

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO

Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RS2S 01 D 78 RI ID0002 003 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
B	Consegna CSLLPP	M. Coccato	12/2017	A. Tortora	12/2017	P. Carlesimo	01/2018	D. Tiberti 12/2017
A	Emissione Esecutiva	M. Coccato	10/2017	A. Tortora	10/2017	P. Carlesimo	10/2017	

ITALFERR S.p.A.
Gruppo Ferrovie dello Stato
Direzione Regionale
UO Infrastrutture Sud
Dott. Ing. Dorio Tiberti
Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

n. Elab.: 351

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	ELENCO ELABORATI ANNESSI	5
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI	6
2.1	INQUADRAMENTO GENERALE	6
2.2	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	7
2.3	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO	8
2.4	MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO	9
3	STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL TORRENTE DELLE FORCHE - PK 0+64010	
3.1	DATI UTILIZZATI	10
3.1.1	<i>Dati geometrici</i>	10
3.1.2	<i>Scabrezza</i>	10
3.1.3	<i>Portate</i>	11
3.1.4	<i>Condizioni al contorno</i>	11
3.2	VERIFICA DEL MANUFATTO FERROVIARIO NELLO STATO DI FATTO	11
3.3	VERIFICA DELLE OPERE NELLO STATO DI PROGETTO	13
3.3.1	<i>Interventi di sistemazione del corso d'acqua di progetto</i>	13
3.3.2	<i>Verifica idraulica nello stato di progetto</i>	13
3.3.3	<i>Altri interventi di sistemazione del torrente delle Forche</i>	14
3.4	CONFRONTO TRA STATO DI FATTO E STATO DI PROGETTO	17
4	STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL TORRENTE LAVINIA – PK 0+810	19
4.1	DATI UTILIZZATI	19
4.1.1	<i>Dati geometrici</i>	19
4.1.2	<i>Scabrezza</i>	19
4.1.3	<i>Portate</i>	19
4.1.4	<i>Condizioni al contorno</i>	20
4.2	VERIFICA DEL MANUFATTO FERROVIARIO NELLO STATO DI FATTO	20
4.3	VERIFICA DELLE OPERE NELLO STATO DI PROGETTO	24
4.3.1	<i>Altri interventi di sistemazione del torrente Lavinia</i>	26
5	STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL VALLONE BUFFARDO – PK 1+140	27
5.1	VERIFICA DEL DIMENSIONAMENTO DELLA SOLUZIONE DI PROGETTO	29
5.1.1	<i>Dati geometrici</i>	29
5.1.2	<i>Scabrezza</i>	29
5.1.3	<i>Portate</i>	29
5.1.4	<i>Condizioni al contorno</i>	29
5.1.5	<i>Risultati nello SdP</i>	29
6	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI SECONDO IL PAI	32
6.1	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	33
	APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS	35
	APPENDICE B – RISULTATI MODELLO HEC-RAS IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI	45

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento area di intervento.	6
Figura 2 – Tombino esistente Vallone Buffardo.	7
Figura 3 – Profilo idraulico del torrente delle Forche nello stato di fatto. Portata di progetto TR 300 anni.	12
Figura 4 – Sezione tipo di rivestimento del fondo in massi sciolti.	14
Figura 5 – Profilo idraulico del torrente delle Forche nello stato di progetto. Portata di progetto TR 300 anni.	16
Figura 6 – Confronto profili idraulici del torrente delle Forche nello SdF (in azzurro) e nello SdP (in blu). Portata di progetto TR 300 anni.	18
Figura 7 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di fatto. Portata di progetto TR 200 anni.	22
Figura 8 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di fatto per una portata pari a 18 m ³ /s.	23
Figura 9 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di progetto. Portata di progetto TR 200 anni.	25
Figura 10 – Sezione tipo di rivestimento del fondo del torrente Lavinia.	26
Figura 11 – Sezione tipo a" U" Vallone Buffardo.	27
Figura 12 – Sezione tipo scatolare Vallone Buffardo.	28
Figura 13 – Stralcio planimetrico progetto Vallone Buffardo.	28
Figura 14 – Profilo idraulico del Vallone Buffardo nello stato di progetto. Portata di progetto TR 200 anni.	31
<i>Figura 15 – Stralcio planimetria PAI Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara (095) .</i>	33
Figura 15 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.	35
Figura 16: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.	36
Figura 17: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.	38
Figura 18: Pianta schematica di un attraversamento fluviale.	39
Figura 19: Sezione schematica di un attraversamento fluviale.	39
Figura 20: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.	41
Figura 21: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd.	41
Figura 22: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.	41
Figura 23: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.	42
<i>Figura 24: Schema di un tombino ponticello .</i>	42
<i>Figura 25: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello .</i>	43

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.	5
Tabella 2 – Caratteristiche idrologiche dei bacini dei corsi d'acqua.	8
Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d'acqua minori in pianura [V.T. Chow].	10
Tabella 4 – Torrente delle Forche. Risultati della simulazione nello stato di fatto.	11
Tabella 5 – Torrente delle Forche. Risultati della simulazione nello stato di progetto.	13
Tabella 6 – Verifica delle protezioni al fondo.	15

Tabella 7 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di fatto. $Q=63.69 \text{ m}^3/\text{s}$	20
Tabella 8 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di fatto. $Q=18.00 \text{ m}^3/\text{s}$	21
Tabella 9 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di progetto.	24
Tabella 10 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di progetto.	30
Tabella 11:Coefficiente di resistenza idrodinamico CD.....	40
Tabella 12: Coefficiente di Yarnell.....	40

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte della progettazione definitiva del “Raddoppio della tratta Giampilieri – Fiumefreddo. Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni” e ha per oggetto i corsi d’acqua minori della zona di Fiumefreddo, che interferiscono con la linea ferroviaria di progetto, di seguito elencati:

- il Torrente delle Forche, alla Pk 0+650 circa;
- il Torrente Lavinia, alla Pk 0+810 circa;
- il Vallone Buffardo, alla Pk 1+140 circa.

Nel presente documento vengono illustrate le verifiche idrauliche eseguite per tali corsi d’acqua in corrispondenza degli attraversamenti della linea ferroviaria e per un tratto sufficientemente lungo a nord e a sud della stessa. Vengono, inoltre, proposte le soluzioni progettuali per mettere in sicurezza la ferrovia dagli eventi di piena dei medesimi tratti fluviali, nel rispetto delle prescrizioni del par. 3.7 “Studi idrologici e idraulici” del “Manuale di progettazione delle opere civili” di RFI.

1.1 Elenco elaborati annessi

Gli elaborati di riferimento per la risoluzione delle interferenze della linea ferroviaria “Raddoppio della tratta Giampilieri – Fiumefreddo. Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni” con i corsi d’acqua minori della zona di Fiumefreddo sono di seguito elencati.

Tabella 1 – Elenco elaborati annessi.

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idraulica dei corsi d’acqua minori zona Fiumefreddo	-	RS2S 01 D 78 RI ID0002 003 A
Torrente delle Forche - Planimetria	1:1000	RS2S 01 D 78 P7 ID0002 001 A
Torrente delle Forche - Profilo	1:1000/1:200	RS2S 01 D 78 FZ ID0002 002 A
Torrente delle Forche - Sezioni	1:200	RS2S 01 D 78 W9 ID0002 001 A
Torrente Lavinia - Planimetria	1:1000	RS2S 01 D 78 P7 ID0002 002 A
Torrente Lavinia - Profilo e sezioni	1:1000/1:200	RS2S 01 D 78 FZ ID0002 003 A
Vallone Buffardo - Planimetria	1:1000	RS2S 01 D 78 P7 ID0002 003 A
Vallone Buffardo - Profilo e sezioni tipo	Varie	RS2S 01 D 78 FZ ID0002 004 A
Sezioni tipo di sistemazione dei corsi d’acqua	Varie	RS2S 01 D 78 BZ ID0002 002 A

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI

2.1 Inquadramento generale

L'area di intervento ricade in comune di Fiumefreddo ed è compresa tra le progressive Pk 0+650 e Pk 1+140, nel tratto in cui la linea ferroviaria di progetto si separa da quella esistente.

In questo tratto sono presenti tre corsi d'acqua minori (Figura 1):

- il Torrente delle Forche;
- il Torrente Lavinia;
- il Vallone Buffardo.

Tutti e tre i corsi d'acqua già intercettano la ferrovia esistente; l'attraversamento di quest'ultima avviene mediante un ponte, per quanto riguarda il torrente delle Forche, e mediante un tombino, per quanto riguarda sia il torrente Lavinia, che il Vallone Buffardo.



Figura 1 – Inquadramento area di intervento.

Dei primi due attraversamenti sono stati recuperati i progetti storici della linea, da cui è stato possibile ricostruire la geometria dei manufatti esistenti.

Per quanto riguarda il Vallone Buffardo, sempre nel progetto storico è indicato un tombino di dimensioni 2x2 m, che a partire da via Civi (Figura 2) dovrebbe sbucare a valle della linea esistente, ma del quale non si hanno altri dettagli.

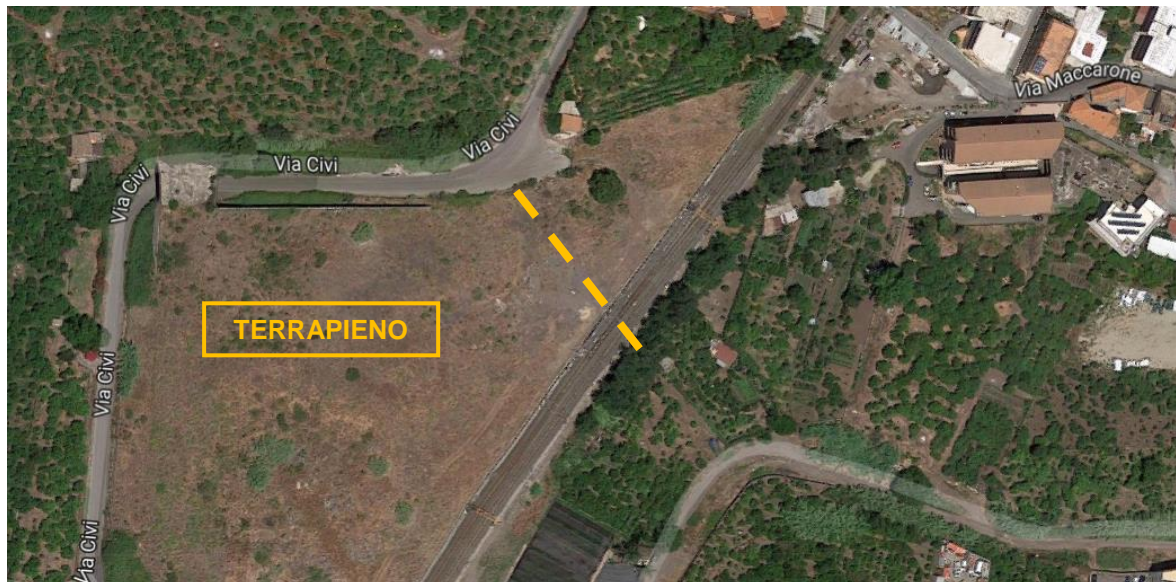


Figura 2 – Tombino esistente Vallone Buffardo.

In corrispondenza dell'intersezione con il torrente delle Forche e il torrente Lavinia, il raddoppio della ferrovia in progetto mantiene lo stesso ingombro planimetrico e lo stesso andamento altimetrico della linea attuale. I manufatti di attraversamento esistenti risultano, pertanto, compatibili con i lavori da eseguire e nella presente relazione ne viene verificata la funzionalità idraulica e proposti eventuali lavori di adeguamento delle opere e di sistemazione dei corsi d'acqua.

Il Vallone Buffardo, invece, viene intercettato dal progetto a monte del tombino esistente, nel tratto in cui la linea ferroviaria di nuova realizzazione si trova in trincea. Per mantenere, dunque, la continuità idraulica tra monte e valle della ferrovia è necessaria una deviazione planimetrica del vallone, come verrà descritto al successivo cap.5.

2.2 Inquadramento idrologico

Il torrente delle Forche è il principale dei tre corsi d'acqua in esame, del quale il torrente Lavinia e il Vallone Buffardo rappresentano due affluenti, immettendosi nel delle Forche immediatamente a valle della ferrovia.

I tre corsi d'acqua minori sono ciascuno caratterizzato da un bacino idrografico la cui estensione, alla sezione di chiusura in corrispondenza della ferrovia di progetto, è riportata in Tabella 2. Nella medesima tabella sono riportate le portate di massima piena, Q_{max} , di progetto da utilizzare nelle verifiche idrauliche, la cui valutazione è stata oggetto di apposito studio idrologico (cfr. "Relazione idrologica" - cod. RS2S01D78RIID0001 001 A - e "Corografie dei bacini minori 1/5" - cod. RS2S01D78 C4ID0001001A) del quale qui si riprendono solo i risultati.


	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. B

Tabella 2 – Caratteristiche idrologiche dei bacini dei corsi d'acqua.

Nome	Estensione bacino idrografico [km ²]	Q max [m ³ /s]
Torrente delle Forche	13.96	161.72 (TR 300 anni)
Torrente Lavinia	3.25	63.69 (TR 200 anni)
Vallone Buffardo	3.12	61.58 (TR 200 anni)

Secondo le prescrizioni del Manuale di progettazione RFI il tempo di ritorno da utilizzare nelle verifiche idrauliche è pari a 300 anni per il torrente delle Forche, in quanto presenta un bacino idrografico di estensione superiore a 10km², mentre è pari a 200 anni per gli altri due corsi d'acqua, in quanto caratterizzati da un bacino idrografico di superficie inferiore a 10 km².

2.3 Obiettivi dello studio idraulico

Le analisi idrauliche oggetto della presente relazione hanno lo scopo di verificare la sicurezza idraulica della linea ferroviaria di nuova realizzazione in corrispondenza dell'intersezione delle linea stessa con i corsi d'acqua minori della zona di Fiumefreddo.

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione RFI.

In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento andranno verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

- Tr = 300 anni per $S \geq 10$ km²
- Tr = 200 anni per $S < 10$ km²

avendo indicato con S la superficie del bacino idrografico sotteso.

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- franco idraulico tra intradosso manufatto e livello della superficie libera non inferiore a 1.5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- franco minimo tra intradosso manufatto e quota di carico idraulico totale almeno pari a 50 cm.

Nel caso di attraversamento mediante tombinatura del corso d'acqua, la sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Le opere devono, inoltre, rispondere a quanto previsto dal DM 14.1.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" che, al par. 5.1.2.4 "Compatibilità idraulica" riporta:

"Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere

*inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle. La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto riferita ad un **periodo di ritorno non inferiore a 200 anni**. Il franco di sottotrave e la distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave dovranno essere assunte tenendo conto del trasporto solido di fondo e del trasporto di materiale galleggiante”.*

La circolare 2/2/2009 allegata alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) 2008 specifica e puntualizza alcuni aspetti del testo principale della Norma, come ad esempio nel caso delle valutazioni di compatibilità dei ponti stradali e ferroviari. La circolare specifica che *“in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1.5÷2.0 m”* con riferimento ad un *“tempo di ritorno non inferiore a 200 anni”*, *“è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto, con l'avvertenza di prevedere valori maggiori per ponti con luci inferiori a 40 m o per ponti posti su torrenti esposti a sovralti d'alveo per deposito di materiali lapidei provenienti da monte o dai versanti.”*

2.4 Modello idraulico utilizzato

Lo studio idraulico dei corsi d'acqua minori della zona di Fiumefreddo è stato effettuato mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico (HEC-RAS) monodimensionale a moto permanente.

Tale modello permette di indagare le altezze d'acqua, il carico idraulico totale e le velocità al variare della piena di riferimento nelle diverse sezioni in cui viene discretizzato il corso d'acqua, tenendo conto anche degli effetti localizzati delle opere idrauliche presenti (ponti, tombini, strutture in linea quali traverse, strutture laterali quali sfioratori, ecc.).

Il modello idraulico HEC-RAS prodotto dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers è un modello utilizzato diffusamente nelle applicazioni idrauliche di vario genere data la sua versatilità e la relativa facilità di gestione e organizzazione delle informazioni oltre che la sua affidabilità.

Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

3 STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL TORRENTE DELLE FORCHE - PK 0+640

3.1 Dati utilizzati

3.1.1 *Dati geometrici*

La geometria del corso d'acqua nello stato di fatto è stata ricostruita a partire da un modello del terreno ricavato dal rilievo celerimetrico in scala 1:1.000, realizzato per la progettazione della ferrovia.

Per quanto riguarda le opere d'arte esistenti in corrispondenza dell'attraversamento della linea, la geometria è stata desunta dal progetto storico della ferrovia.

Va, tuttavia, sottolineato che, nelle successive fasi della progettazione, andrà eseguito un apposito rilievo topografico del corso d'acqua oggetto di intervento e dei manufatti esistenti (muri, ponti, fondazioni, ecc.).

La geometria delle sezioni e delle opere esistenti è stata inserita nel modello mediante la definizione delle coppie di punti progressiva - quota e, nel caso dei manufatti idraulici, dell'ingombro in alveo e dei dati caratteristici, così come richiesto dal codice di calcolo.

Il tratto di corso d'acqua modellato presenta, dunque, le seguenti caratteristiche:

- lunghezza complessiva del tratto modellato: L=982.15 m, di cui circa 400 m a monte del ponte e circa 520 m a valle;
- n.14 sezioni trasversali del corso d'acqua e sezioni interpolate ogni 25m circa;
- un ponte di larghezza 15 m, lunghezza 59.5 m, quota sottotrave 58.9 m s.m.m.
- un ponticello, anch'esso esistente immediatamente a valle di quello ferroviario: lunghezza 7.0 m, larghezza 15.0 m e quota di sottotrave 56.5 m s.m.m.

Le caratteristiche geometriche sopra descritte e l'ubicazione planimetrica delle sezioni e dei manufatti sono rappresentate negli elaborati grafici cod. RS2S 01 D 78 P7 ID0002 001 A, cod. RS2S 01 D 78 FZ ID0002 002 A e cod. RS2S 01 D 78 W9 ID0002 001 A.

3.1.2 *Scabrezza*

Considerate le caratteristiche di alveo naturale, con stato di manutenzione non buono (es. per la presenza di depositi di materiale inerte rinvenuti durante i sopralluoghi) si è assunto un coefficiente di scabrezza di Manning n pari a $0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (Tabella 3).

Tabella 3 – Valori dei coefficienti di scabrezza tipici per corsi d'acqua minori in pianura [V.T. Chow].

Descrizione	Manning $n \text{ [m}^{-1/3} \text{ s]}$
alvei con fondo compatto, senza irregolarità	0.022÷0.028
alvei regolari con vegetazione erbacea	0.028÷0.033
alvei con ciottoli e irregolarità modeste	0.033÷0.040
alvei fortemente irregolari	0.040÷0.066

3.1.3 Portate

La portata di progetto, per quanto detto al §2.2, è quella caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 300 anni e risulta pari a 161.72 m³/s.

3.1.4 Condizioni al contorno

La simulazione idraulica è stata effettuata imponendo un regime di deflusso “mixed flow” nel programma di calcolo, in modo che sia consentito il passaggio tra le varie condizioni di moto (corrente supercritica e subcritica).

Come condizione di monte è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza di moto uniforme, mentre come condizione di valle è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza critica nella sezione immediatamente a monte del ponte sulla SS 114.

3.2 Verifica del manufatto ferroviario nello stato di fatto

Il profilo idraulico del torrente delle Forche nello stato di fatto, per un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 300 anni, è rappresentato in Figura 3.

I risultati della simulazione (Tabella 4) evidenziano che la configurazione esistente di corso d'acqua e manufatto determina un profilo di rigurgito con sormonto della ferrovia.

Nel paragrafo successivo vengono, pertanto, descritti gli interventi di sistemazione del corso d'acqua, che rendono compatibile il manufatto esistente con la sicurezza idraulica della ferrovia di progetto.

Tabella 4 – Torrente delle Forche. Risultati della simulazione nello stato di fatto.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	66.30	68.57	70.46	7.42	1.64
Sez_2	62.38	64.48	66.61	7.23	1.75
Sez_3	60.74	63.76	64.94	5.22	1.06
Sez_4	58.00	61.96	62.26	2.74	0.46
Sez_5	57.93	61.95	62.24	2.72	0.45
Sez_6	56.50	61.86	62.06	2.27	0.31
Sez_7	54.19	59.03	59.20	1.99	0.31
Sez_8	54.19	56.05	58.64	7.21	1.95
Sez_9	51.15	52.79	54.32	5.57	1.56
Sez_10	48.87	52.27	53.13	4.24	0.79
Sez_11	47.04	51.82	52.28	3.10	0.48
Sez_12	45.58	51.52	51.87	2.86	0.38
Sez_13	45.29	49.95	51.45	6.14	0.95

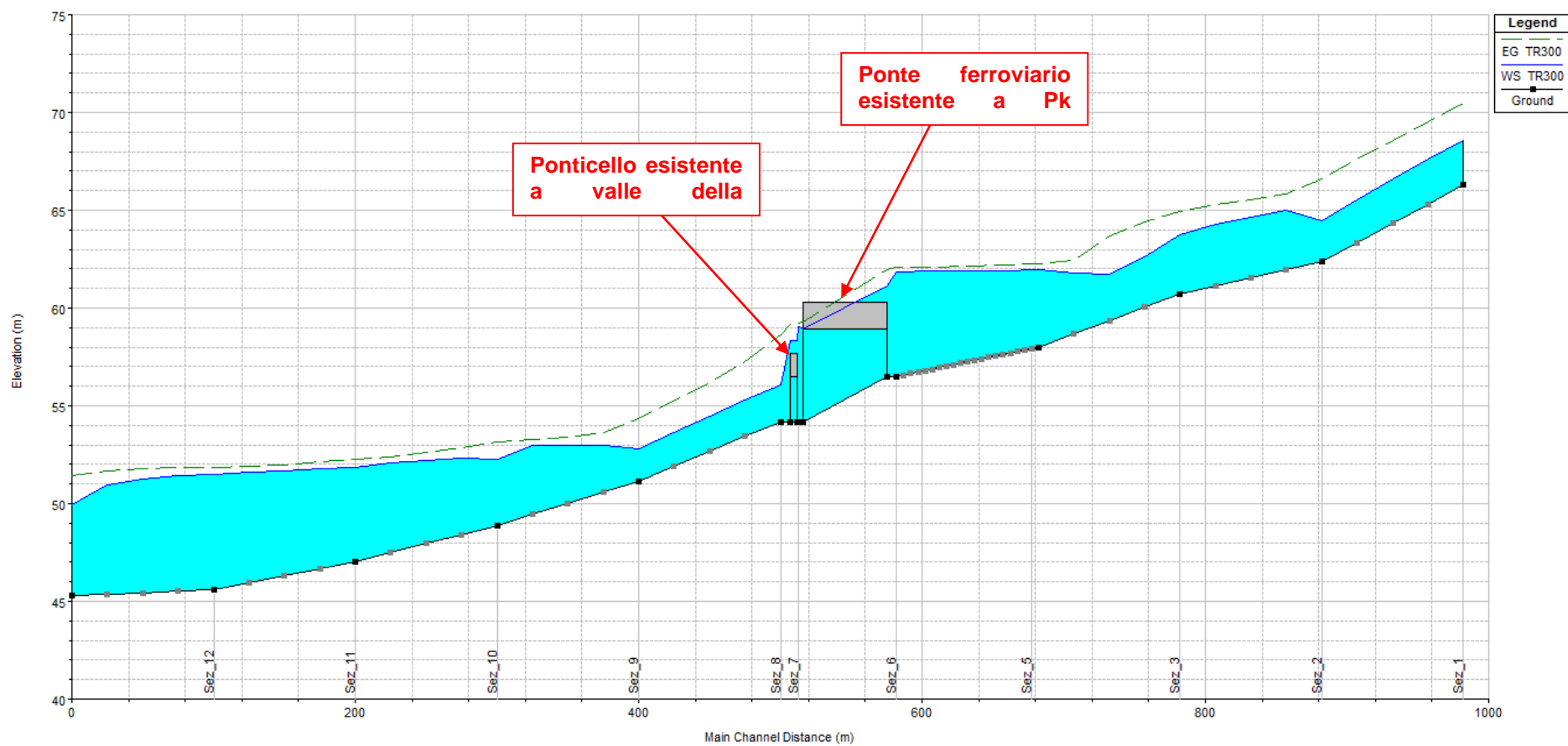



Figura 3 – Profilo idraulico del torrente delle Forche nello stato di fatto. Portata di progetto TR 300 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. A

3.3 Verifica delle opere nello stato di progetto

3.3.1 Interventi di sistemazione del corso d'acqua di progetto

Dal momento che non risulta possibile una modifica piano altimetrica della linea ferroviaria di progetto in corrispondenza dell'intersezione con il torrente delle Forche, è stato necessario mantenere il ponte esistente nell'attuale configurazione e prevedere interventi di sistemazione del corso d'acqua per mettere in sicurezza la ferrovia di progetto.

Tali interventi sono:

- la realizzazione di un salto di fondo di altezza pari a 1.5 tra le sezioni n. 4 e n.5;
- l'abbassamento del fondo alveo a partire dal salto di progetto e fino all'imbocco del ponte (sezione n.6);
- l'allargamento del corso d'acqua nel tratto compreso tra le sezioni n. 5 e n. 8 ter;
- la demolizione del ponticello esistente a valle della ferrovia.

I dettagli degli interventi di progetto previsti sono rappresentati negli elaborati grafici relativi al torrente delle Forche (cod. RS2S 01 D 78 P7 ID0002 001 A, cod. RS2S 01 D 78 FZ ID0002 002 A e cod. RS2S 01 D 78 W9 ID0002 001 A).

3.3.2 Verifica idraulica nello stato di progetto

I risultati della simulazione idraulica nello stato di progetto sono riassunti in Tabella 5, mentre il profilo idraulico è rappresentato in Figura 5.

Il livello idrico nella sezione n. 6, immediatamente a monte del ponte, risulta pari a 57.24 m s.m.m. con un franco di 1.7 m rispetto alla quota di sottotrave pari a 58.9 m s.m.m.

Il carico idraulico totale risulta, invece, a quota 58.14 m s.m.m. con un franco rispetto all'intradosso del ponte pari a 0.9 m e, quindi, superiore ai 0.5m richiesti dal manuale di progettazione Italferr.

Tabella 5 – Torrente delle Forche. Risultati della simulazione nello stato di progetto.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	66.3	68.57	70.46	7.42	1.64
Sez_2	62.38	64.48	66.61	7.23	1.75
Sez_3	60.74	63.76	64.94	5.22	1.06
Sez_4	58	60.04	61.91	6.52	1.6
Sez_5	56.5	58.01	61.48	8.26	2.15
Sez_6	54.3	57.24	58.14	4.2	0.78
Sez_7	54.19	56.28	57.77	5.48	1.3
Sez_8	54.00	56.5	57.46	4.42	0.94

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_9	51.15	52.9	54.3	5.24	1.42
Sez_10	48.87	51.91	53.06	4.88	0.97
Sez_11	47.04	51.6	52.12	3.28	0.52
Sez_12	45.58	51.52	51.87	2.86	0.38
Sez_13	45.29	49.95	51.45	6.14	0.95

3.3.3 Altri interventi di sistemazione del torrente delle Forche

In considerazione delle elevate velocità di progetto (cfr. Tabella 5), in corrispondenza del torrente delle Forche sono previsti, oltre a quelli sopra descritti, interventi di rivestimento del fondo, sia in massi cementati che in massi sciolti (Figura 5).

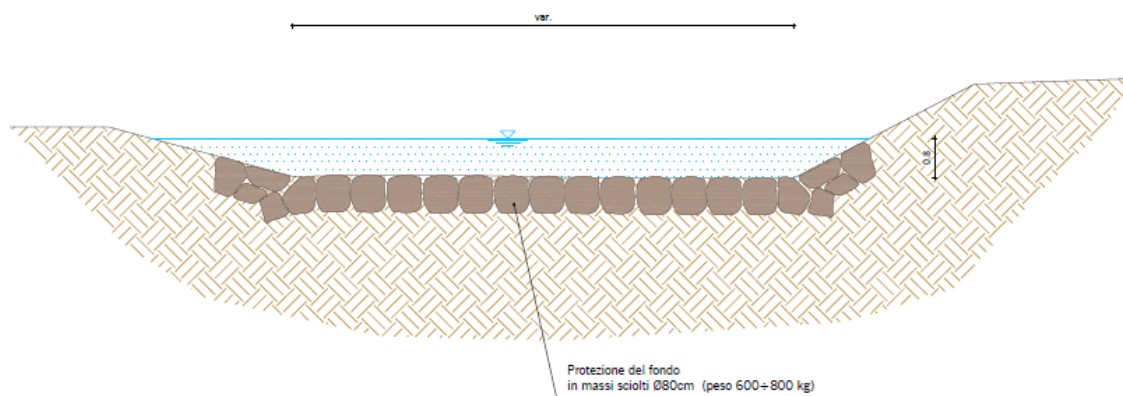


Figura 4 – Sezione tipo di rivestimento del fondo in massi sciolti.

I rivestimenti sono previsti in particolare nel tratto a valle del salto di fondo e fino alla sezione n. 8ter a valle del ponte ferroviario. In corrispondenza, inoltre, dell'immissione dei due affluenti, il torrente Lavinia e il Vallone Buffardo, è prevista la realizzazione di un rivestimento non rigido a monte e valle del punto di immissione. In corrispondenza di quest'ultimo viene, invece, realizzato un ricoprimento in massi cementati.

Le sezioni tipologiche delle protezioni del fondo alveo sono rappresentate nell'elaborato grafico cod. RS2S 01 D 78 BZ ID0002 002 A.

Di seguito si descrive la verifica delle soluzioni adottate.

Verifica dell'erosione del fondo

Ai fini della valutazione dell'efficacia anti erosiva di una protezione del fondo e/o delle sponde di un alveo è necessario verificare la resistenza al trascinamento dei massi, garantita dal peso del materiale costituente la protezione. Per una scogliera non si ha crisi della protezione finché non viene raggiunta la

tensione tangenziale critica di inizio movimento, che dipende esclusivamente dalla forma del pietrame e dalle sue dimensioni.

La tensione tangenziale agente massima al fondo è funzione del raggio idraulico R, del peso specifico dell'acqua γ_w e della pendenza del fondo i_f :

$$\tau_m = \gamma_w \cdot R \cdot i_f$$

Nel caso di alvei larghi e poco profondi si compie un errore trascurabile sostituendo R (raggio idraulico) con h (tirante idraulico rispetto al fondo); questa semplificazione può essere effettuata per esempio nelle aree golenali, dove l'ampiezza della sezione di deflusso è sufficientemente elevata rispetto al tirante.

Per quanto riguarda la resistenza al trascinamento si definisce tensione massima di trascinamento τ_{cr} il massimo sforzo tangenziale oltre il quale il materiale di fondo comincia a muoversi. Per i materiali non coesivi la formula generalmente utilizzata è la formula di Shields:

$$\tau_{cr} = C^* \cdot (\gamma_m - \gamma_w) \cdot d_{75}$$

dove:

τ_{cr} = tensione massima di trascinamento (kg/m²);

C^* = coefficiente di Shields, adimensionale;

γ_m = peso specifico del materiale d'alveo;

γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 kg/m²);

d_{75} = diametro del vaglio che consente il passaggio del 75% del materiale d'alveo (m).


Nel caso di pietrame sciolto il coefficiente di Shields vale 0.047 e il peso specifico γ_m può essere assunto pari a 2600 kg/m³.

Nella seguente tabella si verifica la protezione al fondo di progetto in corrispondenza delle sezioni del torrente delle Forche in cui sono previsti rivestimenti in massi sciolti. La sezione 8 è di riferimento per il tratto a valle del ponte ferroviario, mentre le sezioni 10 e 11 sono di riferimento per i tratti in corrispondenza delle immissioni del torrente Lavinia e del Vallone Buffardo.

La pendenza media del fondo è stata assunta pari a 0.02, mentre gli altri dati sono stati ricavati dal modello idraulico

Tabella 6 – Verifica delle protezioni al fondo

Sez.	Tirante [m]	Diametro massi [m]	Tensione agente [daN/m ²]	Tensione resistente [daN/m ²]	Coeff. di sicurezza
Sez_8	2.50	0.8	25.40	60.16	2.4
Sez_10	3.04	0.8	37.20	60.16	1.6
Sez_11	4.56	0.8	56.20	60.16	1.1

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>U.O. INFRASTRUTTURE SUD</p> <p>RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO</p>					
	<p>RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO</p>	<p>PROGETTO RS2S</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 78 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0002 003</p>	<p>REV. A</p>

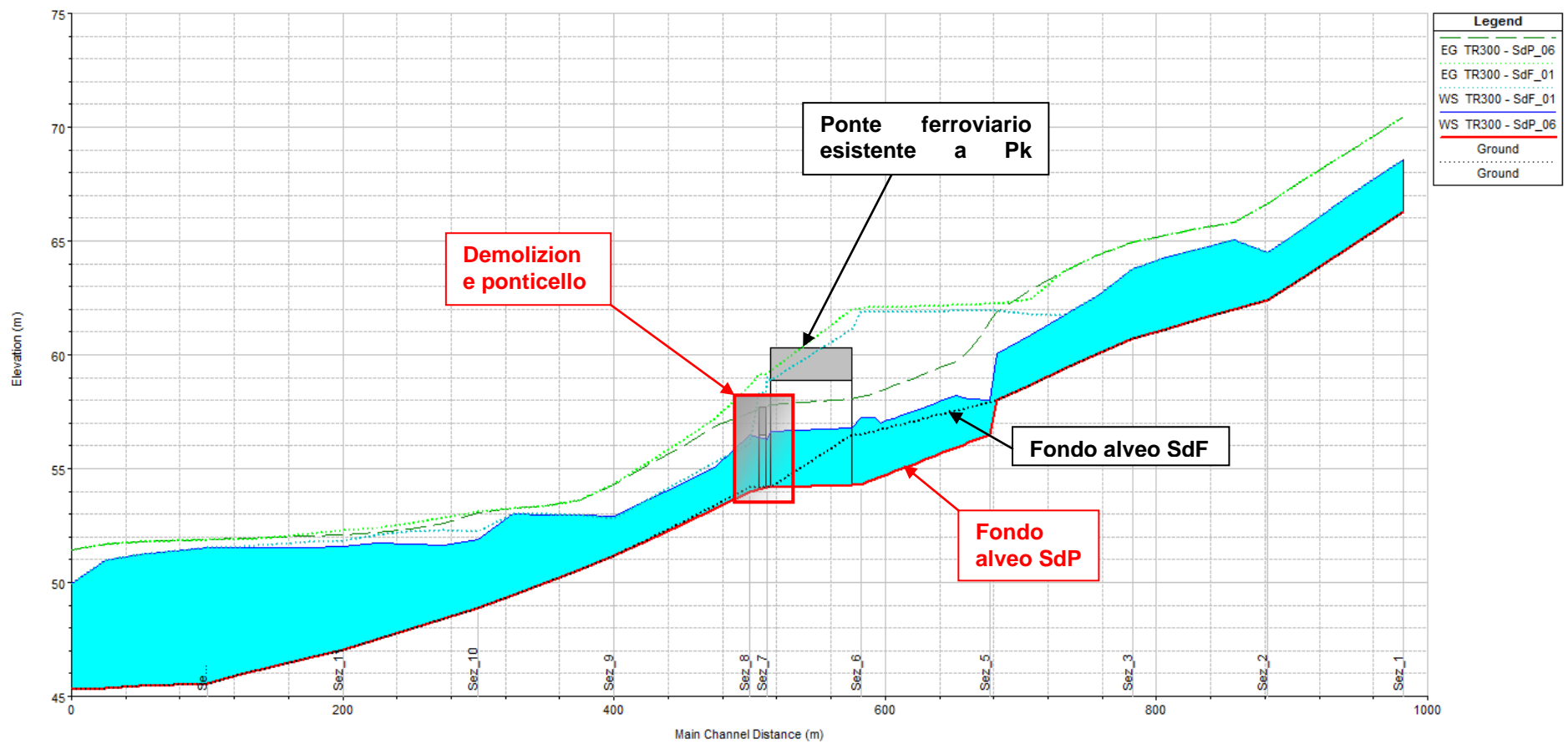



Figura 5 – Profilo idraulico del torrente delle Forche nello stato di progetto. Portata di progetto TR 300 anni.

	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. A	FOGLIO 17 di 51

3.4 Confronto tra stato di fatto e stato di progetto

Nella figura seguente viene riportato un confronto tra i profili idraulici nello stato di fatto (SdF) e nello stato di progetto (SdP), per l'evento di piena di progetto caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 300anni.

Si può osservare che i livelli idrometrici a monte del ponte diminuiscono significativamente per effetto delle opere di progetto. I livelli idrometrici a valle della ferrovia sostanzialmente non variano o diminuiscono leggermente.

Si può, dunque, concludere che gli interventi previsti diminuiscono la pericolosità idraulica nel tratto a monte dell'attraversamento ferroviario e non la modificano nel tratto a valle.

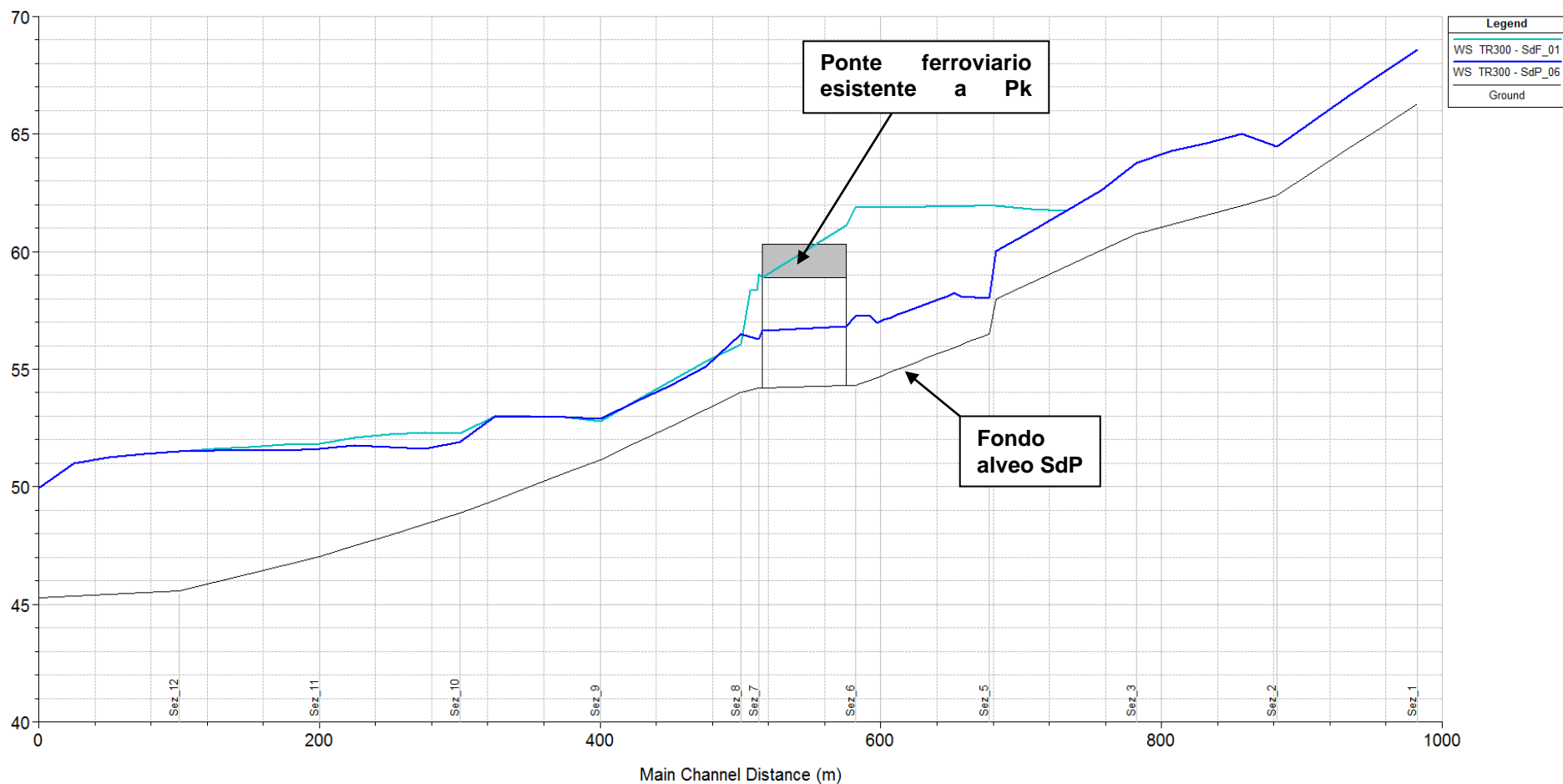



Figura 6 – Confronto profili idraulici del torrente delle Forche nello SdF (in azzurro) e nello SdP (in blu). Portata di progetto TR 300 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. A

4 STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL TORRENTE LAVINIA – PK 0+810

4.1 Dati utilizzati

4.1.1 *Dati geometrici*

La geometria del corso d'acqua nello stato di fatto è stata ricostruita a partire da un modello del terreno ricavato dal rilievo celerimetrico in scala 1:1.000, realizzato per la progettazione della ferrovia.

Per quanto riguarda il tombino esistente in corrispondenza dell'attraversamento della linea, la geometria è stata desunta dal progetto storico della ferrovia.

Come per il torrente delle Forche, anche per il torrente Lavinia andrà eseguito un apposito rilievo topografico del corso d'acqua oggetto di intervento e dei manufatti esistenti (muri, ponti, fondazioni, ecc.) nelle successive fasi della progettazione.

La geometria delle sezioni e delle opere esistenti è stata inserita nel modello mediante la definizione delle coppie di punti progressiva - quota e, nel caso dei manufatti idraulici, dell'ingombro in alveo e dei dati caratteristici, così come richiesto dal codice di calcolo.

Il tratto di corso d'acqua modellato presenta le seguenti caratteristiche:

- lunghezza complessiva del tratto modellato: L=388 m circa, a partire da una distanza di circa 210 m a monte dell'attraversamento ferroviario esistente e fino all'immissione nel torrente delle Forche, circa 60 m a valle della ferrovia;
- n.8 sezioni trasversali del corso d'acqua e sezioni interpolate ogni 10m circa;
- tombino esistente di larghezza 3 m, altezza 4.5m, lunghezza 115 m, quota di scorrimento all'imbocco pari a 55.35 m s.m.m. e quota di scorrimento allo sbocco pari a 52.09 m s.m.m.;
- quota piano del ferro in corrispondenza del tombino esistente pari a 61 m s.m.m.

Le caratteristiche geometriche sopra descritte e l'ubicazione planimetrica delle sezioni e dei manufatti sono rappresentate negli elaborati grafici cod. RS2S 01 D 78 P7 ID0002 002 A e cod. RS2S 01 D 78 FZ ID0002 003 A.

4.1.2 *Scabrezza*

Sebbene l'alveo presenti un tracciato abbastanza regolare, in considerazione del pessimo stato di manutenzione riscontrato nel corso di sopralluoghi si è assunto un coefficiente di scabrezza di Manning n pari a $0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (Tabella 2).

4.1.3 *Portate*

La portata di progetto, per quanto detto al §2.2, è quella caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni e risulta pari a $63.69 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.1.4 Condizioni al contorno

La simulazione idraulica è stata effettuata imponendo un regime di deflusso “mixed flow” nel programma di calcolo, in modo che sia consentito il passaggio tra le varie condizioni di moto (corrente supercritica e subcritica).

Come condizione di monte è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza di moto uniforme, mentre come condizione di valle è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza idrica nel torrente delle Forche ottenuto dalle simulazioni idrauliche del cap.3.

4.2 Verifica del manufatto ferroviario nello stato di fatto

Nello stato di fatto l'alveo del corso d'acqua risulta caratterizzato da una sezione di forma sostanzialmente rettangolare, mediamente di larghezza pari a 5.0 m e profondità pari a circa 2.0 m.

La pendenza media del fondo è del 3.6%.

In Figura 7 è rappresentato il profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di fatto, per la portata di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni.

I risultati della simulazione sono riassunti in Tabella 7.

Tabella 7 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di fatto. $Q=63.69 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	64.80	66.71	68.29	5.57	1.3
Sez_2	63.50	66.06	67.32	4.97	1
Sez_3	61.80	64.16	65.61	5.34	1.11
Sez_4	59.80	62.04	63.66	5.63	1.21
Sez_5	58.00	60.87	61.85	4.38	0.83
Sez_6	55.35	61.32	61.54	2.12	0.28
Sez_7	50.60	53.61	55.08	5.39	1
Sez_8	48.90	52.66	53.37	3.73	0.62

Per l'evento di piena di progetto, risultano idraulicamente insufficienti sia la sezione dell'alveo, con conseguenti esondazioni, che l'opera (tombino) di attraversamento della linea ferroviaria.

E' stato, dunque, verificato che nello stato di fatto il torrente Lavinia è in grado di far defluire una portata massima pari a $18 \text{ m}^3/\text{s}$ nel tratto in esame (Figura 8). Con questo valore di portata, il tombino ferroviario esistente risulta idraulicamente sufficiente.


I risultati della simulazione dello stato di fatto con una portata di $18 \text{ m}^3/\text{s}$ sono riportati in Tabella 8.

Non rientrano, tuttavia, nell'ambito del presente progetto definitivo gli interventi di sistemazione del corso d'acqua. Dovendo, però, ipotizzare una futura sistemazione del torrente, dovrà essere predisposto un nuovo attraversamento della ferrovia che garantisca la sicurezza idraulica della stessa.

Nel successivo paragrafo, pertanto, vengono illustrati i risultati delle simulazioni idrauliche nello stato di progetto, che include sia un nuovo manufatto di attraversamento delle ferroviaria che una ipotetica sistemazione d'alveo a monte, non oggetto del presente intervento.

Tabella 8 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di fatto. $Q=18.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	64.80	65.61	66.32	3.72	1.32
Sez_2	63.50	64.60	65.16	3.29	1.00
Sez_3	61.80	62.78	63.47	3.69	1.20
Sez_4	59.80	60.73	61.50	3.89	1.29
Sez_5	58.00	58.96	59.68	3.74	1.23
Sez_6	55.35	57.95	58.05	1.39	0.28
Sez_7	50.60	52.68	52.93	2.22	0.50
Sez_8	48.90	52.66	52.72	1.05	0.17

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO</p>					
	<p>RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO</p>	<p>PROGETTO RS2S</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 78 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0002 003</p>	<p>REV. A</p>

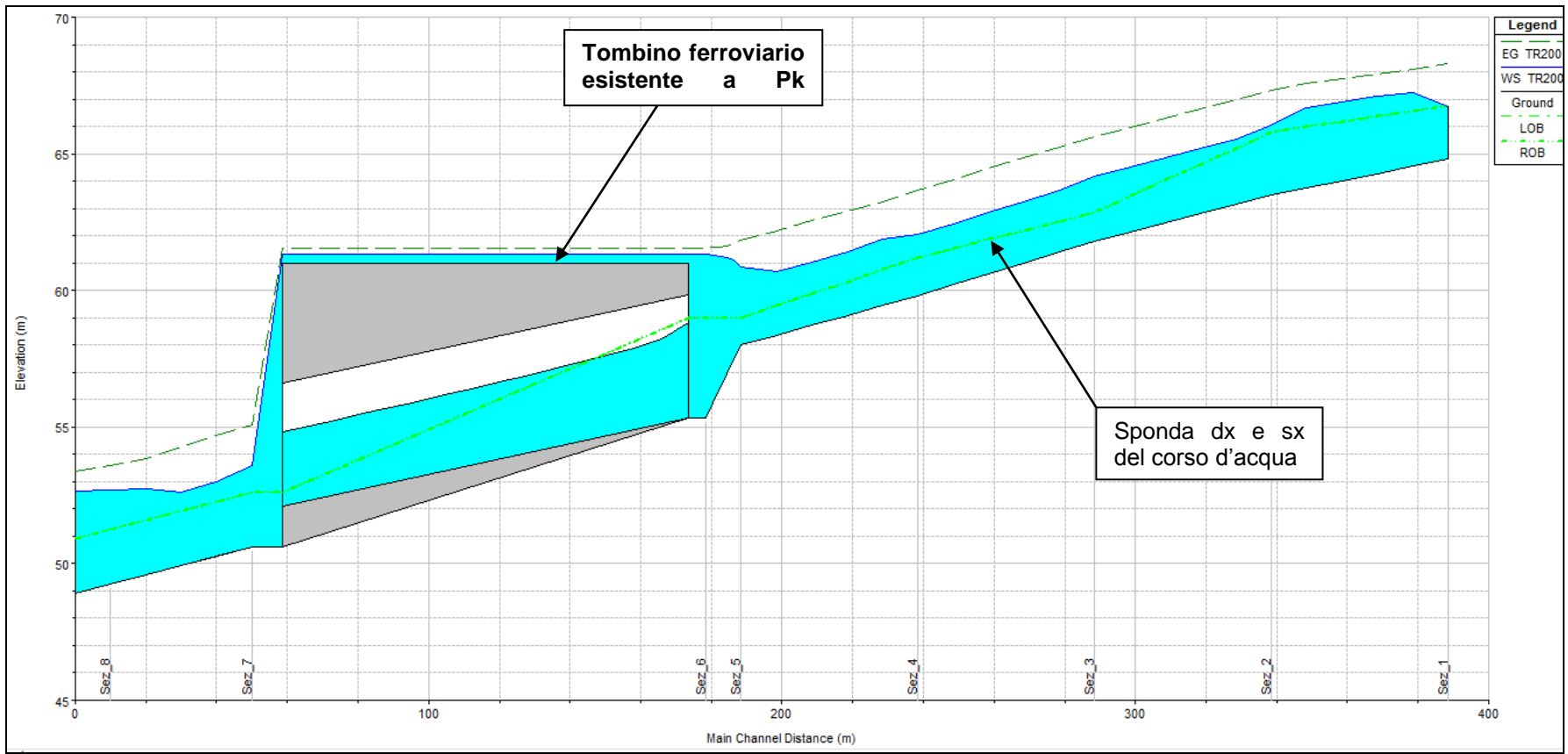


Figura 7 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di fatto. Portata di progetto TR 200 anni.

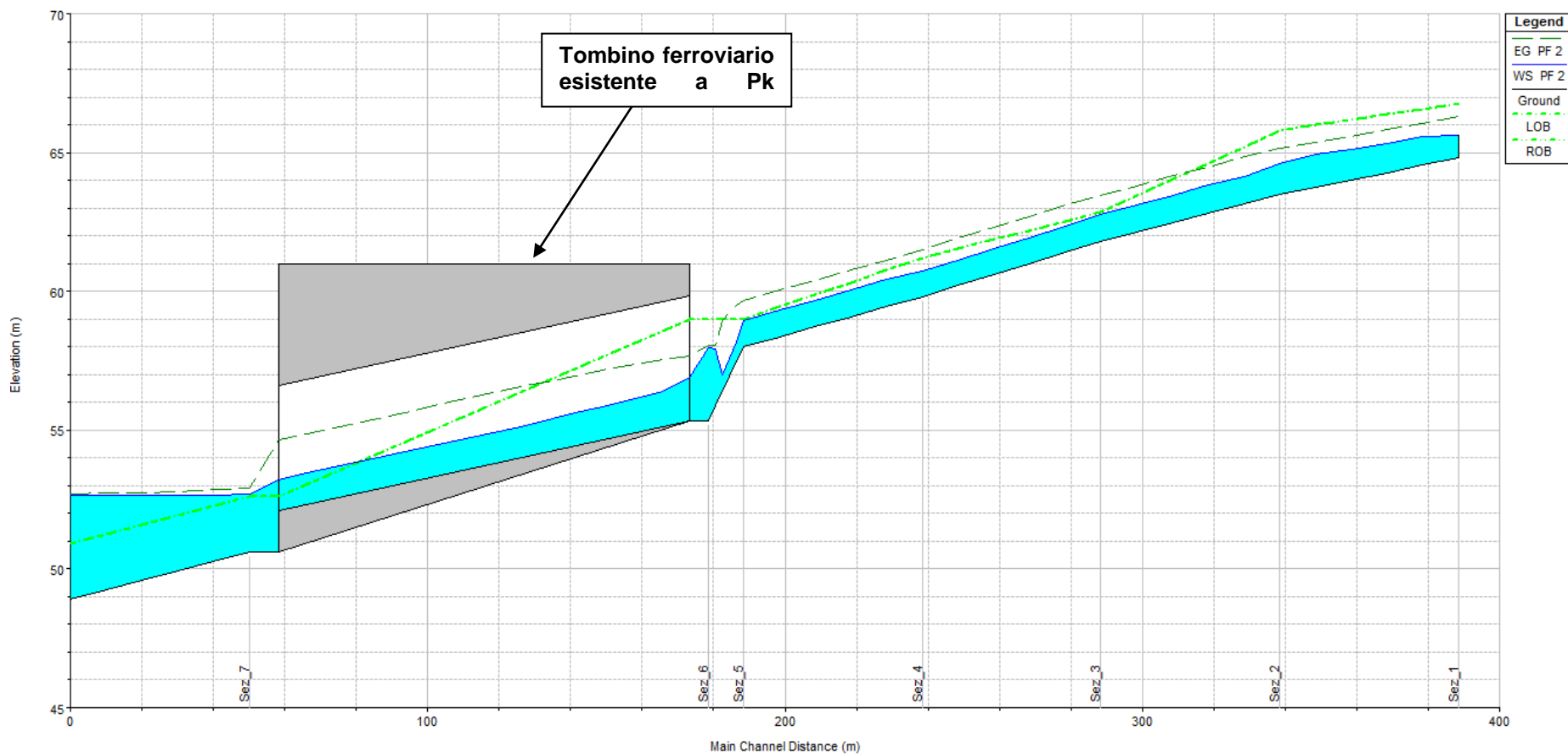



Figura 8 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di fatto per una portata pari a 18 m³/s.

	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. A

4.3 Verifica delle opere nello stato di progetto

Le opere di progetto consistono:

- nel raddoppio del manufatto di attraversamento della linea ferroviaria mediante un tombino idraulico di caratteristiche pari a quello esistente (altezza 4.5 m e larghezza 3.0 m), realizzato a sud, in adiacenza di quello storico;
- nell'allargamento della sezione dell'alveo a valle della ferrovia, che presenterà una larghezza di almeno 7.0 m fino all'immissione nel torrente delle Forche. La sezione di deflusso sarà contenuta entro muri, con la realizzazione di un nuovo muro in destra idraulica.

Come anticipato al paragrafo precedente, inoltre, si è ipotizzata, per le verifiche idrauliche che seguono, una sistemazione del corso d'acqua nel tratto a monte della ferrovia mediante lo scavo del fondo alveo per una profondità di circa 1.5 m.


I risultati delle simulazioni nello stato di progetto sono riassunti in Tabella 9 e il profilo idraulico è rappresentato in Figura 9.

In corrispondenza dell'imbocco dei tombini idraulici, il livello idrico risulta pari a 56.61 m s.m.m. con un franco idraulico rispetto alla quota di intradosso del manufatto pari a 3.24 m.

Il grado di riempimento della sezione risulta circa del 30% e, quindi ben al di sotto del massimo richiesto dal manuale di progettazione RFI pari a 70%.

Tabella 9 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di progetto.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	63.3	64.8	67.4	7.15	1.87
Sez_2	62	64.38	65.86	5.38	1.12
Sez_3	60.3	62.22	64.48	6.65	1.54
Sez_4	58.3	60.1	62.7	7.15	1.71
Sez_5	56.6	58.45	60.89	6.93	1.64
Sez_6	55.35	56.43	60.21	8.61	2.65
Sez_7	50.6	51.58	56.18	9.51	3.07
Sez_8	48.9	52.66	52.97	2.46	0.41

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO</p>					
	<p>RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO</p>	<p>PROGETTO RS2S</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 78 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0002 003</p>	<p>REV. A</p>

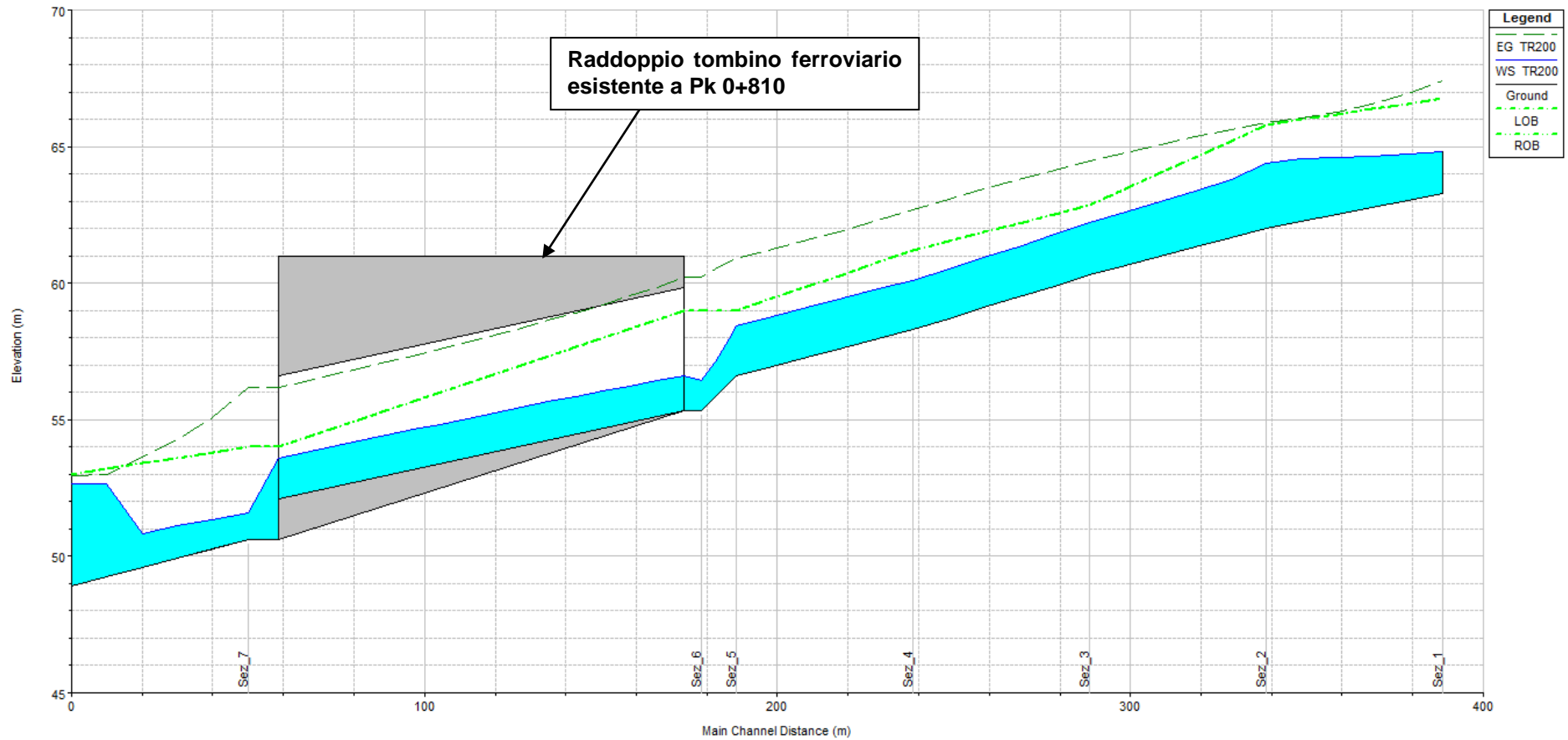



Figura 9 – Profilo idraulico del torrente Lavinia nello stato di progetto. Portata di progetto TR 200 anni.

	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. B

4.3.1 Altri interventi di sistemazione del torrente Lavinia

In considerazione delle elevate velocità di progetto (cfr. Tabella 9), in corrispondenza dello sbocco dei tombini di attraversamento della linea ferroviaria è previsto il rivestimento del fondo del torrente Lavinia in massi cementati di diametri Ø50 cm. Il rivestimento si estende fino all'immissione nel torrente delle Forche.

La sezione tipo del rivestimento è rappresentata in Figura 10.

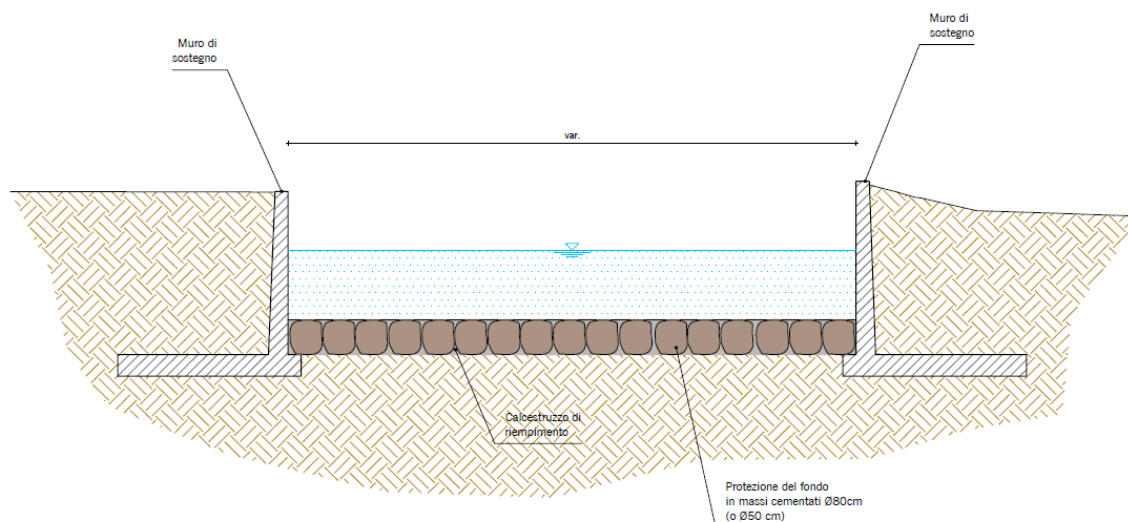


Figura 10 – Sezione tipo di rivestimento del fondo del torrente Lavinia.

5 STUDIO IDRAULICO DELL'INTERFERENZA CON IL VALLONE BUFFARDO – PK 1+140

Il Vallone Buffardo viene intercettato dalle opere di progetto alla Pk 1+140 in un tratto in cui la ferrovia si trova in trincea.

Per mantenere, dunque, la continuità idraulica tra monte e valle della ferrovia è necessaria una deviazione planimetrica del vallone.

La soluzione di progetto prevede, quindi, di intercettare l'asse del vallone circa 40.0 m a nord della sommità della trincea ferroviaria, per deviarlo verso sud-est. In tale tratto, dello sviluppo di circa 40.0 m, il canale risulta incassato rispetto alla quota del p.c. ed è caratterizzato da una sezione a U in c.a. di larghezza pari a 5.0 m e altezza minima pari a 2.5 m (Figura 11).

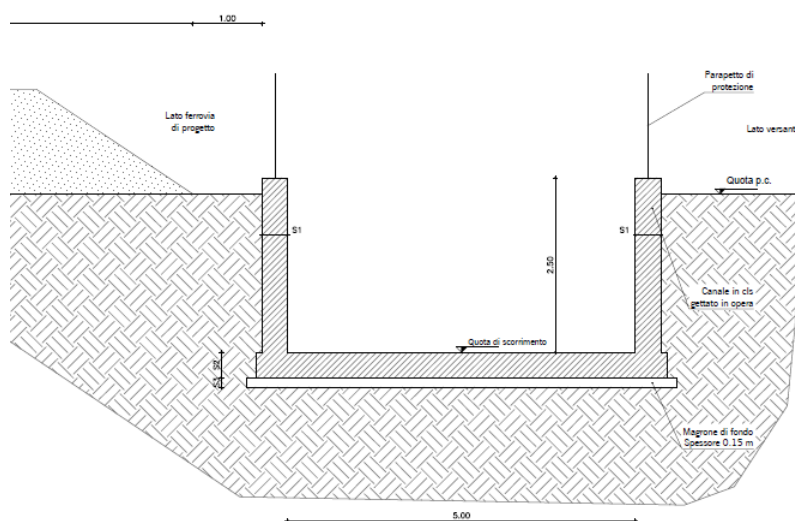


Figura 11 – Sezione tipo a "U" Vallone Buffardo.

A monte della ferrovia viene realizzato un manufatto di salto di altezza pari a circa 7.0 m e il canale prosegue interrato al di sotto della linea di progetto in uno scatolare in c.a. di dimensione 5.0x2.5 m (Figura 12). Lo scatolare è caratterizzato da tre tratte di pendenza rispettivamente pari a 1.8%, 2.0% e 2.9% e sottopassa anche via Civi e la linea ferroviaria esistente. Lo sbocco del manufatto è previsto a valle della linea esistente in corrispondenza del manufatto storico. Il corso d'acqua prosegue, dunque, a cielo aperto fino ad immettersi nel torrente delle Forche.

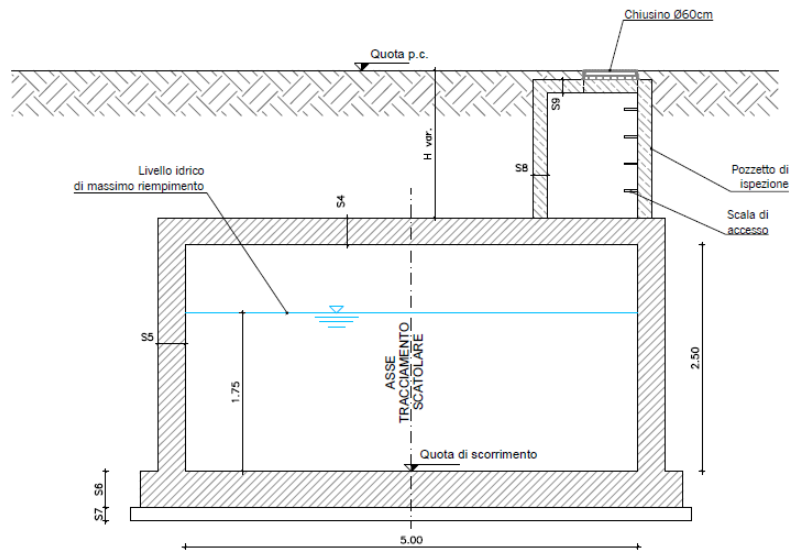


Figura 12 – Sezione tipo scatolare Vallone Buffardo.

La planimetria di progetto è rappresentata nell'elaborato grafico cod. RS2S01R78P7ID0002003A, di cui si riporta in Figura 13 uno stralcio.

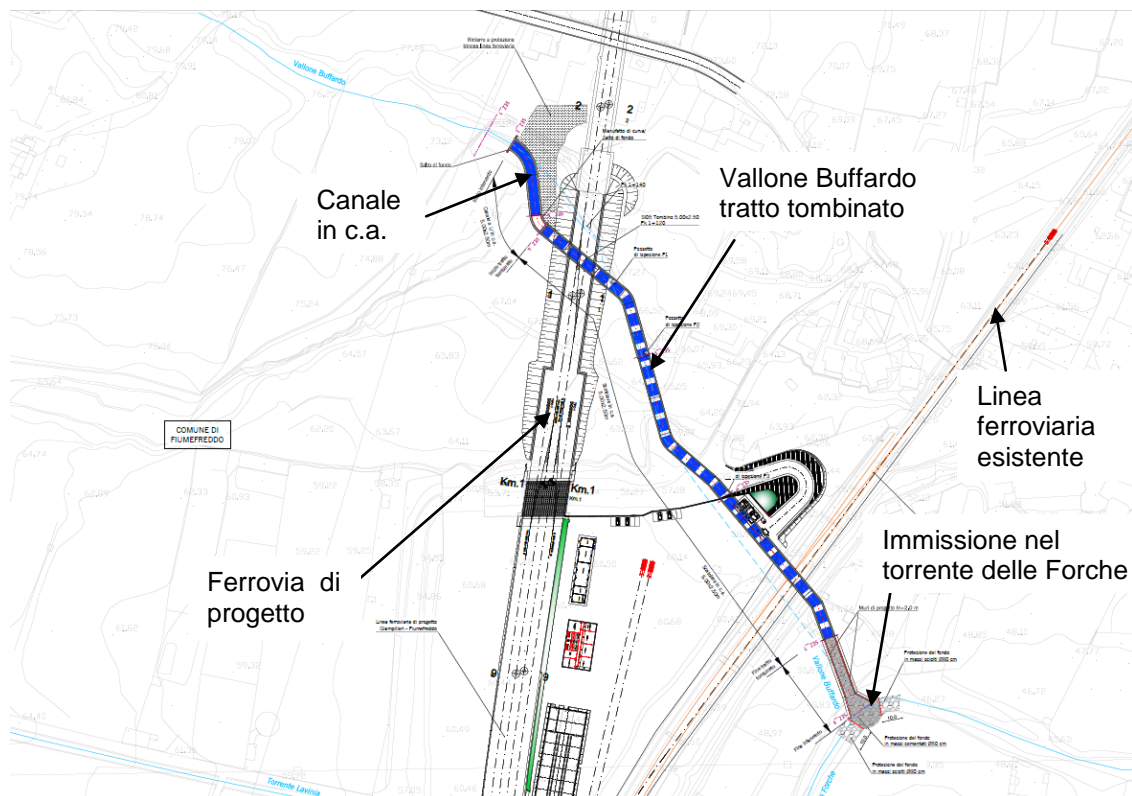



Figura 13 – Stralcio planimetrico progetto Vallone Buffardo.

Date le elevate velocità in gioco (confronta par. successivo), a valle dello sbocco dopo la ferrovia esistente e fino all'immissione nel torrente delle Forche, è previsto un rivestimento del fondo in massi cementati Ø50 cm.

	U.O. INFRASTRUTTURE SUD					
	RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI – FIUMEFREDDO Lotto 1: Fiumefreddo (i) – Taormina (i) / Letojanni					
RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. B	FOGLIO 29 di 51

5.1 Verifica del dimensionamento della soluzione di progetto

La soluzione di progetto è stata anche in questo caso verificata con il modello idraulico HEC-RAS.

5.1.1 Dati geometrici

Il tratto di corso d'acqua modellato presenta le seguenti caratteristiche:

- lunghezza complessiva del tratto modellato: $L=340$ m circa, a partire da una distanza di circa 40 m a monte della trincea ferroviaria di progetto e fino all'immissione nel torrente delle Forche, circa 40 m a valle della ferrovia esistente;
- n.8 sezioni trasversali del corso d'acqua e sezioni interpolate ogni 10m circa;
- canale in c.a. di larghezza 5.0 e altezza 2.5 m.

Le caratteristiche geometriche sopra descritte e l'ubicazione planimetrica delle sezioni e dei manufatti sono rappresentate negli elaborati grafici cod. RS2S 01 D 78 P7 ID0002 003 A e cod. RS2S 01 D 78 FZ ID0002 004 A.

5.1.2 Scabrezza

Trattandosi di un canale regolare in c.a. si è assunto un coefficiente di scabrezza di Manning n pari a $0.02 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

5.1.3 Portate

La portata di progetto, per quanto detto al §2.2, è quella caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni e risulta pari a $61.58 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.1.4 Condizioni al contorno

La simulazione idraulica è stata effettuata imponendo un regime di deflusso "mixed flow" nel programma di calcolo, in modo che sia consentito il passaggio tra le varie condizioni di moto (corrente supercritica e subcritica).


Come condizione di monte è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza di moto uniforme, mentre come condizione di valle è stato imposto un livello idrometrico corrispondente all'altezza idrica nel torrente delle Forche ottenuto dalle simulazioni idrauliche del cap.3.

5.1.5 Risultati nello SdP

I risultati della verifica idraulica sono riassunti in Tabella 10 e il profilo idraulico è rappresentato in Figura 14. Il tirante idrico massimo risulta pari a 1.75 m e, quindi, corrisponde a un grado di riempimento della sezione, alta 2.5 m, pari al 70%.

Tabella 10 – Torrente Lavinia. Risultati della simulazione nello stato di progetto.

Sezione	Fondo alveo [m s.m.m.]	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Linea dell'energia [m s.m.m.]	Velocità [m/s]	N. Froude
Sez_1	70.2	71.36	1.16	73.67	6.72	2.56
sez_calcolo	69.73	70.89	1.16	73.24	6.8	2.6
Sez_2	66.23	67.48	1.25	72.42	9.85	2.81
sez_calcolo	65.52	67.17	1.65	70.02	7.48	1.86
Sez_3	58.38	59.31	0.93	68.2	13.21	4.37
Sez_4	58.38	59.42	1.04	66.59	11.86	3.72
sez_calcolo	56.83	58.58	1.75	61.11	7.04	1.7
Sez_5	55.67	57.13	1.46	60.74	8.41	2.22
sez_calcolo	53.92	55.63	1.71	58.28	7.22	1.76
Sez_6	53.29	54.84	1.55	58.06	7.96	2.04
Sez_7	50.60	52.12	1.52	55.46	8.09	2.09
Sez_8	47.75	49.06	1.31	53.58	9.42	2.63

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
	RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. B

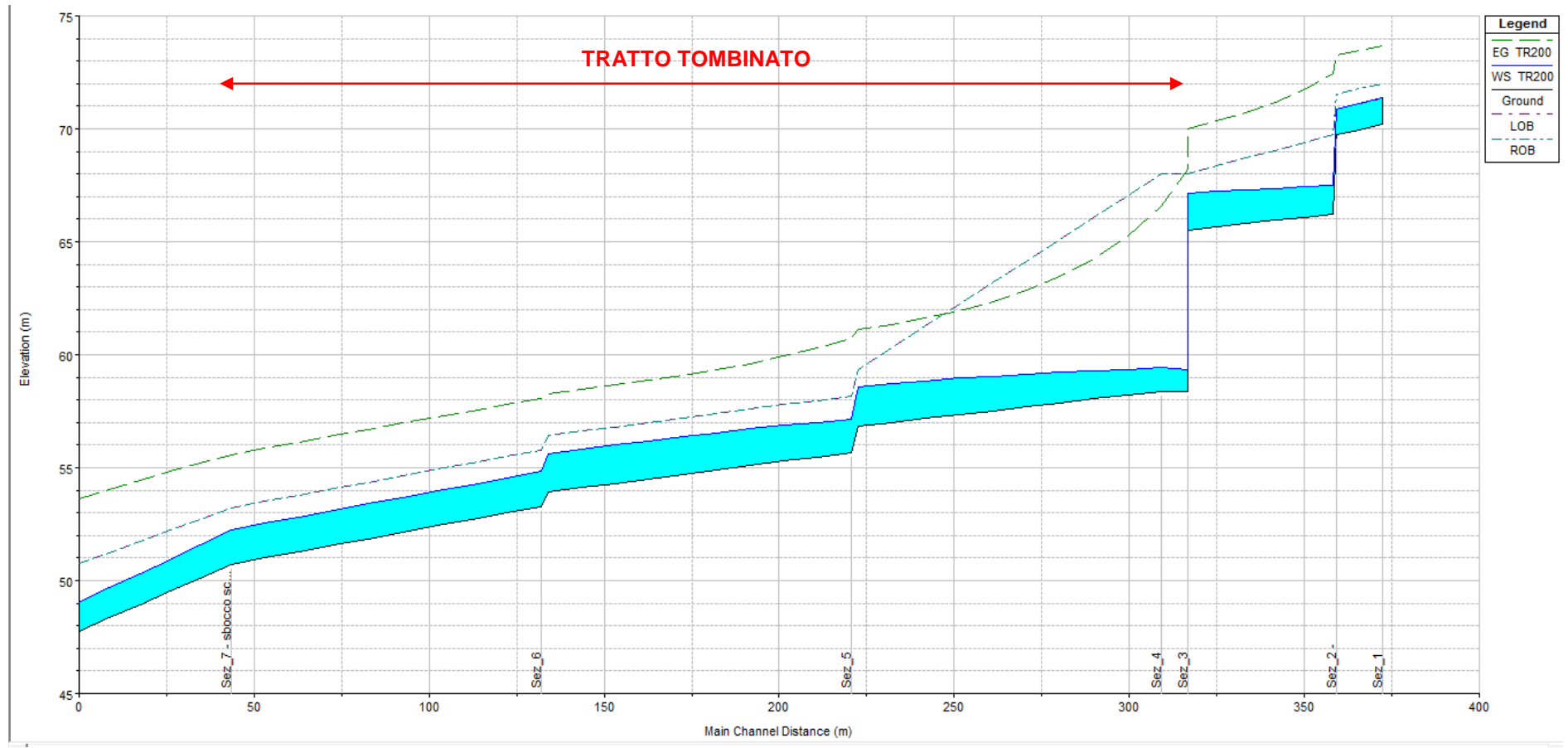



Figura 14 – Profilo idraulico del Vallone Buffardo nello stato di progetto. Portata di progetto TR 200 anni.

	U.O. INFRASTRUTTURE SUD RADDOPPIO DELLA TRATTA GIAMPILIERI - FIUMEFREDDO					
RELAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA MINORI ZONA FIUMEFREDDO	PROGETTO RS2S	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. B	FOGLIO 32 di 51

6 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI SECONDO IL PAI

La ferrovia in progetto, tesa al raddoppio della linea ferroviaria Messina – Catania nel tratto compreso tra la stazione di Fiumefreddo e di Giampilieri per una lunghezza complessiva di circa 42 km, si sviluppa su un territorio percorso da vie d'acqua a regime prevalentemente torrentizio, con diversi attraversamenti in viadotto.

Negli studi idraulici effettuati per l'intera infrastruttura si è valutata la compatibilità idraulica delle opere in progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara (095) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del Fiume Alcantara (096) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Area tra Fiume Alcantara e Fiumara d'Agrò (097) – Bacino idrografico della Fiumara d'Agrò ed area tra Fiumara d'Agrò e Torrente Savoca (098) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del T.te Savoca (099) – Bacino idrografico del T.te Pagliara e area intermedia T.te Pagliara e T.te Fiumedinisi (100) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del Torrente Fiumedinisi (101) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Area Territoriale tra il bacino del Torrente Fiumedinisi e Capo Peloro (102) – Relazione*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2006;
- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 2004;
- *Piano di Gestione Rischio Alluvioni della Regione Siciliana*, redatto dalla Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente nel 17/12/2015 ed in corso di approvazione da parte del

Consiglio dei Ministri.

In particolare si è analizzato, relativamente ai tre corsi d'acqua minori della zona di Fiumefreddo oggetto della presente relazione, il PAI dell'Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara (095), del quale si riporta in Figura 15 uno stralcio planimetrico.

Le aree evidenziate in grigio rappresentano dei "siti di attenzione" ovvero zone che in passato hanno subito inondazioni, ma per le quali non è stato possibile definire nell'ambito del PAI, in assenza di studi idraulici, il grado di pericolosità idraulica.

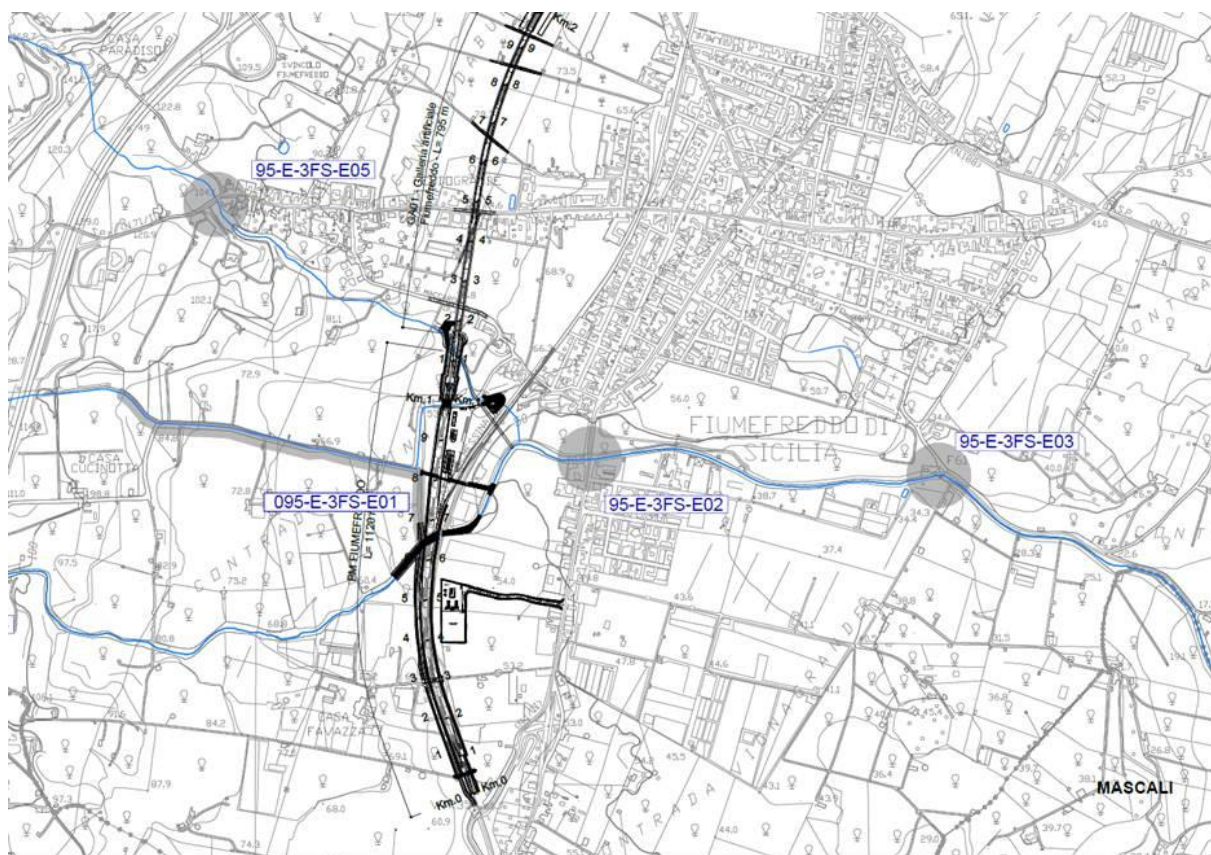


Figura 15 – Stralcio planimetria PAI Area Territoriale tra i bacini del F. Simeto e del F. Alcantara (095)

6.1 Analisi di compatibilità idraulica

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche riportate nei capitoli precedenti, sono stati verificati:

- i franchi minimi richiesti per il transito delle portate con periodo di ritorno di 200/300 anni, nel rispetto dei criteri ferroviari, in riferimento agli attraversamenti idraulici analizzati nella zona di Fiumefreddo;
- le protezioni delle fondazioni dei manufatti;

Sono, inoltre, stati definiti interventi in alveo utilizzando laddove possibile, opere di protezione di tipo "elastico" quali massi sciolti, gabbioni e materassi tipo Reno, che costituiscono un'affidabile protezione degli stessi dall'azione erosiva della corrente di piena.

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme di attuazione del PAI, in quanto:

- il potenziamento della linea ferroviaria in progetto risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- eventuali alternative alla soluzione di progetto comportano oneri tecnici, finanziari ed ambientali difficilmente sostenibili;
- l'intervento proposto è tale da non aggravare la funzionalità idraulica dell'area;
- gli interventi non aumentano il livello di rischio idraulico non comportando significativo ostacolo al deflusso o riduzione della capacità di invaso delle aree interessate;
- le opere di progetto non precludono la possibilità di eliminare le cause che determinano le attuali condizioni di rischio;
- gli interventi di deviazione presenti in progetto ripropongono le sezioni attuali dei canali e le opere di attraversamento non creano restringimenti e rigurgiti.

Inoltre, come si evidenzia dalle tavole di progetto e dall'analisi di sintesi sviluppata nei paragrafi precedenti, le opere in progetto:

- non aumentano l'estensione delle aree di esondazione e non aumentano, quindi, il rischio idraulico;
- non modificano significativamente i livelli idrici rispetto alla configurazione ante operam.

Con riferimento alle verifiche idrauliche effettuate, sintetizzate nelle tabelle dei paragrafi precedenti e negli elaborati grafici dove sono riportate le sezioni di calcolo con i relativi livelli idrici ed energetici post operam per le portate con tempo di ritorno di progetto, in corrispondenza dei vari attraversamenti si evidenziano franchi sufficientemente cautelativi.

Alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione del profilo idrico nella situazione attuale e di progetto è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS 4.1.0 River Analysis System del gennaio 2010, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, i cui fondamenti concettuali sono riportati in seguito.

Caratteristiche del modello matematico

Di seguito vengono esposti i fondamenti teorici alla base della modellazione idraulica monodimensionale, effettuata mediante il codice di calcolo HEC-RAS RIVER ANALYSYS SYSTEM versione 4.1.0 del gennaio 2010, utilizzata per il calcolo dei livelli di piena e conseguenti aree d'esondazione.

La determinazione del livello del pelo libero in ogni sezione è computato, nel caso di correnti lente, a partire dalla sezione di valle, risolvendo per via iterativa l'equazione dell'energia, ossia:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dove: Y1 e Y2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z1 e Z2 rappresentano rispettivamente le elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V1 e V2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte, α_1 e α_2 i rispettivi coefficienti di Coriolis, g l'accelerazione di gravità e h_e le perdite di energia tra le due sezioni.

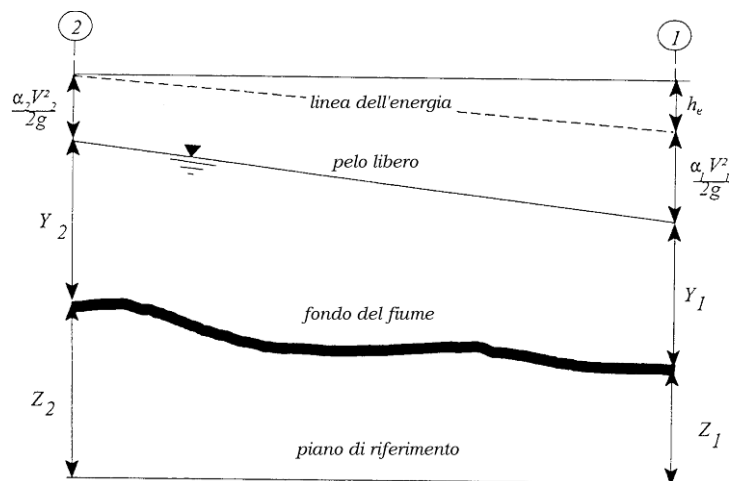


Figura 16 : Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 16 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (1).

Le perdite di energia complessive h_e tra le due sezioni sono dovute alle perdite continue ed a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

$$h_e = L\bar{J} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove, con L è indicata la distanza tra le due sezioni, con \bar{J} le perdite di carico medie distribuite tra le due sezioni mentre il C correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni.

Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning, ossia:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (3)$$

dove: Q rappresenta la portata, A l'area bagnata, R_h il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza secondo Manning e J le perdite di energia per unità di lunghezza.

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 17).

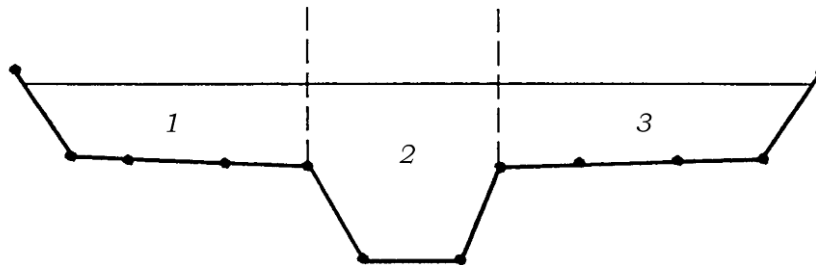


Figura 17: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 17 indicata con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte i-esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning :

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_{h,i}^{2/3} \quad (4)$$

Calcolata la capacità di portata per ogni singola parte in cui è stata suddivisa la sezione, la perdita di carico per unità di lunghezza J risulta pari a:

$$J = \left(\frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2 \quad (5)$$

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che, per la costanza di J, la portata di ogni singola area $Q_i = K_i \sqrt{J}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale $Q = \sum_i Q_i$.

Calcolata la perdita di carico in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 la pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni è fornita dalla seguente equazione:

$$\bar{J} = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (6)$$

Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale

a $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a Q^3 / A^2 .

Esprese le portate delle singole parti i-esime in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{\sum_i K_i^3}{\sum_i A_i^2} \right) \frac{\left(\sum_i A_i \right)^2}{\left(\sum_i K_i \right)^3} \quad (7)$$

dal cui calcolo è possibile ottenere α , il coefficiente di Coriolis.

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia h_e ed il coefficiente di Coriolis α la (1), associata all'equazione di continuità, permette di calcolare la quota del pelo libero, $Y_2 + Z_2$, nella sezione di monte a partire dal valore dell'energia totale, $Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g$ noto in corrispondenza della sezione di valle.

Essendo la (1) un'equazione non lineare, la soluzione è ottenuta con ciclo iterativo, a partire da una soluzione iniziale, approssimata, di primo tentativo.

Ogni volta che la corrente passa attraverso la condizione critica l'equazione dell'energia non viene considerata applicabile e viene utilizzata l'equazione del momento. All'interno di Hec-Ras l'equazione del momento può essere applicata ai seguenti problemi: formazione di un risalto idraulico, sovrizzo determinato dai ponti e intersezioni di corsi d'acqua.

L'equazione della conservazione del momento è definita partendo dalla seconda legge di Newton $\sum F_x = ma$ con x la direzione del moto, applicata ad un elemento di fluido racchiuso tra due generiche sezioni 1-2, Figura 18.

Per equilibrio si ottiene:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (8)$$

dove

P_i , risultante della pressione idrostatica;

W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;

F_f , forza d'attrito tra le due sezioni;

Q , portata complessiva;

ρ , densità del fluido;

ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

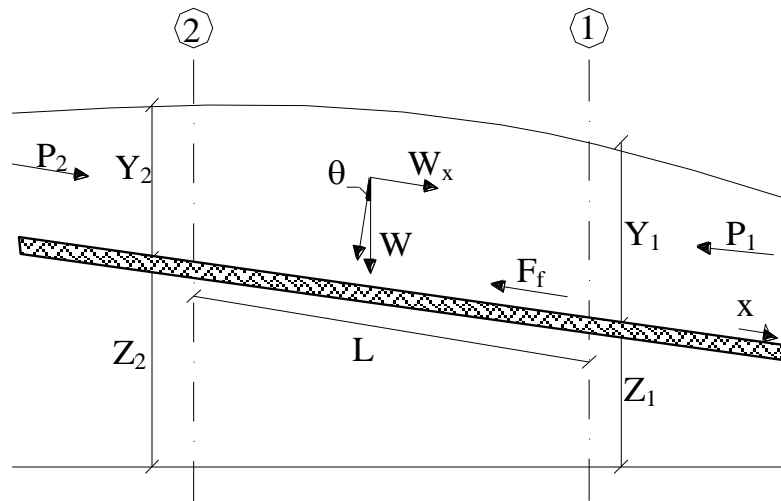


Figura 18: Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

La risultante della pressione idrostatica per pendenze dell'ordine di 1 a 10 è valutabile come:

$$P = \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \cdot \cos \theta \cong \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \quad (9)$$

potendo porre, per le pendenze in esame, $\cos \theta = 1$.

Nella relazione (9) γ corrisponde al peso specifico del fluido, A l'area della sezione ed \bar{Y} l'altezza del pelo libero nel baricentro della sezione.

La componente della forza peso, noto il peso specifico del fluido, la lunghezza L del tronco e l'area totale di fluido presente, è valutata nel modo seguente:

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \Rightarrow W_x = W \cdot \sin \theta \quad (10)$$

La forza d'attrito F_f è funzione delle caratteristiche del fluido come la densità dell'acqua, l'azione tangenziale che si esplica sul fondo e la cadente piezometrica J.

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma R J \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} J PL = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot J L \quad (11)$$

dove P ed R sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

La soluzione dell'equazione (8) è ottenuta per iterazioni successive.

Le equazioni (1) e (8) sono applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. E' sufficiente suddividere il tratto interessato in più sezioni e ripetere per la successione di esse l'analisi svolta per il tratto delimitato da sole due sezioni.

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 19 e Figura 20, si evidenziano 3 zone:

- una zona di contrazione in cui arriva la corrente;
- una zona intermedia interessata dalla presenza del ponte;
- una zona di espansione in cui esce la corrente.

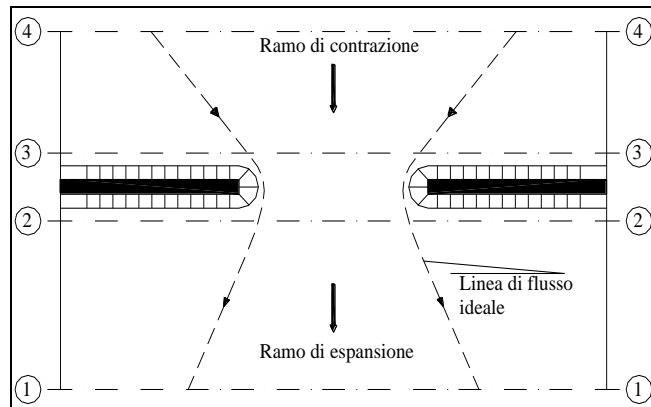


Figura 19: Pianta schematica di un attraversamento fluviale

L'applicazione dell'equazione della conservazione del momento tra le sezioni 1-2 e 3-4 è del tutto analoga alla situazione vista in precedenza mentre la presenza del ponte comporta termini nuovi nella valutazione dell'equilibrio tra le sezioni 2-BD (Step 1), BD-BU (Step 2) ed BU-3 (Step 3), rappresentate in Figura 20.

Step 1; definendo con A_{pi} l'area ostruita ed con Y_{pi} la distanza verticale che intercorre tra il baricentro delle pile e la superficie libera WS nella zona di valle, l'espressione del bilancio è scritta come:

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{g A_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} = \frac{Q_2^2 \beta_2}{g A_2} + A_2 Y_2 - A_{P_{BD}} Y_{P_{BD}} + F_f - W_x$$

Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{g A_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} + F_f - W_x = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{g A_{BU}} + A_{BU} Y_{BU}$$

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

$$\frac{Q_3^2 \beta_3}{g A_3} + A_3 Y_3 = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{g A_{BU}} + A_{BU} Y_{BU} - A_{P_{BU}} Y_{P_{BU}} + F_f - W_x + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{g A_3^2}$$

con C_D coefficiente di resistenza idrodinamica intorno alla pila ricavabile dalla Tabella 11 in funzione del tipo di pila presente.

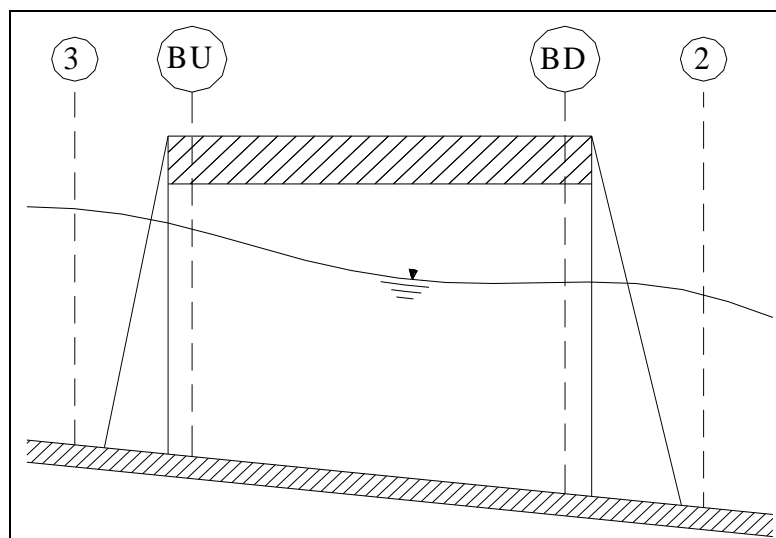


Figura 20: Sezione schematica di un attraversamento fluviale

TIPO DI PILA	C _D
Pila circolare	1.2
Pila allungata con punta semicircolare	1.33
Pila ellittica con rapporto assi 2 :1	0.6
Pila ellittica con rapporto assi 4 :1	0.32
Pila ellittica con rapporto assi 8 :1	0.29
Pila rettangolare	2.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 30^\circ$	1.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 60^\circ$	1.39
Pila triangolare con apertura $\alpha = 90^\circ$	1.60
Pila triangolare con apertura $\alpha = 120^\circ$	1.72

Tabella 11: Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

In alternativa all'equazione della conservazione del momento è utilizzata l'equazione di Yarnell che permette di valutare le perdite di energia localizzate in corrispondenza di un ponte.

Con riferimento alle Figura 19 e Figura 20, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono valutate nel modo seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15\alpha^4) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (12)$$

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K, coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, tab. 2; ω rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V₂ la velocità a valle della sezione.

TIPO DI PILA	K
Pila semicircolare in punta	0.9
Pila cilindrica doppia collegata con diaframma	0.95
Pila cilindrica doppia senza diaframma	1.05
Pila con punta triangolare $\alpha = 90^\circ$	1.05
Pile rettangolari	1.25
Dieci pile a cavalletto inclinate	2.5

Tabella 12: Coefficiente di Yarnell

Il modello elaborato prevede una corrente con un'altezza idrica minore dell'altezza di intradosso del ponte. Nel caso di correnti con altezza idrica superiore o eguale alla quota di intradosso dell'attraversamento fluviale, la valutazione delle perdite di energia è effettuata attraverso il calcolo della portata che attraversa la sezione. In particolare, in riferimento ad un caso generico, la portata è calcolata nel modo seguente:

$$Q = C_d A_1 \left[2g \left(Y_1 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (13)$$

Dove:

C_d , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 22, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

A_1 , area della luce nella sezione di monte;

Y_1 , altezza idrica della sezione di monte;

α , coefficiente correttivo cinetico;

V_1 , velocità della corrente a monte.

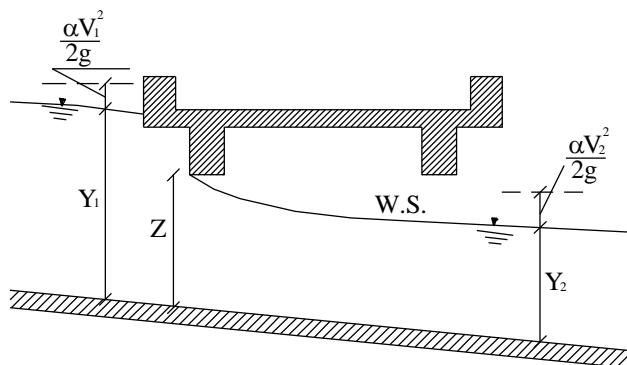


Figura 21: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

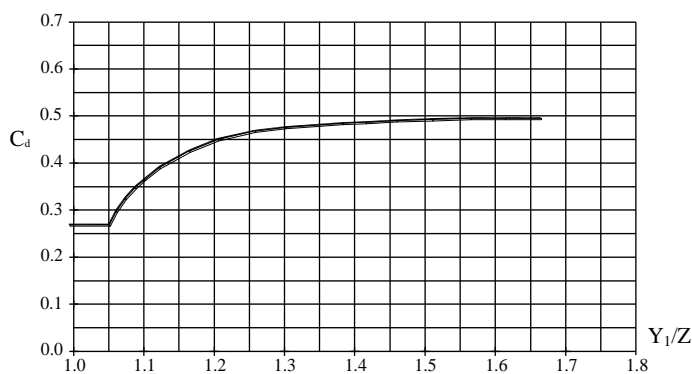


Figura 22: Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso C_d

Se il ponte è in pressione sia a monte che a valle l'equazione (10) è corretta nel modo seguente:

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

dove C assume il valore di 0.8 ed H coincide con la perdita di energia totale tra la sezione di monte e di valle del ponte come indicato in Figura 23.

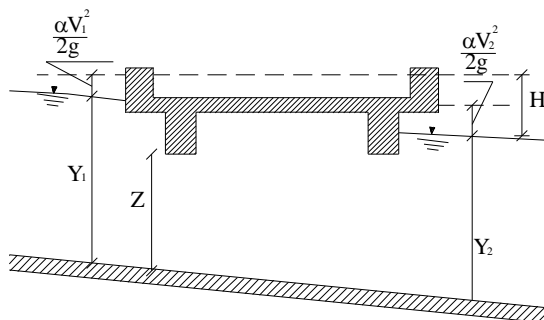


Figura 23: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 24, la portata si calcola nel modo seguente:

$$Q = CLH^{2/3}$$

con C si indica un coefficiente correttivo della portata, L la lunghezza del ponte ed H la differenza di energie tra monte e valle.

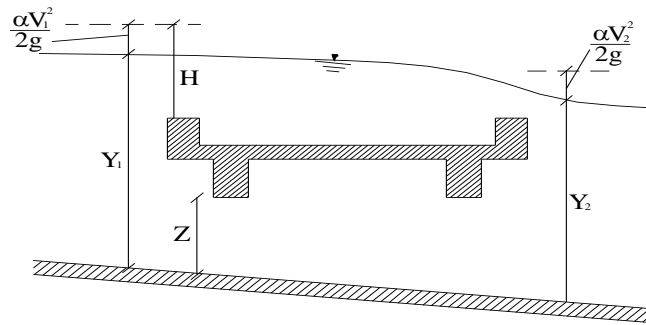


Figura 24: Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

L'analisi del deflusso attraverso un tombino si basa sul concetto di controllo all'imbocco o allo sbocco.

Il deflusso secondo il controllo all'imbocco si verifica quando la capacità di deflusso all'entrata del tombino è inferiore a quella interna. La sezione di controllo è collocata subito a valle dell'imbocco della struttura. L'altezza d'acqua passa per il livello critico e il regime di deflusso risulta essere rapido. L'energia richiesta a monte viene calcolata assumendo che l'imbocco del tombino agisca come uno stramazzo; di conseguenza il profilo che si ottiene secondo tale approccio dipende principalmente dalla geometria dell'entrata.

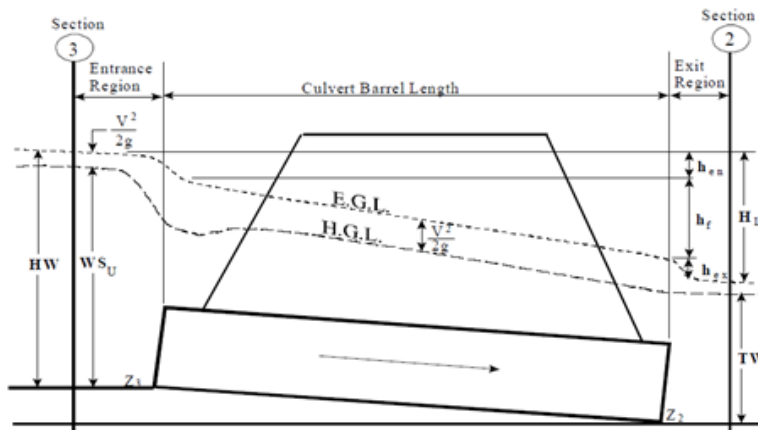


Figura 25: Schema di un tombino ponticello

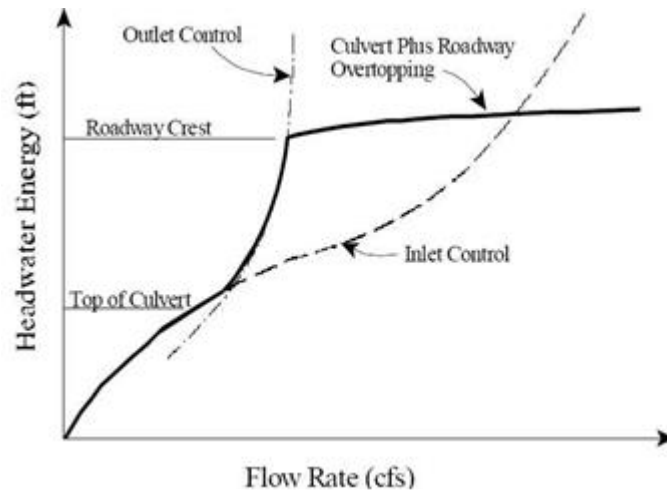


Figura 26: Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

Il deflusso secondo il controllo allo sbocco si verifica quando la capacità di deflusso viene limitata dalle condizioni che si instaurano a valle o dalle caratteristiche geometriche della struttura. In linea generale il livello di energia determinato a monte controlla il tipo di deflusso nel tombino, data la portata a monte e il livello a valle. Per il controllo allo sbocco l'energia di monte viene calcolata effettuando un bilancio di energia dalla sezione di valle a quella di monte. Il modulo considera le perdite di ingresso, quelle di uscita e quelle per attrito all'interno della struttura.

Per quanto riguarda il controllo all'imbocco, la capacità della struttura è limitata dall'apertura del tombino, piuttosto che dalle condizioni che si instaurano a valle. Per il calcolo del livello vengono utilizzate le equazioni ricavate dal National Bureau of Standards e pubblicate nel "Hydraulic Design of Highway Culverts" (FHWA, 1985). Le equazioni sono:

Deflusso libero:

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

Deflusso rigurgitato:

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

Dove:

HW_i livello dell'energia all'imbocco

D altezza interna del tombino

H_c altezza critica

Q portata

A area della sezione interna del tombino

S pendenza

K, M, c, Y costanti variabili con la geometria e le condizioni di ingresso.

Per il controllo allo sbocco l'energia richiesta a monte per consentire il deflusso deve essere computata considerando diverse condizioni nel tombino e a valle di esso. Hec-Ras usa l'equazione di Bernoulli per effettuare tale calcolo:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

dove:

- Y_3, Y_2 tirante d'acqua nelle sezioni di monte e di valle;
 Z_3, Z_2 quota del fondo del tombino a monte e a valle;
 a_3, a_2 coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;
 g accelerazione di gravità;
 H_L perdita di carico attraverso il tombino.

Nel caso in cui si verifichi moto in pressione all'interno del tombino, la perdita totale di energia viene calcolata secondo la:

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

Dove:

- h_{en} perdite in entrata
 h_f perdite per attrito
 h_{ex} perdite in uscita.

Le perdite per attrito vengono considerate mediante la formulazione di Manning:

$$h_f = L \left(\frac{Qn}{1.486AR^{3/2}} \right)^2$$

Dove:

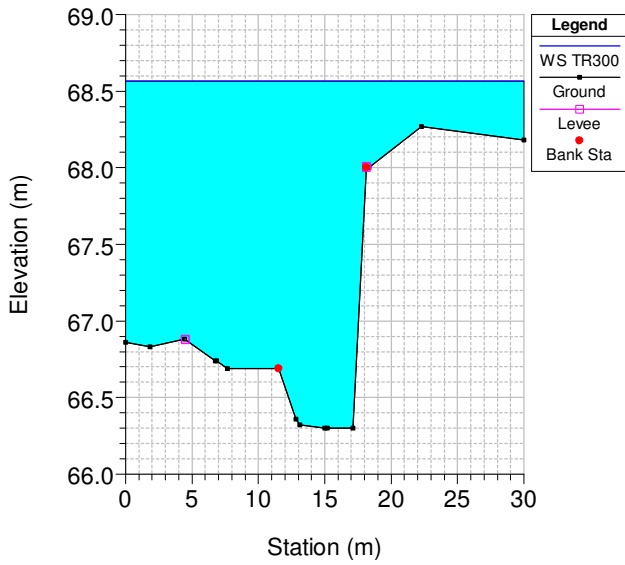
- h_f perdite per attrito
 L lunghezza del tombino
 Q portata
 n coefficiente di scabrezza di Manning
 A area della sezione di flusso
 R raggio idraulico.

Le perdite di ingresso sono calcolate come frazione del carico cinetico a monte, e analogamente per quelle di uscita, secondo il carico cinetico di valle. Tali coefficienti dipendono fortemente dalla geometria che caratterizza l'imbocco e lo sbocco dell'opera.

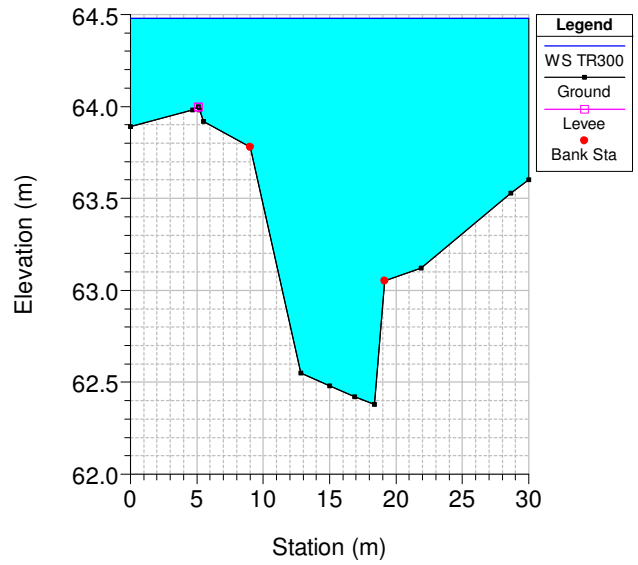
APPENDICE B – RISULTATI MODELLO HEC-RAS IN CORRISPONDENZA DELLE SEZIONI

TORRENTE DELLE FORCHE – Stato di fatto – $Q=161.72 \text{ m}^3/\text{s}$

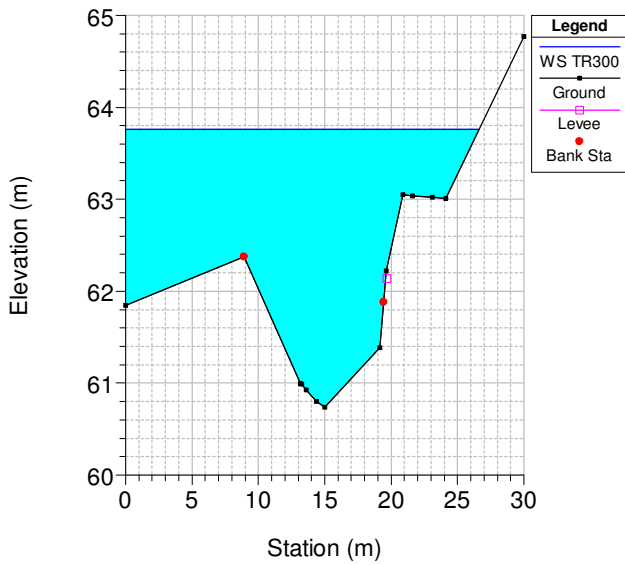
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 1000 Sez_1



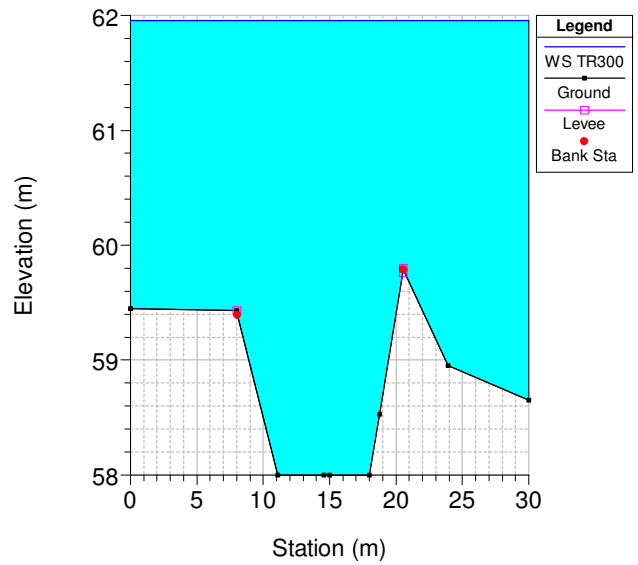
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 900 Sez_2



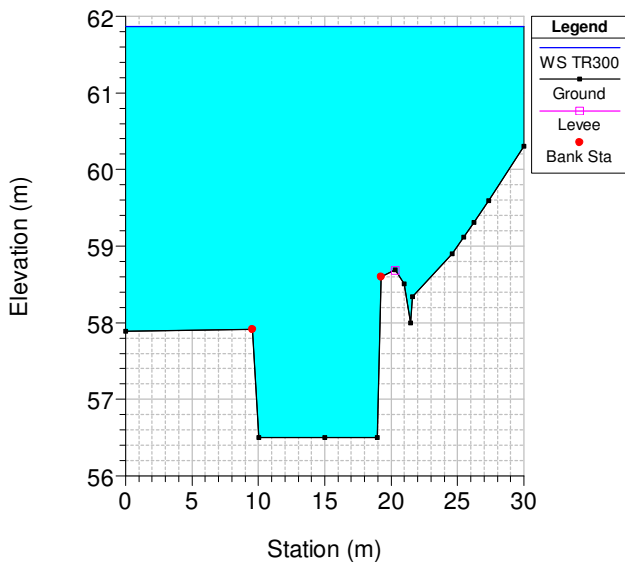
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 800 Sez_3



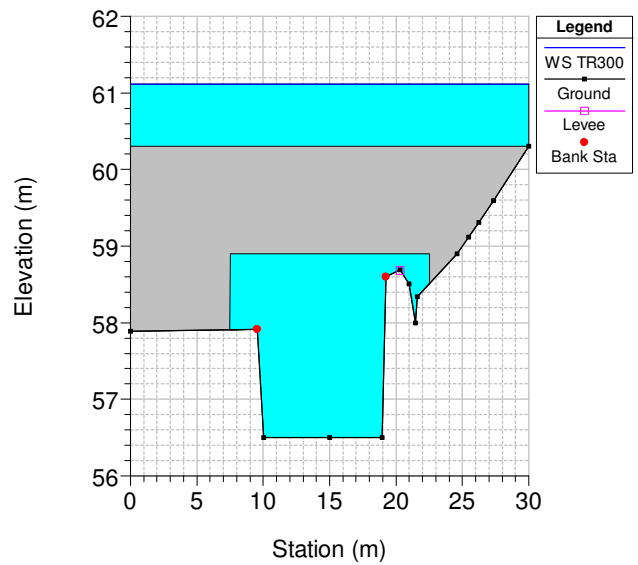
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 700 Sez_4



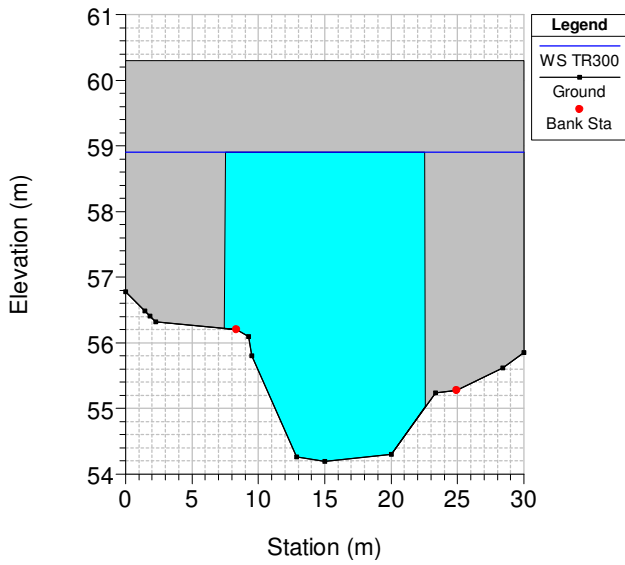
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 600 Sez_6



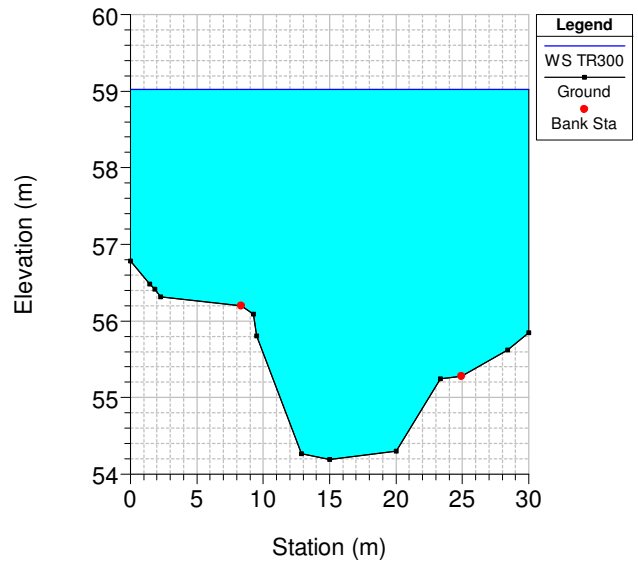
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 550 BR



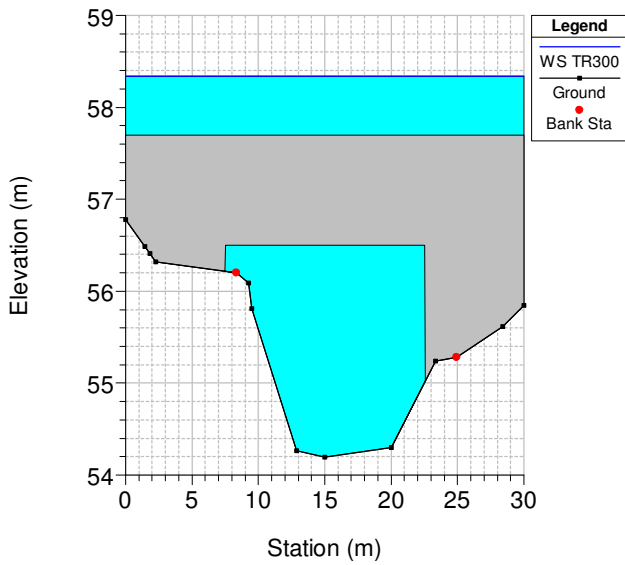
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 550 BR



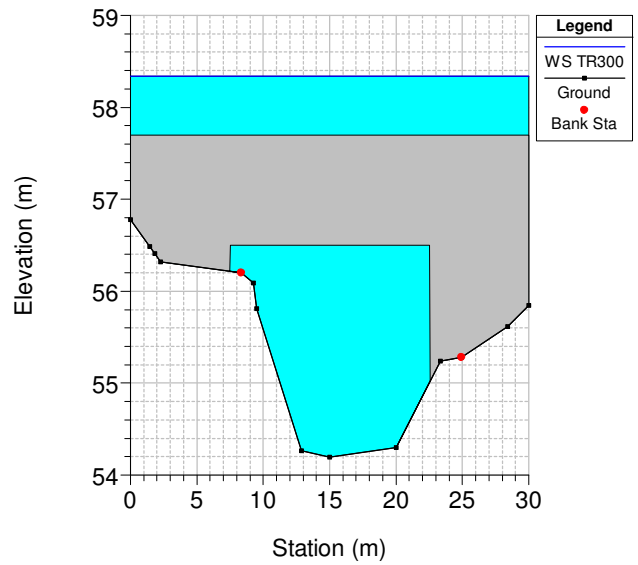
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 513 Sez_7



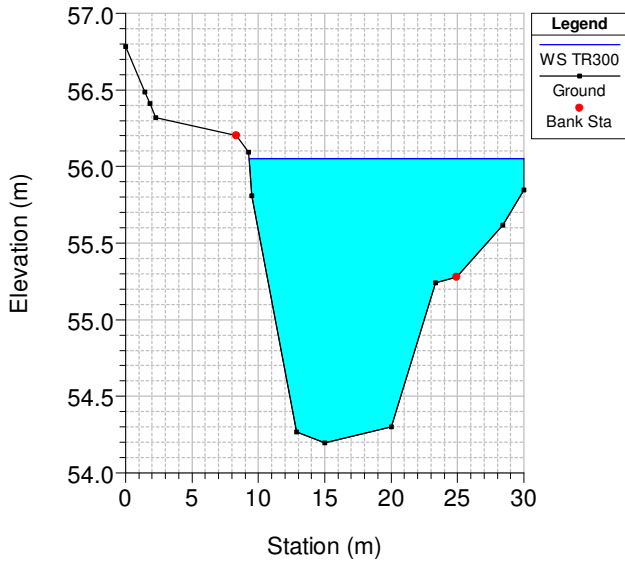
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 505 BR



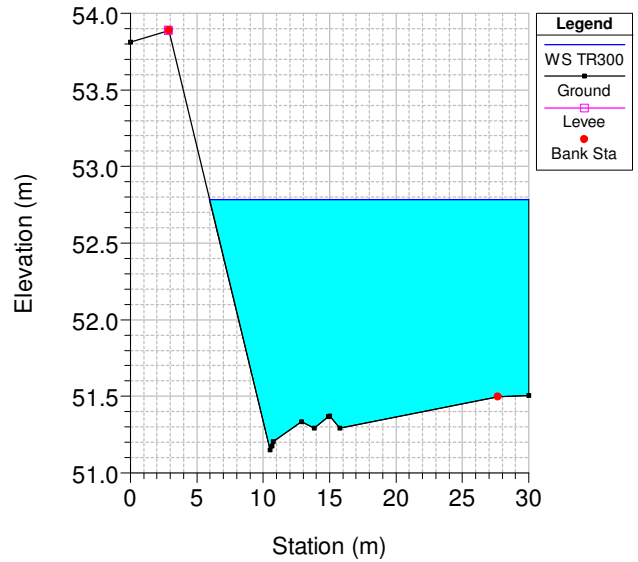
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 505 BR



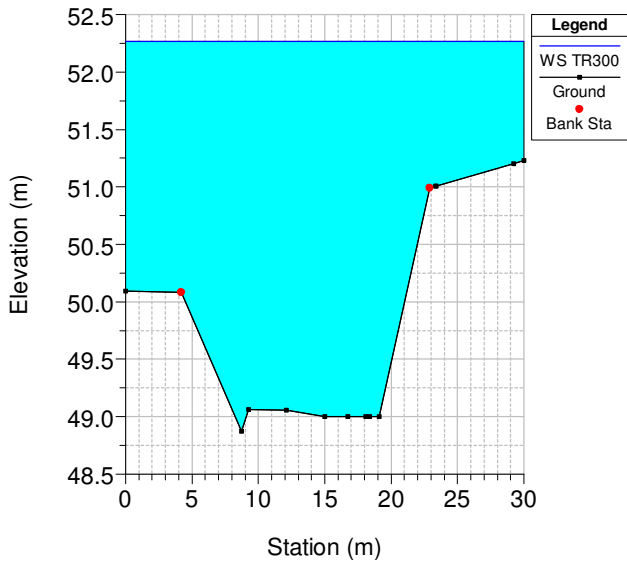
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 500 Sez_8



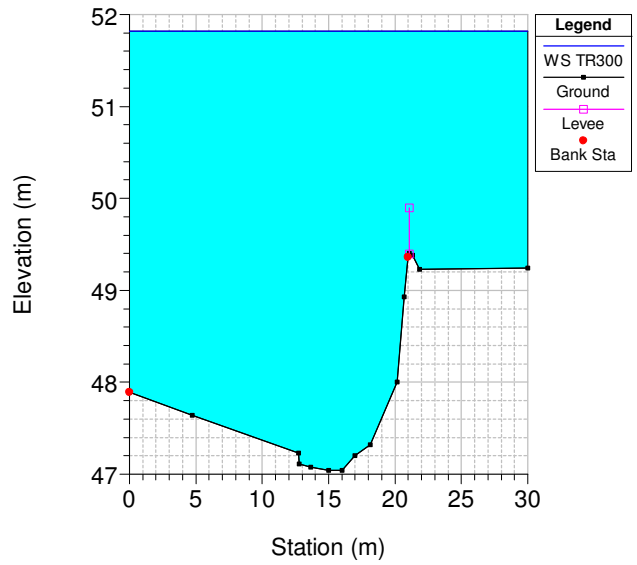
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 400 Sez_9



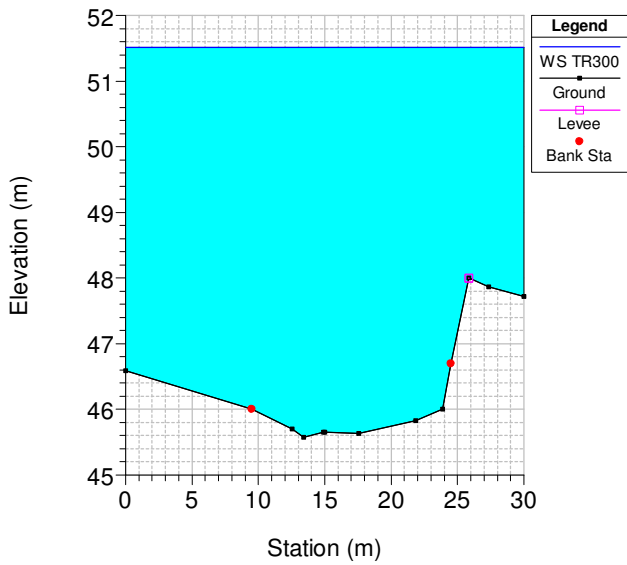
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 300 Sez_10



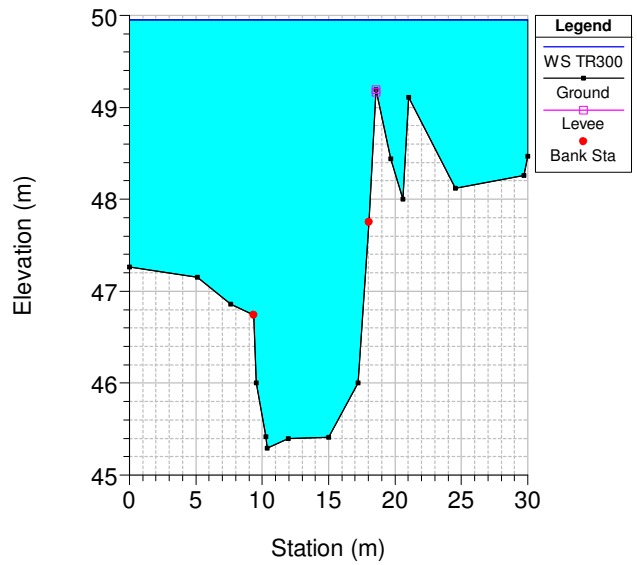
T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 200 Sez_11



T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 100 Sez_12

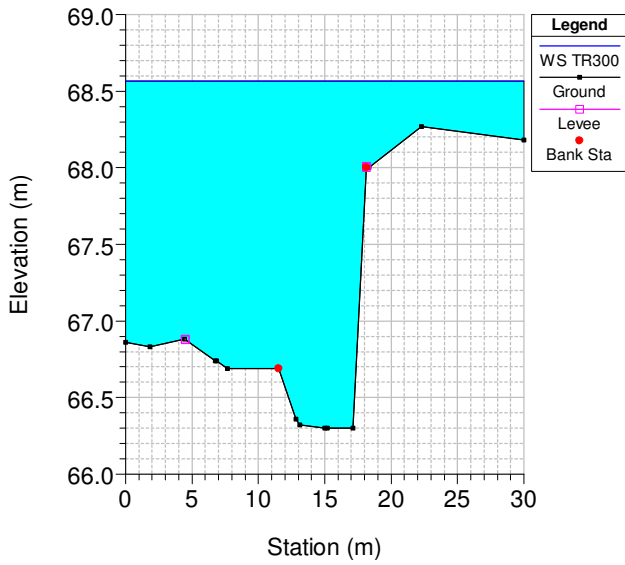


T_Forche Plan: SdFatto_01
 Geom: SdFatto_01 Flow: Flow
 RS = 0 Sez_13

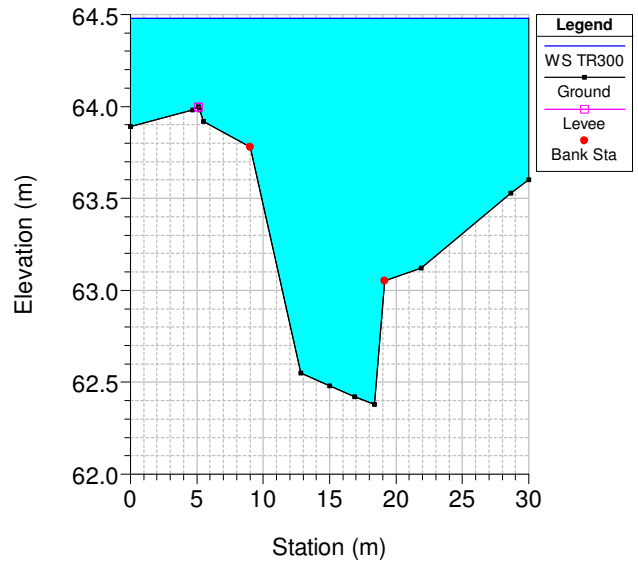


TORRENTE DELLE FORCHE – Stato di progetto – $Q=161.72 \text{ m}^3/\text{s}$

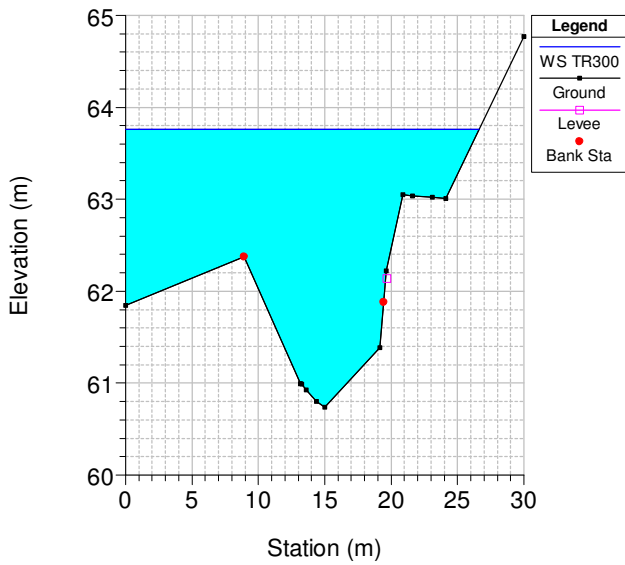
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 1000 Sez_1



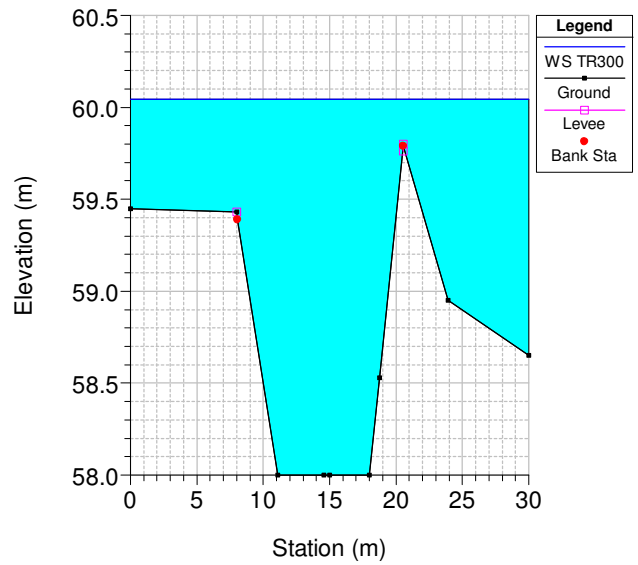
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 900 Sez_2



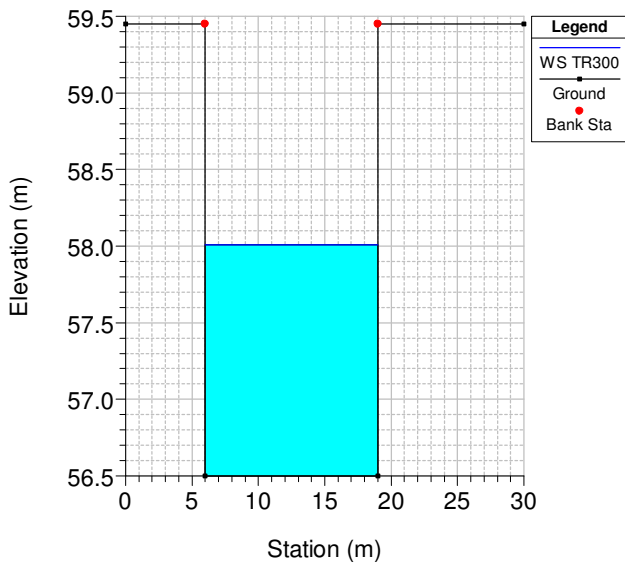
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 800 Sez_3



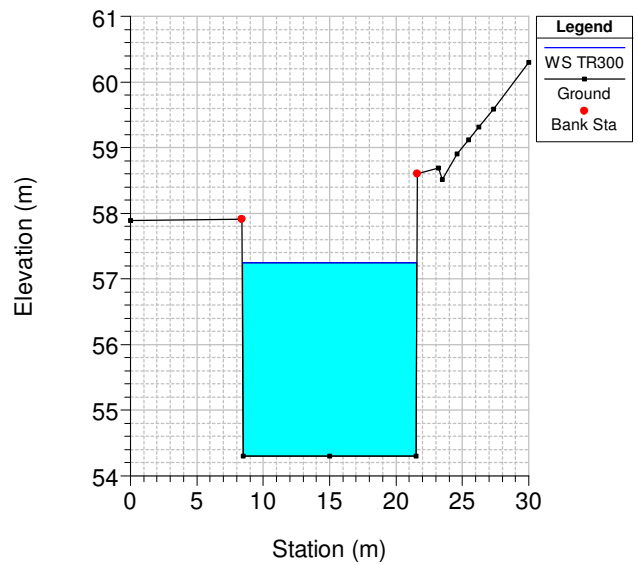
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 700 Sez_4



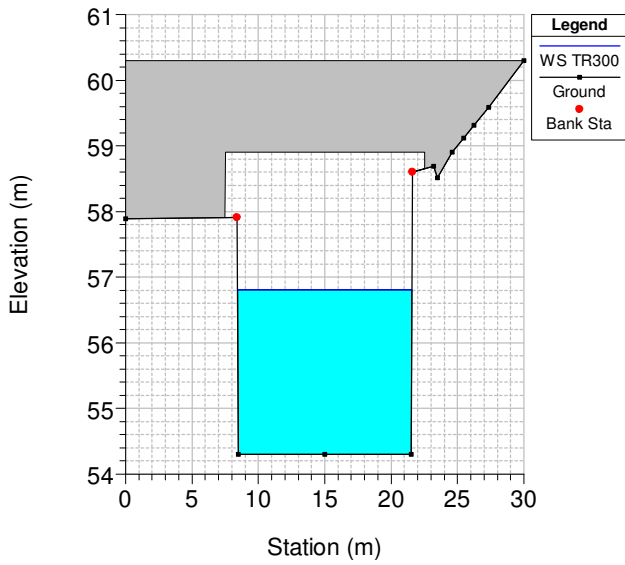
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 695 Sez_5



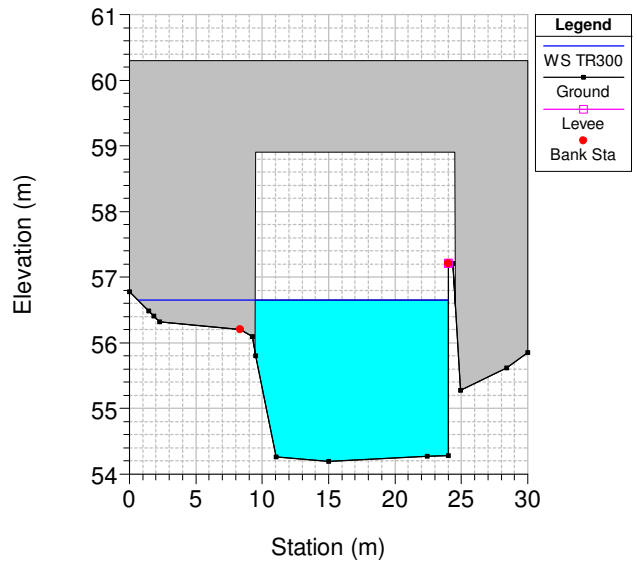
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 600 Sez_6



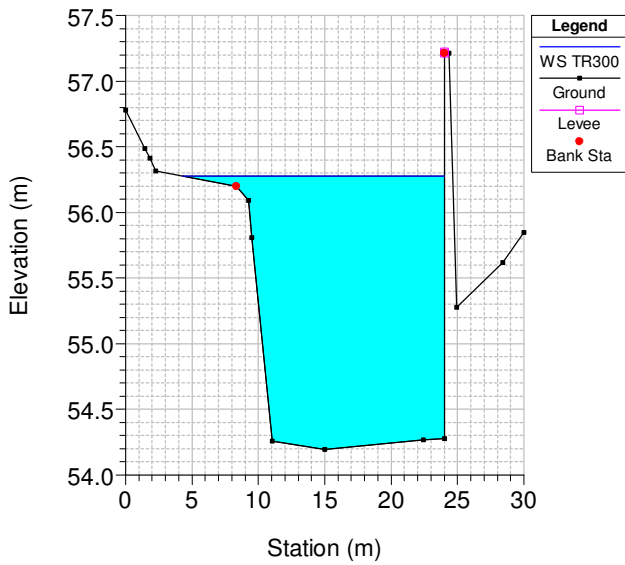
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 550 BR



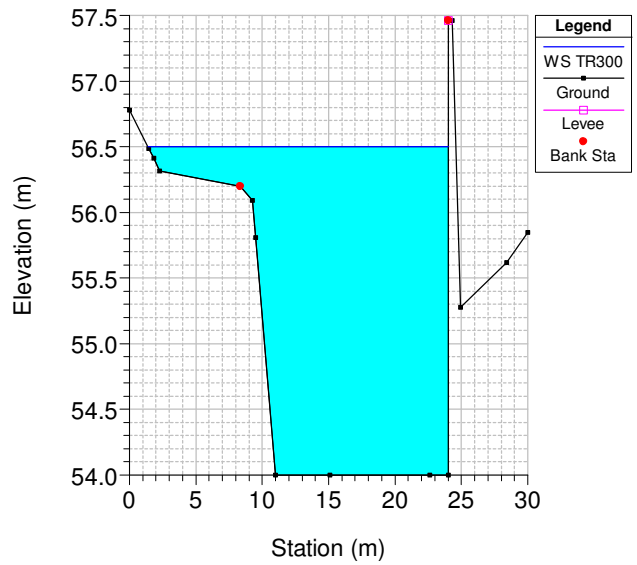
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 550 BR



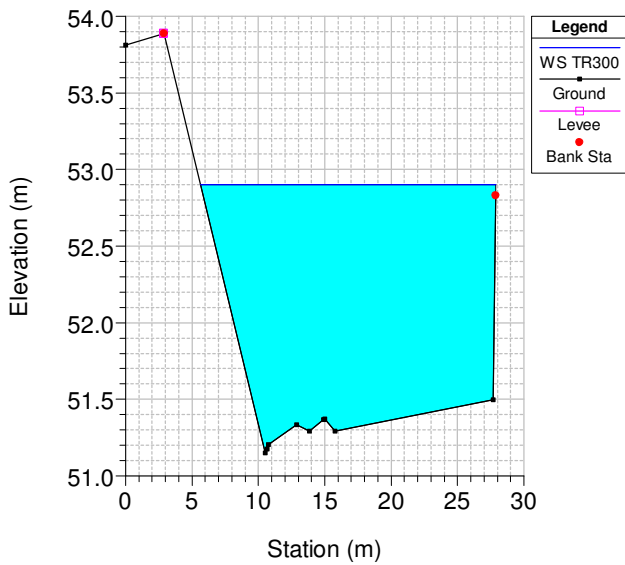
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 513 Sez_7



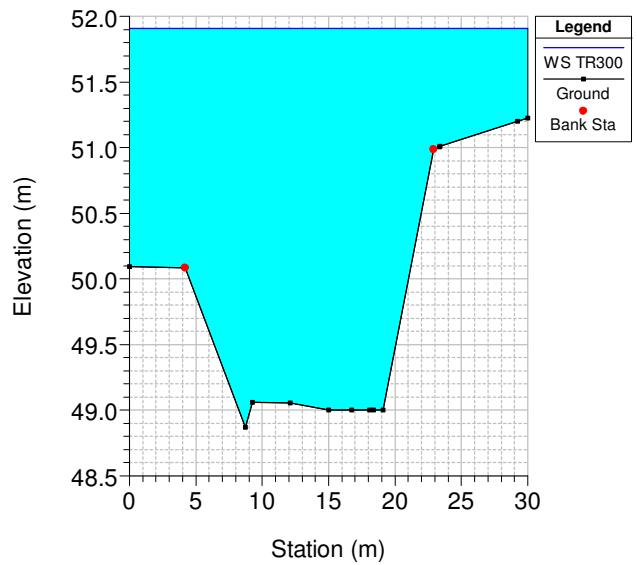
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 500 Sez_8



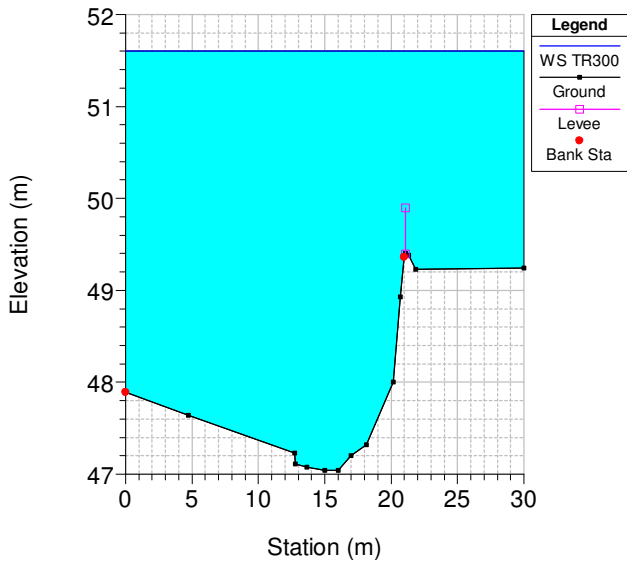
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 400 Sez_9



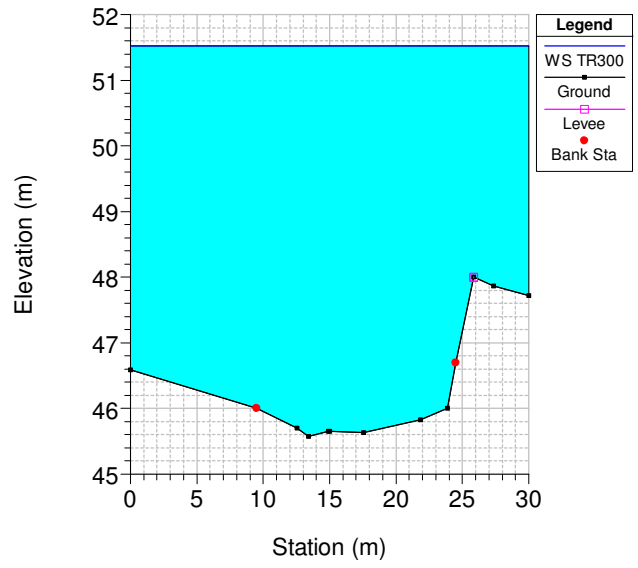
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 300 Sez_10



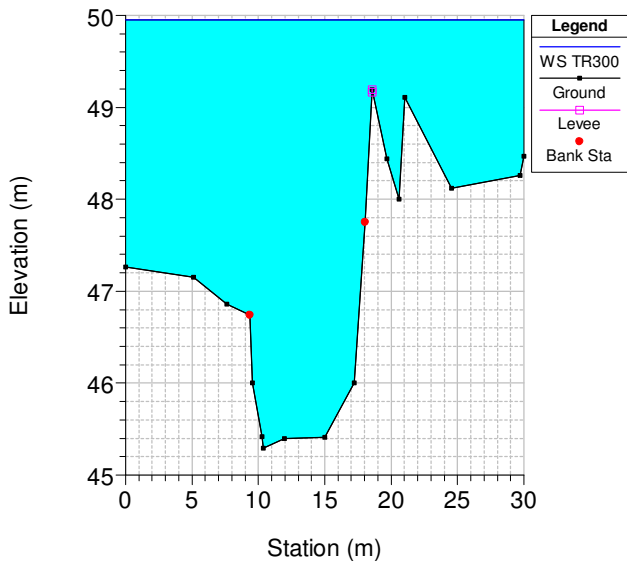
T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 200 Sez_11



T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 100 Sez_12

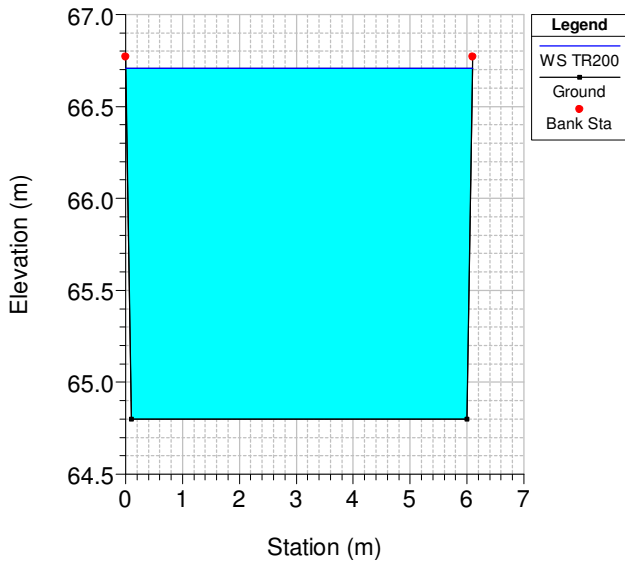


T_Forche Plan: SdP_06
 Geom: SdProgetto_06 Flow: Flow
 RS = 0 Sez_13

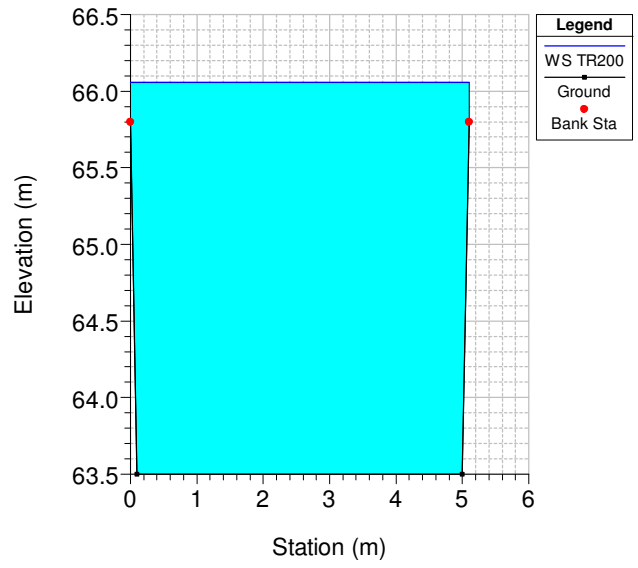


TORRENTE LAVINIA – Stato di fatto – Q=63.69 m³/s

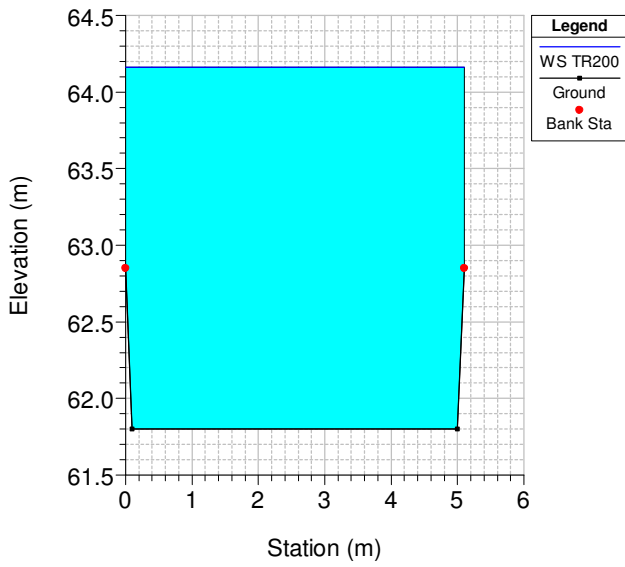
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 600 Sez_1



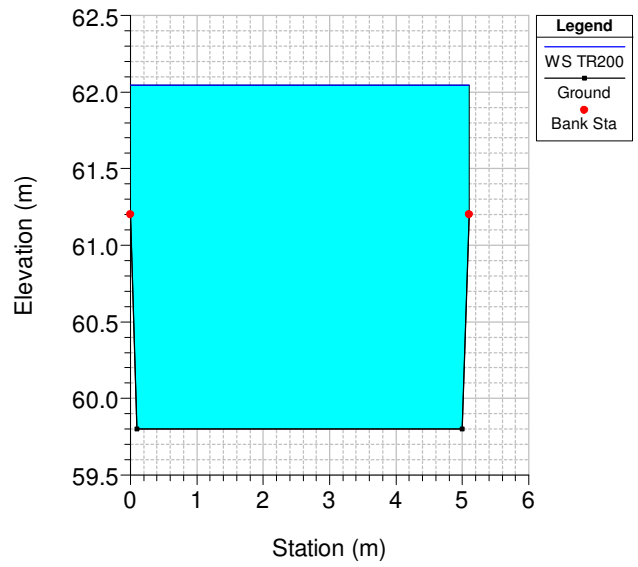
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 500 Sez_2



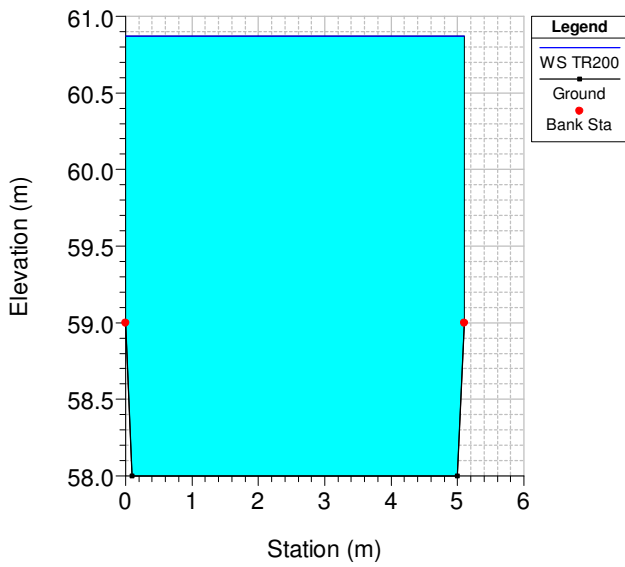
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 400 Sez_3



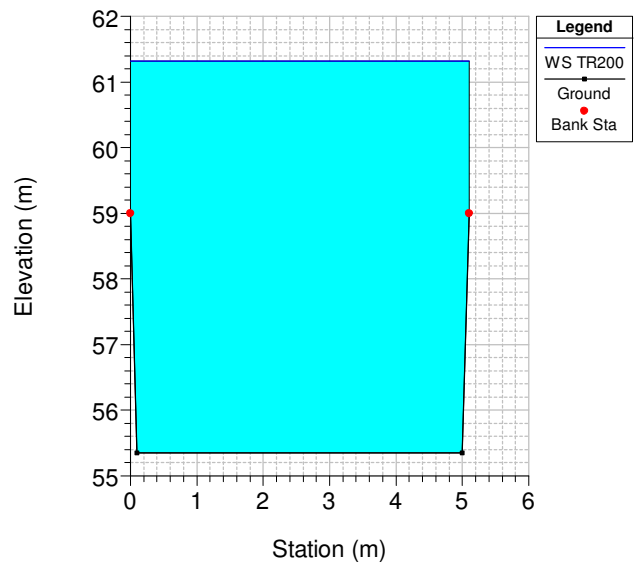
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 300 Sez_4



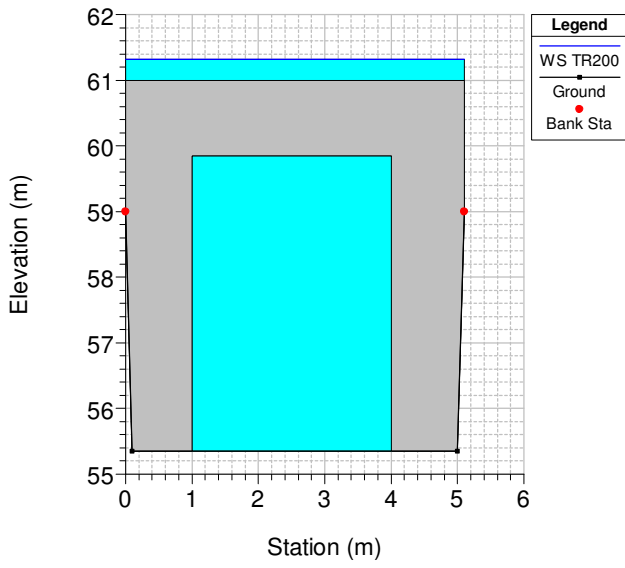
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 200 Sez_5



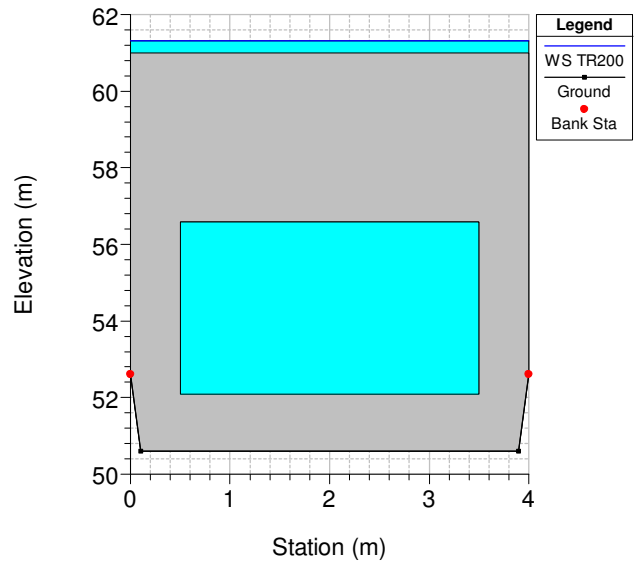
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 190 Sez_6



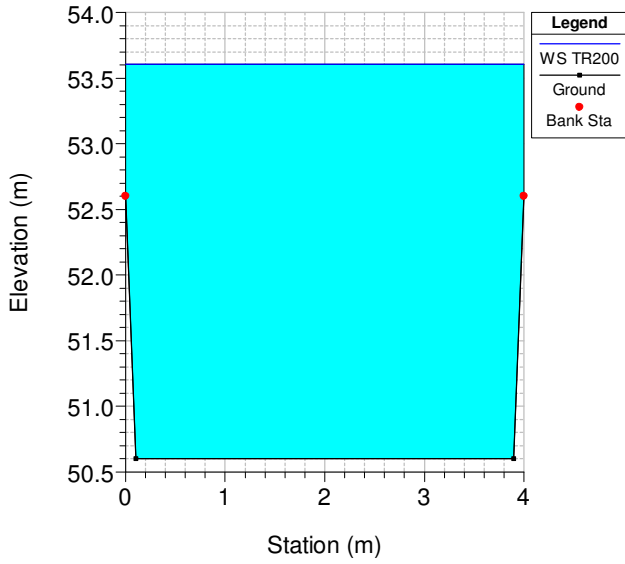
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 150 Culv



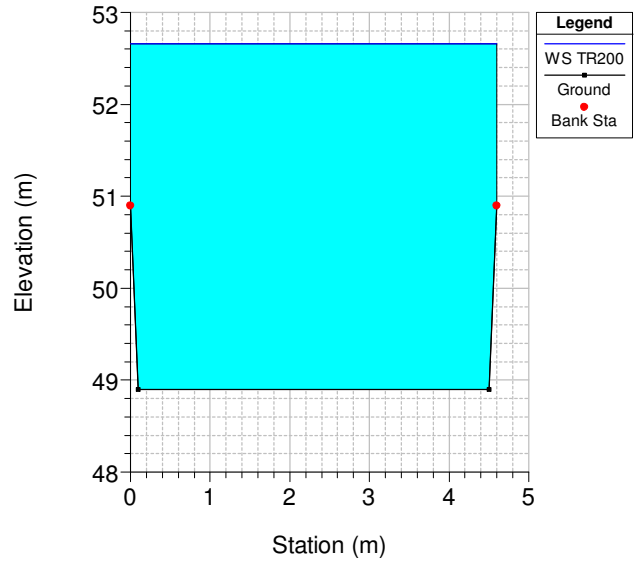
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 150 Culv



T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 100 Sez_7

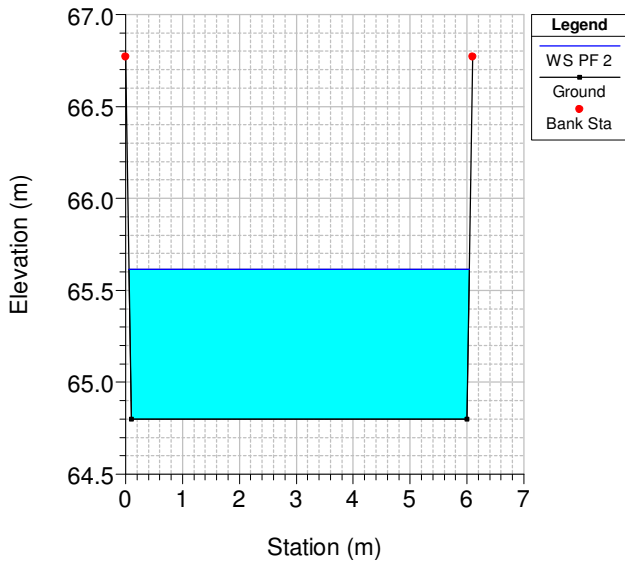


T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 0 Sez_8

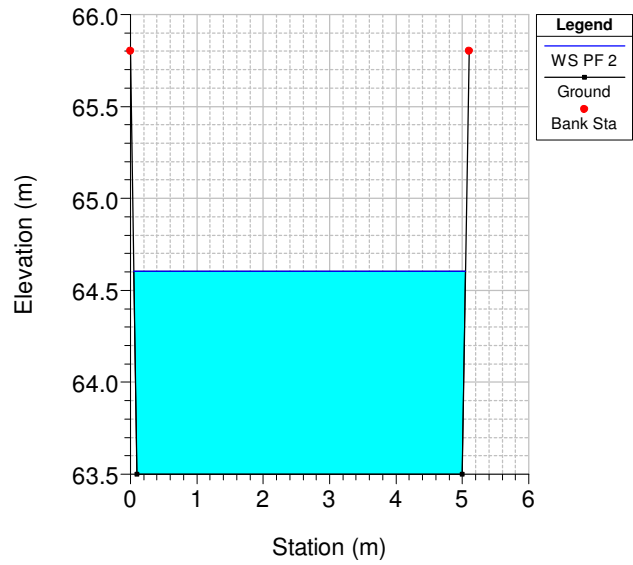


TORRENTE LAVINIA – Stato di fatto – Q=18.00 m³/s

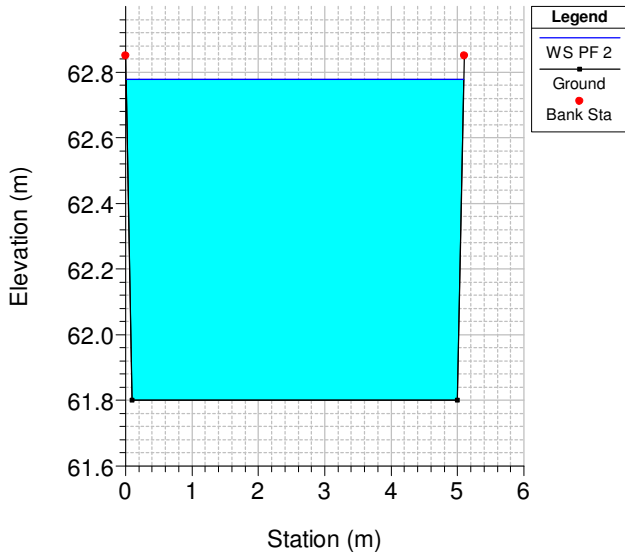
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 600 Sez_1



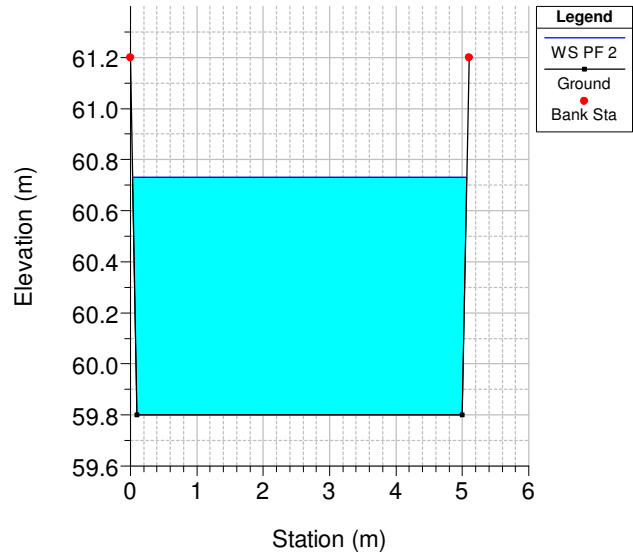
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 500 Sez_2



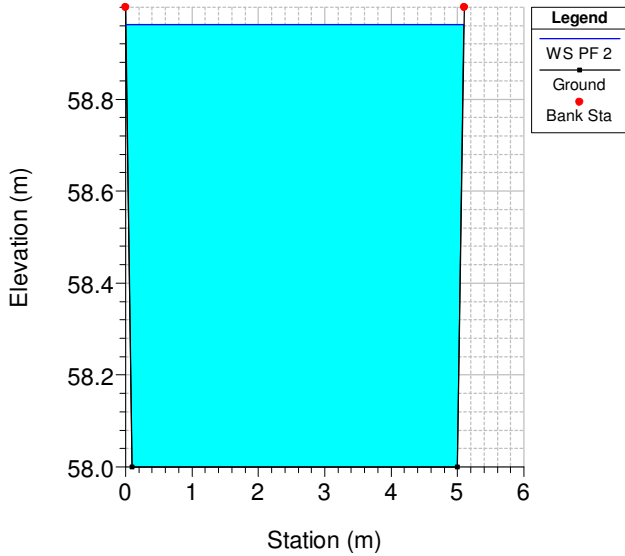
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 400 Sez_3



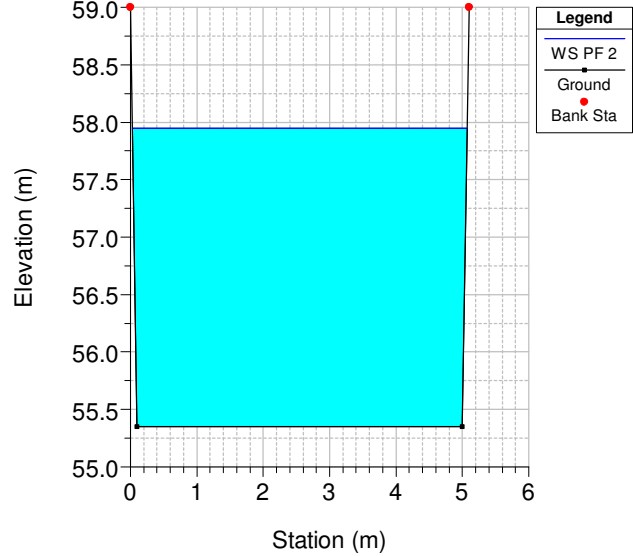
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 300 Sez_4



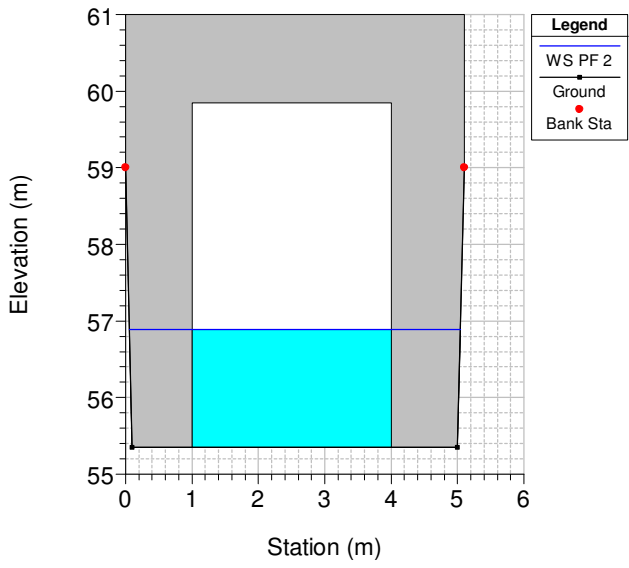
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 200 Sez_5



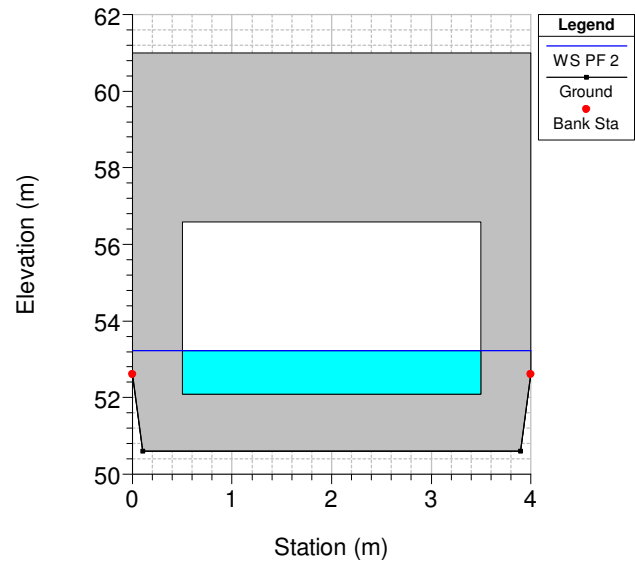
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 190 Sez_6



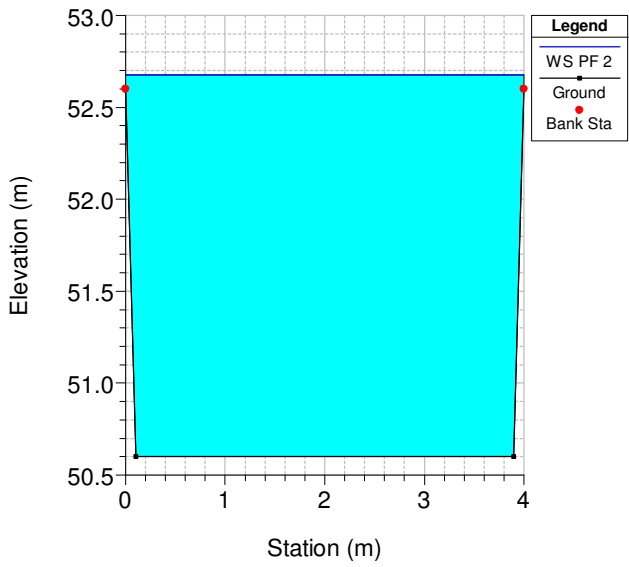
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 150 Culv



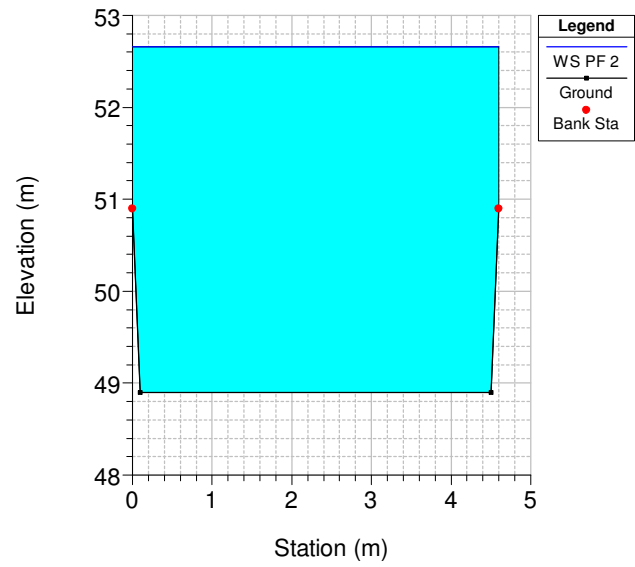
T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 150 Culv



T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 100 Sez_7

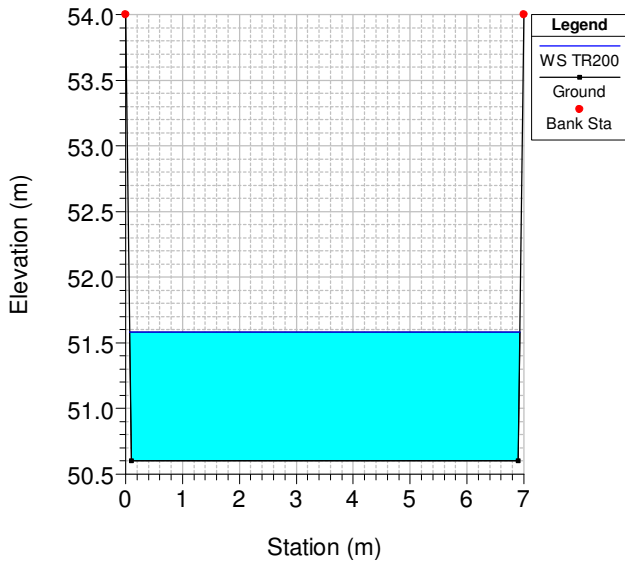


T_Lavinia Plan: SdF
Geom: SdFatto Flow: Flow 01
RS = 0 Sez_8

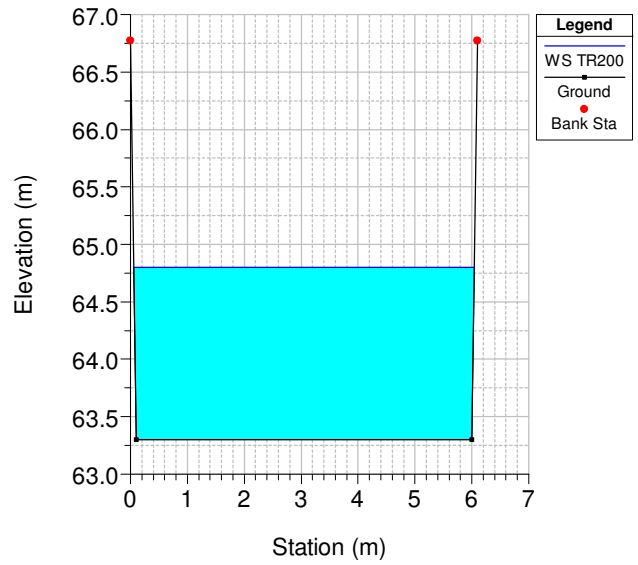


TORRENTE LAVINIA – Stato di progetto – $Q=63.69 \text{ m}^3/\text{s}$

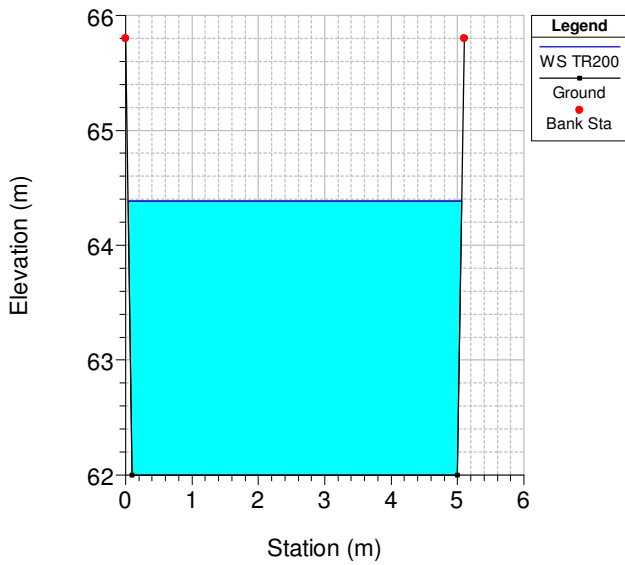
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 100 Sez_7



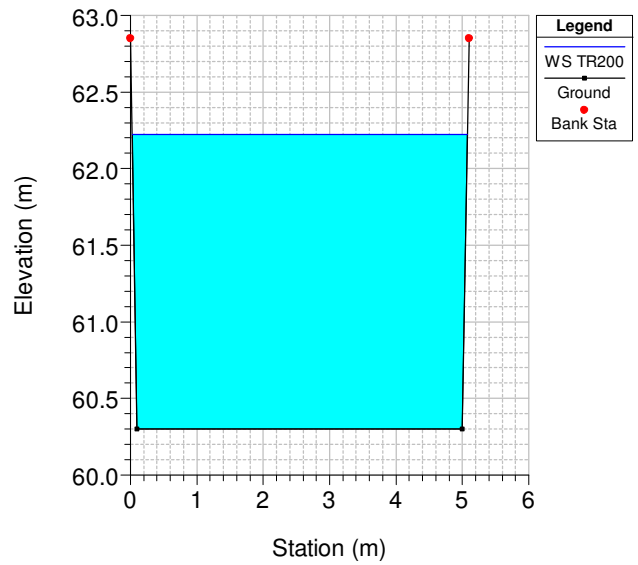
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 600 Sez_1



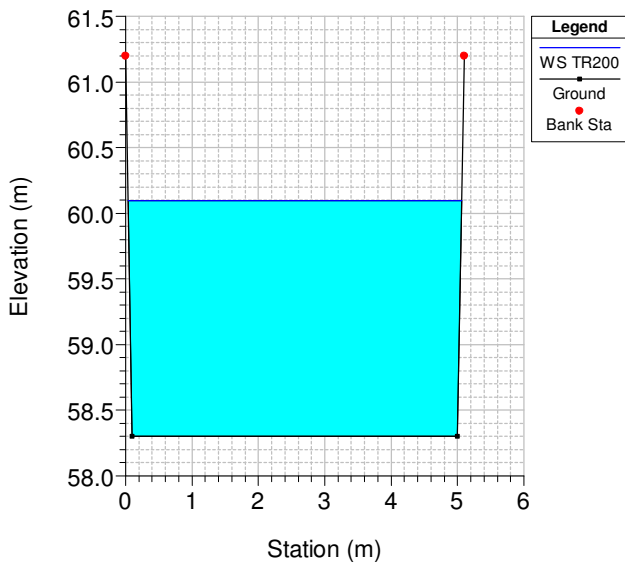
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 500 Sez_2



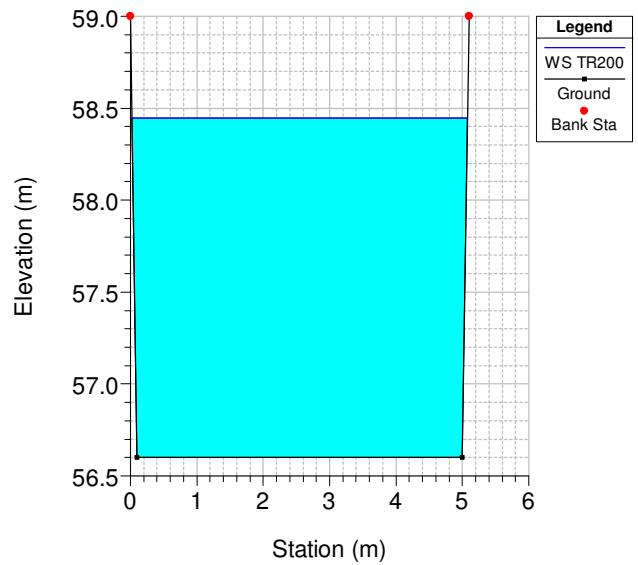
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 400 Sez_3



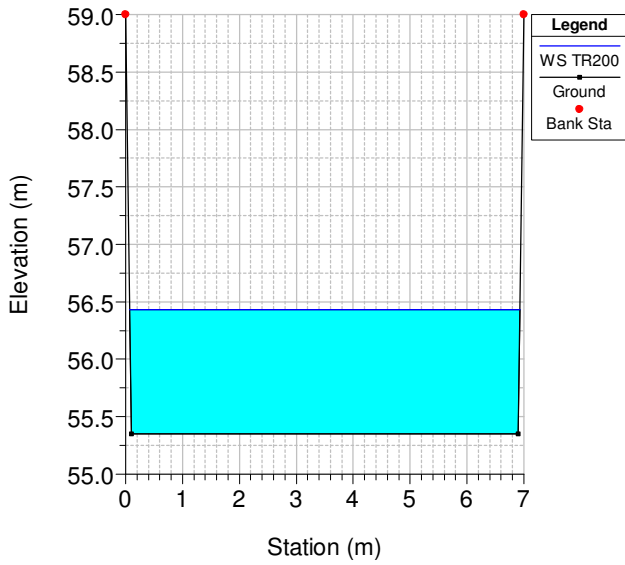
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 300 Sez_4



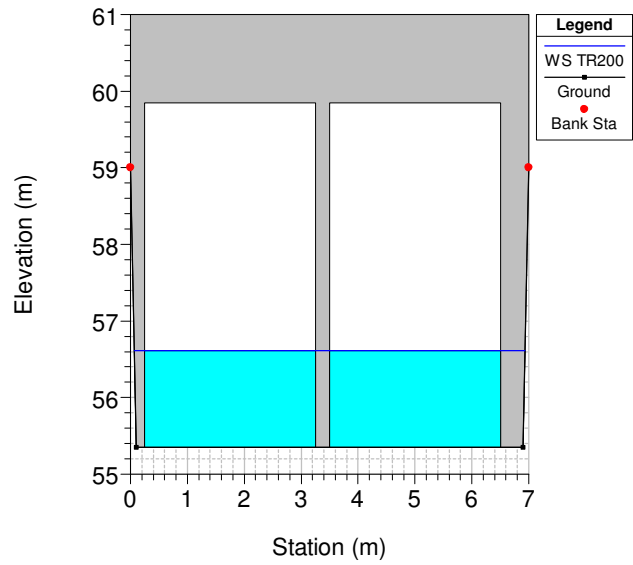
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 200 Sez_5



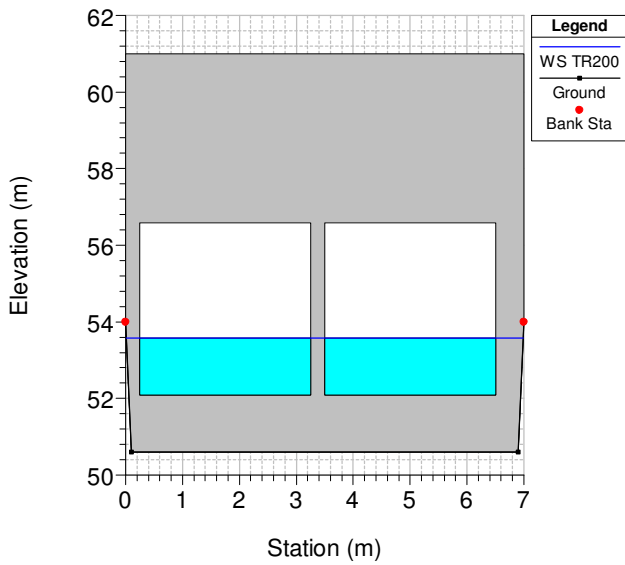
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 190 Sez_6



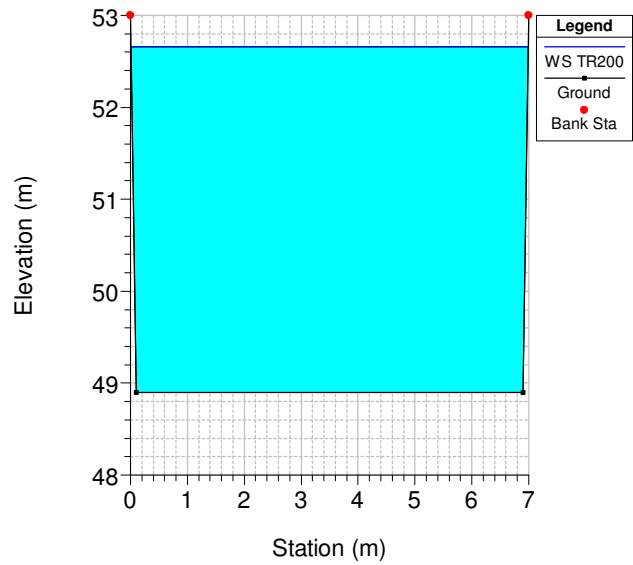
T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 150 Culv



T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 150 Culv

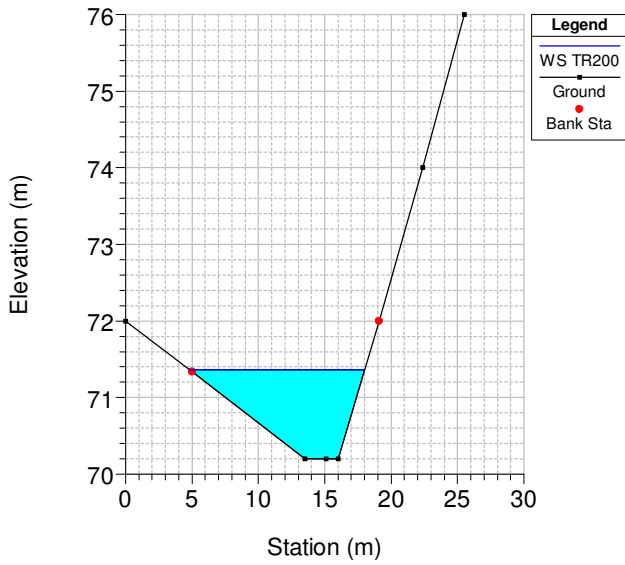


T_Lavinia Plan: SdP
Geom: SdProg Flow: Flow 01
RS = 0 Sez_8

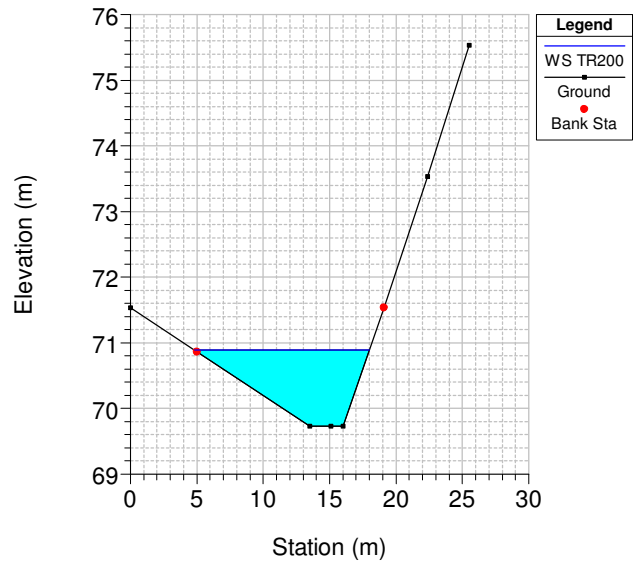


VALLONE BUFFARDO – Stato di progetto – Q=61.58 m³/s

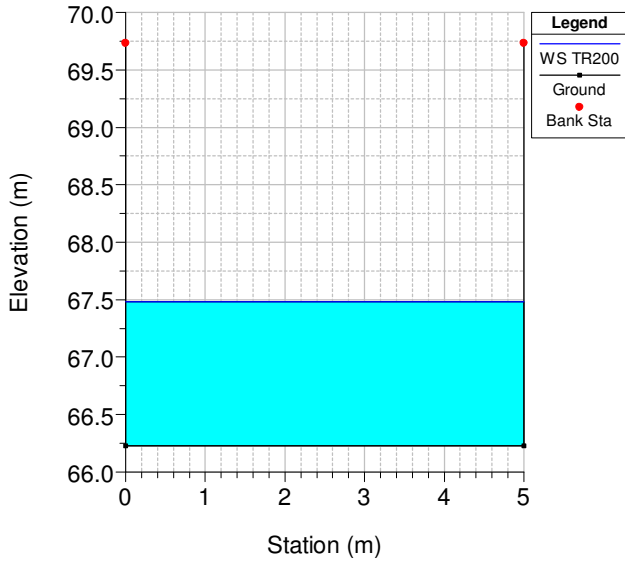
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 1000 Sezione vallone



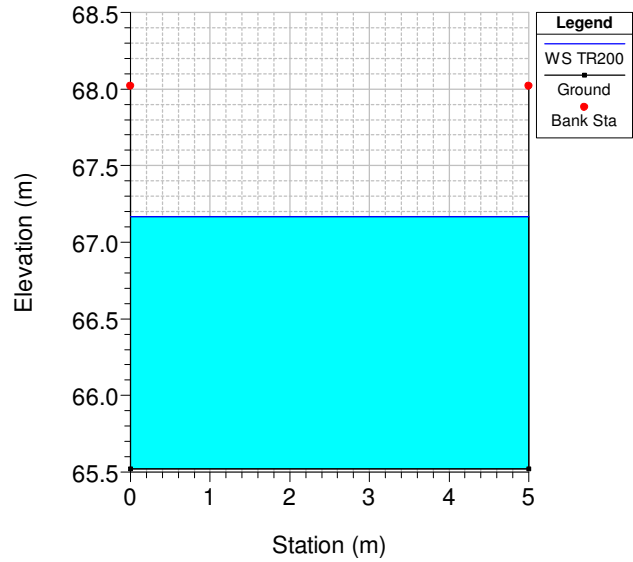
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 910 Sezione vallone



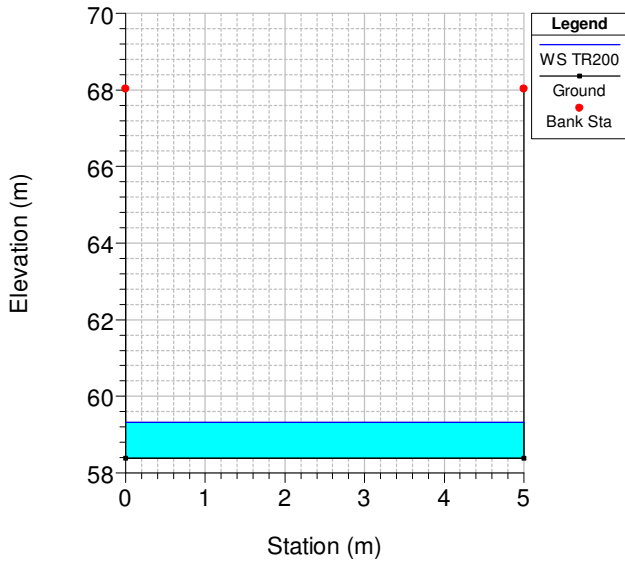
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 900 Inizio deviazione



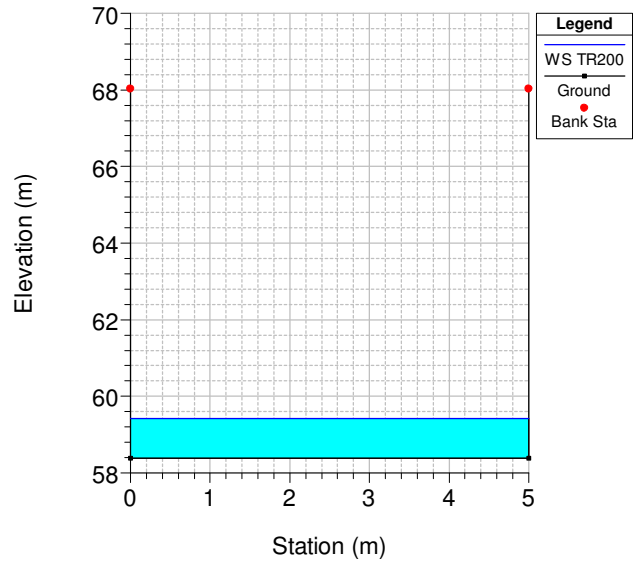
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 800 Monte pozzetto/salto



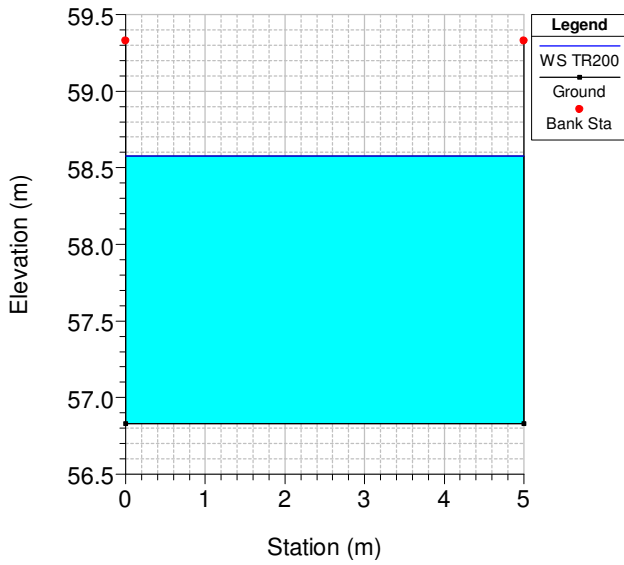
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 790 Dopo salto



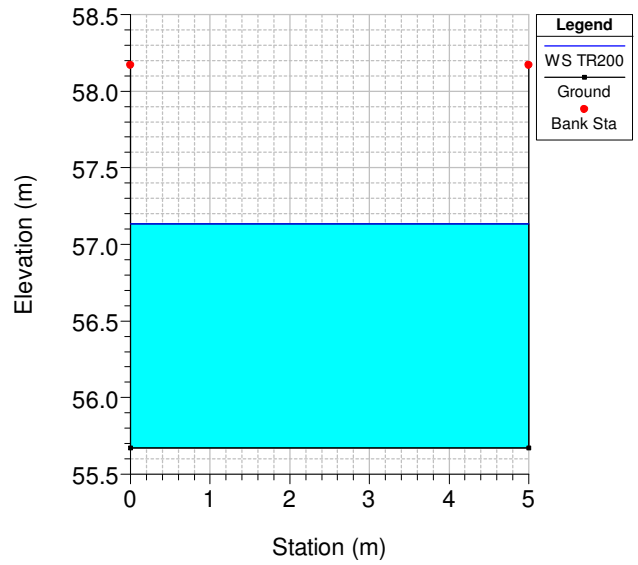
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
 Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
 RS = 700 Valle pozzetto/salto



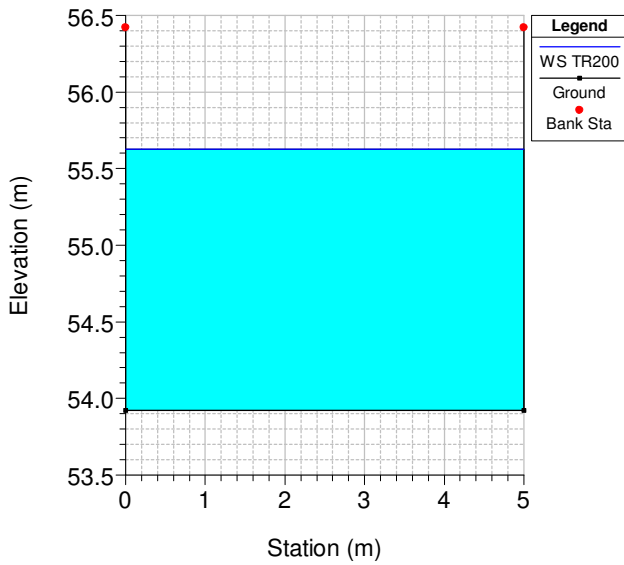
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 610 Salto intermedio



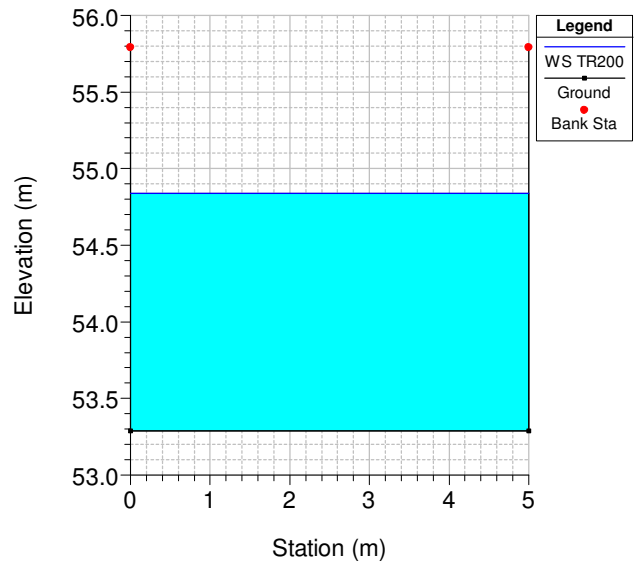
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 600 Salto intermedio



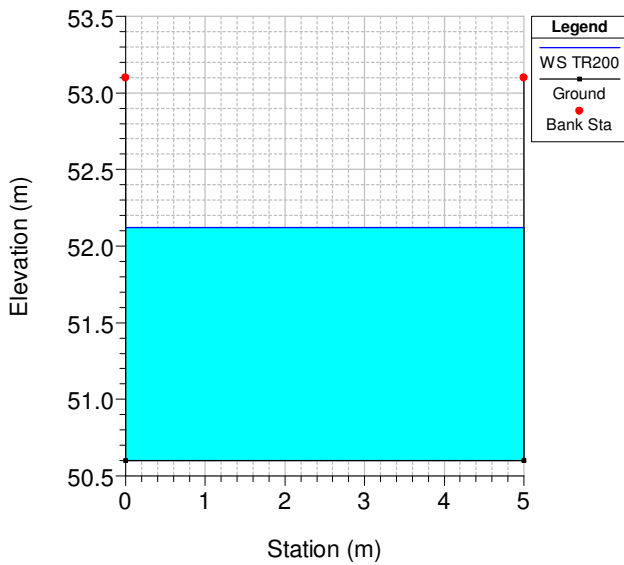
V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 510 Salto intermedio



V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 500 Salto intermedio



V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 100 sbocco scatolare



V_Buffardo Plan: Progetto_gen2018
Geom: Progetto_04tris Flow: Portata
RS = 0 Immissione nel T. delle Forche

