



AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI
Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

INTERVENTO FINANZIATO NELL'AMBITO DEL PATTO PER BOLOGNA

VARIANTE ALLA S.P. 65 "DELLA FUTA"

NODO DI RASTIGNANO - 2° LOTTO DI COMPLETAMENTO
TRATTO COMPRESO TRA SVINCOLO DI RASTIGNANO E PONTE DELLE OCHE
NEI COMUNI DI SAN LAZZARO DI SAVENA, BOLOGNA E PIANORO

PROGETTO DEFINITIVO

CORPO STRADALE

IDROLOGIA – IDRAULICA

SISTEMAZIONI IDRAULICHE TORRENTE SAVENA

TORRENTE SAVENA – RELAZIONE IDRAULICA

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Paolo De Paoli
Ord. Ingg. Pavia N.1739
**RESPONSABILE IDROLOGIA
E IDRAULICA**

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE




Ing. Raffaele Rinaldesi
Ord. Ingg. Macerata N. A1068

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO																								Ordinatore:											
RIFERIMENTO PROGETTO						RIFERIMENTO DIRETTORIO								RIFERIMENTO ELABORATO																					
Codice Commessa			Lotto, Sub- Cod. Appalto		Fase	Capitolo	Paragrafo	WBS tipologia progressivo		PARTE D'OPERA			Tip.	Disciplina	Progressivo			Rev.																	
1	1	1	4	4	4	0	0	0	1	P	D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	D	R	0	1	0	1	—	—	SCALA: —

 	PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:		REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068				n.	data
	REDATTO:		VERIFICATO:		0	FEBBRAIO 2018
					1	—
					2	—
					3	—
				4	—	

VISTO DEL PROPRIETARIO DELLE OPERE		VISTO DEL CONCEDENTE	
 IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Pietro Luminasi		 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI	

SPEA Engineering

VARIANTE ALLA SP65 “DELLA FUTA”

PROGETTO DEFINITIVO

**NODO DI RASTIGNANO – 2° LOTTO DI
COMPLETAMENTO**

TRATTO COMPRESO TRA SVINCOLO DI RASTIGNANO E PONTE
DELLE OCHE NEI COMUNI DI SAN LAZZARO DI SAVENA, BOLOGNA E
PIANORO

TORRENTE SAVENA - RELAZIONE IDRAULICA



INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI IDROLOGICA	7
3	DETERMINAZIONE DEI TIRANTI IDRICI	10
3.1	Risultati della simulazione idraulica dello stato di fatto	14
3.2	Risultati della simulazione idraulica dello stato di progetto	33

1 PREMESSA

La strada provinciale 65 “della Futa” (ex S.S. n° 65) è la principale via di collegamento fra l'area urbana di Bologna e i comuni della valle del Savena (Monghidoro, Loiano, Pianoro e le sue frazioni di Carteria di Sesto e Rastignano).

Procedendo in uscita da Bologna, la SP65 ha inizio da Via Toscana in prossimità del ponte sul Savena, attraversa l'abitato di Rastignano, sorto a cavallo dei confini amministrativi dei comuni di Bologna, Pianoro e San Lazzaro e percorre la vallata in direzione di Pianoro, Loiano, Monghidoro fino a raggiungere i passi della Raticosa e della Futa e quindi scendere in Mugello, e infine a Vaglia e Firenze. Rappresentava la storica direttrice di collegamento transappennica tra Bologna e Firenze fino all'apertura dell'autostrada A1. Nel tempo, nel tratto emiliano sono nati e si sono sviluppati i maggiori insediamenti residenziali, commerciali e industriali della vallata. Alle storiche funzioni di transito e distribuzione si sono quindi affiancate quelle di penetrazione e accesso con conseguente congestione ed inadeguatezza dell'infrastruttura.

Da qui nasce la necessità di creare una viabilità alternativa alla SP 65 che risponda alle necessità di collegamento a medio-lungo raggio che si è concretizzata, all'interno dell'area urbana di Bologna, nella costruzione della strada Lungo Savena (o IN870 secondo la denominazione del consorzio CAVET costruttore dell'opera) e della strada di Fondovalle Savena nel tratto interno ai comuni di Pianoro e Loiano. Queste strade, caratterizzate da tracciati e sezioni idonee alla loro funzione, non sono attualmente direttamente collegate ma si arrestano rispettivamente all'altezza di Via Corelli e del Ponte delle Oche, ovvero a valle e a monte dell'abitato di Rastignano che è attraversabile unicamente per mezzo della viabilità storica, così come mostrato nella planimetria seguente.

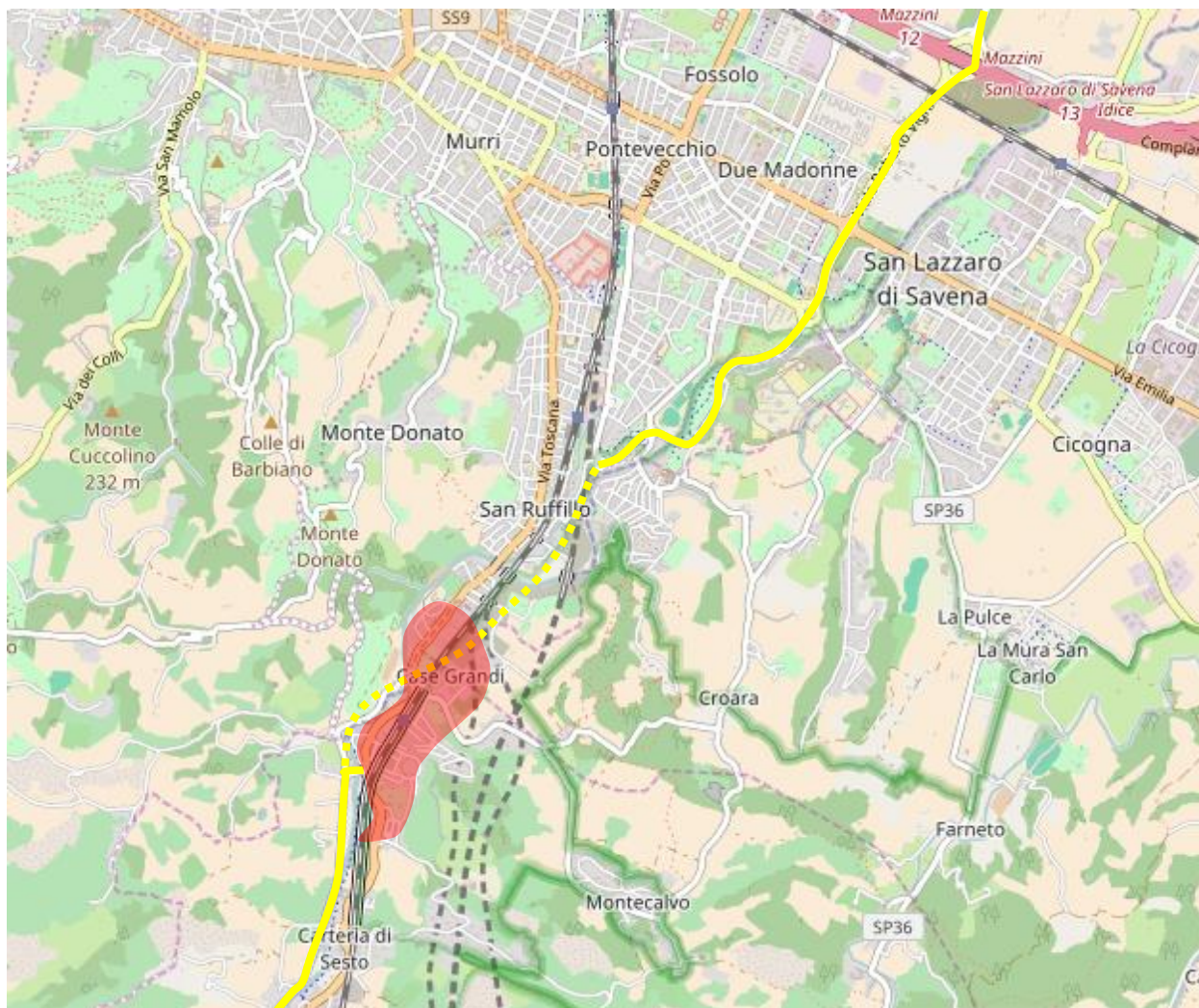


Figura 1-1: Quadrante Sud-Ovest di Bologna. La SP65 è evidenziata in arancione, la strada fondo valle Savena (a Sud) e la strada Lungo Savena (a Nord) in linea continua gialla, la direttrice della variante di Rastignano in linea puntinata gialla. L'abitato di Rastignano è evidenziato dalla campitura rossa. Cartografia OpenStreetMap

In questa località, oltre alle particolari condizioni orografiche che vedono l'abitato strettamente raccolto attorno alla Strada Provinciale ed al Torrente Savena ai piedi delle due pendici di Monte Calvo e del Parco del Paleotto, si trovano anche i confini amministrativi di tre Comuni (Bologna, S. Lazzaro e Pianoro). Data, quindi, la particolare situazione di "località di confine", Rastignano ha avuto una urbanizzazione disordinata e caotica tutta gravitante sulla Strada Provinciale e affacciata sull'argine del Torrente Savena. Sulla stessa direttrice, a pochi metri dalla strada Provinciale, insiste inoltre la linea ferroviaria "Direttissima" Bologna - Firenze, che provoca un'ulteriore frattura longitudinale del territorio secondo il centro abitato in due parti collegate tra loro da due soli passaggi, uno in sottovia ed uno in sopravvia, per tutto lo sviluppo longitudinale della frazione. A questa si sono recentemente aggiunte anche la nuova linea ad alta velocità e le linee di interconnessione con i relativi manufatti tecnologici.

La presenza inoltre del Torrente Savena, che lambisce tutte le abitazioni in destra idraulica passando praticamente alla quota degli scantinati delle abitazioni che si sviluppano lungo la Futa, costituisce un ulteriore ostacolo allo sviluppo razionale della mobilità della zona in esame. In sinistra idraulica si sviluppa il Parco del Paleotto, zona di particolare pregio ambientale, ma di difficile accesso e di scarsa fruibilità a causa anche dello stato di degrado ambientale e idrogeologico con cui si presenta il torrente Savena, confine naturale di inizio del Parco stesso.

Non essendo più sostenibile tale situazione, dati i notevoli volumi di traffico, locale e non, che attraversano l'abitato quotidianamente e che provocano un inquinamento insopportabile per i residenti, è iniziato un lungo e complesso iter progettuale per la definizione di un nuovo tracciato stradale di collegamento fra il ponte delle Oche e Via Corelli in Comune di Bologna.

Procedendo da Sud verso Nord, il nuovo collegamento si compone in tre tratti:

- 1) Variante di Rastignano – Tratto Sud (indicato in rosso in figura);
- 2) Variante di Rastignano – Tratto Nord (indicato in azzurro in figura);
- 3) Completamento Strada IN870 (anch'esso indicato in azzurro in figura);

con diversi collegamenti/svincoli con la viabilità esistente (da Sud a Nord, Ponte delle Oche, Via Torriane, bretella e rotatoria di Rastignano, bretella e rotatoria del Dazio).

I due tratti settentrionali, indicati con i numeri 2 e 3 nell'elenco precedente, sono stati appaltati nel 2014 da RFI e sono attualmente in costruzione. Il tratto di completamento – ovvero il tratto meridionale della variante di Rastignano – è l'oggetto del presente progetto definitivo.

L'obiettivo della presente relazione è analizzare il comportamento idraulico del torrente Savena in corrispondenza della realizzazione della nuova viabilità sia nella configurazione attuale sia nelle condizioni di progetto (piena con tempo di ritorno 200 anni). Tale analisi è stata realizzata avvalendosi del software di calcolo HEC-RAS sviluppato dall'U.S. Army Corps Engineers (USACE).

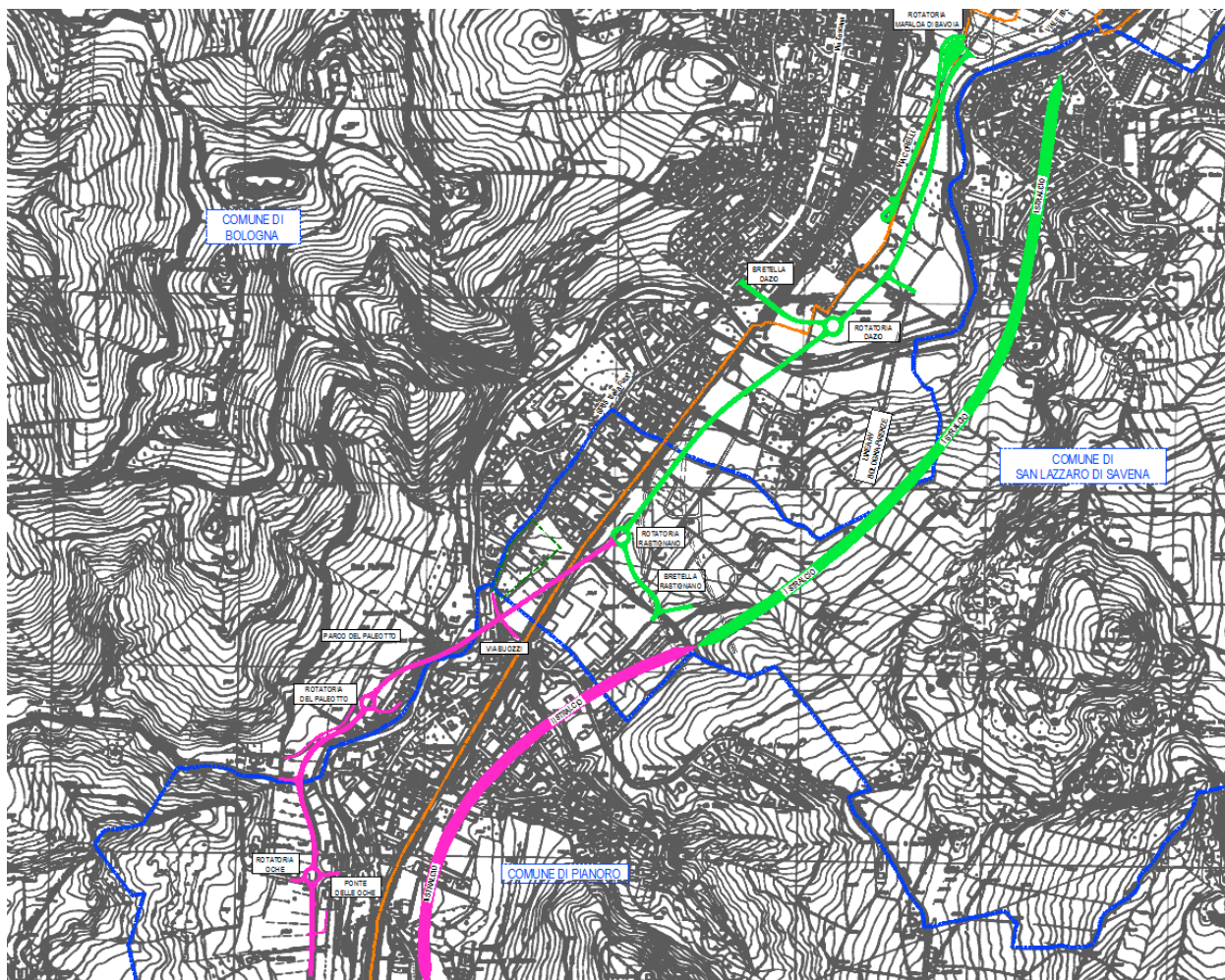


Figura 1-2: Variante SP65: I stralcio in verde, II stralcio in rosso

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI IDROLOGICA

Il Torrente Savena è l'affluente principale del Torrente Idice ed il suo bacino, situato fra i bacini di Reno, Idice e Zena, ha una superficie alla sezione di chiusura al ponte della Via Emilia di circa 168 km². La lunghezza dell'asta principale fino a tale sezione è pari a circa 49,8 km. Da tale sezione alla confluenza con il Torrente Idice il corso del Torrente Savena si sviluppa per ulteriori 4,5 km circa.

Il Torrente Savena venne tolto dal suo alveo naturale all'altezza della località Cavedone in Comune di Bologna, circa 1,5 km a monte della Via Emilia, con lavori eseguiti negli anni 1776-1777, ed immesso nel Torrente Idice all'attuale confluenza. Il nuovo alveo seguì in massima parte il tracciato di un piccolo corso d'acqua, il rio Polo che attualmente confluisce in Savena, e venne adeguato alle portate del Savena. Il corso del torrente Savena a valle di Bologna non ebbe perciò più le acque del bacino montano e divenne un corso d'acqua, l'attuale Savena Abbandonato, nel quale si raccolgono le acque delle aree di pianura della città di Bologna.

Altre modifiche del corso naturale del Savena si ebbero per le frane che nel 1870 e nel 1951 interessarono l'alveo del torrente in località Castel dell'Alpi, dove si è formato l'omonimo lago.

L'inquadramento del tratto di Savena di interesse per il presente studio è riportato nella figura seguente. Complessivamente il tratto analizzato ha una estensione di circa 970 metri.

Le informazioni idrologiche necessarie a realizzare lo studio sono state ricavate dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Reno. In particolare nella figura seguente si riporta la cartografia e la posizione delle sezioni utilizzate dall'Autorità di bacino per lo studio idrologico e idraulico.



Figura 2-1: Inquadramento del tratto di Torrente Savena oggetto di studio

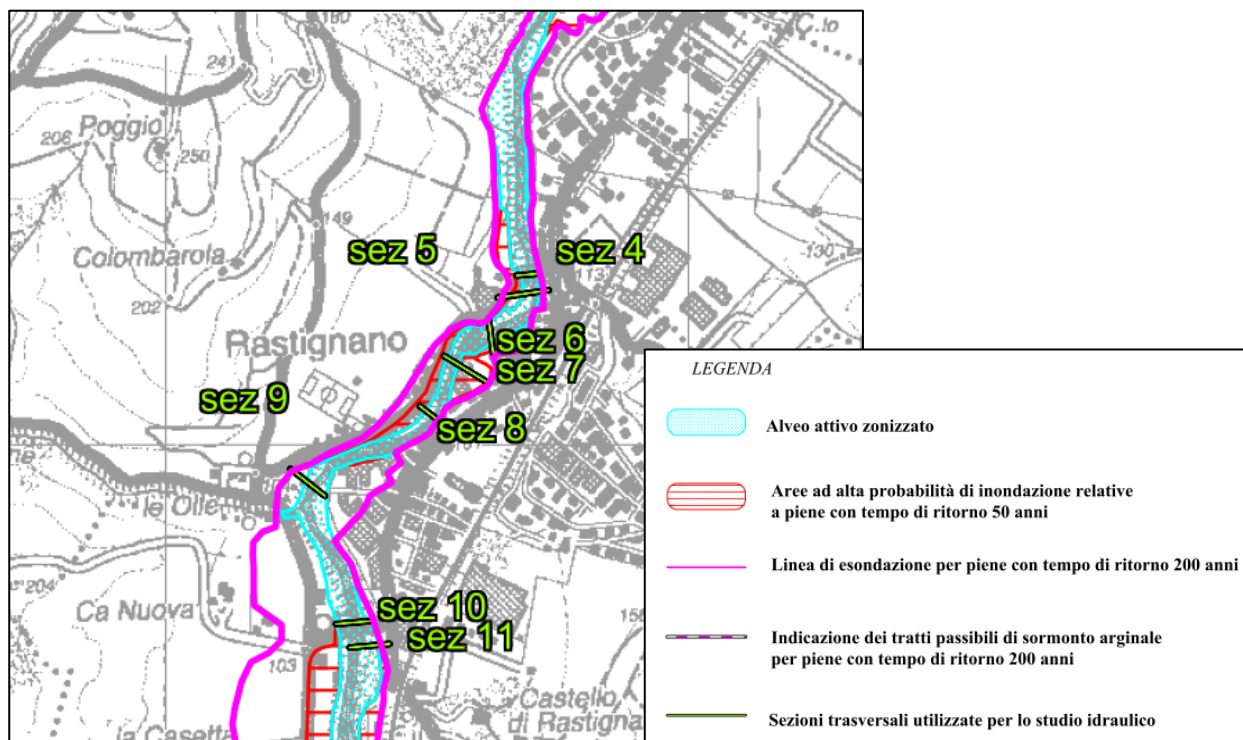


Figura 2-2: Inquadramento del tratti di alveo oggetto di studio e rappresentazione delle sezioni utilizzate nello studio del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Reno (Tavola B1m1)

Il tratto di interesse è pertanto compreso tra la Sez. 10 e la Sez. 4. Per le varie sezioni idrauliche presenti nella relazione redatta dall'Autorità di Bacino è quindi possibile individuare sia le portate di progetto con Tempo di Ritorno di 50 e 200 anni sia i tiranti idrici raggiunti, conseguenti a tali portate.

Pertanto dai documenti redatti dall'Autorità di Bacino è possibile individuare la portata di riferimento con Tempo di Ritorno di 200 anni, che si definisce pari a 390 m³/s.

Tabella 1 – Risultati dello studio idrologico-idraulico (fonte: Piano Stralcio dell'Autorità di bacino del Reno)

CODICE	SEZIONI			PORTATE E LIVELLI				FONDO
	Distanza Progr. [m]	Localizzazione	Descrizione	Lmax50 [m s.l.m.]	Qmax50 [m ³ /s]	Lmax200 [m s.l.m.]	Qmax200 [m ³ /s]	Quota del fondo (m s.l.m.)
11	24240	Rastignano	m.ponte	102.8	308.5	103.3	388.0	98.3
11v	24250	Rastignano	v.ponte	102.2	309.5	102.7	395.0	98.3
10	24292	Rastignano		102.0	307.6	102.4	392.5	97.7
9	24578	Rastignano		100.8	307.4	101.2	387.3	96.2
8	24859	Rastignano		99.6	307.4	100.0	387.2	94.5
7	24972	Rastignano		98.7	307.4	99.1	387.3	93.9
6m	25057	Rastignano	m.briglia	98.2	307.3	98.6	387.3	95.3
6	25067	Rastignano	v.briglia	96.8	307.3	97.5	387.3	91.4
5	25190	Rastignano		96.7	307.3	97.4	387.3	90.8
5v	25200	San Ruffillo		96.4	307.3	97.2	387.2	90.8
4	25225	San Ruffillo	m.ponte	96.3	307.3	97.2	387.2	90.4
4v	25235	San Ruffillo	v.ponte	95.0	307.3	95.4	387.2	90.4

3 DETERMINAZIONE DEI TIRANTI IDRICI

La ricostruzione dei livelli idrici raggiunti nel corso d'acqua, in corrispondenza della portata precedentemente definita, è stata realizzata in condizioni di moto permanente con il programma di calcolo HEC-RAS sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Tale codice di calcolo è basato sull'integrazione delle equazioni di De Saint Venant monodimensionali trascurando le variazioni delle grandezze in gioco rispetto al tempo. Nella forma più generale esse hanno la seguente forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q V)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

dove:

Q	portata liquida;
A	area liquida;
q	afflusso laterale;
x	ascissa longitudinale del corso d'acqua;
V	velocità;
g	accelerazione di gravità;
Z	altezza d'acqua;
τ	tensione tangenziale alla parete;
P	perimetro bagnato.

La prima equazione rappresenta l'equazione di continuità. La seconda equazione deriva invece dall'applicazione del teorema della quantità di moto: al primo membro si trovano rispettivamente la variazione di quantità di moto del volume di controllo ed il flusso netto di quantità di moto attraverso la sua frontiera. Al secondo membro si trovano le forze dovute alla pressione e all'attrito lungo le pareti nonché la componente nella direzione del moto della quantità di moto della portata laterale immessa. Se si considera il moto permanente, si annullano le derivate rispetto al tempo e le equazioni soprascritte divengono:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0$$

$$\frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

Con alcuni passaggi matematici, in particolare sviluppando la seconda equazione e sostituendovi la prima, e supponendo che la pendenza di attrito S_f (perdita di carico per unità di percorso) sia legata alle caratteristiche globali della corrente dalle stesse relazioni valide per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{\tau_0 P}{\rho_0 g A} = \frac{V^2}{g C^2 R}$$

Si ricava:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f + \frac{q}{gA} \left(U_q - \beta \frac{Q}{A} \right)$$

Quest'ultima equazione viene integrata per fornire l'andamento del profilo del pelo libero della corrente.

Per gli alvei irregolari, si richiede innanzitutto la definizione di sezioni fluviali ad un certo interesse. Le caratteristiche dell'alveo tra le due sezioni misurate sono desunte sostanzialmente dalla interpolazione delle grandezze alle estremità. Oltre le caratteristiche geometriche globali delle sezioni occorre anche fornire una indicazione della scabrezza delle pareti per la stima delle perdite per attrito.

Il parametro di calibrazione del modello è costituito dalla scabrezza dell'alveo. Tale valore viene fissato sulla base dello stato dell'alveo valutato visivamente. Si assume pertanto una scabrezza secondo Manning pari a $0.067 \text{ s/m}^{1/3}$ che espressa secondo la formulazione di Gauckler-Strickler equivale a $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno viene fissata una pendenza pari alla pendenza media del fondo nel tratto in esame e pari allo 0,83%.

Le sezioni utilizzate nel tratto in esame sono state 48 con distanza media, l'una dall'altra, di circa 20 metri. Tali sezioni sono state ricavate attraverso un rilievo di dettaglio della zona. Occorre precisare che i numerosi edifici che affiancano l'alveo sono inseriti come se facessero parte della sezione stessa, quindi rappresentano di fatto un ostacolo al deflusso dell'acqua.

Nello stato di progetto si considerano, oltre alla presenza del rilevato stradale, anche due zone di risagomatura dell'alveo con livellamento delle aree golenali in sinistra idraulica, come illustrato nell'elaborato grafico di progetto *IDR 0102 - Sistemazione dell'alveo del torrente Savena*. In particolare:

- Risagomatura progressiva alle quote di 100, 99 e 98 m s.l.m. in corrispondenza della rotatoria Paleotto;
- Risagomatura alla quota 91 m s.l.m. fra la seconda pila del viadotto Rastignano ed il tratto rettilineo a valle del ponte storico Paleotto. In questo modo viene liberata per

il passaggio del torrente l'arcata del ponte più occidentale (oggi parzialmente occlusa), e l'alveo di magra viene esteso anche all'arcata centrale.

Contestualmente alla risagomatura si prevede di rivestire con una protezione in massi di dimensioni minime 60-300kg (spessore 1m):

- Le scarpate risultanti maggiormente ripide, immediatamente a monte e a valle del ponte storico Paleotto;
- Il ricoprimento delle fondazioni delle pile del viadotto Rastignano;
- Il piede dei rilevati in corrispondenza della rotatoria Parco Paleotto, fino ad una quota di 50cm al di sopra della quota di massima piena.

In Figura 3-1 è mostrata la posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico. I risultati delle elaborazioni sono riportati nei paragrafi seguenti.

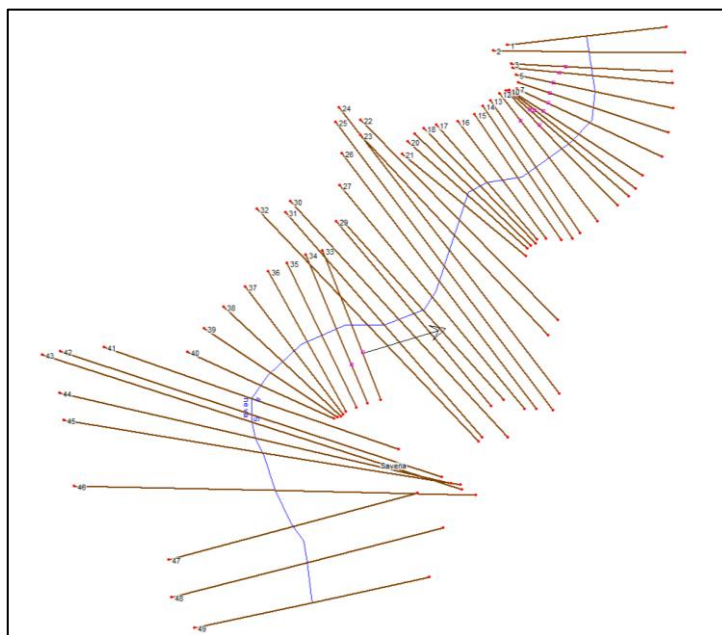


Figura 3-1: Posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico

La protezione in massi del piede del rilevato stradale a sud della rotatoria Parco Paleotto è dimensionata secondo il criterio di Shields seguendo il metodo indicato in *The Rock Manual – The use of rock in hydraulic engineering*. Di seguito è mostrato il dimensionamento, effettuato considerando la sezione sollecitata da una velocità media maggiore (Sez. 16) e distinguendo i valori di velocità fra l'alveo principale e i due alvei golenali in destra e in sinistra idraulica. Come illustrato in figura Figura 3-2 e nelle tabelle seguenti, la velocità di progetto per il piede del rilevato è pari a $U_{max} = 2.18\text{m/s}$ nella golenale in sinistra idraulica, con un'altezza di deflusso di circa $h = 1.8\text{m}$.

Ove il rilevato di fatto costeggia il torrente, la protezione del piede del rilevato è affidata, in aggiunta alla massicciata, anche ad una paratia di micropali che raggiunge il substrato con maggiori caratteristiche meccaniche e garantisce stabilità del rilevato anche in caso di erosione in sponda sinistra fino alla quota di fondo alveo.

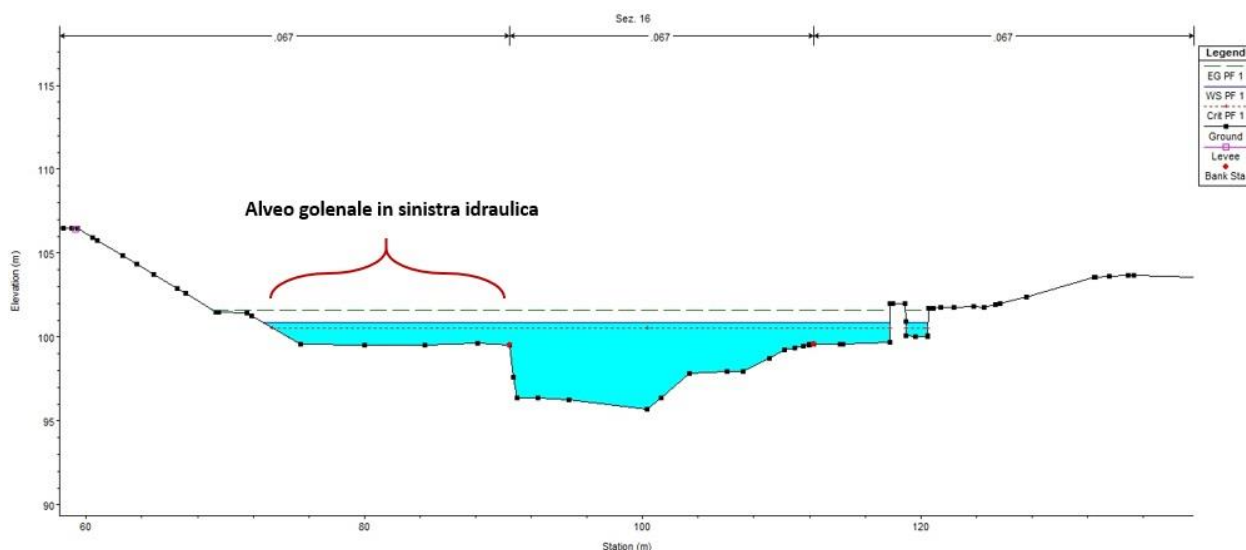


Figura 3-2: Sezione di progetto per il calcolo della stabilità della massicciata di protezione del rilevato stradale a sud della Rotatoria Paleotto

Plan: Plan 04 Savena Savena RS: 34 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	101.62	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.76	Wt. n-Val.	0.067	0.067	0.067
W.S. Elev (m)	100.87	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)	100.54	Flow Area (m2)	21.84	79.71	8.24
E.G. Slope (m/m)	0.016580	Area (m2)	21.84	79.71	8.24
Q Total (m3/s)	390.00	Flow (m3/s)	47.70	327.29	15.00
Top Width (m)	46.68	Top Width (m)	17.77	21.81	7.14
Vel Total (m/s)	3.55	Avg. Vel. (m/s)	2.18	4.11	1.82
Max Chl Dpth (m)	5.16	Hydr. Depth (m)	1.23	3.65	1.15
Conv. Total (m3/s)	3028.8	Conv. (m3/s)	370.5	2541.8	116.5
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)	18.03	25.52	9.90
Min Ch El (m)	95.71	Shear (N/m2)	196.96	507.81	135.31
Alpha	1.18	Stream Power (N/m s)	430.14	2085.21	246.46
Frctn Loss (m)	0.27	Cum Volume (1000 m3)	0.22	115.57	0.08
C & E Loss (m)	0.12	Cum SA (1000 m2)	0.18	60.51	0.07

Tabella 2 – Parametri idraulici della sezione di progetto

Stabilità protezione di sponda

Parametri

g	9.81	[m/s ²]
ps	2650	kg/m ³
pw	1000	kg/m ³
Δ	1.65	[-]

Categorie massicciata (M50)

I	50-100kg	75	[kg]
II	60-300kg	180	[kg]
III	500-1500kg	750	[kg]
IV	1500-4000kg	2750	[kg]

Parametri della corrente

U _{max}	2.18	[m/s]
h	1.80	[m]

Dimensionamento in base alla corrente

(Formula di Pilarczijk, Rock Manual 5.2.3.1)

φ _{sc}	0.75	[-]
ψ _{cr}	0.035	[-]
r	0.60	[-]
kt ²	2.2	[-]
slope α	0.464	[rad] side
slope β	0.100	[rad] longitudinal
repose φ	0.663	[rad]
kh (dev)	0.97	[-]
kh (non dev)	0.71	[-]
ksl	0.60	[-]
D _n	0.38	[m]
Steenklasse	60-300kg	
M50	180	[kg]
Dn50	0.41	[m]

Tabella 2 – Verifica di stabilità della massicciata di protezione del rilevato stradale a sud della Rotatoria Paleotto

3.1 Risultati della simulazione idraulica dello stato di fatto

Nelle figure seguenti sono rappresentate le sezioni con il livello dell'acqua corrispondente alla portata di TR pari a 200 anni. Le sezioni sono numerate da monte verso valle.

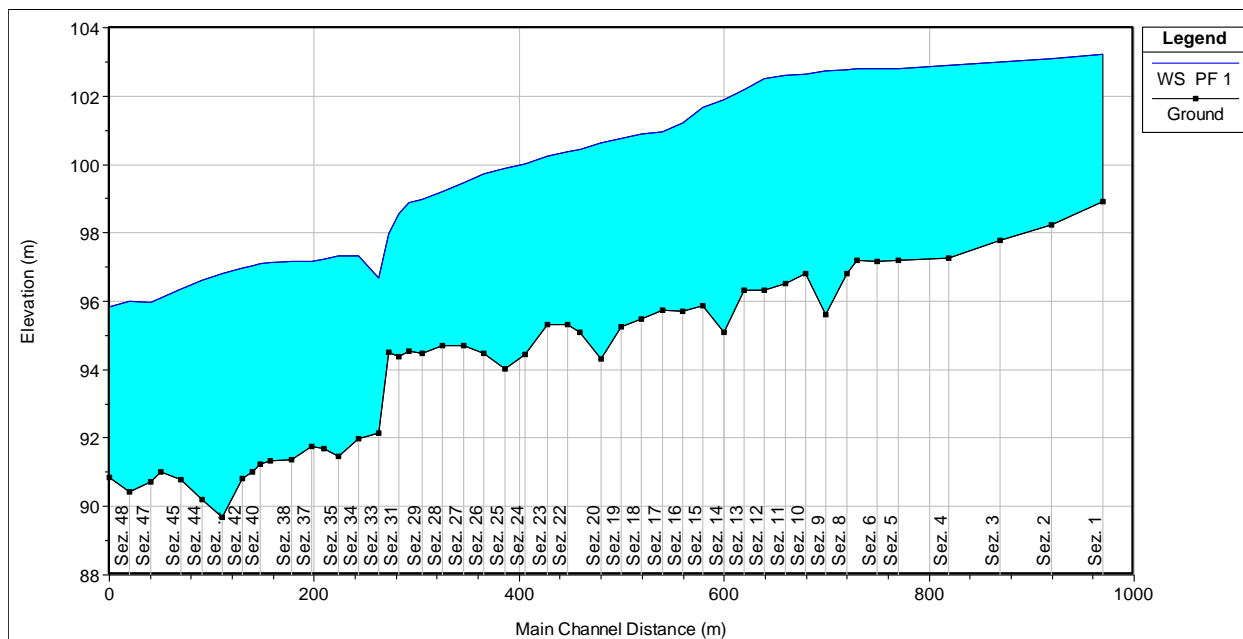
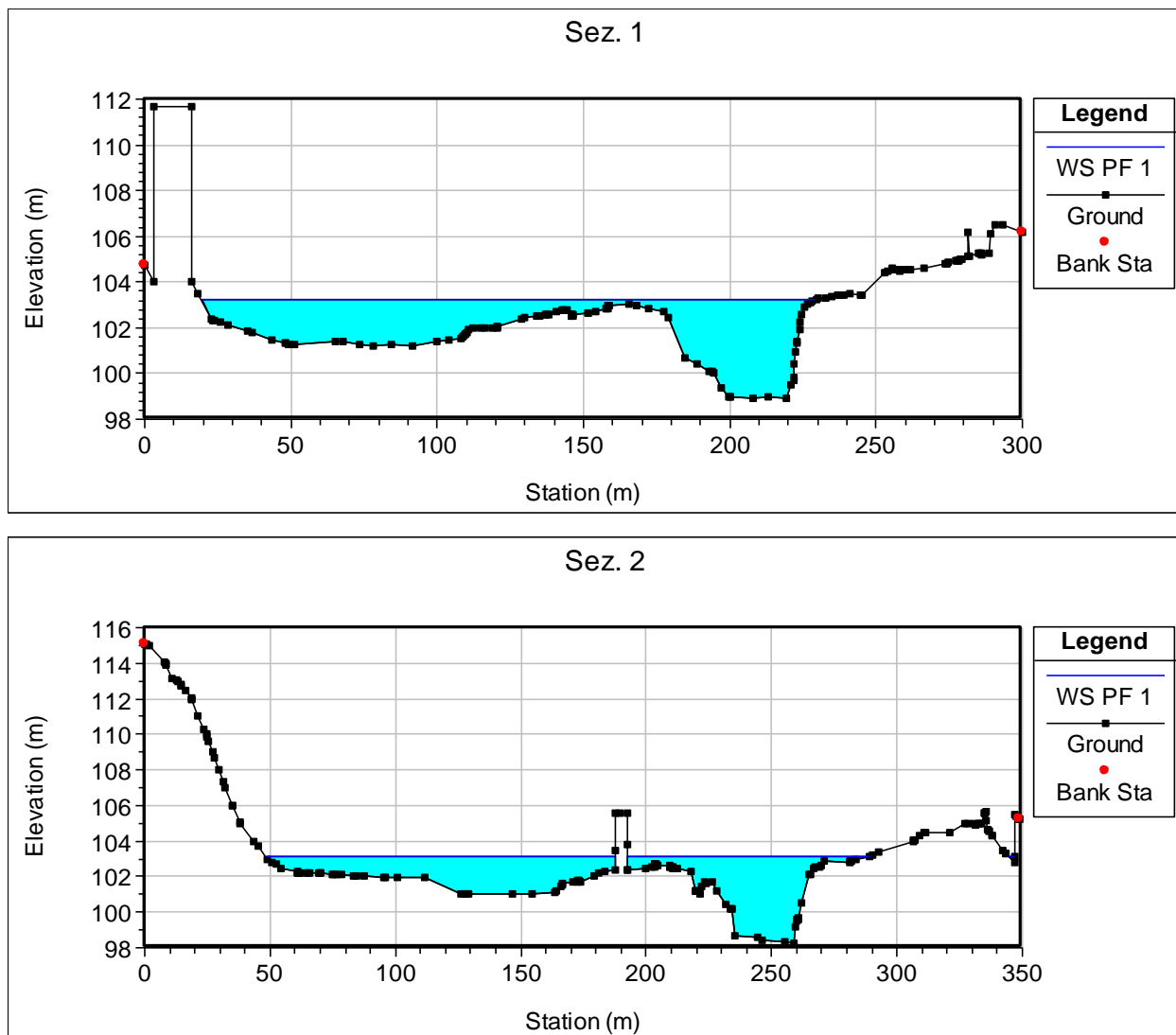
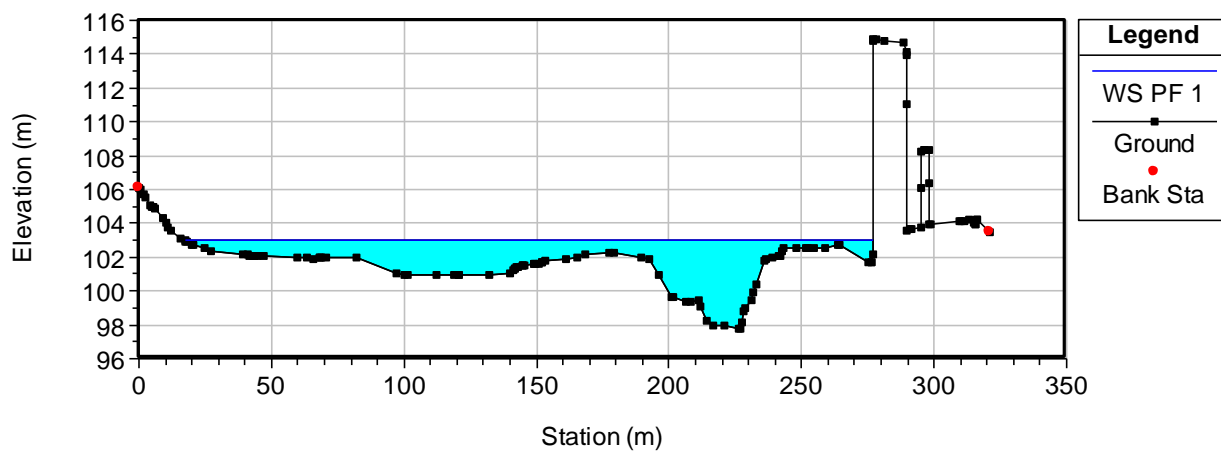


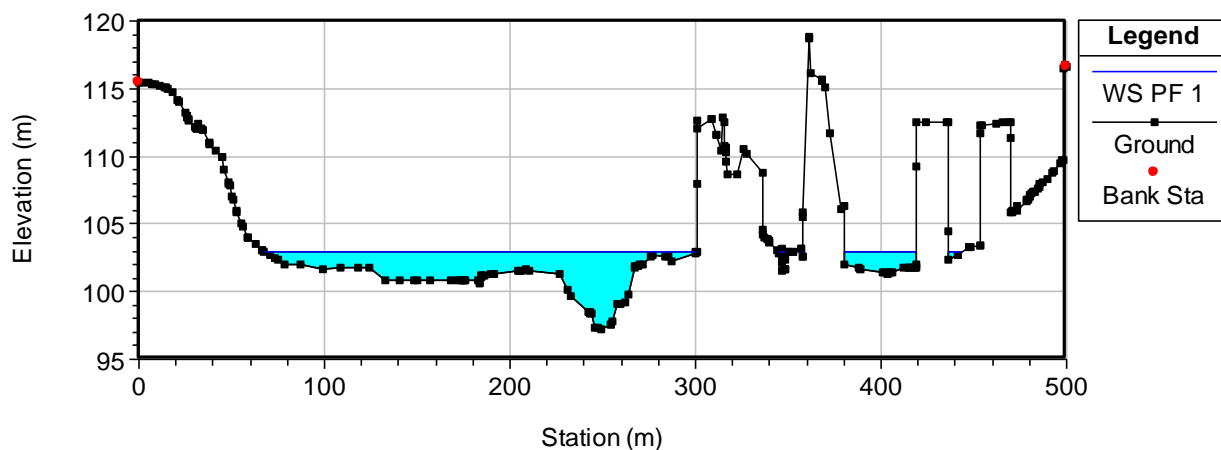
Figura 3-3: Profilo idraulico del tratto analizzato.



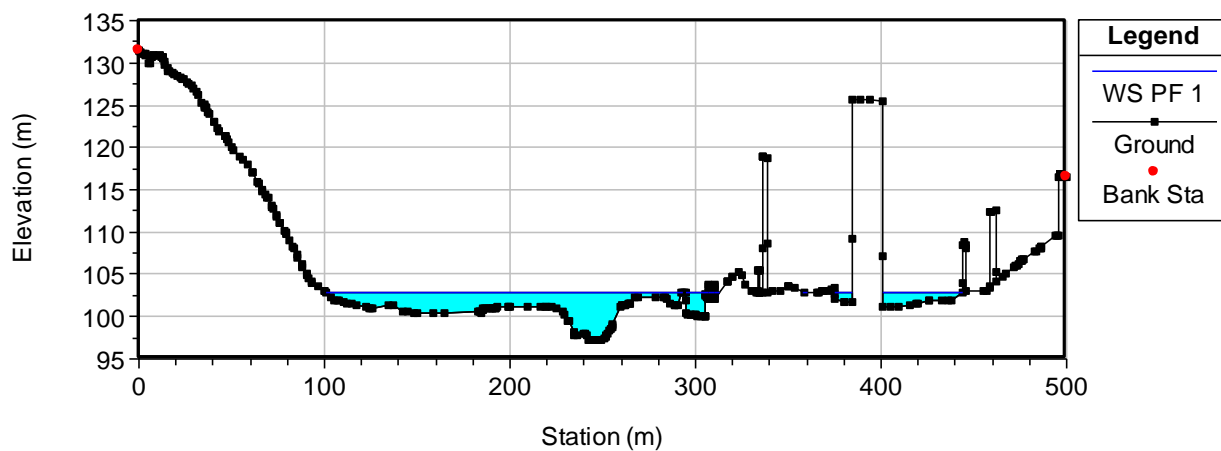
Sez. 3



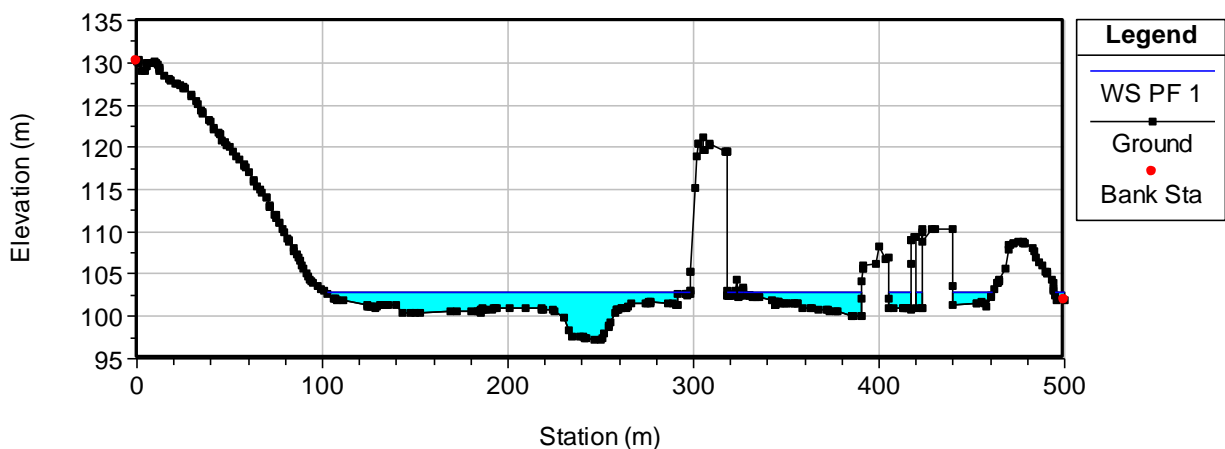
Sez. 4



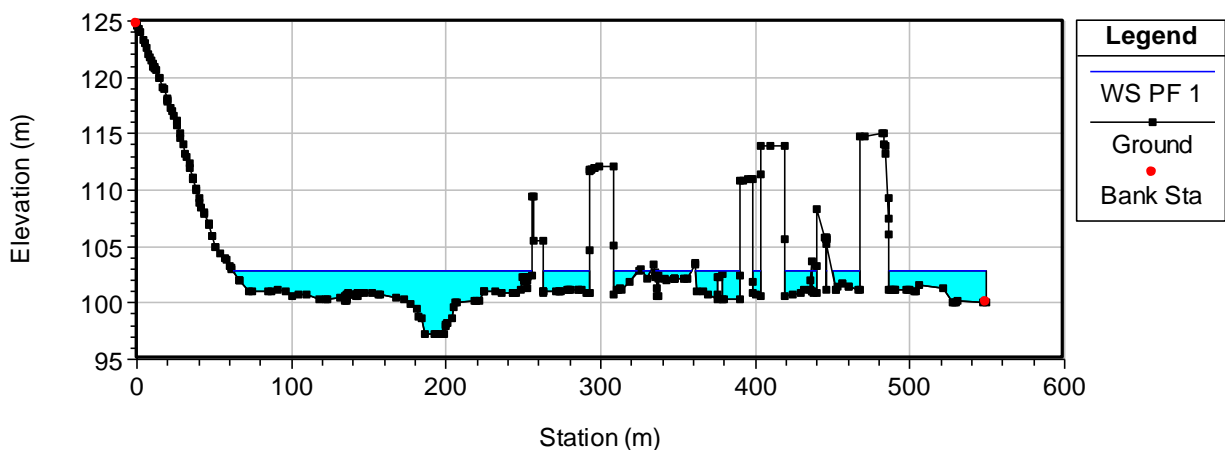
Sez. 5



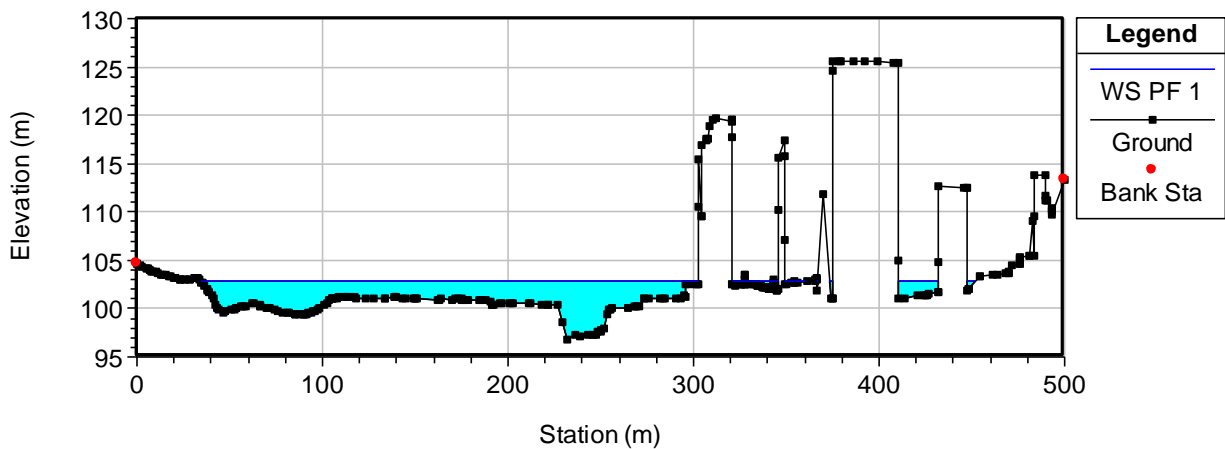
Sez. 6



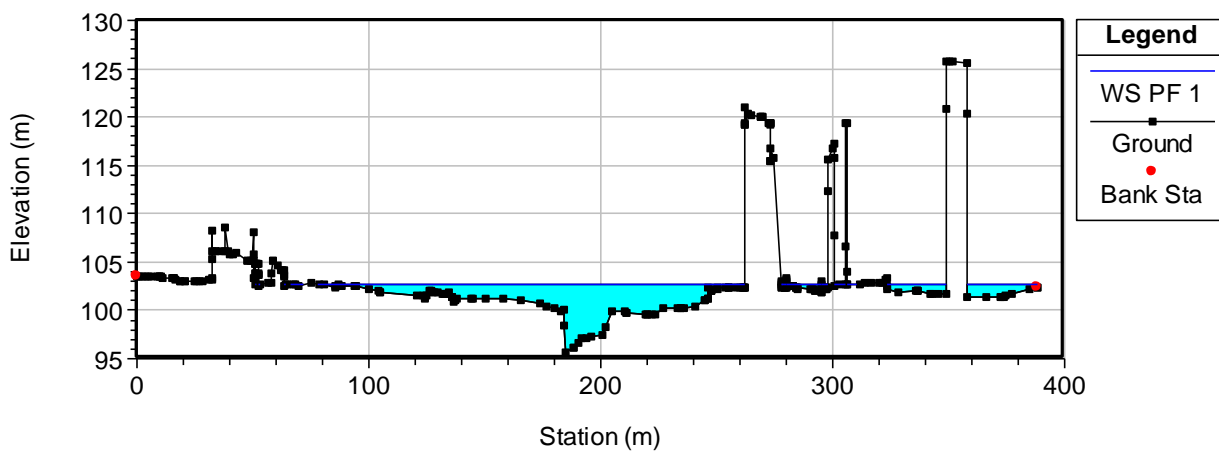
Sez. 7



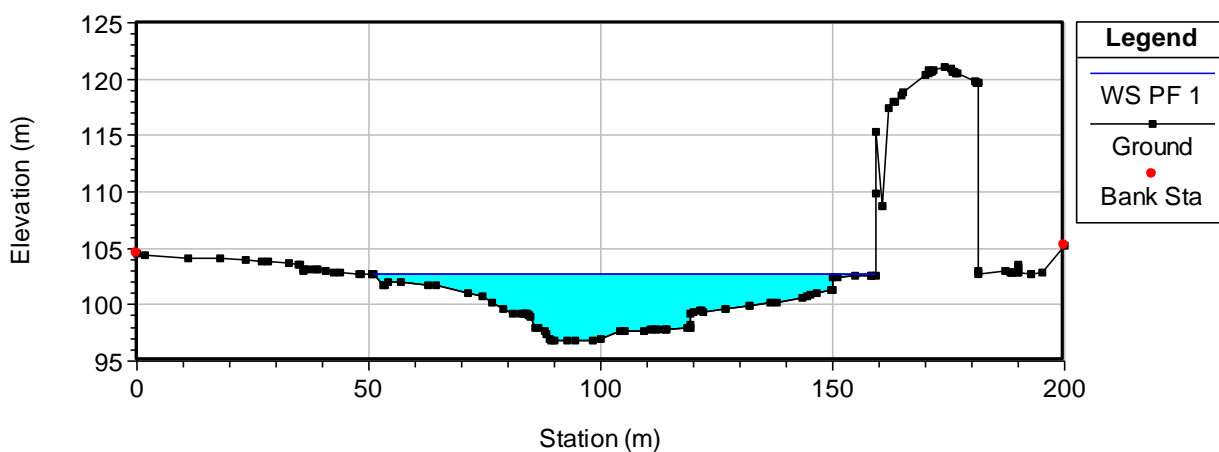
Sez. 8



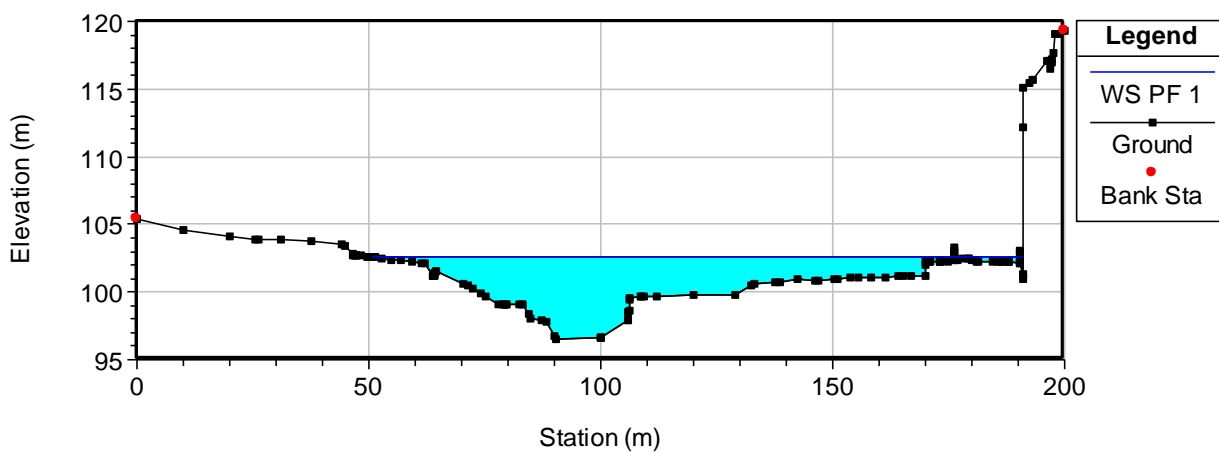
Sez. 9



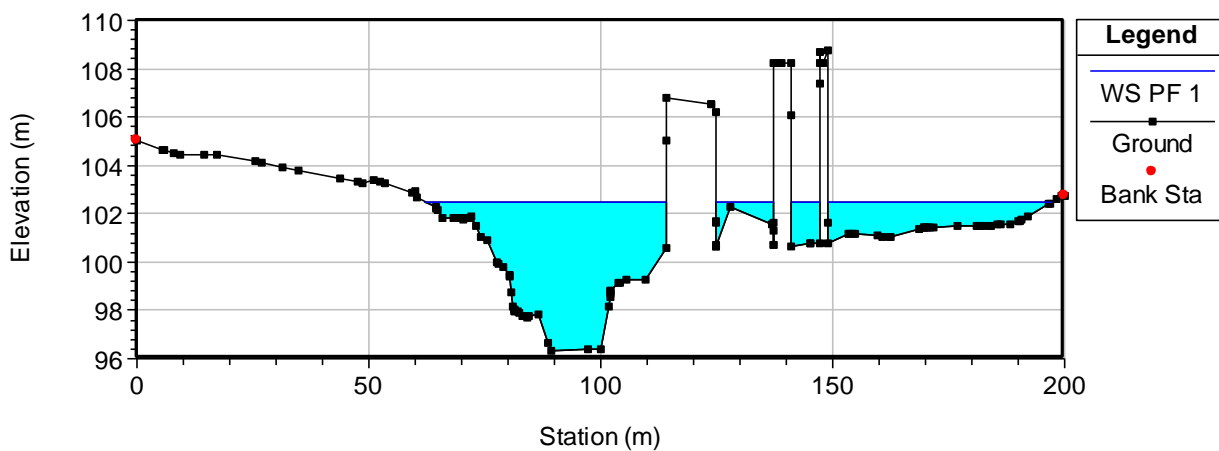
Sez. 10



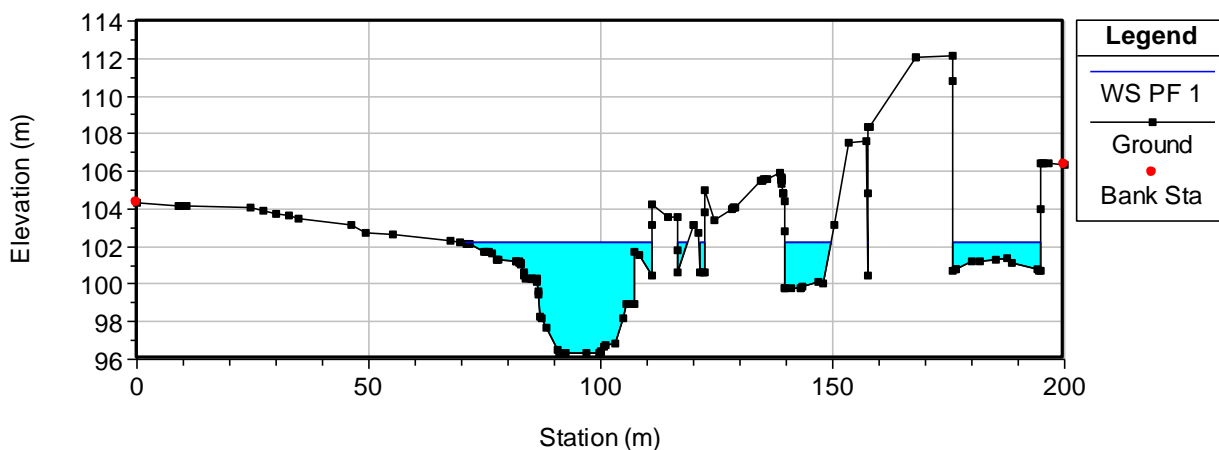
Sez. 11



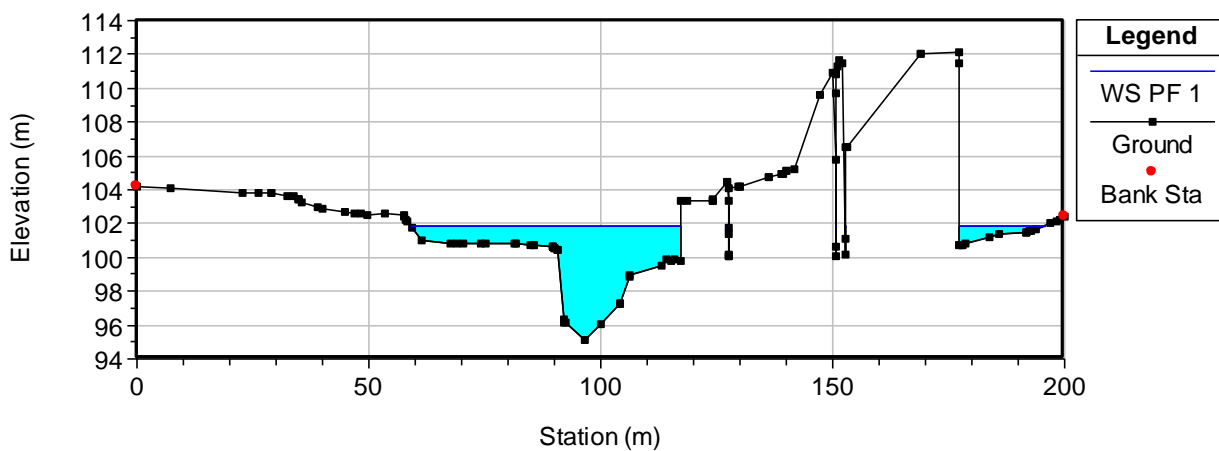
Sez. 12



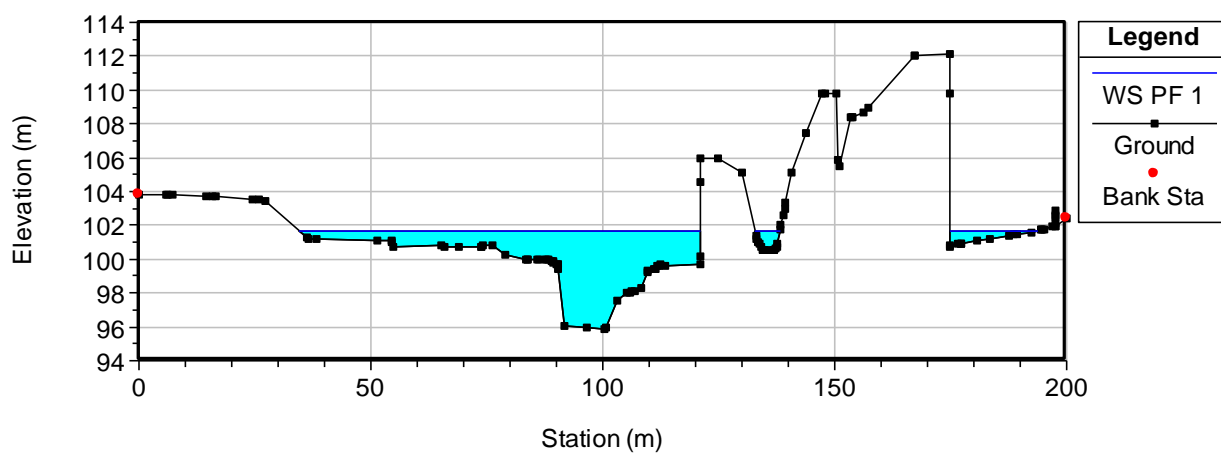
Sez. 13



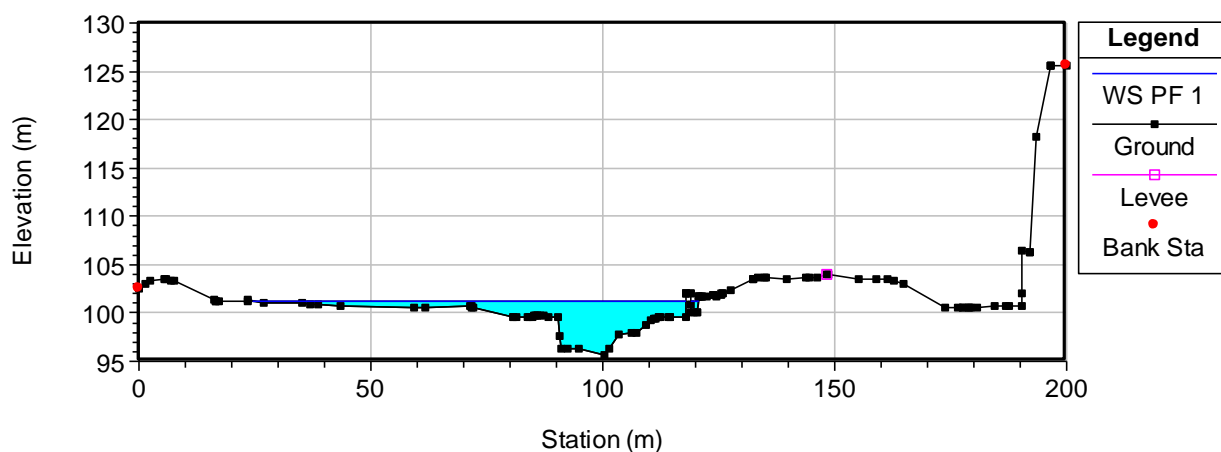
Sez. 14



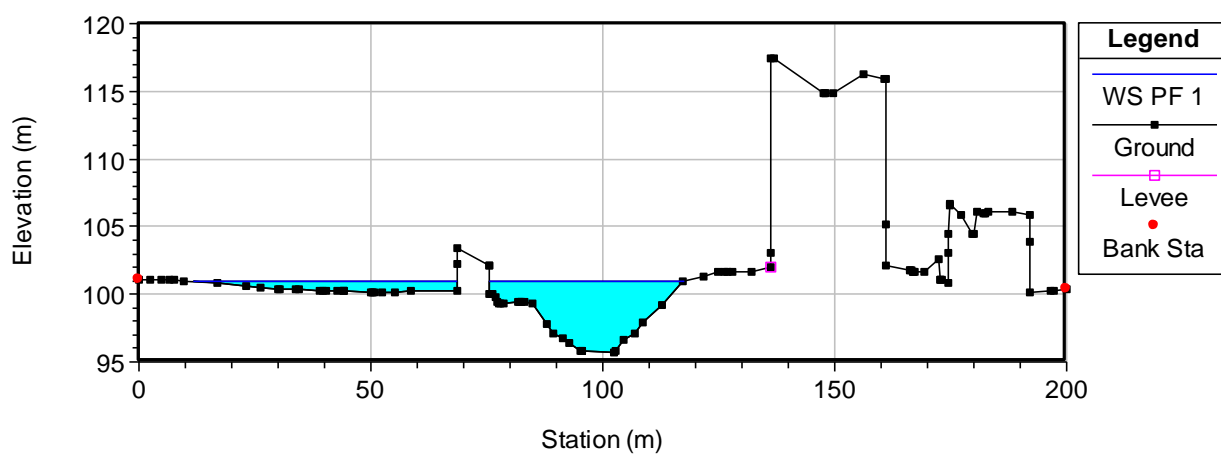
Sez. 15



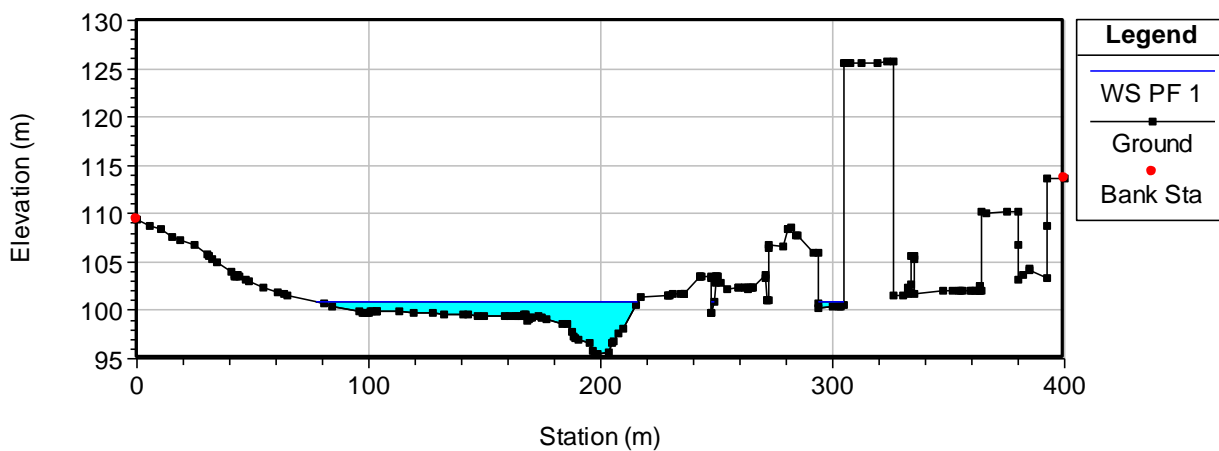
Sez. 16



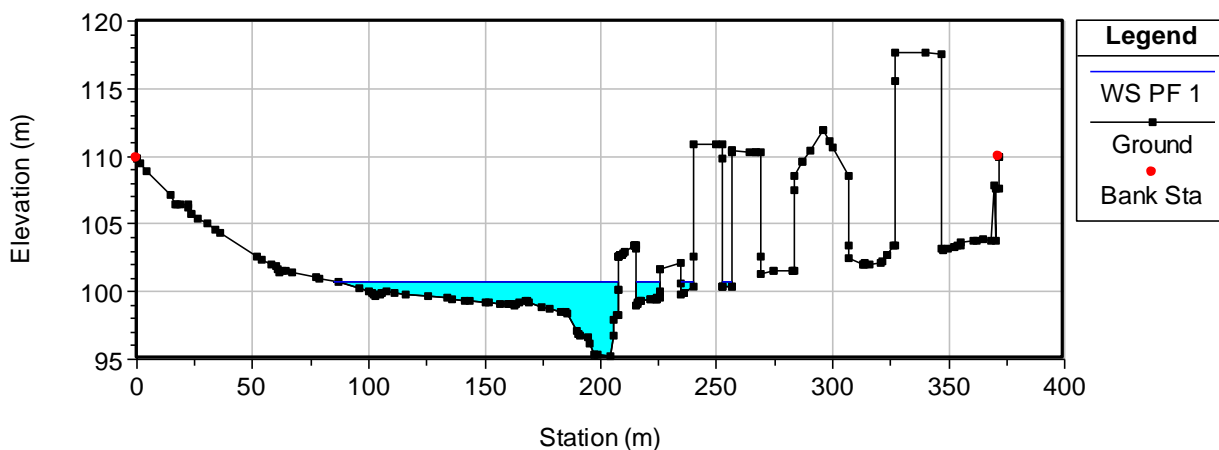
Sez. 17



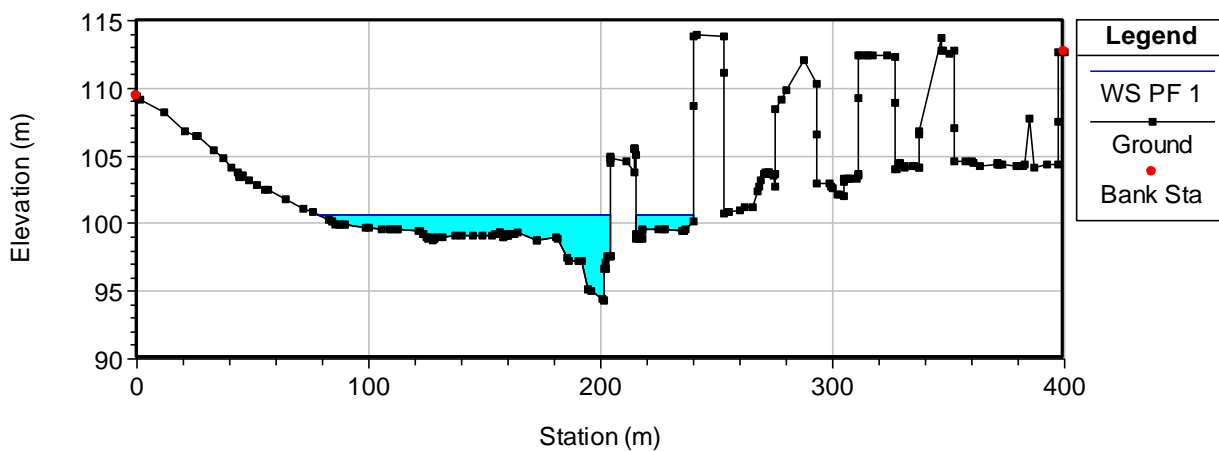
Sez. 18



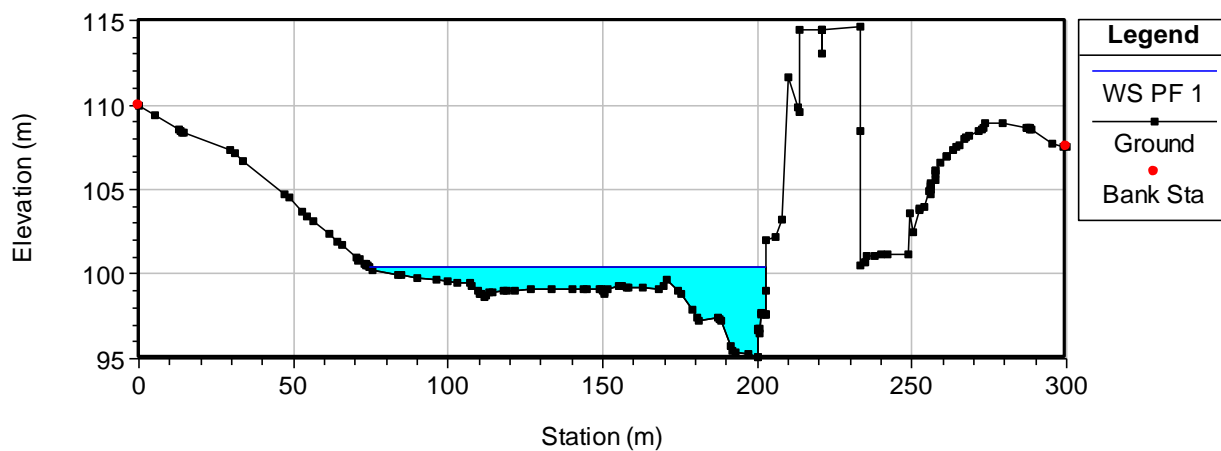
Sez. 19



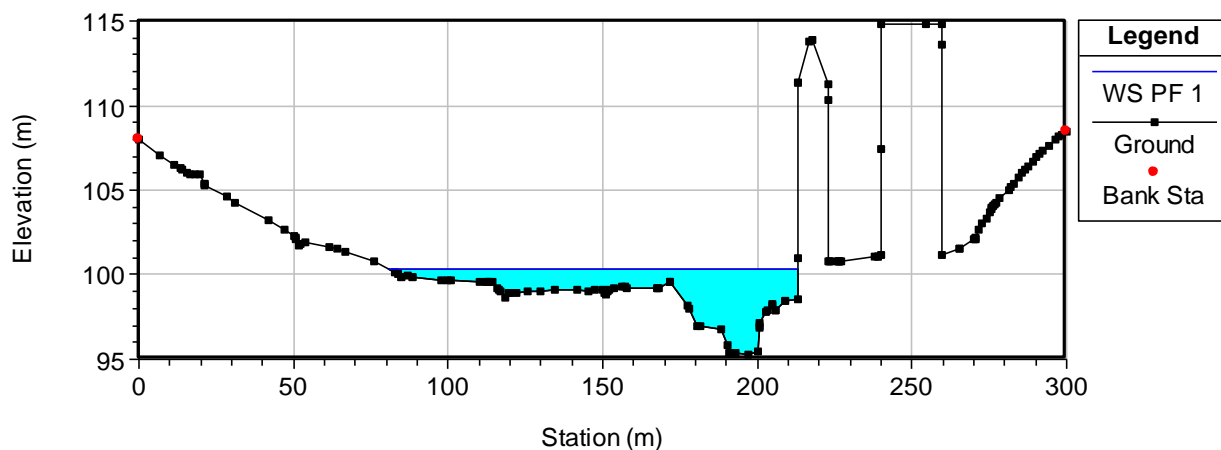
Sez. 20



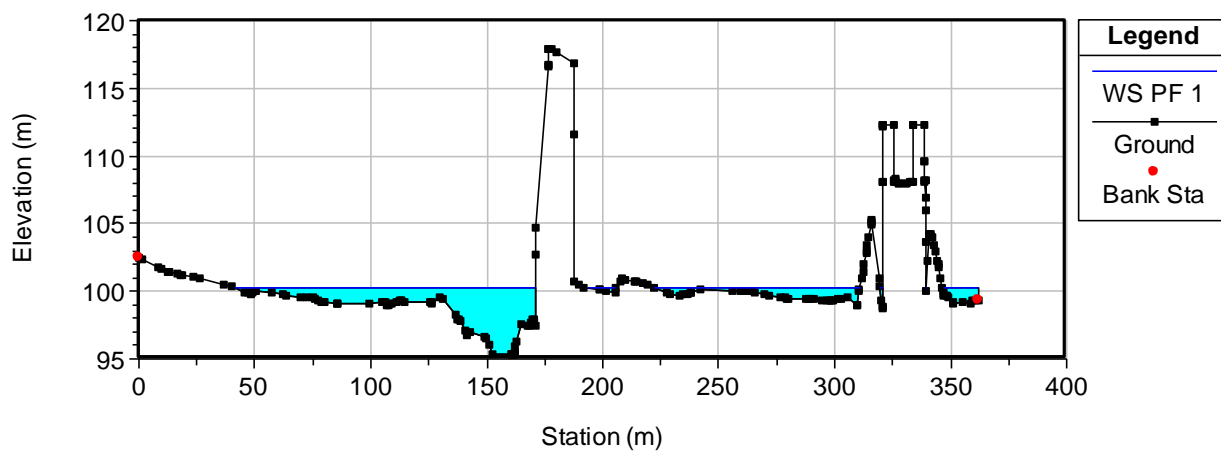
Sez. 21



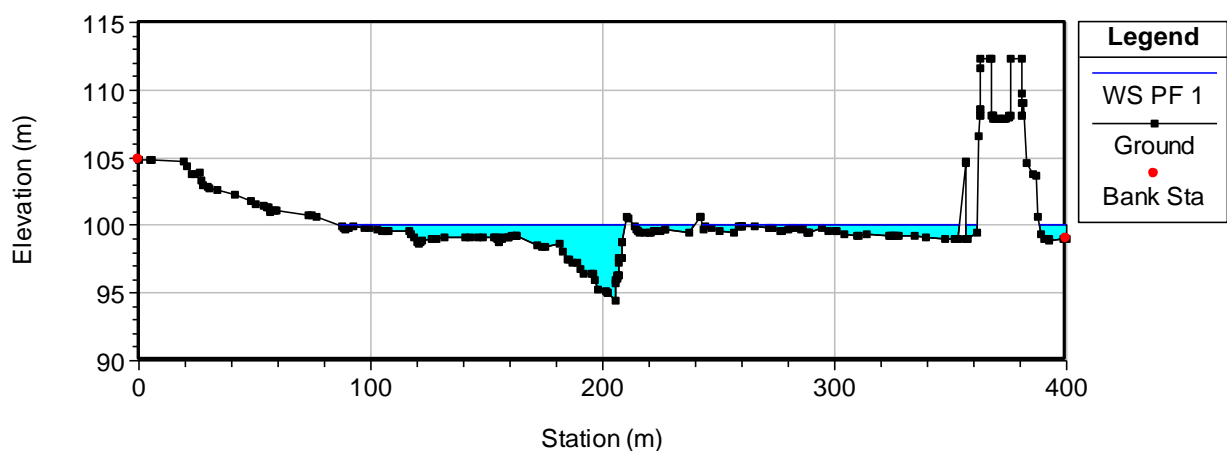
Sez. 22



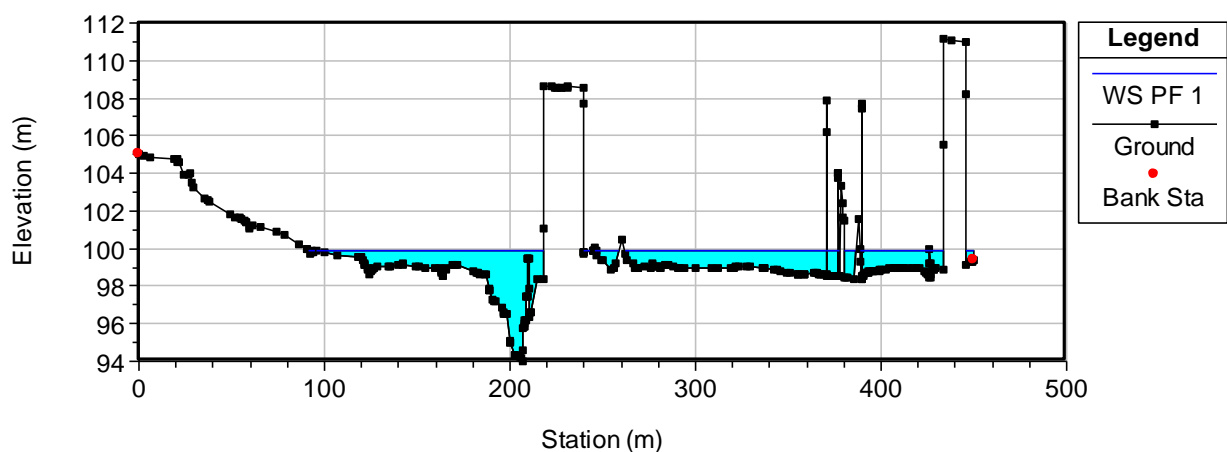
Sez. 23



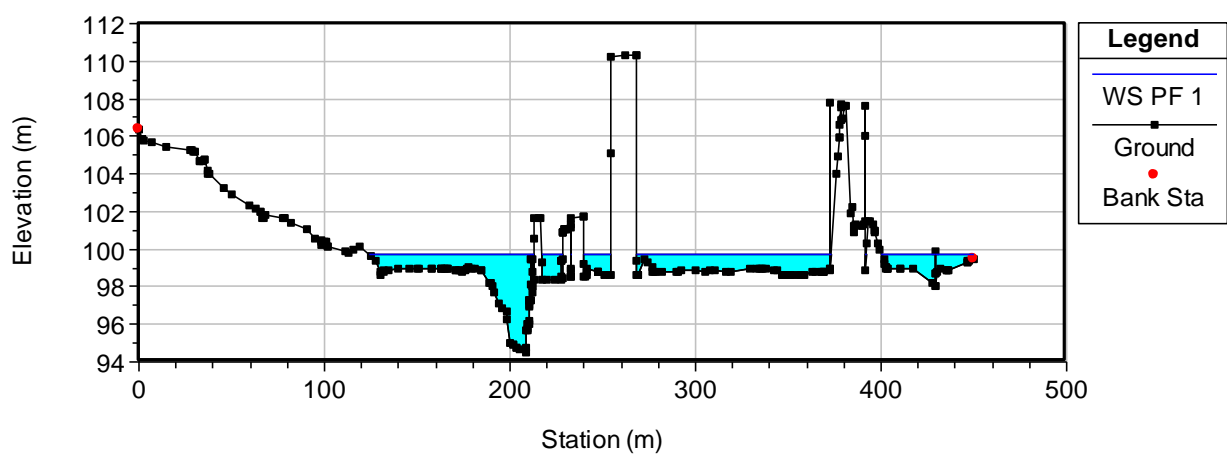
Sez. 24



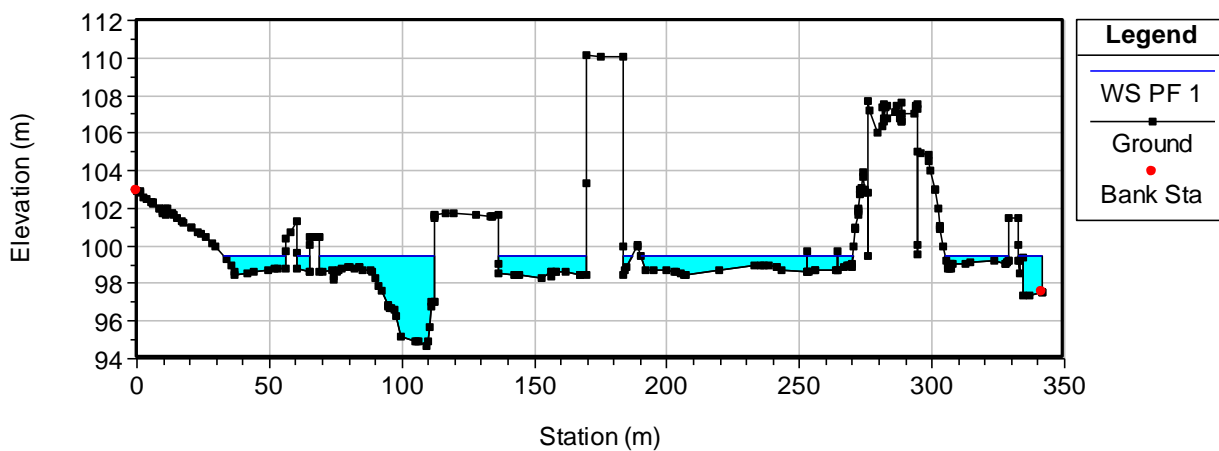
Sez. 25



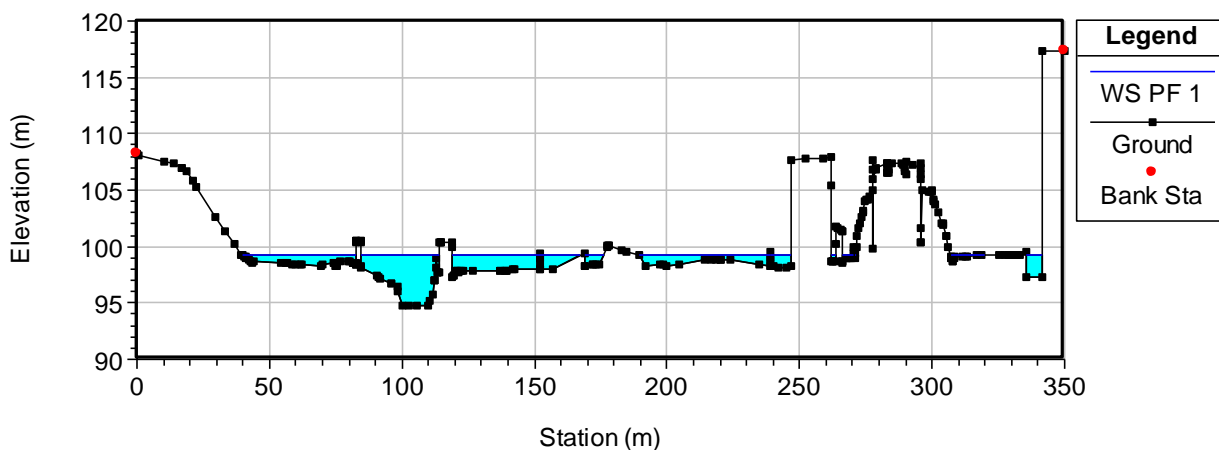
Sez. 26



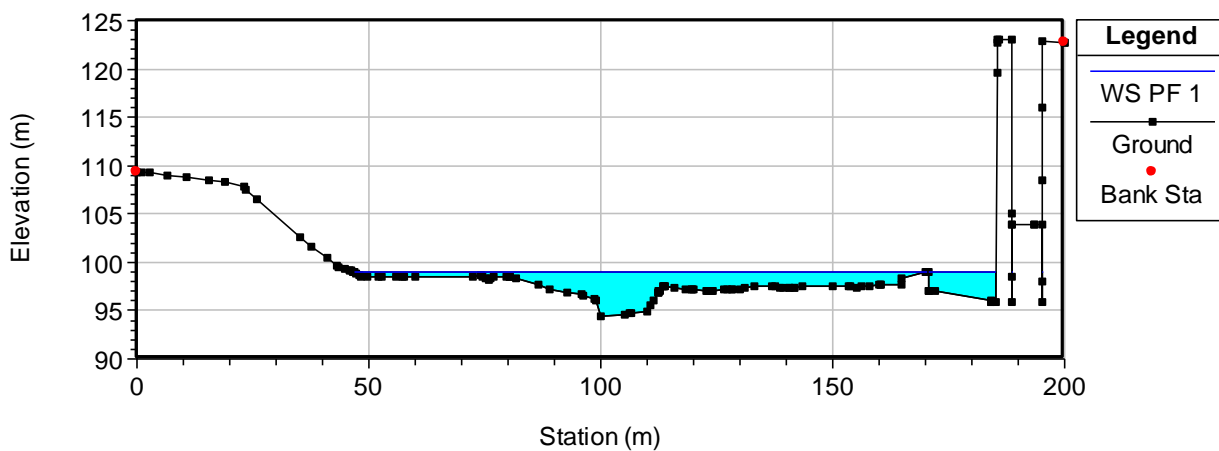
Sez. 27



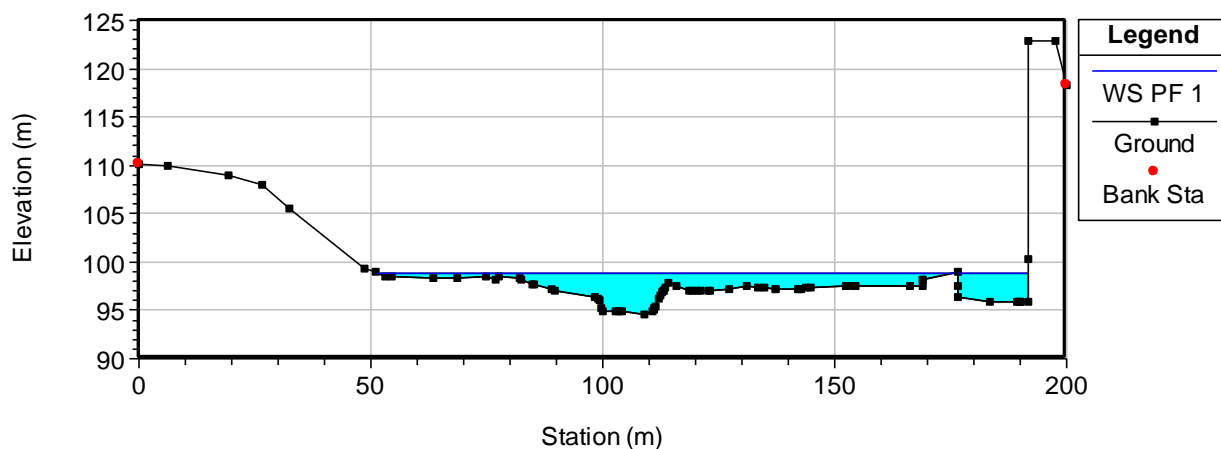
Sez. 28



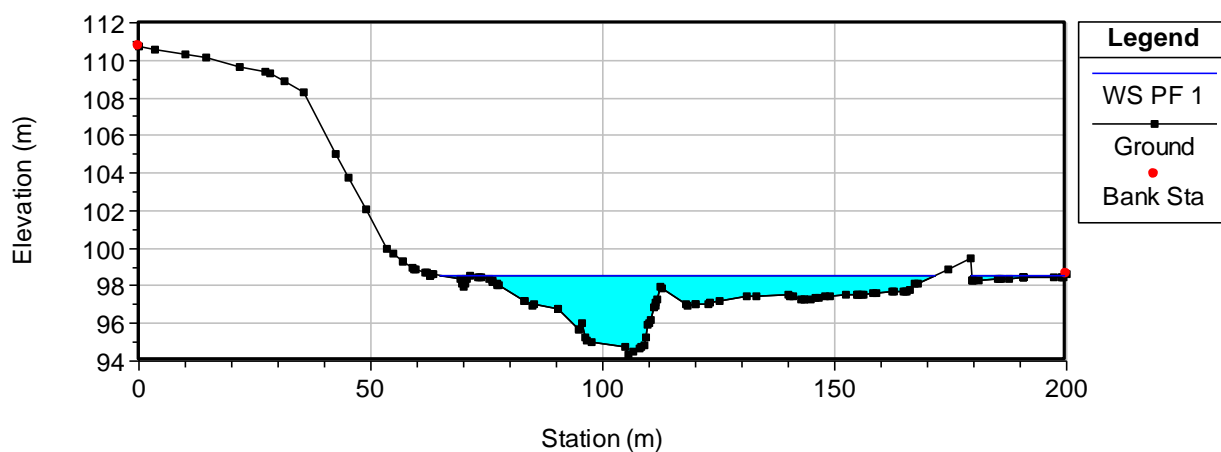
Sez. 29



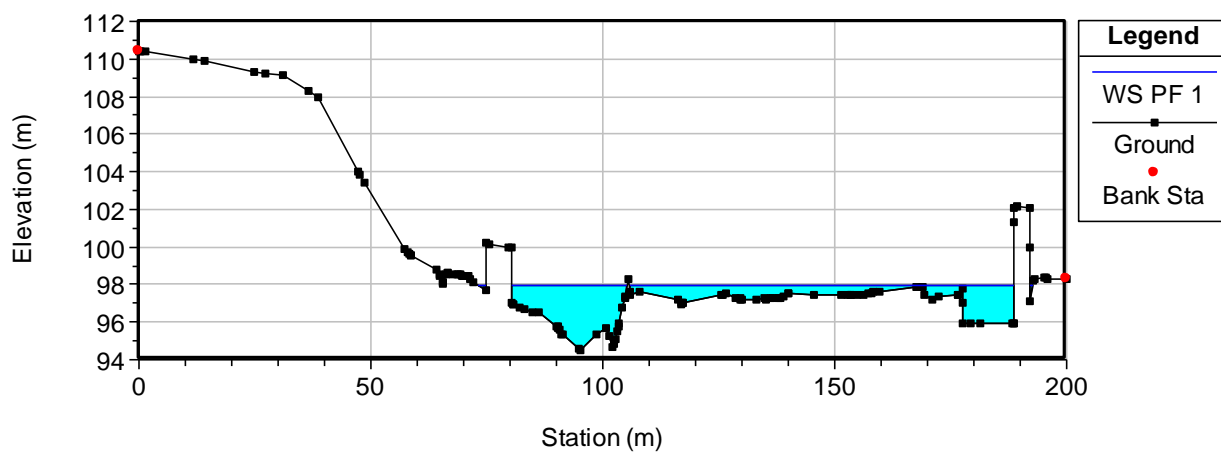
Sez. 30



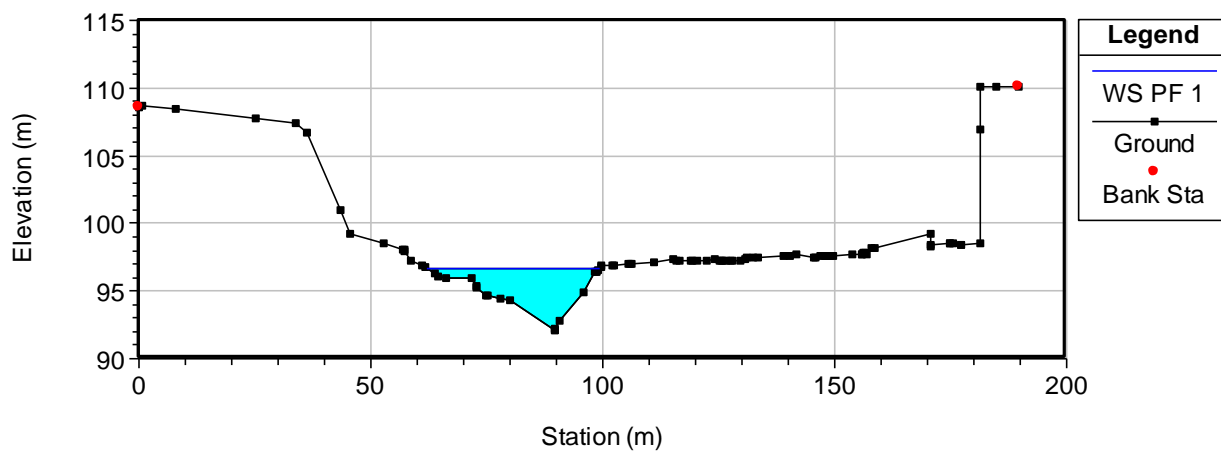
Sez. 31



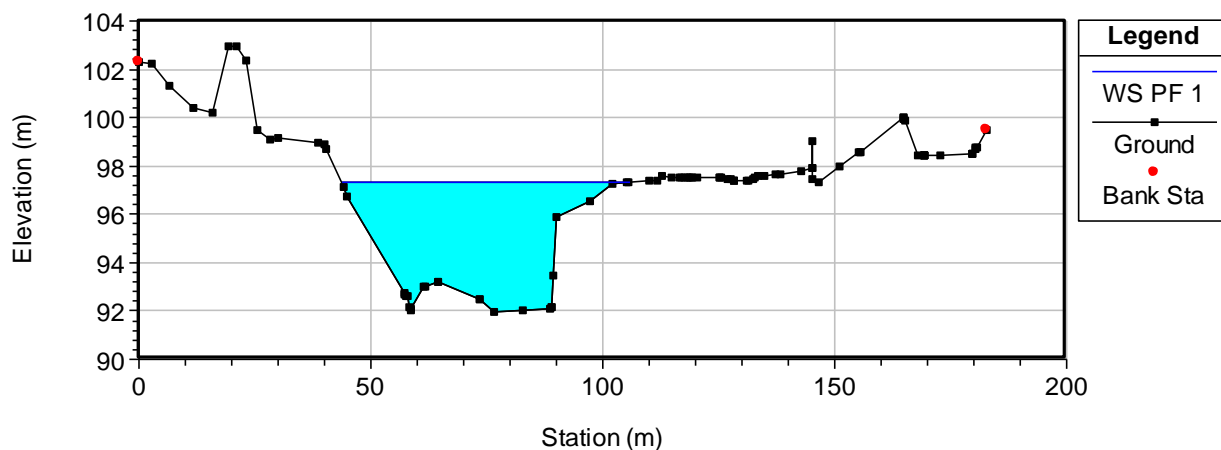
Sez. 32



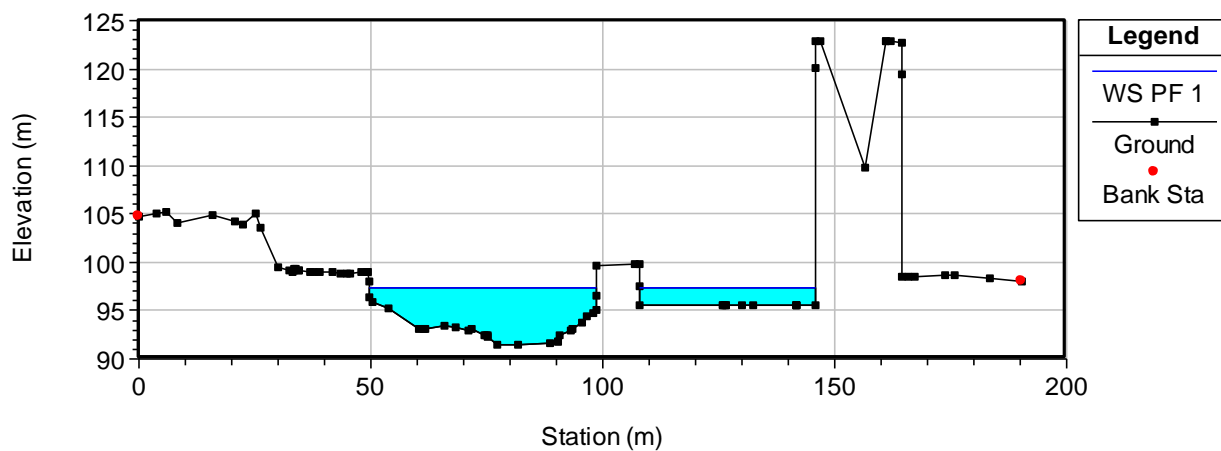
Sez. 33



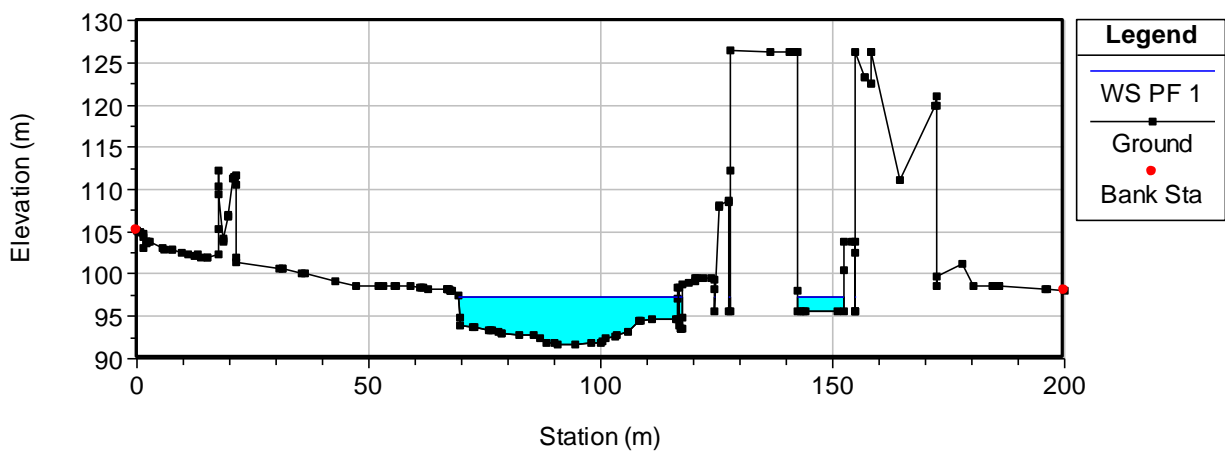
Sez. 34



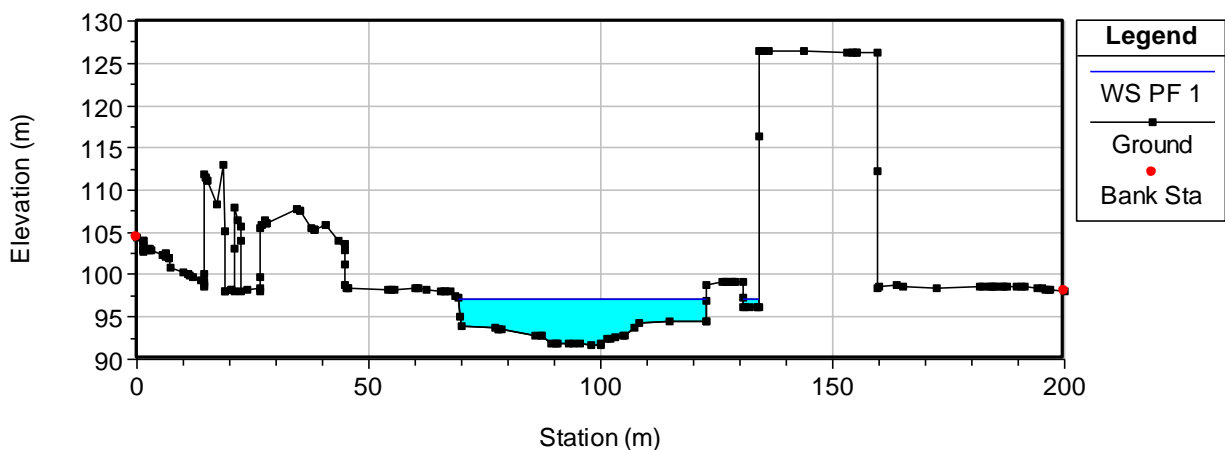
Sez. 35



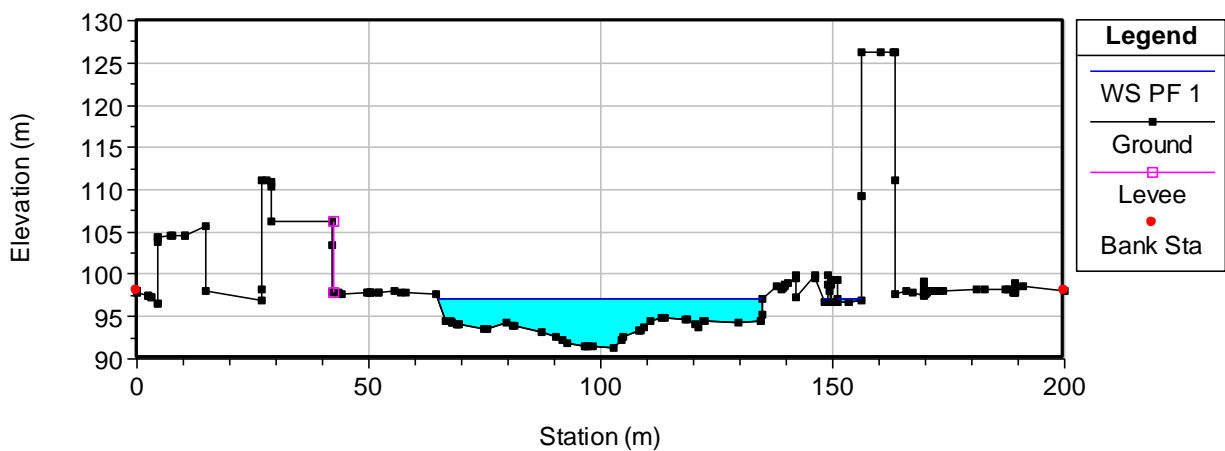
Sez. 36



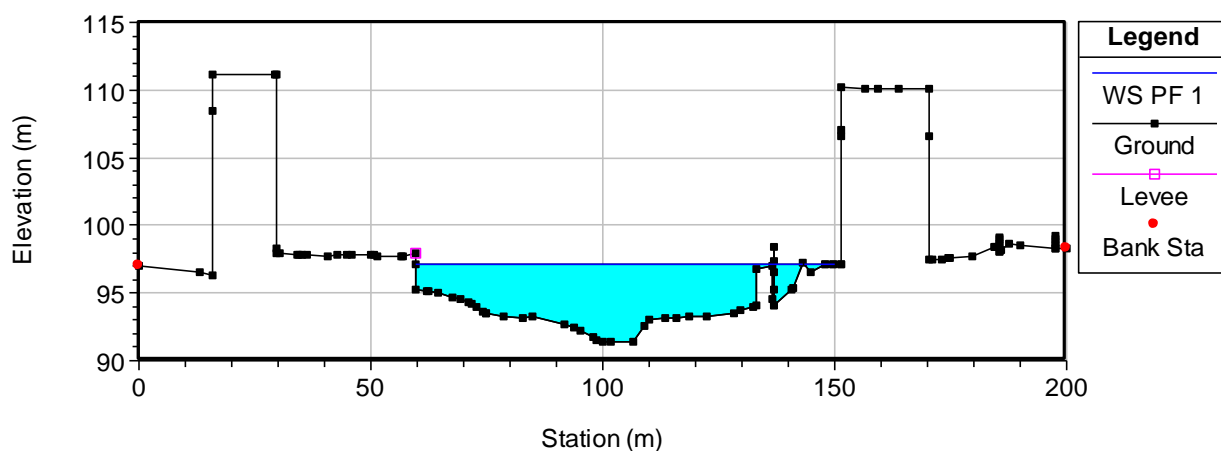
Sez. 37



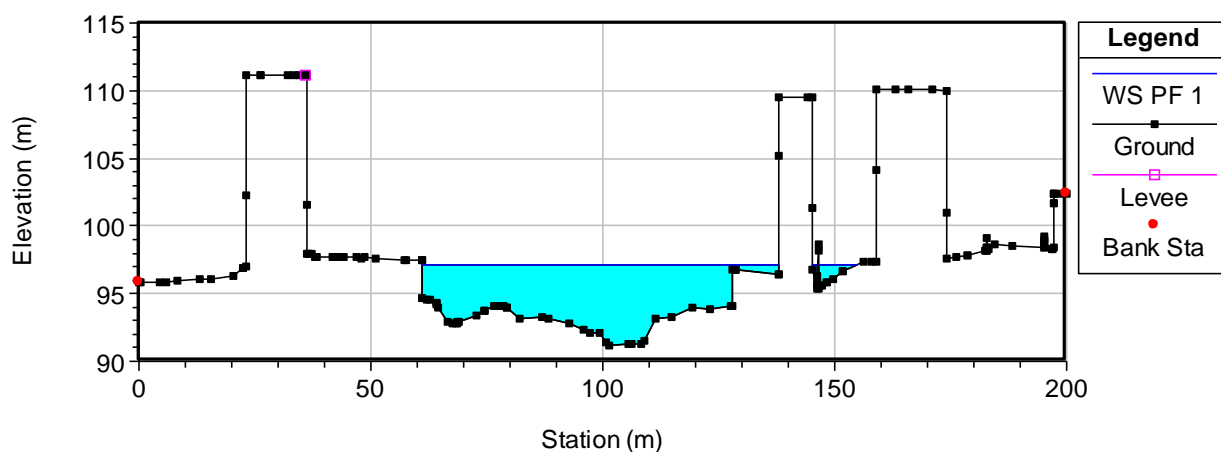
Sez. 38



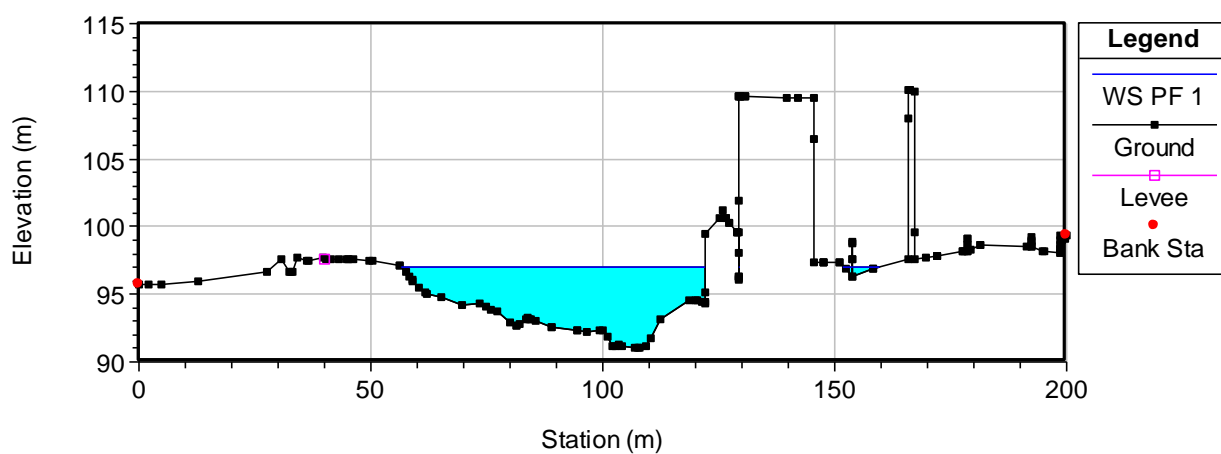
Sez. 39



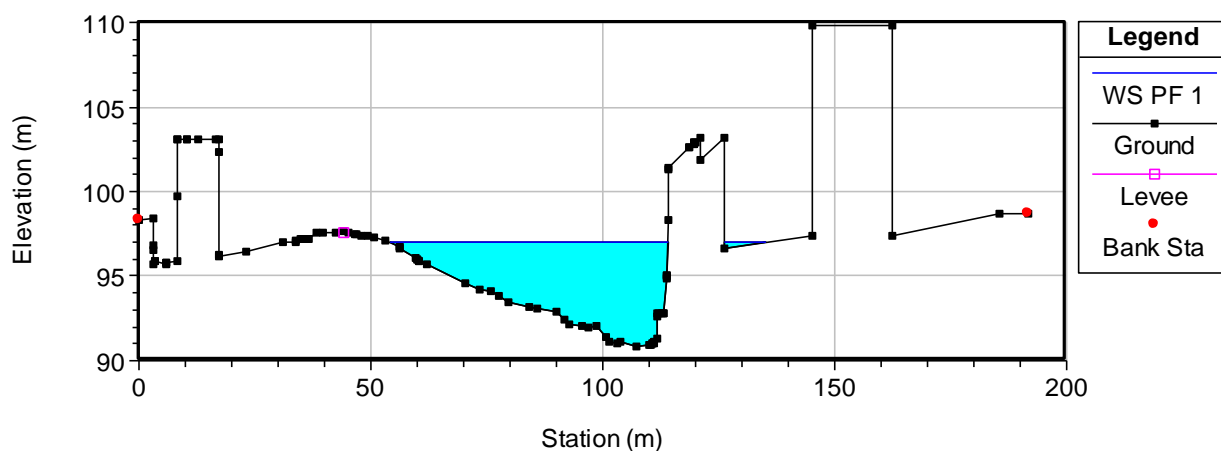
Sez. 40



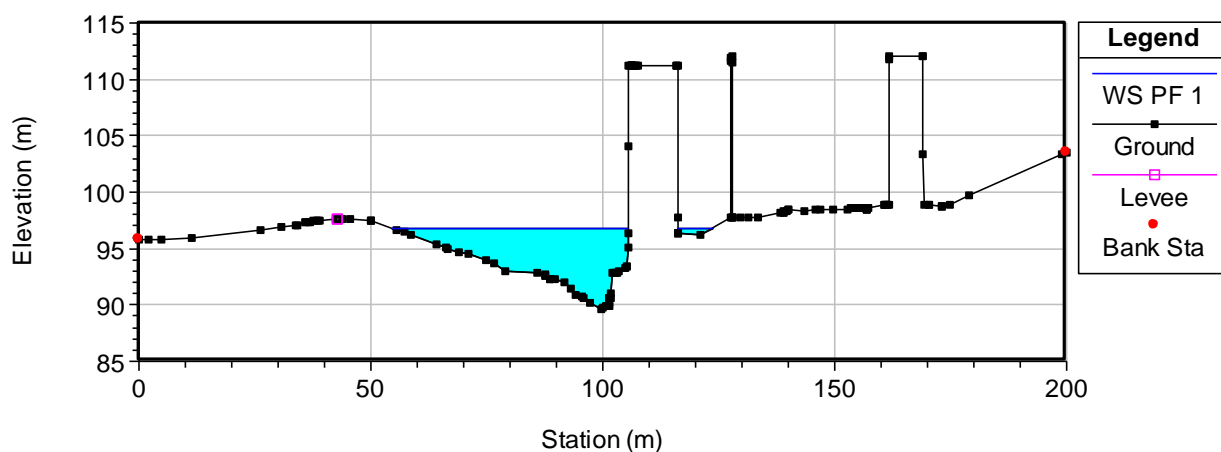
Sez. 41



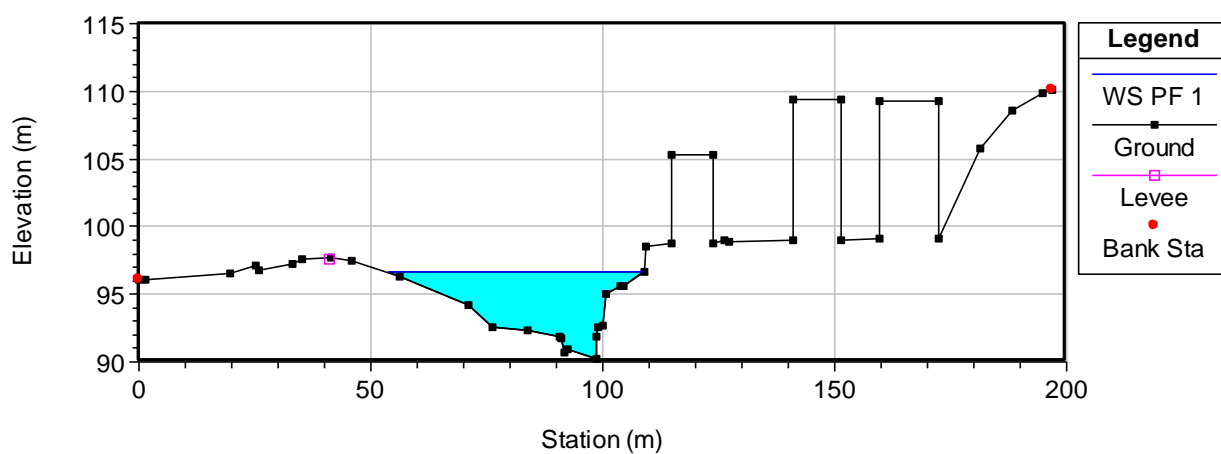
Sez. 42



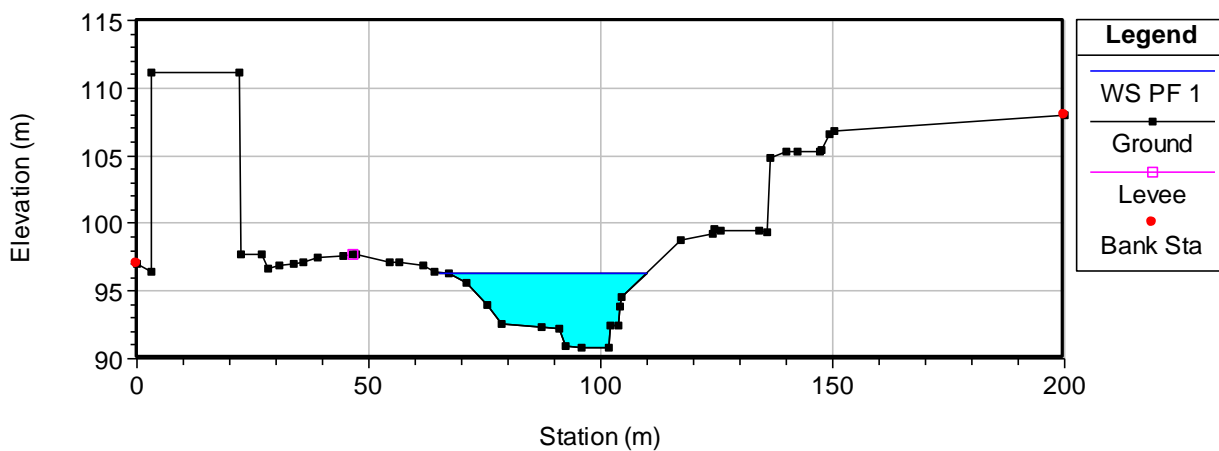
Sez. 43



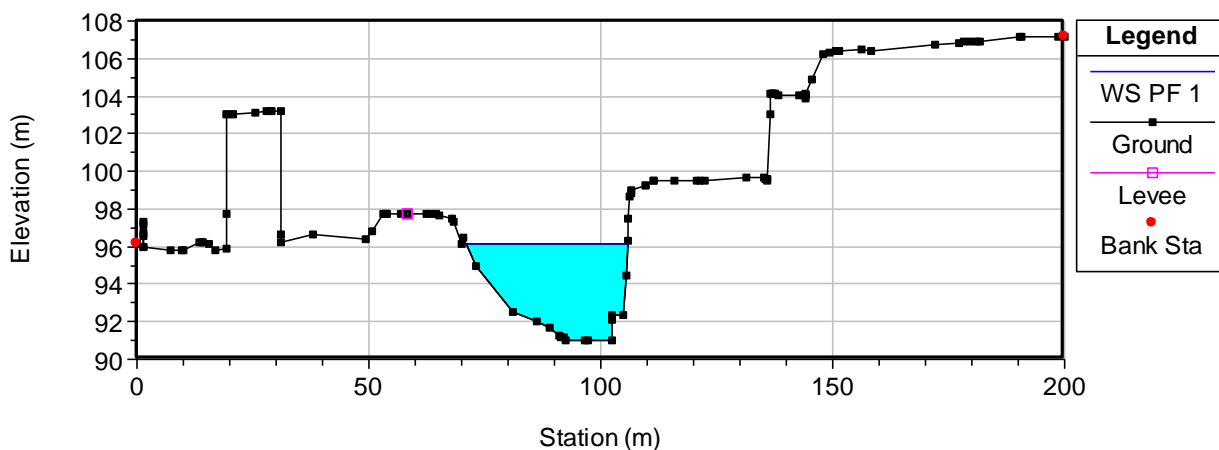
Sez. 44



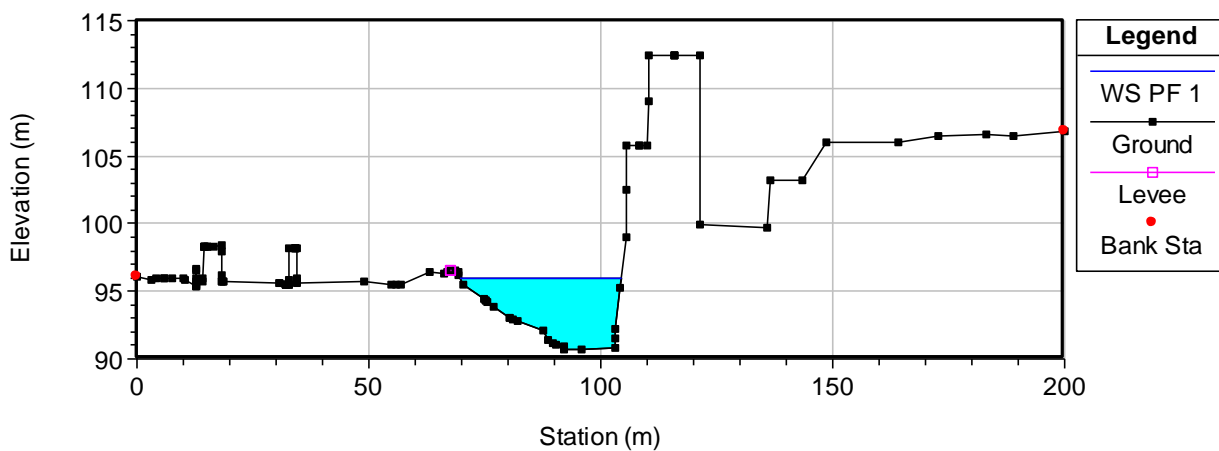
Sez. 45



Sez. 46



Sez. 47



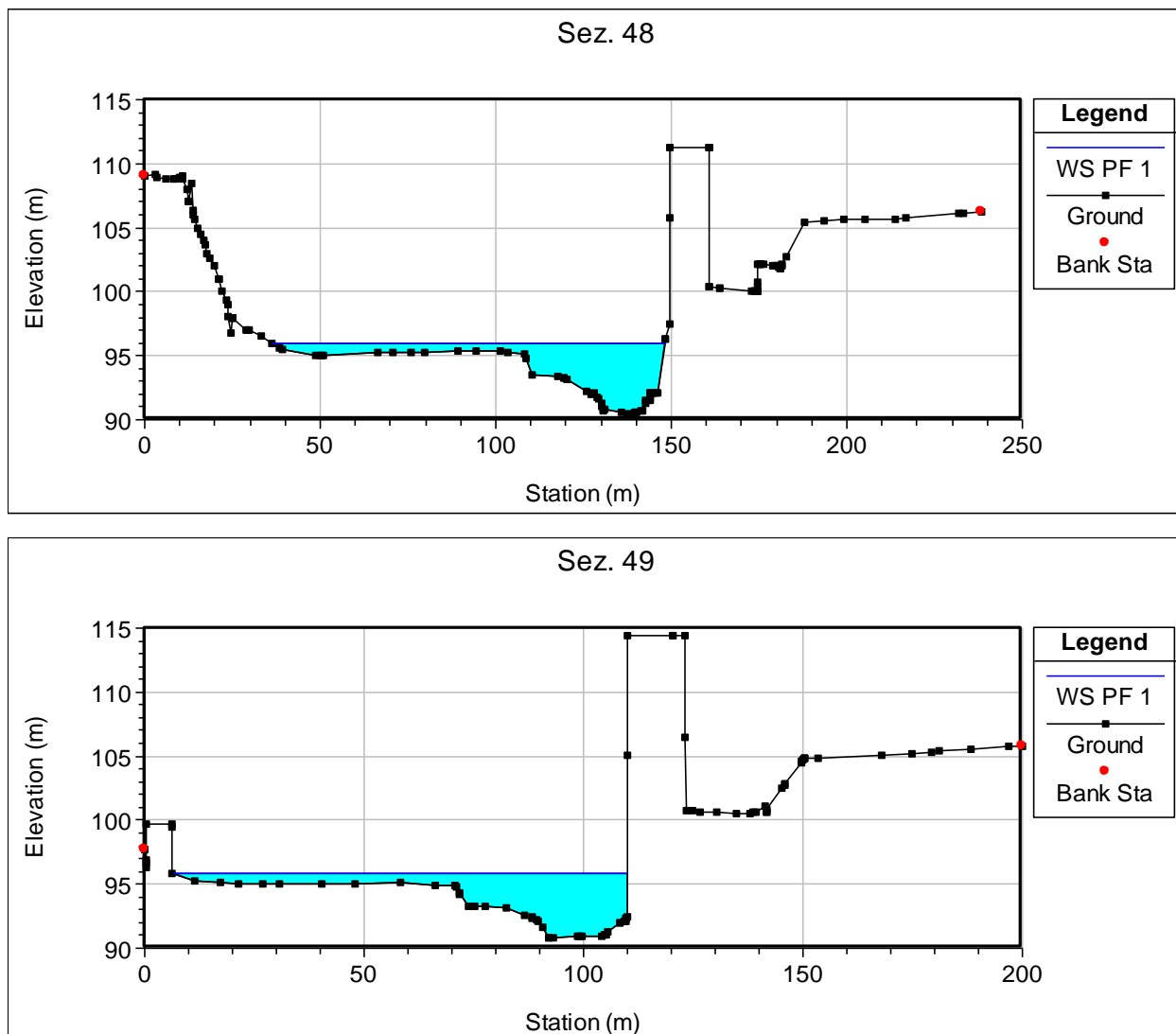


Figura 3-4: Sezioni idrauliche del tratto analizzato con riportato il livello per TR=200 anni.

Sezione	Portata	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità media	Area liquida	Larghezza pelo libero	Numero di Froude
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
Sez. 1	390	98.93	103.23	1.09	357.28	209.80	0.27
Sez. 2	390	98.25	103.10	1.04	374.93	237.67	0.26
Sez. 3	390	97.77	102.98	0.97	402.81	259.42	0.25
Sez. 4	390	97.28	102.89	0.85	460.80	281.20	0.21
Sez. 5	390	97.19	102.81	0.80	488.52	265.11	0.19
Sez. 6	390	97.18	102.80	0.67	578.62	309.08	0.16
Sez. 7	390	97.20	102.79	0.49	799.94	404.30	0.11
Sez. 8	390	96.82	102.78	0.56	696.36	332.01	0.12
Sez. 9	390	95.61	102.73	0.93	420.96	276.01	0.24
Sez. 10	390	96.81	102.65	1.24	314.20	108.30	0.23

Sez. 11	390	96.53	102.62	1.21	323.53	140.42	0.25
Sez. 12	390	96.34	102.49	1.57	247.65	118.36	0.35
Sez. 13	390	96.34	102.20	2.30	169.64	72.71	0.48
Sez. 14	390	95.08	101.89	2.51	155.60	77.06	0.56
Sez. 15	390	95.86	101.68	2.15	181.22	110.86	0.54
Sez. 16	390	95.71	101.23	2.70	144.57	94.92	0.70
Sez. 17	390	95.74	100.94	2.42	161.38	99.01	0.60
Sez. 18	390	95.49	100.89	1.57	249.00	151.01	0.39
Sez. 19	390	95.27	100.75	1.65	237.00	142.54	0.41
Sez. 20	390	94.32	100.63	1.55	251.23	151.29	0.38
Sez. 21	390	95.10	100.44	1.81	215.07	128.71	0.45
Sez. 22	390	95.33	100.36	1.75	222.87	132.50	0.43
Sez. 23	390	95.32	100.24	1.45	269.51	246.87	0.44
Sez. 24	390	94.45	100.01	1.49	262.60	277.59	0.49
Sez. 25	390	94.03	99.89	1.13	344.31	313.51	0.35
Sez. 26	390	94.48	99.74	1.31	298.17	270.82	0.40
Sez. 27	390	94.71	99.47	1.69	230.99	220.17	0.53
Sez. 28	390	94.71	99.20	1.70	228.90	209.51	0.52
Sez. 29	390	94.48	98.97	1.77	220.95	138.09	0.45
Sez. 30	390	94.56	98.87	1.71	228.47	139.13	0.43
Sez. 31	390	94.37	98.56	2.51	155.08	127.18	0.73
Sez. 32	390	94.50	97.99	3.31	117.99	110.29	1.02
Sez. 33	390	92.15	96.70	5.04	77.32	37.50	1.12
Sez. 34	390	91.98	97.33	1.94	201.54	62.15	0.34
Sez. 35	390	91.46	97.34	1.41	276.70	86.70	0.25
Sez. 36	390	91.69	97.23	1.79	217.95	58.47	0.30
Sez. 37	390	91.75	97.17	1.85	211.03	57.07	0.31
Sez. 38	390	91.37	97.15	1.55	251.49	76.30	0.27
Sez. 39	390	91.35	97.14	1.29	303.18	89.88	0.22
Sez. 40	390	91.22	97.10	1.38	282.76	86.72	0.24
Sez. 41	390	91.01	97.05	1.58	246.18	73.38	0.28
Sez. 42	390	90.83	96.98	1.82	214.81	68.71	0.33
Sez. 43	390	89.67	96.80	2.22	175.75	58.86	0.41
Sez. 44	390	90.19	96.60	2.45	159.35	54.75	0.46
Sez. 45	390	90.78	96.34	2.79	139.65	44.82	0.51
Sez. 46	390	91.00	96.11	2.99	130.62	34.98	0.49
Sez. 47	390	90.73	95.95	3.18	122.66	34.68	0.54
Sez. 48	390	90.43	96.01	1.90	205.12	111.95	0.45
Sez. 49	390	90.85	95.83	2.01	194.22	103.48	0.47

Tabella 4 – Risultati della simulazione numerica.

3.2 Risultati della simulazione idraulica dello stato di progetto

Nelle figure seguenti si sono rappresentate le sezioni con il livello dell'acqua corrispondente alla portata di TR pari a 200 anni nelle condizioni di progetto.

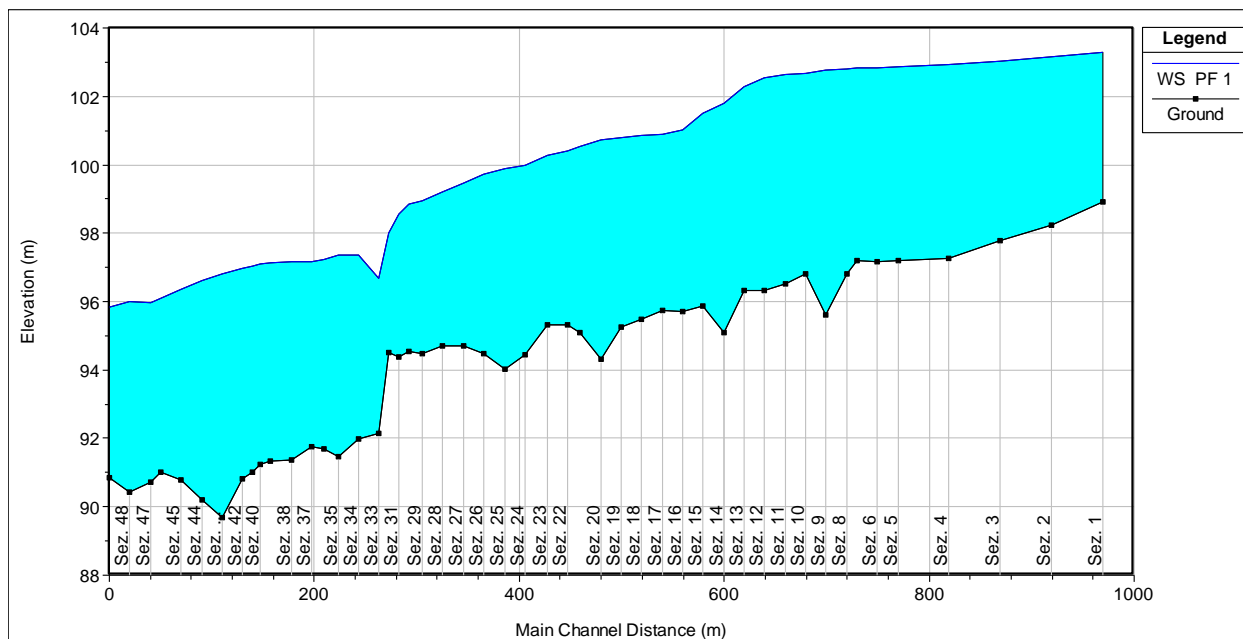
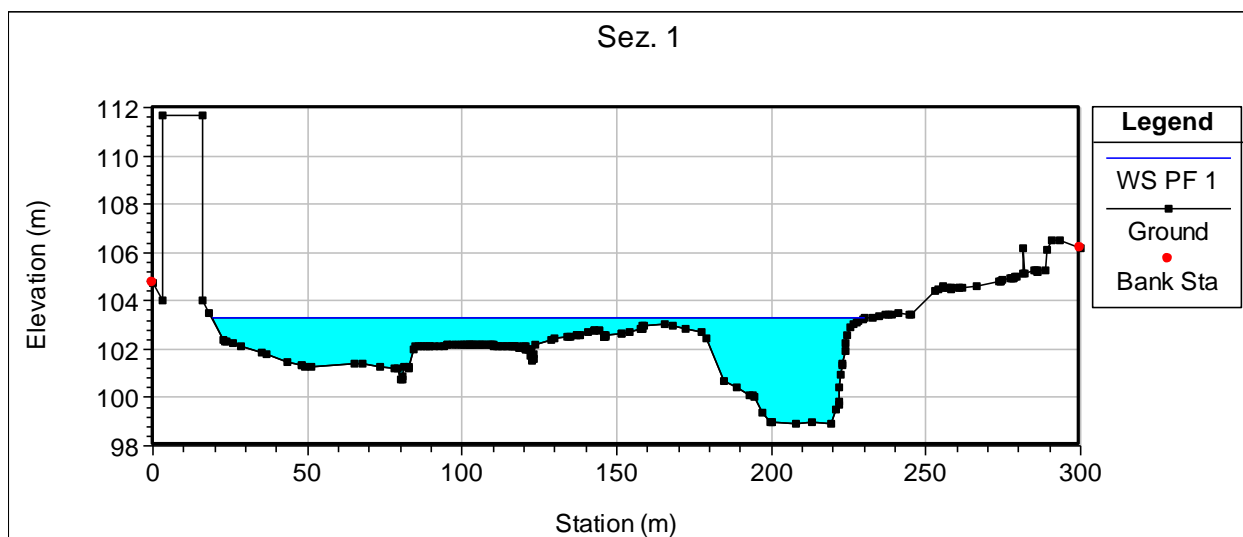
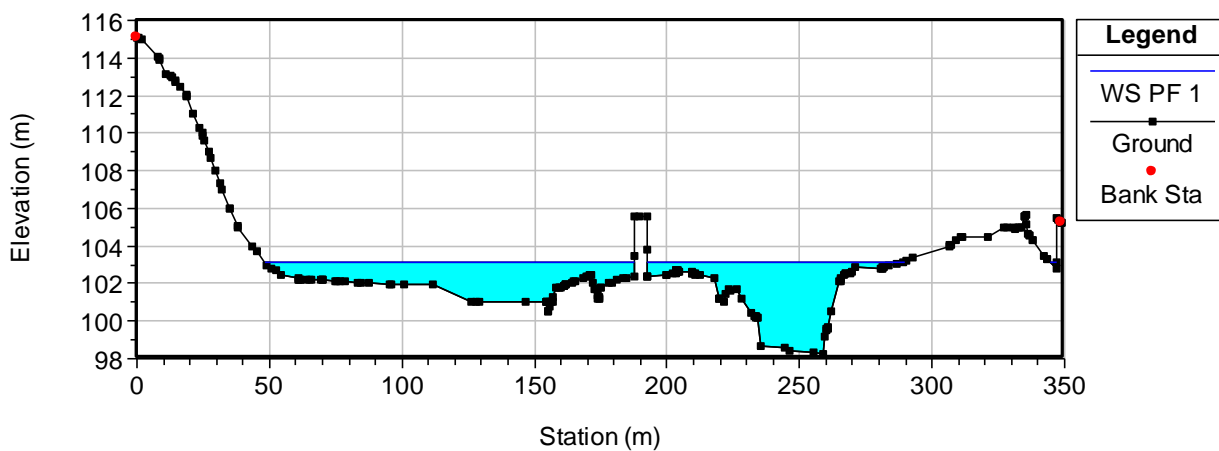


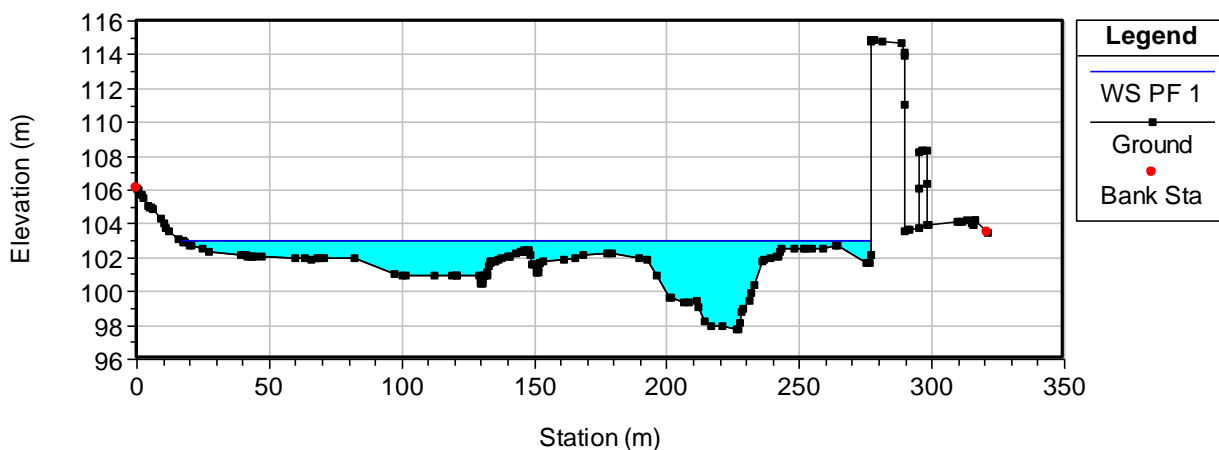
Figura 3-5: Profilo idraulico del tratto analizzato nelle condizioni di progetto.



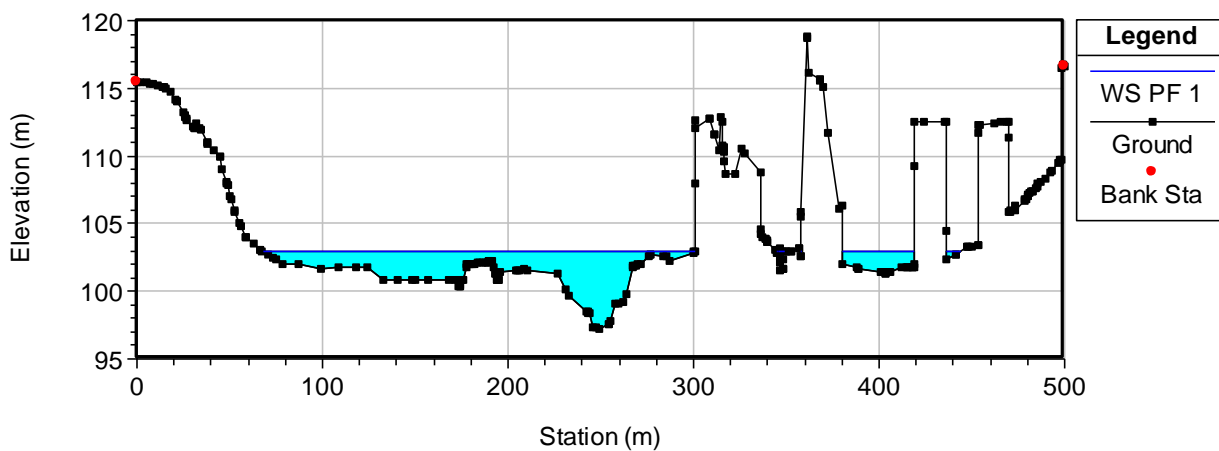
Sez. 2



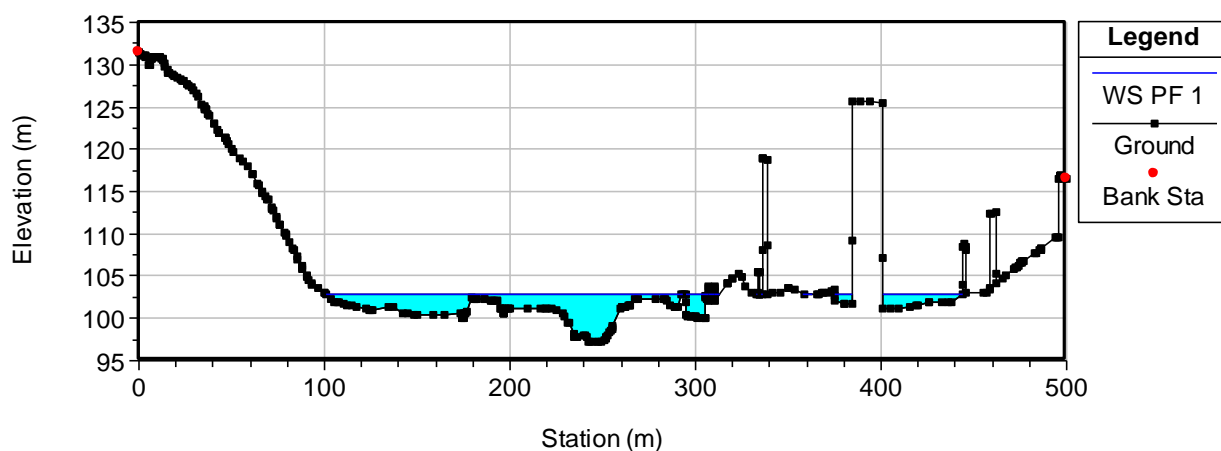
Sez. 3



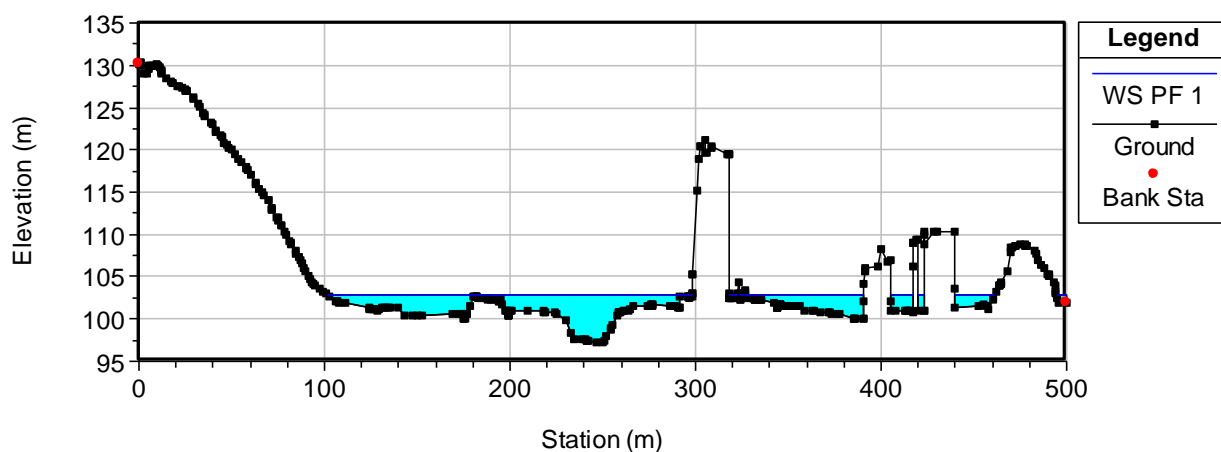
Sez. 4



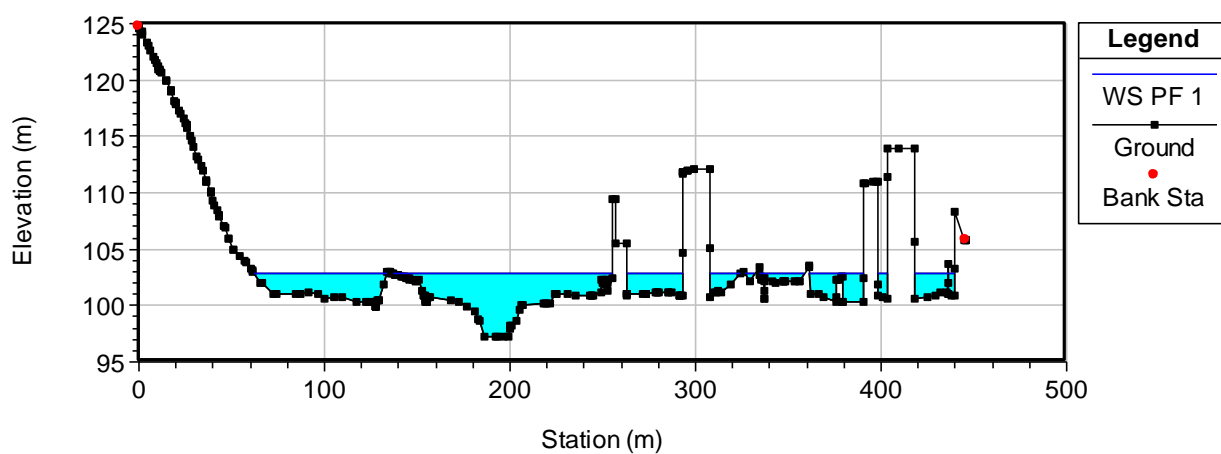
Sez. 5



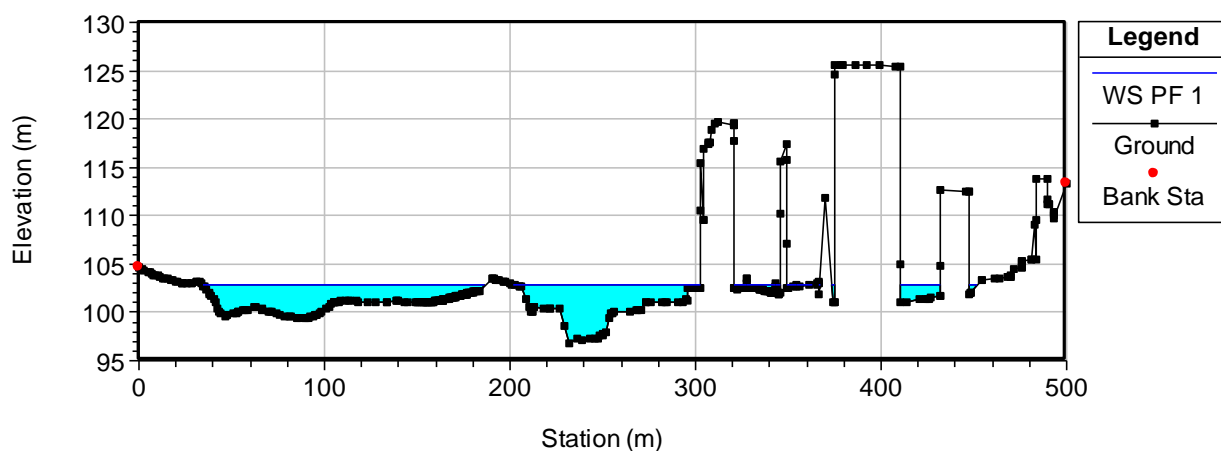
Sez. 6



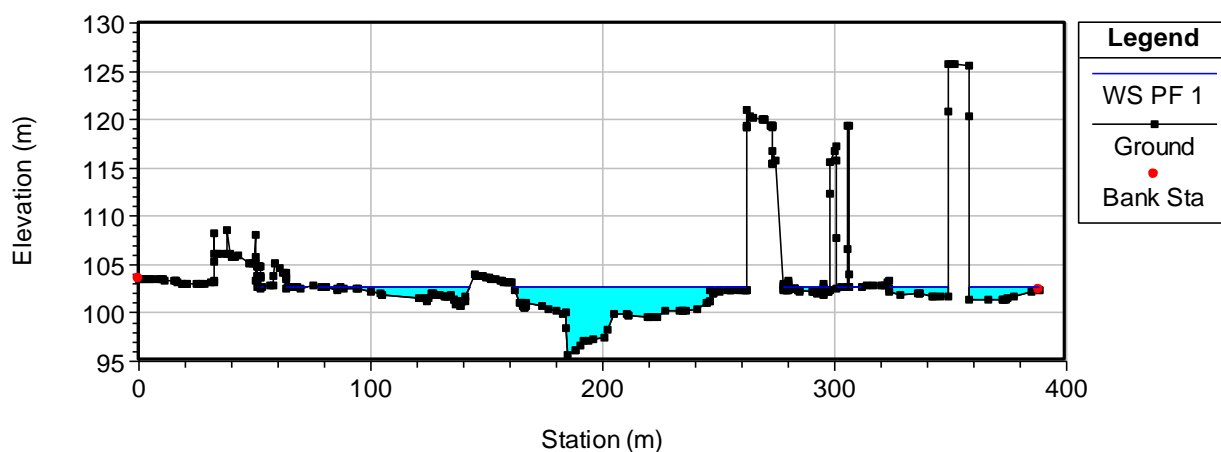
Sez. 7



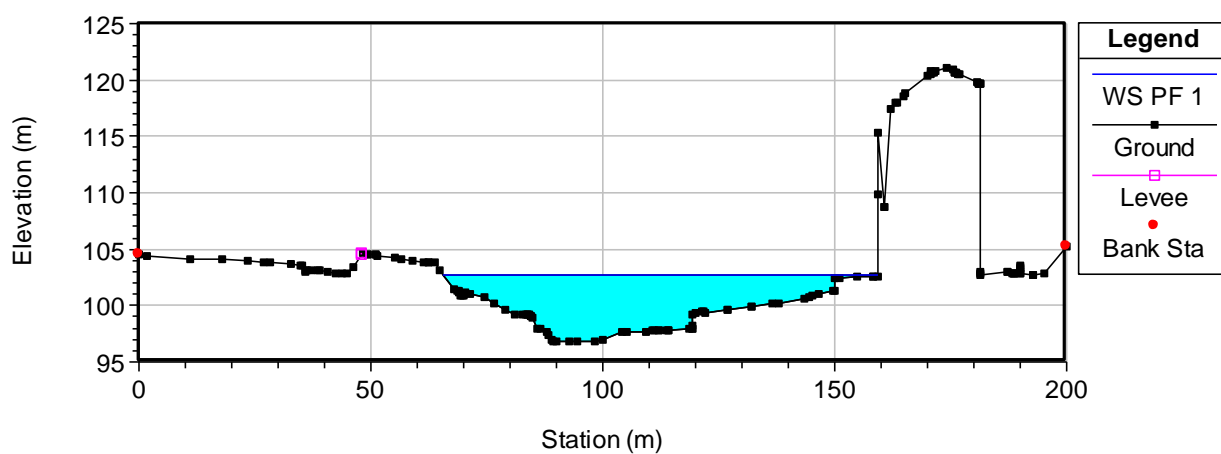
Sez. 8



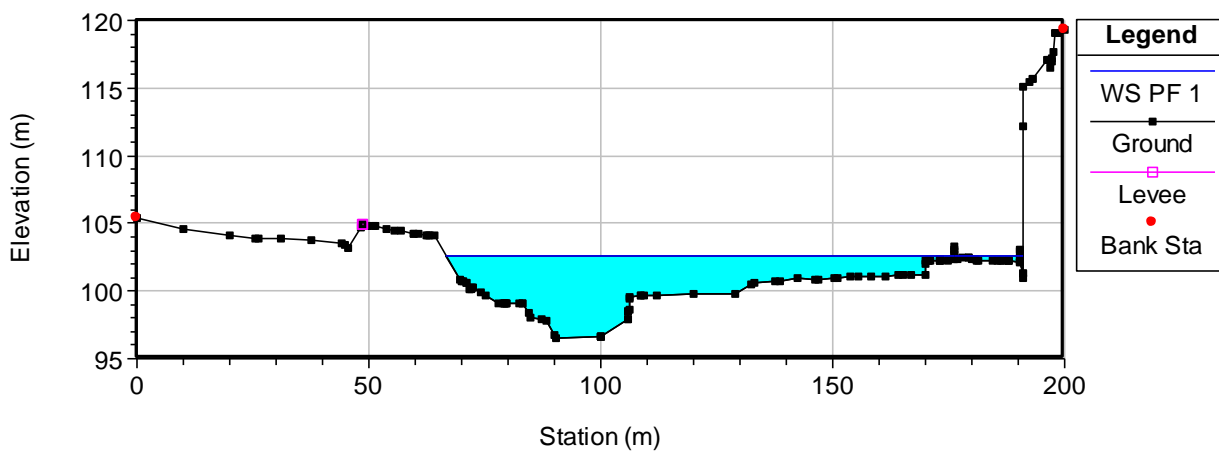
Sez. 9



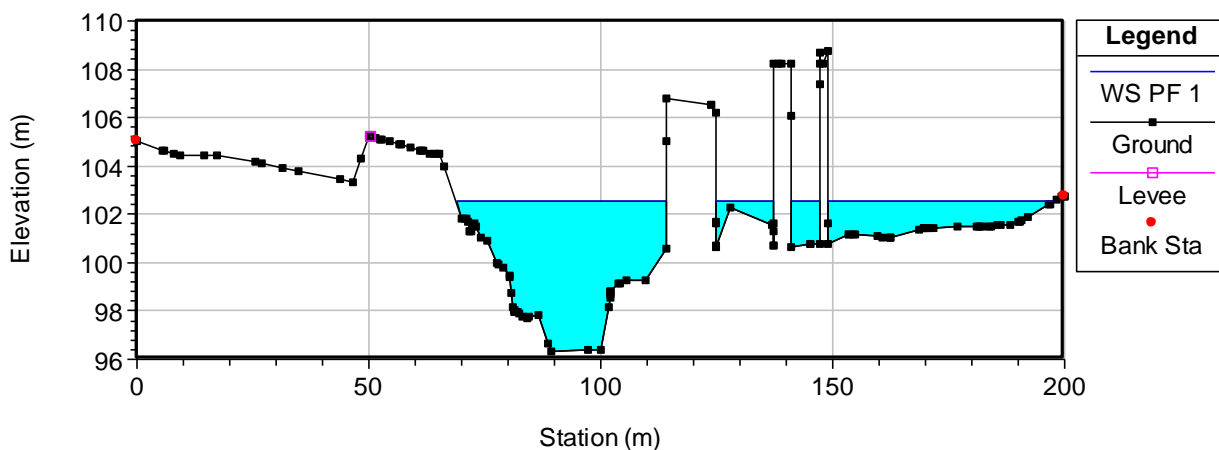
Sez. 10



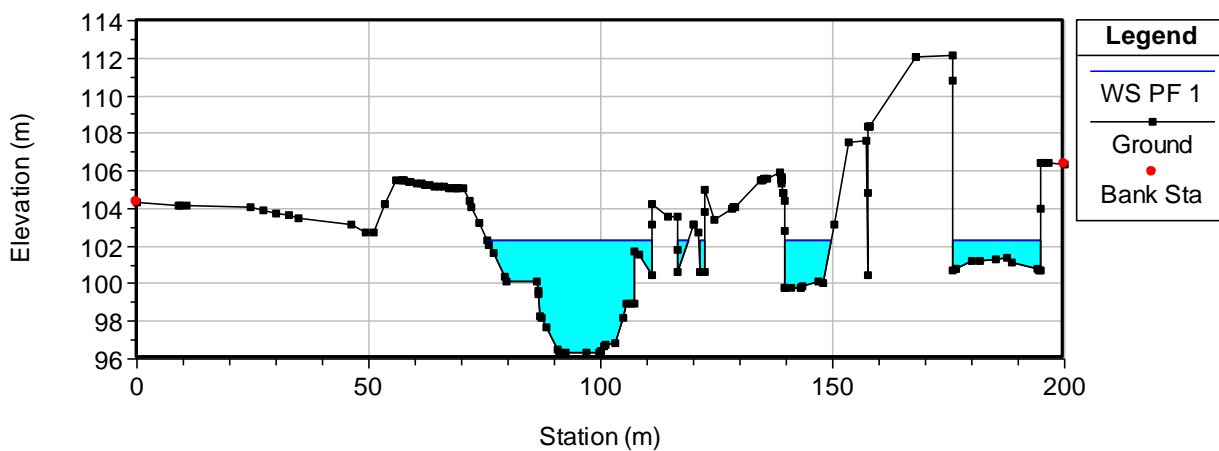
Sez. 11



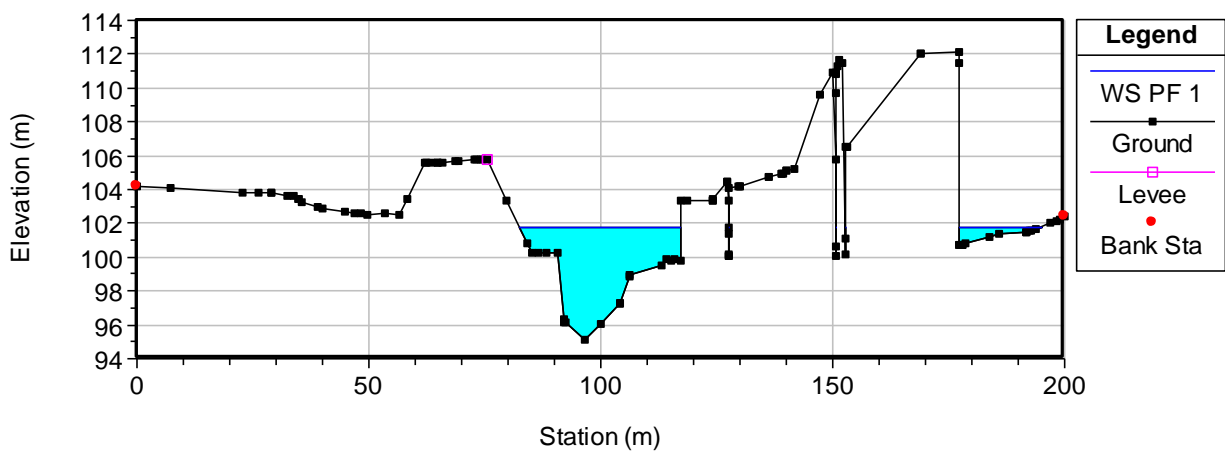
Sez. 12



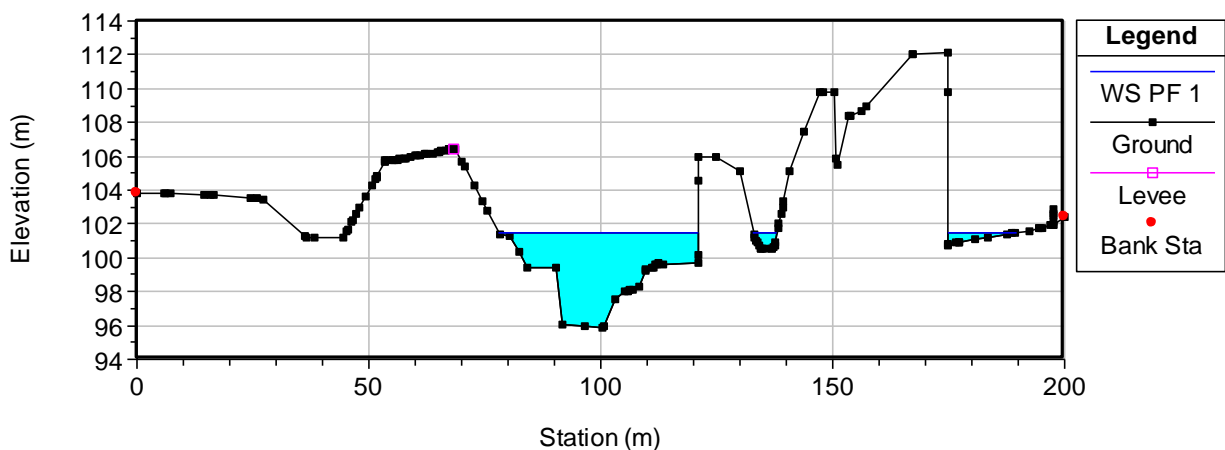
Sez. 13



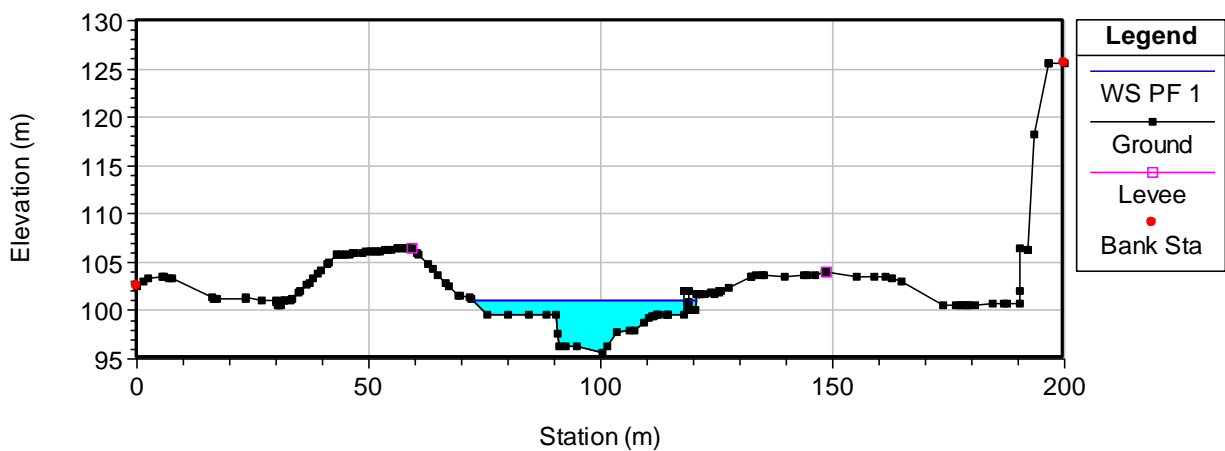
Sez. 14



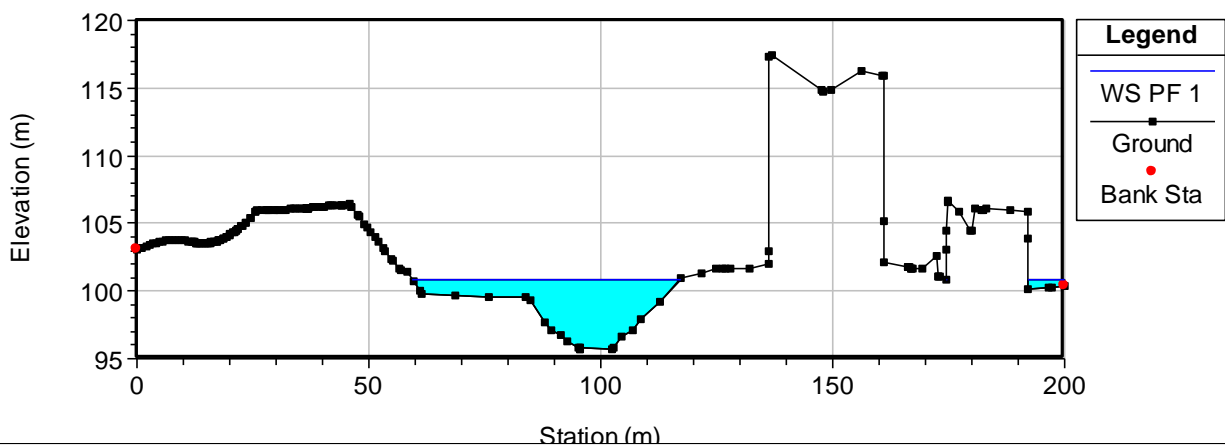
Sez. 15



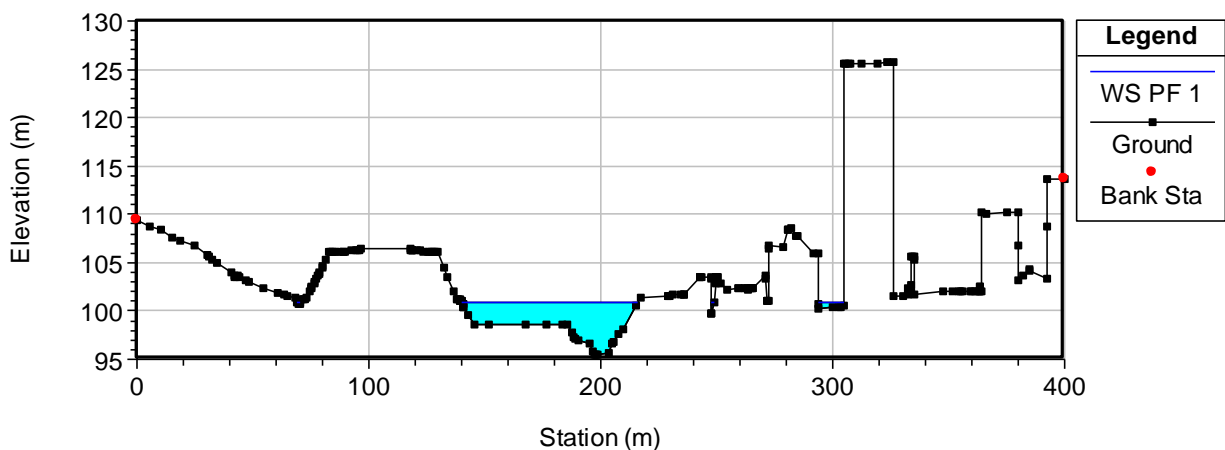
Sez. 16



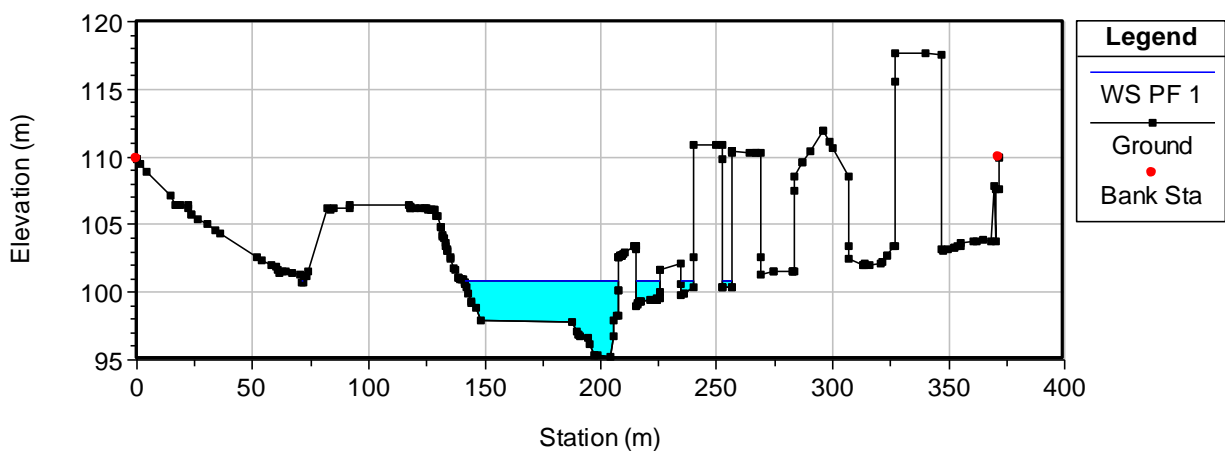
Sez. 17



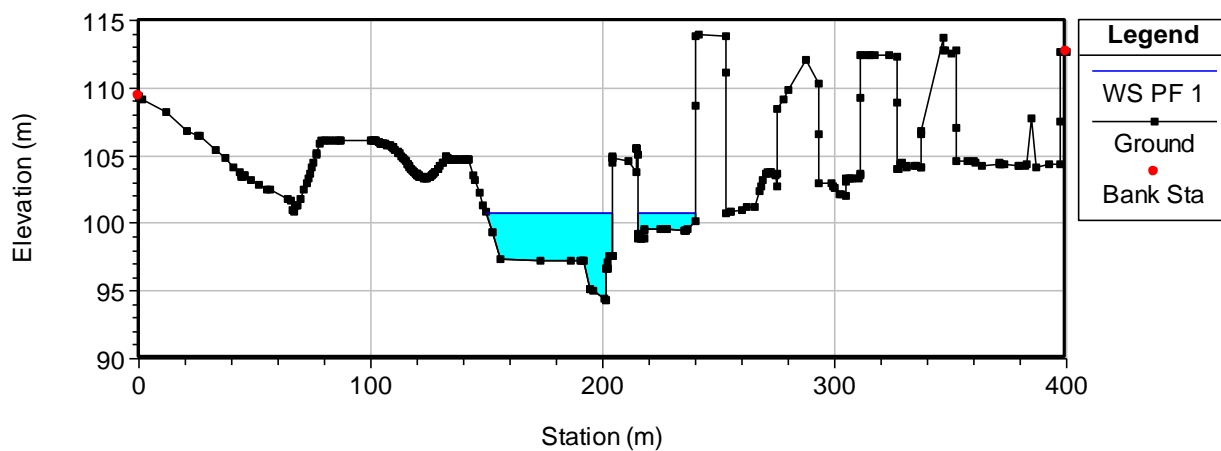
Sez. 18



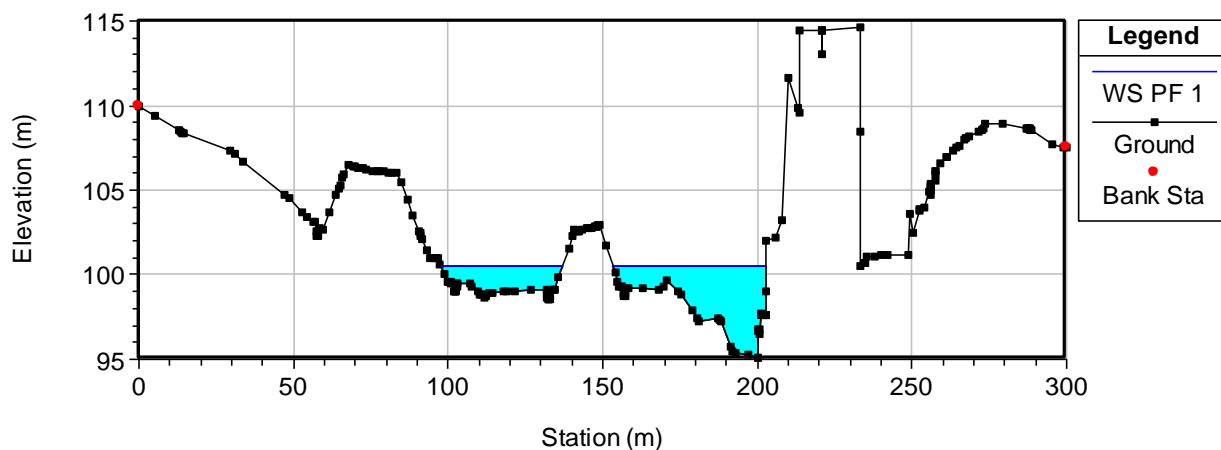
Sez. 19



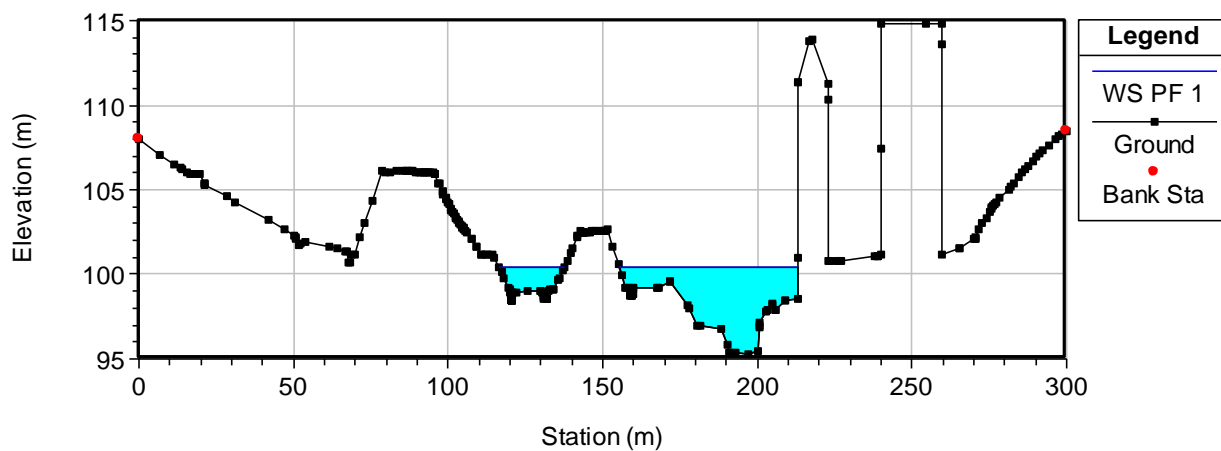
Sez. 20



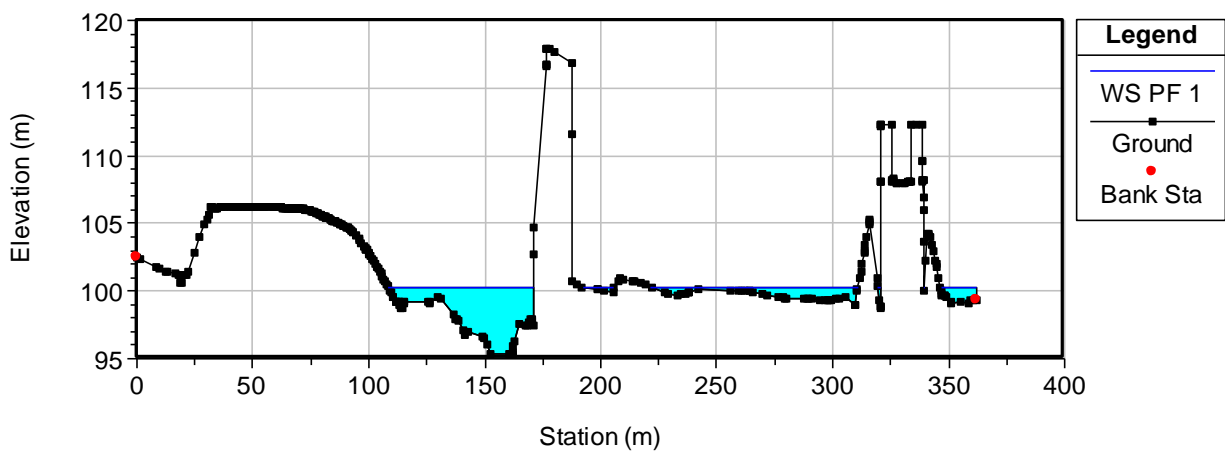
Sez. 21



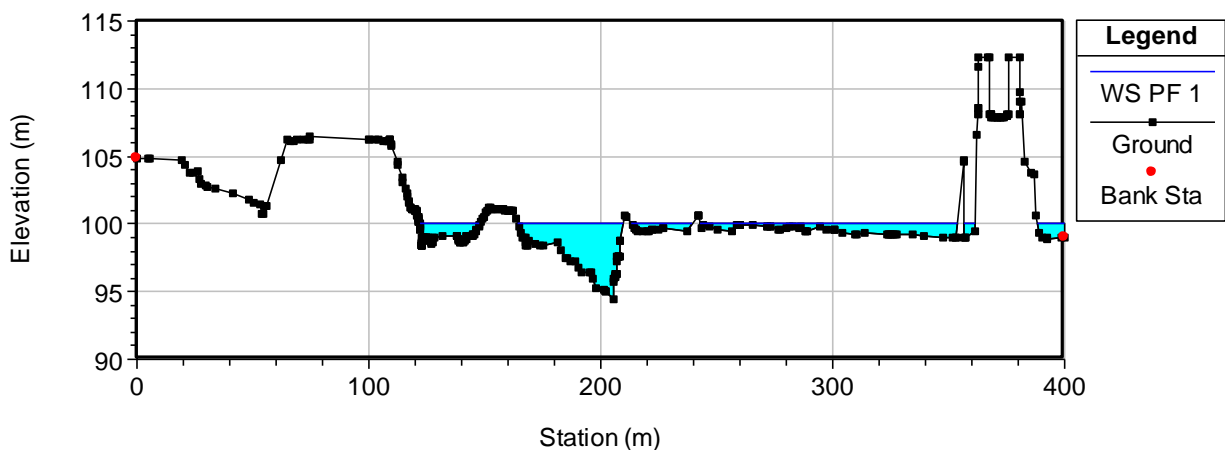
Sez. 22



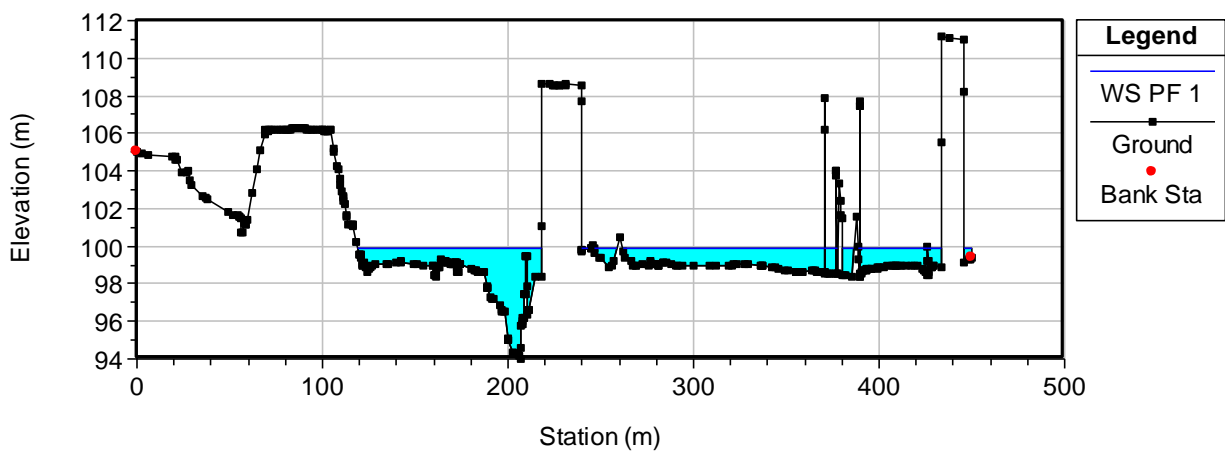
Sez. 23



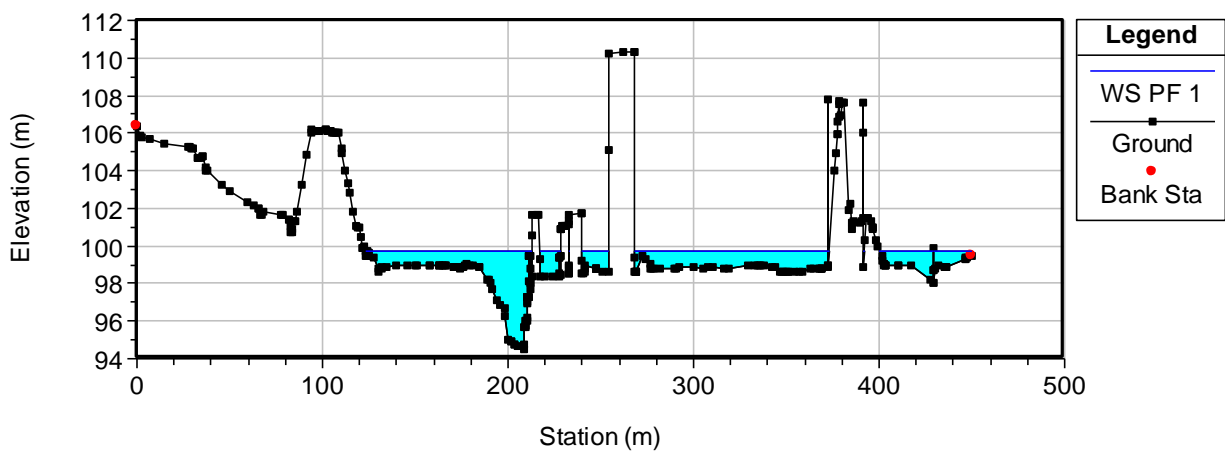
Sez. 24



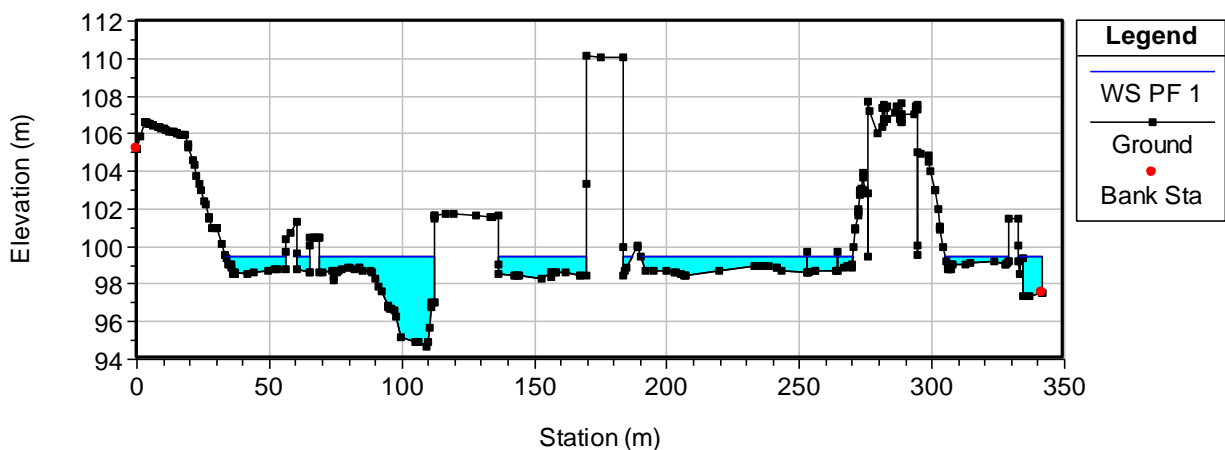
Sez. 25



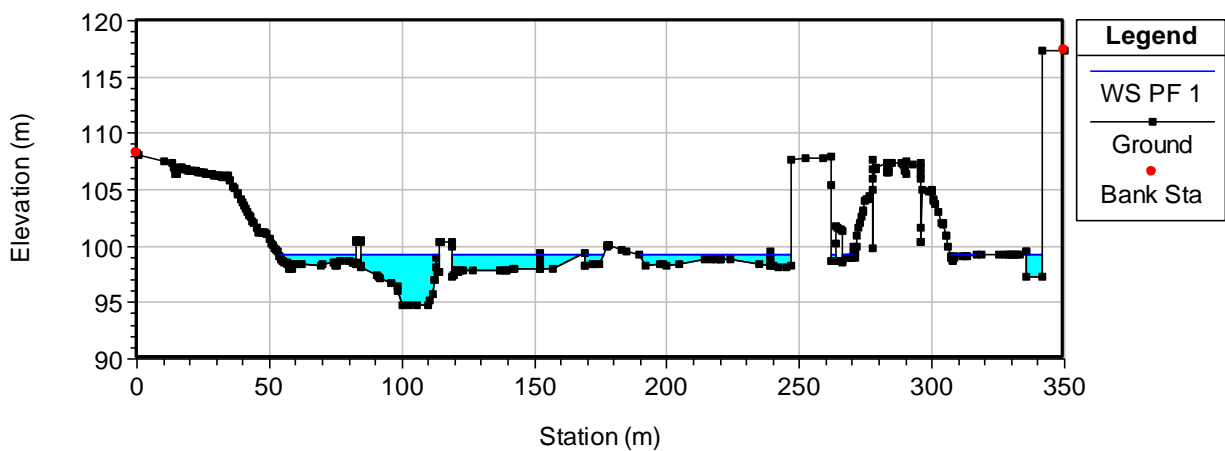
Sez. 26



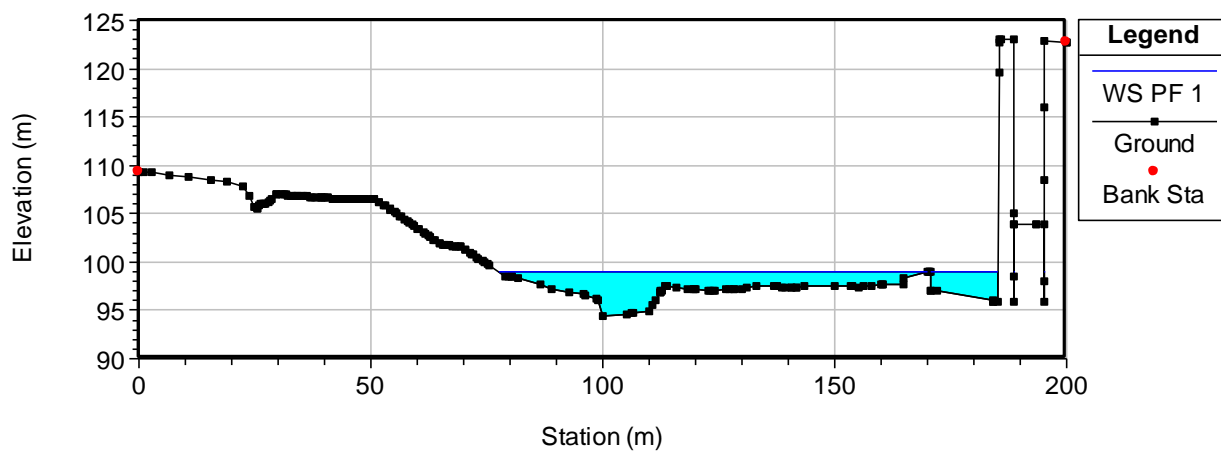
Sez. 27



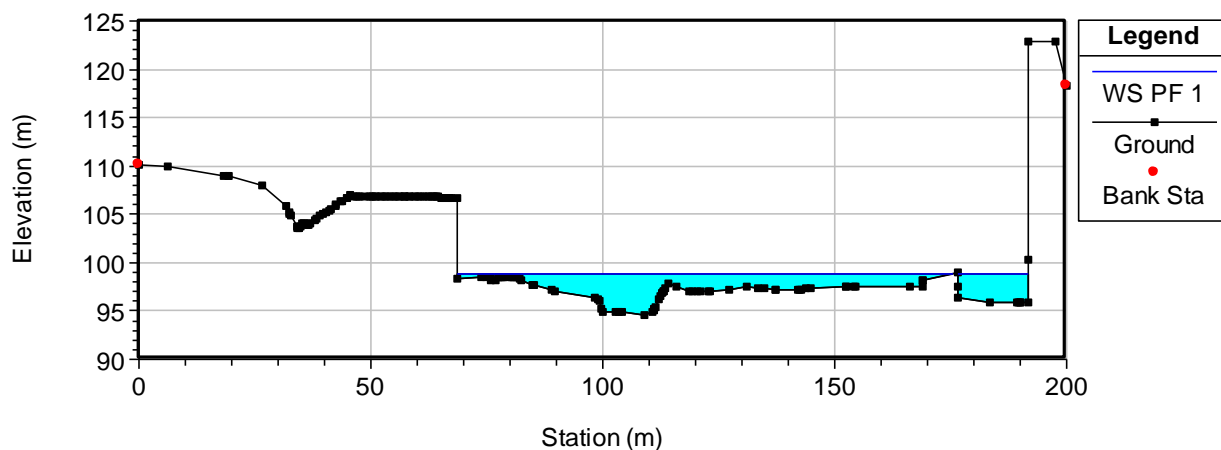
Sez. 28



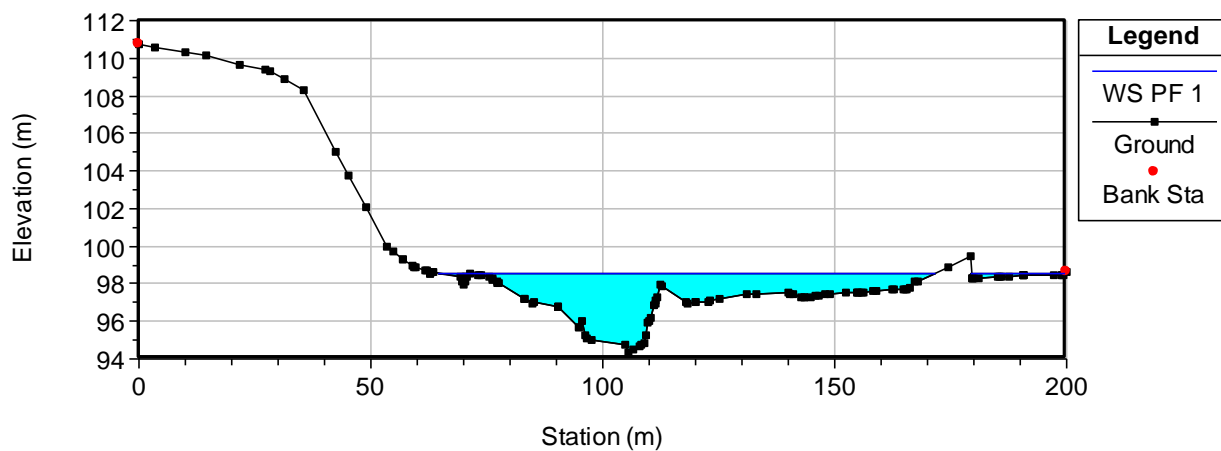
Sez. 29



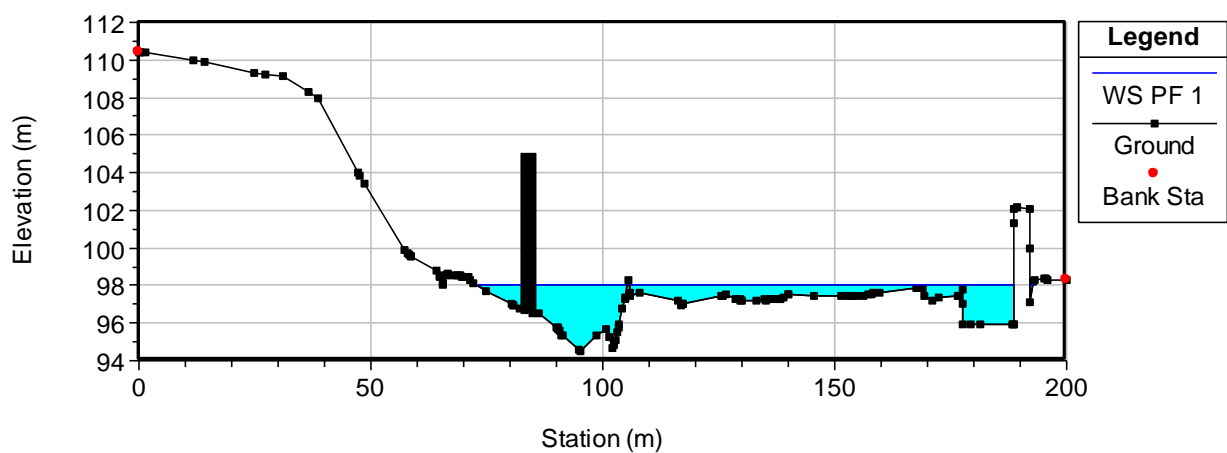
Sez. 30



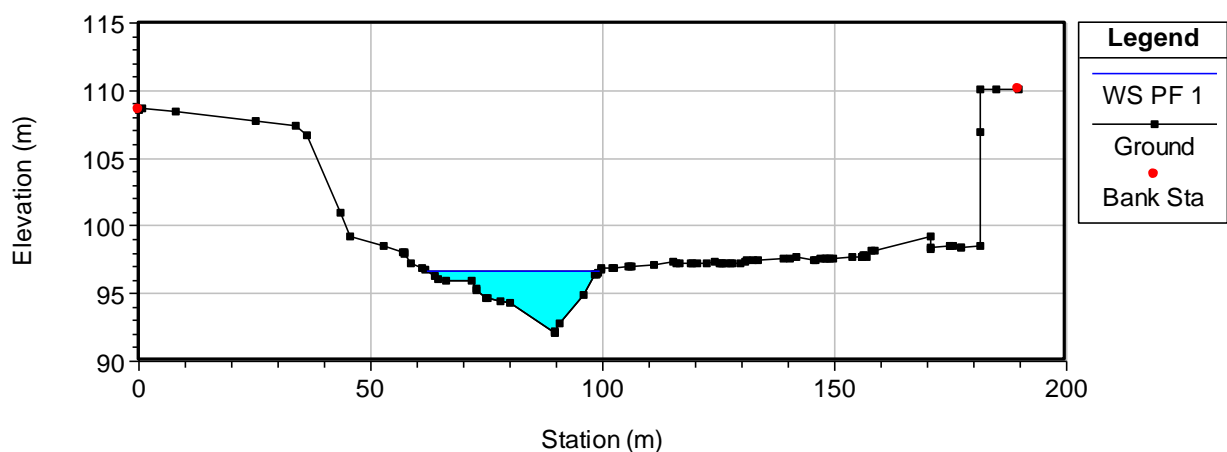
Sez. 31



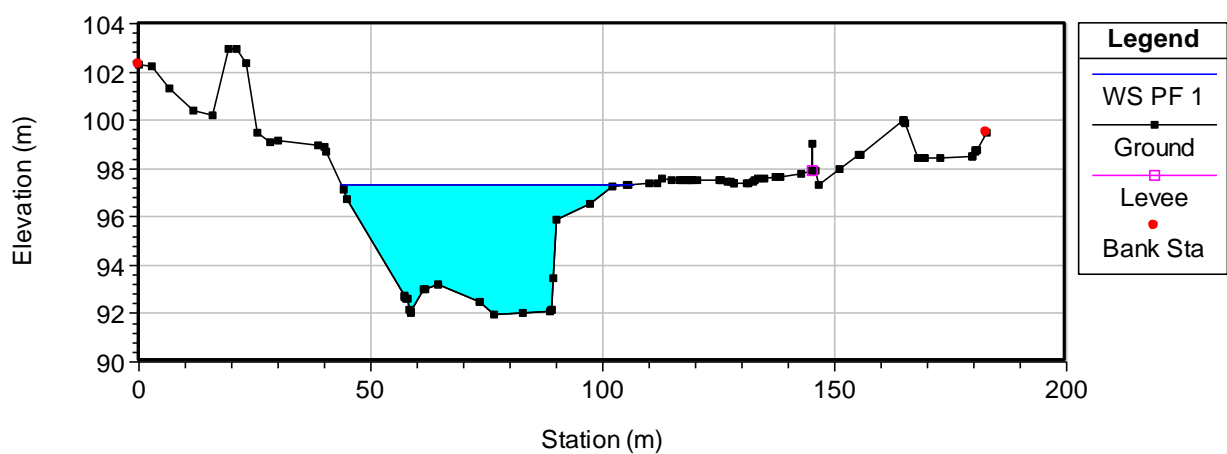
Sez. 32



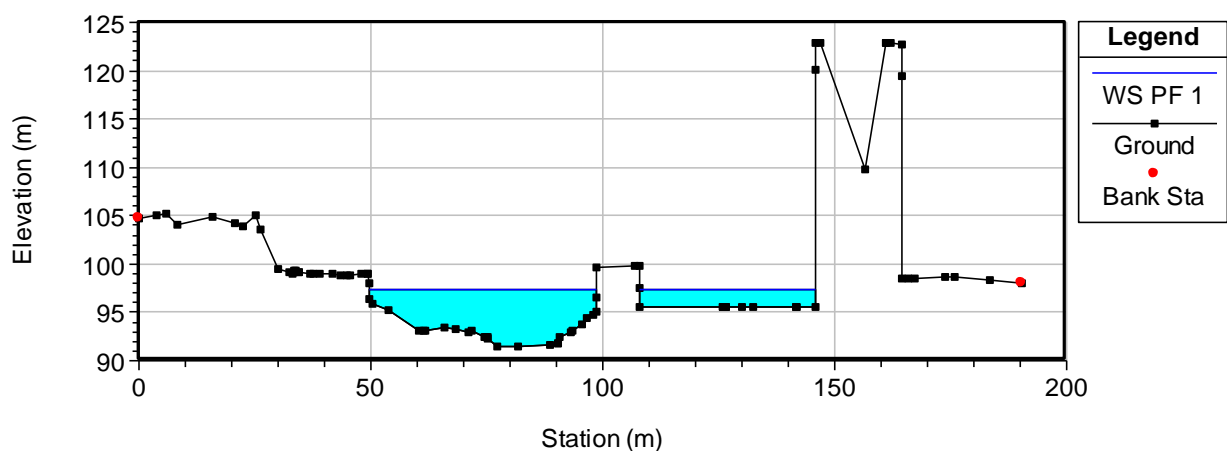
Sez. 33



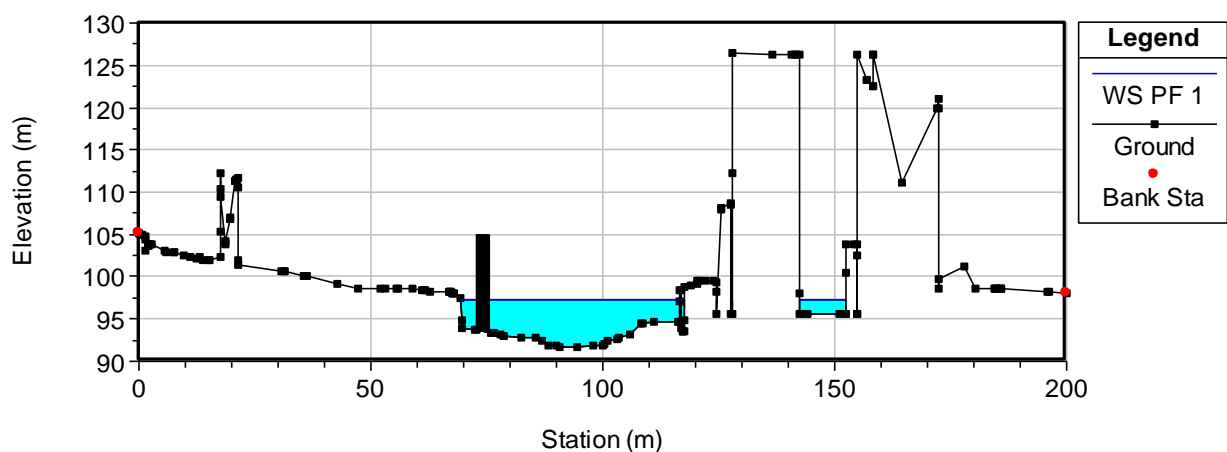
Sez. 34



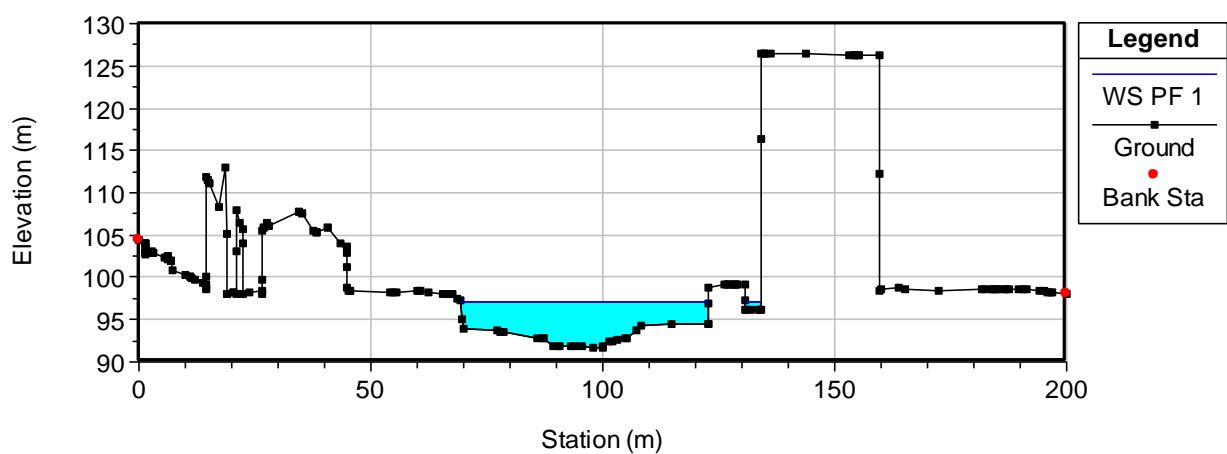
Sez. 35



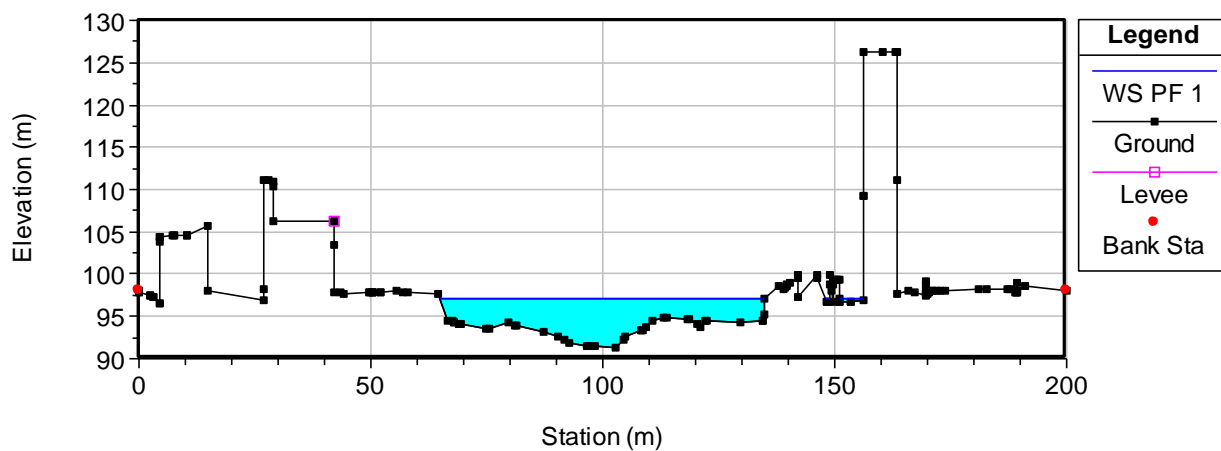
Sez. 36



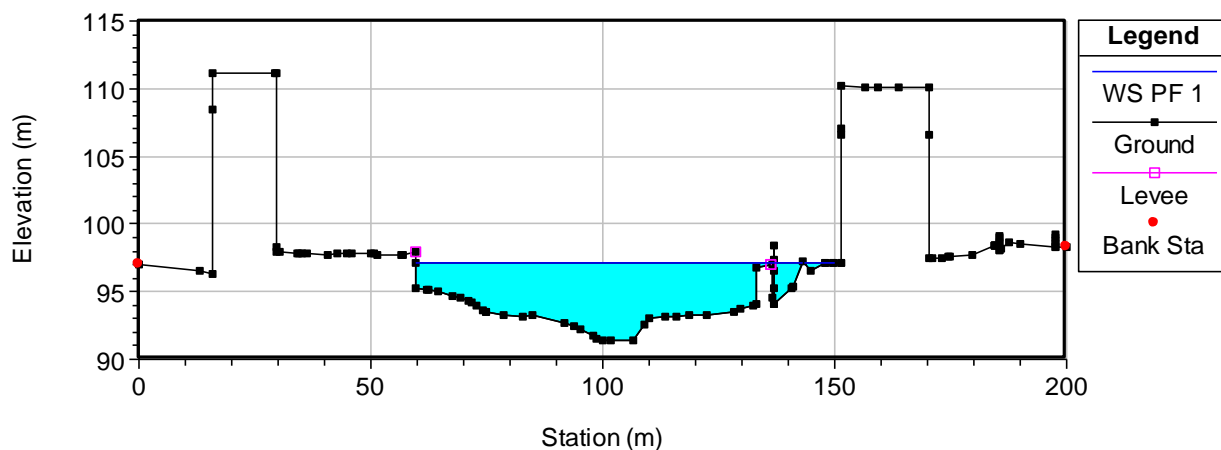
Sez. 37



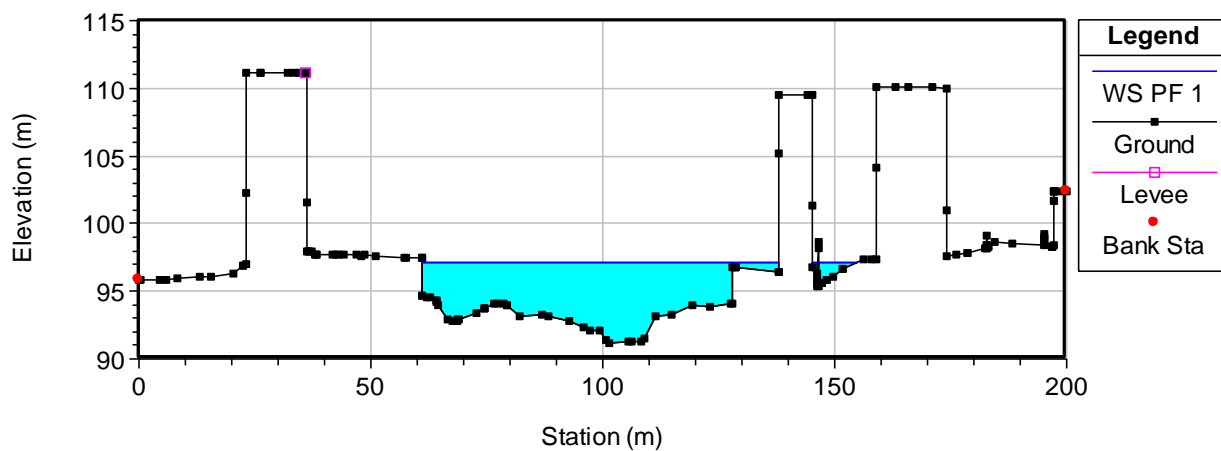
Sez. 38



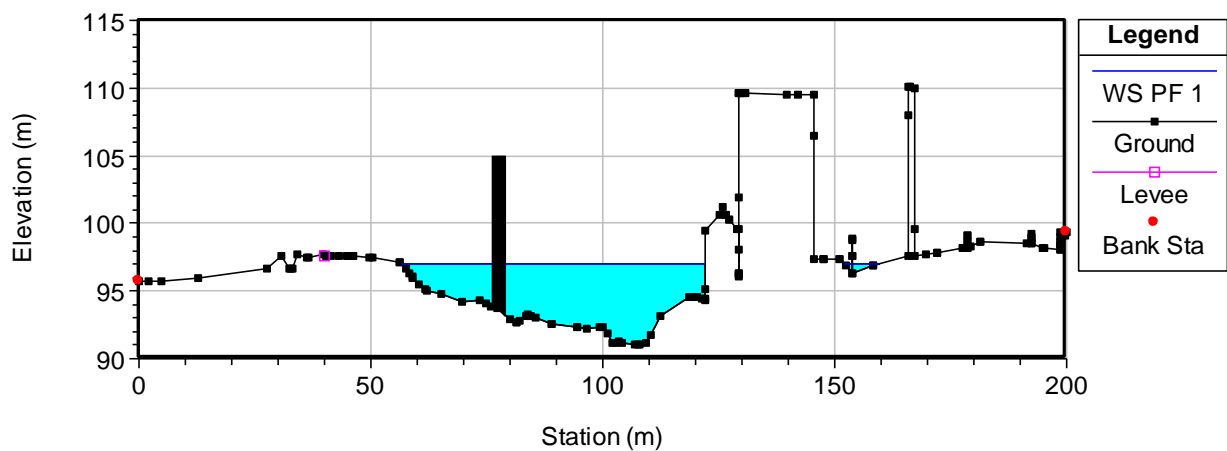
Sez. 39



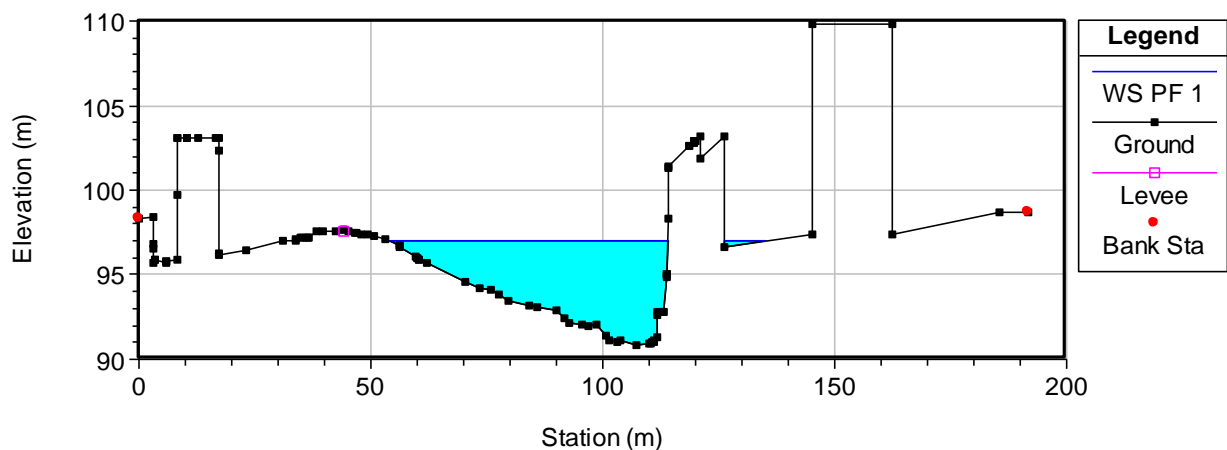
Sez. 40



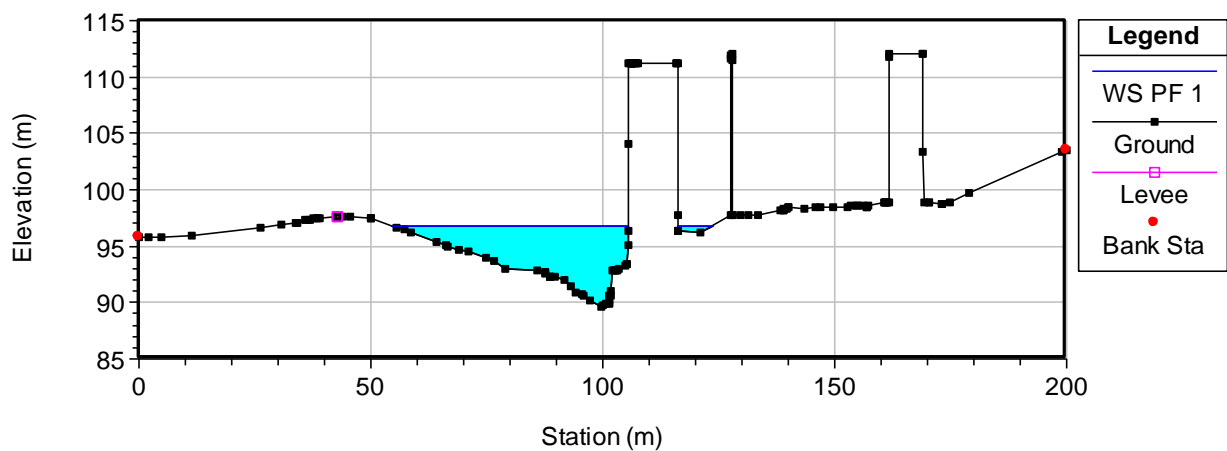
Sez. 41



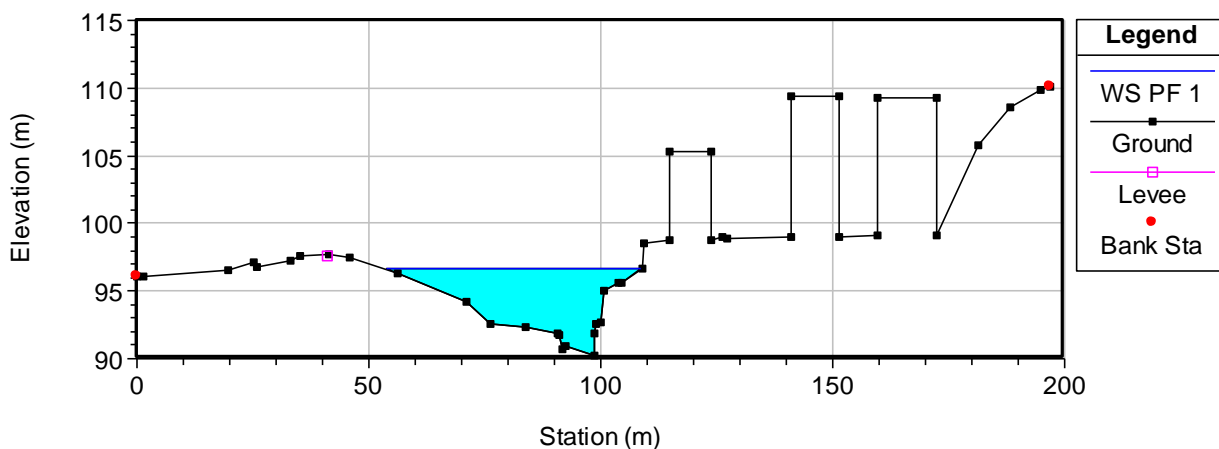
Sez. 42



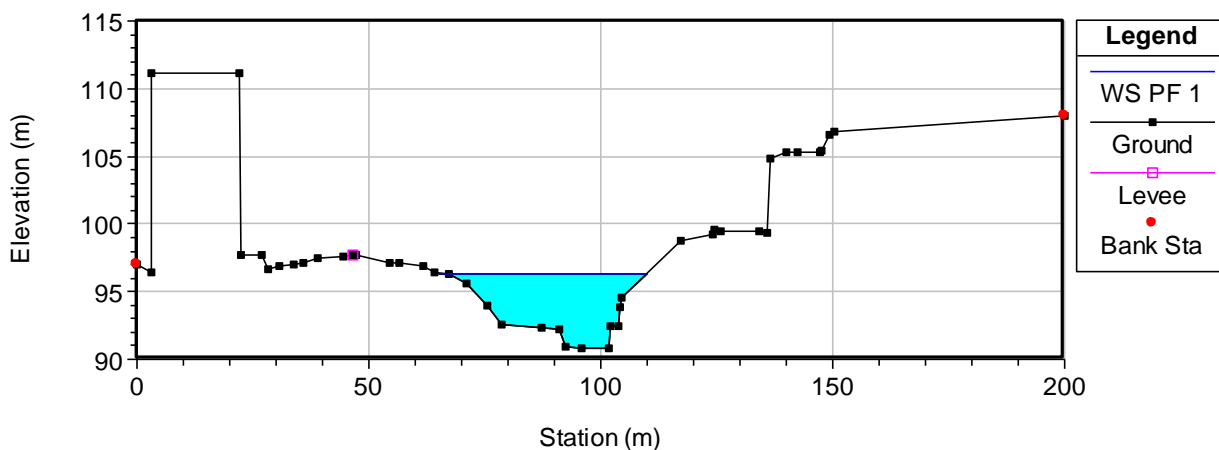
Sez. 43



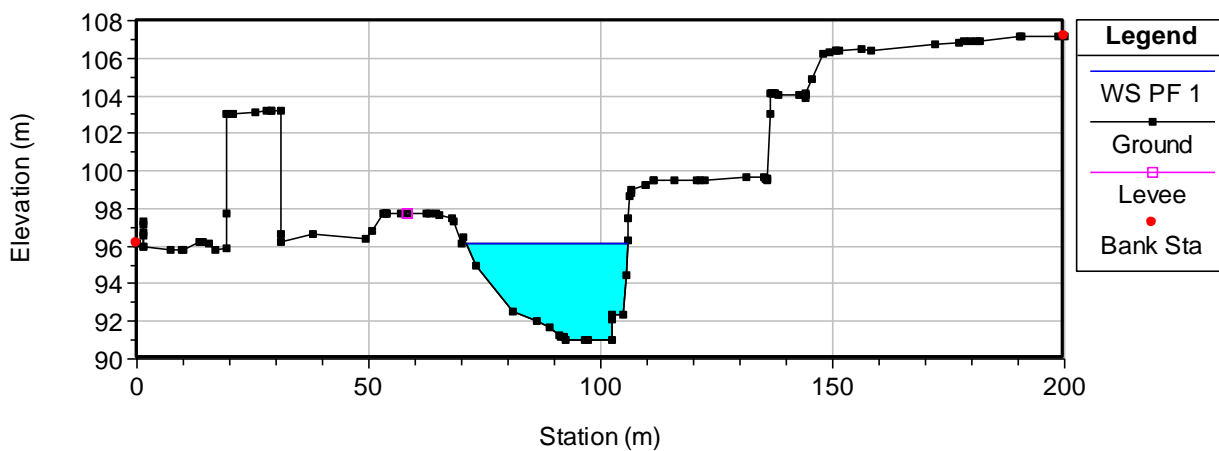
Sez. 44



Sez. 45



Sez. 46



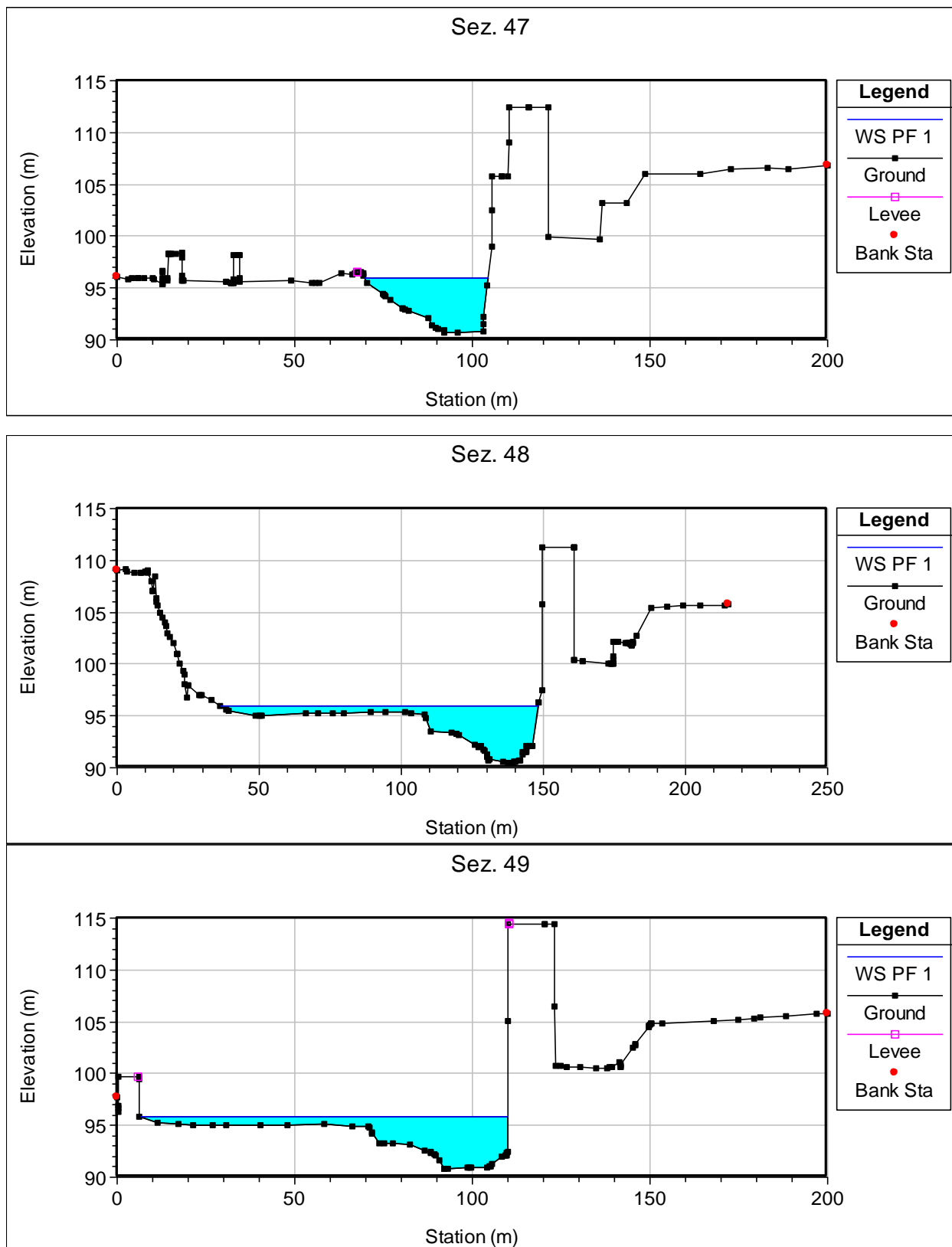


Figura 3-6: Sezioni idrauliche del tratto analizzato con riportato il livello per TR=200 anni nelle condizioni di progetto..

Sezione	Portata	Quota fondo	Quota pelo libero	Velocità media	Area liquida	Larghezza pelo libero	Numero di Froude
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
Sez. 1	390	98.93	103.29	1.12	348.03	211.15	0.28
Sez. 2	390	98.25	103.15	1.03	377.10	239.15	0.26
Sez. 3	390	97.77	103.03	0.97	403.45	259.98	0.25
Sez. 4	390	97.28	102.94	0.85	460.21	283.83	0.21
Sez. 5	390	97.19	102.86	0.82	477.01	269.36	0.20
Sez. 6	390	97.18	102.84	0.69	564.17	309.46	0.16
Sez. 7	390	97.20	102.82	0.62	628.45	320.97	0.14
Sez. 8	390	96.82	102.82	0.61	638.01	319.17	0.14
Sez. 9	390	95.61	102.76	0.98	396.06	262.20	0.26
Sez. 10	390	96.81	102.68	1.28	304.64	93.55	0.23
Sez. 11	390	96.53	102.65	1.23	316.65	124.35	0.25
Sez. 12	390	96.34	102.53	1.56	249.23	112.05	0.33
Sez. 13	390	96.34	102.29	2.16	180.21	68.18	0.42
Sez. 14	390	95.08	101.80	3.01	129.41	52.94	0.62
Sez. 15	390	95.86	101.51	2.84	137.39	63.30	0.62
Sez. 16	390	95.71	101.01	3.35	116.42	46.98	0.68
Sez. 17	390	95.74	100.89	2.61	149.69	65.69	0.55
Sez. 18	390	95.49	100.87	1.83	213.10	89.22	0.38
Sez. 19	390	95.27	100.80	1.65	236.99	87.30	0.32
Sez. 20	390	94.32	100.71	1.72	227.17	79.65	0.32
Sez. 21	390	95.10	100.52	2.10	185.35	89.29	0.47
Sez. 22	390	95.33	100.39	2.23	174.61	78.47	0.48
Sez. 23	390	95.32	100.26	1.76	222.06	181.17	0.51
Sez. 24	390	94.45	100.00	1.70	229.76	225.68	0.54
Sez. 25	390	94.03	99.89	1.15	337.88	286.29	0.34
Sez. 26	390	94.48	99.74	1.30	299.45	271.82	0.40
Sez. 27	390	94.71	99.48	1.68	232.19	219.44	0.52
Sez. 28	390	94.71	99.19	1.77	220.14	192.75	0.53
Sez. 29	390	94.48	98.95	1.91	203.84	106.95	0.44
Sez. 30	390	94.56	98.86	1.79	218.45	121.73	0.43
Sez. 31	390	94.37	98.57	2.50	156.22	127.49	0.72
Sez. 32	390	94.50	98.00	3.27	119.09	112.74	1.02
Sez. 33	390	92.15	96.69	5.05	77.21	37.48	1.12
Sez. 34	390	91.98	97.35	1.92	202.69	63.07	0.34
Sez. 35	390	91.46	97.35	1.40	278.27	86.70	0.25
Sez. 36	390	91.69	97.22	1.89	206.55	55.46	0.31
Sez. 37	390	91.75	97.18	1.85	211.34	57.07	0.31
Sez. 38	390	91.37	97.16	1.55	251.92	76.31	0.27
Sez. 39	390	91.35	97.14	1.28	303.69	90.13	0.22
Sez. 40	390	91.22	97.11	1.38	283.26	86.76	0.24
Sez. 41	390	91.01	97.04	1.66	234.96	70.21	0.29
Sez. 42	390	90.83	96.98	1.82	214.80	68.71	0.33
Sez. 43	390	89.67	96.80	2.22	175.75	58.86	0.41

Sez. 44	390	90.19	96.60	2.45	159.35	54.75	0.46
Sez. 45	390	90.78	96.34	2.79	139.65	44.82	0.51
Sez. 46	390	91.00	96.11	2.99	130.62	34.98	0.49
Sez. 47	390	90.73	95.95	3.18	122.66	34.68	0.54
Sez. 48	390	90.43	96.01	1.90	205.11	111.95	0.45
Sez. 49	390	90.85	95.83	2.01	194.21	103.48	0.47

Tabella 5 – Risultati della simulazione numerica

In conclusione si riporta il confronto numerico tra i tiranti idrici nella situazione esistente rispetto alla condizione di progetto.

Sezione	Quota pelo libero esistente	Quota pelo libero progetto	Differenze (Progetto - Esistente)
	(m)	(m)	(m)
Sez. 1	103.23	103.29	0.06
Sez. 2	103.10	103.15	0.05
Sez. 3	102.98	103.03	0.05
Sez. 4	102.89	102.94	0.05
Sez. 5	102.81	102.86	0.05
Sez. 6	102.80	102.84	0.04
Sez. 7	102.79	102.82	0.03
Sez. 8	102.78	102.82	0.04
Sez. 9	102.73	102.76	0.03
Sez. 10	102.65	102.68	0.03
Sez. 11	102.62	102.65	0.03
Sez. 12	102.49	102.53	0.04
Sez. 13	102.20	102.29	0.09
Sez. 14	101.89	101.80	-0.09
Sez. 15	101.68	101.51	-0.17
Sez. 16	101.23	101.01	-0.22
Sez. 17	100.94	100.89	-0.05
Sez. 18	100.89	100.87	-0.02
Sez. 19	100.75	100.80	0.05
Sez. 20	100.63	100.71	0.08
Sez. 21	100.44	100.52	0.08
Sez. 22	100.36	100.39	0.03
Sez. 23	100.24	100.26	0.02
Sez. 24	100.01	100.00	-0.01
Sez. 25	99.89	99.89	0.00
Sez. 26	99.74	99.74	0.00
Sez. 27	99.47	99.48	0.01
Sez. 28	99.20	99.19	-0.01
Sez. 29	98.97	98.95	-0.02
Sez. 30	98.87	98.86	-0.01
Sez. 31	98.56	98.57	0.01
Sez. 32	97.99	98.00	0.01
Sez. 33	96.70	96.69	-0.01
Sez. 34	97.33	97.35	0.02
Sez. 35	97.34	97.35	0.01
Sez. 36	97.23	97.22	-0.01
Sez. 37	97.17	97.18	0.01
Sez. 38	97.15	97.16	0.01
Sez. 39	97.14	97.14	0.00

Sez. 40	97.10	97.11	0.01
Sez. 41	97.05	97.04	-0.01
Sez. 42	96.98	96.98	0.00
Sez. 43	96.80	96.80	0.00
Sez. 44	96.60	96.60	0.00
Sez. 45	96.34	96.34	0.00
Sez. 46	96.11	96.11	0.00
Sez. 47	95.95	95.95	0.00
Sez. 48	96.01	96.01	0.00
Sez. 49	95.83	95.83	0.00

Tabella 6 – Confronto tra i tiranti idrici nella condizione di progetto rispetto alla situazione esistente

Dall'analisi della Tabella precedente si osserva che nelle condizioni di progetto il tirante idrico è di fatto simile alle condizioni attuali con un innalzamento che vale al massimo pochi centimetri. Inoltre si osserva un miglioramento notevole in corrispondenza del ponte di valle dove, grazie alla risagomatura delle sezioni, il tirante si abbassa di oltre 1 metro.

Pertanto la risagomatura dell'alveo risulta efficace nel compensare la realizzazione del corpo stradale ed evitare un innalzamento significativo del pelo libero nelle condizioni di portata con tempo di ritorno di 200 anni.