



Provincia Sud Sardegna

## ***Messa in sicurezza del centro abitato di Masainas dal rischio idrogeologico***

### **Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica**



Allegato

# D

Scala

## Relazione Idrologico-Idraulica

file

rev.	data	oggetto
00	10/03/2022	
01	11/07/2022	
02	09/09/2022	

**SarLand**  
Ingegneria e Architettura

Ing. Alessandro Lai  
Dott. Geol. Antonello P.L. Gellon  
Ing. Alice Scanu  
Ing. Marcello Mesina  
Ing. Michele Francesco Mannai  
Ing. Francesco Lai  
Dott. Geol. Nicola Sardu

COMUNE DI MASAINAS  
RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO  
Geom. Gianfranco Diana

SINDACO  
Dott. Gian Luca Pittoni

**Indice**

1	Premessa .....	1
2	Inquadramento territoriale .....	2
3	Analisi dello stato attuale e criticità rilevate .....	3
3.1	Aree a pericolosità idrogeologica .....	7
3.1.1	Aree a pericolosità Idraulica.....	7
3.1.2	Aree a pericolosità da Frana.....	8
4	Analisi idraulica dello stato di fatto.....	9
4.1	Analisi bidimensionale col HEC-RAS.....	9
4.1.1	Equazioni di base del modello .....	9
4.1.1.1	L'approssimazione diffusiva .....	11
4.1.2	Condizioni al contorno .....	11
4.2	Impostazione della simulazione .....	12
4.3	Risultati modellazione .....	12
5	Analisi idrologica .....	13
5.1	Parametri morfometrici.....	13
5.2	Determinazione del Curve Number (CN) .....	14
5.3	Tempo di corrivazione.....	15
5.4	Determinazione della portata di piena .....	16
5.4.1	Metodi indiretti.....	16
5.4.2	Curva di possibilità pluviometrica della distribuzione TCEV .....	18
5.4.3	Portate di piena per il canale in progetto .....	20
6	Descrizione degli interventi .....	21
7	Dimensionamento idraulico condotte di collegamento .....	25
7.1	Analisi idrologica bacino di drenaggio.....	25
7.2	Dimensionamento idraulico condotta.....	27
8	Analisi idraulica della soluzione progettuale .....	29
8.1	Condizioni al contorno e portate .....	29
8.2	Descrizione e predisposizione del modello idraulico .....	30
8.3	Analisi dei risultati – Canale in progetto.....	30
8.3.1	Verifica dei franchi trasversali in corrispondenza degli attraversamenti ai sensi delle Norme tecniche delle costruzioni 2018.....	35

Allegati .....	43
----------------	----

## **1 Premessa**

Il Comune di Masainas, con Determinazione n. 544 del 31.12.2021 ha affidato alla scrivente i servizi di progettazione dei lavori di *“Messa in sicurezza del centro abitato di Masainas dal rischio idrogeologico – finanziato ai sensi dell’art. 139 della Legge 310.12.2018 n. 145”*

Scopo del presente progetto è la mitigazione del Rischio idraulico che interessa il centro abitato generato dai corsi d’acqua che si generano dai rilievi posti ad est dell’abitato.

Nelle fasi preliminari alla progettazione si è proceduto con un’attenta analisi delle alternative progettuali ed alla valutazione dei deflussi attraverso modelli idraulici 1D e 2D.

La presente relazione contiene la descrizione delle analisi idrologiche e idrauliche effettuate per arrivare al dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. Dopo un breve inquadramento, vengono mostrate le analisi idrologiche eseguite, tramite le quali si è arrivati a definire le portate di progetto per gli interventi.

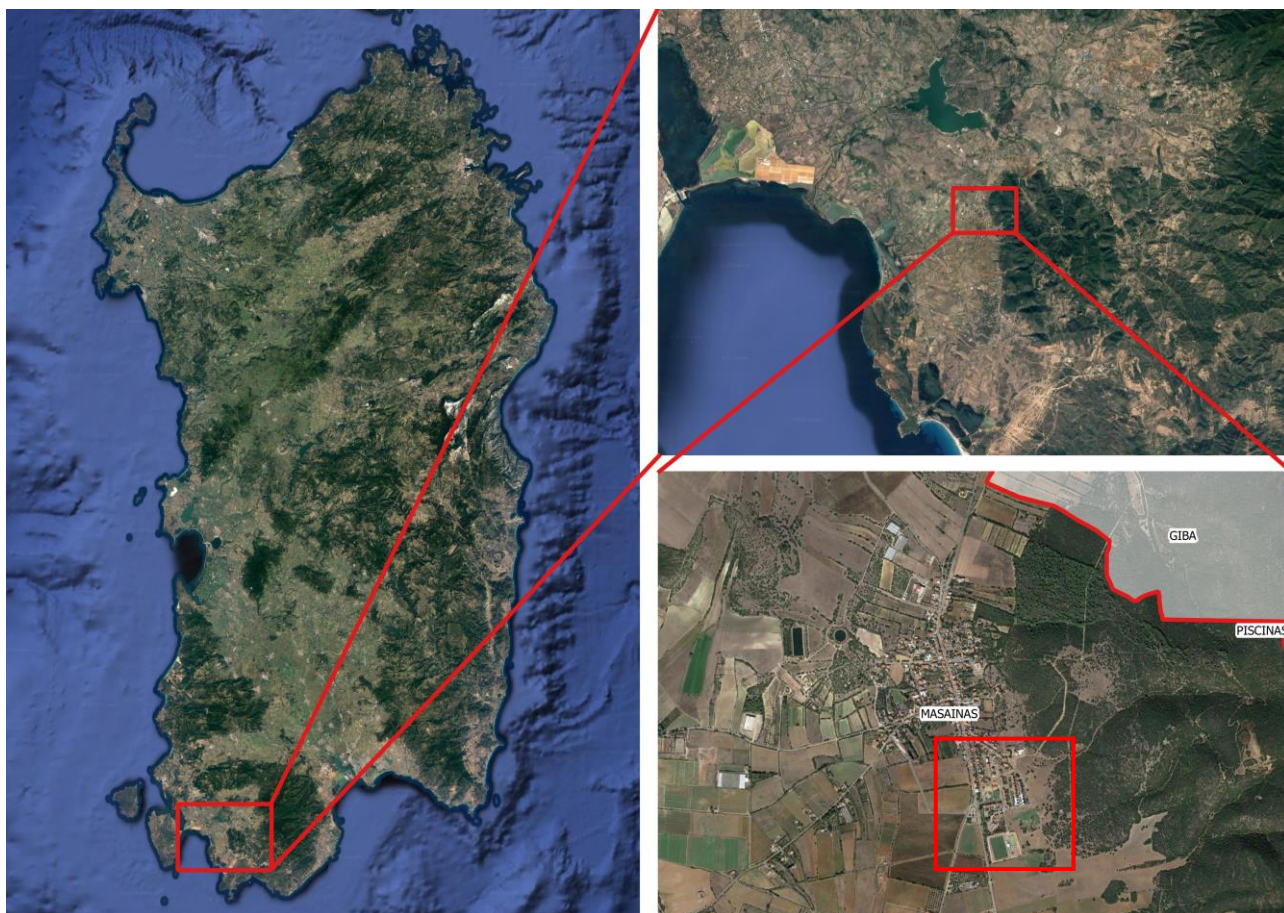
## 2 Inquadramento territoriale

Il comune di Masainas è situato nella Provincia del Sud Sardegna. Il territorio comunale confina a nord con i comuni Giba, a sud con Sant'Anna Arresi e a ovest con Teulada e Piscinas (Figura 1).

Il territorio comunale è caratterizzato dai rilievi collinari di Serra Mura e Serra Manna a est, che vanno a degradare verso ovest fino a raggiungere l'area costiera del Golfo di Palmas.

Il paese è impostato nell'area pedemontana dei vicini rilievi di Serra Mura e Serra Manna e su di esso vanno ad essere convogliati i deflussi di tale zona collinare.

L'area di intervento è rappresentata topograficamente nel foglio n° 233 della carta d'Italia I.G.M. alla scala 1:100.000 ed nella nuova cartografia a scala 1:25.000 nella sezione 564-II.

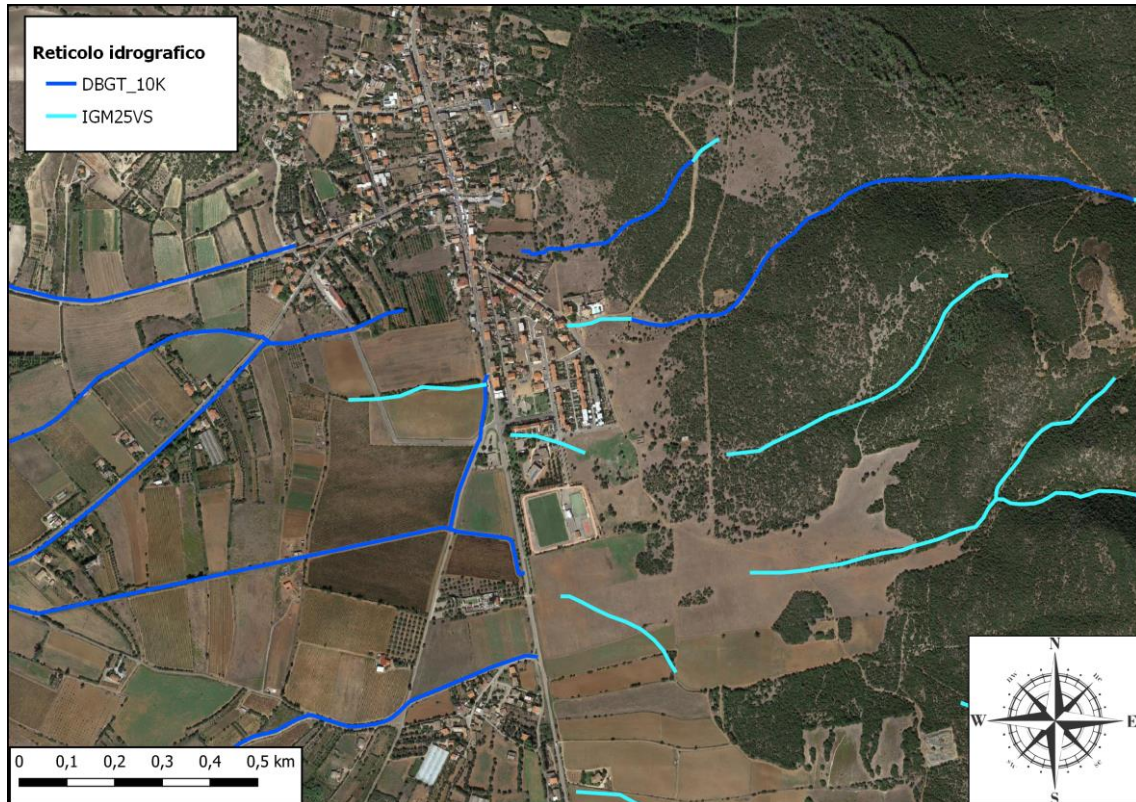


**Figura 1. : Localizzazione dell'intervento**

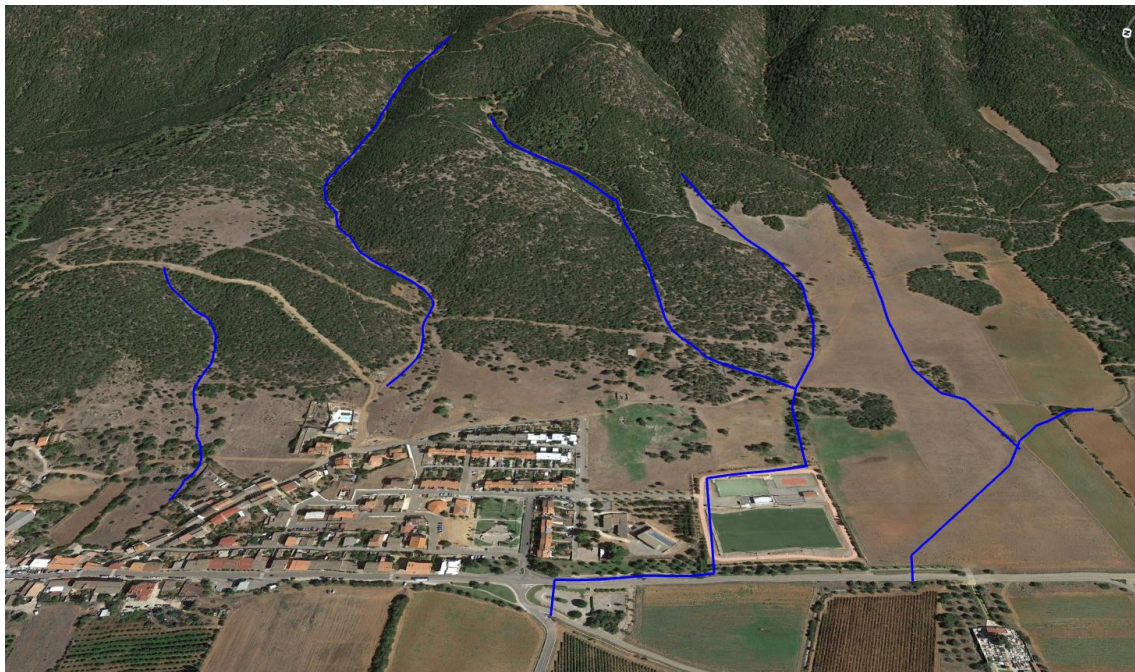


### 3 Analisi dello stato attuale e criticità rilevate

L'area oggetto di intervento è localizzata a sud dell'abitato ed è interessata dai deflussi del vicino rilievo di Serra Manna.



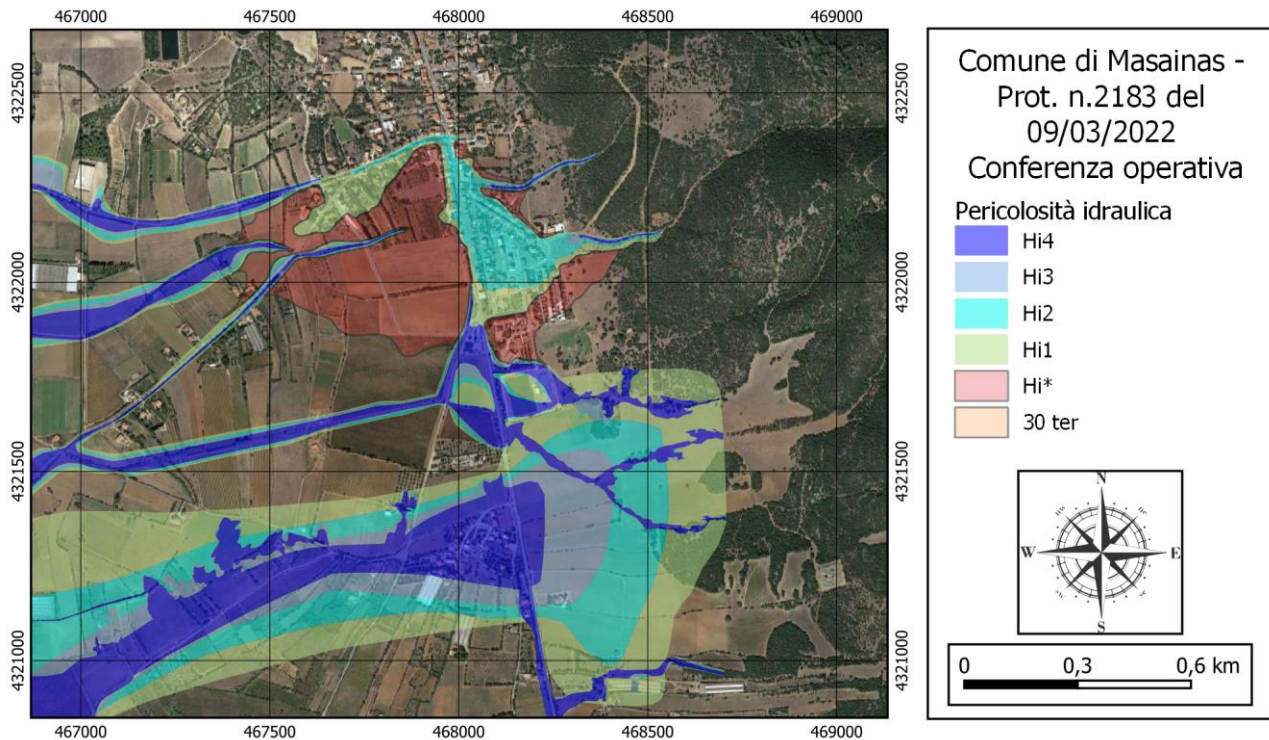
**Figura 2. Reticolo idrografico per le finalità di cui alle NTA del PAI**



**Figura 3. Reticolo idrografico a monte dell'abitato interessato dall'intervento (fonte: Variante al PAI del territorio comunale di Masainas approvata con Determinazione del Segretario Generale dell'AdB n. 81 prot. 4481 del 09/05/2022)**



Quest'area è stata oggetto di studi precedenti vista la sua criticità dal punto di vista idraulico. Nello specifico, la Variante al PAI del territorio comunale di Masainas approvata con Determinazione del Segretario Generale dell'AdB n. 81 prot. 4481 del 09/05/2022, che a seguito di approfondimenti e modellazioni monodimensionali e bidimensionali ha verificato delle criticità idrauliche che hanno portato alla perimetrazione di aree a pericolosità idraulica anche molto elevata.



**Figura 4. Variante al PAI del Comune di Masainas approvata con Determinazione del Segretario Generale dell'AdB n. 81 prot. 4481 del 09/05/2022**

Le criticità idrauliche rilevate sono legate, come già sopra accennato, ai deflussi che provengono dai versanti della Serra Manna, localizzati a est dell'abitato che consentano di deviare, allontanandoli dal centro urbano, la maggior parte dei deflussi che periodicamente mettono in crisi l'abitato percorrendo la via XX Settembre.

Per di ridurre le portate che raggiungono il centro abitato sono state proposte delle alternative progettuali finalizzate alla realizzazione di un canale di raccolta che permetta di raccogliere i deflussi originati dai bacini di monte e convogliarli a valle del centro abitato.

Come sarà meglio evidenziato nello studio idrologico e idraulico, le criticità già evidenziate nella succitata variante al PAI sono state oggetto di ulteriori approfondimenti anche attraverso l'applicazione di modelli idraulici bidimensionali.

Le principali criticità idrauliche sono legate ai corsi d'acqua che vanno a essere convogliati direttamente sull'abitato. In particolare, si è evidenziato che:

- il FIUME\_324426 va a essere convogliato direttamente sulla via Antonio Gramsci, dove i deflussi si disperdono nell'area abitata senza una direzione dei deflussi ben definita;



- I compluvi più a sud, mappati nella IGM 25V, vanno a convogliare i deflussi in corrispondenza del campo sportivo dove tendono a disperdersi per poi essere collettati verso est nei corsi d'acqua FIUME\_30332 e FIUME\_30544.



**Figura 5. Vista aerea dei versanti della Serra Manna**

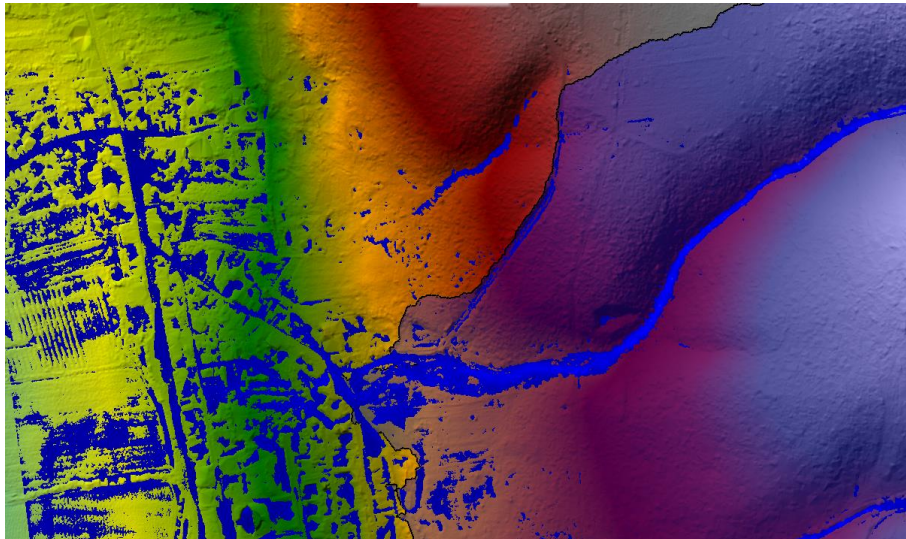


**Figura 6. Vista aerea dell'area dell'abitato oggetto di intervento**

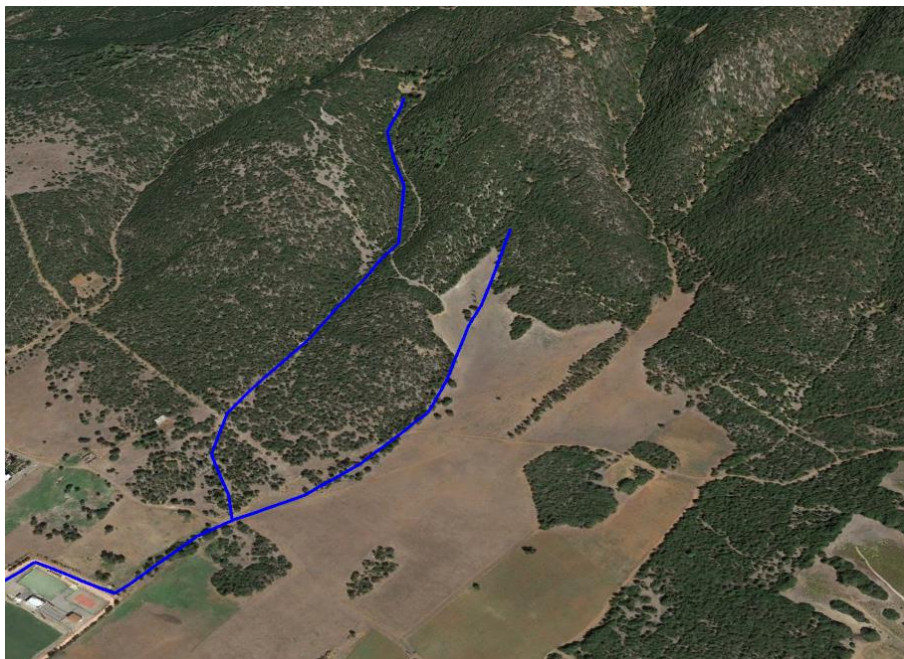
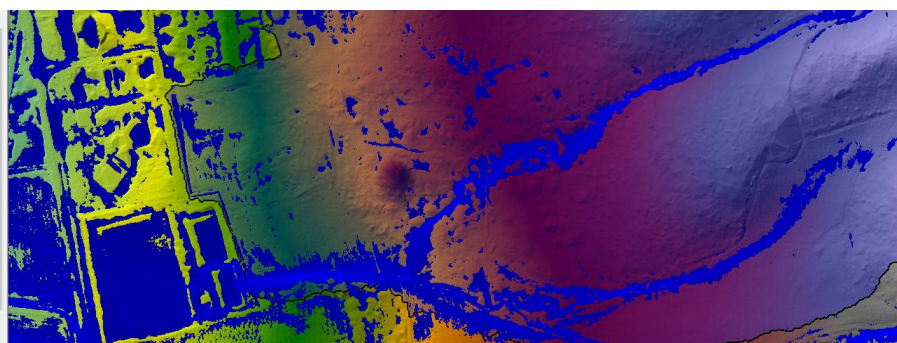




**Figura 7. Fiume\_324426**



**Figura 8. Modello idraulico 2D del Fiume\_324426**

**Figura 9. Compluvi sud-est****Figura 10. Modello idraulico compluvi sud-est**

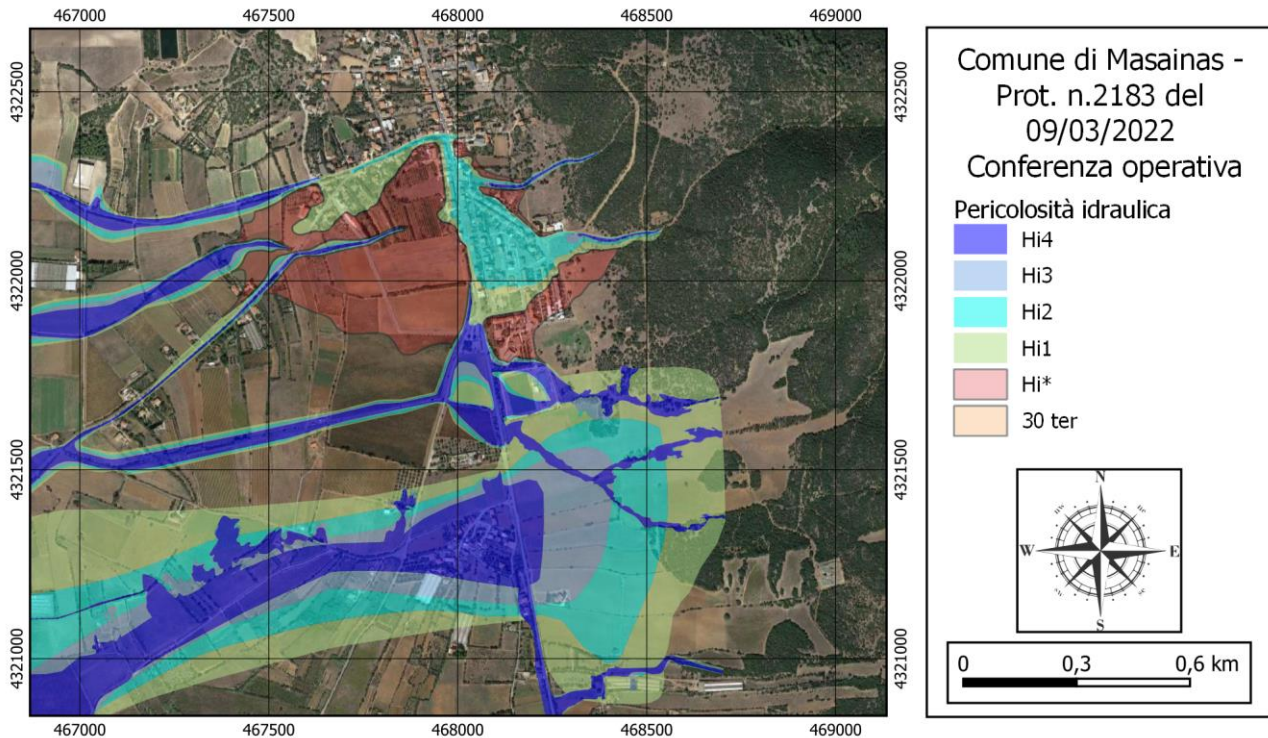
### **3.1 Aree a pericolosità idrogeologica**

#### **3.1.1 Aree a pericolosità Idraulica**

Gli interventi previsti non ricadono all'interno delle aree di pericolosità idraulica perimetrate dal Piano di Assetto Idrogeologico (Figura 11), le stesse sono esterne alle aree a pericolosità idraulica identificate dal Piano Stralcio Fasce Fluviali e dal PGRA.

A seguito dello studio di Variante al PAI del Comune di Masainas ("Approfondimenti puntuali o locali del quadro conoscitivo, relativo allo studio comunale di assetto idrogeologico di cui all'art.8 delle Norme di Attuazione del PAI dell'ambito territoriale relativo all'intero territorio del Comune di Masainas") con Determinazione del Segretario Generale dell'AdB n. 81 prot. 4481 del 09/05/2022 si sono approvate le nuove perimetrazioni di pericolosità idraulica per le aree oggetto di intervento, che ricadono all'interno di pericolosità idraulica anche molto elevata Hi4. Il progetto è pertanto soggetto a Studio di compatibilità idraulica che, secondo quanto previsto dall'art. 23 comma 6bis delle NTA del PAI verrà sottoposto all'Autorità idraulica competente durante le fasi di progettazione definitiva.





**Figura 11. Inquadramento aree a pericolosità idraulica derivanti dalla variante al PAI approvata con Determinazione del Segretario Generale dell'AdB n. 81 prot. 4481 del 09/05/2022**

### 3.1.2 Aree a pericolosità da Frana

Lo stesso studio “Approfondimenti puntuali o locali del quadro conoscitivo, relativo allo studio comunale di assetto idrogeologico di cui all’art.8 delle Norme di Attuazione del PAI dell’ambito territoriale relativo all’intero territorio del Comune di Masainas”, analizza le aree oggetto di intervento definendole superfici non soggette a fenomeni franosi in atto o potenziali.

## 4 Analisi idraulica dello stato di fatto

L'area oggetto di intervento attualmente, durante gli eventi meteorici, è interessata da una componente di deflusso superficiale che si origina dai bacini idrografici situati a est del territorio comunale. La comprensione della genesi del fenomeno idraulico è stata affrontata mediante la realizzazione di un modello 2D volto a ricostruire la reale natura dei deflussi, delle portate e delle direzioni di deflusso. I risultati ottenuti da tale analisi sono stati successivamente confrontati con i risultati ottenuti dagli studi prodotti in precedenza che hanno interessato il territorio oggetto di intervento.

### 4.1 Analisi bidimensionale col HEC-RAS

#### 4.1.1 Equazioni di base del modello

Il modulo bidimensionale si basa sulle cosiddette *Shallow Water (SW) equations*, che si possono ricavare dalle equazioni di Navier-Stokes mediate alla Reynolds sotto le seguenti ipotesi:

- Fluido incomprimibile;
- Distribuzione idrostatica della pressione;
- Accelerazione verticale del fluido trascurabile;
- Pendenza del fondo modesta;
- Lo sforzo al fondo può essere espresso mediante formulazione derivate per flussi stazionari;
- Densità uniforme;

l'equazione di continuità e le equazioni di bilancio della quantità di moto possono essere scritte nella loro forma differenziale come segue:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( \nu_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( \nu_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h}$$

Dove:

- $h$  è la profondità idrica
- $u$  e  $v$  sono le componenti in direzione  $x$  e  $y$  delle velocità mediate sulla verticale
- $q$  è un termine sorgente
- $g$  è l'accelerazione di gravità
- $z_s$  è la quota del pelo libero
- $\nu_{t,xx}$  e  $\nu_{t,yy}$  sono i coefficienti di viscosità turbolenta orizzontali in direzione  $x$  e  $y$
- $\tau_{b,x}$  e  $\tau_{b,y}$  sono gli sforzi al fondo in direzione  $x$  e  $y$
- $R$  è il raggio idraulico
- $\tau_{s,x}$  e  $\tau_{s,y}$  sono gli sforzi del vento in superficie, in direzione  $x$  e  $y$
- $f_c$  è il parametro di Coriolis

Lo sforzo al fondo viene ricavato come:

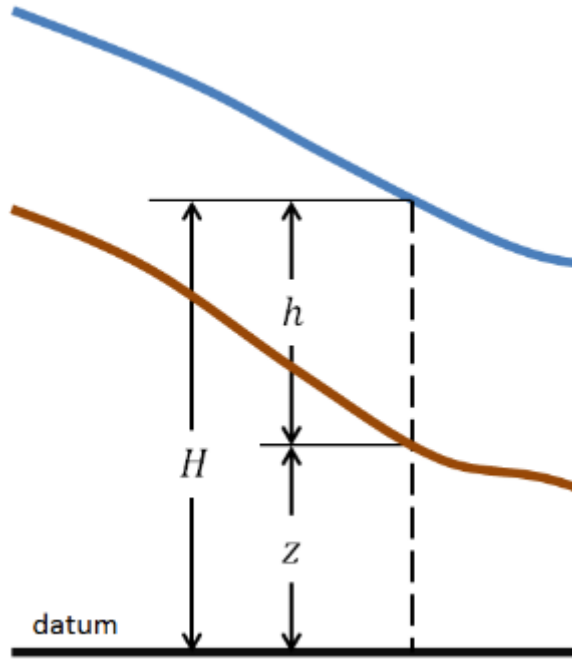
$$\tau_b = \rho C_D |V| V$$

dove  $\rho$  è la densità dell'acqua,  $C_D$  è un coefficiente di attrito che viene ricavato con la formula di Manning:



$$C_D = \frac{n^2 g}{R^{1/3}}$$

Nella quale  $n$  è il coefficiente di Manning [ $s/m^{1/3}$ ].



**Figura 12: Definizione della simbologia utilizzata nelle equazioni**

La forza di Coriolis si ricava come:

$$f_c = 2\omega \sin(\varphi)$$

Dove  $\omega$  è la velocità angolare e  $\varphi$  è la latitudine. Di default la latitudine è impostata pari a zero quindi la forza di Coriolis viene trascurata.

La viscosità turbolenta viene ricavata come:

$$\mathbf{v}_t = \mathbf{D} u_* h + (C_S \Delta)^2 |\bar{S}|$$

Dove  $\mathbf{D}$  è il tensore dei coefficienti di mescolamento,  $u_*$  è la velocità d'attrito,  $C_S$  è il coefficiente di Smagorinsky.  $\Delta$  è la risoluzione della griglia di calcolo,  $|\bar{S}|$  è il tensore velocità di deformazione:

$$|\bar{S}| = \sqrt{2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}$$

il tensore dei coefficienti di mescolamento è dato da:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} D_{xx} & 0 \\ 0 & D_{yy} \end{bmatrix}$$

Dove

$$D_{xx} = D_L \cos^2 \theta + D_T \sin^2 \theta$$

$$D_{yy} = D_L \sin^2 \theta + D_T \cos^2 \theta$$

Dove  $D_L$  e  $D_T$  sono dei coefficienti di mescolamento longitudinale e trasversale,  $\theta$  è la direzione della velocità. Alcuni valori dei coefficienti di mescolamento si possono trovare tabulati nel manuale del programma.

#### 4.1.1.1 L'approssimazione diffusiva

Per ridurre i tempi di calcolo, spesso, piuttosto che risolvere le *SW equations* illustrate in precedenza si ricorre alla cosiddetta approssimazione diffusiva (*Diffusion Wave Approximation*).

Nei flussi in cui gli sforzi al fondo e la forza di gravità sono predominanti rispetto alle altre forze, l'equazione di bilancio della quantità di moto si può semplificare nella forma:

$$\frac{n^2}{R^{4/3}} |\mathbf{V}| \mathbf{V} = -\nabla z_s$$

Combinando l'equazione di continuità e quella della quantità di moto, il sistema di equazioni differenziali si riduce ad una singola equazione:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \nabla \cdot (\beta \nabla z_s) + q$$

dove

$$\beta = \frac{R^{2/3} h}{n |\nabla z_s|^2}$$

#### 4.1.2 Condizioni al contorno

In ciascun contorno del dominio, per ciascun istante di calcolo, occorre specificare una condizione al contorno. HEC-RAS permette di specificarne tre tipi:

- **Water surface elevation** (quota del pelo libero)
- **Normal Depth** (pendenza del fondo coincidente con quella del pelo libero nell'ipotesi di moto uniforme)
- **Flow** (portata)



## 4.2 Impostazione della simulazione

È stata effettuata una simulazione di tipo *Rain on grid* utilizzando come input un idrogramma rettangolare.

La modellazione idraulica è stata condotta utilizzando il DTM 1X1 della regione Sardegna. Si è utilizzata una griglia di calcolo variabile, raffittendola attorno alle direzioni di deflusso principale, sino ad una risoluzione pari a 1 m. I calcoli sono stati effettuati mediante l'utilizzo dell'algoritmo di discretizzazione *Diffusion Wave Approximation*.

## 4.3 Risultati modellazione

Nella figura sottostante sono riportate le profondità della corrente ottenute mediante il modello bidimensionale di HEC-RAS 6.1.

Le principali criticità idrauliche sono legate ai corsi d'acqua che vanno a essere convogliati direttamente sull'abitato. In particolare, si nota che:

- il FIUME\_324426 va a essere convogliato direttamente sulla via Antonio Gramsci, dove i deflussi si disperdono nell'area abitata senza una direzione dei deflussi ben definita
- I compluvi più a sud, mappati nella IGM 25V, vanno a convogliare i deflussi in corrispondenza del campo sportivo dove tendono a disperdersi per poi essere collettati verso est nei corsi d'acqua FIUME\_30332 e FIUME\_30544.

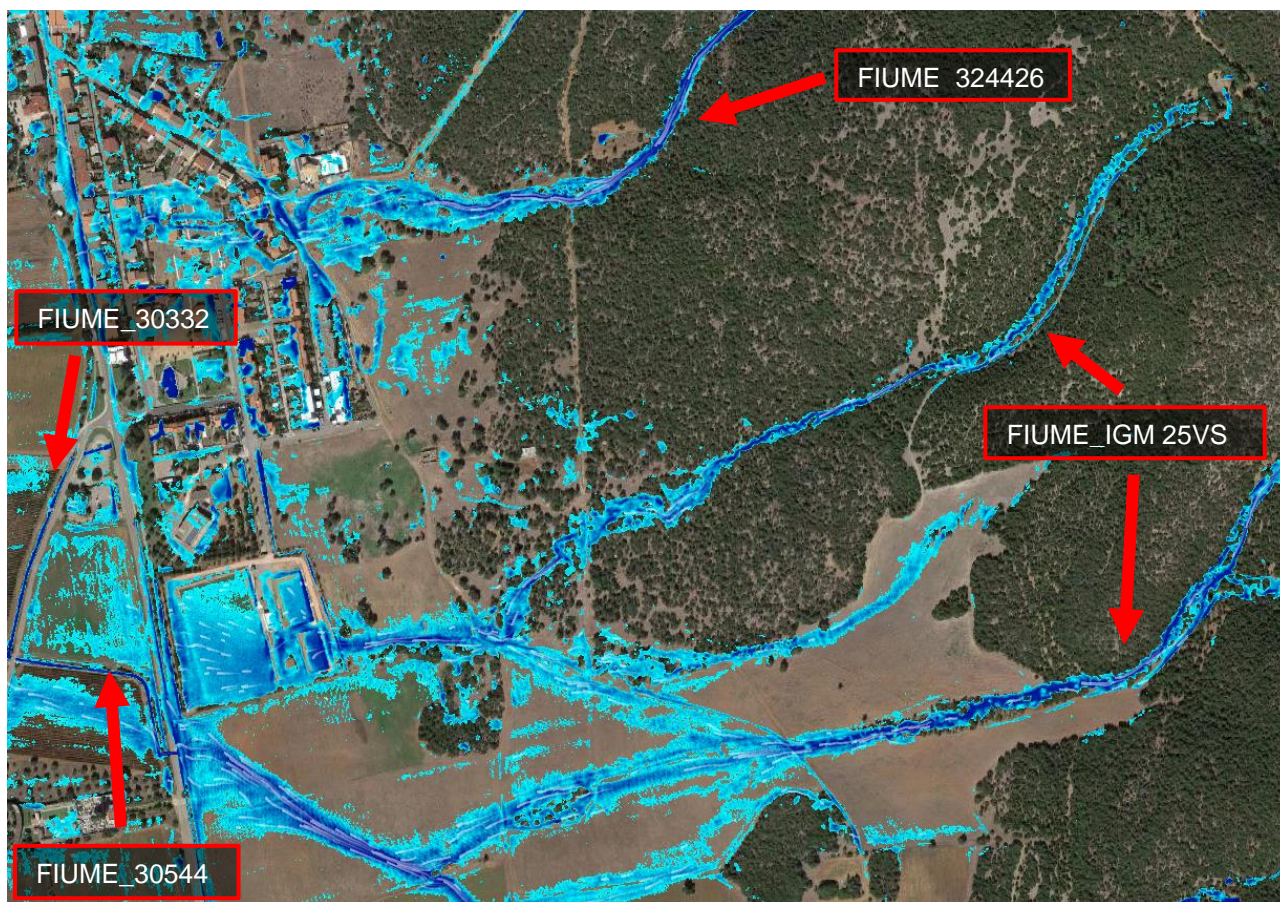


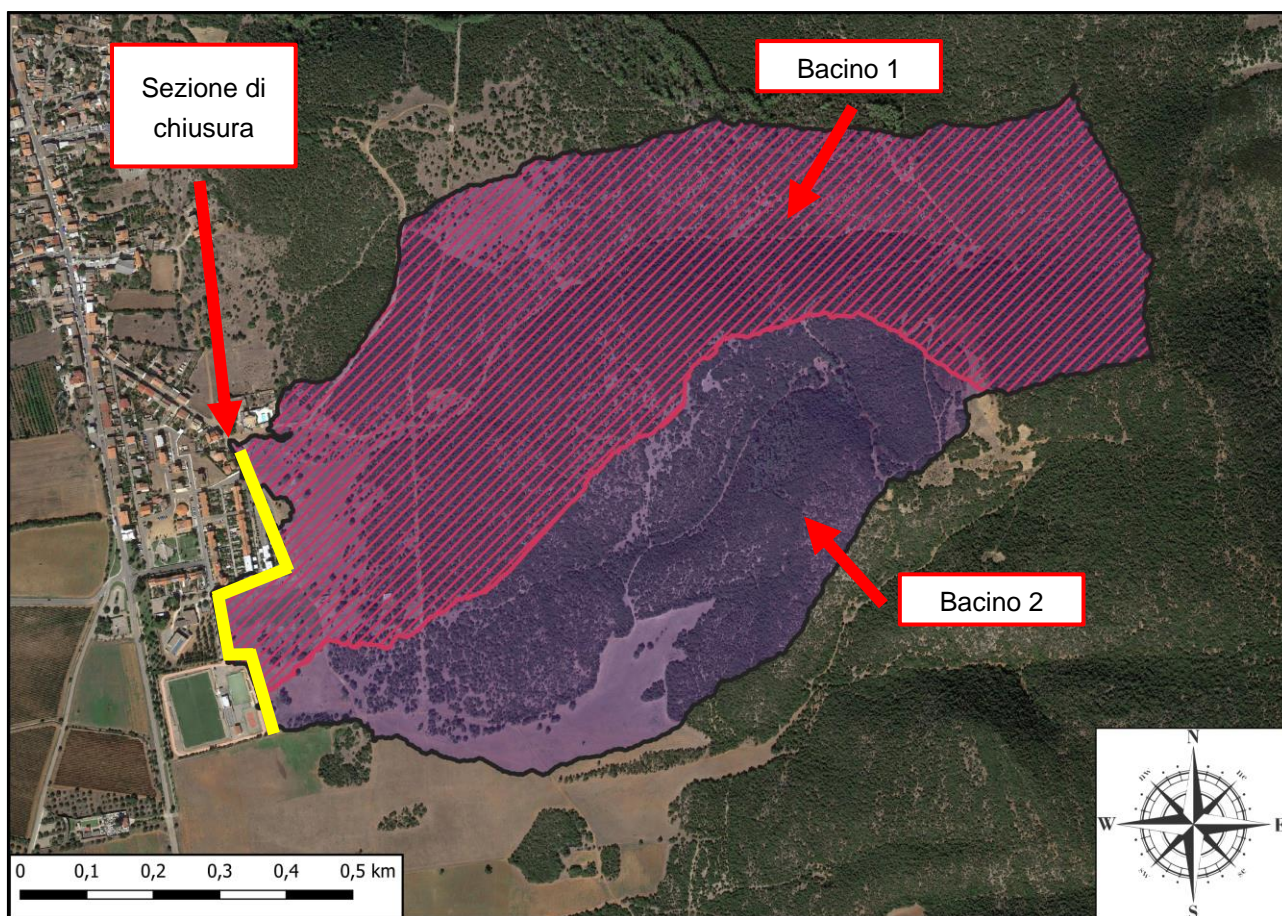
Figura 13: Risultati modello bidimensionale



## 5 Analisi idrologica

Per la determinazione delle portate di piena necessarie al dimensionamento degli interventi in progetto si è fatto riferimento ai bacini idrografici contribuenti al deflusso nella parte sud del centro urbano generati a partire da una sezione di chiusura posta lungo via XX Settembre, Via Antonio Gramsci e Via Aldo More come riportato in Figura 14.

La portata di dimensionamento è stata stimata mediante il metodo razionale. La determinazione della precipitazione critica è stata effettuata utilizzando la curva di possibilità pluviometrica TCEV. I bacini di interesse ricadono nella zona occidentale, SZO 2. La pioggia indice giornaliera nell'area di studio è pari a 46.20 mm. L'altezza di precipitazione netta è stata calcolata mediante il metodo SCS-Curve Number. La determinazione del CN è stata effettuata secondo la metodologia indicata nel PSFF.



**Figura 14: Bacini contribuenti**

### 5.1 Parametri morfometrici

Per il bacino di studio sono stati valutati i parametri morfometrici necessari all'analisi idrologica utilizzando il DTM di maglia 1 m della Regione Autonoma della Sardegna.

Per ciascuno dei bacini idrografici oggetto di analisi idrologica sono stati determinati i seguenti parametri:

- Superficie del bacino A
- Perimetro del bacino P

- Altitudine media del bacino  $H_m$ , calcolata automaticamente dal DTM come risultato di un'analisi di tipo statistico delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico;
- Pendenza media del bacino, calcolata automaticamente dal DTM come media delle pendenze delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico
- Lunghezza dell'asta principale  $L$ ;
- Pendenza media dell'asta principale  $j_m$ , calcolata applicando la seguente formula:

$$\sqrt{j_m} = \frac{L}{\sum \frac{L_k}{\sqrt{i_k}}}$$

in cui  $L$  è la lunghezza dell'asta principale,  $L_k$  e  $i_k$  sono rispettivamente la lunghezza e la pendenza del  $k$ -esimo tratto elementare;

- Quota alla sezione di chiusura  $H_0$
- Quota massima  $H_{max}$
- Dislivello massimo  $\Delta z$

## 5.2 Determinazione del Curve Number (CN)

Il parametro CN, che va a definire la capacità d'infiltrazione del bacino, e consente l'applicazione del metodo SCS-Curve Number per la determinazione delle perdite di bacino durante un evento di piena, è stato derivato a partire dalle mappe dell'uso del suolo e del tipo suolo, a disposizione nel Geoportale della Regione Sardegna, come risultato di un'analisi di tipo statistico sull'area del bacino.

In particolare, per la definizione del CN si è fatto riferimento alla metodologia illustrata nel P.S.F.F., il quale valuta il CN a partire dalle classi di Uso del Suolo, che vengono poi corrette con un  $\Delta CN$  variabile tra -5 e 15 determinato dalla litologia. Per effettuare il calcolo del CN si sono utilizzate la carta di Uso del Suolo del 2008 e la carta geologica della Sardegna 1:25.000 della Regione Sardegna, modificate sulla base delle ortofoto più recenti a disposizione.

Il valore calcolato è relativo ad una permeabilità del suolo media, riferita ad una condizione precedente all'inizio dell'evento (condizione AMC II), pertanto il coefficiente è stato ulteriormente corretto calcolando il valore riferito ad una condizione dei suoli bagnati con una limitata capacità di infiltrazione, tipica ad esempio di situazioni in cui siano cadute forti piogge nel periodo antecedente l'evento critico (condizione AMC III). Quest'ultimo valore è stato assunto come CN di riferimento, poiché riferito a delle condizioni più cautelative.

In Tabella 1 sono riportati i parametri morfometrici ed il Curve Number calcolati per bacini analizzati.



			<b>BACINO 1</b>	<b>BACINO 2</b>
<b>Lunghezza asta principale</b>	La	[m]	1594.381	1594.381
<b>Pendenza asta principale</b>	ia	[-]	0.0861	0.086
<b>Elevazione a monte</b>	zmax	[m]	263	263
<b>Quota sezione di chiusura</b>	zmin	[m]	61	61
<b>Dislivello massimo</b>	$\Delta z$	[-]	202.31	202.31
<b>Perimetro del bacino</b>	P	[m]	5011.05	5320.10
<b>Area del bacino</b>	S	[mq]	562693.72	844237.63
<b>Pendenza media del bacino</b>	ib	[-]	0.1897	0.1094
<b>Altezza media del bacino</b>	Hm	[m]	141	136
<b>Curve Number (AMC-II)</b>	CN(II)	[-]	74.76	73.41
<b>Curve Number (AMC-III)</b>	CN(III)	[-]	87.2	85.359

Tabella 1: Parametri morfometrici del bacino del canale San Nicola

### 5.3 Tempo di corrivazione

La determinazione del tempo di corrivazione è stata fatta utilizzando le formule Soil Conservation Service, di Pasini e di Ventura, che sono adeguate alla valutazione per bacini di piccole dimensioni.

Ventura:

$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{J_m}}$$

Pasini:

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}}$$

Soil Conservation Service:

$$T_c = 0.00227(1000L)^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} i_b^{-0.5}$$

dove

**A**: superficie del bacino [Km<sup>2</sup>];

**L**: lunghezza dell'asta principale [Km];

**H<sub>m</sub>**: altitudine media del bacino [m];

**H<sub>o</sub>**: altitudine della sezione finale del bacino [m];

**j<sub>m</sub>**: pendenza media dell'asta principale del corso d'acqua [-];

**ib:** pendenza media del bacino [-];

**CN:** curve number [-];

Tra questi si è scelto quello più cautelativo, che risulta quello SCS con CN(AMC-III) per il bacino 1 e 2 (vedi Tabella 2 e Tabella 3).

<b>SCS (CN-II)</b>	[min]	32.0	[ore]	0.534
<b>SCS (CN-III)</b>	<b>[min]</b>	<b>21.5</b>	<b>[ore]</b>	<b>0.358</b>
<b>Pasini</b>	[min]	21.3	[ore]	0.355
<b>Ventura</b>	[min]	19.5	[ore]	0.325

**Tabella 2: Calcolo del tempo di corrivazione – bacino 1**

<b>SCS (CN-II)</b>	[min]	34.2	[ore]	0.569
<b>SCS (CN-III)</b>	[min]	23.7	[ore]	0.395
<b>Pasini</b>	[min]	24.5	[ore]	0.408
<b>Ventura</b>	[min]	24.0	[ore]	0.400

**Tabella 3: Calcolo del tempo di corrivazione – bacino 2**

## 5.4 Determinazione della portata di piena

La determinazione delle portate di piena può avvenire con diverse metodologie in relazione ai dati disponibili per la loro valutazione. Si possono individuare dei *metodi diretti* basati sull'elaborazione di misure di portata disponibili per il bacino di studio o per bacini idrologicamente simili a quello considerato, e dei *metodi indiretti* facendo ricorso a equazioni che permettano di ottenere la sola portata al colmo oppure tramite modelli di trasformazione afflussi-deflussi. I metodi diretti prescindono dall'influenza che i diversi fattori morfologici hanno nella formazione dei deflussi, si fondano sull'analisi probabilistica di una o più serie storiche di misura di portata della piena. I metodi indiretti possono invece essere ulteriormente suddivisi in empirici e analitici. I metodi empirici consentono la valutazione della portata massima di piena sulla base dei parametri morfometrici del bacino imbrifero, mentre i metodi analitici prendono in considerazione tutte quelle relazioni che hanno un fondamento fisico e si basano, anche in maniera semplificata, sull'impostazione di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena.

Nel presente studio le portate di piena sono state determinate mediante il **metodo indiretto con applicazione del metodo razionale e determinazione della precipitazione critica tramite metodo TCEV**.

### 5.4.1 Metodi indiretti

Questi metodi nascono dalla scarsa disponibilità di osservazioni storiche di portata, unita alla necessità di avere a disposizione stime sui vari parametri caratterizzanti le diverse sezioni idrologiche lungo i corrispondenti tronchi critici. Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizza quella della portata al colmo.

Secondo le indicazioni delle Linee Guida PAI, la portata al colmo è derivata con il metodo razionale. Tale metodo è basato sull'ipotesi che l'evento meteorico, che inizia istantaneamente e ha intensità costante nello spazio e nel tempo, abbia una portata che aumenti fino ad un tempo pari al tempo di corrivazione  $t_c$ , quando tutta l'area del bacino contribuisce al deflusso. La portata al colmo è allora pari al prodotto tra l'intensità di precipitazione ( $i$ ), di assegnata durata e periodo di ritorno ( $T_R$ ), il coefficiente di assorbimento ( $\Phi$ ), la superficie del bacino ( $A$ ), il coefficiente di laminazione  $\varepsilon(t)$ :

$$Q_c = i[\theta, T_R, r(\theta, A)] \phi A \varepsilon(\theta)$$

dove:

$i$ : intensità di precipitazione di assegnata durata  $d$  e periodo di ritorno  $T_R$

$\Phi$ : coefficiente di assorbimento,

$A$ : superficie del bacino

$\varepsilon(\theta)$ : coefficiente di laminazione

$\theta$ : durata critica

$r(\theta, A)$ : il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino

Si descrivono di seguito descritte le ipotesi e le metodologie di stima dei suddetti parametri.

La durata di pioggia critica ( $\theta$ ), è assunta pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale ( $t_f$ ) e del tempo di corrivazione ( $t_c$ ):

$$\theta_c = t_f + t_c$$

Il tempo di formazione  $t_f$  è ricavato iterativamente con la formula seguente, e successivamente sommato a  $t_c$  per il calcolo della durata critica:

$$t_f = \frac{I_a}{i(\theta_c, r)}$$

Il **tempo di corrivazione** è stato valutato le formule illustrate in precedenza e, al fine dei calcoli idrologici, si è scelto di usare la formula che garantisce il valore di tempo di corrivazione inferiore.

**L'intensità di precipitazione**  $i[\theta, T_R, r(\theta, A)]$  che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione,  $d$ , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno  $T_R$ . La determinazione della pioggia lorda è stata condotta con le curve di possibilità pluviometrica Log-Normale e TCEV, come indicato di seguito.

**L'altezza di pioggia ragguagliata** ottenuta calcolata per la durata critica  $\theta$  di ogni bacino viene quindi ragguagliata all'area tramite il parametro  $r$ , secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \theta^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \theta^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

dove:

$\theta$  è la durata critica della precipitazione;

$A$  è la superficie del bacino (espressa in  $\text{km}^2$ ).



L'altezza di pioggia netta, ovvero la quota parte della precipitazione totale (lorda) al netto delle perdite di bacino dovute all'infiltrazione nei suoli, alla intercezione fogliare delle piante e agli accumuli d'acqua nelle piccole depressioni, può essere calcolata con il metodo SCS-Curve Number, in cui

$$h_N = \frac{(h_r(\theta) - 0.2S)^2}{h_r(\theta) - 0.8S} \quad [mm]$$

dove

$h_r$  = precipitazione meteorica ragguagliata (mm);

$S$  = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione (mm).

Il valore  $S$  è calcolato dall'equazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) \quad [mm]$$

in cui il valore del CN è valutato come indicato precedentemente.

**Il coefficiente di laminazione**,  $\varepsilon(t)$ , dovrà essere opportunamente valutato a seconda dell'estensione e delle caratteristiche topografiche del bacino idrografico sotteso facendo riferimento ai ben noti modelli concettuali della corrivazione e dell'invaso. Nell'analisi effettuata, questo è stato posto pari a 1.

#### 5.4.2 Curva di possibilità pluviometrica della distribuzione TCEV

La curva di possibilità pluviometrica della distribuzione TCEV utilizzata è la seguente:

$$hT(\tau) = \mu(\tau)K_T(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{n_1 n_2}$$

con la pioggia indice di durata  $\tau$  (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata  $\tau$ ) espressa come funzione della stessa durata e della pioggia indice giornaliera:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1}$$

dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera  $\mu(g)$ :

$$a_1 = \mu(g) / (0,886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0,493 + 0,476 \log_{10} \mu(g)$$

La pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in Figura 15.

L'altezza di pioggia  $h_T(\tau)$  di durata  $\tau$  con assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $\mu(\tau)$  per un coefficiente di crescita:

$$K_T(\tau) = a_2 \tau^{n_2}$$

$a_2$  e  $n_2$  si ricavano, per tempi di ritorno superiori ai 10 anni, con le seguenti relazioni, distinte per sottozona così come individuata in Figura 15. I bacini oggetto di studio sono appartenenti alla sottozona SZO 2.

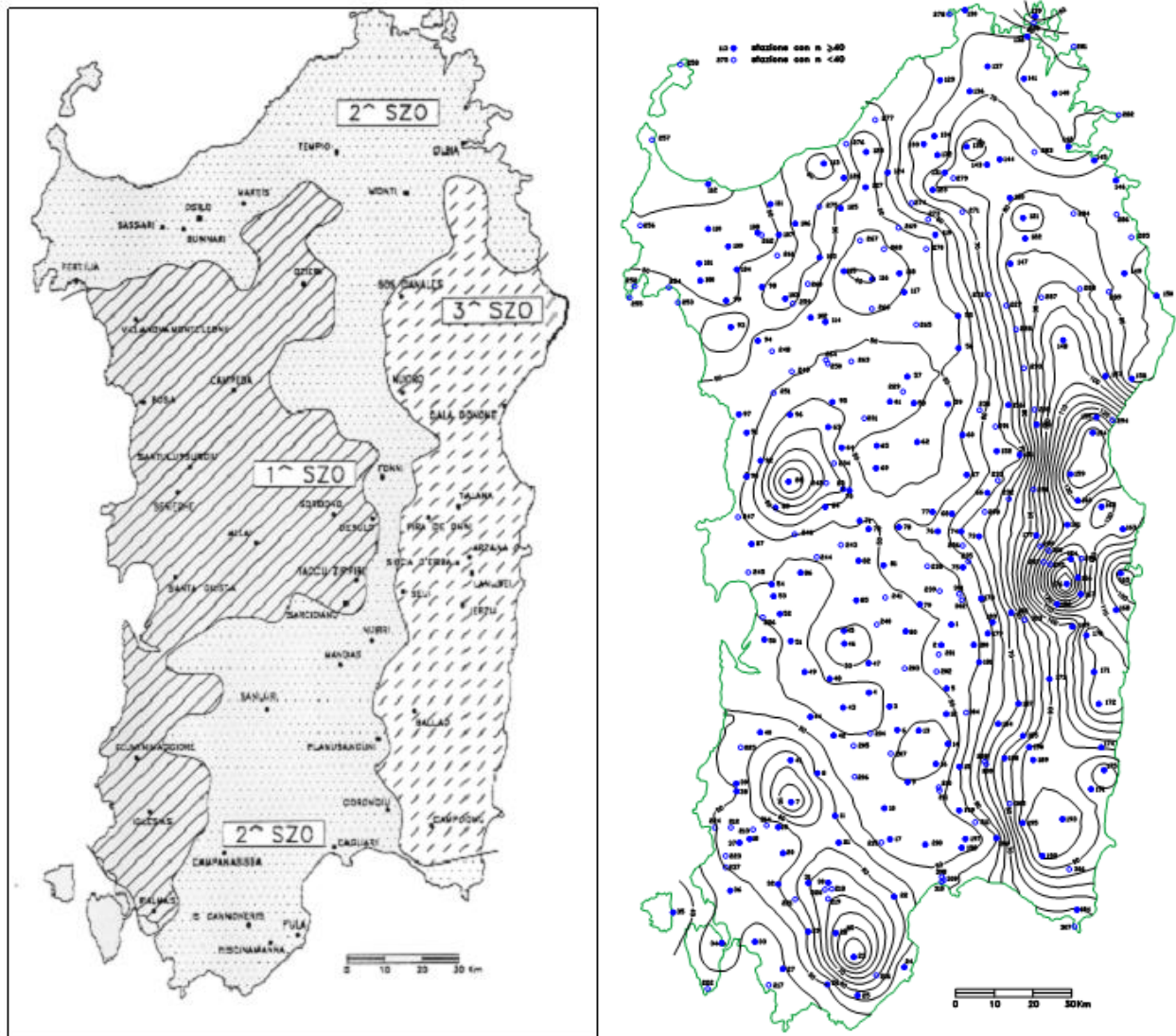


Figura 15: sotto-zone omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna (a sinistra) e distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia indice giornaliera in Sardegna (a destra)

Recenti studi per la Sardegna mostrano che il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

### 5.4.3 Portate di piena per il canale in progetto

L'analisi idrologica ha portato alla definizione delle portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni alla sezione di chiusura del bacino (Tabella 4 e Tabella 5).

Tempo di ritorno	50	100	200	500
Altezza di precipitazione lorda (mm)	33.23	36.55	39.82	44.18
Altezza di precipitazione netta (mm)	10.53	12.75	15.04	18.22
Intensità di precipitazione lorda (mm/h)	71.117	80.406	89.540	101.706
Intensità di precipitazione ragguagliata (mm/h)	68.10	76.96	85.67	97.27
Intensità di precipitazione netta (mm/h)	22.54	28.05	33.82	41.95
Portata (mc/s)	<b>3.52</b>	<b>4.38</b>	<b>5.29</b>	<b>6.56</b>

*Tabella 4: Portate di piena calcolate per il Bacino 1*

Tempo di ritorno	50	100	200	500
Altezza di precipitazione lorda (mm)	35.16	38.77	42.31	47.00
Altezza di precipitazione netta (mm)	9.87	12.13	14.48	17.74
Intensità di precipitazione lorda (mm/h)	65.789	74.926	83.898	95.790
Intensità di precipitazione ragguagliata (mm/h)	62.71	71.37	79.88	91.16
Intensità di precipitazione netta (mm/h)	18.47	23.45	28.71	36.16
Portata (mc/s)	4.39	5.56	6.80	8.56

*Tabella 5: Portate di piena calcolate per il Bacino 2*



## 6 Descrizione degli interventi

Gli interventi proposti hanno lo scopo di “alleggerire” il centro urbano dalle criticità idrauliche innescate da eventi intensi che provocano allagamenti nella zona di Via XX Settembre. La soluzione che si intende proporre prevede la costruzione di un canale di raccolta che consente il displuvio delle acque a valle del paese.

Il canale di raccolta è stato dimensionato con la finalità di intercettare i deflussi provenienti dai bacini che alimentano l'asta denominata FIUME\_324426 e l'asta superiore presente nell'IGM 25VS e identificata anche mediante la modellazione 2D come osservato in Figura 13. La soluzione di progetto prevede la realizzazione di 2 opere di intercettazione, la prima necessaria ad intercettare i deflussi provenienti dalla strada e la seconda ad intercettare i deflussi provenienti dall'asta denominata FIUME\_324426. L'opera di presa è costituita da una griglia continua longitudinale in ghisa sferoidale classe C250 (Figura 16).

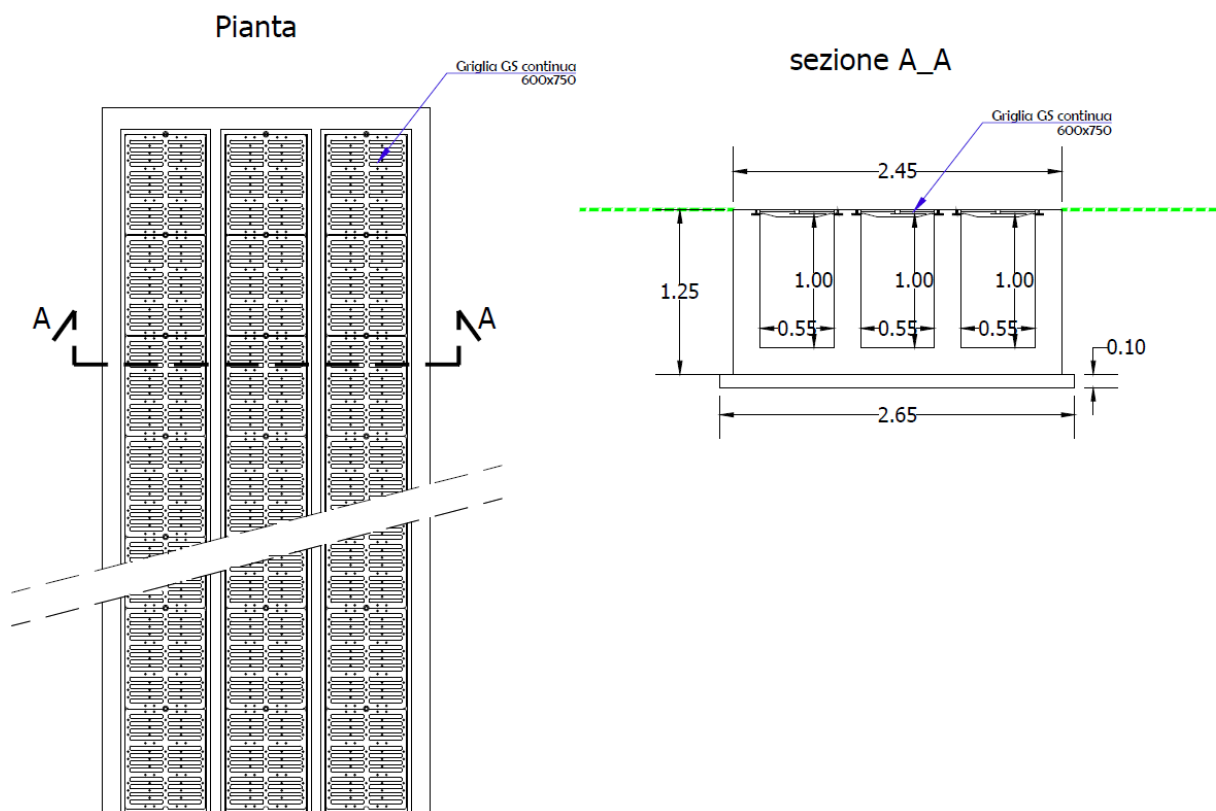


Figura 16: Opera di presa

Le due opere di presa sono collegate tra loro mediante la predisposizione di due tubazioni interrato DN600 dimensionate per smaltire, nel rispetto dei franchi imposti dalla Circolare Ministero LL.PP. n.11633 del 07/01/1974, una portata complessiva di 1.1 m<sup>3</sup>/s.

Il canale di drenaggio è stato dimensionato fornendo in input due portate differenti derivanti dall'analisi idrologica dei due bacini riportati in Figura 14. Il bacino contribuente 1 (retino tratteggiato rosso) è caratterizzato da una superficie pari a 0.56 km<sup>2</sup> e da una portata di 5.29 m<sup>3</sup>/s. I deflussi generati dal presente bacino sono drenati tramite la realizzazione del tratto di monte. Il canale a valle del primo attraversamento è stato dimensionato utilizzando le portate derivanti dal bacino contribuente 2 caratterizzato da una superficie di 0.85 km<sup>2</sup> e da una portata di 6.8 m<sup>3</sup>/s. Tale scelta è motivata dal fatto che il canale, 20 metri a monte dell'attraversamento 2, riceve dal canale di drenaggio preesistente i deflussi derivanti dal bacino 2. Nello specifico, il canale in questione attualmente non è in grado di convogliare le portate in arrivo con tempo di

ritorno di 200 anni (parte del deflusso raggiunge il campo antistante), ma in ottica di un futuro intervento si è scelto di dimensionare il secondo tratto del canale nell'ipotesi di pieno indirizzamento di tale portata.

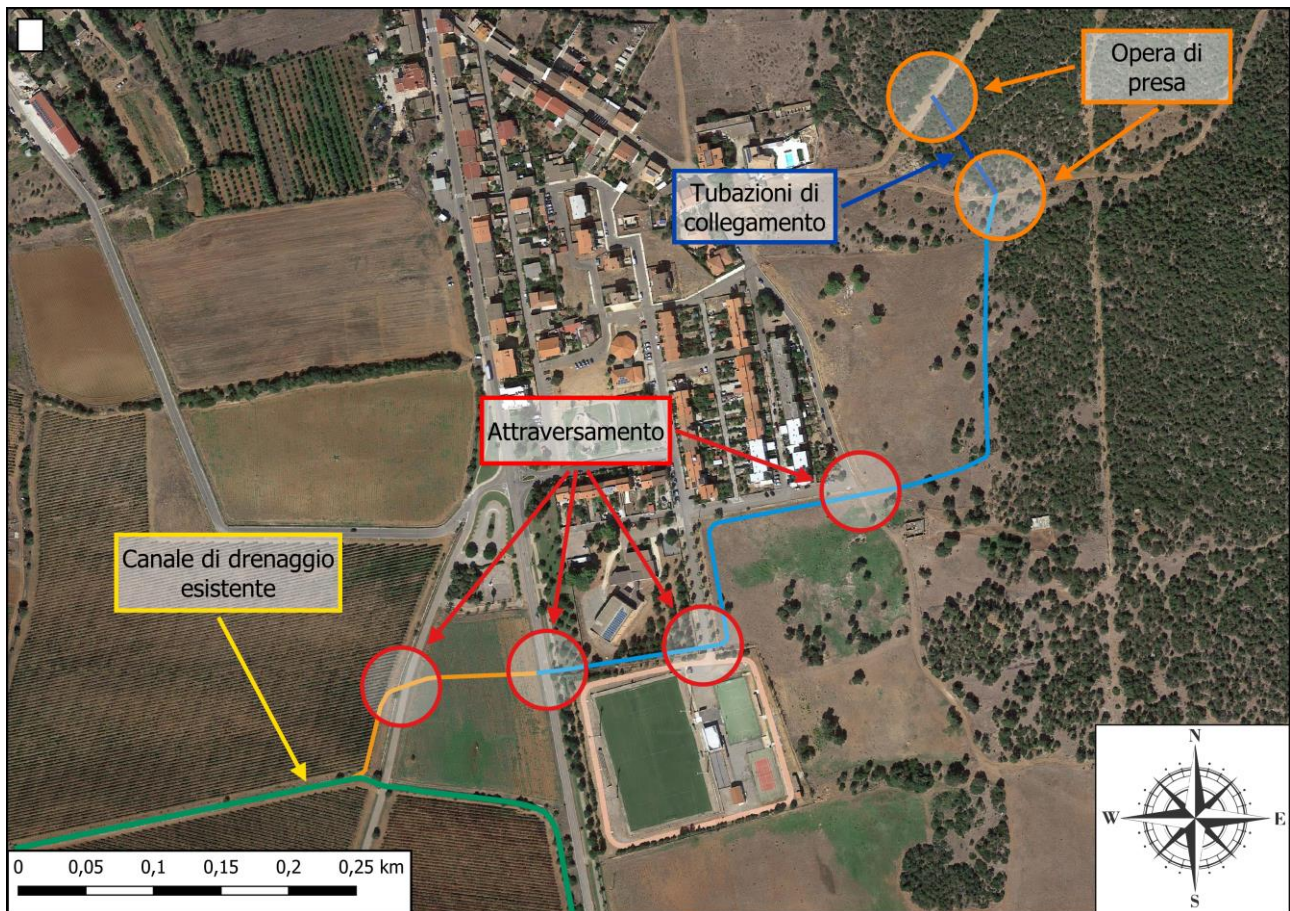


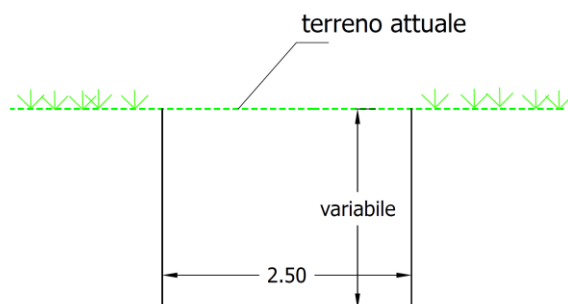
Figura 17: Tracciato canale di progetto

Data la diversa natura dei terreni attraversati, caratterizzati da una parte a monte della S.S. 195 stratigraficamente composta da materiali lapidei e da un piccolo strato superiore di terreno sciolto e da una parte a valle della S.S. 195 (terzo attraversamento) composto da una percentuale più elevata di terreno sciolto, si è optato per la realizzazione di un canale caratterizzato da due differenti sezioni trasversali. Nello specifico, si distinguono le seguenti sezioni di progetto:

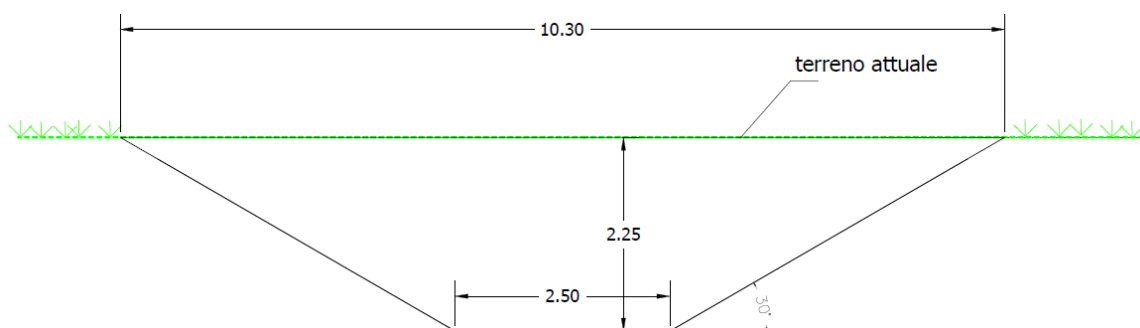
- Sezione rettangolare (Sezione di monte): si estende dalla seconda opera di prese fino al terzo attraversamento ed è caratterizzata da una profondità media di 2 metri e una base di 2.5 metri.
- Sezione trapezia (Sezione di valle): si estende dal terzo attraversamento fino all'immissione nel canale di drenaggio esistente ed è caratterizzata da una base di 2.5 metri, profondità media di 2 metri e pendenza delle sponde pari a 1/1.75. (Tale canale sarà realizzato per circa 25m con il presente intervento mentre il completamento fino al canale di drenaggio esistente, sarà previsto in fase successiva per mancanza di copertura economica nel presente finanziamento)

Al fine di garantire la verifica dei franchi longitudinali di cui *art. 21 comma 1 e comma 2 lettera d. delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna*, si è provveduto a disporre un muro arginale in c.a. di altezza 1.10 metri in destra e sinistra idraulica nella parte in curva del tracciato fino all'attraversamento 1. Unitamente agli argini in c.a., sono stati predisposti degli argini in terra di altezza massima pari a 0.75 metri a valle dell'attraversamento 4 al fine di garantire il rispetto dei suddetti franchi e il convogliamento delle portate all'interno del canale di drenaggio esistente.

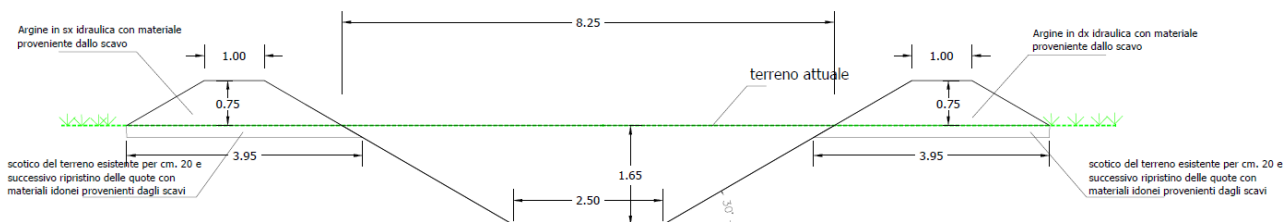
Vista la vicinanza del canale ad alcune strade, sono state previste in una fase successiva (per mancanza attuale di copertura economica ovvero come opere complementari da prevedersi a valere sulle economie di gara), l'installazione di balaustre di protezione in legno.



**Figura 18: Sezione tipo – Rettangolare (modificare)**



**Figura 19: Sezione tipo - Trapezoidale**



**Figura 20: Sezione tipo - Canale a valle del 4 attraversamento**

Il tracciato del canale di drenaggio lungo il suo sviluppo prevede la realizzazione di 4 attraversamenti stradali. In virtù delle pendenze, delle portate convogliate in ogni singolo tratto del canale e dei risultati della modellazione idraulica riportata nel capitolo successivo, si è provveduto a dimensionare gli attraversamenti con uno scatolare prefabbricato delle dimensioni di 250 cm di base, 200 cm di altezza e con uno spessore di 16 cm disposto su una fondazione di spessore 20 cm realizzata con doppia rete elettrosaldata dello spessore di 20cm.



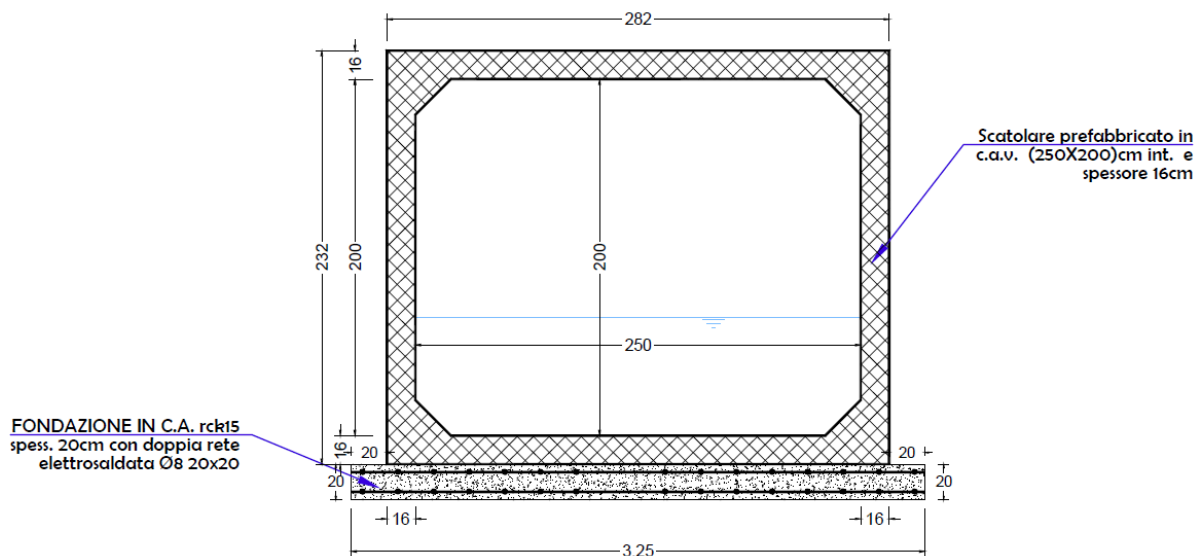


Figura 21: Attraversamento tipo 1

Al fine di stabilizzare il pelo libero e di ridurre le velocità della corrente in prossimità di curve e attraversamenti sono stati previsti 6 salti di fondo aventi le seguenti caratteristiche:

- n° 3 salti di fondo di altezza 1 metro posti immediatamente a monte del primo attraversamento;
- n° 1 salto di fondo dell'altezza di 0.55 metri posto in mezzeria del tratto compreso tra i primi due attraversamenti a monte della curva. Tale salto si rende necessario al fine di ridurre le velocità della corrente e conseguentemente al fine di contenere il sovrizzo in curva;
- n° 2 salti di fondo dell'altezza di 0.95 metri e 0.85 metri posti immediatamente a monte del terzo attraversamento;

Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla tavola 7 – Sezioni tipo.

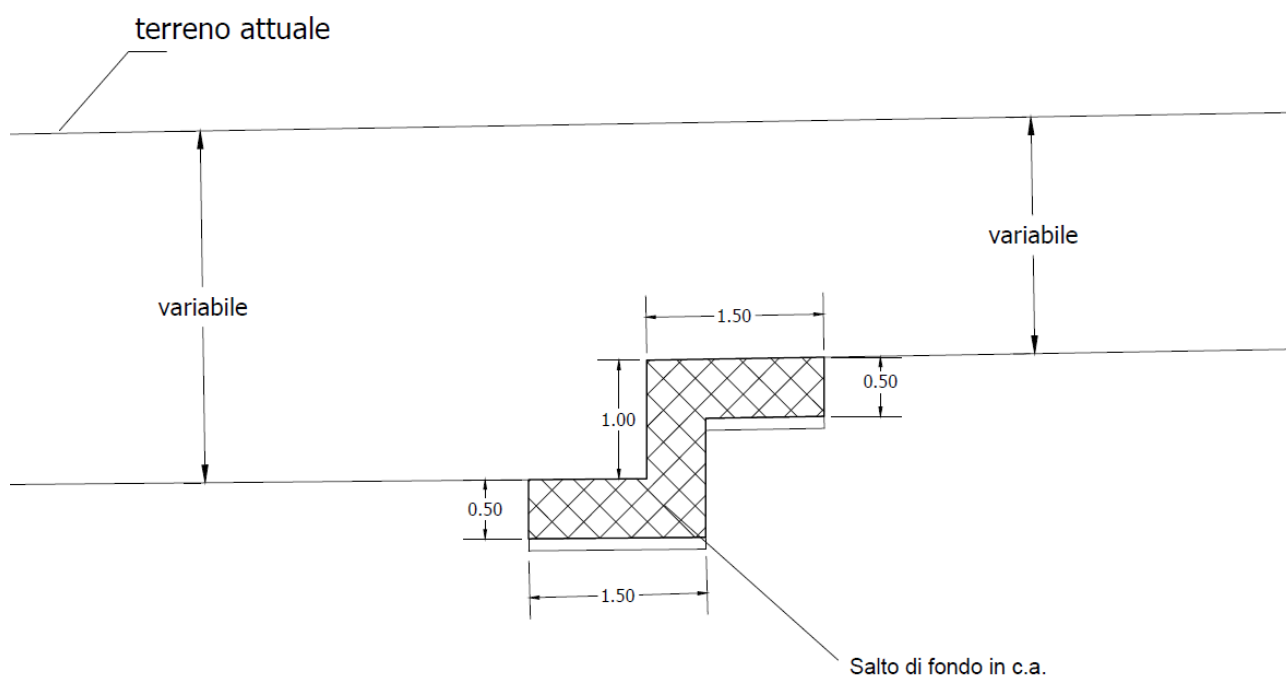


Figura 22: Sezione tipo - Salto di fondo a monte del 1 attraversamento

## 7 Dimensionamento idraulico condotte di collegamento

### 7.1 Analisi idrologica bacino di drenaggio

L'analisi idrologica necessaria a determinare le portate di dimensionamento delle due condotte di collegamento è stata effettuata utilizzando le stesse metodologie riportate nel capitolo 5 Analisi idrologica. Dunque, nel presente capitolo ci limitiamo a descrivere i risultati ottenuti dal suddetto approccio.

Il dimensionamento idraulico delle due condotte di giunzione tra le opere di presa è stato eseguito a partire dal bacino riportato in Figura 23 avente le caratteristiche riportate in Tabella 6.

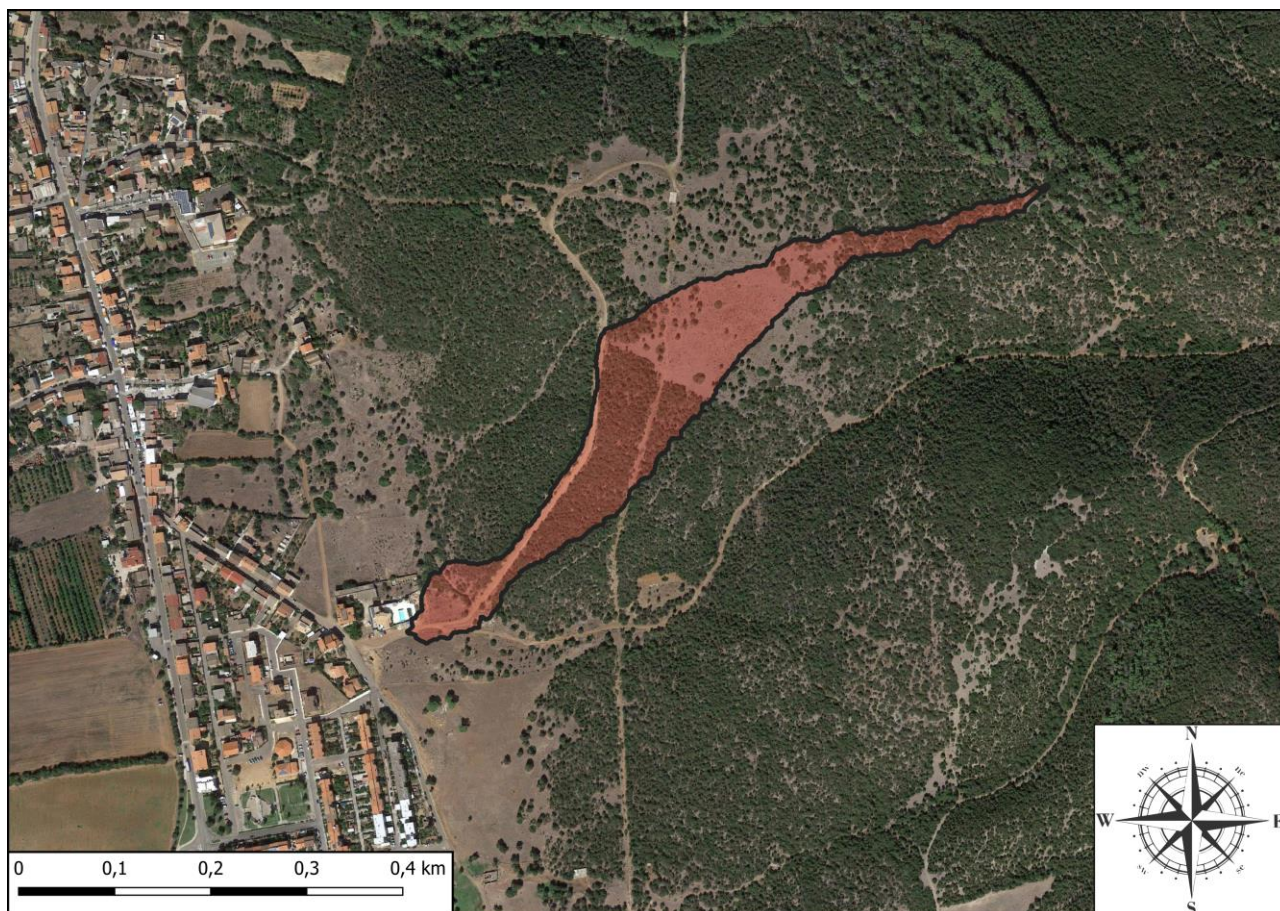


Figura 23: Bacino sotteso da Opera di presa di monte

In Tabella 6 sono riportati i parametri morfometrici ed il Curve Number calcolati per bacini analizzati.

			<b>BACINO</b>
<b>Lunghezza asta principale</b>	La	[m]	918.24
<b>Pendenza asta principale</b>	ia	[-]	0.075
<b>Elevazione a monte</b>	zmax	[m]	151.83
<b>Quota sezione di chiusura</b>	zmin	[m]	70.38
<b>Dislivello massimo</b>	$\Delta z$	[-]	81.45

			<b>BACINO</b>
<b>Perimetro del bacino</b>	P	[m]	2020.56
<b>Area del bacino</b>	S	[mq]	46558.73
<b>Pendenza media del bacino</b>	ib	[-]	0.1152
<b>Altezza media del bacino</b>	Hm	[m]	108
<b>Curve Number (AMC-II)</b>	CN(II)	[-]	78.52
<b>Curve Number (AMC-III)</b>	CN(III)	[-]	89.4

**Tabella 6: Parametri morfometrici del bacino di drenaggio (Opera di presa di monte)**

La determinazione del tempo di corrivazione è stata fatta utilizzando le formule Soil Conservation Service, di Pasini e di Ventura, che sono adeguate alla valutazione per bacini di piccole dimensioni.

Tra questi si è scelto quello più cautelativo, che risulta quello SCS con CN(AMC-III) per il bacino (vedi Tabella 7).

<b>SCS (CN-II)</b>	[min]	23.7	[ore]	0.395
<b>SCS (CN-III)</b>	[min]	16.3	[ore]	0.271
<b>Pasini</b>	<b>[min]</b>	<b>8.3</b>	<b>[ore]</b>	<b>0.138</b>
<b>Ventura</b>	[min]	6.0	[ore]	0.100

**Tabella 7: Calcolo del tempo di corrivazione – bacino di drenaggio (Opera di presa di monte)**

Come precedentemente esposto, le portate di piena sono state determinate mediante il **metodo indiretto con applicazione del metodo razionale e determinazione della precipitazione critica tramite metodo TCEV**.

L'analisi idrologica ha portato alla definizione delle portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni alla sezione di chiusura del bacino (Tabella 8).

<b>Tempo di ritorno</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>
<b>Altezza di precipitazione lorda (mm)</b>	22.72	24.29	25.84	28.00
<b>Altezza di precipitazione netta (mm)</b>	5.93	6.87	7.84	9.24
<b>Intensità di precipitazione lorda (mm/h)</b>	119.67	131.01	142.25	157.86
<b>Intensità di precipitazione ragguagliata (mm/h)</b>	116.78	127.82	138.77	153.97
<b>Intensità di precipitazione netta (mm/h)</b>	31.25	37.07	43.16	52.12
<b>Portata (mc/s)</b>	0.40	0.48	0.56	0.67

**Tabella 8: Portate di piena calcolate per il Bacino di drenaggio (Opera di presa di monte)**



La portata di progetto avente tempo di ritorno pari a 200 anni è pari a 0.56 m<sup>3</sup>/s. Tale valore è ottenuto applicando la metodologia precedentemente riportata che in questo caso specifico, data la ridotta estensione del bacino idrografico analizzato, origina un coefficiente di deflusso pari a 0.3. Riconosciuta la fondamentale importanza di un buon funzionamento dell'opera di presa al fine di assicurare un funzionamento ottimale dell'intera infrastruttura si è scelto di maggiore tale coefficiente di afflusso fino a 0.54 (fonte: Ven Chow, David Maidment, Larry Mays-Applied Hydrology -McGraw-Hill Science Engineering Math (1988)).

In conclusione, la portata complessiva di dimensionamento delle due tubazioni sarà pari a  $Q = 1.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 7.2 Dimensionamento idraulico condotta

Il dimensionamento dei diametri delle tubazioni di collegamento tra le due opere di presa è stato effettuato utilizzando la scala dei deflussi per sezioni chiuse calcolata in moto uniforme. Il presente diagramma utilizzato per i calcoli idraulici è riportato in Figura 24 viene definita scala dei deflussi adimensionalizzata in quanto i tiranti idrici sono adimensionalizzati rispetto al raggio  $r$  della sezione circolare e le portate di progetto sono adimensionalizzate rispetto alla portata  $Q_r$ , che è la portata che si calcola per  $h=2r=D$ .

Una volta definita la portata transitante in ogni singolo tratto di condotta, il materiale della tubazione, ipotizzata la pendenza e il diametro della tubazione, la metodologia di calcolo prevede la determinazione della portata a bocca piena attraverso la formula di Chezy:

$$Q_r = \chi \Omega \sqrt{R i}$$

dove

$\chi$  è il coefficiente di Chezy,

$\Omega$  è l'area bagnata,

$R$  è il raggio idraulico

$i$  è la pendenza del collettore.

Nel caso di sezione piena si ha:

$$\chi = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

Dove  $\lambda$  è il coefficiente di resistenza è di Colebrook-White nell'ipotesi di regime assolutamente turbolento, che si ricava invertendo la relazione:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon/D}{3.71} \right)$$

dove  $\varepsilon$  è la scabrezza della tubazione, considerata pari a 0.5 mm, valore consigliato per tubazioni in gres.

L'area bagnata sarà:

$$\Omega_r = \frac{\pi D^2}{4} \quad ; \quad R = \frac{\Omega}{P} = \frac{D}{4}$$

Una volta calcolata la portata a tubo pieno  $Q_r$ , essendo nota la portata di progetto  $Q$ , si ricava  $Q_r/Q$  e si legge dall'abaco il corrispondente valore di  $h/r$ , e lo si moltiplica per il raggio della tubazione per ricavare il tirante idrico.

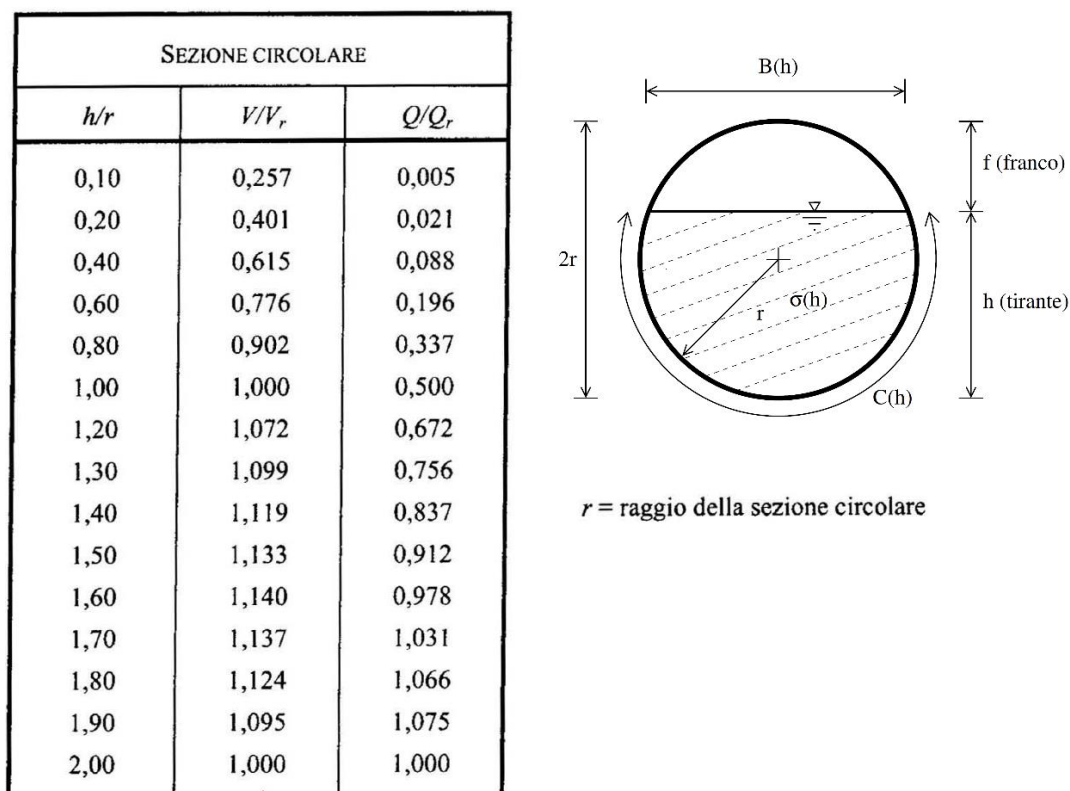


Figura 24: Scala delle portate adimensionale per tubazione a sezione circolare.

Al fine di assicurare un funzionamento ottimale della presente parte di opera sono state rispettate le verifiche sui tiranti proposte dalla Circolare Ministero LL.PP. n.11633 del 07/01/1974.

Nello specifico, il corretto dimensionamento dei tratti di condotta dei sistemi di drenaggio urbano delle acque meteoriche impone il rispetto delle condizioni di servizio riferite ai massimi tiranti idrici  $h_{max}$  e al franco di sicurezza da garantire durante la fase di esercizio dell'opera.

I massimi tiranti idrici nel caso dei condotti circolari di diametro inferiore a 400 mm dev'essere al massimo pari a 0,5 D, mentre nel caso di condotti circolari di diametro superiore a 400 mm tale altezza dev'essere al massimo pari a 0,7 D e con un franco di sicurezza di almeno 20 cm. Nel caso di progetto, essendo il calcolo svolto utilizzando due tubazioni da 600 mm il franco da garantire è pari a 0.2 m.

I vincoli sulle velocità fissati dalla Circolare Ministero LL.PP. n.11633 del 07/01/1974 impongono che le velocità per portate al colmo di piena siano al massimo pari a 5 m/s.

Il dimensionamento delle tubazioni è stato effettuato utilizzando una portata di progetto complessiva pari a 1.1 m<sup>3</sup>/s. Ogni singola tubazione sarà dimensionata per smaltire la portata di 0.55 m<sup>3</sup>/s.

Tratto	L	Quote terreno		Profondità di scavo		Quote di progetto		$\Delta h$	i	Dimensionamento condotte		
		$h_i$	$h_{i+1}$	$h_i$	$h_{i+1}$	$h_i$	$h_{i+1}$			Q	$\epsilon$	D
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(/)	[m <sup>3</sup> /s]	[mm]	[m]
C1	82	80.8	79.4	1.2	1.2	79.6	78.2	1.4	0.01707	0.55	1	0.6

Tratto	L	Quote terreno		Profondità di scavo		Quote di progetto		$\Delta h$	i	Dimensionamento condotte		
		$h_i$	$h_{i+1}$	$h_i$	$h_{i+1}$	$h_i$	$h_{i+1}$			Q	$\varepsilon$	D
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(/)	[m³/s]	[mm]	[m]
C2	82	80.8	79.4	1.2	1.2	79.6	78.2	1.4	0.01707	0.55	1	0.6

Tabella 9: Quote di progetto e dimensionamento idraulico delle condotte

Tratto	Funzionamento	Q	Verifiche franchi			Verifiche velocità massime	
			h	Franco h-Di	Verifica	V	Verifica
[-]	[-]	[m³/s]	[m]	[m]	Franco > 0.2 m	[m/s]	V<5 m/s
C1	A gravità	0.55	0.34	0.26	VERO	3.23	VERO
C2	A gravità	0.55	0.34	0.26	VERO	3.23	VERO

Tabella 10: Verifiche secondo la Circolare Ministero LL.PP. n.11633 del 07/01/1974

## 8 Analisi idraulica della soluzione progettuale

Le verifiche idrauliche sono state eseguite con l'ausilio del software HEC-RAS della US Army Corps of Engineering Center (versione 6.0) che effettua calcoli idraulici monodimensionali di un'intera rete di canali sfruttando le equazioni classiche dell'idraulica del moto permanente e del moto vario. Più precisamente, la definizione del profilo idraulico avviene attraverso l'integrazione delle equazioni di conservazione dell'energia della corrente tra due sezioni di calcolo consecutive. Le perdite di energie considerate tra le due sezioni sono quelle dovute alla resistenza dell'alveo e alle variazioni di sezione.

La sezione viene suddivisa in porzioni a differente scabrezza e per ognuna viene calcolato il valore della portata. La portata in ogni sezione è ottenuta come somma di questi contributi. In ogni sezione l'altezza cinetica media della corrente è valutata come media pesata dell'altezza cinetica di ogni porzione in cui si è divisa la singola sezione trasversale assumendo come peso la portata che transita in ognuna delle suddette porzioni.

Le perdite di energia continue dovute alla resistenza dell'alveo sono valutate secondo la formula di Manning. Le perdite di carico dovute alle variazioni di sezioni sono invece valutate secondo l'usuale formula della perdita di carico concentrata, funzione del quadrato delle velocità a monte e a valle della variazione di sezione.

### 8.1 Condizioni al contorno e portate

Come condizione al contorno è stata utilizzata la pendenza del corso d'acqua nel tratto a monte e nel tratto a valle dei corsi d'acqua studiati. La portata considerata è, per ciascun tempo di ritorno, quella calcolata in corrispondenza della sezione di chiusura con le metodologie dell'analisi idrologica precedentemente illustrata. Ponendosi in condizioni di sicurezza, si è imputata a monte la portata calcolata sulla sezione di chiusura a valle, sovrastimando così la portata effettiva. Le portate imputate al modello per i diversi tempi di ritorno sono quelle riportate nel capitolo precedente.



## 8.2 Descrizione e predisposizione del modello idraulico

Il software della HEC necessita, per effettuare la simulazione idraulica, di un modello geometrico che ben rappresenti l'andamento piano – altimetrico dell'alveo.

Al fine di effettuare tale rappresentazione, si è utilizzato l'applicativo HEC-GeoRas, che consente di rappresentare l'asta fluviale e le sezioni attraverso metodologie GIS. L'interfaccia GIS permette di identificare al meglio i dati necessari su HEC-Ras, consentendo di visualizzare graficamente sezioni, asta fluviale e qualunque parametro previsto all'interno del modello numerico (levee, coefficiente di Manning, ecc)

Per l'area di studio si è utilizzato il DTM 1x1, integrato con rilievo topografico appositamente eseguito; attraverso tali misure si è proceduto a modificare il dato derivato sul DTM e rendere l'alveo quanto più simile possibile a quello rilevato. Le sezioni di modellazione sono state disposte a intervalli relativamente brevi lungo il corso d'acqua e inserite per lo più in corrispondenza di punti di variazione di portata, di pendenza, di forma, di scabrezza delle superfici e in prossimità delle strutture idrauliche, che forniscono una rappresentazione adeguata della situazione reale.

Nella simulazione del canale in progetto le sezioni estratte dal dtm 1x1 sono state modificate in modo da renderle coerenti con quanto previsto nel progetto.

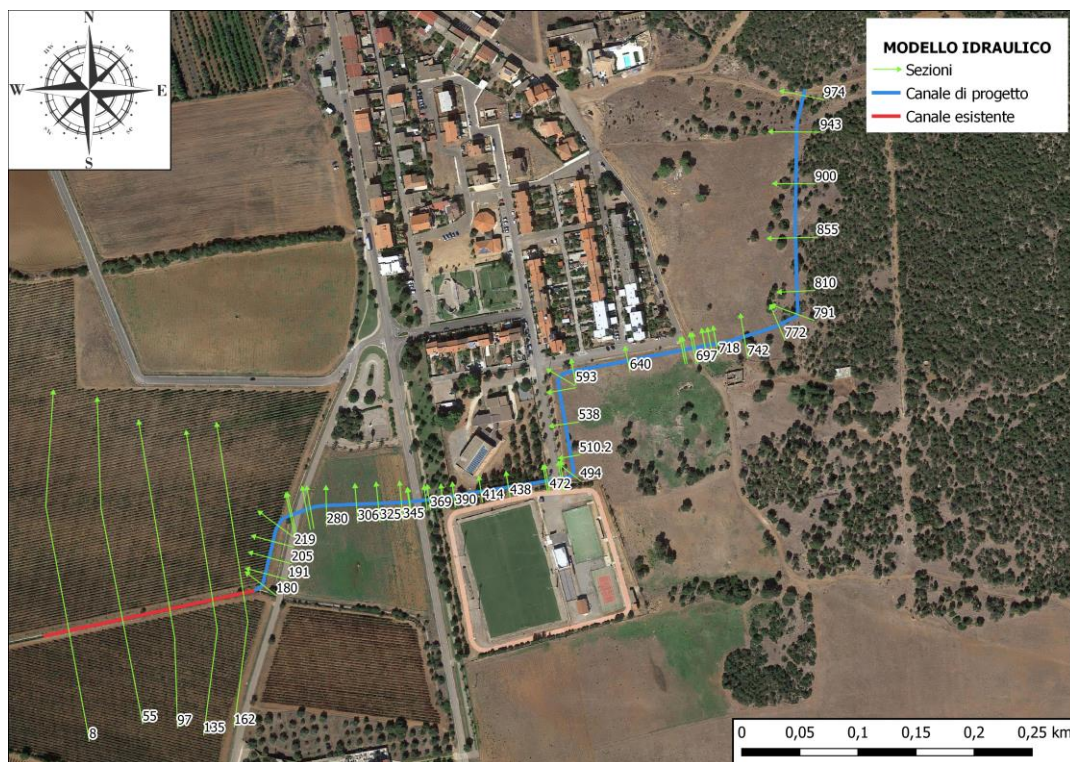


Figura 25: Sezioni di modellazione idraulica del canale in progetto.

## 8.3 Analisi dei risultati – Canale in progetto

Nel presente paragrafo si procederà ad illustrare le modalità di calcolo da utilizzarsi per le verifiche sul franco idraulico longitudinale così come previsto all'art. 21 comma 2bis delle norme di attuazione dei PAI e utilizzando quale strumento di approfondimento per la corretta applicazione della norma il testo *Analisi modellistica per la definizione del franco idraulico da utilizzare nella progettazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture a rete o puntuali* – Art. 21 comma 1 e comma 2 lettera d. delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna.

Di seguito si riportano le metodologie di calcolo utilizzate.

Per velocità della corrente inferiore agli 8 m/s, si è effettuato il confronto tra il franco calcolato utilizzando tre diversi criteri. Tra questi, è stato scelto il franco più cautelativo, ovvero quello che corrisponde al massimo tra:

- 1)  $\delta h_1 = 0.5 \frac{v^2}{2g}$  dove  $v$  è la velocità media della corrente
- 2)  $\delta h_2 = 1 \text{ m}$  per profondità media della corrente  $y$  superiore a 1 m, oppure  
 $\delta h_2 = y$  per profondità media della corrente  $y$  pari o inferiore a 1 m
- 3)  $\delta h_3 = 0.87 \sqrt{y} + \alpha y'$

dove

$y$  è la profondità media della corrente,  $y'$  è la profondità della corrente aerata, e  $\alpha$  varia linearmente tra 0 e 1 per una velocità che varia tra i 5 e i 15 m/s e con le limitazioni che:

-  $y'$  sia pari alla profondità media se questa è minore di 2 m e in caso contrario assuma il valore massimo di = 2 m

- il valore massimo del franco calcolato con questo metodo sia pari a 1.5 m.

Il valore  $y$  della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

Qualora la velocità della corrente sia superiore agli 8 m/s, il franco è valutato come pari all'altezza cinetica:

$$4) \delta h_4 = \frac{v^2}{2g}$$

Le verifiche sono state fatte con un tempo di ritorno di 200 anni. Come si può vedere in Tabella 11 **la verifica è soddisfatta in tutte le sezioni.**

Si rimanda all'Allegato 1 per i risultati dettagliati delle simulazioni.

COMUNE DI MASAINAS

Messa in sicurezza del centro abitato di Masainas dal rischio idrogeologico

Sezione	Profilo	Portata	Quota fondo alveo	Quota del pelo libero	Velocità della corrente	Profondità media della corrente y	y'	$\alpha$	$\delta h1$	$\delta h2$	$\delta h3$	$\delta h4$	Altezza sezione	h pelo libero	Franco idraulico canale	Franco idraulico minimo ex art. 21 comma 2bis	Verifica
		[m3/s]	[mslm]	[mslm]	[m/s]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
974	Tr 200	5.29	77.47	78.24	2.76	0.77	0.77	0.00	0.19	0.77	0.76	-	1.75	0.77	0.98	0.77	OK
943	Tr 200	5.29	76.70	77.68	2.17	0.98	0.98	0.00	0.12	0.98	0.86	-	1.97	0.98	0.99	0.98	OK
900	Tr 200	5.29	76.18	76.95	2.75	0.77	0.77	0.00	0.19	0.77	0.76	-	2.08	0.77	1.31	0.77	OK
855	Tr 200	5.29	75.33	76.57	1.71	1.31	1.31	0.00	0.07	1.00	1.00	-	2.24	1.24	1.00	1.00	OK
810	Tr 200	5.29	75.15	76.28	1.87	1.11	1.11	0.00	0.09	1.00	0.92	-	2.97	1.13	1.84	1.00	OK
791	Tr 200	5.29	75.05	76.12	1.97	1.03	1.03	0.00	0.10	1.00	0.88	-	3.46	1.07	2.39	1.00	OK
772	Tr 200	5.29	74.94	75.71	2.75	0.77	0.77	0.00	0.19	0.77	0.76	-	2.15	0.77	1.38	0.77	OK
742	Tr 200	5.29	74.00	74.58	3.62	0.57	0.57	0.00	0.33	0.57	0.66	-	1.48	0.58	0.90	0.66	OK
718	Tr 200	5.29	72.77	73.30	3.98	0.54	0.54	0.00	0.40	0.54	0.64	-	1.40	0.53	0.87	0.64	OK
717.7	Tr 200	5.29	71.77	72.12	6.05	0.35	0.35	0.11	0.93	0.35	0.55	-	2.40	0.35	2.05	0.93	OK
713	Tr 200	5.29	71.77	72.26	4.31	0.49	0.49	0.00	0.47	0.49	0.61	-	2.00	0.49	1.51	0.61	OK
712.7	Tr 200	5.29	70.77	71.11	6.22	0.34	0.34	0.12	0.99	0.34	0.55	-	2.99	0.34	2.65	0.99	OK
708	Tr 200	5.29	70.77	71.25	4.42	0.48	0.48	0.00	0.50	0.48	0.60	-	2.67	0.48	2.19	0.60	OK
707.7	Tr 200	5.29	69.77	70.11	6.28	0.34	0.34	0.13	1.01	0.34	0.55	-	3.66	0.34	3.32	1.01	OK
699	Tr 200	5.29	69.63	70.16	3.97	0.53	0.53	0.00	0.40	0.53	0.63	-	2.81	0.53	2.28	0.63	OK
697	Tr 200	5.29	69.60	70.59	2.13	0.99	0.99	0.00	0.12	0.99	0.87	-	2.64	0.99	1.65	0.99	OK
693		Bridge															OK
690	Tr 200	5.29	69.57	70.34	2.74	0.77	0.77	0.00	0.19	0.77	0.76	-	1.92	0.77	1.15	0.77	OK
688	Tr 200	5.29	69.41	70.00	3.57	0.59	0.59	0.00	0.32	0.59	0.67	-	1.90	0.59	1.31	0.67	OK
640	Tr 200	5.29	65.31	65.69	5.63	0.38	0.38	0.06	0.81	0.38	0.56	-	1.22	0.38	0.84	0.81	OK
593	Tr 200	5.29	61.38	61.89	4.16	0.51	0.51	0.00	0.44	0.51	0.62	-	1.44	0.51	0.93	0.62	OK
592.99	Tr 200	5.29	60.84	61.23	5.38	0.39	0.39	0.04	0.74	0.39	0.56	-	1.98	0.39	1.59	0.74	OK



COMUNE DI MASAINAS

Messa in sicurezza del centro abitato di Masainas dal rischio idrogeologico

Sezione	Profilo	Portata	Quota fondo alveo	Quota del pelo libero	Velocità della corrente	Profondità media della corrente y	y'	$\alpha$	$\delta h_1$	$\delta h_2$	$\delta h_3$	$\delta h_4$	Altezza sezione	h pelo libero	Franco idraulico o canale	Franco idraulico o minimo ex art. 21 comma 2bis	Verifica
		[m3/s]	[mslm]	[mslm]	[m/s]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
580	Tr 200	5.29	60.68	61.69	2.10	1.01	1.01	0.00	0.11	1.00	0.87	-	2.33	1.01	1.32	1.00	OK
568	Tr 200	5.29	60.56	61.59	2.05	1.03	1.03	0.00	0.11	1.00	0.88	-	2.23	1.03	1.20	1.00	OK
538	Tr 200	5.29	60.30	61.39	1.95	1.09	1.09	0.00	0.10	1.00	0.91	-	2.95	1.09	1.86	1.00	OK
510.2	Tr 200	5.29	59.97	61.27	1.62	1.30	1.30	0.00	0.07	1.00	0.99	-	2.50	1.30	1.20	1.00	OK
510	Tr 200	5.29	59.97	61.27	1.62	1.30	1.30	0.00	0.07	1.00	0.99	-	2.50	1.30	1.20	1.00	OK
494	Tr 200	6.8	59.77	61.10	2.05	1.33	1.33	0.00	0.11	1.00	1.00	-	3.21	1.33	1.88	1.00	OK
485	Tr 200	6.8	59.72	61.03	2.08	1.31	1.31	0.00	0.11	1.00	1.00	-	2.60	1.31	1.29	1.00	OK
483	Tr 200	6.8	59.72	61.01	2.11	1.29	1.29	0.00	0.11	1.00	0.99	-	2.61	1.29	1.32	1.00	OK
478		Bridge															OK
472	Tr 200	6.8	59.72	60.80	2.52	1.08	1.08	0.00	0.16	1.00	0.90	-	2.14	1.08	1.06	1.00	OK
470	Tr 200	6.8	59.72	60.63	2.99	0.91	0.91	0.00	0.23	0.91	0.83	-	1.97	0.91	1.06	0.91	OK
438	Tr 200	6.8	58.16	58.72	4.85	0.56	0.56	0.00	0.60	0.56	0.65	-	1.65	0.56	1.09	0.65	OK
414	Tr 200	6.8	56.94	57.61	4.06	0.67	0.67	0.00	0.42	0.67	0.71	-	1.40	0.67	0.73	0.71	OK
390.2	Tr 200	6.8	56.04	56.77	3.73	0.73	0.73	0.00	0.35	0.73	0.74	-	1.87	0.73	1.14	0.74	OK
390	Tr 200	6.8	55.29	55.77	5.61	0.48	0.48	0.06	0.80	0.48	0.63	-	2.62	0.48	2.14	0.80	OK
380.2	Tr 200	6.8	55.29	56.20	3.00	0.91	0.91	0.00	0.23	0.91	0.83	-	2.20	0.91	1.29	0.91	OK
380	Tr 200	6.8	54.36	54.83	5.77	0.47	0.47	0.08	0.85	0.47	0.63	-	3.12	0.47	2.65	0.85	OK
369	Tr 200	6.8	54.10	54.82	3.75	0.72	0.72	0.00	0.36	0.72	0.74	-	2.72	0.72	2.00	0.74	OK
366	Tr 200	6.8	54.07	55.03	2.83	0.96	0.96	0.00	0.20	0.96	0.85	-	2.67	0.96	1.71	0.96	OK
359		Bridge															OK
352	Tr 200	6.8	54.00	54.80	2.82	0.80	0.80	0.00	0.20	0.80	0.78	-	2.33	0.80	1.53	0.80	OK
351	Tr 200	6.8	53.98	54.74	2.99	0.76	0.76	0.00	0.23	0.76	0.76	-	2.35	0.76	1.59	0.76	OK

COMUNE DI MASAINAS

Messa in sicurezza del centro abitato di Masainas dal rischio idrogeologico

Sezione	Profilo	Portata	Quota fondo alveo	Quota del pelo libero	Velocità della corrente	Profondità media della corrente y	y'	$\alpha$	$\delta h_1$	$\delta h_2$	$\delta h_3$	$\delta h_4$	Altezza sezione	h pelo libero	Franco idraulico canale	Franco idraulico minimo ex art. 21 comma 2bis	Verifica
		[m <sup>3</sup> /s]	[mslm]	[mslm]	[m/s]	[m]	[m]		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	
345	Tr 200	6.8	53.76	54.30	3.67	0.42	0.42	0.00	0.34	0.42	0.56	-	2.14	0.54	1.60	0.56	OK
325	Tr 200	6.8	53.17	53.78	3.11	0.47	0.47	0.00	0.25	0.47	0.60	-	2.15	0.61	1.54	0.60	OK
306	Tr 200	6.8	52.59	53.17	3.32	0.45	0.45	0.00	0.28	0.45	0.58	-	2.18	0.58	1.60	0.58	OK
280	Tr 200	6.8	51.80	52.39	3.27	0.45	0.45	0.00	0.27	0.45	0.58	-	2.25	0.59	1.66	0.58	OK
266	Tr 200	6.8	51.31	52.64	1.06	0.90	0.90	0.00	0.03	0.90	0.83	-	2.31	1.33	0.98	0.90	OK
262	Tr 200	6.8	51.23	52.40	2.32	1.17	1.17	0.00	0.14	1.00	0.94	-	2.25	1.17	1.08	1.00	OK
255		Bridge															OK
249	Tr 200	6.8	51.15	52.06	2.99	0.91	0.91	0.00	0.23	0.91	0.83	-	1.95	0.91	1.04	0.91	OK
248	Tr 200	6.8	51.15	52.30	1.31	0.80	0.80	0.00	0.04	0.80	0.78	-	2.63	1.15	1.48	0.80	OK
233	Tr 200	6.8	51.12	52.27	1.32	0.79	0.79	0.00	0.04	0.79	0.77	-	2.55	1.15	1.40	0.79	OK
219	Tr 200	6.8	51.08	52.23	1.31	0.80	0.80	0.00	0.04	0.80	0.78	-	2.34	1.15	1.19	0.80	OK
205	Tr 200	6.8	51.04	52.20	1.29	0.80	0.80	0.00	0.04	0.80	0.78	-	2.31	1.16	1.15	0.80	OK
191	Tr 200	6.8	51.00	52.17	1.28	0.81	0.81	0.00	0.04	0.81	0.78	-	2.12	1.17	0.95	0.81	OK
180	Tr 200	6.8	50.98	52.15	1.28	0.80	0.80	0.00	0.04	0.80	0.78	-	1.99	1.17	0.82	0.80	OK

Tabella 11: Verifica del franco idraulico longitudinale

### **8.3.1 Verifica dei franchi trasversali in corrispondenza degli attraversamenti ai sensi delle Norme tecniche delle costruzioni 2018**

Per la progettazione dei ponti stradali occorre fare riferimento al capitolo 5 del "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. In particolare, per quanto riguarda la compatibilità idraulica si deve far riferimento al capitolo 5.1.2.3 delle suddette e al medesimo capitolo della CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

Le NTC richiedono che gli attraversamenti vengano progettati riferendosi alla piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni, e prescrivono gli aspetti che devono essere analizzati nello studio di compatibilità idraulica.

La circolare del 21 gennaio 2019 introduce una distinzione tra i ponti e i tombini, prescrivendo per questi ultimi dei criteri meno stringenti per quanto riguarda il franco idraulico. In particolare, si afferma che:

*“Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m<sup>3</sup>/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.”*

La norma richiede inoltre:

*“Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:*

- *è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;*
- *sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.*
- *per sezioni di area maggiore a 1,5 m<sup>2</sup> è da garantire la praticabilità del manufatto;*
- *il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in cui in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;*
- *nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;*
- *il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;*
- *la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;*
- *il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;*
- *nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da*



dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;

- i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento”

**Il canale di raccolta oggetto di progettazione ha delle portate di piena duecentennali minori di 50 mc/s e si prevede di realizzare gli attraversamenti mediante degli scatolari in c.a., pertanto le opere in progetto rientrano in questa casistica.**

Pertanto, il franco minimo da rispettare è stato calcolato come da succitata Circolare, ovvero:

$$franco_{\min} = \max\left(0.50 \text{ m}, \frac{h}{3}\right)$$

dove h è l'altezza della sezione in corrispondenza dell'attraversamento. Sono state verificate la sezione subito a monte dei ponti e quella di monte in corrispondenza dei ponti stessi, i cui dati di riferimento estratti dal modello.

**Come si può vedere nelle tabelle che seguono, la verifica del franco è rispettata in tutti gli attraversamenti in progetto.**

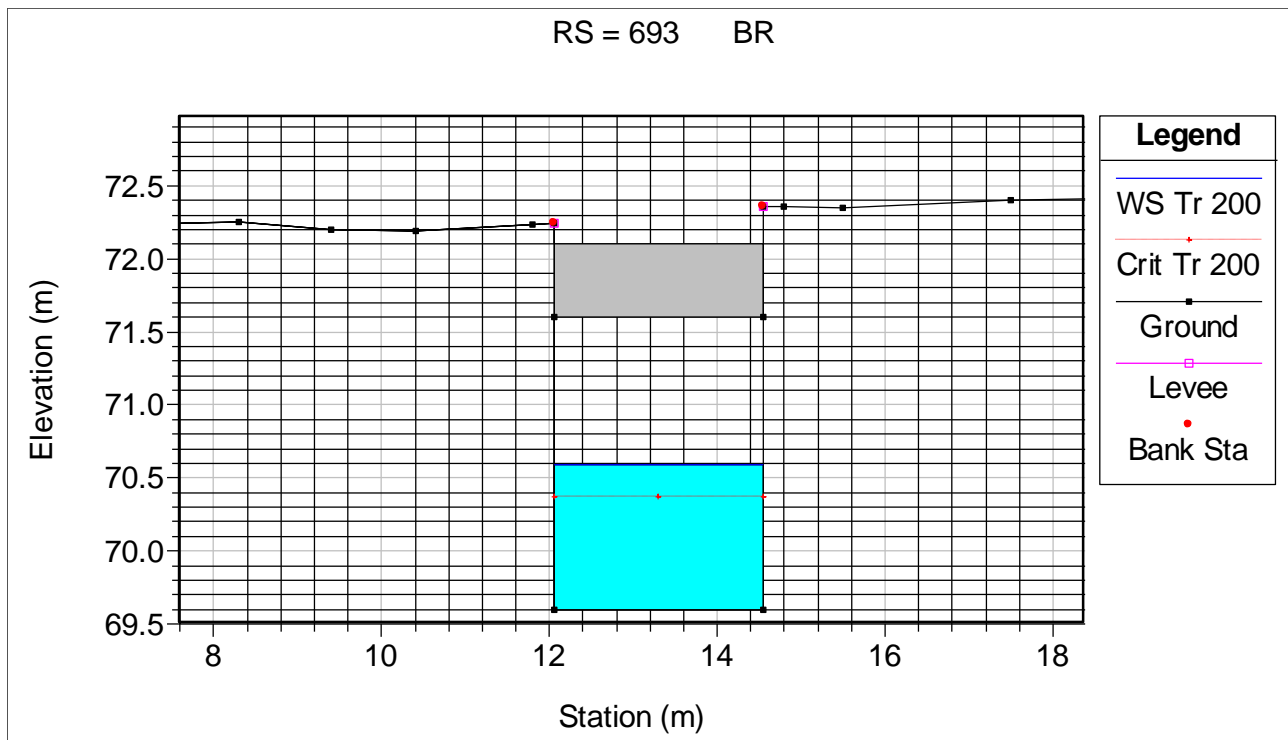
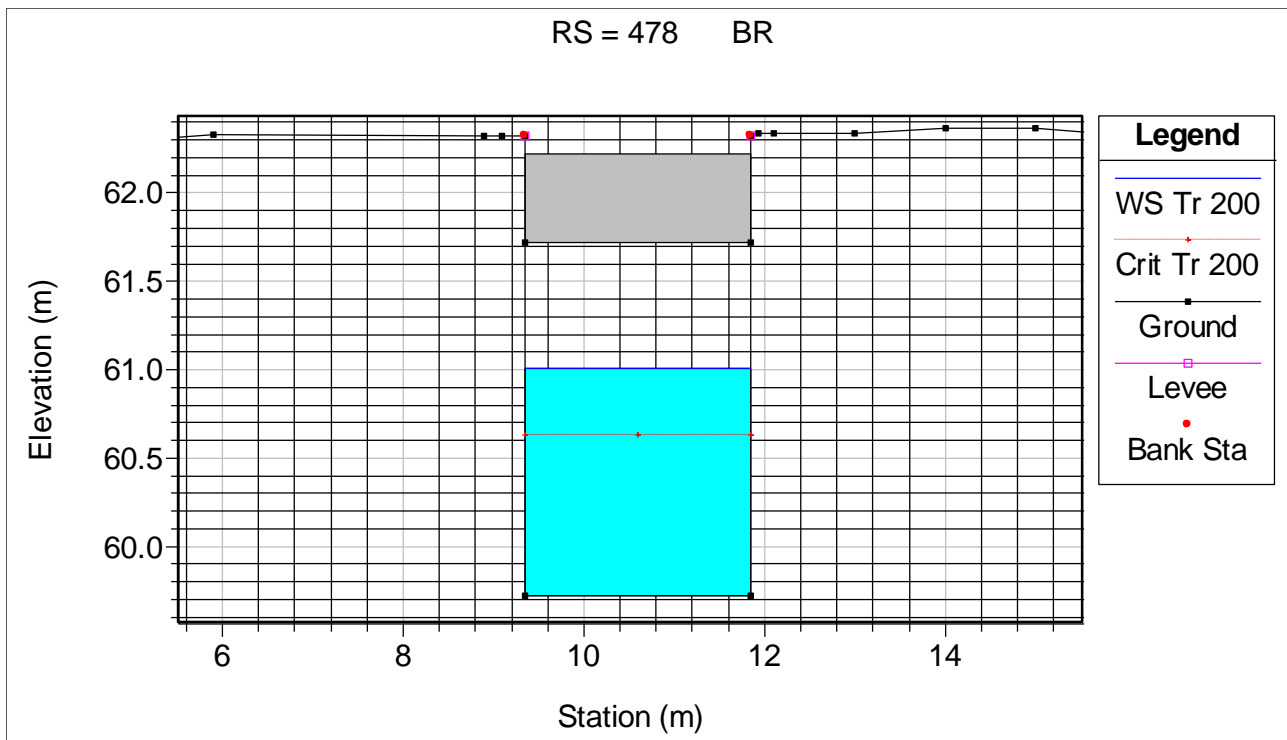


Figura 26: Sezione di HEC-RAS in corrispondenza dell'attraversamento 1

River:	River 1	Profile:	Tr 200	
Reach	Reach 1	RS:	693	Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_b_1
Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_trap_ret River 1 Reach 1 RS: 693 Profile: Tr 200				
E.G. US. (m)	70.83	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	70.59	E.G. Elev (m)	70.82	70.74
Q Total (m3/s)	5.29	W.S. Elev (m)	70.59	70.44
Q Bridge (m3/s)	5.29	Crit W.S. (m)	70.37	70.34
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	0.99	0.87
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.13	2.42
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	2.48	2.18
Weir Submerg		Froude # Chl	0.68	0.83
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	2.38	2.26
Min El Weir Flow (m)	72.10	Hydr Depth (m)	0.99	0.87
Min El Prs (m)	71.60	W.P. Total (m)	4.49	4.25
Delta EG (m)	0.10	Conv. Total (m3/s)	55.8	46.7
Delta WS (m)	0.25	Top Width (m)	2.50	2.50
BR Open Area (m2)	5.00	Frctn Loss (m)	0.07	0.01
BR Open Vel (m/s)	2.42	C & E Loss (m)	0.01	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	48.83	64.76
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	104.06	156.99

Figura 27: Tabella di HEC-RAS riportante i risultati della modellazione in corrispondenza dell'attraversamento 1



River:  Profile:

Reach:  RS:    Plan:

Plan: Plan\_15\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River 1 Reach 1 RS: 478 Profile: Tr 200

E.G. US. (m)	61.24	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	61.01	E.G. Elev (m)	61.24	61.13
Q Total (m3/s)	6.80	W.S. Elev (m)	61.01	60.81
Q Bridge (m3/s)	6.80	Crit W.S. (m)	60.63	60.63
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.29	1.09
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.11	2.51
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	3.22	2.71
Weir Submerg		Froude # Chl	0.59	0.77
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	3.54	3.21
Min El Weir Flow (m)	62.22	Hydr Depth (m)	1.29	1.09
Min El Prs (m)	61.72	W.P. Total (m)	5.08	4.67
Delta EG (m)	0.11	Conv. Total (m3/s)	79.3	63.0
Delta WS (m)	0.21	Top Width (m)	2.50	2.50
BR Open Area (m2)	5.00	Frctn Loss (m)	0.10	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.51	C & E Loss (m)	0.01	0.00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	45.77	66.45
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	96.62	166.55

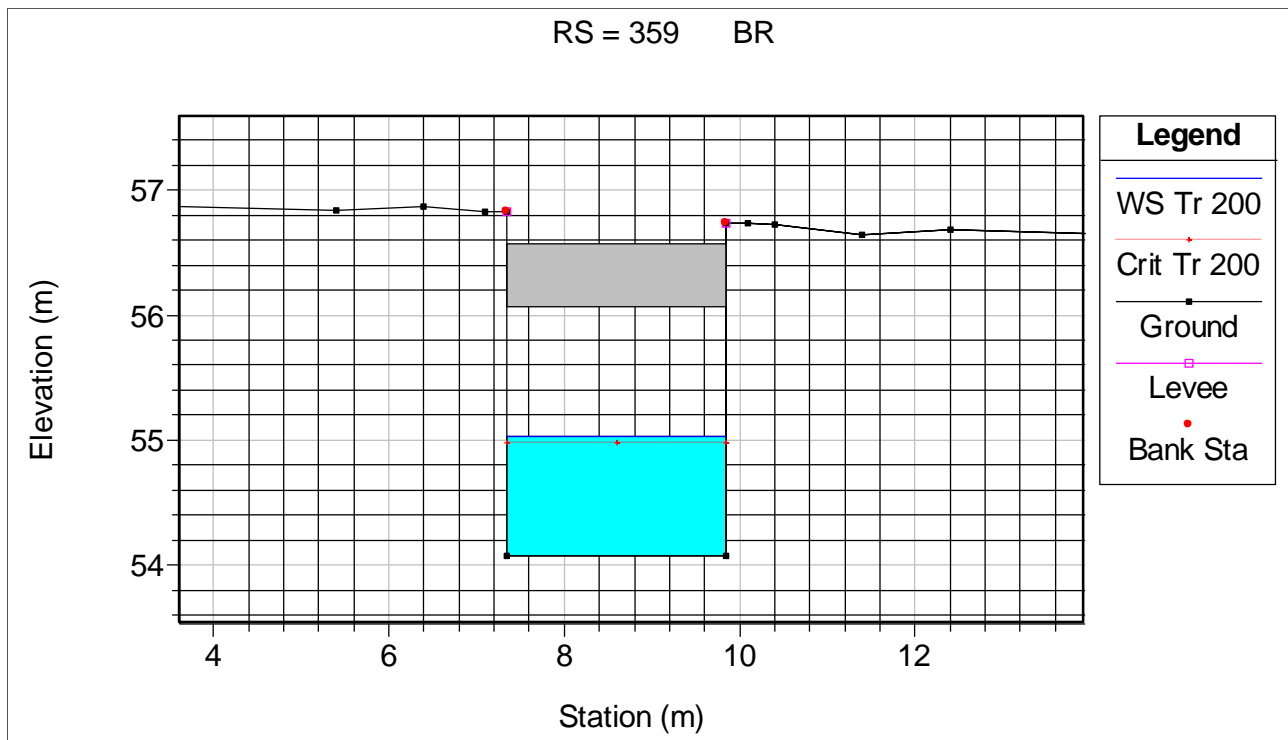


Figura 30: Sezione di HEC-RAS in corrispondenza dell'attraversamento 3

River:	River 1	Profile:	Tr 200	
Reach:	Reach 1	RS:	359	Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_t
Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_trap_ret River 1 Reach 1 RS: 359 Profile: Tr 200				
E.G. US. (m)	55.44	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	55.03	E.G. Elev (m)	55.44	55.22
Q Total (m3/s)	6.80	W.S. Elev (m)	55.03	54.89
Q Bridge (m3/s)	6.80	Crit W.S. (m)	54.98	54.81
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	0.96	0.89
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.84	2.56
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	2.39	2.66
Weir Submerg		Froude # Chl	0.93	0.87
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	3.12	2.95
Min El Weir Flow (m)	56.57	Hydr Depth (m)	0.96	0.89
Min El Prs (m)	56.07	W.P. Total (m)	4.41	4.77
Delta EG (m)	0.23	Conv. Total (m3/s)	53.0	60.1
Delta WS (m)	0.23	Top Width (m)	2.50	3.00
BR Open Area (m2)	5.00	Frctn Loss (m)	0.20	0.00
BR Open Vel (m/s)	2.84	C & E Loss (m)	0.02	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	87.39	70.02
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	248.33	178.92

Figura 31: Tabella di HEC-RAS riportante i risultati della modellazione in corrispondenza dell'attraversamento 3



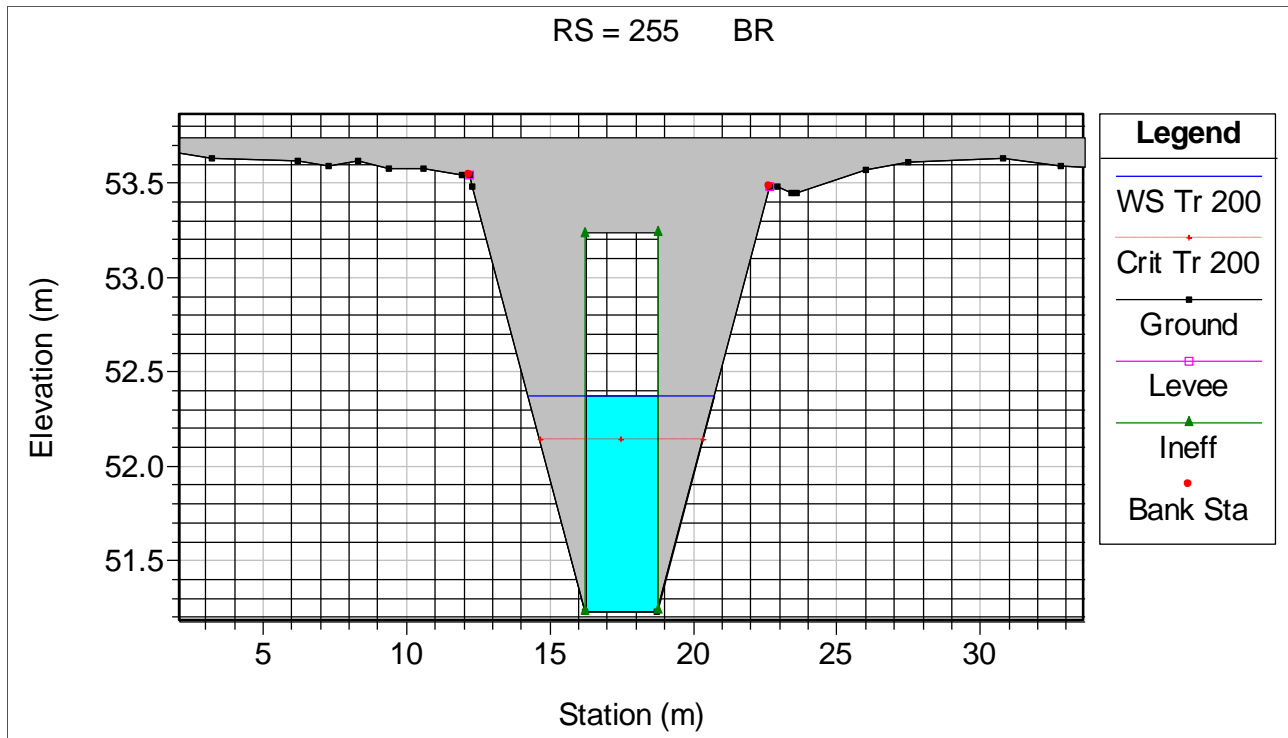


Figura 32: Sezione di HEC-RAS in corrispondenza dell'attraversamento 4

River:	River 1	Profile:	Tr 200	
Reach:	Reach 1	RS:	255	Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_t
Plan: Plan_15_7_sf_dist_5m_b_2.5m_trap_ret River 1 Reach 1 RS: 255 Profile: Tr 200				
E.G. US. (m)	52.67	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	52.40	E.G. Elev (m)	52.66	52.55
Q Total (m3/s)	6.80	W.S. Elev (m)	52.37	52.21
Q Bridge (m3/s)	6.80	Crit W.S. (m)	52.14	52.06
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	1.15	1.06
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	2.38	2.57
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	2.86	2.65
Weir Submerg		Froude # Chl	0.71	0.80
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	3.29	3.18
Min El Weir Flow (m)	53.74	Hydr Depth (m)	1.15	1.06
Min El Prs (m)	53.24	W.P. Total (m)	4.79	4.62
Delta EG (m)	0.16	Conv. Total (m3/s)	67.7	60.9
Delta WS (m)	0.34	Top Width (m)	2.50	2.50
BR Open Area (m2)	5.03	Frctn Loss (m)	0.11	0.02
BR Open Vel (m/s)	2.57	C & E Loss (m)	0.00	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	59.11	70.18
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	140.43	180.35

Figura 33: Tabella di HEC-RAS riportante i risultati della modellazione in corrispondenza dell'attraversamento 4

Sezione		<b>693</b>	<b>Ponte</b>
Portata	[m <sup>3</sup> /s]	5.29	5.29
Quota fondo alveo	[m slm]	69.6	69.6
Quota del pelo libero	[m slm]	70.59	70.59
Profondità corrente h	[m]	0.99	0.99
δh1 (0.5m)	[m]	0.5	0.5
δh2 (h/3)	[m]	0.67	0.67
Quota sezione all'intradosso	[m slm]	71.6	71.6
Franco idraulico canale	[m]	1.01	1.01
Franco idraulico minimo	[m]	0.67	0.67
Verifica rispettata		<b>SI</b>	<b>SI</b>

Tabella 12: Verifica del franco idraulico in corrispondenza dell'attraversamento 1

Sezione		<b>478</b>	<b>Ponte</b>
Portata	[m <sup>3</sup> /s]	6.80	6.80
Quota fondo alveo	[m slm]	59.72	59.72
Quota del pelo libero	[m slm]	61.01	61.01
Profondità corrente h	[m]	1.29	1.29
δh1 (0.5m)	[m]	0.50	0.50
δh2 (h/3)	[m]	0.67	0.67
Quota sezione all'intradosso	[m slm]	61.72	61.72
Franco idraulico canale	[m]	0.71	0.71
Franco idraulico minimo	[m]	0.67	0.67
Verifica rispettata		<b>SI</b>	<b>SI</b>

Tabella 13: Verifica del franco idraulico in corrispondenza dell'attraversamento 2

Sezione		<b>359</b>	<b>Ponte</b>
Portata	[m <sup>3</sup> /s]	6.80	6.80
Quota fondo alveo	[m slm]	54.07	54.07
Quota del pelo libero	[m slm]	55.03	55.03
Profondità corrente h	[m]	0.96	0.96
δh1 (0.5m)	[m]	0.50	0.50
δh2 (h/3)	[m]	0.67	0.67
Quota sezione all'intradosso	[m slm]	56.07	56.07
Franco idraulico canale	[m]	1.04	1.04
Franco idraulico minimo	[m]	0.67	0.67
Verifica rispettata		<b>SI</b>	<b>SI</b>

Tabella 14: Verifica del franco idraulico in corrispondenza dell'attraversamento 3

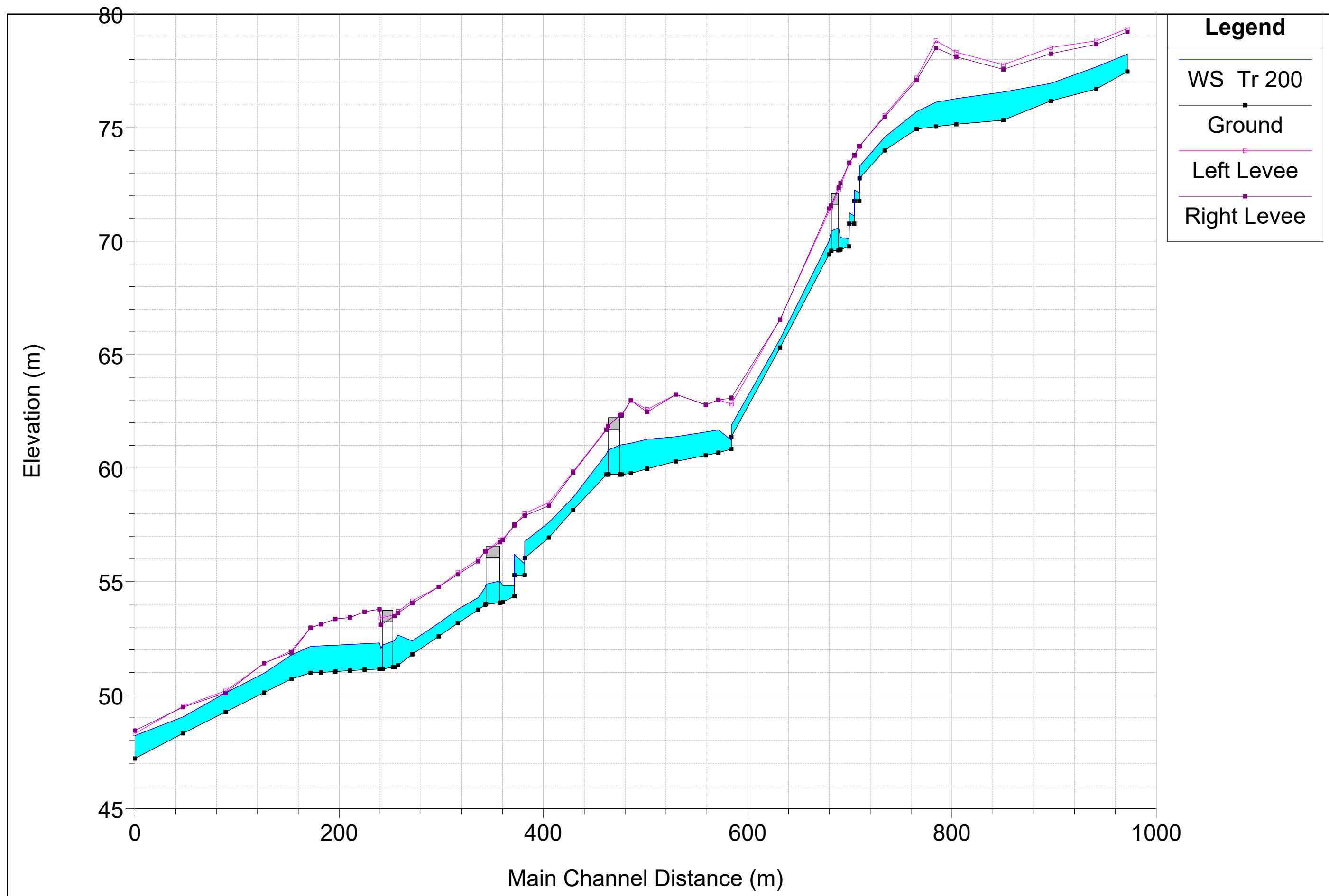
Sezione		255	Ponte
Portata	[m <sup>3</sup> /s]	6.80	6.80
Quota fondo alveo	[m slm]	51.23	51.23
Quota del pelo libero	[m slm]	52.40	52.37
Profondità corrente h	[m]	1.17	1.14
$\delta h_1$ (0.5m)	[m]	0.50	0.50
$\delta h_2$ (h/3)	[m]	0.67	0.67
Quota sezione all'intradosso	[m slm]	53.24	53.24
Franco idraulico canale	[m]	0.84	0.87
Franco idraulico minimo	[m]	0.67	0.67
Verifica rispettata		SI	SI

Tabella 15: Verifica del franco idraulico in corrispondenza dell'attraversamento 4

## **Allegati**

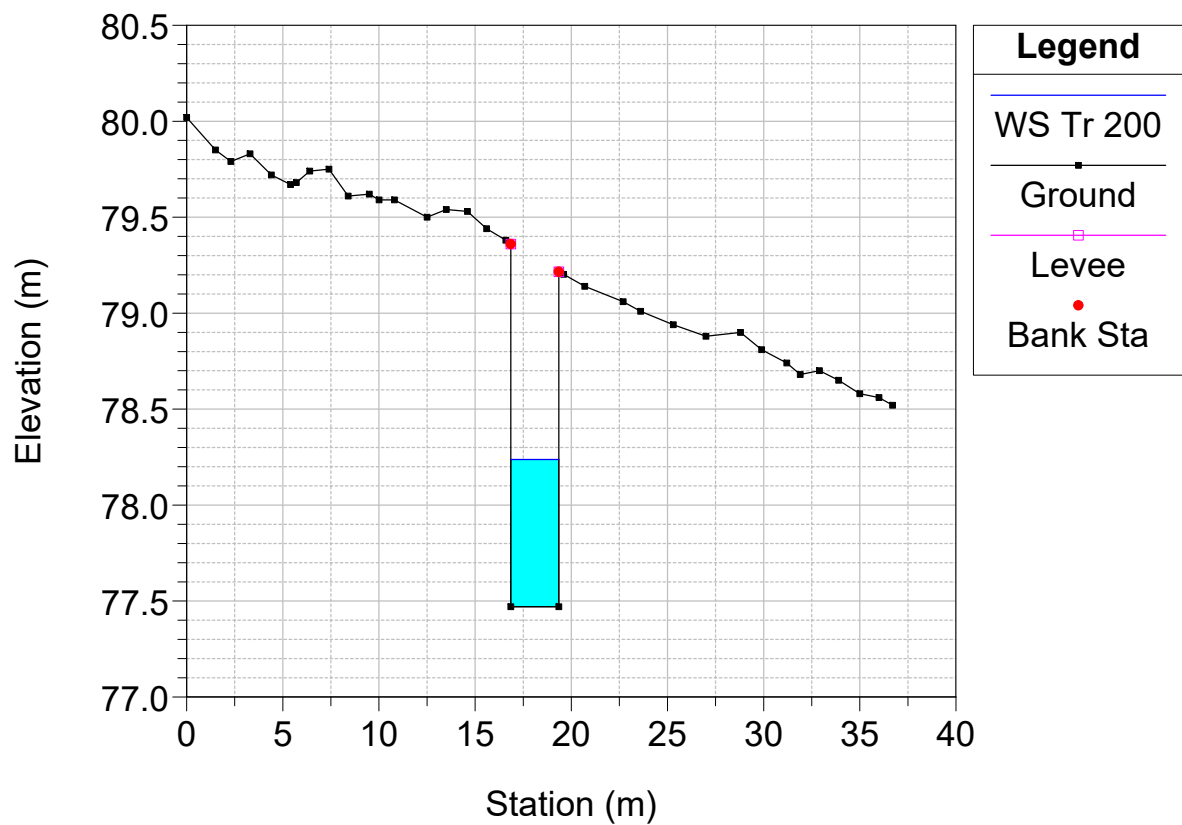


*Profili di corrente*

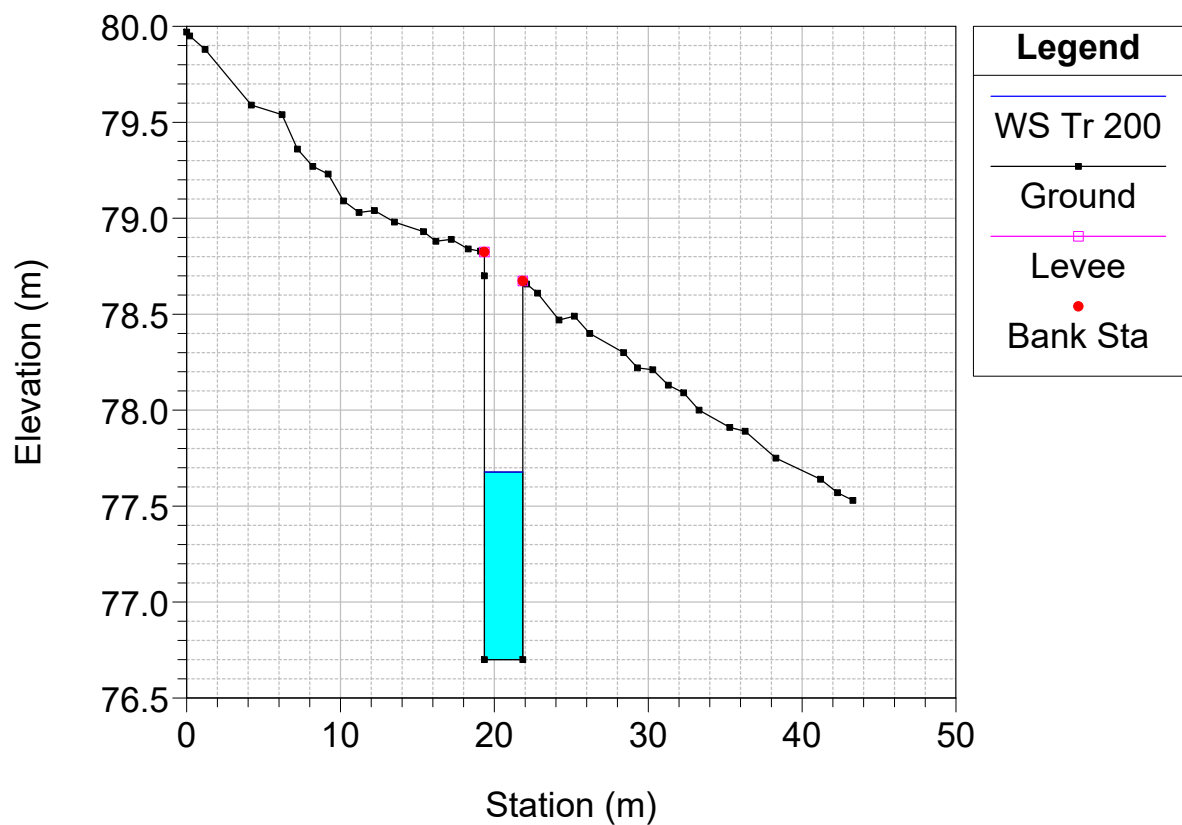


*Sezioni di calcolo con livelli idrici*

RS = 974

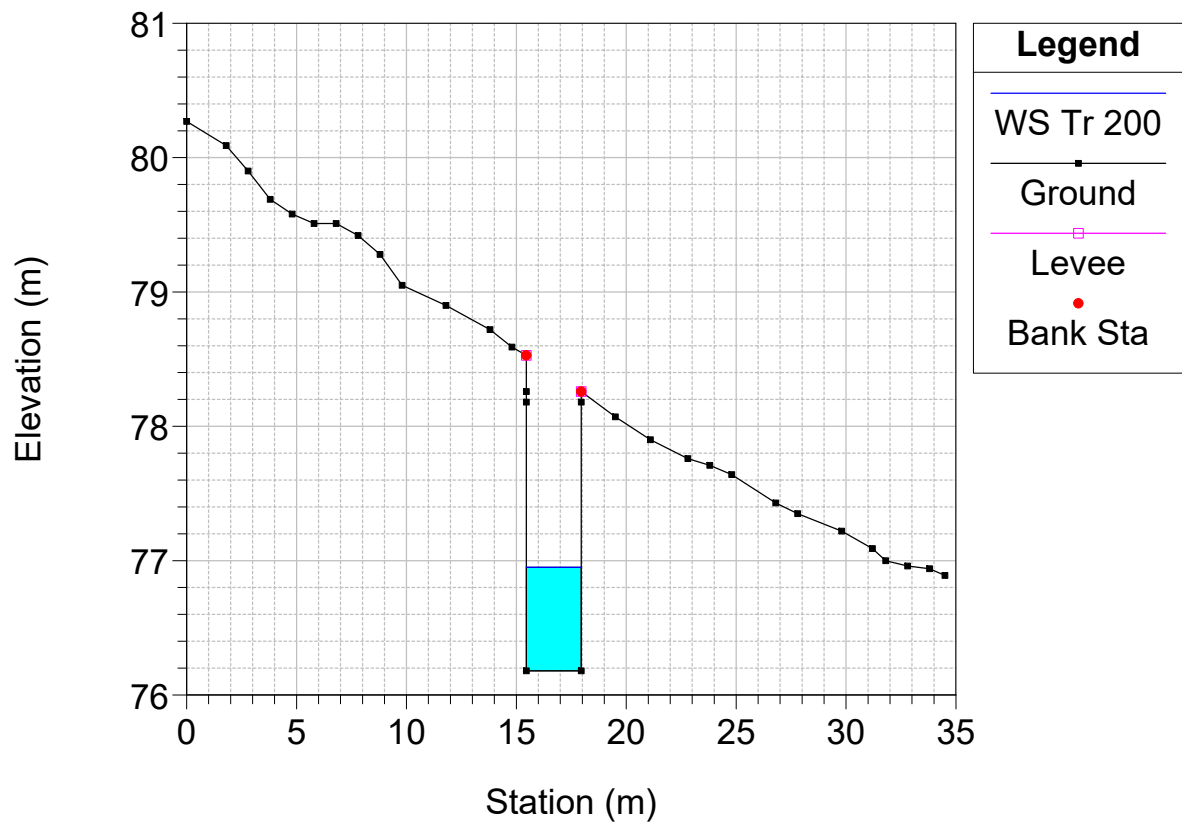


RS = 943

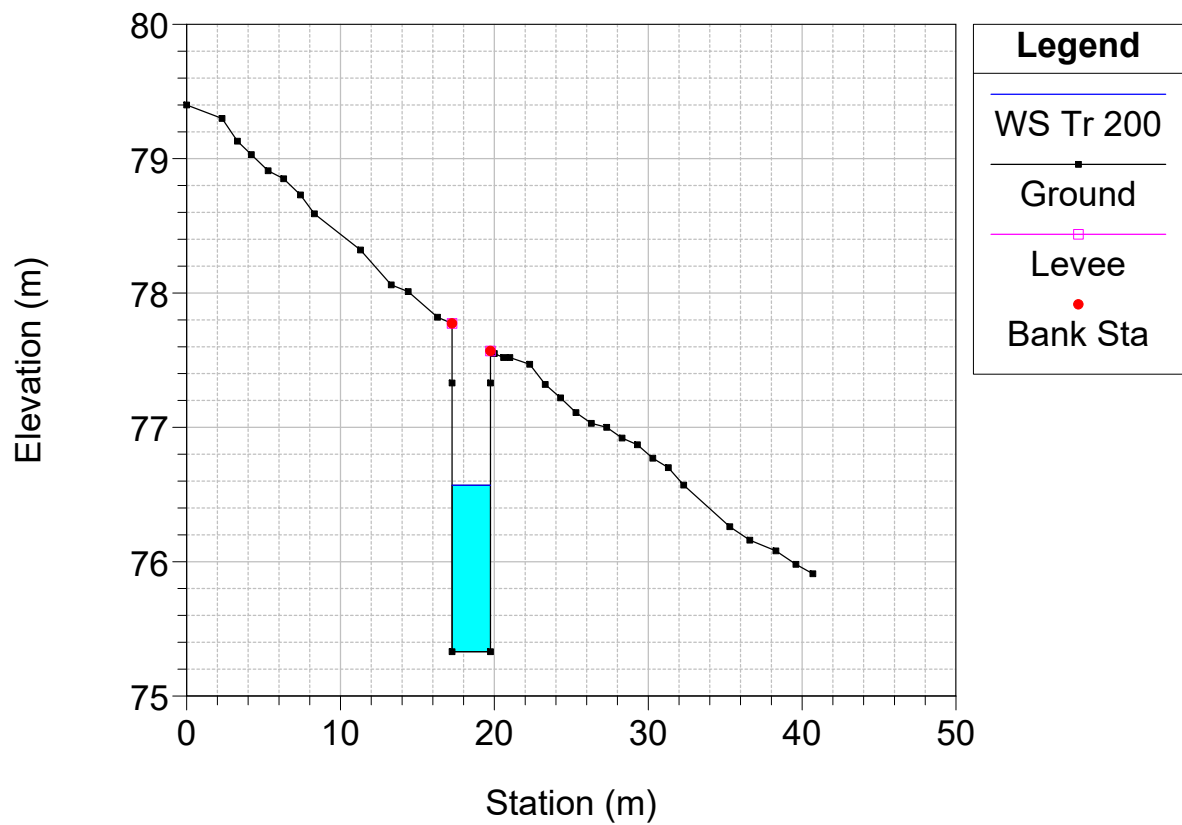




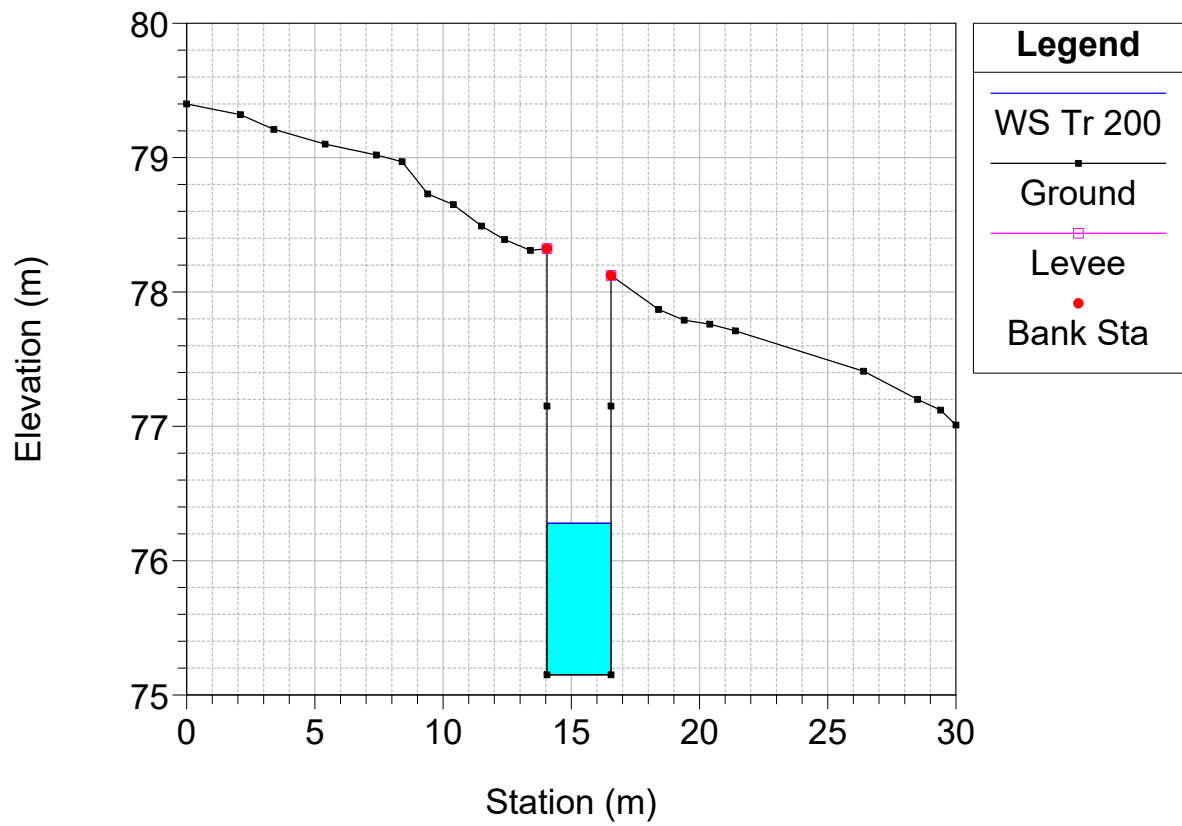
RS = 900



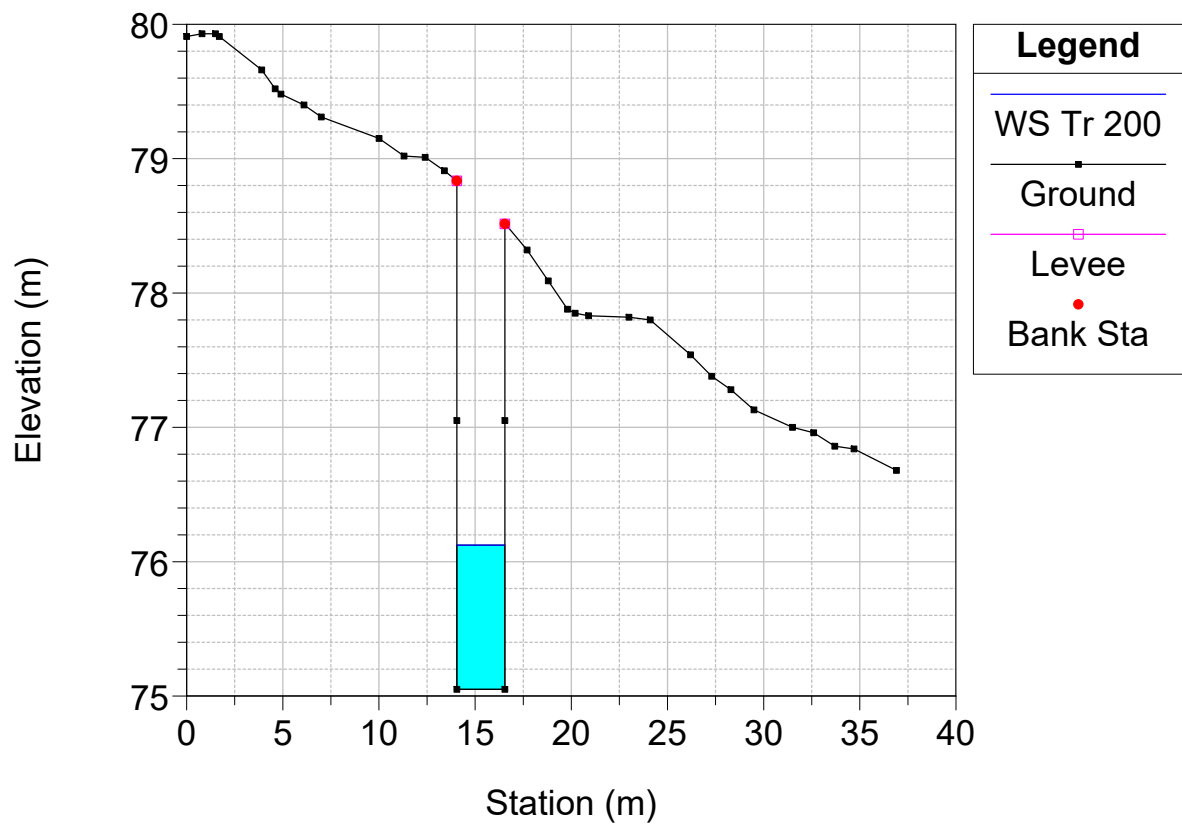
RS = 855



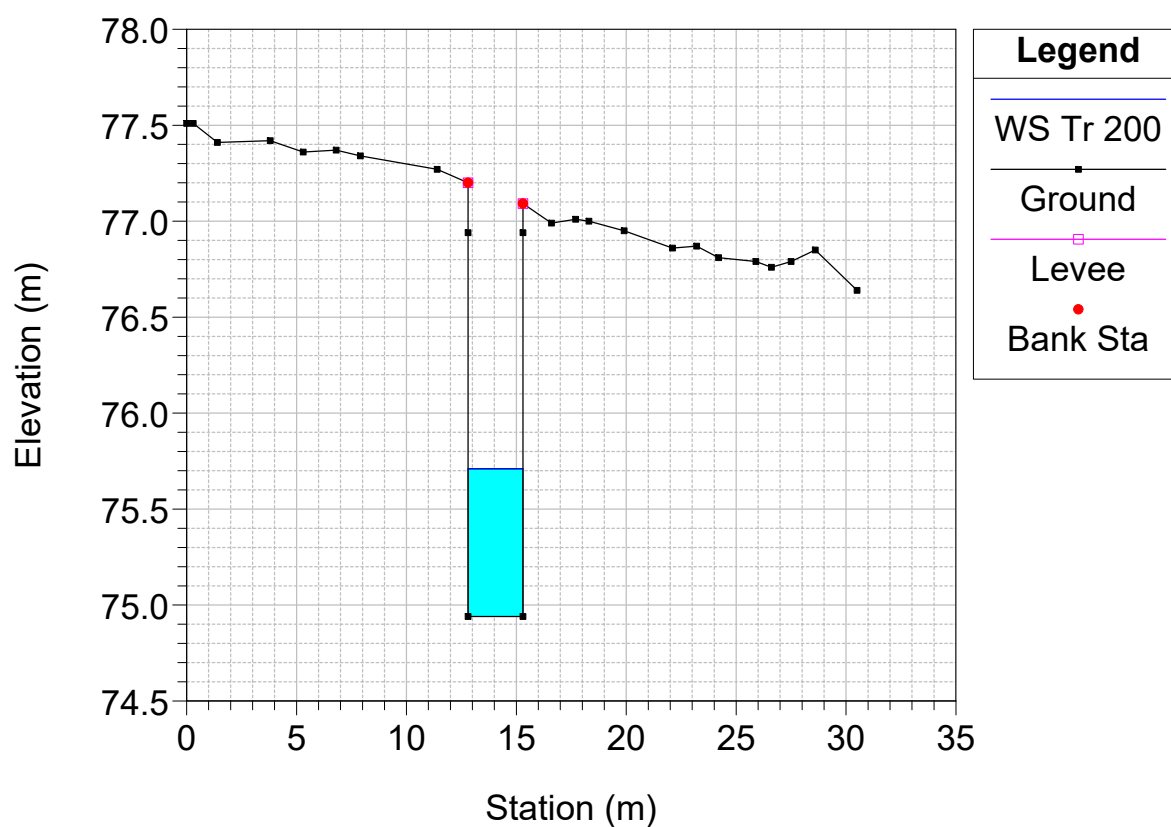
RS = 810



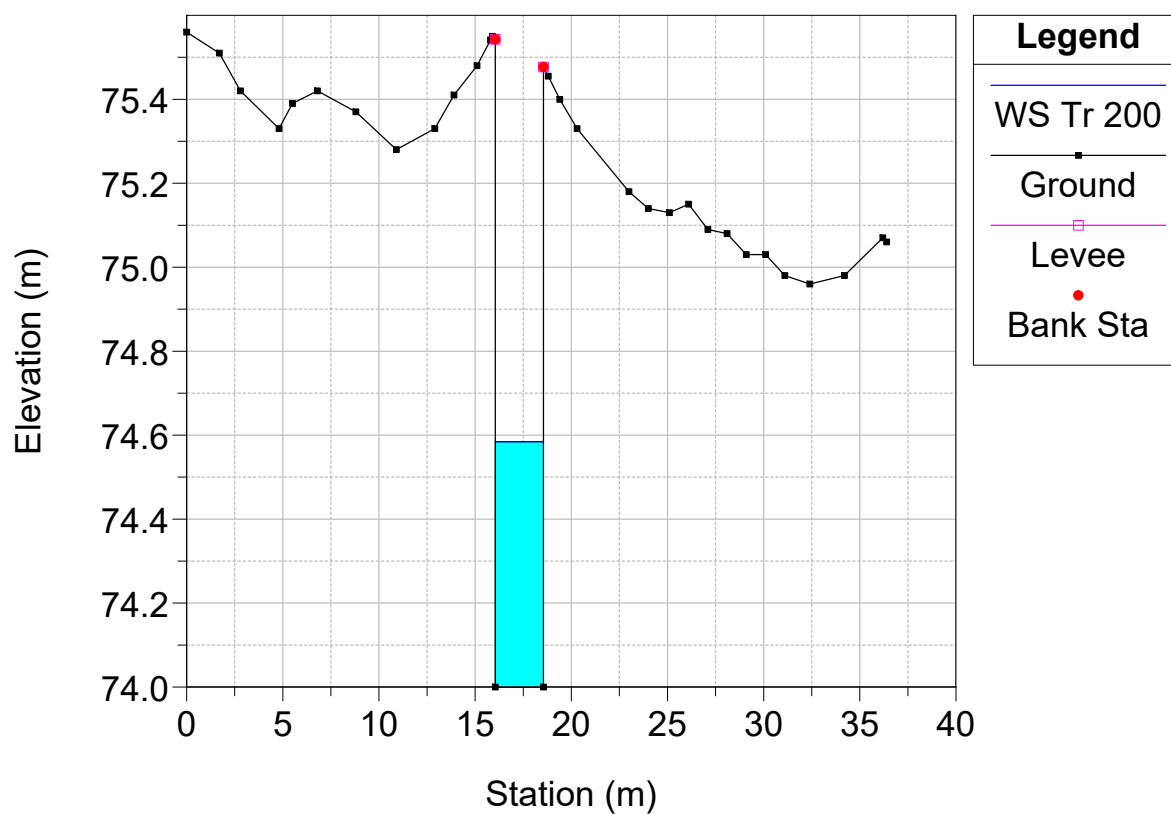
RS = 791



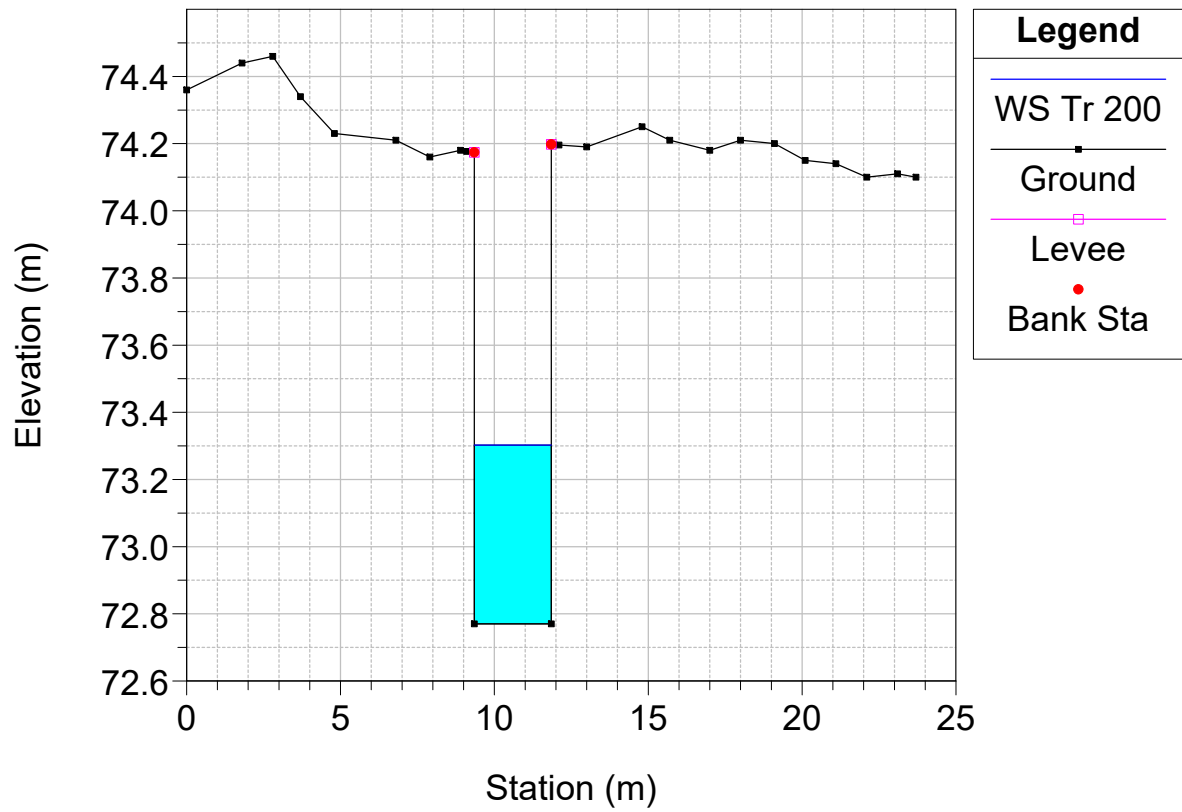
RS = 772



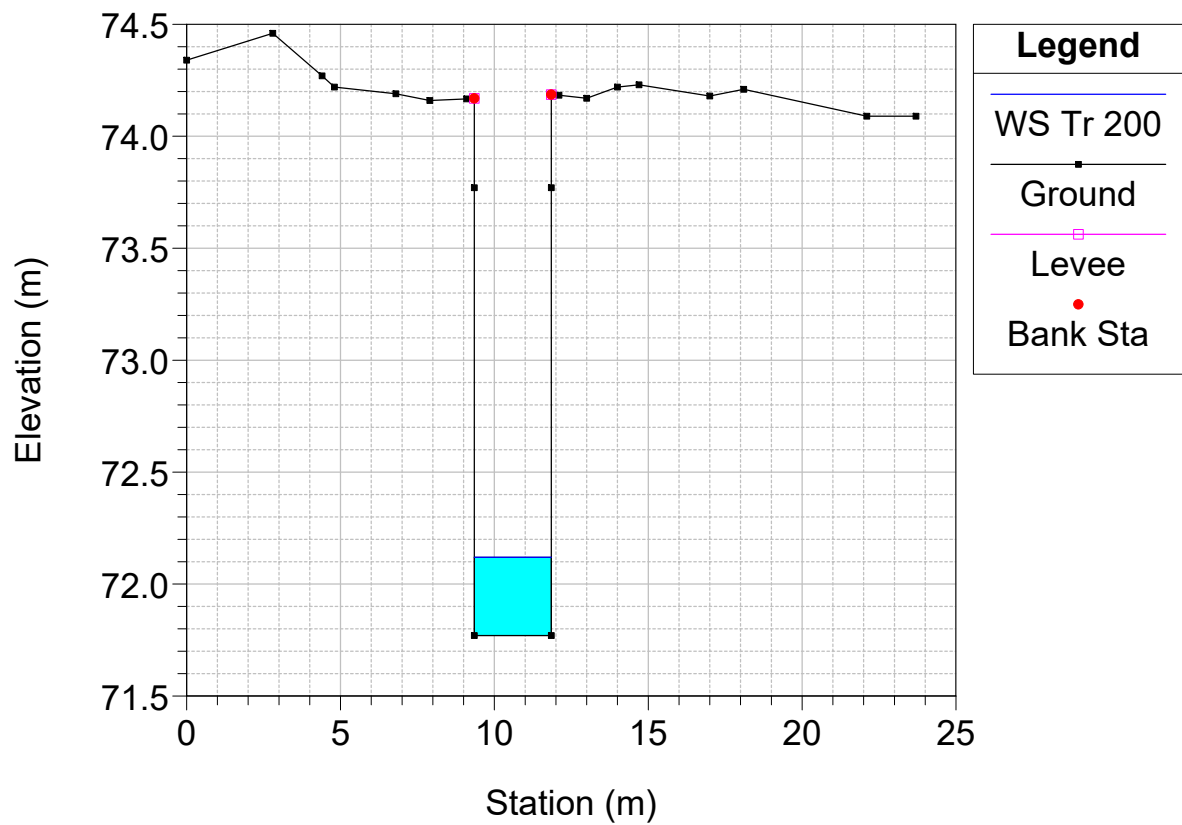
RS = 742



RS = 718

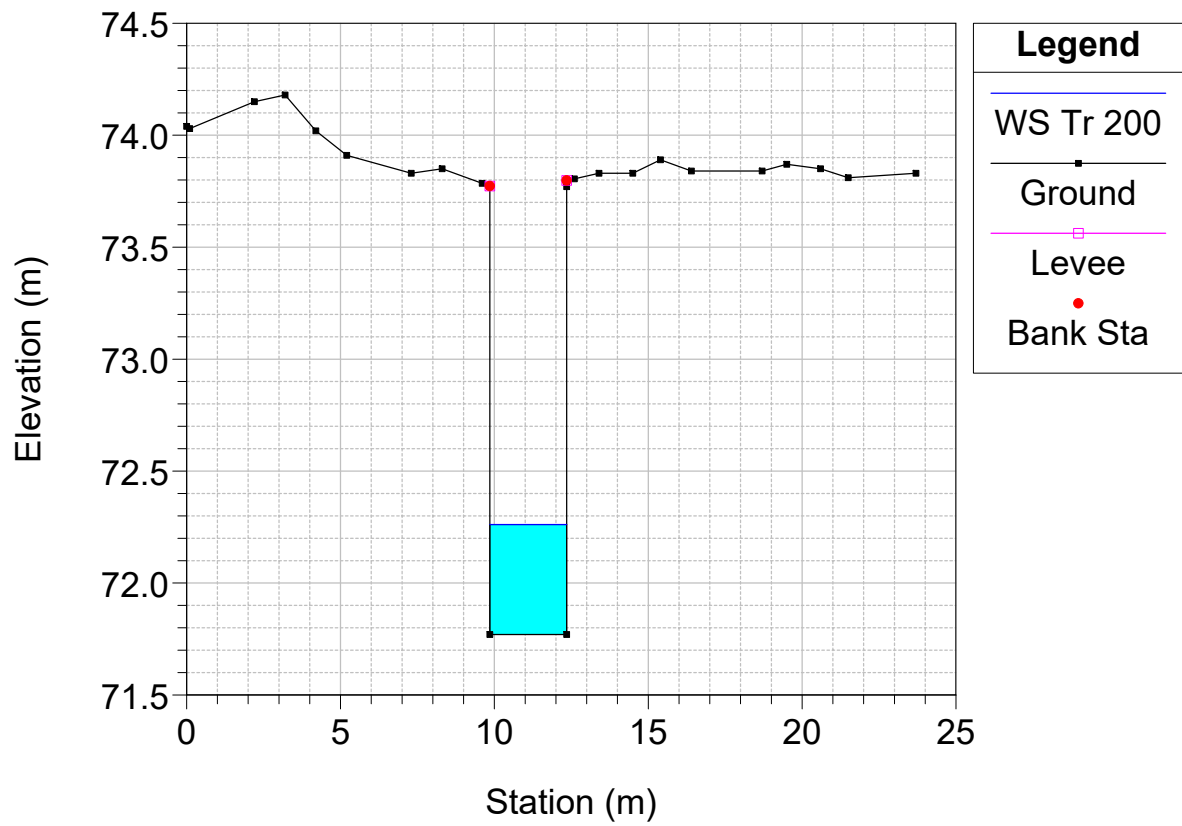


RS = 717.7

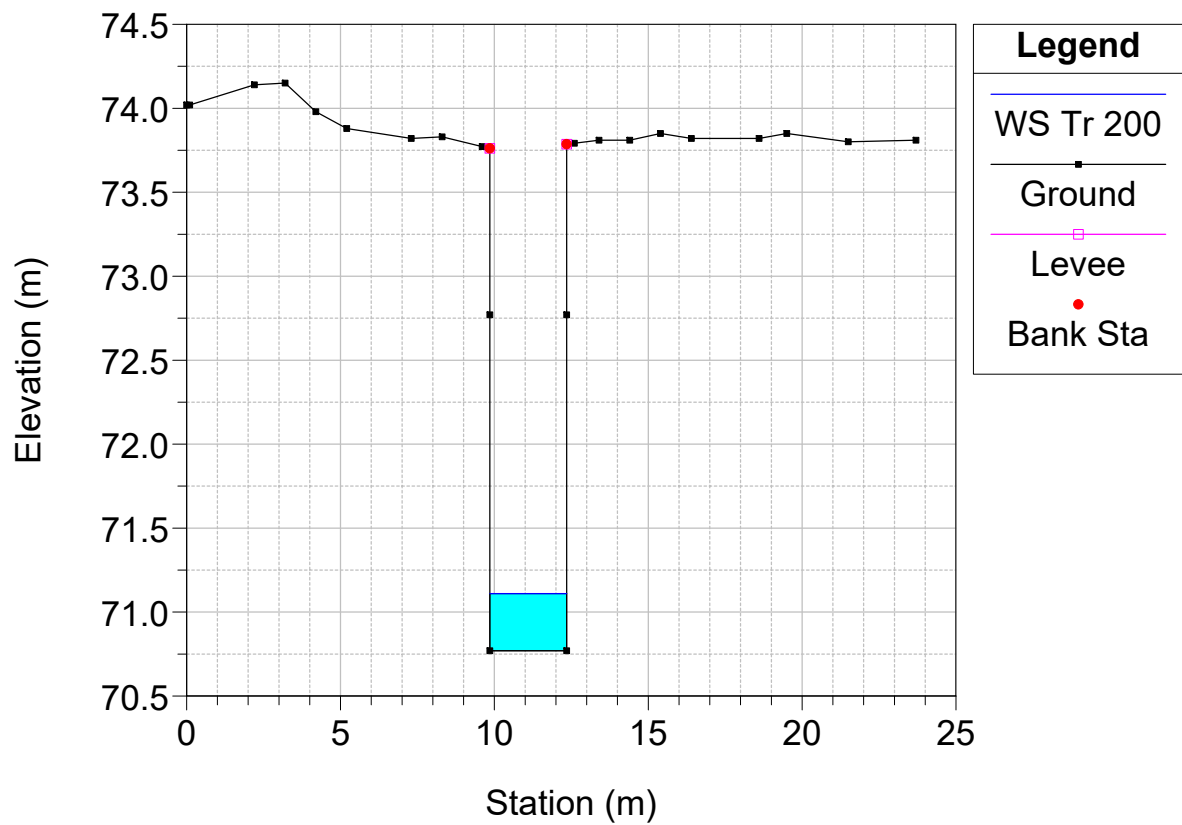


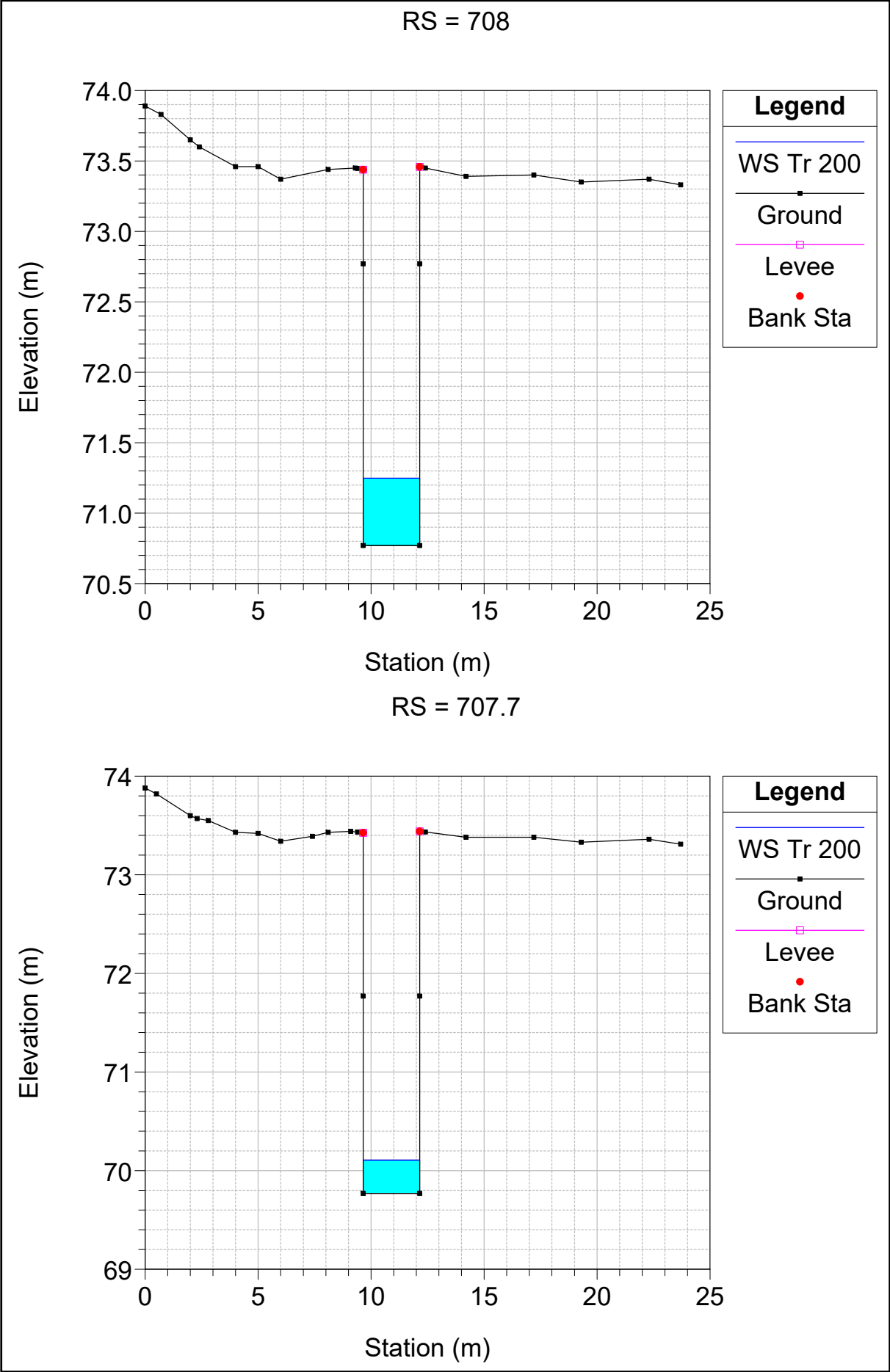


RS = 713

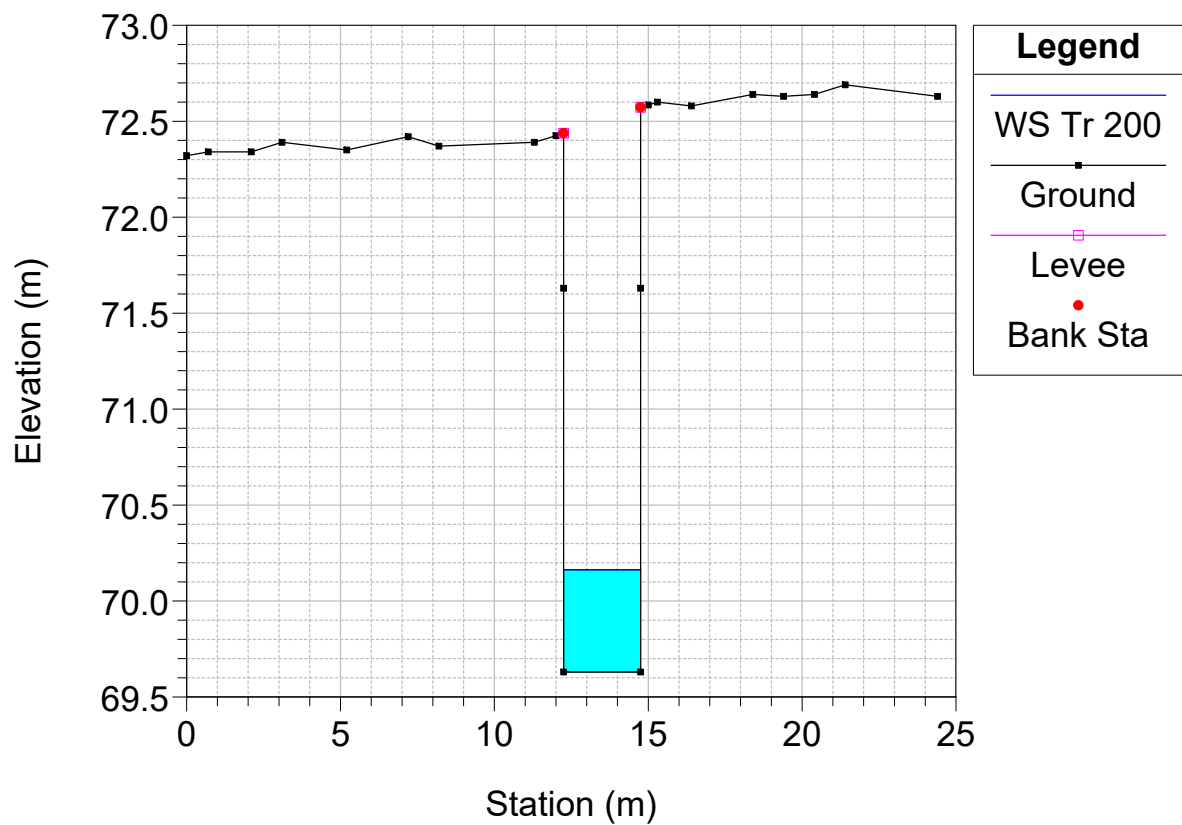


RS = 712.7

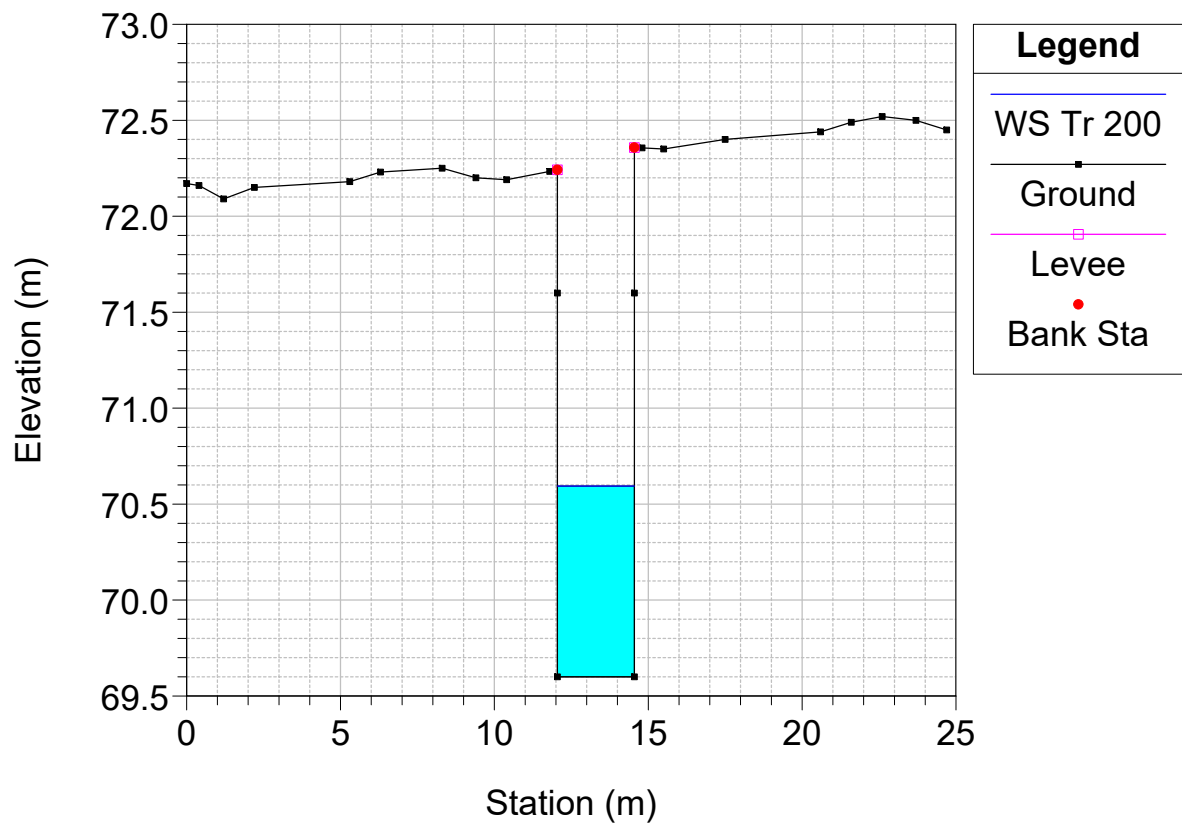




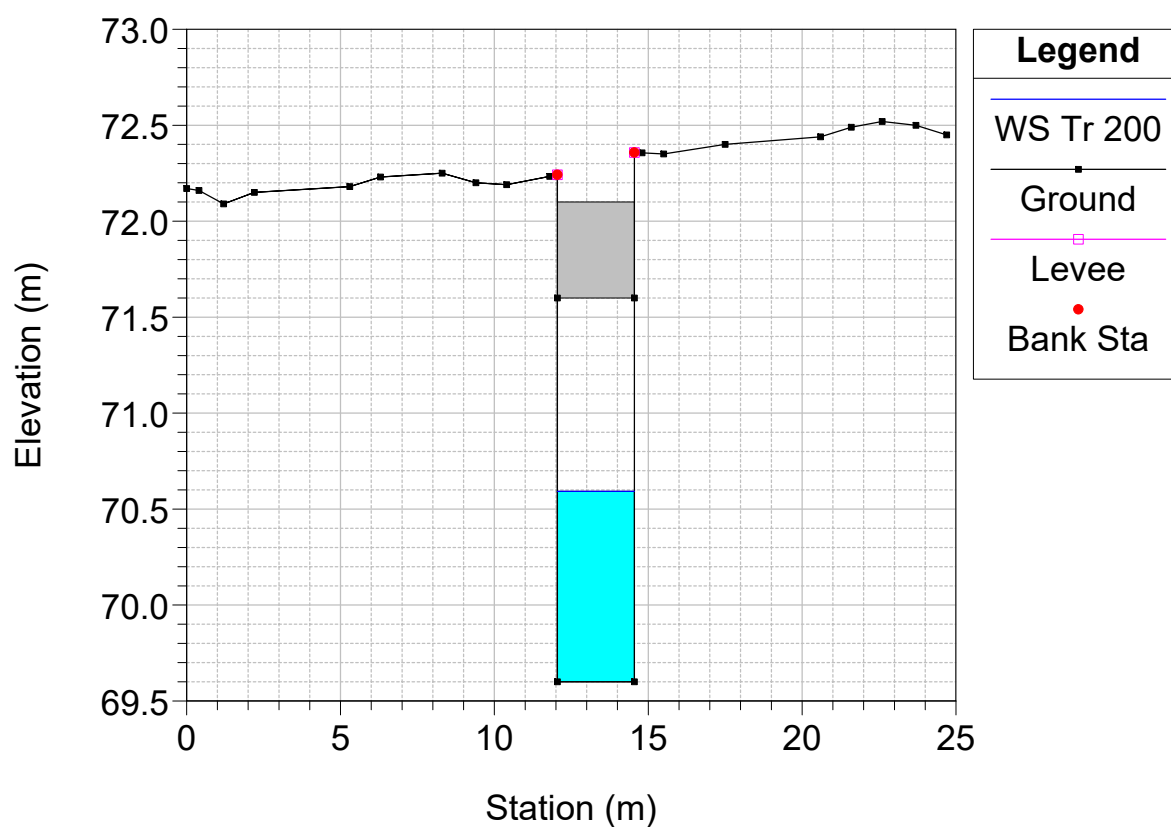
RS = 699



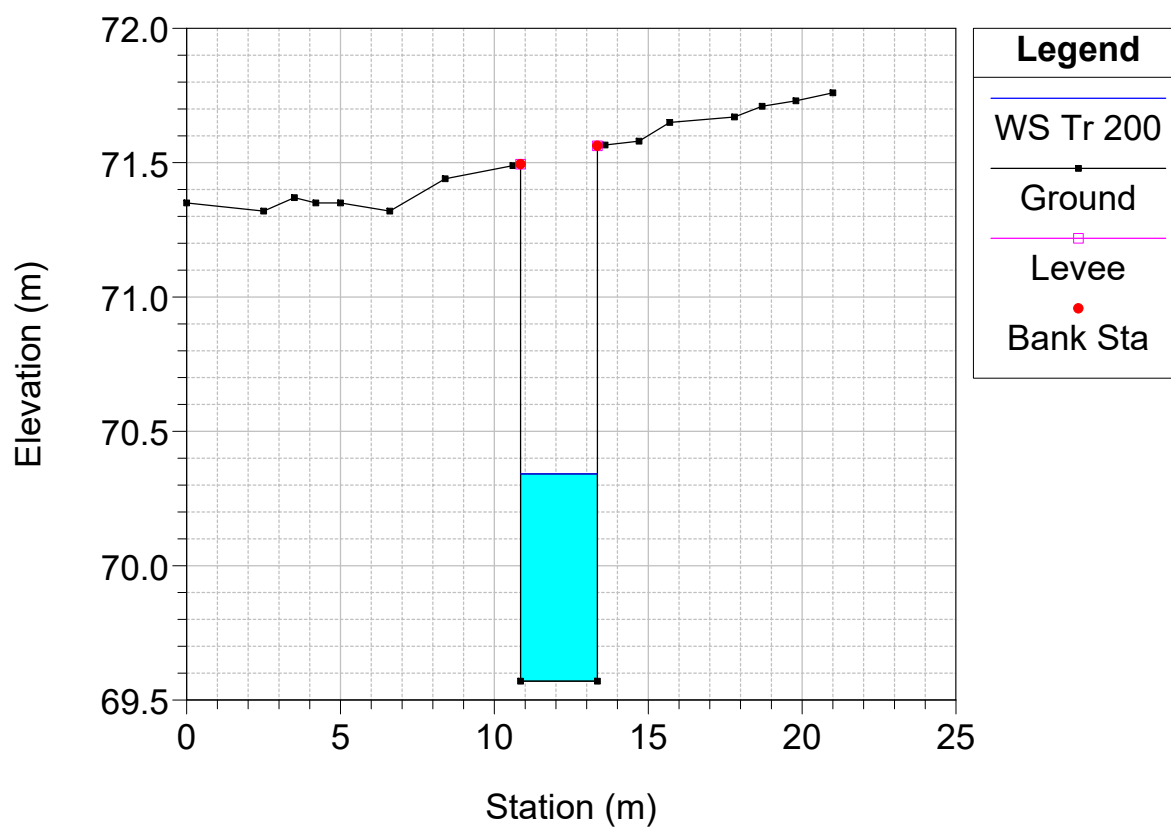
RS = 697



RS = 693 BR

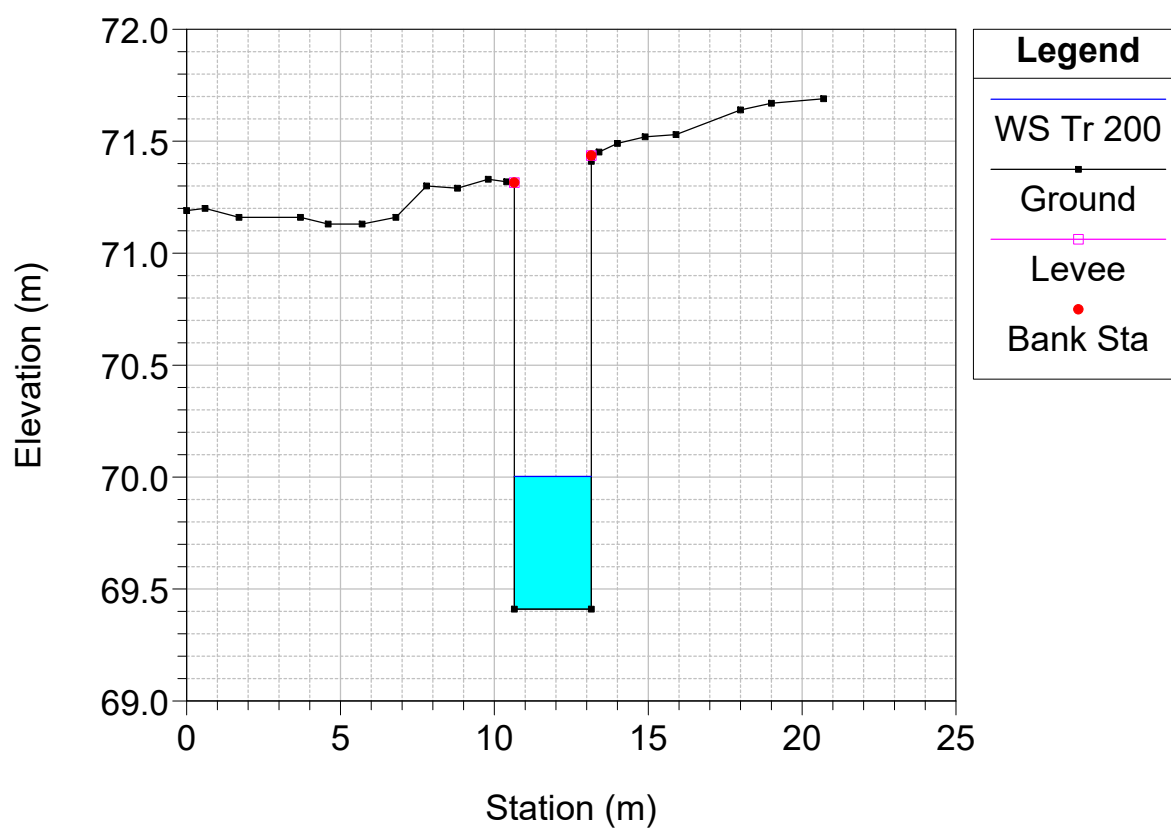


RS = 690

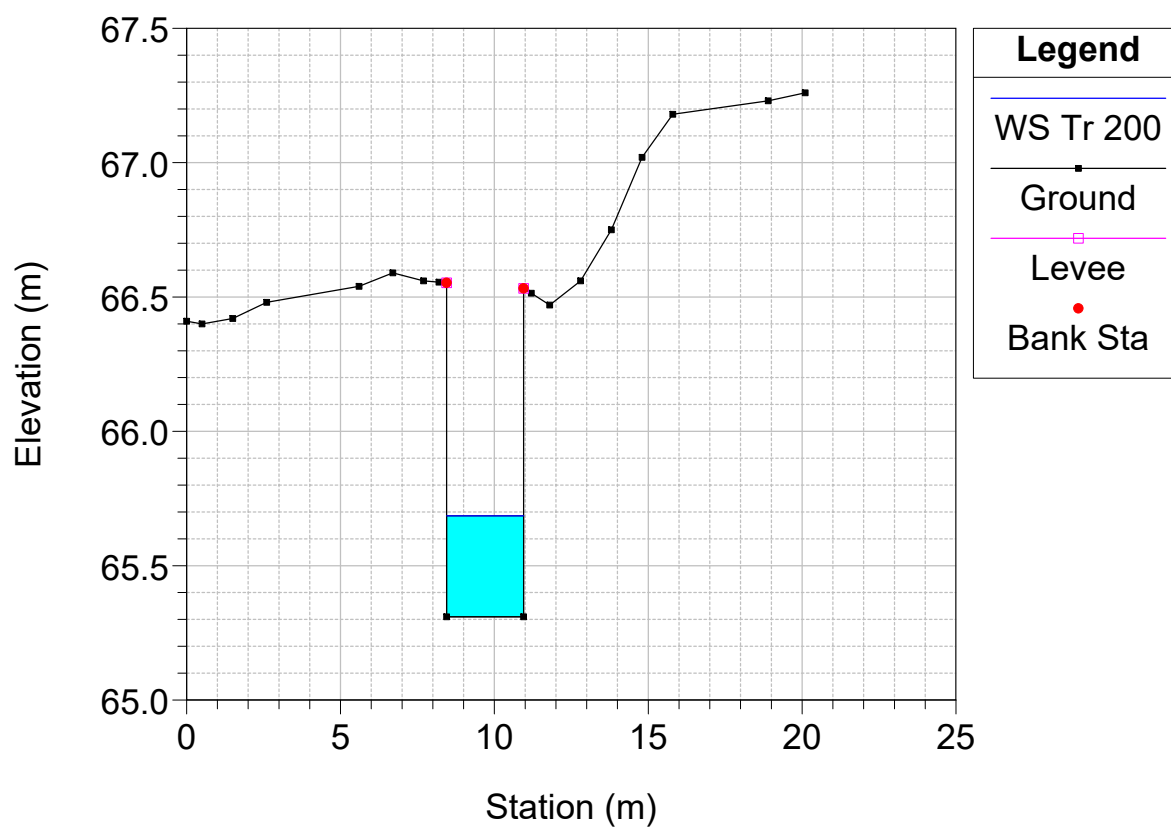




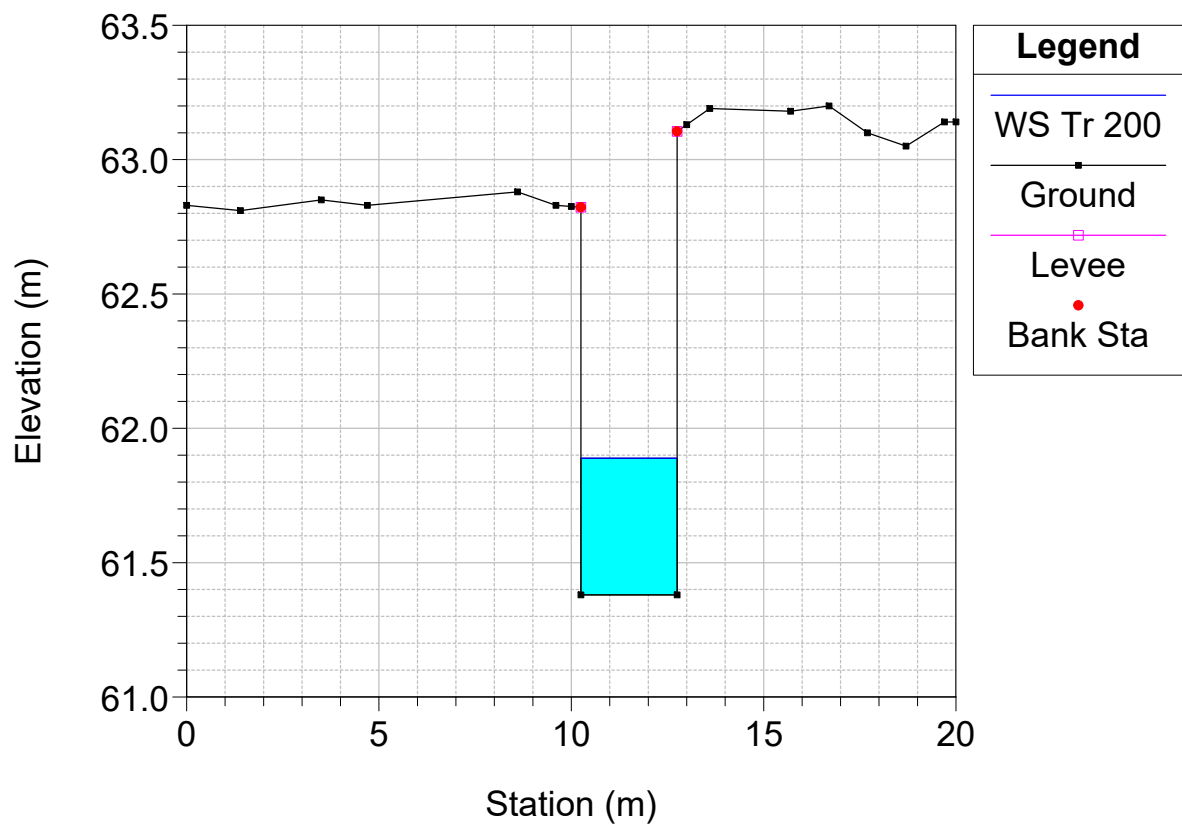
RS = 688



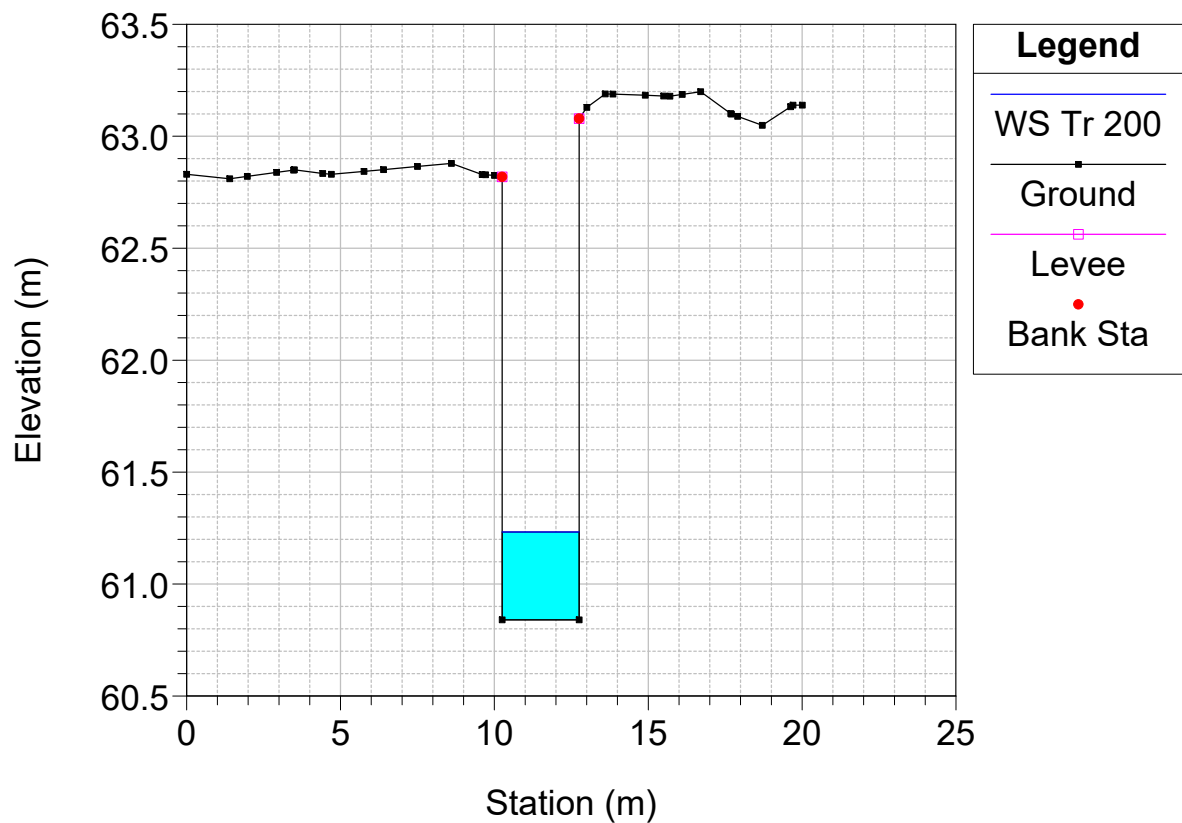
RS = 640



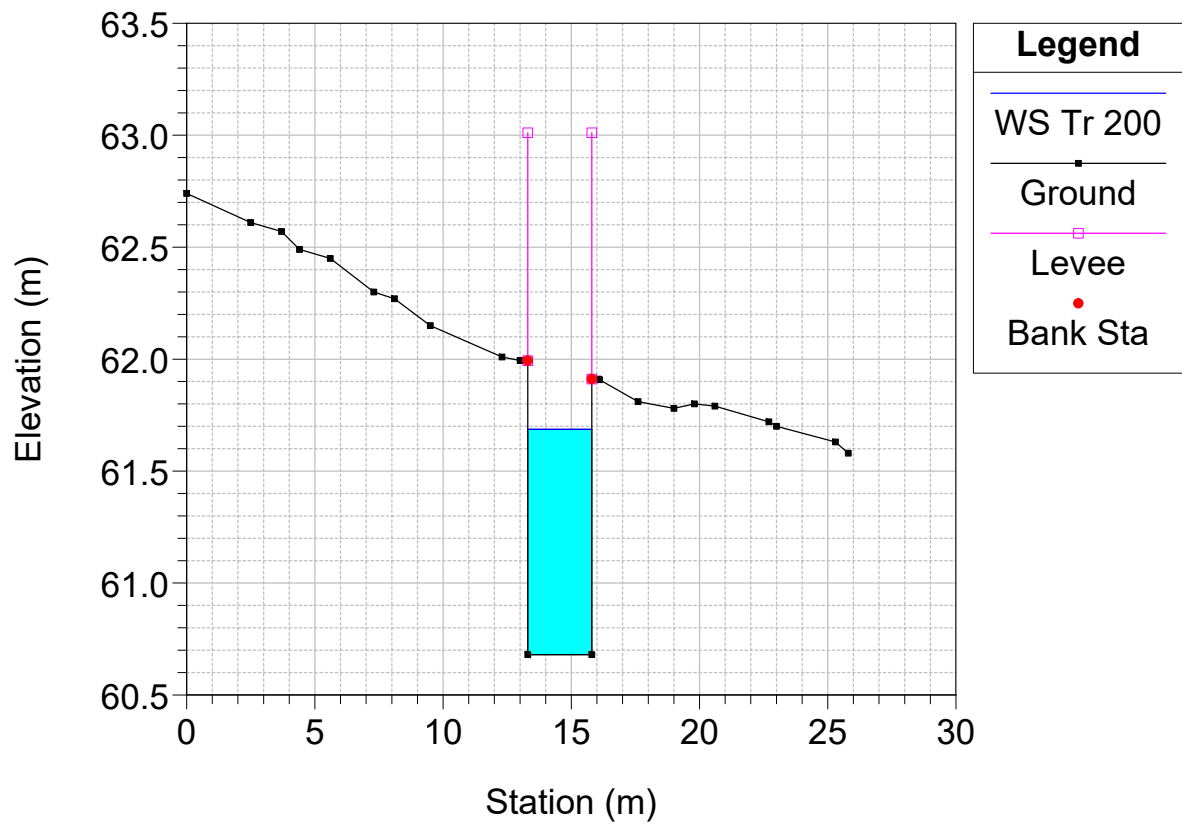
RS = 593



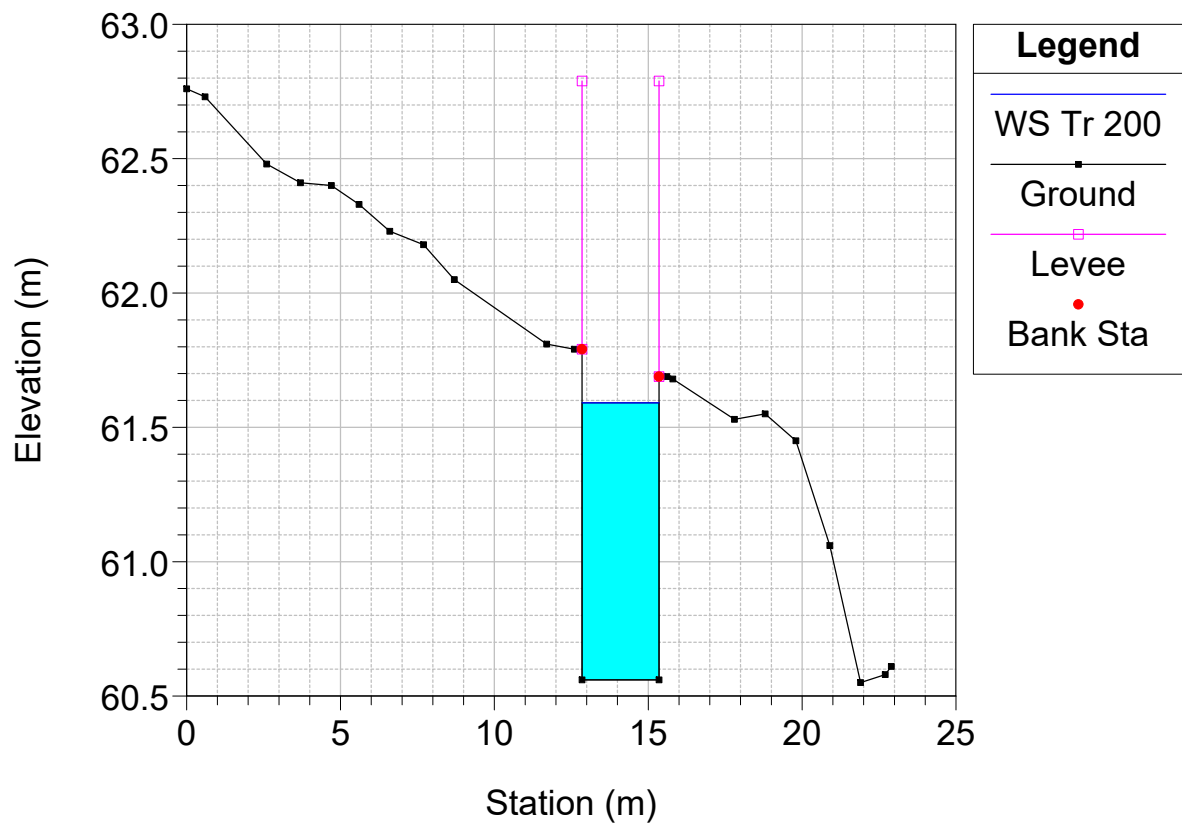
RS = 592.99



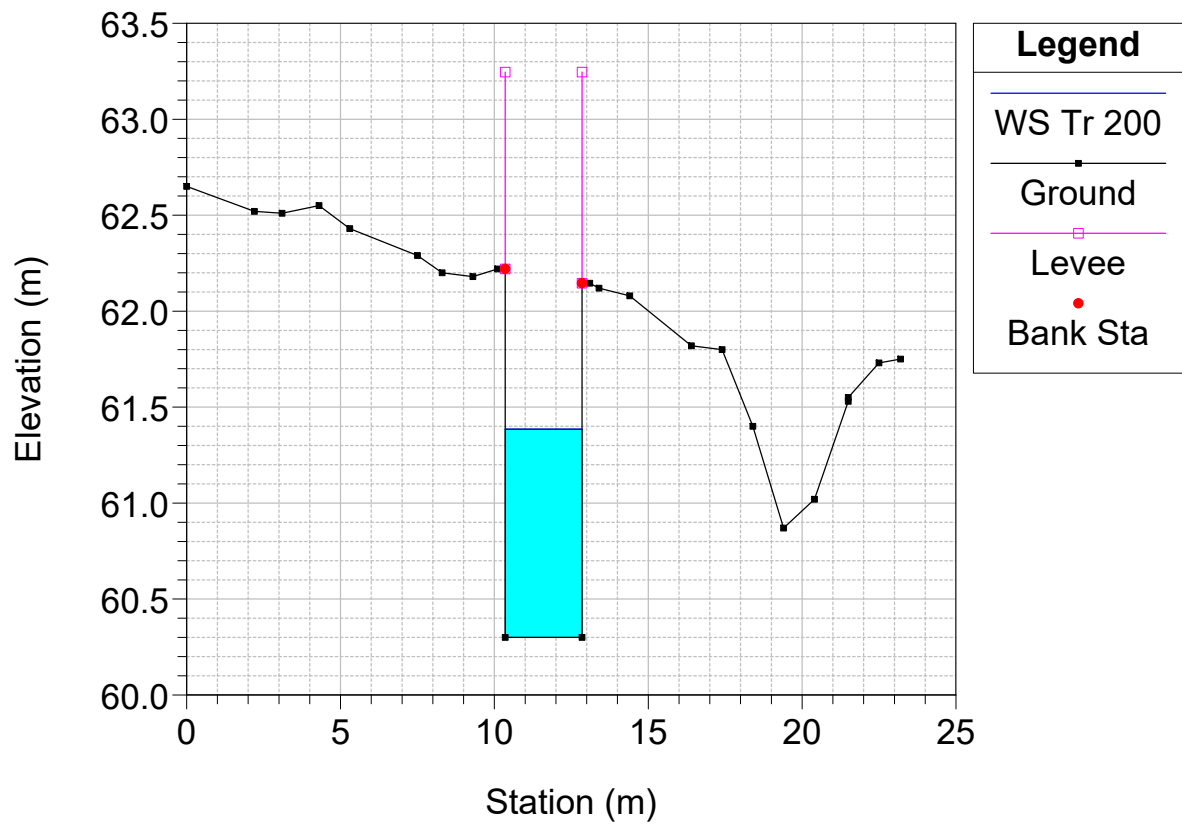
RS = 580



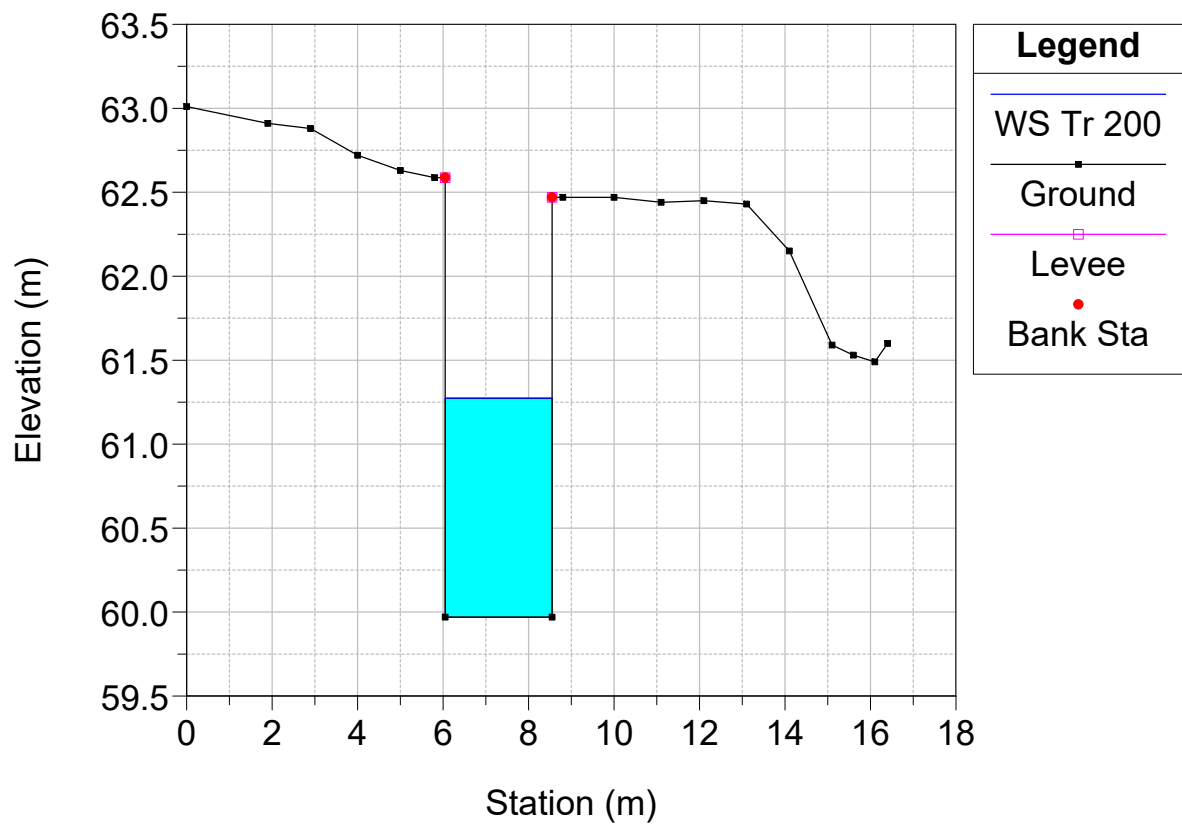
RS = 568



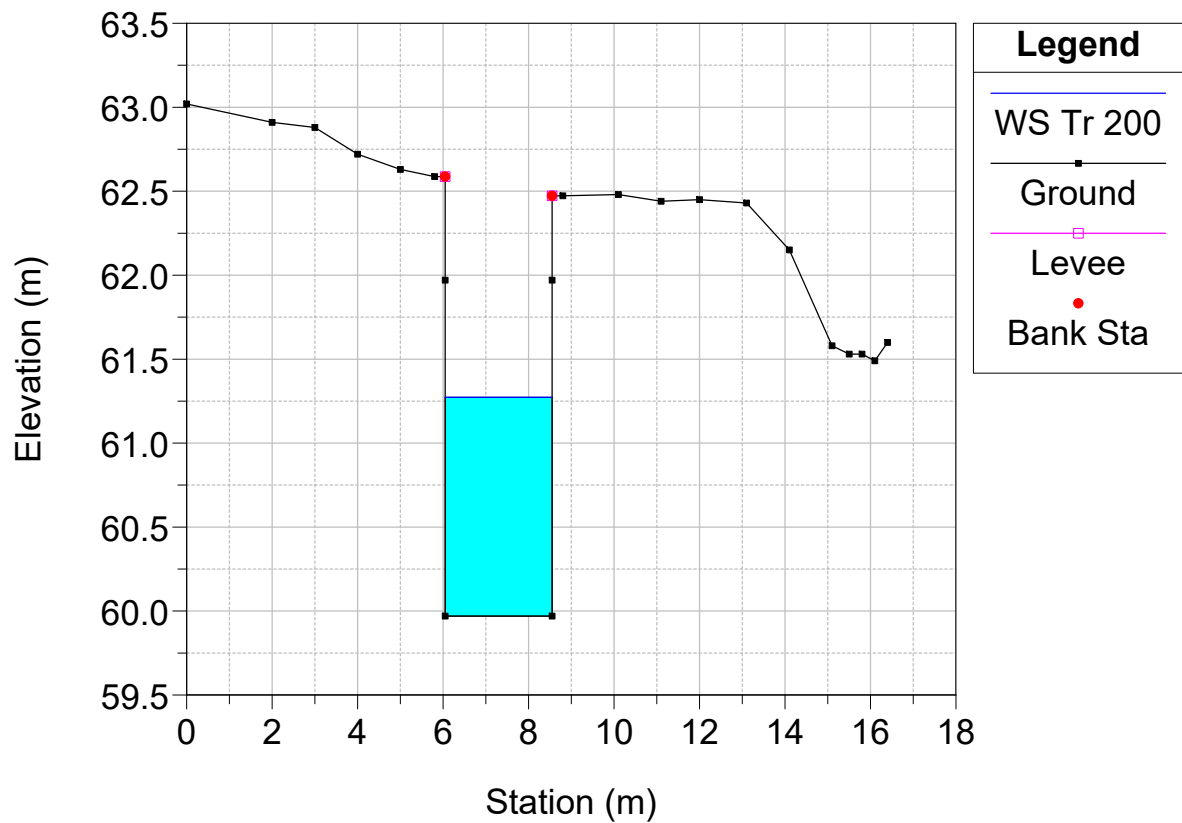
RS = 538



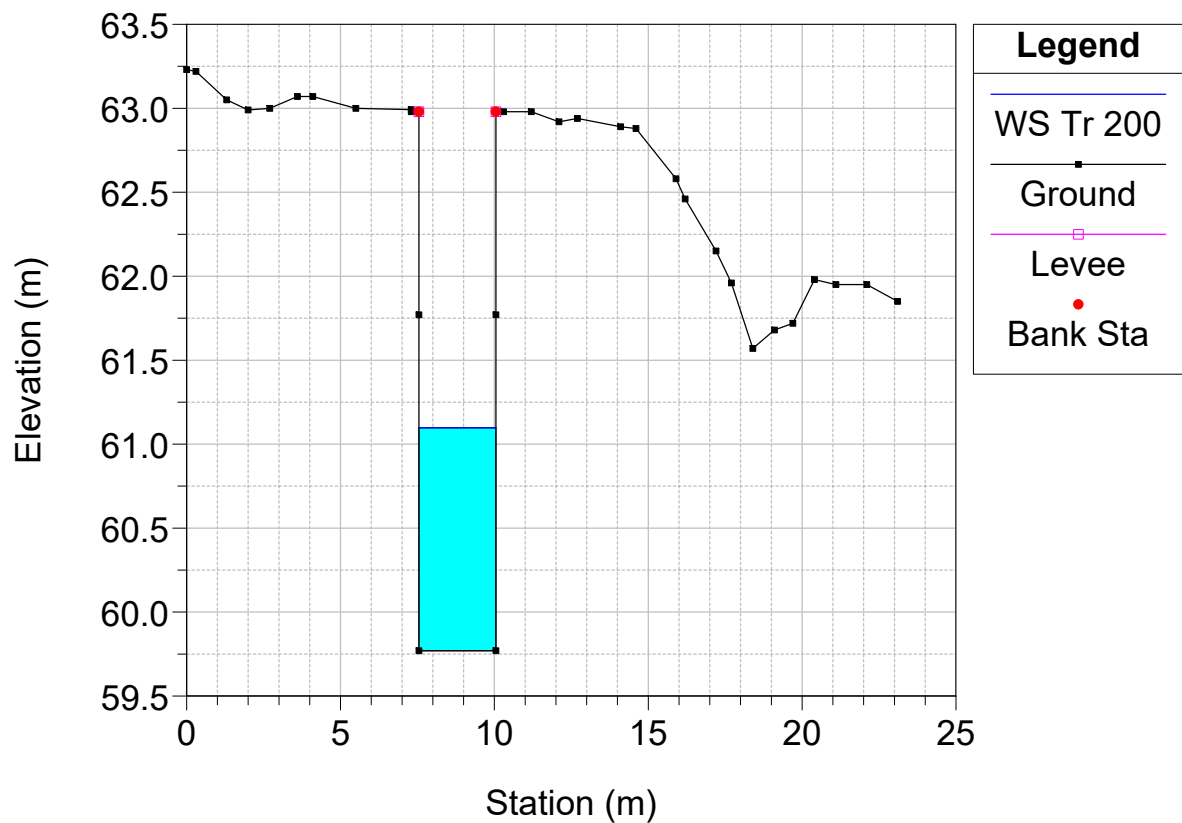
RS = 510.2



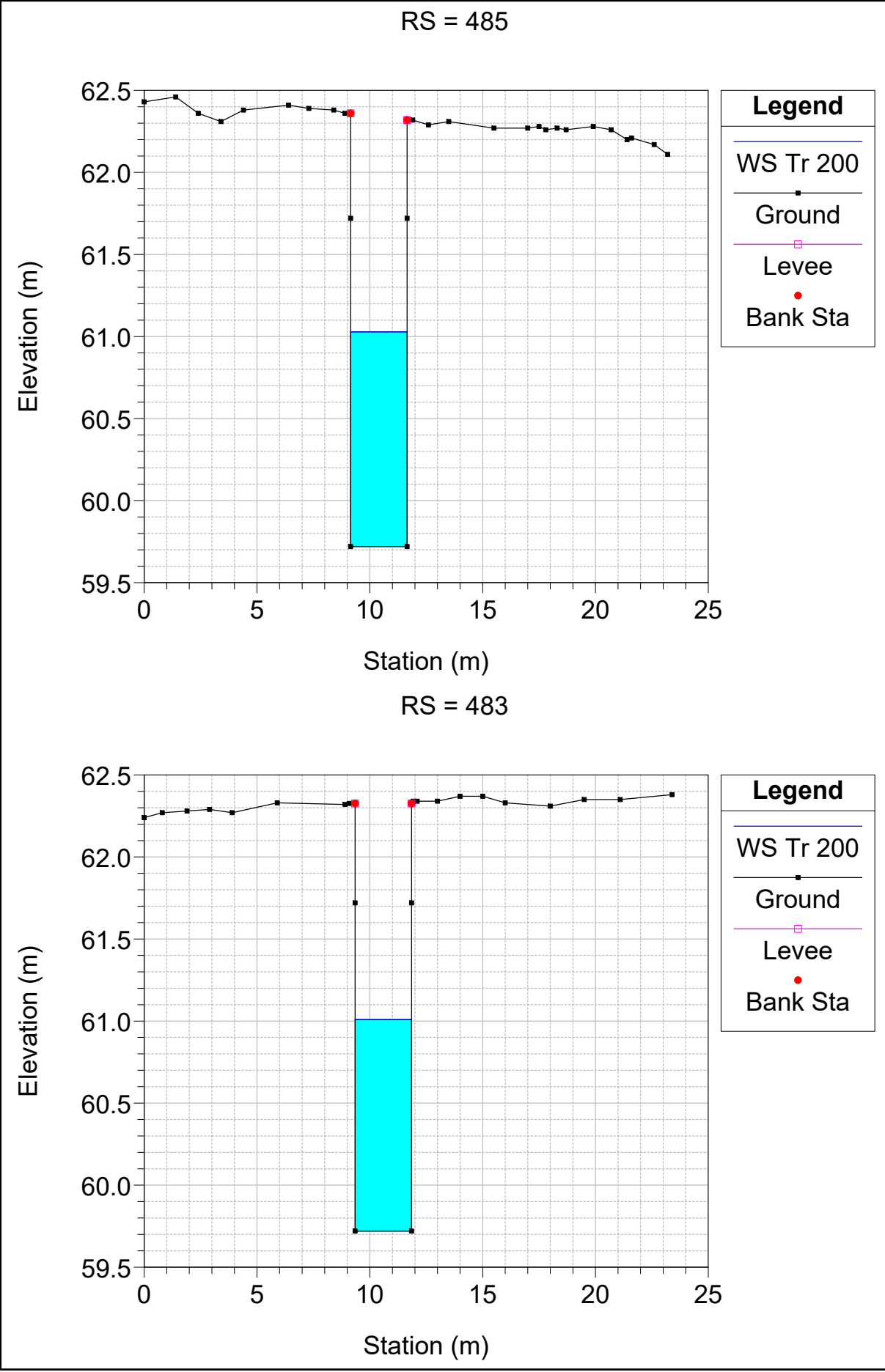
RS = 510



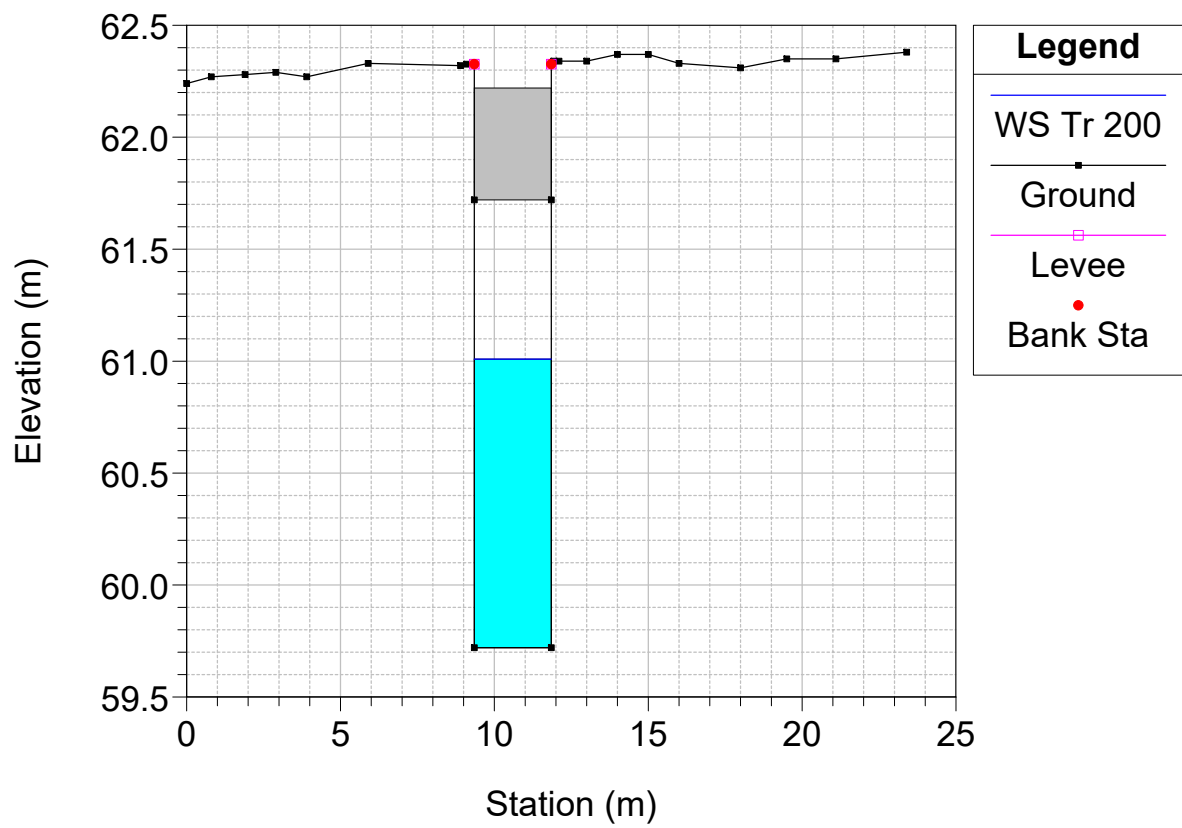
RS = 494



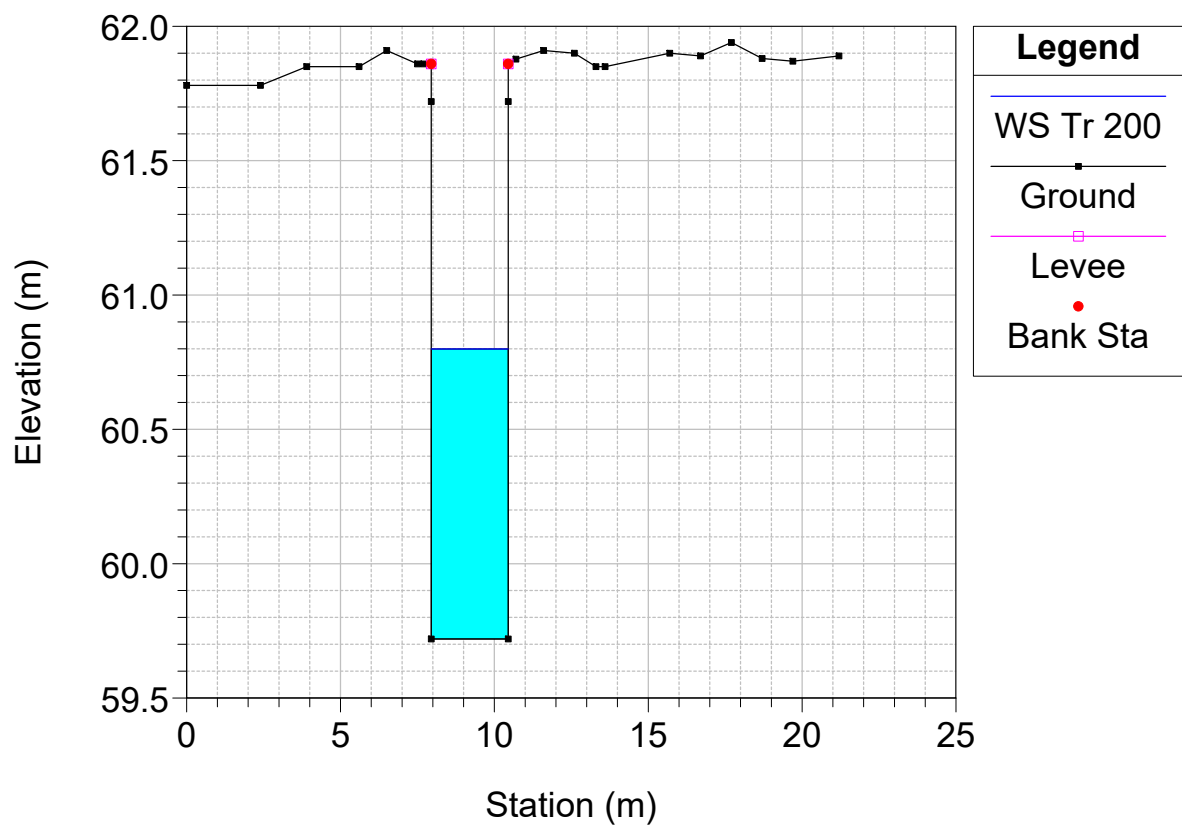




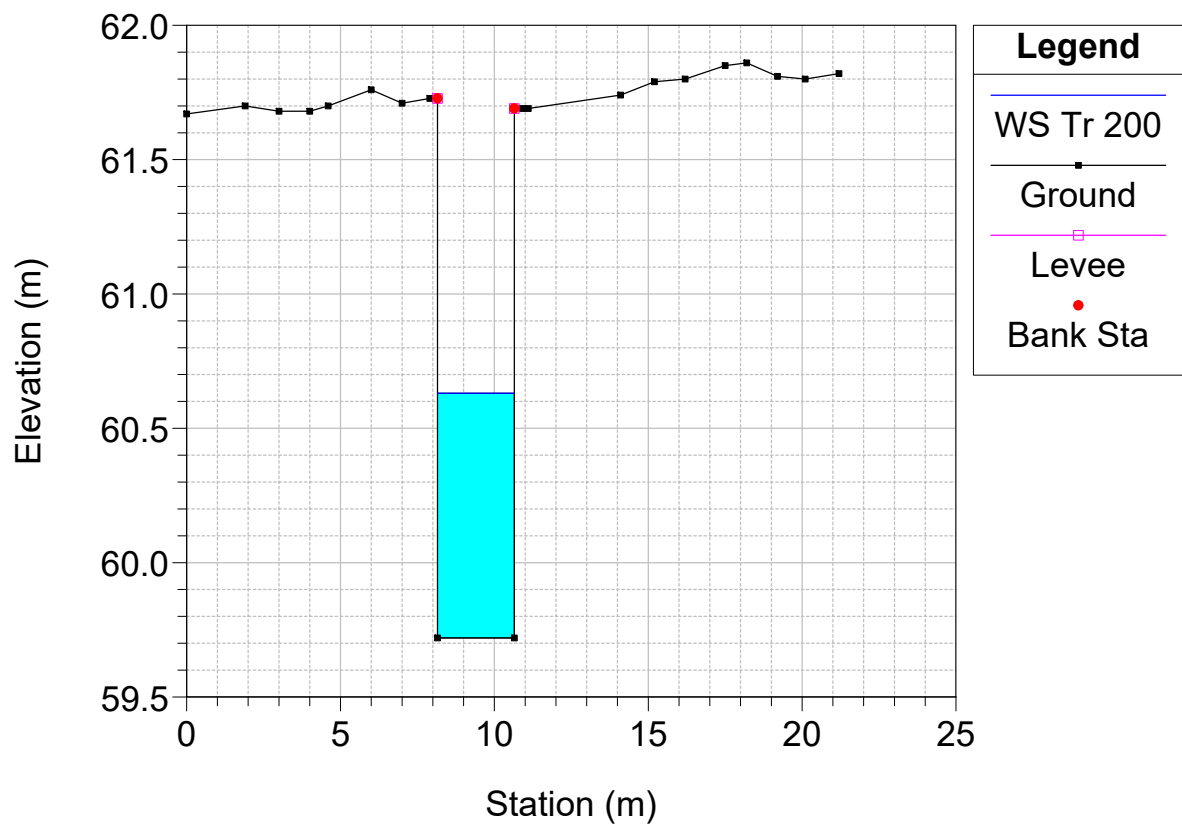
RS = 478    BR



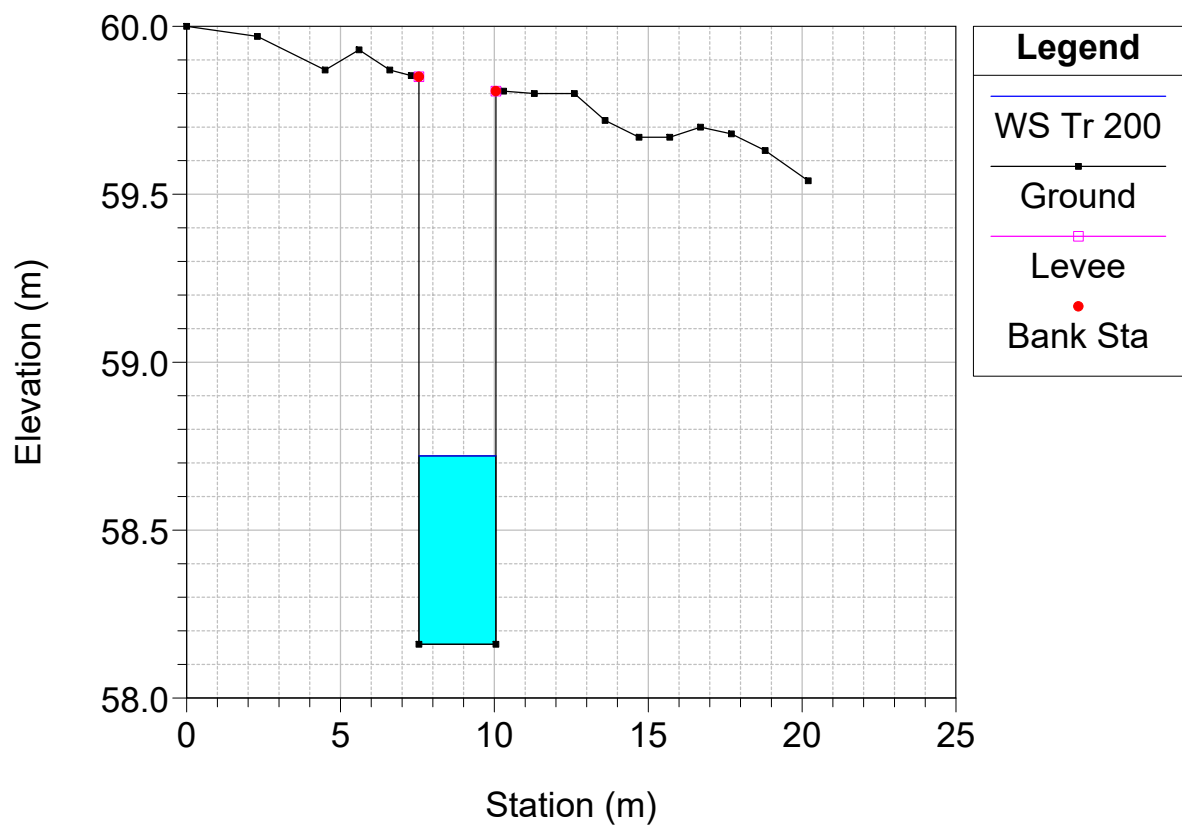
RS = 472



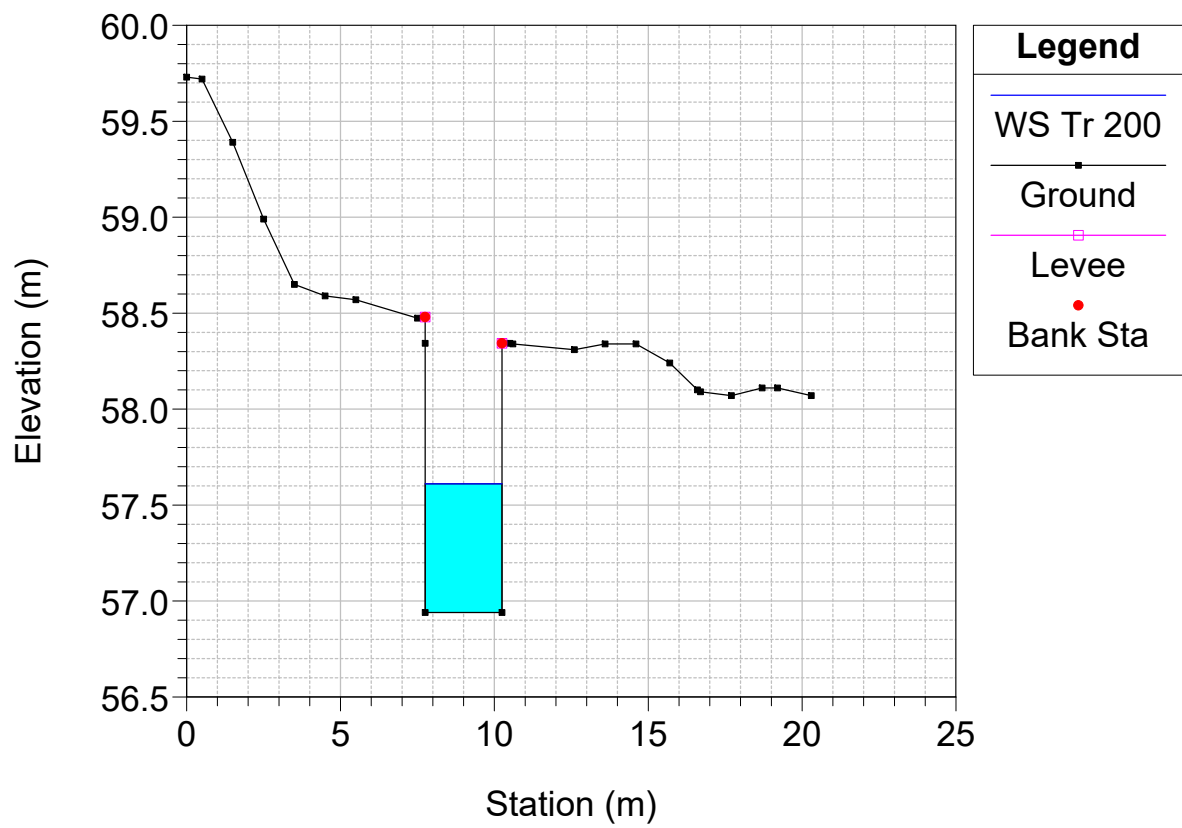
RS = 470



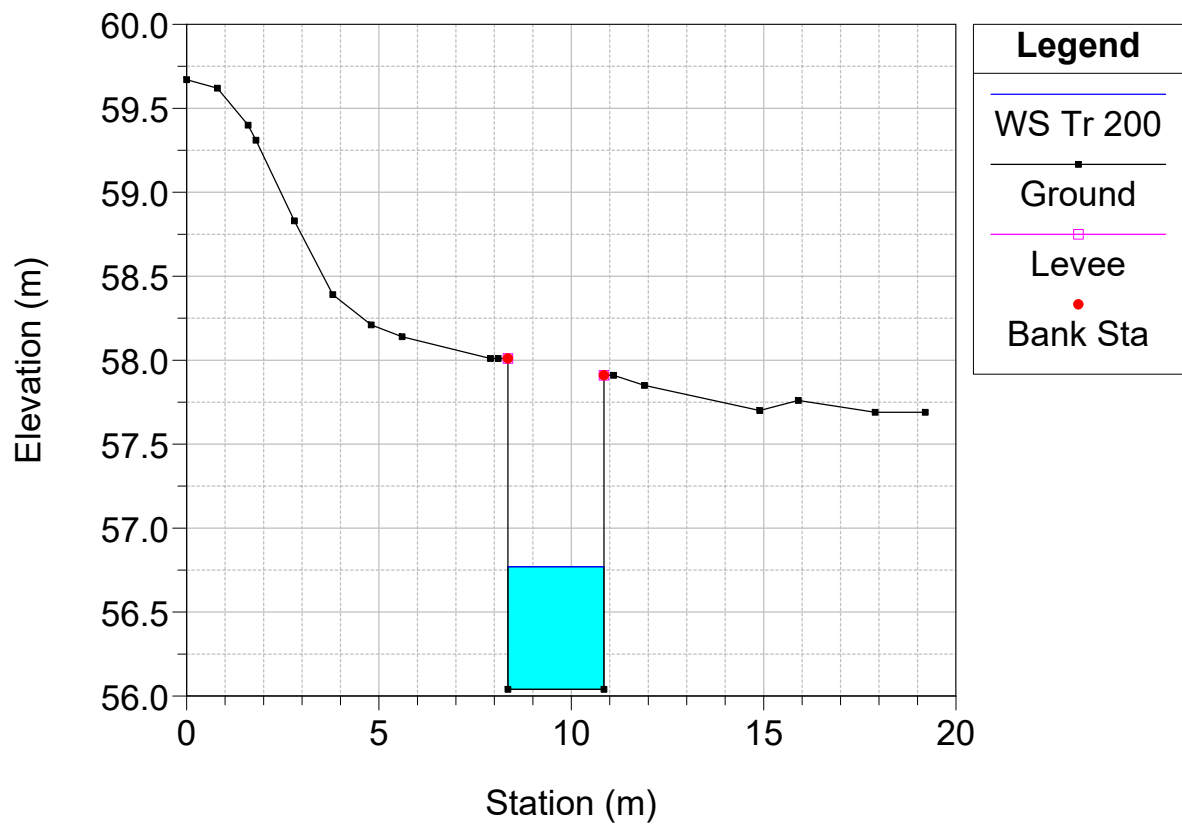
RS = 438

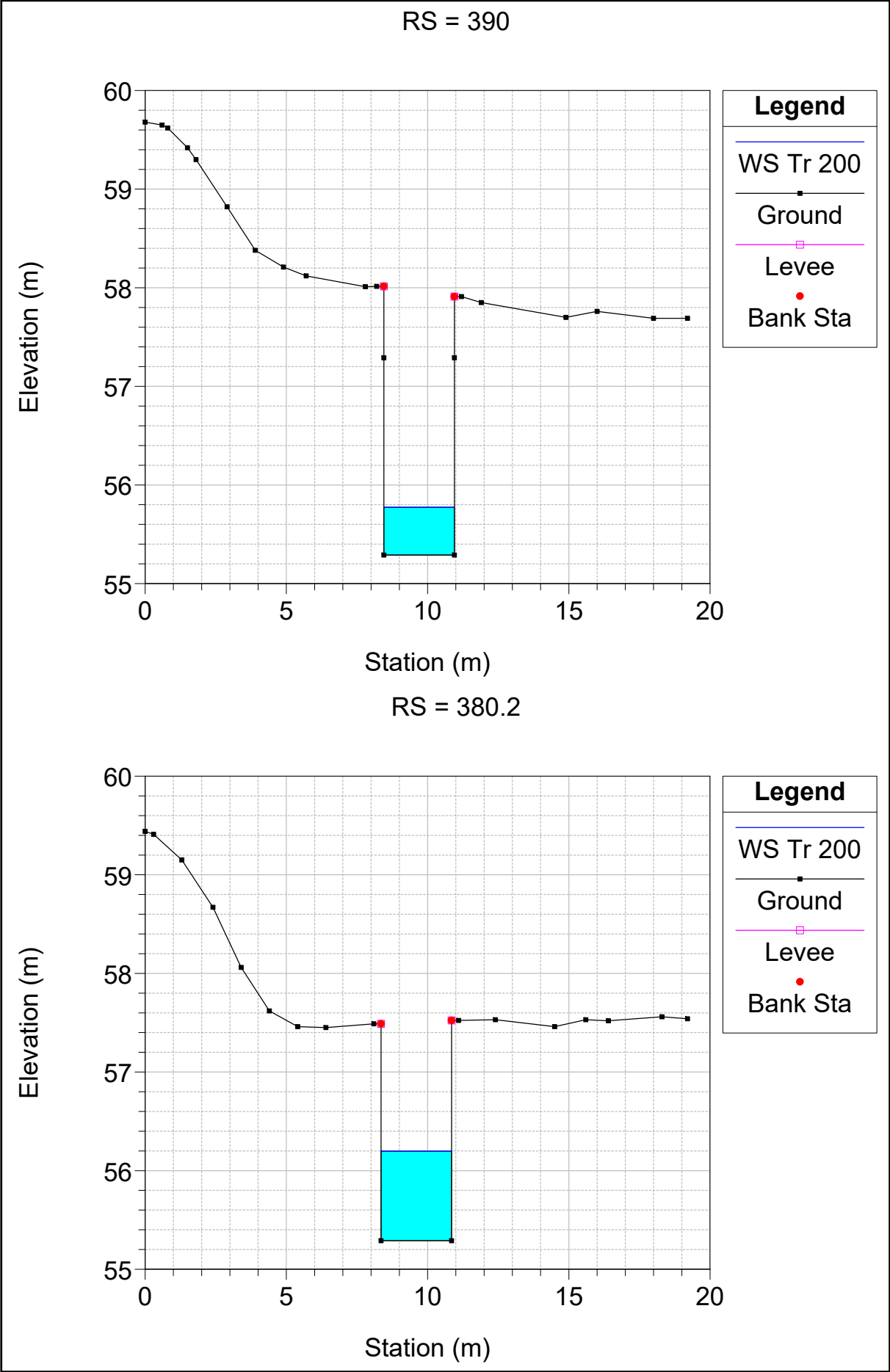


RS = 414



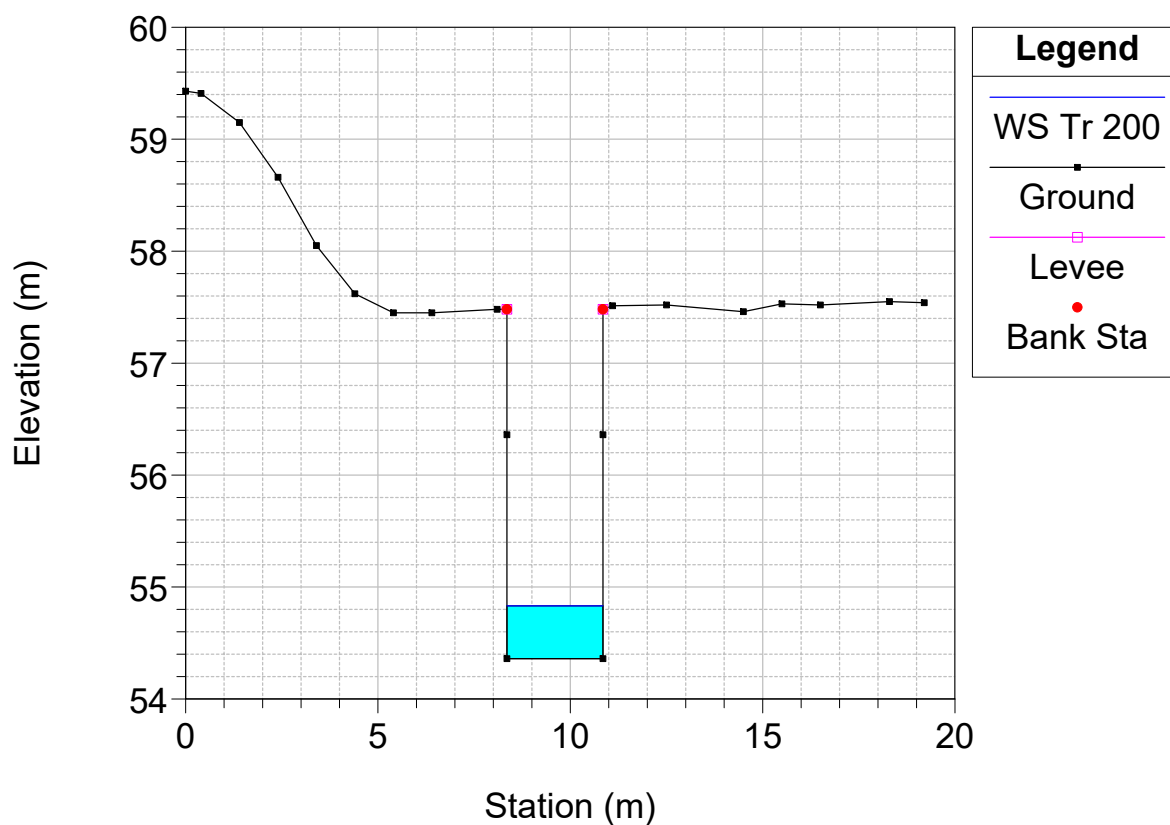
RS = 390.2



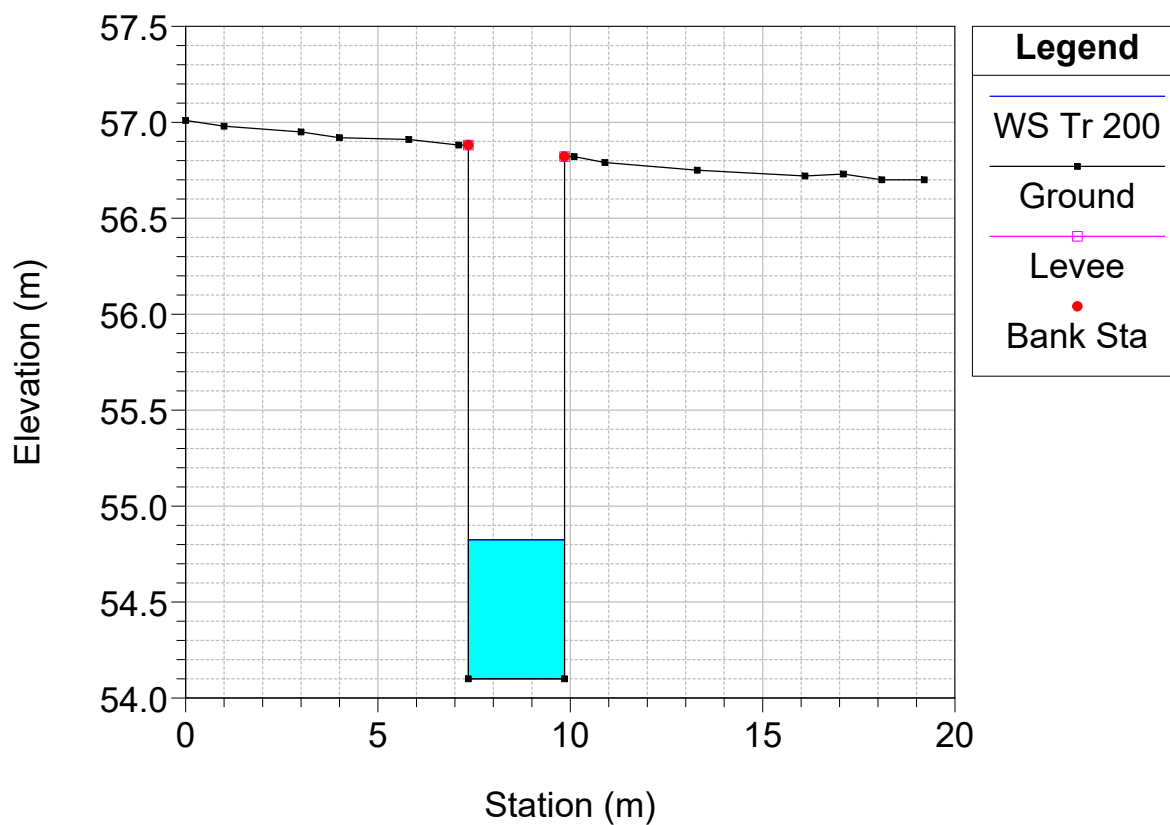




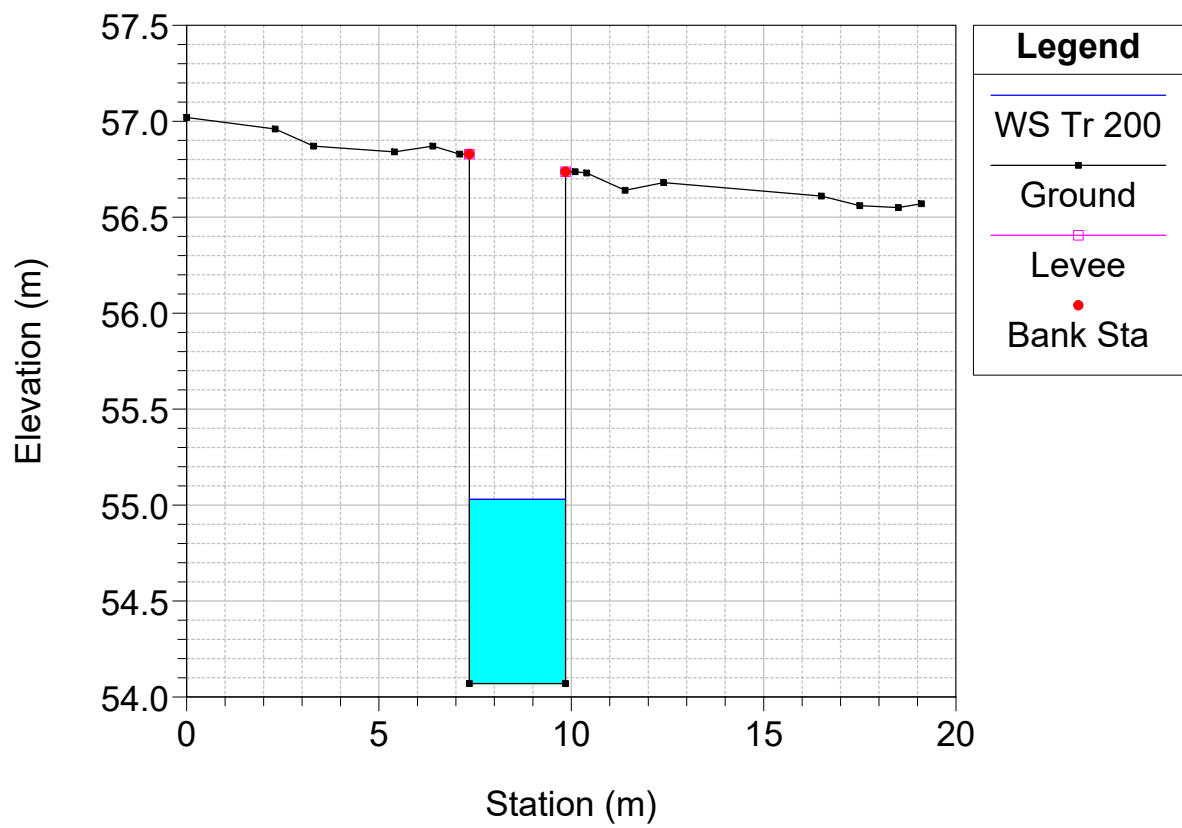
RS = 380



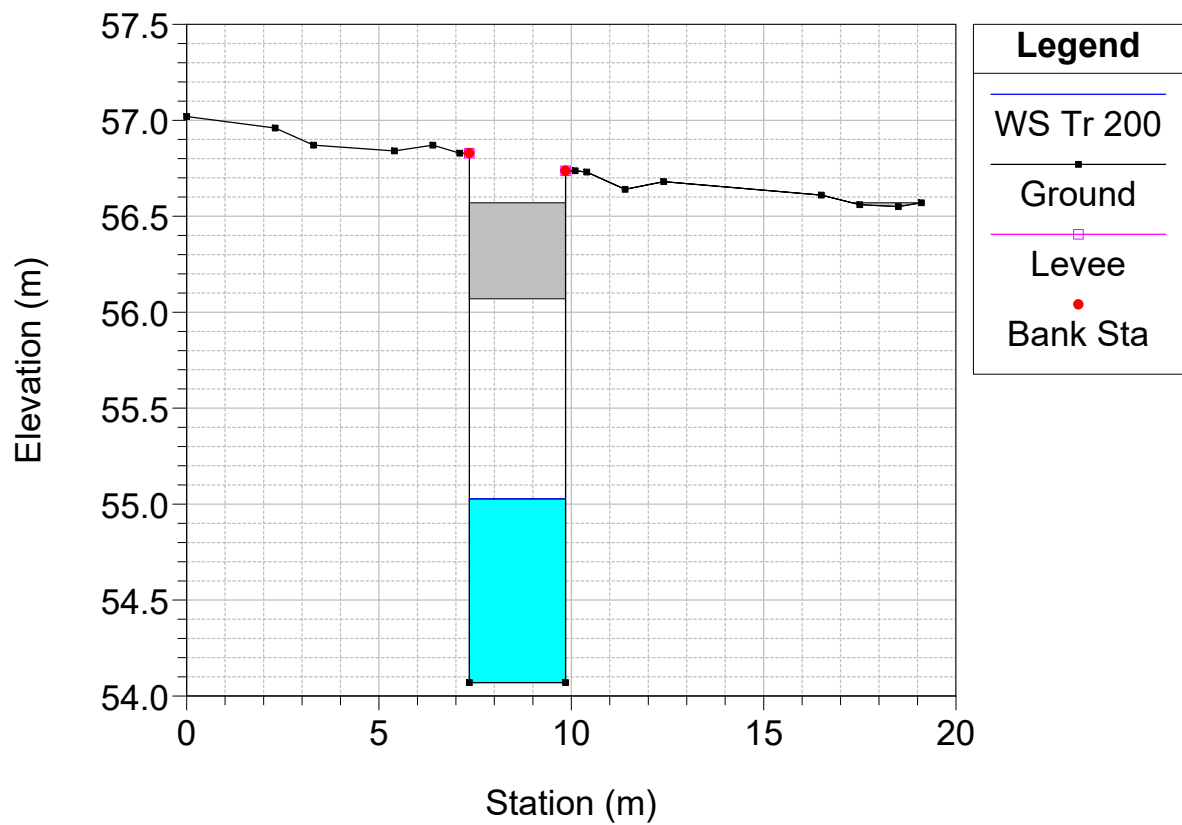
RS = 369



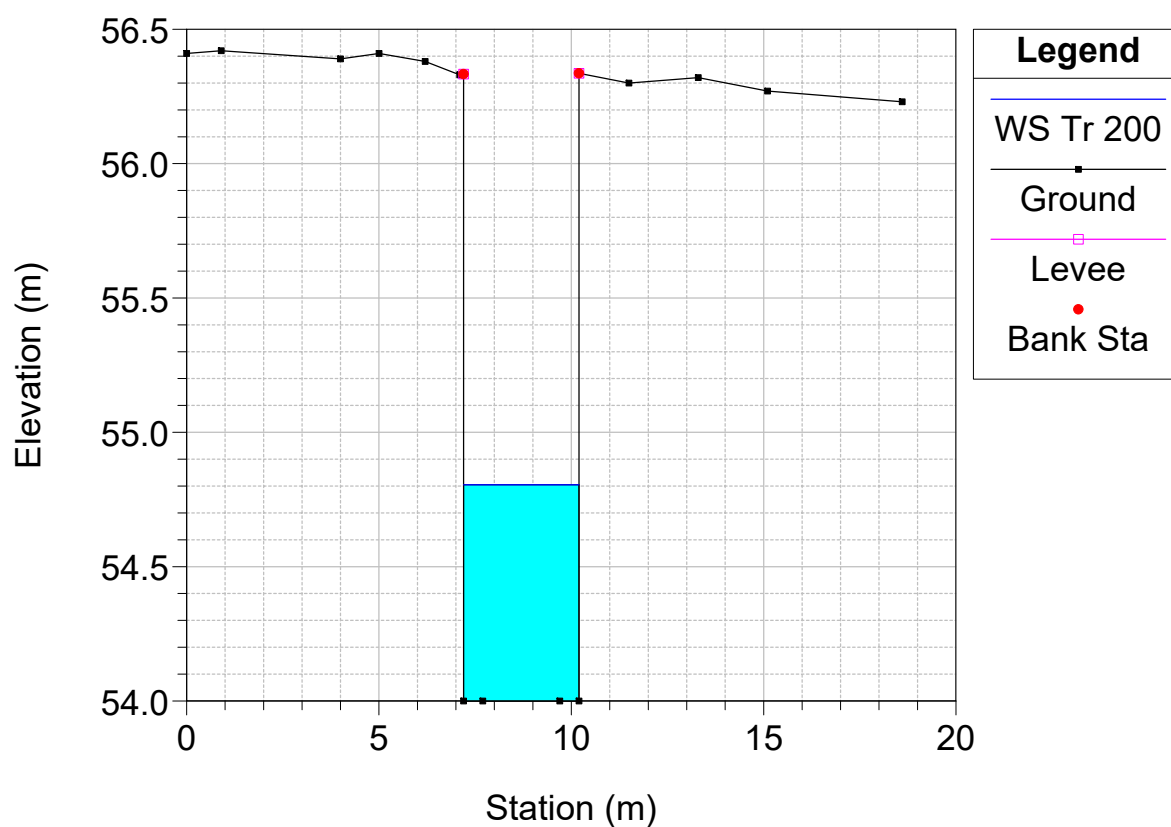
RS = 366



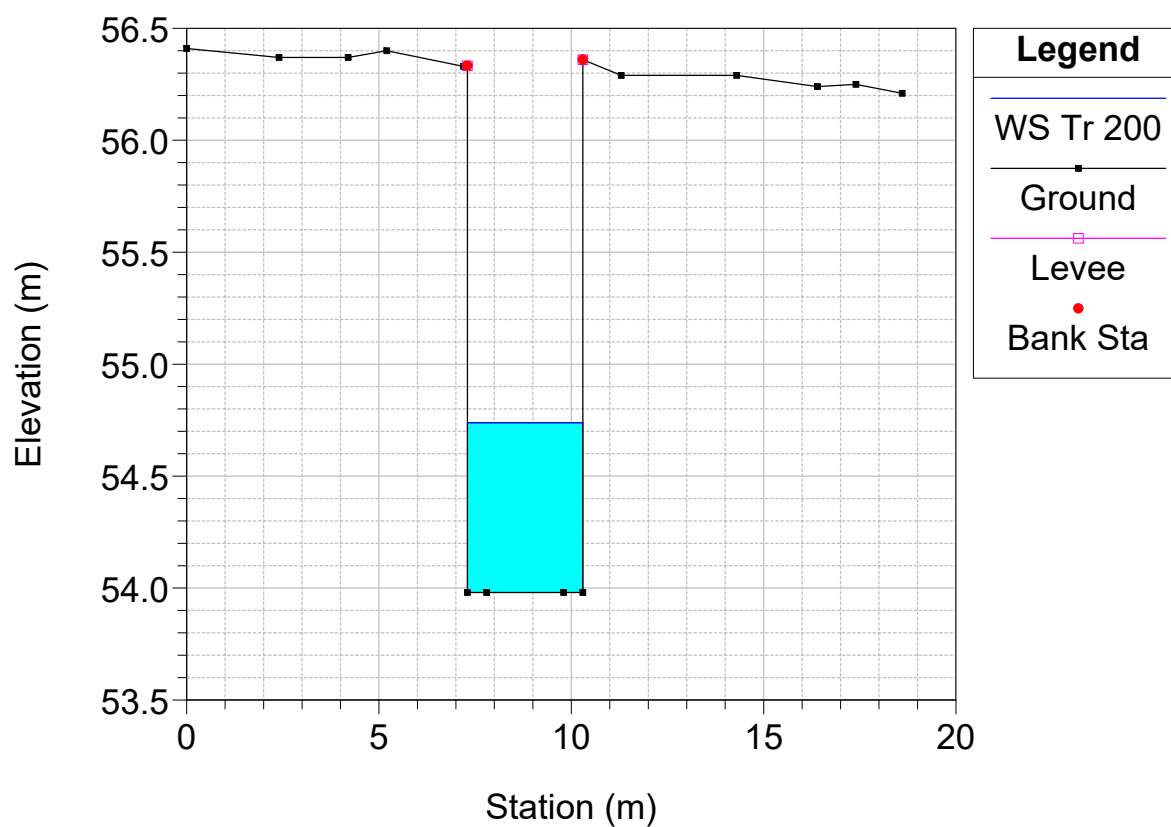
RS = 359 BR



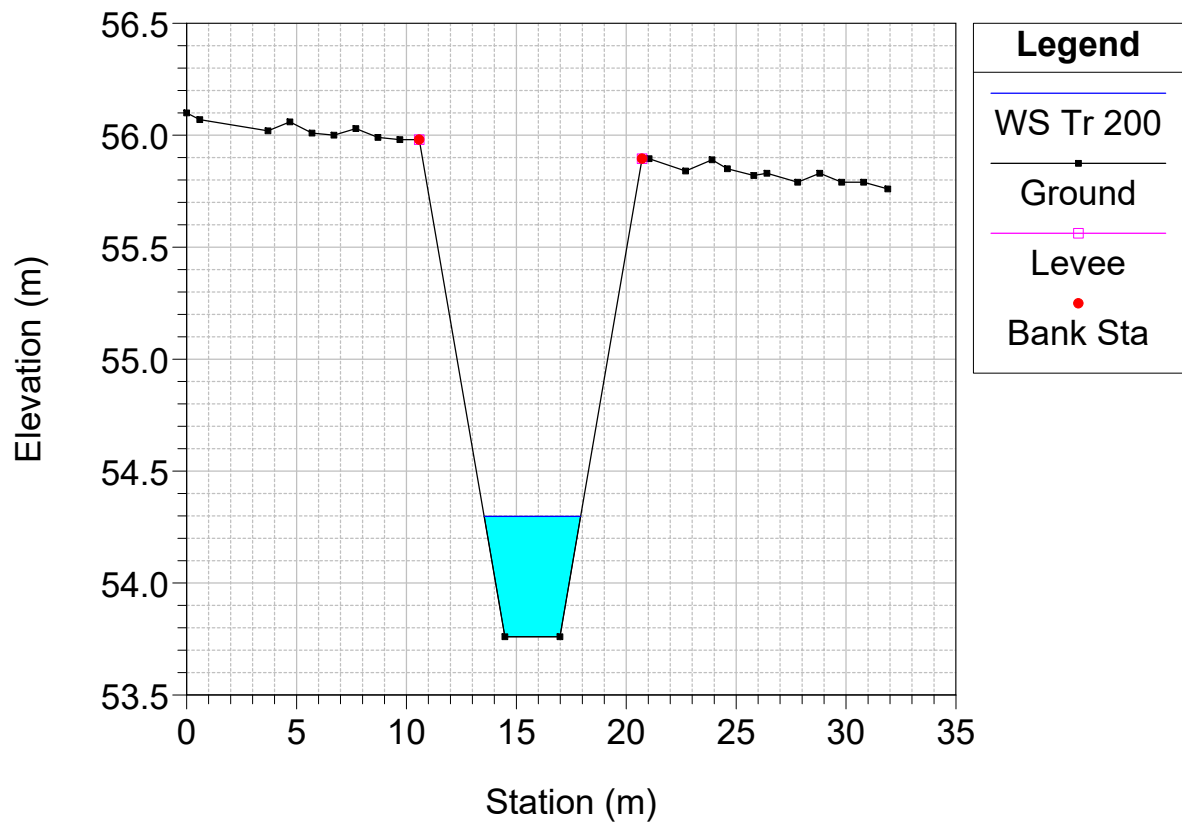
RS = 352



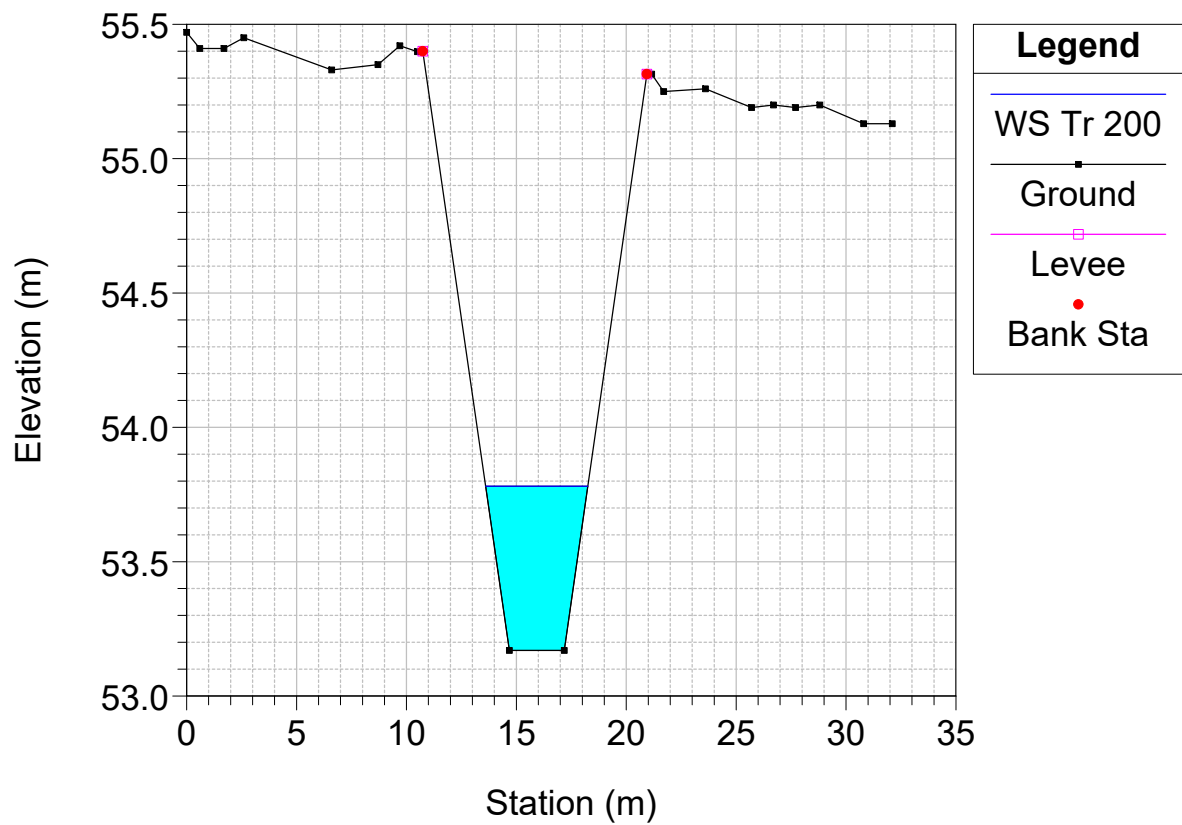
RS = 351



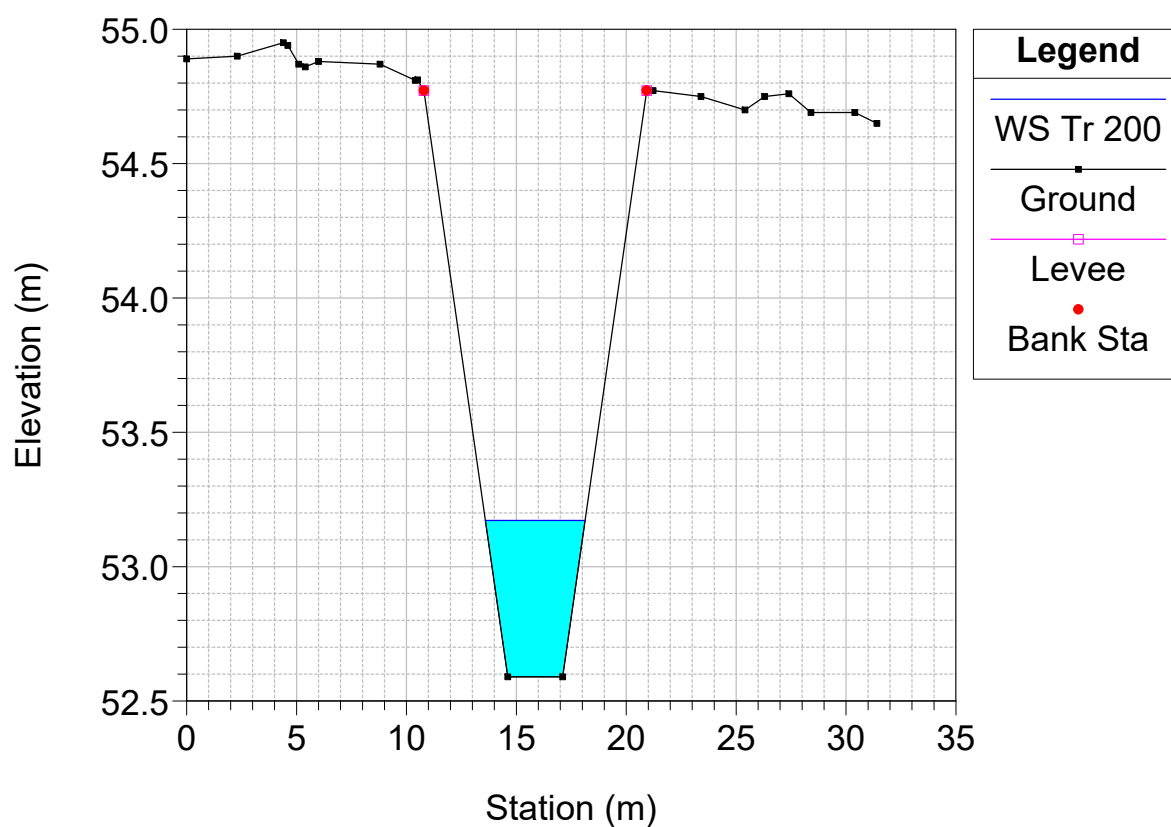
RS = 345



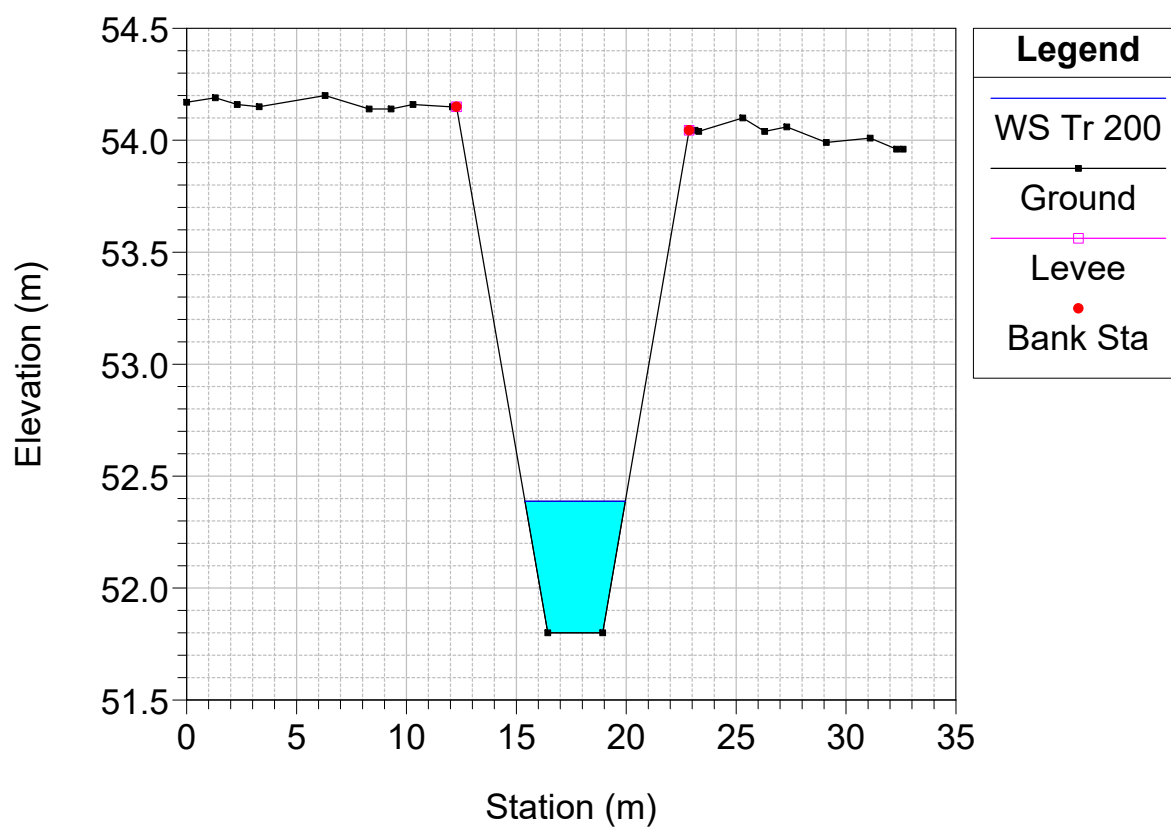
RS = 325



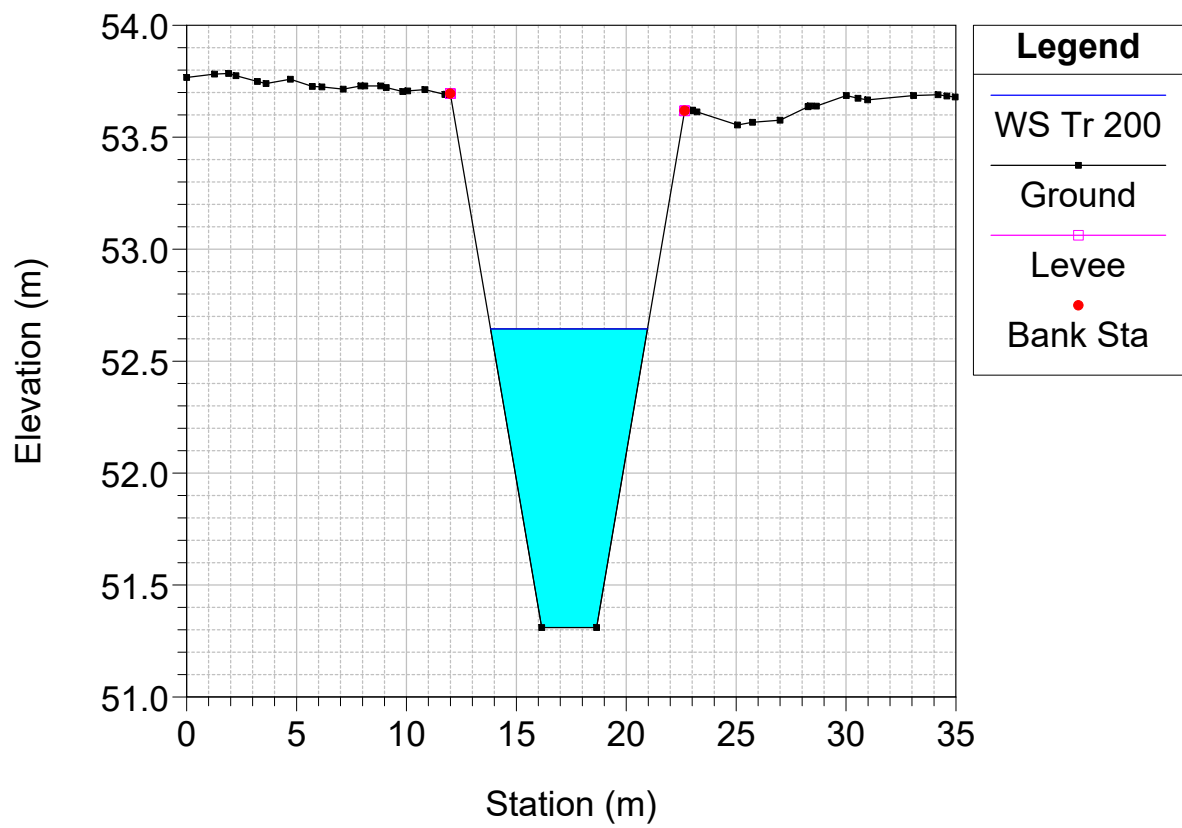
RS = 306



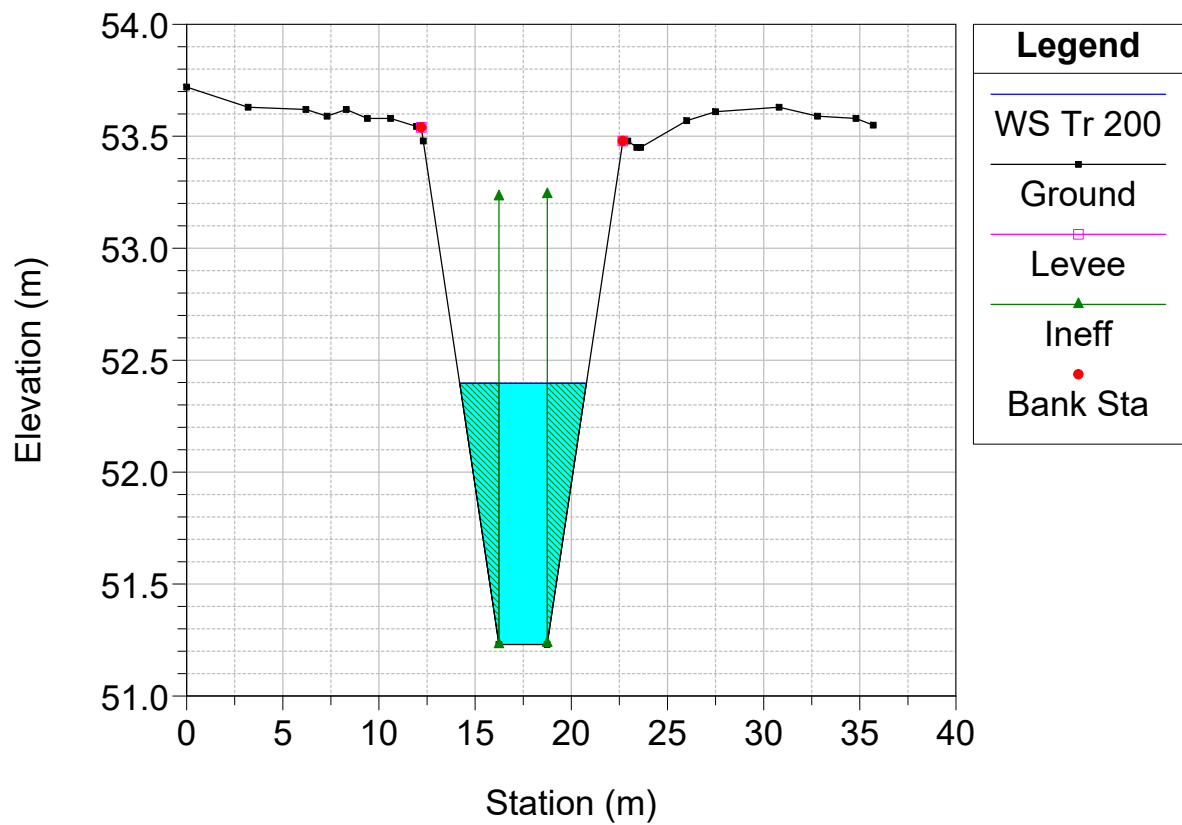
RS = 280



RS = 266.00

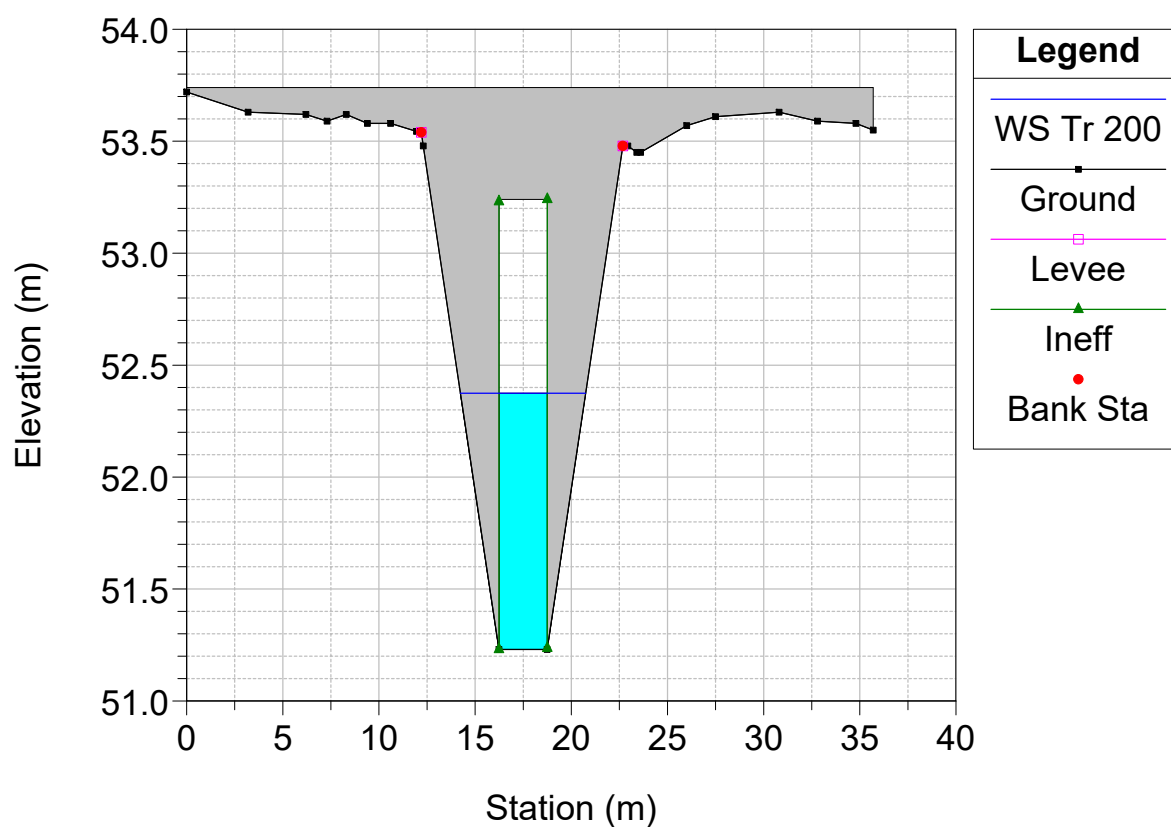


RS = 262

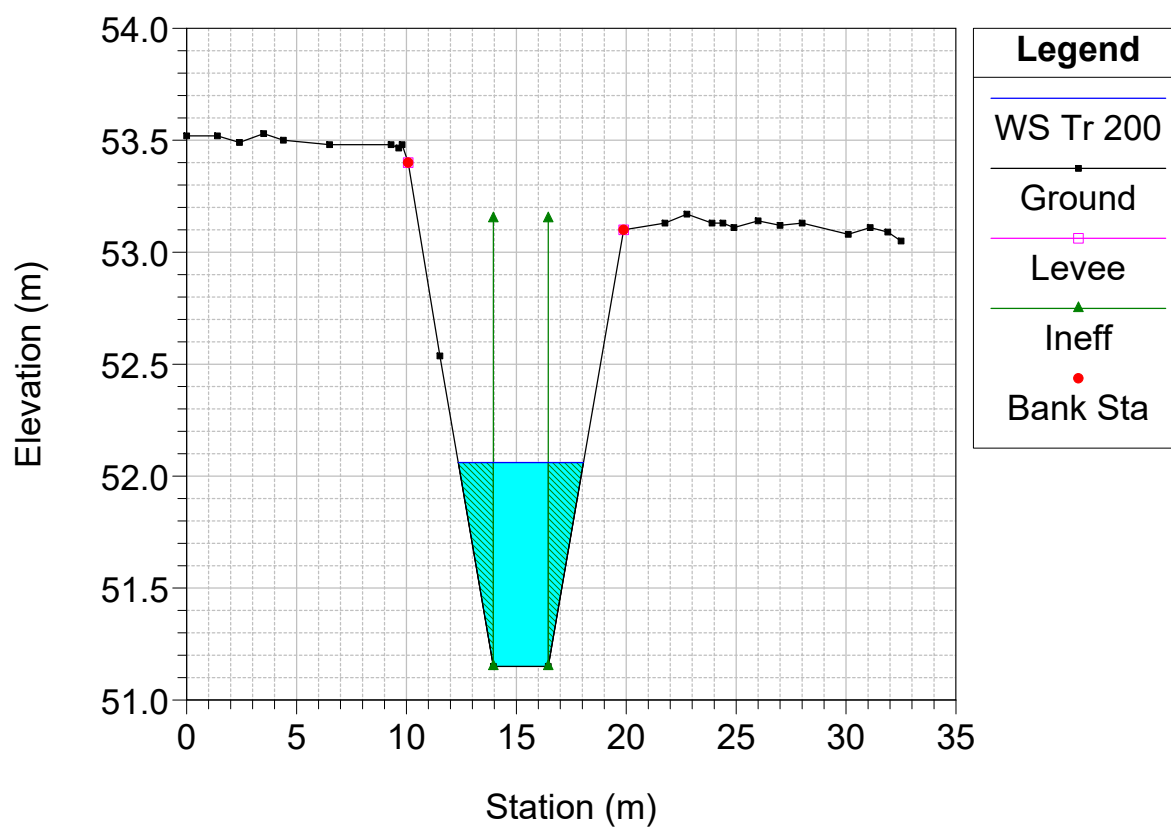




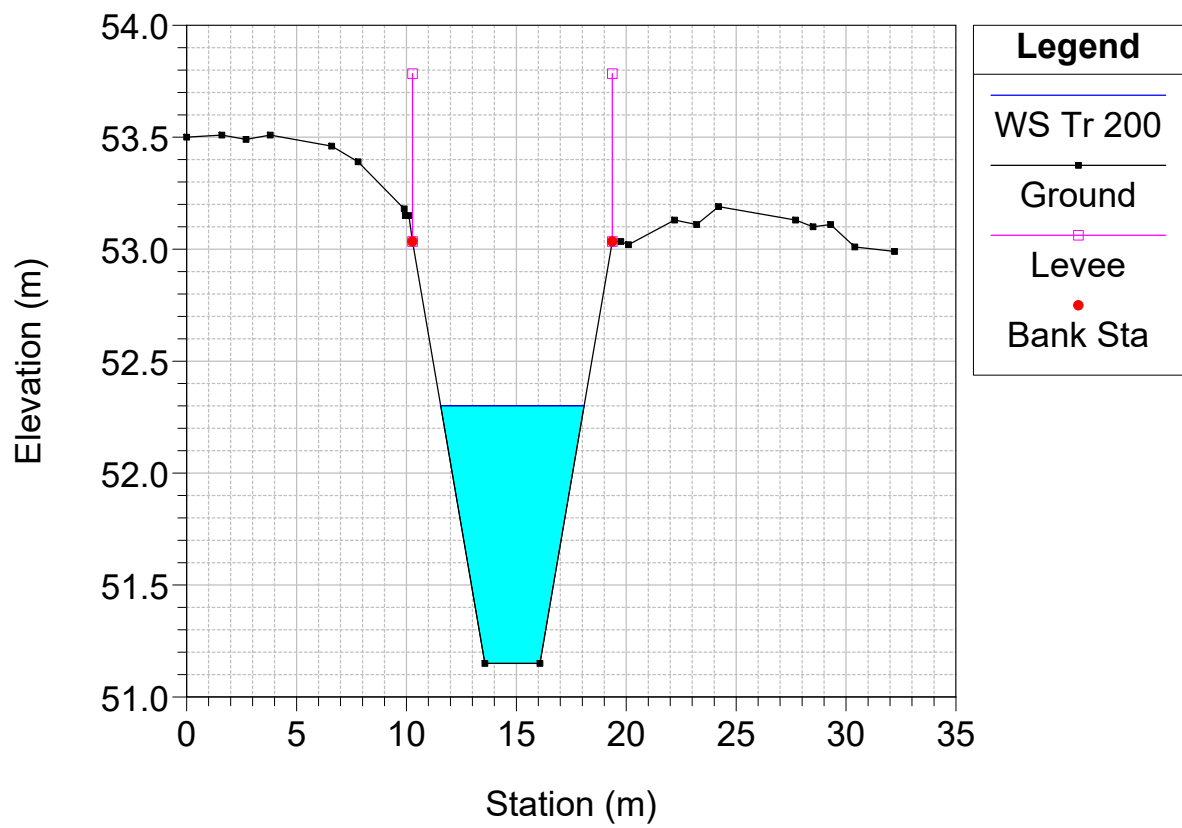
RS = 255 BR



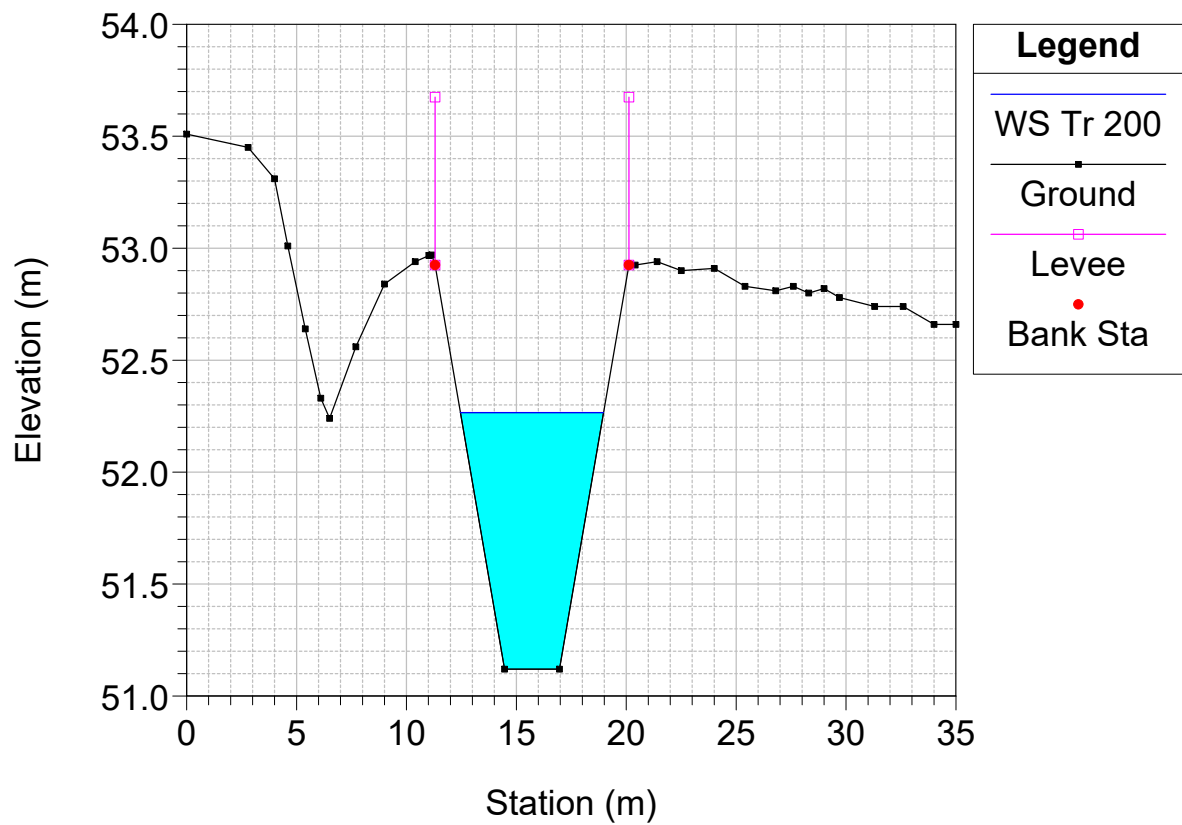
RS = 249



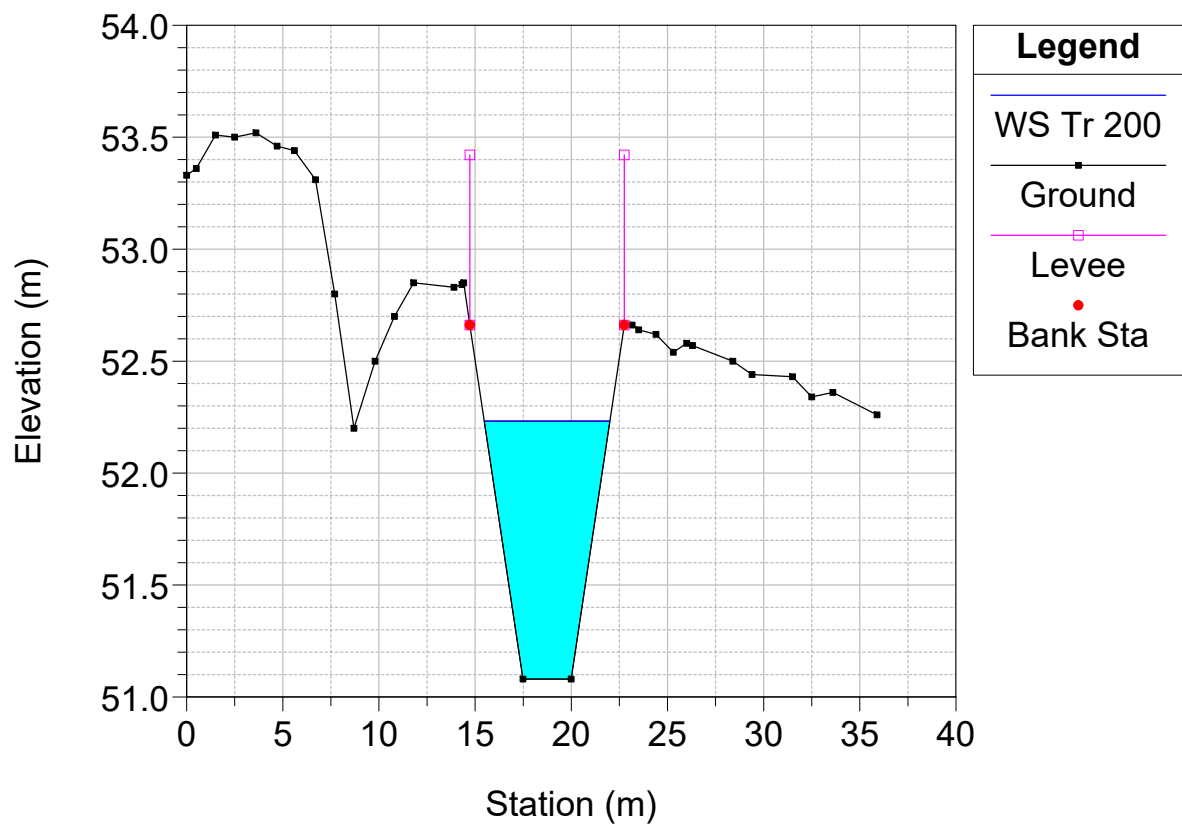
RS = 248



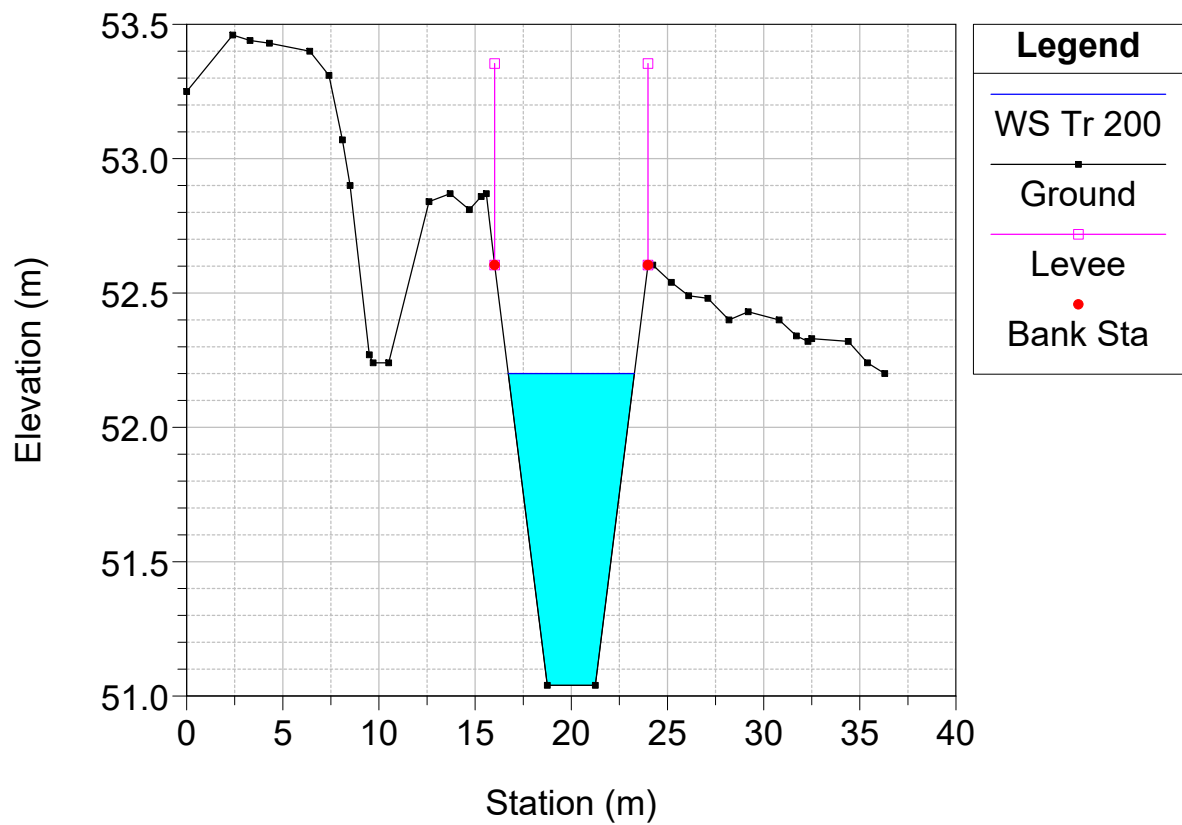
RS = 233



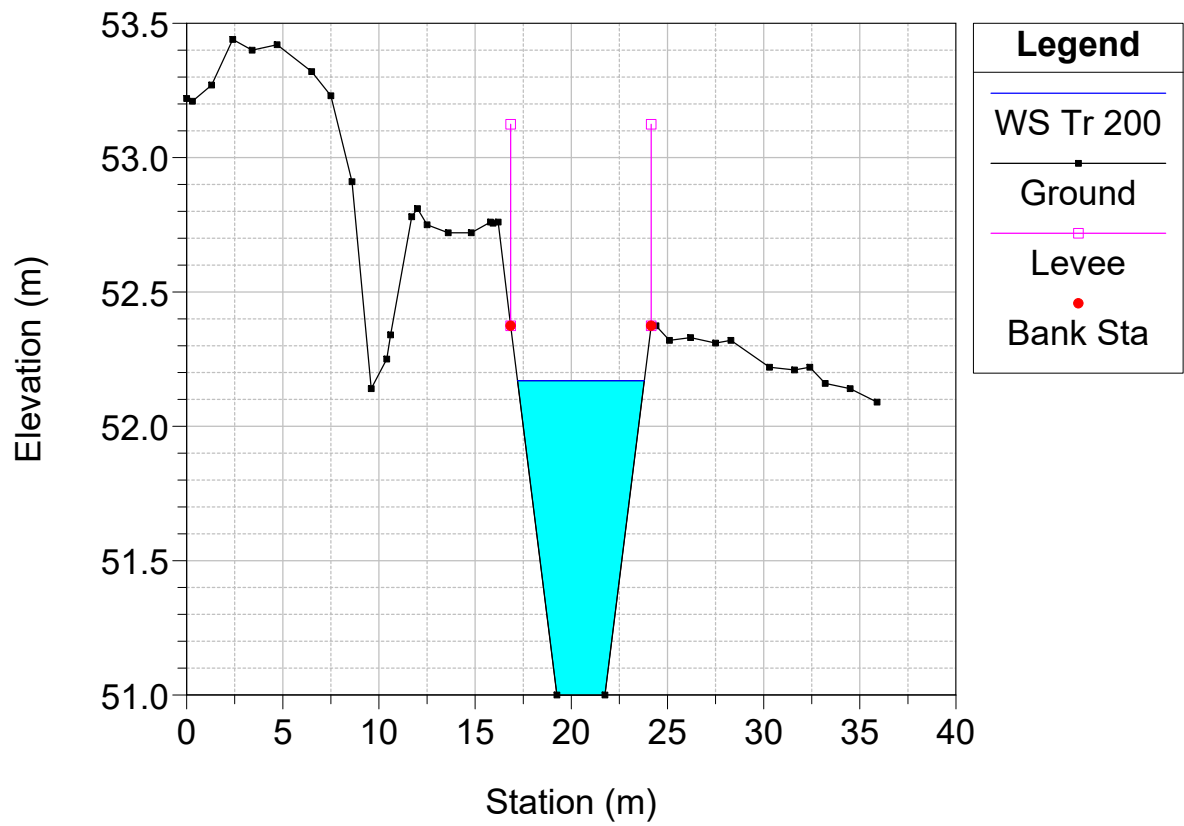
RS = 219



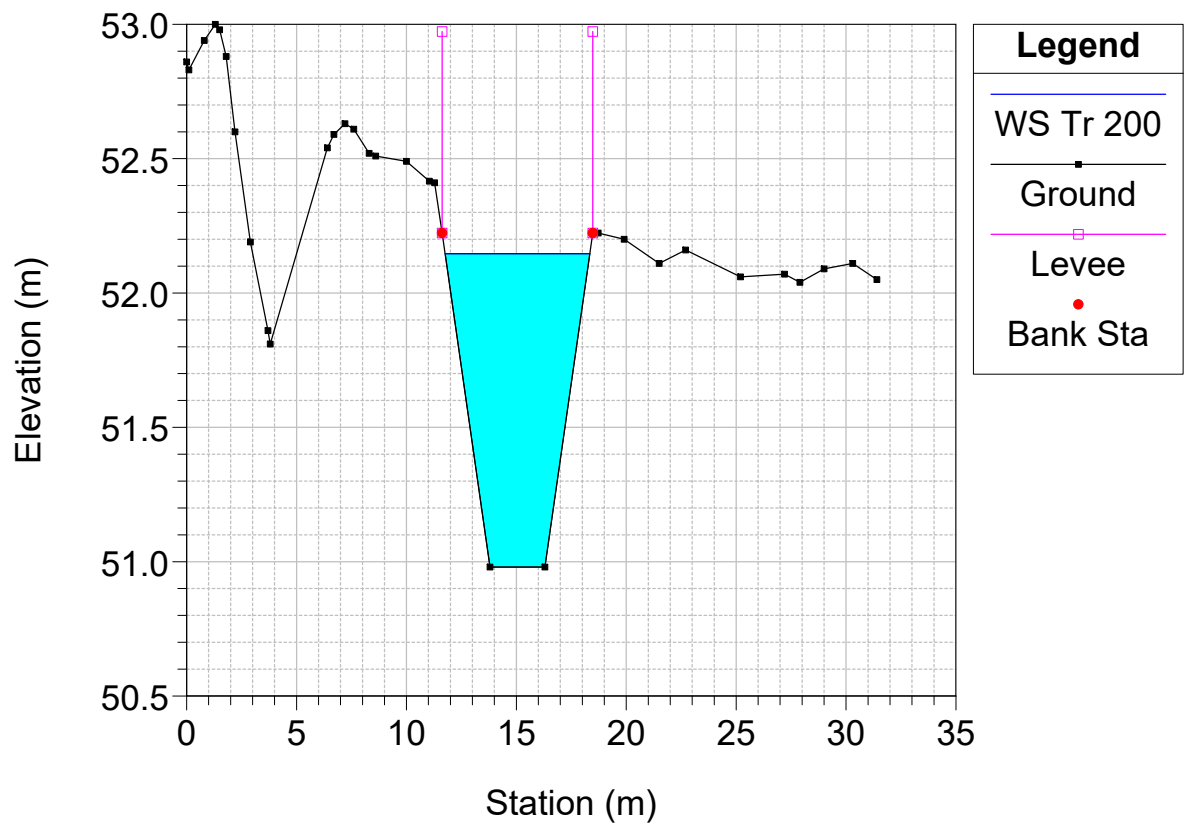
RS = 205



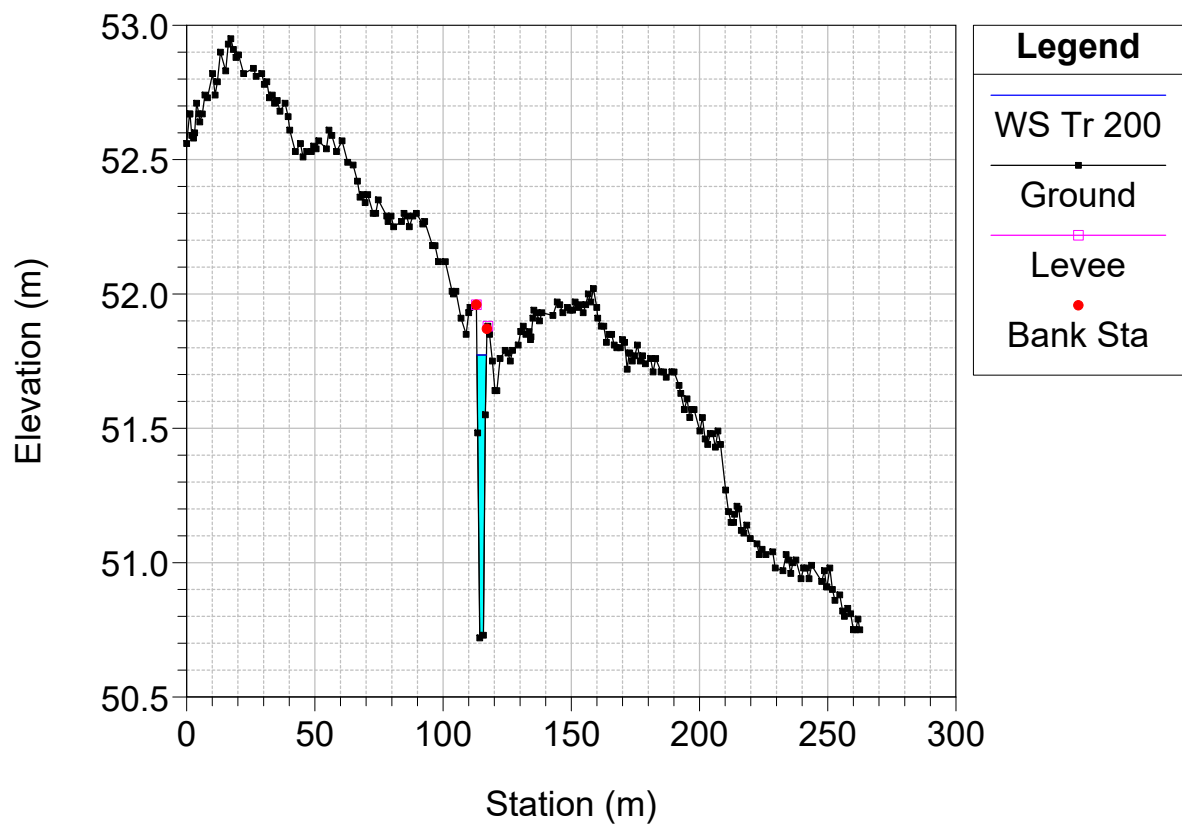
RS = 191



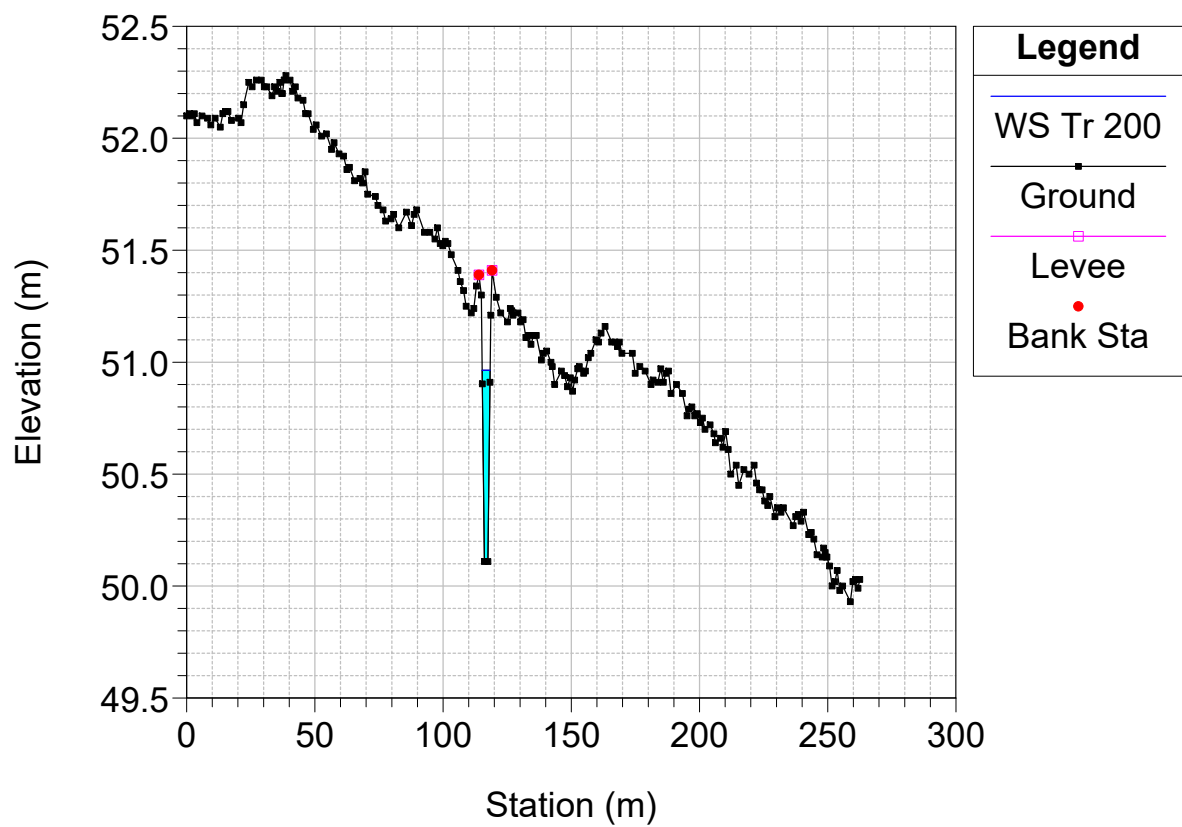
RS = 180



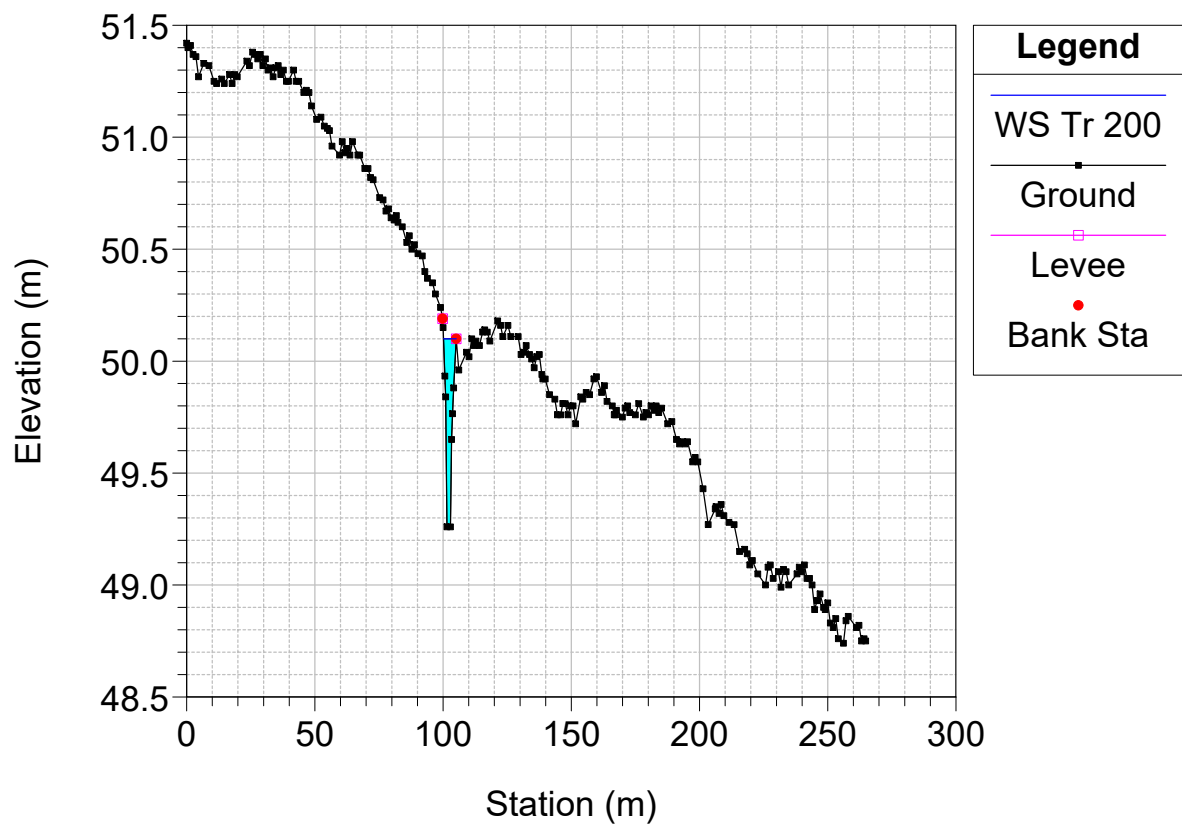
RS = 162



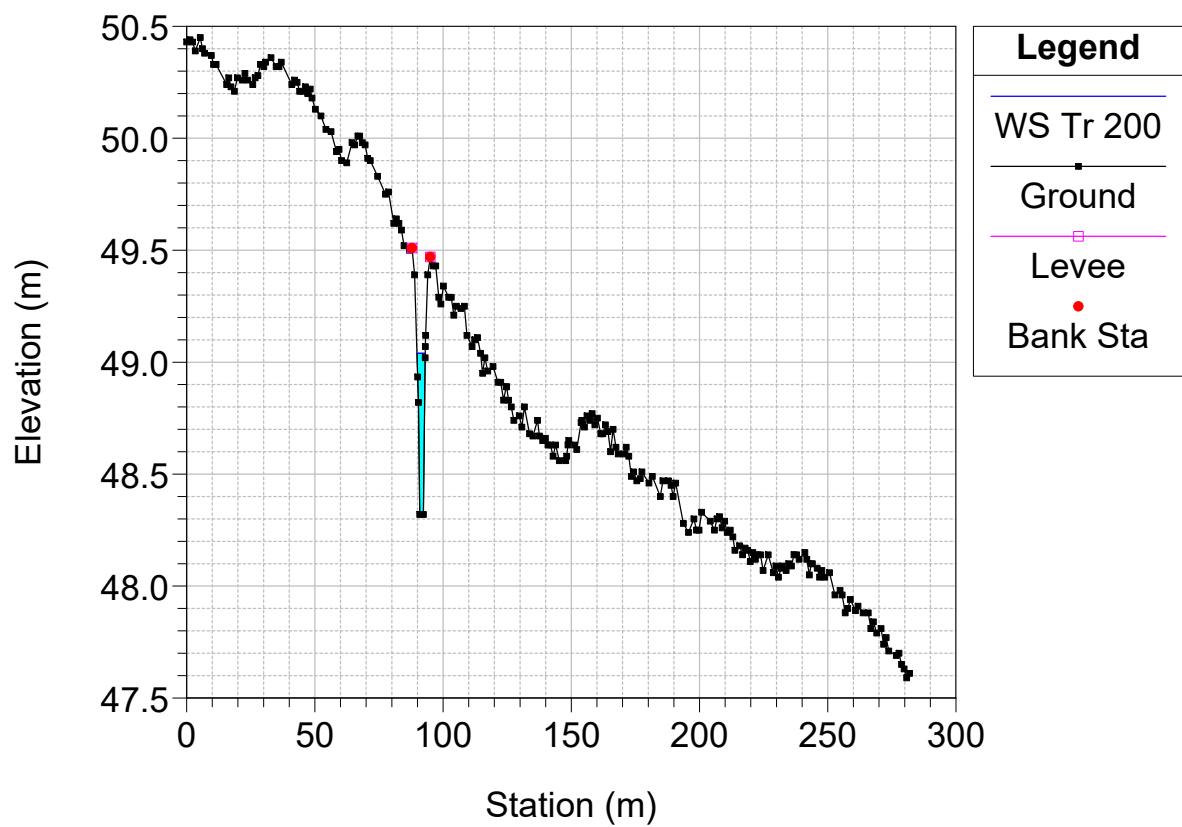
RS = 135



RS = 97

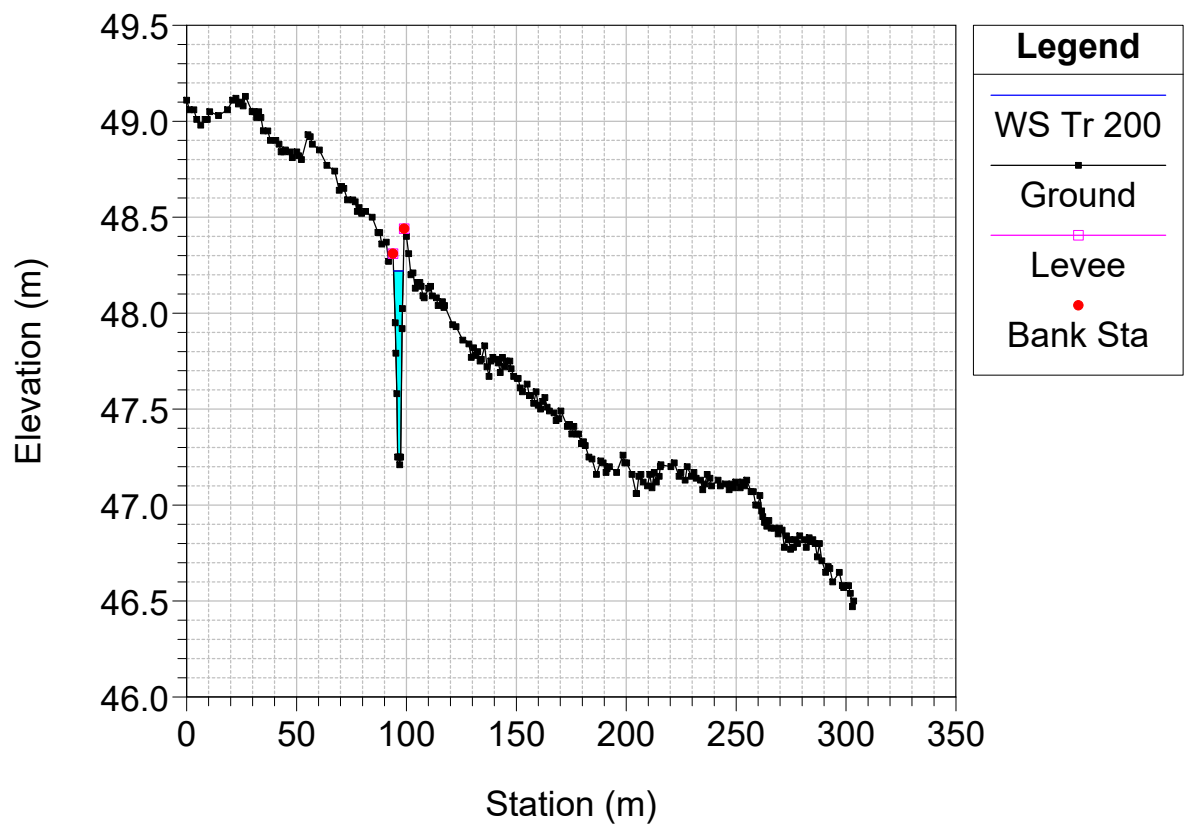


RS = 55





RS = 8



*Tabelle con risultati modello idraulico*

HEC-RAS Plan: Plan 21 7 sf dist 5m b 2.5m trap ret River: River 1 Reach: Reach 1

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)	
Reach 1	974	Tr 50	3.52	77.47	78.06	78.06	78.35	0.017713	2.40	1.46	2.50	1.00
Reach 1	974	Tr 100	4.38	77.47	78.15	78.15	78.49	0.017769	2.57	1.70	2.50	1.00
Reach 1	974	Tr 200	5.29	77.47	78.24	78.24	78.63	0.018418	2.76	1.92	2.50	1.00
Reach 1	974	Tr 500	6.56	77.47	78.36	78.36	78.80	0.018720	2.95	2.22	2.50	1.00
Reach 1	943	Tr 50	3.52	76.70	77.44	77.29	77.62	0.009219	1.92	1.84	2.50	0.71
Reach 1	943	Tr 100	4.38	76.70	77.56	77.38	77.77	0.009296	2.05	2.14	2.50	0.71
Reach 1	943	Tr 200	5.29	76.70	77.68	77.47	77.92	0.009397	2.17	2.44	2.50	0.70
Reach 1	943	Tr 500	6.56	76.70	77.84	77.59	78.11	0.009554	2.31	2.84	2.50	0.69
Reach 1	900	Tr 50	3.52	76.18	76.77	76.77	77.06	0.017519	2.39	1.47	2.50	1.00
Reach 1	900	Tr 100	4.38	76.18	76.86	76.86	77.20	0.017878	2.58	1.70	2.50	1.00
Reach 1	900	Tr 200	5.29	76.18	76.95	76.95	77.33	0.018216	2.75	1.93	2.50	1.00
Reach 1	900	Tr 500	6.56	76.18	77.07	77.07	77.51	0.018714	2.95	2.23	2.50	1.00
Reach 1	855	Tr 50	3.52	75.33	76.28	75.92	76.39	0.004551	1.49	2.37	2.50	0.49
Reach 1	855	Tr 100	4.38	75.33	76.42	76.01	76.55	0.004743	1.60	2.73	2.50	0.49
Reach 1	855	Tr 200	5.29	75.33	76.57	76.10	76.72	0.004937	1.71	3.10	2.50	0.49
Reach 1	855	Tr 500	6.56	75.33	76.76	76.22	76.93	0.005197	1.83	3.58	2.50	0.49
Reach 1	810	Tr 50	3.52	75.15	76.02	75.74	76.15	0.005830	1.63	2.16	2.50	0.56
Reach 1	810	Tr 100	4.38	75.15	76.15	75.83	76.30	0.006092	1.76	2.49	2.50	0.56
Reach 1	810	Tr 200	5.29	75.15	76.28	75.92	76.46	0.006347	1.87	2.82	2.50	0.56
Reach 1	810	Tr 500	6.56	75.15	76.45	76.04	76.66	0.006689	2.02	3.25	2.50	0.57
Reach 1	791	Tr 50	3.52	75.05	75.88	75.64	76.03	0.006547	1.70	2.07	2.50	0.59
Reach 1	791	Tr 100	4.38	75.05	76.00	75.73	76.17	0.006927	1.84	2.38	2.50	0.60
Reach 1	791	Tr 200	5.29	75.05	76.12	75.82	76.32	0.007272	1.97	2.68	2.50	0.61
Reach 1	791	Tr 500	6.56	75.05	76.28	75.94	76.51	0.007723	2.13	3.08	2.50	0.61
Reach 1	772	Tr 50	3.52	74.94	75.53	75.53	75.82	0.017554	2.40	1.47	2.50	1.00
Reach 1	772	Tr 100	4.38	74.94	75.62	75.62	75.96	0.017797	2.57	1.70	2.50	1.00
Reach 1	772	Tr 200	5.29	74.94	75.71	75.71	76.10	0.018279	2.75	1.92	2.50	1.00
Reach 1	772	Tr 500	6.56	74.94	75.83	75.83	76.27	0.018859	2.96	2.22	2.50	1.00

HEC-RAS Plan: Plan 21 7 sf dist 5m b 2.5m trap ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	742	Tr 50	3.52	74.00	74.43	74.59	74.97	0.043720	3.26	1.08	2.50	1.59
Reach 1	742	Tr 100	4.38	74.00	74.51	74.68	75.12	0.042001	3.46	1.27	2.50	1.55
Reach 1	742	Tr 200	5.29	74.00	74.58	74.77	75.25	0.040222	3.62	1.46	2.50	1.51
Reach 1	742	Tr 500	6.56	74.00	74.69	74.89	75.43	0.038491	3.81	1.72	2.50	1.46
Reach 1	718	Tr 50	3.52	72.77	73.18	73.36	73.79	0.052556	3.47	1.01	2.50	1.74
Reach 1	718	Tr 100	4.38	72.77	73.24	73.45	73.95	0.052798	3.74	1.17	2.50	1.74
Reach 1	718	Tr 200	5.29	72.77	73.30	73.54	74.11	0.052923	3.98	1.33	2.50	1.74
Reach 1	718	Tr 500	6.56	72.77	73.39	73.66	74.31	0.052705	4.25	1.54	2.50	1.73
Reach 1	717.7	Tr 50	3.52	71.77	72.02	72.36	73.67	0.238327	5.69	0.62	2.50	3.65
Reach 1	717.7	Tr 100	4.38	71.77	72.07	72.45	73.83	0.207152	5.87	0.75	2.50	3.43
Reach 1	717.7	Tr 200	5.29	71.77	72.12	72.54	73.98	0.185465	6.05	0.87	2.50	3.26
Reach 1	717.7	Tr 500	6.56	71.77	72.19	72.66	74.18	0.164721	6.25	1.05	2.50	3.08
Reach 1	713	Tr 50	3.52	71.77	72.15	72.36	72.85	0.064013	3.71	0.95	2.50	1.92
Reach 1	713	Tr 100	4.38	71.77	72.21	72.45	73.03	0.065793	4.02	1.09	2.50	1.95
Reach 1	713	Tr 200	5.29	71.77	72.26	72.54	73.21	0.067033	4.31	1.23	2.50	1.96
Reach 1	713	Tr 500	6.56	71.77	72.34	72.66	73.43	0.067798	4.63	1.42	2.50	1.97
Reach 1	712.7	Tr 50	3.52	70.77	71.01	71.36	72.73	0.252859	5.80	0.61	2.50	3.76
Reach 1	712.7	Tr 100	4.38	70.77	71.06	71.45	72.91	0.223147	6.02	0.73	2.50	3.56
Reach 1	712.7	Tr 200	5.29	70.77	71.11	71.54	73.08	0.201991	6.22	0.85	2.50	3.40
Reach 1	712.7	Tr 500	6.56	70.77	71.18	71.66	73.31	0.181956	6.46	1.01	2.50	3.24
Reach 1	708	Tr 50	3.52	70.77	71.14	71.36	71.87	0.067378	3.77	0.93	2.50	1.97
Reach 1	708	Tr 100	4.38	70.77	71.20	71.45	72.06	0.070319	4.11	1.06	2.50	2.01
Reach 1	708	Tr 200	5.29	70.77	71.25	71.54	72.25	0.072504	4.42	1.20	2.50	2.04
Reach 1	708	Tr 500	6.56	70.77	71.32	71.66	72.49	0.074504	4.78	1.37	2.50	2.06
Reach 1	707.7	Tr 50	3.52	69.77	70.01	70.36	71.74	0.257163	5.83	0.60	2.50	3.79
Reach 1	707.7	Tr 100	4.38	69.77	70.06	70.45	71.93	0.228730	6.06	0.72	2.50	3.60
Reach 1	707.7	Tr 200	5.29	69.77	70.11	70.54	72.12	0.208588	6.28	0.84	2.50	3.46
Reach 1	707.7	Tr 500	6.56	69.77	70.17	70.66	72.36	0.189759	6.55	1.00	2.50	3.31

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	699	Tr 50	3.52	69.63	70.05	70.22	70.62	0.046282	3.33	1.06	2.50	1.63
Reach 1	699	Tr 100	4.38	69.63	70.11	70.31	70.79	0.049589	3.66	1.20	2.50	1.69
Reach 1	699	Tr 200	5.29	69.63	70.16	70.40	70.97	0.052658	3.97	1.33	2.50	1.74
Reach 1	699	Tr 500	6.56	69.63	70.24	70.52	71.19	0.055926	4.34	1.51	2.50	1.78
Reach 1	697	Tr 50	3.52	69.60	70.37	70.19	70.54	0.008129	1.83	1.92	2.50	0.67
Reach 1	697	Tr 100	4.38	69.60	70.48	70.28	70.68	0.008569	1.99	2.20	2.50	0.68
Reach 1	697	Tr 200	5.29	69.60	70.59	70.37	70.83	0.008962	2.13	2.49	2.50	0.68
Reach 1	697	Tr 500	6.56	69.60	70.27	70.49	71.06	0.042289	3.93	1.67	2.50	1.54
Reach 1	693		Bridge									
Reach 1	690	Tr 50	3.52	69.57	70.16	70.16	70.45	0.017501	2.39	1.47	2.50	1.00
Reach 1	690	Tr 100	4.38	69.57	70.25	70.25	70.59	0.017873	2.58	1.70	2.50	1.00
Reach 1	690	Tr 200	5.29	69.57	70.34	70.34	70.73	0.018171	2.74	1.93	2.50	1.00
Reach 1	690	Tr 500	6.56	69.57	70.46	70.46	70.90	0.018667	2.95	2.23	2.50	1.00
Reach 1	688	Tr 50	3.52	69.41	69.84	70.00	70.38	0.042670	3.24	1.09	2.50	1.57
Reach 1	688	Tr 100	4.38	69.41	69.93	70.09	70.51	0.039906	3.40	1.29	2.50	1.51
Reach 1	688	Tr 200	5.29	69.41	70.00	70.18	70.65	0.038612	3.57	1.48	2.50	1.48
Reach 1	688	Tr 500	6.56	69.41	70.11	70.30	70.83	0.037010	3.76	1.75	2.50	1.43
Reach 1	640	Tr 50	3.52	65.31	65.60	65.90	66.83	0.150888	4.91	0.72	2.50	2.93
Reach 1	640	Tr 100	4.38	65.31	65.64	65.99	67.08	0.152679	5.32	0.82	2.50	2.96
Reach 1	640	Tr 200	5.29	65.31	65.69	66.08	67.30	0.149390	5.63	0.94	2.50	2.93
Reach 1	640	Tr 500	6.56	65.31	65.75	66.20	67.58	0.145548	6.00	1.09	2.50	2.90
Reach 1	593	Tr 50	3.52	61.38	61.77	61.97	62.43	0.058185	3.59	0.98	2.50	1.83
Reach 1	593	Tr 100	4.38	61.38	61.83	62.06	62.60	0.058995	3.88	1.13	2.50	1.84
Reach 1	593	Tr 200	5.29	61.38	61.89	62.15	62.77	0.060532	4.16	1.27	2.50	1.86
Reach 1	593	Tr 500	6.56	61.38	61.96	62.27	63.00	0.062391	4.50	1.46	2.50	1.88
Reach 1	592.99	Tr 50	3.52	60.84	61.12	61.43	62.37	0.154213	4.94	0.71	2.50	2.96
Reach 1	592.99	Tr 100	4.38	60.84	61.18	61.52	62.54	0.139736	5.16	0.85	2.50	2.83
Reach 1	592.99	Tr 200	5.29	60.84	61.23	61.61	62.71	0.130559	5.38	0.98	2.50	2.74

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	592.99	Tr 500	6.56	60.84	61.30	61.73	62.94	0.122234	5.66	1.16	2.50	2.65
Reach 1	580	Tr 50	3.52	60.68	61.41	61.27	61.60	0.009328	1.92	1.83	2.50	0.72
Reach 1	580	Tr 100	4.38	60.68	61.54	61.36	61.75	0.009076	2.03	2.16	2.50	0.70
Reach 1	580	Tr 200	5.29	60.68	61.69	61.45	61.91	0.008657	2.10	2.52	2.50	0.67
Reach 1	580	Tr 500	6.56	60.68	61.89	61.57	62.13	0.008060	2.16	3.03	2.50	0.63
Reach 1	568	Tr 50	3.52	60.56	61.30	61.15	61.49	0.008894	1.89	1.86	2.50	0.70
Reach 1	568	Tr 100	4.38	60.56	61.44	61.24	61.64	0.008594	1.99	2.20	2.50	0.68
Reach 1	568	Tr 200	5.29	60.56	61.59	61.33	61.81	0.008111	2.05	2.58	2.50	0.65
Reach 1	568	Tr 500	6.56	60.56	61.81	61.45	62.03	0.007499	2.11	3.11	2.50	0.60
Reach 1	538	Tr 50	3.52	60.30	61.04	60.89	61.22	0.009124	1.91	1.84	2.50	0.71
Reach 1	538	Tr 100	4.38	60.30	61.21	60.98	61.40	0.007849	1.93	2.27	2.50	0.64
Reach 1	538	Tr 200	5.29	60.30	61.39	61.07	61.58	0.007062	1.95	2.71	2.50	0.60
Reach 1	538	Tr 500	6.56	60.30	61.62	61.19	61.82	0.006415	1.99	3.30	2.50	0.55
Reach 1	510.2	Tr 50	3.52	59.97	60.91	60.56	61.02	0.004645	1.50	2.35	2.50	0.49
Reach 1	510.2	Tr 100	4.38	59.97	61.09	60.65	61.22	0.004417	1.56	2.81	2.50	0.47
Reach 1	510.2	Tr 200	5.29	59.97	61.27	60.74	61.41	0.004320	1.62	3.26	2.50	0.45
Reach 1	510.2	Tr 500	6.56	59.97	61.51	60.86	61.66	0.004272	1.70	3.85	2.50	0.44
Reach 1	510	Tr 50	3.52	59.97	60.91	60.56	61.02	0.004654	1.50	2.35	2.50	0.49
Reach 1	510	Tr 100	4.38	59.97	61.09	60.65	61.22	0.004423	1.56	2.80	2.50	0.47
Reach 1	510	Tr 200	5.29	59.97	61.27	60.74	61.41	0.004325	1.62	3.26	2.50	0.45
Reach 1	510	Tr 500	6.56	59.97	61.51	60.86	61.66	0.004276	1.70	3.85	2.50	0.44
Reach 1	494	Tr 50	4.39	59.77	60.78	60.45	60.94	0.005890	1.74	2.53	2.50	0.55
Reach 1	494	Tr 100	5.56	59.77	60.94	60.57	61.12	0.006353	1.90	2.93	2.50	0.56
Reach 1	494	Tr 200	6.80	59.77	61.10	60.68	61.31	0.006796	2.05	3.32	2.50	0.57
Reach 1	494	Tr 500	8.56	59.77	61.30	60.83	61.56	0.007373	2.23	3.83	2.50	0.58
Reach 1	485	Tr 50	4.39	59.72	60.73	60.40	60.88	0.005987	1.75	2.51	2.50	0.56
Reach 1	485	Tr 100	5.56	59.72	60.88	60.52	61.07	0.006540	1.92	2.90	2.50	0.57
Reach 1	485	Tr 200	6.80	59.72	61.03	60.63	61.25	0.007071	2.08	3.27	2.50	0.58



HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	485	Tr 500	8.56	59.72	61.23	60.78	61.49	0.007743	2.27	3.76	2.50	0.59
Reach 1	483	Tr 50	4.39	59.72	60.71	60.40	60.87	0.006239	1.77	2.48	2.50	0.57
Reach 1	483	Tr 100	5.56	59.72	60.86	60.52	61.06	0.006800	1.95	2.85	2.50	0.58
Reach 1	483	Tr 200	6.80	59.72	61.01	60.63	61.24	0.007340	2.11	3.22	2.50	0.59
Reach 1	483	Tr 500	8.56	59.72	61.21	60.78	61.48	0.008021	2.31	3.71	2.50	0.60
Reach 1	478		Bridge									
Reach 1	472	Tr 50	4.39	59.72	60.54	60.40	60.77	0.010588	2.15	2.05	2.50	0.76
Reach 1	472	Tr 100	5.56	59.72	60.67	60.51	60.95	0.011217	2.34	2.38	2.50	0.77
Reach 1	472	Tr 200	6.80	59.72	60.80	60.63	61.12	0.011855	2.52	2.70	2.50	0.78
Reach 1	472	Tr 500	8.56	59.72	60.97	60.78	61.35	0.012623	2.74	3.13	2.50	0.78
Reach 1	470	Tr 50	4.39	59.72	60.40	60.40	60.74	0.017836	2.58	1.70	2.50	1.00
Reach 1	470	Tr 100	5.56	59.72	60.52	60.52	60.91	0.018405	2.80	1.99	2.50	1.00
Reach 1	470	Tr 200	6.80	59.72	60.63	60.63	61.09	0.018874	2.99	2.28	2.50	1.00
Reach 1	470	Tr 500	8.56	59.72	60.78	60.78	61.31	0.019551	3.22	2.66	2.50	1.00
Reach 1	438	Tr 50	4.39	58.16	58.55	58.84	59.57	0.089077	4.46	0.99	2.50	2.27
Reach 1	438	Tr 100	5.56	58.16	58.64	58.96	59.75	0.080893	4.66	1.19	2.50	2.16
Reach 1	438	Tr 200	6.80	58.16	58.72	59.07	59.92	0.075068	4.85	1.40	2.50	2.07
Reach 1	438	Tr 500	8.56	58.16	58.83	59.22	60.15	0.069595	5.07	1.69	2.50	1.97
Reach 1	414	Tr 50	4.39	56.94	57.45	57.62	58.05	0.041044	3.44	1.28	2.50	1.53
Reach 1	414	Tr 100	5.56	56.94	57.53	57.74	58.25	0.043103	3.76	1.48	2.50	1.56
Reach 1	414	Tr 200	6.80	56.94	57.61	57.85	58.45	0.044762	4.06	1.68	2.50	1.58
Reach 1	414	Tr 500	8.56	56.94	57.72	58.00	58.71	0.046407	4.40	1.95	2.50	1.59
Reach 1	390.2	Tr 50	4.39	56.04	56.57	56.72	57.13	0.036380	3.30	1.33	2.50	1.44
Reach 1	390.2	Tr 100	5.56	56.04	56.67	56.84	57.30	0.035555	3.52	1.58	2.50	1.42
Reach 1	390.2	Tr 200	6.80	56.04	56.77	56.95	57.48	0.035094	3.73	1.83	2.50	1.39
Reach 1	390.2	Tr 500	8.56	56.04	56.90	57.10	57.71	0.034846	3.97	2.15	2.50	1.37
Reach 1	390	Tr 50	4.39	55.29	55.62	55.97	57.03	0.147408	5.26	0.83	2.50	2.91

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	390	Tr 100	5.56	55.29	55.70	56.09	57.21	0.128213	5.44	1.02	2.50	2.72
Reach 1	390	Tr 200	6.80	55.29	55.77	56.20	57.38	0.115191	5.61	1.21	2.50	2.57
Reach 1	390	Tr 500	8.56	55.29	55.88	56.35	57.61	0.103717	5.83	1.47	2.50	2.43
Reach 1	380.2	Tr 50	4.39	55.29	55.96	55.97	56.31	0.018970	2.63	1.67	2.50	1.03
Reach 1	380.2	Tr 100	5.56	55.29	56.07	56.09	56.48	0.019156	2.84	1.96	2.50	1.02
Reach 1	380.2	Tr 200	6.80	55.29	56.20	56.20	56.66	0.019067	3.00	2.27	2.50	1.01
Reach 1	380.2	Tr 500	8.56	55.29	56.34	56.35	56.88	0.020108	3.25	2.63	2.50	1.01
Reach 1	380	Tr 50	4.39	54.36	54.68	55.04	56.19	0.163249	5.44	0.81	2.50	3.06
Reach 1	380	Tr 100	5.56	54.36	54.76	55.16	56.36	0.140628	5.61	0.99	2.50	2.85
Reach 1	380	Tr 200	6.80	54.36	54.83	55.27	56.53	0.125011	5.77	1.18	2.50	2.68
Reach 1	380	Tr 500	8.56	54.36	54.93	55.42	56.75	0.111331	5.97	1.43	2.50	2.52
Reach 1	369	Tr 50	4.39	54.10	54.65	54.78	55.17	0.033530	3.21	1.37	2.50	1.38
Reach 1	369	Tr 100	5.56	54.10	54.73	54.90	55.36	0.034996	3.50	1.59	2.50	1.40
Reach 1	369	Tr 200	6.80	54.10	54.82	55.01	55.54	0.035862	3.75	1.81	2.50	1.41
Reach 1	369	Tr 500	8.56	54.10	54.95	55.16	55.78	0.036764	4.05	2.11	2.50	1.41
Reach 1	366	Tr 50	4.39	54.07	54.82	54.75	55.10	0.013615	2.35	1.87	2.50	0.87
Reach 1	366	Tr 100	5.56	54.07	54.93	54.87	55.27	0.014967	2.60	2.14	2.50	0.90
Reach 1	366	Tr 200	6.80	54.07	55.03	54.98	55.44	0.016298	2.83	2.40	2.50	0.92
Reach 1	366	Tr 500	8.56	54.07	55.16	55.13	55.66	0.018061	3.13	2.74	2.50	0.95
Reach 1	359		Bridge									
Reach 1	352	Tr 50	4.39	54.00	54.60	54.60	54.90	0.016369	2.43	1.81	3.00	1.00
Reach 1	352	Tr 100	5.56	54.00	54.70	54.70	55.06	0.016608	2.63	2.11	3.00	1.00
Reach 1	352	Tr 200	6.80	54.00	54.80	54.80	55.21	0.016907	2.82	2.41	3.00	1.00
Reach 1	352	Tr 500	8.56	54.00	54.94	54.94	55.41	0.017245	3.04	2.82	3.00	1.00
Reach 1	351	Tr 50	4.39	53.98	54.54	54.58	54.89	0.020596	2.62	1.67	3.00	1.12
Reach 1	351	Tr 100	5.56	53.98	54.64	54.68	55.04	0.020524	2.83	1.97	3.00	1.12
Reach 1	351	Tr 200	6.80	53.98	54.74	54.79	55.19	0.020063	2.99	2.28	3.00	1.10
Reach 1	351	Tr 500	8.56	53.98	54.87	54.92	55.39	0.020196	3.21	2.67	3.00	1.09

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	345	Tr 50	4.39	53.76	54.19	54.35	54.69	0.038807	3.14	1.40	4.01	1.70
Reach 1	345	Tr 100	5.56	53.76	54.25	54.43	54.84	0.040238	3.41	1.63	4.20	1.75
Reach 1	345	Tr 200	6.80	53.76	54.30	54.52	54.99	0.041751	3.67	1.85	4.39	1.81
Reach 1	345	Tr 500	8.56	53.76	54.36	54.62	55.17	0.043481	3.99	2.15	4.62	1.87
Reach 1	325	Tr 50	4.39	53.17	53.65	53.76	54.03	0.025780	2.72	1.61	4.19	1.40
Reach 1	325	Tr 100	5.56	53.17	53.72	53.84	54.15	0.025864	2.92	1.90	4.43	1.43
Reach 1	325	Tr 200	6.80	53.17	53.78	53.93	54.28	0.026154	3.11	2.18	4.65	1.45
Reach 1	325	Tr 500	8.56	53.17	53.86	54.03	54.43	0.026728	3.35	2.55	4.92	1.49
Reach 1	306	Tr 50	4.39	52.59	53.04	53.18	53.49	0.032335	2.95	1.49	4.08	1.56
Reach 1	306	Tr 100	5.56	52.59	53.11	53.27	53.61	0.031801	3.15	1.77	4.32	1.57
Reach 1	306	Tr 200	6.80	52.59	53.17	53.35	53.73	0.031338	3.32	2.05	4.54	1.58
Reach 1	306	Tr 500	8.56	52.59	53.25	53.45	53.89	0.030777	3.53	2.43	4.82	1.59
Reach 1	280	Tr 50	4.39	51.80	52.26	52.39	52.68	0.029353	2.85	1.54	4.13	1.49
Reach 1	280	Tr 100	5.56	51.80	52.33	52.48	52.81	0.029784	3.07	1.81	4.36	1.52
Reach 1	280	Tr 200	6.80	51.80	52.39	52.56	52.93	0.030098	3.27	2.08	4.57	1.55
Reach 1	280	Tr 500	8.56	51.80	52.46	52.66	53.09	0.030426	3.51	2.44	4.84	1.58
Reach 1	266.00	Tr 50	4.39	51.31	52.28	51.90	52.34	0.001951	1.09	4.04	5.86	0.42
Reach 1	266.00	Tr 100	5.56	51.31	52.46	51.99	52.52	0.001590	1.07	5.17	6.50	0.38
Reach 1	266.00	Tr 200	6.80	51.31	52.64	52.07	52.70	0.001314	1.06	6.43	7.14	0.36
Reach 1	266.00	Tr 500	8.56	51.31	52.89	52.17	52.94	0.001056	1.04	8.26	7.98	0.33
Reach 1	262	Tr 50	4.39	51.23	52.11	51.91	52.31	0.004174	1.98	2.22	5.59	0.67
Reach 1	262	Tr 100	5.56	51.23	52.25	52.02	52.49	0.004106	2.17	2.57	6.08	0.68
Reach 1	262	Tr 200	6.80	51.23	52.40	52.14	52.67	0.003951	2.32	2.93	6.58	0.69
Reach 1	262	Tr 500	8.56	51.23	52.58	52.29	52.91	0.003816	2.52	3.40	7.24	0.69
Reach 1	255		Bridge									
Reach 1	249	Tr 50	4.39	51.15	51.93	51.83	52.19	0.006365	2.25	1.95	5.24	0.81
Reach 1	249	Tr 100	5.56	51.15	52.00	51.95	52.35	0.007665	2.62	2.12	5.48	0.91

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	249	Tr 200	6.80	51.15	52.06	52.06	52.52	0.009088	2.99	2.28	5.70	1.00
Reach 1	249	Tr 500	8.56	51.15	52.21	52.21	52.74	0.008619	3.22	2.66	6.23	1.00
Reach 1	248	Tr 50	4.39	51.15	52.05	51.74	52.13	0.002510	1.19	3.69	5.67	0.47
Reach 1	248	Tr 100	5.56	51.15	52.18	51.83	52.26	0.002423	1.25	4.44	6.11	0.47
Reach 1	248	Tr 200	6.80	51.15	52.30	51.91	52.39	0.002354	1.31	5.20	6.53	0.47
Reach 1	248	Tr 500	8.56	51.15	51.72	52.01	52.67	0.054775	4.33	1.98	4.48	2.08
Reach 1	233	Tr 50	4.39	51.12	52.02	51.71	52.09	0.002611	1.21	3.64	5.63	0.48
Reach 1	233	Tr 100	5.56	51.12	52.14	51.80	52.23	0.002490	1.26	4.40	6.08	0.48
Reach 1	233	Tr 200	6.80	51.12	52.27	51.88	52.35	0.002400	1.32	5.16	6.51	0.47
Reach 1	233	Tr 500	8.56	51.12	52.28	51.98	52.42	0.003567	1.62	5.28	6.58	0.58
Reach 1	219	Tr 50	4.39	51.08	51.98	51.67	52.05	0.002574	1.20	3.66	5.64	0.48
Reach 1	219	Tr 100	5.56	51.08	52.11	51.76	52.19	0.002440	1.26	4.43	6.10	0.47
Reach 1	219	Tr 200	6.80	51.08	52.23	51.84	52.32	0.002344	1.31	5.20	6.53	0.47
Reach 1	219	Tr 500	8.56	51.08	52.22	51.94	52.36	0.003818	1.66	5.15	6.51	0.60
Reach 1	205	Tr 50	4.39	51.04	51.94	51.63	52.01	0.002532	1.19	3.68	5.66	0.47
Reach 1	205	Tr 100	5.56	51.04	52.08	51.72	52.15	0.002383	1.24	4.47	6.13	0.47
Reach 1	205	Tr 200	6.80	51.04	52.20	51.80	52.29	0.002283	1.29	5.26	6.56	0.46
Reach 1	205	Tr 500	8.56	51.04	52.16	51.90	52.31	0.004210	1.72	4.97	6.41	0.62
Reach 1	191	Tr 50	4.39	51.00	51.91	51.59	51.98	0.002475	1.18	3.71	5.68	0.47
Reach 1	191	Tr 100	5.56	51.00	52.04	51.68	52.12	0.002314	1.23	4.51	6.15	0.46
Reach 1	191	Tr 200	6.80	51.00	52.17	51.76	52.25	0.002208	1.28	5.32	6.60	0.45
Reach 1	191	Tr 500	8.56	51.00	52.07	51.86	52.24	0.004955	1.83	4.68	6.25	0.67
Reach 1	180	Tr 50	4.39	50.98	51.88	51.57	51.95	0.002550	1.20	3.67	5.65	0.47
Reach 1	180	Tr 100	5.56	50.98	52.02	51.65	52.10	0.002355	1.24	4.49	6.14	0.46
Reach 1	180	Tr 200	6.80	50.98	52.15	51.74	52.23	0.002232	1.28	5.30	6.58	0.46
Reach 1	180	Tr 500	8.56	50.98	51.84	51.84	52.15	0.011401	2.47	3.46	5.52	1.00
Reach 1	162	Tr 50	4.39	50.72	51.54	51.54	51.84	0.013602	2.41	1.82	3.05	1.00
Reach 1	162	Tr 100	5.56	50.72	51.66	51.66	51.99	0.013297	2.52	2.20	3.40	1.00

HEC-RAS Plan: Plan\_21\_7\_sf\_dist\_5m\_b\_2.5m\_trap\_ret River: River 1 Reach: Reach 1 (Continued)

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)	
Reach 1	162	Tr 200	6.80	50.72	51.77	51.77	52.12	0.012937	2.61	2.60	3.72	1.00
Reach 1	162	Tr 500	8.56	50.72	51.88	51.88	51.88	0.000039	0.15	61.50	122.42	0.06
Reach 1	135	Tr 50	4.39	50.11	50.77	50.93	51.30	0.029530	3.20	1.37	2.73	1.44
Reach 1	135	Tr 100	5.56	50.11	50.87	51.04	51.45	0.028603	3.37	1.65	2.93	1.44
Reach 1	135	Tr 200	6.80	50.11	50.96	51.15	51.60	0.027892	3.53	1.93	3.11	1.43
Reach 1	135	Tr 500	8.56	50.11	51.06	51.30	51.80	0.029210	3.81	2.24	3.31	1.48
Reach 1	97	Tr 50	4.39	49.26	50.01	50.10	50.32	0.020324	2.48	1.77	4.22	1.22
Reach 1	97	Tr 100	5.56	49.26	50.08	50.10	50.44	0.022263	2.68	2.08	4.75	1.29
Reach 1	97	Tr 200	6.80	49.26	50.10	50.10	50.10	0.000009	0.05	91.50	150.59	0.03
Reach 1	97	Tr 500	8.56	49.26	50.10	50.10	50.10	0.000014	0.07	91.50	150.59	0.03
Reach 1	55	Tr 50	4.39	48.32	49.05	49.15	49.44	0.021835	2.76	1.59	3.26	1.26
Reach 1	55	Tr 100	5.56	48.32	49.16	49.26	49.56	0.020083	2.78	2.00	3.83	1.23
Reach 1	55	Tr 200	6.80	48.32	49.04	49.36	50.00	0.054694	4.35	1.56	3.22	1.99
Reach 1	55	Tr 500	8.56	48.32	49.20	49.47	50.02	0.040513	4.01	2.14	4.03	1.76
Reach 1	8	Tr 50	4.39	47.21	47.94	48.06	48.36	0.023639	2.87	1.53	3.14	1.31
Reach 1	8	Tr 100	5.56	47.21	48.03	48.17	48.51	0.024634	3.05	1.83	3.54	1.36
Reach 1	8	Tr 200	6.80	47.21	48.22	48.27	48.58	0.015524	2.64	2.57	4.43	1.11
Reach 1	8	Tr 500	8.56	47.21	48.31	48.37	48.73	0.016779	2.87	2.99	4.85	1.17