

**SGC Grosseto Fano (E78).  
Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) - Selci Lama (E45).  
Adeguamento a 4 corsie del tratto Le Ville - Selci Lama (E45).  
Lotto 7.**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PG 364**

**ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

<b>IL GEOLOGO</b> <i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069	<b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b> <i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111	<b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria) <b>GP INGENGERIA</b> <i>GESTIONE PROGETTI INGENGERIA srl</i>
<b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b> <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270	<i>Ing. Moreno Panfilì</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657	(Mandante)  (Mandante) 
<b>L'ARCHEOLOGO</b> <i>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</i> Elenco MIBACT n. 1646	<i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754	(Mandante)  <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i>
<b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b> <i>Ing. Michele Consumini</i>	<i>Ing. Giovanni Suraci</i> Ordine Ingegneri Provincia di RC n. A2895	<b>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12) :</b>
<b>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</b> <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i>	<i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629	<i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035 

**STUDI E INDAGINI**  
Idrologia ed Idraulica  
Relazione di compatibilità idraulica

<b>CODICE PROGETTO</b>		<b>NOME FILE</b>			<b>REVISIONE</b>	<b>SCALA</b>
COMP.	PROGETTO	LIV.	ANNO	N.PROG.		
DP	LO702G	D2110				
<b>CODICE ELAB.</b>		T O O I D O O I D R R E O 2			B	-
D						
C						
B	Revisione per Istr. ANAS Prot. CDG.U.0439522 23-05-2024	Giugno '24	G. Resta	G. Resta	G. Guiducci	
A	Emissione	Marzo '24	G. Resta	G. Resta	G. Guiducci	
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>7</b>
2.1	Il Piano di Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PSAI) .....	7
2.2	Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni.....	8
2.3	Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni -II ciclo 2016-2021 .....	10
2.4	D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” e circolare 21.01.2019, n. 7 – “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018” .....	12
<b>3</b>	<b>SCELTE PROGETTUALI .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDRAULICHE MONODIMENSIONALI.....</b>	<b>19</b>
4.1	Modello di calcolo e approccio metodologico.....	20
4.2	Costruzione del modello numerico .....	20
4.2.1	Schematizzazione geometrica.....	20
4.2.2	Attraversamenti e strutture.....	20
4.3	Assegnazione dei coefficienti di scabrezza .....	21
4.4	Condizioni al contorno e portate di progetto.....	22
4.5	Simulazioni idrauliche in moto permanente e dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde .....	22
4.6	Inalveazione IN05-Rio km 8+025.....	23
4.6.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	23
4.6.2	Simulazione numerica Post Operam .....	27
4.7	Inalveazione IN02-Rio km 4+500.....	31
4.7.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	31

4.7.2	Simulazione numerica Post Operam .....	35
4.8	Inalveazione IN01-Fosso della Centena.....	39
4.8.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	39
4.8.2	Simulazione numerica Post Operam .....	43
4.9	Inalveazione IN03-Rio Rosciano.....	48
4.9.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	48
4.9.2	Simulazione numerica Post Operam .....	52
4.10	Inalveazione IN04-Rio Erbosa.....	57
4.10.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	57
4.10.2	Simulazione numerica Post Operam .....	61
4.11	Inalveazione IN06-Rio Paradiso.....	65
4.11.1	Simulazione numerica Ante Operam .....	65
4.11.2	Simulazione numerica Post Operam .....	69
4.12	Tombino TM01.....	73
4.12.1	Simulazione numerica Post Operam .....	73
4.13	Tombino TM08.....	77
4.14	Verifica compatibilità idraulica HEC-RAS.....	78
<b>5</b>	<b><i>CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI DEL FONDO E DELLE SPONDE.....</i></b>	<b>79</b>
5.1	Approccio secondo Shields .....	79
<b>6</b>	<b><i>ANALISI IDRAULICHE BIDIMENSIONALI.....</i></b>	<b>83</b>
6.1	Modellazione Tevere-Sovara-Selci.....	86
6.1.1	Creazione della mesh di calcolo .....	86
6.1.2	Scabrezze.....	87
6.1.3	Condizioni al contorno.....	89
6.1.4	Simulazioni numeriche 2D.....	92

progettazione ati:

Pag. 3 di 106

6.2	Modellazione Cerfone .....	94
6.2.1	Creazione della mesh di calcolo .....	94
6.2.2	Scabrezze .....	95
6.2.3	Condizioni al contorno.....	97
6.2.4	Simulazioni numeriche 2D.....	98
6.3	Erosione localizzata in corrispondenza delle pile del ponte.....	99
<b>7</b>	<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>106</b>

## 1 PREMESSA

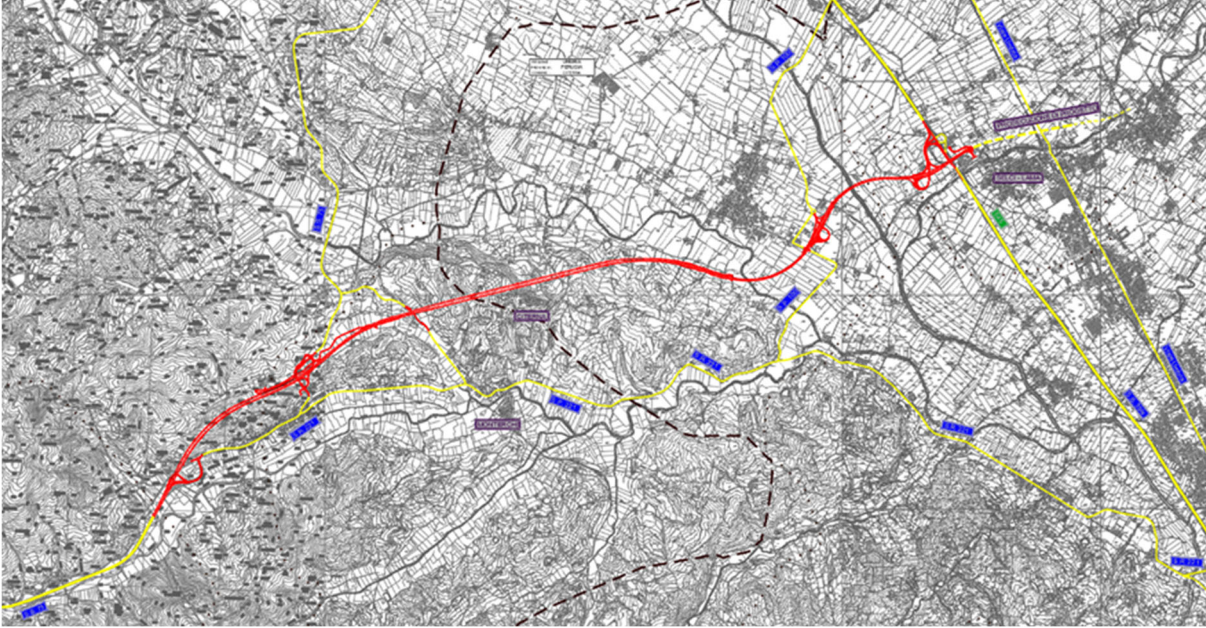
L'intervento in progetto si inserisce nella rete della mobilità nazionale come parte integrante dell'itinerario Trasversale E78 Grosseto – Fano, che svolge la funzione strategica di colmare la carenza infrastrutturale nei collegamenti trasversali trans-appenninici della penisola, nel settore centro-settentrionale. La sua importanza in tal senso è sancita dal Piano Generale dei Trasporti e della Logistica e dalla Legge Obiettivo ed è confermata dagli strumenti di pianificazione settoriale (ANAS) e regionali. L'itinerario E78 costituisce uno dei più importanti collegamenti trasversali tra i corridoi longitudinali tirrenico ed adriatico (è detta infatti l'autostrada dei due Mari).

In particolare, l'intervento prevede la realizzazione di una strada cat. B – D.M. 05.11.2001 di sviluppo pari a circa 12,5 km nel tratto compreso tra Le Ville di Monterchi e Selci - Lama. Il tratto in esame ricade in maggior parte nella Regione Toscana, specificamente nella Provincia e nel Comune di Arezzo mentre nel tratto finale ricade nella Regione Umbria, nello specifico nella provincia di Perugia.

Il progetto si inserisce nel quadro di interventi di “completamento e adeguamento a quattro corsie della “S.G.C. Grosseto-Fano”, infrastruttura di collegamento trasversale tra le aree del versante tirrenico dell'Appennino e quelle del versante adriatico.

In tale quadro il progetto può essere considerato come parte funzionale di completamento dell'adeguamento della “Due mari” nell'intero tratto Le Fabbriche – Selci – Lama (E45) realizzando quindi un importante collegamento trasversale con la E45 mediante una strada a carreggiate separate in luogo della S.S.73 esistente la quale presenta in ampi tratti caratteristiche proprie di una strada urbana piuttosto che di un'infrastruttura di collegamento interregionale.

L'itinerario E78 precedentemente descritto fa parte della rete TEN-T.



*Figura 1: Inquadramento intervento di progetto*

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi sono state svolte nel rispetto della seguente normativa regionale e nazionale:

- R.D. n. 523 del 1904 e ss.mm.ii.
- D.Lgs. n. 152 del 2006
- D.M. 11.03.1988 e Circolare 9.1.1996 n.218/24/3 del Ministero LL.PP.
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 06/06/2001 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- D.M. 14.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni e successive circolari

Per quanto riguarda la pianificazione di settore vigente, i riferimenti sono costituiti da:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere (approvato il 10 novembre 2006)
- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere – Primo Aggiornamento PAI bis (approvato con DPCM il 10 aprile 2013)
- Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Centrale PGRA DAC (adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, e approvato con Delibera n°9 del Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016)
- Il ciclo Piano di Gestione Rischio Alluvioni. Primo aggiornamento. (Adottato con delibera n. 24 del 29 dicembre 2020, ai sensi degli artt. 65 e 66 del D. Lgs. 152 del 2006).

### 2.1 Il Piano di Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PSAI)

Il territorio in cui ricade il progetto in esame è collocato nel bacino idrografico competente all'ex Autorità di Bacino del fiume Tevere, che ha redatto la prima elaborazione del Piano di Bacino, adottato dal Comitato istituzionale con Delibera n. 80 del 28/9/1999.

Lo strumento pianificatore del Piano di Bacino viene introdotto nel nostro ordinamento con la legge n. 183/89 e costituisce il primo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI si configura come lo strumento di pianificazione territoriale attraverso il quale l'Autorità di Bacino si propone di determinare un assetto territoriale che assicuri condizioni di equilibrio e compatibilità tra le dinamiche idrogeologiche e la crescente antropizzazione del territorio, e di ottenere la messa in sicurezza degli insediamenti ed infrastrutture esistenti e lo sviluppo compatibile delle attività future.

Costituendo una premessa alle scelte di pianificazione territoriale, il Piano individua i meccanismi di azione, l'intensità, la localizzazione dei fenomeni estremi e la loro interazione con il territorio classificati in livelli di pericolosità e di rischio.

Il PAI persegue il miglioramento dell'assetto idrogeologico del bacino attraverso interventi strutturali (a carattere preventivo e per la riduzione del rischio) e disposizioni normative per la corretta gestione del territorio, la prevenzione di nuove situazioni di rischio, l'applicazione di misure di salvaguardia in casi di rischio accertato. Ciò secondo tre linee di attività:

- il rischio idraulico (aree inondabili delle piane alluvionali),
- il rischio geologico (dissesti di versante e movimenti gravitativi),
- l'efficienza dei bacini montani in termini di difesa idrogeologica.

La pianificazione di bacino, inizialmente svolta dalle ex Autorità di Bacino, con l'avvento della Direttiva 2007/60/CE è stata ripresa ed integrata dall'Autorità di Distretto. Pertanto, le azioni intraprese per la stesura delle "mappe di pericolosità e rischio" in fase di PGRA sono state finalizzate all'aggiornamento, omogeneizzazione e valorizzazione dei PAI vigenti (parte alluvioni) al fine di raggiungere un primo livello comune in ambito nazionale.

## 2.2 Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Il territorio interessato dal progetto ricade all'interno del perimetro di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.

Le Autorità di Bacino Distrettuali, dalla data di entrata in vigore del D.M. n. 294/2016, a seguito della soppressione delle Autorità di Bacino Nazionali, Interregionali e Regionali, esercitano le funzioni e i compiti in materia di difesa del suolo, tutela delle acque e gestione delle risorse idriche previsti in capo alle stesse dalla normativa vigente.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, in base alle nuove norme, ha fatto proprie le attività di pianificazione e programmazione a scala di Bacino e di Distretto idrografico.

Attraverso il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (di seguito PGRA), adottato il 17 dicembre 2015 ai sensi dell'art. 4 c. 3 del D. Lgs 219/2010, sono stati recepiti gli indirizzi operativi per l'attuazione della Direttiva 2007/60/CE, relativi appunto alla valutazione ed alla gestione dei rischi da alluvioni.

La Direttiva Alluvioni stabilisce che le mappe di pericolosità mostrino l'area geografica che può essere inondata in corrispondenza di tre diversi scenari di probabilità:

- a) scarsa probabilità o scenari di eventi estremi;
- b) media probabilità di alluvioni (tempo di ritorno  $\geq 100$  anni);
- c) elevata probabilità di alluvioni.

In corrispondenza di ciascuno scenario, gli stati membri devono fornire le informazioni sull'estensione delle alluvioni e sulla profondità o livello delle acque e dove opportuno sulle velocità del flusso o sulle portate.

Agli stati membri è, dunque, consentita una flessibilità nell'assegnazione dei valori di probabilità d'inondazione ai diversi scenari. A tale proposito il D.Lgs. 49/2010, attuativo della Direttiva Alluvioni, stabilisce che siano da considerarsi scenari di elevata probabilità o alluvioni frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 20 e 50 anni, mentre sono da progettazione ati:



considerarsi scenari di probabilità media o alluvioni poco frequenti quelli corrispondenti a tempi di ritorno fra 100 e 200 anni. Ne consegue che siano da considerarsi scenari di scarsa probabilità o scenari di eventi estremi, quelli corrispondenti a tempi di ritorno superiori a 200 anni.

*Tabella 1: Definizione degli scenari alluvionali secondo il D.Lgs. 49/2010.*

	T (anni)	PROBABILITÀ ACCADIMENTO	ALLUVIONI
P3	20-50	elevata	frequenti
P2	100-200	media	poco frequenti
P1	200-500	bassa	rare

In corrispondenza dei tratti in cui il reticolo presenta pericolosità, sono quindi stati definiti gli elementi soggetti a rischio (E) di essere colpiti da eventi calamitosi; tali elementi sono stati suddivisi in coerenza con la normativa vigente, secondo le seguenti classi:

*Tabella 2: PGRA classi elementi a rischio (E).*

Classe	Descrizione
E1	Case sparse - Impianti sportivi e ricreativi - Cimiteri - Insediamenti agricoli a bassa tecnologia - Insediamenti zootecnici.
E2	Reti e infrastrutture tecnologiche di secondaria importanza e/o a servizio di ambiti territoriali ristretti (acquedotti, fognature, reti elettriche, telefoniche, depuratori,...) - Viabilità secondaria (strade provinciali e comunali che non rappresentino vie di fuga) - Insediamenti agricoli ad alta tecnologia - Aree naturali protette, aree sottoposte a vincolo ai sensi del D. L.vo 490/99.
E3	Nuclei abitati - Ferrovie - Viabilità primaria e vie di fuga - Aree di protezione civile (attesa, ricovero e ammassamento) - Reti e infrastrutture tecnologiche di primaria importanza (reti elettriche e gasdotti) - Beni culturali, architettonici e archeologici sottoposti a vincolo - Insediamenti industriali e artigianali - Impianti D.P.R. 175/88.
E4	Centri abitati - Edifici pubblici di rilevante importanza (es. scuole, chiese, ospedali, ecc.).

In questo modo, posta cautelativamente la Vulnerabilità al massimo valore pari a 1, è stato possibile definire le diverse classi di rischio secondo l'usuale formula di Varnes:

$$R_i = P_i \cdot E \cdot V = P \cdot D_p$$

Dove:

- P (pericolosità): probabilità di accadimento, all'interno di una certa area e in un certo intervallo di tempo, di un fenomeno naturale di assegnata intensità;

- E (elementi esposti): persone e/o beni (abitazioni, strutture, infrastrutture, ecc.) e/o attività (economiche, sociali, ecc.) esposte ad un evento naturale;
- V (vulnerabilità): grado di capacità (o incapacità) di un sistema/elemento a resistere all'evento naturale;
- $D_p$  (danno potenziale): grado di perdita prevedibile a seguito di un fenomeno naturale di data intensità, funzione sia del valore che della vulnerabilità dell'elemento esposto;
- R (rischio): numero atteso di vittime, persone ferite, danni a proprietà, beni culturali e ambientali, distruzione o interruzione di attività economiche, in conseguenza di un fenomeno naturale di assegnata intensità.

Le classi di rischio adottate nel PGRA conformi alla normativa in materia sono descritte nella seguente Tabella 3.

*Tabella 3: PAI classi di rischio idraulico (Ri).*

<b>R1</b>	<b>RISCHIO MODERATO:</b> per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali.
<b>R2</b>	<b>RISCHIO MEDIO:</b> per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.
<b>R3</b>	<b>RISCHIO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale.
<b>R4</b>	<b>RISCHIO MOLTO ELEVATO:</b> per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche.

La redazione delle mappe di pericolosità del I ciclo di pianificazione (2011-2016) si è basata, essenzialmente, su quanto precedentemente svolto dall'Autorità di Bacino del fiume Tevere, aggiornando, integrando e omogenizzando i contenuti del Piano di Assetto Idrogeologico e nei suoi aggiornamenti.

Le fasce fluviali determinate dal PAI e dagli studi di aggiornamento sono state convertite, per raggiungere una rappresentazione coerente con quanto previsto nell'art. 6 del D.Lgs. 49/2010, attraverso il seguente criterio:

- fascia A - P3 (pericolosità elevata);
- fascia B - P2 (pericolosità media);
- fascia C - P1 (pericolosità bassa).

### 2.3 Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni -II ciclo 2016-2021

In data 29 dicembre 2020 è stato adottato il "progetto del primo aggiornamento del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale – II ciclo (2016-2021)", di cui all'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e all'art. 7 del D.Lgs. 49/2010 del distretto idrografico, predisposto al fine degli adempimenti previsti dal comma 3 dell'art. 14, della Direttiva medesima.

In questa fase sono state definite nuove aree a potenziale rischio significativo sulla base degli esiti della precedente Valutazione Preliminare. Sono state quindi raccolte informazioni sulla localizzazione e sulle conseguenze avverse di eventi del passato, intercorsi a partire da dicembre 2011, e sono state integrate le informazioni già disponibili sugli scenari

progettazione ati:

Pag. 10 di 106

di eventi futuri, con quanto fornito da più recenti studi e analisi realizzati e/o acquisiti nel periodo successivo alla pubblicazione delle mappe di pericolosità del I ciclo di gestione.

Ai fini della mappatura di questo secondo ciclo di gestione sono state prese in considerazione le seguenti aree a potenziale rischio di alluvione:

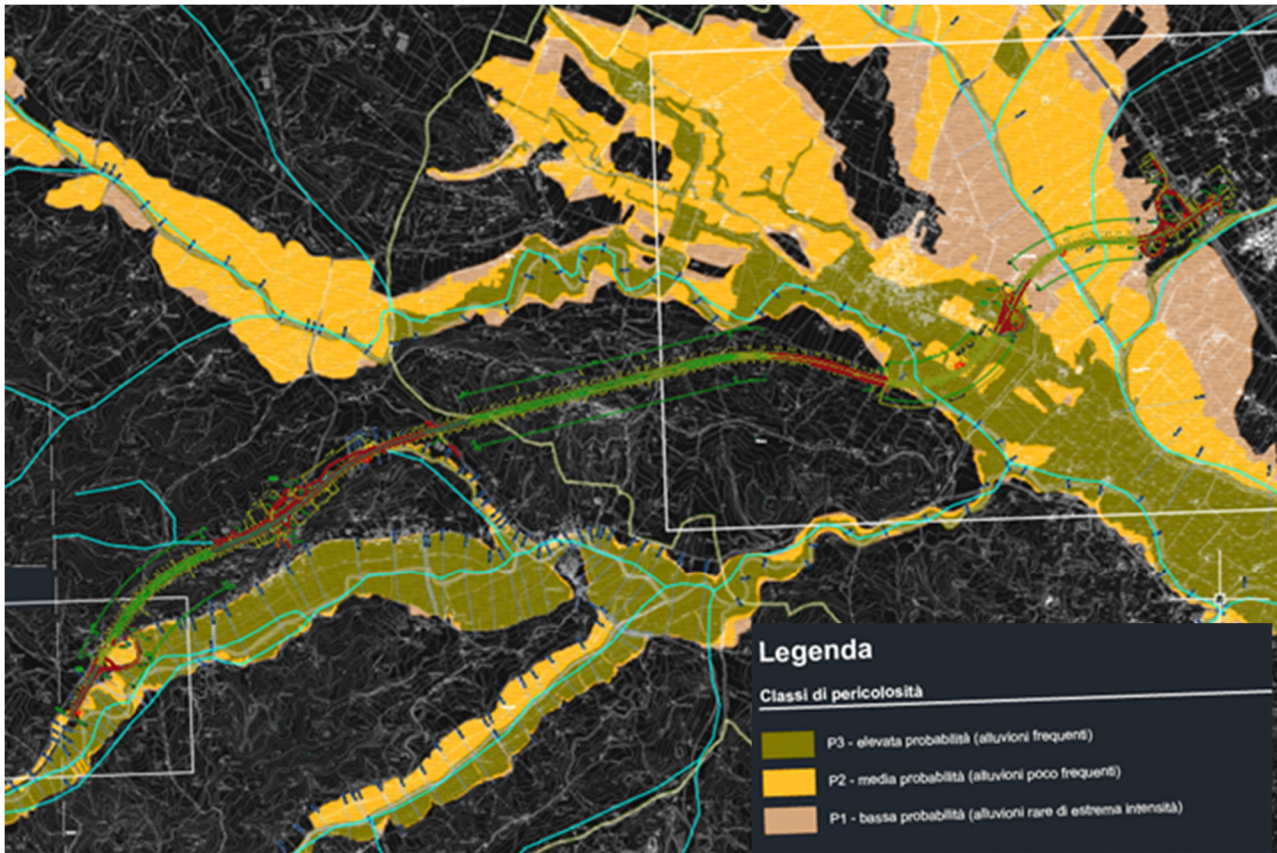
1. Inviluppo delle aree a rischio idraulico derivanti dal primo ciclo di gestione;
2. Aree interessate da *past o future flood* qualora non ricomprese nelle aree di cui al punto 1;
3. Aree interessate da *past o future flood* che seppure ricomprese nelle aree di cui al punto 1 sono associate a scenari di evento di particolare interesse;
4. Aree coincidenti con bacini che mostrano una propensione al verificarsi di eventi alluvionali intensi ed improvvisi (*flash flood*);
5. Aree costiere.

Partendo dalle indicazioni fornite dal D.lgs. 49/2010, nel Bacino del fiume Tevere per le alluvioni di origine fluviale, i tempi di ritorno attribuiti agli scenari di probabilità variano tra 50 anni e 100 anni per P3, tra 100 anni e 200 anni per P2 e tra 200 anni e 500 anni per P1.

Le mappe di inondazione sono elaborate in scala 1:10.000 e contengono il limite che raggiungerebbero le acque dei fiumi in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno.

Dalla consultazione degli elaborati cartografici del Piano, si nota che nella zona d'intervento, non sono state individuate aree di pericolosità idraulica. Le perimetrazioni più prossime sono quelle riguardanti il fiume Velino, che scorre a nord rispetto le opere in progetto attraversando Rieti.

La seguente riporta il quadro di unione delle mappe di pericolosità e rischio idraulico definite dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale per l'intero territorio di competenza: nella zona d'interesse, evidenziata in rosso, non sono presenti cartografie.



*Figura 2: Mappe di pericolosità idraulica PGRA e intervento di progetto*

Come si evince dalla Figura 2, sebbene la parte iniziale della linea di progetto si trovi a ridosso delle fasce di perimetrazione PGRA, la sua parte finale attraversa e ricade quindi in aree a pericolosità P1, P2 e P3.

#### 2.4 D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” e circolare 21.01.2019, n. 7 – “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018”

Per quanto concerne la progettazione di attraversamenti fluviali, i riferimenti normativi italiani sono costituiti dal Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni” e dalla successiva circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019.

Le norme prescrivono di assumere come piena di progetto quella caratterizzata da un tempo di ritorno pari a 200 anni, per la quale dovrà essere garantito un franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture, non inferiore a 1,50 m. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Nello studio idraulico, inoltre è richiesta la 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.

Queste disposizioni non si applicano per i tombini idraulici, 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. In questo caso l'evento di progetto da assumere alla base delle verifiche ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti (200 anni). Inoltre, la normativa prescrive che:

- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;
- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.
- per sezioni di area maggiore a 1,5 m<sup>2</sup> è da garantire la praticabilità del manufatto;
- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;
- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;
- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;
- 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.

### 3 SCELTE PROGETTUALI

L'ubicazione e il dimensionamento delle opere idrauliche correlate alla generica realizzazione delle infrastrutture di trasporto è certamente una delle principali problematiche che si affronta nella progettazione di tali opere: non vi è dubbio che i vincoli idraulici debbano influenzare le primarie scelte sia del tracciato stradale che delle opere strutturali.

Un'infrastruttura di trasporto, infatti, per sua natura, altera il regime delle acque superficiali del territorio che attraversa; il progetto ha la funzione di minimizzare tale impatto e, allo stesso tempo, proteggere il corpo stradale.

Il corretto dimensionamento delle opere, che risulta di fondamentale importanza per l'infrastruttura e per il territorio circostante, non può che prescindere da iterative scelte progettuali tra le diverse discipline, supportate da accurate verifiche idrauliche.

Nel caso del Lotto in esame, oltre agli aspetti di carattere generale appena descritti, è necessario aggiungere le difficoltà realizzative tipiche degli ampliamenti stradali con traffico in esercizio: le fasi realizzative di cantiere devono pertanto tenere in conto non solo delle necessità idrauliche, ma anche delle necessità realizzative delle opere strutturali e delle necessità di mantenere in esercizio la viabilità al traffico veicolare.

Le opere idrauliche-sono state pertanto progettate per tenere conto di tutti questi aspetti:

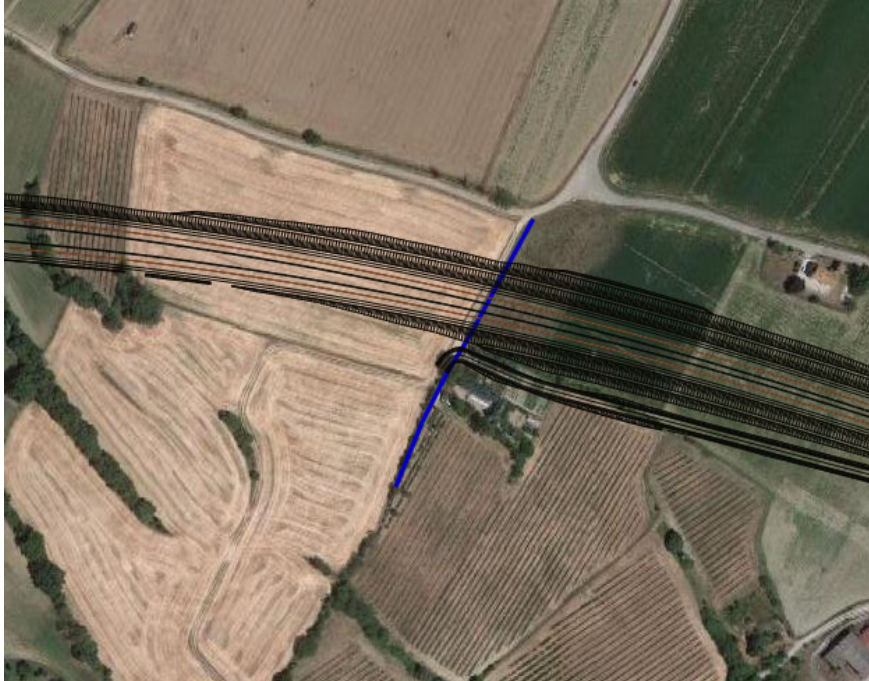
- vincolo delle aree allagabili per TR=200 anni;
- compatibilità idraulica (franchi e luci);
- opere antirosive di difesa idraulica, manufatti di imbocco e sbocco etc;
- fasi costruttive (in merito, la fase costruttive possono avere diversi livelli di suddivisione).

Va da sé come molti aspetti che hanno attinenza con l'idraulica siano rappresentati ed affrontati all'interno di elaborati contenuti in altre cartelle della documentazione progettuale (cantierizzazione, opere minori, viadotti, ecc.), a cui si continua a rimandare per gli approfondimenti specialistici. Tuttavia, al fine di semplificare la lettura delle scelte svolte, sono di seguito riportati gli interventi più articolati e/o meritevoli di particolari attenzioni.

Le immagini che seguono riportano l'ubicazione della zona oggetto di studio con indicazione della linea di progetto, e l'inquadramento geografico delle interferenze dei vari corsi d'acqua oggetto di studio con il tracciato di progetto.



*Figura 3 - Immagine aerea della zona oggetto di studio con indicazione della linea di progetto [fonte: Google Earth].*



*Figura 4 - Inquadramento geografico IN05-Rio km 8+025*

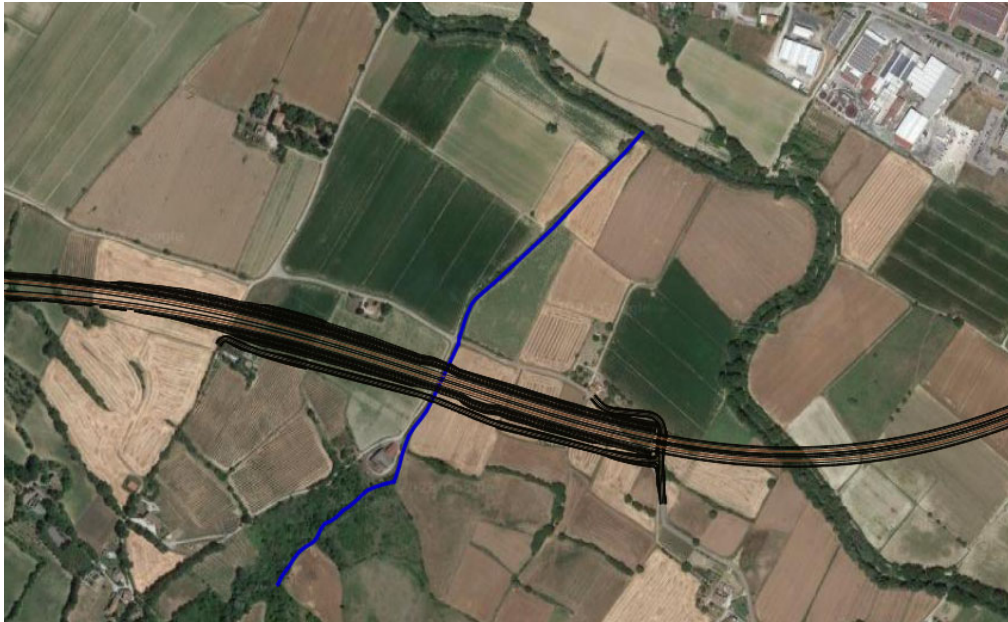


*Figura 5 - Inquadramento geografico IN03-Rio Rosciano e IN04- Rio dell'Erbosea*

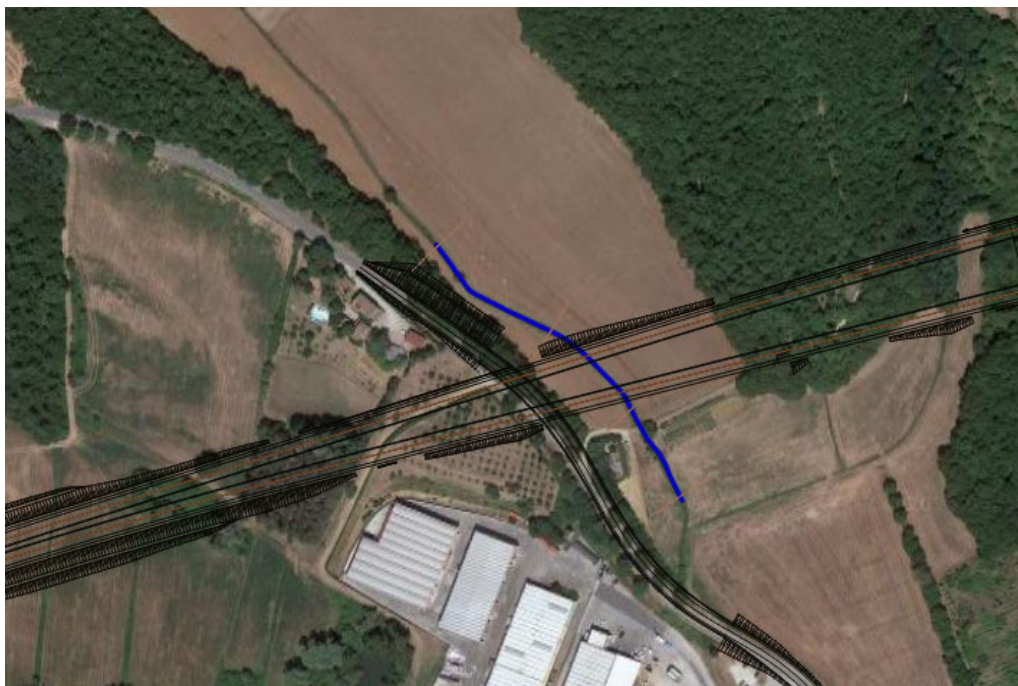
progettazione ati:

Pag. 16 di 106





*Figura 6 - Inquadramento geografico IN06-Rio del Paradiso*



*Figura 7 - Inquadramento geografico IN02-Rio km 4+500*



*Figura 8 - Inquadramento geografico IN01-Fosso della Centena*

## 4 ANALISI IDRAULICHE MONODIMENSIONALI

Dal punto di vista dell'analisi idraulica dei corsi d'acqua, le verifiche si sono distinte in base all'ordine gerarchico stabilito per le interferenze:

- Modellazione numerica monodimensionale: utilizzata per le interferenze demaniali con codifica di bacino B (corso d'acqua presente sia in cartografia IGM che CTR e di pertinenza demaniale essendo presente come particella in catasto "acque"), in moto permanente per scenari ANTE e POST OPERAM.

Lungo il tracciato di progetto in oggetto, i corsi d'acqua considerati interferiscono con il progetto n. 12 volte e in tutti questi casi sono stati implementati dei modelli numerici monodimensionali di moto permanente in scenari ANTE e POST OPERAM.

Gli attraversamenti di progetto sui corsi d'acqua demaniali sono così riassunti:

*Tabella 4: Attraversamenti di progetto sviluppati con modellazione idraulica monodimensionale.*

Corso d'acqua di riferimento	WBS	Pk	Tipologia	Base	Altezza
				[m]	[m]
IN05 Rio km 8+025	TM11	8+025	Circolare	DN1500	
		8+025	Circolare	DN1500	
IN02 Rio km 4+500	TM09	4+500	Scatolare	2.5	2.5
IN01 Fosso della Centena	TM02	2+250	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM03	2+310	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM04	2+675	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM05	2+975	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM06	3+025	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM13	3+150	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
	TM07	3+910	Doppia canna scatolare	3.5	3.5
IN03 Rio Rosciano	-	7+400	Non presente	Non presente	
IN06 Rio Paradiso	TM12	8+375	Scatolare	2.5	2.5
		8+375	Scatolare	2.5	2.5
		8+375	Scatolare	2.5	2.5
IN04 Rio Erbosa	TM10	7+650	Scatolare	2	2
	TM01	0+440	Scatolare	4	4.5
	TM08	4+480	Circolare	DN1500	

## 4.1 Modello di calcolo e approccio metodologico

Le analisi idrauliche monodimensionali sono state condotte utilizzando il modello numerico HEC-RAS ver. 6.2 che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto permanente gradualmente variato od in moto vario in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc..

Nello specifico, per gli attraversamenti analizzati, il codice di calcolo HEC-RAS è stato utilizzato in condizioni di moto permanente in riferimento ai valori di portata al colmo di piena duecentennale di progetto, definiti nell'ambito dell'analisi idrologica.

Le geometrie del tratto, in termini di sezioni trasversali e caratteristiche delle strutture, sono state definite principalmente sulla base dei rilievi celerimetrico e aerofotogrammetrico appositamente realizzati, e dalle osservazioni dei sopralluoghi effettuati.

## 4.2 Costruzione del modello numerico

### 4.2.1 Schematizzazione geometrica

I valori dei coefficienti di contrazione ed espansione richiesti dal modello numerico sono stati assunti rispettivamente pari a 0,1 e 0,3, come suggerito dal manuale tecnico in presenza di variazioni graduali.

### 4.2.2 Attraversamenti e strutture

Nel contesto degli interventi di progetto è prevista la realizzazione di opere di attraversamento quali tombini scatoari e circolari di dimensioni variabili, oltre alla sistemazione idraulica tramite riprofilatura del canale. La tabella seguente riassume le caratteristiche geometriche delle strutture di attraversamento, sia per lo stato di fatto che di progetto.

*Tabella 5: Geometrie degli attraversamenti presenti e in progetto.*

Corso d'acqua di riferimento	Progr. Asse stradale	WBS opera	Tipologia Stato di progetto	Geometria Stato di Fatto		Geometria Stato di Progetto	
				B	H	B	H
				(m)	(m)	(m)	(m)
IN05 Rio km 8+025	TM11	8+025	Circolare	Non presente		DN1500	
		8+025	Circolare	Non presente		DN1500	
IN02 Rio km 4+500	TM09	4+500	Scatolare	Non presente		2.5	2.5
IN01 Fosso della Centena	TM02	2+250	Doppia canna scatolare	2	2	3.5	3.5
	TM03	2+310	Doppia canna scatolare	2	2	3.5	3.5
	TM04	2+675	Doppia canna scatolare	2	2	3.5	3.5
	TM05	2+975	Doppia canna scatolare	2.5	2	3.5	3.5

Corso d'acqua di riferimento	Progr. Asse stradale	WBS opera	Tipologia Stato di progetto	Geometria Stato di Fatto		Geometria Stato di Progetto	
				B	H	B	H
				(m)	(m)	(m)	(m)
	TM06	3+025	Doppia canna scatolare	3.9	1.75	3.5	3.5
	TM13	3+150	Doppia canna scatolare	2.8	2.2	3.5	3.5
	TM07	3+910	Doppia canna scatolare	2.8	2.2	3.5	3.5
IN03 Rio Rosciano	-	7+400	-	Non presente		Non presente	
IN06 Rio Paradiso		8+375	Scatolare	Non presente		2.5	2.5
	TM12	8+375	Scatolare	Non presente		2.5	2.5
IN04 Rio Erbosa	TM10	7+650	Scatolare	Non presente		2	2
	TM01	0+440	Scatolare	Non presente		4	4.5

Nel modello di calcolo le strutture sono state inserite come *Bridge* o *Culvert* a seconda della tipologia e sono state schematizzate utilizzando 4 sezioni trasversali, due a monte e due a valle della struttura; la distanza tra le sezioni è stata definita in modo da rappresentare correttamente la larghezza della struttura e il restringimento geometrico indotto dalla stessa.

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell'energia ed il metodo dei momenti, tra le quali il programma seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica, per il deflusso al di sotto dell'impalcato (*low flow*); viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell'impalcato (*pressure and weir*) per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l'intradosso del ponte (*high flow*). Le condizioni limite per il deflusso in pressione sono definite dal programma in base al livello di corrente a monte.

### 4.3 Assegnazione dei coefficienti di scabrezza

Per quanto concerne la scabrezza, la valutazione dei coefficienti da inserire in ciascun modello è stata basata su dati di letteratura, sull'esperienza acquisita nel campo della modellistica idraulica, sulle indicazioni rilevate durante i sopralluoghi e dalle carte del CN (Corine Land Cover).

Nella valutazione dei coefficienti di scabrezza occorre tener presente che questi sono comunque suscettibili di modifiche 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 ri-sospensione 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.

Le aste analizzate presentano connotati di scabrezza mediamente omogeni. Per i tronchi studiati è stato assunto un valore del coefficiente di Manning pari a 0.05 per le aree golenali e 0.035 per le aree di sistemazione idraulica a massi sciolti.

#### 4.4 Condizioni al contorno e portate di progetto

Le simulazioni idrodinamiche sono state effettuate in moto permanente. Nello specifico per ciascun'asta del modello numerico è stata stabilita una condizione al contorno di monte imponendo la relativa portata di progetto duecentennale in ingresso. Per quanto concerne le condizioni al contorno, è stata imposta una condizione di moto uniforme "Normal Depth" sia a monte che a valle dell'attraversamento.

*Tabella 6: Valori di portata idrologica TR=200 utilizzati nelle simulazioni idrauliche.*

Interferenza	Portata Ingresso TR=200
id	m <sup>3</sup>
IN05 Rio km 8+025	0.99
IN02 Rio km 4+500	9.74
IN01 Fosso della Centena	28.95
IN03 Rio Rosciano	3.07
IN06 Rio Paradiso	3.07
IN04 Rio Erbosa	4.99

#### 4.5 Simulazioni idrauliche in moto permanente e dimensionamento delle protezioni del fondo e delle sponde

Lo studio del funzionamento idraulico di ciascuna opera in progetto verte sulla verifica del franco idraulico e ubicazione spalle e pile secondo le modalità indicate dalle recenti NTC2018 nel capitolo dedicato alla compatibilità idraulica.

Secondo tale norma valgono i seguenti principali vincoli:

- la portata di verifica di progetto è quella caratterizzata da tempo di ritorno duecentennale;
- il franco calcolato sul livello della portata di progetto deve essere di 1.5 m per i viadotti e comunque per tutte le opere dimensionate per portata di progetto superiore a 50 m<sup>3</sup>/s;
- il manufatto non deve interessare con rilevati, spalle e pile la sezione del corso d'acqua;
- 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;

- il franco idraulico per tombini dimensionati per portate inferiori a  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  deve essere il massimo tra 0,5 m e 1/3 dell'altezza della sezione.

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni idrauliche effettuate per la verifica della compatibilità idraulica per ciascun corso d'acqua che interferisce con il tracciato di progetto.

#### 4.6 Inalveazione IN05-Rio km 8+025

L'inalveazione interferisce con il nuovo tracciato stradale alla pk 8+025.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a  $0.99 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si evidenzia che, allo stato attuale, non è presente alcun attraversamento stradale, e il canale non presenta alcun tombamento.

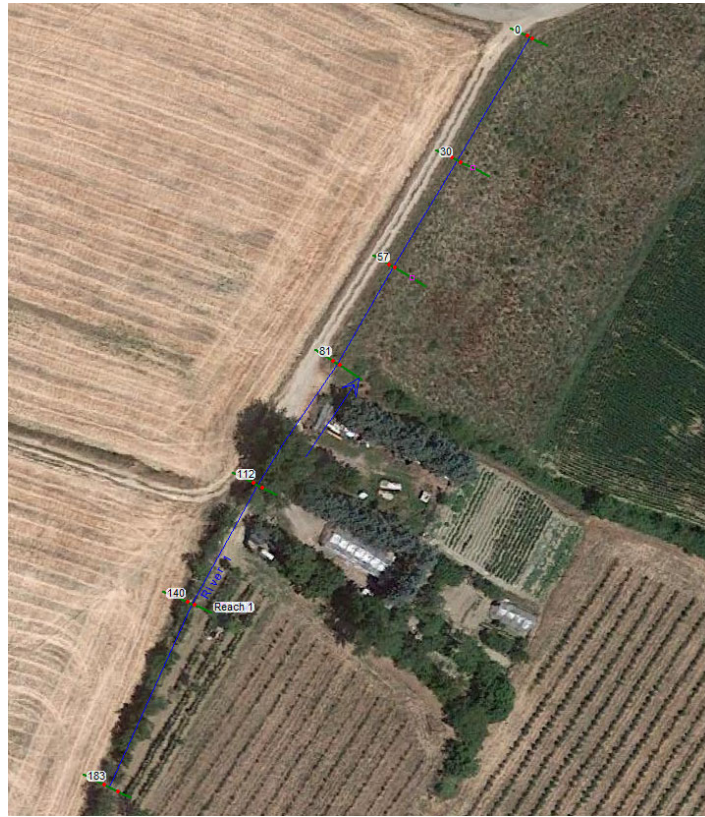
Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

##### 4.6.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 180 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 15% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 1.6%. Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.



*Figura 9 - Corso d'acqua IN05-Rio km 8+025 - Configurazione Ante Operam*

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).



RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

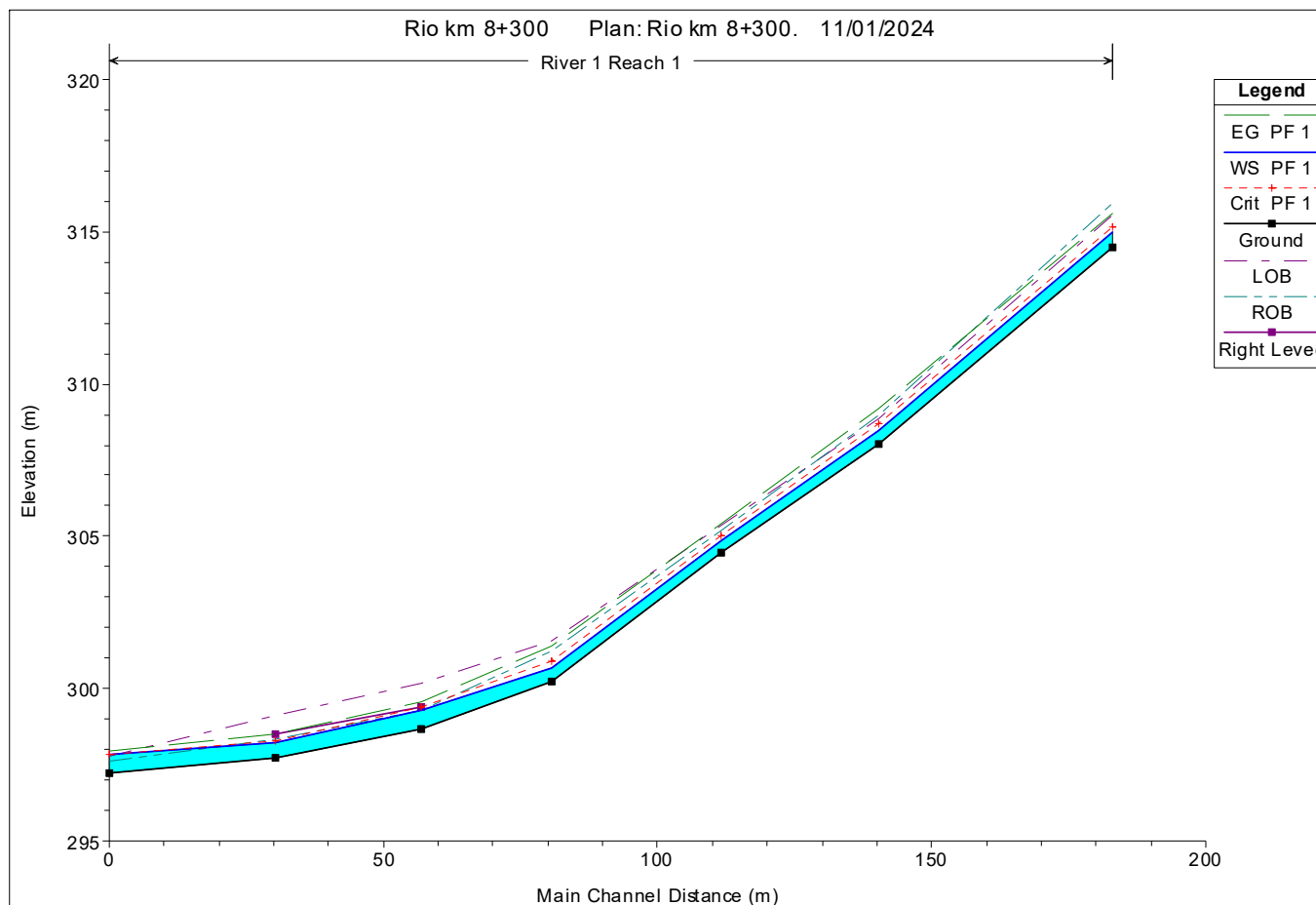


Figura 10 - Corso d'acqua IN05- Rio km 8+025 - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 25 di 106

Tabella 7 - Corso d'acqua IN05-Rio km 8+025 - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Rio km 8+300 River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	183	PF 1	0.99	314.49	314.98	315.16	315.59	0.140015	3.49	0.28	1.17	2.26
Reach 1	140	PF 1	0.99	308.04	308.49	308.70	309.21	0.159443	3.76	0.26	1.01	2.35
Reach 1	112	PF 1	0.99	304.49	304.86	305.02	305.38	0.108765	3.20	0.31	1.27	2.08
Reach 1	81	PF 1	0.99	300.24	300.69	300.91	301.41	0.153070	3.74	0.26	0.87	2.17
Reach 1	57	PF 1	0.99	298.67	299.28	299.41	299.55	0.042089	2.30	0.43	1.08	1.17
Reach 1	30	PF 1	0.99	297.74	298.25	298.30	298.49	0.037767	2.18	0.45	1.42	1.23
Reach 1	0	PF 1	0.99	297.23	297.85	297.85	297.95	0.012571	1.52	0.95	6.22	0.71

#### 4.6.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 0.99 m<sup>3</sup>/s.

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 180 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 13% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 0.9%.

Il progetto prevede l'inserimento di due manufatti circolari, entrambi di dimensioni interne utili al passaggio della piena pari a 1.5x1.5 [m], mentre la lunghezza è pari a 7.5 [m] per il primo manufatto e 50 [m] per il secondo.

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti 1x1 m aventi sponde 1:1, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.

La pendenza media dei tombini e del tratto risistemato sia a monte dell'opera che a valle di essa, è pari a l'1 [%].

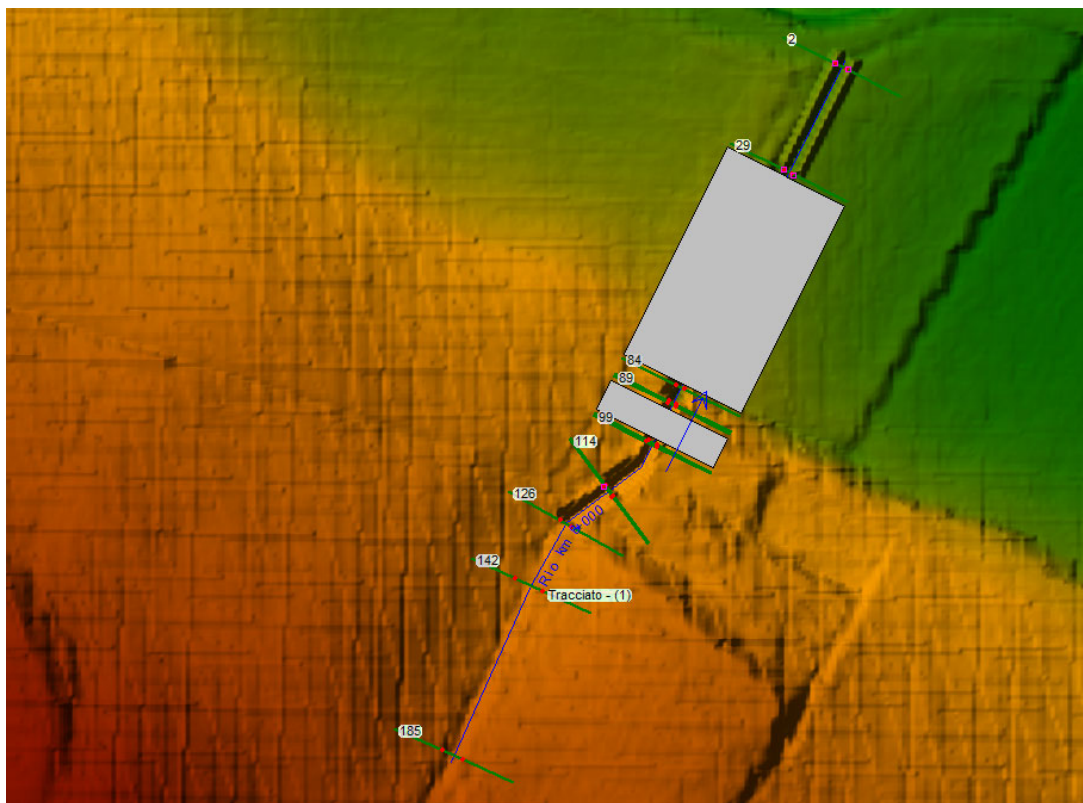


Figura 11 - Corso d'acqua IN05-Rio km 8+025 - Configurazione Post Operam (P.O.)

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenuti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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* -  $m^2$ ); larghezza del pelo libero (*Top Width* -  $m$ ).

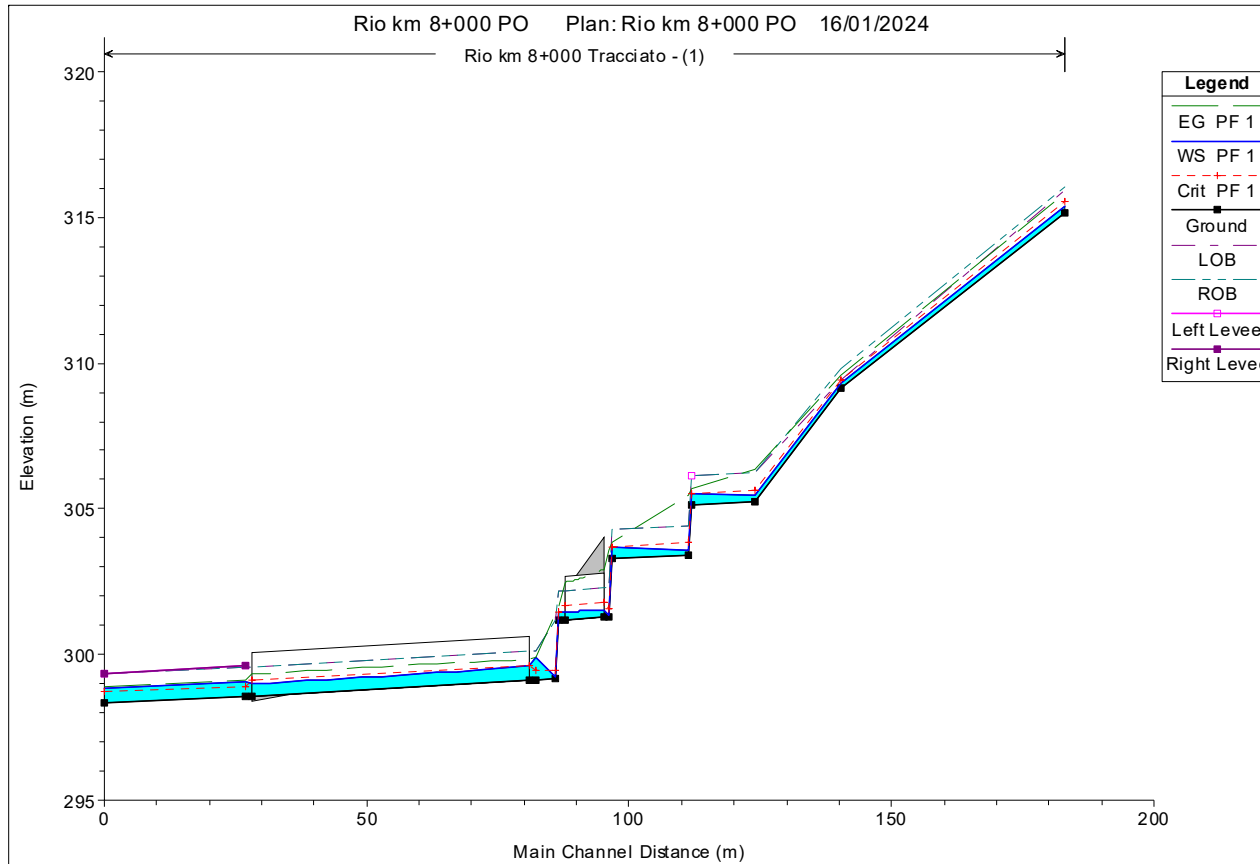


Figura 12 - Corso d'acqua IN05-Rio km 8+025 - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

Tabella 8 - Corso d'acqua IN05- Rio km 8+025 - Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Rio km 8+000 PO River: Rio km 8+000 Reach: Tracciato - (1) Profile: PF 1

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
Tracciato - (1)	185	PF 1	0.99	315.16	315.40	315.52	315.84	0.140106	2.94	0.34	2.26	2.44
Tracciato - (1)	142	PF 1	0.99	309.14	309.32	309.40	309.61	0.149989	2.41	0.41	4.03	2.41
Tracciato - (1)	126	PF 1	0.99	305.26	305.46	305.66	306.35	0.264693	4.18	0.24	1.40	3.24
Tracciato - (1)	114	PF 1	0.99	305.14	305.54	305.54	305.70	0.022494	1.76	0.56	1.80	1.01
Tracciato - (1)	113	PF 1	0.99	303.43	303.57	303.83	305.49	0.821654	6.13	0.16	1.28	5.52
Tracciato - (1)	99	PF 1	0.99	303.29	303.67	303.69	303.85	0.026622	1.87	0.53	1.77	1.09
Tracciato - (1)	98	PF 1	0.99	301.28	301.35	301.57	303.60	1.892294	6.64	0.15	2.00	7.76
Tracciato - (1)	90		Culvert									
Tracciato - (1)	89	PF 1	0.99	301.19	301.47	301.48	301.63	0.030236	1.79	0.55	2.00	1.09
Tracciato - (1)	88	PF 1	0.99	299.18	299.26	299.47	301.38	1.733424	6.46	0.15	2.00	7.45
Tracciato - (1)	84	PF 1	0.99	299.14	299.90	299.43	299.92	0.001605	0.65	1.52	2.00	0.24
Tracciato - (1)	50		Culvert									
Tracciato - (1)	29	PF 1	0.99	298.59	299.06	298.88	299.12	0.006056	1.04	0.95	2.00	0.48
Tracciato - (1)	2	PF 1	0.99	298.32	298.82	298.72	298.91	0.010017	1.31	0.75	2.00	0.68

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.

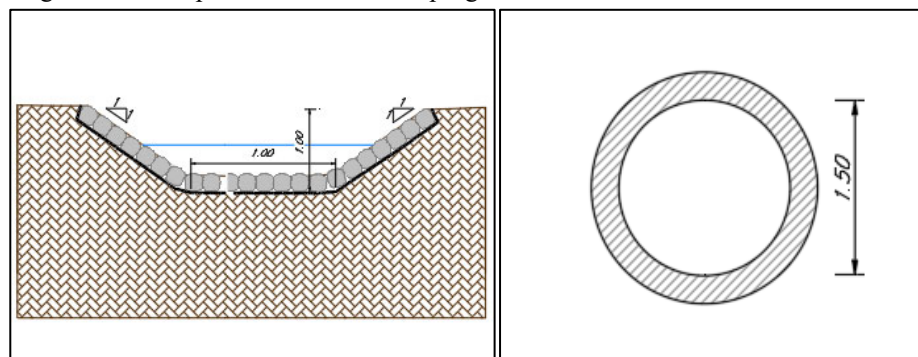


Figura 13 Corso d'acqua IN05-Rio km 8+025 - Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino

progettazione ati:

Pag. 30 di 106

## 4.7 Inalveazione IN02-Rio km 4+500

L'inalveazione interferisce con il nuovo tracciato stradale alla pk 4+500.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 9.74 m<sup>3</sup>/s.

Si evidenzia che, allo stato attuale, non è presente alcun attraversamento stradale, e il canale non presenta alcun tombamento.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scatolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

### 4.7.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 210 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 4% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 5%.

Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.



Figura 14 - Corso d'acqua IN02- Rio km 4+500 - Configurazione Ante Operam

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati. I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*)



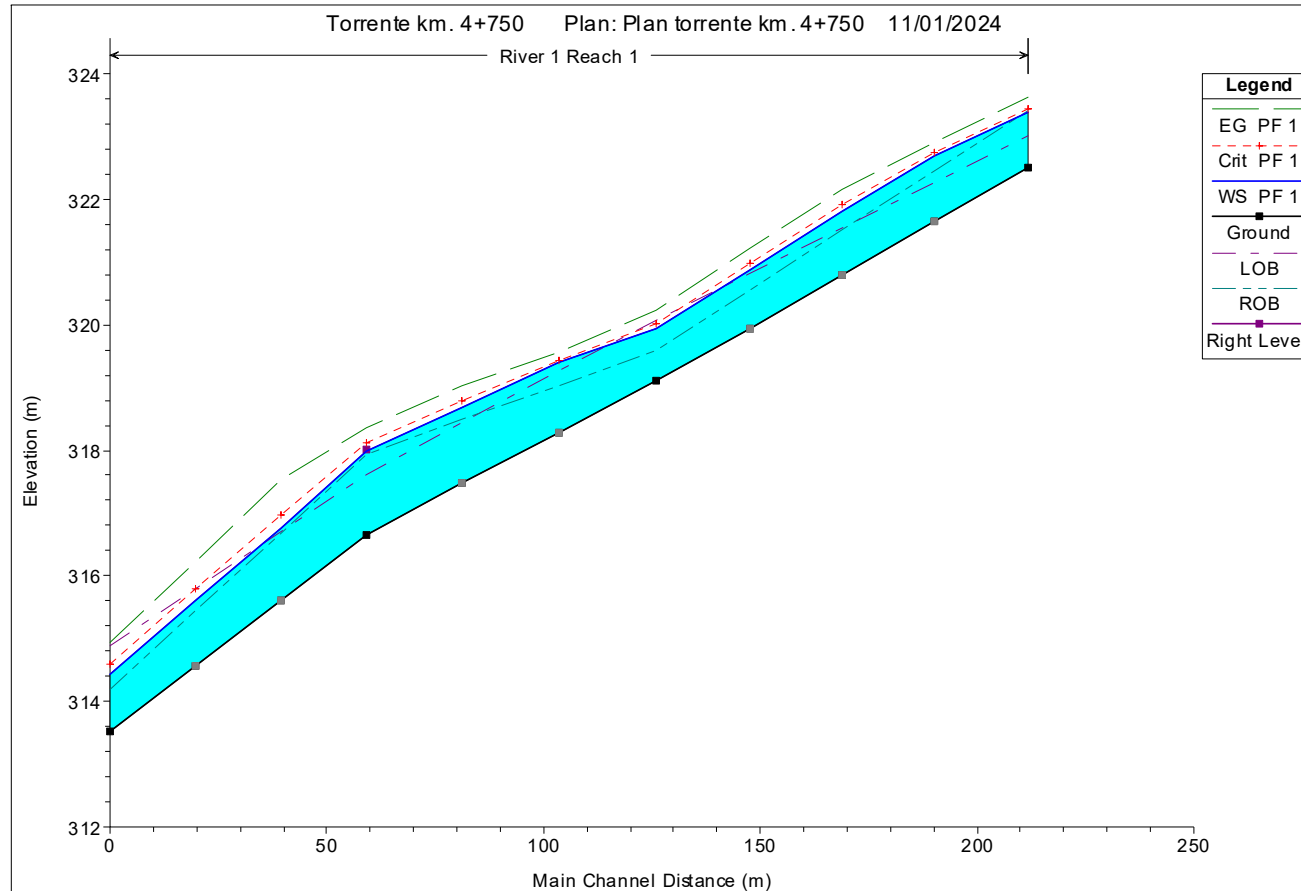


Figura 15 - Corso d'acqua IN02- Rio km 4+500 - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 33 di 106

*Tabella 9 - Corso d'acqua IN02-Rio km 4+500 - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni*

HEC-RAS Plan: Plan torrente km. 4+750 River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	214	PF 1	9.74	322.50	323.40	323.45	323.64	0.040004	2.88	4.85	14.84	1.24
Reach 1	128	PF 1	9.74	319.10	319.93	320.01	320.22	0.048303	3.17	4.66	16.71	1.43
Reach 1	61	PF 1	9.74	316.65	317.98	318.11	318.37	0.028121	3.07	4.90	23.87	1.11
Reach 1	2	PF 1	9.74	313.51	314.43	314.58	314.93	0.063575	3.72	3.86	15.24	1.67

#### 4.7.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a  $9.74 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 225 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 5% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 6%.

Il progetto prevede l'inserimento di un manufatto scatolare di dimensioni interne utili al passaggio della piena pari a  $2.5 \times 2.5 \text{ [m]}$ , e lunghezza è pari a  $46.0 \text{ [m]}$

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti  $2.0 \times 2.0 \text{ [m]}$  aventi sponde 3:2, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.

La pendenza media dei tombini e del tratto risistemato sia a monte dell'opera che a valle di essa, è pari a  $1'1 \text{ [%]}$ .



Figura 16 - Corso d'acqua IN02-Rio km 4+500 - Configurazione Post Operam (P.O.)

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: sezione di riferimento (*River station*); portata ( $Q \text{ Total} - \text{m}^3/\text{s}$ ); quota assoluta del punto più depresso della sezione ( $\text{Min Ch El} - \text{m s.m.}$ ); quota assoluta del progettazione ati:

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*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

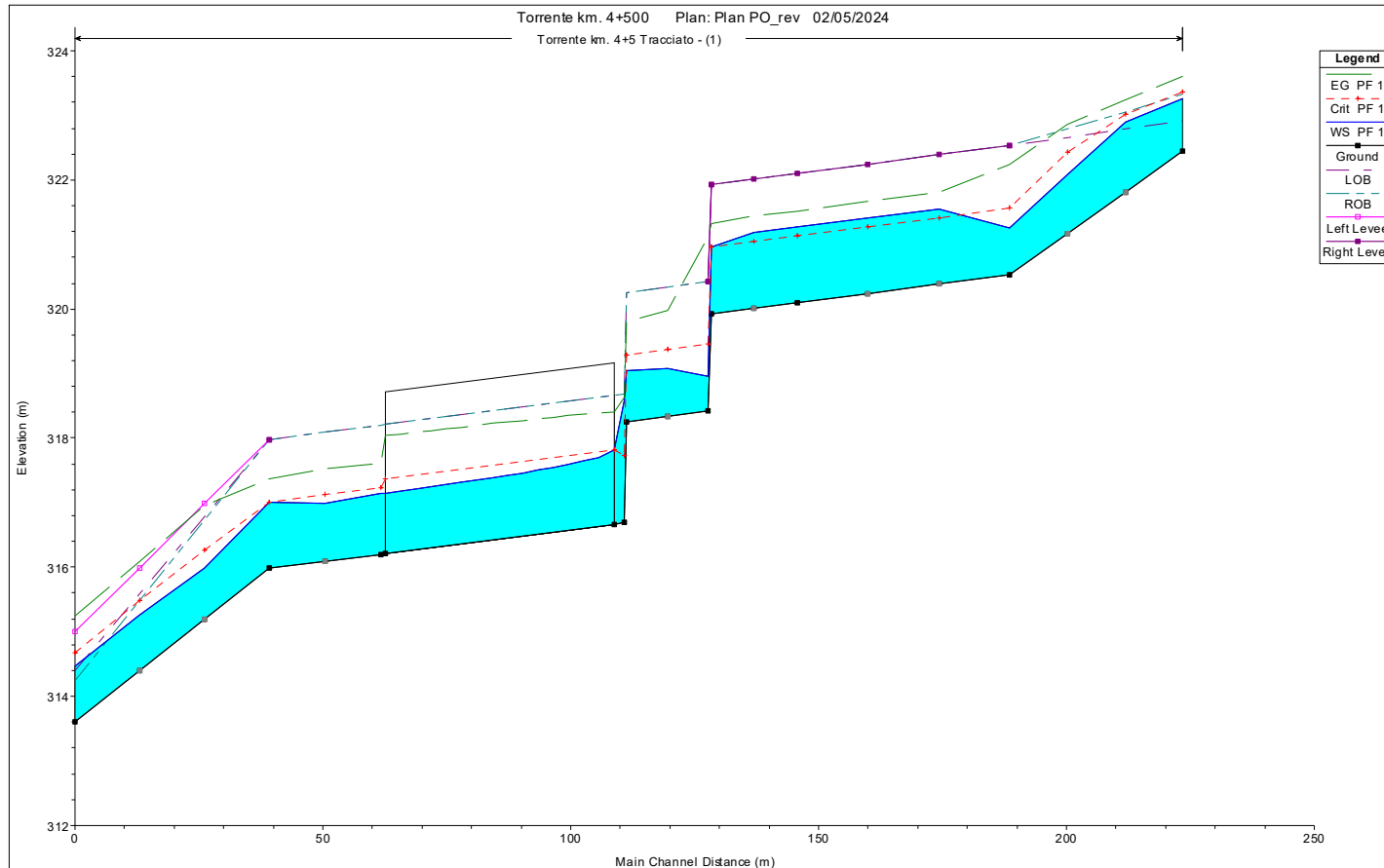


Figura 17 - Corso d'acqua IN02- Rio km 4+500 - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 37 di 106

Tabella 10 - Corso d'acqua IN02-Rio km 4+500 - Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan PO\_rev River: Torrente km. 4+5 Reach: Tracciato - (1) Profile: PF 1

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
Tracciato - (1)	223	PF 1	9.74	322.44	323.26	323.36	323.60	0.050001	3.54	4.32	14.37	1.61
Tracciato - (1)	188.3823	PF 1	9.74	320.53	321.25	321.57	322.24	0.062752	4.40	2.21	4.16	1.93
Tracciato - (1)	145.5568	PF 1	9.74	320.10	321.27	321.13	321.52	0.009565	2.22	4.39	5.51	0.79
Tracciato - (1)	128.1996	PF 1	9.74	319.93	320.96	320.96	321.32	0.015646	2.66	3.67	5.10	1.00
Tracciato - (1)	127.6996	PF 1	9.74	318.42	318.95	319.46	321.12	0.188935	6.52	1.49	3.60	3.23
Tracciato - (1)	111.1357	PF 1	9.74	318.25	319.04	319.28	319.80	0.007899	3.84	2.54	4.38	1.61
Tracciato - (1)	111	PF 1	9.74	316.69	318.58	317.72	318.63	0.000246	1.07	9.11	7.66	0.31
Tracciato - (1)	90		Culvert									
Tracciato - (1)	62	PF 1	9.74	316.20	317.14	317.24	317.61	0.004207	3.05	3.19	4.81	1.20
Tracciato - (1)	39	PF 1	9.74	315.98	317.01	317.01	317.37	0.015831	2.67	3.65	5.09	1.01
Tracciato - (1)	0	PF 1	9.74	313.61	314.47	314.68	315.24	0.066701	4.36	3.26	13.77	1.98

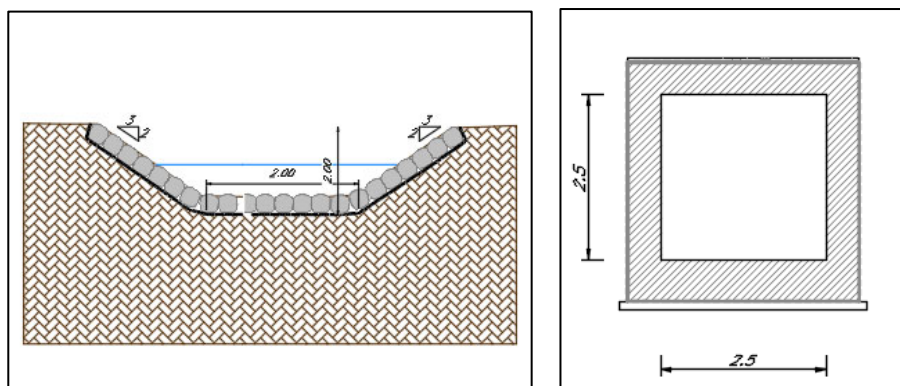


Figura 18 Corso d'acqua IN02-Rio km 4+500 - Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino

progettazione ati:

Pag. 38 di 106

## 4.8 Inalveazione IN01-Fosso della Centena

L'inalveazione si sviluppa parallelamente al nuovo tracciato stradale e interferisce con lo stesso alla pk. 3+910.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 28.95 m<sup>3</sup>/s.

Si evidenzia che, allo stato attuale, il fosso in esame presenta lungo tutta la sua lunghezza 6 tombamenti del canale costituiti da tombini circolari con diametri che variano dai 2 ai 4 m.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scatolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

### 4.8.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 2000 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 1% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 1%.

Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.

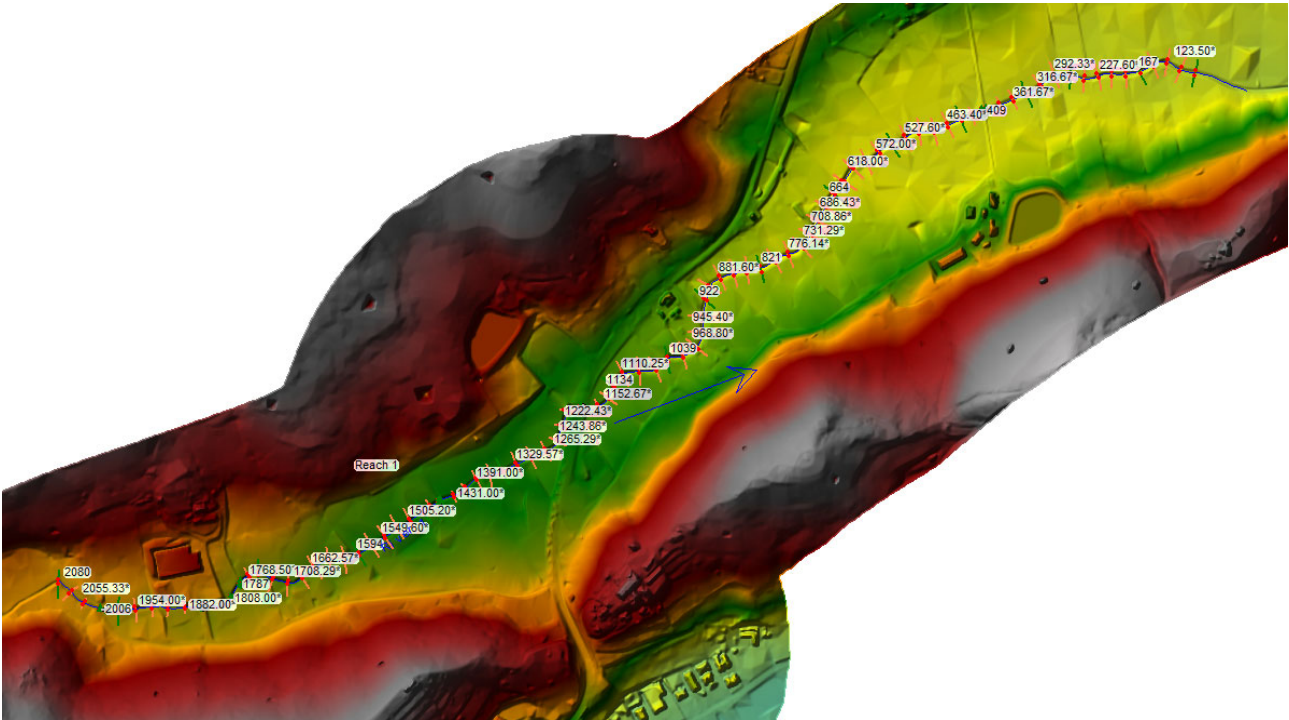


Figura 19 - Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Configurazione Ante Operam

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).



RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

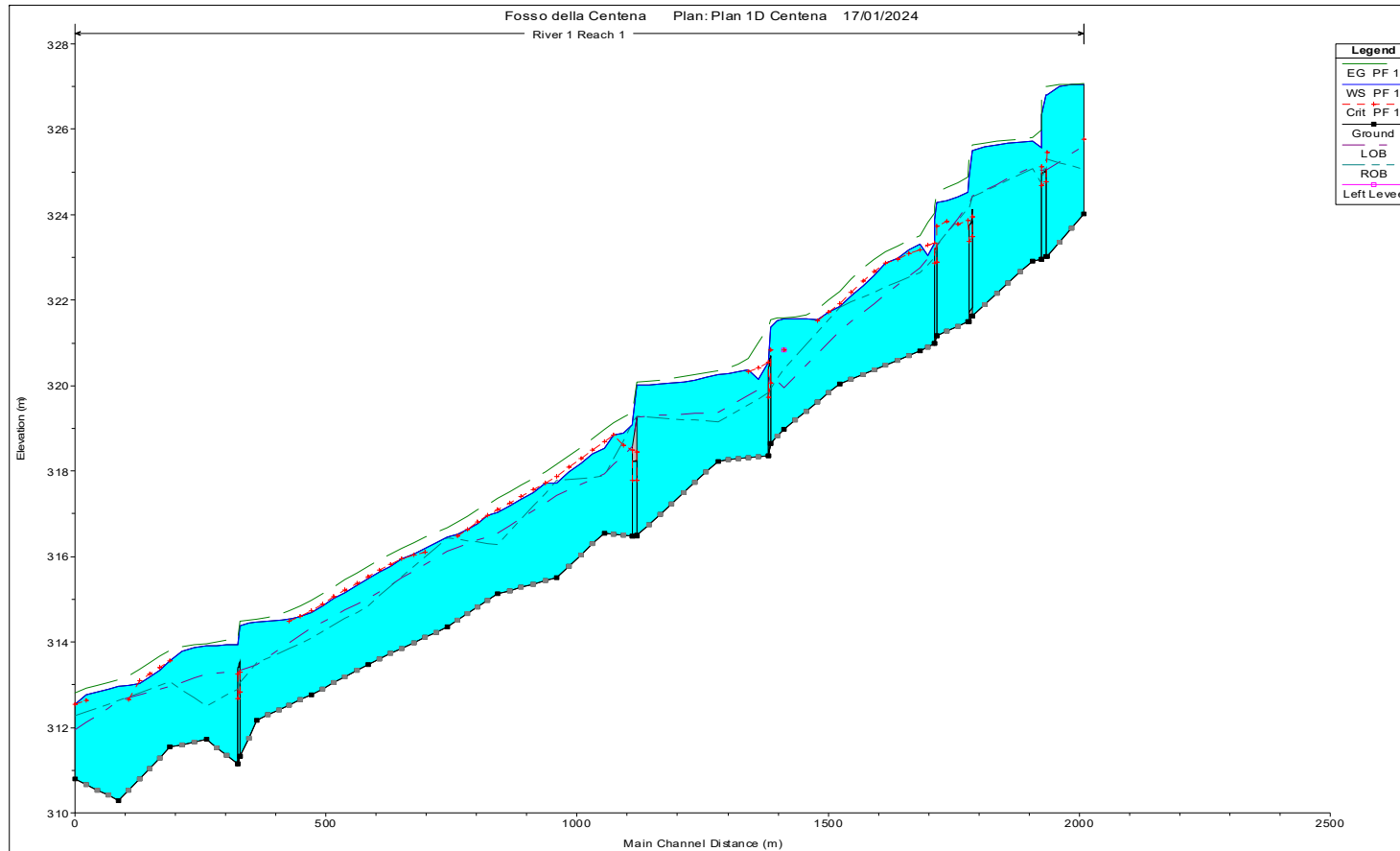


Figura 20 - Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 41 di 106

Tabella 11 - Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan 1D Centena River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1

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
Reach 1	2080	PF 1	28.95	324.02	327.05	325.76	327.07	0.000170	0.63	71.02	40.00	0.13
Reach 1	2006	PF 1	28.95	323.03	326.80	325.45	327.00	0.002642	2.00	15.07	5.45	0.38
Reach 1	2000		Culvert									
Reach 1	1995	PF 1	28.95	322.96	325.56	325.12	325.98	0.007522	2.85	10.14	5.40	0.67
Reach 1	1978	PF 1	28.95	322.92	325.73		325.82	0.001945	1.58	29.29	40.00	0.38
Reach 1	1858	PF 1	28.95	321.64	325.49	323.94	325.64	0.001870	1.81	19.08	9.23	0.32
Reach 1	1856		Culvert									
Reach 1	1850	PF 1	28.95	321.49	324.53	323.86	324.89	0.006537	2.72	11.98	6.66	0.56
Reach 1	1787	PF 1	28.95	321.18	324.29	323.73	324.53	0.003666	2.34	15.44	9.67	0.49
Reach 1	1785		Culvert									
Reach 1	1783	PF 1	28.95	321.00	323.33	323.33	324.05	0.015164	3.76	7.71	10.05	0.99
Reach 1	1754	PF 1	28.95	320.81	323.30	323.18	323.52	0.004742	2.37	18.72	26.58	0.56
Reach 1	1594	PF 1	28.95	320.05	321.85	321.92	322.22	0.012186	3.16	13.99	24.00	0.91
Reach 1	1483	PF 1	28.95	318.98	321.57	320.84	321.59	0.000537	1.00	49.92	40.00	0.21
Reach 1	1456	PF 1	28.95	318.65	321.37	320.83	321.55	0.002925	2.16	18.00	11.51	0.46
Reach 1	1453		Culvert									
Reach 1	1451	PF 1	28.95	318.37	320.54	320.54	321.38	0.014877	4.06	7.14	11.02	1.00
Reach 1	1351	PF 1	28.95	318.24	320.27		320.35	0.002210	1.73	30.17	40.00	0.43
Reach 1	1201	PF 1	28.95	316.49	320.01	318.44	320.08	0.000740	1.23	27.26	18.33	0.25
Reach 1	1195		Culvert									
Reach 1	1190	PF 1	28.95	316.48	319.08	318.49	319.38	0.004945	2.45	11.83	10.41	0.59
Reach 1	1134	PF 1	28.95	316.55	318.53	318.68	318.99	0.010193	3.31	14.80	40.00	0.87
Reach 1	1039	PF 1	28.95	315.51	317.72	317.86	318.16	0.009181	2.98	11.65	23.28	0.81
Reach 1	922	PF 1	28.95	315.13	317.03	317.10	317.35	0.006836	2.79	16.74	40.00	0.74
Reach 1	821	PF 1	28.95	314.36	316.45		316.68	0.005132	2.28	16.82	25.50	0.63
Reach 1	664	PF 1	28.95	313.48	315.49	315.53	315.77	0.006755	2.73	18.42	39.99	0.70
Reach 1	549	PF 1	28.95	312.76	314.68	314.74	314.98	0.007132	2.72	17.27	40.00	0.74
Reach 1	442	PF 1	28.95	312.17	314.46		314.53	0.001296	1.43	34.37	40.00	0.34
Reach 1	409	PF 1	28.95	311.33	314.39	313.29	314.49	0.001076	1.48	22.93	13.00	0.32
Reach 1	405		Culvert									
Reach 1	403	PF 1	28.95	311.15	313.94	313.25	314.10	0.002242	1.86	18.58	14.68	0.44
Reach 1	341	PF 1	28.95	311.72	313.91		313.96	0.001180	1.33	35.36	40.00	0.32
Reach 1	268	PF 1	28.95	311.54	313.56	313.56	313.80	0.005196	2.44	19.02	40.00	0.65
Reach 1	167	PF 1	28.95	310.28	312.97		313.11	0.002875	1.86	23.99	40.00	0.46
Reach 1	80	PF 1	28.95	310.79	312.55	312.55	312.80	0.006203	2.48	17.21	40.52	0.71

#### 4.8.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 28.95 m<sup>3</sup>/s.

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 2000 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 0.6% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 0.4%.

Il progetto prevede l'inserimento di 7 manufatti a doppia canna scatolare 3.5x3.5 [m] e di lunghezza 20,21,21,23,37,12 e 41 [m] procedendo da monte verso valle.

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti 4.0x2.50 [m] aventi sponde 3.75:2.5, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.

La pendenza media dei tombini e del tratto risistemato sia a monte dell'opera che a valle di essa, è pari a l'0.8%].

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: sezione di riferimento (*River station*); portata (*Q Total - m<sup>3</sup>/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*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

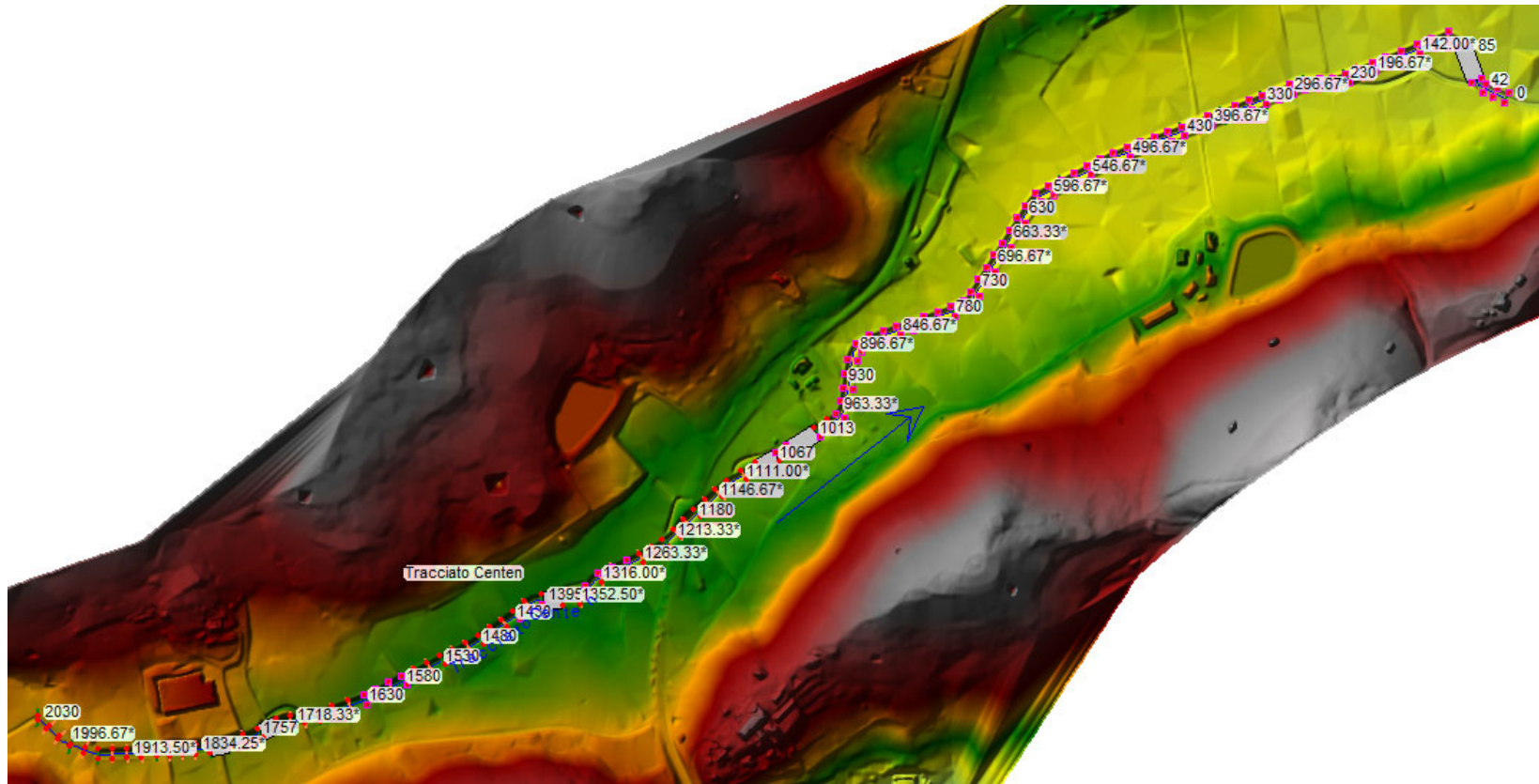


Figura 21 - Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Configurazione Post Operam (P.O.)

progettazione ati:

Pag. 44 di 106

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

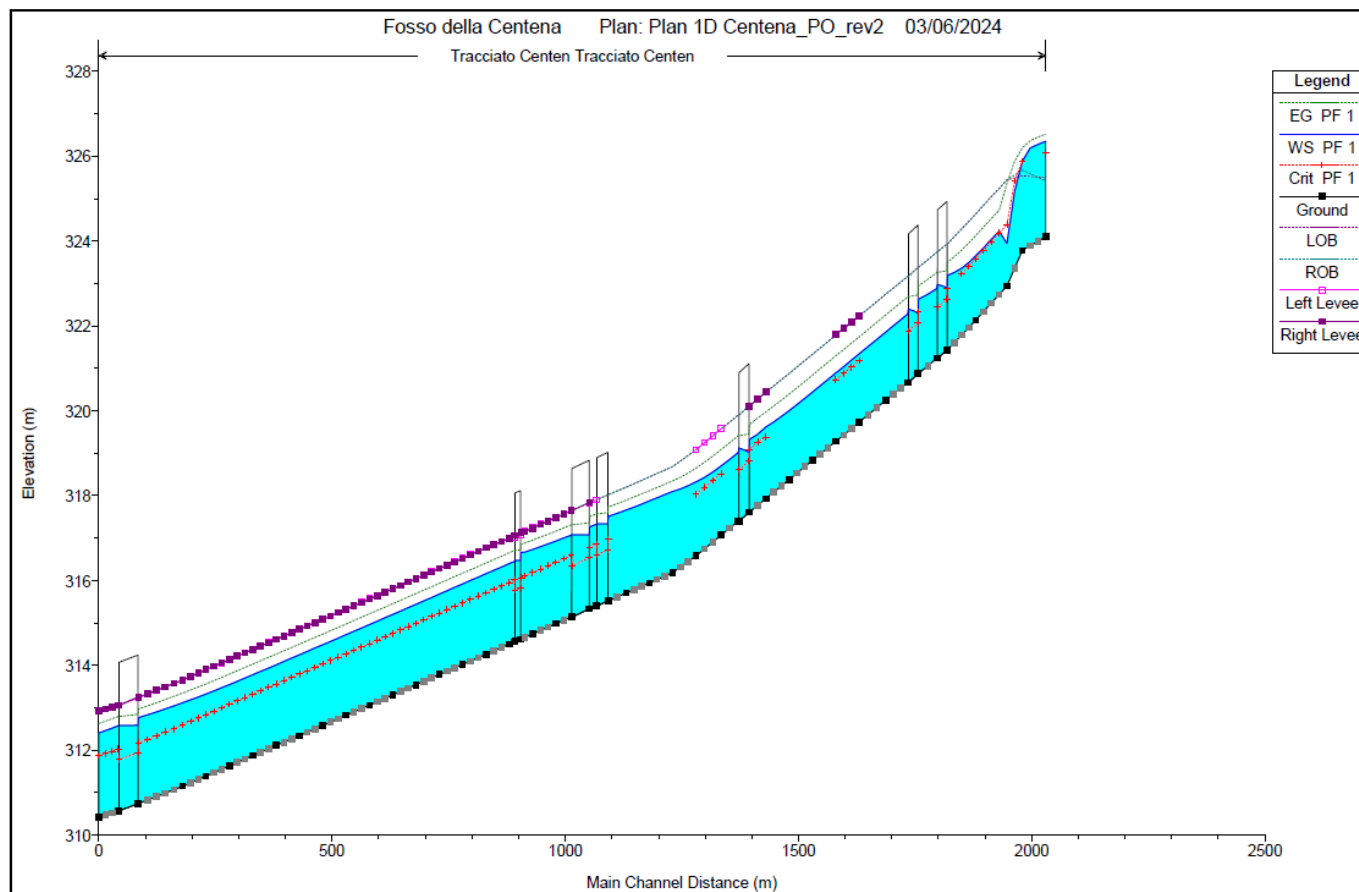


Figura 22 - Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 45 di 106

Tabella 12 - Corso d'acqua IN01- Fosso della Centena - Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan 1D Centena PO\_rev2 River: Tracciato Centen Reach: Tracciato Centen Profile: PF 1

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
Tracciato Centen	2030	PF 1	28.95	324.10	326.35	326.07	326.52	0.003711	2.14	19.40	20.00	0.55
Tracciato Centen	1980	PF 1	28.95	323.78	325.88	325.88	326.20	0.016939	3.06	12.95	20.00	0.86
Tracciato Centen	1947	PF 1	28.95	322.94	323.94	324.39	325.36	0.052516	5.27	5.49	7.00	1.90
Tracciato Centen	1880	PF 1	28.95	322.14	323.65	323.58	324.13	0.011363	3.05	9.49	8.54	0.92
Tracciato Centen	1819	PF 1	28.95	321.43	323.19	322.88	323.50	0.006414	2.48	11.67	9.28	0.71
Tracciato Centen	1810	Culvert										
Tracciato Centen	1797	PF 1	28.95	321.24	322.89		323.26	0.008235	2.72	10.66	8.95	0.79
Tracciato Centen	1757	PF 1	28.95	320.88	322.63	322.33	322.95	0.006579	2.50	11.56	9.24	0.71
Tracciato Centen	1750	Culvert										
Tracciato Centen	1734	PF 1	28.95	320.67	322.28		322.69	0.009120	2.82	10.26	8.78	0.83
Tracciato Centen	1687	PF 1	28.95	320.25	321.86		322.26	0.009011	2.81	10.32	8.83	0.83
Tracciato Centen	1630	PF 1	28.95	319.73	321.34	321.18	321.74	0.008987	2.80	10.32	8.82	0.83
Tracciato Centen	1580	PF 1	28.95	319.28	320.89	320.73	321.29	0.009013	2.81	10.31	8.82	0.83
Tracciato Centen	1530	PF 1	28.95	318.83	320.44		320.84	0.008934	2.80	10.35	8.83	0.83
Tracciato Centen	1480	PF 1	28.95	318.38	320.00		320.39	0.008733	2.77	10.43	8.86	0.82
Tracciato Centen	1430	PF 1	28.95	317.93	319.62	319.38	319.97	0.007533	2.63	11.00	9.05	0.76
Tracciato Centen	1395	PF 1	28.95	317.61	319.32	319.08	319.68	0.007565	2.64	10.96	8.96	0.76
Tracciato Centen	1380	Culvert										
Tracciato Centen	1371	PF 1	28.95	317.40	319.01		319.41	0.008910	2.80	10.36	8.84	0.82
Tracciato Centen	1334	PF 1	28.95	317.07	318.70	318.51	319.09	0.008604	2.76	10.49	8.88	0.81
Tracciato Centen	1280	PF 1	28.95	316.58	318.33	318.03	318.65	0.006610	2.51	11.54	9.22	0.72
Tracciato Centen	1230	PF 1	28.95	316.18	318.10		318.34	0.004583	2.19	13.19	9.76	0.60
Tracciato Centen	1180	PF 1	28.95	315.94	317.87		318.11	0.004445	2.17	13.34	9.80	0.59
Tracciato Centen	1130	PF 1	28.95	315.70	317.66		317.89	0.004308	2.15	13.48	9.80	0.58
Tracciato Centen	1092	PF 1	28.95	315.52	317.51	316.97	317.73	0.003954	2.08	14.09	11.11	0.56
Tracciato Centen	1080	Culvert										
Tracciato Centen	1067	PF 1	28.95	315.40	317.33	316.85	317.57	0.004491	2.18	13.29	9.78	0.60
Tracciato Centen	1052	PF 1	28.95	315.33	317.26	316.77	317.50	0.004440	2.17	13.35	9.80	0.59
Tracciato Centen	1040	Culvert										
Tracciato Centen	1013	PF 1	28.95	315.14	317.07	316.59	317.31	0.004482	2.18	13.30	9.79	0.60
Tracciato Centen	980	PF 1	28.95	314.98	316.93	316.43	317.16	0.004308	2.15	13.49	9.85	0.59
Tracciato Centen	930	PF 1	28.95	314.74	316.73	316.19	316.95	0.003961	2.08	13.91	9.97	0.56
Tracciato Centen	905	PF 1	28.95	314.62	316.66	316.06	316.85	0.003337	1.92	15.07	10.95	0.52
Tracciato Centen	900	Culvert										
Tracciato Centen	891	PF 1	28.95	314.55	316.45	316.02	316.71	0.004907	2.26	12.83	9.65	0.62
Tracciato Centen	880	PF 1	28.95	314.50	316.40	315.95	316.65	0.004802	2.23	12.97	9.68	0.62
Tracciato Centen	830	PF 1	28.95	314.26	316.16	315.71	316.41	0.004778	2.23	12.99	9.69	0.61
Tracciato Centen	780	PF 1	28.95	314.02	315.92	315.47	316.17	0.004806	2.23	12.96	9.67	0.62
Tracciato Centen	730	PF 1	28.95	313.78	315.68	315.23	315.93	0.004802	2.23	12.97	9.68	0.62
Tracciato Centen	680	PF 1	28.95	313.54	315.44	314.99	315.69	0.004794	2.23	12.97	9.68	0.62
Tracciato Centen	630	PF 1	28.95	313.30	315.20	314.75	315.45	0.004771	2.23	13.00	9.70	0.61
Tracciato Centen	580	PF 1	28.95	313.06	314.96	314.51	315.21	0.004772	2.23	13.00	9.68	0.61
Tracciato Centen	530	PF 1	28.95	312.82	314.72	314.27	314.97	0.004762	2.23	13.01	9.70	0.61
Tracciato Centen	480	PF 1	28.95	312.58	314.48	314.03	314.74	0.004738	2.22	13.03	9.70	0.61
Tracciato Centen	430	PF 1	28.95	312.34	314.25	313.79	314.50	0.004695	2.21	13.08	9.72	0.61
Tracciato Centen	380	PF 1	28.95	312.11	314.01	313.56	314.26	0.004723	2.22	13.05	9.72	0.61
Tracciato Centen	330	PF 1	28.95	311.87	313.78	313.32	314.03	0.004663	2.21	13.11	9.73	0.61
Tracciato Centen	280	PF 1	28.95	311.63	313.55	313.08	313.79	0.004601	2.20	13.17	9.75	0.60
Tracciato Centen	230	PF 1	28.95	311.39	313.32	312.84	313.56	0.004420	2.17	13.37	9.81	0.59
Tracciato Centen	180	PF 1	28.95	311.15	313.12	312.60	313.35	0.004136	2.11	13.70	9.91	0.57
Tracciato Centen	85	PF 1	28.95	310.74	312.77	312.17	312.97	0.003542	1.99	14.53	10.23	0.53
Tracciato Centen	60	Culvert										
Tracciato Centen	42	PF 1	28.95	310.57	312.57	312.03	312.79	0.003933	2.08	13.95	9.96	0.56
Tracciato Centen	0	PF 1	28.95	310.42	312.41	311.87	312.63	0.004001	2.09	13.86	9.96	0.57

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.

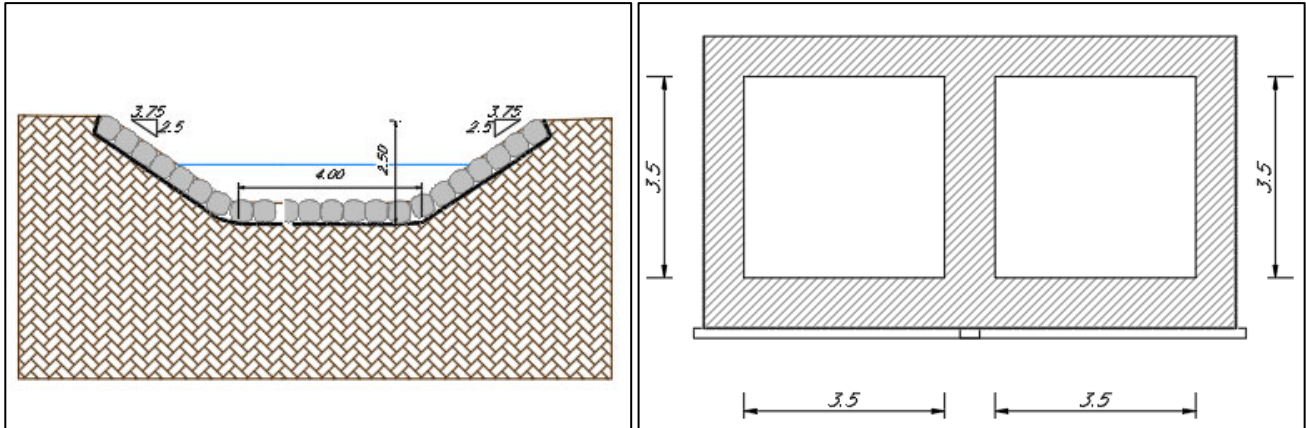


Figura 23 Corso d'acqua IN01-Fosso della Centena - Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino

## 4.9 Inalveazione IN03-Rio Rosciano

L'inalveazione interferisce con il nuovo tracciato stradale alla pk 7+400

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 3.07 m<sup>3</sup>/s.

Si evidenzia che, allo stato attuale, non è presente alcun attraversamento stradale, e il canale non presenta alcun tombamento.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scotolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

### 4.9.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 150 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 9% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 7%.

Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.



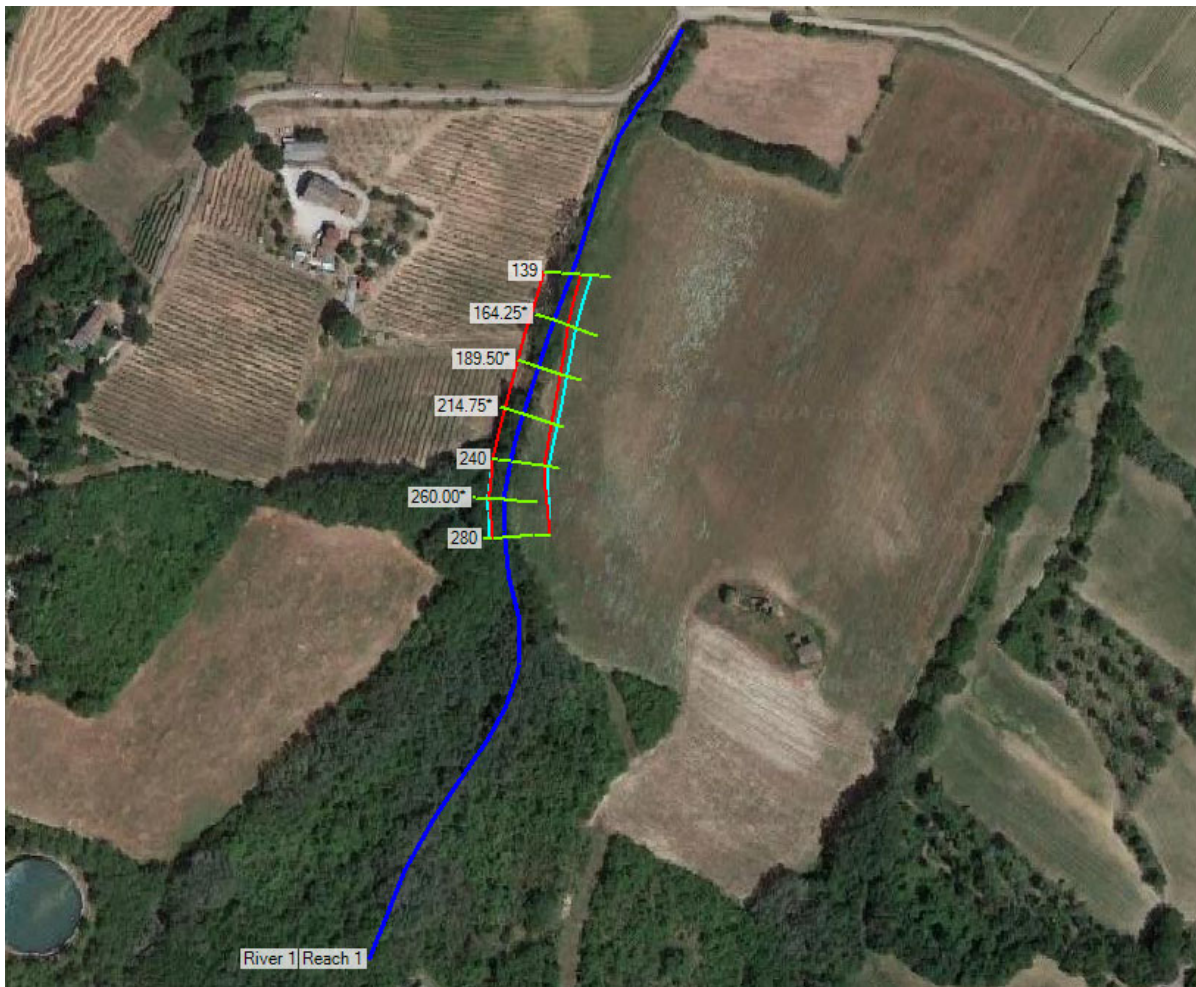


Figura 24 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Configurazione Ante Operam

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

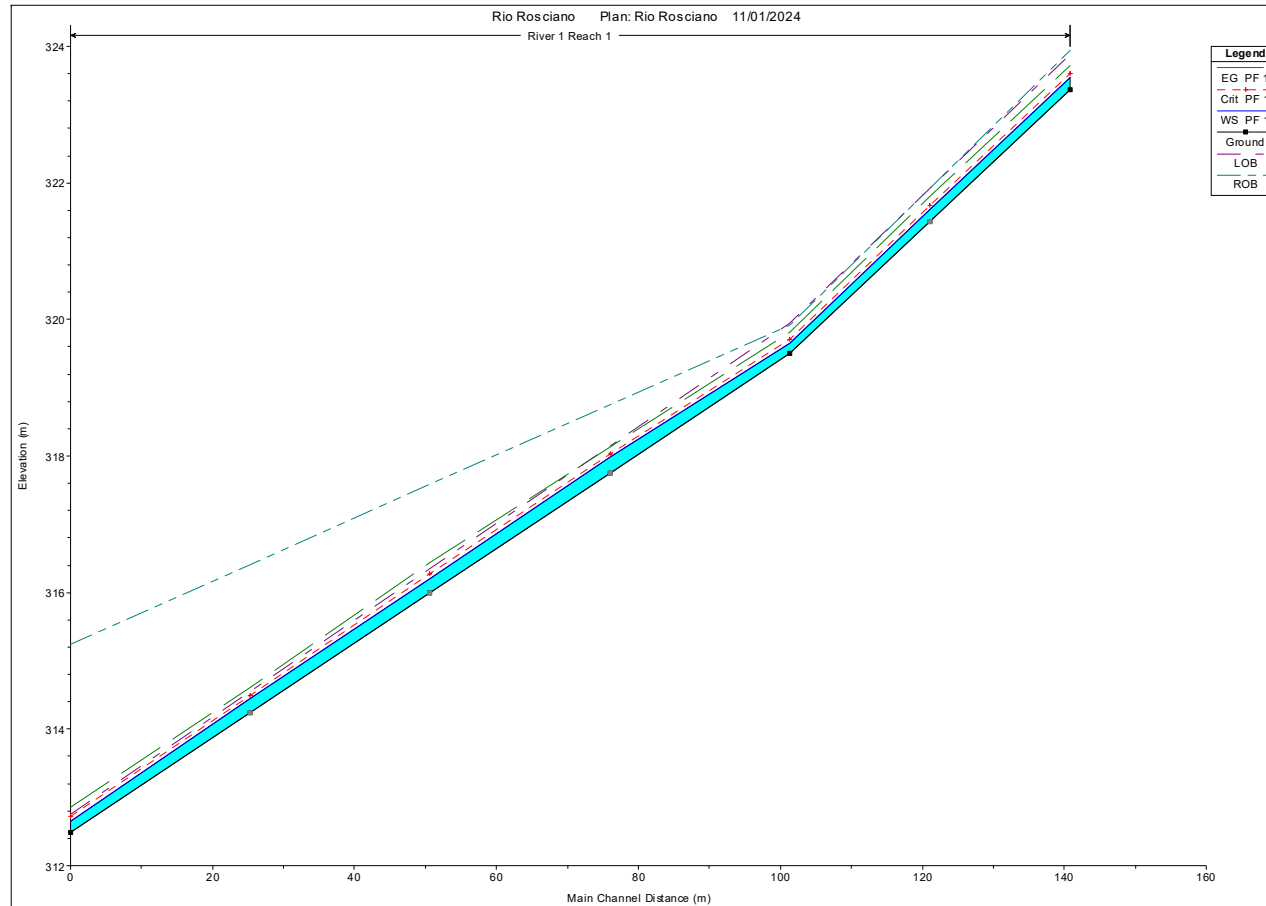


Figura 25 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 50 di 106

HEC-RAS Plan: Rio Rosciano River: River 1 Reach: Reach 1 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Reach 1	280	PF 1	3.07	323.37	323.54	323.59	323.73	0.089975	1.93	1.59	14.94	1.88
Reach 1	240	PF 1	3.07	319.50	319.65	319.70	319.82	0.094057	1.80	1.70	18.26	1.88
Reach 1	139	PF 1	3.07	312.48	312.65	312.72	312.86	0.087066	2.02	1.52	12.97	1.88

*Tabella 13 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni*

#### 4.9.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a  $3.07 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 190 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 1.5% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 3%.

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti  $2.0 \times 2.0 \text{ [m]}$  aventi sponde 3:2, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.



*Figura 26 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Configurazione Post Operam (P.O.)*

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

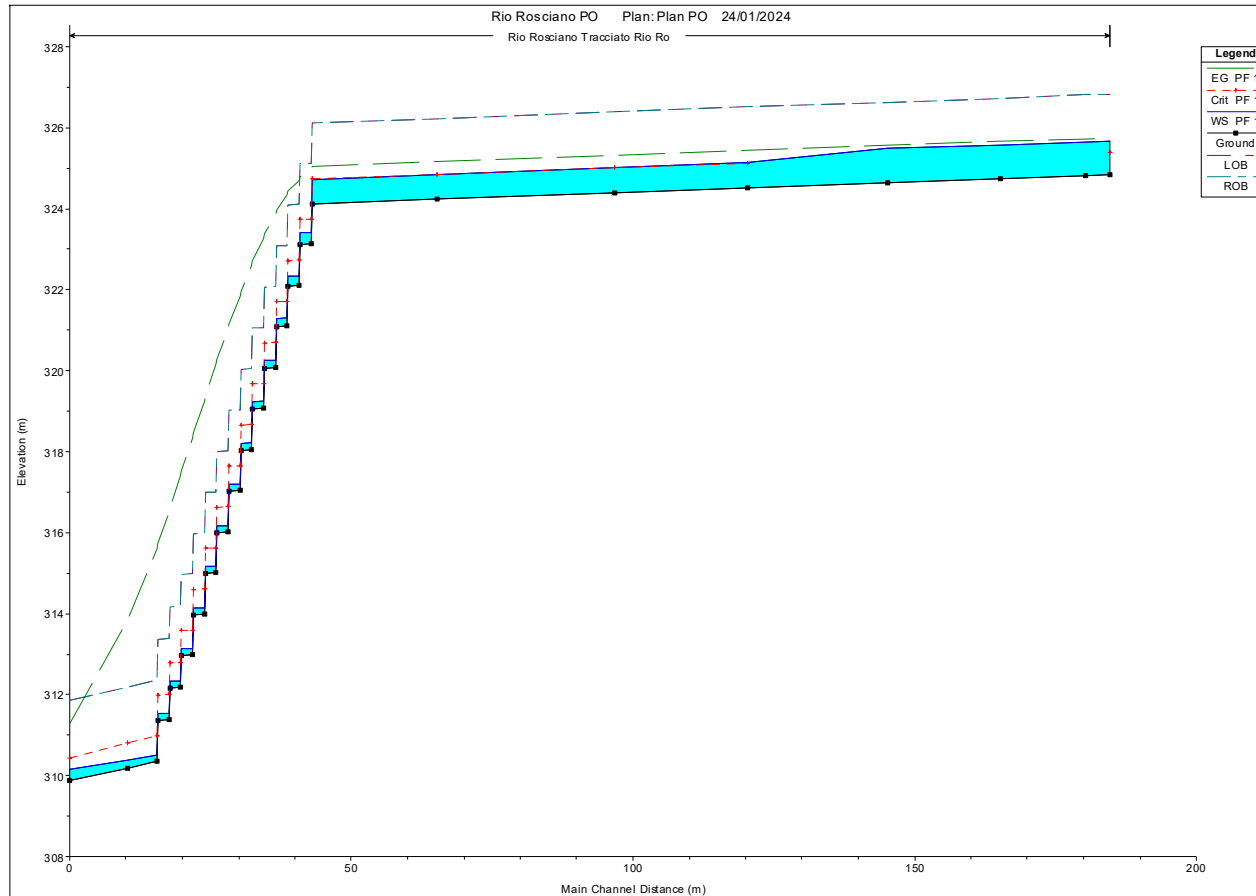
I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: sezione di riferimento (*River station*); portata ( $Q \text{ Total} - \text{m}^3/\text{s}$ ); quota assoluta del punto più depresso della sezione (*Min Ch El - m s.m.m.*); quota assoluta del pelo libero (*W.S. Elev - 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*).

progettazione ati:

Pag. 53 di 106

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA



**Figura 27 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni**

progettazione ati:

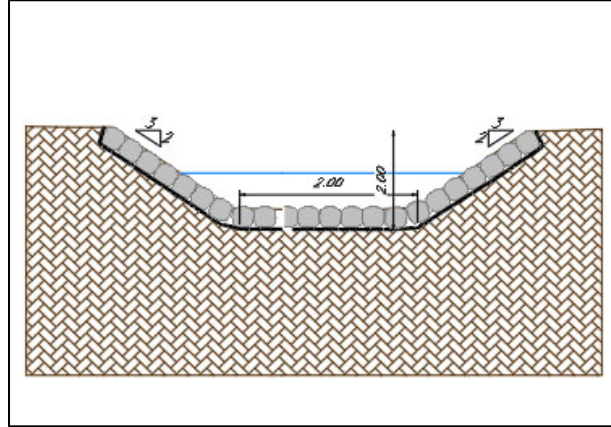
Pag. 54 di 106

Tabella 14 - Corso d'acqua IN03-Rio Rosciano - Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan PO River: Rio Rosciano Reach: Tracciato Rio Ro Profile: PF 1

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
Tracciato Rio Ro	200	PF 1	3.07	324.83	325.66	325.39	325.75	0.004665	1.30	2.36	3.67	0.52
Tracciato Rio Ro	195	PF 1	3.07	324.81	325.65		325.73	0.004643	1.30	2.37	3.68	0.52
Tracciato Rio Ro	180	PF 1	3.07	324.73	325.58		325.66	0.004377	1.27	2.42	3.69	0.50
Tracciato Rio Ro	160	PF 1	3.07	324.63	325.50		325.58	0.004025	1.23	2.49	3.74	0.48
Tracciato Rio Ro	135	PF 1	3.07	324.51	325.13	325.13	325.44	0.004911	2.47	1.24	2.00	1.00
Tracciato Rio Ro	112	PF 1	3.07	324.39	325.01	325.01	325.32	0.004978	2.48	1.24	2.00	1.01
Tracciato Rio Ro	80	PF 1	3.07	324.23	324.84	324.85	325.16	0.005172	2.51	1.22	2.00	1.03
Tracciato Rio Ro	58.1	PF 1	3.07	324.12	324.73	324.74	325.05	0.005301	2.53	1.21	2.00	1.04
Tracciato Rio Ro	58	PF 1	3.07	323.13	323.41	323.75	324.93	0.050609	5.46	0.56	2.00	3.29
Tracciato Rio Ro	56	PF 1	3.07	323.11	323.40	323.73	324.80	0.044813	5.24	0.59	2.00	3.09
Tracciato Rio Ro	55.8	PF 1	3.07	322.11	322.34	322.73	324.70	0.099437	6.80	0.45	2.00	4.57
Tracciato Rio Ro	54	PF 1	3.07	322.09	322.33	322.71	324.45	0.084411	6.45	0.48	2.00	4.22
Tracciato Rio Ro	53.7	PF 1	3.07	321.10	321.30	321.72	324.33	0.146881	7.72	0.40	2.00	5.52
Tracciato Rio Ro	52	PF 1	3.07	321.08	321.29	321.70	323.98	0.121349	7.26	0.42	2.00	5.04
Tracciato Rio Ro	51.6	PF 1	3.07	320.08	320.26	320.70	323.85	0.190790	8.39	0.37	2.00	6.26
Tracciato Rio Ro	50	PF 1	3.07	320.06	320.26	320.68	323.39	0.154487	7.84	0.39	2.00	5.66
Tracciato Rio Ro	49	PF 1	3.07	319.07	319.24	319.69	323.26	0.228014	8.88	0.35	2.00	6.82
Tracciato Rio Ro	48	PF 1	3.07	319.05	319.24	319.67	322.72	0.181858	8.26	0.37	2.00	6.12
Tracciato Rio Ro	47	PF 1	3.07	318.05	318.22	318.67	322.58	0.259419	9.25	0.33	2.00	7.26
Tracciato Rio Ro	45.5	PF 1	3.07	318.03	318.21	318.65	321.96	0.204653	8.58	0.36	2.00	6.48
Tracciato Rio Ro	45	PF 1	3.07	317.04	317.20	317.66	321.83	0.284112	9.53	0.32	2.00	7.58
Tracciato Rio Ro	43.4	PF 1	3.07	317.02	317.19	317.64	321.15	0.222261	8.81	0.35	2.00	6.74
Tracciato Rio Ro	43	PF 1	3.07	316.02	316.18	316.64	321.01	0.304445	9.74	0.32	2.00	7.83
Tracciato Rio Ro	41.3	PF 1	3.07	316.00	316.17	316.62	320.29	0.236697	8.99	0.34	2.00	6.94
Tracciato Rio Ro	41	PF 1	3.07	315.01	315.17	315.63	320.15	0.319411	9.89	0.31	2.00	8.01
Tracciato Rio Ro	39.2	PF 1	3.07	314.99	315.16	315.61	319.39	0.247195	9.11	0.34	2.00	7.09
Tracciato Rio Ro	39	PF 1	3.07	313.99	314.14	314.61	319.25	0.331793	10.01	0.31	2.00	8.16
Tracciato Rio Ro	37.1	PF 1	3.07	313.97	314.14	314.59	318.46	0.255794	9.21	0.33	2.00	7.21
Tracciato Rio Ro	37	PF 1	3.07	312.98	313.13	313.60	318.32	0.340317	10.09	0.30	2.00	8.26
Tracciato Rio Ro	35	PF 1	3.07	312.96	313.13	313.58	317.52	0.261626	9.28	0.33	2.00	7.29
Tracciato Rio Ro	34.8	PF 1	3.07	312.18	312.33	312.80	317.39	0.326764	9.96	0.31	2.00	8.10
Tracciato Rio Ro	33	PF 1	3.07	312.16	312.33	312.78	316.62	0.252237	9.17	0.33	2.00	7.16
Tracciato Rio Ro	32.7	PF 1	3.07	311.38	311.54	312.00	316.49	0.316770	9.86	0.31	2.00	7.98
Tracciato Rio Ro	31	PF 1	3.07	311.36	311.53	311.98	315.74	0.245318	9.09	0.34	2.00	7.06
Tracciato Rio Ro	30.6	PF 1	3.07	310.36	310.51	310.98	315.60	0.329769	9.99	0.31	2.00	8.13
Tracciato Rio Ro	25	PF 1	3.07	310.19	310.38	310.81	313.85	0.181347	8.25	0.37	2.00	6.11
Tracciato Rio Ro	15	PF 1	3.07	309.87	310.16	310.43	311.27	0.185468	4.67	0.66	2.56	2.95

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.



*Figura 28 Corso d'acqua in03-Rio Rosciano - Sezioni tipo sistemazione idraulica*



#### 4.10 Inalveazione IN04-Rio Erbosa

L'inalveazione interferisce con il nuovo tracciato stradale alla pk 7+650.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 4.99 m<sup>3</sup>/s.

Si evidenzia che, allo stato attuale, non è presente alcun attraversamento stradale, e il canale non presenta alcun tombamento.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

##### 4.10.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 100 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 1.8% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 1.5%. Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.



**Figura 29 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa - Configurazione Ante Operam**

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

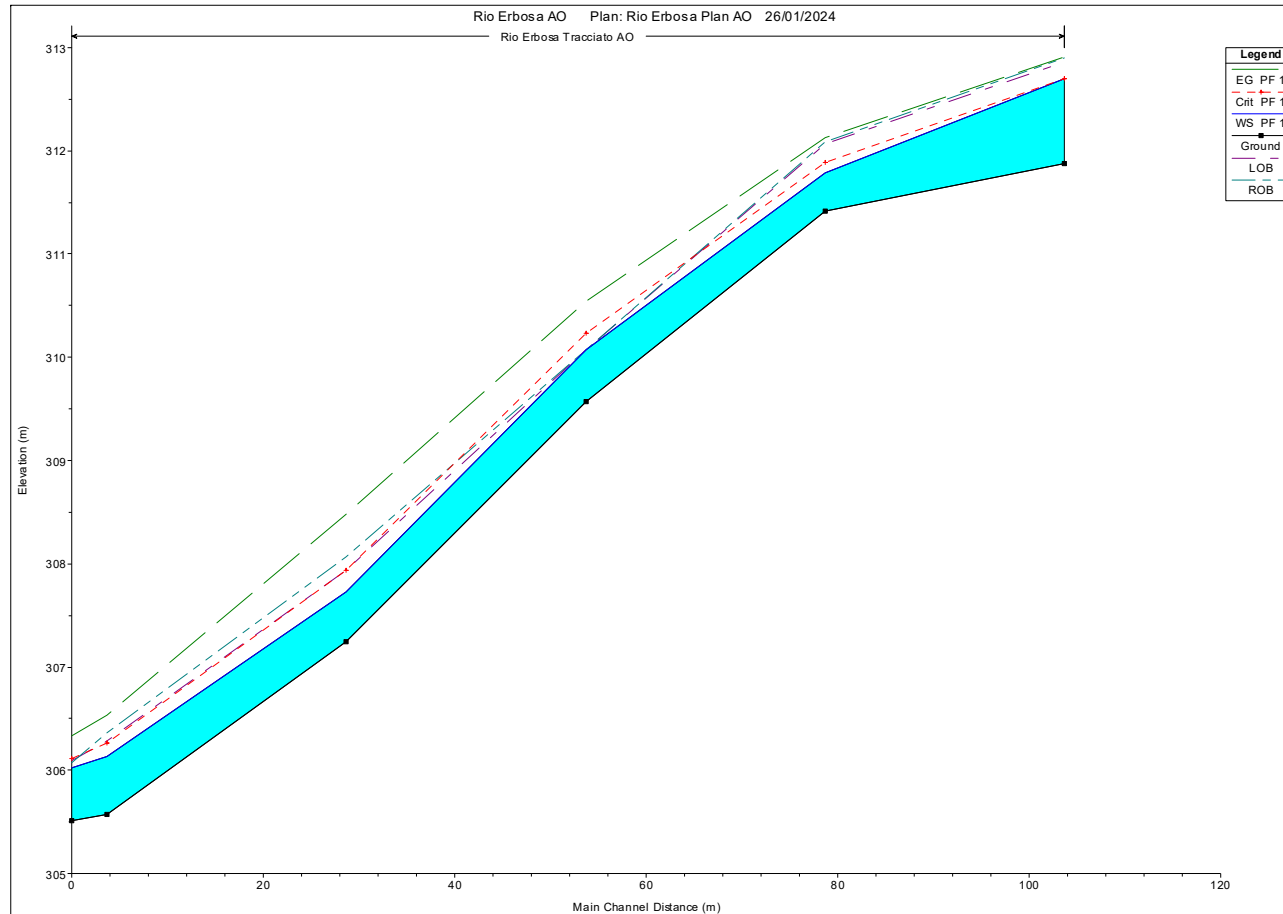


Figura 30 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 59 di 106

*Tabella 15 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni*

HEC-RAS Plan: Rio Erbosa Plan AO River: Rio Erbosa Reach: Tracciato AO Profile: PF 1

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
Tracciato AO	104	PF 1	4.99	311.88	312.70	312.70	312.91	0.017483	2.04	2.45	5.82	1.00
Tracciato AO	79	PF 1	4.99	311.42	311.78	311.89	312.12	0.068666	2.58	1.93	9.46	1.82
Tracciato AO	54	PF 1	4.99	309.57	310.07	310.23	310.54	0.057286	3.04	1.65	6.14	1.76
Tracciato AO	29	PF 1	4.99	307.25	307.73	307.94	308.48	0.124665	3.84	1.30	5.30	2.48
Tracciato AO	4	PF 1	4.99	305.57	306.13	306.26	306.53	0.048749	2.79	1.79	5.94	1.62
Tracciato AO	0	PF 1	4.99	305.51	306.03	306.12	306.34	0.040577	2.47	2.02	7.11	1.48

#### 4.10.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 4.99 m<sup>3</sup>/s.

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 190 m.

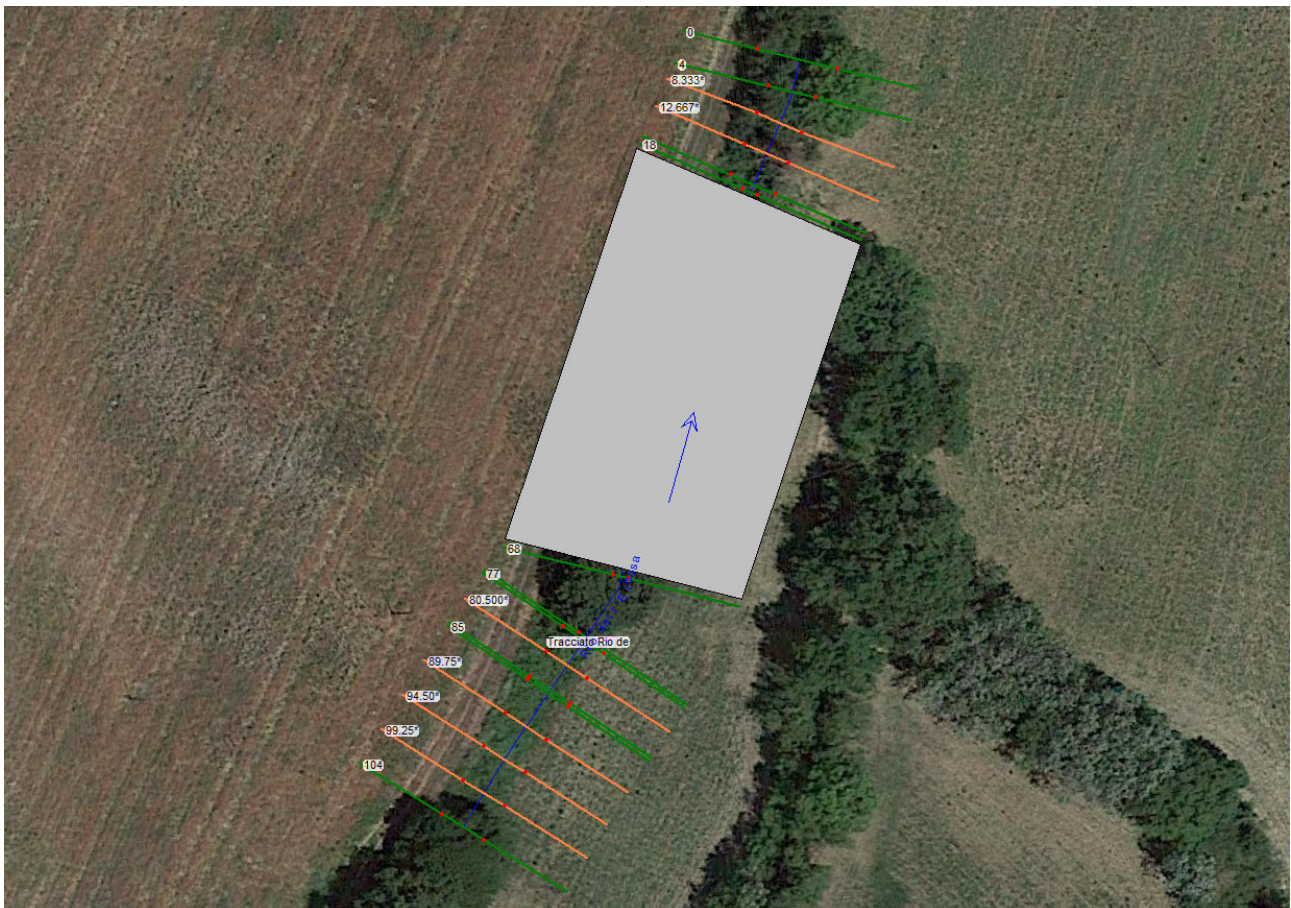
Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 1% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 1%.

Il progetto prevede l'inserimento di un manufatto scatolare 2x2 [m] e di lunghezza 48 [m].

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti 2.0x2.0 [m] aventi sponde 3:2, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.

La pendenza media dei tombini e del tratto risistemato sia a monte dell'opera che a valle di essa, è pari a l'1.2%.

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenuti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.



*Figura 31 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa - Configurazione Post Operam (P.O.)*

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

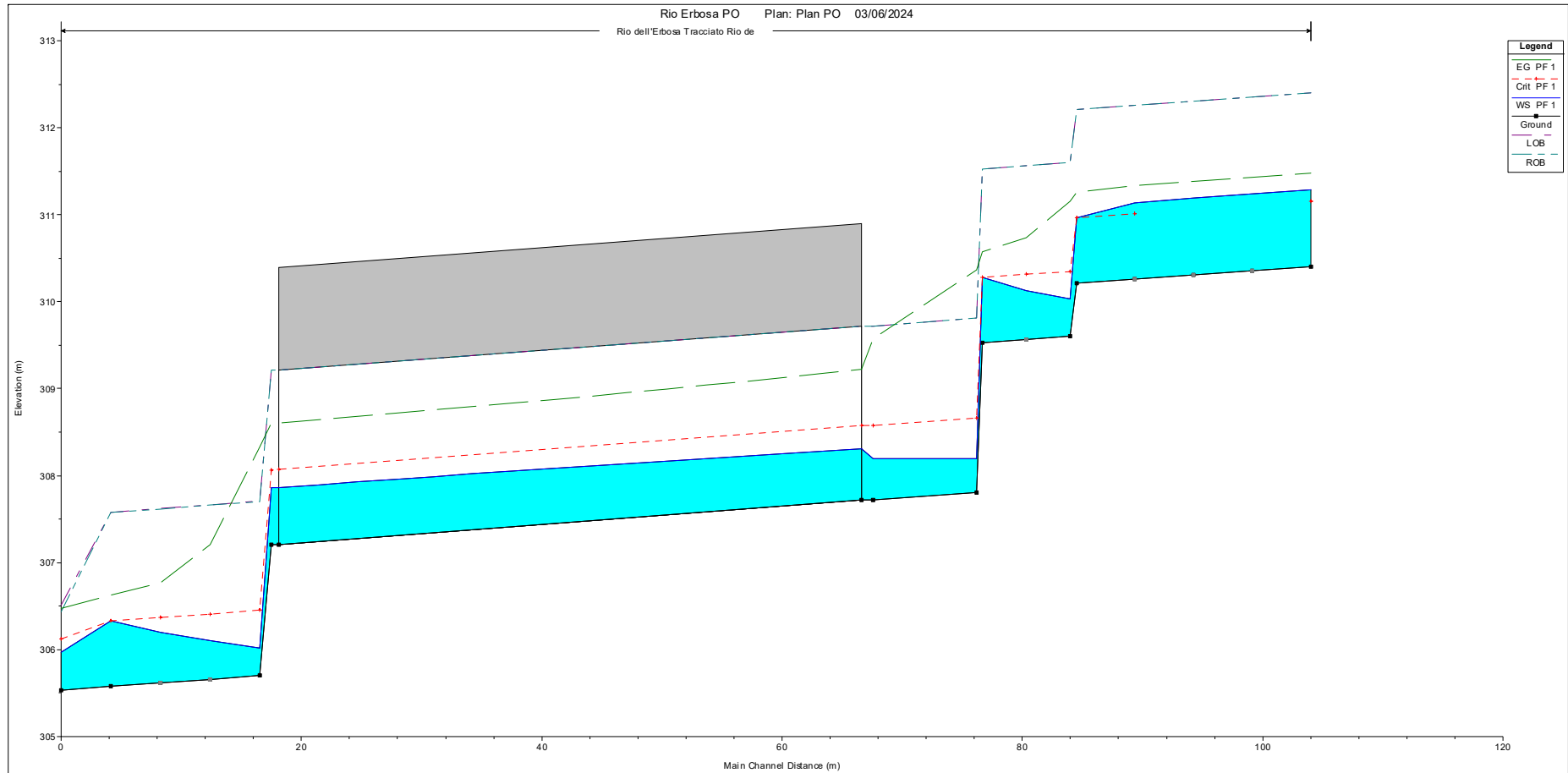


Figura 32 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 63 di 106

Tabella 16 - Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa- Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan PO River: Rio dell'Erbosa Reach: Tracciato Rio de Profile: PF 1

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
Tracciato Rio de	104	PF 1	4.99	310.40	311.29	311.15	311.48	0.009645	1.95	2.57	3.78	0.75
Tracciato Rio de	85	PF 1	4.99	310.21	310.96	310.96	311.26	0.018039	2.42	2.06	3.50	1.01
Tracciato Rio de	84	PF 1	4.99	309.60	310.04	310.35	311.16	0.118531	4.69	1.06	2.87	2.46
Tracciato Rio de	77	PF 1	4.99	309.53	310.28	310.28	310.58	0.018044	2.42	2.06	3.50	1.01
Tracciato Rio de	76	PF 1	4.99	307.81	308.19	308.67	310.37	0.290375	6.53	0.76	2.00	3.38
Tracciato Rio de	68	PF 1	4.99	307.72	308.20	308.58	309.58	0.027309	5.20	0.96	2.00	2.40
Tracciato Rio de	50		Culvert									
Tracciato Rio de	18	PF 1	4.99	307.21	307.86	308.07	308.61	0.061315	3.81	1.31	2.00	1.50
Tracciato Rio de	17	PF 1	4.99	305.70	306.02	306.45	308.33	0.339519	6.72	0.74	2.62	4.04
Tracciato Rio de	4	PF 1	4.99	305.58	306.33	306.33	306.63	0.017859	2.41	2.07	3.51	1.00
Tracciato Rio de	0	PF 1	4.99	305.53	305.97	306.12	306.48	0.074253	3.16	1.58	6.02	1.97

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.

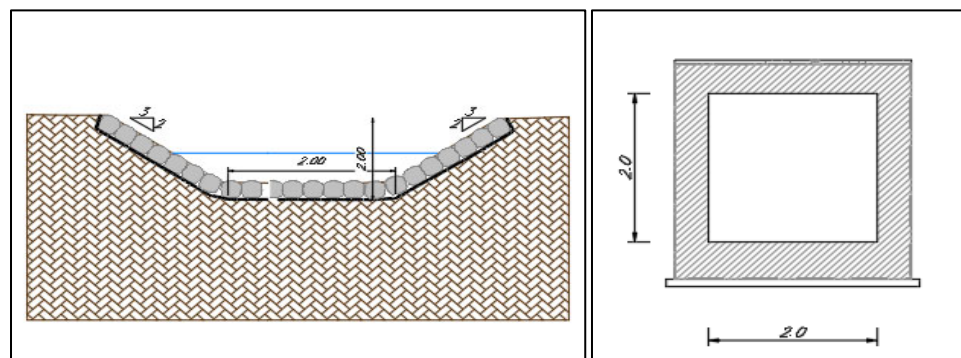


Figura 33 Corso d'acqua IN04-Rio Erbosa- Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino

progettazione ati:

Pag. 64 di 106



#### 4.11 Inalveazione IN06-Rio Paradiso

L'inalveazione interferisce con il nuovo tracciato stradale alla pk 8+375.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 5.64 m<sup>3</sup>/s.

Si evidenzia che, allo stato attuale, non è presente alcun attraversamento stradale, e il canale non presenta alcun tombamento.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale all'interno dell'alveo sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scatolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

##### 4.11.1 Simulazione numerica Ante Operam

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 150 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte (tratto unico) pari al 6.7% (pendenza media tra le prime sezioni nel tratto iniziale del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 0.6%. Il tracciato planimetrico e le sezioni utilizzate nello studio idraulico sono stati ricavati da Lidar.



*Figura 34 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Configurazione Ante Operam*

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

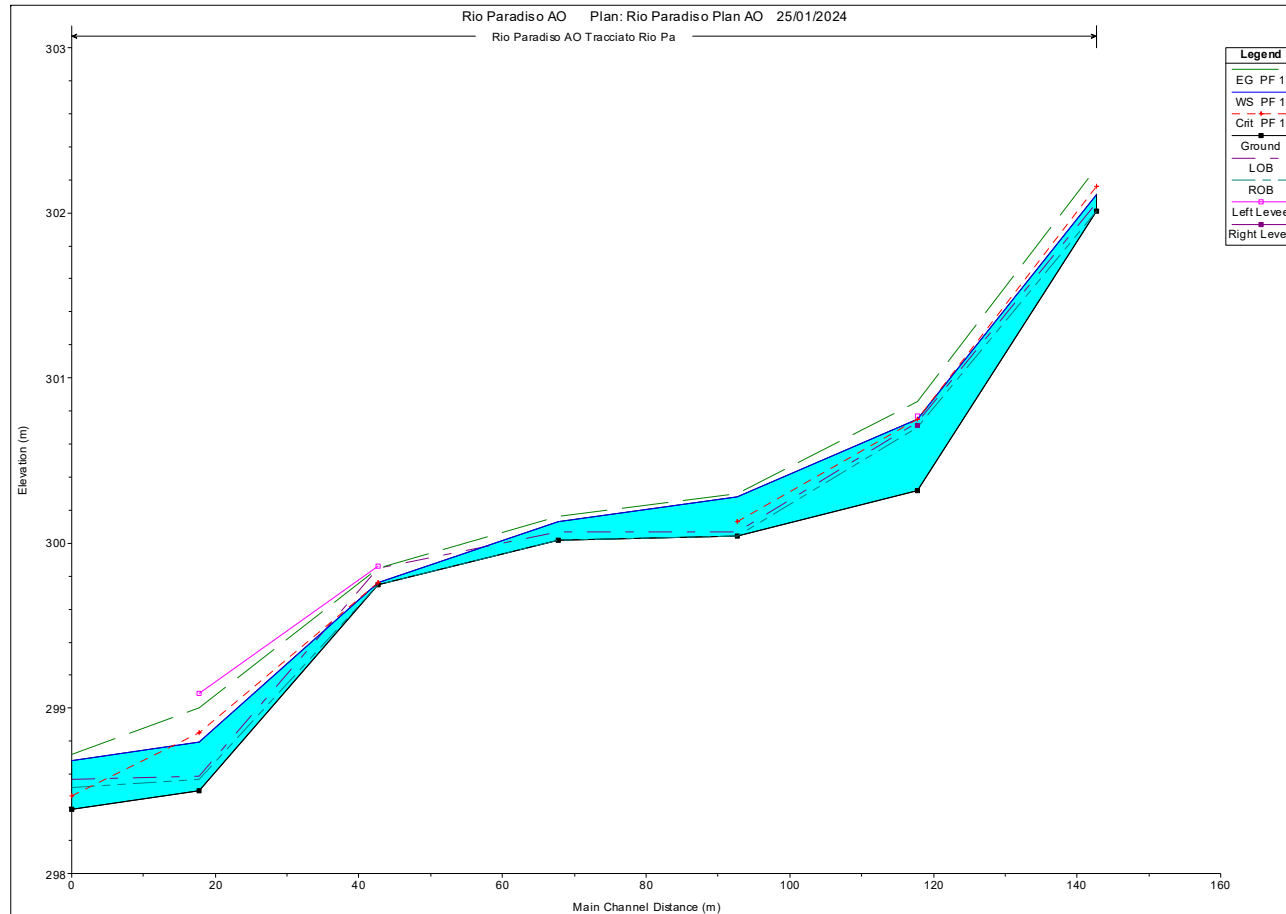


Figura 35 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Profilo idrico Ante Operam (A.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 67 di 106

*Tabella 17 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Risultati simulazione Ante Operam (A.O.) T=200 Anni*

HEC-RAS Plan: Rio Paradiso Plan AO River: Rio Paradiso AO Reach: Tracciato Rio Pa Profile: PF 1

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
Tracciato Rio Pa	143	PF 1	5.64	302.01	302.11	302.16	302.27	0.060066	1.27	3.56	30.00	1.46
Tracciato Rio Pa	118	PF 1	5.64	300.32	300.75	300.75	300.86	0.019040	1.52	4.29	21.17	0.99
Tracciato Rio Pa	93	PF 1	5.64	300.04	300.28	300.13	300.30	0.003930	0.66	9.43	30.00	0.45
Tracciato Rio Pa	68	PF 1	5.64	300.02	300.13		300.16	0.007808	0.50	7.56	30.00	0.54
Tracciato Rio Pa	43	PF 1	5.64	299.75	299.76	299.76	299.85	0.023002	0.14	4.30	15.83	0.58
Tracciato Rio Pa	18	PF 1	5.64	298.50	298.79	298.85	299.00	0.051756	2.62	3.14	15.47	1.65
Tracciato Rio Pa	0	PF 1	5.64	298.39	298.68	298.47	298.72	0.005003	0.70	6.77	16.08	0.49

#### 4.11.2 Simulazione numerica Post Operam

Come nel modello Ante Operam, anche nel Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 5.64 m<sup>3</sup>/s.

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 245 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 0.8% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 1.0%.

Il progetto prevede l'inserimento di tre manufatti scatolare 2.5x2.5 [m] e di lunghezza pari a 8,34 e 14 [m] procedendo da monte verso valle.

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale con sezioni trapezoidali a massi sciolti 2.0x2.0 [m] aventi sponde 3:2, banche di larghezza 1 m e salti idraulici al fine di mantenere una pendenza che garantisca velocità compatibili con la sistemazione prevista.

La pendenza media dei tombini e del tratto risistemato sia a monte dell'opera che a valle di essa, è pari all'1 [%].

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenuti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.



Figura 36 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Configurazione Post Operam (P.O.)

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

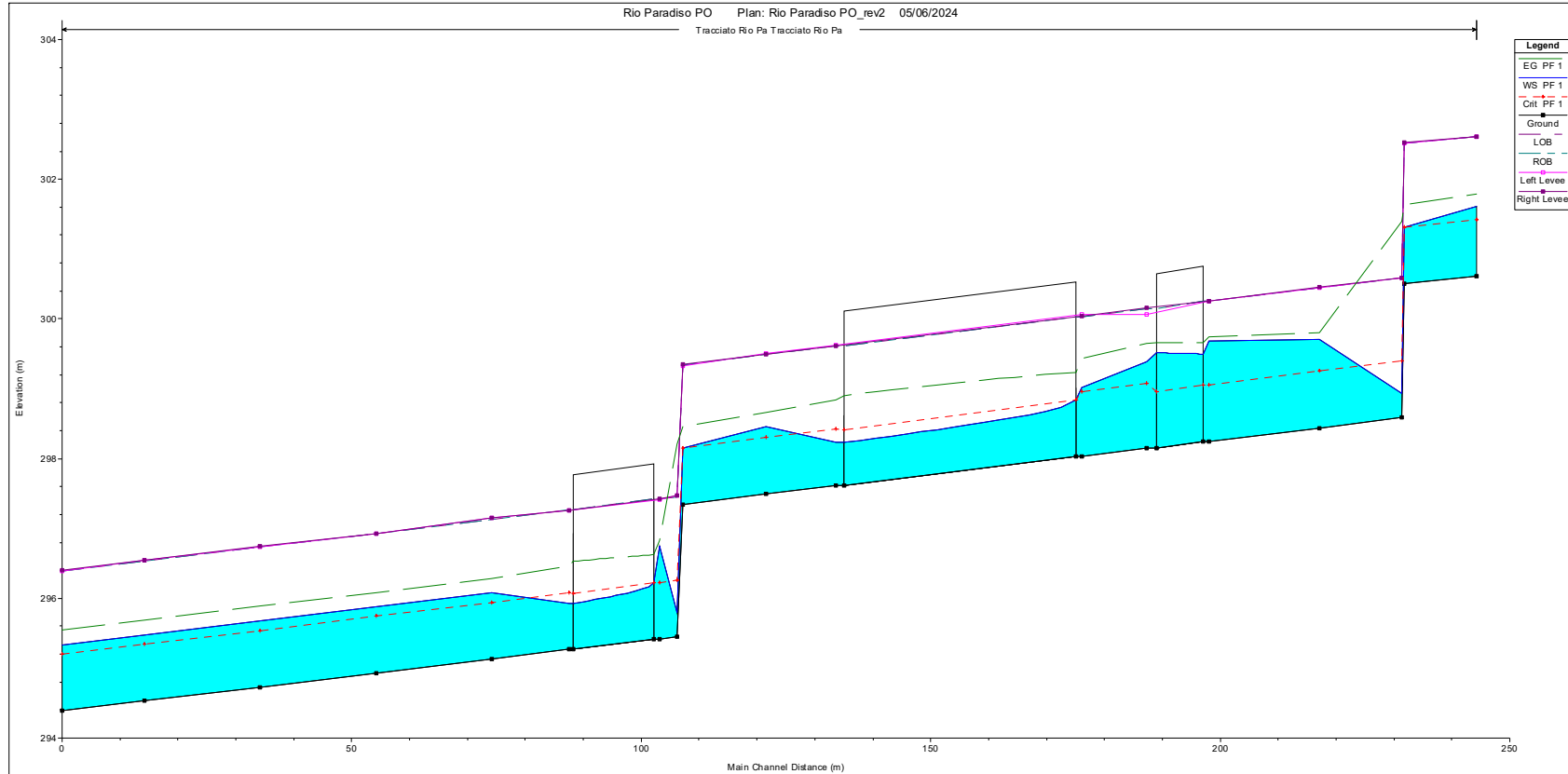


Figura 37 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 71 di 106

Tabella 18 - Corso d'acqua IN06-Rio Paradiso - Risultati simulazione Post Operam (A.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Rio Paradiso PO\_rev2 River: Tracciato Rio Pa Reach: Tracciato Rio Pa Profile: PF 1

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
Tracciato Rio Pa	247	PF 1	5.64	300.61	301.61	301.42	301.79	0.008150	1.88	3.00	4.00	0.69
Tracciato Rio Pa	235	PF 1	5.64	300.51	301.32	301.32	301.63	0.017793	2.49	2.26	3.61	1.01
Tracciato Rio Pa	234	PF 1	5.64	298.59	298.94	299.40	301.39	0.334051	6.94	0.81	2.69	4.04
Tracciato Rio Pa	220	PF 1	5.64	298.44	299.71	299.26	299.81	0.003398	1.36	4.14	4.53	0.46
Tracciato Rio Pa	201	PF 1	5.64	298.25	299.68	299.06	299.75	0.002138	1.15	4.91	4.86	0.37
Tracciato Rio Pa	195		Culvert									
Tracciato Rio Pa	190	PF 1	5.64	298.15	299.39	299.08	299.65	0.013928	2.27	2.48	2.00	0.65
Tracciato Rio Pa	179	PF 1	5.64	298.03	299.02	298.96	299.43	0.025310	2.85	1.98	2.00	0.92
Tracciato Rio Pa	150		Culvert									
Tracciato Rio Pa	137	PF 1	5.64	297.61	298.23	298.42	298.84	0.044805	3.46	1.63	3.24	1.56
Tracciato Rio Pa	125	PF 1	5.64	297.49	298.46	298.30	298.66	0.009396	1.98	2.85	3.91	0.74
Tracciato Rio Pa	110	PF 1	5.64	297.34	298.15	298.15	298.46	0.017644	2.48	2.27	3.62	1.00
Tracciato Rio Pa	109	PF 1	5.64	295.45	295.80	296.26	298.21	0.323977	6.87	0.82	2.70	3.98
Tracciato Rio Pa	106	PF 1	5.64	295.42	296.74	296.23	296.83	0.002895	1.29	4.39	4.64	0.42
Tracciato Rio Pa	100		Culvert									
Tracciato Rio Pa	91	PF 1	5.64	295.27	295.93	296.08	296.46	0.036493	3.22	1.75	3.32	1.42
Tracciato Rio Pa	77	PF 1	5.64	295.13	296.08	295.94	296.28	0.009997	2.02	2.79	3.89	0.76
Tracciato Rio Pa	57	PF 1	5.64	294.93	295.88	295.74	296.08	0.009994	2.02	2.79	3.89	0.76
Tracciato Rio Pa	37	PF 1	5.64	294.73	295.88	295.54	295.89	0.009982	2.02	2.79	3.89	0.76
Tracciato Rio Pa	17	PF 1	5.64	294.53	295.48	295.34	295.69	0.009931	2.02	2.79	3.90	0.76
Tracciato Rio Pa	3	PF 1	5.64	294.39	295.34	295.20	295.54	0.010002	2.02	2.79	3.89	0.76

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.

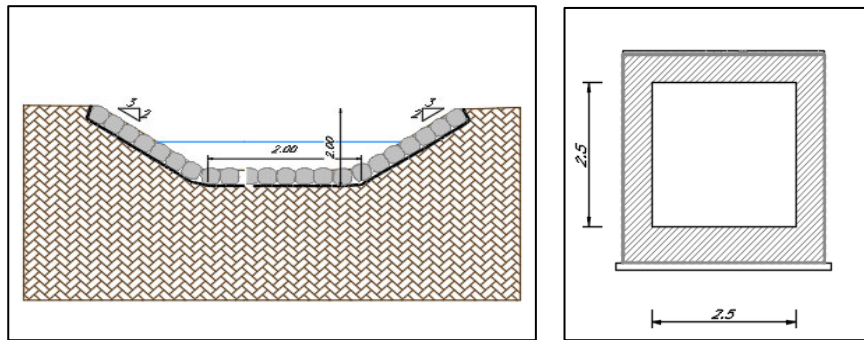


Figura 38 Corso d'acqua Rio Paradiso - Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino



## 4.12 Tombino TM01

Il tombino in oggetto interferisce con il tracciato di progetto alla pk. 0+440.

La portata di progetto, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 25.35 m<sup>3</sup>/s.

Per poter definire le quote dell'opera di progetto, affinché questo risulti compatibile con i franchi minimi di sicurezza imposti dalle NTC2018, sono state eseguite delle simulazioni numeriche con il software HEC-RAS v. 6.2 in moto permanente monodimensionale per la portata di tempo di ritorno 200 anni, per lo stato di progetto (P.O.).

Al fine di garantire il deflusso della piena due-centennale, sono state dimensionate delle opere di sistemazione idraulica, prevedendo un nuovo scatolare di progetto e il ripristino di una sezione a cielo aperto.

### 4.12.1 Simulazione numerica Post Operam

Nel modello Post Operam (P.O.) la portata imposta come input di monte nel modello, relativa ad un tempo di ritorno di 200 anni, è pari a 25.35 m<sup>3</sup>/s.

Il tratto oggetto di modellazione numerica si estende per circa 140 m.

Le condizioni al contorno imposte nel modello sono state: pendenza di moto uniforme a monte pari a 1% (pendenza media delle prime sezioni a monte del corso d'acqua) e pendenza di moto uniforme a valle pari a 0.7%.

Il progetto prevede l'inserimento di un manufatto scatolare 4x4.5 [m] e di lunghezza pari a 60 [m].

La sistemazione idraulica prevede la riprofilatura del canale a valle con sezione rettangolare 4.0x4.0 [m].

La pendenza del tombino è pari a l'1 [%].



Figura 39 – Tombino TM01- Configurazione Post Operam (P.O.)

Di seguito si riportano i profili di rigurgito e i tabulati contenenti i risultati ottenuti per gli scenari di portata studiati.

I risultati delle simulazioni effettuate sono riassunti in appositi tabulati contenenti: 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 - m2*); larghezza del pelo libero (*Top Width - m*).

RELAZIONE IDRAULICA DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

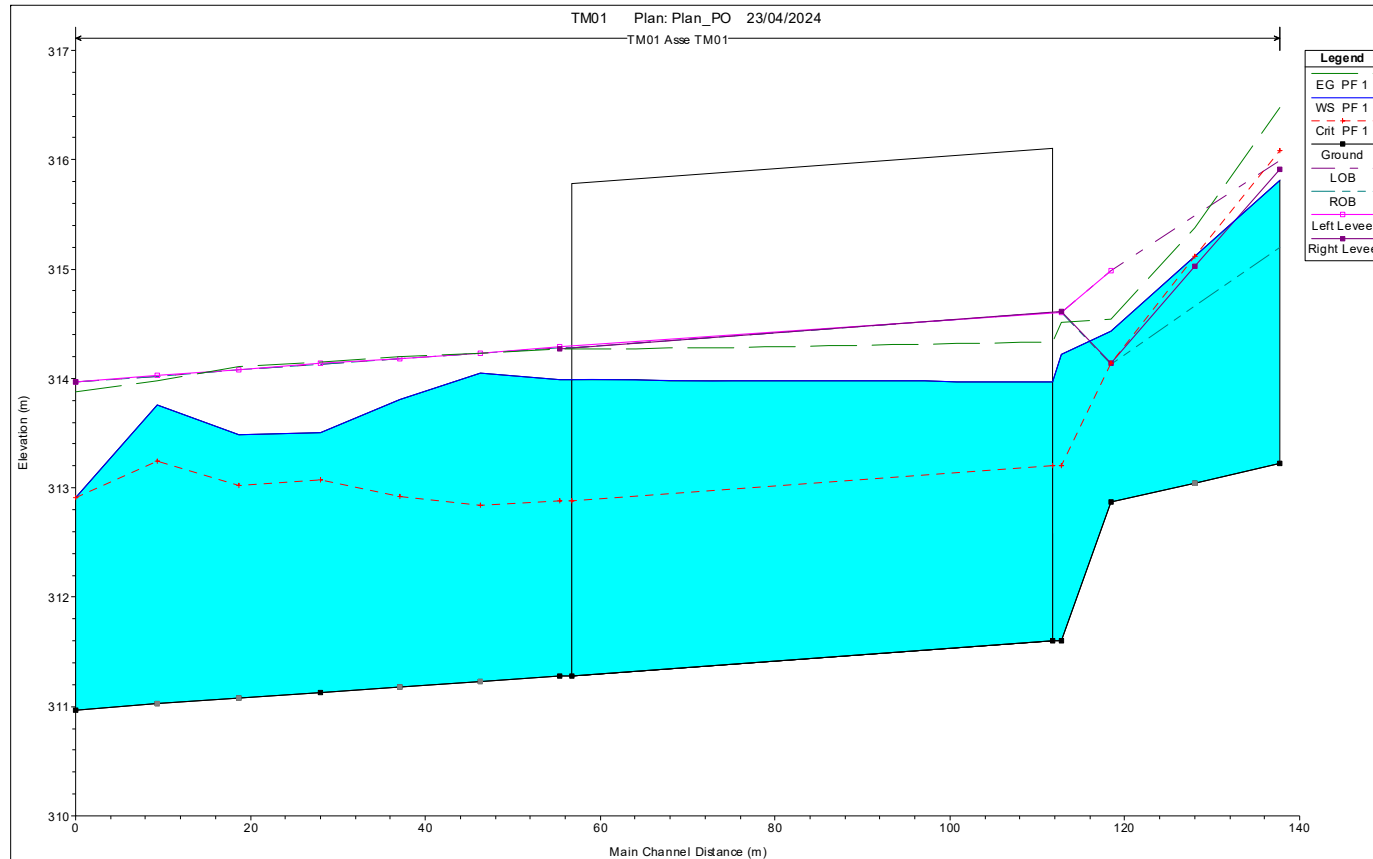


Figura 40 – TM01 - Profilo idrico Post Operam (P.O.) T=200 Anni

progettazione ati:

Pag. 75 di 106

Tabella 19 – Tombino TM01 - Risultati simulazione Post Operam (P.O.) T=200 Anni

HEC-RAS Plan: Plan\_PO River: TM01 Reach: Asse TM01 Profile: PF 1

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
Asse TM01	-1	PF 1	25.35	313.22	315.81	316.08	316.48	0.018024	3.75	8.04	11.01	1.00
Asse TM01	-2	PF 1	25.35	312.87	314.44	314.14	314.55	0.005398	1.63	17.27	16.45	0.56
Asse TM01	-3	PF 1	25.35	311.60	314.22	313.20	314.52	0.001118	2.42	10.46	4.00	0.48
Asse TM01	-3.5		Culvert									
Asse TM01	-4	PF 1	25.35	311.28	313.99	312.88	314.27	0.001024	2.34	10.82	4.00	0.45
Asse TM01	-5	PF 1	25.35	311.13	313.50	313.07	314.15	0.003194	3.56	7.12	3.00	0.74
Asse TM01	-6	PF 1	25.35	310.97	312.91	312.91	313.88	0.005332	4.35	5.82	3.00	1.00

Nelle seguenti immagini si riportano le sezioni tipologiche adottate per le sistemazioni in progetto.

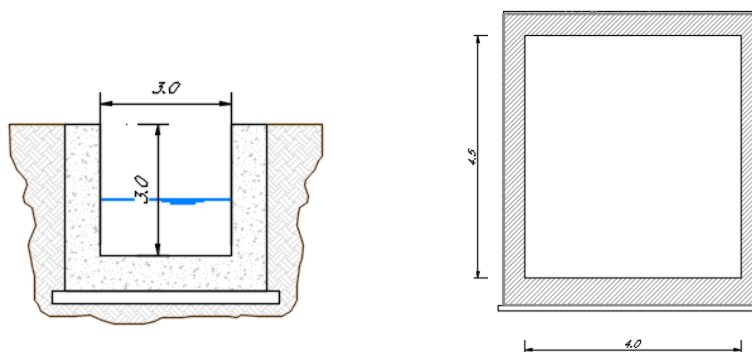
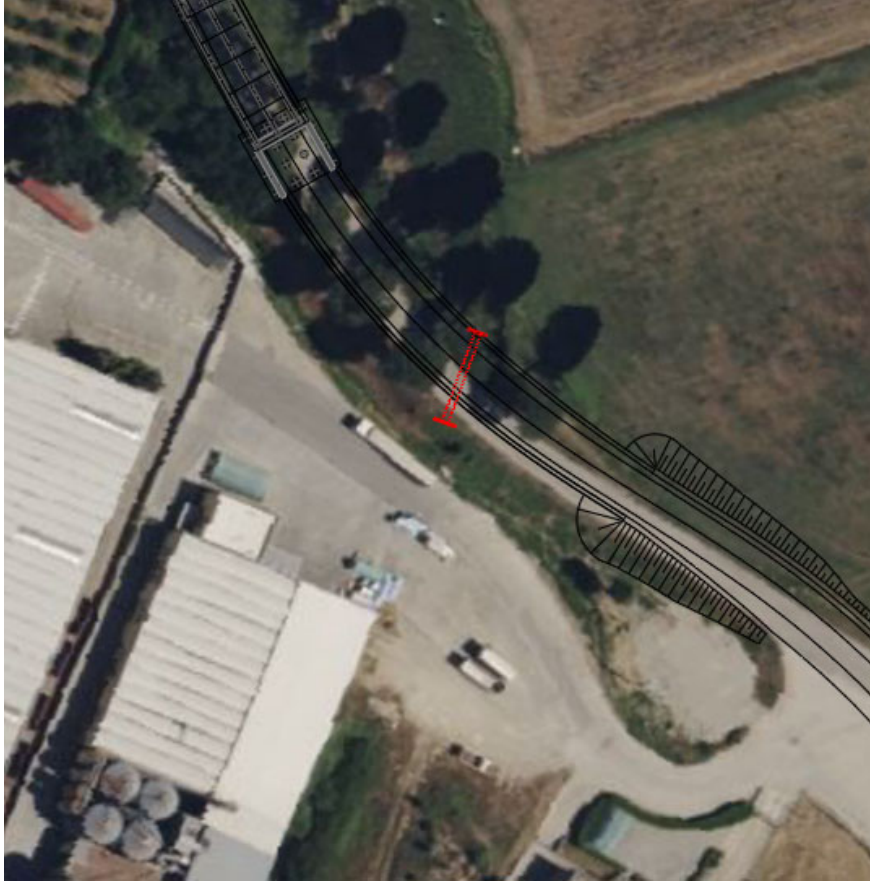


Figura 41 Tombino TM01 - Sezioni tipo sistemazione idraulica e tombino

#### 4.13 Tombino TM08

Il tombino in oggetto interferisce con la viabilità di progetto VS.02 – SP42.



*Figura 42 – Tombino TM08*

Per l'opera in esame è stato previsto il prolungamento del tombino esistente per garantire la trasparenza idraulica dell'intervento di progetto. Non avendo però nessuna informazione in merito al tombino esistente e nessun rilievo della zona in esame, si rimanda alla successiva fase progettuale per prevedere un adeguato dimensionamento dell'opera in oggetto e dell'inalveazione ad esso relativa.

#### 4.14 Verifica compatibilità idraulica HEC-RAS

Nel presente capitolo sono riepilogati tutti i franchi idraulici dei nuovi manufatti. Come previsto dalle NTC 2018 e dalla Circolare 2019, per la tipologia di attraversamento idraulico (tombini) in esame, è previsto un massimo grado di riempimento pari ai 2/3 della sezione utile.

*Tabella 20 - Verifica idraulica nuovi tombini in Hec-Ras*

Corso d'acqua di riferimento	WBS	Pk	Base	Altezza	Tipologia	Altezza acqua	Grado Riempimento	Franco Idraulico
			[m]	[m]		[m]	[%]	[m]
IN05 Rio km 8+025	TM11	8+025	1.5	1.5	Circolare	0.2	13%	1.3
		8+025	1.5	1.5	Circolare	0.5	33%	1
IN02 Rio km 4+500	TM09	4+500	2	2	Scatolare	1.3	65%	0.7
IN01 Fosso della Centena	TM02	2+250	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	1.7	49%	1.8
	TM03	2+310	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	1.7	49%	1.8
	TM04	2+675	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	1.7	49%	1.8
	TM05	2+6975	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	1.9	54%	1.6
	TM06	3+025	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	1.9	54%	1.6
	TM07	3+910	3.5	3.5	Doppia canna scatolare	2	57%	1.5
IN03 Rio Rosciano	-	7+400						
IN06 Rio Paradiso		8+375	2	2	Scatolare	1.36	68%	0.64
	TM12	8+375	2	2	Scatolare	1.37	69%	0.63
IN04 Rio Erbosa	TM10	7+650	2	2	Scatolare	0.59	30%	1.41
	TM01	0+400	4	4.5	Scatolare	2.71	60%	1.79

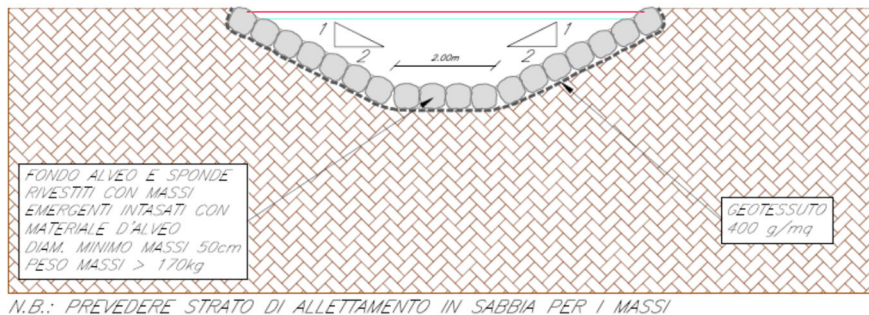
## 5 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI DEL FONDO E DELLE SPONDE

Stante il carattere torrentizio dei corsi d'acqua è stato previsto di proteggere le zone in prossimità degli attraversamenti di progetto mediante massi sciolti intasati con materiale d'alveo.

Essendo la maggior parte degli attraversamenti in aperta campagna, si ritiene tra le altre cose, che tali tipologie di protezione siano meno impattanti dal punto di vista paesaggistico rispetto ad altre.

Nel caso di rivestimento in massi sciolti, tra il terreno naturale ed i massi è prevista la posa di un geotessuto di massa non inferiore ai 400 gr/m<sup>2</sup>, prevedendo uno strato di allettamento in sabbia al fine di non danneggiarlo durante le operazioni di posa.

Nella figura seguente è riportata una sezione tipo delle sistemazioni previste delle quali si tratterà nel dettaglio nei singoli paragrafi dei vari corsi d'acqua.



**Figura 43 - Sezione tipo protezione in massi sciolti**

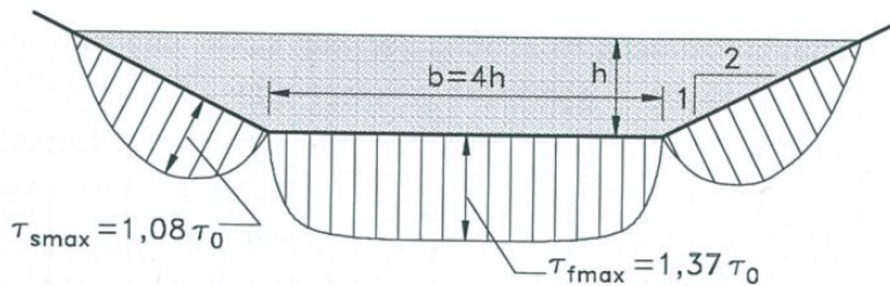
Considerate, inoltre, le pendenze longitudinali spesso elevate, a monte e a valle del rivestimento in massi sciolti è previsto un tratto di sviluppo minimo pari a circa 5.0 m in massi di raccordo con il canale esistente o con il piano campagna.

Nel caso di massi sciolti, il diametro dei massi è stato verificato con la metodologia proposta da Shields di seguito descritta.

### 5.1 Approccio secondo Shields

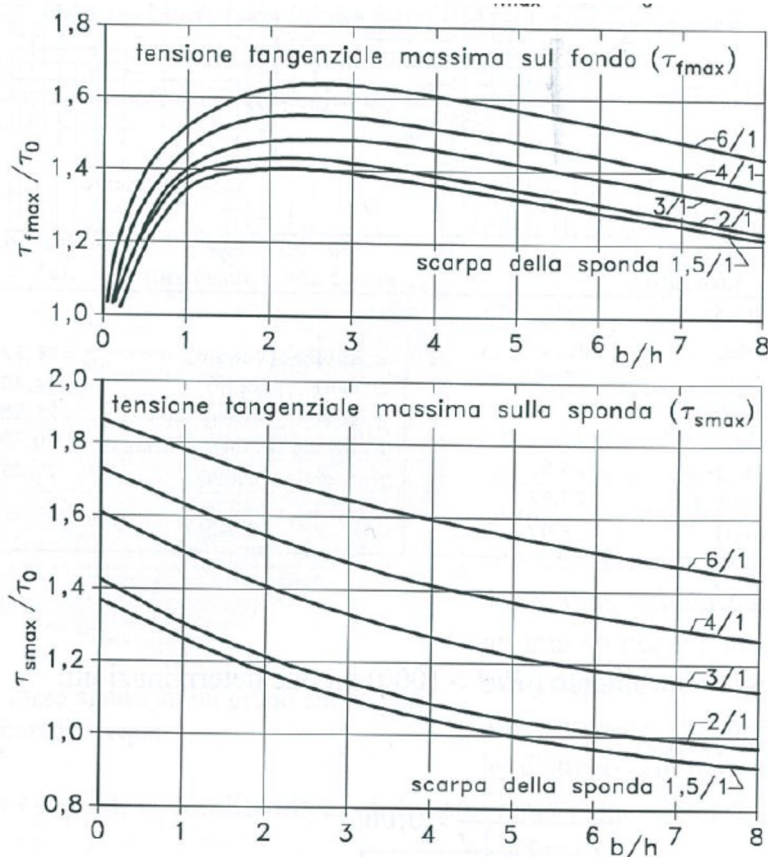
Seguendo questo approccio, si è verificato che il rapporto tra la tensione tangenziale critica del rivestimento di progetto e la tensione tangenziale massima derivante dalle modellazioni monodimensionali fosse sempre superiore a 1.

È da precisare che la distribuzione delle tensioni tangenziali è strettamente legata alla forma della sezione. Infatti, è prossima a quella media solo quando la sezione è larga rispetto al tirante idrico e approssimativamente rettangolare. Un esempio della distribuzione delle tensioni tangenziali per una sezione trapezia, di dimensioni modeste, è raffigurato nella figura seguente, dove  $\tau_0$  rappresenta la tensione tangenziale media nella sezione.



**Figura 44 - Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia**

Il valore della tensione tangenziale massima sul fondo e sulle sponde, in una sezione, può essere ottenuto applicando al valore medio i fattori correttivi ricavati dagli abachi sperimentali riportati in **Figura 45**, in funzione del rapporto tra base della sezione e altezza del tirante idrico ( $b/h$ ) e dell'inclinazione della sponda. Pertanto, per gli alvei a sezione trapezoidale con un rapporto  $b/h$  minore di 8, sono state calcolate le tensioni massime al fondo e sulle sponde, applicando, al massimo tra i valori medi ottenuti dalle simulazioni monodimensionali nelle sezioni oggetto di sistemazione, i parametri correttivi precedentemente indicati.



**Figura 45 - Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima**

progettazione ati:

Pag. 80 di 106



E' da precisare che laddove i fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima sulle sponde risultassero inferiori all'unità, non sono stati applicati in ragione di sicurezza.

Invece, per gli alvei con un rapporto b/h maggiore di 8, la tensione tangenziale è stata assunta pari a quella massima tra i valori medi nelle sezioni oggetto di sistemazione ottenuti dalle simulazioni monodimensionali, sia per l'alveo che per le sponde.

Nel caso in cui le sezioni risultassero larghe, ma con presenza di curve a monte dell'attraversamento o singolarità che potessero far temere incrementi locali di velocità e conseguentemente di tensione tangenziale, la velocità media nella sezione è stata aumentata di un fattore 1.5. Con il nuovo valore di velocità è stata ricalcolata la cadente piezometrica così come la tensione tangenziale al fondo di verifica.

Il calcolo della tensione critica è stato effettuato utilizzando il criterio di Shields, ossia:

$$\tau_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d$$

Con :

$\gamma_s$  peso specifico dei massi

$\gamma_w$  peso specifico dell'acqua

$d$  diametro del masso

Nei casi in cui vi fosse presenza di bassa sommergenza dei massi, ossia il rapporto tra tirante e diametro fosse inferiore a 6, è stato invece applicato al criterio di Shields il fattore correttivo di Armanini e Scott.

$$\tau_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d \cdot \left( 1 + 0.67 \cdot \left( \frac{d}{h} \right)^{0.5} \right)$$

con:

$h$  tirante idrico

Poiché le relazioni indicate valgono nel caso di fondo piano, la tensione tangenziale critica sulle sponde è stata calcolata applicando il criterio di Lane, ossia applicando un fattore correttivo pari a  $K_1$  che vale:

$$K_1 = \frac{\tau_{cr}(\alpha)}{\tau_{cr}(0)} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \varphi}}$$

dove:

$\tau_{cr}(\alpha)$  è la tensione tangenziale critica sulla sponda

$\tau_{cr}(0)$  è la tensione tangenziale critica sul fondo

$\alpha$  l'angolo di inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale

$\varphi$  l'angolo d'attrito dei massi

progettazione ati:

Pag. 81 di 106

Per quanto concerne quest'ultimo valore esso è stato assunto ovunque pari a 45°.

	Tensioni agenti sul fondo	Tensioni agenti sulle sponde	Tensione critica sul fondo	Tensione critica sulle sponde	F <sub>0</sub>	F <sub>α</sub>
WBS	$\tau_{\max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\tau_{\max}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\tau_{cr}$ (N/m <sup>2</sup> )	$\tau_{cr\alpha}$ (N/m <sup>2</sup> )		
IN04	441	339	825	505	1.9	1.5
IN06	305	240	773	473	2.5	2.0
IN03	531	383	913	559	1.7	1.5
IN02	414	326	757	463	1.8	1.4
IN05	86	66	1000	612	11.7	9.3

*Tabella 21 – Verifica al trascinamento massi*

## 6 ANALISI IDRAULICHE BIDIMENSIONALI

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale è il software Hec-Ras 6.2 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione nel software Hec Ras sono:

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permette di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.
- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.

- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborato per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.
- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit

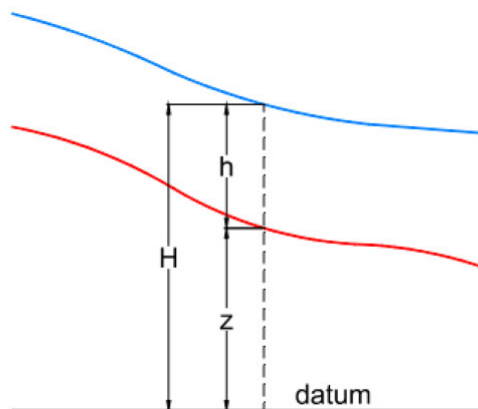


Figura 46 – Software Hec Ras 6.2 : sistema di riferimento.

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con  $z(x,y)$ , l'altezza idrica con  $h(x,y,t)$  e l'altezza del pelo libero con  $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$  (Figura 3).

**Conservazione della massa:** assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial(h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui  $t$  è il tempo,  $u$  e  $v$  sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni  $x$  e  $y$ , e  $q$  è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

**Conservazione della quantità di moto:** quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes.

In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $\nu_t$  è il coefficiente di viscosità turbolenta,  $c_f$  è il coefficiente di attrito al fondo, ed  $f$  è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $|V|$  è il modulo del vettore velocità,  $C$  è il coefficiente di Chézy e  $R$  è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning  $C = R^{1/6}/n$ , in cui  $n$  è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \cdot |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

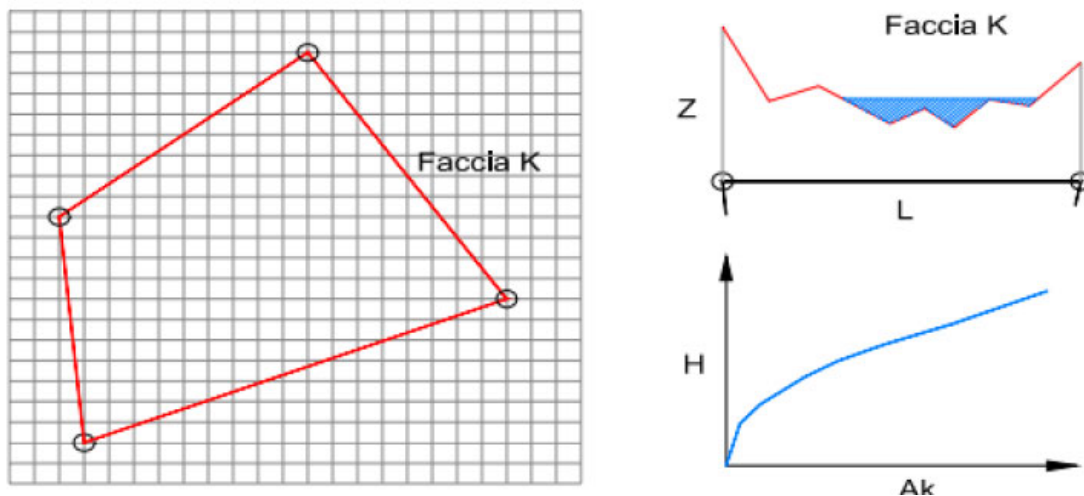


Figura 47 – Software Hec Ras 6.0: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Ras sulle facce del bordo della cella.

Nel nostro specifico caso la modellazione verrà effettuata utilizzando gli idrogrammi di piena al variare del tempo di ritorno.

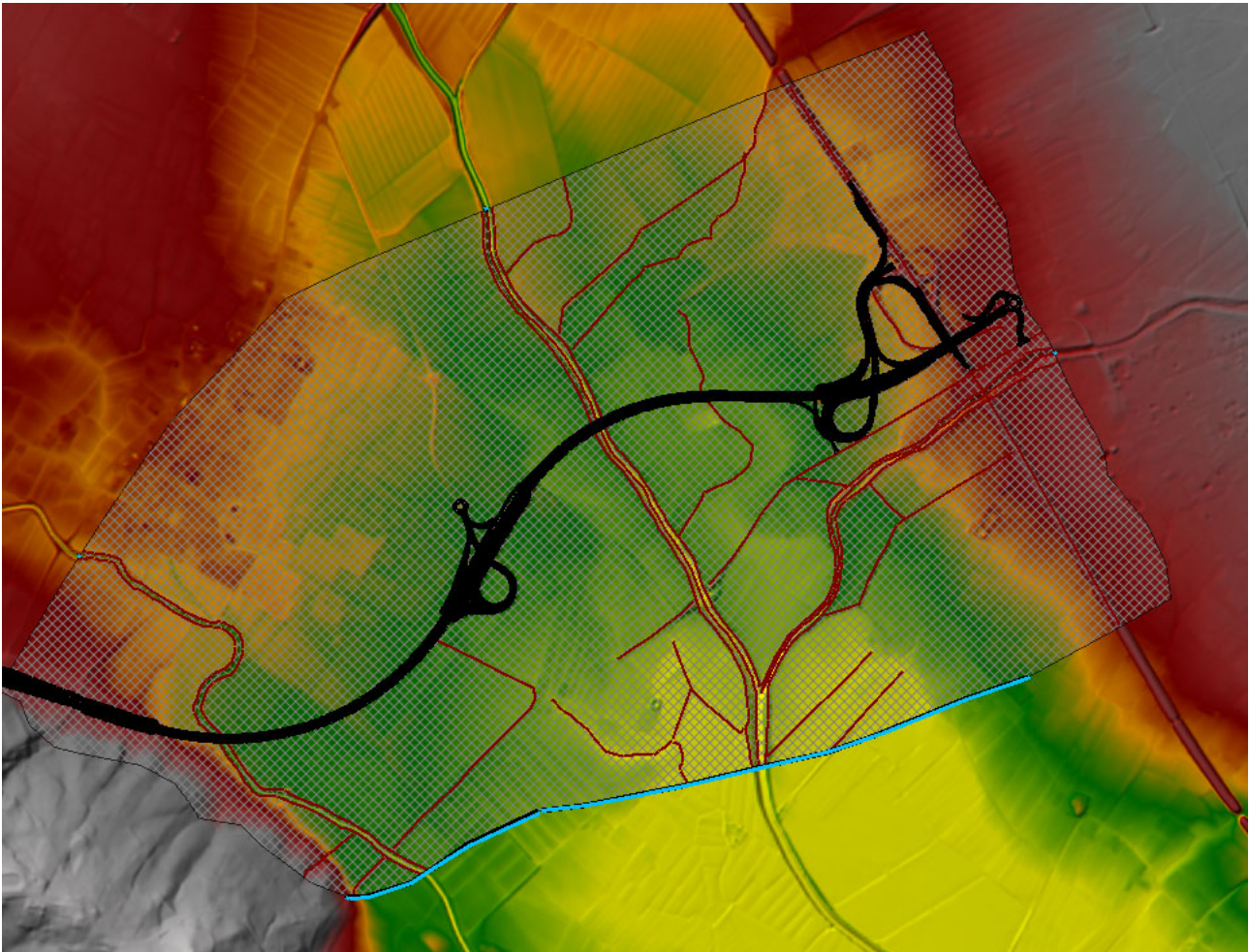
## 6.1 Modellazione Tevere-Sovara-Selci

È stato implementato un modello bidimensionale che comprende i tre corsi principali Tevere, Sovara e Selci in modo tale da verificare la compatibilità idraulica dell'intervento con la zona di riferimento vista la criticità dell'area e le frequenti inondazioni che la interessano. Il modello è stato implementato simulando un evento con tempo di ritorno duecentennale.

### 6.1.1 Creazione della mesh di calcolo

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

La geometria del modello sopra introdotta è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti. Il perimetro della mesh di calcolo è stato costruito sulla base dei bacini afferenti i canali di gronda.



*Figura 48 – Mesh di calcolo*

La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo mediante l'utilizzo di breaklines, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, muri ,rilevati, etc.

### 6.1.2 Scabrezze

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato può essere utile associare a quest'ultimo e quindi alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che simulino l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso. Questa variabilità spaziale viene creata mediante uno shapefile e inserita all'interno di HEC-RAS nel RAS Mapper. Successivamente mediante l'apposita finestra si assegnano i vari land use alle singole aree. Nell'immagine di seguito riportata si possono osservare i vari land use a cui corrispondono diversi valori di scabrezza che andranno a modificare le caratteristiche del deflusso all'interno della simulazione, come ad esempio velocità dell'acqua.



Figura 49– Shapefile del coefficiente di Manning.

Uso del suolo	Manning
Zone boscate	0.6
Zone agricole eterogenee	0.04
Seminativi	0.04
Zone urbanizzate di tipo residenziale	0.011
Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	0.011

Tabella 22– Tabella coefficienti di Manning.



### 6.1.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- Condizione al contorno di valle: è stata associata una condizione al contorno di tipo “normal depth” che prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del terreno lungo il bordo o con la pendenza dei canali di gronda;
- Input idrologico: sono stati inseriti gli idrogrammi di piena ricavati dal software HEC-HMS per TR 200 anni. Gli idrogrammi utilizzati (figure seguenti) sono stati ricavati da idrogrammi del tipo “Chicago” e sono stati riportati nel dettaglio nell’elaborato “T00ID00IDRRE01A”. Sono stati inseriti tre idrogrammi differenti per i tre bacini afferenti all’area di interesse.

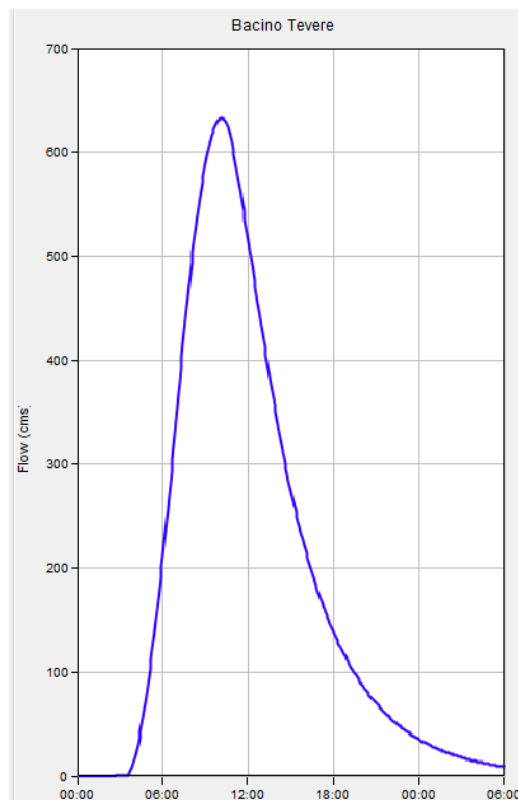
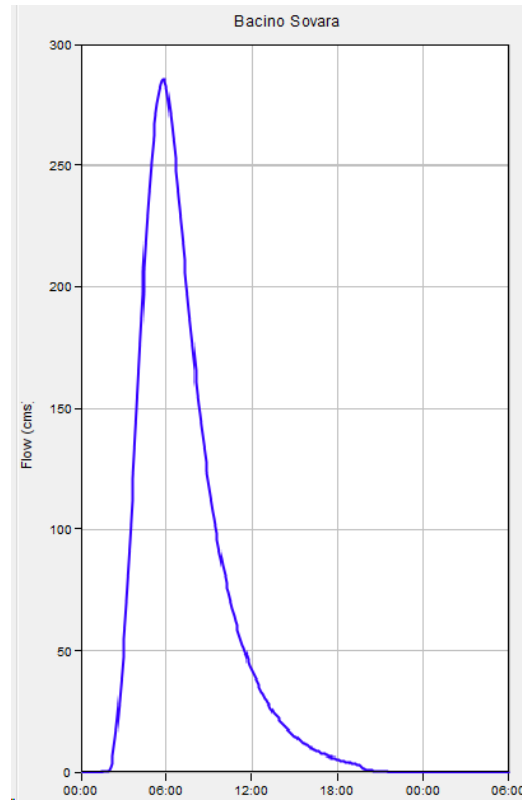
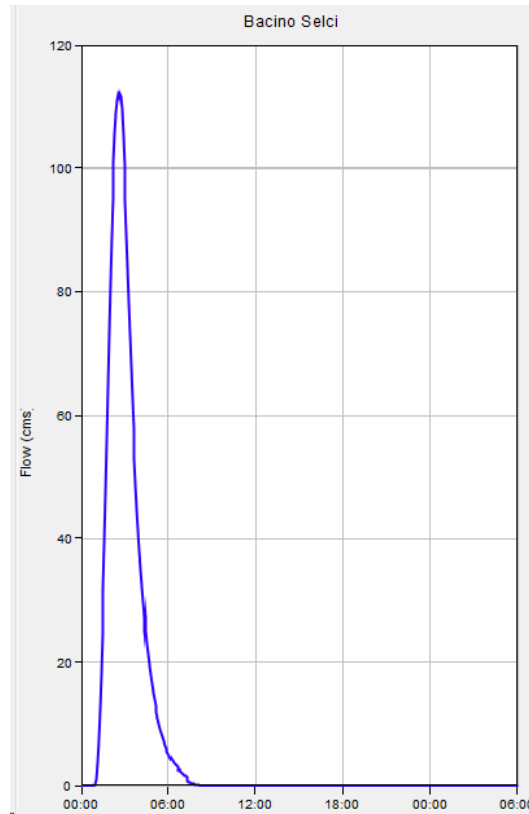


Figura 50 – Idrogramma bacino Tevere TR200 anni



*Figura 51 - Idrogramma Bacino Sovara TR200 anni*



*Figura 52 - Idrogramma Bacino Selci TR200 anni*

#### 6.1.4 Simulazioni numeriche 2D

Nelle figure seguenti si riportano le aree inondabili (tiranti e velocità) interferenti con la nuova viabilità per tempo di ritorno 200 anni

##### Tiranti idrici TR 200 anni

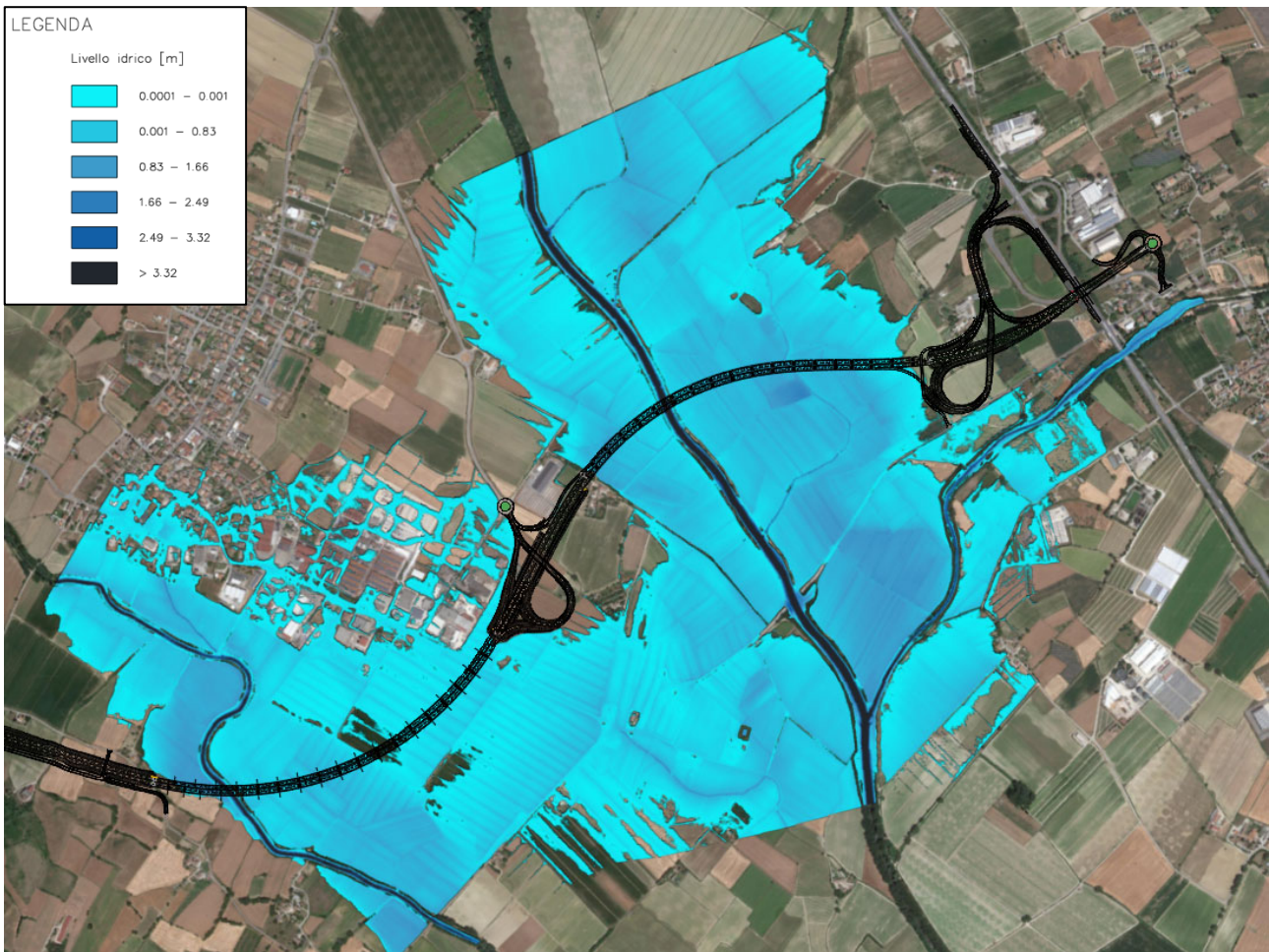








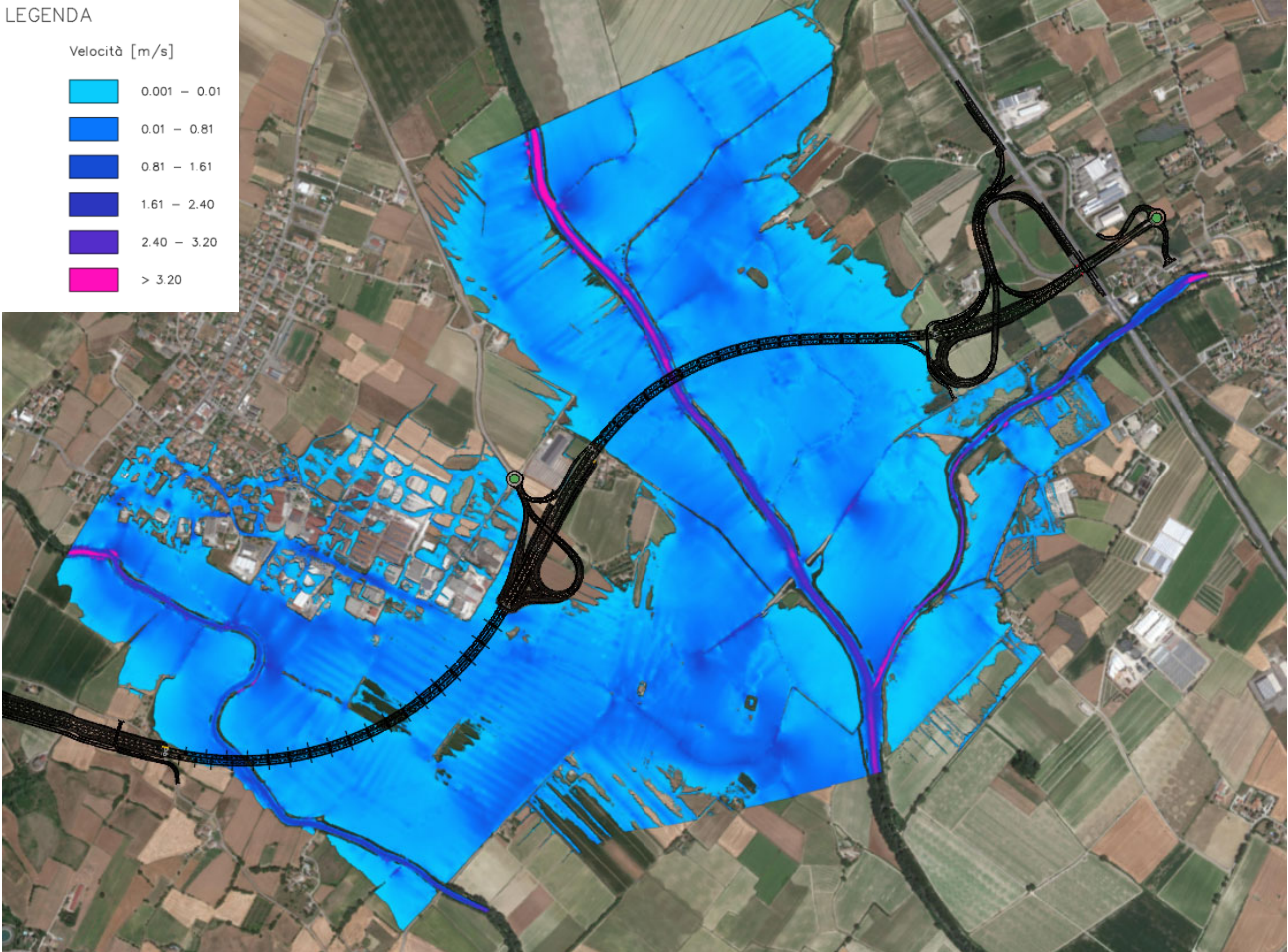
Figura 53 – Tiranti idrici TR200 anni

**Velocità TR 200 anni**

LEGENDA

Velocità [m/s]

	0.001 – 0.01
	0.01 – 0.81
	0.81 – 1.61
	1.61 – 2.40
	2.40 – 3.20
	> 3.20



*Figura 54– Velocità TR200 anni*

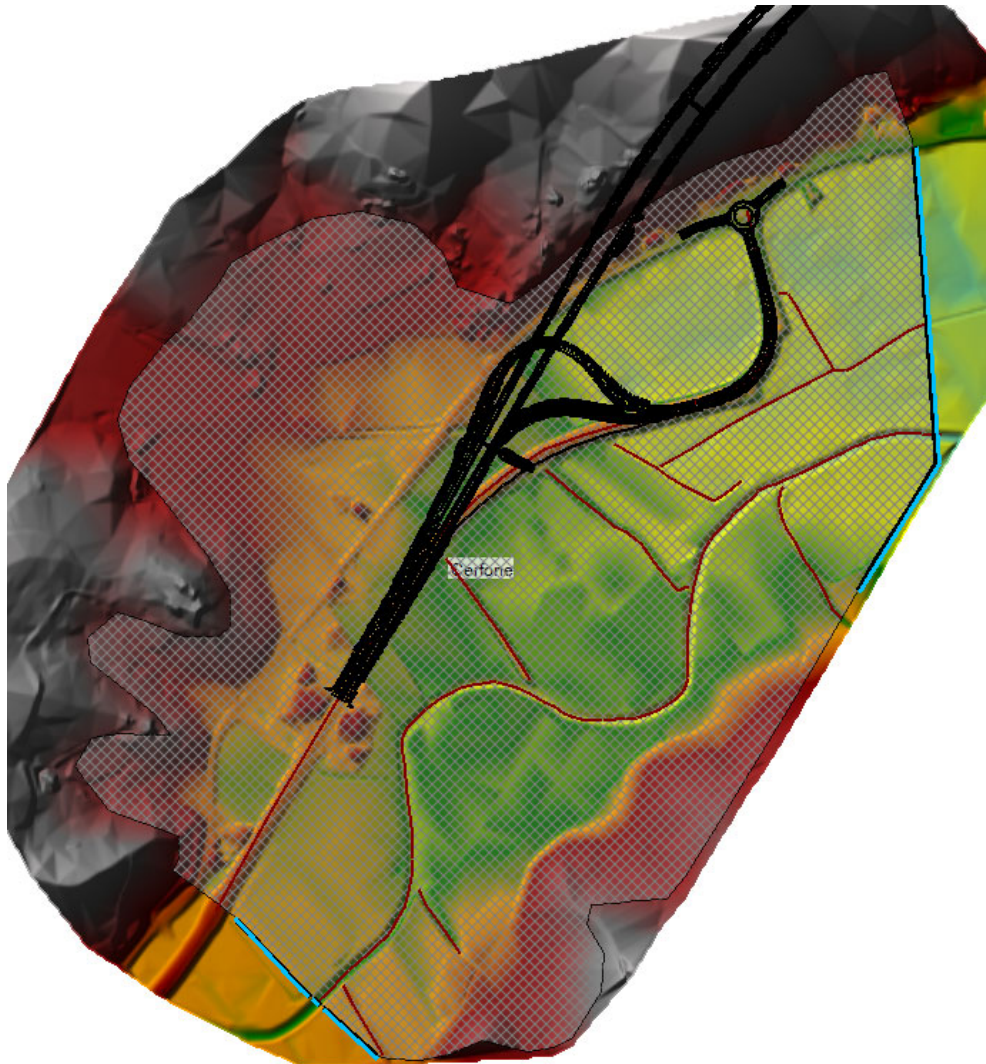
## 6.2 Modellazione Cerfone

È stato implementato un modello bidimensionale del fiume Cerfone in modo tale da verificare la compatibilità idraulica dell'intervento con la zona di riferimento. Il Cerfone si sviluppa parallelamente al progetto nel tratto iniziale e risulta necessario verificare eventuali inondazioni che interessano il progetto stesso. Il modello è stato implementato simulando un evento con tempo di ritorno duecentennale.

### 6.2.1 Creazione della mesh di calcolo

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

La geometria del modello sopra introdotta è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti. Il perimetro della mesh di calcolo è stato costruito sulla base dei bacini afferenti i canali di gronda.



*Figura 55 – Mesh di calcolo*

La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo mediante l'utilizzo di breaklines, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, muri ,rilevati, etc.

### 6.2.2 Scabrezze

Per una simulazione più accurata dopo avere generato e inserito all'interno del programma il terreno digitalizzato può essere utile associare a quest'ultimo e quindi alle aree 2D dei valori di scabrezza variabili che simulino l'eterogeneità reale delle aree inondabili nei confronti del deflusso. Questa variabilità spaziale viene creata mediante uno shapefile e inserita all'interno di HEC-RAS nel RAS Mapper. Successivamente mediante l'apposita finestra si assegnano i vari land use alle singole aree. Nell'immagine di seguito riportata si possono osservare i vari land use a cui corrispondono diversi

valori di scabrezza che andranno a modificare le caratteristiche del deflusso all'interno della simulazione, come ad esempio velocità dell'acqua.



Figura 56– Shapefile del coefficiente di Manning.

Uso del suolo	Manning
Zone boscate	0.6
Zone agricole eterogenee	0.04
Seminativi	0.04
Aree arbustive	0.05
Zone urbanizzate di tipo residenziale	0.011
Zone industriali, commerciali ed infrastrutturali	0.011

progettazione ati:

Pag. 96 di 106

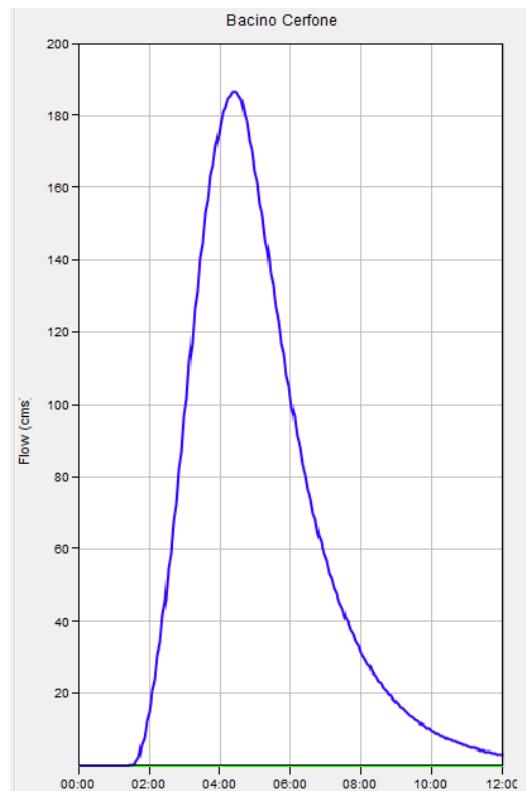


*Tabella 23– Tabella coefficienti di Manning.*

### 6.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- Condizione al contorno di valle: è stata associata una condizione al contorno di tipo “normal depth” che prevede la definizione del valore della cadente della linea dei carichi totali, che in prima approssimazione può essere approssimabile con la pendenza del terreno lungo il bordo o con la pendenza dei canali di gronda;
- Input idrologico: sono stati inseriti gli idrogrammi di piena ricavati dal software HEC-HMS per TR 200 anni. Gli idrogrammi utilizzati (figure seguenti) sono stati ricavati da ietogrammi del tipo “Chicago” e sono stati riportati nel dettaglio nell’elaborato “T00ID00IDRRE01A”. Sono stati inseriti tre idrogrammi differenti per i tre bacini afferenti all’area di interesse.



**Figura 57 – Idrogramma bacino Cerfone TR=200 anni**

#### 6.2.4 Simulazioni numeriche 2D

Nelle figure seguenti si riportano le aree inondabili (tiranti e velocità) interferenti con la nuova viabilità per tempo di ritorno 200 anni

##### Tiranti idrici TR 200 anni

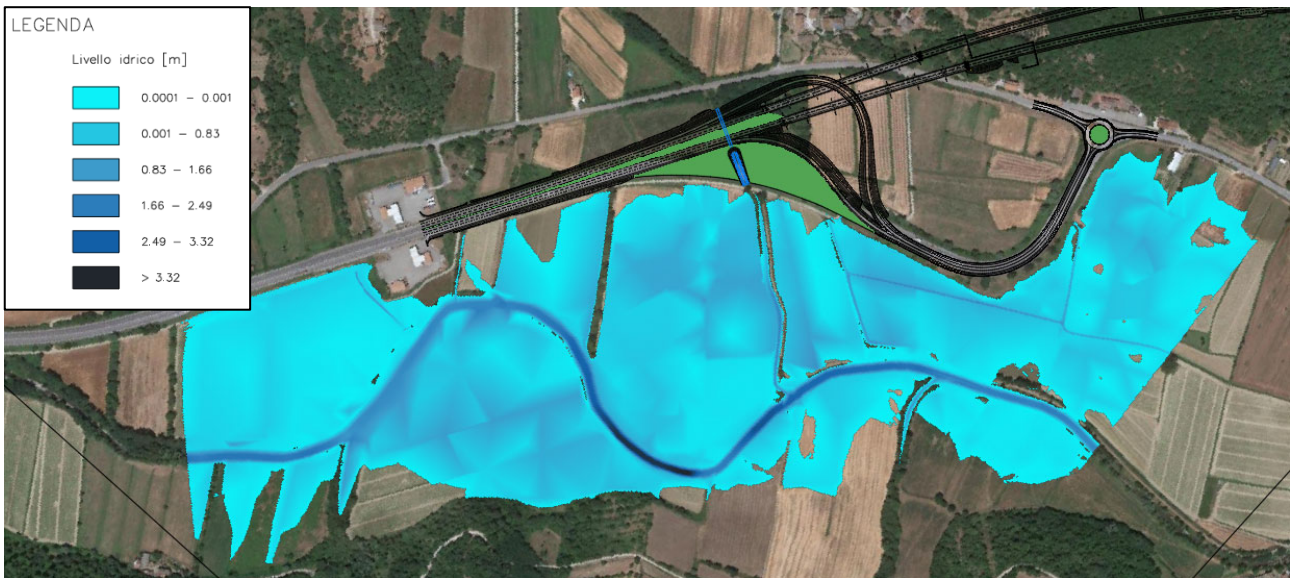
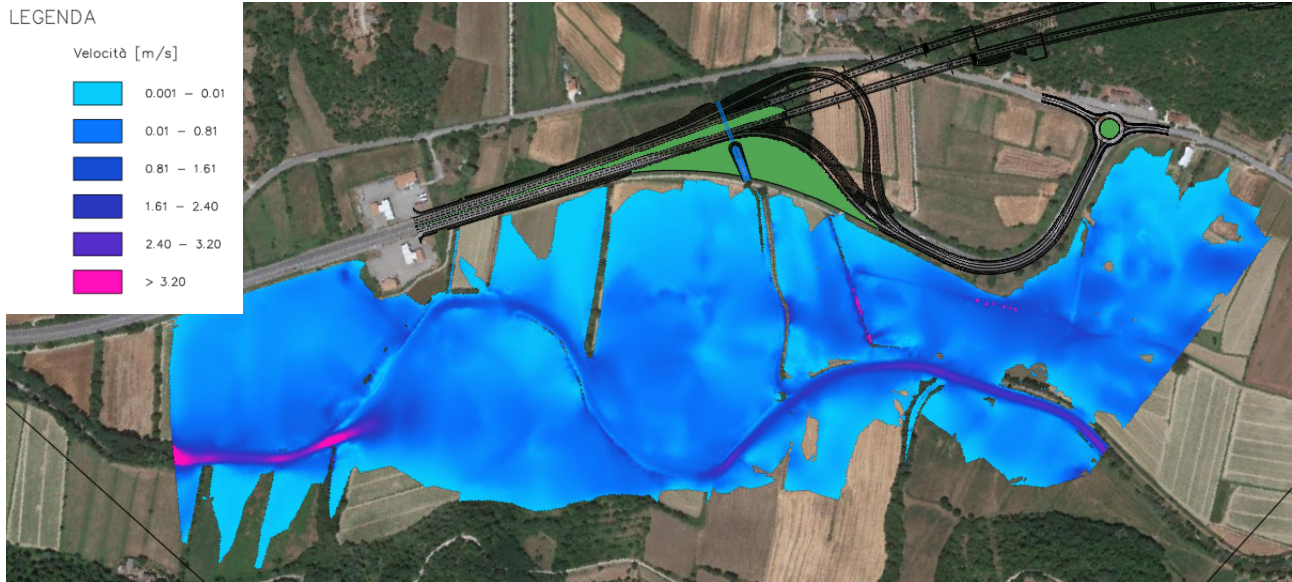


Figura 58 – Tiranti idrici TR200 anni

**Velocità TR 200 anni**

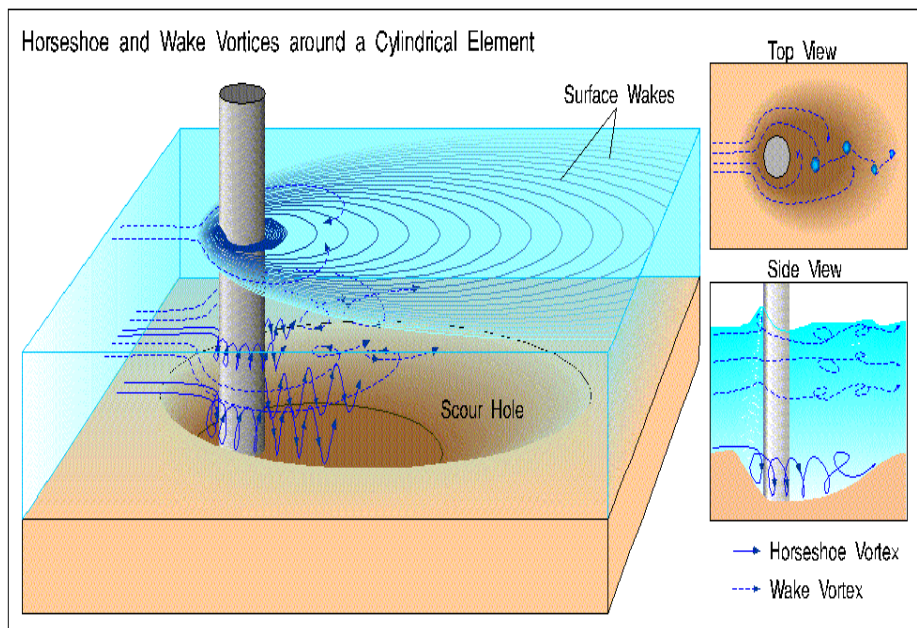
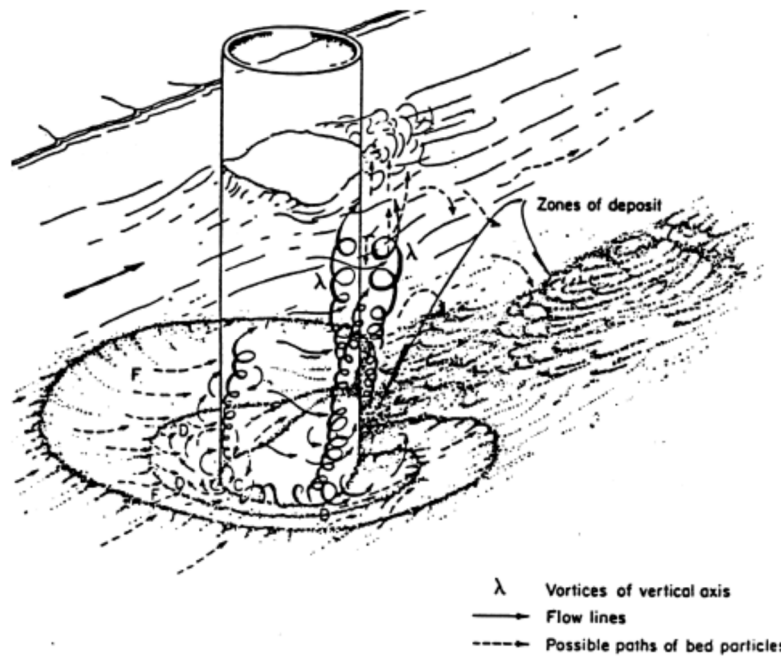


*Figura 59– Velocità TR200 anni*

**6.3 Erosione localizzata in corrispondenza delle pile del ponte**

Come evidenziato dalla simulazione dei tre corsi d’acqua (Tevere, Sovara, Selci) le pile dei viadotti si trovano in aree interessate dalla piena duecentennale e per questo soggette al fenomeno dello scalzamento.

La causa principale dell'erosione localizzata in corrispondenza delle pile è la formazione di vortici alla loro base, che sono comunemente detti "vortici a ferro di cavallo". Essi sono causati dall'arresto della corrente idrica sulla superficie di monte della pila, che, a causa del gradiente delle pressioni di ristagno che si instaura lungo la verticale, provoca un flusso in direzione della base della pila stessa, dove si sviluppano vortici tali da provocare la rimozione del materiale. Al crescere della profondità dello scavo, l'energia del vortice tende a diminuire, sicché l'escavazione tende a raggiungere una profondità di equilibrio. Oltre al vortice a ferro di cavallo, a valle della pila si formano vortici ad asse verticale che pure contribuiscono alla rimozione di materiale d'alveo; tuttavia, l'intensità di questi ultimi vortici diminuisce rapidamente al crescere della distanza dalla pila, sicché spesso, immediatamente a valle del ponte, si ha la deposizione del materiale asportato.



**Figura 60: Meccanismo di erosione localizzata in corrispondenza di una pila**

L'altezza di scavo raggiungibile in condizioni di assenza di trasporto solido (clear-water scour) è superiore alla corrispondente in presenza di trasporto (live bed scour). È interessante notare che, qualora si sia in presenza di trasporto

progettazione ati:

Pag. 100 di

106

solido, l'altezza di scavo attorno alla base della pila, dopo una fase iniziale di crescita, oscilla attorno alla configurazione di equilibrio per effetto del continuo succedersi di fasi di parziale riempimento e successivo approfondimento dello scavo. Si può ritenere che la massima altezza di scavo sia superiore in percentuale pari a circa il 10% rispetto all'altezza raggiunta all'equilibrio.

I principali fattori che influenzano il processo di erosione alla base delle pile sono la velocità e la profondità della corrente, la larghezza della pila e la sua forma, la lunghezza della pila e l'angolo d'attacco della corrente, la natura del materiale d'alveo e l'eventuale presenza di detriti trasportati dalla corrente. Questi ultimi possono in particolare creare effetti indesiderati, ampliando la zona di influenza dei vortici precedentemente descritti, contribuendo così ad amplificare lo scavo ed aumentare la superficie dell'alveo esposta allo scavo stesso.

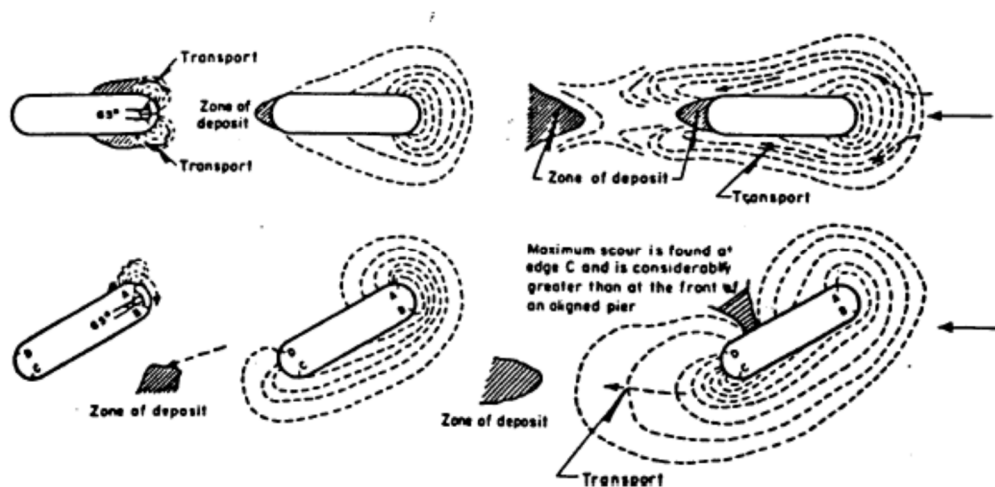


Figura 61: Fenomeni erosivi alla base del meccanismo dei ponti

Numerose formulazioni per il calcolo della profondità dello scavo localizzato sono state proposte anche recentemente nella letteratura scientifica internazionale, a seguito di diverse sperimentazioni effettuate in laboratorio in riferimento sia alla condizione di equilibrio sia all'evoluzione nel tempo del fenomeno. Esse sono generalmente riferite a situazioni corrispondenti a presenza di trasporto solido e materiale d'alveo privo di coesione. Nel seguito verranno riassunte alcune di queste formulazioni, limitandosi per brevità a quelle che forniscono la profondità di scavo all'equilibrio come la formula CSU e quella di Breusers:

#### Hec 18 - CSU

Negli Stati Uniti l'erosione alla base di pile di ponte è comunemente calcolata utilizzando un'equazione proposta dalla Colorado State University (Richardson e Davis, 1995), denominata formula CSU.

Una recente pubblicazione Publication No. FHWA-RD-03-083 del Giugno 2003, in particolare riporta i risultati di uno studio relativo alla valutazione dello scalzamento in presenza di materiale grossolano (corse material) quale quello riscontrabile nelle fiumare oggetto della presente relazione, nonché della curva granulometrica dei terreni d'alveo.

L'applicazione di tale formulazione, seppure con una lieve sovrastima, ha portato a risultati confrontabili con quelli determinati a seguito delle sperimentazioni condotte su modello.

Lo studio ha portato ad una specifica formulazione della formula CSU espressa dalla relazione:

$$\frac{Y_s}{Y} = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_i \cdot K_4 \cdot \left(\frac{a}{Y}\right)^{0.65} \cdot \left(\frac{V}{\sqrt{gY}}\right)^{0.43}$$

dove:

$Y_s$  è la profondità media di erosione localizzata;

$K_1$  è un fattore di correzione funzione della forma della pila;

$K_2$  è un fattore di correzione funzione dell'angolo di incidenza della corrente;

$K_3$  è un fattore di correzione funzione delle condizioni del fondo alveo;

$K_4$  è un fattore di correzione funzione dell'omogeneità del materiale di fondo alveo;

$K_i$  è un fattore di correzione funzione della velocità e della granulometria, all'inizio del processo di scalzamento;

$a$  è la larghezza delle pile;

$Y$  è la profondità della corrente nella sezione indisturbata a monte della pila;

$V$  è la velocità nella sezione indisturbata a monte della pila;

Il fattore  $K_1$  può essere calcolato in base alla seguente tabella:

Forma della pila	$K_1$
Fronte e retro rettangolari	1.10
Fronte e retro arrotondati	1.00
Pile circolari	1.00
Gruppo di pile circolari	1.00
Fronte triangolare	0.90

Il fattore  $K_2$  può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$K_2 = 1.25 + 3 \cdot \sqrt{\frac{D_{cfm}}{D_{50}} \cdot \psi^{0.60} \cdot \ln(\psi + 0.5)} \quad 0 \leq K_2 \leq 1.$$

dove:

progettazione ati:

$$D_{cfm} = \frac{D_{85} + 2D_{90} + 2D_{95} + D_{99}}{6}$$

$$\psi = \frac{V - V_i}{V_c - V_i} \quad 0 \leq \psi \leq 1$$

$$V_c = 26.1 \sqrt{\frac{0.047 \cdot \gamma_s}{\gamma}} \cdot D_c^{1/3} \cdot R^{1/6}$$

$$V_i = K'' \cdot D_{35}^{1/3} \cdot Y^{1/6} \quad V > V_i$$

con:

$V_c$  = velocità critica relativa ad un determinato passante  $D_c$ ;

$\gamma_s$  = peso specifico del terreno;

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua;

$R$  = raggio idraulico;

$D_c$  =  $D_{35}$ ,  $D_{50}$ ,  $D_{90}$ ,  $D_{95}$ , passanti ai vari setacci.

$D_{cfm}$  = parametro rappresentativo della dimensione media del materiale grossolano e posto pari a  $D_{90}$  in caso di assenza di discontinuità nella curva granulometrica, ovvero di insufficienti informazioni;

$K''$  = coefficiente di correzione pari a 2.65 per Sistema Internazionale;

Il fattore  $K_i$  può essere calcolato in base alla seguente espressione:

$$K_i = \left(1 - \frac{V_i}{V}\right)^{0.45}$$

con:  $V > V_i$

per valori di  $V \leq V_i$  il valore  $K_i$  è pari a 0.

### Breusers equation (1977)

Le funzioni che vi compaiono hanno sostanzialmente un ruolo analogo a quello dei coefficienti di correzione della formula HEC-18 nelle sue varie forme.

$$\frac{y_s}{B} = f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) \cdot \left(2 \tanh\left(\frac{y_0}{B}\right)\right) \cdot f_2(forma) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{L}{B}\right)$$

dove:

$B - L$ , larghezza e lunghezza della pila [m];

$V_0$ , velocità media della corrente indisturbata [m/s];

$V_c$ , velocità critica di trascinamento [m/s];

progettazione ati:

$\alpha$  , angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila;

Il fattore  $f_1$  assume i seguenti valori:

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} \leq 0.50 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 2 \cdot \frac{V_0}{V_c} - 1 \quad \text{per } 0.50 < \frac{V_0}{V_c} \leq 1.0 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} > 1.0 ;$$

Il fattore  $f_2$  assume i seguenti valori:

$f_2 = 1$  per pile circolari o con fronti arrotondati;

$f_2 = 0.75$  per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;

$f_2 = 1.30$  per pile rettangolari;

Per la determinazione del fattore  $f_3$  si ricorre invece al grafico riportato nella figura seguente:

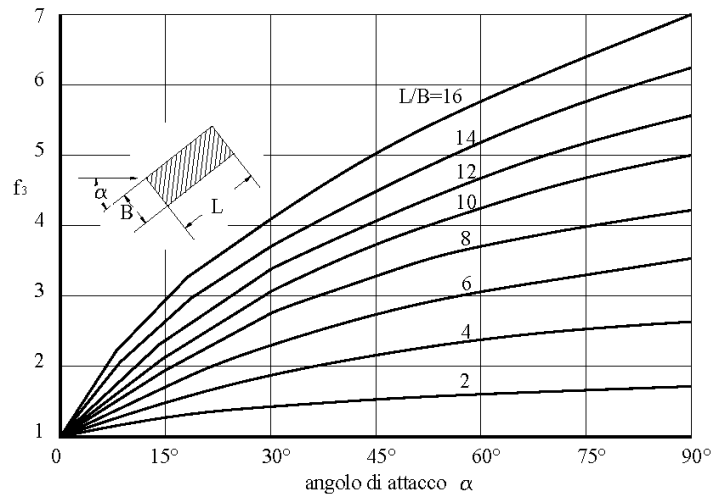


Figura 62: Valori coefficiente  $f_3$ .

Nella tabella seguente sono riportati i valori di scalzamento calcolati per le pile in esame.

progettazione ati:



Calcolo scalzamento - Ys (m)				
Formulazione	TEVERE		SOVARA	
	Pile adiacenti alveo	Pile distanti alveo	Pile adiacenti alveo	Pile distanti alveo
HEC 18-CSU	2.01	1.85	3.33	2.85
BREUSERS	2.12	2.1	2.13	2.08

*Tabella 24 – Scalzamento pile*

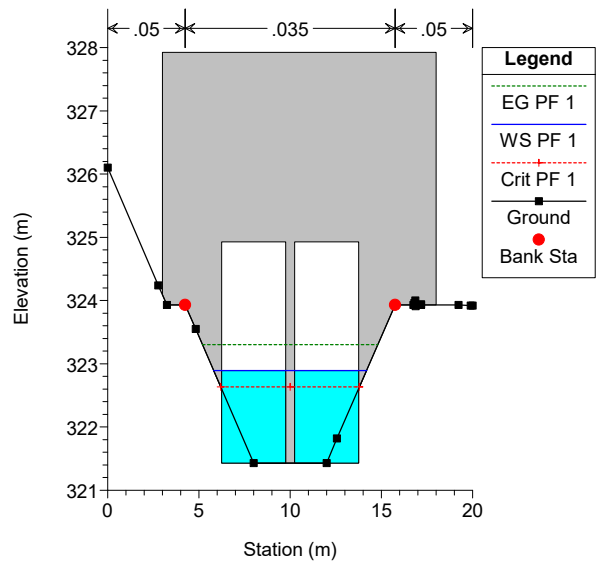
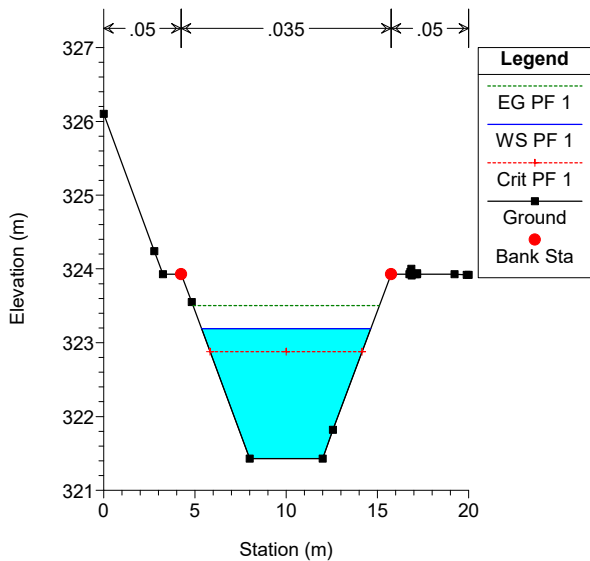
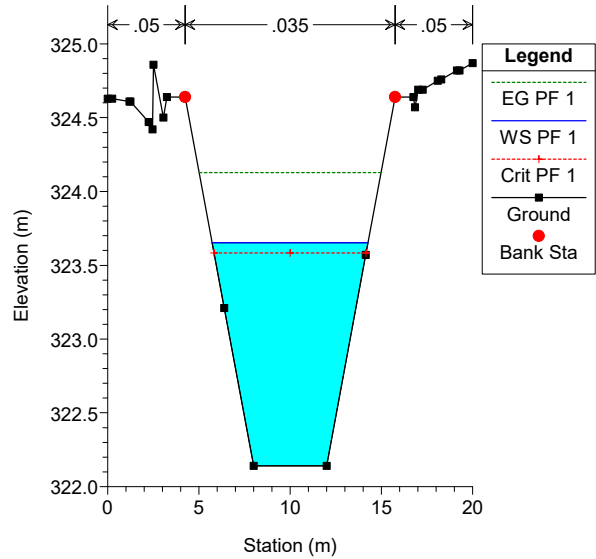
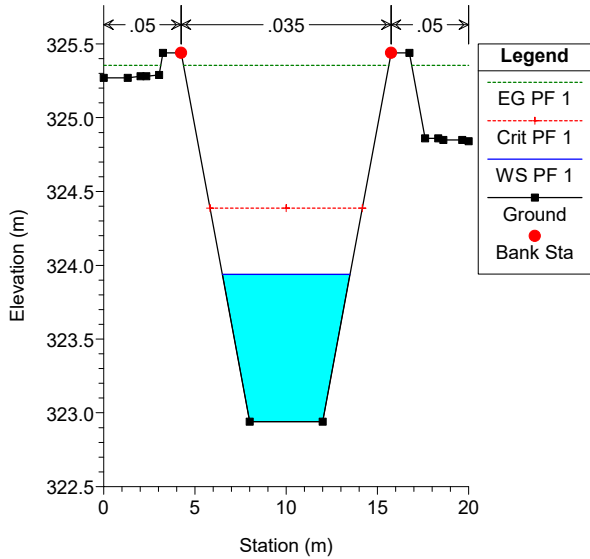
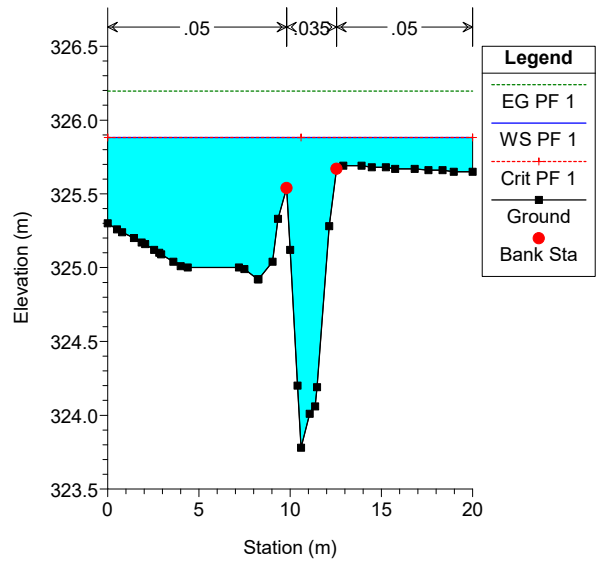
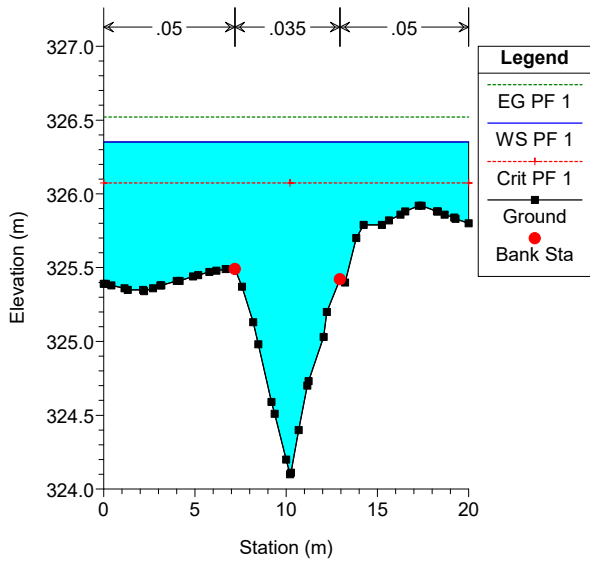
Vista l'elevata intensità del fenomeno di scalzamento sono state previste delle protezioni per le pile e le spalle locate in aree d'esondazione mediante massi sciolti di diametro 0.3 m per uno spessore minimo di 0.5 m.

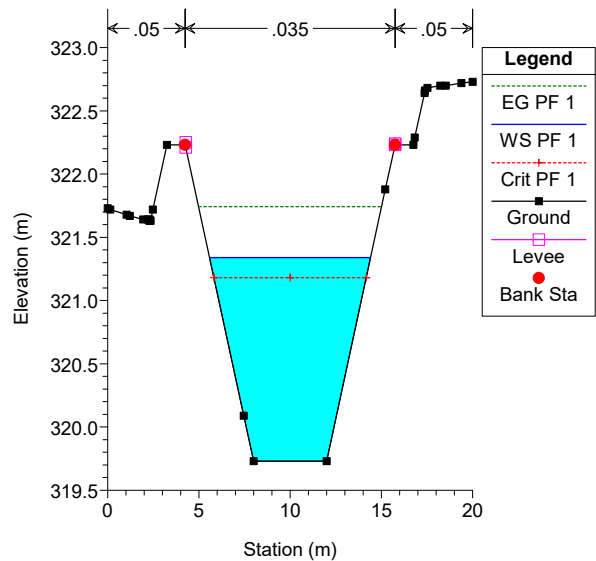
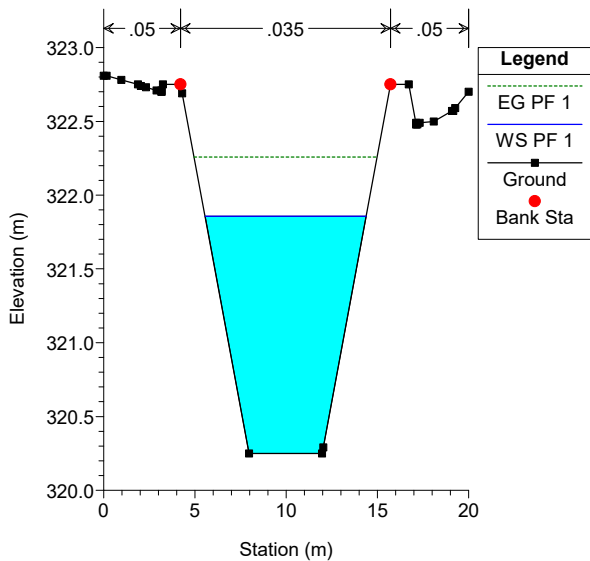
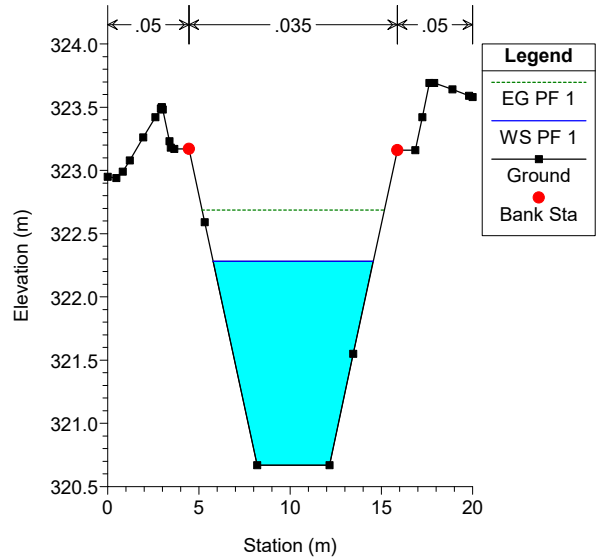
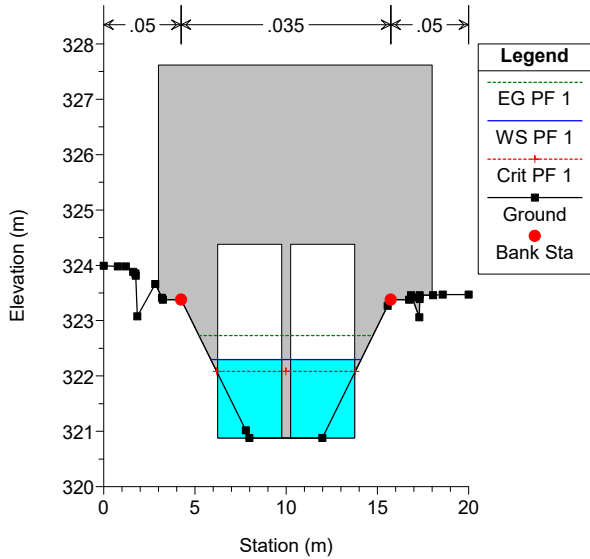
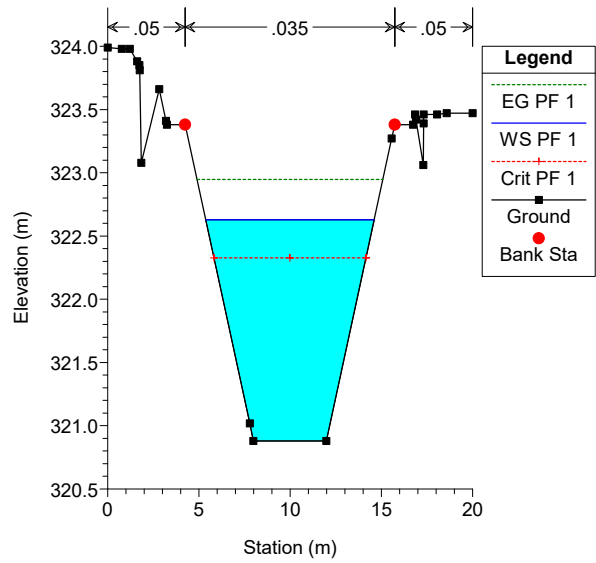
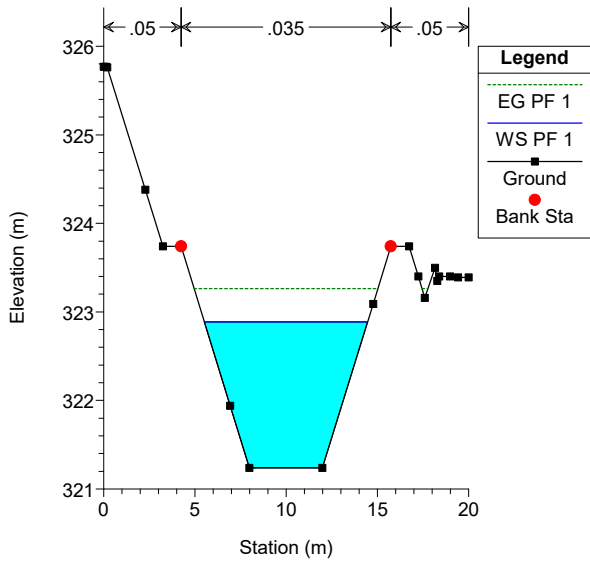
## 7 CONCLUSIONI

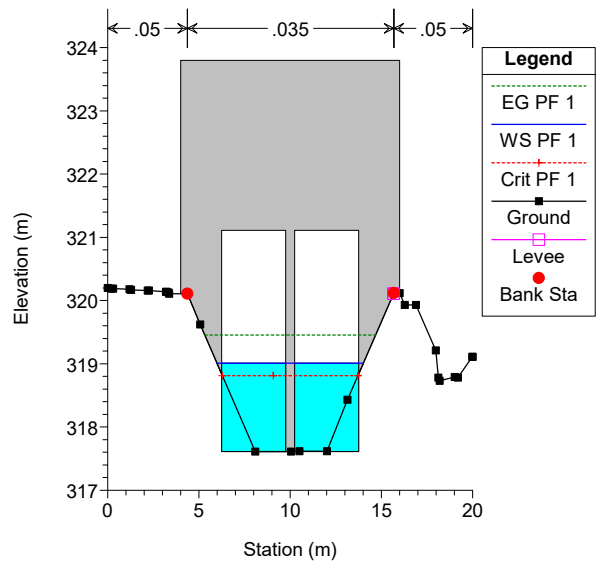
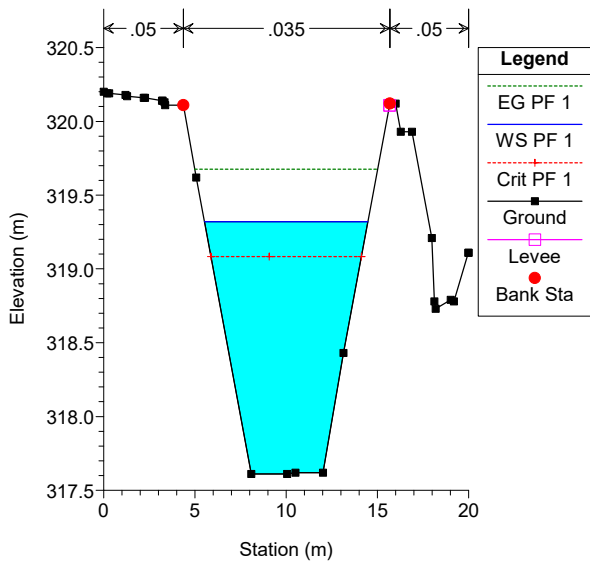
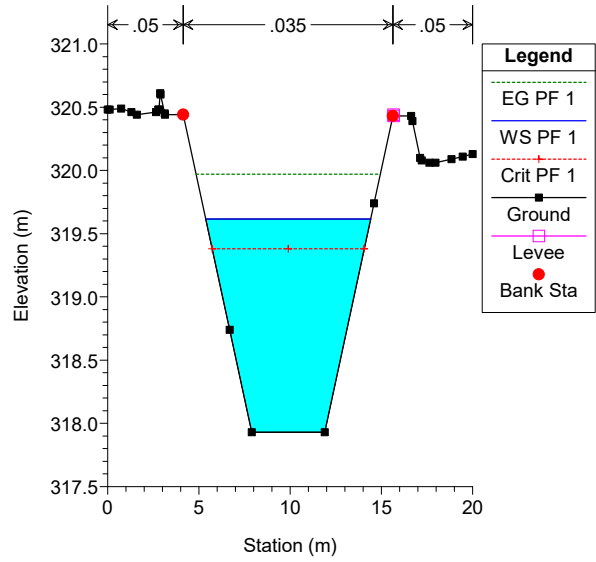
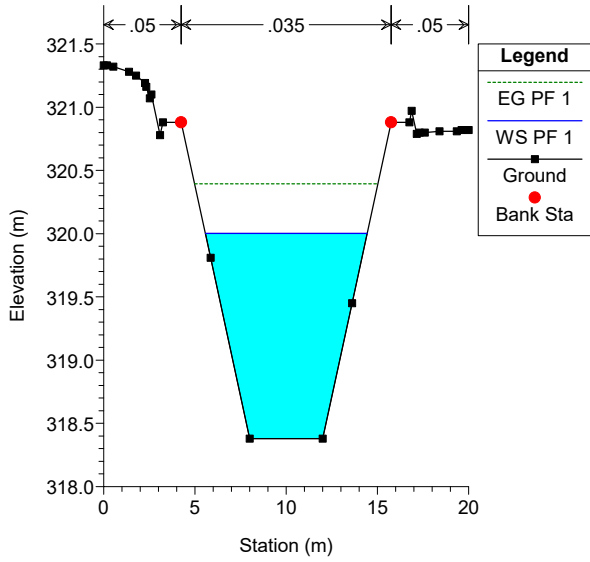
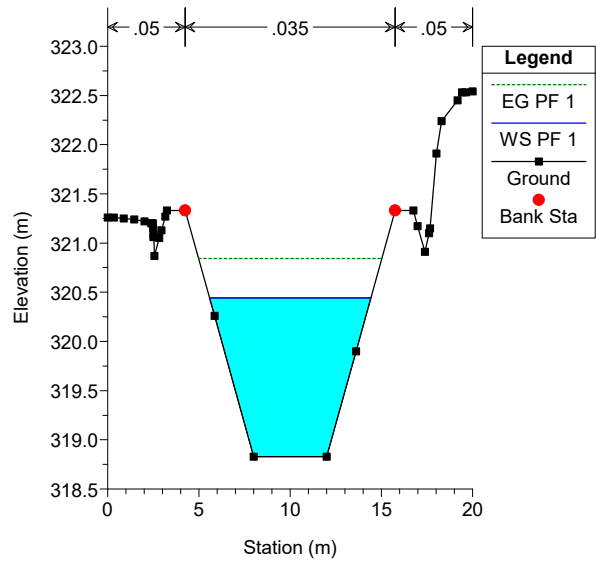
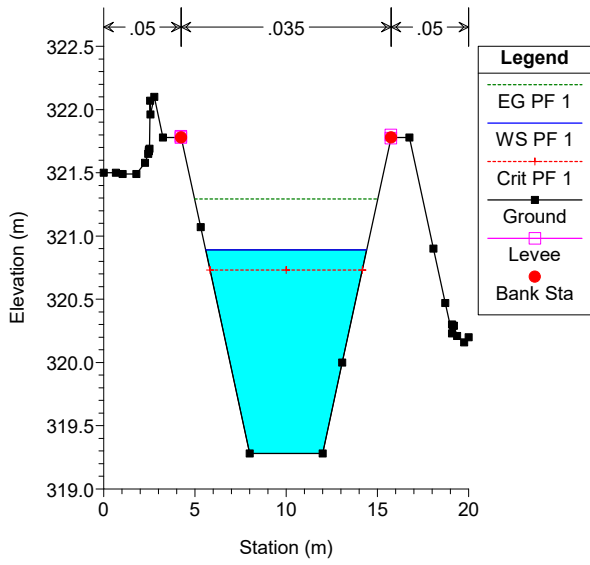
La simulazione effettuata per il fiume Cerfone con tempo di ritorno di 200 anni mostra come l'esondazione del corso d'acqua venga intercettata dal rilevato della viabilità esistente e non interessi la viabilità di nuova realizzazione. Solamente nel primo tratto di progetto le aree inondate arrivano ai piedi del rilevato e per tale motivo è stata prevista una protezione dello stesso mediante massi sciolti.

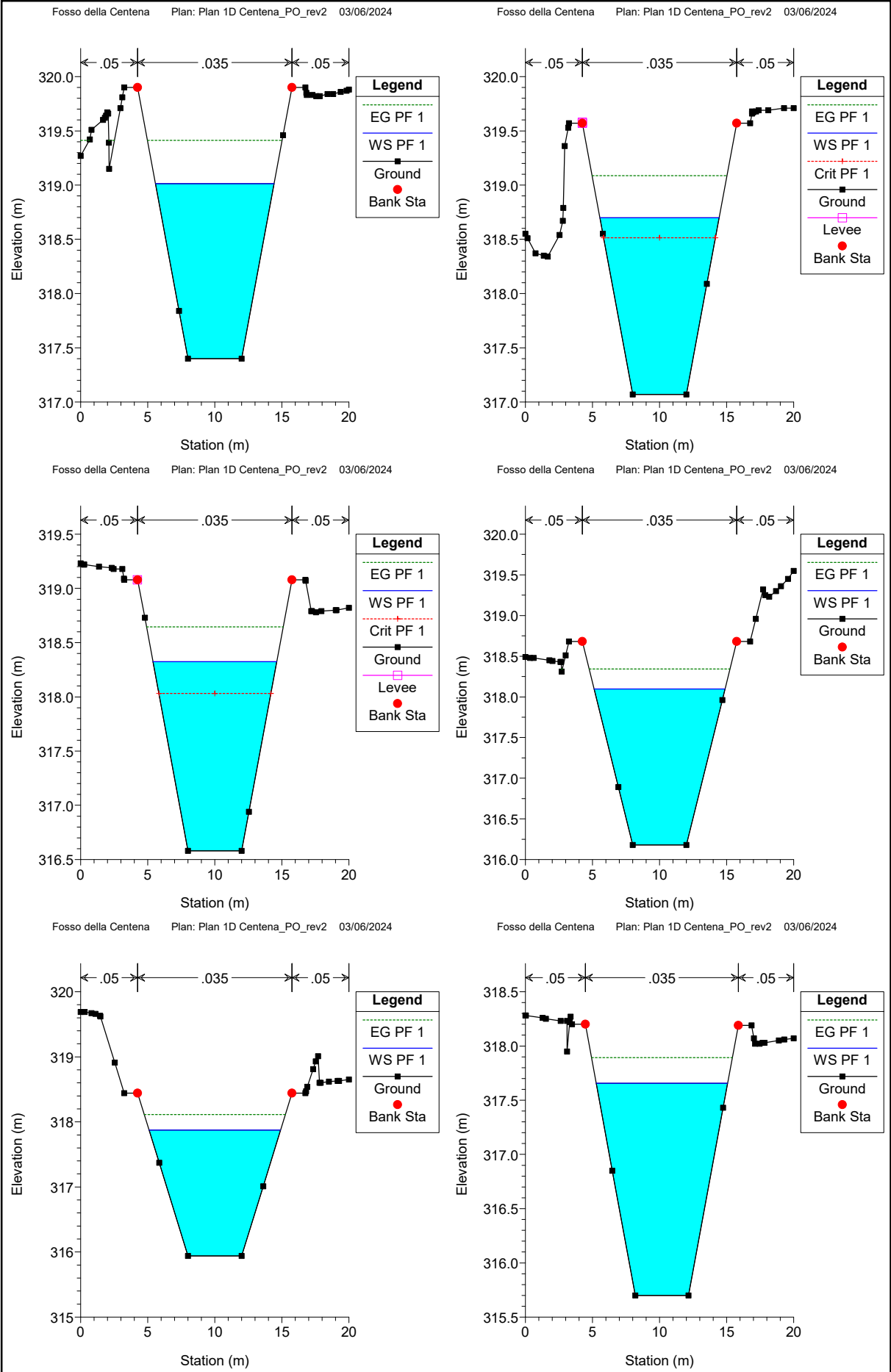
La modellazione dei tre corsi d'acqua evidenzia come l'area di progetto risulti interessata dalla piena duecentennale in accordo a quanto previsto dal PGRA (Par. 2.3). Per questo motivo per le pile e le spalle dei viadotti ricadenti all'interno delle aree di esondazione sono state previste delle protezioni mediante massi sciolti. Gli svincoli di Pistino e Selci risultano situati in aree non interessate dalla piena, eccezion fatta per le due rampe dello svincolo di Pistrino. Così come per le pile anche i rilevati delle due rampe saranno protetti con massi sciolti per evitare l'erosione al piede della scarpata.

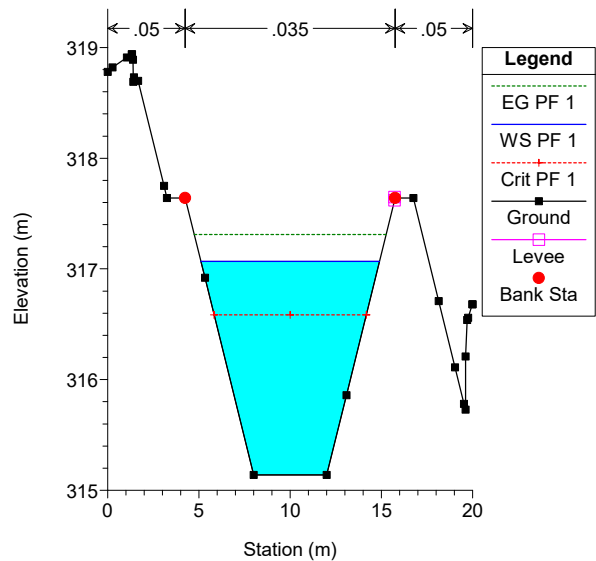
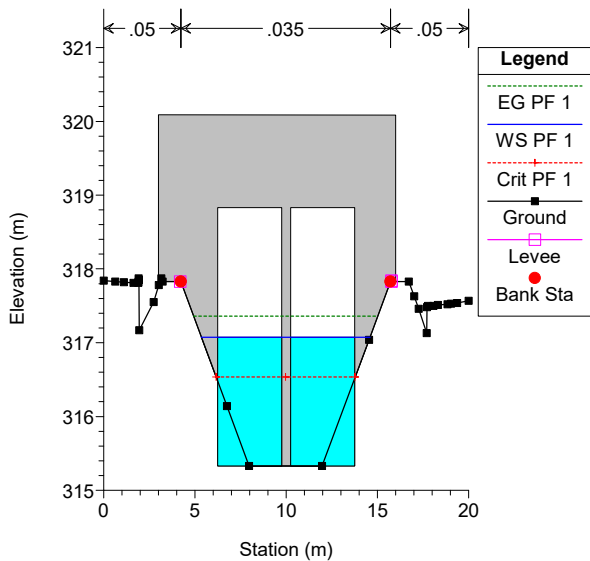
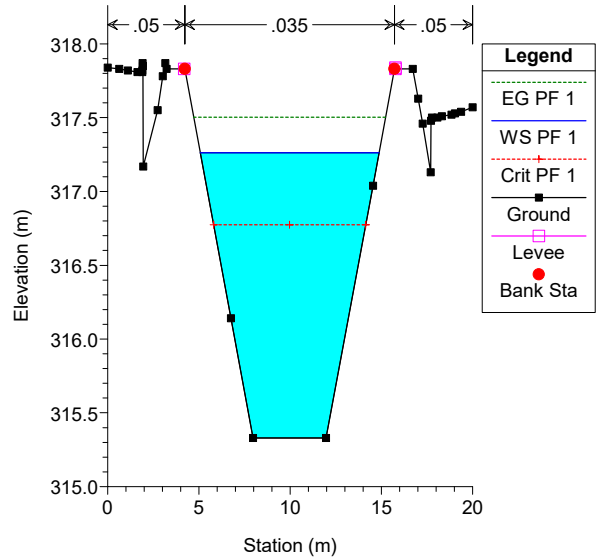
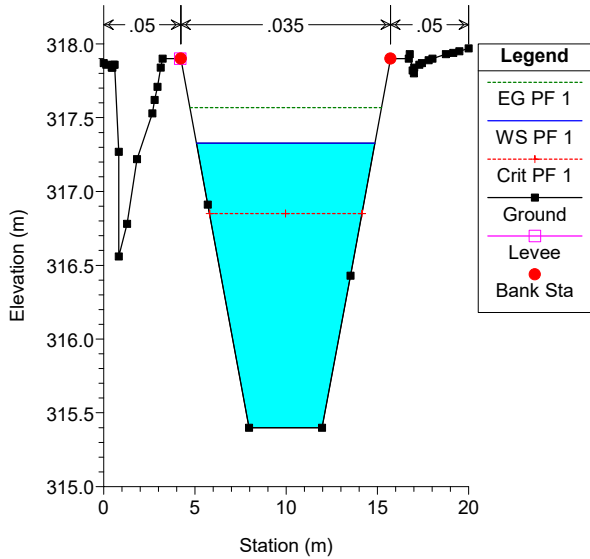
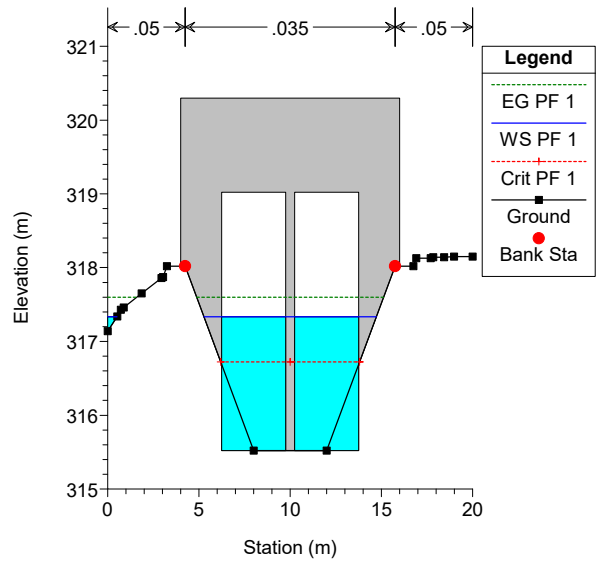
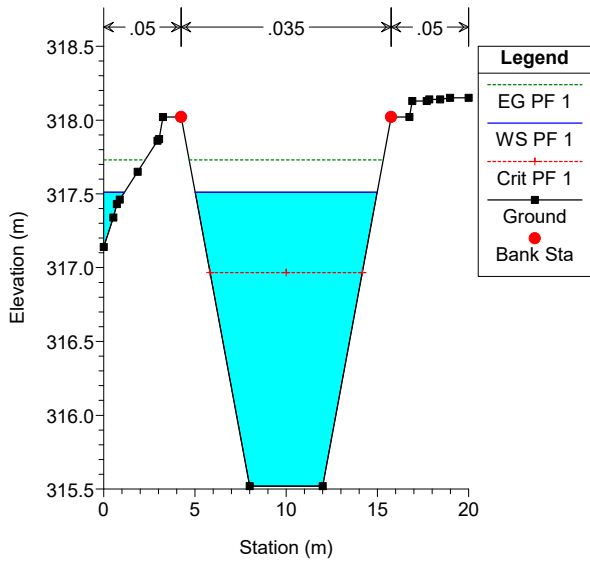
In conclusione, seppure situato all'interno di un'area di attenzione PAI, i risultati della modellazione bidimensionale definiscono la compatibilità idraulica dell'intervento di progetto.

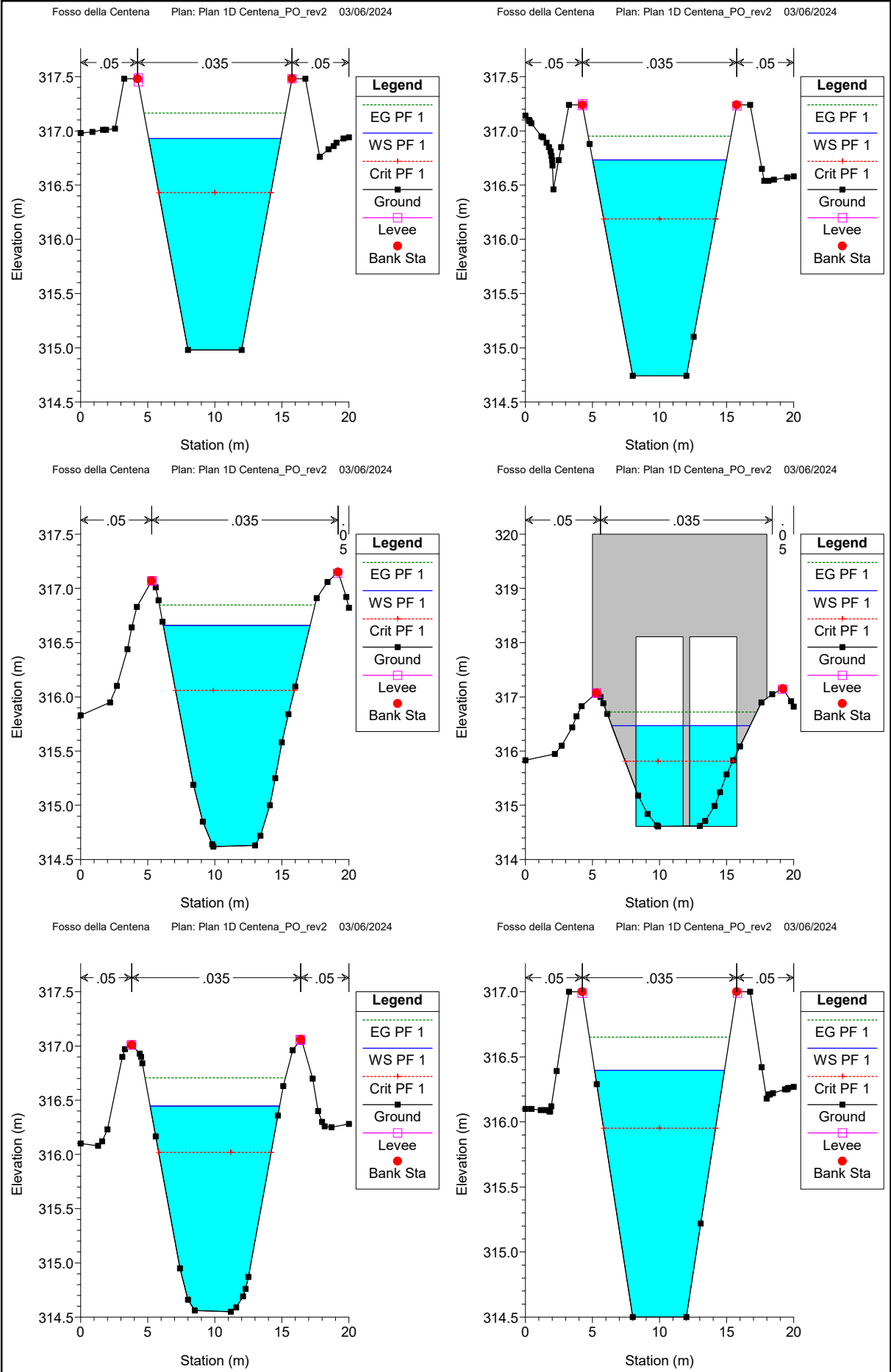




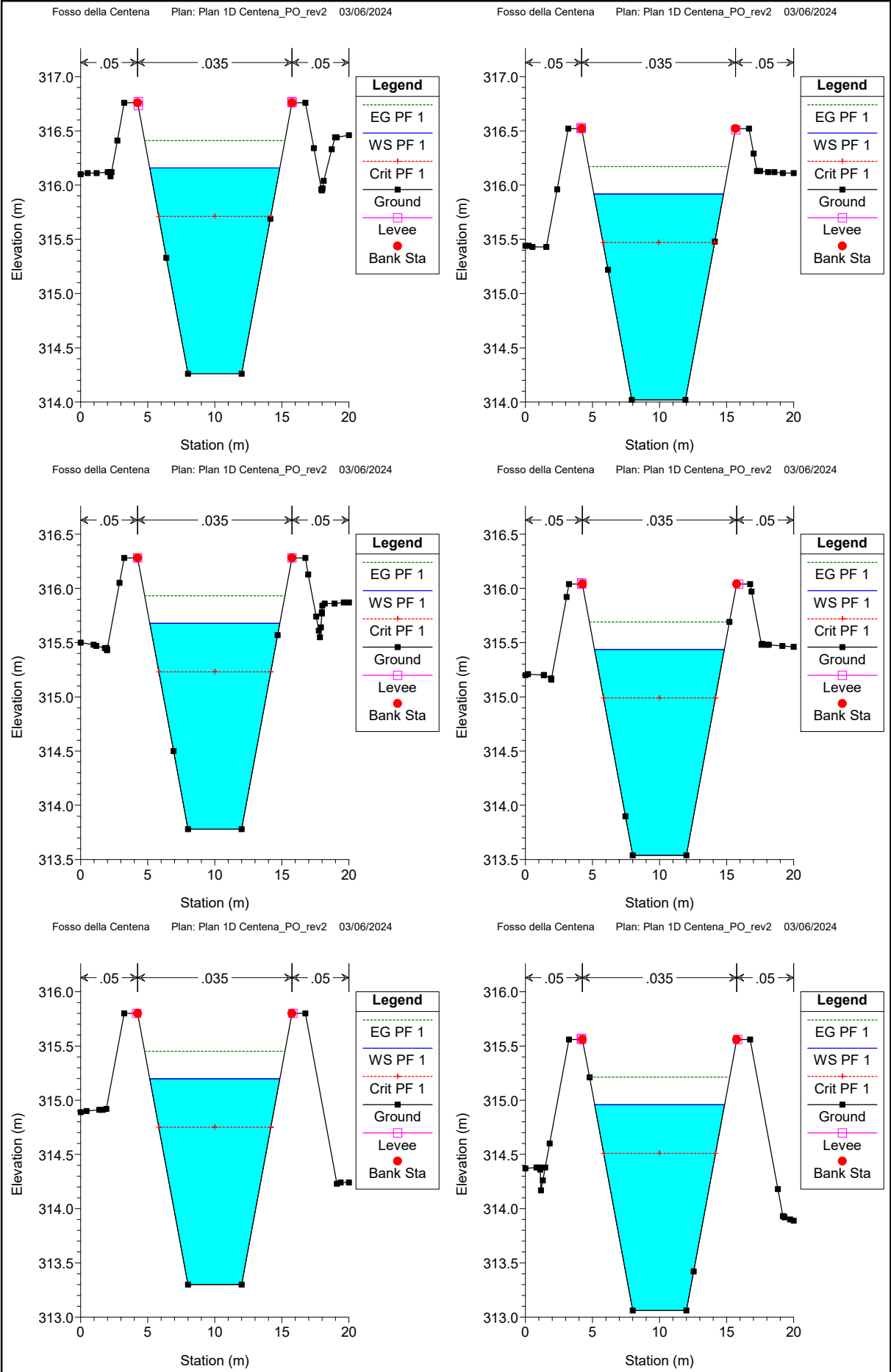


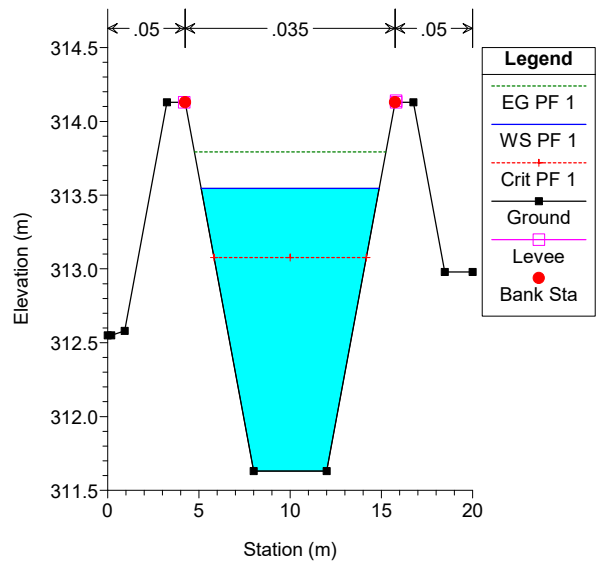
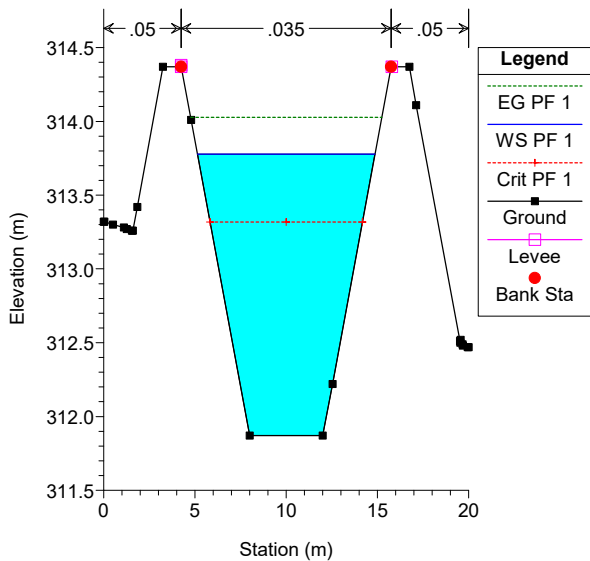
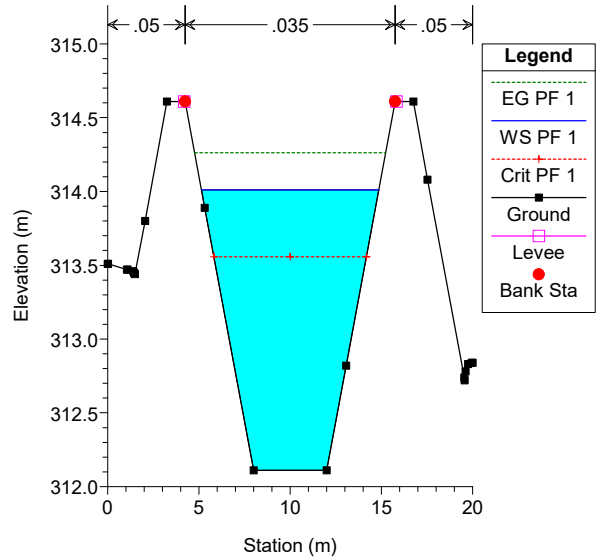
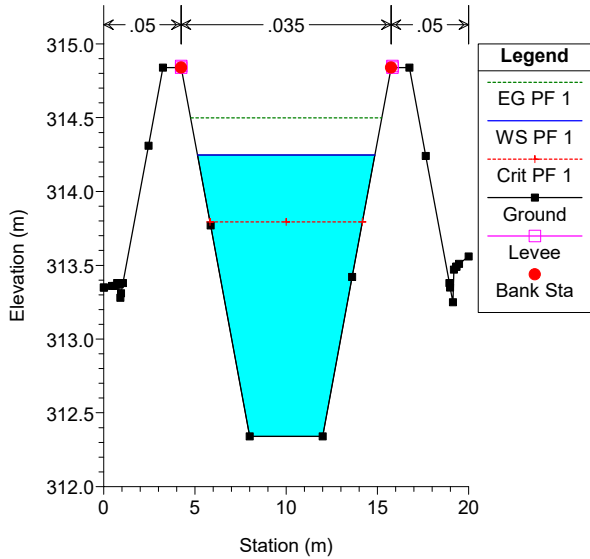
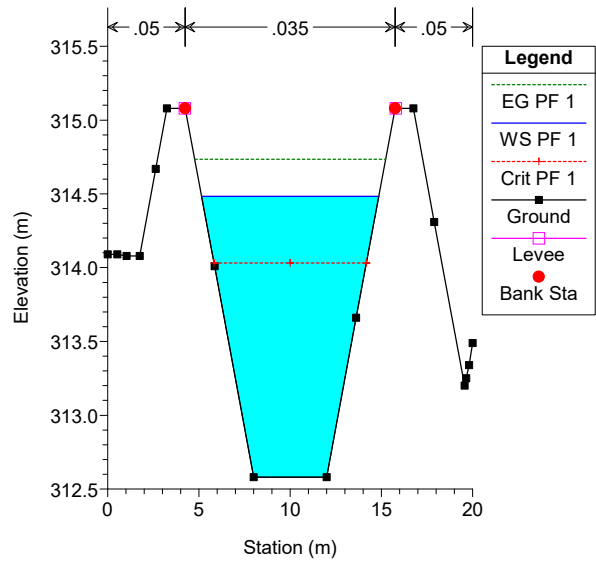
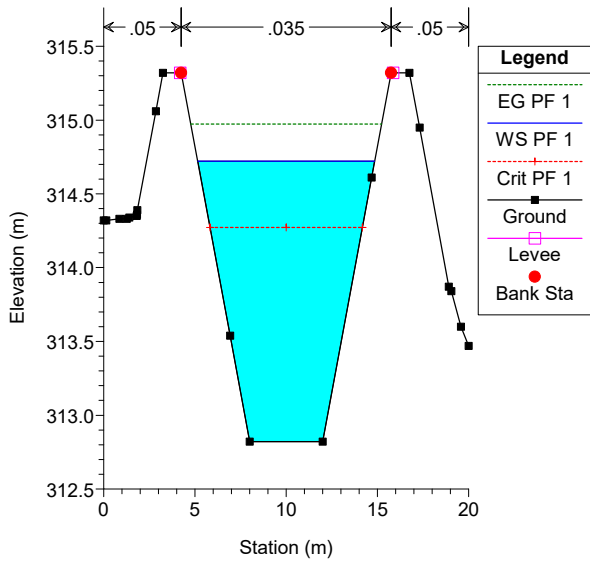


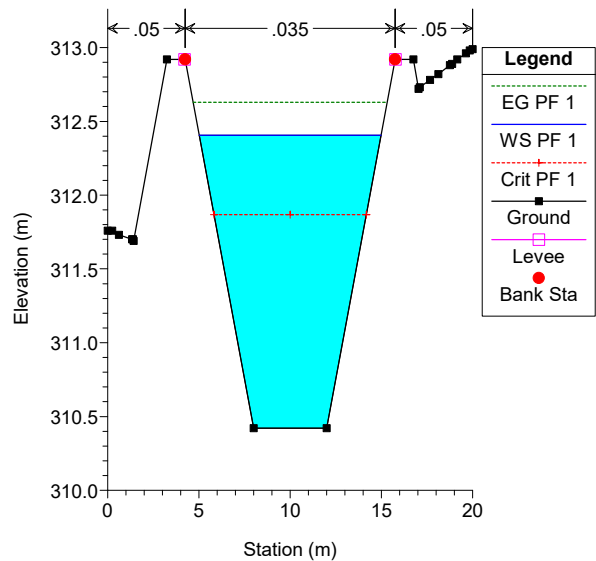
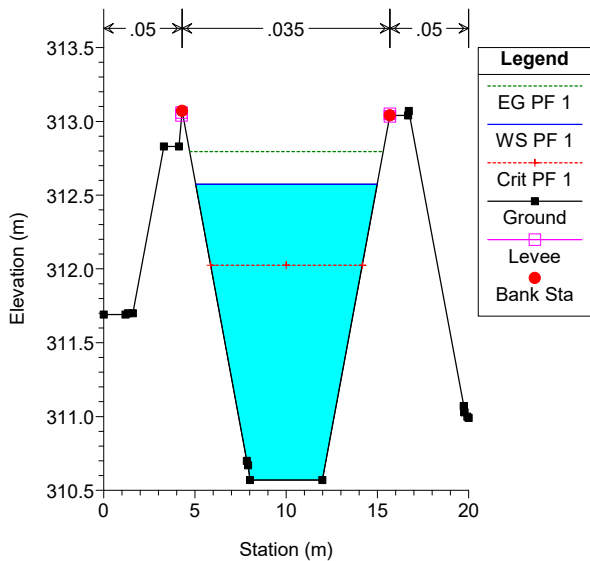
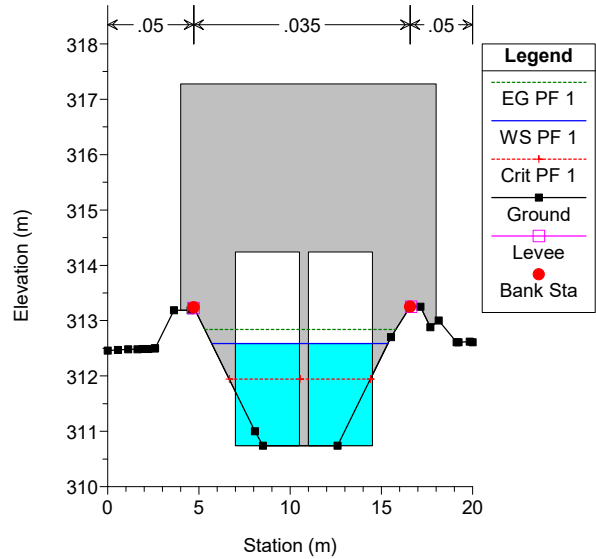
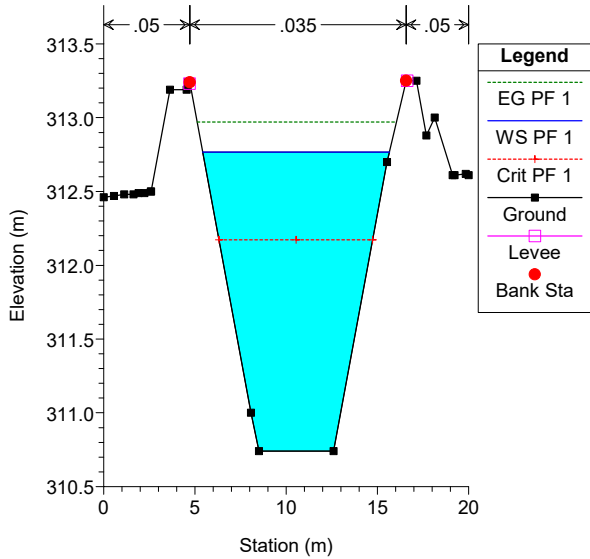
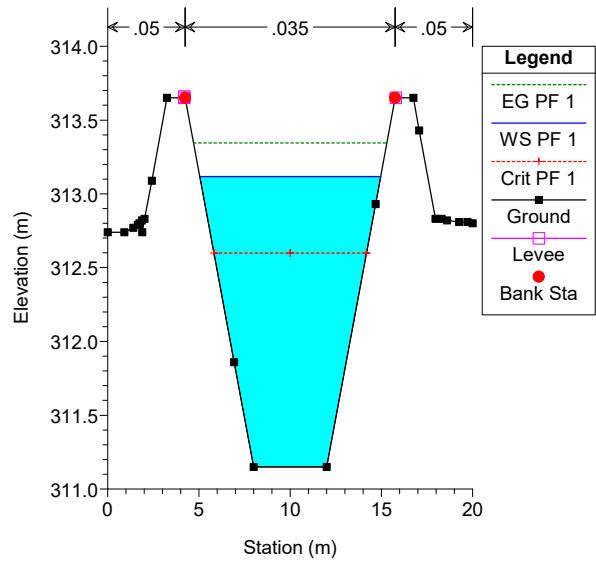
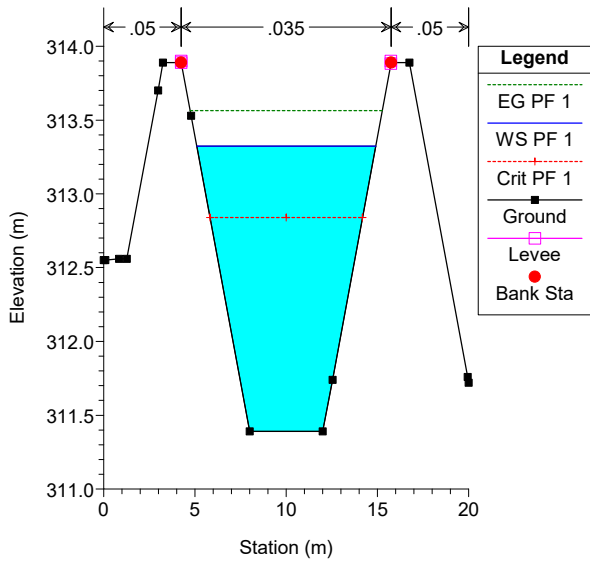




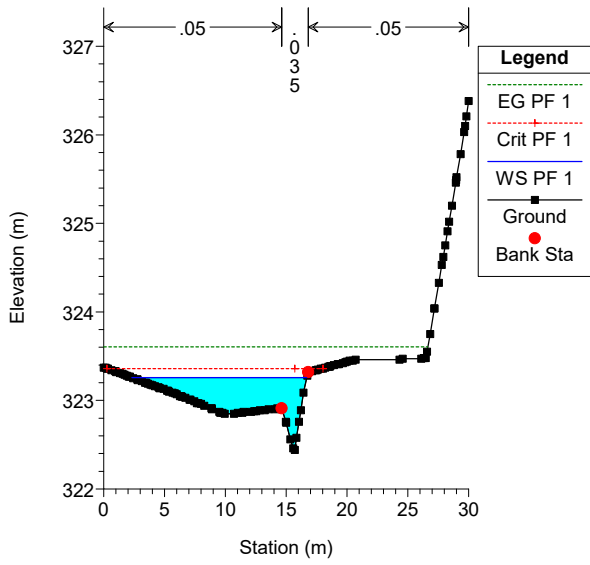




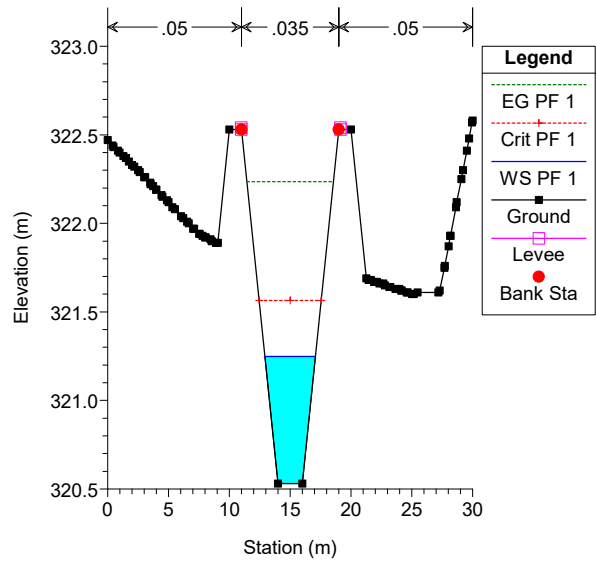




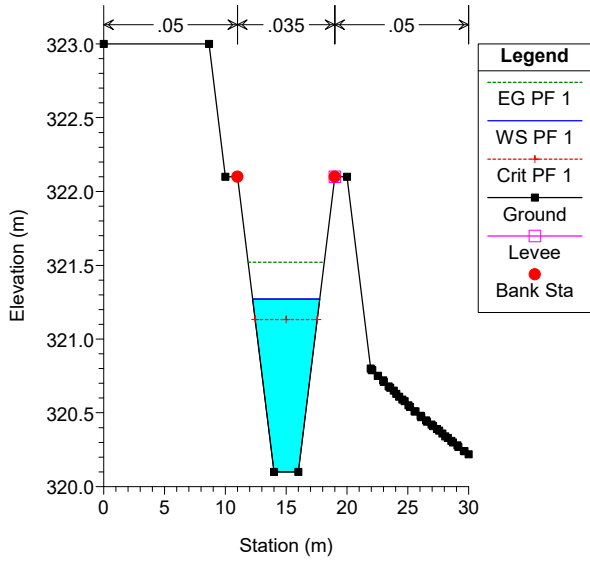
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



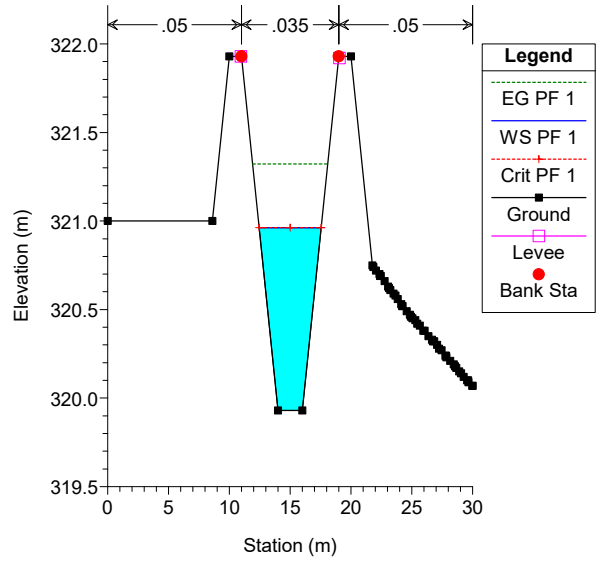
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



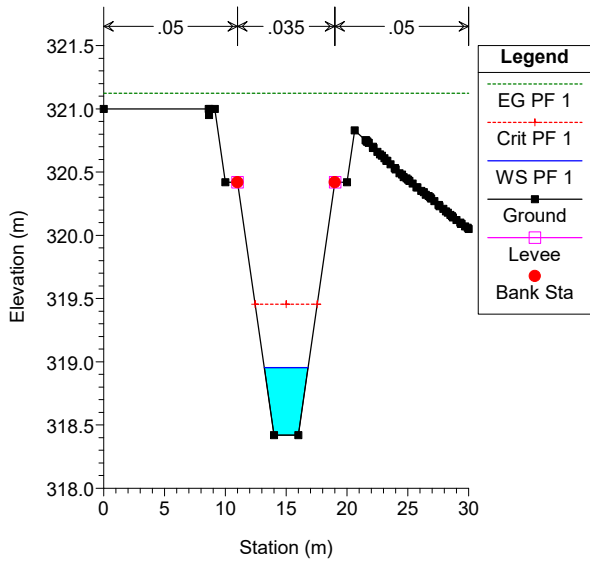
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



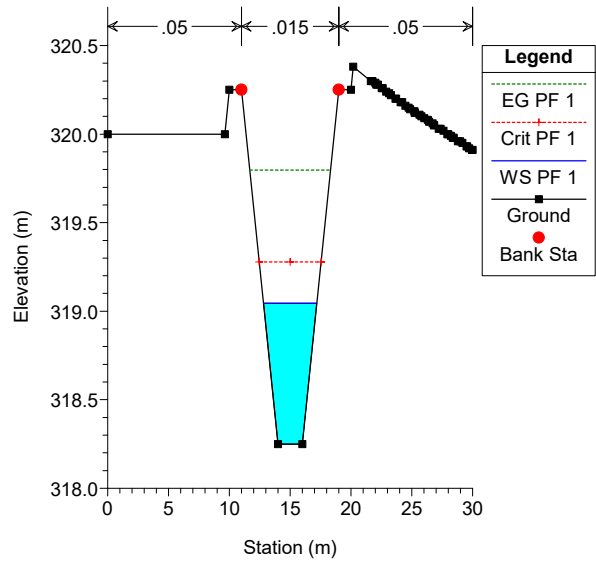
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



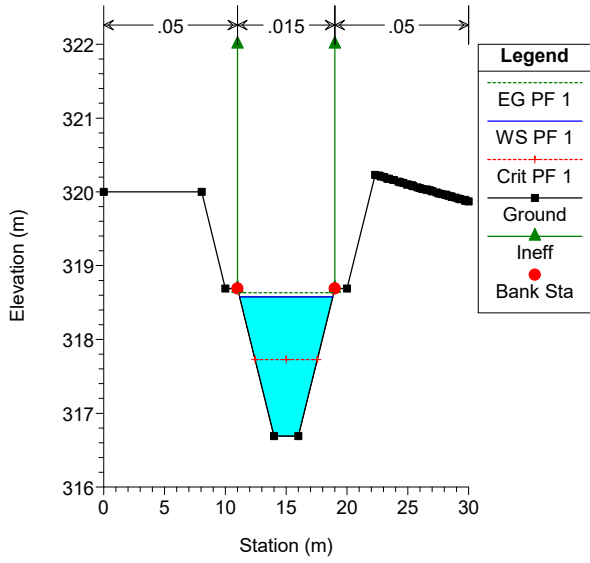
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



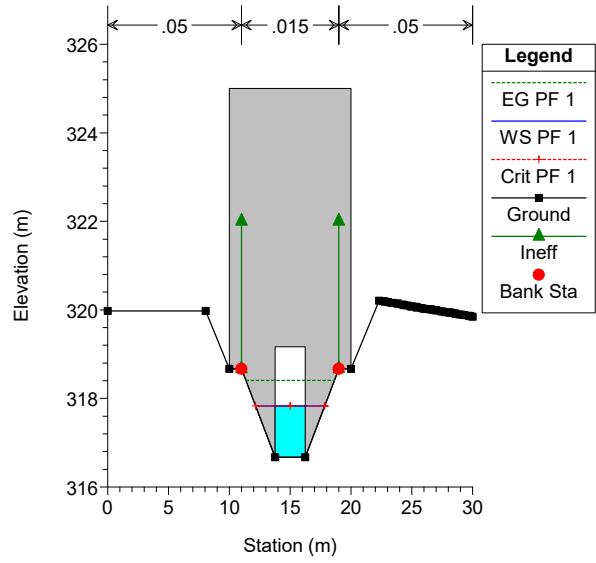
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



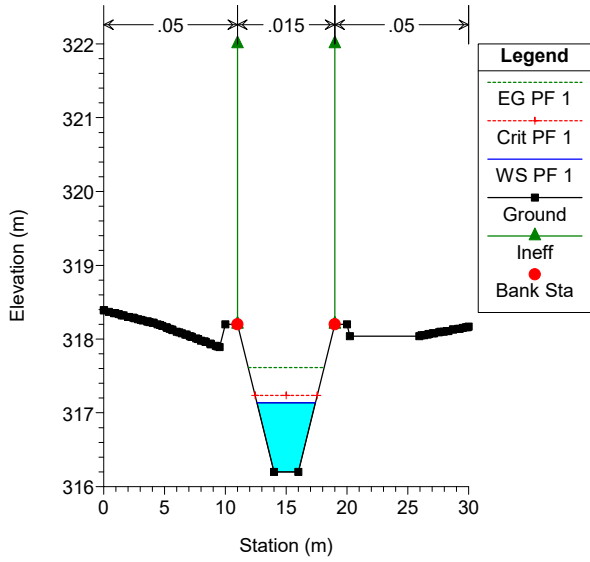
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



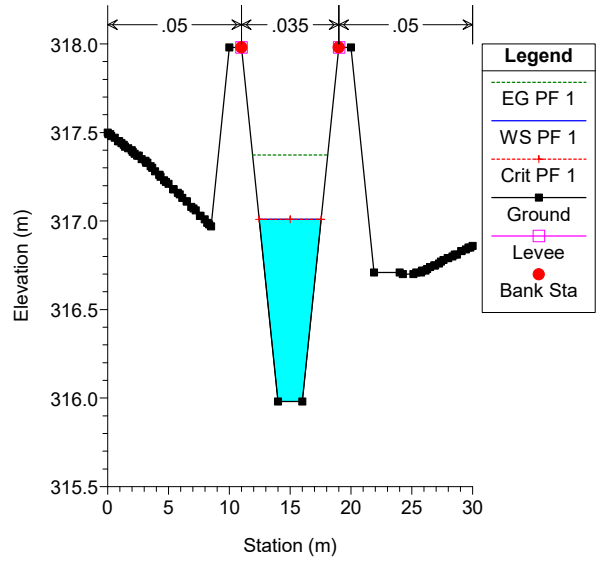
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



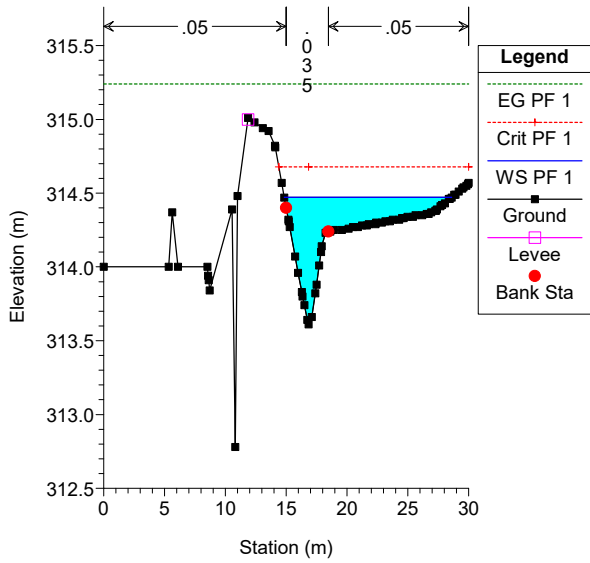
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



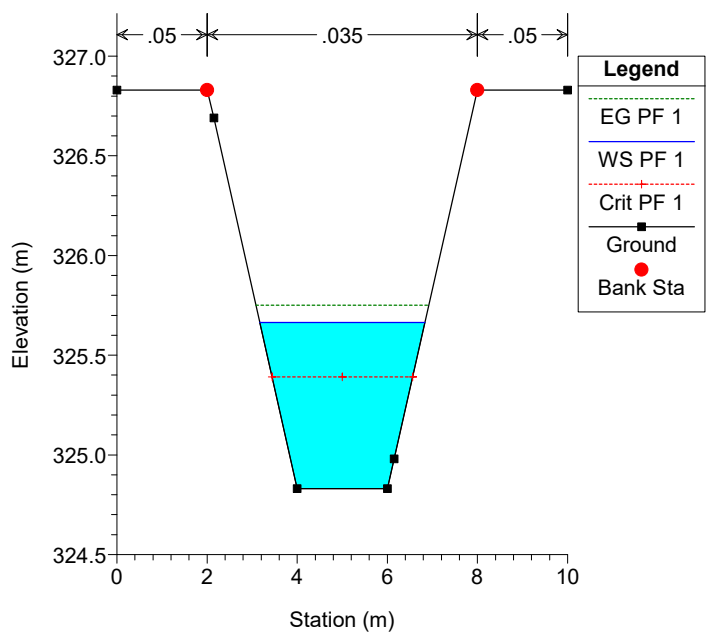
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



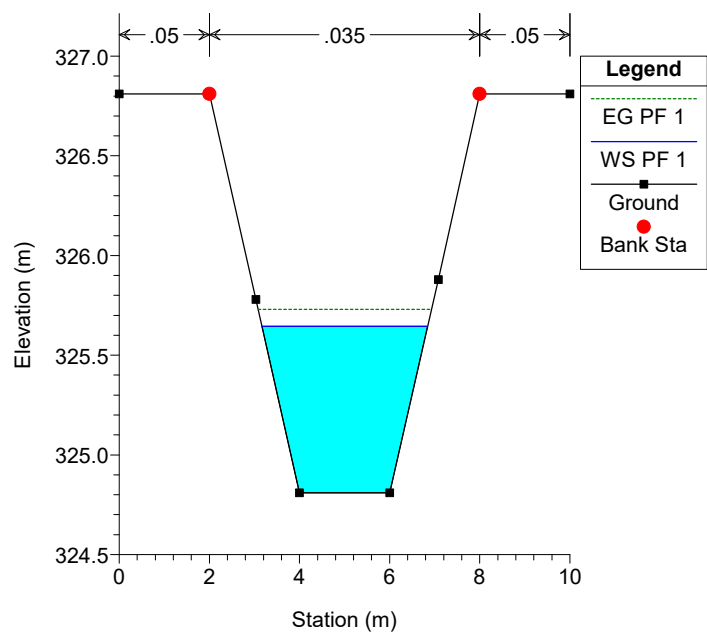
Torrente km. 4+500 Plan: Plan PO\_rev 02/05/2024



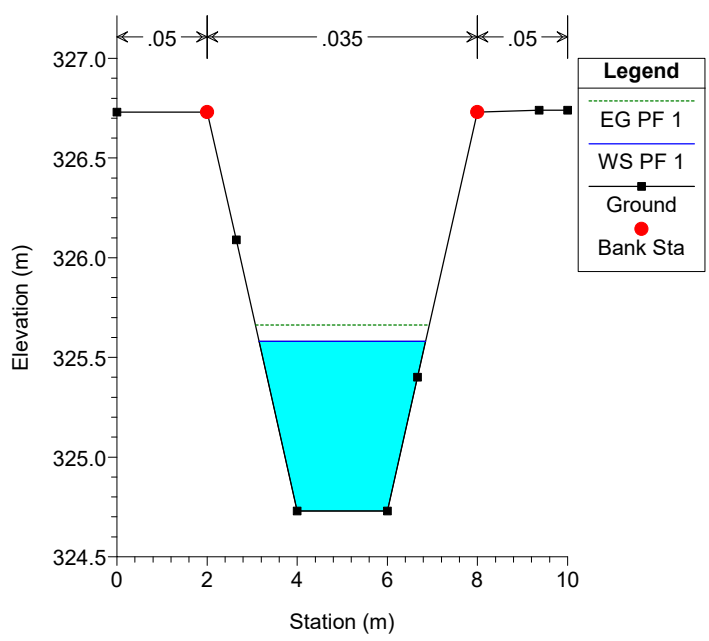
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



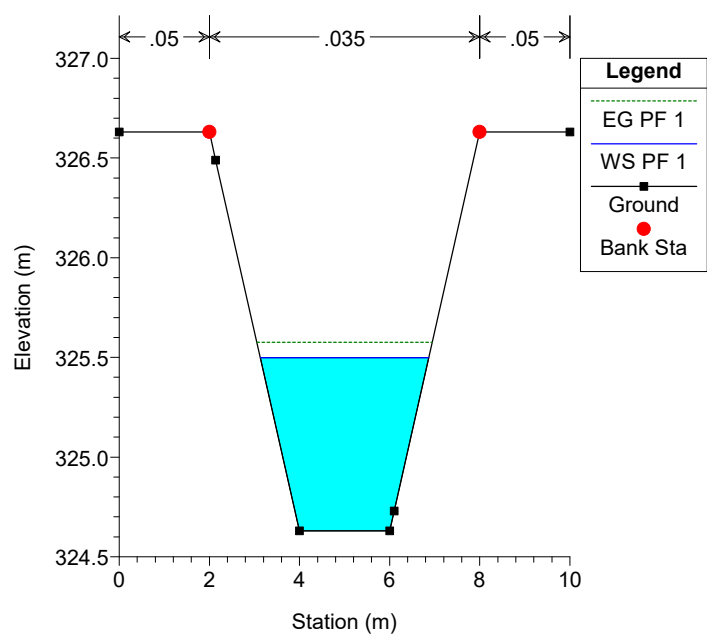
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



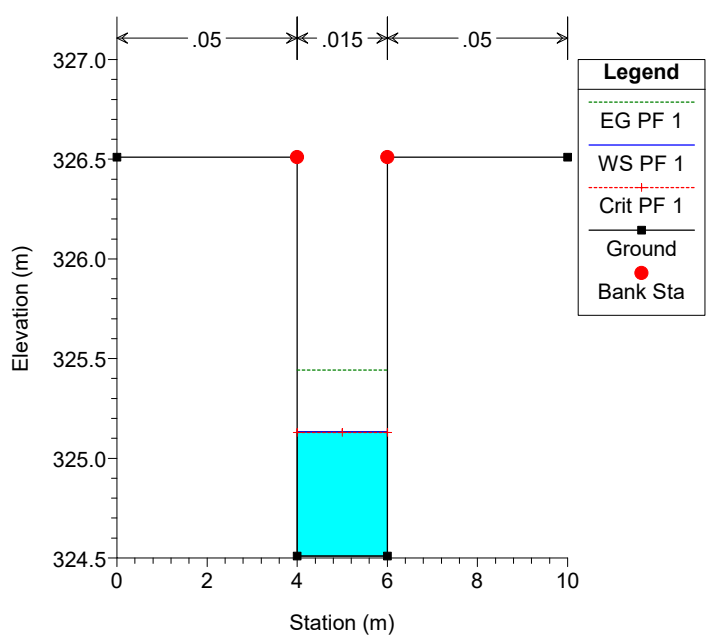
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



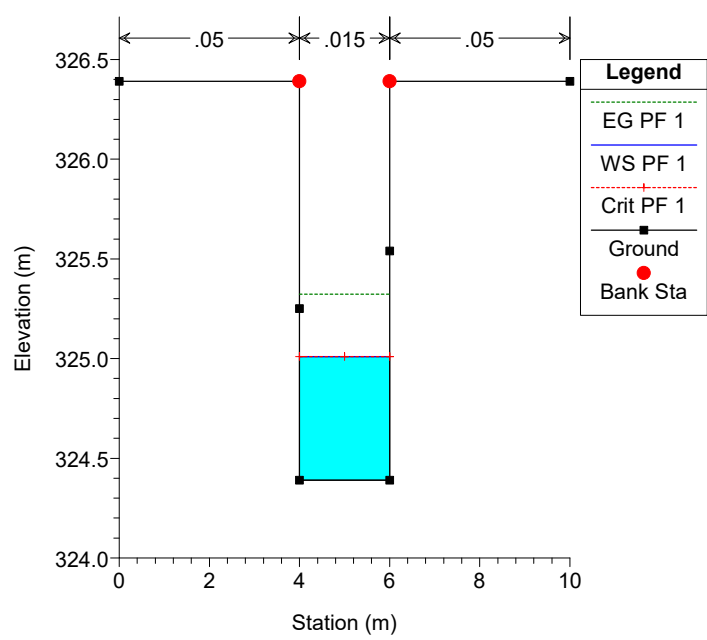
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



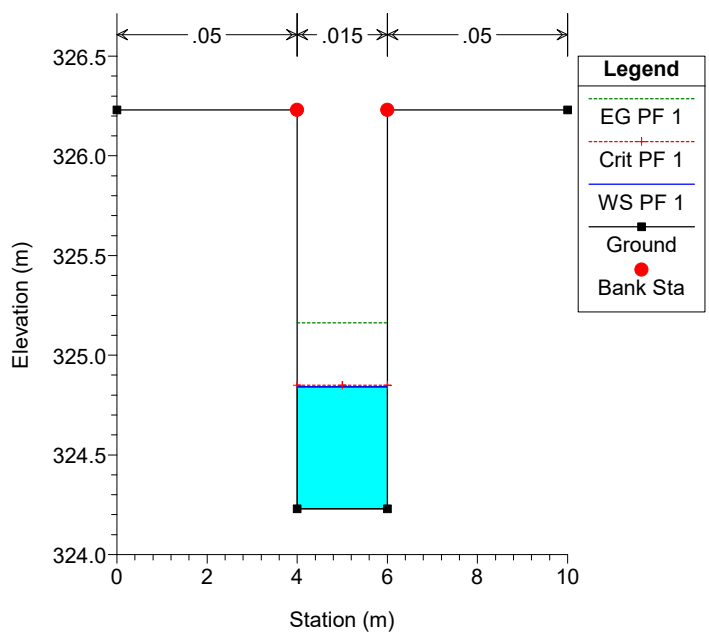
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



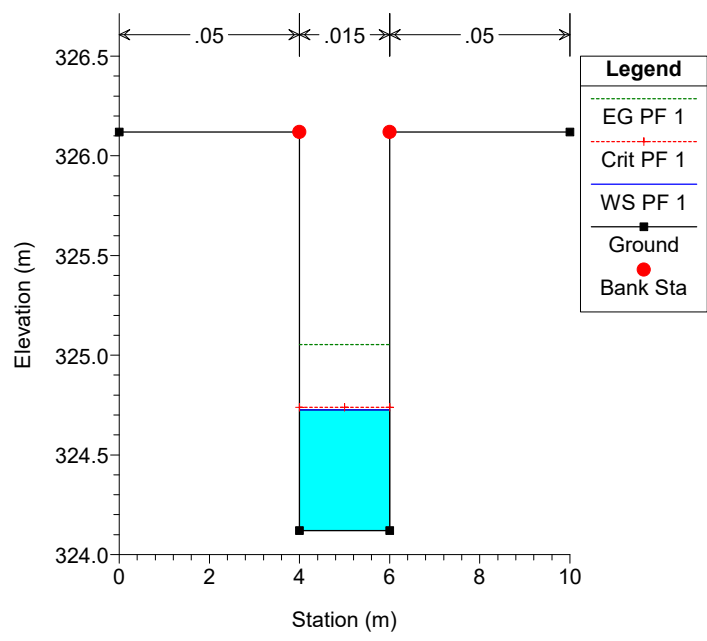
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



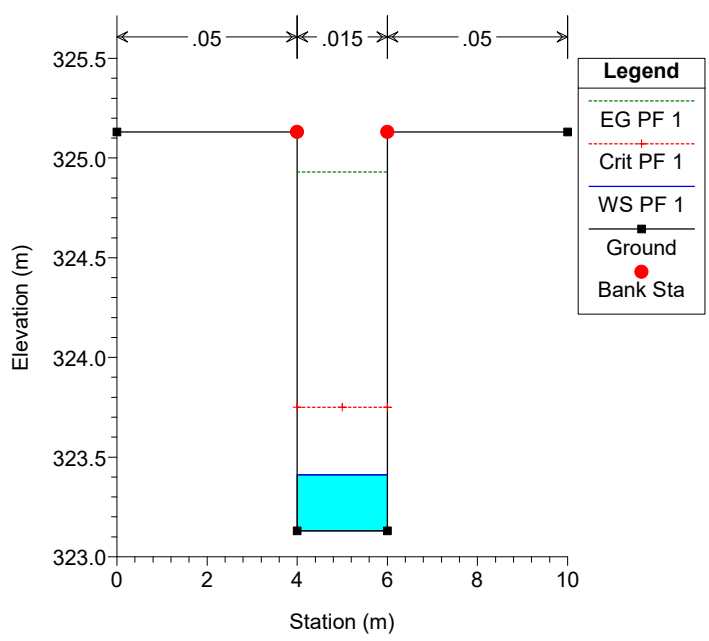
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



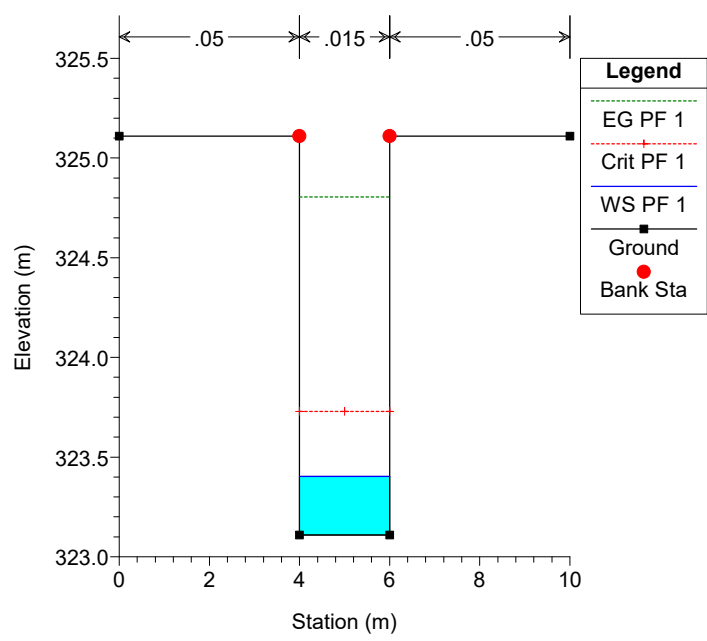
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



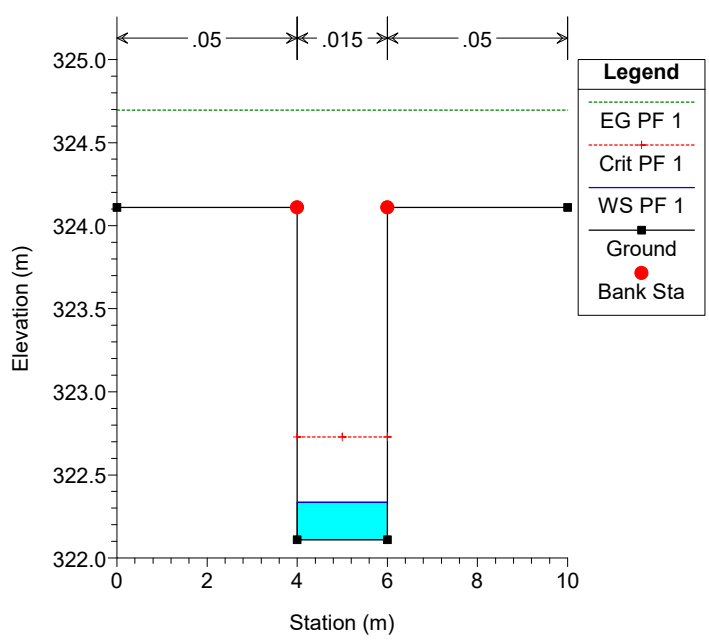
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



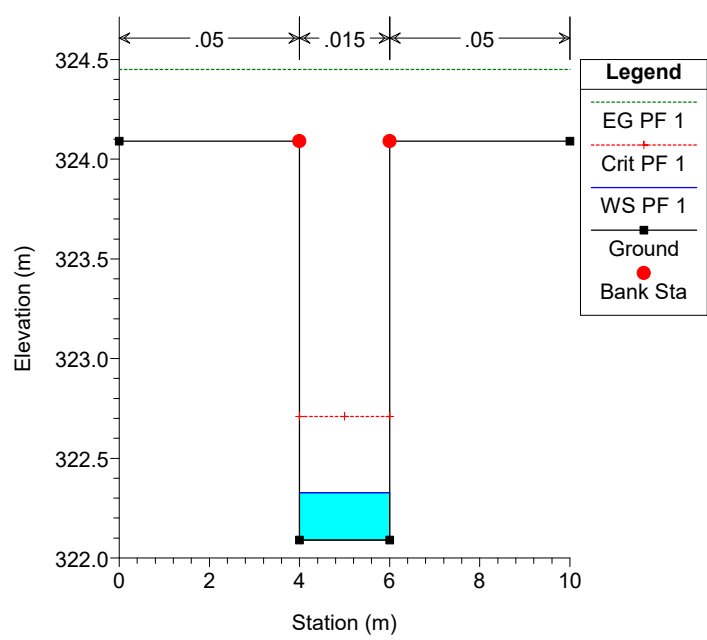
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



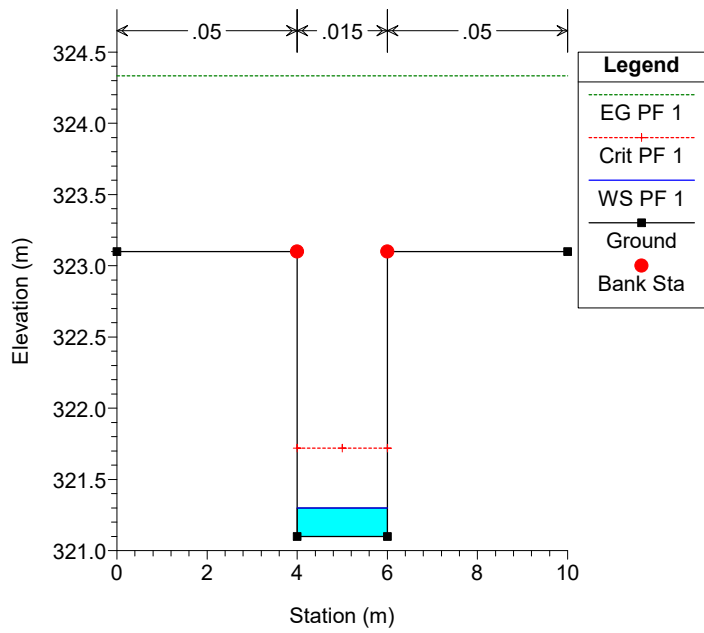
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



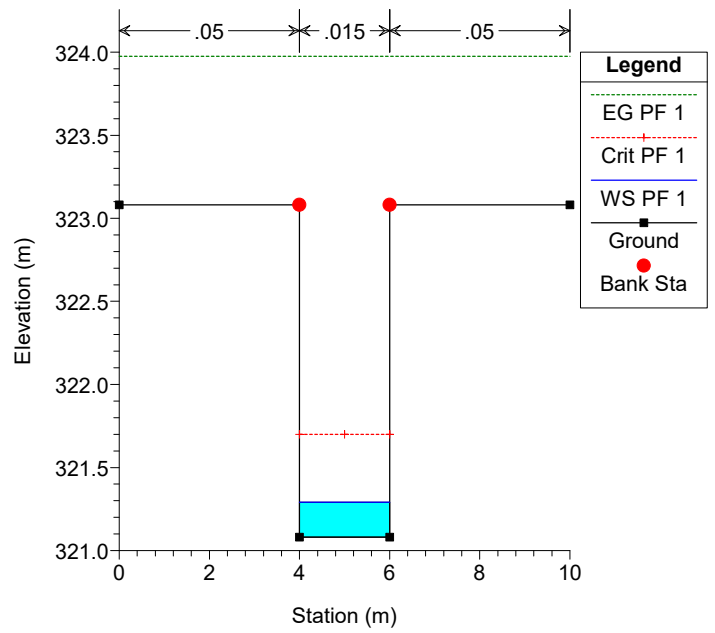
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



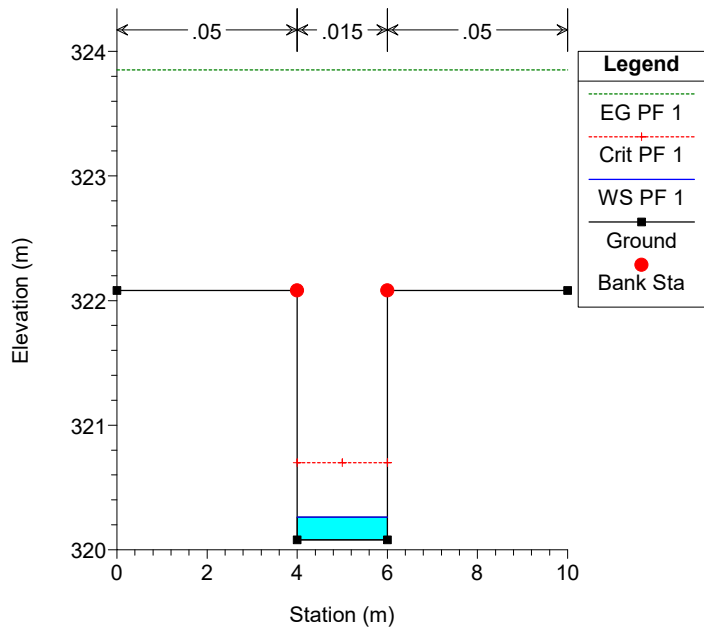
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



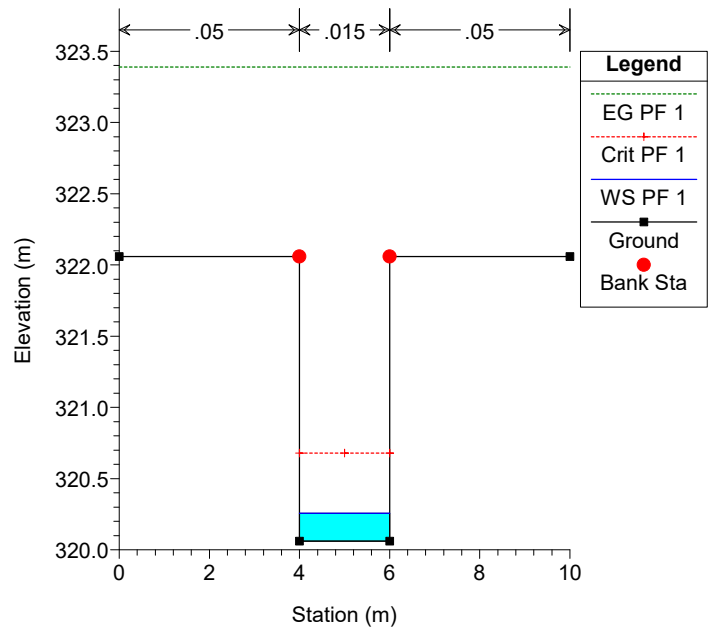
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



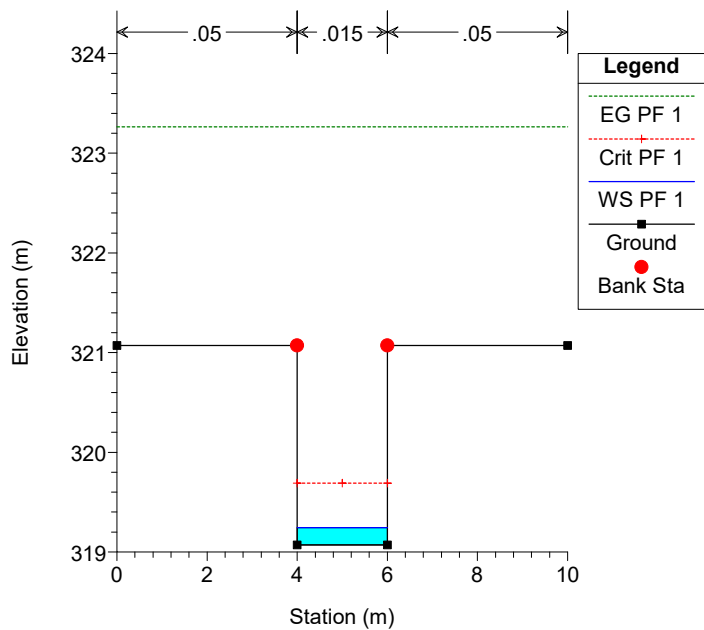
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



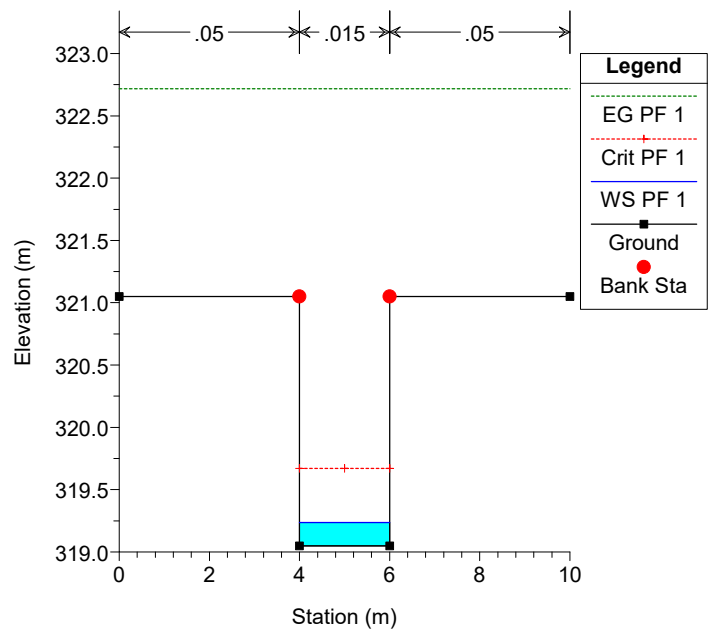
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024

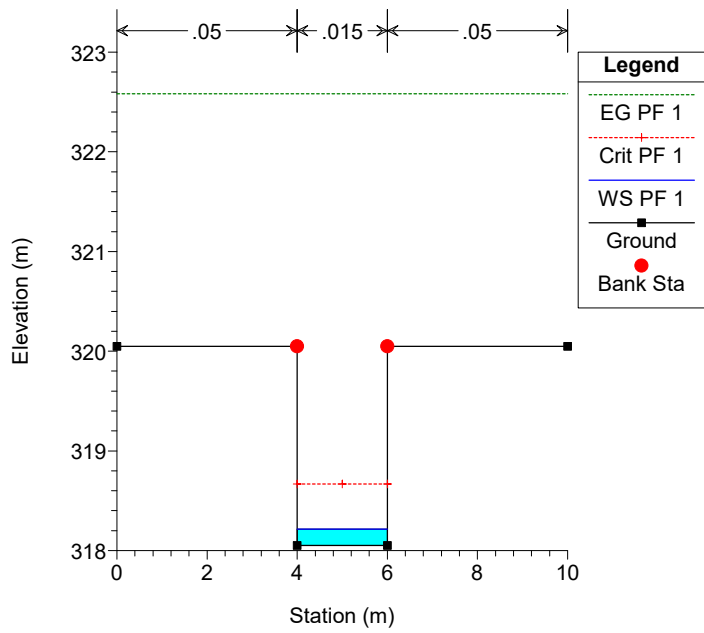


Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024

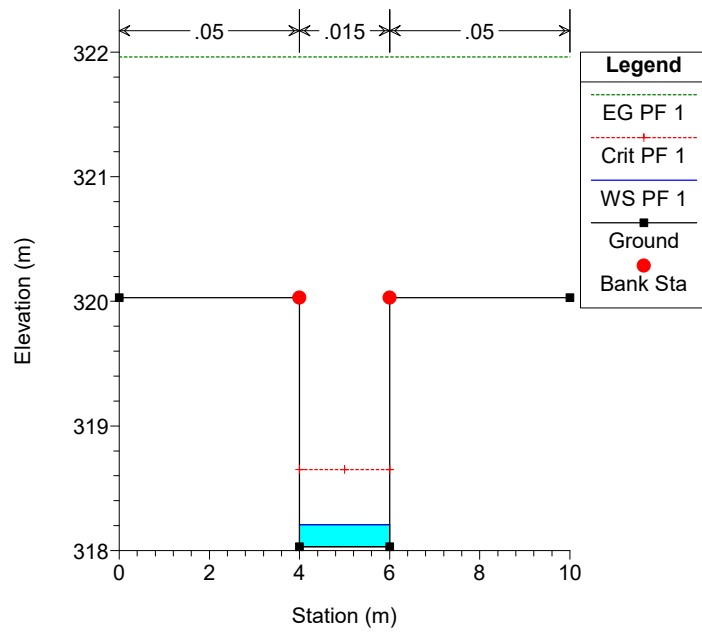




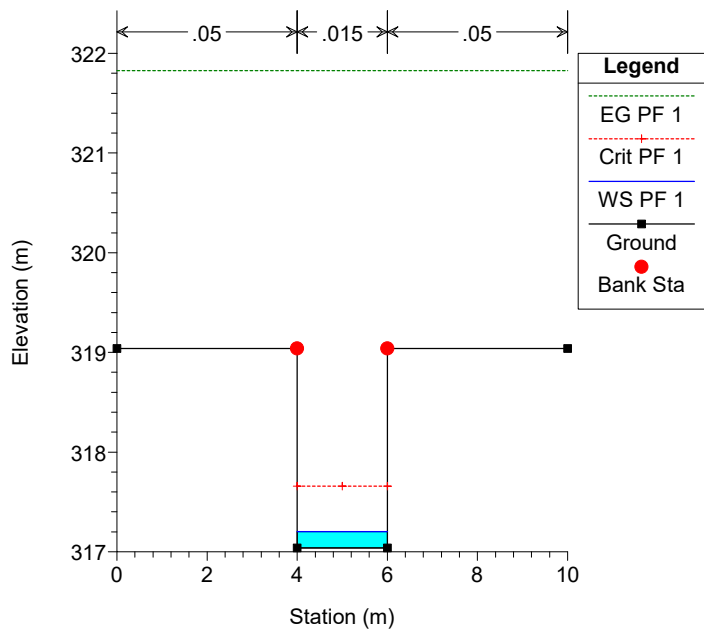
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



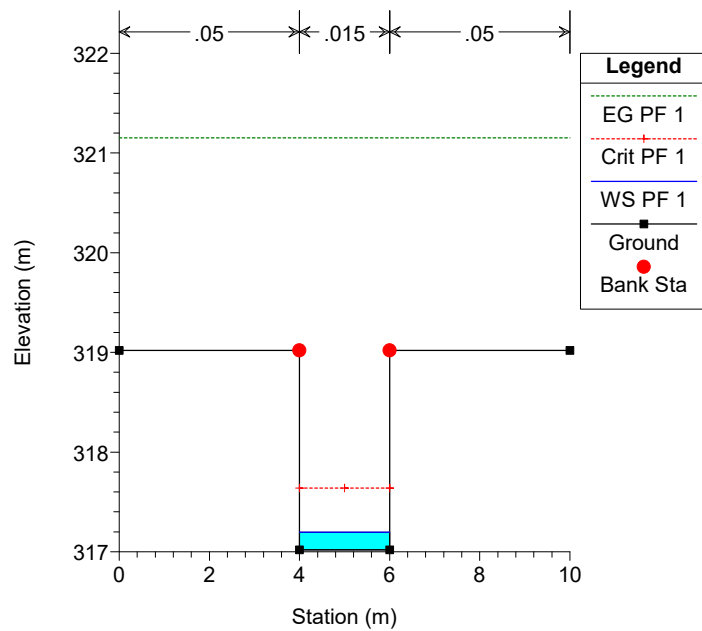
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



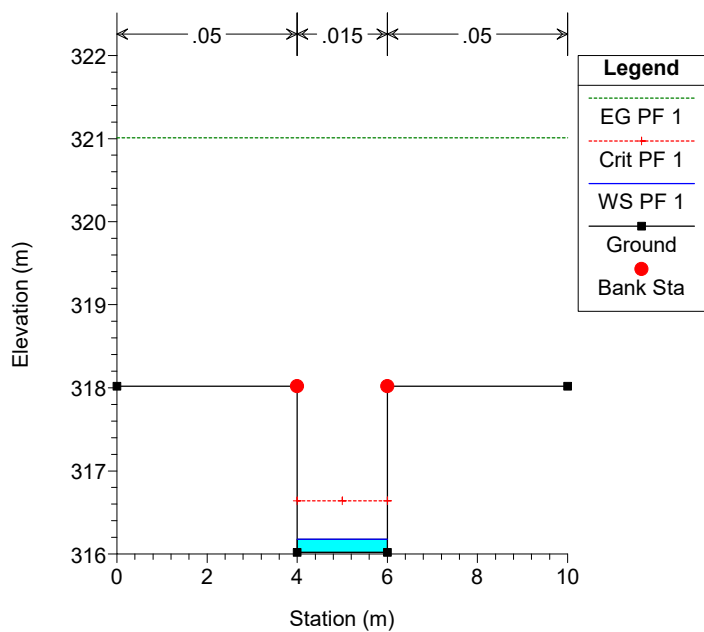
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



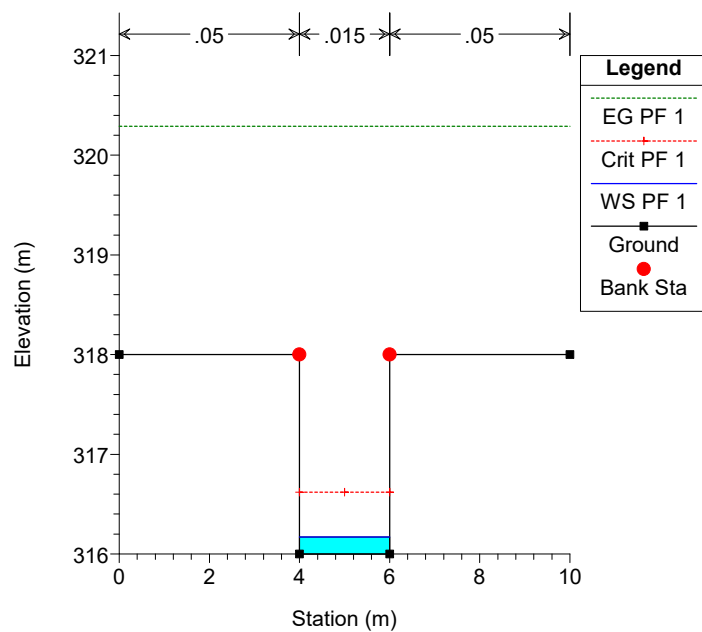
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



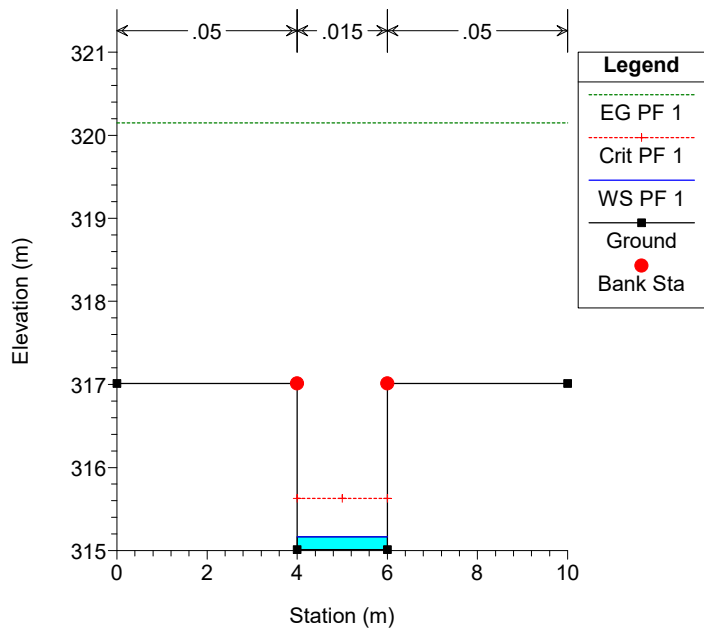
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



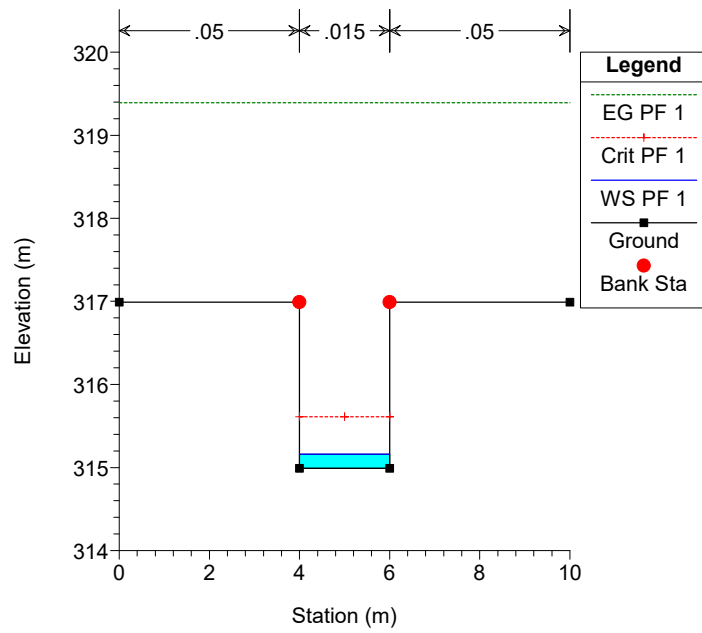
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



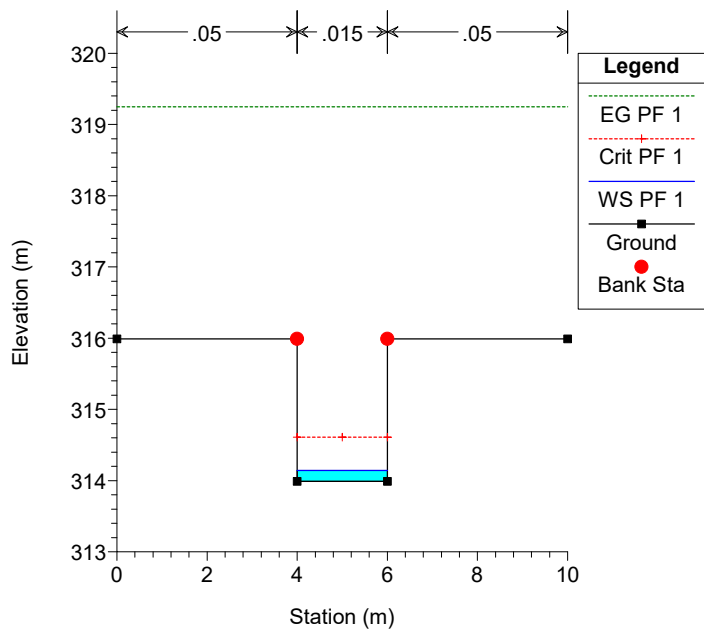
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



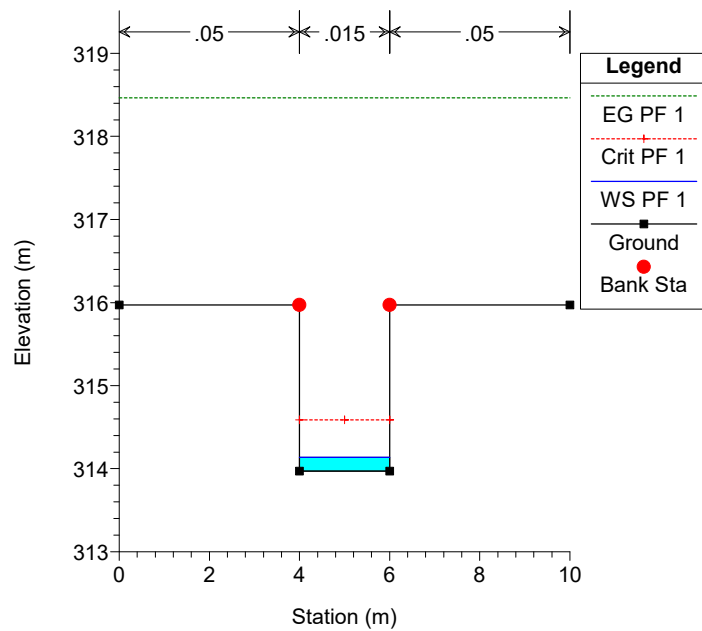
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



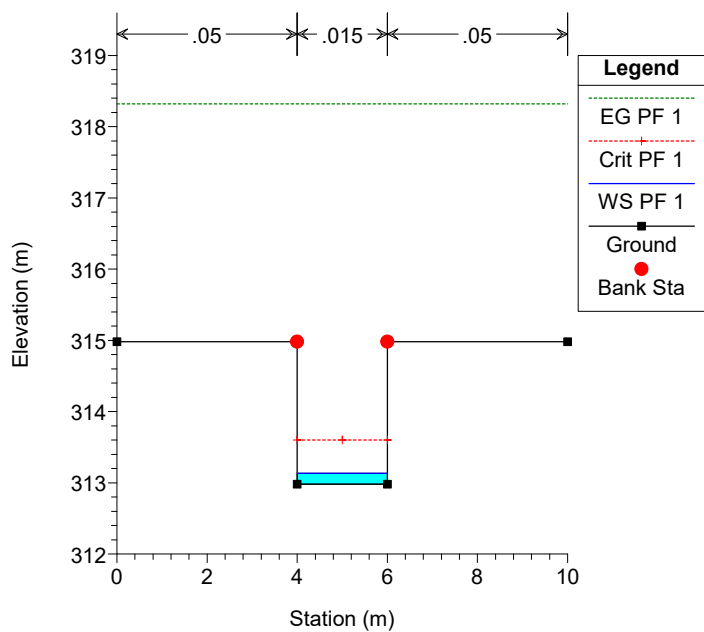
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



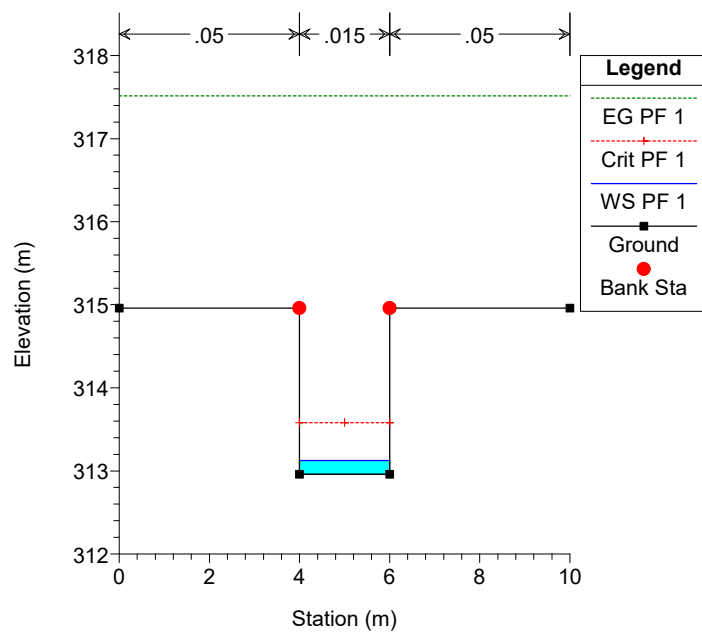
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



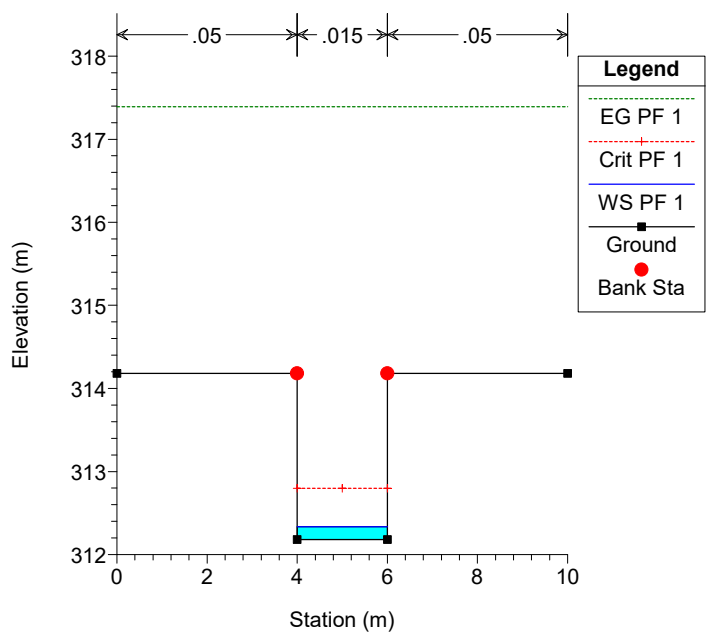
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



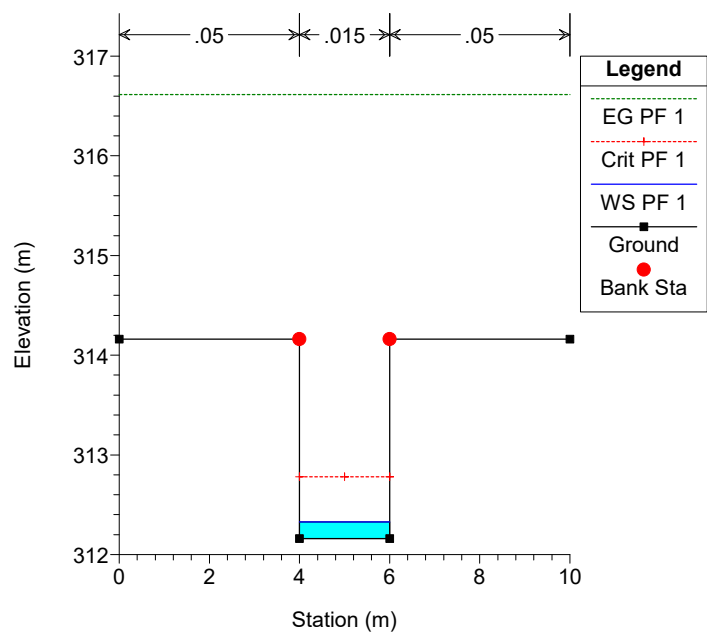
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



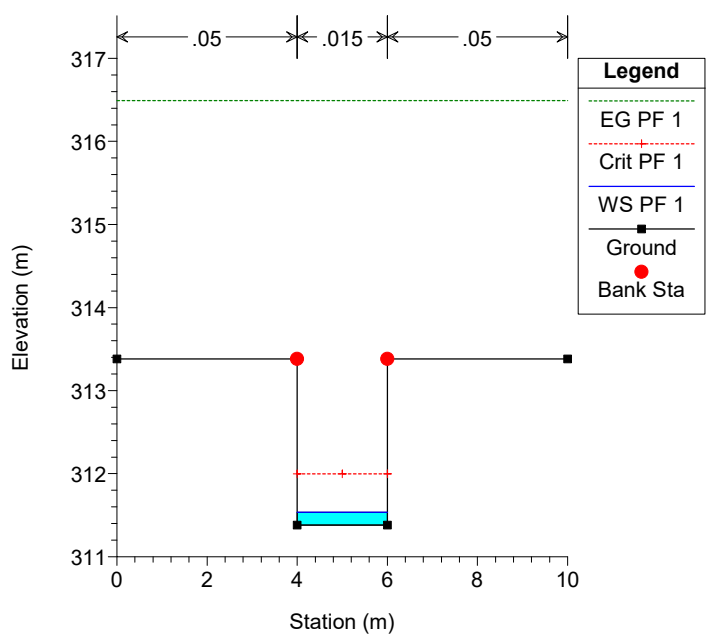
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



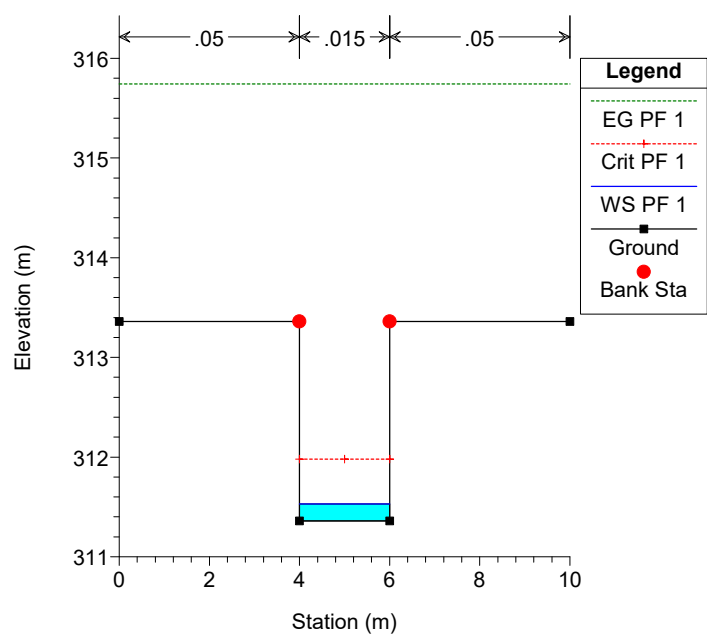
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



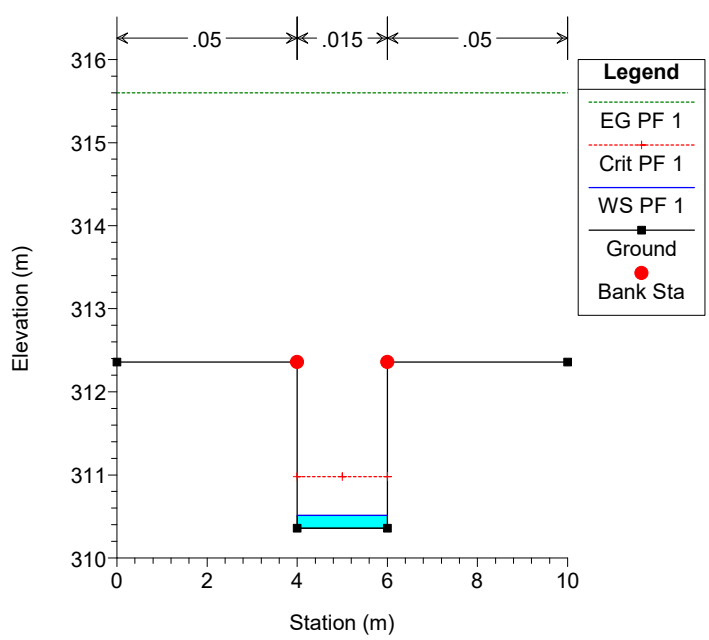
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



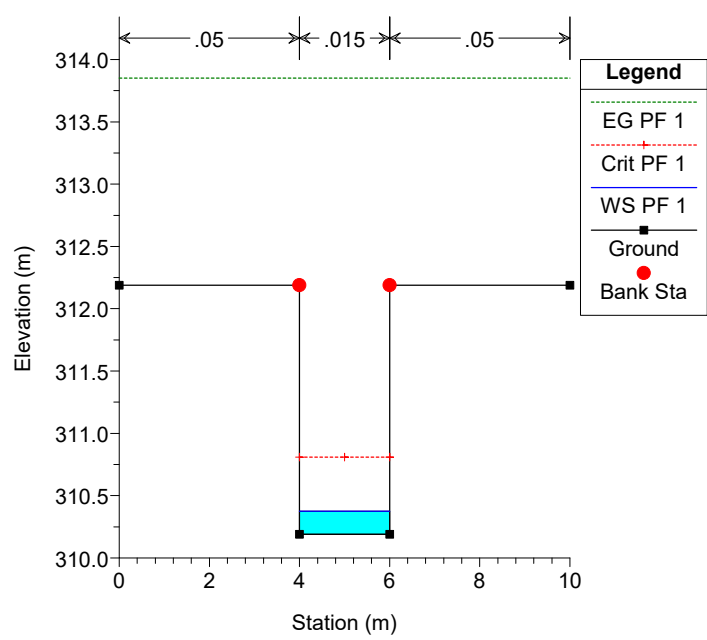
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024

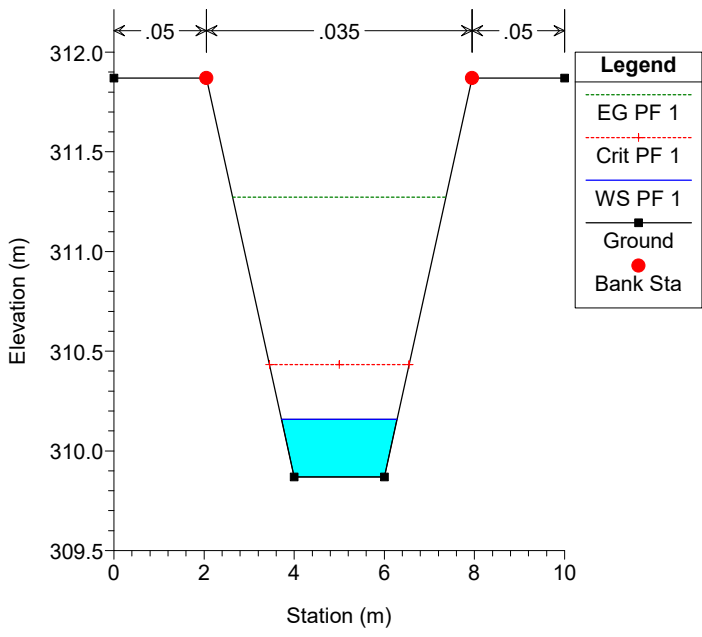


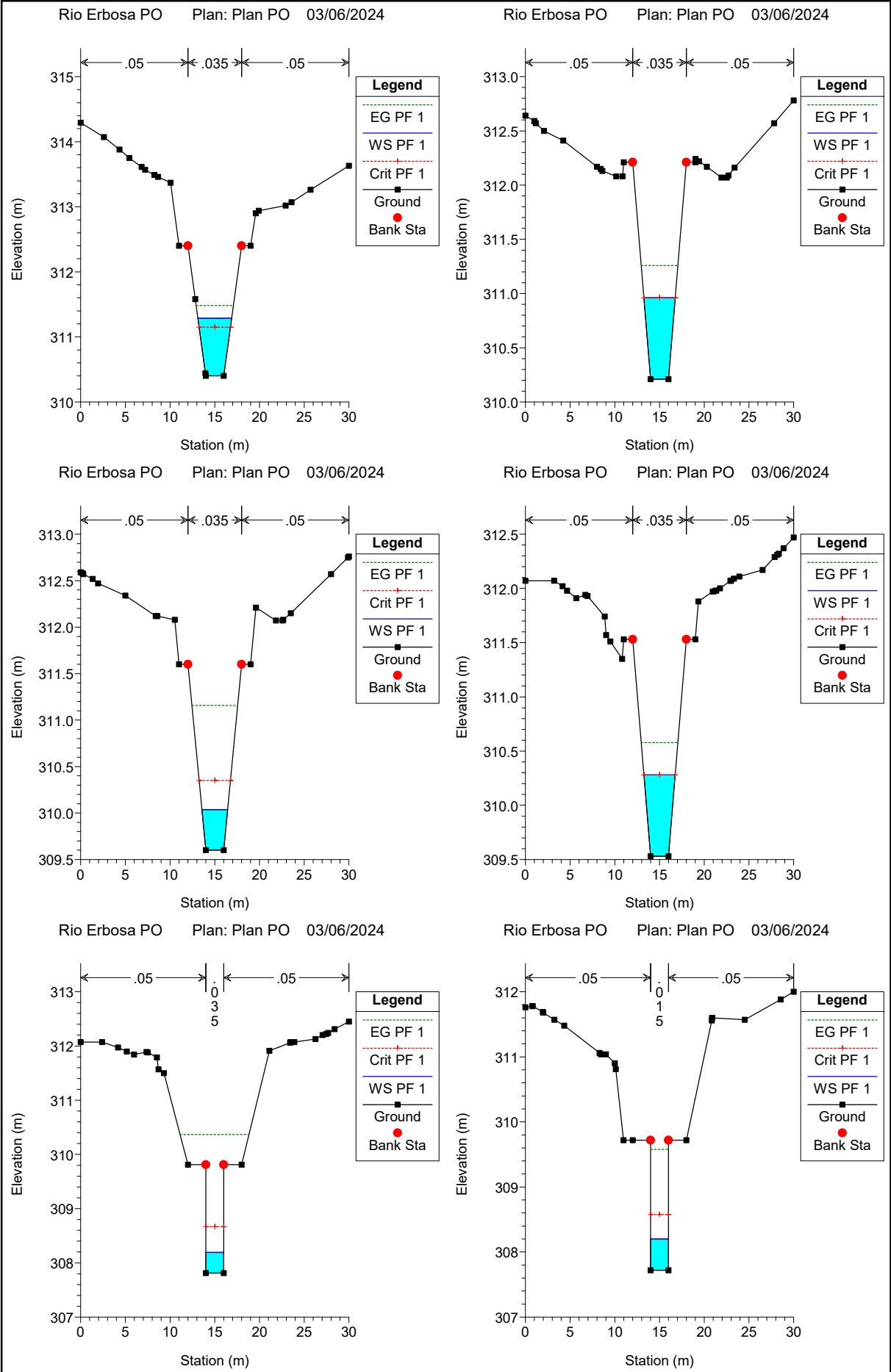
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



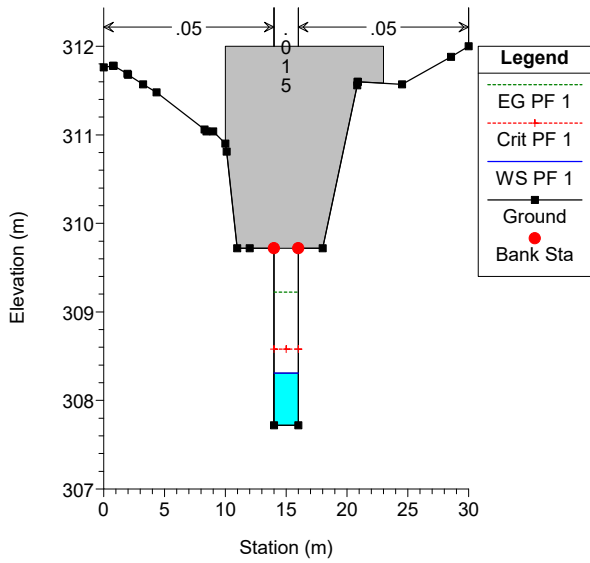
Rio Rosciano PO Plan: Plan PO 24/01/2024



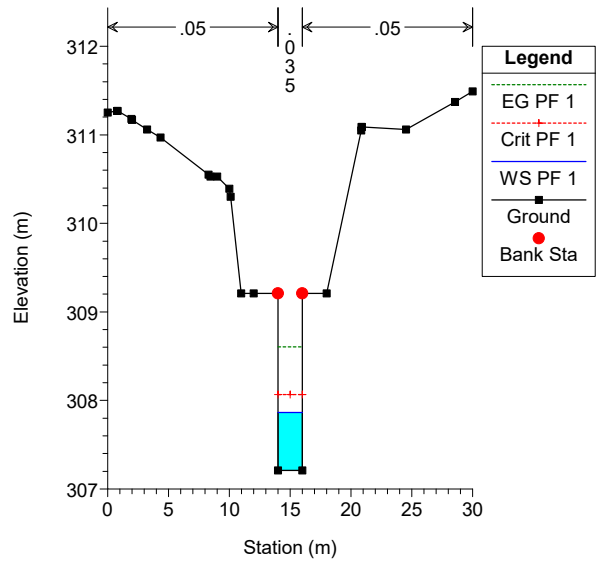




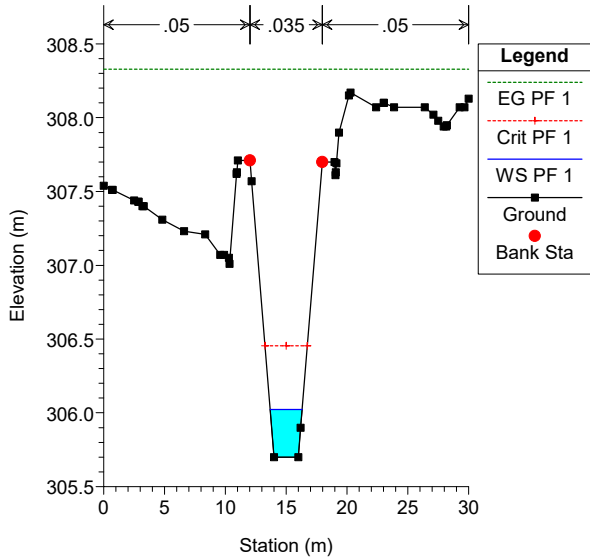
Rio Erbosa PO Plan: Plan PO 03/06/2024



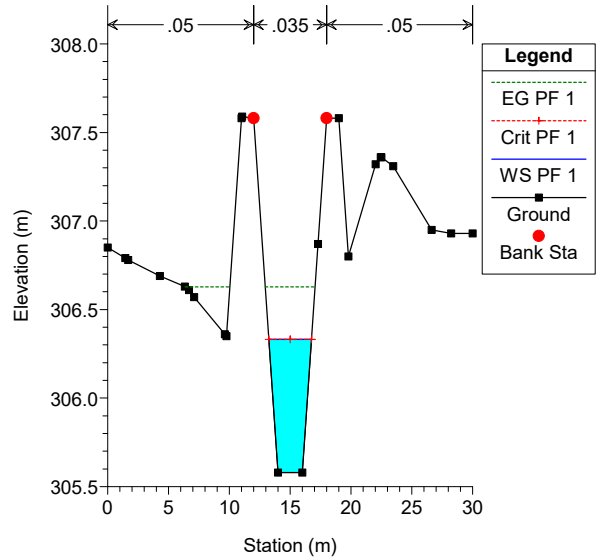
Rio Erbosa PO Plan: Plan PO 03/06/2024



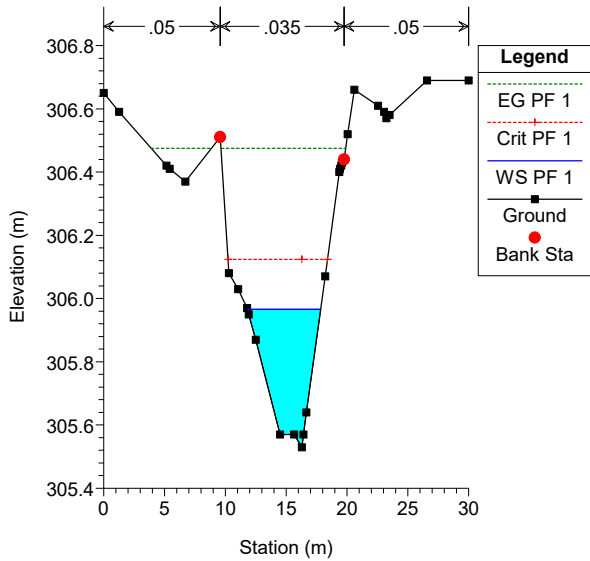
Rio Erbosa PO Plan: Plan PO 03/06/2024

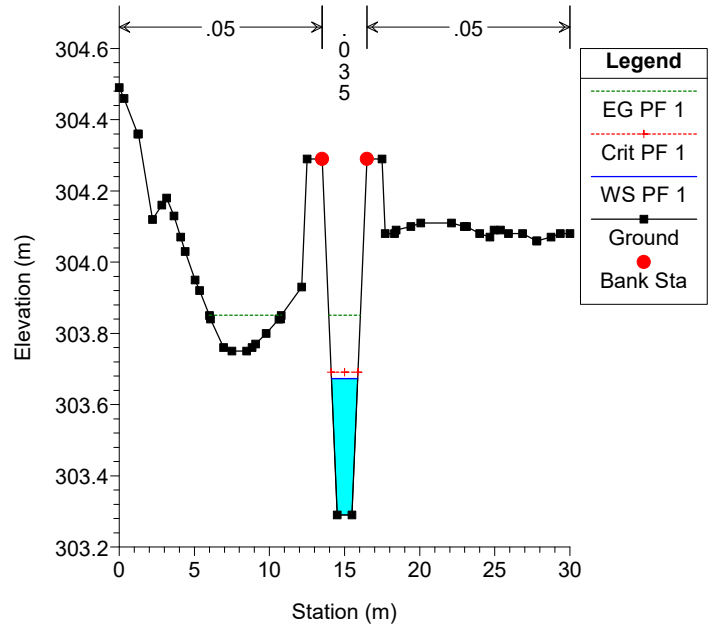
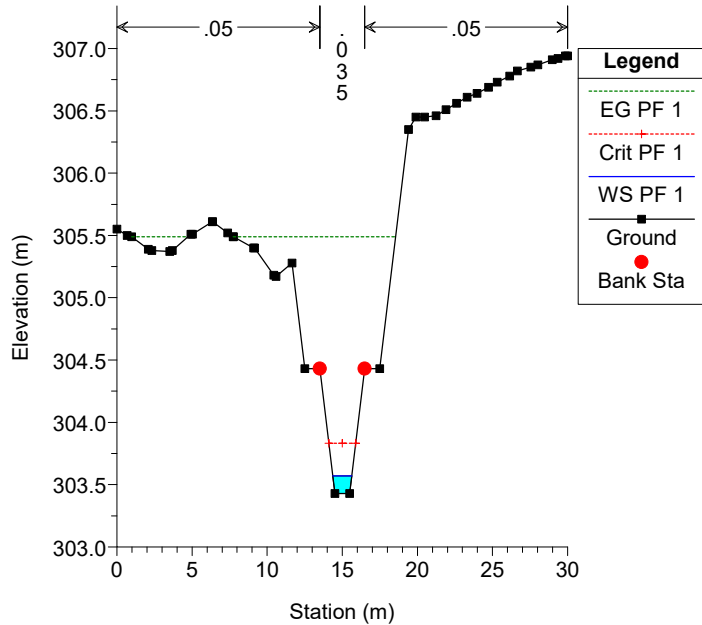
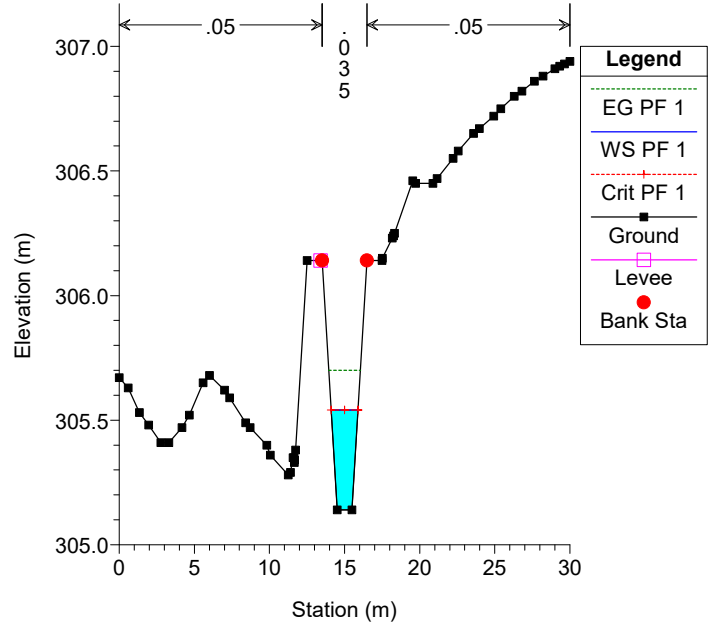
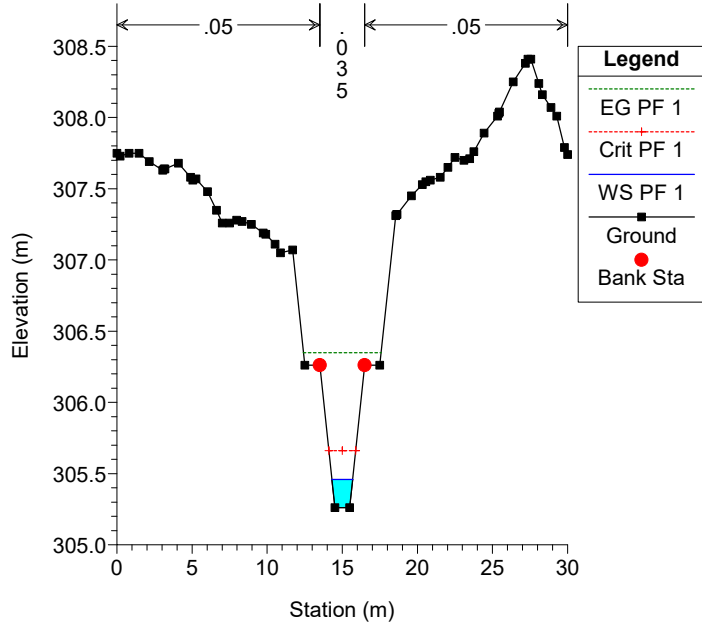
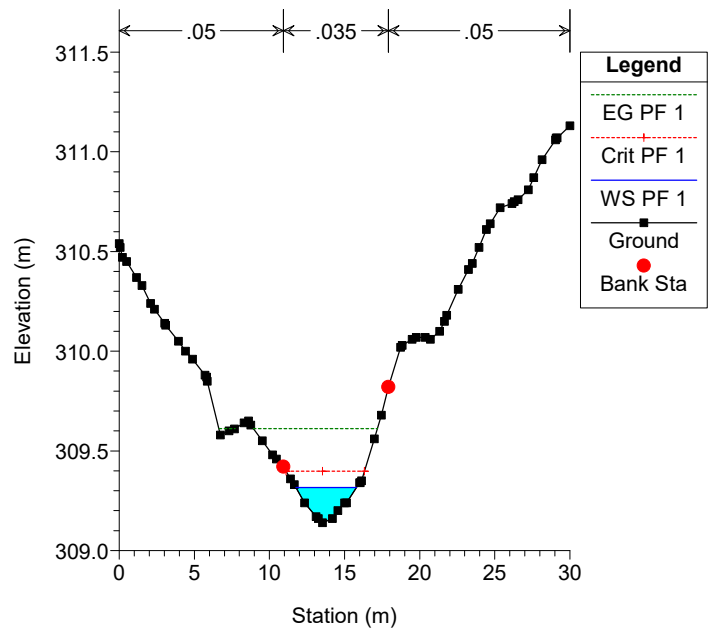
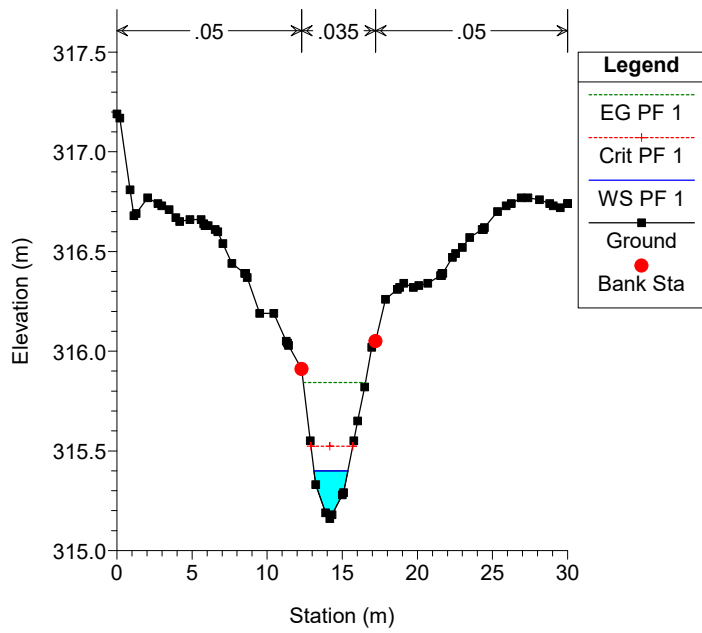


Rio Erbosa PO Plan: Plan PO 03/06/2024

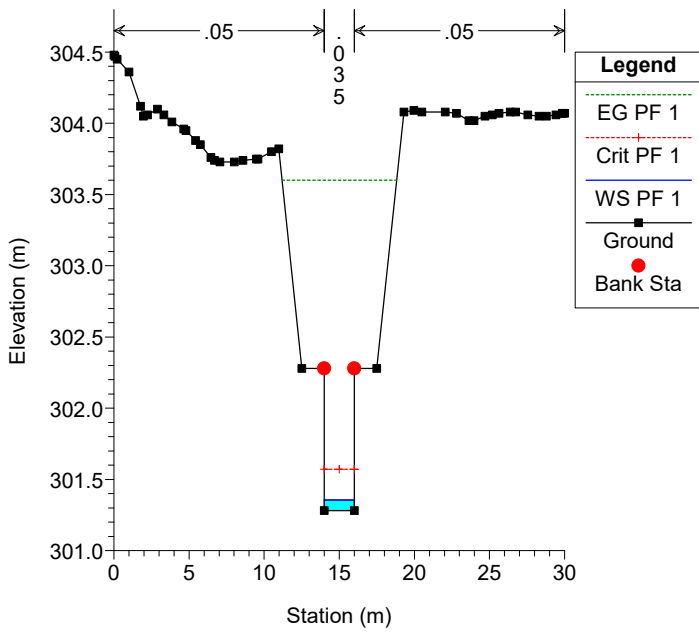


Rio Erbosa PO Plan: Plan PO 03/06/2024

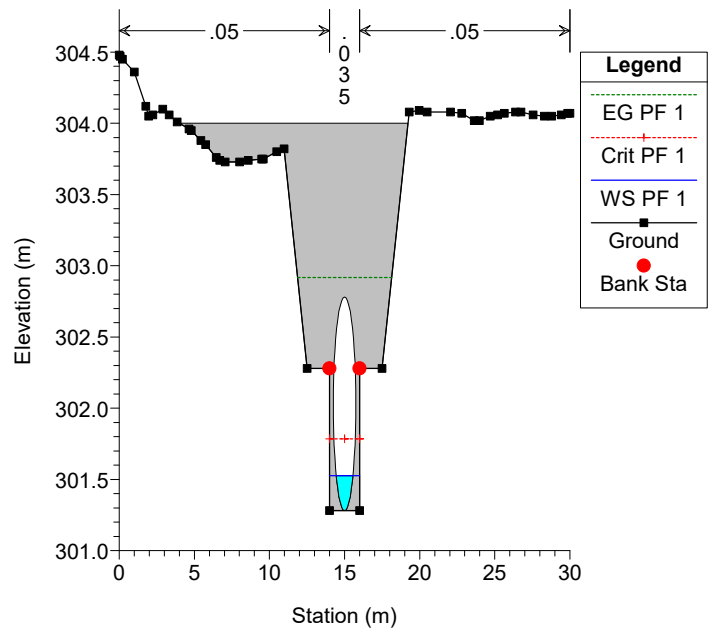




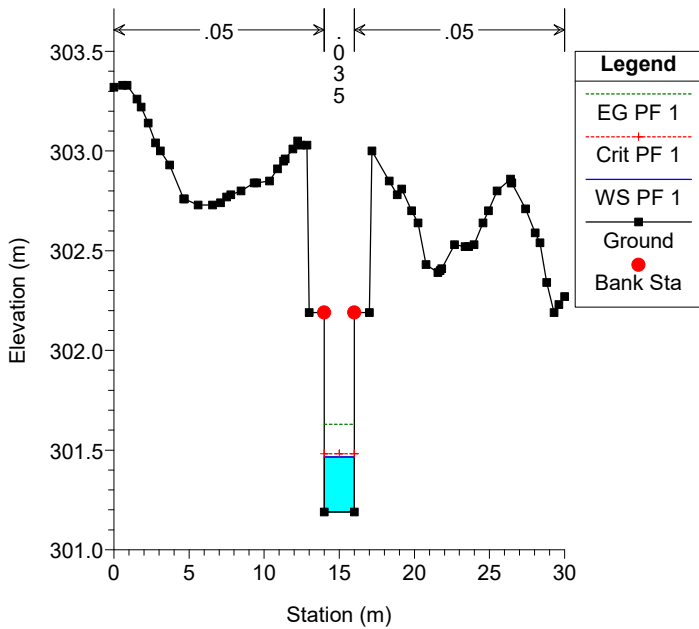
Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024



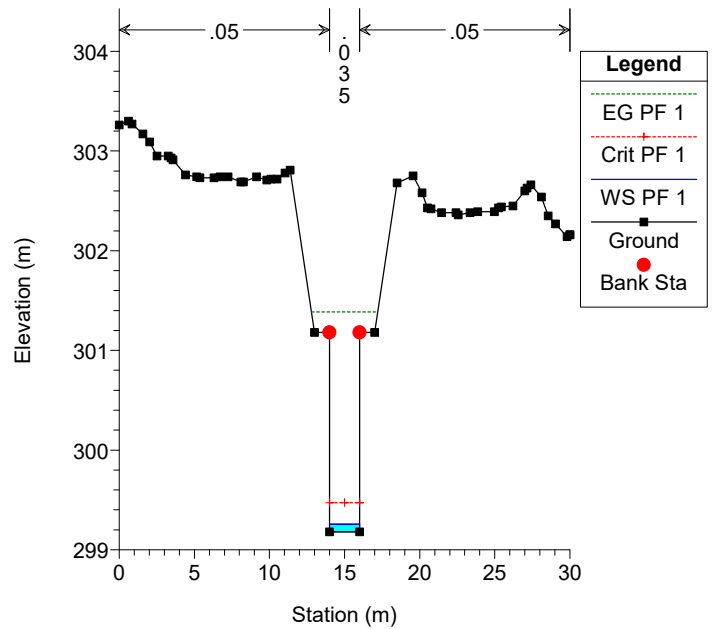
Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024



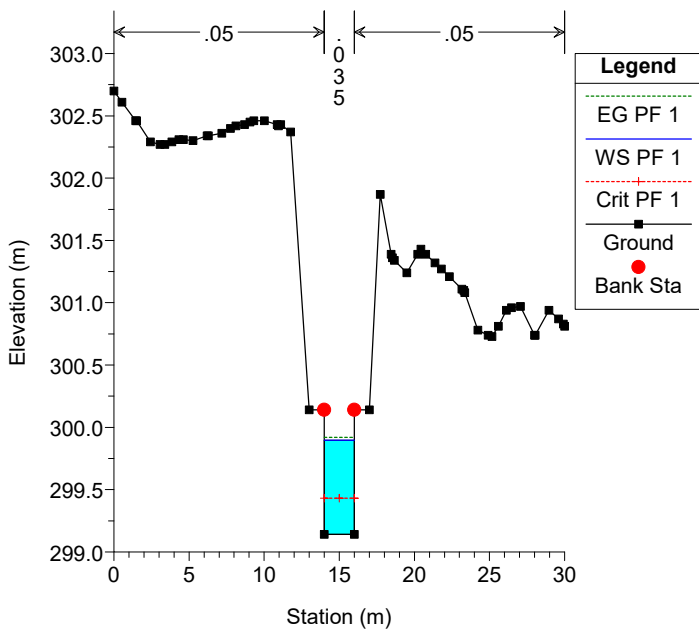
Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024



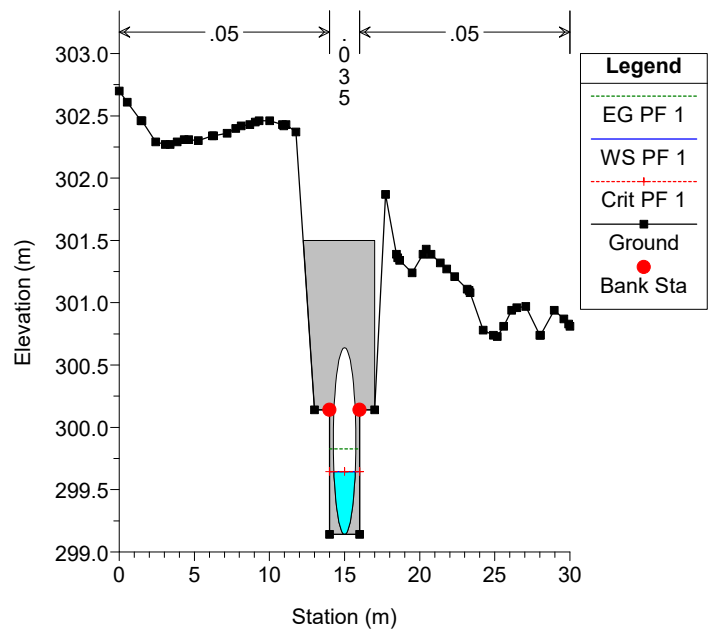
Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024



Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024



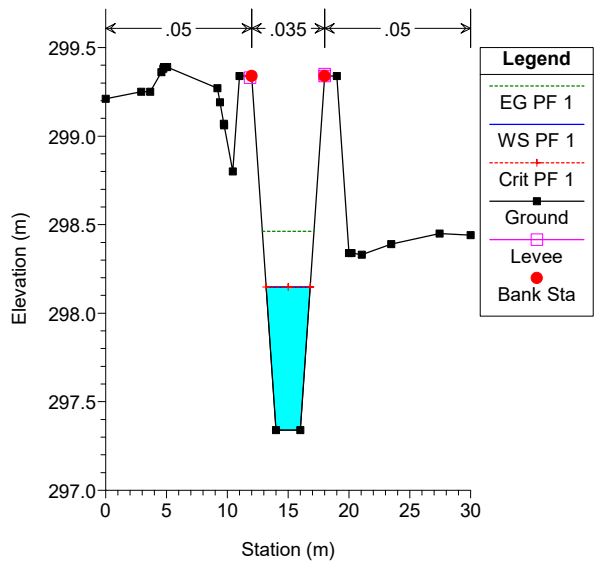
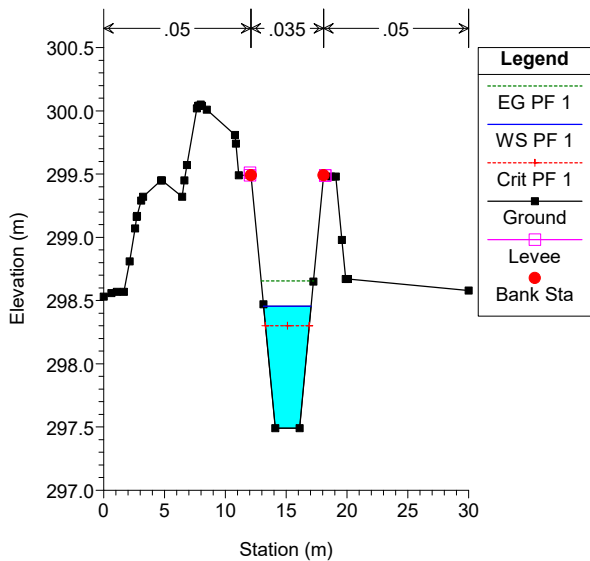
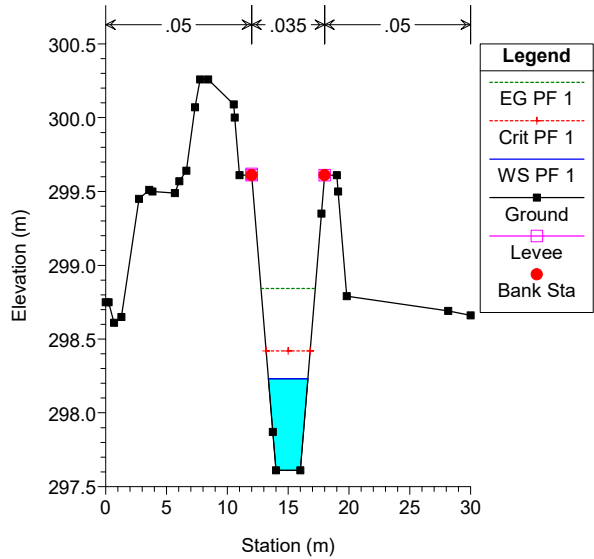
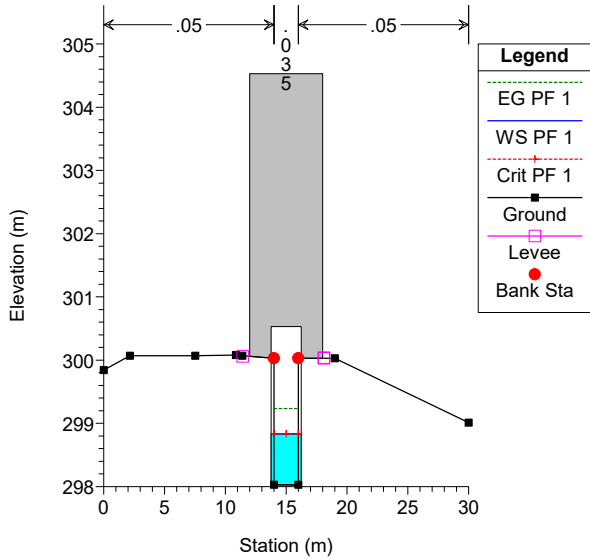
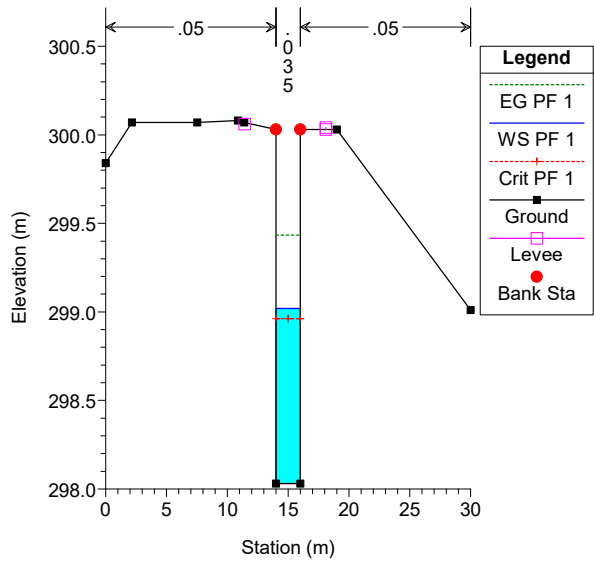
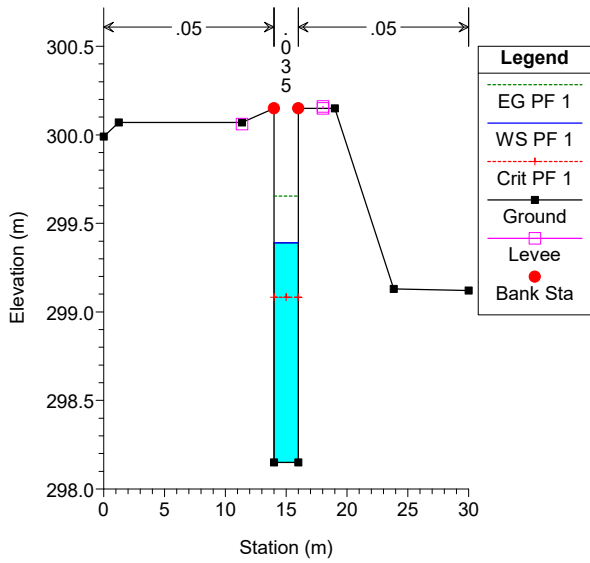
Rio km 8+000 PO Plan: Rio km 8+000 PO 22/02/2024

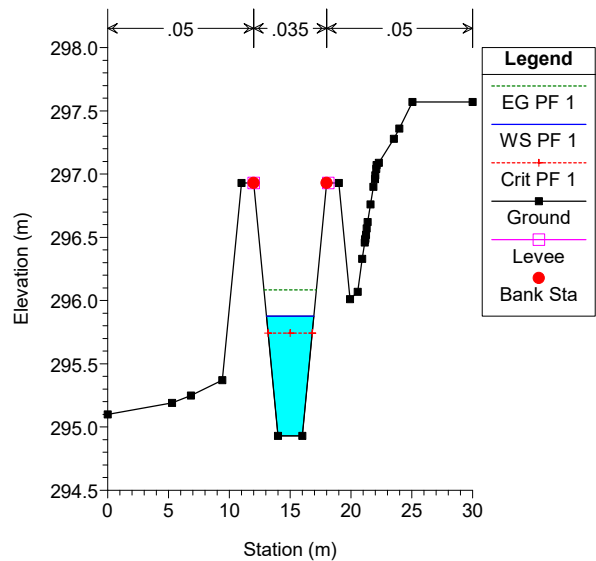
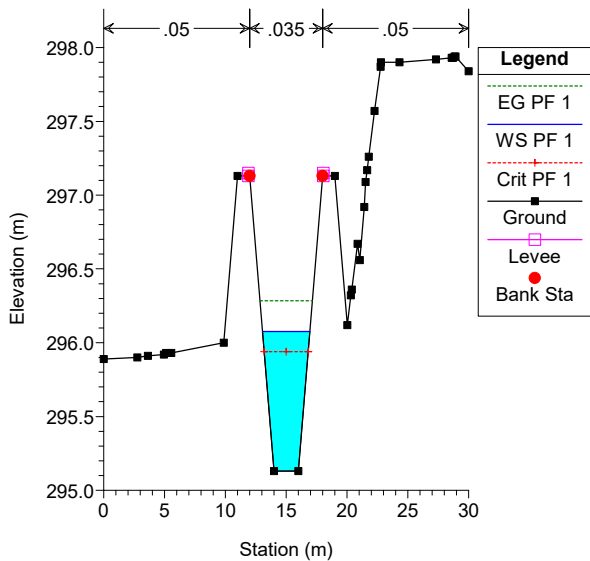
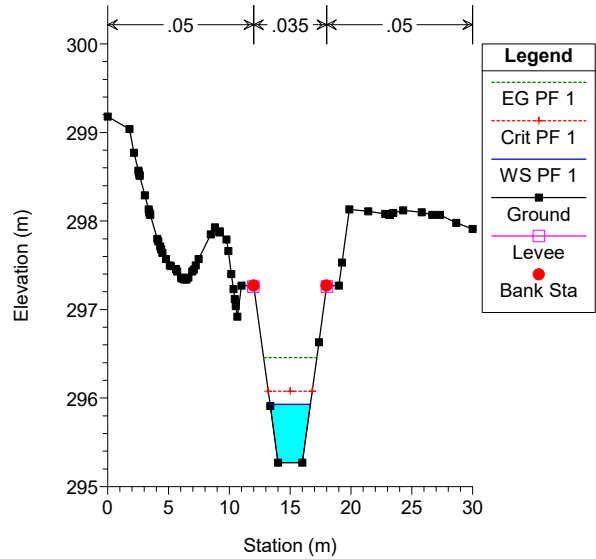
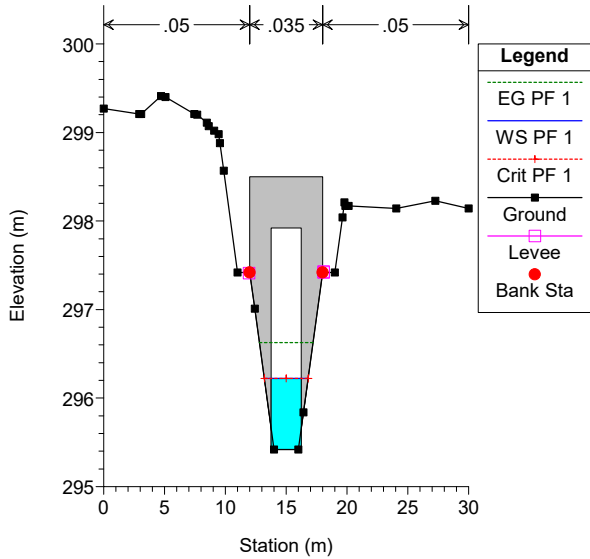
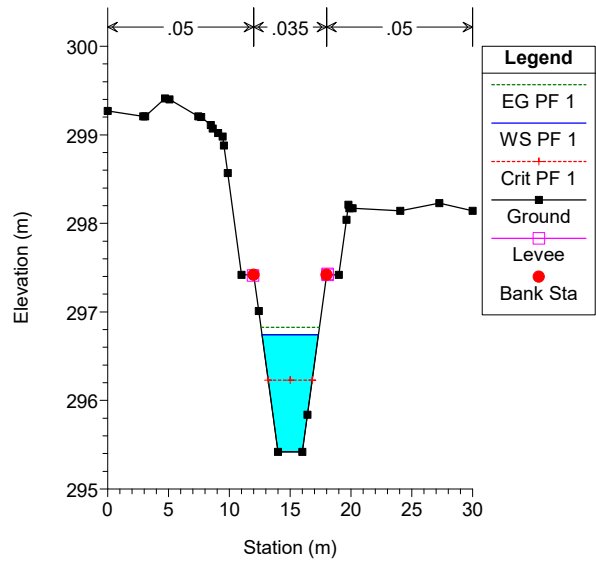
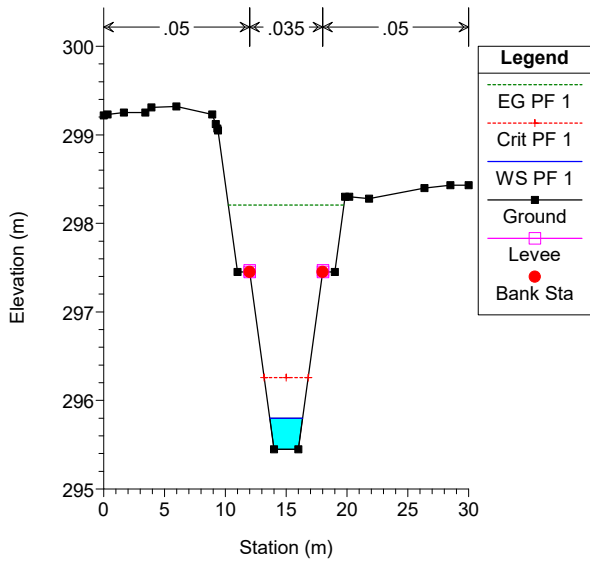


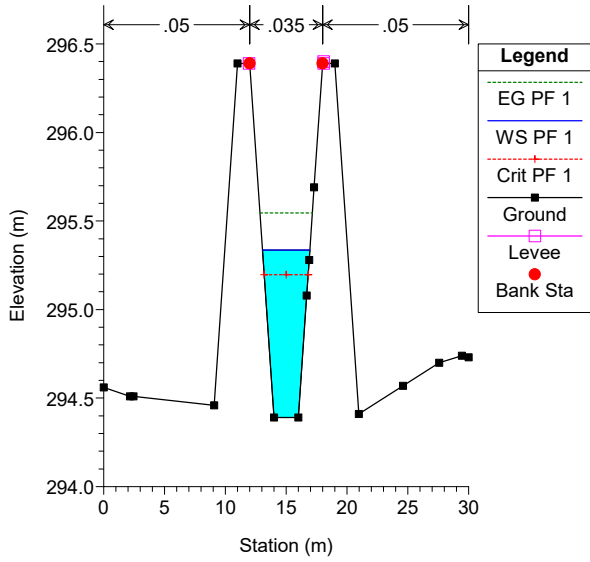
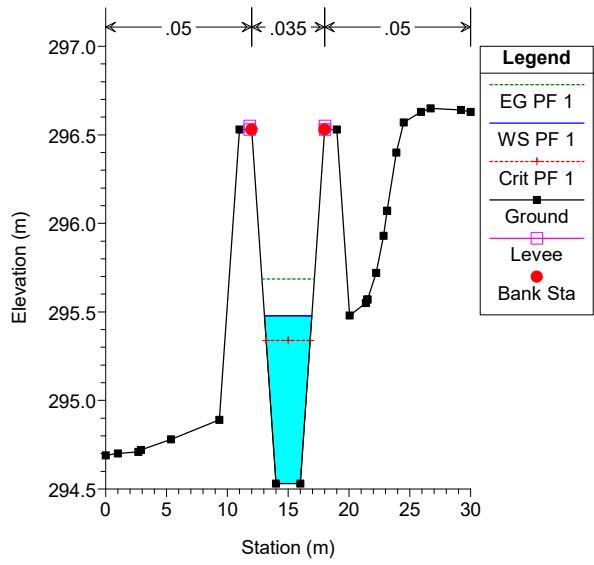
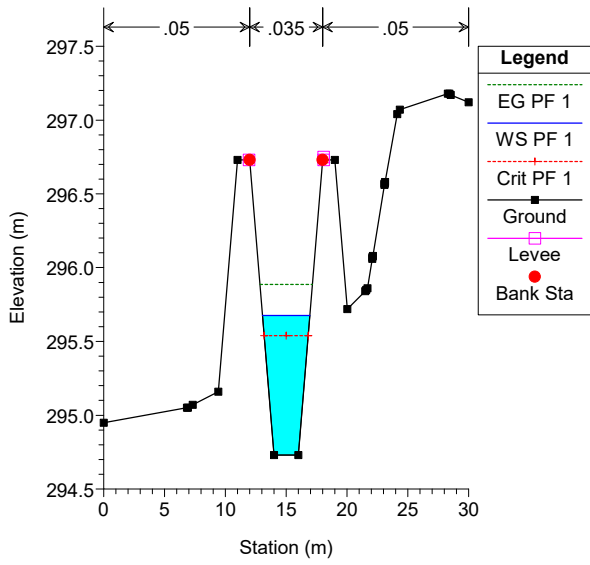




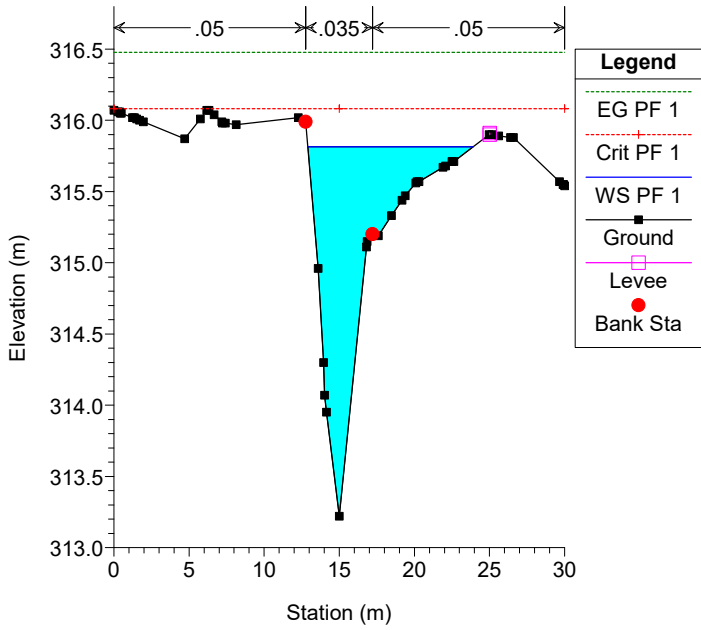




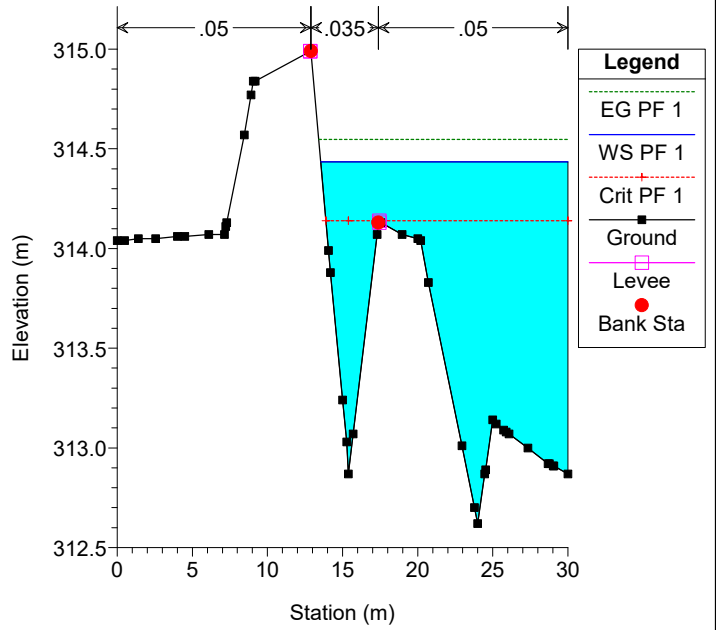




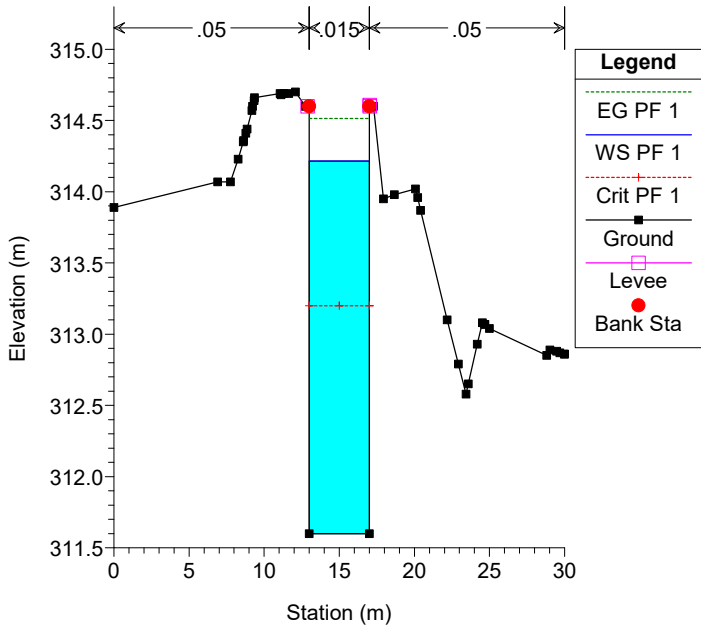
TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024



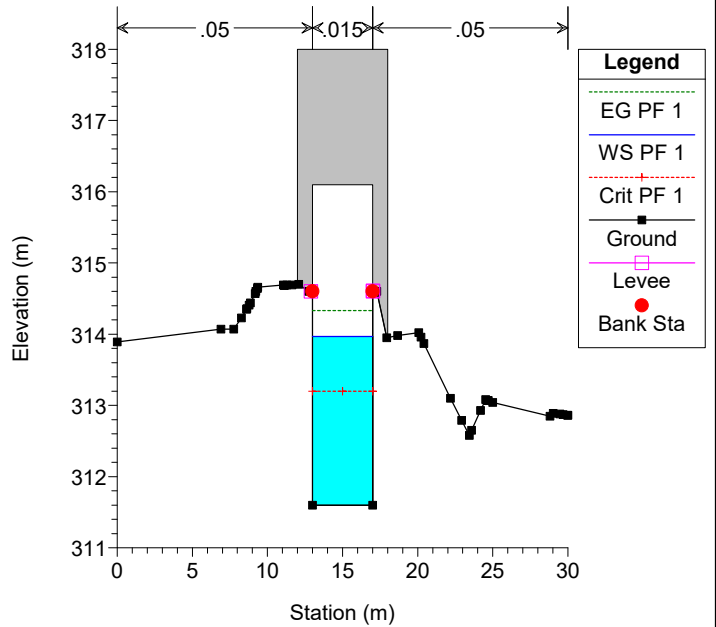
TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024



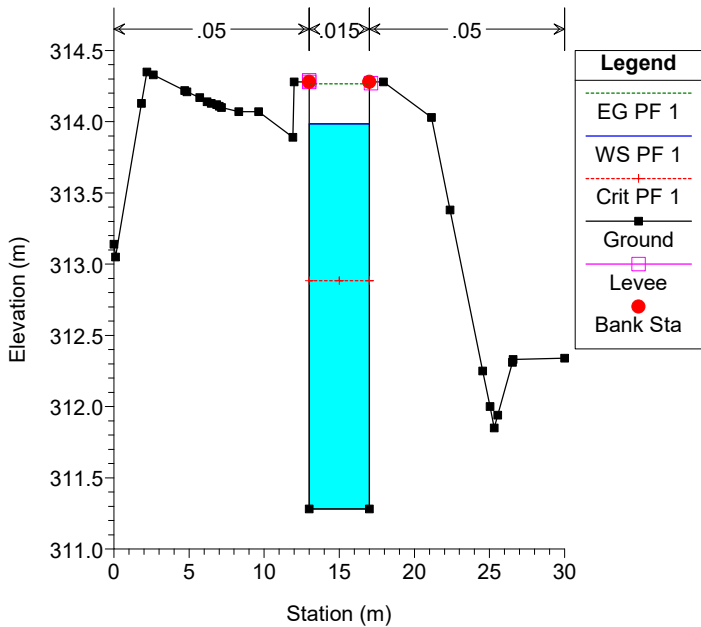
TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024



TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024



TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024



TM01 Plan: Plan\_PO 23/04/2024

