

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. INFRASTRUTTURE SUD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA

Generale

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

SCALA:

-

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

NN1X   
 00   
 D   
 78   
 RI   
 ID0002   
 001   
 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	F.Durastanti	Ott-2020	D.DiDomicantonio	Ott-2020	M.D'Avino	Ott-2020	D.Tiberti Dic-2020
B	Emissione Esecutiva	D.DiDomicantonio 	Dic-2020	A.Torfora 	Dic-2020	M.D'Avino 	Dic-2020	 ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Generale UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Danilo Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10876

NN1X.0.0.D.78.RI.ID.00.0.2.001.B

n. Elab.:

## INDICE

1	<i>PREMESSA</i> .....	3
2	<i>ELENCO ELABORATI</i> .....	5
3	<i>INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA</i> .....	6
4	<i>IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE</i> .....	7
4.1	INDIVIDUAZIONE DEGLI ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI MAGGIORI .....	7
5	<i>METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA</i> .....	9
5.1	MANUALE DI PROGETTAZIONE FERROVIARIO .....	9
5.2	NTC 2018 E RELATIVA CIRCOLARE APPLICATIVA.....	10
5.3	METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA MEDIANTE SIMULAZIONI IDRAULICHE SU MODELLO MATEMATICO IN SCHEMA DI MOTO PERMANENTE.....	15
5.3.1	Caratteristiche modello matematico.....	15
5.3.2	Calcolo del profilo a moto permanente.....	20
5.3.3	Equazione della conservazione della quantità di moto.....	22
5.3.4	Equazione di Yarnell .....	25
5.3.5	Calcolo del rigurgito dovuto ai tombini/ponticelli.....	28
6	<i>VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE</i> .....	32
6.1	GEOMETRIA DEGLI ALVEI .....	32
6.2	PORTATE DI PROGETTO.....	33
6.3	COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....	33
6.4	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	35
6.5	RAPPRESENTAZIONE DEI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	35
6.6	SIMULAZIONI NUMERICHE DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE IN CONDIZIONI ANTE OPERAM .....	35
6.6.1	Pk 7+931 - Simulazione numerica Stato Attuale interferenza VI04 Torrente Diavolone .....	36
6.6.2	Pk 67+630 Linea Storica - Simulazione numerica Stato Attuale interferenza Fosso Volta dei Ladri.....	38
6.7	SIMULAZIONI NUMERICHE DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE IN CONDIZIONI POST OPERAM.....	40
6.7.1	Pk 7+931 - Simulazione numerica Stato di Progetto interferenza VI04 Torrente Diavolone .....	41
7	<i>VERIFICA DELLE CONDIZIONI D'INCIPIENTE EROSIONE</i> .....	44
8	<i>COMPATIBILITA' IDRAULICA</i> .....	45
8.1	STUDIO IDROLOGICO.....	46

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

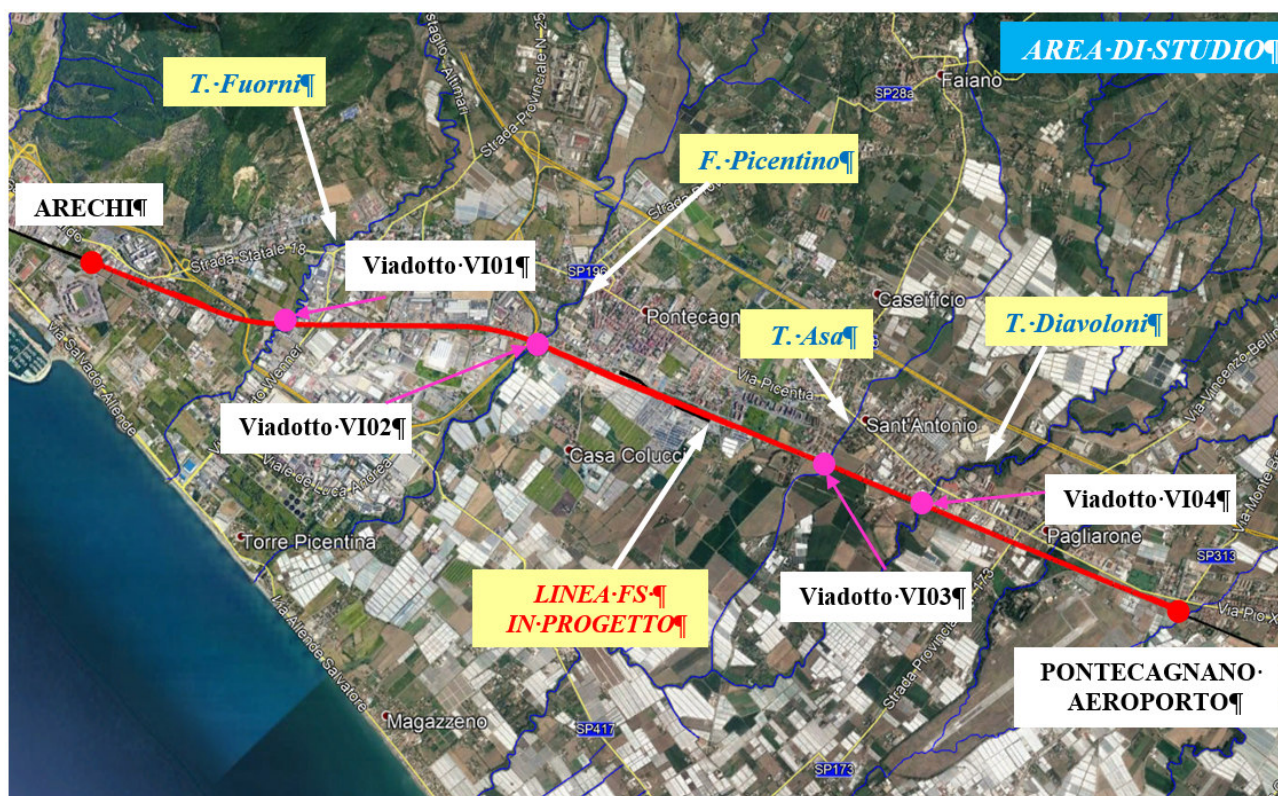
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NN1X	00 D 78	RI	ID0002 001	B	2 di 53

8.2	VERIFICHE IDRAULICHE.....	46
8.3	SISTEMAZIONI IDRAULICHE .....	47
8.4	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	47
9	<i>CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI</i> .....	49

## 1 PREMESSA

L'intervento di completamento della Metropolitana di Salerno in progetto si sviluppa per circa 9 km all'interno del Bacino Regionale *Destra Sele*, attraversando una serie di corsi d'acqua.

Tra questi, il *Torrente Fuorni* (alla prog. 1+591), il *Fiume Picentino* (alla prog. 3+590), il *Torrente Asa* (alla prog. 6+860), il *Torrente Diavoloni* (alla prog. 7+931) rappresentano i corsi d'acqua di maggiore rilievo, in corrispondenza dei quali è prevista la realizzazione di quattro viadotti, rispettivamente *VI01*, *VI02*, *VI03*, *VI04*.



**Figura 1. - Inquadramento della linea metropolitana in progetto e principali attraversamenti**

Il Torrente Volta Ladri non è attraversato dalla linea metropolitana in progetto; tuttavia, è stato sviluppato lo studio idraulico al fine di verificare l'eventuale interferenza delle opere annesse alla limitrofa stazione "Aeroporto di Salerno" con le relative aree di esondazione.

La presente relazione riassume le risultanze delle analisi idrauliche eseguite per il dimensionamento e la verifica dell'opera di attraversamento maggiore VI04 prevista nell'ambito della progettazione definitiva dell'intervento relativo al completamento metropolitana di Salerno tratta Arechi-Pontecagnano aeroporto, e del corso d'acqua Volta dei Ladri.

Per lo studio idraulico dei corsi d'acqua Fuorni, Picentino e Asa e il dimensionamento e le verifiche dei rispettivi attraversamenti di progetto VI01, VI02, VI03, si rimanda alla relazione dedicata NN1X00D09RIID0002001.

Lo sviluppo complessivo della linea ferroviaria interessata dal presente studio è di circa 9 km.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

- Individuazione delle interferenze sulla linea ferroviaria esistente
- Analisi delle informazioni disponibili provenienti dagli strumenti di pianificazione;
- Analisi su modello matematico di simulazione idraulica in schema di moto permanente monodimensionale nelle configurazioni attuale e di progetto;
- Dimensionamento degli inasprimenti di progetto e delle nuove opere di attraversamento;
- Analisi di compatibilità idraulica;

Lo studio idraulico riportato nei successivi paragrafi è stato redatto in accordo con il Manuale di Progettazione Ferroviario e con gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore.

Per ogni attraversamento in corrispondenza di ponti e tombini ferroviari è stato verificato il rispetto delle NTC 2018 e della relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Oltre agli strumenti legislativi il principale documento di riferimento per gli attraversamenti è rappresentato dal Manuale di Progettazione RFI 2020.

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

PROGETTO NN1X	LOTTO 00 D 78	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	PAG. 5 di 53
------------------	------------------	----------------	-------------------------	-----------	-----------------

## 2 ELENCO ELABORATI

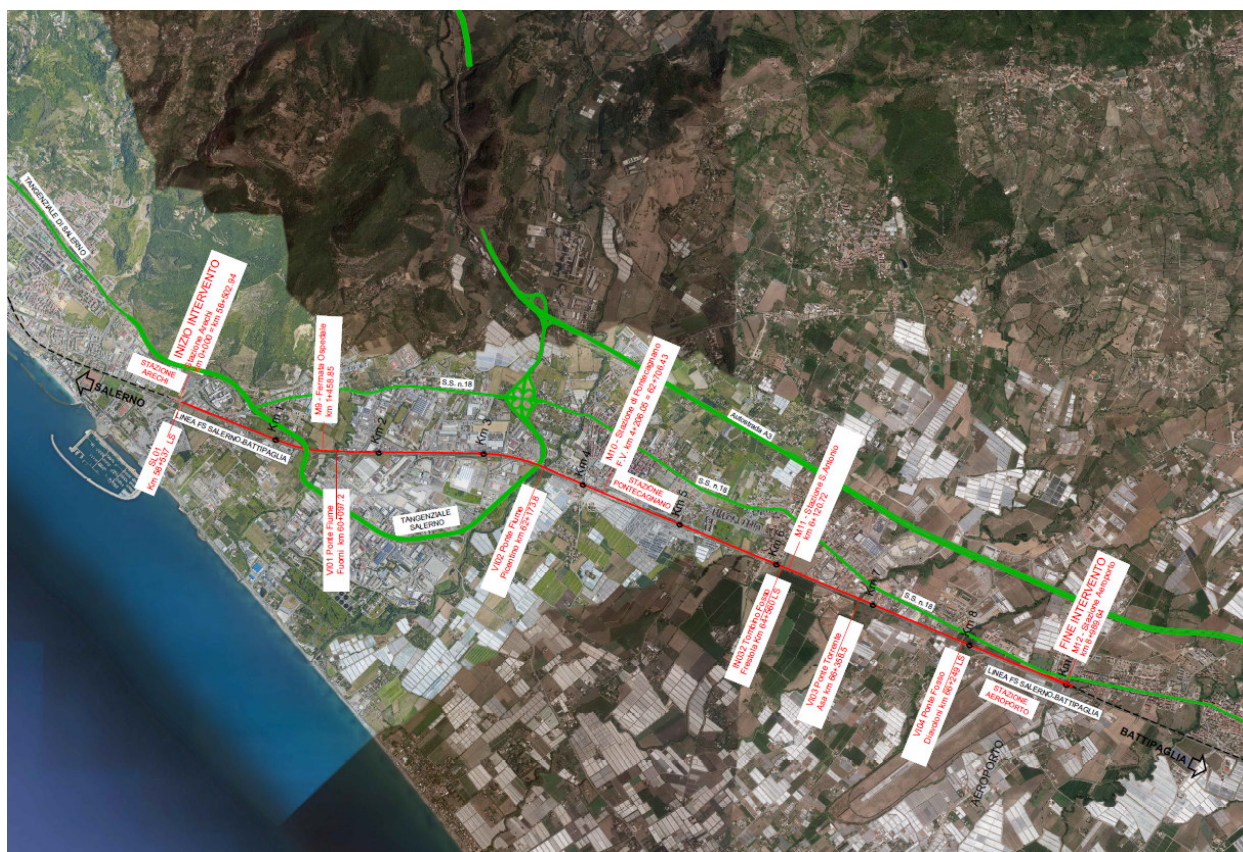
IDROLOGIA E IDRAULICA																					
GENERALE																					
Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica	---	N	N	1	X	0	0	D	7	8	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	1
OPERE MAGGIORI																					
Planimetria aree esondazione e profilo idraulico ante e post operam - Torrente Diavoloni	varie	N	N	1	X	0	0	D	7	8	P	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Planimetria aree esondazione e profilo idraulico ante operam - Torrente Volta dei Ladri	varie	N	N	1	X	0	0	D	7	8	P	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	2
Sezioni ante operam - Torrente Diavoloni	1:200	N	N	1	X	0	0	D	7	8	W	9	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Sezioni post operam - Torrente Diavoloni	1:200	N	N	1	X	0	0	D	7	8	W	9	I	D	0	0	0	2	0	0	2
Sezioni ante operam - Torrente Volta dei Ladri	1:200	N	N	1	X	0	0	D	7	8	W	9	I	D	0	0	0	2	0	0	3

**Tabella 1 - Elenco elaborati annessi**

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Il completamento della tratta metropolitana di Salerno tratta Arechi-Pontecagnano aeroporto si sviluppa in direzione Nord-Ovest – Sud-Est per circa 9 km.

Nella figura seguente è visibile l'inquadramento dell'area di studio.



**Figura 2. - Inquadramento generale della linea ferroviaria in progetto**

La linea ferroviaria in progetto interessa un territorio prevalentemente pianeggiante-collinare a ridosso della linea di costa in un ambito fortemente antropizzato.

Il principale corso d'acqua attraversato dalla linea in progetto è il Fiume Picentino, che nasce alle falde del monte Accellica, una cima dei Monti Picentini, dalla Grotta dello Scalandrone. Lungo 25 km, dopo aver attraversato i comuni di Giffoni Valle Piana, Pontecagnano Faiano e Salerno, sfocia nel mare Tirreno. La superficie del bacino idrografico alla sezione di chiusura in corrispondenza della linea ferroviaria è pari a 143 kmq.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono rappresentati dal Torrente Fuorni (S=30 kmq) e dal Torrente Asa (S=15 kmq). I restanti corsi d'acqua ad eccezione del Fosso Frestola, T. Diavoloni e Fosso Volta dei Ladri, sono costituiti da piccoli impluvi con area drenata inferiore a 1 kmq.

#### 4 **IL RILIEVO DELLA ZONA E L'IDENTIFICAZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA MINORE**

Per ottenere una rappresentazione quotata della zona di analisi al fine di ricostruire la complessa rete idrografica dell'area e la delimitazione del bacino per ciascun attraversamento idraulico lungo la tratta in progetto si è fatto riferimento a:

- Cartografia Tecnica Regionale scala 1:5.000;
- Cartografia scala 1:1.000;
- Rilievi celerimetrici dell'area.
- Rilievo Lidar 1x1 m effettuato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare

Grazie a queste informazioni è stata costruita la delimitazione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua e l'individuazione della rete idrografica riportata nella Corografia dei bacini idrografici NN1X00D09ID0001001A.

##### 4.1 **Individuazione degli attraversamenti idraulici maggiori**

Di seguito si riportano la progressiva dell'attraversamento ferroviario oggetto dello studio, il suo identificativo e il tipo di opera in progetto, la quota dell'intradosso, nonché la denominazione del corso d'acqua, l'identificativo del bacino idrografico e la portata di progetto.

<b>Pk</b>	<b>WBS</b>	<b>Opera in progetto</b>	<b>Quota intradosso (m.s.l.m.)</b>	<b>Corso d'acqua</b>	<b>Bacino Idrografico</b>	<b>Q<sub>200</sub> (mc/s)</b>
7+931	VI04	Nuovo Ponte L=19m	38.60	T. Diavoloni	16	56.54

**Tabella 2 - Attraversamento in progetto**

All'interno della presente relazione si riporta lo studio del Fosso Volta dei Ladri, interferente con la Linea Storica Salerno-Battipaglia alla pk 67+630 della Linea Storica, al fine di valutare l'interazione del corso d'acqua con le opere relative alla fermata Aeroporto.

Di seguito si riporta la progressiva dell'attraversamento ferroviario oggetto dello studio, la denominazione del corso d'acqua, l'identificativo del bacino idrografico e la portata di studio.



Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NN1X	00 D 78	RI	ID0002 001	B	8 di 53

<b>Pk</b>	<b>Corso d'acqua</b>	<b>Bacino Idrografico</b>	<b>Q<sub>200</sub> (mc/s)</b>
LS 67+630	T. Volta dei Ladri	17	26.50

**Tabella 3 - Attraversamento oggetto di studio idraulico**

## 5 METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA

### 5.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI 2020 ogni tipo di manufatto idraulico verrà verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno  $Tr$ :

...omississ...

*Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S > 10 \text{ km}^2$*
- *linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ km}^2$*
- *deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni*

...omississ...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

*“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:*

- *Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:*
  - *non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;*
  - *non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.*
- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena.*
- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.*
- *Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.”*

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue:

*“Le tipologie ammesse sono:*

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*

- *tombini scatoari in c.a. con dimensione minima 2 m;*

*Sono ammessi fino a due tombini affiancati.*

*In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.*

*La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.*

*La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.*

*Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”*

## **5.2 NTC 2018 e relativa Circolare Applicativa**

L'Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e la Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018, contengono le istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari interessanti corsi d'acqua naturali o artificiali, con particolare riferimento ai tempi di ritorno e ai franchi idraulici da adottare per le verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, al § 5.1.2.3 delle NTC 2018 “Compatibilità idraulica” si prescrive che:

*Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.*

*L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ ).*

*Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:*

- *l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;*
- *la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;*
- *la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*

- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;

- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.

Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.

Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato.

In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime 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 in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma  $Tr = 1,001$ ) devono essere combinati con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente  $\psi_0$  unitario.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione  $\psi_1$ .

Al § C5.1.2.4 della Circolare applicativa si prescrive inoltre:

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a  $Tr = 200$  anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.

Gli elementi del ponte, quali le opere strutturali, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, fanno parte di un progetto unitario corredato dallo studio di compatibilità idraulica di cui al punto

*5.1.2.3 delle NTC. Il progetto sarà impostato tenendo in considerazione la necessità di garantire l'accesso per il ripristino dell'efficienza idraulica degli attraversamenti parzialmente o totalmente intasati dai detriti durante gli eventi di piena.*

*Fermo restando quanto previsto dalla Norma, nello studio di compatibilità idraulica, in funzione delle diverse situazioni, è opportuno siano tra l'altro illustrati i seguenti aspetti:*

*- analisi degli eventi di massima piena; esame dei principali eventi verificatisi nel corso d'acqua; raccolta dei valori estremi in quanto disponibili, e loro elaborazione in termini di frequenza probabile del verificarsi; per i ponti in sezioni di un corso d'acqua che abbiano a monte manufatti artificiali che limitino il naturale deflusso delle piene, queste sono da valutarsi anche nell'ipotesi che tali manufatti siano dismessi;*

*- ricerca e raccolta, presso gli Uffici ed Enti competenti, delle notizie e dei rilievi esistenti, anche storici, utili per lo studio idraulico da svolgere;*

*- giustificazione della soluzione proposta per: l'ubicazione del ponte, le sue dimensioni e le sue strutture in pianta, in elevazione ed in fondazione, tenuto conto del regime del corso d'acqua, dell'assetto morfologico attuale e della sua possibile evoluzione, nonché delle caratteristiche geotecniche della zona interessata;*

*- allontanamento delle acque dall'impalcato e prevenzione del loro scolo incontrollato sulle strutture del ponte stesso o su infrastrutture sottostanti.*

*Inoltre, è di interesse stimare i valori della frequenza probabile (1/Tr) di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso.*

*Nello studio idraulico, in funzione delle diverse situazioni, sono inoltre considerati, ove applicabili, i seguenti problemi:*

*- classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna: per ponti posti su vie classificate navigabili va rispettata la luce minima sotto il ponte che compete ai natanti per i quali il corso è classificato, fino alla portata per la quale sia consentita la navigazione;*

*- valutazione dell'influenza dello scavo localizzato che si realizza in corrispondenza delle pile e delle spalle, sulla stabilità di argini e sponde, oltre che delle fondazioni di altri manufatti presenti nelle vicinanze;*

*- esame delle conseguenze della presenza di corpi flottanti, considerando anche il possibile disormeggio dei natanti, trasportati dalle acque in relazione a possibili ostruzioni delle luci (specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte), sia in fase costruttiva sia durante l'esercizio delle opere;*

*- sollecitazioni indotte dall'acqua per evento sismico quando sia di qualche rilievo la superficie immersa delle pile (e, per i ponti esistenti, delle spalle) con riferimento al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno.*

*Per la stima del livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno, in assenza di dati che garantiscano una robusta caratterizzazione statistica degli eventi, è da utilizzarsi il minimo fra i valori di portata massimi annuali registrati. Scalzamento e azioni idrodinamiche devono in tal caso essere combinate con tutte le altre azioni variabili, mentre nella situazione corrispondente all'evento di piena di progetto, nella combinazione con le altre azioni variabili sono da considerare solo quelle variabili da traffico.*

*In situazioni particolarmente complesse può essere opportuno sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici.*

*Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.*

*Le limitazioni alle modifiche delle pile o delle spalle e relative fondazioni di ponti esistenti previste al punto 5.1.2.3 della Norma, sono da riferirsi agli elementi che interessano l'alveo, come sopra definito, o i corpi arginali. La possibilità di deroga, subordinata all'autorizzazione dell'Autorità competente come previsto allo stesso punto della norma, è relativa alle sole pile.*

*Per i ponti esistenti sono ammessi gli interventi per l'incremento della sicurezza strutturale in analogia a quanto prescritto al § 8.4 della Norma, solo nel caso in cui siano esclusi incrementi, rispetto all'attuale, del livello di traffico di progetto e gli stessi interventi non vadano in alcun modo a peggiorare le condizioni di sicurezza idraulica esistenti. Poiché in questi casi sono possibili fenomeni di instabilità locale, in applicazione del §8.3 della Norma, è opportuno effettuare la verifica delle fondazioni, e quindi la valutazione dello scalzamento di eventuali spalle o pile in alveo. Anche gli interventi necessari per l'incremento della sicurezza strutturale devono essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica dove sia messa in evidenza la frequenza probabile (1/Tr) degli eventi che garantiscono il franco previsto da Norma.*

*Nelle Relazioni idrologica e idraulica sarà valutato il sistema di smaltimento delle acque meteoriche, tenendo in considerazione anche i seguenti aspetti:*

- analisi degli eventi pluviometrici brevi ed intensi della zona;*
- disposizione delle caditoie in numero e posizioni dipendenti dalle loro dimensioni, dalla geometria plan-altimetrica della sede stradale e dai dati pluviometrici, al fine di evitare ristagni;*
- influenza del trasporto solido e dell'eventuale deposito residuo in condotta sul dimensionamento del sistema di tubazioni che colleghino le acque fino al tubo di eduazione;*
- posizione e lunghezza dei tubi di eduazione affinché l'acqua di scolo sia portata a distanza tale da evitare la ricaduta sulle strutture anche in presenza di vento.*

*Fermo restando il rispetto della normativa ambientale vigente, in tutti quei casi in cui le acque di eduazione possono produrre danni e inconvenienti o nel caso di attraversamento di zone urbane, è opportuno considerare la possibilità che esse siano intubate fino a terra ed eventualmente immerse in un sistema fognante.*

*Nelle strutture a cassone va considerata l'opportunità di praticare, nei punti di possibile accumulo, fori di evacuazione di eventuali acque di infiltrazione. Tubi di evacuazione e gocciolatoi saranno predisposti in modo da evitare scoli di acque sul manufatto.*

*Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m<sup>3</sup>/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da*

*assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.*

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

*- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;*

*- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.*

*- per sezioni di area maggiore a  $1,5 \text{ m}^2$  è da garantire la praticabilità del manufatto;*

*- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare  $1,5 \text{ m/s}$ ;*

*- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i  $2/3$  dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di  $0,50 \text{ m}$ ;*

*- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;*

*- la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra:  $0,5 \text{ bar}$  rispetto all'estradosso o  $1,5$  volte la massima pressione d'esercizio;*

*- il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;*

*- nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;*

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

*Nel caso il tombino sia opera provvisoria, ovvero a servizio di un cantiere, le precedenti disposizioni possono essere assunte come elementi di riferimento, tenendo opportunamente conto del tempo di utilizzo previsto per l'opera provvisoria stessa.*

### **5.3 Metodologia di verifica idraulica mediante simulazioni idrauliche su modello matematico in schema di moto permanente**

#### **5.3.1 Caratteristiche modello matematico**

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce una adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione dei profili idrici nei corsi d'acqua sia nella situazione attuale, sia di progetto e per i diversi tempi di ritorno considerati 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, i cui fondamenti concettuali sono di seguito riportati.

Obiettivo principale del modello, utilizzato nell'ipotesi di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene.

Pur operando nell'ipotesi di mono dimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Nel caso della simulazione in moto permanente il calcolo dell'andamento dei profili idraulici viene effettuato dal modello utilizzando un metodo numerico chiamato "standard step method", che risolve in modo sequenziale l'equazione monodimensionale dell'energia fra due sezioni adiacenti trasversali al moto.

In corrispondenza ad alcune tipologie di ponte, dove nascono condizioni di flusso complesse, vengono utilizzate invece specifiche equazioni dell'idraulica per determinare le variazioni di livello dovute a queste varie singolarità.

Sinteticamente, il modello funziona calcolando le variazioni di livello idrometrico tra sezioni trasversali adiacenti sulla base del calcolo delle perdite di energia. Il calcolo comincia a un'estremità del tronco d'alveo indagato, procedendo passo-passo sino all'altra estremità, e così sezione dopo sezione, cambiando il verso dell'indagine da valle verso monte per moto subcritico e da monte verso valle per moto supercritico.

Il funzionamento del modello HEC-RAS si basa su alcune semplificazioni nelle ipotesi di partenza:

- moto permanente;
- moto gradualmente vario;
- moto monodimensionale, con correzione della distribuzione orizzontale della velocità;
- perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- arginature fisse.

#### **Definizioni**

Il modello utilizza, all'interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell'idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.



### Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile “tempo”. Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata sezione di un corso d’acqua, il moto è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un’onda di piena lungo un tronco d’alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui HEC-RAS, modello di moto permanente, può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un’onda di piena, sta nella lentezza con cui l’onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d’acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell’onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

### Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell’acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l’area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D’altra parte, è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell’energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto “gradualmente vario” quando le variazioni nell’altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo “rapidamente vario” se le variazioni sono brusche.

Quest’ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

### Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico.

La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell’utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d’alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico.

Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell’indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh_m}}$$

dove:

V = velocità media Q/A [m/s]

g = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]

h<sub>m</sub> = altezza media della corrente [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente. Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

#### Altezza critica

L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato, rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto.

Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello.

L'energia specifica E di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità Y e del termine cinetico V<sup>2</sup>/2g:

$$E = Y + \frac{V^2}{2g}$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore α di Coriolis. Si ha quindi:

$$E = Y + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (0)$$

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica. La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore  $WS$  di primo tentativo al quale ne consegue un valore di energia specifica dato dalla (0), che verrà poi corretto fino alla determinazione del  $WS$  in grado di garantire il minimo valore di  $E$ .

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione.

### Procedure di calcolo per simulazioni in moto permanente

#### Ricostruzione del campo di moto in una sezione trasversale

Per trovare il valore del coefficiente  $\alpha$  relativo a una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} J_f^{1/2}$$

$$Q = VA = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} J_f^{1/2}$$

Ponendo quindi:  $K = \frac{1.486}{n} A R^{2/3}$  si ha che:  $Q = K J_f^{1/2}$

che viene scritta per ognuna delle  $i$ -esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico  $R$  di una sub area è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due sub aree viene trascurato.

Tramite alcuni passaggi si trova che:  $\alpha = \frac{(\sum A_i)^2 (\sum K_i^3 / A_i^2)}{(\sum K_i)^3}$

#### Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

#### Distribuzione delle velocità in senso trasversale alla corrente

La libreria di algoritmi di simulazione idraulica in dotazione al modello HEC-RAS include la possibilità di analizzare la distribuzione delle velocità della corrente all'interno di una stessa sezione trasversale, eliminando la limitazione della teorica del moto unidimensionale che prevede, al contrario, l'imposizione di una unica velocità media caratteristica valida per l'intera sezione di deflusso.

Rispetto ad un vero modello bidimensionale, tale l'algoritmo di calcolo utilizzato da HEC RAS comporta l'accettazione di una serie di semplificazioni, tra cui:

- la quota idrometrica risulterà comunque orizzontale;
- non vengono considerati gli effetti della forza centrifuga.

Vengono invece considerati gli effetti della variazione del raggio idraulico locale, e la differente scabrezza del perimetro bagnato.

Questa tecnica consente di ottenere, con una certa attendibilità specie nei tratti rettilinei, l'andamento della velocità al variare della posizione del punto lungo una direttrice trasversale alla corrente che deve essere intesa come velocità media sulla verticale.

### Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

#### Bilancio dell'energia

La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se  $\theta$  rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Il termine  $\cos \theta$  è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata,  $\cos \theta$  è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:

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

o in altri termini:

$$E_1 = E_2 + h_e$$

L'energia totale nella sezione di monte  $E_1$  è quindi uguale all'energia della sezione di valle  $E_2$  più il termine di perdita di energia  $h_e$ . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

### 5.3.2 Calcolo del profilo a moto permanente

La determinazione del livello del pelo libero in ogni sezione è computata nel caso di correnti lente, a partire dalla sezione di valle, risolvendo per via iterativa l'equazione della conservazione dell'energia totale, 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:  $Y_1$  e  $Y_2$  rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte,  $Z_1$  e  $Z_2$  rappresentano rispettivamente le elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte,  $V_1$  e  $V_2$  rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  i rispettivi coefficienti di Coriolis,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $h_e$  le perdite di energia tra le due sezioni.

La figura 3 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).

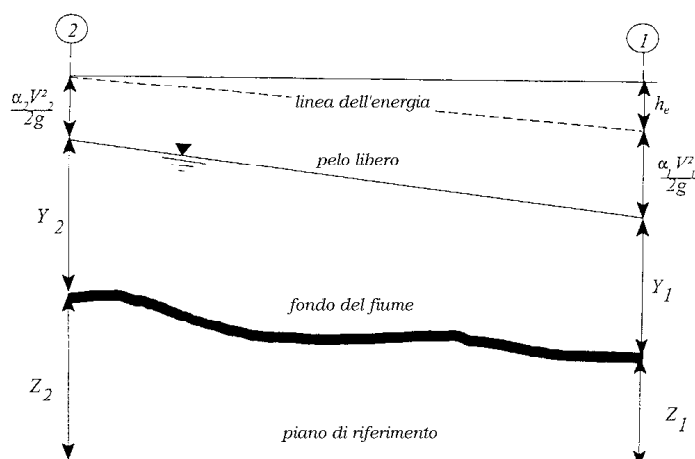


Figura 3. - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

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:

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

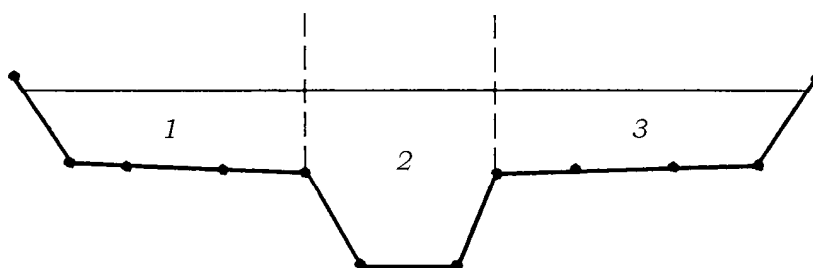
dove, con  $L$  è indicata la distanza tra le due sezioni, con  $\bar{J}$  le perdite di carico medie distribuite tra le due sezioni mentre il termine  $C$  correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla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

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

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

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 (4).



**Figura 4. - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.**

Con riferimento alla Figura 4 chiamato 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 osservato 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:

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

dal cui calcolo è possibile ottenere  $\alpha$ , il coefficiente di Coriolis.

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia  $h_e$  ed il coefficiente di Coriolis  $\alpha$  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.

### 5.3.3 Equazione della conservazione della quantità di moto

L'equazione della conservazione dell'energia totale (1) ha validità solo nel caso di correnti variabili lentamente all'interno del ramo in esame. In particolare, essa è stata applicata nel caso di corrente ovunque subcritiche o supercritiche. Qualora all'interno di un ramo si verificasse il passaggio da corrente lenta a veloce si è utilizzata l'equazione della conservazione del momento.

Applicando la seconda legge di Newton  $\sum F_x = ma$ , con x la direzione del moto, ad un elemento di fluido tra due sezioni 1-2, fig. 4, 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;

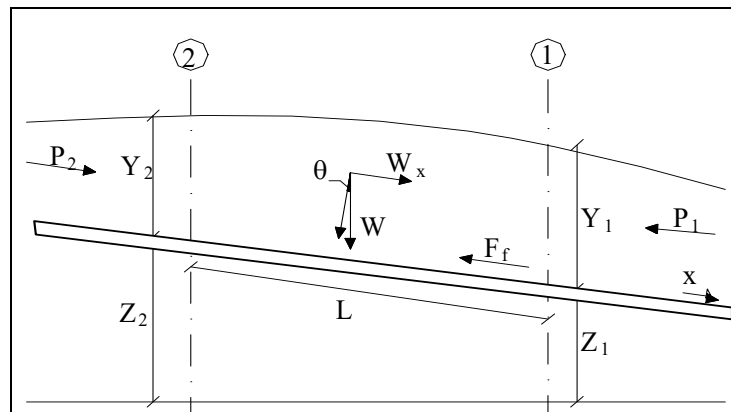
$W_x$ , componente della forza peso nella direzione del moto;

$F_f$ , forza d'attrito tra le due sezioni;

$Q$ , portata complessiva;

$\rho$ , densità del fluido;

$\Delta V_x$ , variazione della velocità tra le due sezioni.



**Figura 5. - Schema di calcolo**

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

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

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

Nella relazione (9)  $\gamma$  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 stata 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 letto del fiume e la cadente piezometrica  $J$ .

In particolare, scriviamo:

$$F_f = \tau PL$$

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



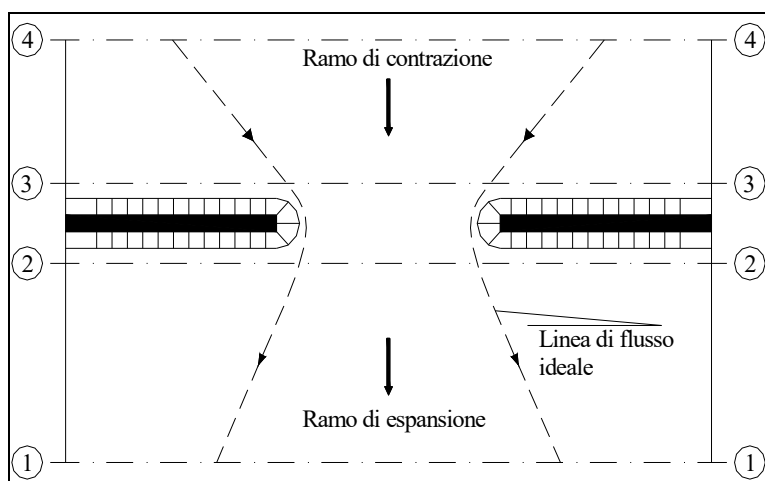
dove  $P$  ed  $R$  sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

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

Le equazioni (1) e (8) sono state applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. È stato 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, fig. 6 e fig. 7, 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 6. - 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) e BU-3 (Step 3).

Step 1: definendo con  $A_{pi}$  l'area ostruita e 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 stata scritta come

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

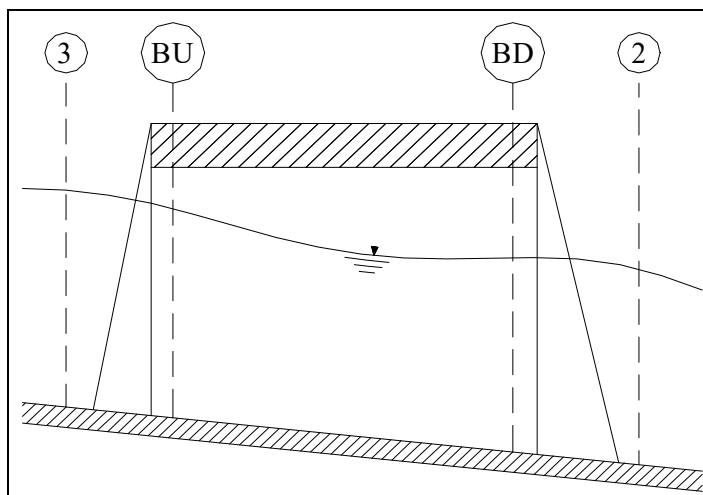
Step 2: equilibrio tra BU e BD

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

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 tab. 3 in funzione del tipo di pila presente.



**Figura 7. - 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 4 - Coefficiente di resistenza idrodinamico  $C_D$**

### 5.3.4 Equazione di Yarnell

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

Con riferimento alle fig. 6 e 7, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono state 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;

<b>TIPO DI PILA</b>	<b>K</b>
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 5 - Coefficiente di Yarnell**

$\omega$  rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2;  $\alpha$  il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine  $V_2$  la velocità a valle della sezione.

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, fig. 9, 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:

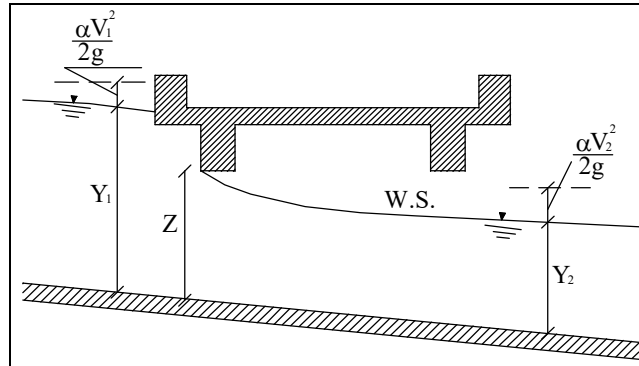
$C_d$ , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di fig. 10, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

$A_1$ , area della luce nella sezione di monte;

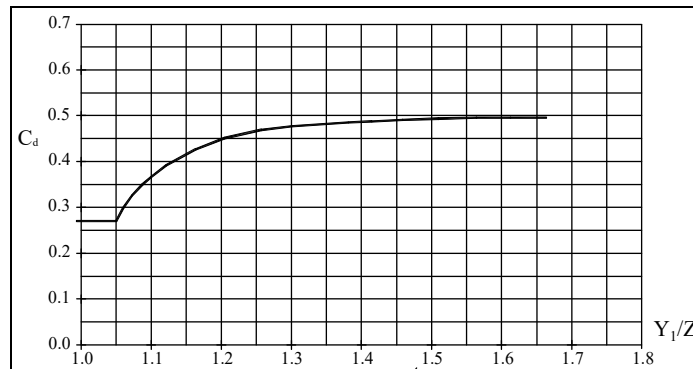
$Y_1$ , altezza idrica della sezione di monte;

$\alpha$ , coefficiente correttivo cinetico;

$V_1$ , velocità della corrente a monte.



**Figura 8. - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo**

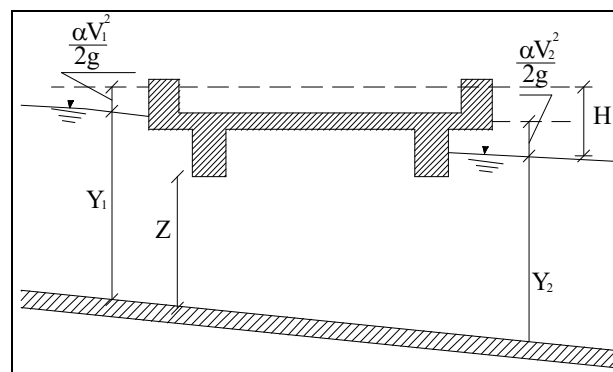


**Figura 9. - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd**

Se il ponte è in pressione sia a monte che a valle l'equazione (13) 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 fig.10.

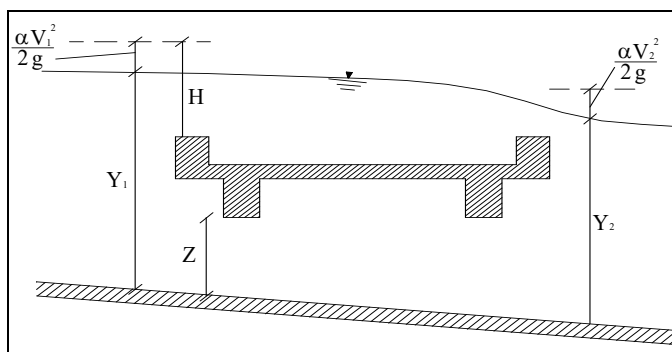


**Figura 10. - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo**

Infine, se il ponte è superato dalla corrente di piena, fig. 11, la portata si calcola nel modo seguente:

$$Q = CLH^3$$

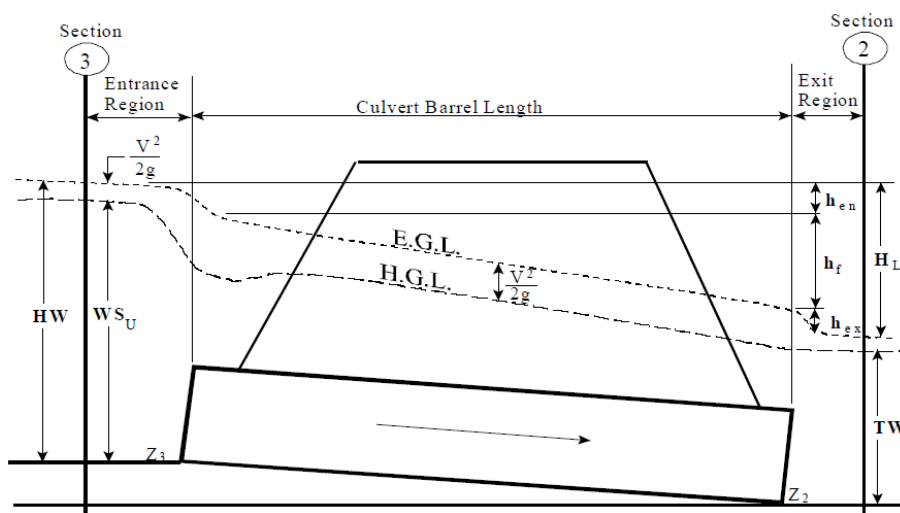
con  $C$  si indica un coefficiente correttivo della portata,  $L$  la lunghezza del ponte ed  $H$  la differenza di energie tra monte e valle.



**Figura 11. - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo**

### 5.3.5 Calcolo del rigurgito dovuto ai tombini/ponticelli

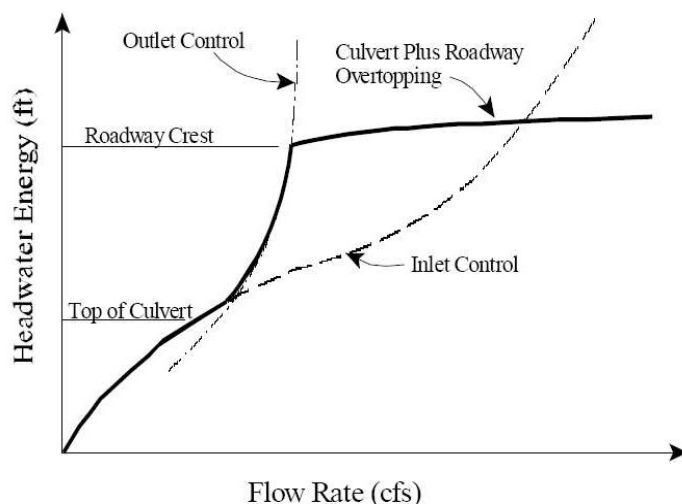
L'analisi del deflusso attraverso un tombino si basa sul concetto di controllo all'imbocco o allo sbocco.



**Figura 12. - Schema idraulico tombino/ponticello**

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 13. - 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.

#### Calcolo del livello all'imbocco

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.

#### Calcolo del livello allo sbocco

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;

$\alpha_3, \alpha_2$  coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;

$g$  accelerazione di gravità;

$H_L$  perdita di carico attraverso il tombino.

#### Equazioni per il deflusso in pressione

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

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

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.

#### Perdite in entrata e uscita

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.



## 6 VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE

Le simulazioni idrauliche sono state condotte utilizzando il programma di calcolo monodimensionale HEC-RAS, nell'ipotesi che lungo l'alveo fluviale si instauri un regime di moto permanente.

Nella tabella seguente vengono riportate le interferenze con il reticolo idrografico minore delle opere in progetto o oggetto di studio, riportando per ciascuna la progressiva ferroviaria ove localizzata l'interferenza, la denominazione del corso d'acqua ove nota, la corrispondente opera di attraversamento, la portata di progetto riferita al tempo di ritorno di 200 anni ed il tipo di verifica eseguito.

Pk [km]	WBS	Corso d'acqua	Tipologia	Q 200 (mc/s)	Tipo di verifica
7+931	VI04	T. Diavolone	Ponte	56.4	Moto permanente
LS 67+630	-	F. Volta dei Ladri	-	26.5	Moto permanente

**Tabella 6 - Tipo di verifica idraulica per le opere ferroviarie minori esistenti e in progetto.**

Le simulazioni idrauliche dei corsi d'acqua sono state sviluppate sulla base delle indagini topografiche che hanno interessato tutta la linea esistente con rilievo delle sezioni trasversali e opere d'arte principali, integrate da modelli digitali del terreno e cartografia in scala 1:1.000.

Si riporta nei seguenti paragrafi le caratteristiche dei parametri implementati nei modelli numerici dei due corsi d'acqua.

### 6.1 Geometria degli alvei

I modelli matematici sono stati sviluppati riproducendo la geometria degli alvei naturali mediante le sezioni trasversali dei corsi d'acqua, ricavate da un rilievo topografico di dettaglio realizzato da Italferr. In taluni casi le sezioni di rilievo sono state implementate, o laddove non presenti sostituite, con sezioni ricavate dal rilievo Lidar sempre realizzato da Italferr.

Ulteriori informazioni sono state reperite mediante specifici sopralluoghi, effettuati da personale Italferr, nel corso dei quali sono state acquisite informazioni sullo stato degli alvei nell'area di studio e sulla geometria degli attraversamenti esistenti.

## 6.2 Portate di progetto

Per ogni attraversamento o corso d'acqua di studio è stata utilizzata la portata di progetto determinata con la modalità descritta nell'elaborato "Relazione idrologica generale" NN1X00D78RIID00001001 al quale si rimanda, relativamente ad un tempo di ritorno di 200 anni.

Pk [km]	WBS	Corso d'acqua	Tipologia	Q <sub>200</sub> (mc/s)
7+931	VI04	T. Diavolone	Ponte	56.4
LS 67+630	-	F. Volta dei Ladri	-	26.5

**Tabella 7 - Portate di riferimento per le opere in progetto o oggetto di studio.**

## 6.3 Coefficienti di scabrezza

Come per ogni modello matematico, anche nel caso del modello monodimensionale HEC-RAS, la taratura ricopre un aspetto particolarmente delicato. Il modello dovrebbe cioè essere tarato e validato prima di essere usato a scopo revisionale. In questo caso la taratura del modello numerico consiste nella valutazione dei coefficienti di scabrezza da adottare nelle differenti sezioni.

Tale operazione è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia dello stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, etc.

Nella valutazione dei coefficienti di scabrezza occorre tener presente che questi sono comunque suscettibili di modificazioni per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

- Perdite localizzate prodotte dall'interazione della corrente con irregolarità geometriche come presenza di ostacoli di vario genere, espansioni brusche, incisioni nelle golene, brusche variazioni di larghezza;
- Perdite energetiche dovute alla modificazione del fondo dell'alveo, alla risospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

Si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino a favore di sicurezza.

<b>A. CORSI D'ACQUA NATURALI</b>				
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>				
<b>1. Corsi d'acqua di pianura</b>				
a.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030	0.033
b.	Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035	0.040
c.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040	0.045
d.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045	0.050
e.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.040	0.048	0.055
f.	Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060
g.	Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080
h.	Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150
<b>2. Aree golenali</b>				
a.	A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050
b.	Aree coltivate	0.020	0.035	0.050
c.	Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160
d.	Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120
<b>3. Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene</b>				
a.	Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050
b.	Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070

<b>B. CANALI ARTIFICIALI</b>				
<b>1. Canali in terra lisciata ed uniforme</b>				
a.	Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020
b.	Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025
c.	Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030
d.	Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033
<b>2. Canali in terra con ondulazioni o irregolari</b>				
a.	Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030
b.	Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033
c.	Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040
d.	Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035
e.	Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040
f.	Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050
<b>3. Canali scavati o dragati</b>				
a.	Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033
b.	Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060
<b>4. Canali in roccia</b>				
a.	Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040
b.	Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040	0.050
<b>5. Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli</b>				
a.	Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080
b.	Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110
c.	Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120
d.	Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140

Tabella 8 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

Pertanto, i coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono:

- $0.015 \text{ s/m}^{1/3}$  per rivestimento in cls;

- $0.028 \text{ s/m}^{1/3}$  per rivestimento con materassi tipo Reno o gabbioni metallici;
- $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$  per alveo in terra non rivestito e aree golenali, rivestimento in massi.

#### 6.4 Condizioni al contorno

Il modello di calcolo in moto permanente, oltre ai dati geometrici del corso d'acqua, richiede la conoscenza di una condizione iniziale rappresentata dalla portata di progetto, e la definizione delle condizioni idrauliche al contorno nelle sezioni di monte e di valle del tratto simulato.

Come condizione al contorno di monte e di valle è stata inserita di norma quella corrispondente al moto uniforme.

In ogni caso le analisi in moto permanente sono state eseguite su un tratto significativo del corso d'acqua, adeguatamente esteso sia a monte che a valle sulla base delle informazioni disponibili, in modo da simulare realisticamente le condizioni di deflusso all'interno dei manufatti senza l'influenza delle condizioni al contorno di monte e di valle quanto queste non siano note.

#### 6.5 Rappresentazione dei risultati delle simulazioni numeriche

Nei successivi paragrafi vengono riportati i risultati delle implementazioni numeriche ed i risultati dei modelli matematici sviluppati per ogni corso d'acqua.

I risultati delle simulazioni in moto permanente sono riportati in forma sintetica nei paragrafi successivi ed in forma estesa negli allegati secondo quanto riportato nelle seguenti tabelle che indicano la progressiva dell'attraversamento, le modellazioni eseguite e l'allegato di riferimento.

Pk [km]	WBS	Modellazione SA/SP	Q <sub>200</sub> (mc/s)	Allegato di riferimento
7+931	VI04	SA e SP	56.4	G – H
67+630	-	SA	26.5	I

**Tabella 9 - Modellazioni eseguite e allegati di riferimento per le opere allo Stato Attuale e Stato di Progetto.**

#### 6.6 Simulazioni numeriche delle interferenze idrauliche in condizioni ante operam

Per ogni corso d'acqua i risultati delle simulazioni sono riassunti in una tabella contenente:

- sezione di riferimento (*River station*);
- portata ( $Q \text{ Total} - \text{m}^3/\text{s}$ );

- quota assoluta del punto più depresso della sezione (*Min Ch El – m s.m.m.*);
- quota assoluta del pelo libero (*W.S. Elev - m s.m.m.*);
- quota assoluta del livello critico (*Crit W.S. - m s.m.m.*);
- quota assoluta del livello energetico (*E.G. Elev - m s.m.m.*);
- cadente energetica (*E.G. Slope – m/m*);
- velocità media nel canale (*Vel Chnl – m/s*);
- area della sezione fluida (*Flow area – m<sup>2</sup>*);
- larghezza del pelo libero (*Top Width - m*);
- numero di Froude (*Froude Channel*);

Il livello idrico utilizzato nelle verifiche è riferito alle sezioni immediatamente a monte dell'opera di attraversamento in progetto.

#### **6.6.1 Pk 7+931 - Simulazione numerica Stato Attuale interferenza VI04 Torrente Diavolone**

Allo Stato Attuale il Torrente Diavoloni attraversa la linea storica situata a valle della futura linea ferroviaria in progetto con un tombino ad arco 8,00x5,50m. La sezione dell'alveo a monte e a valle della ferrovia è costituita da un canale in c.a. di dimensioni 8,00x3,00m.

Il bacino oggetto di studio risulta avere una superficie di 3.97 km<sup>2</sup>, pertanto la verifica idraulica viene condotta con riferimento ad un evento di tempo di ritorno pari a 200 anni, con portata pari a 56.4 m<sup>3</sup>/s in ingresso alla sezione di monte del modello.

Le caratteristiche geometriche del modello sono così riassumibili:

- Lunghezza totale tratto di studio: 1320 m;
- Numero di sezioni trasversali da rilievo topografico: 21;

Le opere di attraversamento presenti lungo il tratto d'asta in analisi, procedendo da monte verso valle sono:

- Ponte su Via della Libertà;
- Tombino 8,00x5,50 della Linea Storica;
- Ponte su Via Tenente Colonnello Carmine Calò;

La simulazione numerica è stata eseguita assumendo come condizione al contorno di monte e di valle il moto uniforme.

I livelli idrici riescono ad essere contenuti all'interno dell'alveo esistente e dei manufatti esistenti che risultano sufficienti al passaggio della piena di progetto con franchi molto ampi.

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

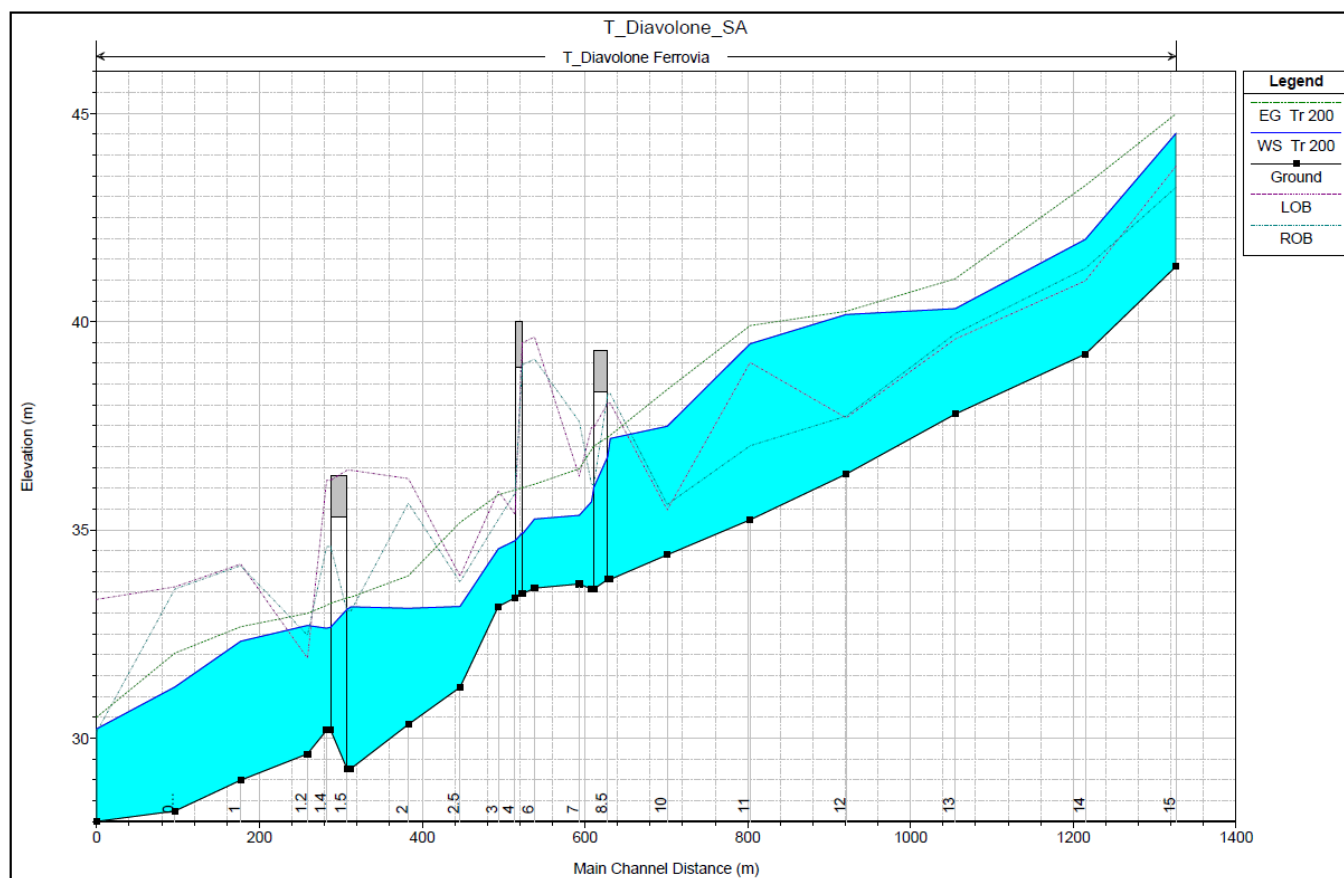
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NN1X	00 D 78	RI	ID0002 001	B	37 di 53

Di seguito si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed il profilo idrico della corrente di piena, mentre in allegato le risultanze delle computazioni per le sezioni di calcolo.

HEC-RAS Plan: SA River: T\_Diavolone Reach: Ferrovia Profile: Tr 200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	15	Tr 200	56.38	41.32	44.51	44.51	44.99	0.007951	3.50	21.11	22.35	0.73
Ferrovia	14	Tr 200	56.38	39.22	41.98	42.36	43.27	0.035820	5.57	11.54	11.21	1.19
Ferrovia	13	Tr 200	56.38	37.78	40.31	40.31	41.03	0.010648	3.80	15.55	11.71	0.93
Ferrovia	12	Tr 200	56.38	36.34	40.17	39.03	40.25	0.001191	1.59	50.43	44.30	0.27
Ferrovia	11	Tr 200	56.38	35.24	39.47	39.47	39.90	0.009573	3.14	21.11	23.13	0.52
Ferrovia	10	Tr 200	56.38	34.40	37.49	37.81	38.37	0.025143	4.99	14.24	16.14	0.94
Ferrovia	9	Tr 200	56.38	33.81	37.19	35.51	37.27	0.000677	1.23	45.99	20.02	0.26
Ferrovia	8.5	Bridge										
Ferrovia	8	Tr 200	56.38	33.58	35.67	36.02	36.92	0.027929	4.95	11.40	8.66	1.38
Ferrovia	7	Tr 200	56.38	33.70	35.35	35.67	36.47	0.027313	4.68	12.05	11.35	1.45
Ferrovia	6	Tr 200	56.38	33.60	35.26	35.26	36.10	0.002933	4.05	13.91	8.39	1.00
Ferrovia	5	Tr 200	56.38	33.47	34.92	35.13	36.02	0.004416	4.65	12.12	8.39	1.24
Ferrovia	4.5	Bridge										
Ferrovia	4	Tr 200	56.38	33.36	34.73	35.02	35.95	0.005131	4.89	11.53	8.40	1.33
Ferrovia	3	Tr 200	56.38	33.16	34.54	34.86	35.84	0.005500	5.04	11.18	8.08	1.37
Ferrovia	2.5	Tr 200	56.38	31.22	33.16	33.81	35.18	0.053585	6.29	8.97	7.75	1.87
Ferrovia	2	Tr 200	56.38	30.33	33.12	33.11	33.90	0.014516	3.91	14.42	9.15	0.99
Ferrovia	1.6	Tr 200	56.38	29.27	33.15	31.25	33.39	0.002441	2.14	26.37	7.84	0.36
Ferrovia	1.5	Bridge										
Ferrovia	1.4	Tr 200	56.38	30.19	32.64		33.19	0.007981	3.28	17.17	7.27	0.68
Ferrovia	1.2	Tr 200	56.38	29.62	32.71		33.00	0.003332	2.40	24.16	15.01	0.55
Ferrovia	1	Tr 200	56.38	28.99	32.33		32.67	0.004502	2.61	21.58	11.65	0.61
Ferrovia	0.6	Tr 200	56.38	28.25	31.23	31.23	32.04	0.013448	4.00	14.11	8.73	1.00
Ferrovia	0.4	Tr 200	56.38	28.00	30.22	29.85	30.50	0.005003	2.34	24.12	18.68	0.65

**Tabella 10 - Risultati simulazione Stato Attuale VI04 Torrente Diavolone pk 7+931.**



**Figura 14 - Profilo di corrente Tr 200 anni Stato Attuale VI04 Torrente Diavolone pk 7+931.**

### 6.6.2 Pk 67+630 Linea Storica - Simulazione numerica Stato Attuale interferenza Fosso Volta dei Ladri

Allo Stato Attuale il Fosso Volta dei Ladri oltre la fine dell'intervento è attraversato con un tombino di dimensioni 4,00x5,50m. La sezione dell'alveo a monte e a valle della ferrovia è costituita da un canale in c.a. di dimensioni 4,00x3,50m.

Il bacino oggetto di studio risulta avere una superficie di 1.57 km<sup>2</sup>, pertanto la verifica idraulica viene condotta con riferimento ad un evento di tempo di ritorno pari a 200 anni, con portata pari a 26.5 m<sup>3</sup>/s in ingresso alla sezione di monte del modello.

Le caratteristiche geometriche del modello sono così riassumibili:

- Lunghezza totale tratto di studio: 510 m;
- Numero di sezioni trasversali da rilievo topografico: 14;

Le opere di attraversamento presenti lungo il tratto d'asta in analisi, procedendo da monte verso valle sono:

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NN1X	00 D 78	RI	ID0002 001	B	39 di 53

- Tombino 4,00x5,50 della Linea Storica;

La simulazione numerica è stata eseguita assumendo come condizione al contorno di monte e di valle il moto uniforme.

I livelli idrici riescono ad essere contenuti all'interno dell'alveo esistente e dei manufatti esistenti che risultano sufficienti al passaggio della piena di progetto con franchi molto ampi.

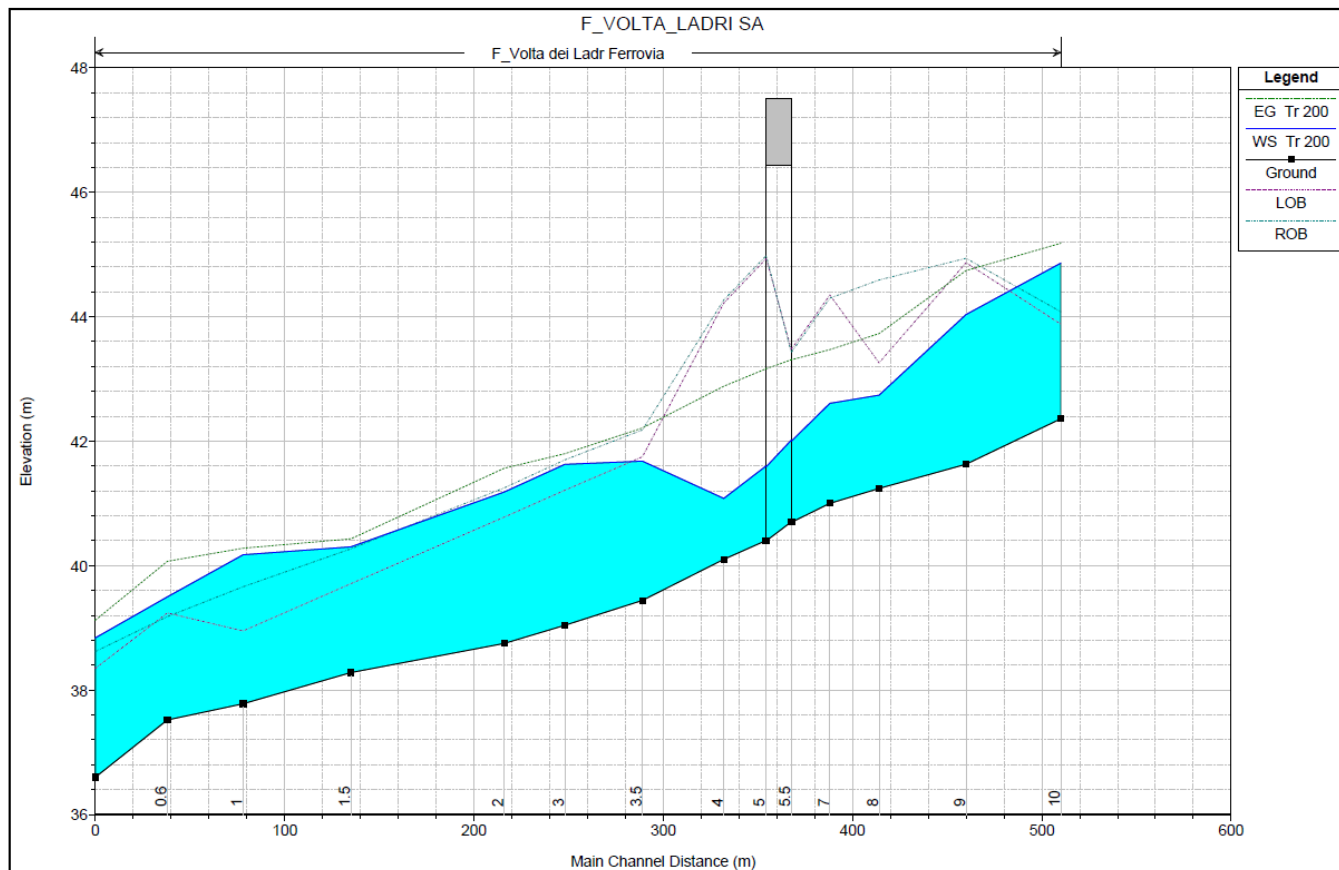
Di seguito si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed il profilo idrico della corrente di piena, mentre in allegato le risultanze delle computazioni per le sezioni di calcolo.

HEC-RAS Plan: Plan 05 River: F\_Volta dei Ladr Reach: Ferrovia Profile: Tr 200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	10	Tr 200	26.50	42.36	44.86	44.32	45.18	0.004608	2.53	11.06	7.11	0.58
Ferrovia	9	Tr 200	26.50	41.63	44.04	44.04	44.74	0.017193	3.72	7.12	5.09	1.00
Ferrovia	8	Tr 200	26.50	41.24	42.74	42.95	43.73	0.027242	4.41	6.01	4.65	1.24
Ferrovia	7	Tr 200	26.50	41.00	42.61	42.64	43.47	0.004429	4.11	6.44	4.01	1.04
Ferrovia	6	Tr 200	26.50	40.70	42.01	42.34	43.31	0.007834	5.05	5.24	4.01	1.41
Ferrovia	5.5	Bridge										
Ferrovia	5	Tr 200	26.50	40.40	41.59	42.04	43.16	0.010166	5.54	4.78	4.01	1.62
Ferrovia	4	Tr 200	26.50	40.10	41.08	41.61	42.88	0.013137	5.95	4.46	4.56	1.92
Ferrovia	3.5	Tr 200	26.50	39.44	41.68	41.60	42.21	0.012904	3.23	8.20	6.59	0.92
Ferrovia	3	Tr 200	26.50	39.04	41.63	40.86	41.80	0.004834	1.98	18.05	35.03	0.54
Ferrovia	2	Tr 200	26.50	38.75	41.18	41.18	41.56	0.009797	2.95	11.37	15.30	0.79
Ferrovia	1.5	Tr 200	26.50	38.28	40.30	39.99	40.43	0.003511	1.84	18.48	21.70	0.50
Ferrovia	1	Tr 200	26.50	37.78	40.17		40.28	0.001895	1.63	21.86	23.76	0.40
Ferrovia	0.6	Tr 200	26.50	37.52	39.50	39.50	40.07	0.014544	3.41	8.30	7.41	0.97
Ferrovia	0.3	Tr 200	26.50	36.60	38.84	38.40	39.12	0.005002	2.38	11.50	7.90	0.61

**Tabella 11 - Risultati simulazione Stato Attuale Fosso Volta dei Ladri pk 67+630 Linea Storica.**





**Figura 15 - Profilo di corrente Tr 200 anni Stato Attuale Fosso Volta dei Ladri pk 67+630 Linea Storica.**

### 6.7 Simulazioni numeriche delle interferenze idrauliche in condizioni post operam

Per ogni corso d'acqua i risultati delle simulazioni sono riassunti nel profilo idrico della piena ed in una tabella contenente le seguenti informazioni:

- sezione di riferimento (*River station*);
- portata ( $Q_{Total} - m^3/s$ );
- quota assoluta del punto più depresso della sezione (*Min Ch El - m s.m.m.*);
- quota assoluta del pelo libero (*W.S. Elev - m s.m.m.*);
- quota assoluta del livello critico (*Crit W.S. - m s.m.m.*);
- quota assoluta del livello energetico (*E.G. Elev - m s.m.m.*);
- cadente energetica (*E.G. Slope - m/m*);
- velocità media nel canale (*Vel Chnl - m/s*);
- area della sezione fluida (*Flow area - m<sup>2</sup>*);

- larghezza del pelo libero (*Top Width - m*);
- numero di Froude (*Froude Channel*);

Il livello idrico utilizzato nelle verifiche è riferito alle sezioni immediatamente a monte dell'opera di attraversamento in progetto.

### 6.7.1 Pk 7+931 - Simulazione numerica Stato di Progetto interferenza VI04 Torrente Diavolone

Allo Stato di Progetto il Torrente Diavolone attraversa la linea di progetto con un ponte a campata unica di lunghezza 19 m con spalle poste al di fuori del canale in c.a. esistente. L'attuale attraversamento della linea storica costituito da un tombino ad arco 8,00x5,50m rimane inalterato, come la sezione dell'alveo a monte e a valle della ferrovia che è costituita da un canale in c.a. di dimensioni 8,00x3,00m.

Il bacino oggetto di studio risulta avere una superficie di 3.97 km<sup>2</sup>, pertanto la verifica idraulica viene condotta con riferimento ad un evento di tempo di ritorno pari a 200 anni, con portata pari a 56.4 m<sup>3</sup>/s in ingresso alla sezione di monte del modello.

Le caratteristiche geometriche del modello sono così riassumibili:

- Lunghezza totale tratto di studio: 1320 m;
- Numero di sezioni trasversali da rilievo topografico: 21;

Le opere di attraversamento presenti lungo il tratto d'asta in analisi, procedendo da monte verso valle sono:

- Ponte su Via della Libertà;
- Attraversamento in progetto con ponte L=19 m;
- Tombino 8,00x5,50 della Linea Storica;
- Ponte su Via Tenente Colonnello Carmine Calò;

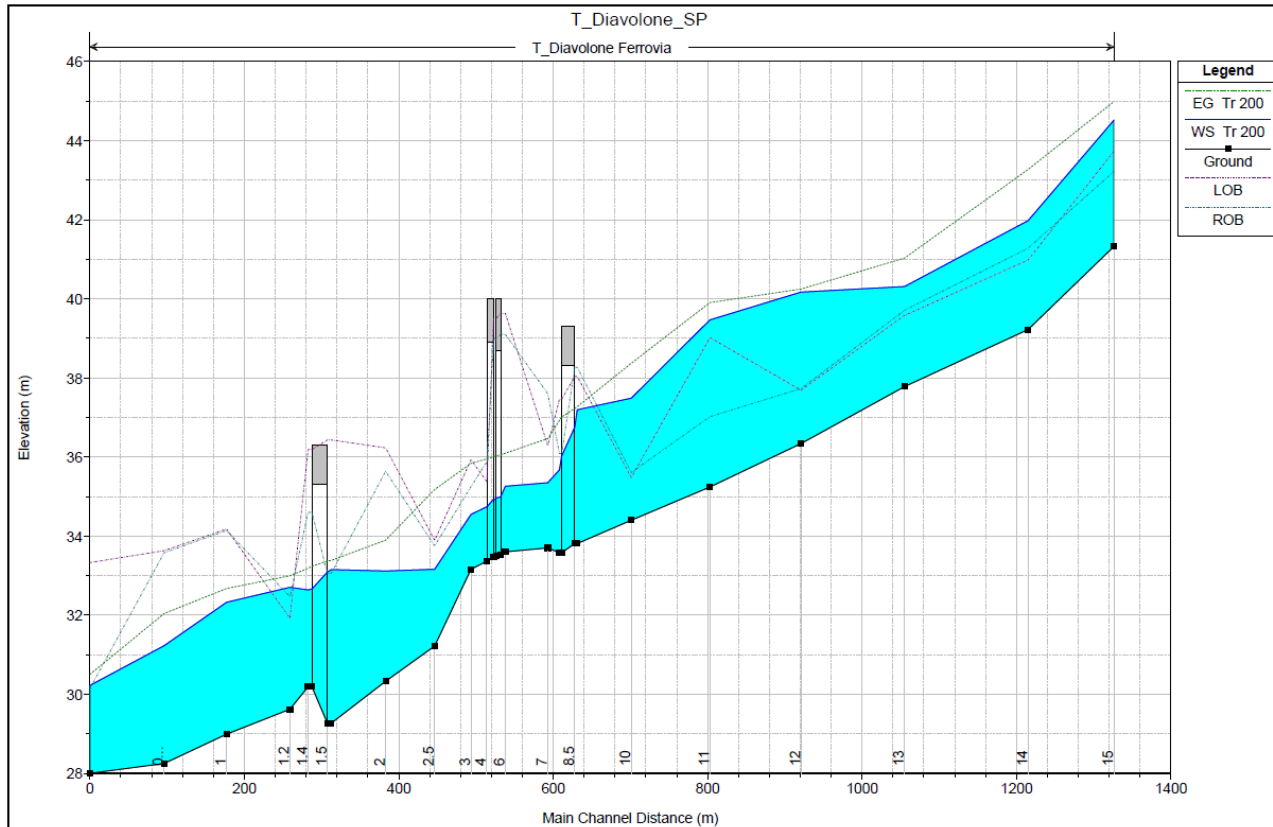
La simulazione numerica è stata eseguita assumendo come condizione al contorno di monte e di valle il moto uniforme.

Di seguito si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed il profilo idrico della corrente di piena, mentre in allegato le risultanze delle computazioni per le sezioni di calcolo.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: T\_Diavolone Reach: Ferrovia Profile: Tr 200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	15	Tr 200	56.38	41.32	44.51	44.51	44.99	0.007951	3.50	21.11	22.35	0.73
Ferrovia	14	Tr 200	56.38	39.22	41.98	42.36	43.27	0.035820	5.57	11.54	11.21	1.19
Ferrovia	13	Tr 200	56.38	37.78	40.31	40.31	41.03	0.010648	3.80	15.55	11.71	0.93
Ferrovia	12	Tr 200	56.38	36.34	40.17	39.03	40.25	0.001191	1.59	50.43	44.30	0.27
Ferrovia	11	Tr 200	56.38	35.24	39.47	39.47	39.90	0.009573	3.14	21.11	23.13	0.52
Ferrovia	10	Tr 200	56.38	34.40	37.49	37.81	38.37	0.025143	4.99	14.24	16.14	0.94
Ferrovia	9	Tr 200	56.38	33.81	37.19	35.51	37.27	0.000677	1.23	45.99	20.02	0.26
Ferrovia	8.5	Bridge										
Ferrovia	8	Tr 200	56.38	33.58	35.67	36.02	36.92	0.027929	4.95	11.40	8.66	1.38
Ferrovia	7	Tr 200	56.38	33.70	35.35	35.67	36.47	0.027313	4.68	12.05	11.35	1.45
Ferrovia	6	Tr 200	56.38	33.60	35.26	35.26	36.10	0.002933	4.05	13.91	8.39	1.00
Ferrovia	5.5	Bridge										
Ferrovia	5	Tr 200	56.38	33.47	34.92	35.13	36.02	0.004354	4.63	12.18	8.39	1.23
Ferrovia	4.5	Bridge										
Ferrovia	4	Tr 200	56.38	33.36	34.74	35.02	35.95	0.005084	4.87	11.57	8.40	1.33
Ferrovia	3	Tr 200	56.38	33.16	34.55	34.86	35.84	0.005471	5.04	11.20	8.08	1.37
Ferrovia	2.5	Tr 200	56.38	31.22	33.16	33.81	35.18	0.053575	6.29	8.97	7.75	1.87
Ferrovia	2	Tr 200	56.38	30.33	33.12	33.11	33.90	0.014516	3.91	14.42	9.15	0.99
Ferrovia	1.6	Tr 200	56.38	29.27	33.15	31.25	33.39	0.002441	2.14	26.37	7.84	0.36
Ferrovia	1.5	Bridge										
Ferrovia	1.4	Tr 200	56.38	30.19	32.64		33.19	0.007981	3.28	17.17	7.27	0.68
Ferrovia	1.2	Tr 200	56.38	29.62	32.71		33.00	0.003332	2.40	24.16	15.01	0.55
Ferrovia	1	Tr 200	56.38	28.99	32.33		32.67	0.004502	2.61	21.58	11.65	0.61
Ferrovia	0.6	Tr 200	56.38	28.25	31.23	31.23	32.04	0.013448	4.00	14.11	8.73	1.00
Ferrovia	0.4	Tr 200	56.38	28.00	30.22	29.85	30.50	0.005003	2.34	24.12	18.68	0.65

**Tabella 12 - Risultati simulazione Stato di Progetto VI04 Torrente Diavolone 7+931.**



**Figura 16 - Profilo di corrente Tr 200 anni Stato di Progetto VI04 Torrente Diavolone 7+931.**

I valori dei franchi e velocità rispettano i limiti di cui ai paragrafi 5.1 e 5.2 come riportato nella seguente tabella.

Pk [km]	WBS	Corso d'acqua	Tipologia	Q 200 (mc/s)	Liv. Idrico massimo	Quota intradosso	Franco idraulico	Liv. Carico Idr. Max.	Franco sul carico idraulico
					(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
7+931	VI04	T. Diavolone	Ponte	56.4	35.26	38.60	3.34	36.10	2.50

**Tabella 13 - Verifica del franco idraulico e del franco sul carico idraulico per le opere maggiori in progetto**

## 7 VERIFICA DELLE CONDIZIONI D'INCIPIENTE EROSIONE

Le inalveazioni in progetto prevedono due diverse tipologie di rivestimento:

1. Rivestimento in cls
2. Rivestimento con massi naturali intasati con cls

Nella seguente tabella viene riportata, per ciascuna sistemazione idraulica trattata nella presente relazione, la tipologia di rivestimento prevista:

<b>Pk [km]</b>	<b>ID Interferenza</b>	<b>Tipologia d'intervento in progetto</b>	<b>Tipologia di rivestimento</b>
7+931	VI04	Non è previsto alcun rivestimento in quanto il ponte supera un canale esistente in c.a.	Nessuno

**Tabella 14 - Tipologia di rivestimento inalveazioni per la linea ferroviaria in progetto**

## 8 *COMPATIBILITA' IDRAULICA*

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'attraversamento maggiore VI04 e dell'infrastruttura di 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 con il normale deflusso delle acque.

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

- NTC 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- Manuale di Progettazione RFI 2020;
- Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) e le relative Norme Tecniche di Attuazione dell'Autorità di Bacino Regionale Campania Sud ed Interregionale per il bacino idrografico del fiume Sele, ad oggi facente parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, nella sua ultima edizione è entrato in vigore con la pubblicazione sulla G.U.R.I. n. 190 del 16 agosto 2016.
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) del Distretto Idrografico dell'Appennino Meridionale (II ciclo di pianificazione, agg. Aprile 2020) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA).

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

Dagli elaborati grafici annessi al PAI si evince come l'infrastruttura ferroviaria di progetto, in corrispondenza dell'attraversamento oggetto della presente relazione, non intercetti le perimetrazioni del Piano di Bacino o attraversi aree classificate come “aree a pericolosità idraulica”.

Il PAI relativamente al dimensionamento delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua rimanda alle Norme Tecniche sulle Costruzioni.

	Opera	Periodo di ritorno	Franco	Grado di riempimento
<b>Manuale di Progettazione</b>	Ponte/Viadotto - linea ferroviaria	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico min <b>0.5m</b> sul livello energetico	-
	Ponte/Viadotto - deviazione stradale	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico min <b>0.5m</b> sul livello energetico	-
	Tombino	TR200 anni	-	max 70%
	Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piattaforma ferroviaria TR100 anni</li> <li>• Deviazioni stradali TR25 anni</li> </ul>	-	-
<b>NTC2018 e relativa circolare applicativa</b>	Ponte/Viadotto - linea ferroviaria	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico	-
	Ponte/Viadotto - deviazione stradale	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico	-
	Tombino (per portate fino a 50mc/s)	TR200 anni	0.5 m dall'intradosso	max. 2/3 dell'altezza
	Drenaggio di piattaforma (cunette, tubazioni, etc.)	-	-	-

**Tabella 15 - Quadro normativo di riferimento.**

### **8.1 Studio idrologico**

Lo studio idrologico è stato condotto con l'obiettivo di valutare, con i modelli proposti in letteratura, le portate al colmo di piena nei corsi d'acqua interessati dalle opere in progetto.

Le stime delle portate sono state effettuate mediante l'applicazione del metodo razionale, a partire dai dati di precipitazione calcolati mediante il confronto di più metodologie valide per l'area di studio ed in riferimento alla piena con frequenza 200 anni.

Le stime condotte sono riportate nelle Relazione Idrologica annessa.

### **8.2 Verifiche idrauliche**

Gli attraversamenti sui corsi d'acqua sono stati verificati sulla base delle prescrizioni tecniche del Manuale di Progettazione RFI 2020 e delle NTC 2018 e relativa Circolare applicativa.

Per l'opera maggiore oggetto della presente relazione, la piena di riferimento ha frequenza 200 anni in quanto trattasi di bacini con area inferiore a 10 km<sup>2</sup>.

Lo studio idraulico è stato eseguito mediante simulazioni in moto permanente considerando un tratto significativo del corso d'acqua sia a monte che a valle dell'attraversamento.

Per quanto non espressamente indicato, valgono per analogia le prescrizioni di cui al Capitolo 5 del presente documento.

### **8.3 Sistemazioni idrauliche**

L'opera VI04 in progetto non interferisce con il corso d'acqua nel suo assetto attuale, che in corrispondenza dell'attraversamento è costituito da un canale ad U in c.a. e pertanto non sono previste sistemazioni idrauliche in progetto.

### **8.4 Analisi di compatibilità idraulica**

L'infrastruttura ferroviaria e stradale di progetto, come già accennato in precedenza, è esterna alle perimetrazioni delle aree a pericolosità idraulica del PAI.

La verifica di compatibilità idraulica viene pertanto eseguita in riferimento al cap. 5.1.2.3 delle NTC 2018 e relativa circolare applicativa, e al Manuale di Progettazione RFI 2020, dove vengono specificate le seguenti condizioni minime:

Ponti:

- Piena di riferimento Tr 200 anni;
- Franco idraulico minimo sul livello di massima piena 1,50 m;
- Franco minimo sul carico idraulico totale 0.5 m;

Per la verifica dei punti precedenti relativamente ai franchi idraulici si riporta nella tabella seguente, per ciascun attraversamento la progressiva, l'identificativo dell'interferenza, la portata di progetto, la quota di intradosso di ciascun manufatto, la quota del livello idrico stimato in corrispondenza della sezione di monte, il valore del franco idraulico ed del franco sul carico idraulico.



Pk [km]	WBS	Corso d'acqua	Tipologia	Q 200 (mc/s)	Liv. Idrico massimo	Quota intradosso	Franco idraulico	Liv. Carico Idr. Max.	Franco sul carico idraulico
					(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)
7+931	VI04	T. Diavolone	Ponte	56.4	35.26	38.60	3.34	36.10	2.50

**Tabella 16 - Verifica del franco idraulico e del franco sul carico idraulico per le opere maggiori in progetto**

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.

## 9 **CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI**

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas *climalteranti* in atmosfera. A tale proposito, l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways – RCP*), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m<sup>2</sup> - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m<sup>2</sup> - RCP4.5 e 6 W/m<sup>2</sup>- RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m<sup>2</sup> - RCP8.5).

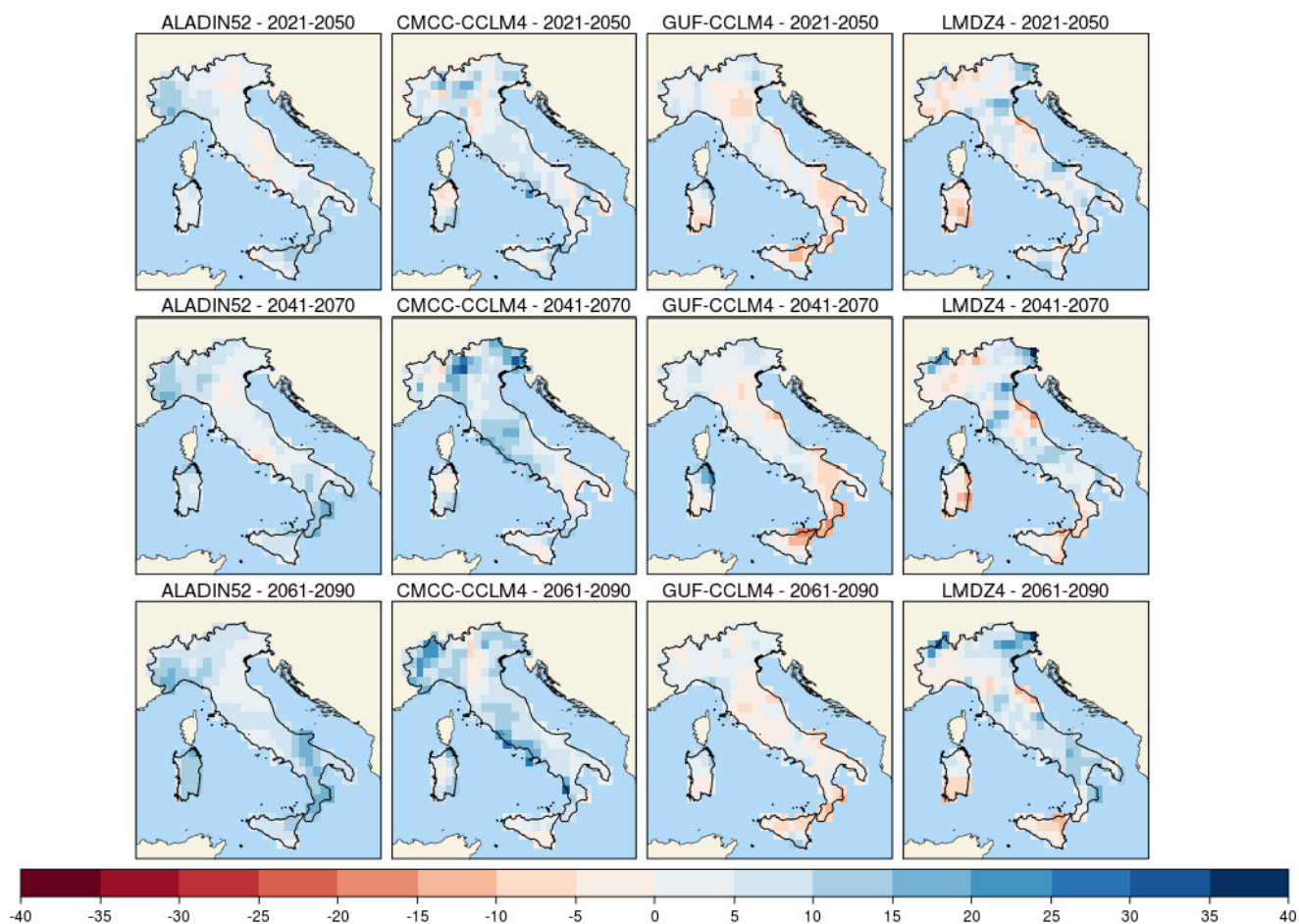
Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine "*proiezione climatica*", riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali ("*Regional Climate Models*", RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. "*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*", 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

**RCP 4.5**

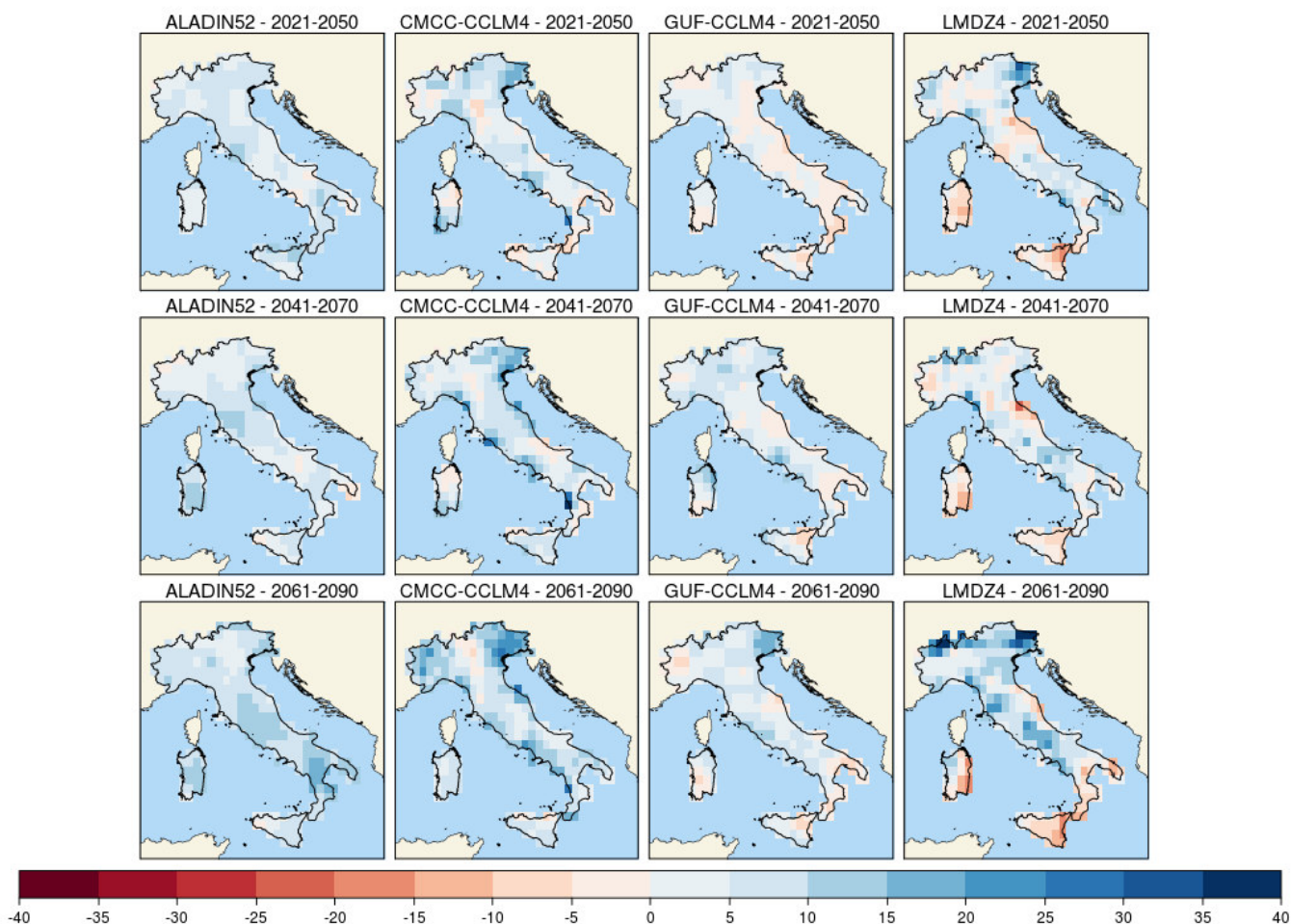


**Figura 17. - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5.**

**Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).**

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

**RCP 8.5**



**Figura 18. - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.**

**Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).**

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera ( $h_{24}$ ) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione $max h_{24}$	Modello di previsione	Scenario
2021-2050	+10-15 mm	LMDZ4	RCP4.5
2041-2070	+10-15 mm	LMDZ4	RCP8.5
2061-2090	+10-15 mm	ALADIN52	RCP4.5

**Tabella 17 - Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).**

Con riferimento allo studio idrologico annesso al progetto definitivo (rif. Elab. *NNIX00D09RIID0001001A*), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche analizzate (Stazione pluviometrica di Salerno), il valore massimo di precipitazione massima giornaliera ( $h_{24}$ ), nel periodo climatologico 1971-2000, ammonta a **98,85 mm**. Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia +10-15 mm, corrisponde ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del **10,1-15,2%** circa.

Applicando tale incremento percentuale all'altezza di pioggia di progetto, per il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma, e alla portata di progetto, per i corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria, ne deriva che le opere in progetto risultano tutte verificate, con un sufficiente grado di sicurezza, rispetto ai possibili scenari climatici futuri.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte. In particolare, è stato valutato l'impatto dei cambiamenti climatici sulle opere di attraversamento dei corsi d'acqua minori e maggiori e sul sistema di smaltimento delle acque di piattaforma. E' stata, inoltre, valutata l'incidenza della realizzazione della linea ferroviaria di progetto sulle portate dei corsi d'acqua interferenti con la nuova infrastruttura.

### **Interferenze idrauliche maggiori**

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle verifiche idrauliche, in termini di franco sui livelli idrici ed energetici delle opere in progetto per lo scenario attuale (di progetto) e futuro.

La portata per gli scenari futuri è stata determinata applicando l'incremento del **(+10,1%)** al valore della portata di progetto, quest'ultima valutata sulla base dei dati pluviometrici ad oggi disponibili.

Pk [km]	WBS	Corso d'acqua	Tipologia	Q 200 (mc/s)	Franco idraulico (m)	Q200 al 2090 (mc/s)	Franco idraulico (m)	Var Franco (m)
7+931	VI04	T. Diavolone	Ponte	56.4	3.34	62.10	3.08	-0.26

**Tabella 18 - Verifica del franco idraulico per le opere in riferimento alle variazioni di precipitazione attese.**

Relazione idraulica opere maggiori e di compatibilità idraulica

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	PAG.
NN1X	00 D 78	RI	ID0002 001	B	53 di 53

Considerando le variazioni future di precipitazione, si ha un una riduzione massima del franco sul livello idrico di 26 cm sul Torrente Diavolone, pertanto le opere continuano a funzionare a pelo libero con un sufficiente margine di sicurezza.

**ALLEGATO G**

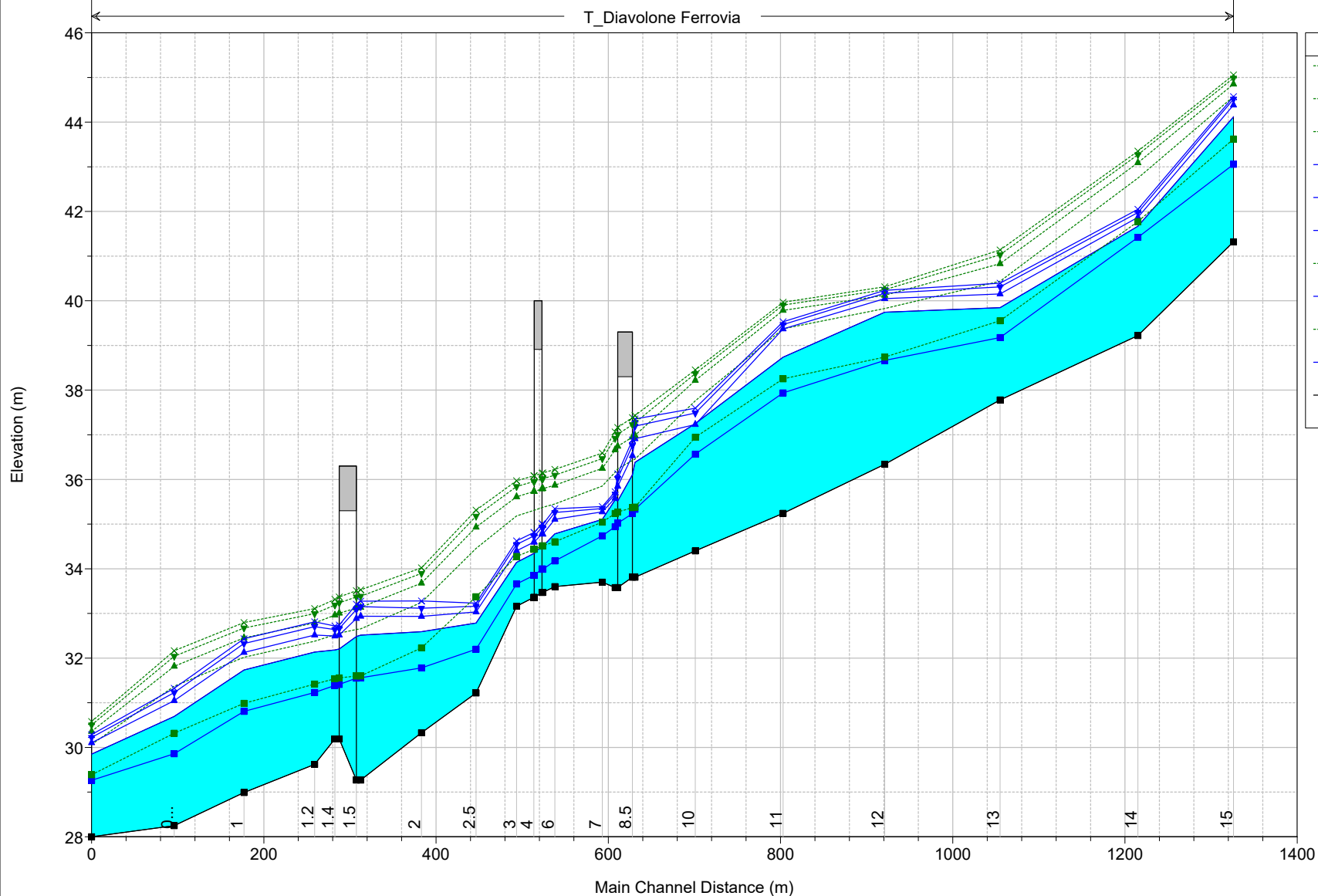
**Pk 7+931 - interferenza VI04**

**Stato Attuale**

**Risultati delle simulazioni in moto permanente**

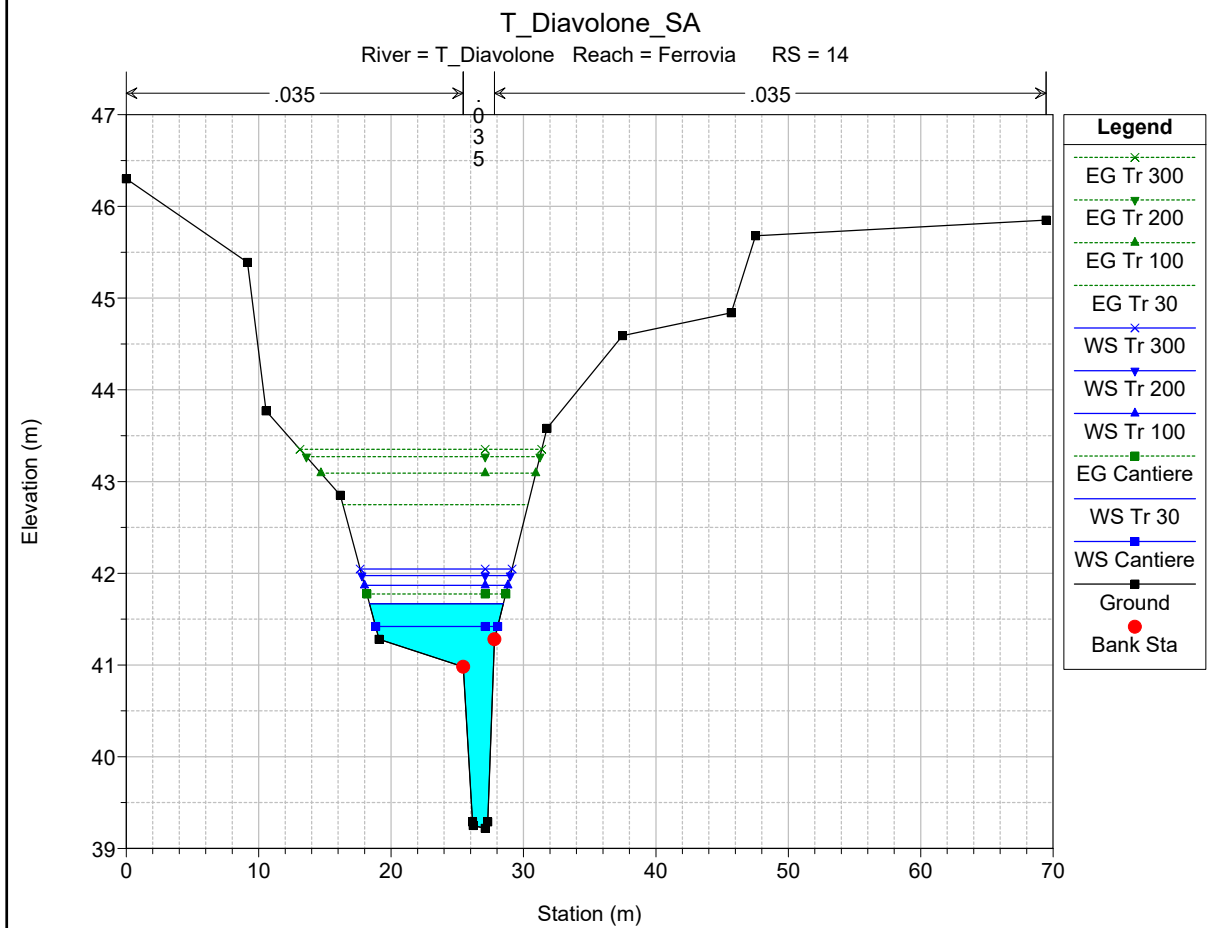
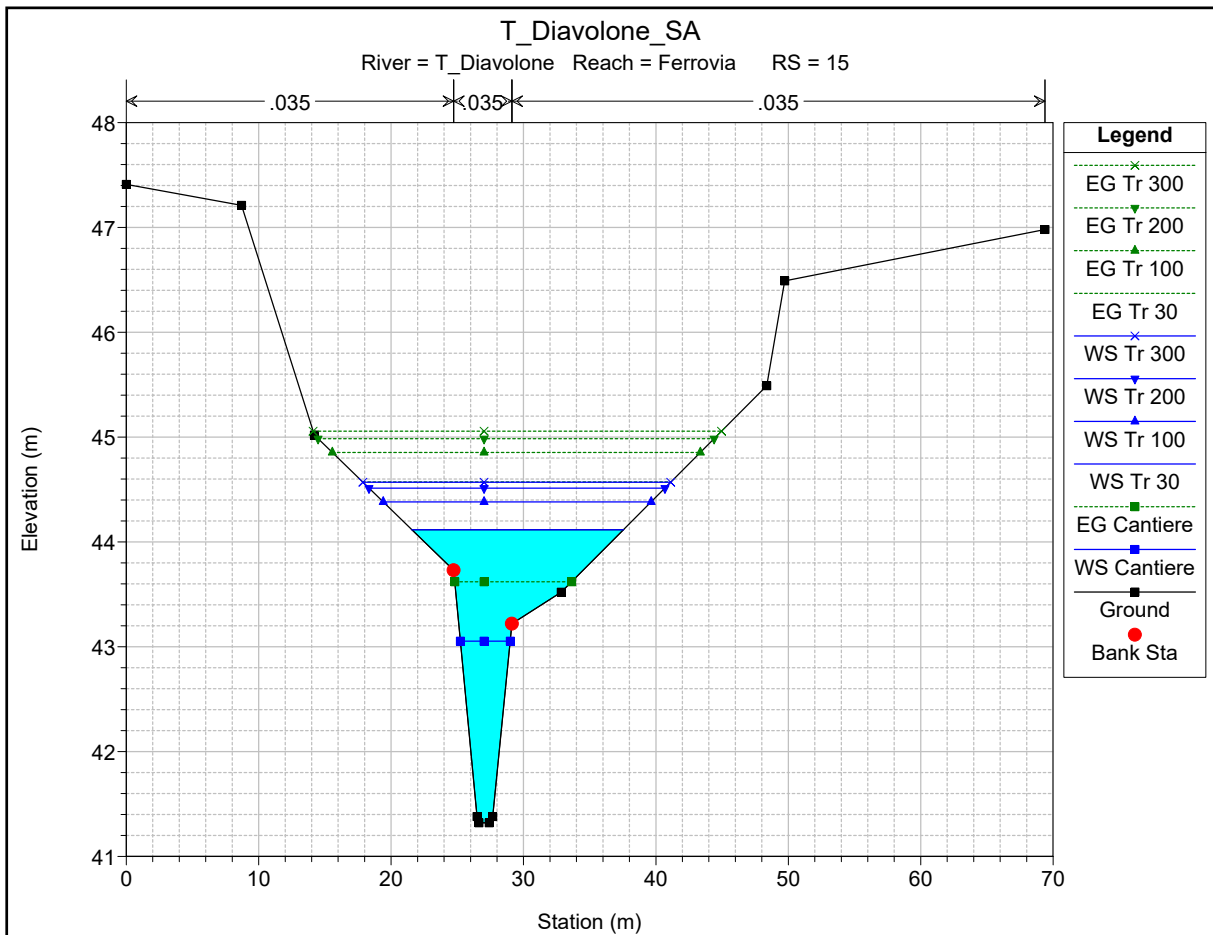
# T\_Diavolone\_SA

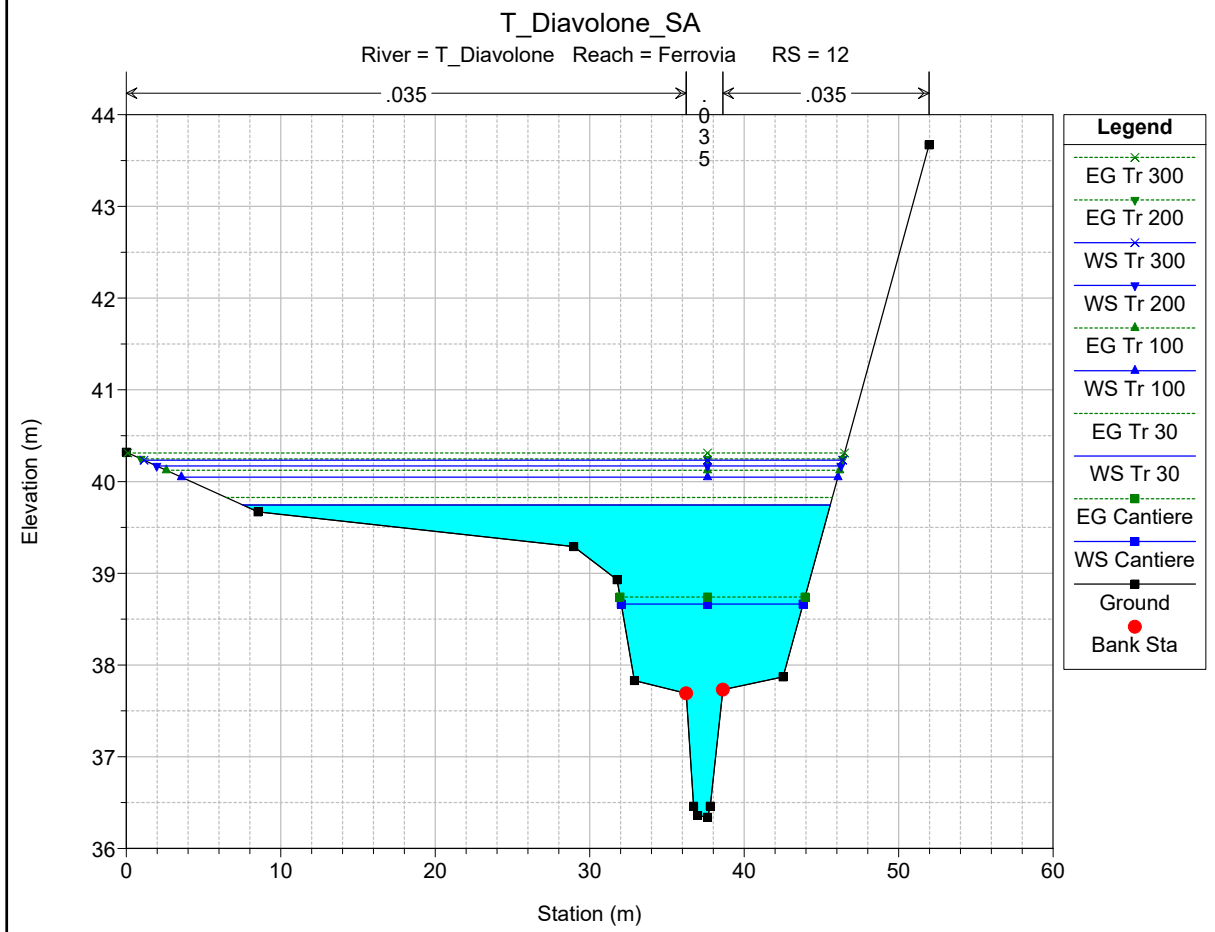
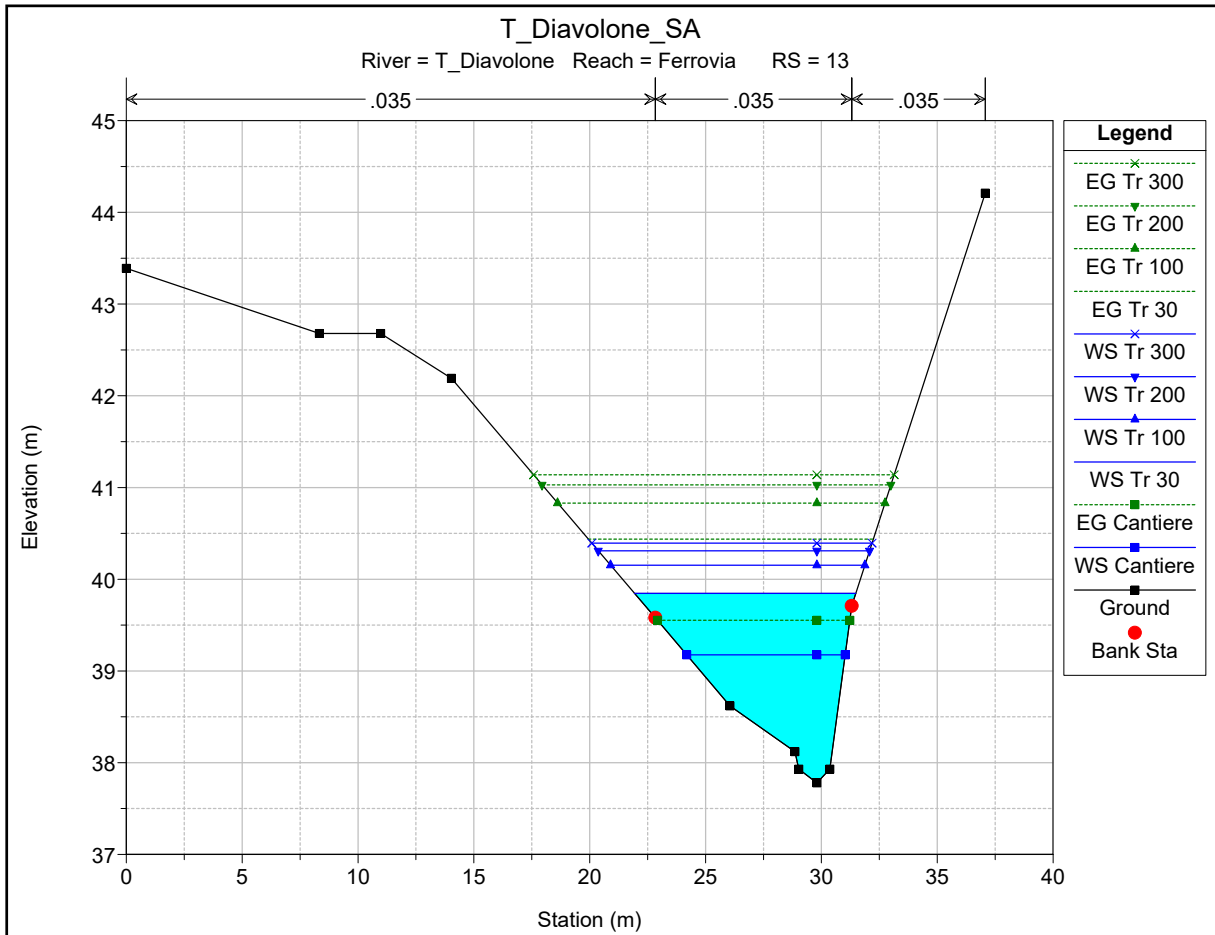
T\_Diavolone Ferrovia

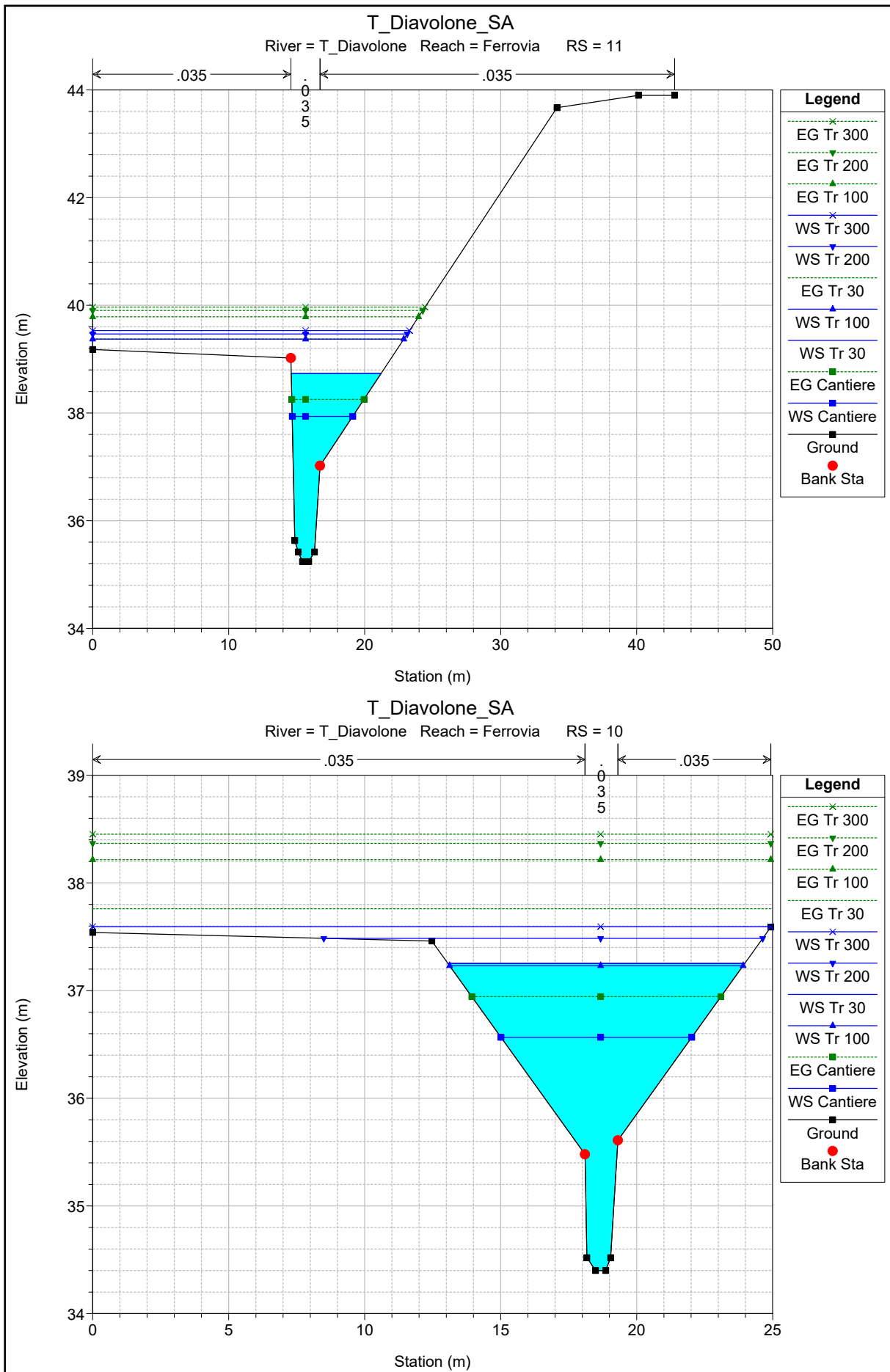


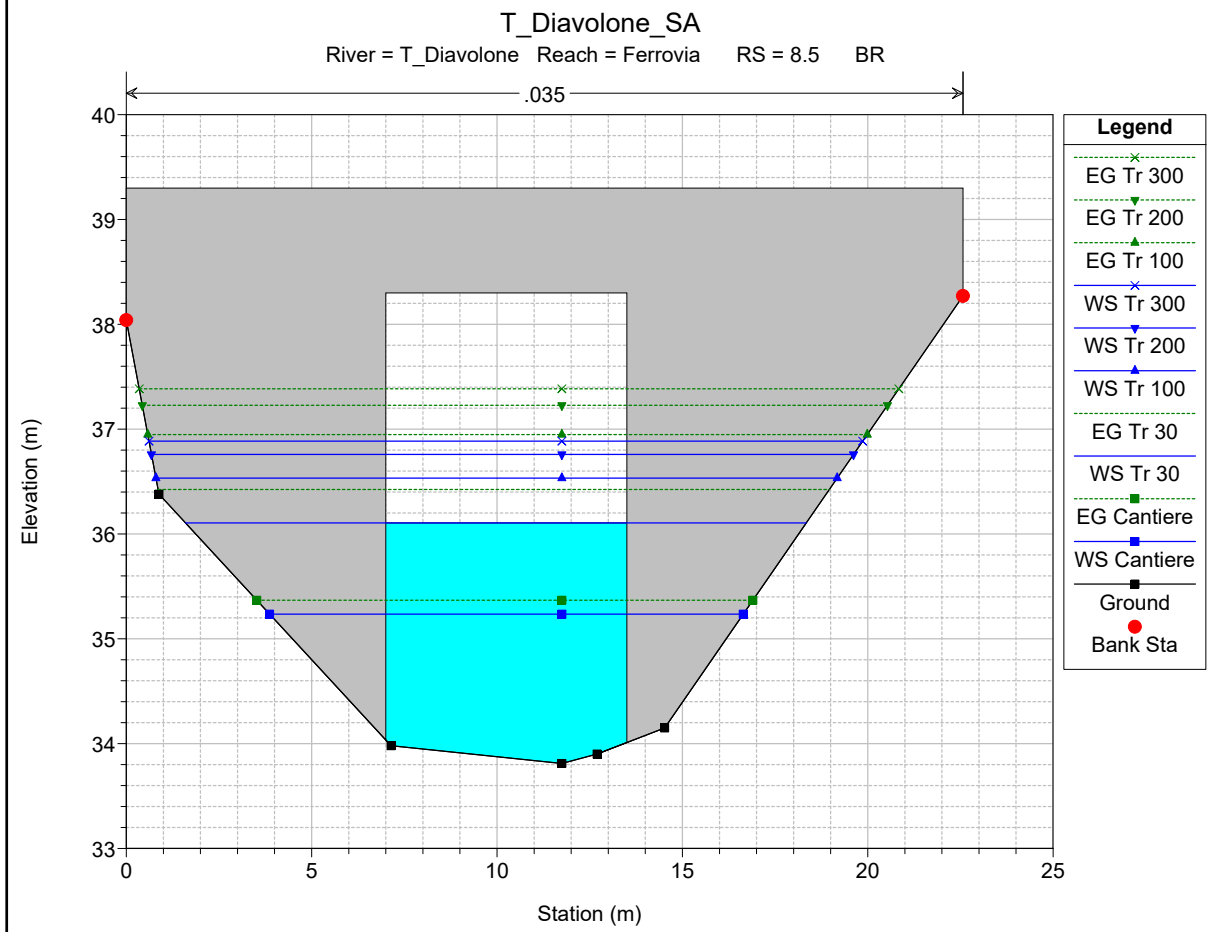
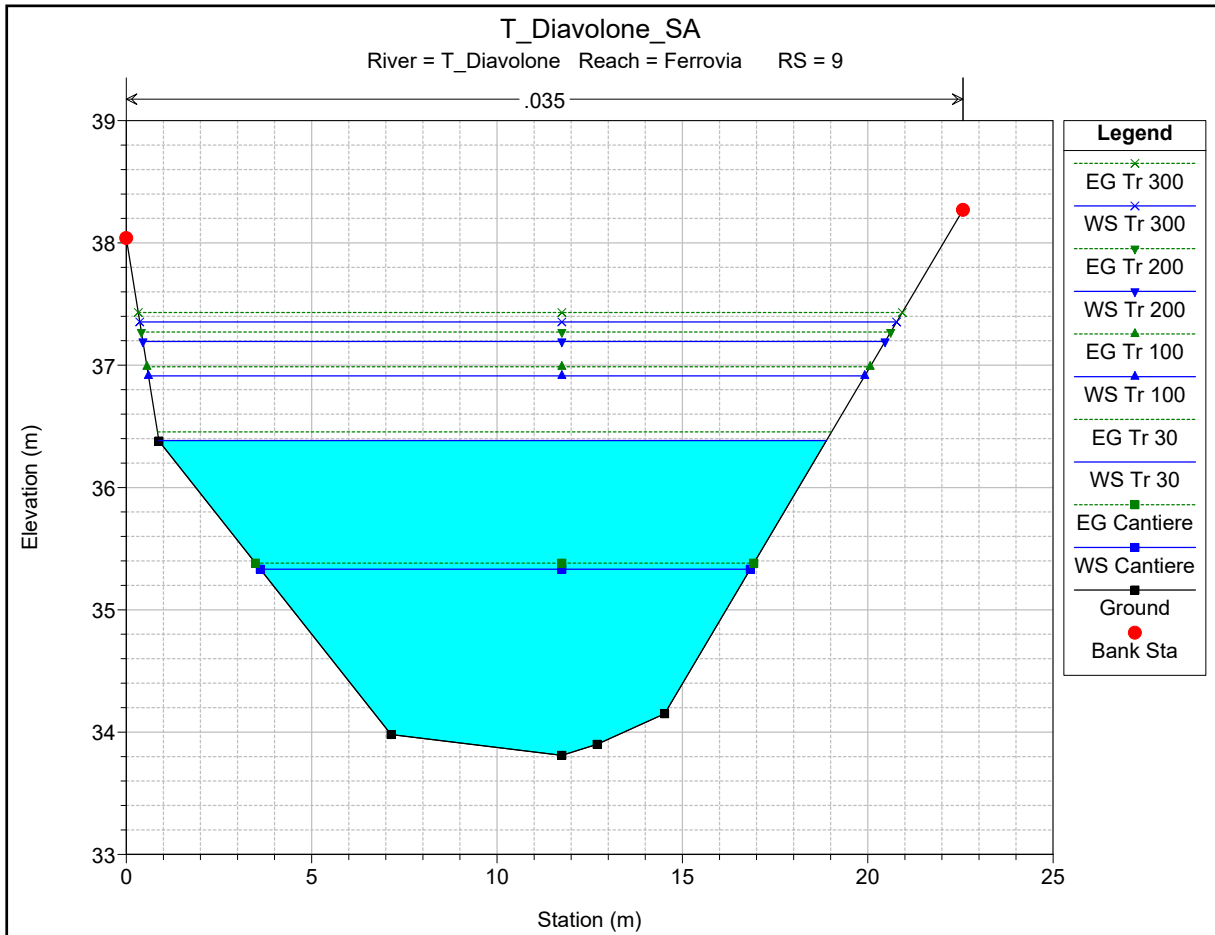
Legend	
EG Tr 300	(dashed green line with 'x' markers)
EG Tr 200	(dashed green line with inverted triangle markers)
EG Tr 100	(dashed green line with triangle markers)
WS Tr 300	(solid blue line with 'x' markers)
WS Tr 200	(solid blue line with inverted triangle markers)
WS Tr 100	(solid blue line with triangle markers)
EG Tr 30	(dashed green line with 'x' markers)
WS Tr 30	(solid blue line with 'x' markers)
EG Cantiere	(dashed green line with square markers)
WS Cantiere	(solid blue line with square markers)
Ground	(solid black line with square markers)

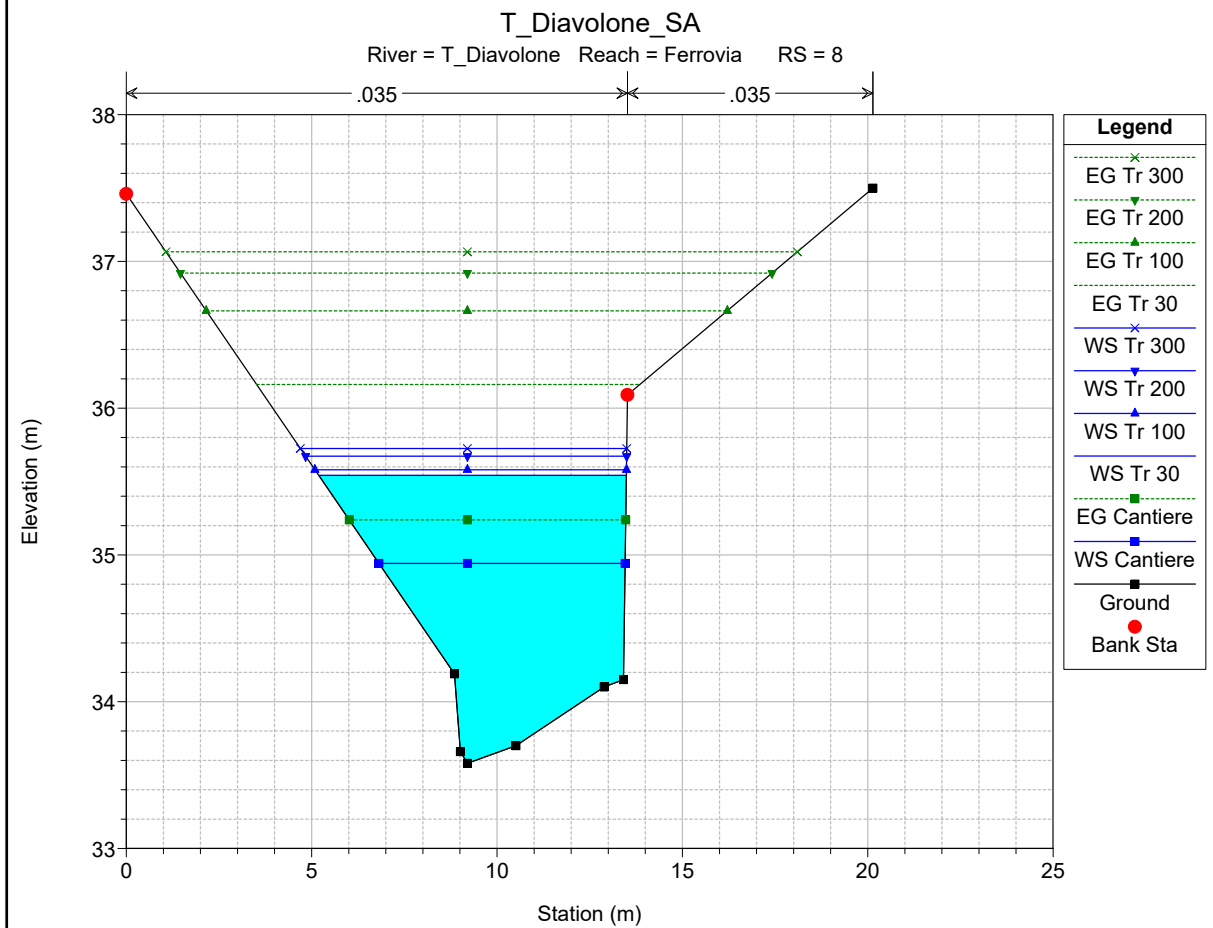
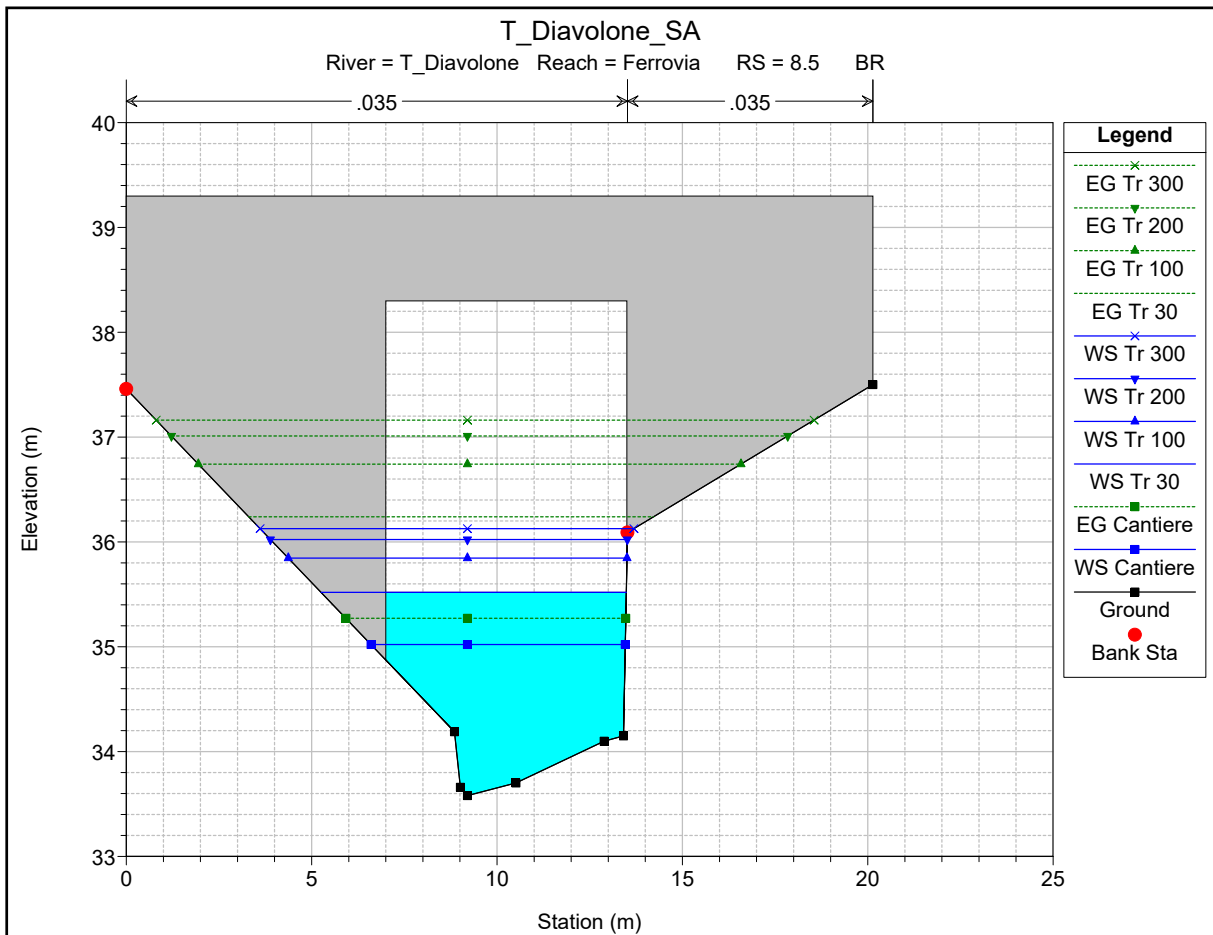


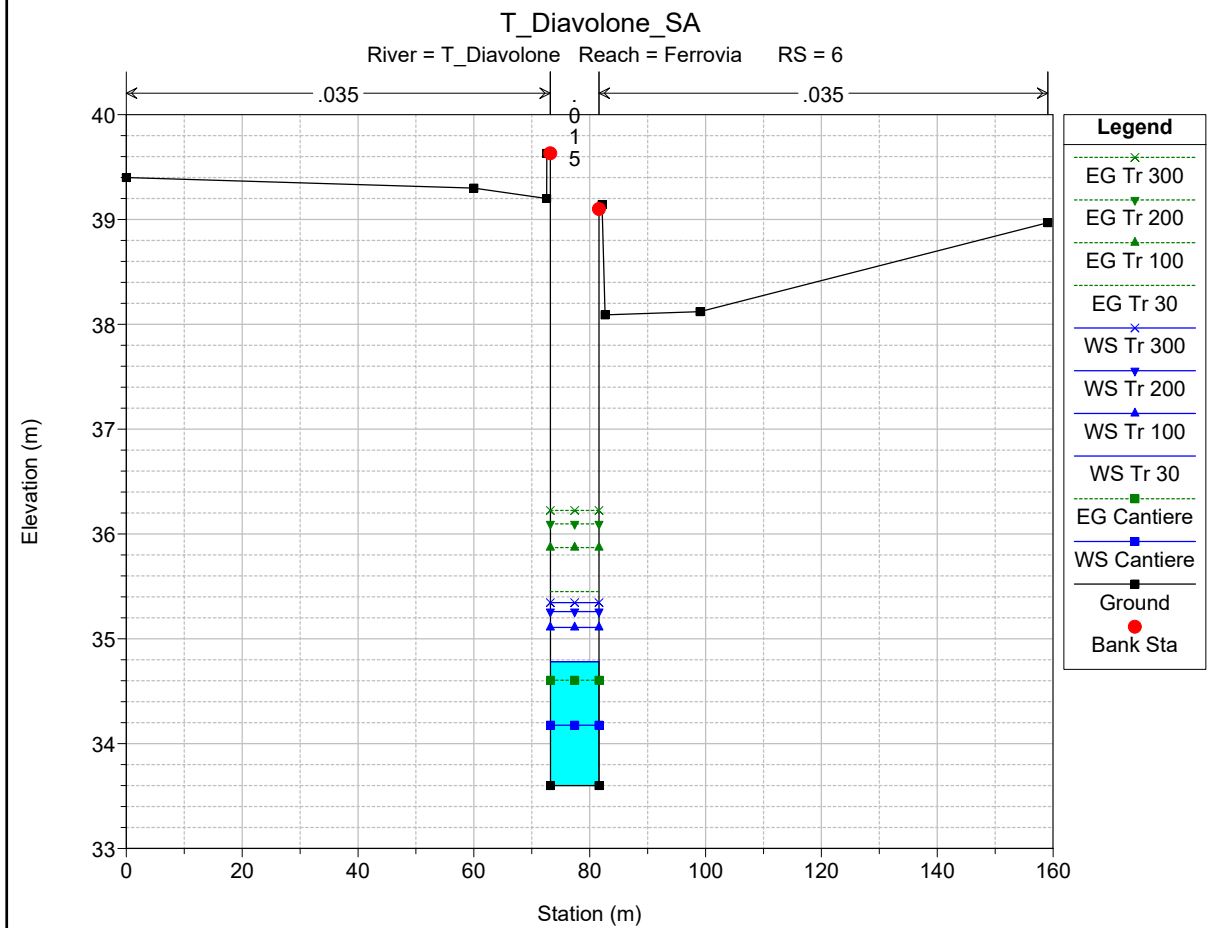
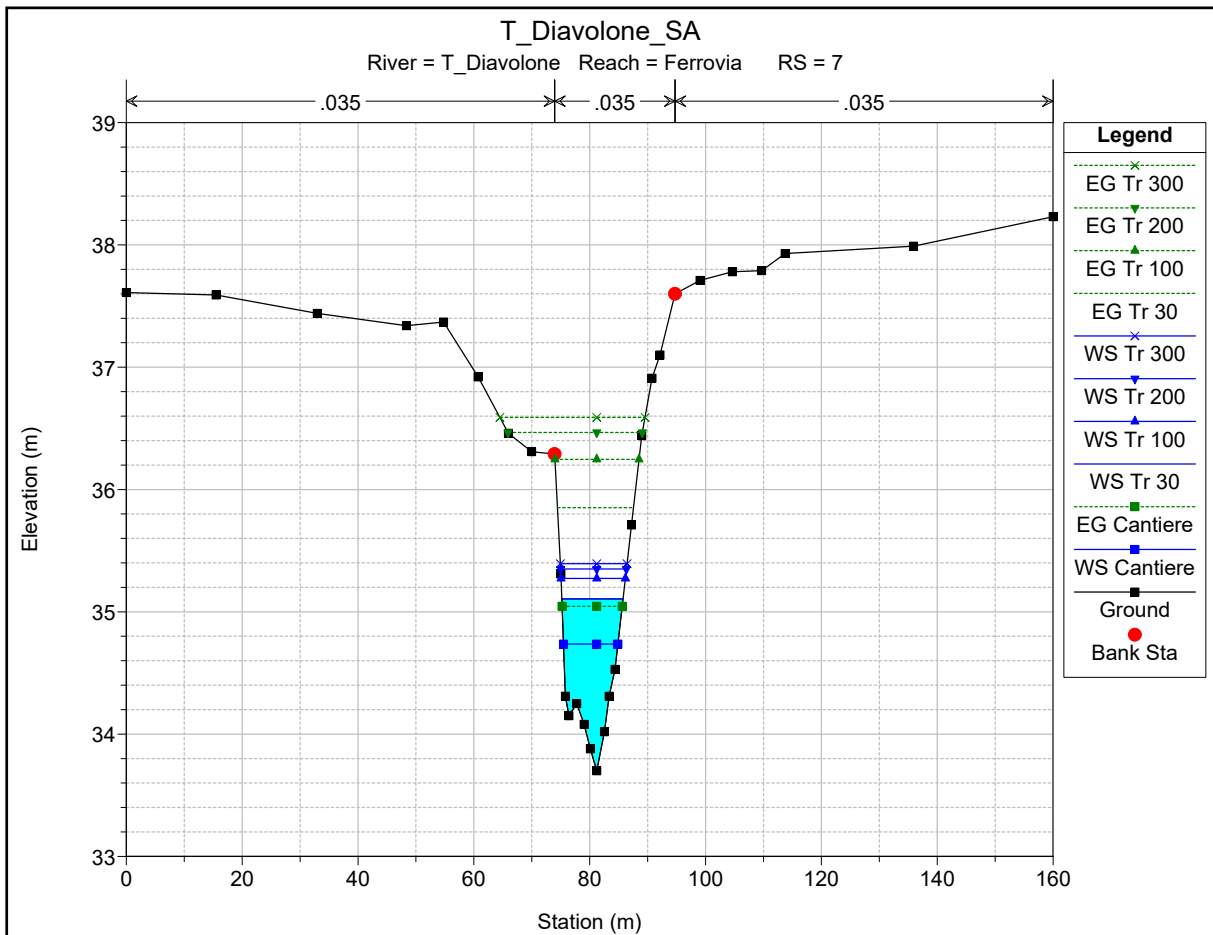


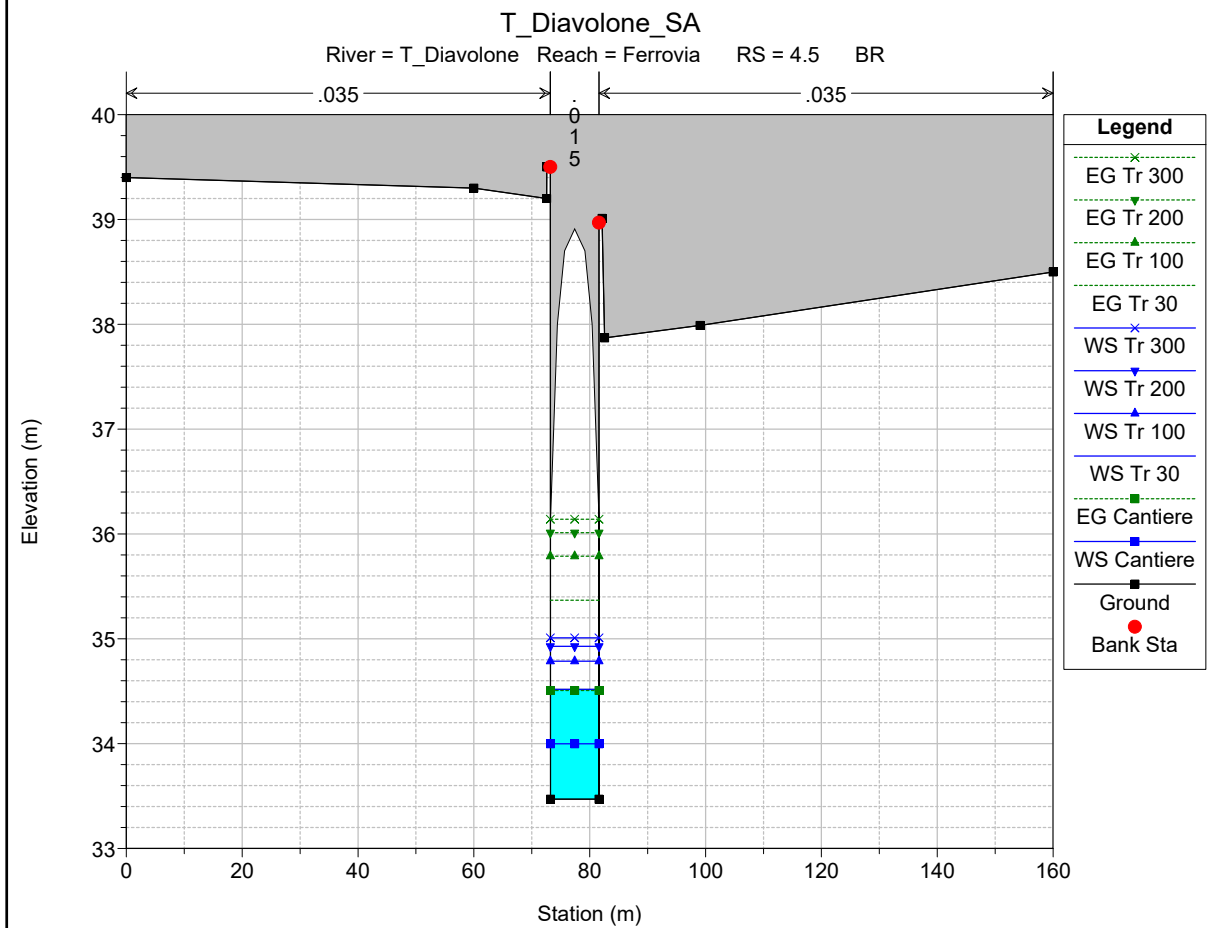
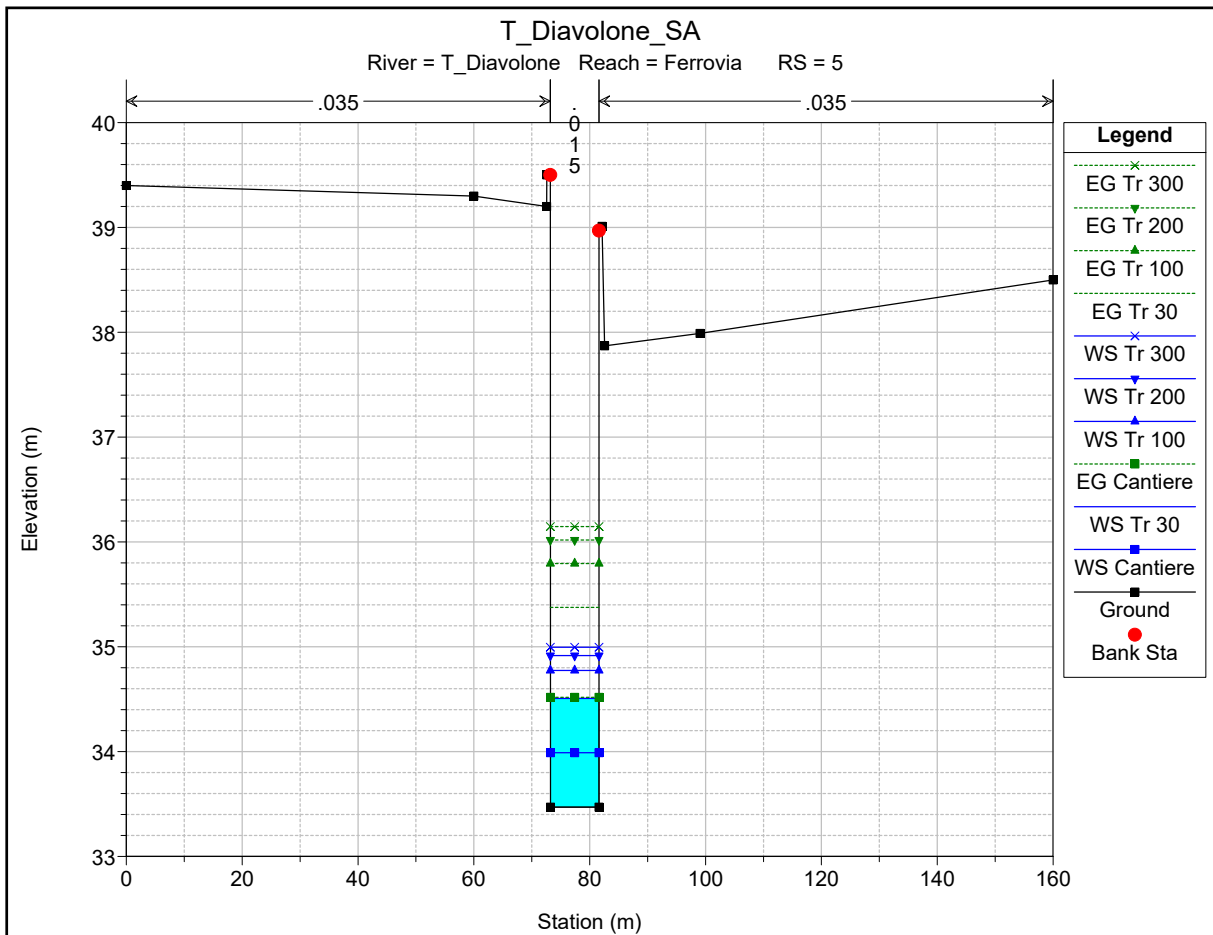


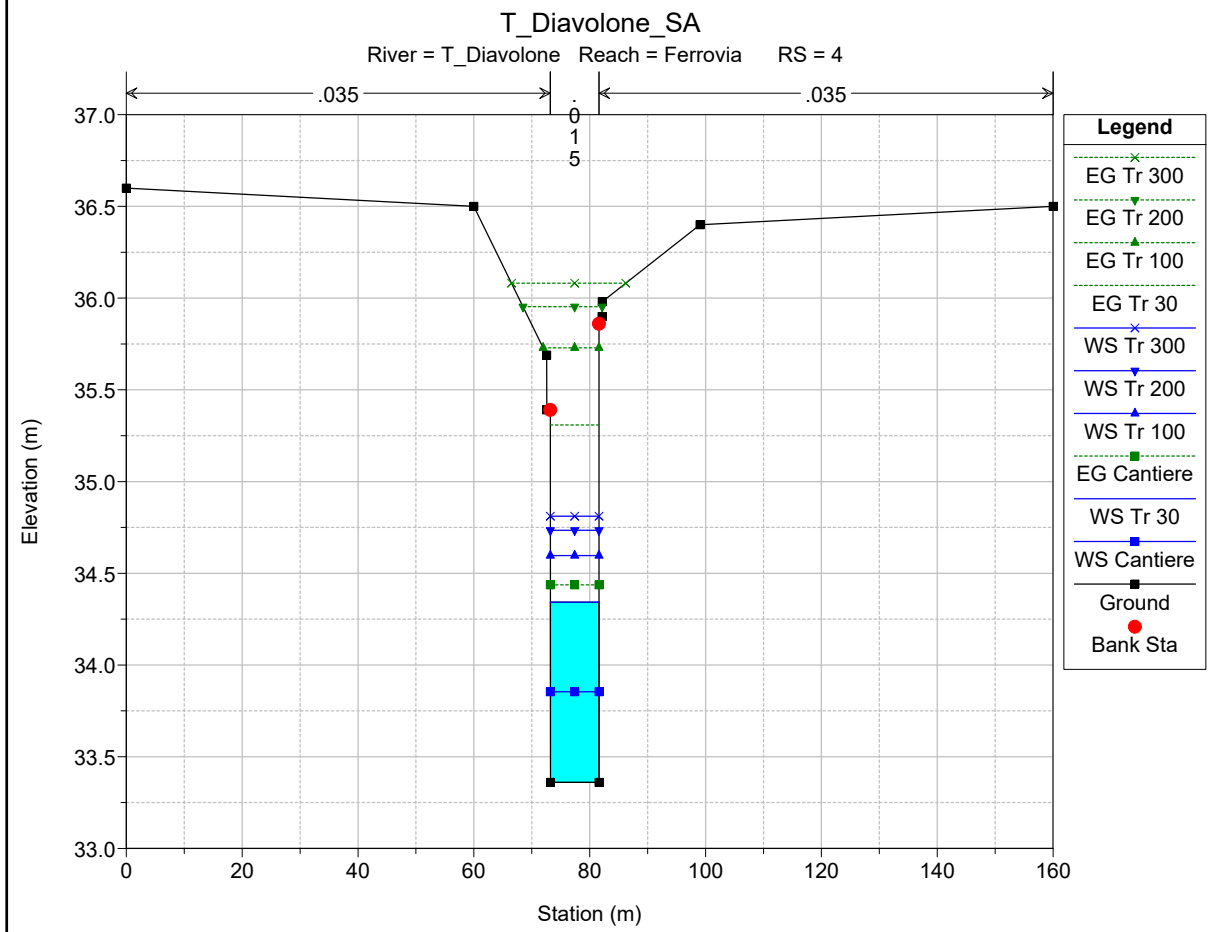
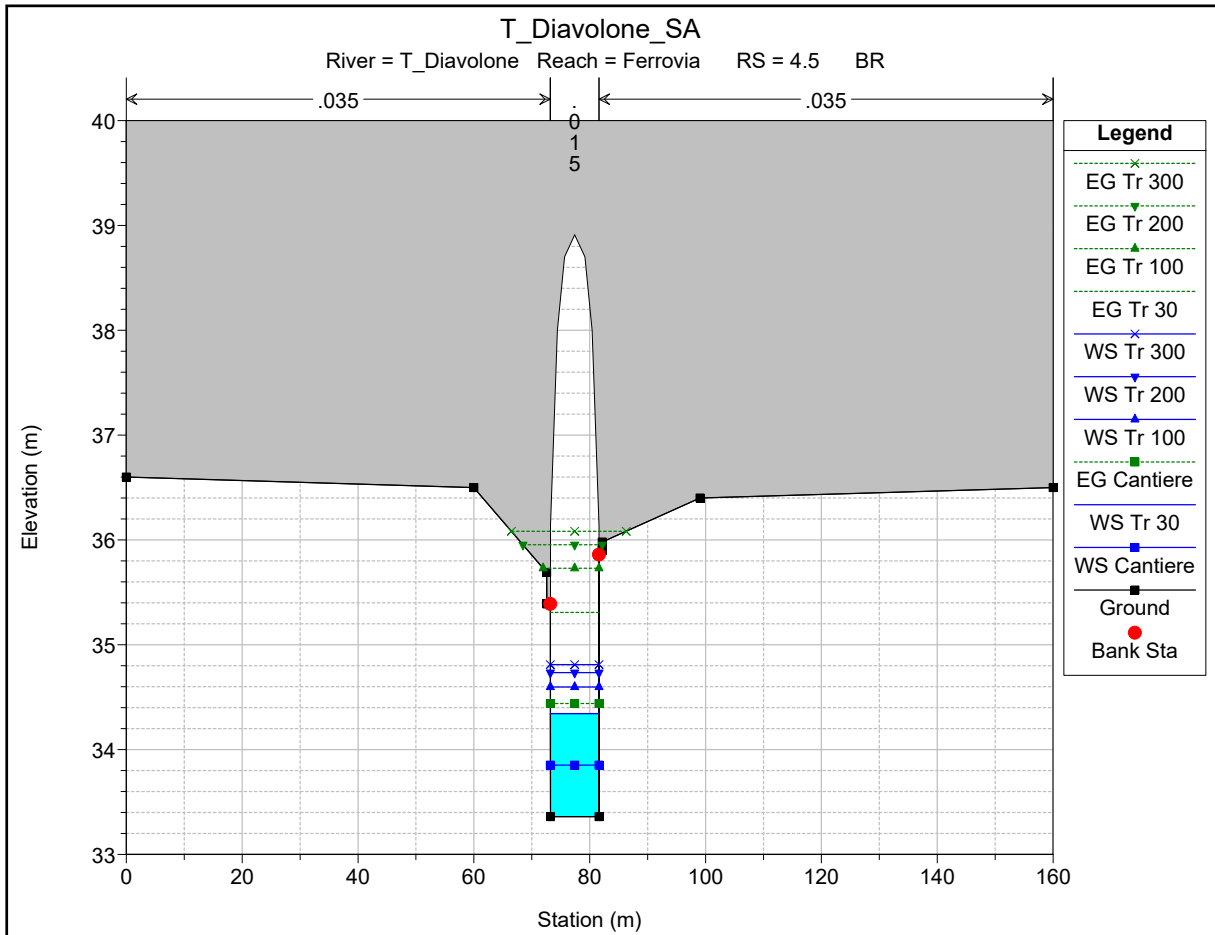




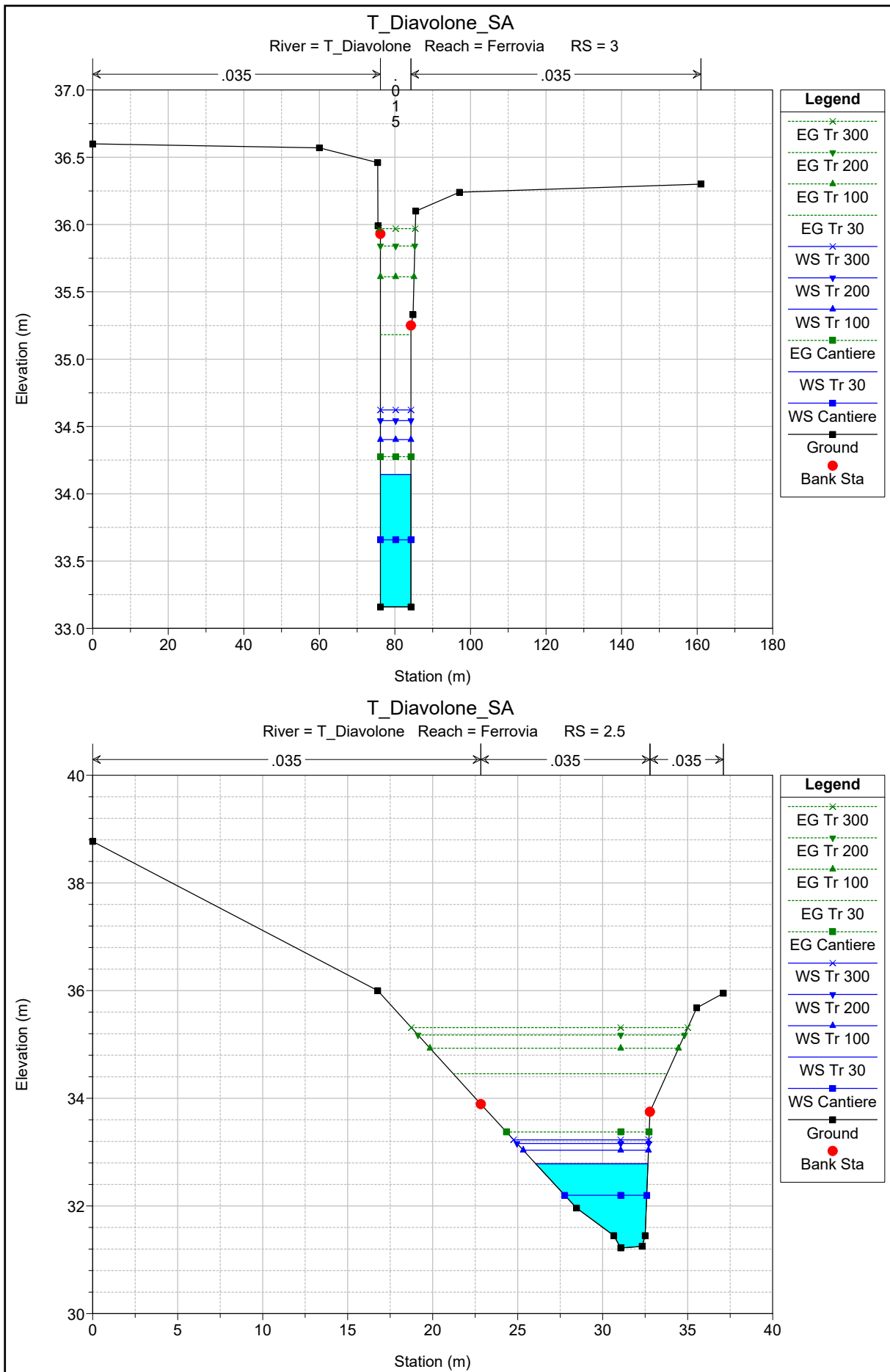


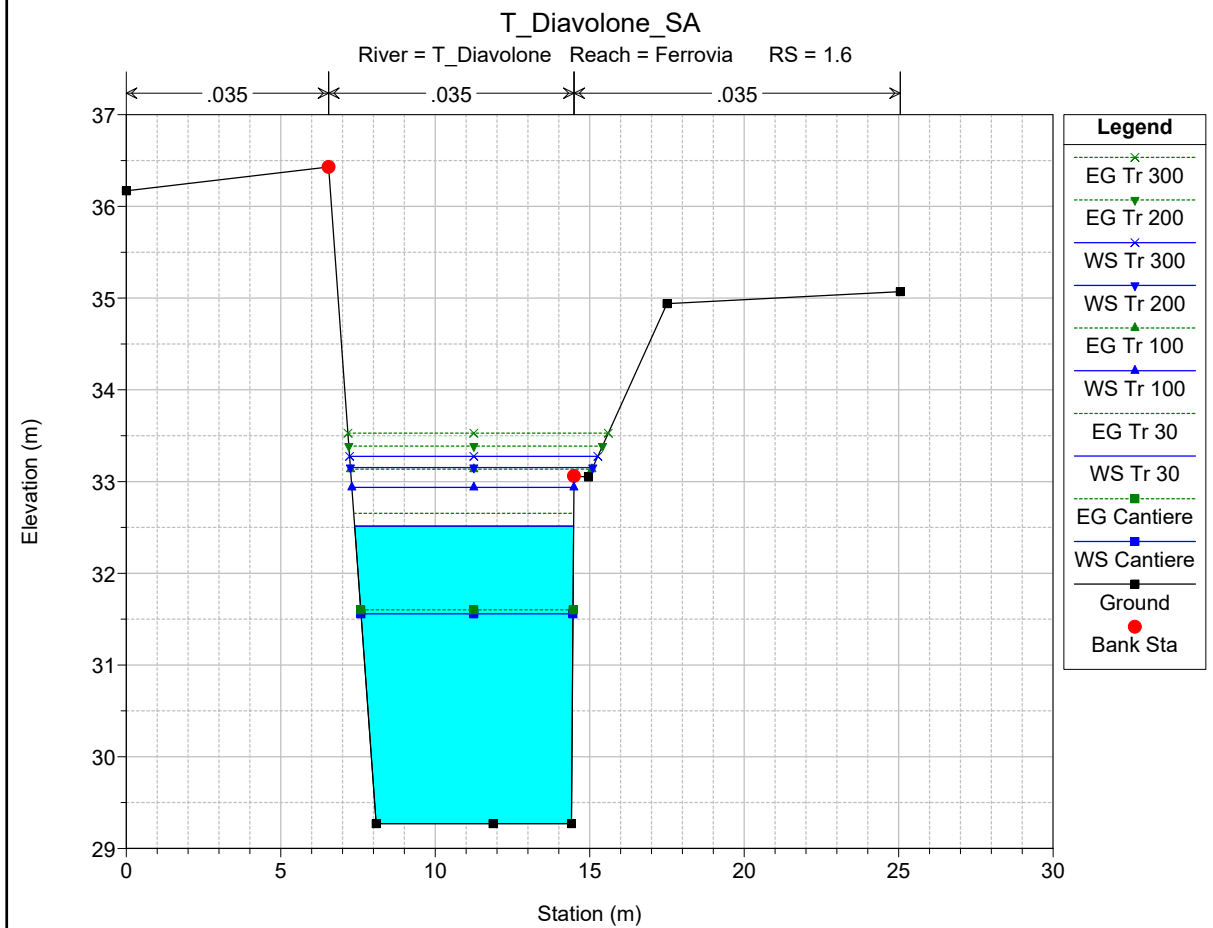
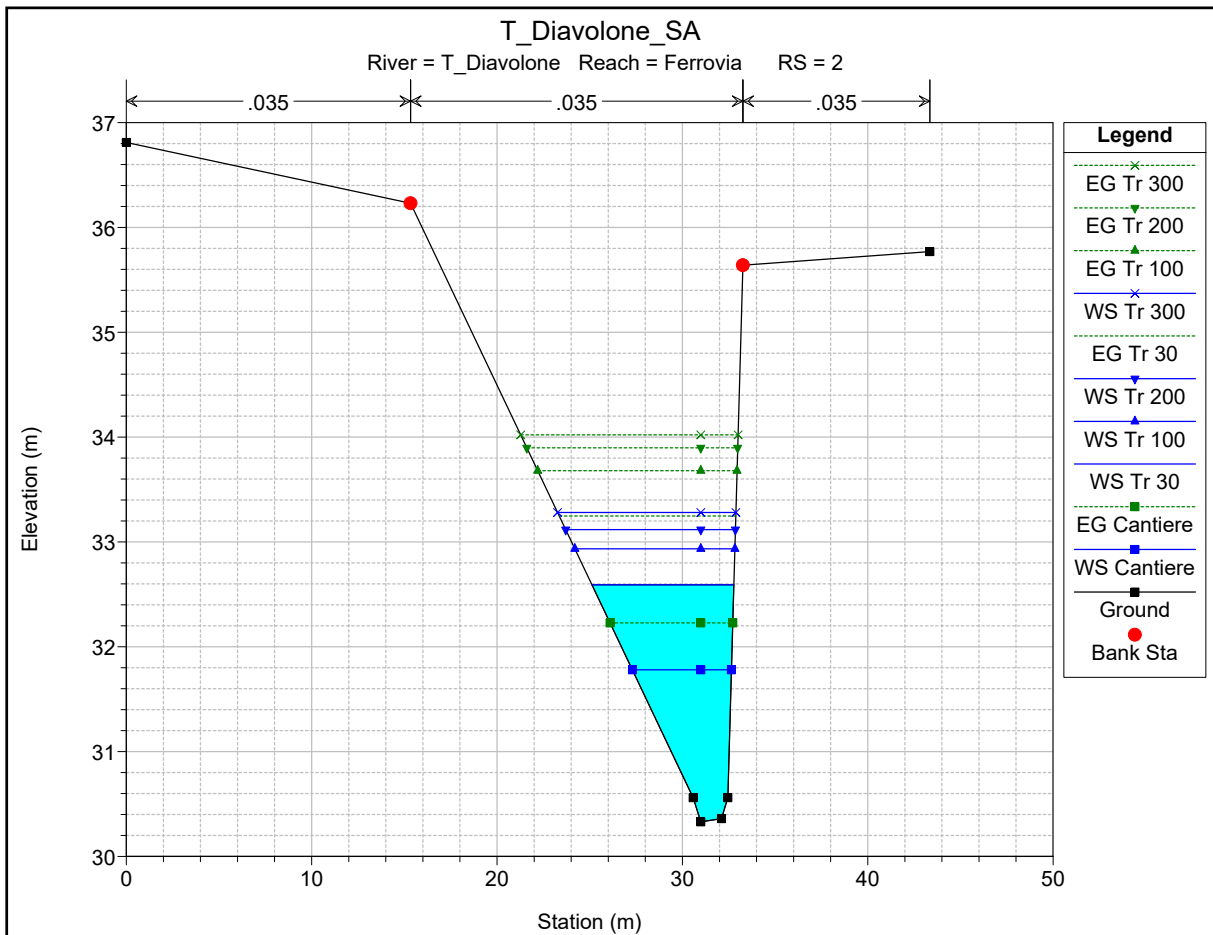


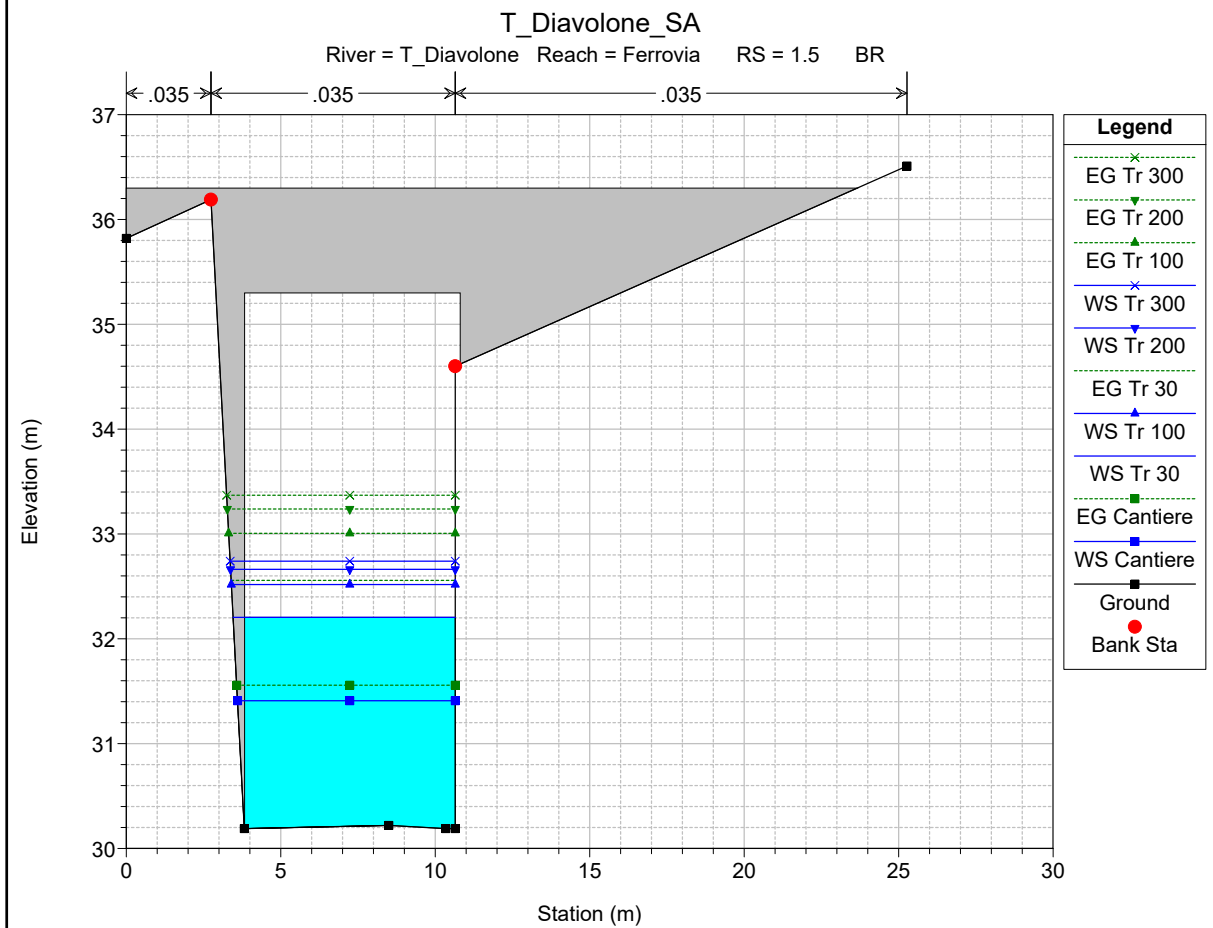
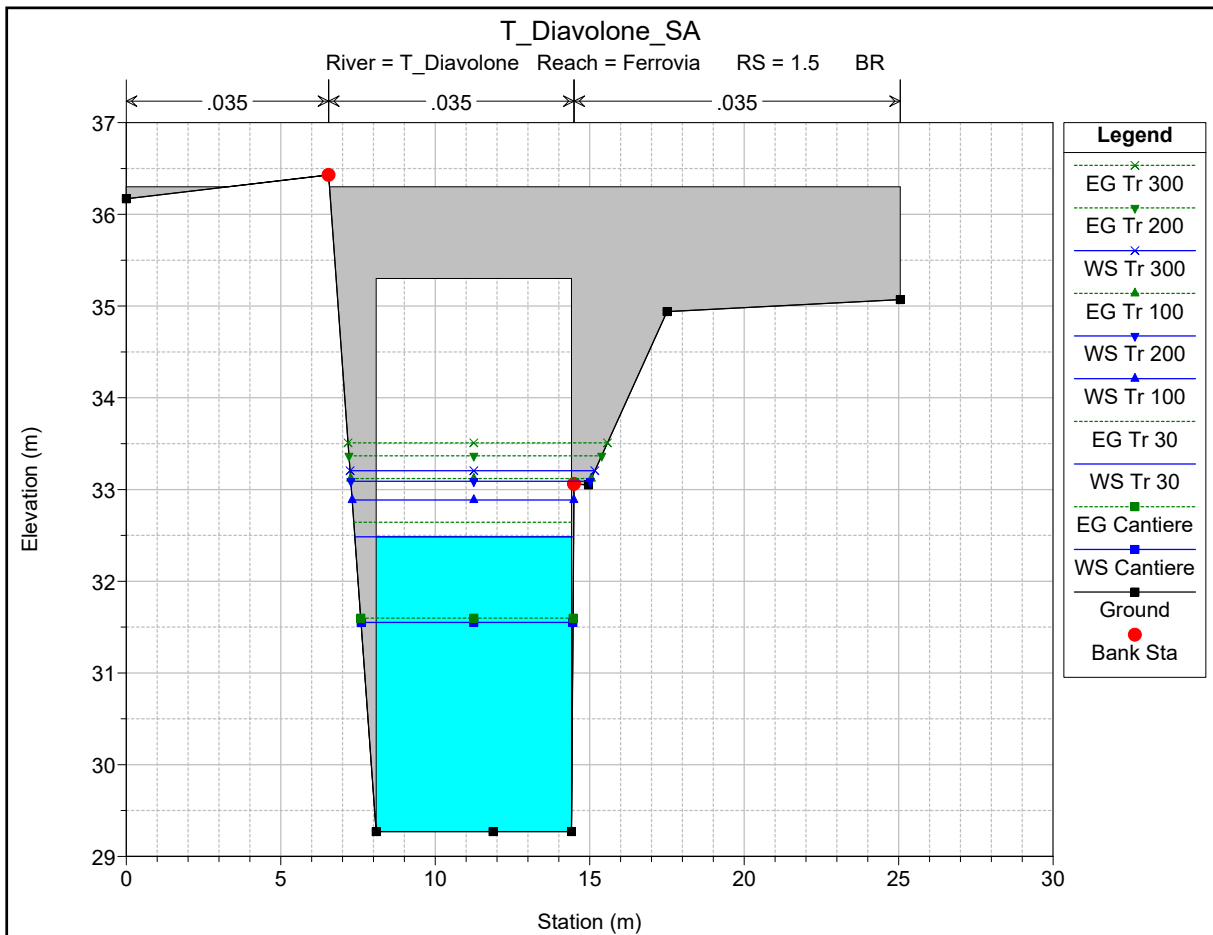


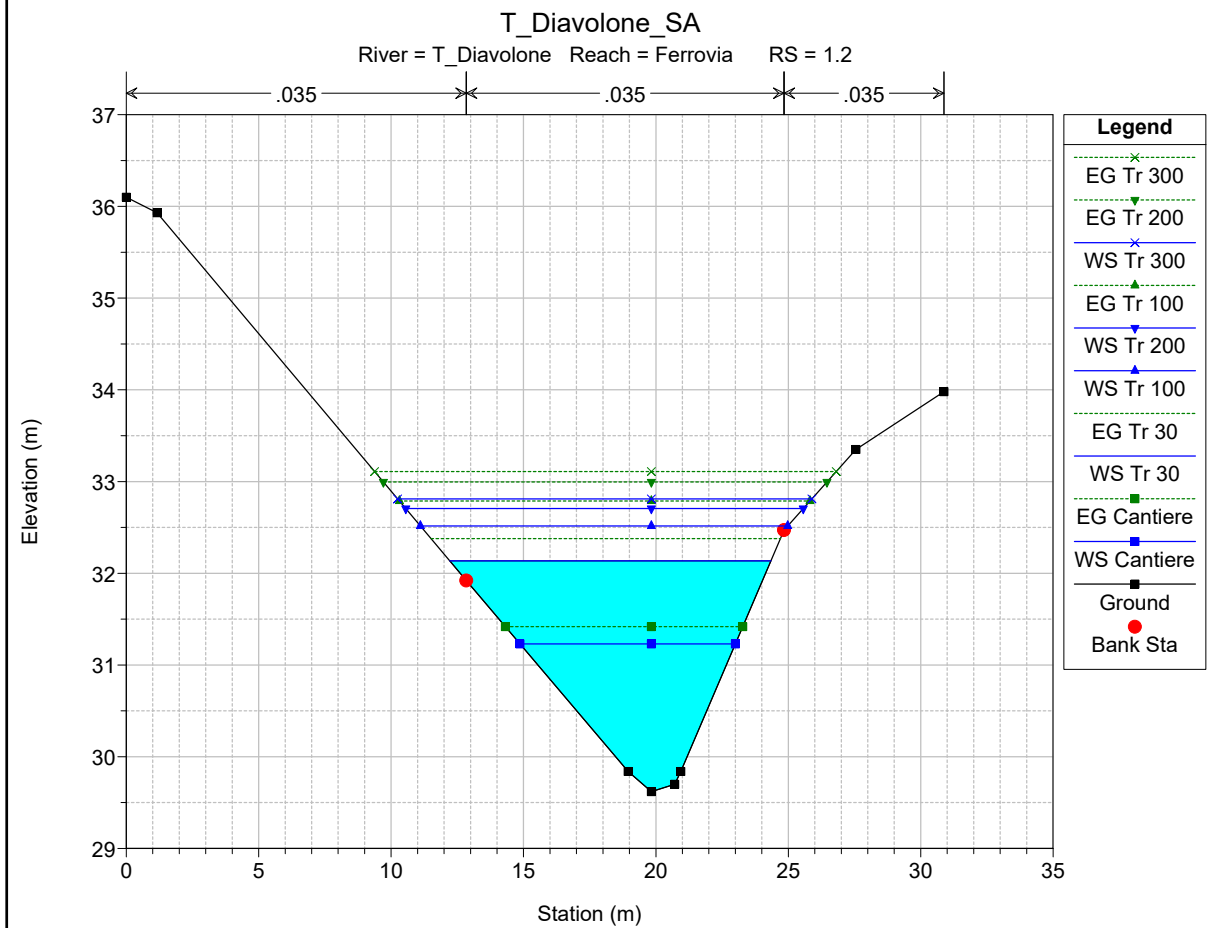
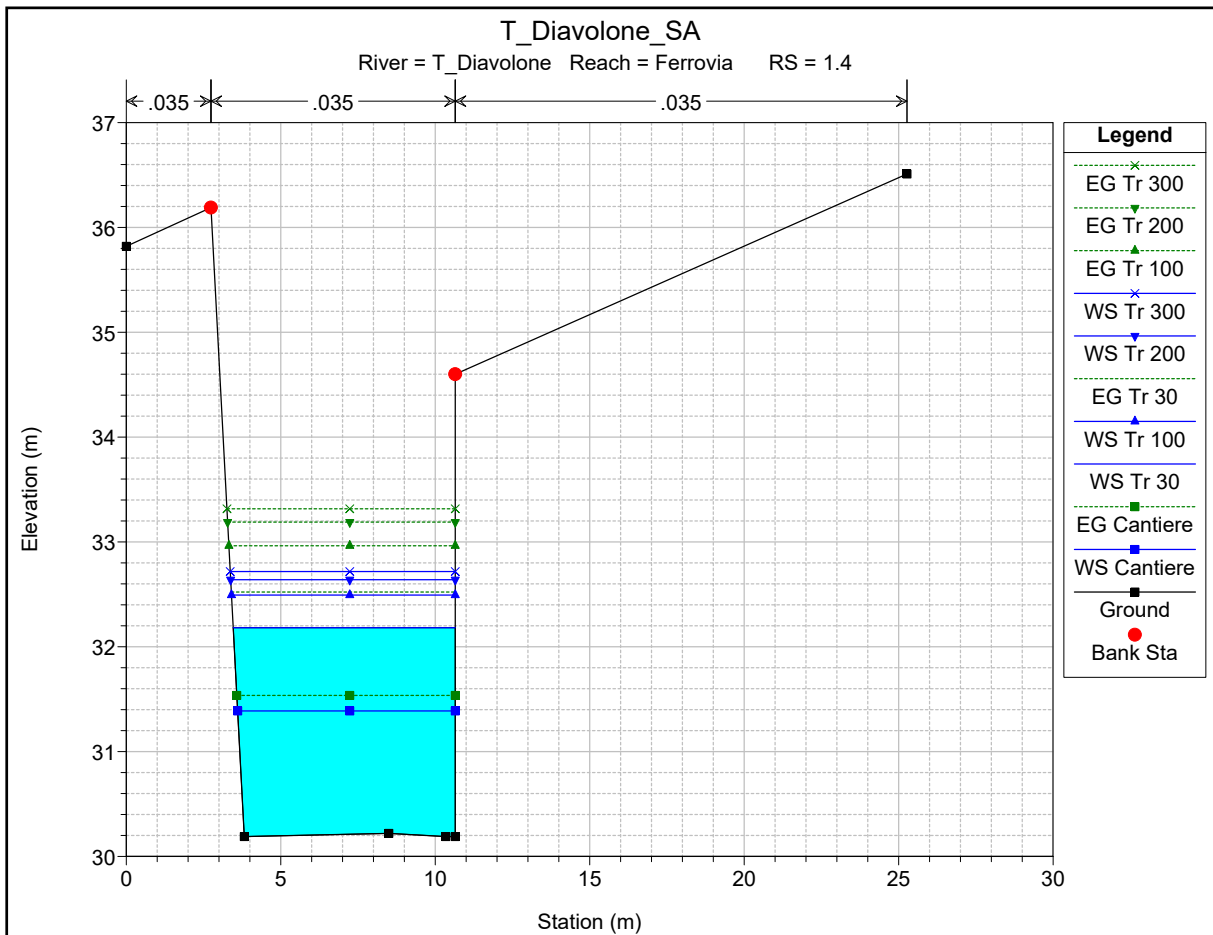


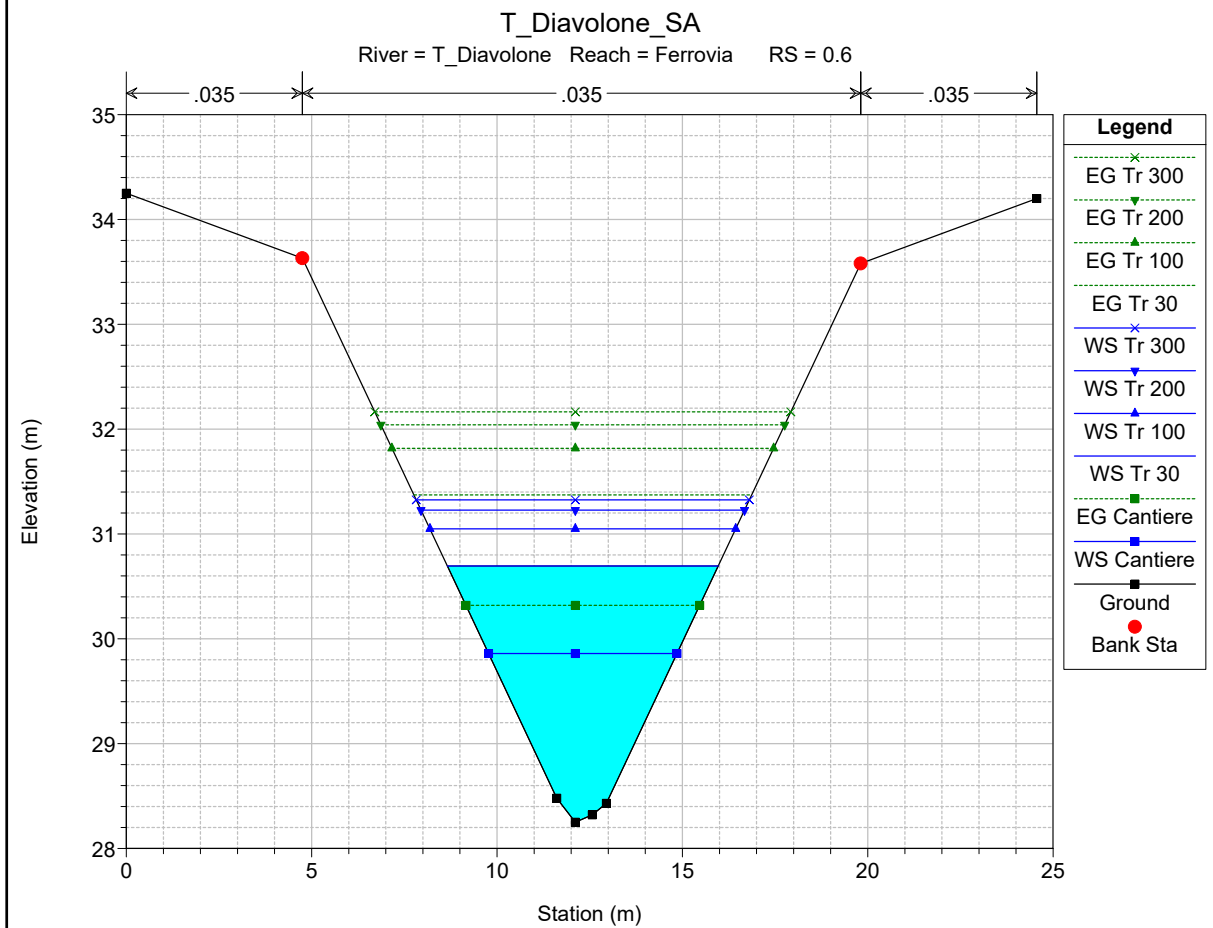
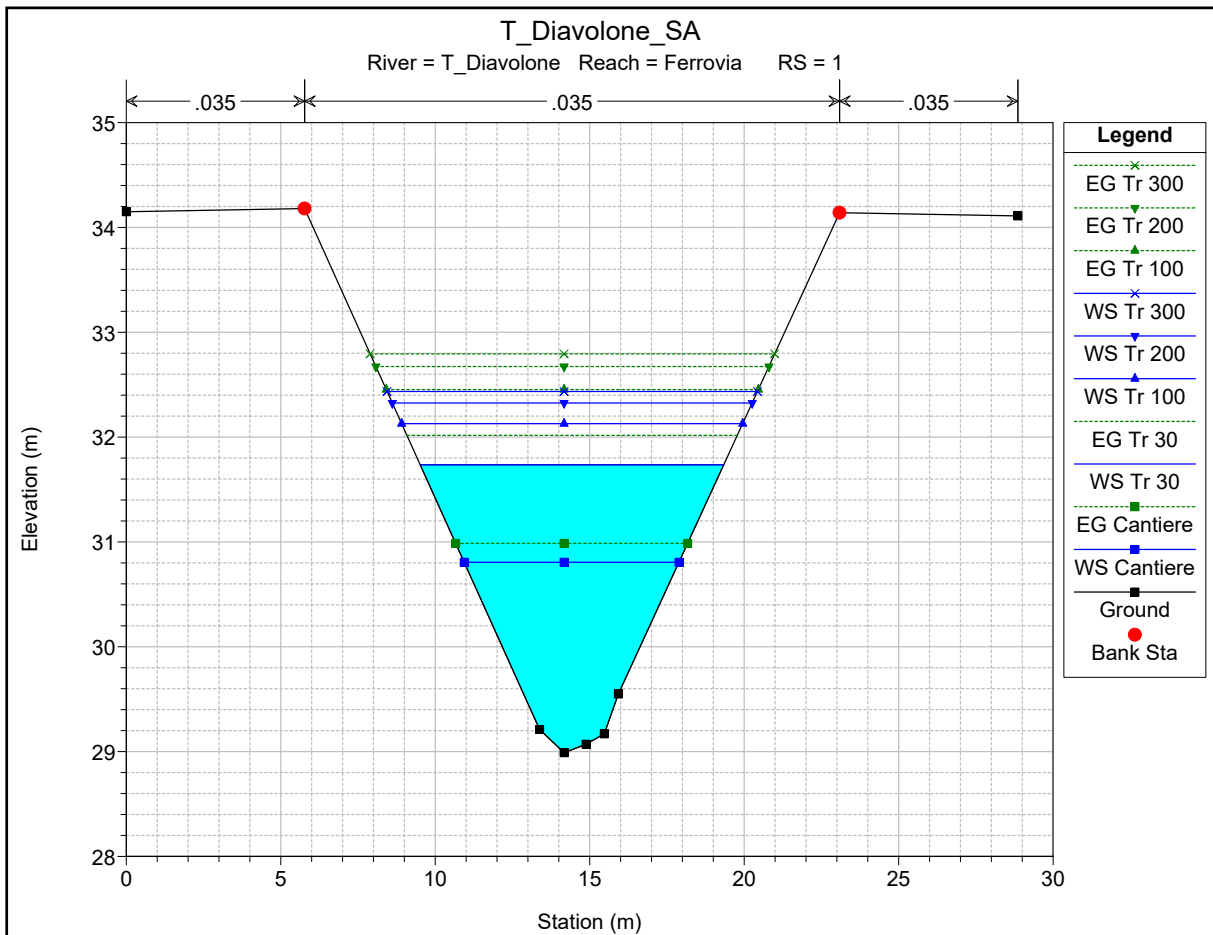














HEC-RAS Plan: SA River: T Diavolone Reach: Ferrovia

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	15	Tr 30	35.87	41.32	44.12	44.12	44.57	0.008784	3.26	13.49	15.98	0.74
Ferrovia	15	Tr 100	48.89	41.32	44.38	44.38	44.85	0.008276	3.44	18.30	20.24	0.73
Ferrovia	15	Tr 200	56.38	41.32	44.51	44.51	44.99	0.007951	3.50	21.11	22.35	0.73
Ferrovia	15	Tr 300	60.77	41.32	44.57	44.57	45.06	0.008060	3.58	22.39	23.26	0.73
Ferrovia	15	Cantiere	14.00	41.32	43.05	43.05	43.62	0.019156	3.33	4.20	3.77	1.01
Ferrovia	14	Tr 30	35.87	39.22	41.67	41.99	42.75	0.036848	5.12	8.26	10.11	1.18
Ferrovia	14	Tr 100	48.89	39.22	41.87	42.24	43.09	0.036440	5.44	10.37	10.83	1.19
Ferrovia	14	Tr 200	56.38	39.22	41.98	42.36	43.27	0.035820	5.57	11.54	11.21	1.19
Ferrovia	14	Tr 300	60.77	39.22	42.05	42.44	43.35	0.034255	5.57	12.35	11.47	1.17
Ferrovia	14	Cantiere	14.00	39.22	41.42	41.46	41.77	0.013657	2.85	5.86	9.22	0.70
Ferrovia	13	Tr 30	35.87	37.78	39.85	39.85	40.44	0.013153	3.41	10.61	9.55	0.98
Ferrovia	13	Tr 100	48.89	37.78	40.15	40.15	40.83	0.011329	3.67	13.76	10.98	0.94
Ferrovia	13	Tr 200	56.38	37.78	40.31	40.31	41.03	0.010648	3.80	15.55	11.71	0.93
Ferrovia	13	Tr 300	60.77	37.78	40.39	40.39	41.14	0.010405	3.88	16.54	12.10	0.93
Ferrovia	13	Cantiere	14.00	37.78	39.18	39.18	39.55	0.015848	2.72	5.15	6.84	1.00
Ferrovia	12	Tr 30	35.87	36.34	39.74	38.67	39.83	0.001402	1.57	32.94	38.03	0.29
Ferrovia	12	Tr 100	48.89	36.34	40.05	38.92	40.12	0.001191	1.55	45.15	42.50	0.27
Ferrovia	12	Tr 200	56.38	36.34	40.17	39.03	40.25	0.001191	1.59	50.43	44.30	0.27
Ferrovia	12	Tr 300	60.77	36.34	40.23	39.14	40.31	0.001202	1.61	53.24	45.22	0.28
Ferrovia	12	Cantiere	14.00	36.34	38.66	38.20	38.74	0.002058	1.41	11.78	11.77	0.33
Ferrovia	11	Tr 30	35.87	35.24	38.74	38.63	39.37	0.016810	3.70	10.22	6.61	0.68
Ferrovia	11	Tr 100	48.89	35.24	39.37	39.37	39.79	0.009177	3.02	18.91	22.88	0.51
Ferrovia	11	Tr 200	56.38	35.24	39.47	39.47	39.90	0.009573	3.14	21.11	23.13	0.52
Ferrovia	11	Tr 300	60.77	35.24	39.53	39.53	39.97	0.009469	3.16	22.60	23.30	0.52
Ferrovia	11	Cantiere	14.00	35.24	37.94	37.45	38.25	0.010343	2.59	5.80	4.45	0.55
Ferrovia	10	Tr 30	35.87	34.40	37.25	37.25	37.76	0.014213	3.55	11.50	10.91	0.70
Ferrovia	10	Tr 100	48.89	34.40	37.23	37.45	38.22	0.027946	4.94	11.26	10.79	0.97
Ferrovia	10	Tr 200	56.38	34.40	37.49	37.81	38.37	0.025143	4.99	14.24	16.14	0.94
Ferrovia	10	Tr 300	60.77	34.40	37.59	37.85	38.45	0.024623	5.06	16.72	24.93	0.94
Ferrovia	10	Cantiere	14.00	34.40	36.57	36.57	36.94	0.016149	3.09	5.34	7.01	0.71
Ferrovia	9	Tr 30	35.87	33.81	36.38	35.14	36.45	0.000894	1.17	30.58	18.01	0.29
Ferrovia	9	Tr 100	48.89	33.81	36.91	35.38	36.99	0.000736	1.21	40.45	19.32	0.27
Ferrovia	9	Tr 200	56.38	33.81	37.19	35.51	37.27	0.000677	1.23	45.99	20.02	0.26
Ferrovia	9	Tr 300	60.77	33.81	37.35	35.58	37.43	0.000648	1.24	49.20	20.41	0.25
Ferrovia	9	Cantiere	14.00	33.81	35.33	34.61	35.38	0.001156	0.99	14.15	13.22	0.31
Ferrovia	8.5	Bridge										
Ferrovia	8	Tr 30	35.87	33.58	35.54	35.54	36.16	0.014937	3.49	10.29	8.30	1.00
Ferrovia	8	Tr 100	48.89	33.58	35.58	35.86	36.66	0.025522	4.61	10.61	8.40	1.31
Ferrovia	8	Tr 200	56.38	33.58	35.67	36.02	36.92	0.027929	4.95	11.40	8.66	1.38
Ferrovia	8	Tr 300	60.77	33.58	35.73	36.11	37.06	0.029198	5.13	11.85	8.80	1.41
Ferrovia	8	Cantiere	14.00	33.58	34.94	34.82	35.24	0.010860	2.41	5.81	6.64	0.82
Ferrovia	7	Tr 30	35.87	33.70	35.11	35.29	35.85	0.022865	3.82	9.38	10.57	1.30
Ferrovia	7	Tr 100	48.89	33.70	35.27	35.54	36.25	0.025428	4.37	11.18	11.09	1.39
Ferrovia	7	Tr 200	56.38	33.70	35.35	35.67	36.47	0.027313	4.68	12.05	11.35	1.45
Ferrovia	7	Tr 300	60.77	33.70	35.39	35.75	36.59	0.028266	4.84	12.54	11.50	1.48
Ferrovia	7	Cantiere	14.00	33.70	34.74	34.74	35.05	0.015347	2.46	5.69	9.40	1.01
Ferrovia	6	Tr 30	35.87	33.60	34.78	34.83	35.45	0.003283	3.62	9.91	8.39	1.06
Ferrovia	6	Tr 100	48.89	33.60	35.11	35.11	35.87	0.002923	3.86	12.65	8.39	1.00
Ferrovia	6	Tr 200	56.38	33.60	35.26	35.26	36.10	0.002933	4.05	13.91	8.39	1.00
Ferrovia	6	Tr 300	60.77	33.60	35.34	35.34	36.22	0.002938	4.15	14.63	8.39	1.00
Ferrovia	6	Cantiere	14.00	33.60	34.18	34.26	34.60	0.004690	2.90	4.83	8.38	1.22
Ferrovia	5	Tr 30	35.87	33.47	34.51	34.70	35.38	0.004908	4.13	8.69	8.39	1.30
Ferrovia	5	Tr 100	48.89	33.47	34.77	34.98	35.79	0.004529	4.47	10.93	8.39	1.25
Ferrovia	5	Tr 200	56.38	33.47	34.92	35.13	36.02	0.004416	4.65	12.12	8.39	1.24
Ferrovia	5	Tr 300	60.77	33.47	35.00	35.21	36.15	0.004374	4.75	12.79	8.39	1.23
Ferrovia	5	Cantiere	14.00	33.47	33.99	34.13	34.52	0.006540	3.22	4.35	8.38	1.43
Ferrovia	4.5	Bridge										
Ferrovia	4	Tr 30	35.87	33.36	34.34	34.59	35.31	0.005770	4.35	8.24	8.39	1.40
Ferrovia	4	Tr 100	48.89	33.36	34.60	34.87	35.73	0.005307	4.71	10.37	8.40	1.35
Ferrovia	4	Tr 200	56.38	33.36	34.73	35.02	35.95	0.005131	4.89	11.53	8.40	1.33
Ferrovia	4	Tr 300	60.77	33.36	34.81	35.10	36.08	0.005062	4.99	12.18	8.40	1.32
Ferrovia	4	Cantiere	14.00	33.36	33.85	34.02	34.44	0.007645	3.38	4.14	8.39	1.54
Ferrovia	3	Tr 30	35.87	33.16	34.14	34.42	35.18	0.006254	4.51	7.95	8.08	1.45
Ferrovia	3	Tr 100	48.89	33.16	34.40	34.71	35.61	0.005719	4.87	10.03	8.08	1.40
Ferrovia	3	Tr 200	56.38	33.16	34.54	34.86	35.84	0.005500	5.04	11.18	8.08	1.37
Ferrovia	3	Tr 300	60.77	33.16	34.62	34.95	35.97	0.005402	5.14	11.82	8.09	1.36
Ferrovia	3	Cantiere	14.00	33.16	33.66	33.83	34.28	0.008067	3.48	4.02	8.08	1.58
Ferrovia	2.5	Tr 30	35.87	31.22	32.78	33.31	34.46	0.056846	5.72	6.27	6.61	1.88
Ferrovia	2.5	Tr 100	48.89	31.22	33.04	33.65	34.93	0.054346	6.10	8.02	7.37	1.87
Ferrovia	2.5	Tr 200	56.38	31.22	33.16	33.81	35.18	0.053585	6.29	8.97	7.75	1.87
Ferrovia	2.5	Tr 300	60.77	31.22	33.23	33.90	35.31	0.053258	6.39	9.50	7.96	1.87
Ferrovia	2.5	Cantiere	14.00	31.22	32.20	32.57	33.37	0.069749	4.81	2.91	4.82	1.97

HEC-RAS Plan: SA River: T Diavolone Reach: Ferrovia (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	2	Tr 30	35.87	30.33	32.59	32.59	33.25	0.015518	3.59	9.99	7.65	1.00
Ferrovia	2	Tr 100	48.89	30.33	32.93	32.94	33.68	0.014988	3.82	12.79	8.63	1.00
Ferrovia	2	Tr 200	56.38	30.33	33.12	33.11	33.90	0.014516	3.91	14.42	9.15	0.99
Ferrovia	2	Tr 300	60.77	30.33	33.28	33.20	34.02	0.012915	3.81	15.95	9.62	0.94
Ferrovia	2	Cantiere	14.00	30.33	31.78	31.78	32.23	0.017248	2.97	4.72	5.34	1.01
Ferrovia	1.6	Tr 30	35.87	29.27	32.51	30.74	32.65	0.001657	1.65	21.75	7.09	0.30
Ferrovia	1.6	Tr 100	48.89	29.27	32.94	31.07	33.13	0.002178	1.97	24.76	7.19	0.34
Ferrovia	1.6	Tr 200	56.38	29.27	33.15	31.25	33.39	0.002441	2.14	26.37	7.84	0.36
Ferrovia	1.6	Tr 300	60.77	29.27	33.27	31.35	33.53	0.002566	2.23	27.34	8.03	0.37
Ferrovia	1.6	Cantiere	14.00	29.27	31.56	30.06	31.60	0.000689	0.93	15.08	6.86	0.20
Ferrovia	1.5	Bridge										
Ferrovia	1.4	Tr 30	35.87	30.19	32.18		32.52	0.005917	2.59	13.86	7.19	0.60
Ferrovia	1.4	Tr 100	48.89	30.19	32.49		32.96	0.007171	3.03	16.11	7.24	0.65
Ferrovia	1.4	Tr 200	56.38	30.19	32.64		33.19	0.007981	3.28	17.17	7.27	0.68
Ferrovia	1.4	Tr 300	60.77	30.19	32.72		33.32	0.008468	3.43	17.74	7.28	0.70
Ferrovia	1.4	Cantiere	14.00	30.19	31.39		31.54	0.004168	1.70	8.21	7.05	0.50
Ferrovia	1.2	Tr 30	35.87	29.62	32.13		32.38	0.004116	2.18	16.48	12.13	0.58
Ferrovia	1.2	Tr 100	48.89	29.62	32.52		32.79	0.003585	2.32	21.42	13.87	0.56
Ferrovia	1.2	Tr 200	56.38	29.62	32.71		33.00	0.003332	2.40	24.16	15.01	0.55
Ferrovia	1.2	Tr 300	60.77	29.62	32.81		33.11	0.003211	2.44	25.78	15.65	0.55
Ferrovia	1.2	Cantiere	14.00	29.62	31.23		31.42	0.005799	1.91	7.31	8.14	0.64
Ferrovia	1	Tr 30	35.87	28.99	31.74		32.02	0.004602	2.35	15.24	9.83	0.60
Ferrovia	1	Tr 100	48.89	28.99	32.13		32.45	0.004536	2.53	19.34	11.04	0.61
Ferrovia	1	Tr 200	56.38	28.99	32.33		32.67	0.004502	2.61	21.58	11.65	0.61
Ferrovia	1	Tr 300	60.77	28.99	32.43		32.79	0.004481	2.66	22.87	11.99	0.61
Ferrovia	1	Cantiere	14.00	28.99	30.81		30.99	0.004739	1.88	7.45	6.95	0.58
Ferrovia	0.6	Tr 30	35.87	28.25	30.69	30.69	31.37	0.014194	3.65	9.84	7.31	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 100	48.89	28.25	31.05	31.05	31.82	0.013687	3.88	12.59	8.25	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 200	56.38	28.25	31.23	31.23	32.04	0.013448	4.00	14.11	8.73	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 300	60.77	28.25	31.33	31.33	32.16	0.013325	4.06	14.98	8.99	1.00
Ferrovia	0.6	Cantiere	14.00	28.25	29.86	29.86	30.32	0.015752	3.00	4.66	5.08	1.00
Ferrovia	0.4	Tr 30	35.87	28.00	29.85	29.51	30.06	0.005000	2.05	17.53	16.49	0.63
Ferrovia	0.4	Tr 100	48.89	28.00	30.11	29.73	30.36	0.005004	2.23	21.94	18.12	0.65
Ferrovia	0.4	Tr 200	56.38	28.00	30.22	29.85	30.50	0.005003	2.34	24.12	18.68	0.65
Ferrovia	0.4	Tr 300	60.77	28.00	30.29	29.90	30.58	0.005002	2.40	25.30	18.92	0.66
Ferrovia	0.4	Cantiere	14.00	28.00	29.26	29.02	29.39	0.005002	1.56	8.96	12.72	0.59



**ALLEGATO H**

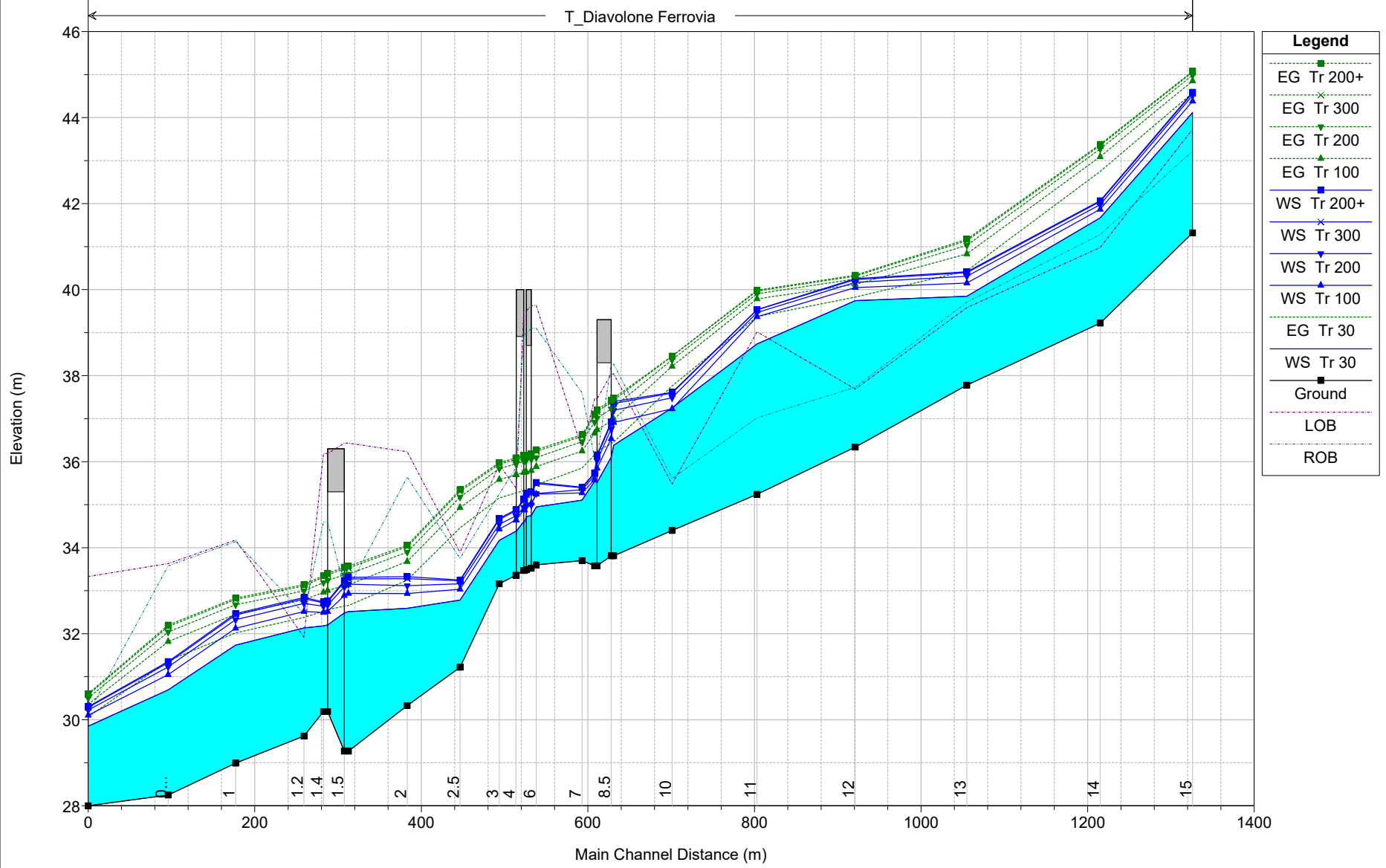
**Pk 7+931 - interferenza VI04**

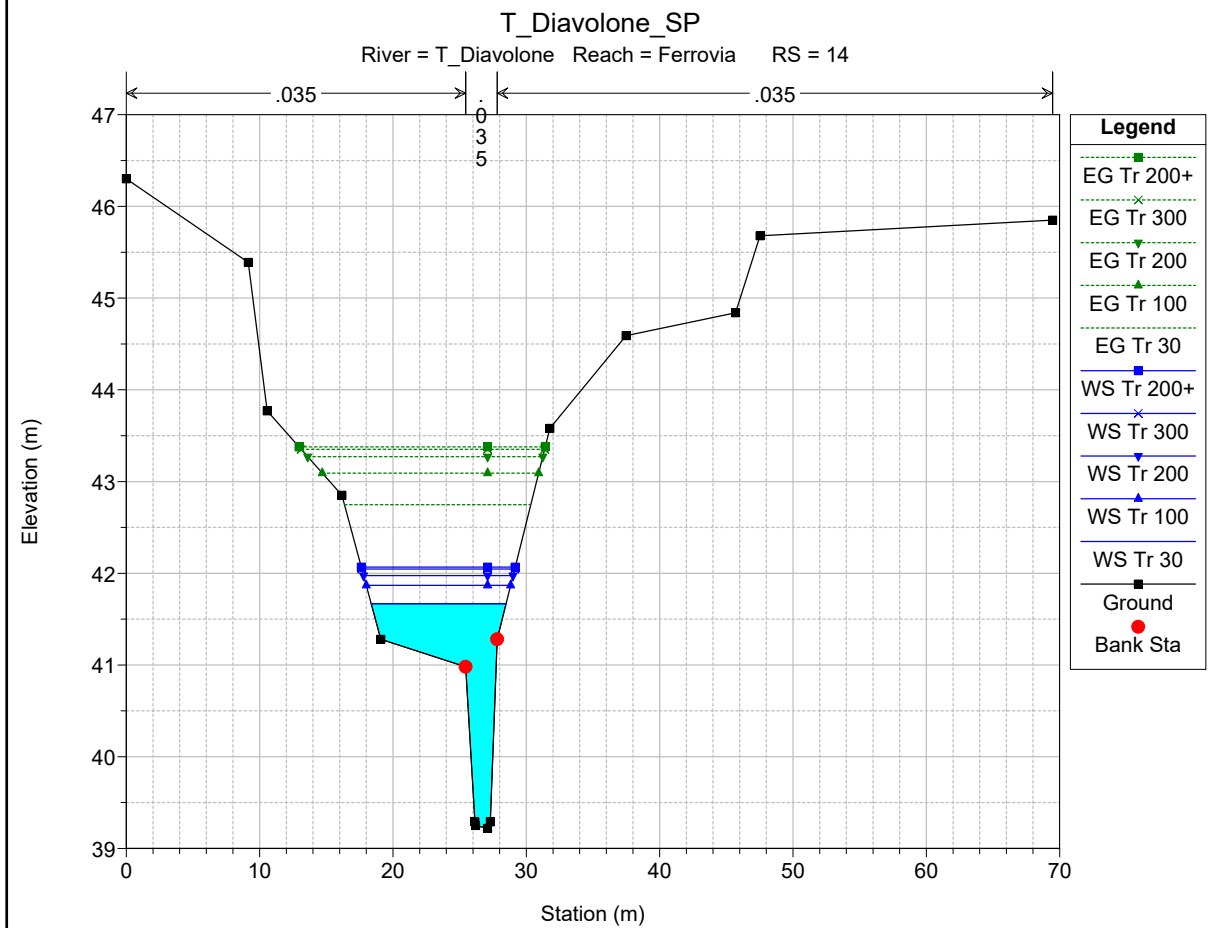
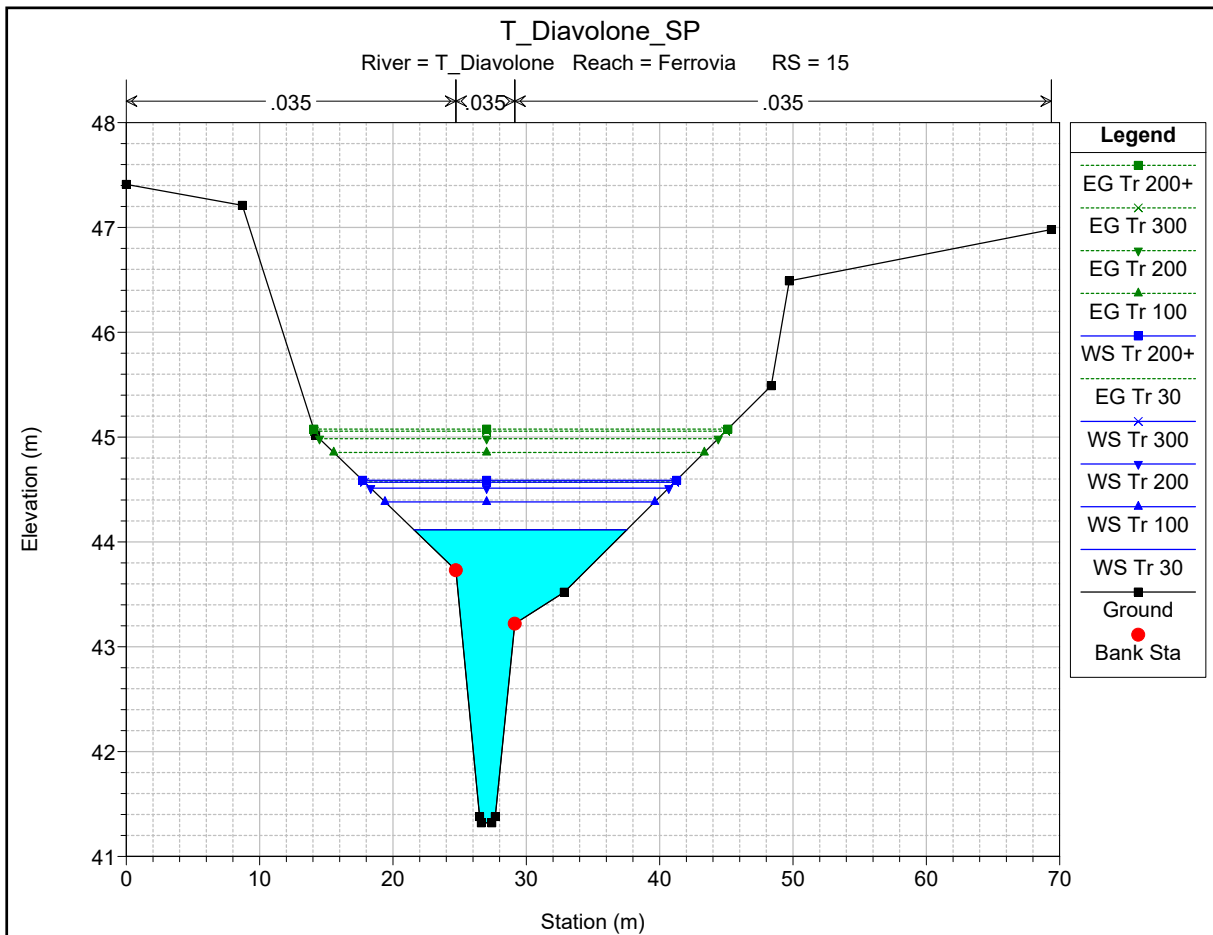
**Stato di Progetto**

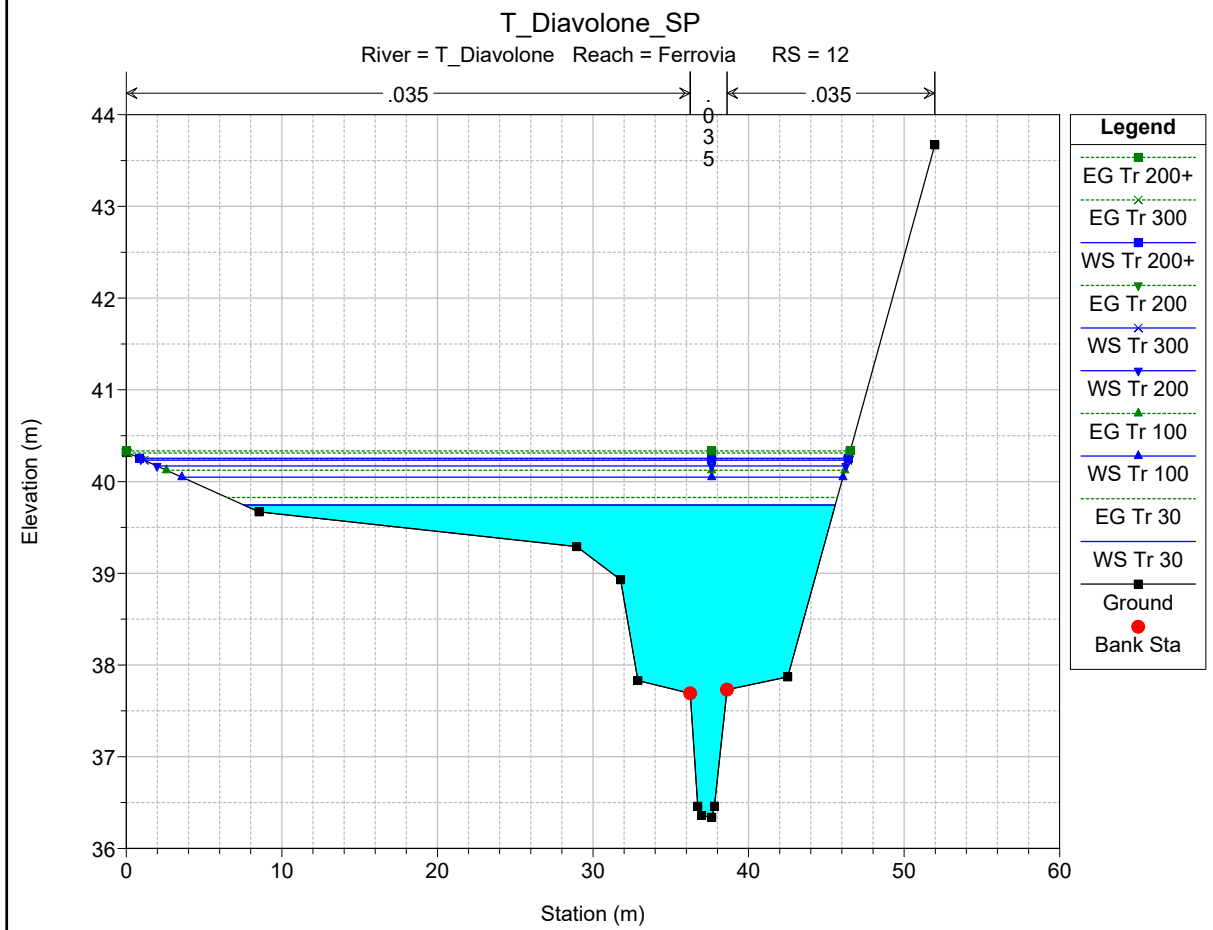
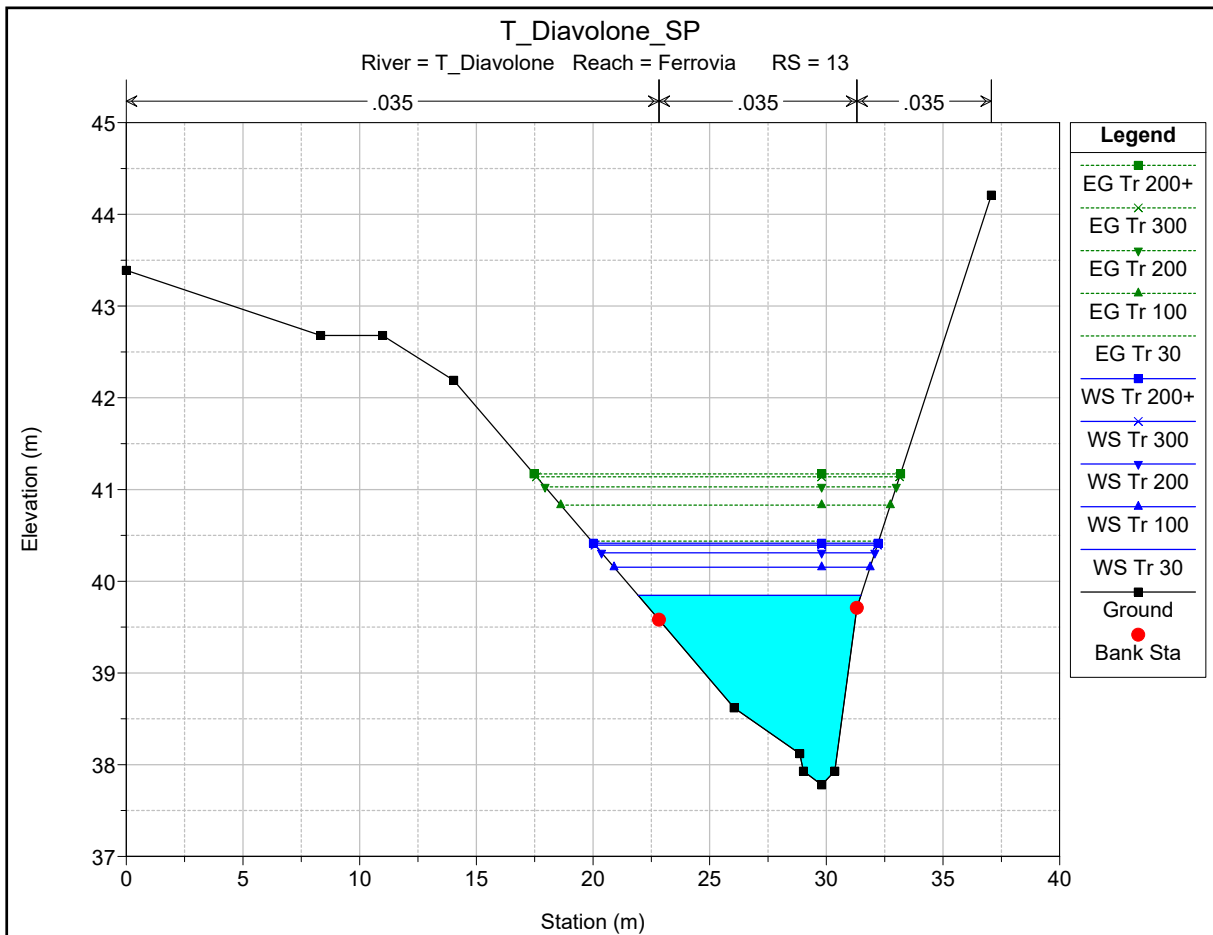
**Risultati delle simulazioni in moto permanente**

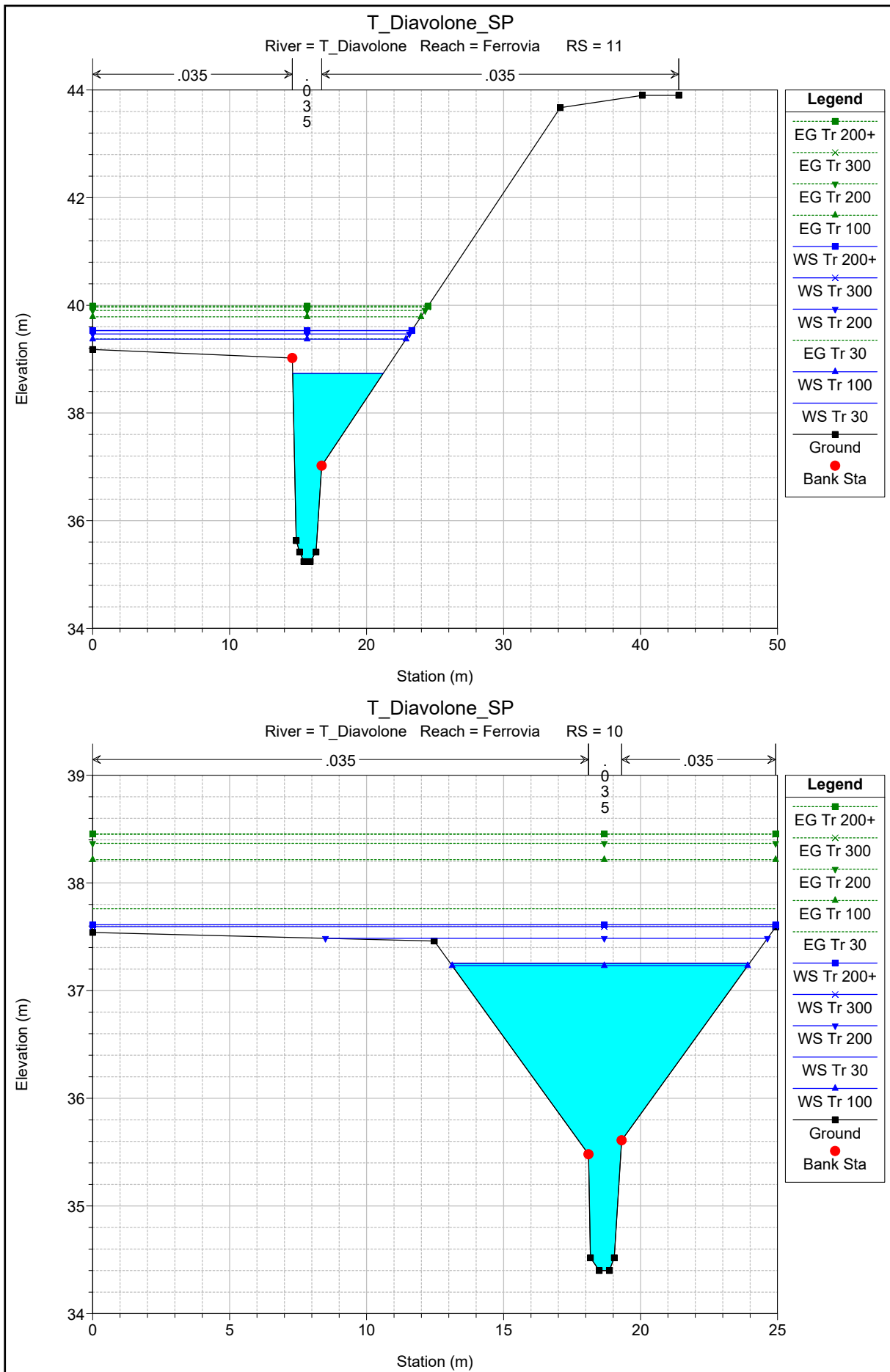
# T\_Diavolone\_SP

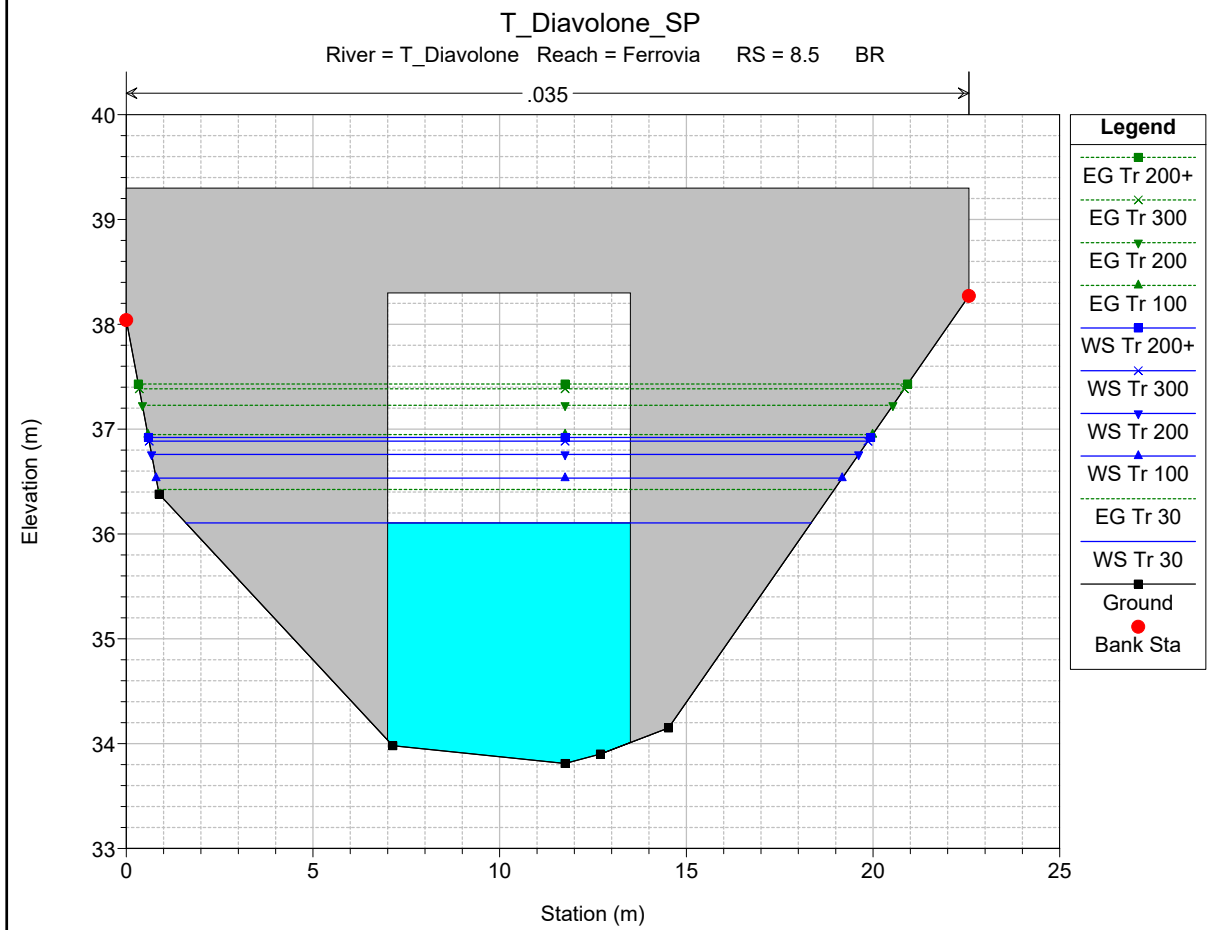
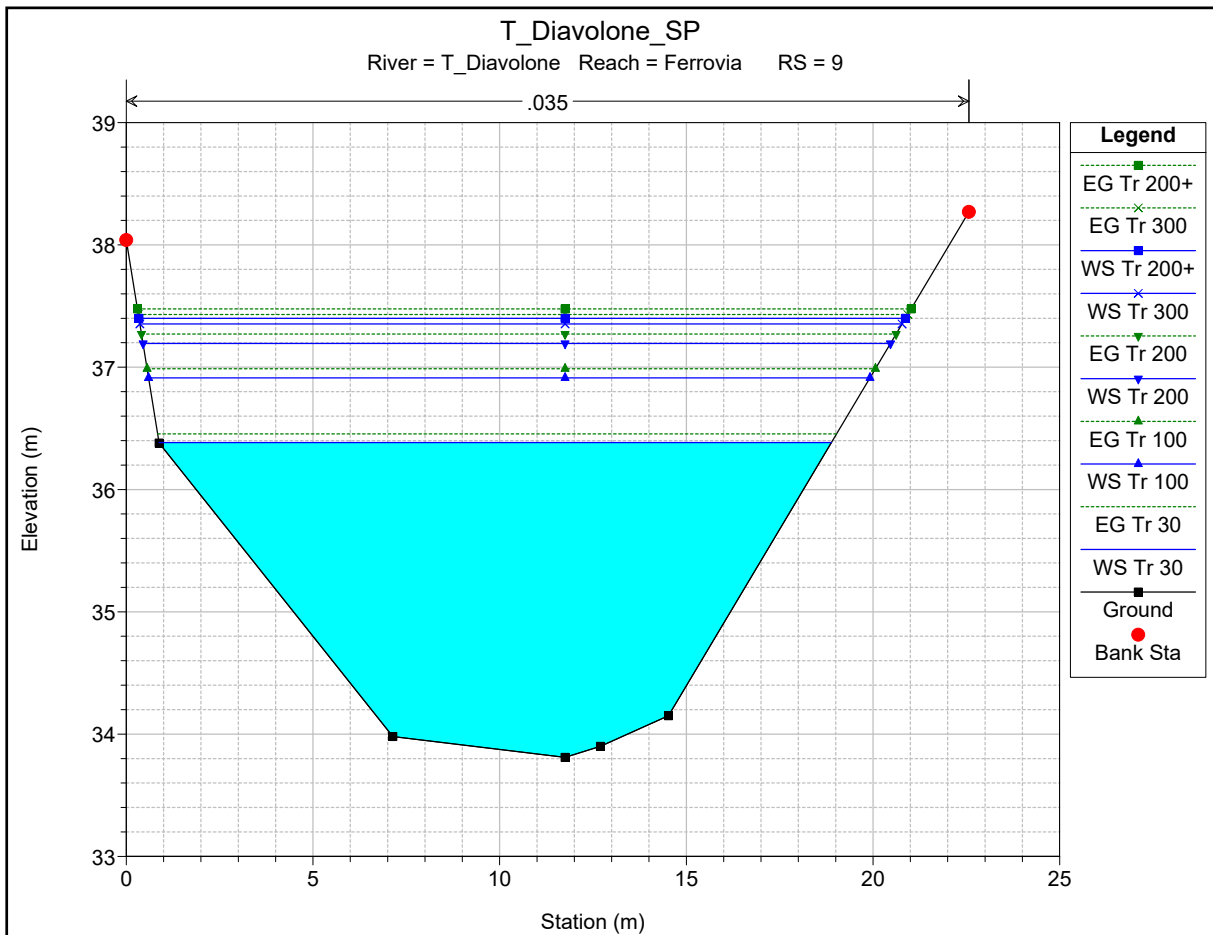
T\_Diavolone Ferrovia

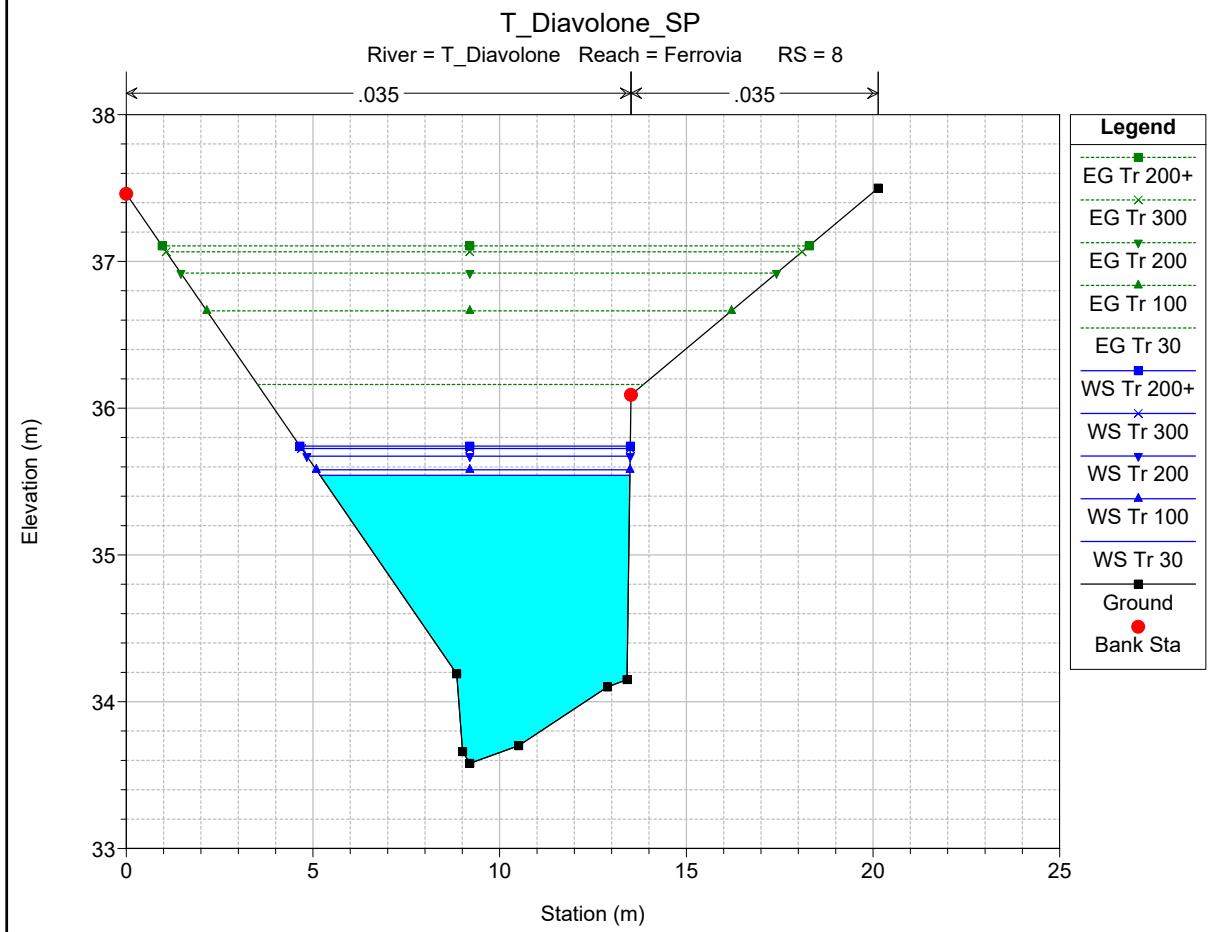
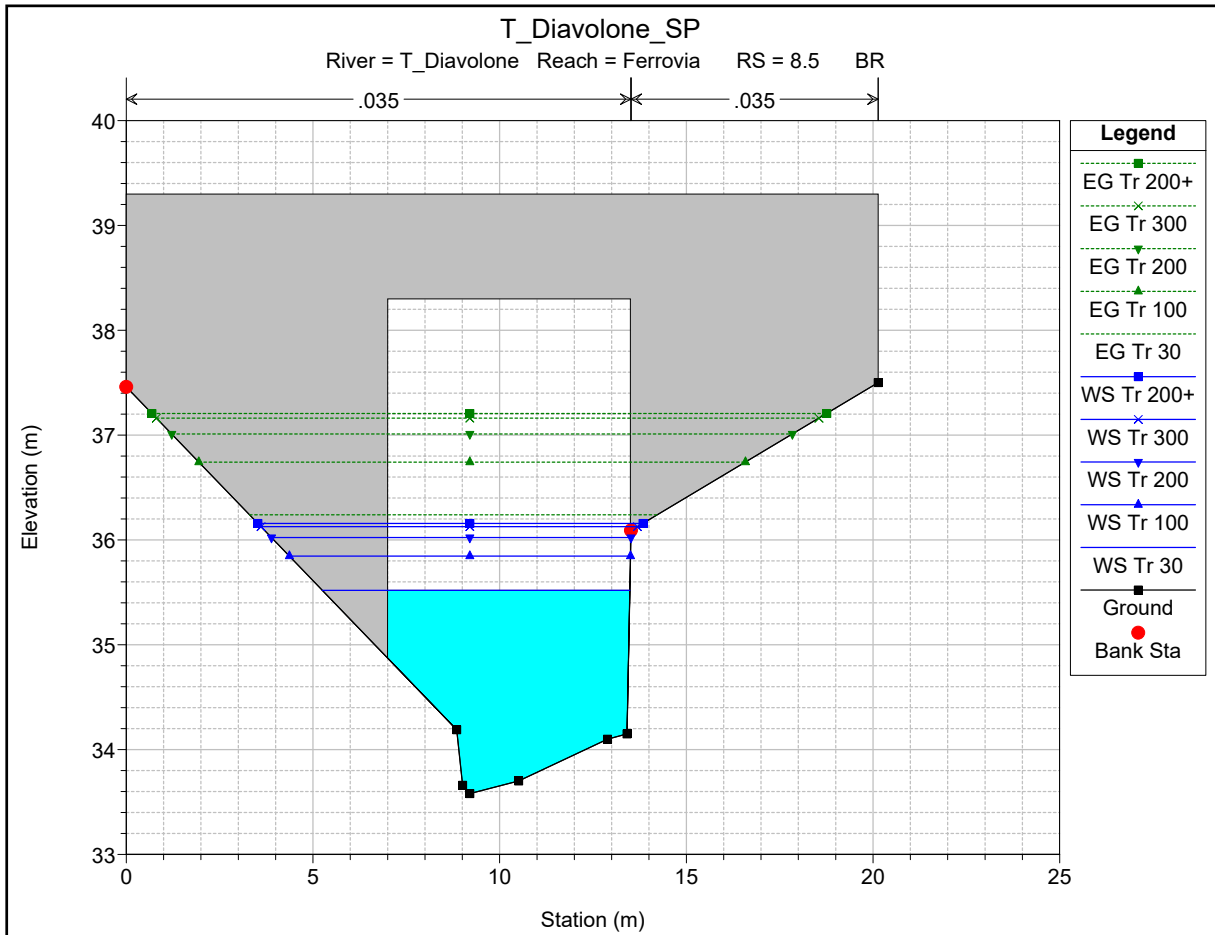


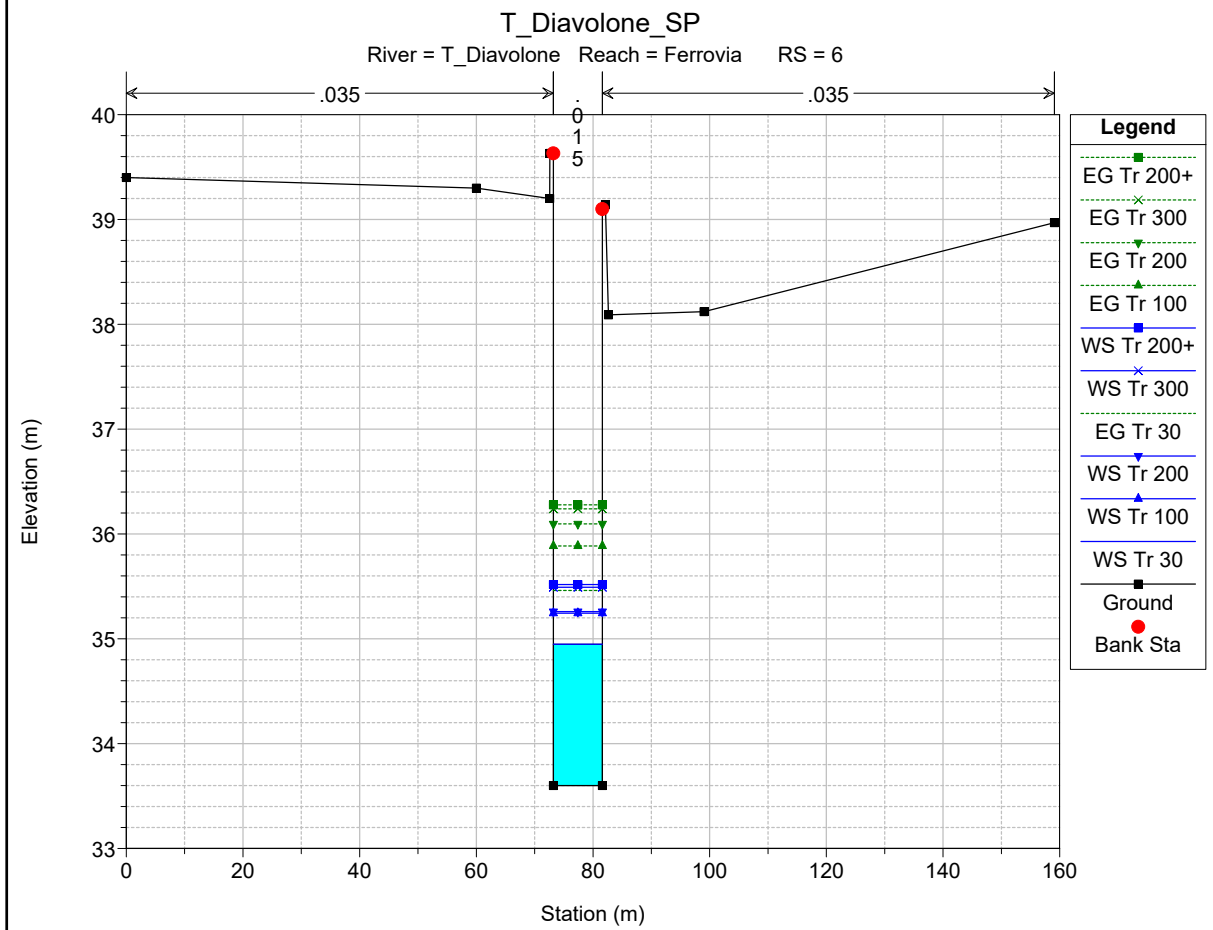
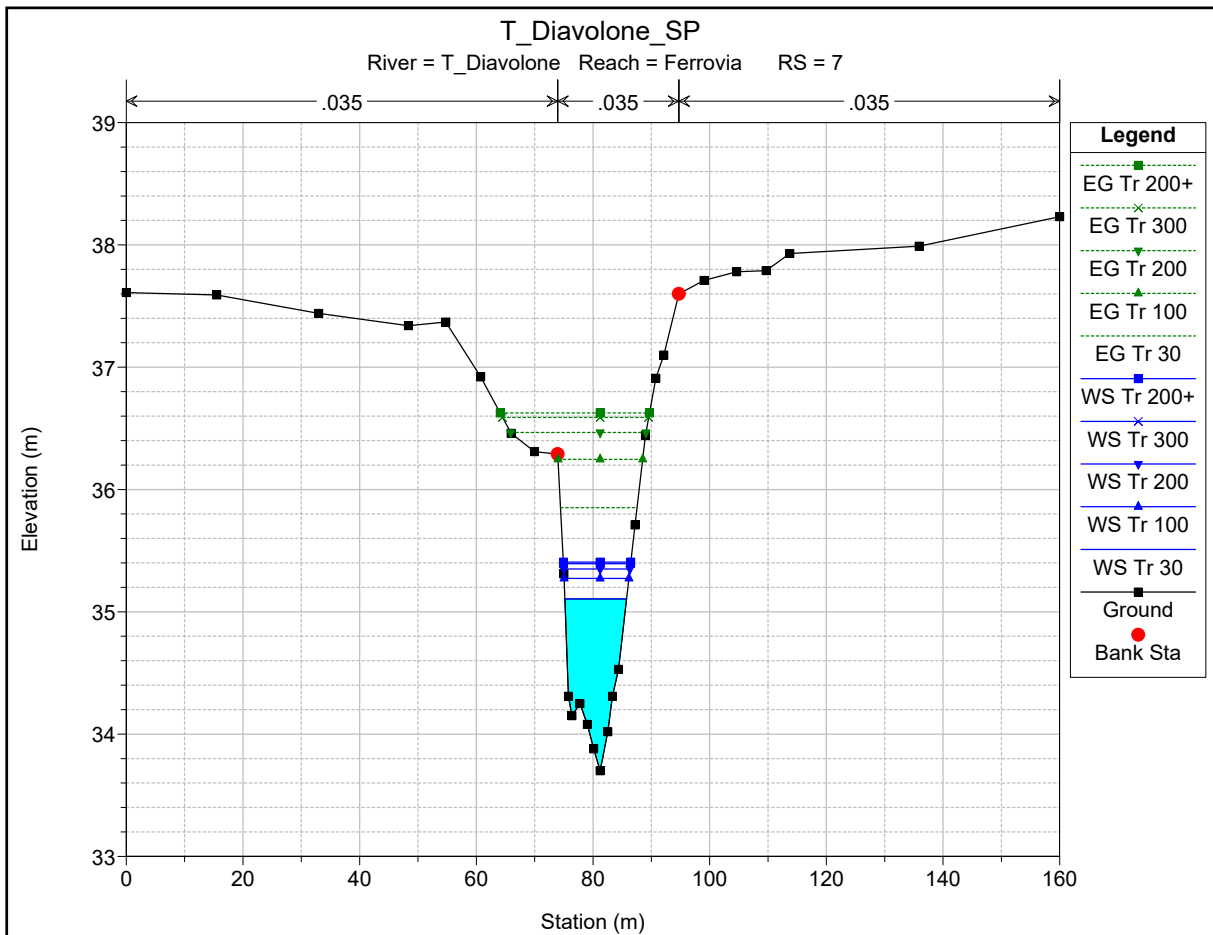




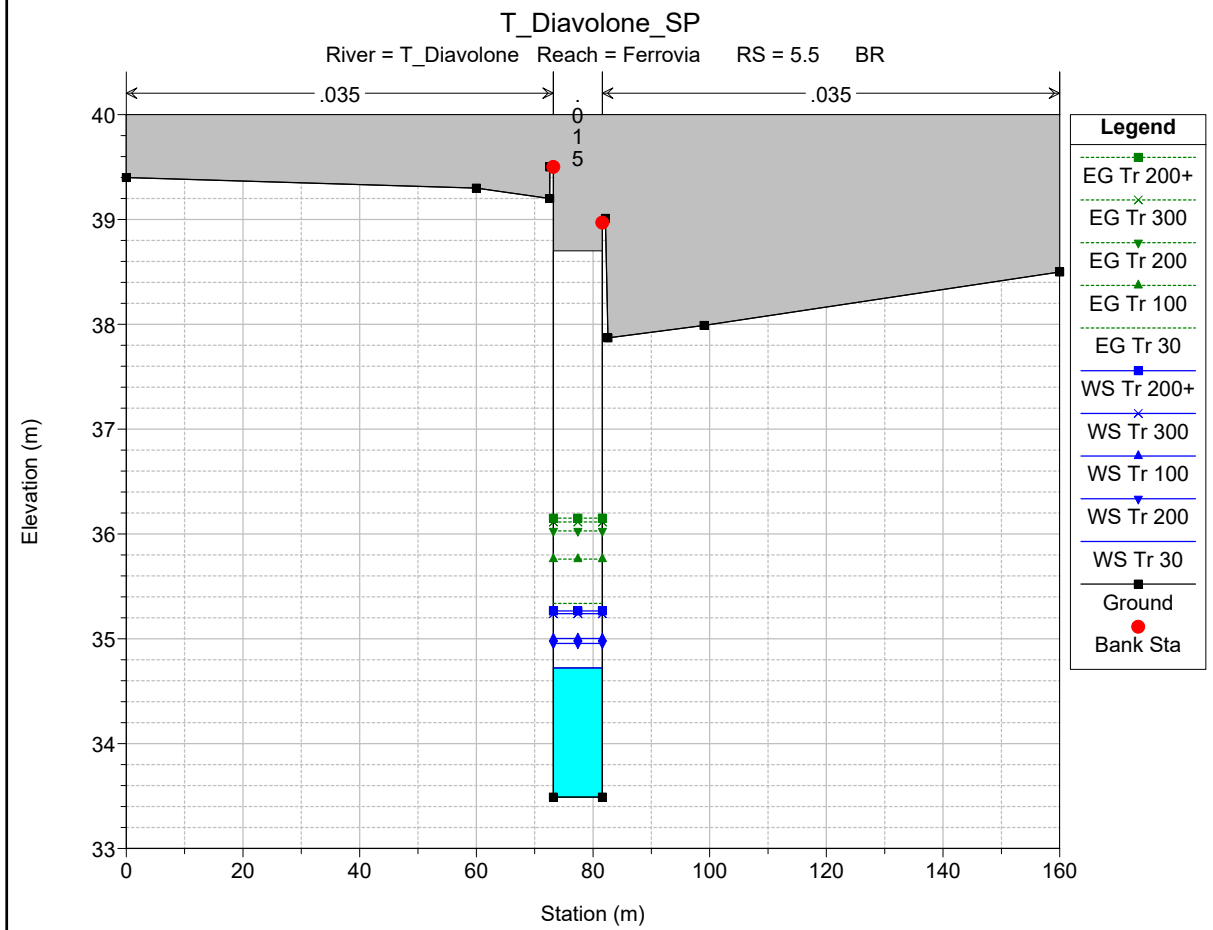
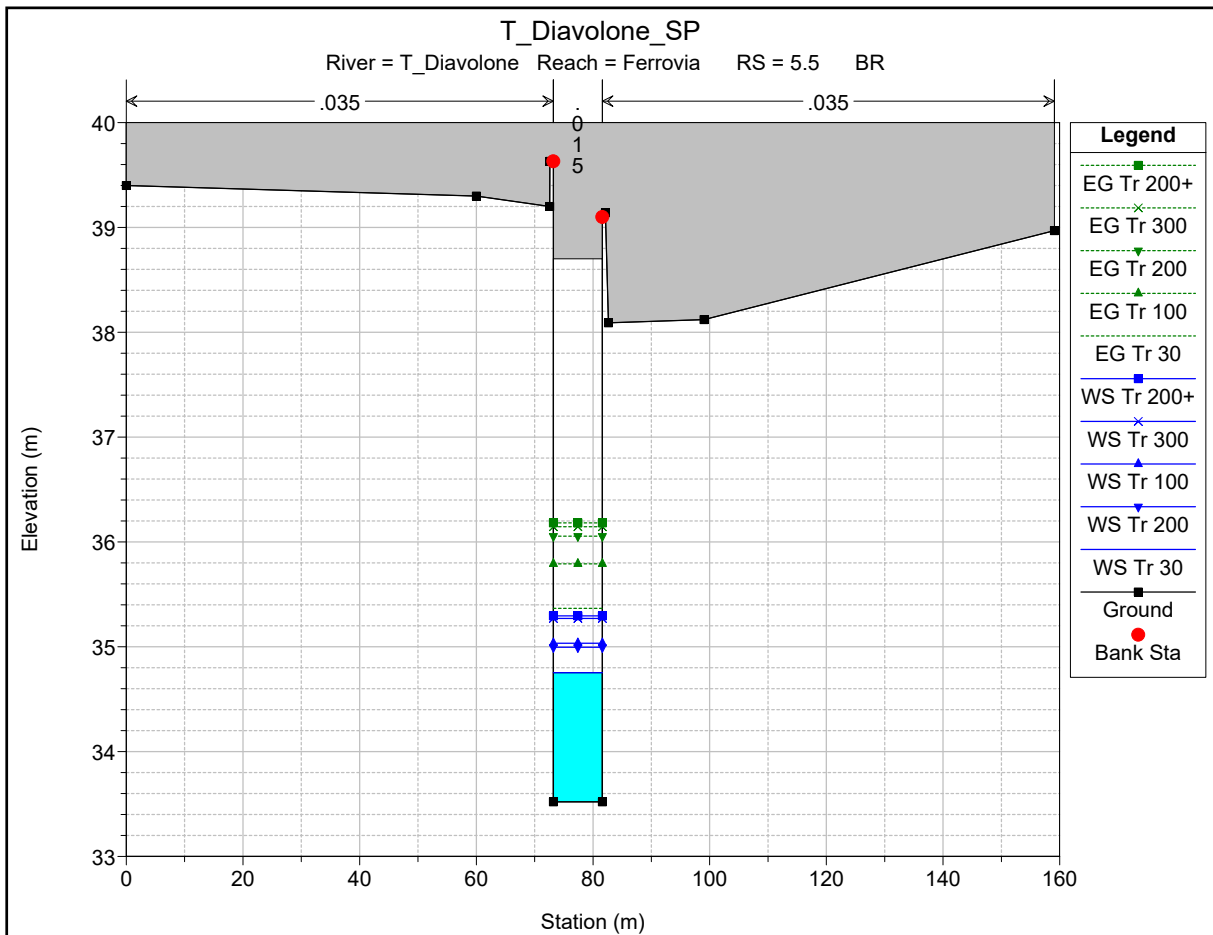


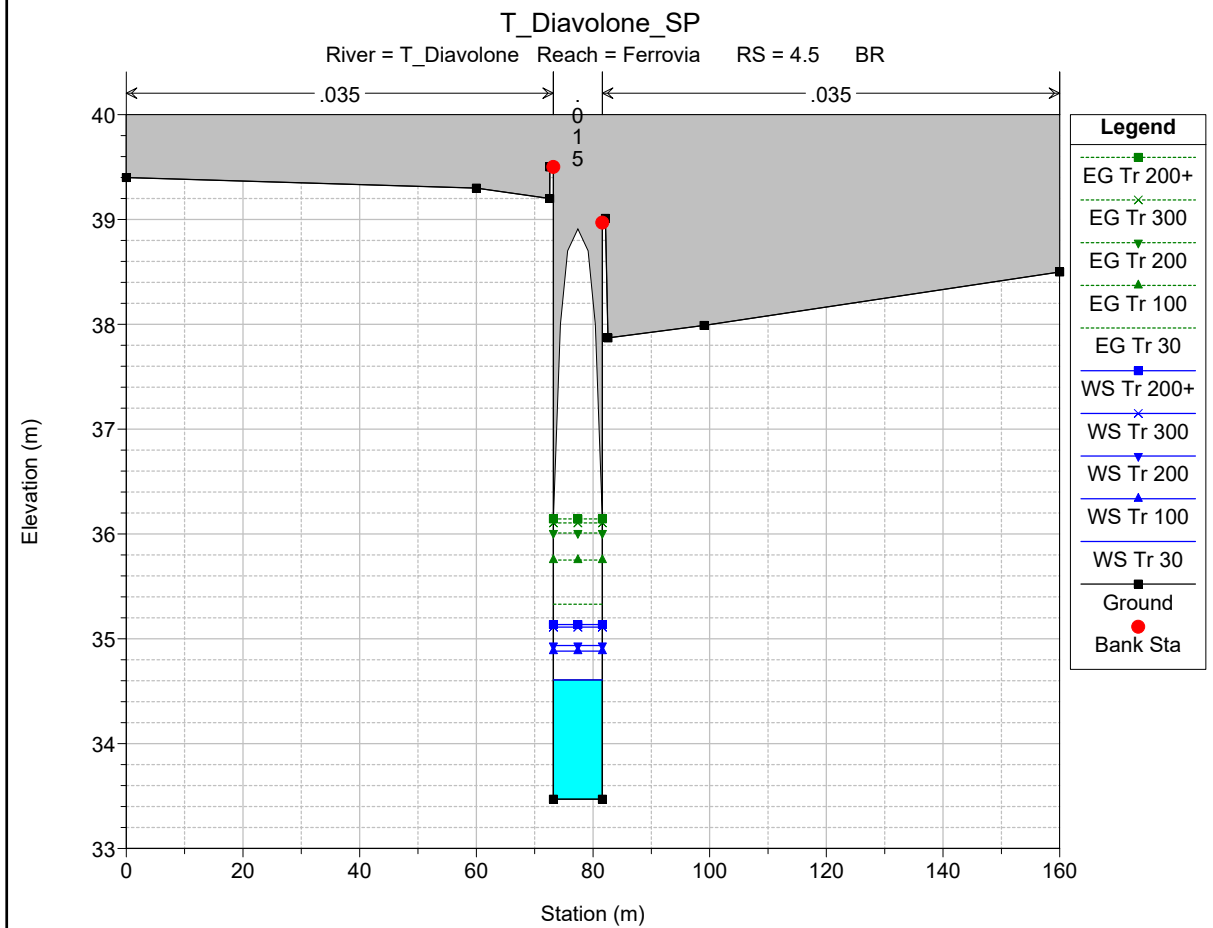
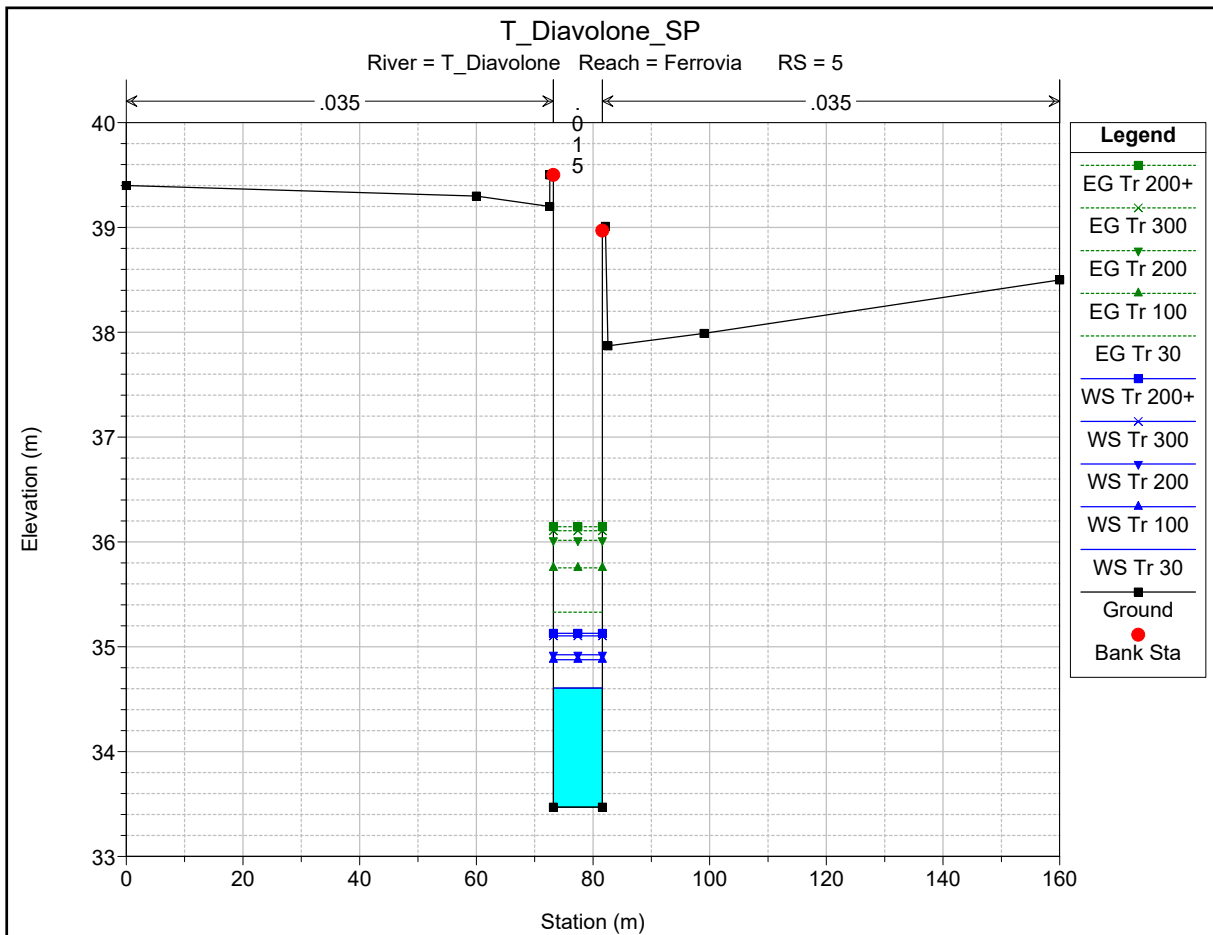


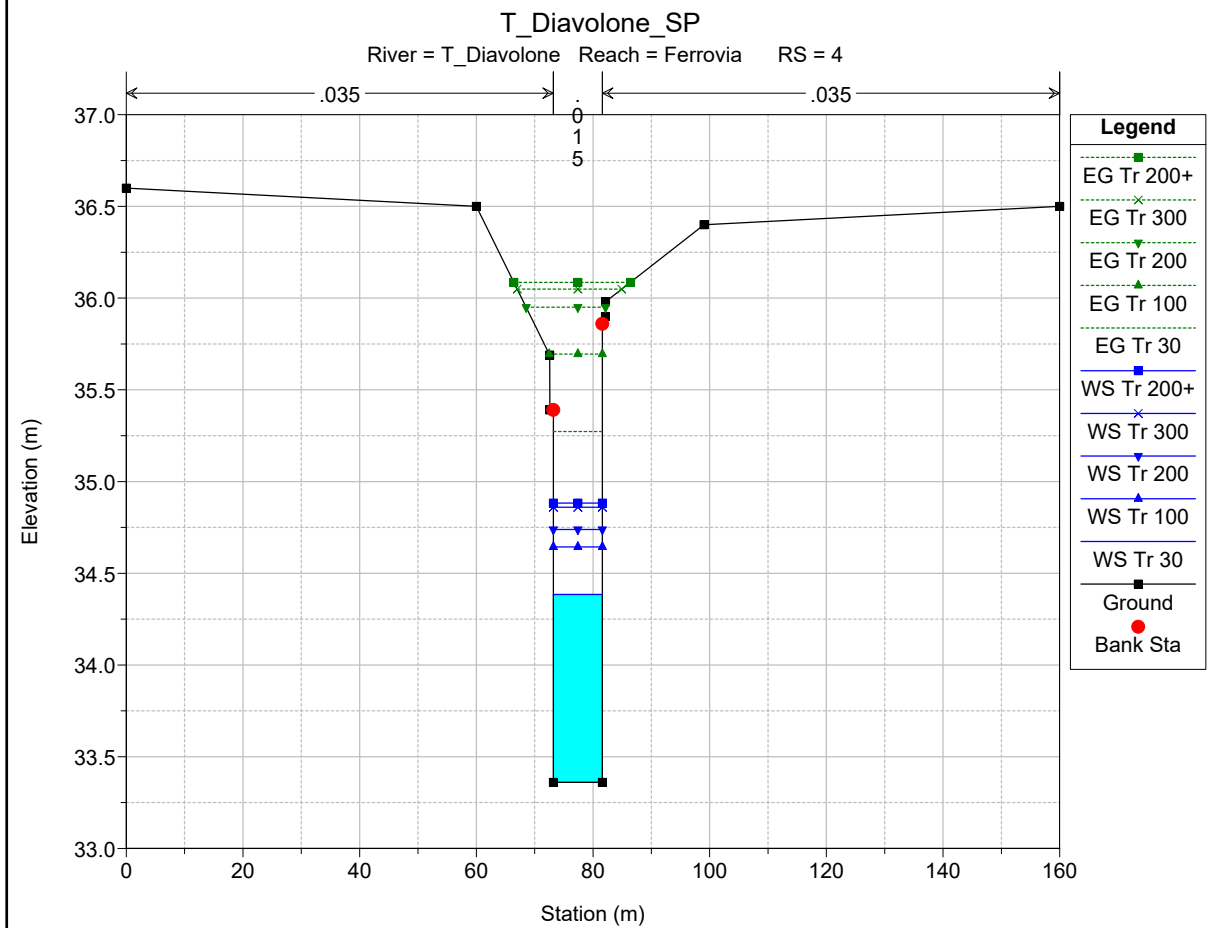
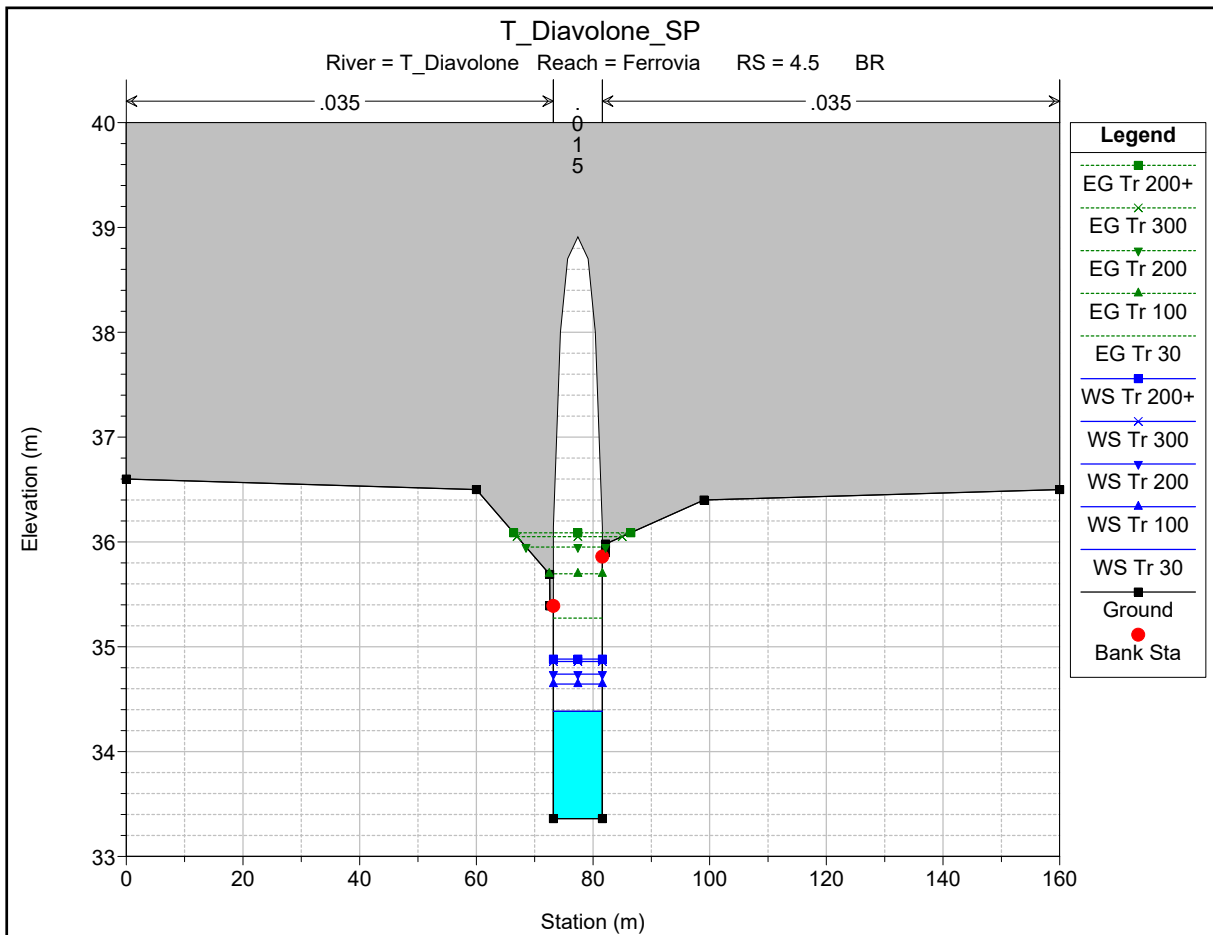


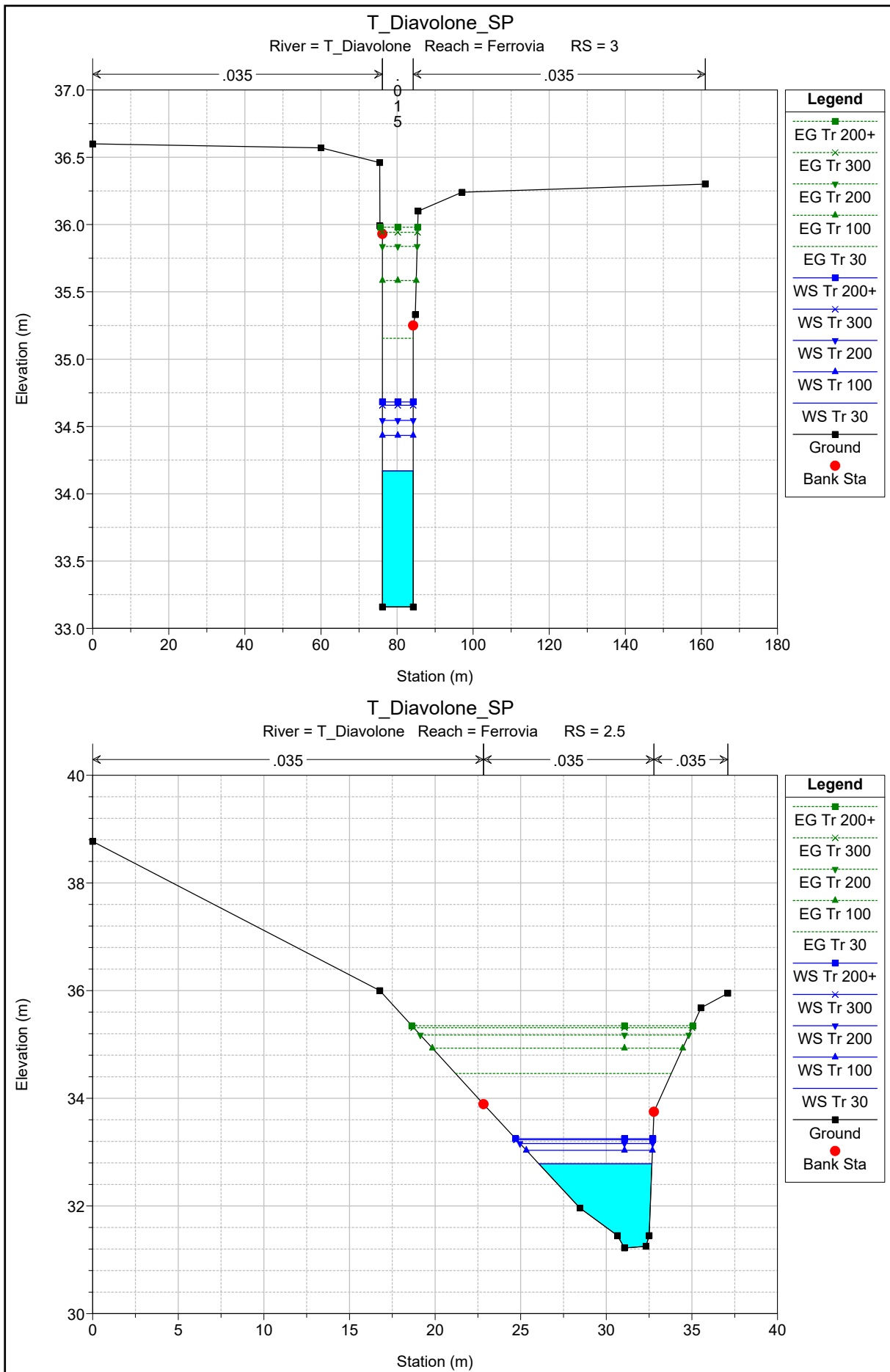


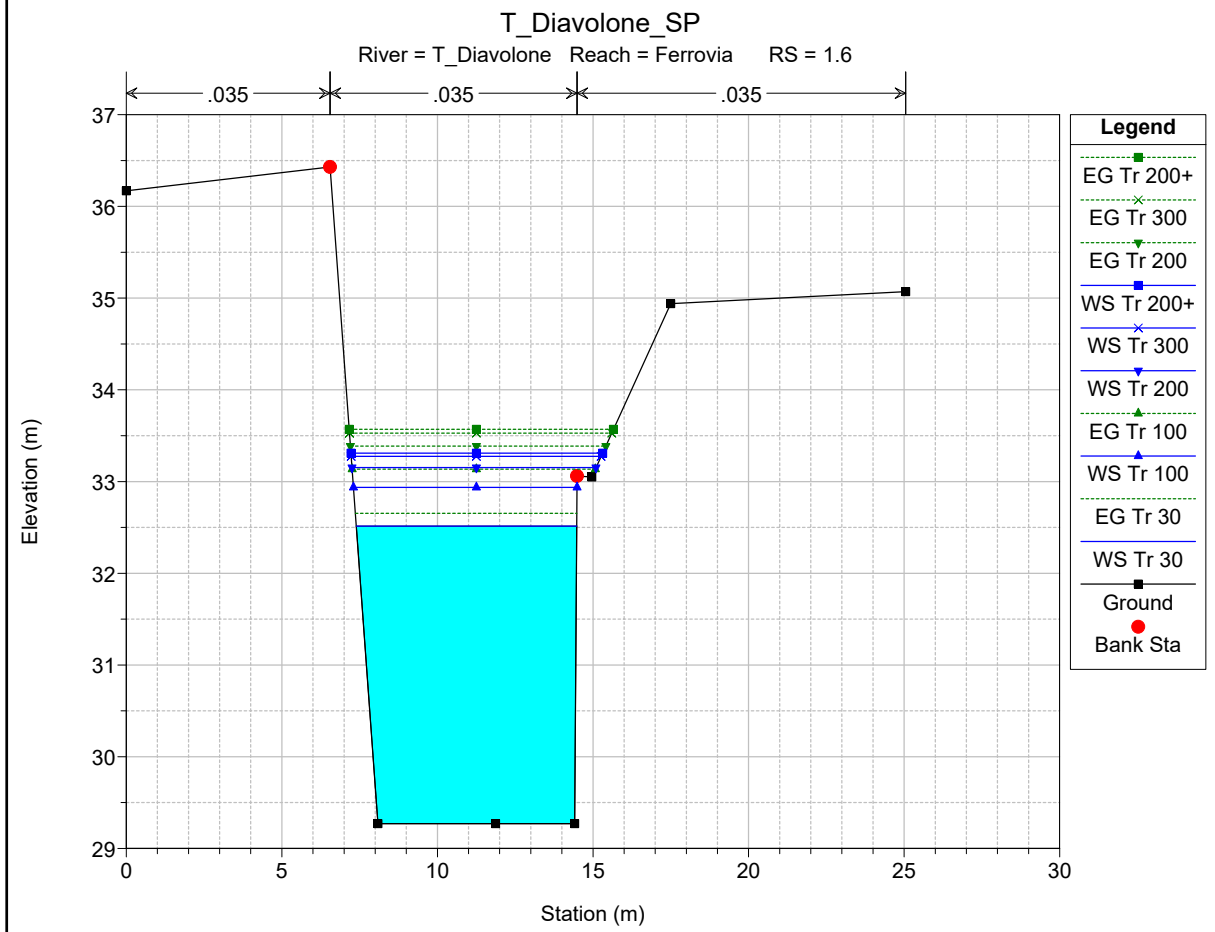
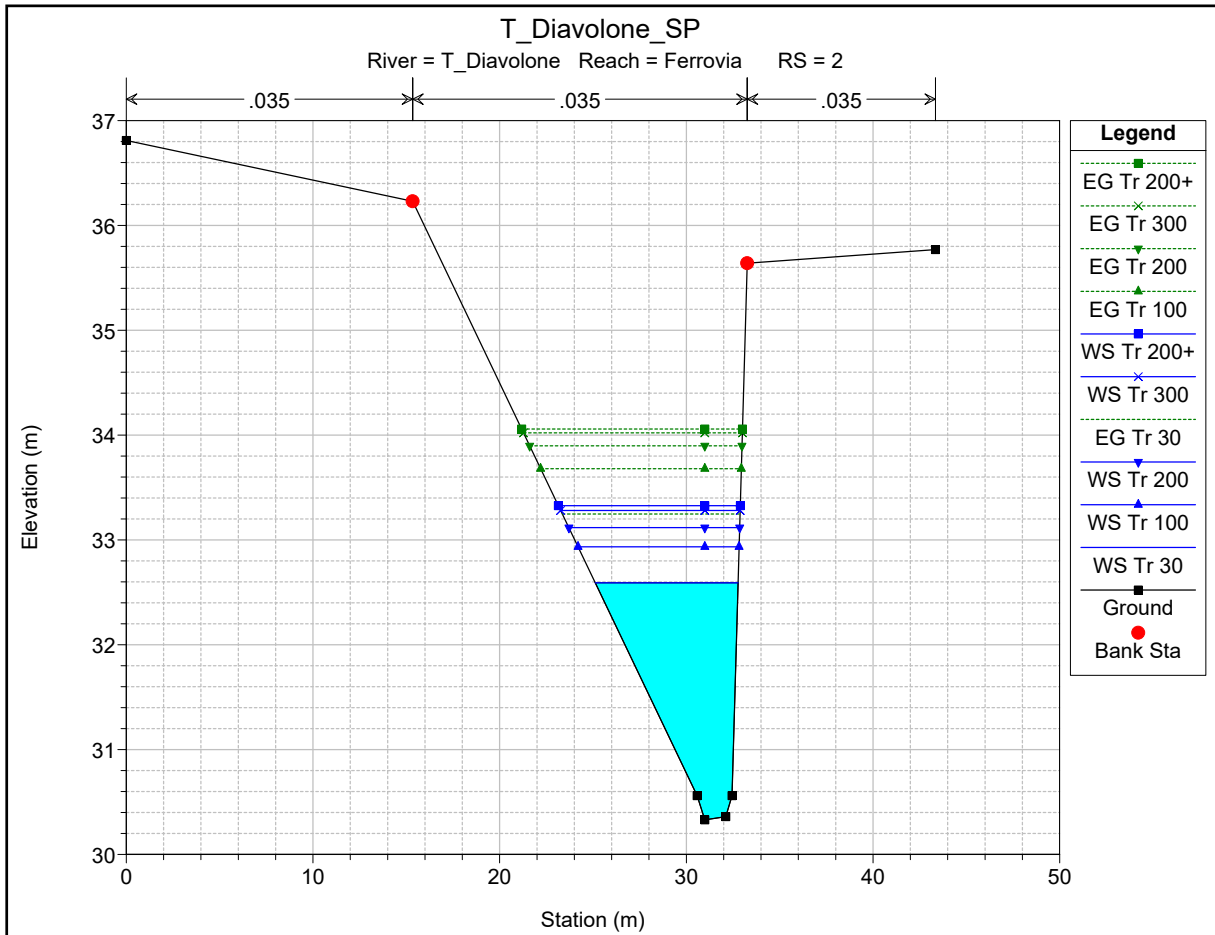


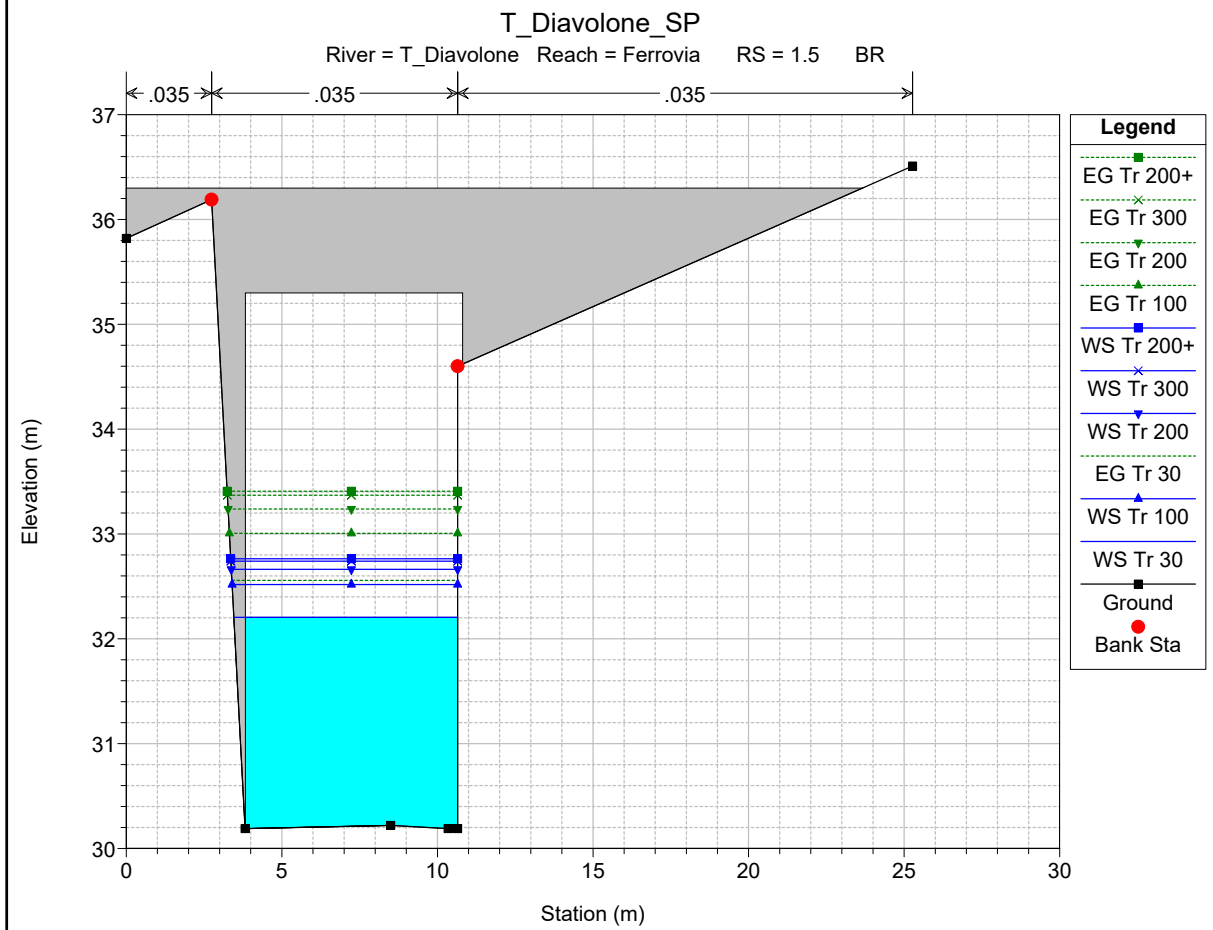
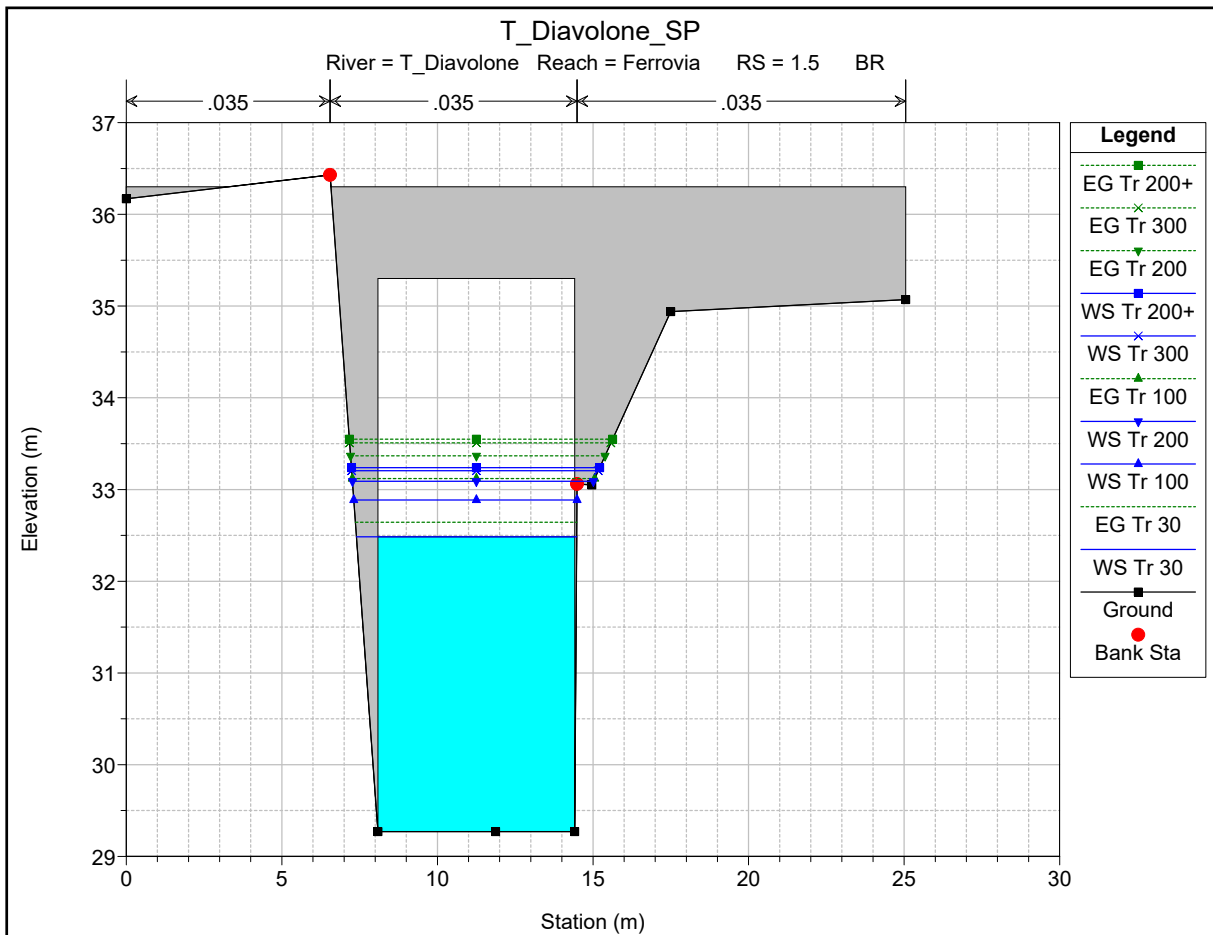




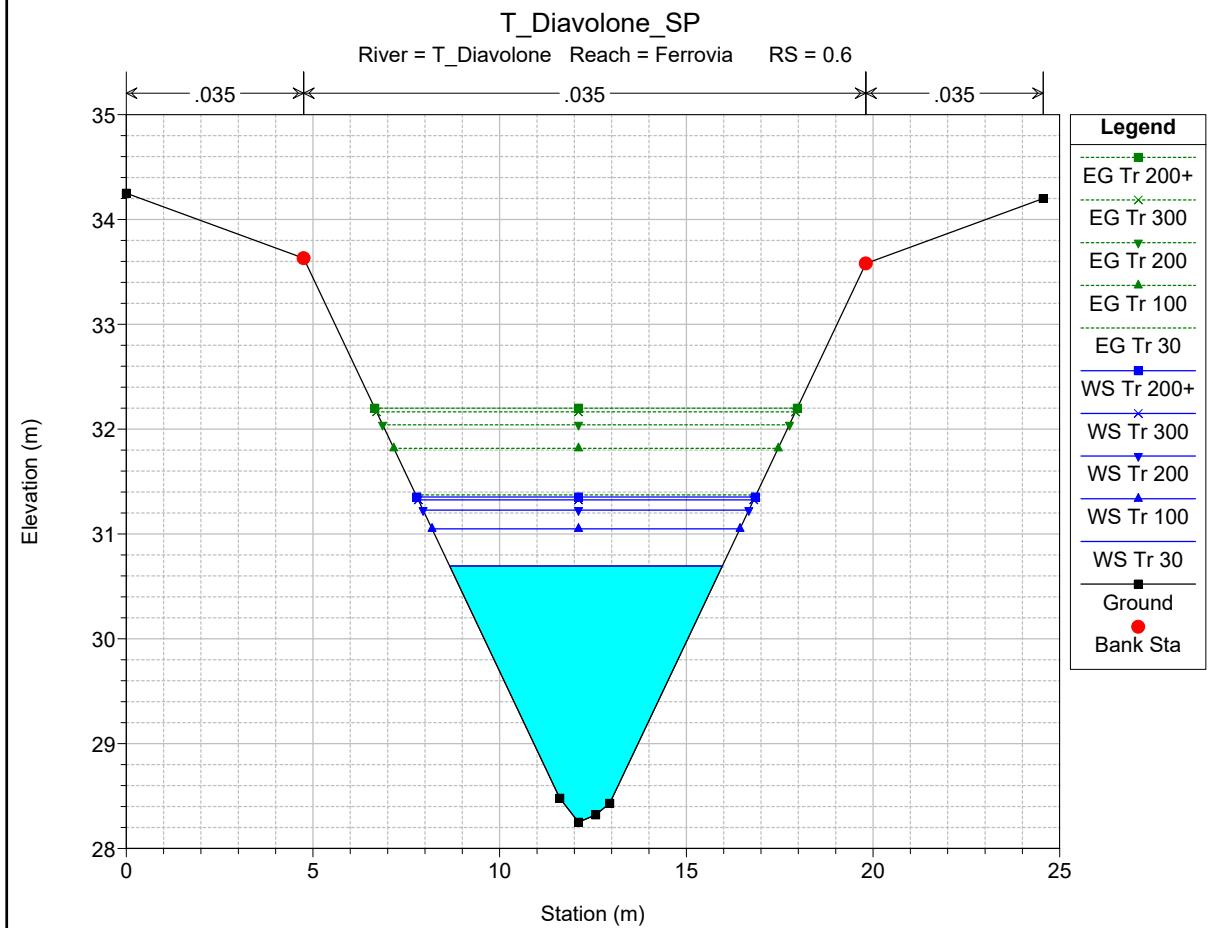
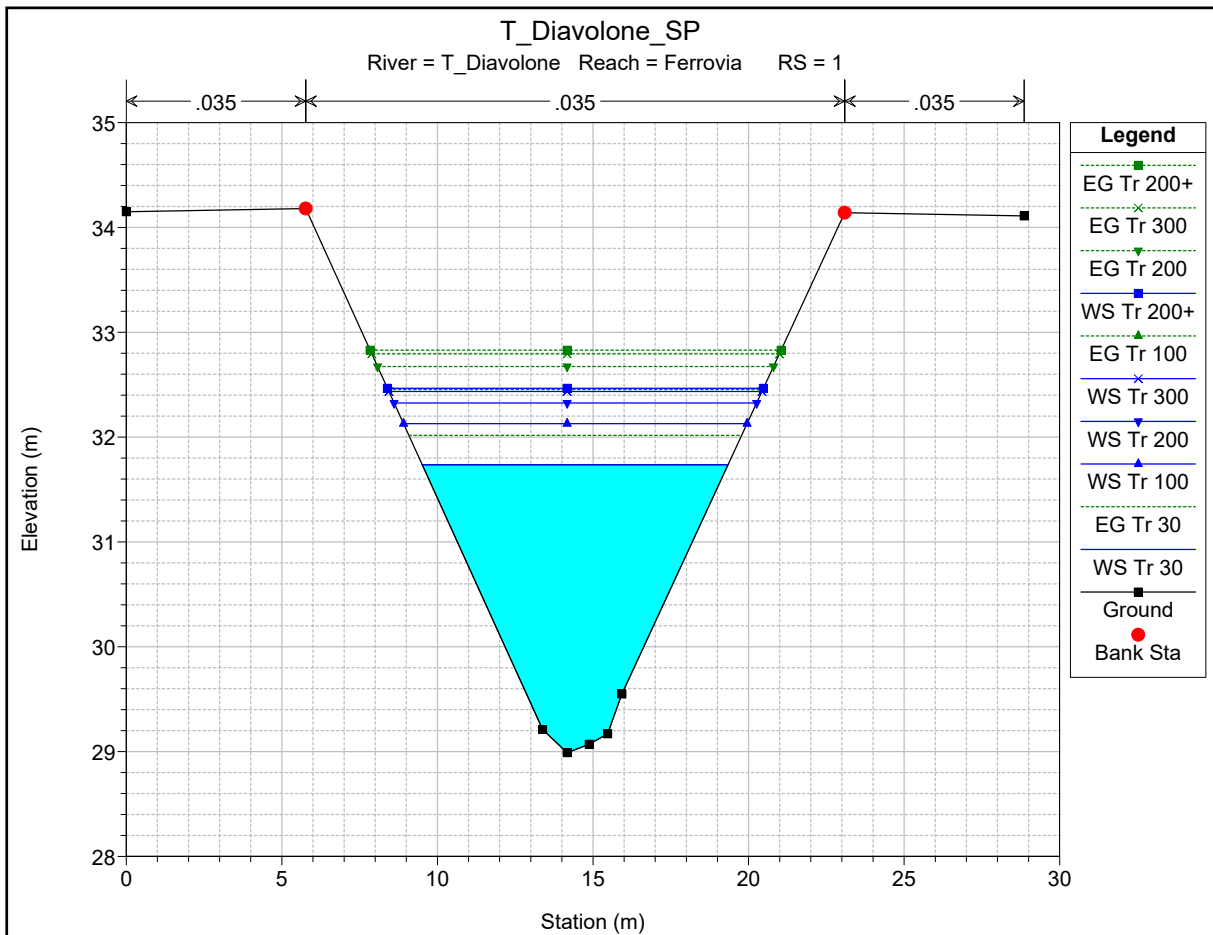
















HEC-RAS Plan: Plan 01 River: T\_Diavolone Reach: Ferrovia

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	15	Tr 30	35.87	41.32	44.12	44.12	44.57	0.008784	3.26	13.49	15.98	0.74
Ferrovia	15	Tr 100	48.89	41.32	44.38	44.38	44.85	0.008276	3.44	18.30	20.24	0.73
Ferrovia	15	Tr 200	56.38	41.32	44.51	44.51	44.99	0.007951	3.50	21.11	22.35	0.73
Ferrovia	15	Tr 300	60.77	41.32	44.57	44.57	45.06	0.008060	3.58	22.39	23.26	0.73
Ferrovia	15	Tr 200+	62.07	41.32	44.59	44.59	45.08	0.008046	3.60	22.82	23.55	0.73
Ferrovia	14	Tr 30	35.87	39.22	41.67	41.99	42.75	0.036848	5.12	8.26	10.11	1.18
Ferrovia	14	Tr 100	48.89	39.22	41.87	42.24	43.09	0.036440	5.44	10.37	10.83	1.19
Ferrovia	14	Tr 200	56.38	39.22	41.98	42.36	43.27	0.035820	5.57	11.54	11.21	1.19
Ferrovia	14	Tr 300	60.77	39.22	42.05	42.44	43.35	0.034255	5.57	12.35	11.47	1.17
Ferrovia	14	Tr 200+	62.07	39.22	42.07	42.47	43.38	0.033966	5.57	12.58	11.54	1.16
Ferrovia	13	Tr 30	35.87	37.78	39.85	39.85	40.44	0.013153	3.41	10.61	9.55	0.98
Ferrovia	13	Tr 100	48.89	37.78	40.15	40.15	40.83	0.011329	3.67	13.76	10.98	0.94
Ferrovia	13	Tr 200	56.38	37.78	40.31	40.31	41.03	0.010648	3.80	15.55	11.71	0.93
Ferrovia	13	Tr 300	60.77	37.78	40.39	40.39	41.14	0.010405	3.88	16.54	12.10	0.93
Ferrovia	13	Tr 200+	62.07	37.78	40.42	40.42	41.17	0.010393	3.91	16.80	12.20	0.93
Ferrovia	12	Tr 30	35.87	36.34	39.74	38.67	39.83	0.001402	1.57	32.94	38.03	0.29
Ferrovia	12	Tr 100	48.89	36.34	40.05	38.92	40.12	0.001191	1.55	45.15	42.50	0.27
Ferrovia	12	Tr 200	56.38	36.34	40.17	39.03	40.25	0.001191	1.59	50.43	44.30	0.27
Ferrovia	12	Tr 300	60.77	36.34	40.23	39.14	40.31	0.001202	1.61	53.24	45.22	0.28
Ferrovia	12	Tr 200+	62.07	36.34	40.25	39.16	40.33	0.001194	1.61	54.24	45.55	0.28
Ferrovia	11	Tr 30	35.87	35.24	38.74	38.63	39.37	0.016810	3.70	10.22	6.61	0.68
Ferrovia	11	Tr 100	48.89	35.24	39.37	39.37	39.79	0.009177	3.02	18.91	22.88	0.51
Ferrovia	11	Tr 200	56.38	35.24	39.47	39.47	39.90	0.009573	3.14	21.11	23.13	0.52
Ferrovia	11	Tr 300	60.77	35.24	39.53	39.53	39.97	0.009469	3.16	22.60	23.30	0.52
Ferrovia	11	Tr 200+	62.07	35.24	39.53	39.53	39.99	0.009845	3.22	22.63	23.30	0.53
Ferrovia	10	Tr 30	35.87	34.40	37.25	37.25	37.76	0.014213	3.55	11.50	10.91	0.70
Ferrovia	10	Tr 100	48.89	34.40	37.23	37.45	38.22	0.027946	4.94	11.26	10.79	0.97
Ferrovia	10	Tr 200	56.38	34.40	37.49	37.81	38.37	0.025143	4.99	14.24	16.14	0.94
Ferrovia	10	Tr 300	60.77	34.40	37.59	37.85	38.45	0.024623	5.06	16.72	24.93	0.94
Ferrovia	10	Tr 200+	62.07	34.40	37.61	37.86	38.46	0.024040	5.02	17.13	24.93	0.92
Ferrovia	9	Tr 30	35.87	33.81	36.38	35.14	36.45	0.000894	1.17	30.58	18.01	0.29
Ferrovia	9	Tr 100	48.89	33.81	36.91	35.38	36.99	0.000736	1.21	40.45	19.32	0.27
Ferrovia	9	Tr 200	56.38	33.81	37.19	35.51	37.27	0.000677	1.23	45.99	20.02	0.26
Ferrovia	9	Tr 300	60.77	33.81	37.35	35.58	37.43	0.000648	1.24	49.20	20.41	0.25
Ferrovia	9	Tr 200+	62.07	33.81	37.40	35.60	37.48	0.000641	1.24	50.14	20.53	0.25
Ferrovia	8.5		Bridge									
Ferrovia	8	Tr 30	35.87	33.58	35.54	35.54	36.16	0.014937	3.49	10.29	8.30	1.00
Ferrovia	8	Tr 100	48.89	33.58	35.58	35.86	36.66	0.025522	4.61	10.61	8.40	1.31
Ferrovia	8	Tr 200	56.38	33.58	35.67	36.02	36.92	0.027929	4.95	11.40	8.66	1.38
Ferrovia	8	Tr 300	60.77	33.58	35.73	36.11	37.06	0.029198	5.13	11.85	8.80	1.41
Ferrovia	8	Tr 200+	62.07	33.58	35.74	36.14	37.11	0.029486	5.17	12.00	8.85	1.42
Ferrovia	7	Tr 30	35.87	33.70	35.11	35.29	35.85	0.022865	3.82	9.38	10.57	1.30
Ferrovia	7	Tr 100	48.89	33.70	35.27	35.54	36.25	0.025428	4.37	11.18	11.09	1.39
Ferrovia	7	Tr 200	56.38	33.70	35.35	35.67	36.47	0.027313	4.68	12.05	11.35	1.45
Ferrovia	7	Tr 300	60.77	33.70	35.39	35.75	36.59	0.028266	4.84	12.54	11.50	1.48
Ferrovia	7	Tr 200+	62.07	33.70	35.41	35.77	36.63	0.028517	4.89	12.69	11.55	1.49
Ferrovia	6	Tr 30	35.87	33.60	34.95	34.83	35.46	0.002207	3.17	11.30	8.39	0.87
Ferrovia	6	Tr 100	48.89	33.60	35.24	35.11	35.89	0.002263	3.55	13.79	8.39	0.88
Ferrovia	6	Tr 200	56.38	33.60	35.26	35.26	36.10	0.002933	4.05	13.91	8.39	1.00
Ferrovia	6	Tr 300	60.77	33.60	35.49	35.34	36.24	0.002320	3.83	15.86	8.39	0.89
Ferrovia	6	Tr 200+	62.07	33.60	35.52	35.37	36.28	0.002326	3.86	16.07	8.39	0.89
Ferrovia	5.5		Bridge									
Ferrovia	5	Tr 30	35.87	33.47	34.61	34.70	35.33	0.003712	3.77	9.52	8.39	1.13
Ferrovia	5	Tr 100	48.89	33.47	34.88	34.98	35.75	0.003607	4.15	11.79	8.39	1.12
Ferrovia	5	Tr 200	56.38	33.47	34.92	35.13	36.02	0.004354	4.63	12.18	8.39	1.23
Ferrovia	5	Tr 300	60.77	33.47	35.10	35.21	36.11	0.003566	4.44	13.70	8.39	1.11
Ferrovia	5	Tr 200+	62.07	33.47	35.13	35.24	36.14	0.003565	4.47	13.90	8.39	1.11
Ferrovia	4.5		Bridge									
Ferrovia	4	Tr 30	35.87	33.36	34.38	34.59	35.27	0.005073	4.17	8.60	8.39	1.32
Ferrovia	4	Tr 100	48.89	33.36	34.64	34.87	35.69	0.004741	4.54	10.77	8.40	1.28
Ferrovia	4	Tr 200	56.38	33.36	34.74	35.02	35.95	0.005084	4.87	11.57	8.40	1.33
Ferrovia	4	Tr 300	60.77	33.36	34.86	35.10	36.05	0.004590	4.83	12.58	8.40	1.26
Ferrovia	4	Tr 200+	62.07	33.36	34.88	35.13	36.09	0.004575	4.86	12.78	8.40	1.26
Ferrovia	3	Tr 30	35.87	33.16	34.17	34.42	35.15	0.005767	4.39	8.16	8.08	1.40
Ferrovia	3	Tr 100	48.89	33.16	34.43	34.71	35.58	0.005295	4.75	10.29	8.08	1.34
Ferrovia	3	Tr 200	56.38	33.16	34.55	34.86	35.84	0.005471	5.04	11.20	8.08	1.37
Ferrovia	3	Tr 300	60.77	33.16	34.66	34.95	35.94	0.005041	5.02	12.10	8.09	1.31
Ferrovia	3	Tr 200+	62.07	33.16	34.68	34.98	35.98	0.005009	5.05	12.30	8.09	1.31
Ferrovia	2.5	Tr 30	35.87	31.22	32.78	33.31	34.46	0.057187	5.74	6.25	6.60	1.88
Ferrovia	2.5	Tr 100	48.89	31.22	33.03	33.65	34.93	0.054382	6.10	8.02	7.37	1.87
Ferrovia	2.5	Tr 200	56.38	31.22	33.16	33.81	35.18	0.053575	6.29	8.97	7.75	1.87

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: T\_Diavolone Reach: Ferrovia (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	2.5	Tr 300	60.77	31.22	33.23	33.90	35.31	0.053122	6.39	9.51	7.96	1.87
Ferrovia	2.5	Tr 200+	62.07	31.22	33.25	33.92	35.35	0.052951	6.41	9.68	8.02	1.87
Ferrovia	2	Tr 30	35.87	30.33	32.59	32.59	33.25	0.015518	3.59	9.99	7.85	1.00
Ferrovia	2	Tr 100	48.89	30.33	32.93	32.94	33.68	0.014988	3.82	12.79	8.63	1.00
Ferrovia	2	Tr 200	56.38	30.33	33.12	33.11	33.90	0.014516	3.91	14.42	9.15	0.99
Ferrovia	2	Tr 300	60.77	30.33	33.28	33.20	34.02	0.012915	3.81	15.95	9.62	0.94
Ferrovia	2	Tr 200+	62.07	30.33	33.33	33.23	34.06	0.012522	3.79	16.39	9.75	0.93
Ferrovia	1.6	Tr 30	35.87	29.27	32.51	30.74	32.65	0.001657	1.65	21.75	7.09	0.30
Ferrovia	1.6	Tr 100	48.89	29.27	32.94	31.07	33.13	0.002178	1.97	24.76	7.19	0.34
Ferrovia	1.6	Tr 200	56.38	29.27	33.15	31.25	33.39	0.002441	2.14	26.37	7.84	0.36
Ferrovia	1.6	Tr 300	60.77	29.27	33.27	31.35	33.53	0.002566	2.23	27.34	8.03	0.37
Ferrovia	1.6	Tr 200+	62.07	29.27	33.31	31.38	33.57	0.002602	2.26	27.63	8.09	0.37
Ferrovia	1.5	Bridge										
Ferrovia	1.4	Tr 30	35.87	30.19	32.18		32.52	0.005917	2.59	13.86	7.19	0.60
Ferrovia	1.4	Tr 100	48.89	30.19	32.49		32.96	0.007171	3.03	16.11	7.24	0.65
Ferrovia	1.4	Tr 200	56.38	30.19	32.64		33.19	0.007981	3.28	17.17	7.27	0.68
Ferrovia	1.4	Tr 300	60.77	30.19	32.72		33.32	0.008468	3.43	17.74	7.28	0.70
Ferrovia	1.4	Tr 200+	62.07	30.19	32.74		33.35	0.008614	3.47	17.90	7.29	0.71
Ferrovia	1.2	Tr 30	35.87	29.62	32.13		32.38	0.004116	2.18	16.48	12.13	0.58
Ferrovia	1.2	Tr 100	48.89	29.62	32.52		32.79	0.003585	2.32	21.42	13.87	0.56
Ferrovia	1.2	Tr 200	56.38	29.62	32.71		33.00	0.003332	2.40	24.16	15.01	0.55
Ferrovia	1.2	Tr 300	60.77	29.62	32.81		33.11	0.003211	2.44	25.78	15.65	0.55
Ferrovia	1.2	Tr 200+	62.07	29.62	32.84		33.14	0.003178	2.45	26.26	15.83	0.54
Ferrovia	1	Tr 30	35.87	28.99	31.74		32.02	0.004602	2.35	15.24	9.83	0.60
Ferrovia	1	Tr 100	48.89	28.99	32.13		32.45	0.004536	2.53	19.34	11.04	0.61
Ferrovia	1	Tr 200	56.38	28.99	32.33		32.67	0.004502	2.61	21.58	11.65	0.61
Ferrovia	1	Tr 300	60.77	28.99	32.43		32.79	0.004481	2.66	22.87	11.99	0.61
Ferrovia	1	Tr 200+	62.07	28.99	32.47		32.83	0.004474	2.67	23.25	12.09	0.61
Ferrovia	0.6	Tr 30	35.87	28.25	30.69	30.69	31.37	0.014194	3.65	9.84	7.31	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 100	48.89	28.25	31.05	31.05	31.82	0.013687	3.88	12.59	8.25	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 200	56.38	28.25	31.23	31.23	32.04	0.013448	4.00	14.11	8.73	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 300	60.77	28.25	31.33	31.33	32.16	0.013325	4.06	14.98	8.99	1.00
Ferrovia	0.6	Tr 200+	62.07	28.25	31.35	31.35	32.20	0.013303	4.08	15.23	9.06	1.00
Ferrovia	0.4	Tr 30	35.87	28.00	29.85	29.51	30.06	0.005000	2.05	17.53	16.49	0.63
Ferrovia	0.4	Tr 100	48.89	28.00	30.11	29.73	30.36	0.005004	2.23	21.94	18.12	0.65
Ferrovia	0.4	Tr 200	56.38	28.00	30.22	29.85	30.50	0.005003	2.34	24.12	18.68	0.65
Ferrovia	0.4	Tr 300	60.77	28.00	30.29	29.90	30.58	0.005002	2.40	25.30	18.92	0.66
Ferrovia	0.4	Tr 200+	62.07	28.00	30.31	29.93	30.60	0.005002	2.42	25.65	18.99	0.66

**ALLEGATO I**

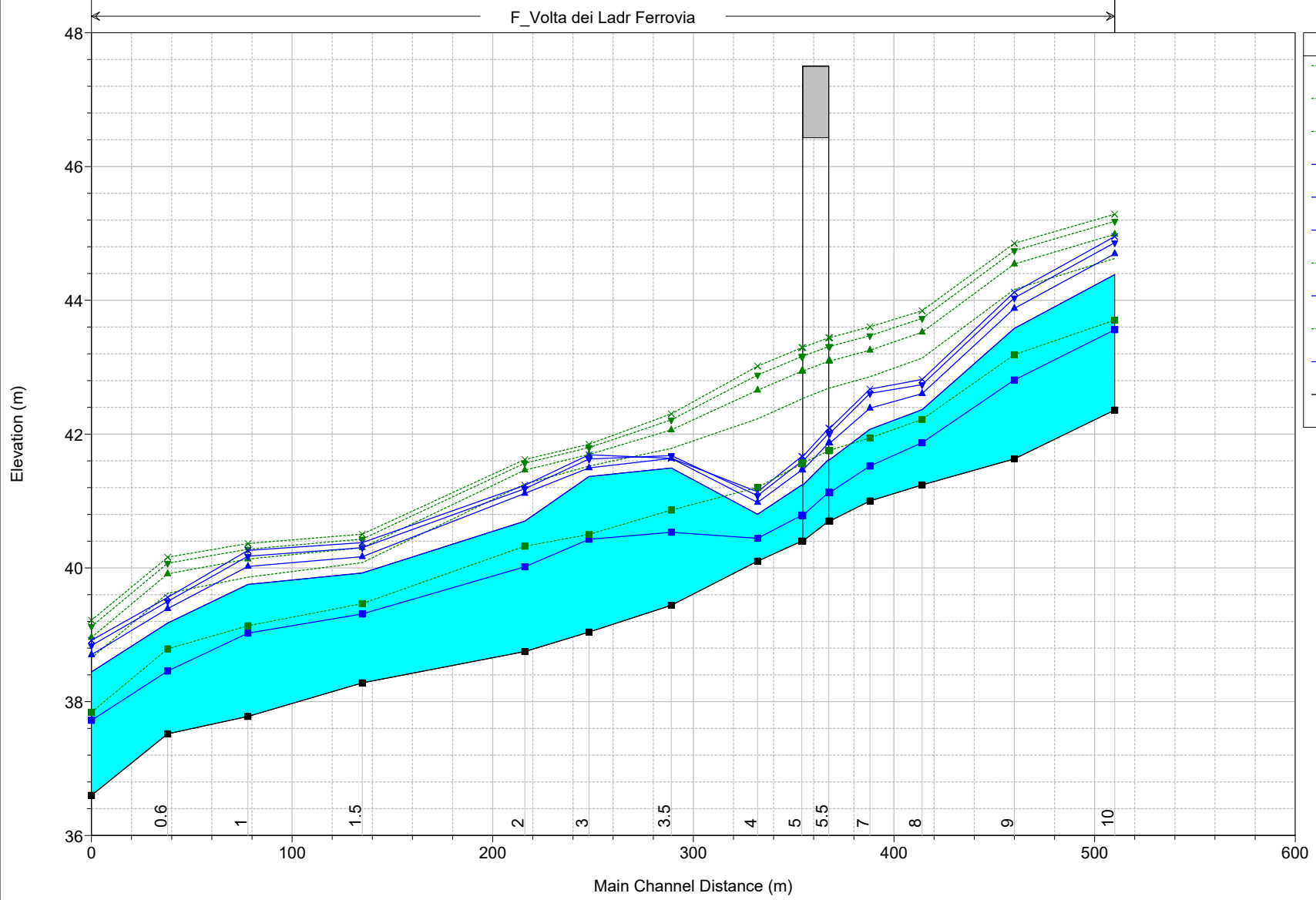
**Pk 67+630 Linea Storica**

**Stato Attuale**

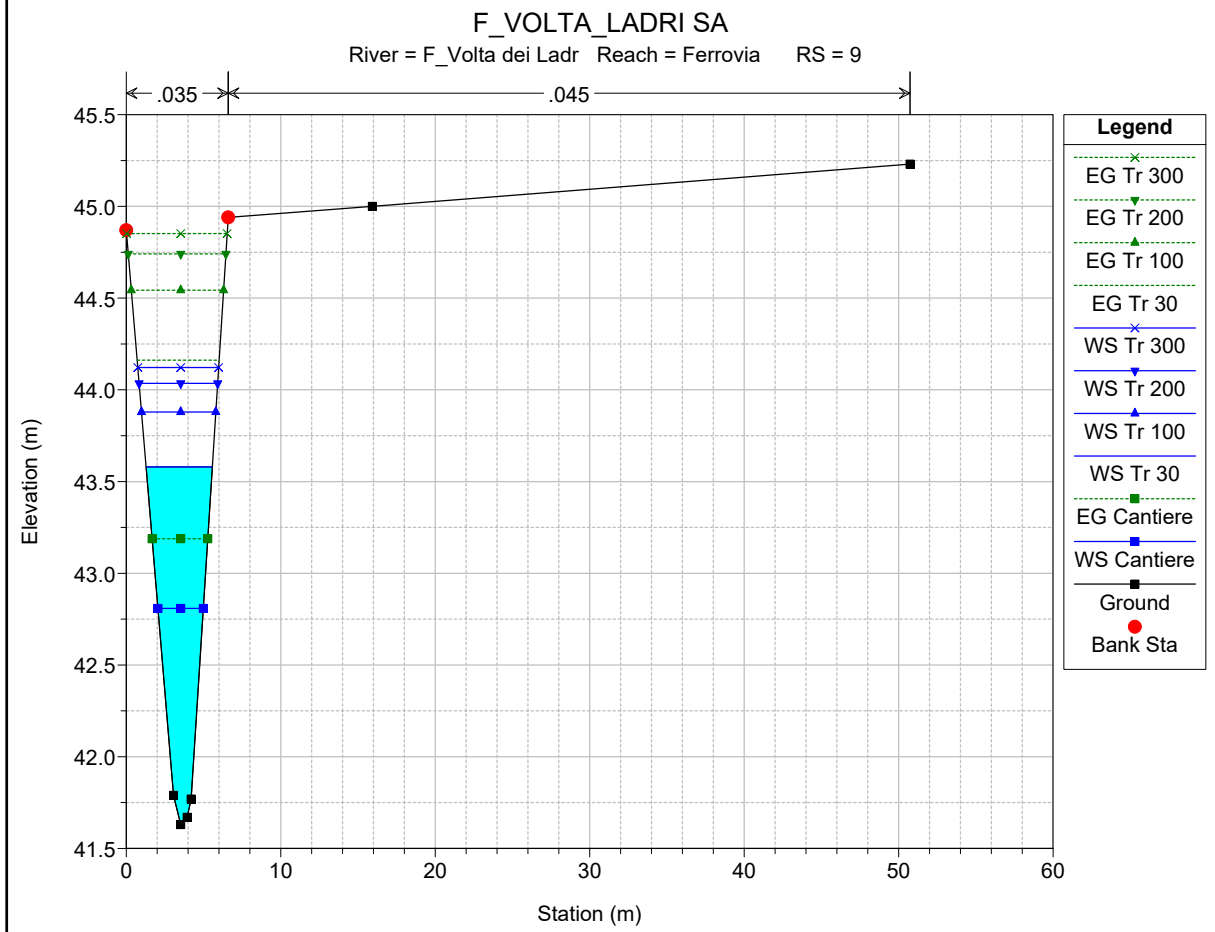
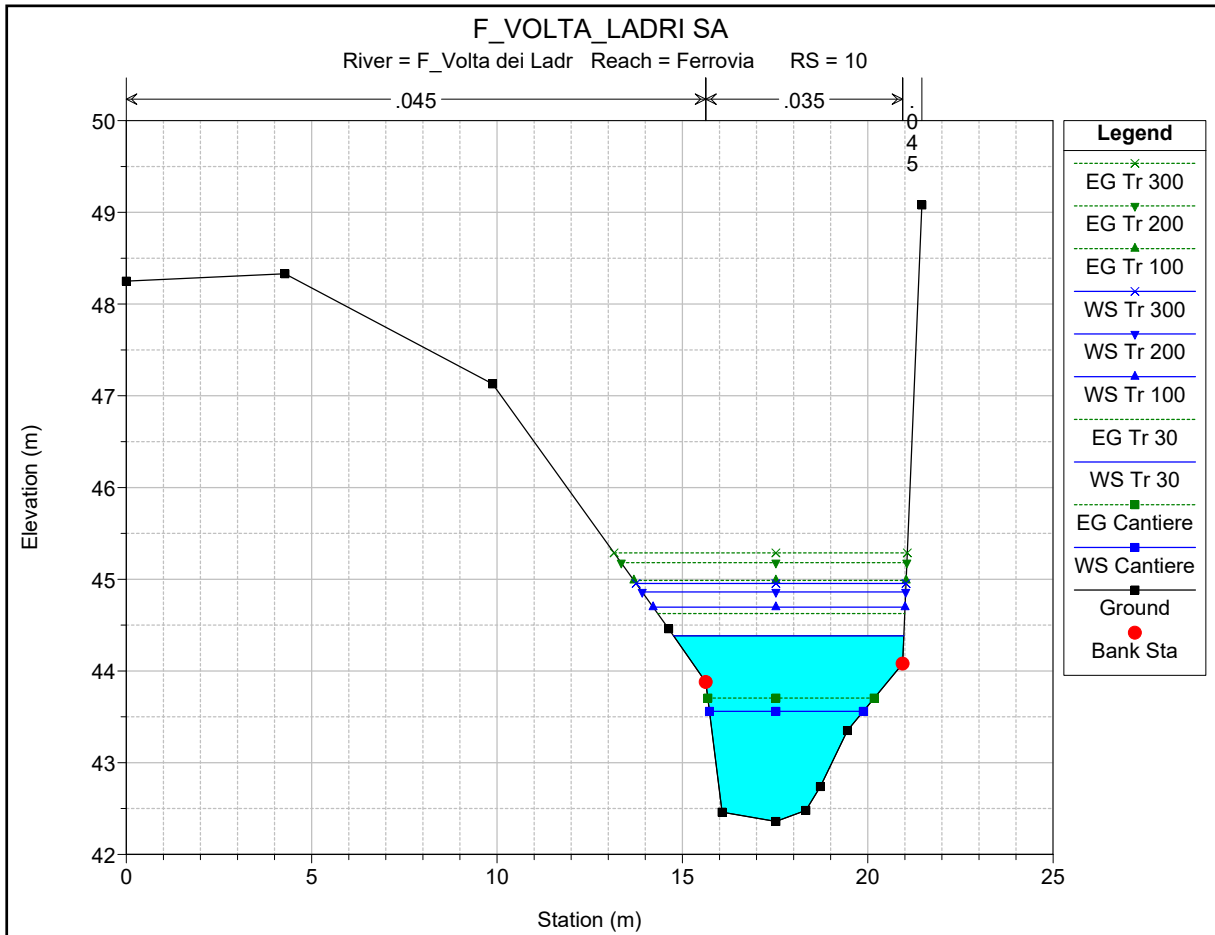
**Risultati delle simulazioni in moto permanente**

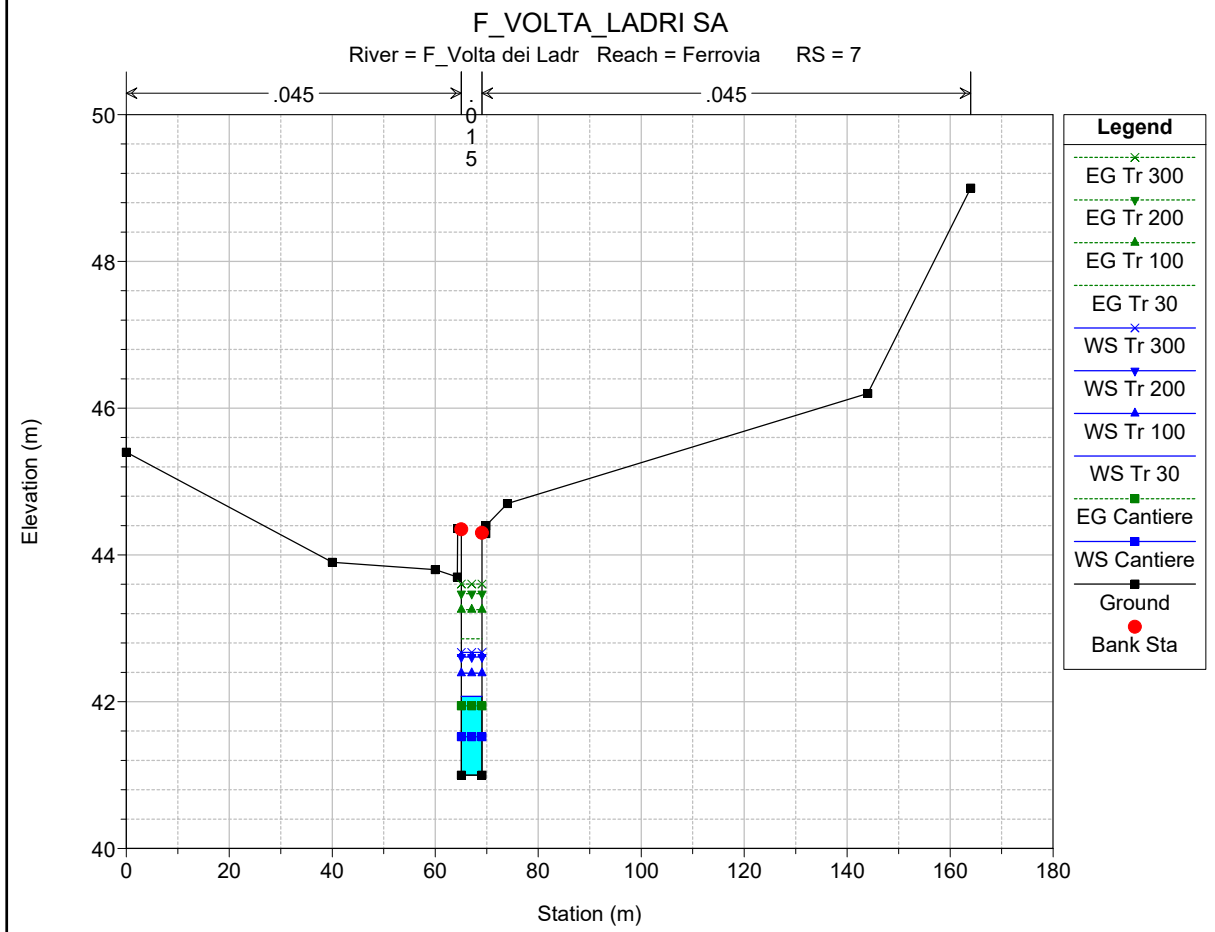
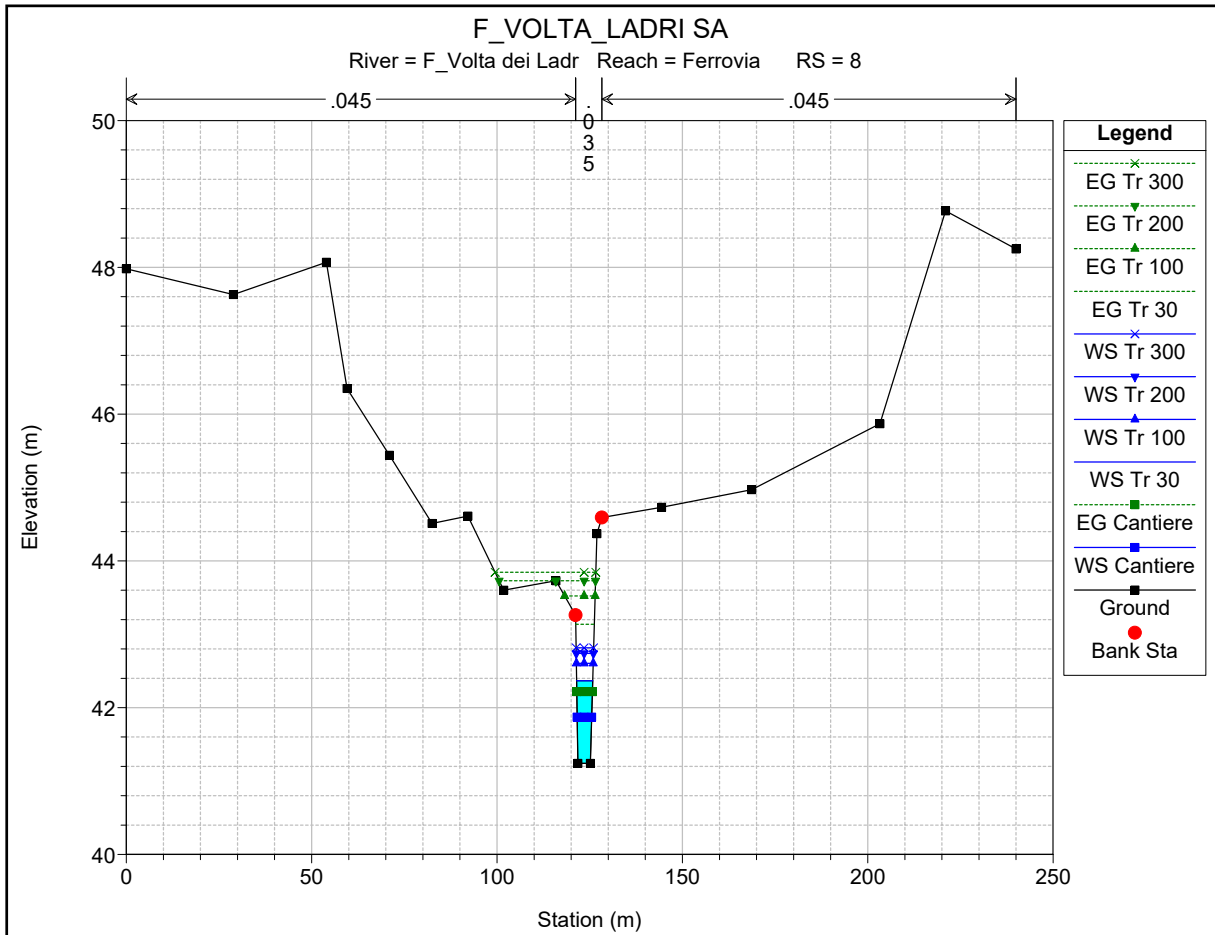
# F\_VOLTA\_LADRI SA

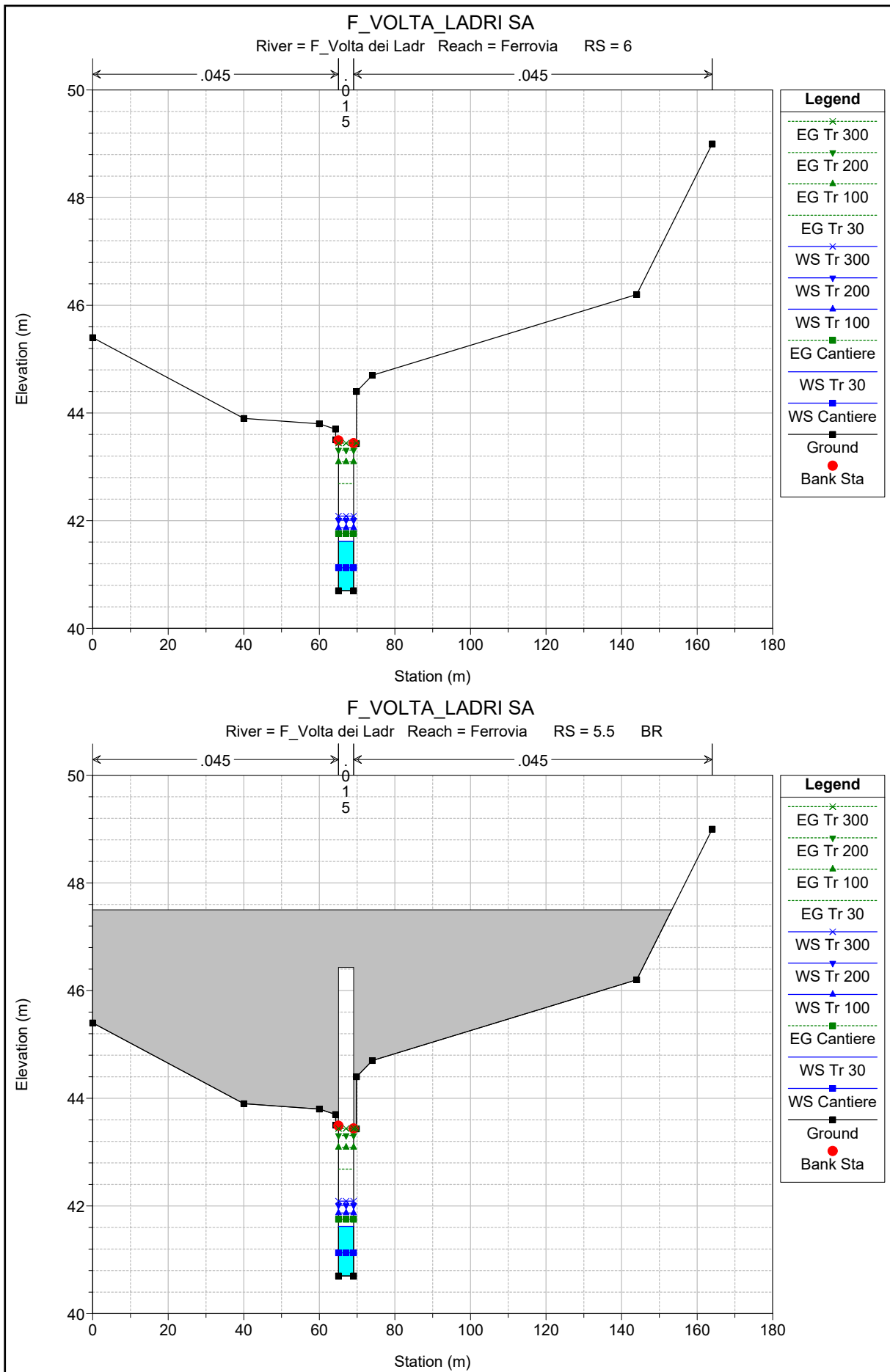
F\_Volta dei Ladr Ferrovia



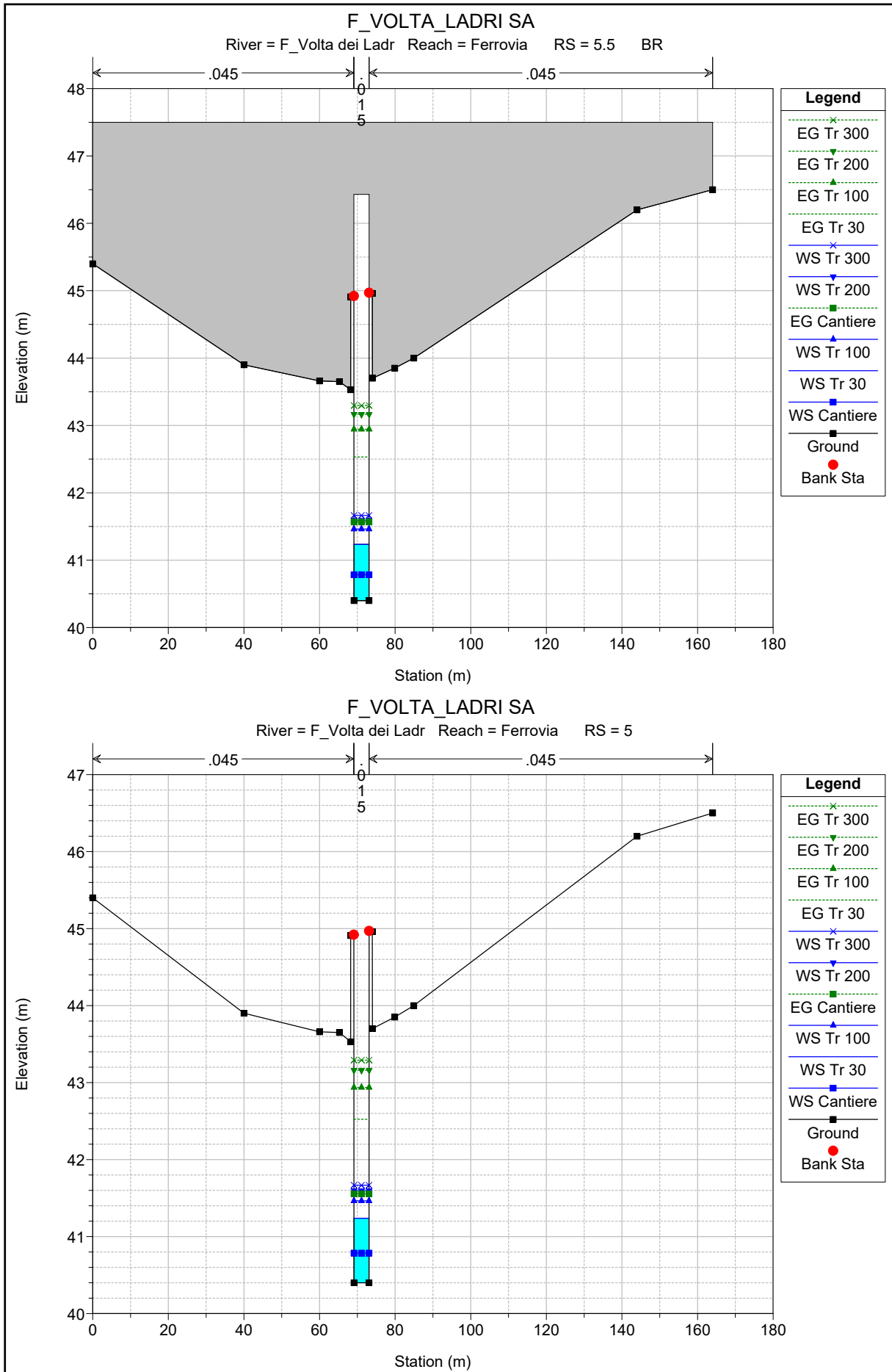
Legend	
EG Tr 300	(Green dashed line with 'x' marker)
EG Tr 200	(Green dashed line with inverted triangle marker)
EG Tr 100	(Green dashed line with triangle marker)
WS Tr 300	(Blue solid line with 'x' marker)
WS Tr 200	(Blue solid line with inverted triangle marker)
WS Tr 100	(Blue solid line with triangle marker)
EG Tr 30	(Green dashed line with square marker)
WS Tr 30	(Blue solid line with square marker)
EG Cantiere	(Green dashed line with square marker)
WS Cantiere	(Blue solid line with square marker)
Ground	(Black solid line with square marker)

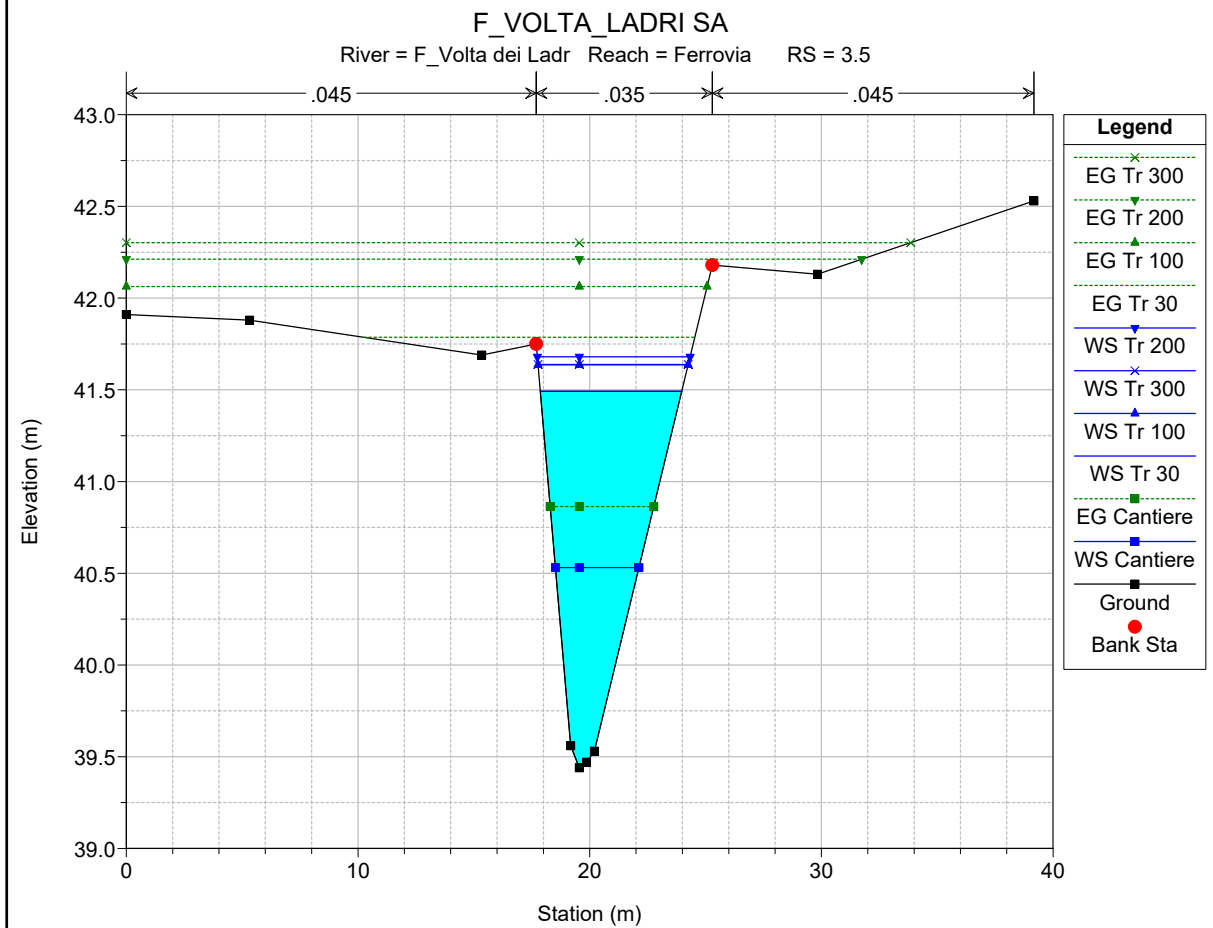
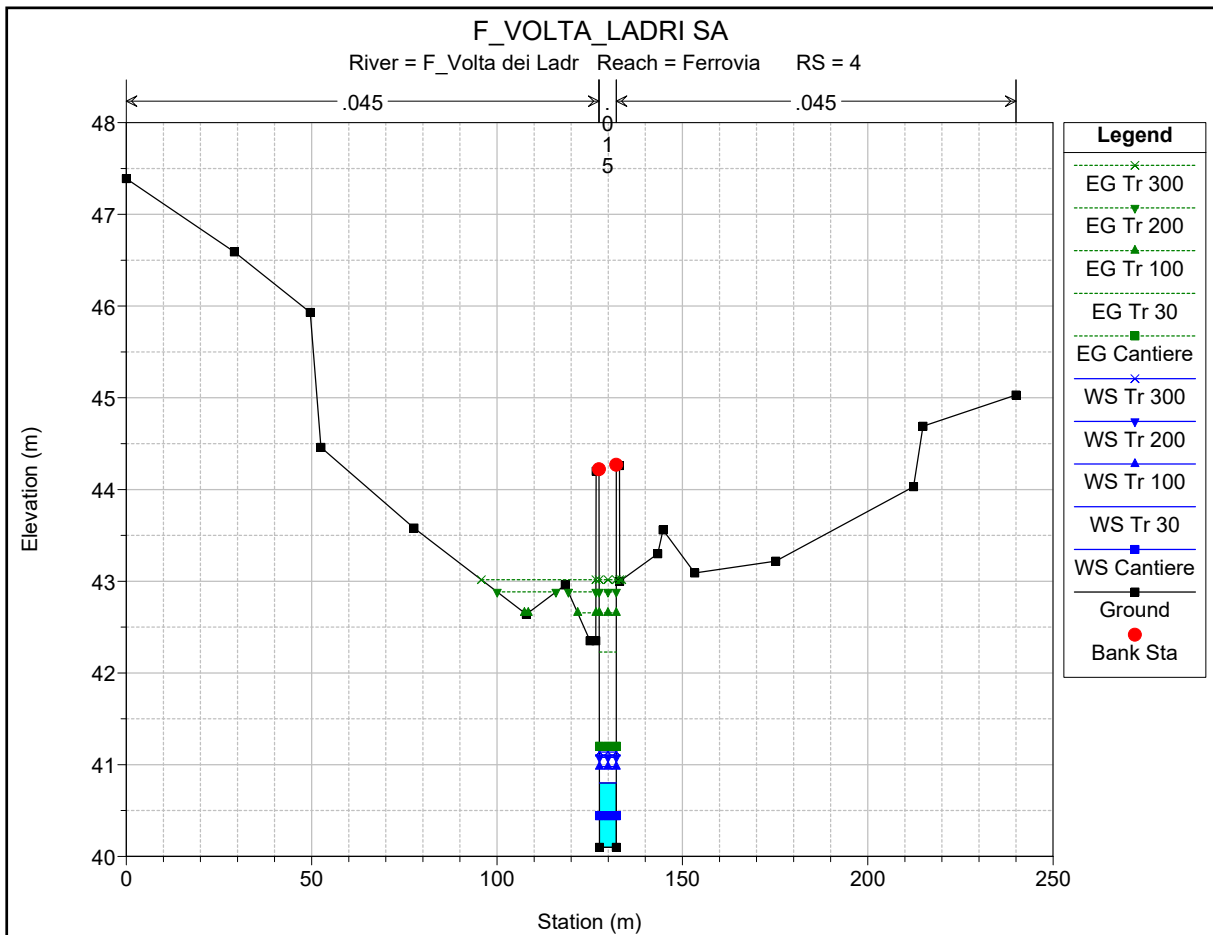


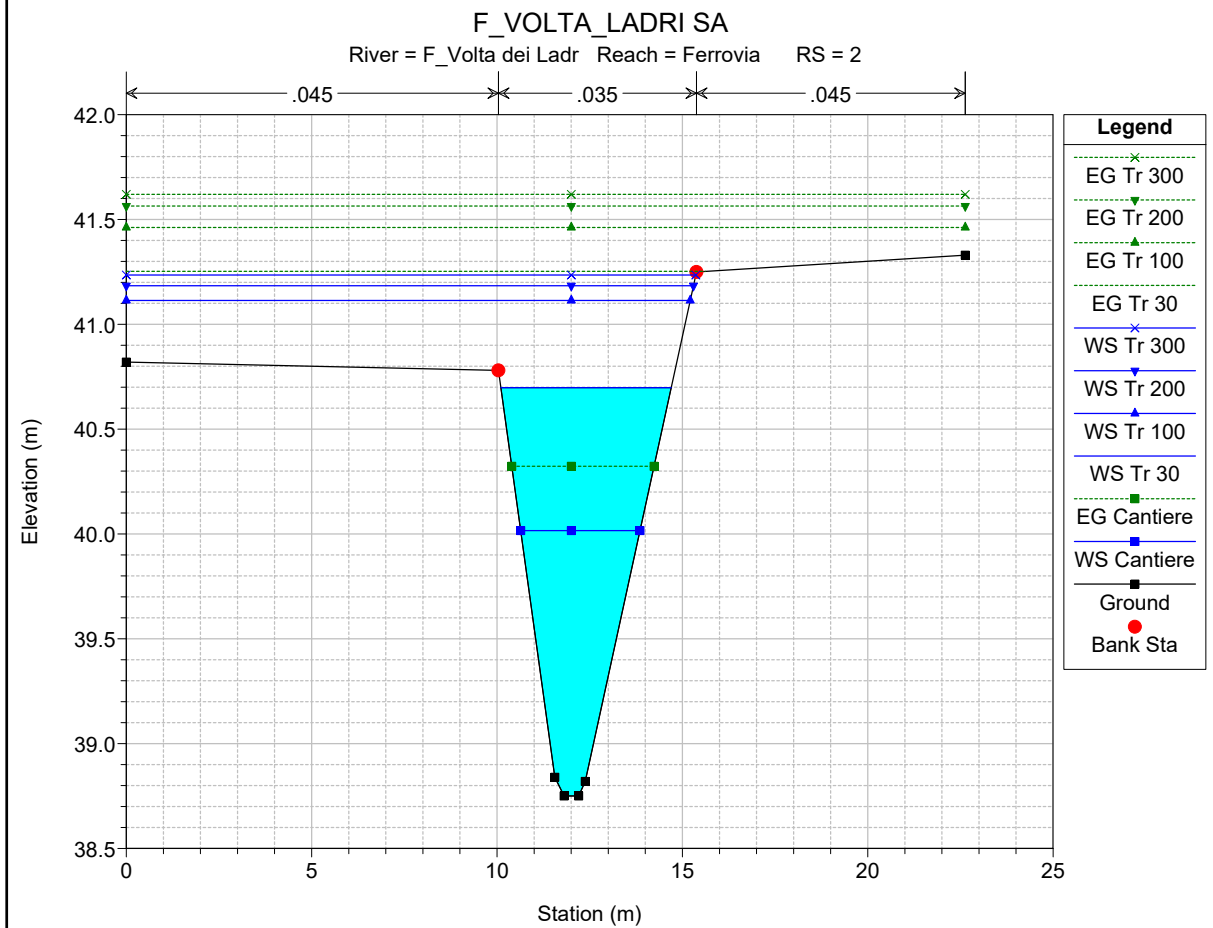
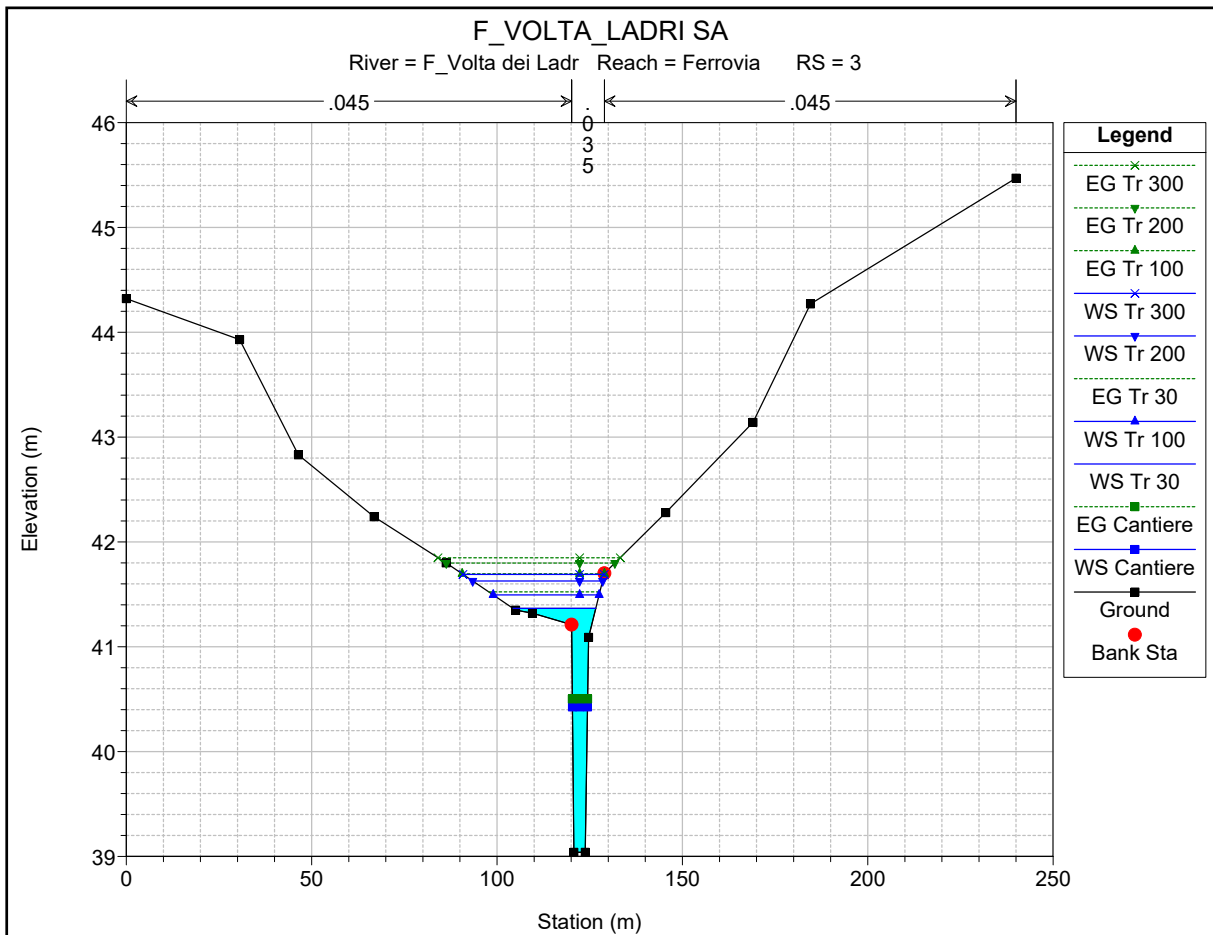


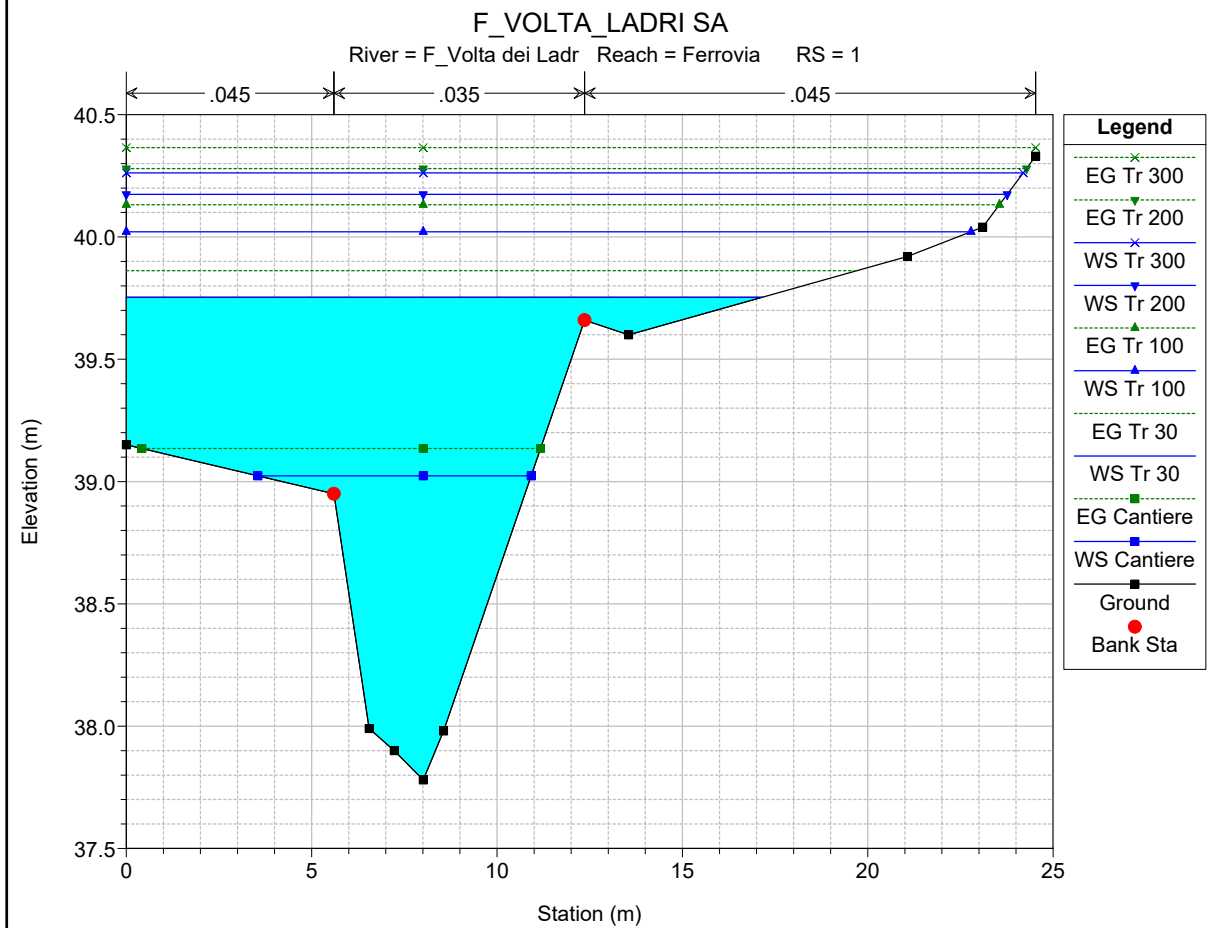
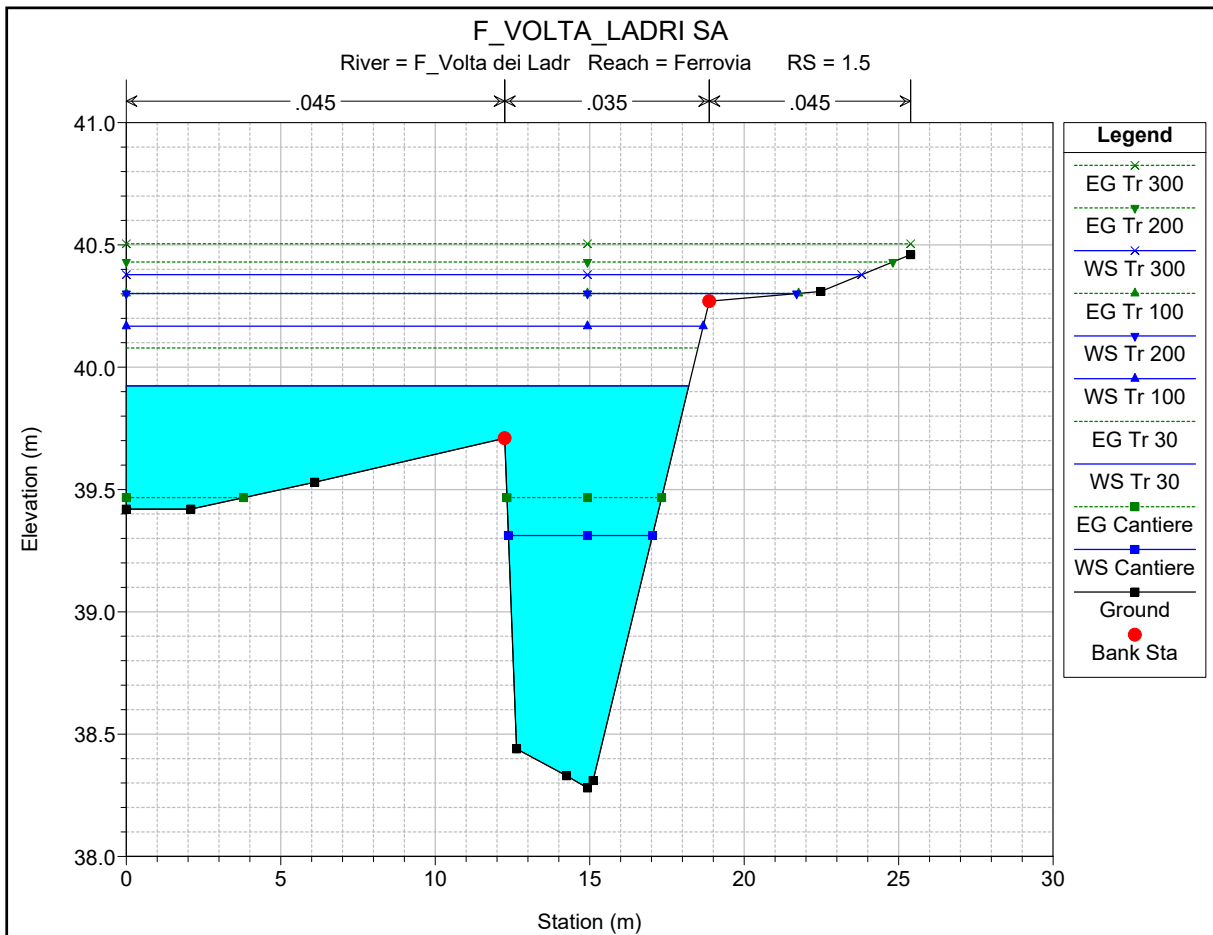














HEC-RAS Plan: Plan 05 River: F\_Volta dei Ladr Reach: Ferrovia

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	10	Tr 30	16.85	42.36	44.38	43.92	44.63	0.005036	2.19	7.88	6.21	0.58
Ferrovia	10	Tr 100	22.90	42.36	44.70	44.18	44.99	0.004719	2.41	9.91	6.79	0.58
Ferrovia	10	Tr 200	26.50	42.36	44.86	44.32	45.18	0.004608	2.53	11.06	7.11	0.58
Ferrovia	10	Tr 300	28.63	42.36	44.95	44.40	45.29	0.004559	2.60	11.72	7.28	0.58
Ferrovia	10	Cantiere	6.00	42.36	43.56	43.23	43.70	0.005885	1.68	3.57	4.15	0.58
Ferrovia	9	Tr 30	16.85	41.63	43.58	43.58	44.16	0.017823	3.38	4.99	4.29	1.00
Ferrovia	9	Tr 100	22.90	41.63	43.88	43.88	44.54	0.017389	3.61	6.35	4.81	1.00
Ferrovia	9	Tr 200	26.50	41.63	44.04	44.04	44.74	0.017193	3.72	7.12	5.09	1.00
Ferrovia	9	Tr 300	28.63	41.63	44.12	44.12	44.85	0.017090	3.78	7.57	5.24	1.00
Ferrovia	9	Cantiere	6.00	41.63	42.81	42.81	43.19	0.019754	2.73	2.20	2.94	1.01
Ferrovia	8	Tr 30	16.85	41.24	42.37	42.53	43.14	0.027483	3.89	4.34	4.33	1.24
Ferrovia	8	Tr 100	22.90	41.24	42.60	42.80	43.52	0.027492	4.25	5.39	4.54	1.24
Ferrovia	8	Tr 200	26.50	41.24	42.74	42.95	43.73	0.027242	4.41	6.01	4.65	1.24
Ferrovia	8	Tr 300	28.63	41.24	42.82	43.03	43.84	0.027065	4.49	6.37	4.72	1.23
Ferrovia	8	Cantiere	6.00	41.24	41.87	41.91	42.22	0.022078	2.61	2.30	3.91	1.09
Ferrovia	7	Tr 30	16.85	41.00	42.07	42.21	42.86	0.005589	3.92	4.29	4.01	1.21
Ferrovia	7	Tr 100	22.90	41.00	42.39	42.49	43.25	0.004977	4.12	5.56	4.01	1.12
Ferrovia	7	Tr 200	26.50	41.00	42.61	42.64	43.47	0.004429	4.11	6.44	4.01	1.04
Ferrovia	7	Tr 300	28.63	41.00	42.67	42.73	43.60	0.004648	4.27	6.70	4.01	1.06
Ferrovia	7	Cantiere	6.00	41.00	41.52	41.61	41.94	0.005995	2.87	2.09	4.00	1.27
Ferrovia	6	Tr 30	16.85	40.70	41.62	41.91	42.69	0.008748	4.58	3.68	4.01	1.53
Ferrovia	6	Tr 100	22.90	40.70	41.87	42.19	43.09	0.008124	4.90	4.67	4.01	1.45
Ferrovia	6	Tr 200	26.50	40.70	42.01	42.34	43.31	0.007834	5.05	5.24	4.01	1.41
Ferrovia	6	Tr 300	28.63	40.70	42.09	42.43	43.44	0.007805	5.16	5.55	4.01	1.40
Ferrovia	6	Cantiere	6.00	40.70	41.13	41.31	41.76	0.011317	3.53	1.70	4.00	1.73
Ferrovia	5.5	Bridge										
Ferrovia	5	Tr 30	16.85	40.40	41.24	41.61	42.52	0.011436	5.02	3.36	4.00	1.75
Ferrovia	5	Tr 100	22.90	40.40	41.46	41.89	42.94	0.010567	5.38	4.26	4.00	1.66
Ferrovia	5	Tr 200	26.50	40.40	41.59	42.04	43.16	0.010166	5.54	4.78	4.01	1.62
Ferrovia	5	Tr 300	28.63	40.40	41.67	42.13	43.29	0.010053	5.65	5.07	4.01	1.60
Ferrovia	5	Cantiere	6.00	40.40	40.79	41.01	41.56	0.015292	3.89	1.54	4.00	2.00
Ferrovia	4	Tr 30	16.85	40.10	40.80	41.22	42.23	0.014440	5.29	3.18	4.55	2.02
Ferrovia	4	Tr 100	22.90	40.10	40.98	41.47	42.66	0.013558	5.74	3.99	4.56	1.96
Ferrovia	4	Tr 200	26.50	40.10	41.08	41.61	42.88	0.013137	5.95	4.46	4.56	1.92
Ferrovia	4	Tr 300	28.63	40.10	41.14	41.69	43.02	0.012992	6.07	4.72	4.56	1.91
Ferrovia	4	Cantiere	6.00	40.10	40.44	40.66	41.20	0.016846	3.86	1.55	4.54	2.11
Ferrovia	3.5	Tr 30	16.85	39.44	41.49	41.21	41.79	0.007914	2.40	7.01	6.10	0.72
Ferrovia	3.5	Tr 100	22.90	39.44	41.64	41.47	42.06	0.010585	2.89	7.92	6.48	0.84
Ferrovia	3.5	Tr 200	26.50	39.44	41.68	41.60	42.21	0.012904	3.23	8.20	6.59	0.92
Ferrovia	3.5	Tr 300	28.63	39.44	41.64	41.64	42.30	0.016486	3.61	7.93	6.48	1.04
Ferrovia	3.5	Cantiere	6.00	39.44	40.53	40.54	40.86	0.018366	2.55	2.35	3.60	1.01
Ferrovia	3	Tr 30	16.85	39.04	41.37		41.52	0.003937	1.77	10.56	22.31	0.47
Ferrovia	3	Tr 100	22.90	39.04	41.50	40.70	41.70	0.005330	2.06	13.84	28.59	0.56
Ferrovia	3	Tr 200	26.50	39.04	41.63	40.86	41.80	0.004834	1.98	18.05	35.03	0.54
Ferrovia	3	Tr 300	28.63	39.04	41.69	40.95	41.85	0.004611	1.94	20.36	38.12	0.54
Ferrovia	3	Cantiere	6.00	39.04	40.43	39.75	40.50	0.002350	1.21	4.94	4.07	0.35
Ferrovia	2	Tr 30	16.85	38.75	40.70	40.70	41.25	0.017241	3.30	5.11	4.59	1.00
Ferrovia	2	Tr 100	22.90	38.75	41.11	41.11	41.46	0.009133	2.78	10.30	15.21	0.76
Ferrovia	2	Tr 200	26.50	38.75	41.18	41.18	41.56	0.009797	2.95	11.37	15.30	0.79
Ferrovia	2	Tr 300	28.63	38.75	41.23	41.23	41.62	0.009773	2.99	12.15	15.36	0.79
Ferrovia	2	Cantiere	6.00	38.75	40.02	39.95	40.32	0.015366	2.45	2.45	3.22	0.90
Ferrovia	1.5	Tr 30	16.85	38.28	39.92	39.79	40.08	0.005141	1.94	11.42	18.21	0.58
Ferrovia	1.5	Tr 100	22.90	38.28	40.17	39.92	40.30	0.003972	1.86	15.93	18.67	0.52
Ferrovia	1.5	Tr 200	26.50	38.28	40.30	39.99	40.43	0.003511	1.84	18.48	21.70	0.50
Ferrovia	1.5	Tr 300	28.63	38.28	40.38	40.02	40.50	0.003236	1.83	20.25	23.80	0.48
Ferrovia	1.5	Cantiere	6.00	38.28	39.31		39.47	0.007031	1.74	3.45	4.66	0.65
Ferrovia	1	Tr 30	16.85	37.78	39.75		39.86	0.002611	1.58	12.88	17.15	0.45
Ferrovia	1	Tr 100	22.90	37.78	40.02		40.13	0.002162	1.63	18.29	22.78	0.42
Ferrovia	1	Tr 200	26.50	37.78	40.17		40.28	0.001895	1.63	21.86	23.76	0.40
Ferrovia	1	Tr 300	28.63	37.78	40.26		40.36	0.001760	1.63	23.96	24.19	0.39
Ferrovia	1	Cantiere	6.00	37.78	39.02		39.13	0.004544	1.48	4.12	7.37	0.54
Ferrovia	0.6	Tr 30	16.85	37.52	39.18	39.18	39.62	0.015191	2.98	5.92	7.19	0.97
Ferrovia	0.6	Tr 100	22.90	37.52	39.39	39.39	39.91	0.014500	3.24	7.51	7.41	0.96
Ferrovia	0.6	Tr 200	26.50	37.52	39.50	39.50	40.07	0.014544	3.41	8.30	7.41	0.97
Ferrovia	0.6	Tr 300	28.63	37.52	39.56	39.56	40.16	0.014573	3.51	8.75	7.41	0.97
Ferrovia	0.6	Cantiere	6.00	37.52	38.46	38.46	38.79	0.017943	2.55	2.35	3.60	1.01
Ferrovia	0.3	Tr 30	16.85	36.60	38.44	38.02	38.66	0.005006	2.04	8.39	7.69	0.59
Ferrovia	0.3	Tr 100	22.90	36.60	38.70	38.27	38.96	0.005002	2.26	10.41	7.90	0.61
Ferrovia	0.3	Tr 200	26.50	36.60	38.84	38.40	39.12	0.005002	2.38	11.50	7.90	0.61
Ferrovia	0.3	Tr 300	28.63	36.60	38.92	38.47	39.22	0.005001	2.44	12.12	7.90	0.61
Ferrovia	0.3	Cantiere	6.00	36.60	37.72	37.41	37.84	0.005002	1.54	3.89	5.01	0.56