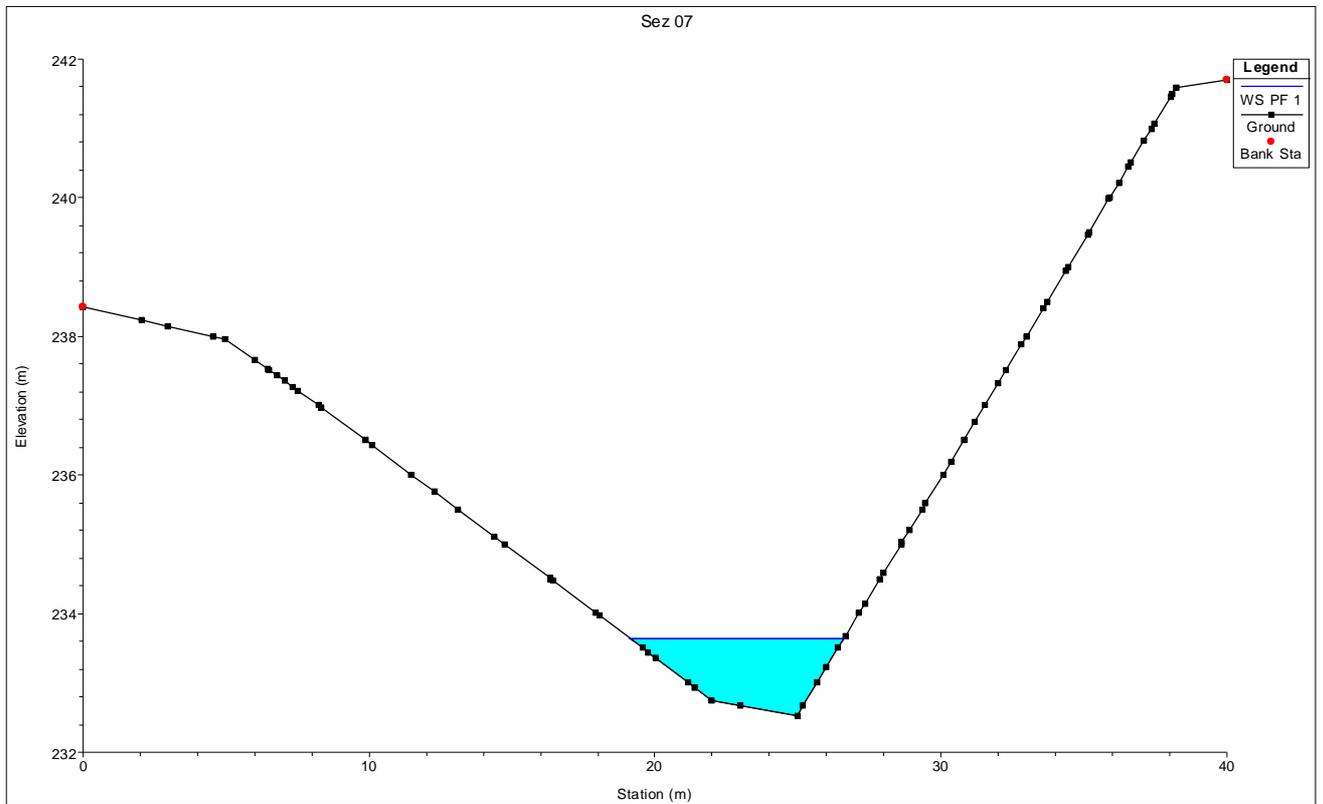


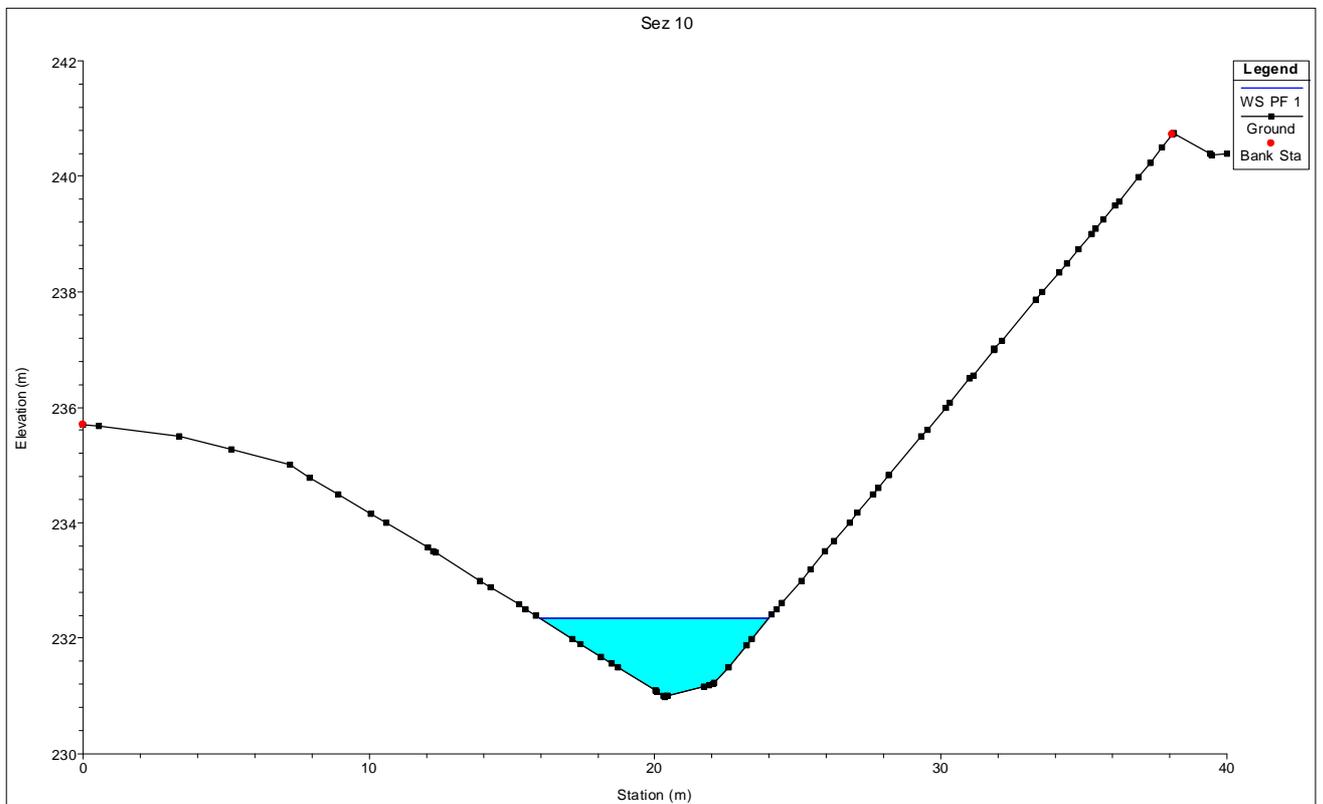
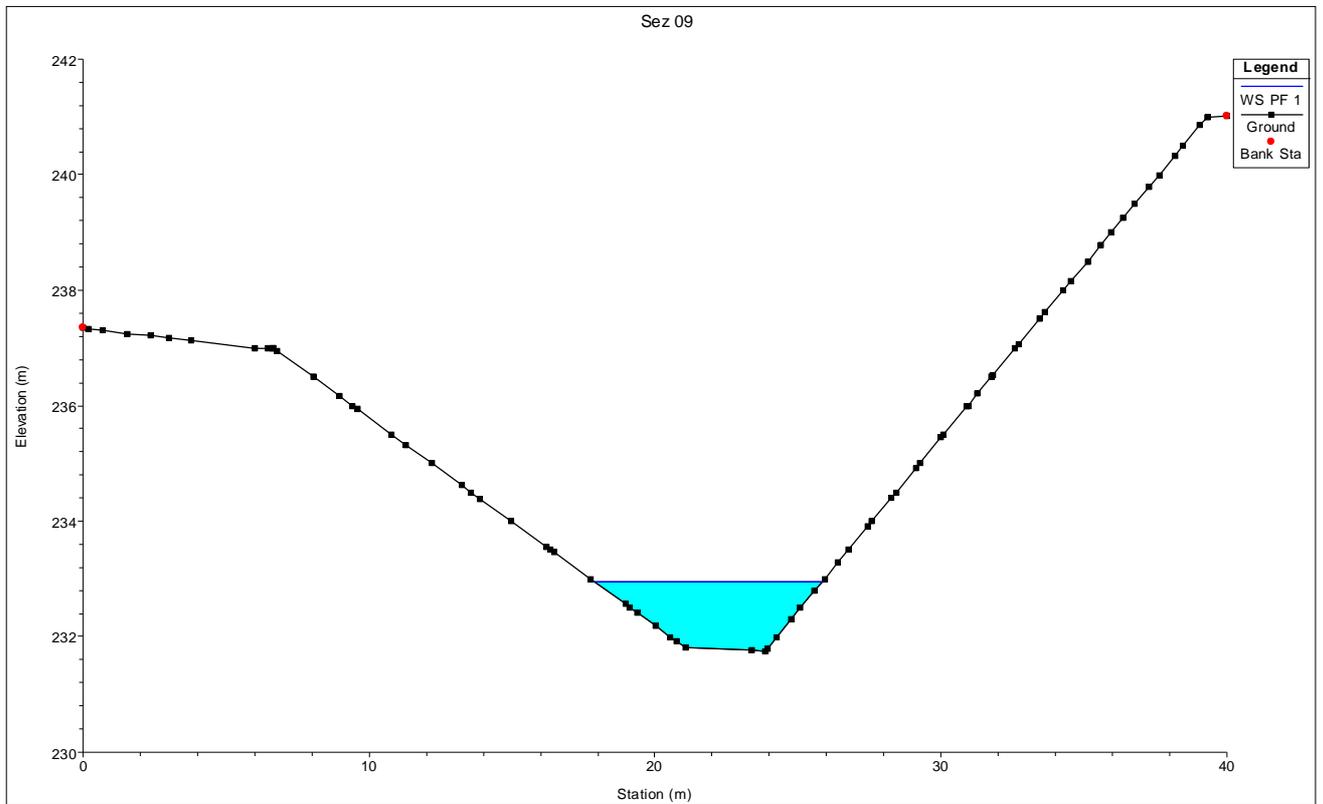


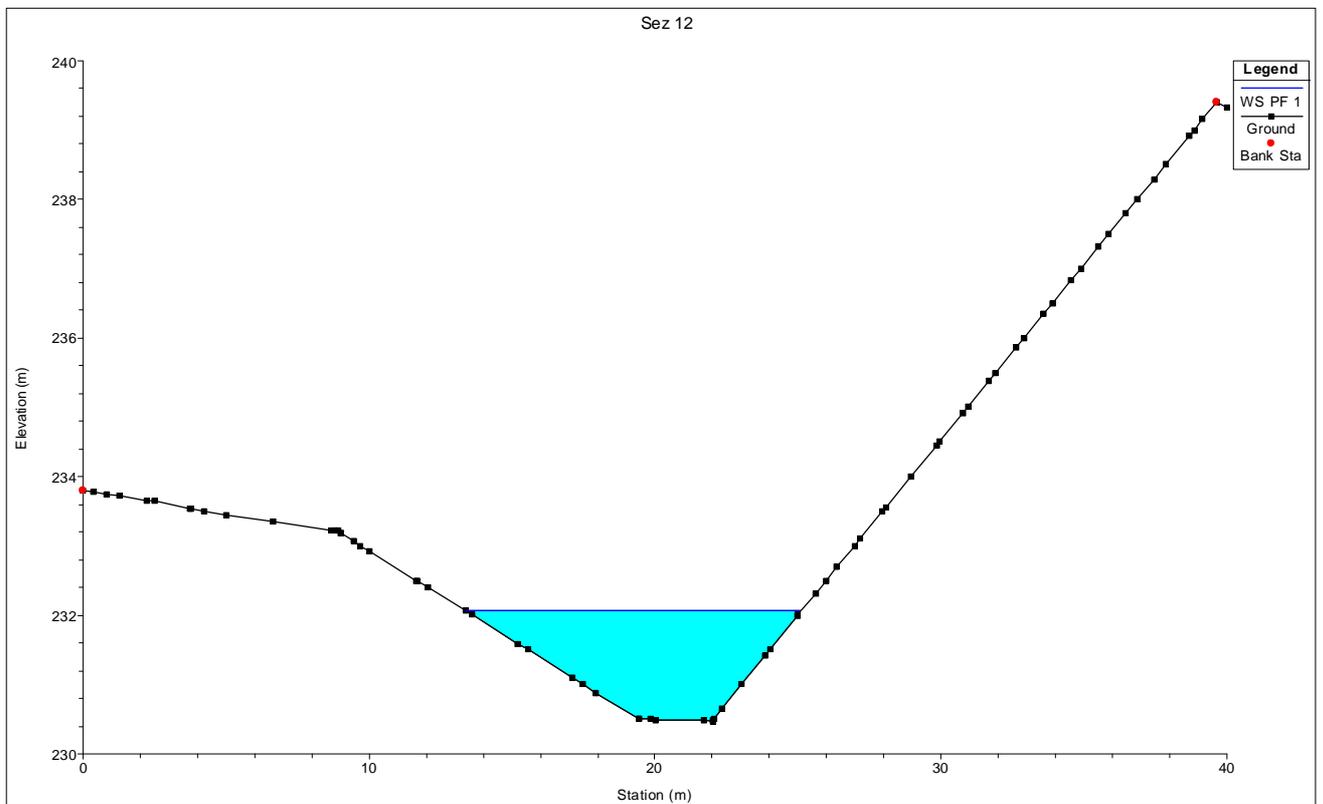
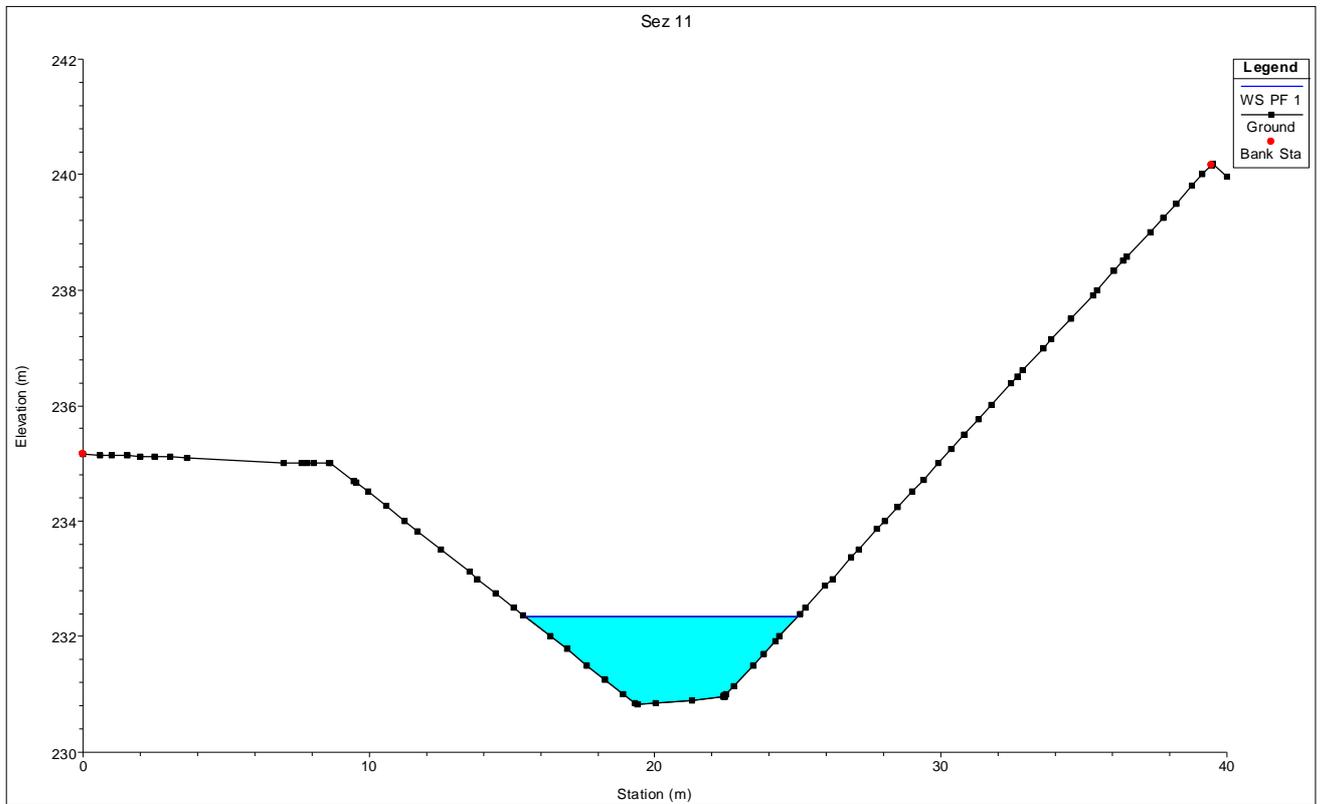


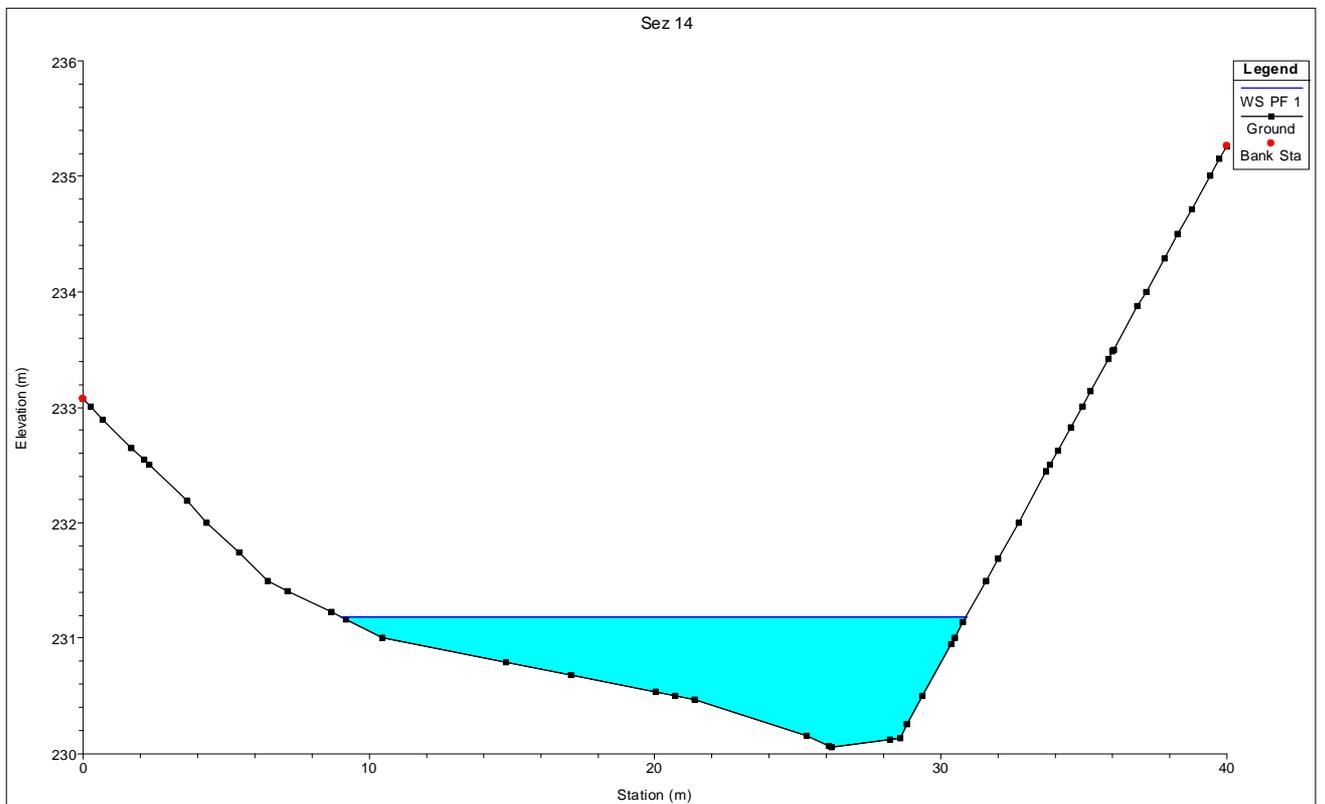
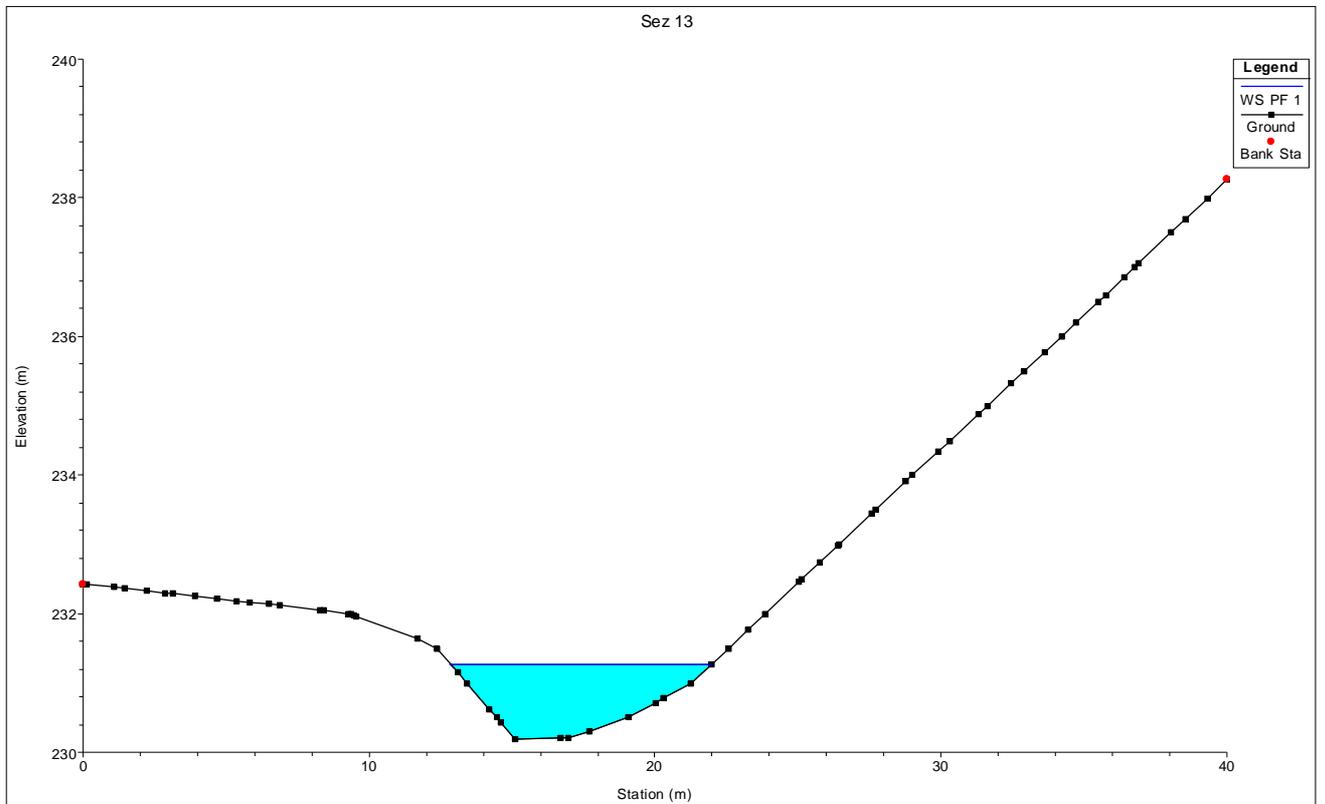


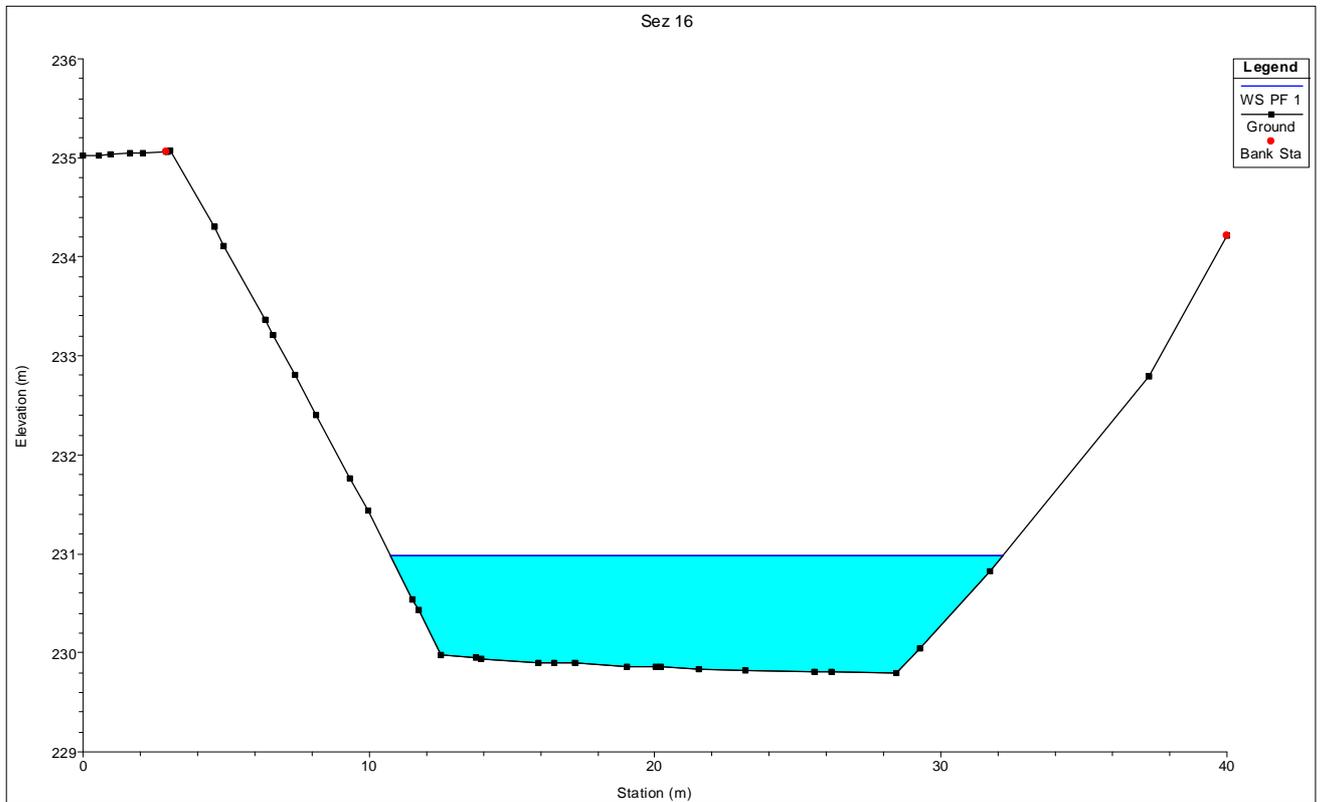
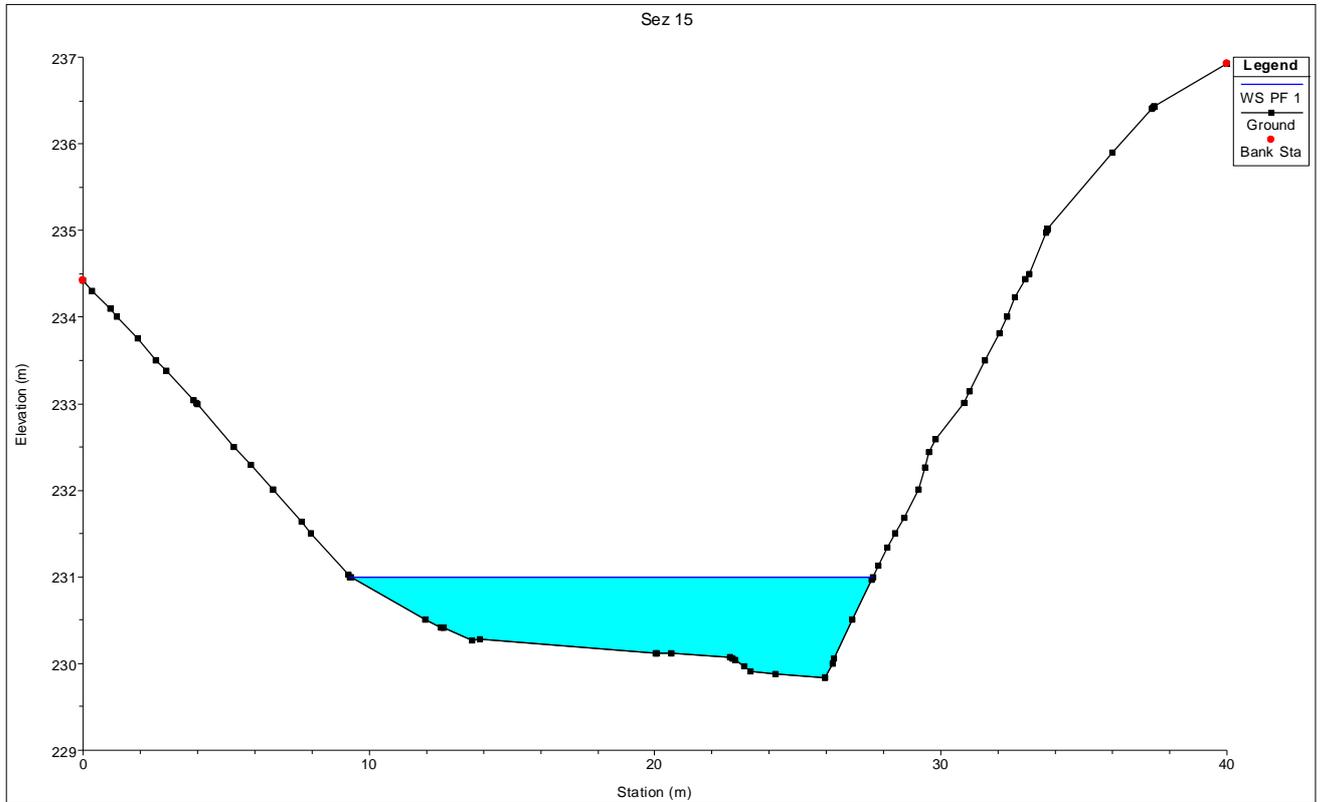


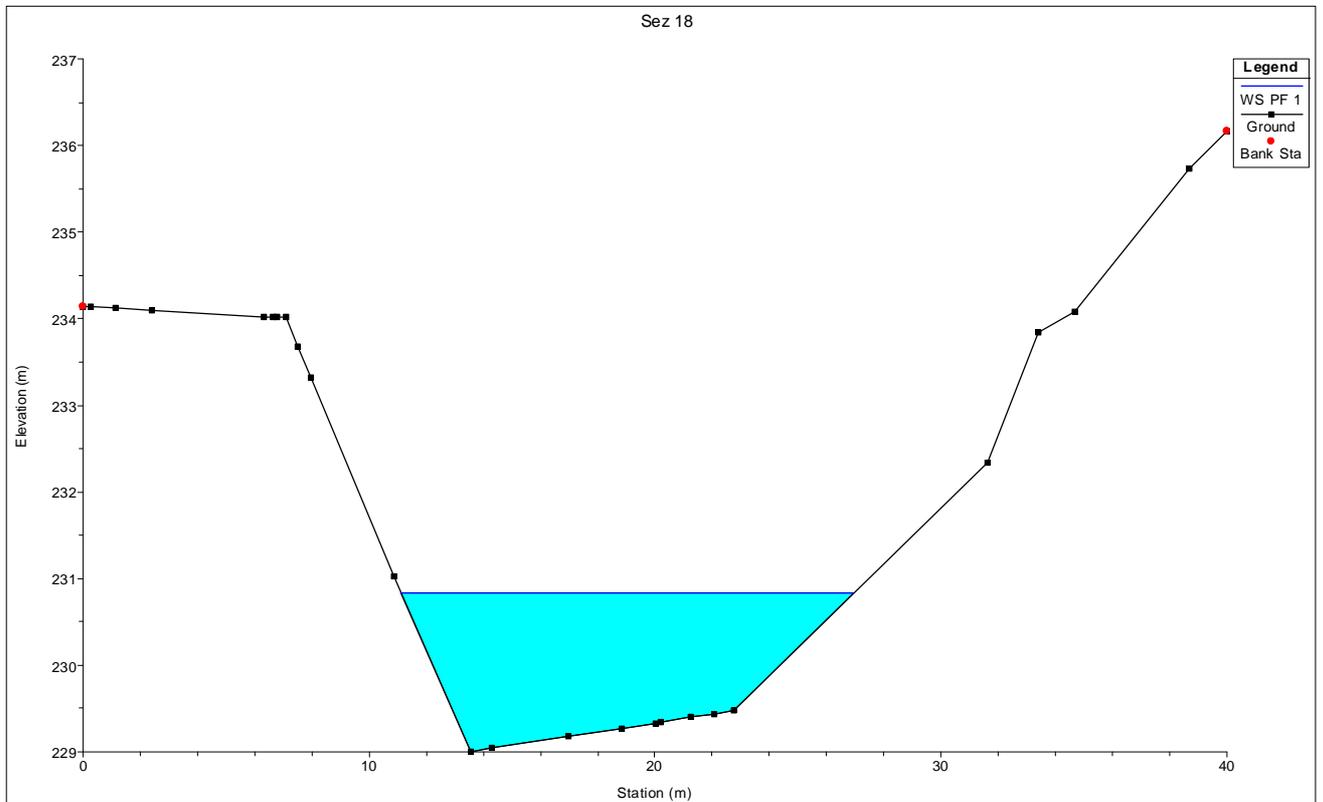
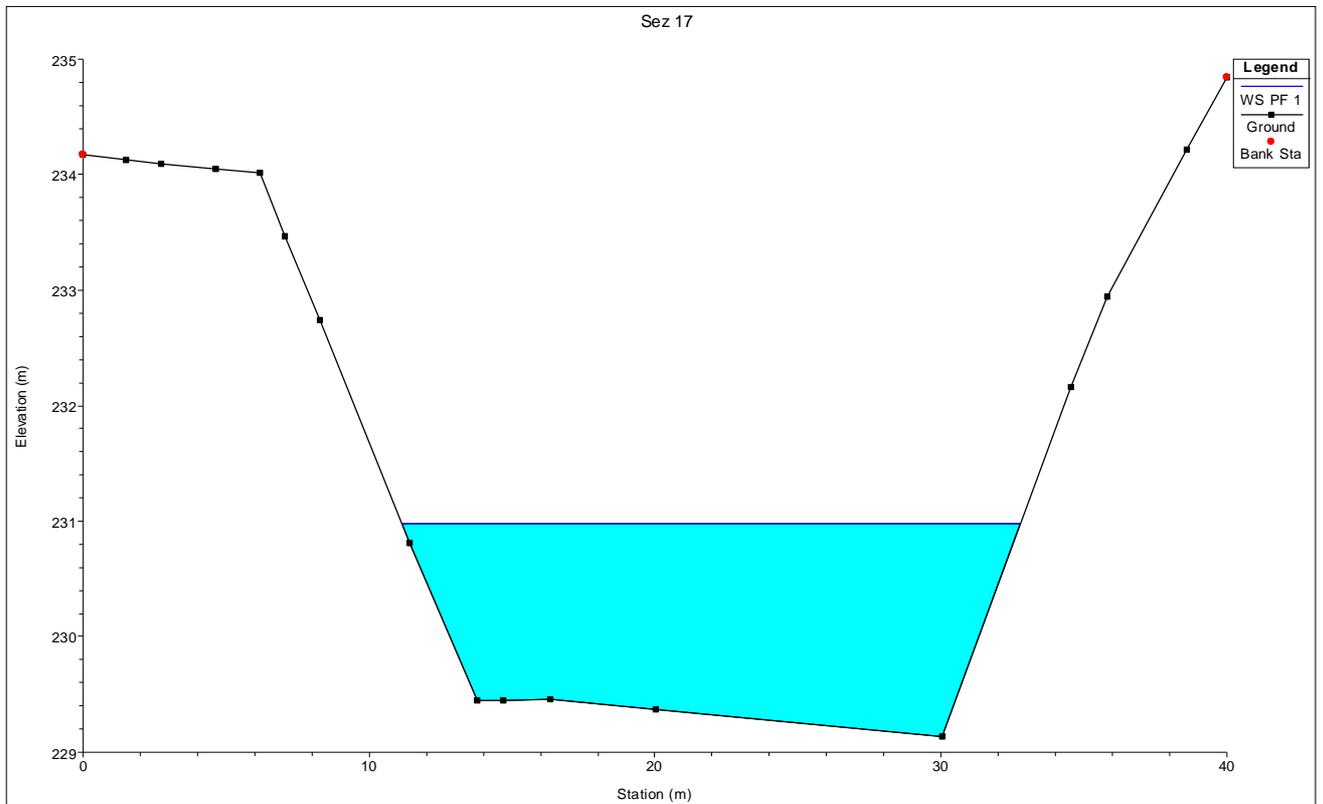


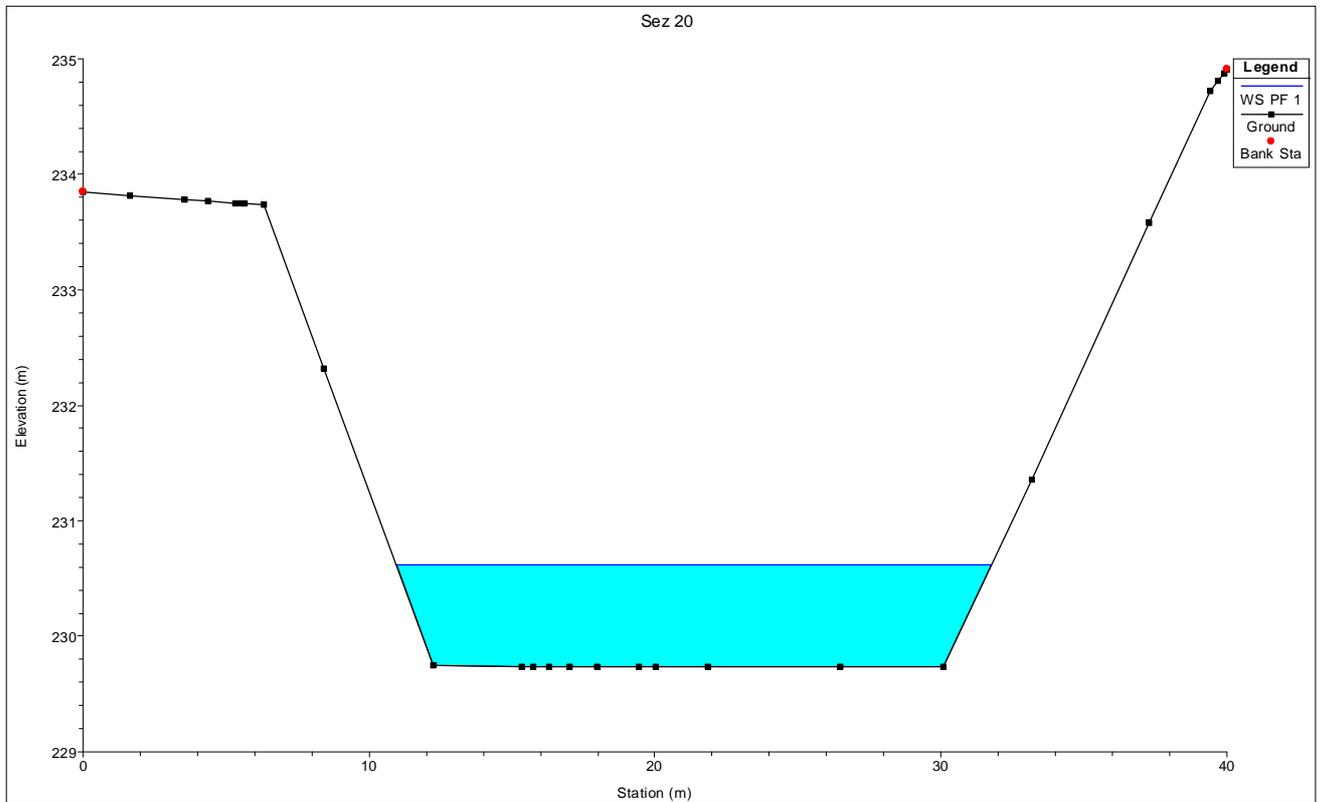
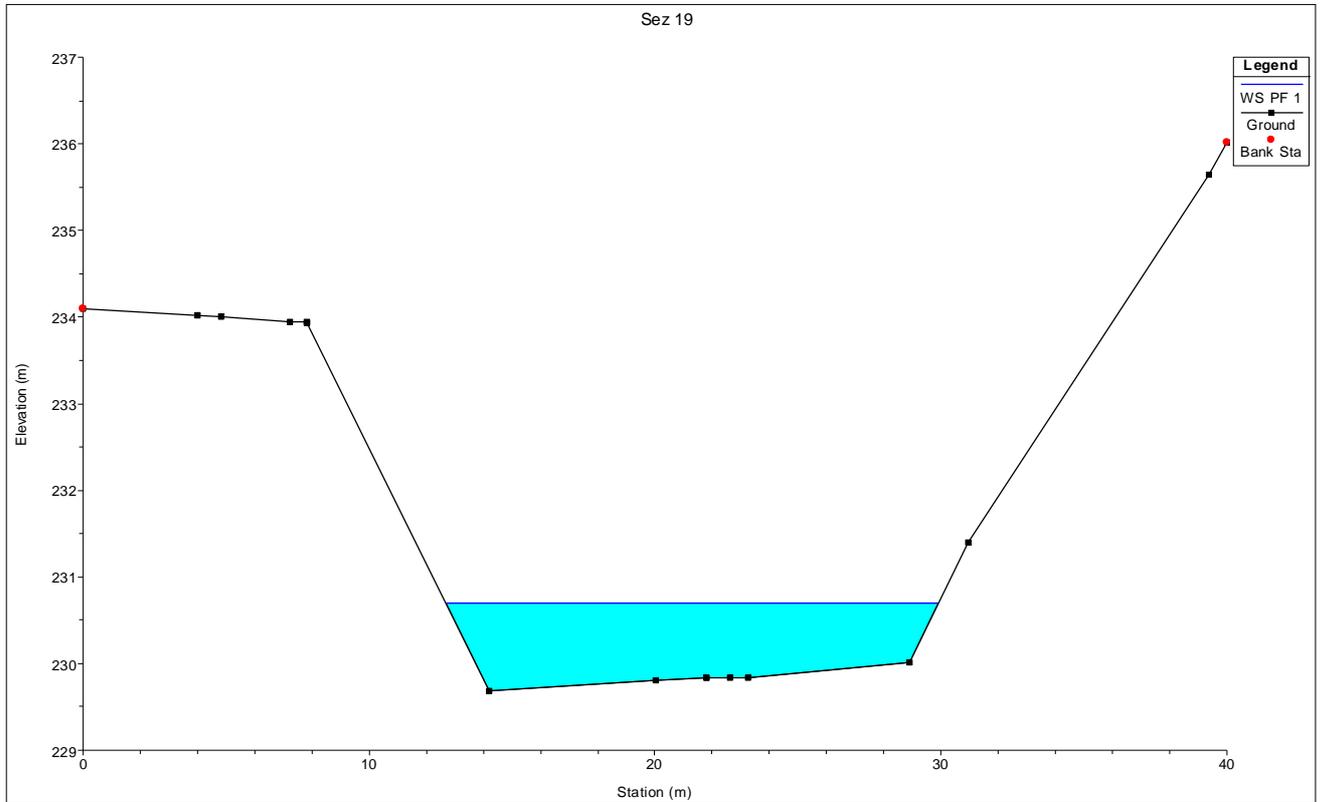


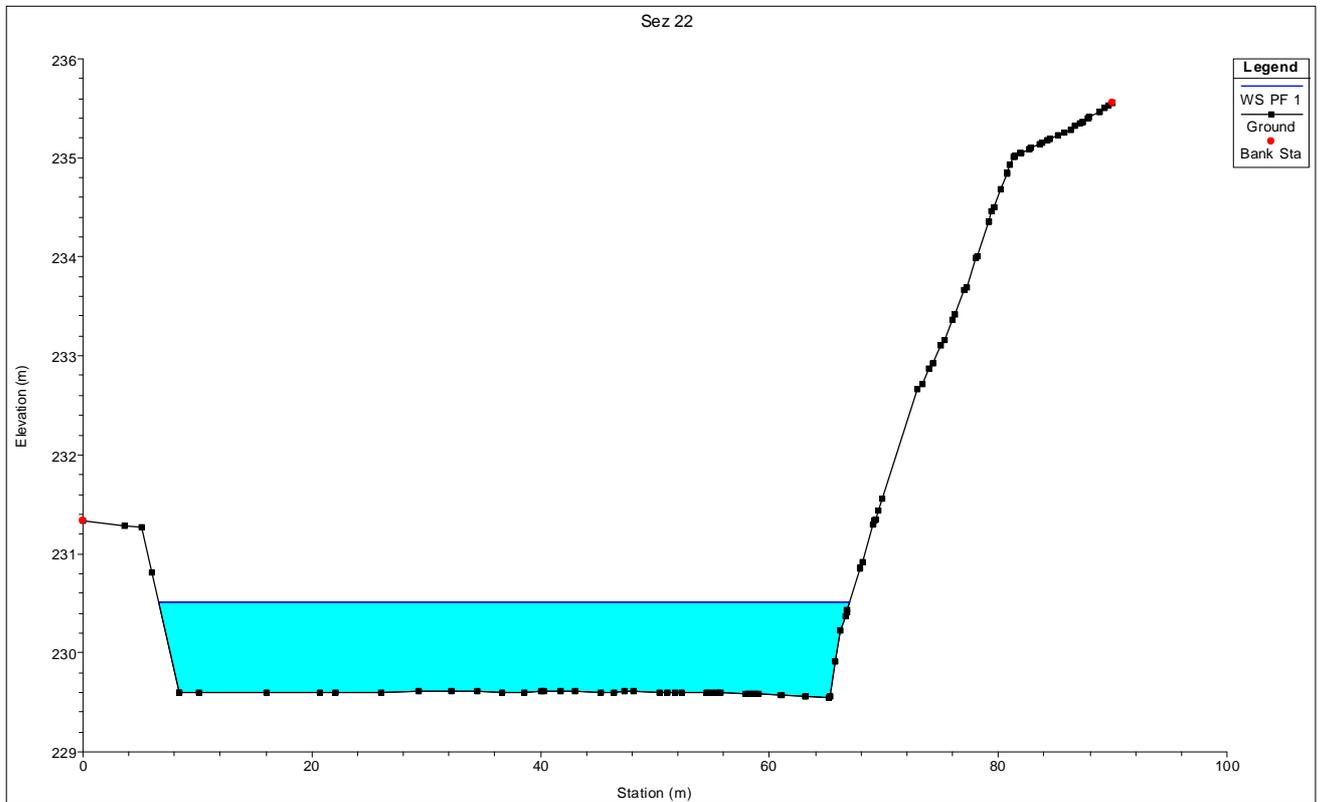
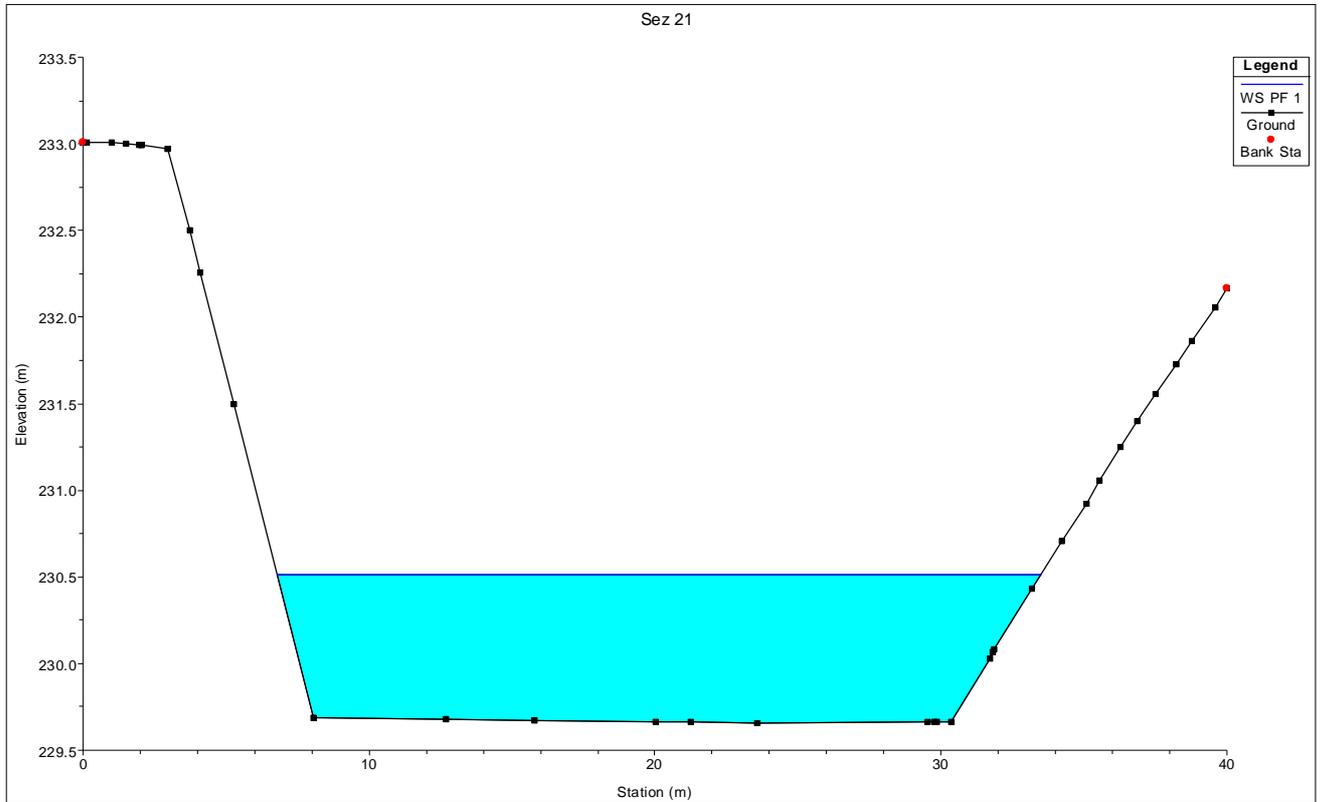


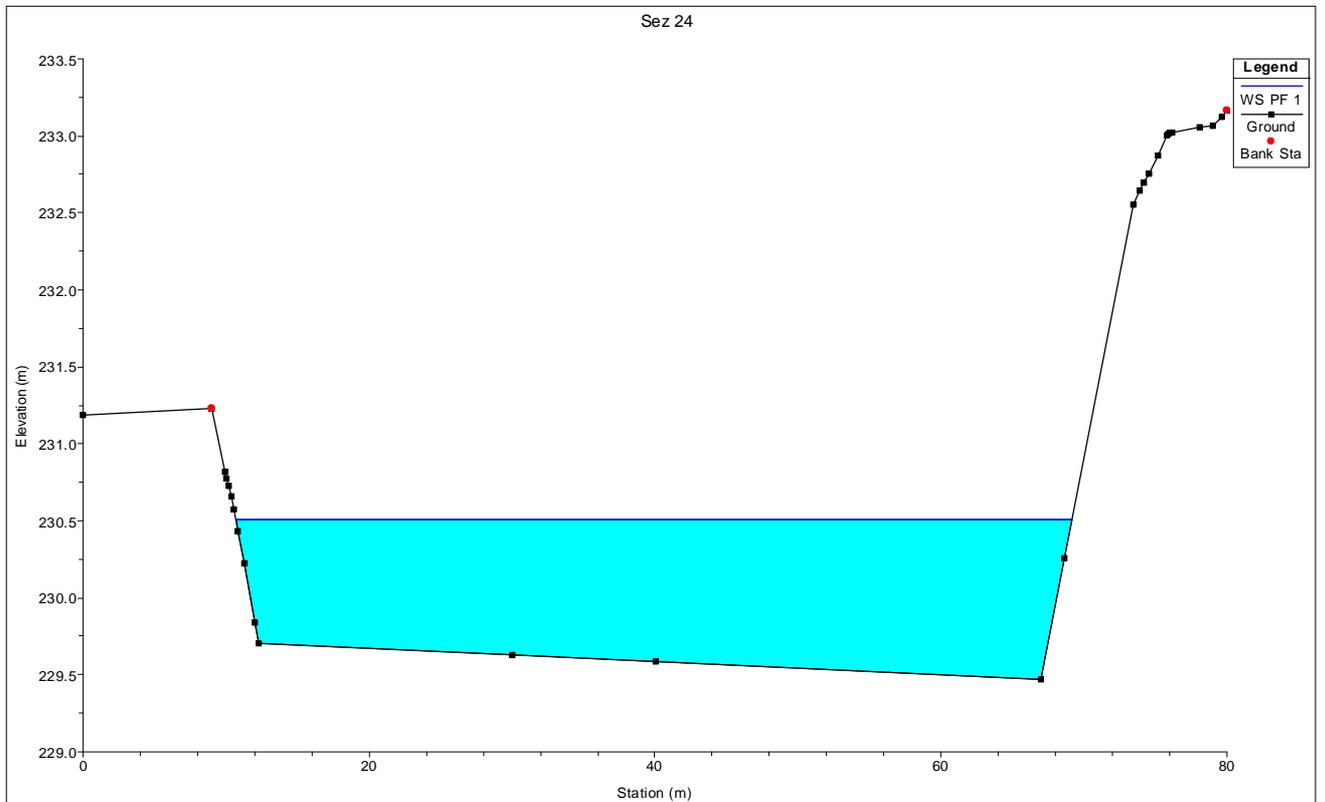
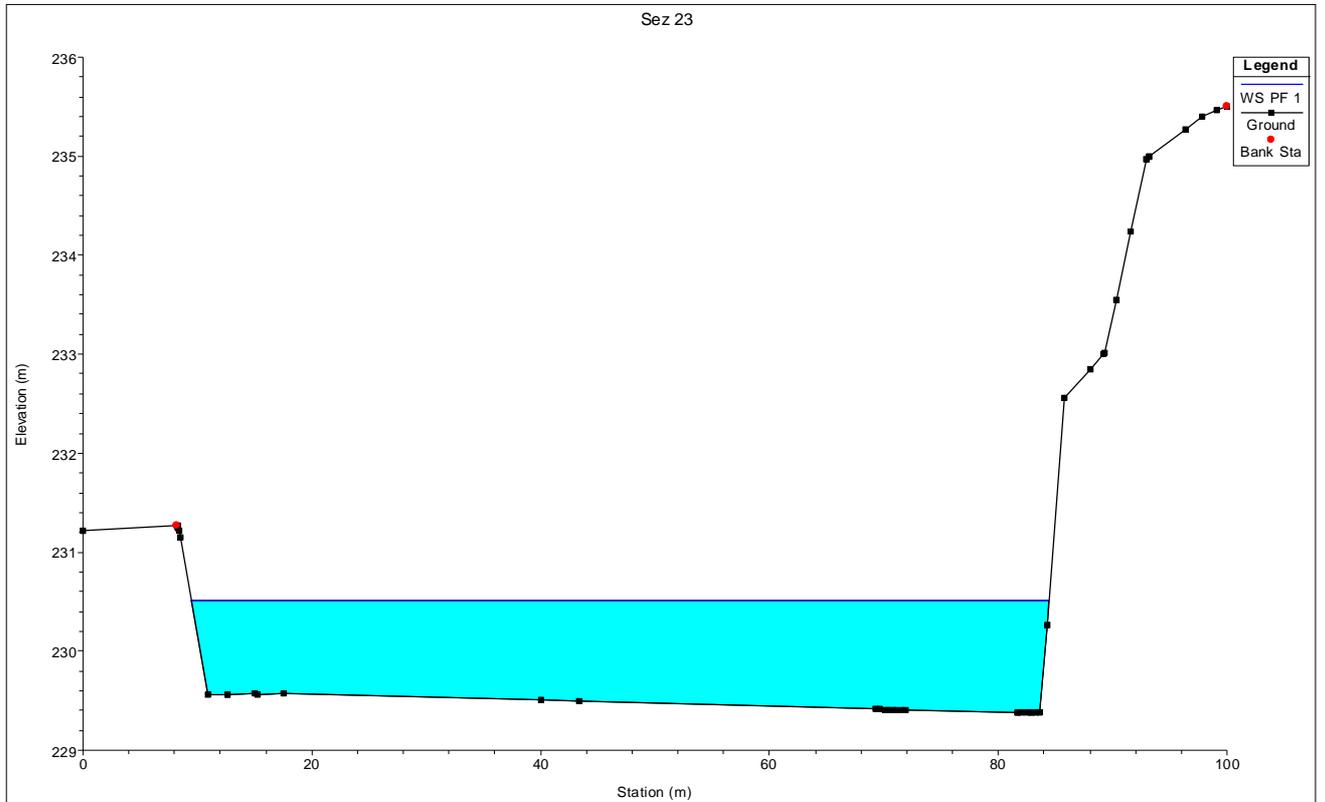


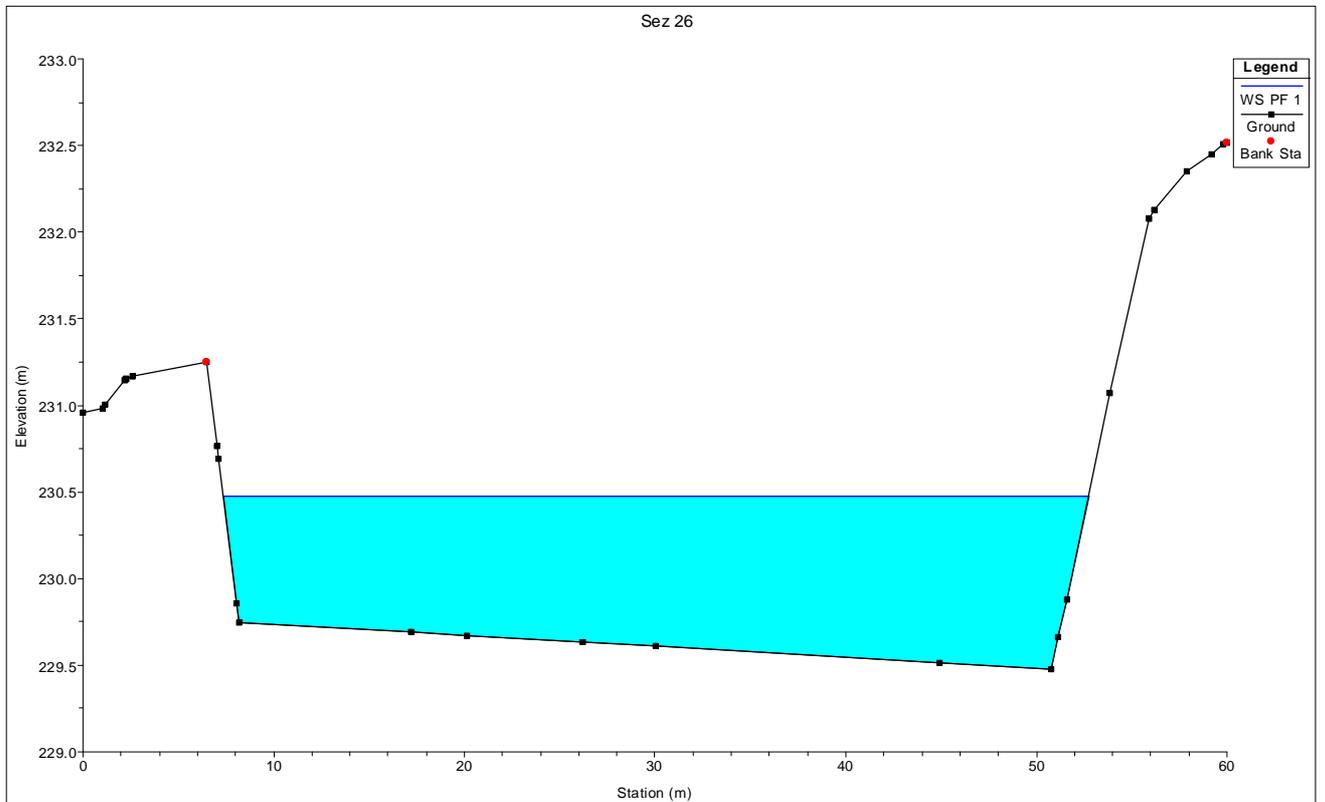
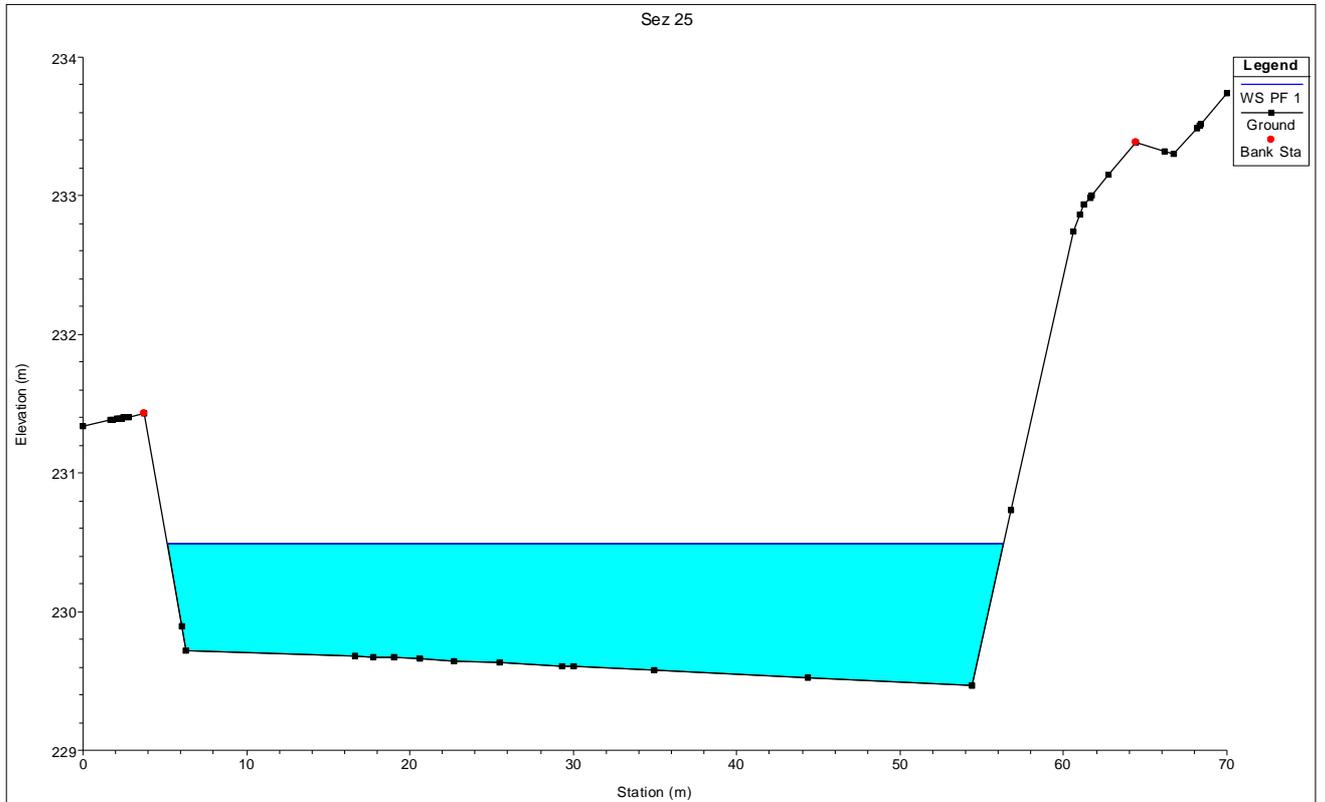


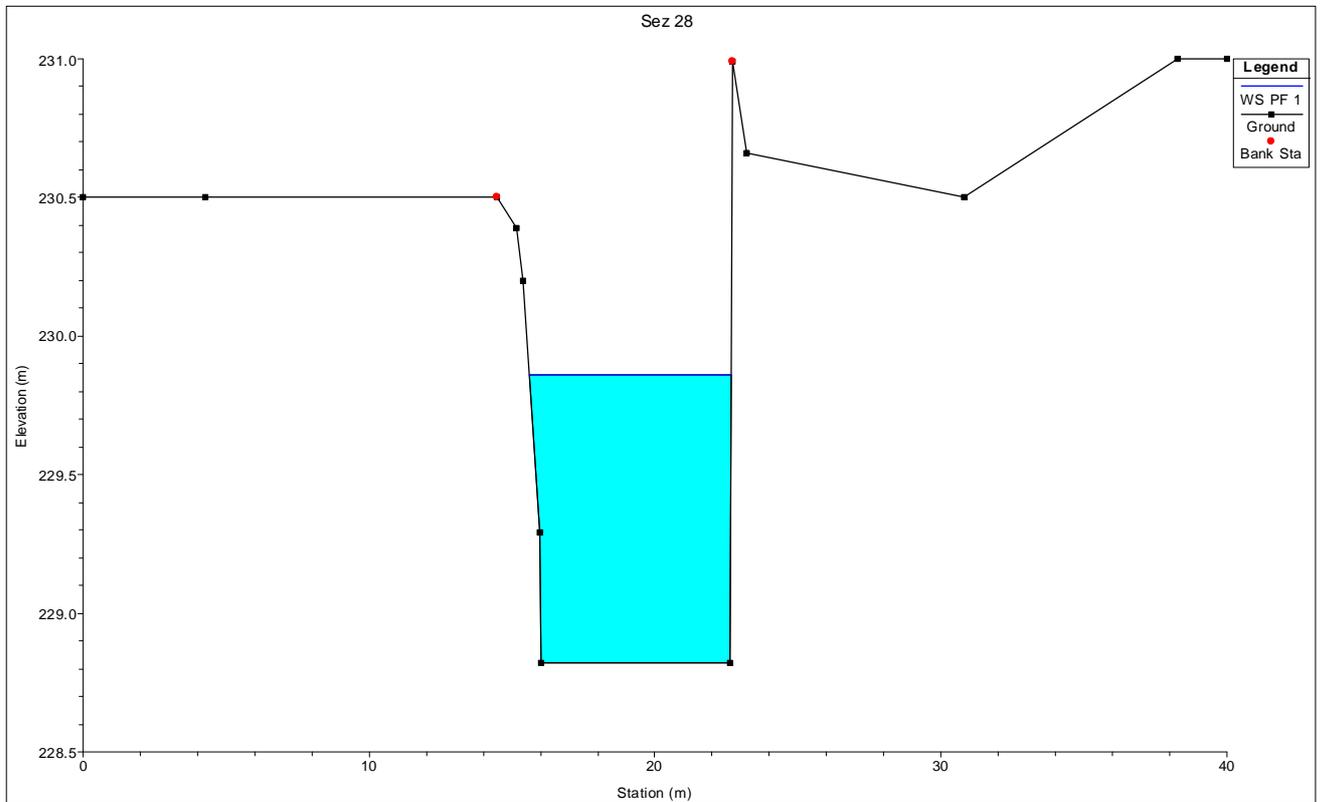
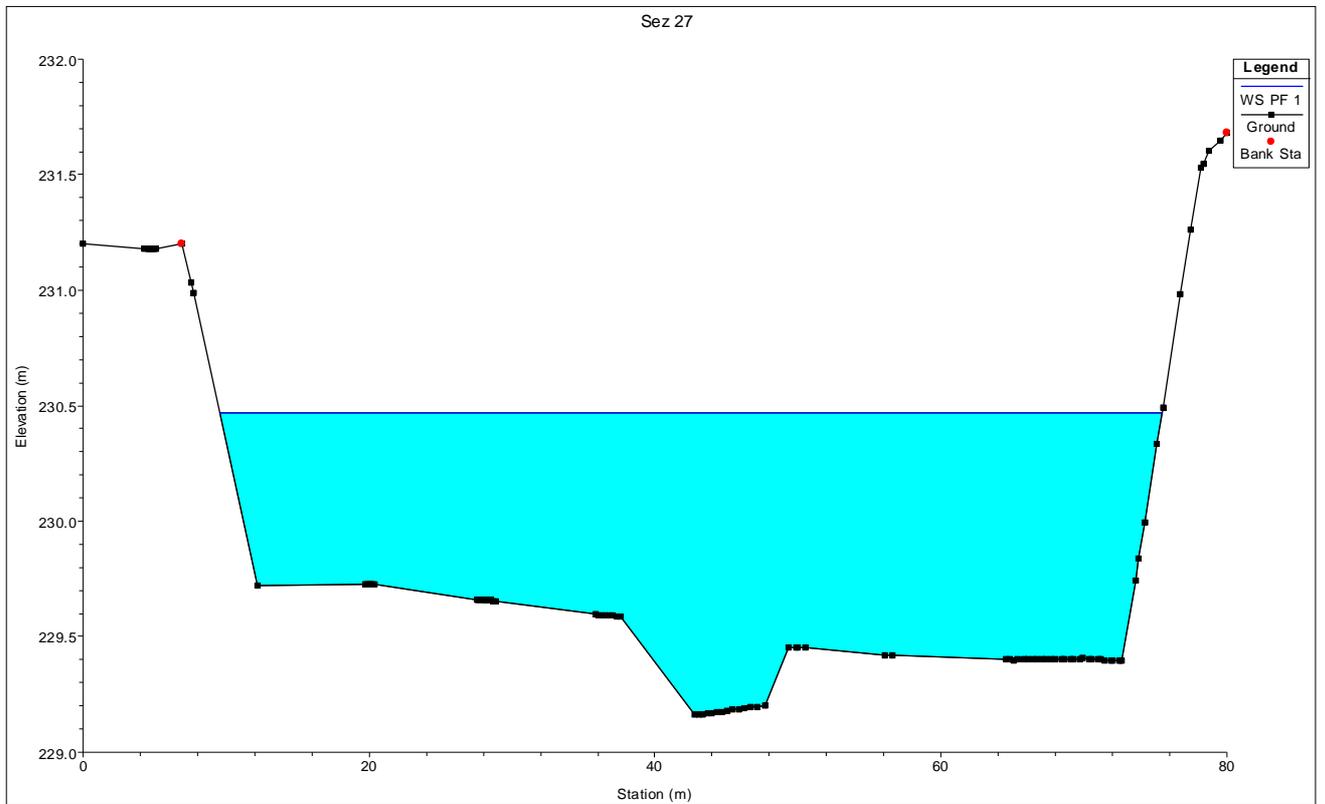


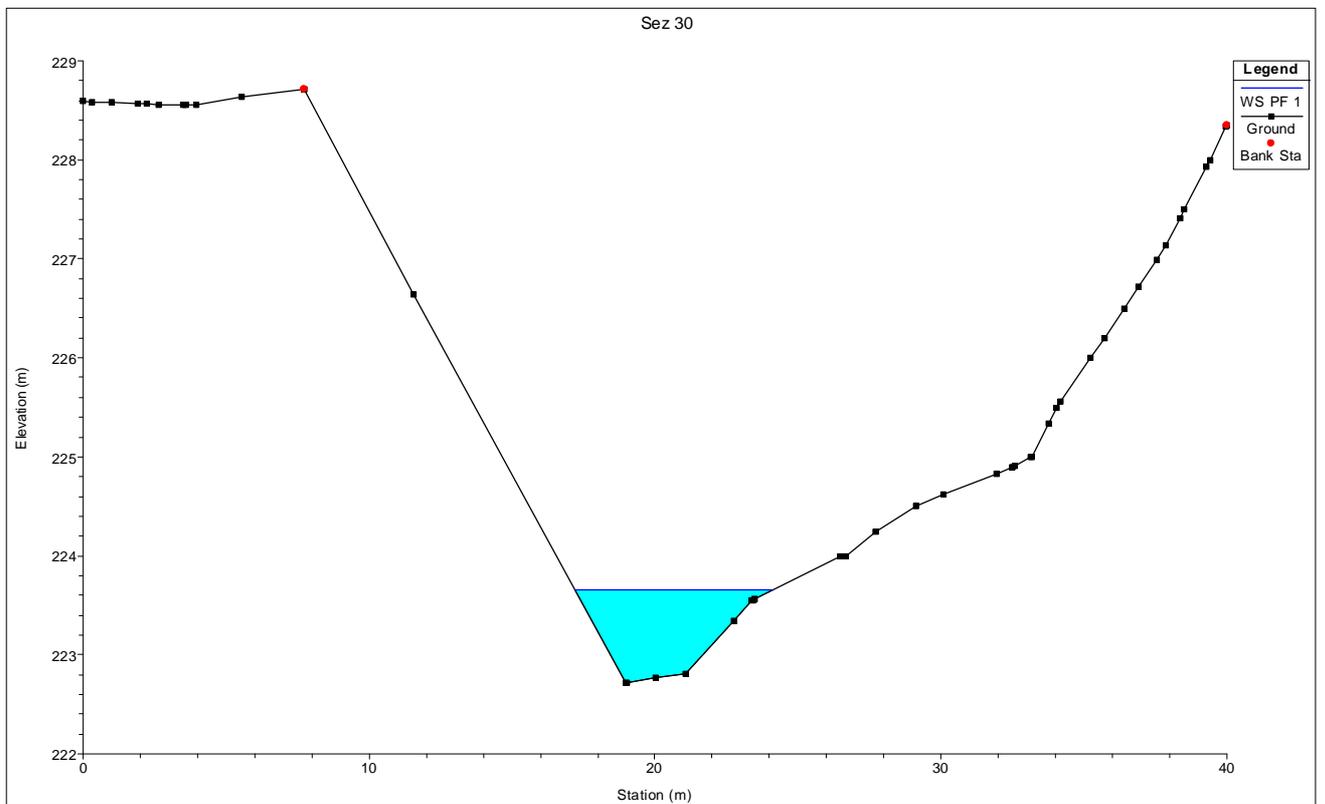
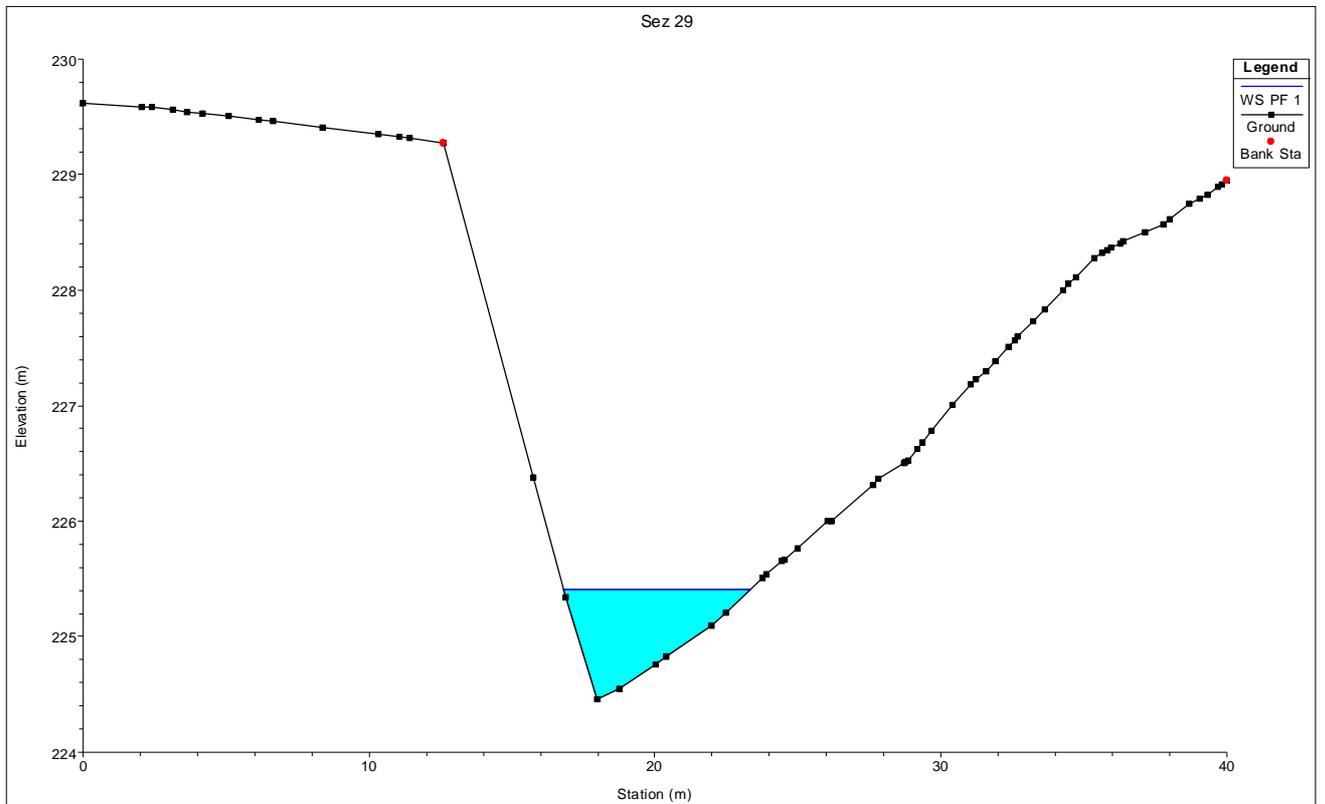












GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-02-E-CV-RI-IN11-0X-001-B00.DOCX Relazione idraulica	Foglio 49 di 64

## ALLEGATO 2

### SEZIONI STATO DI PROGETTO

