

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA DI 2° FASE

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idraulica e compatibilità idraulica

SCALA:

-

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

I N O Y 1 0 F 1 0 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L.Dinelli	Ottobre 2020	M.Villani	Ottobre 2020	L.Barani	Ottobre 2020	L.Berardi Ottobre 2020



File: IN0Y10F10RIID0001002A -

n. Elab.:

Sommario

1	PREMESSA	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.1	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO (PAI)	4
2.2	PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI DELL'AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DEL FIUME PO (PGRA)	6
2.3	NTC 2018 – AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE SULLE COSTRUZIONI	8
2.4	MANUALE DI PROGETTAZIONE RFI	9
2.5	REGIO DECRETO DEL 25/07/1904 N.523	10
2.6	REGOLAMENTO REGIONALE 23 NOVEMBRE 2017 N.7	10
3	ANALISI IDROLOGICA	11
4	METODOLOGIA DI VERIFICA	14
4.1	MODELLI MONODIMENSIONALI IN REGIME DI MOTO PERMANENTE – HEC-RAS	14
4.2	METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA MEDIANTE MOTO UNIFORME	17
5	OPERE IN PROGETTO	18
5.1	INTERFERENZA IN01 KM 14+479, IN01A E IN01B	18
5.1.1	<i>Modello idraulico in configurazione Ante Operam</i>	19
5.1.2	<i>Modello idraulico in configurazione Post Operam</i>	21
5.2	INTERFERENZA IN02 KM 14+714	23
5.3	INTERFERENZA IN03 KM 15+104	23
5.4	INTERFERENZA IN04 KM 15+544	24
6	VERIFICA SISTEMI A DISPERSIONE	26
7	COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'INTERVENTO	30
8	ALLEGATI	31

1 PREMESSA

L'attivazione della tratta AV/AC Milano – Brescia del 2016 ha consentito di liberare la capacità sulla linea storica Milano-Venezia anche per traffici merci da/per Milano. L'incremento di traffico futuro sull'asse ferroviario Torino-Venezia, richiede, tra gli altri, l'intervento di potenziamento dello Scalo di Brescia.

In tale scenario si inserisce il progetto in parola che deve compatibilizzare l'impianto attuale di Brescia (attivazione di fase 4) con le esigenze di TerAlp e gli interventi nel loro ambito. L'opera relativa al Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia è suddivisa in due interventi:

- Realizzazione dell'asta di manovra di 750 metri lato Milano, sviluppato con PFTE di prima e seconda fase
- Nuovo PRG dello scalo di Brescia, sviluppato con PFTE di seconda fase, in aree ferroviarie

Il presente documento si riferisce allo Studio di Fattibilità Tecnico ed Economica di seconda fase che comprende sia lo sviluppo del nuovo PRG di scalo, da realizzare in aree ferroviarie, che il prolungamento dell'asta da 750 metri, da sviluppare in aree non di proprietà delle ferrovie.

Nello specifico la presente relazione riassume le risultanze delle analisi idrauliche eseguite per il dimensionamento e la verifica delle opere di attraversamento previste nell'ambito del presente progetto.

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

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

Per gli attraversamenti in progetto è stato verificato il rispetto delle NTC 2018 e della relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA DI 2° FASE POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
IDROLOGIA E IDRAULICA - Relazione Idraulica e compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN0Y	10	F 10 RI	ID 00 0 1 002	A	4 DI 47

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

I principali riferimenti per il presente progetto sono dati dai seguenti riferimenti normativi e/o strumenti di pianificazione:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (PAI);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (PGRA);
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018);
- Manuale di Progettazione delle Opere Ferroviarie (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D);
- “Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7, recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)” e delle successive modifiche riportate nel Regolamento regionale 19 aprile 2019 - n. 8;
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Regolamento polizia idraulica – Comune di Brescia approvato il 24/07/2020

2.1 Piano di Assetto Idrogeologico dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (PAI)

Il Piano per l’Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 maggio 2001, ha la finalità di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l’incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti.

Il PAI contiene:

- La delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell’asta del Po e dei suoi principali affluenti (Elaborato 8)
- La delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, delle aree in dissesto per frana, valanga, esondazione torrentizia e conoide (Elaborato 2 - Allegato 4) che caratterizzano la parte montana del territorio regionale.
- La perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr) (Elaborato 2 - Allegato 4.1)
- Le norme alle quali le sopracitate aree a pericolosità di alluvioni sono assoggettate (Elaborato 7 - Norme di attuazione).

La documentazione completa del PAI, gli elaborati modificati a seguito delle varianti approvate successivamente al 2001 e le varianti in corso su tutto il bacino del Po, sono consultabili sul sito dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po (AdBPo).

Nell'ambito della redazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del bacino del Po (PGRA), l'Autorità di Bacino del fiume Po ha condotto una specifica attività rivolta a verificare le esigenze di aggiornamento degli strumenti di pianificazione per l'assetto idrogeologico vigenti nel bacino padano, allo scopo di armonizzarli con il PGRA (approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 30, Serie Generale, del 6 febbraio 2017).

Da questa attività è emersa la necessità di aggiornare ed integrare le Norme di Attuazione (NA) del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) per tener conto e recepire i nuovi quadri conoscitivi del PGRA, rappresentati dalle Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, al fine di ridurre le conseguenze negative delle alluvioni sulla vita umana e sui beni esposti.

La variante normativa al PAI, adottata dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po il 7 dicembre 2016, ha a sua volta determinato la necessità di emanare disposizioni concernenti l'attuazione della stessa e del PGRA nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, come previsto dall'art. 65 del decreto legislativo n. 152 del 2006. Tali disposizioni sono state approvate con d.g.r. n. 6738 del 19 giugno 2017.

La variante normativa al PAI è stata approvata con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 22 febbraio 2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 120, Serie Generale, del 25 maggio 2018.

L'art. 10 delle Norme di Attuazione definisce che l'Autorità con propria direttiva definisce:

- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino;
- i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d'acqua;
- i tempi di ritorno delle portate di piena per il dimensionamento o la verifica delle diverse opere;
- i franchi da assumere per i rilevati arginali e per le opere di contenimento e di attraversamento.

Nello specifico le Direttive emanate hanno disciplinato solo le modalità di redazione degli studi idraulici per la redazione delle fasce fluviali.

L'area ricade all'interno della Fascia C, Area di inondazione per piena catastrofica, per la quale non sono previsti particolari limitazioni nella trasformazione del territorio.



Figura 1 – Estratto Fasce Fluviali PAI da Portale Regione Lombardia.

2.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (PGRA)

Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) è lo strumento operativo previsto dalla legge italiana, in particolare dal d.lgs. n. 49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE, per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l’ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali. Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico. Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d’acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po (PGRA-Po).

Il PGRA, adottato dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m.

del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017.

Il PGRA-Po contiene:

- la mappatura delle aree allagabili, classificate in base alla pericolosità e al rischio; una diagnosi delle situazioni a maggiore criticità (SEZIONE A)
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità (SEZIONE B)
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione (SEZIONE A) e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi (SEZIONE B)

Il Piano è composto da circa trenta relazioni pubblicate online sul sito dedicato al Piano alluvioni dell'Autorità di Bacino. Tra queste, i contenuti interessanti sono evidenziati nella mappa degli elaborati del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Po.

Le mappe di pericolosità evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo gli scenari di:

1. bassa probabilità: alluvioni rare con T = 500 anni
2. media probabilità: alluvioni poco frequenti con T = 100-200 anni
3. alta probabilità: alluvioni frequenti con T = 20-50 anni

caratterizzandone l'intensità (estensione dell'inondazione, altezze idriche, velocità e portata). Le mappe identificano ambiti territoriali omogenei distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico e alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

- Reticolo idrografico principale (RP)
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP)
- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe del rischio di alluvioni indicano le potenziali conseguenze negative derivanti dell'evento alluvionale, individuando il numero indicativo di abitanti interessati, le infrastrutture e strutture strategiche, i beni ambientali, storici e culturali esposti, la distribuzione e la tipologia delle attività economiche, gli impianti a rischio di incidente rilevante, e per ultimo le aree soggette ad alluvioni con elevata volume di trasporto solido e/o colate detritiche.

L'area oggetto di intervento rientra nelle aree a bassa probabilità di alluvione del reticolo principale.

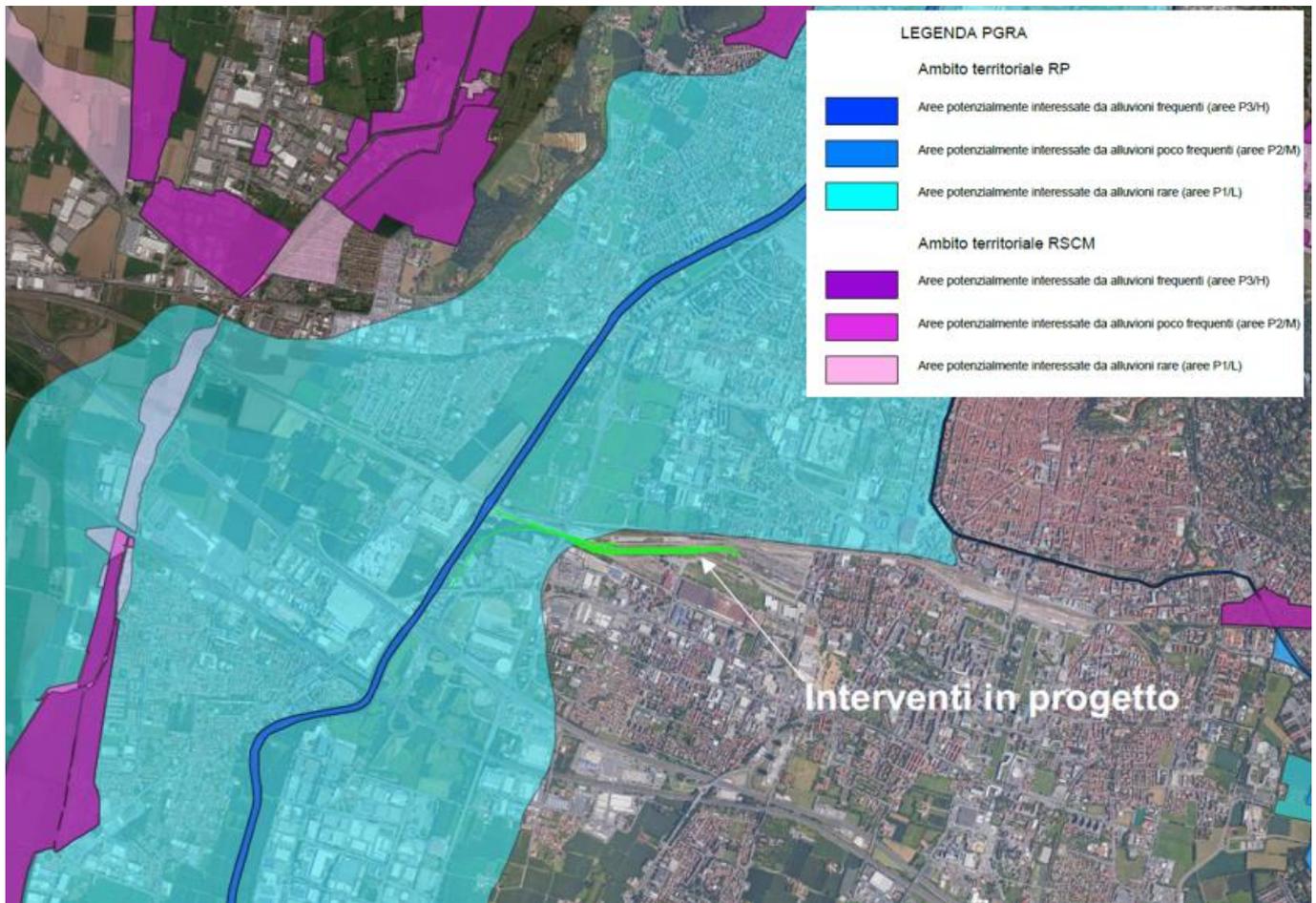


Figura 2 – Mappe del Rischio PGRA da Portale Regione Lombardia.

2.3 NTC 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche sulle Costruzioni

L'intervento in progetto ricade all'interno delle norme di cui al Decreto del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche sulle costruzioni" e CIRCOLARE 21 gennaio 2019 , n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

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

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

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

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

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

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

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

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

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

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

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

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

2.4 Manuale di Progettazione RFI

Il Manuale di Progettazione RFI (RFI DTC SI CS MA IFS 001 D) descrive le modalità ed i contenuti degli studi idrologici ed idraulici finalizzati all'esame dell'interazione tra il reticolo idrografico superficiale e la linea ferroviaria, nonché ai sistemi drenaggio e smaltimento delle acque interagenti con le opere in progetto.

	LINEA A.V./A.C.MILANO–VERONA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA DI 2° FASE POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
IDROLOGIA E IDRAULICA - Relazione Idraulica e compatibilità idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN0Y	10	F 10 RI	ID 00 0 1 002	A	10 DI 47

2.5 Regio Decreto Del 25/07/1904 N.523

Il Regio Decreto n. 523 del 25/07/1904 è il “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie” disciplina tuttora le modalità e procedure amministrative relative alla gestione dei corsi d’acqua e opere connesse.

2.6 Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n.7

Per la definizione degli interventi in progetto si è tenuto conto del “Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7, recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)” e delle successive modifiche riportate nel Regolamento regionale 19 aprile 2019 - n. 8.

Nell’ Art.5 sono riportati i sistemi di controllo e gestione delle acque pluviali:

1. Il controllo e la gestione delle acque pluviali vengono effettuati, ove possibile, mediante sistemi che garantiscono l’infiltrazione, l’evapotraspirazione e il riuso.
2. La realizzazione di uno scarico delle acque pluviali in un ricettore è dovuta in caso di capacità di infiltrazione dei suoli inferiore rispetto all’intensità delle piogge più intense. Il medesimo scarico deve avvenire a valle di invasi di laminazione dimensionati per rispettare le portate massime ammissibili di cui all’articolo 8.
3. Lo smaltimento dei volumi invasati deve avvenire secondo il seguente ordine decrescente di priorità:
 - a. mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;
 - b. mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale;
 - c. scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata di cui all’articolo 8;
 - d. scarico in fognatura, con i limiti di portata di cui all’articolo 8.

Al fine di perseguire tali obiettivi si prevede sin dalla presente fase progettuale lo smaltimento su suolo delle acque meteoriche di piattaforma tramite sistemi a dispersione, per i quali nei successivi paragrafi si è proceduto ad una prima verifica.

3 ANALISI IDROLOGICA

Gli interventi in progetto interferiscono con quattro aste di un sistema di rogge denominato Roggia Fiumicella, appartenente al reticolo comunale. Il Comune di Brescia ha confermato, nel corso di un incontro tenutosi il 09/09/2020, che le rogge interferite hanno un funzionamento promiscuo di varia natura poiché il loro funzionamento idraulico è il risultato dei seguenti fattori:

1. funzione di drenaggio delle aree urbane e sub urbane delimitate a nord dal derivatore del Fiume Grande (posto circa 5km a monte degli interventi in progetto), ad ovest dal Fiume Mella, ad est dal Fiume Grande e a sud dallo scalo ferroviario oggetto di intervento;
2. Funzione irrigua con immissione regolata delle portate (dal 15 aprile al 15 settembre);
3. Ricettore di scarichi industriali autorizzati dal comune;
4. Ricettore delle portate di troppo pieno della fogna comunale (A2A Brescia);
5. Oggetto di un progetto di sistemazione da parte del Ministero dell'Ambiente di "messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro".

Le portate idrologiche di progetto sono state valutate con riferimento ad un tempo di ritorno pari a duecento anni a partire dai dati idrologici fornito dall'applicativo STRadar, sviluppato da ARPA Lombardia nell'ambito del progetto "Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero".

Per quanto riguarda la funzione irrigua delle rogge interferite, il Consorzio di Bonifica Oglio Mella ha confermato, nel corso di un incontro tenutosi il 16/09/2020, che tale funzione irrigua ad oggi è interdetta in esito ai provvedimenti legati alla istituzione del Progetto di Bonifica del S.I.N. Caffaro e non è definito un orizzonte temporale per la riattivazione del derivatore del fiume Grande, dal quale erano attinte le portate ad uso irriguo per un valore massimo stimato dal Consorzio in 400 l/s nel punto di derivazione. A valle del derivatore del fiume Grande la Roggia Fiumicella si divide in numerose aste in particolare tra la linea ferroviaria Brescia-Iseo-Breno e lo scalo ferroviario di Brescia, in corrispondenza del quale si hanno cinque interferenze idrauliche di cui quattro ricadono in corrispondenza degli interventi in progetto. Al fine di tenere in conto tale scenario di futura riattivazione, il valore massimo di 400l/s fornito dal Consorzio è stato cautelativamente diviso parimenti tra le quattro aste interferite dal progetto e sommato alla portata idrologica. Ulteriori approfondimenti riguardo la effettiva ripartizione della portata irrigua tra le diverse aste del sistema della Roggia Fiumicella sono rimandati alla fase di progetto definitivo.

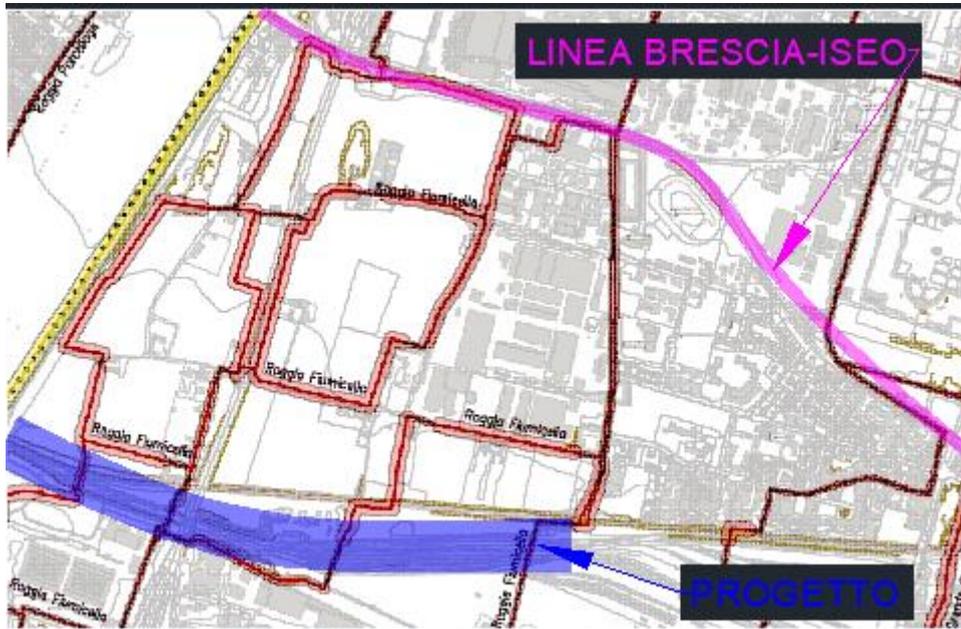


figura 3- aste della roggia Fiumicella tra la linea Brescia Iseo e lo scalo di Brescia

Per quanto riguarda gli scarichi industriali autorizzati, il comune ha informato i progettisti che “la società che apporta scarichi significativi nella Roggia Fiumicella è la Società ORI MARTIN con insediamento in via Canovetti, 13: la Roggia attraversa la loro proprietà e riceve 3 scarichi di acque produttive e di processo depurate. Dalla relazione di compatibilità idraulica a firma di tecnico abilitato [...], è stata calcolata nel punto in cui la Fiumicella esce dalla tombinatura e dalla proprietà ORI MARTIN sito a circa 50m. a nord di Via Razziche, una portata massima complessiva (della portata proveniente da monte della Fiumicella sommata agli scarichi) di 2,20 mc/sec. Non vi sono scarichi puntuali significativi a valle di tale punto [...]” Sono state svolte alcune considerazioni in merito a tali valori forniti. In particolare, poiché dai dati forniti non è possibile scindere la portata idrologica dal contributo dello scarico né è fornito un tempo di ritorno di riferimento, si è scelto di tenere in conto tale informazione secondo le seguenti ipotesi da confermare in fase di Progetto Definitivo. Il contributo dello scarico industriale è assunto pari al 50% del valore totale (idrologico +scarico) fornito e tale contributo è stato ripartito parimenti tra le interferenze IN01 e IN02.

Per quanto riguarda la funzione di ricettore delle portate di troppo pieno della fogna comunale, ad oggi la società A2A di Brescia ha fornito l’ubicazione degli stessi senza ulteriori indicazioni in merito a alle portate e tempi di ritorno. Tuttavia, dalle indicazioni fornite si evince che tali scaricatori sono posizionati lato valle rispetto alla linea esistente oggetto di intervento e pertanto non sono stati compresi nelle valutazioni di questa fase progettuale.

In esito alle verifiche idrauliche sono stati definiti gli interventi di sistemazione idraulica che consistono nell’adeguamento della sezione d’alveo per l’asta della roggia posizionata più a ovest (IN01) al fine di contenere le portate di progetto transitanti e al dimensionamento dei nuovi manufatti di attraversamento idraulico realizzati in corrispondenza dell’asta modulo 750m e del Percorso di riconnessione aree Parco Mella.

L’analisi idrologica è stata eseguita sulla base del nuovo atlante delle piogge intense, calcolato puntualmente su una maglia di 1kmx1km in forma esplicita per durate da 1 a 24 ore e per tempi di ritorno dai 10 ai 200 anni, e disponibile sul sito di ARPA Lombardia. Per i dettagli si rimanda alla

relazione idrologica, ne seguito sono richiamati i valori di portata di progetto utilizzati per le verifiche idrauliche che, come detto, sono la somma del contributo idrologico, di quello irriguo e degli scarichi industriali (laddove pertinenti).

Tabella 1 - Portate al colmo per Tr 200 anni e Interferenze.

WBS	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
IN01	9.47
IN02	3.71
IN03	2.35
IN04	2.35

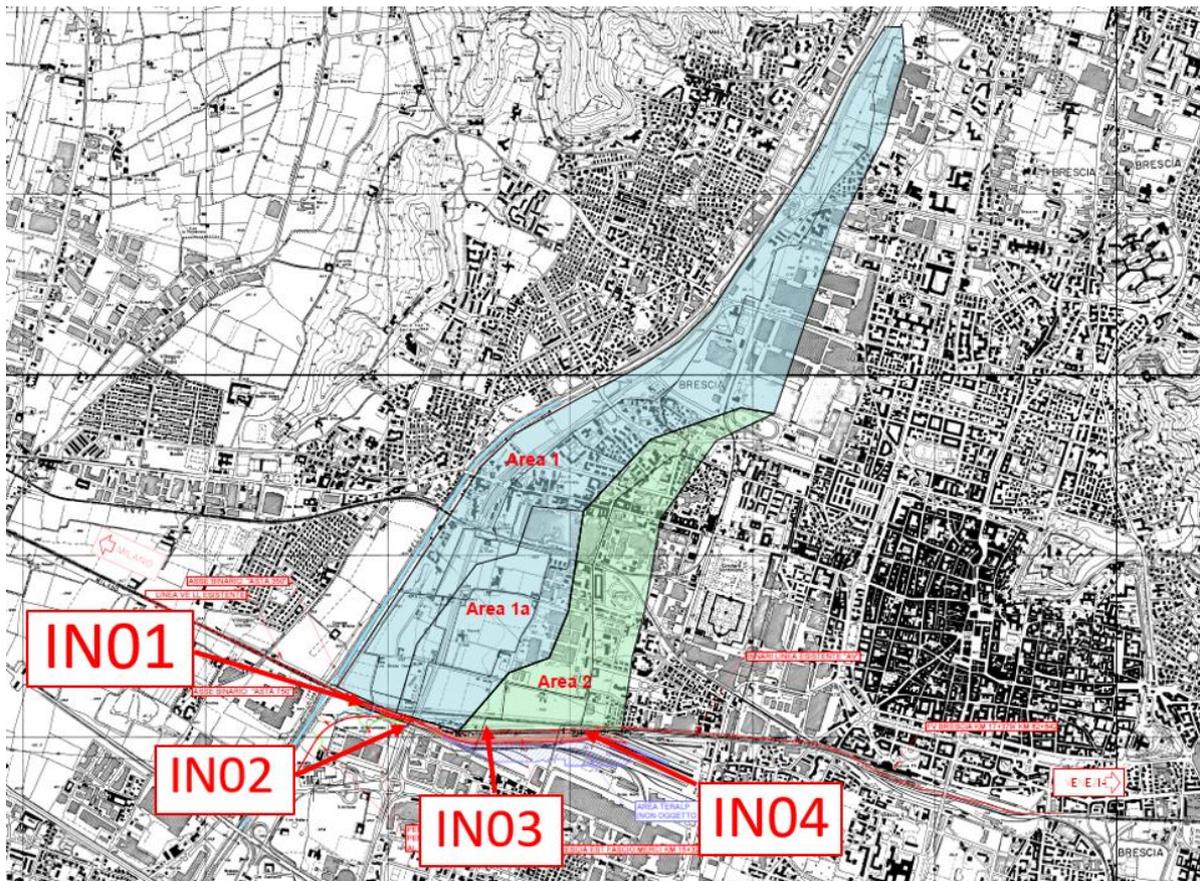


Figura 4 - inquadramento planimetrico delle interferenze idrauliche

4 METODOLOGIA DI VERIFICA

Le opere di attraversamento idraulico dell'asta ovest della Roggia Fiumicella per la linea AV e scalo merci (IN01 km 14+479), e delle successive interferenze con la viabilità (IN01a) e con la nuova asta in progetto (IN01b) sono state verificate idraulicamente per mezzo di modelli monodimensionali in regime di moto permanente attraverso il software Hec-Ras descritto di seguito.

Le restanti interferenze della Roggia Fiumicella denominate IN02 (km 14+714 LS), IN03 (km 15+014 LS) e IN04 (km 15+544 LS) sono state verificate in regime di moto uniforme.

4.1 Modelli monodimensionali in regime di moto permanente – Hec-Ras

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce una adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. Per la determinazione dei profili idrici nei corsi d'acqua sia nella situazione attuale, sia di progetto e per i diversi tempi di ritorno considerati è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS 5.0.7 River Analysis System sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, i cui fondamenti concettuali sono di seguito riportati.

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

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

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

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

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

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

Calcolo del profilo a moto permanente

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

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

Dove: Y_1 e Y_2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z_1 e Z_2 rappresentano rispettivamente l'elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V_1 e V_2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte, e α_1 e α_2 i rispettivi coefficienti di Coriolis, g l'accelerazione di gravità e h_e le perdite di energia tra le due sezioni.

La figura 3 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (1).

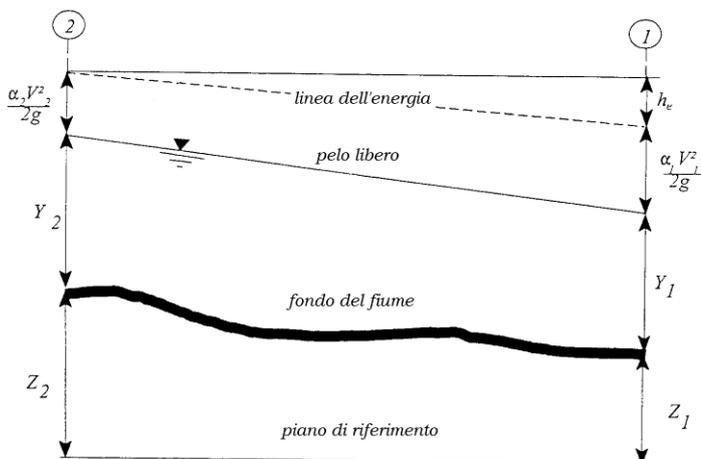


Figura 5 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

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

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

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

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

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

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

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (4).

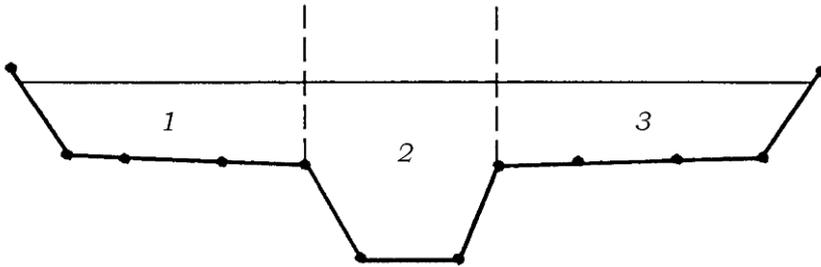


Figura 6 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 4 chiamato con $K_i = Q / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni singola parte i -esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning:

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

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

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

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservato che, per la costanza di J , la portata di ogni

singola area $Q_i = K_i \sqrt{J}$ è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale $Q = \sum_i Q_i$.

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

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

Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a $\sum_i \frac{Q_i^3}{A_i^2}$, e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a $\frac{Q^3}{A^2}$.

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

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

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

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

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

4.2 Metodologia di verifica idraulica mediante moto uniforme

La verifica viene condotta in regime di moto uniforme quando è possibile ritenere valida l'ipotesi che il regime di moto sia prossimo a quello del moto uniforme lungo l'intera estensione del manufatto.

La verifica viene effettuata utilizzando la formula di Chèzy, assumendo un valore del coefficiente di scabrezza di Manning n pari a $0.015 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}^{-1}$ per il calcestruzzo.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Nella formula sopra riportata si ha che:

- A è l'area della sezione idrica;
- n è il coefficiente di scabrezza secondo Manning;
- R è il raggio idraulico della sezione idrica;
- i è la pendenza del fondo;

5 OPERE IN PROGETTO

5.1 Interferenza IN01 km 14+479, IN01a e IN01b

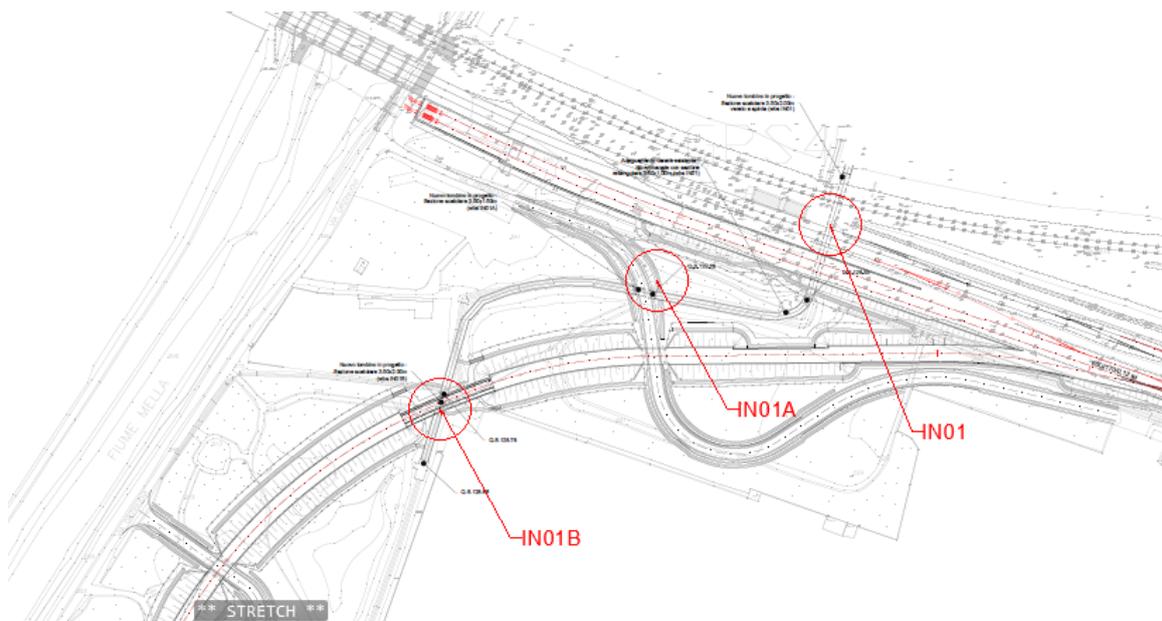


Figura 7 - Inquadramento Planimetrico Interferenze IN 01, IN01A, IN01B

L'opera esistente di attraversamento della Roggia Fiumicella al km 14+479 LS della linea AV e scalo merci è costituita da un tombino scatolare di sezione pari a 1.50x2.00m, portata massima smaltibile pari a 5,2 mc/s e a fronte di una portata di progetto pari a 9.47 mc/s

A valle dell'attraversamento questo ramo della Roggia prosegue con sezione trapezia 80x80cm rivestita in cls. In corrispondenza delle viabilità gli attraversamenti sono realizzati con tubazioni in cls DN800/1000.

L'opera di attraversamento in progetto della Roggia Fiumicella in corrispondenza della linea AV e scalo merci (IN01) è costituita da uno scatolare 3.5x2.0m, che prosegue a valle all'interno di un canale rettangolare avente sezione ad U in c.a. di dimensioni 3.5x1.0m.

Proseguendo verso valle in corrispondenza dell'attraversamento della viabilità NI01 lo scatolare l'attraversamento sarà costituito da uno scatolare 3.5x1.5m (IN01a), mentre in corrispondenza della nuova asta ferroviaria l'attraversamento sarà costituito da uno scatolare 3.5x2.0m (IN01b).

5.1.1 Modello idraulico in configurazione Ante Operam

Le caratteristiche geometriche del modello Ante Operam dell'interferenza IN01 sono così riassumibili:

- Lunghezza totale tratto di studio: 400 m;
- Numero di sezioni trasversali 14;

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

- Tombino scatolare equivalente 1,50x2,00m linea ferroviaria AV e scalo merci;
- Tombino DN800 viabilità esistente;

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

I coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono 0.015 s/m^{1/3} per rivestimento in cls e 0.035 s/m^{1/3} per alveo in terra non rivestito e aree golenali.

I livelli idrici non risultano contenuti all'interno dei manufatti esistenti in alcuni tratti sia a monte che a valle dell'attraversamento ferroviario, il manufatto esistente non risulta essere sufficiente al transito della piena di progetto.

Di seguito si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed il profilo idrico della corrente di piena, mentre in allegato A le risultanze delle computazioni per le sezioni di calcolo con riferimento alla portata con tempo di ritorno 200 anni.

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Roggia Fiumicell Reach: Ferrovia 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
Ferrovia	14	PF 1	9.47	129.88	132.26	131.44	132.28	0.000093	0.79	27.93	29.75	0.18
Ferrovia	13	PF 1	9.47	129.78	132.26	131.33	132.27	0.000086	0.74	28.47	29.74	0.16
Ferrovia	12.5	Bridge										
Ferrovia	12	PF 1	9.47	129.58	130.50	131.05	131.85	0.013488	5.16	1.87	3.16	1.88
Ferrovia	11	PF 1	9.47	129.44	130.87	130.28	130.89	0.000238	0.94	20.72	24.76	0.28
Ferrovia	10	PF 1	9.47	129.42	130.87		130.88	0.000240	0.96	20.56	24.74	0.28
Ferrovia	9	PF 1	9.47	129.35	130.87	130.03	130.88	0.000114	0.70	28.76	32.03	0.20
Ferrovia	8.5	Culvert										
Ferrovia	8	PF 1	9.47	129.32	130.71	130.71	130.87	0.001277	2.19	10.68	30.59	0.66
Ferrovia	7	PF 1	9.47	129.05	130.43	130.53	130.79	0.002249	2.89	6.53	22.78	0.87
Ferrovia	6	PF 1	9.47	129.05	130.23	130.40	130.69	0.004000	3.38	5.82	22.69	1.13
Ferrovia	5	PF 1	9.47	128.97	130.17	130.03	130.23	0.000831	1.62	15.45	39.59	0.53
Ferrovia	4	PF 1	9.47	128.82	130.07	130.07	130.20	0.001386	2.11	12.41	40.02	0.68
Ferrovia	3	PF 1	9.47	128.82	129.59	129.74	130.11	0.006905	3.94	5.82	24.20	1.57
Ferrovia	2	PF 1	9.47	128.75	129.50	129.63	129.94	0.007307	3.80	6.00	23.45	1.57
Ferrovia	1	PF 1	9.47	128.50	129.38	129.17	129.43	0.001565	1.61	11.31	21.52	0.66
Ferrovia	0.5	PF 1	9.47	128.43	129.25	129.19	129.38	0.003601	2.30	7.76	16.68	0.99

Tabella 2 - Risultati simulazione Stato Attuale IN01.

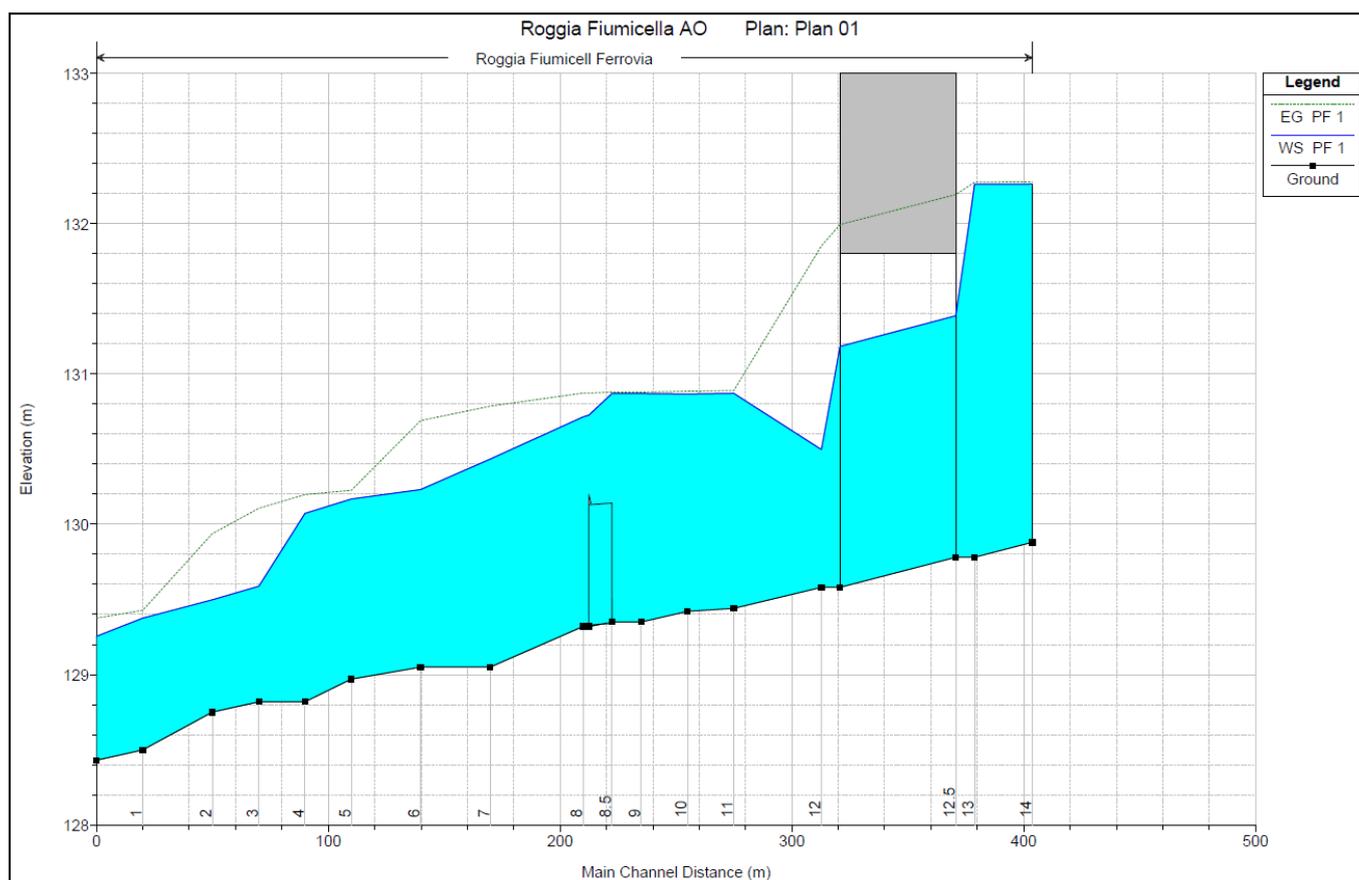


Figura 8 - Profilo di corrente Ante Operam IN01.

Come mostrato nel profilo l'opera di attraversamento esistente della ferrovia, ma anche le opere esistenti a valle, non risultano adeguate al transito della piena di progetto duecentennale.

5.1.2 Modello idraulico in configurazione Post Operam

Le caratteristiche geometriche del modello idraulico Post Operam della IN01 sono così riassumibili:

- Lunghezza totale tratto di studio: 400 m;

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

- Tombino scatolare 3,50x2,00m linea ferroviaria AV scalo merci IN01;
- Tombino scatolare 3,50x1,50m viabilità di progetto IN01a;
- Tombino scatolare 3,50x2,00m nuova asta IN01b;

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

I coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono $0.015 \text{ s/m}^{1/3}$ per rivestimento in cls e $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ per alveo in terra non rivestito e aree golenali.

Di seguito si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed il profilo idrico della corrente di piena, mentre in allegato B le risultanze delle computazioni per le sezioni di calcolo con riferimento alle portate con tempo di ritorno 200 anni.

HEC-RAS Plan: plan 05 River: Roggia Fiumicell Reach: Ferrovia 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
Ferrovia	14	PF 1	9.47	129.87	130.82	130.78	131.23	0.003456	2.84	3.33	3.52	0.93
Ferrovia	13	PF 1	9.47	129.78	130.73	130.69	131.15	0.003462	2.84	3.33	3.52	0.93
Ferrovia	12.5	Bridge										
Ferrovia	12	PF 1	9.47	129.55	130.53	130.46	130.92	0.003165	2.76	3.44	3.52	0.89
Ferrovia	11	PF 1	9.47	129.42	130.44	130.33	130.80	0.002761	2.64	3.60	3.70	0.83
Ferrovia	10	PF 1	9.47	129.35	130.28	130.27	130.73	0.003846	2.96	3.20	3.45	0.98
Ferrovia	9	PF 1	9.47	129.28	130.23	130.19	130.64	0.003415	2.83	3.35	3.56	0.93
Ferrovia	8.5	Bridge										
Ferrovia	8	PF 1	9.47	129.19	130.14	130.10	130.55	0.003441	2.84	3.34	3.52	0.93
Ferrovia	7	PF 1	9.47	129.05	130.02	129.96	130.42	0.003314	2.80	3.38	3.52	0.91
Ferrovia	6	PF 1	9.47	128.95	129.93	129.85	130.32	0.003139	2.75	3.45	3.52	0.89
Ferrovia	5	PF 1	9.47	128.84	129.86	129.75	130.22	0.002823	2.66	3.57	3.66	0.84
Ferrovia	4	PF 1	9.47	128.77	129.82	129.68	130.16	0.002561	2.58	3.69	3.96	0.81
Ferrovia	3.5	Bridge										
Ferrovia	3	PF 1	9.47	128.70	129.68	129.61	130.07	0.003215	2.77	3.42	3.52	0.90
Ferrovia	2	PF 1	9.47	128.63	129.54	129.54	129.99	0.003947	2.98	3.19	3.65	1.00
Ferrovia	1	PF 1	9.47	128.50	129.70	129.70	129.72	0.000345	1.00	18.63	24.37	0.33
Ferrovia	0.5	PF 1	9.47	128.43	129.48	129.48	129.53	0.001047	1.56	11.71	18.06	0.56

Tabella 3 - Risultati simulazione Post Operam IN01.

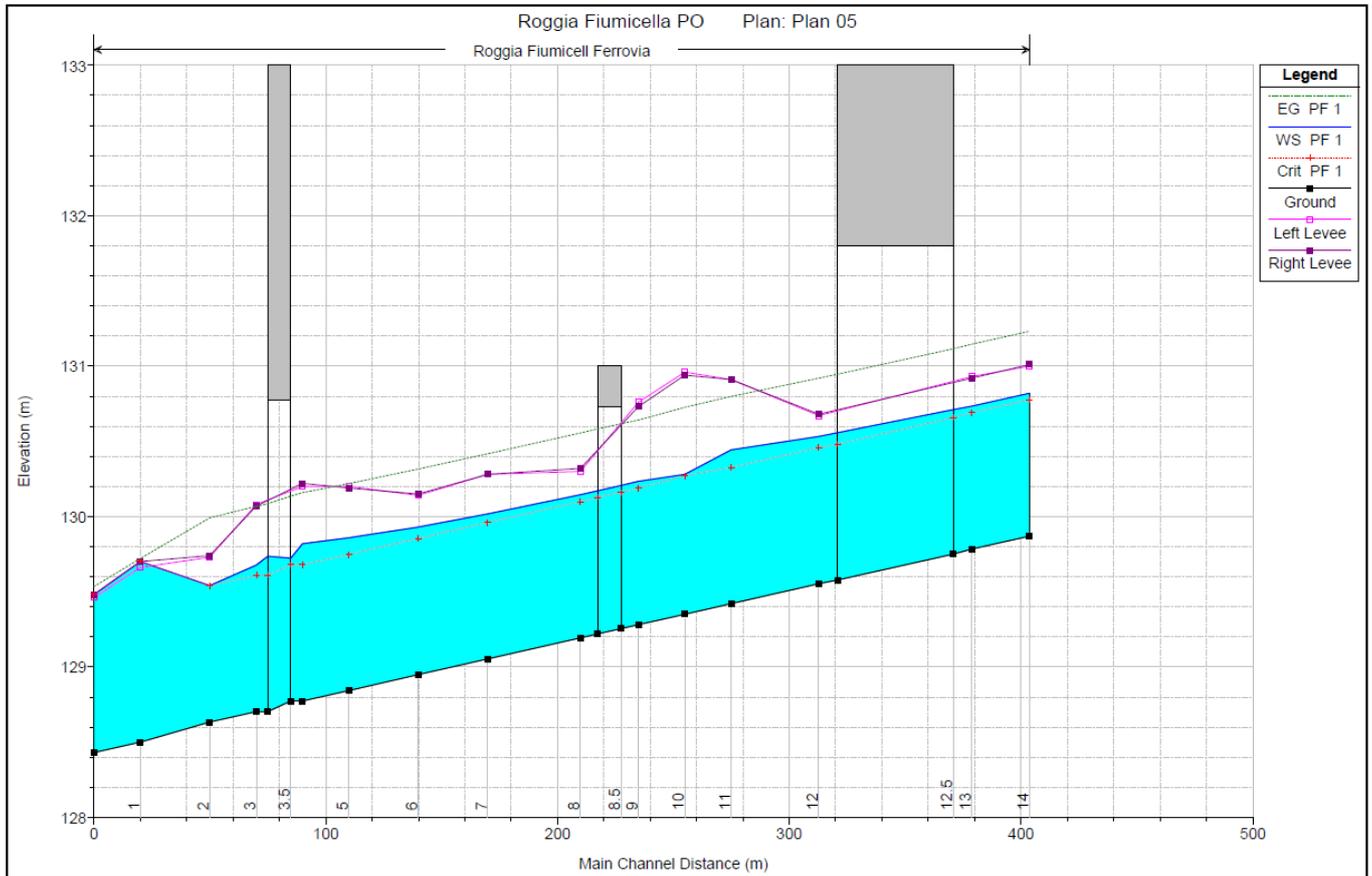


Figura 9 - Profilo di corrente Post Operam IN01.

L'analisi dei risultati della configurazione di progetto indica il rispetto delle condizioni minime previste dalla normativa in termini di grado di riempimento e di franco idraulico nella totalità degli attraversamenti in progetto.

Pk [km]	Dimensioni	Q ₂₀₀ (mc/s)	i _r (%)	G.R. (%)	H (m)	V (m/s)	Franco idr. (m)
IN01	SCAT 3.50x2.00	9.47	0.34	47%	0,95	2,80	1.05
IN01a	SCAT 3.50x1.50	9.47	0.34	63%	0,95	2,80	0,55
IN01b	SCAT 3.50x2.00	9.47	0.34	52%	0,95	2,80	0.95

Tabella 4 – Risultati delle verifiche idrauliche in moto permanente IN01

5.2 Interferenza IN02 km 14+714

L'opera di attraversamento esistente della linea ferroviaria AV e scalo merci in corrispondenza della pk 14+714 è costituita da un tombino in cls DN1000.

La massima portata smaltibile dal tombino attuale, in condizioni di franco idraulico nullo e per una pendenza del fondo stimata in 0.15%, è pari a 1.25 mc/s, inferiore alla portata duecentennale di 3.71 mc/s. Tale condizione di insufficienza in termini di capacità di smaltimento e l'assenza di adeguati franchi idraulici rendere necessaria la realizzazione di un nuovo manufatto.

Il progetto prevede la dismissione dell'opera esistente e la realizzazione di un nuovo scatolare con dimensioni 2,00x2,0m al di sotto della linea esistente.

La verifica idraulica viene condotta con riferimento ad un evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni, con portata pari a 3.71 m³/s individuati per il bacino Area 1a.

La verifica viene effettuata in regime di moto uniforme utilizzando la formula di Chèzy, assumendo un valore del coefficiente di scabrezza di Manning n pari a 0.015 m^{-1/3}/s⁻¹ per il calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono riportati i principali parametri della verifica idraulica, la portata di progetto, la pendenza del fondo, il grado di riempimento, il tirante idrico, la velocità ed il franco idraulico.

Pk [km]	Dimensioni	Q ₂₀₀ (mc/s)	i _f (%)	G.R. (%)	H (m)	V (m/s)	Franco idr. (m)
14+714	SCAT 2.00x2.00	3.71	0.15	55%	1.1	1,68	0.9

Tabella 5 - Risultati delle verifiche idrauliche in moto uniforme IN02

I valori del grado di riempimento, franchi e velocità rispettano i limiti di cui al paragrafo 2, per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 5.

5.3 Interferenza IN03 km 15+104

L'opera di attraversamento esistente della linea ferroviaria AV e scalo merci in corrispondenza della pk 15+104 è costituita da un tombino la cui sezione ha caratteristiche differenti nei vari tratti. In particolare, l'opera di attraversamento della linea AV è costituita da uno scatolare 2,00x2,00m, mentre l'attraversamento dello scalo merci è costituito da un tombino scatolare 1,70x1,80m e successivamente da un manufatto a volta di dimensioni 1.70x1.50m.

La massima portata smaltibile dal tombino attuale, in condizioni di franco idraulico nullo e per una pendenza del fondo stimata in 0.15%, è pari rispettivamente a 6.75 mc/s per lo scatolare 2,00x2,00m, 4.70 mc/s per lo scatolare 1,70x1,80m e 3.40 mc/s manufatto a volta di dimensioni 1.70x1.50m. La portata smaltibile risulta superiore alla portata duecentennale di 2.35 mc/s.

La verifica viene effettuata in regime di moto uniforme utilizzando la formula di Chèzy, assumendo un valore del coefficiente di scabrezza di Manning n pari a $0.015 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}^{-1}$ per il calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono riportati i principali parametri della verifica idraulica, la portata di progetto, la pendenza del fondo, il grado di riempimento, il tirante idrico, la velocità ed il franco idraulico.

Pk [km]	Dimensioni	i_f (%)	G.R. (%)	H (m)	V (m/s)	Franco idr. (m)
15+104	SCAT 2.00x2.00	0.15	42%	0.84	1,52	1.16
15+104	SCAT 1.70x1.80	0.15	55%	0.99	1,54	0.81
15+104	Arco 1.70x1.50	0.15	66%	0.99	1,54	0.51

Tabella 6 - Risultati delle verifiche idrauliche in moto uniforme IN03

5.4 Interferenza IN04 km 15+544

L'opera di attraversamento esistente della linea ferroviaria AV e scalo merci in corrispondenza della pk 15+544 LS è costituita da un tombino la cui sezione ha caratteristiche differenti nei vari tratti. In particolare, l'attraversamento dello scalo merci è costituito da una tubazione DN1500, da un manufatto ad arco di base 3m e altezza pari a 1.5m, da uno scatolare di dimensioni 1.50x1.40m e da un tombino circolare D1400 (esterno).

Dimensioni	i_f (%)	G.R. (%)	H (m)	V (m/s)	Franco idr. (m)
CIRCOLARE D1500	0.15	80	1.19	1.53	0.28
MANUFATTO AD ARCO 3.0x2.5m	0.15	37	0.55	1.41	0.95
MANUFATTO SCATOLARE 1.5mx1.4m	0.15	75	1	1.5	0.4
CIRCOLARE D1400 (esterno)	0.15	100			nullo

Tabella 7 - Risultati delle verifiche idrauliche in moto uniforme IN04 – Ante Operam

Tale condizione di insufficienza in termini di capacità di smaltimento e l'assenza di adeguati franchi idraulici rendere necessaria la realizzazione di un nuovo manufatto.

Il progetto prevede la dismissione dell'opera esistente D1400 e la realizzazione di un nuovo scatolare con dimensioni 2,00x1,50m al di sotto della linea esistente.

La verifica idraulica viene condotta con riferimento ad un evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni, con portata pari a 2.35 m³/s.

La verifica viene effettuata in regime di moto uniforme utilizzando la formula di Chèzy, assumendo un valore del coefficiente di scabrezza di Manning n pari a 0.015 m^{-1/3}/s⁻¹ per il calcestruzzo.

Nella tabella seguente sono riportati i principali parametri della verifica idraulica, la portata di progetto, la pendenza del fondo, il grado di riempimento, il tirante idrico, la velocità ed il franco idraulico.

Pk [km]	Dimensioni	Q ₂₀₀ (mc/s)	i _f (%)	G.R. (%)	H (m)	V (m/s)	Franco idr. (m)
15+104	SCAT 2.00x1.50	2.35	0.15	52%	0,78	1,5	0.72

Tabella 8 - Risultati delle verifiche idrauliche in moto uniforme IN04

I valori del grado di riempimento, franchi e velocità rispettano i limiti di cui al paragrafo 2, per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 5.

I valori del grado di riempimento, franchi e velocità rispettano i limiti di cui al paragrafo 2, per maggiori dettagli si rimanda al paragrafo 5.

Nel progetto del terminale intermodale Brescia, redatto da Teralp srl, per la stessa interferenza idraulica, non è previsto l'adeguamento del manufatto esistente ma la protezione dello stesso con la realizzazione di una berlinese su entrambe le sponde e quindi una trave di correa ed un solaio in CA capace di supportare i carichi. Si sottolinea la necessità di adeguare il manufatto esistente anche nell'area di intervento del terminale intermodale di Brescia al fine di garantire la continuità della corrente e l'assenza di rigurgiti in corrispondenza del cambio di sezione.

Per l'opera prevista nel presente progetto, si sottolinea che la stessa continua ad avere i franchi minimi richiesti dalle normative se l'incremento di livello idrico dovuto all'eventuale rigurgito in corrispondenza del manufatto esistente di valle è minore o uguale a 0.21m e continua ad avere un funzionamento a superficie libera (riempimento pari all'80%) se l'incremento di livello idrico dovuto all'eventuale rigurgito in corrispondenza del manufatto esistente di valle è minore o uguale a 0.42m.

Nella successiva fase progettuale saranno svolti i rilievi di dettaglio delle opere esistenti al fine di poter implementare un modello 1D in regime di moto permanente e verificare l'effettivo eventuale rigurgito provocato dall'opera esistente di valle, qualora non fosse stato adeguato nel mentre.

6 VERIFICA SISTEMI A DISPERSIONE

Nella presente fase di PFTE sono svolte valutazioni preliminari in merito al recapito delle acque di piattaforma per l'asta da 750m al fine di garantire il rispetto dei criteri di invarianza idraulica prescritti dalle norme.

Al fine di rispettare le indicazioni in materia di invarianza idraulica di cui al regolamento Regolamento regionale 23 novembre 2017 – n.7, per le acque meteoriche di piattaforma si prevede l'utilizzo di sistemi a dispersione.

In questa fase progettuale si è quindi proceduto ad una verifica idraulica del funzionamento degli stessi, ipotizzando l'utilizzo di fossi trapezoidali disperdenti dotati di un bauletto in materiale drenante (a sua volta avvolto in uno strato di geotessuto) al fine di facilitare la dispersione nel suolo dei volumi meteorici in arrivo.

Dalla relazione geologica emerge come il coefficiente di permeabilità degli strati di suolo più superficiali può essere assunto pari a circa 4×10^{-5} m/s.

La portata dispersa dai fossi per infiltrazione è stata stimata con riferimento alla relazione seguente:

$$q = K \cdot A$$

Dove:

A è l'area disperdente

K è il coefficiente di permeabilità

La dimensione del fosso disperdente è stata calcolata tenendo conto sia della sua capacità disperdente che della capacità d'invaso. I volumi di invaso sono calcolati sottraendo al volume in arrivo, determinato a partire dalle curve di possibilità pluviometrica, le portate disperse nel sottosuolo.

Per la definizione del volume di laminazione si è fatto uso del metodo delle sole piogge, qui di seguito brevemente richiamato.

In tale metodo, l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso, ovvero:

$$Q_e = S\varphi aD^{n-1}$$

da cui il volume complessivamente affluito nel tempo D risulta pari a:

$$W_e = S\varphi a D^n$$

dove:

- S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso;
- φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo;
- D è la durata di pioggia;
- a ed n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica.

L'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale), da cui il volume complessivamente uscito nell'intervallo di tempo D risulta:

$$W_u = Q_{u,lim} D$$

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione. Da semplici elaborazioni è immediato verificare come tale durata critica risulta essere pari a:

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{2.78 S\varphi a n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Di conseguenza, il volume di laminazione W_0 risulta:

$$W_0 = 10S\varphi a D_w^n - 3.6Q_{u,lim} D_w$$

dove:

- W_0 in [m³];
- S in [ha];
- a in [mm/oraⁿ];
- D_w in [ora];
- $Q_{u,lim}$ in [l/s].

Il calcolo dell'andamento temporale dei volumi in uscita W_u è stato effettuato tenendo conto che la portata massima scaricabile $Q_{u,lim}$ è pari alla portata dispersa nel sottosuolo.

Il massimo volume di laminazione ottenuto dalla soluzione delle equazioni precedenti al variare del tempo di pioggia costituirà il volume minimo di progetto del fosso.

Di seguito i risultati delle verifiche idrauliche, eseguite, a titolo di esempio, con riferimento ad un fosso di lunghezza unitaria di dimensioni 70x70x70cm dotato di un bauletto drenante sul fondo avente dimensioni 50x50cm (dimensioni eventualmente da ottimizzare nella fase progettuale successiva).

Tabella 9 – Verifica fosso disperdente

Lunghezza fosso	L	1.00	[m]
Lunghezza piattaforma	L_p	4.50	[m]
Coefficiente di deflusso piattaforma	φ_p	0.90	[-]
Lunghezza rilevati	L_r	9.00	[m]
Coefficiente di deflusso rilevati	φ_r	0.60	[-]
Lunghezza aree esterne	L_{ae}	10.00	[m]
Coefficiente di deflusso aree esterne	φ_{ae}	0.30	[-]
Superficie totale afferente	S	23.50	[mq]
		0.00	[ha]
Coefficiente di deflusso ponderale	φ	0.53	[-]
Parametri curva IDF per Tr=100 anni	a	61.80	[mm/ora ⁿ]
	n	0.28	[-]
Portata limite (Q=KA)	$Q_{u,lim}$	0.06	[l/s]
Durata critica evento di pioggia	D_w	1.0	[ore]
Volume laminazione	W_0	0.55	[mc]
Volume totale fosso 70x70x70	W_{fosso}	1.48	[mc]
Tempo di svuotamento	ts	2.56	[ore]

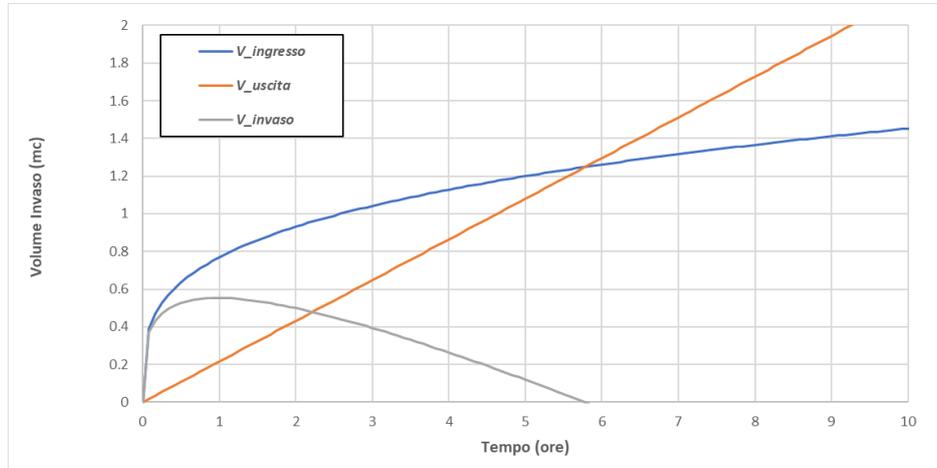


Figura 10 – Volume invasato fosso disperdente per durata di pioggia critica

Le dimensioni ipotizzate risultano idonee alla verifica del sistema a dispersione ed andranno eventualmente ottimizzate nella fase progettuale successiva. Il tempo di svuotamento dei fossi drenanti risulta pari a 2.56 ore, quindi ampiamente inferiore al limite massimo di 48 ore imposto dal Regolamento Regionale sull'invarianza idraulica (Art.11 comma 2 f).

7 COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'INTERVENTO

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'intervento in progetto con il territorio, ed è stata analizzata la sicurezza delle infrastrutture, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere con il normale deflusso delle acque.

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

- NTC 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni";
- Manuale di Progettazione RFI;
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po;

Per quanto riguarda il PAI l'intervento ricade all'interno di aree perimetrate da rischio idraulico ed in particolare in Fascia C, per la quale non sono previste particolari limitazioni relativamente alla trasformazione del territorio. Si può comunque affermare che le opere in progetto sono state studiate in modo da non alterare le condizioni di funzionalità idraulica dei corsi d'acqua interessati dagli interventi e non generare un aumento della pericolosità idraulica, né localmente, né nelle aree a monte e a valle degli interventi.

Per la verifica della compatibilità idraulica delle opere in progetto si riporta nella tabella seguente per ciascun attraversamento la progressiva dell'interferenza, la wbs, la portata di progetto, le dimensioni dell'opera, il tirante idrico, il grado di riempimento ed il valore del franco idraulico.

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

8 ALLEGATI

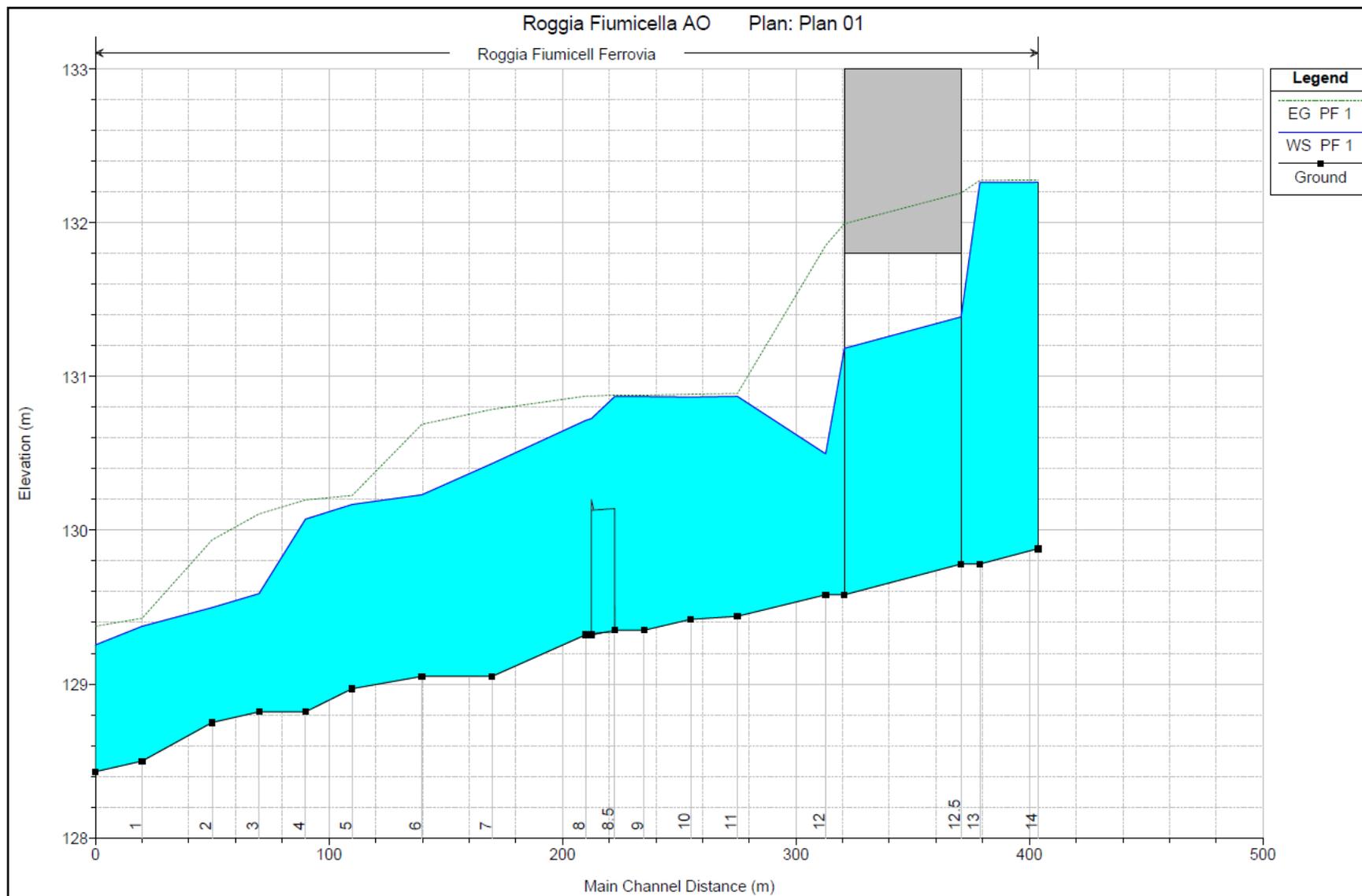
ALLEGATO A

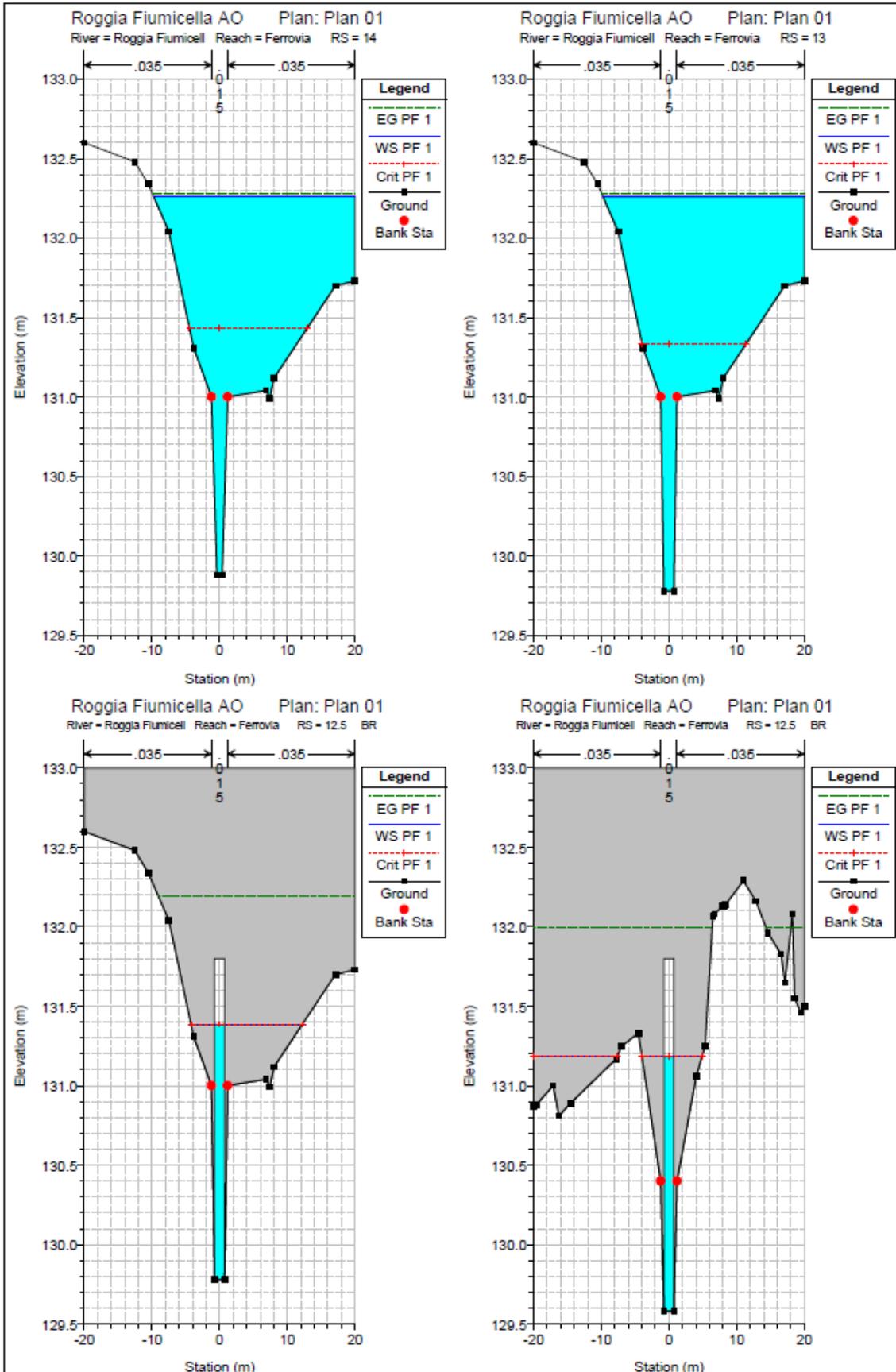
INTERFERENZA AL KM 14+414 IN01, IN01A E IN01B

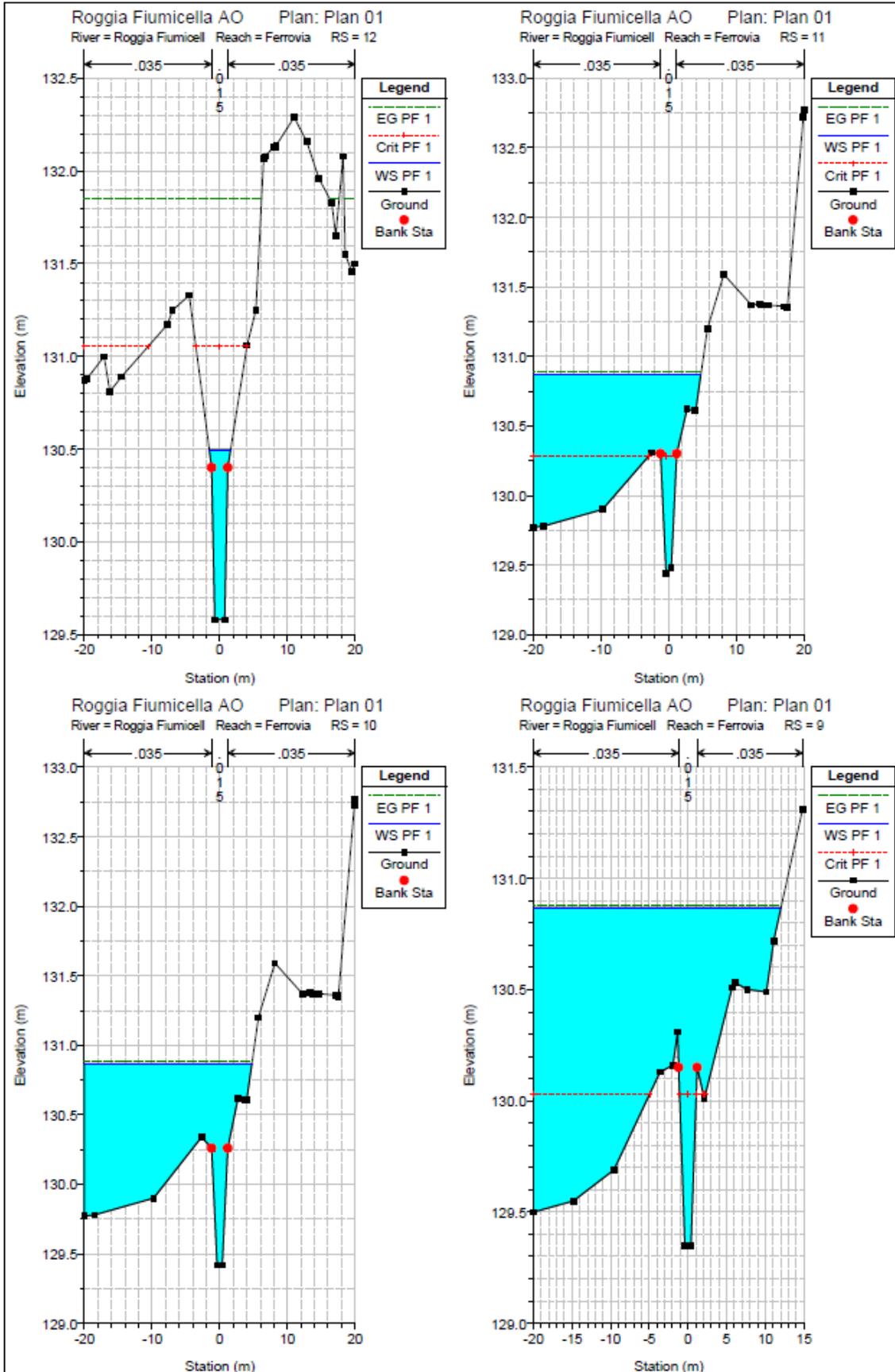
STATO ATTUALE

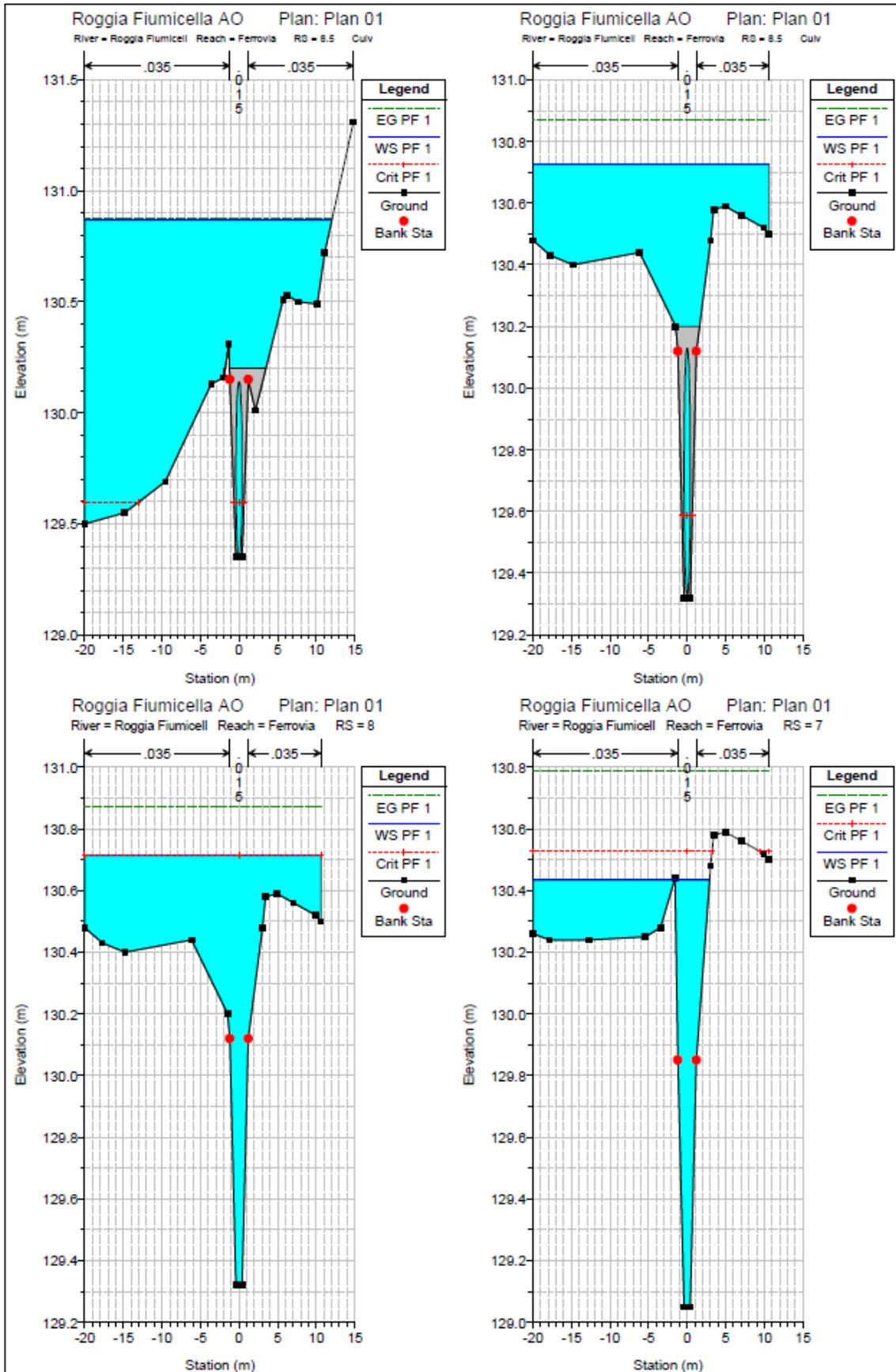
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

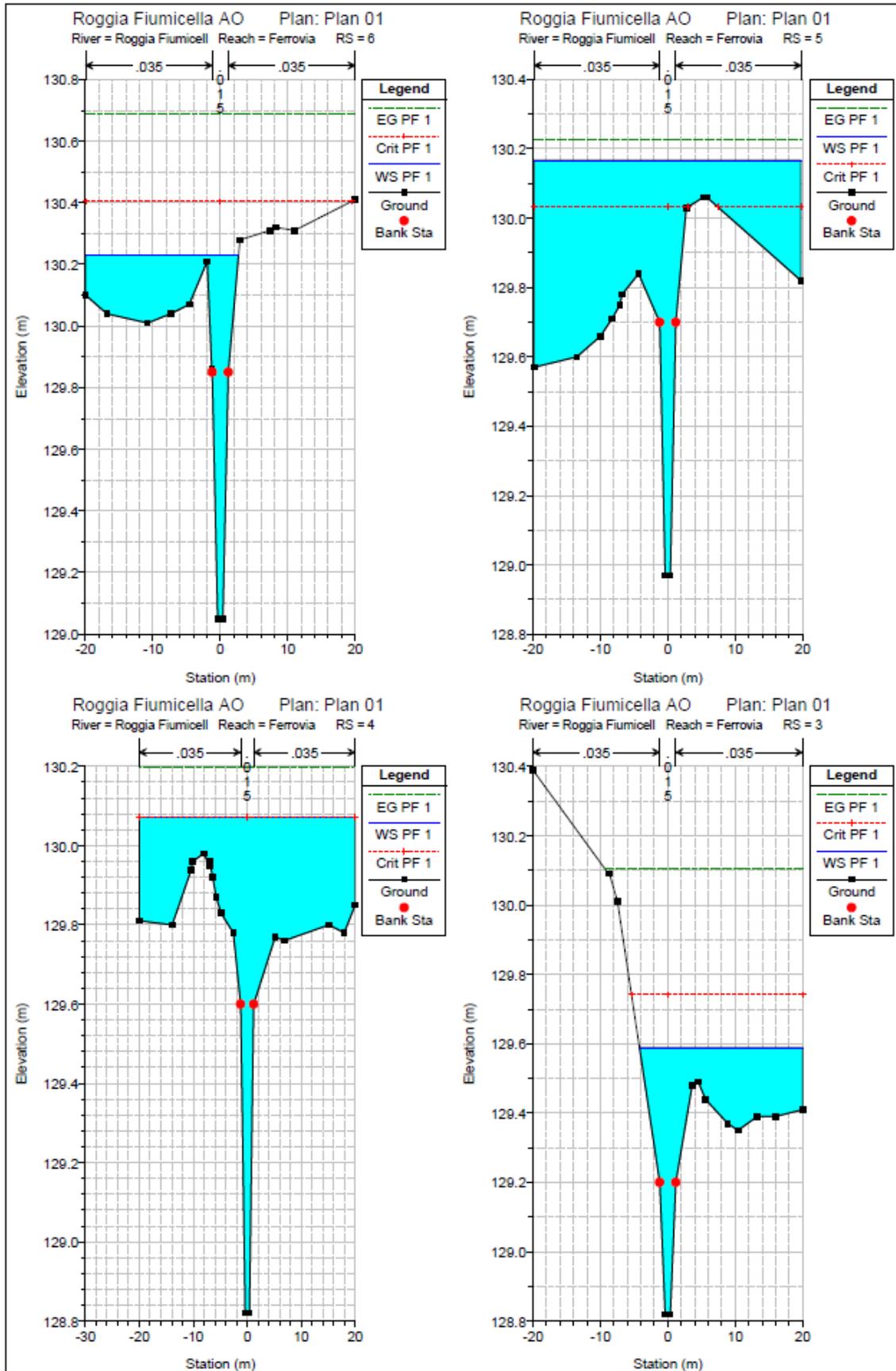
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IN0Y	10	F 10 RI	ID 00 0 1 002	A	32 DI 47

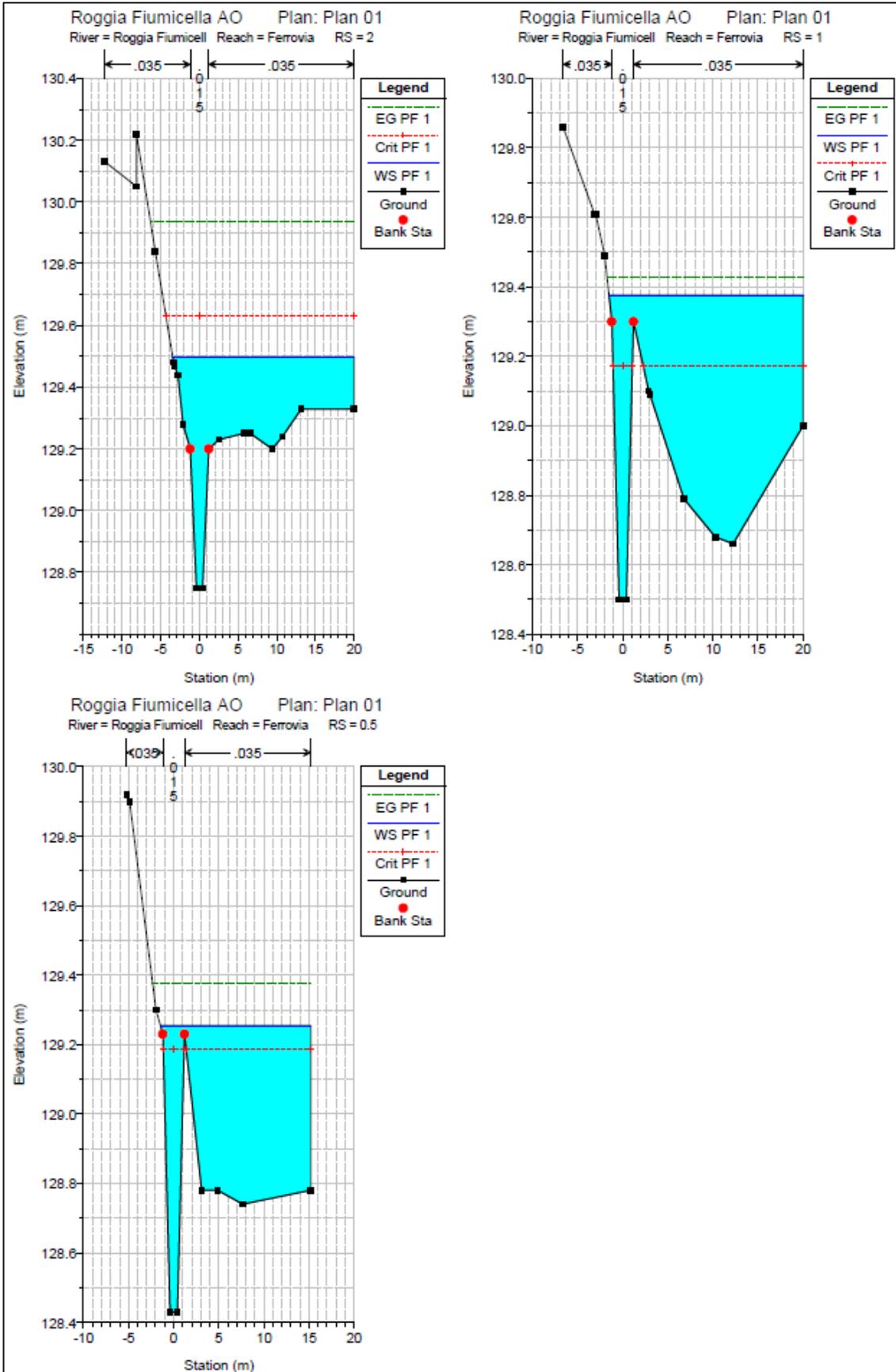












HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Roggia Fiumicell Reach: Ferrovia Profile: PF 1

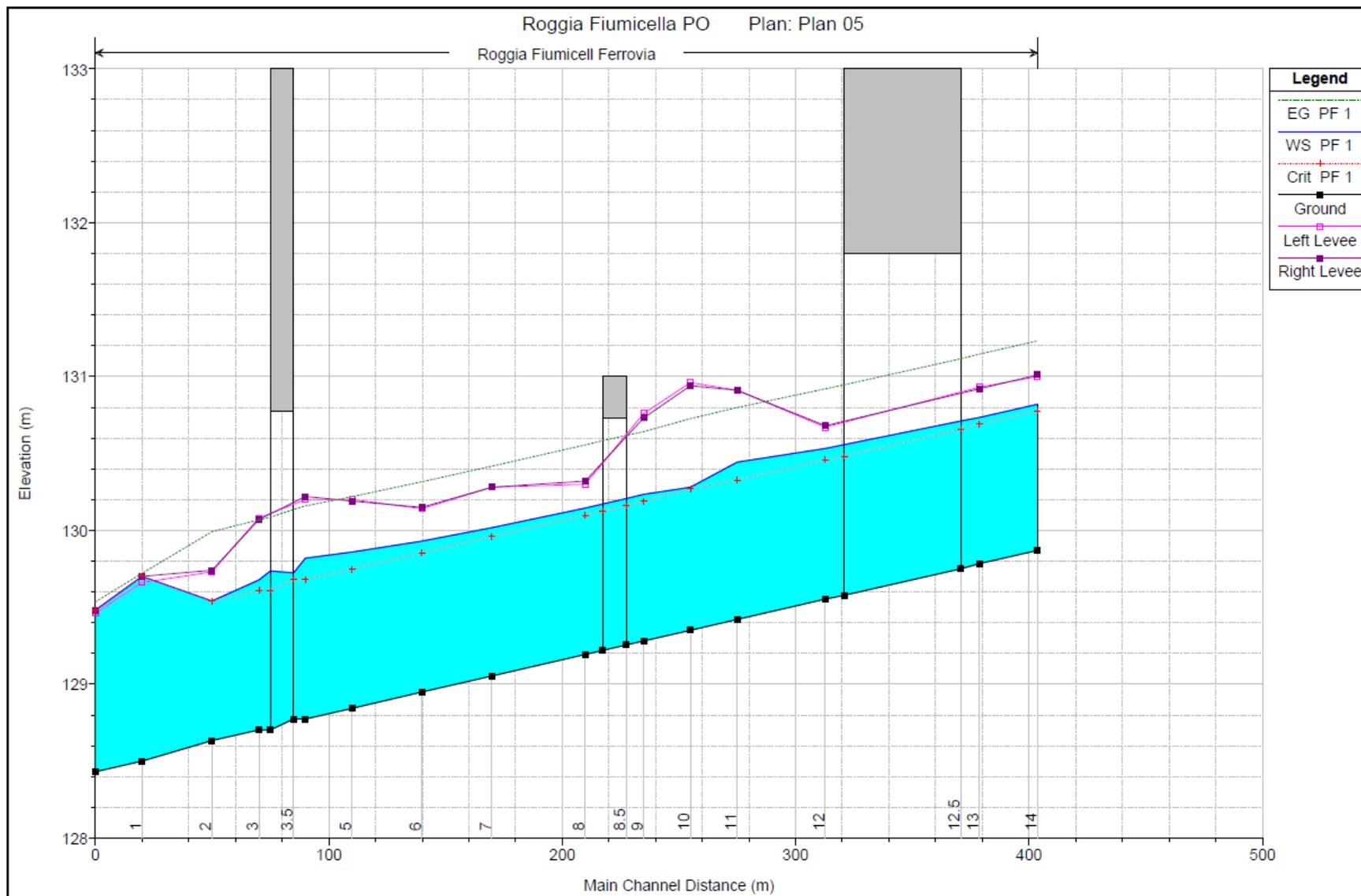
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Ferrovia	14	PF 1	9.47	129.88	132.26	131.44	132.28	0.000093	0.79	27.93	29.75	0.18
Ferrovia	13	PF 1	9.47	129.78	132.26	131.33	132.27	0.000086	0.74	28.47	29.74	0.16
Ferrovia	12.5											
		Bridge										
Ferrovia	12	PF 1	9.47	129.58	130.50	131.05	131.85	0.013488	5.16	1.87	3.16	1.88
Ferrovia	11	PF 1	9.47	129.44	130.87	130.28	130.89	0.000238	0.94	20.72	24.76	0.28
Ferrovia	10	PF 1	9.47	129.42	130.87		130.88	0.000240	0.96	20.56	24.74	0.28
Ferrovia	9	PF 1	9.47	129.35	130.87	130.03	130.88	0.000114	0.70	28.76	32.03	0.20
Ferrovia	8.5											
		Culvert										
Ferrovia	8	PF 1	9.47	129.32	130.71	130.71	130.87	0.001277	2.19	10.68	30.59	0.66
Ferrovia	7	PF 1	9.47	129.05	130.43	130.53	130.79	0.002249	2.89	6.53	22.78	0.87
Ferrovia	6	PF 1	9.47	129.05	130.23	130.40	130.69	0.004000	3.38	5.82	22.69	1.13
Ferrovia	5	PF 1	9.47	128.97	130.17	130.03	130.23	0.000831	1.62	15.45	39.59	0.53
Ferrovia	4	PF 1	9.47	128.82	130.07	130.07	130.20	0.001386	2.11	12.41	40.02	0.68
Ferrovia	3	PF 1	9.47	128.82	129.59	129.74	130.11	0.006905	3.94	5.82	24.20	1.57
Ferrovia	2	PF 1	9.47	128.75	129.50	129.63	129.94	0.007307	3.80	6.00	23.45	1.57
Ferrovia	1	PF 1	9.47	128.50	129.38	129.17	129.43	0.001565	1.61	11.31	21.52	0.66
Ferrovia	0.5	PF 1	9.47	128.43	129.25	129.19	129.38	0.003601	2.30	7.76	16.68	0.99

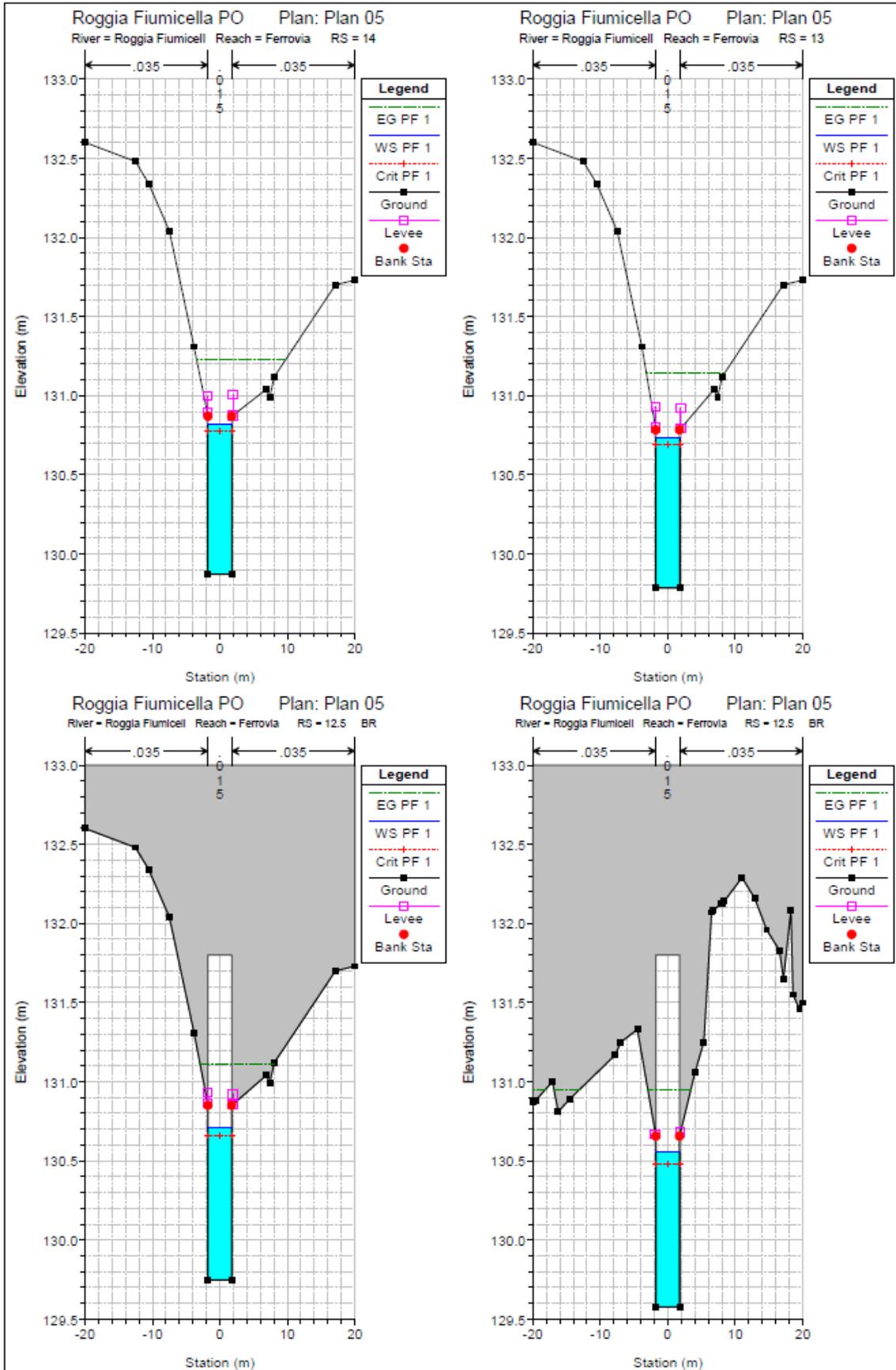
ALLEGATO B

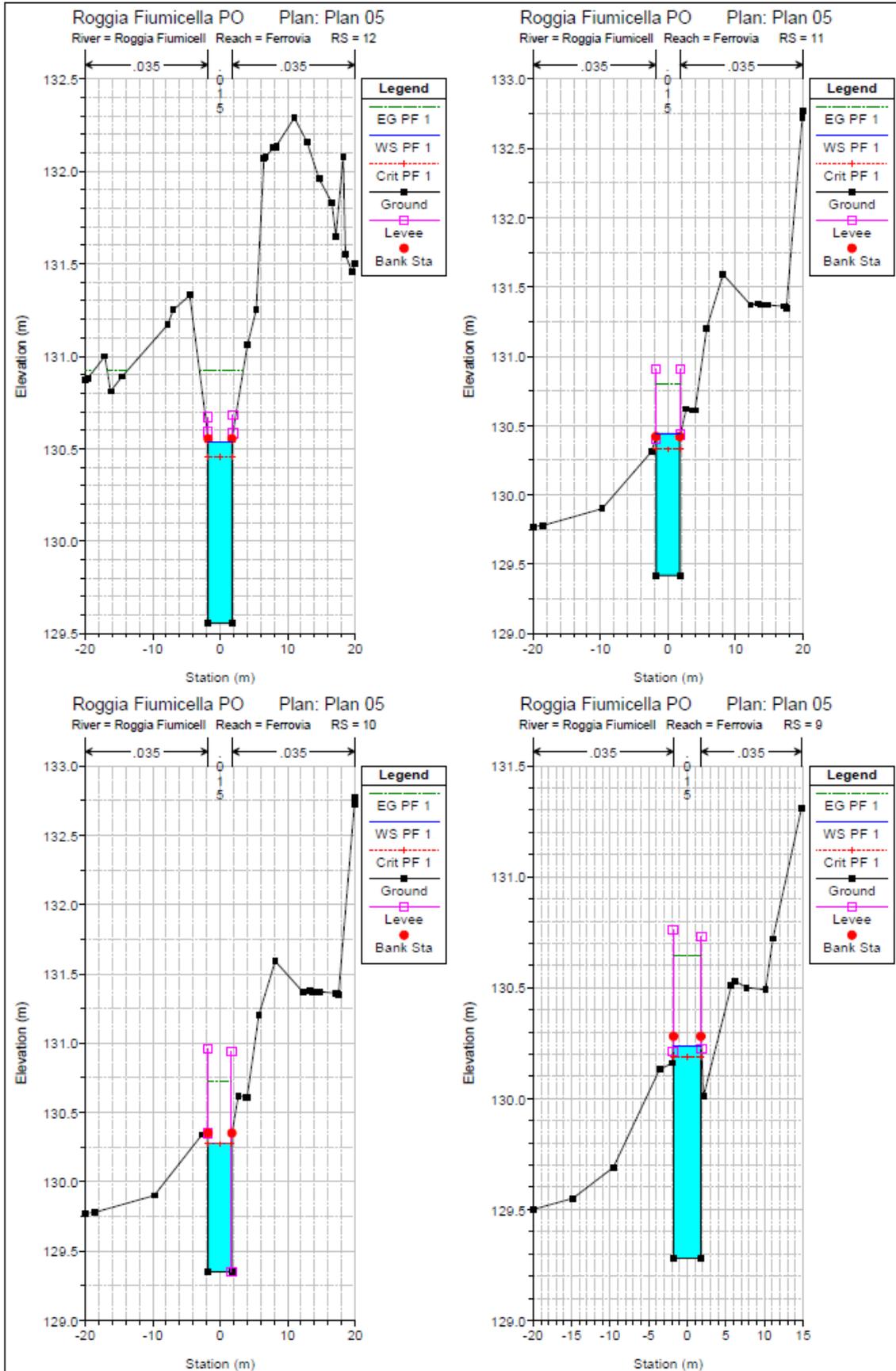
INTERFERENZA AL KM 14+414 IN01, IN01A E IN01B

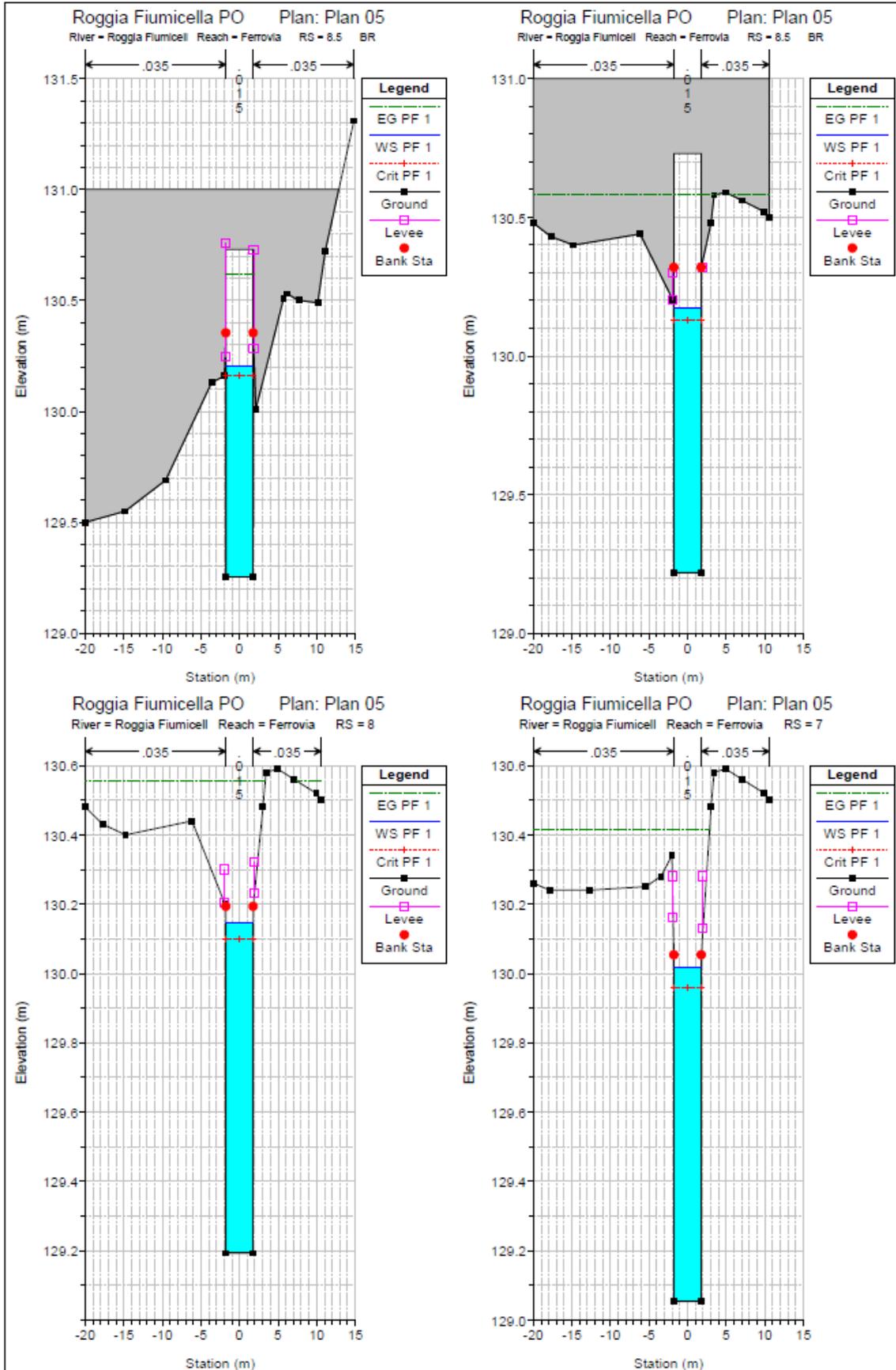
STATO DI PROGETTO

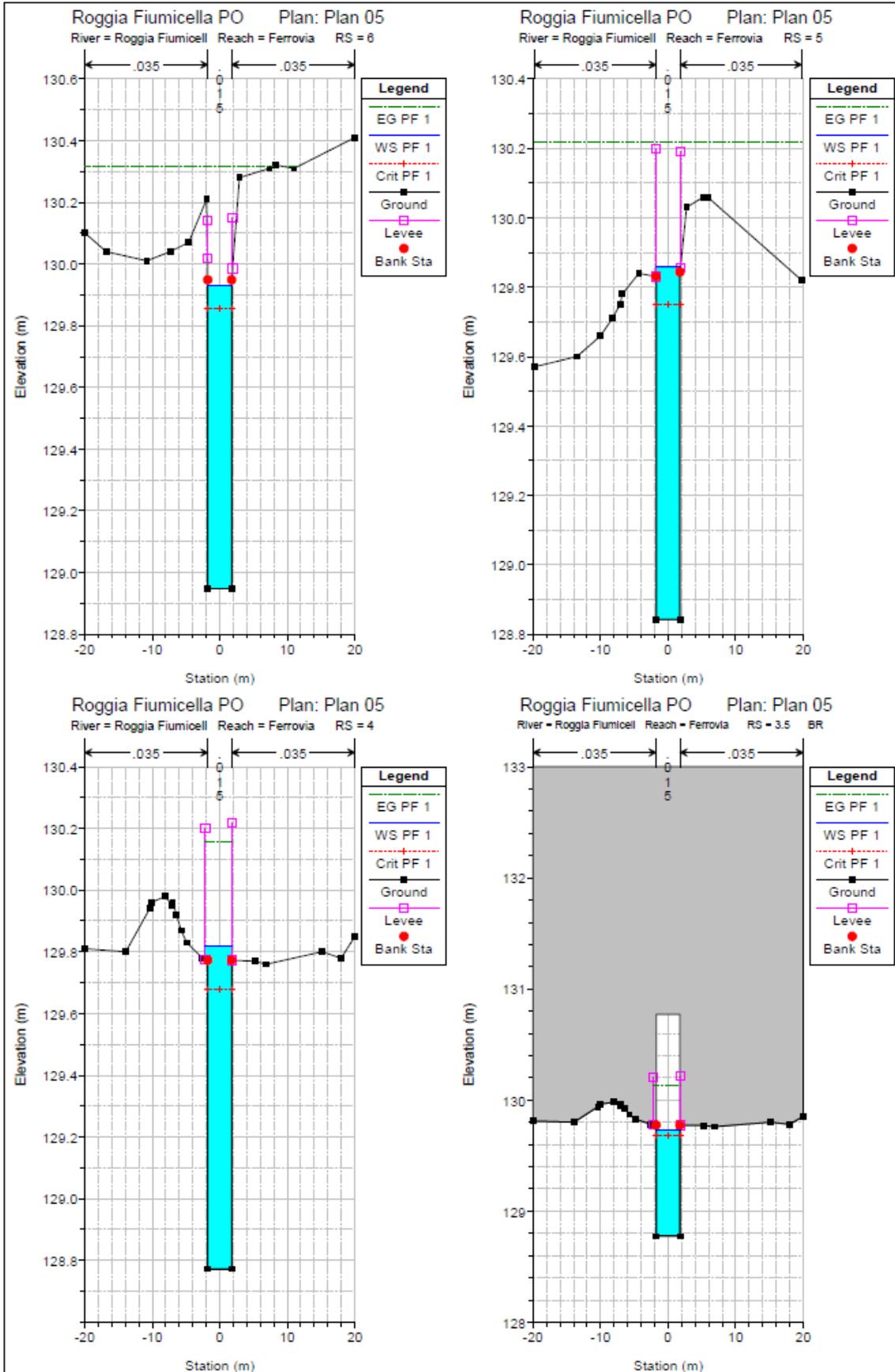
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

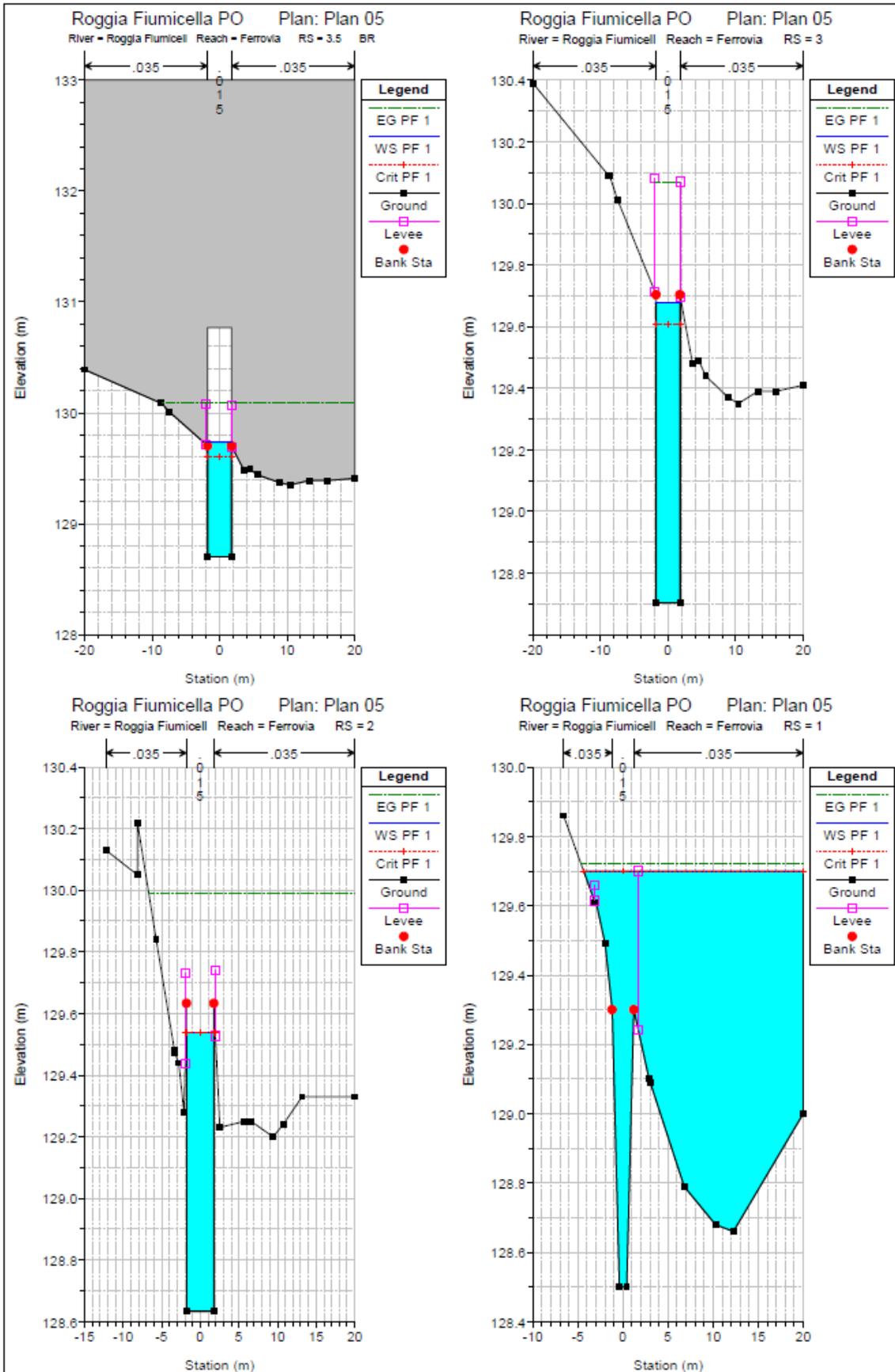


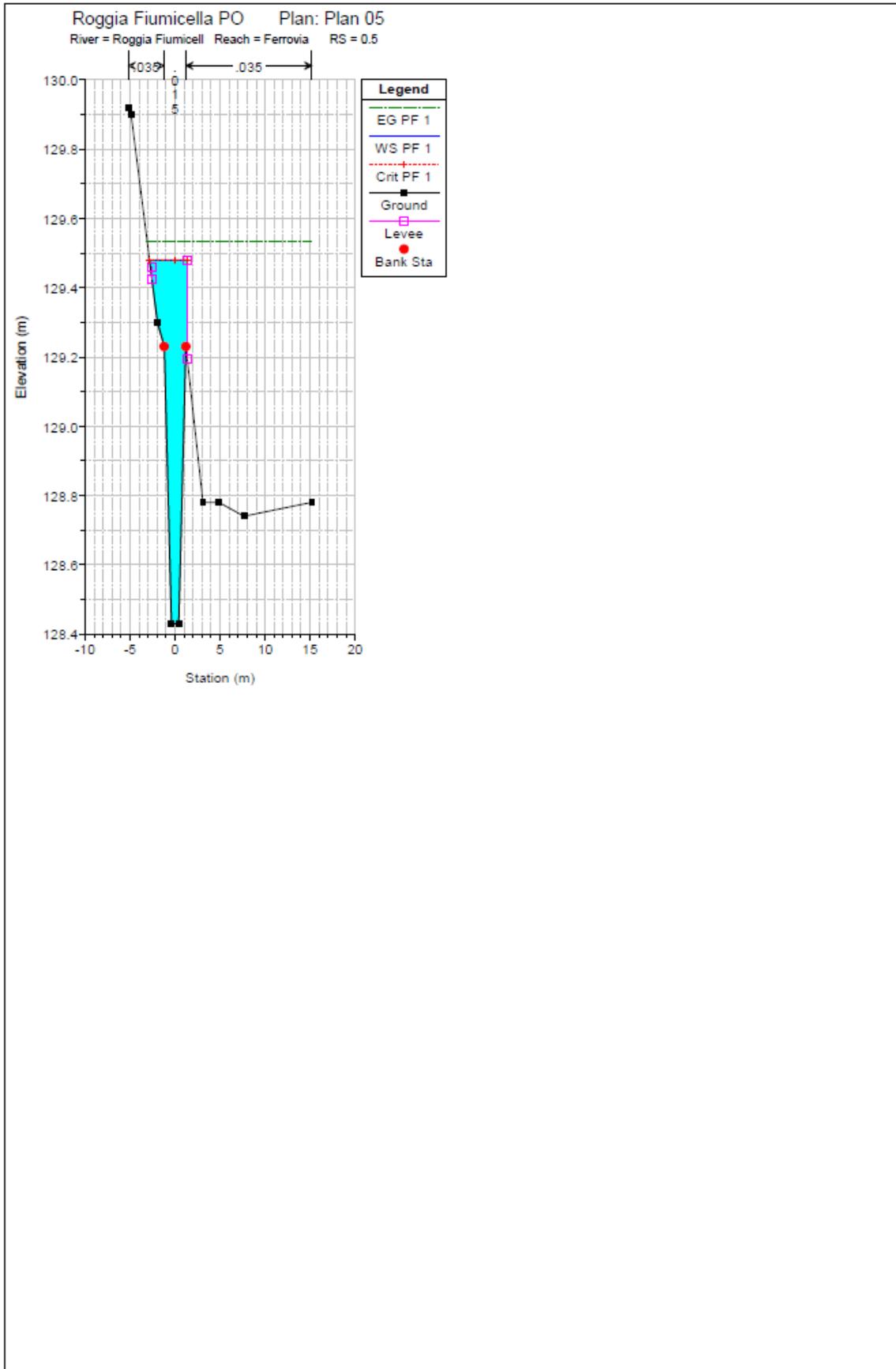












HEC-RAS Plan: plan 05 River: Roggia Fiumicell Reach: Ferrovia Profile: PF 1

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
Ferrovia	14	PF 1	9.47	129.87	130.82	130.78	131.23	0.003456	2.84	3.33	3.52	0.93
Ferrovia	13	PF 1	9.47	129.78	130.73	130.69	131.15	0.003462	2.84	3.33	3.52	0.93
Ferrovia	12.5	Bridge										
Ferrovia	12	PF 1	9.47	129.55	130.53	130.46	130.92	0.003165	2.76	3.44	3.52	0.89
Ferrovia	11	PF 1	9.47	129.42	130.44	130.33	130.80	0.002761	2.64	3.60	3.70	0.83
Ferrovia	10	PF 1	9.47	129.35	130.28	130.27	130.73	0.003846	2.96	3.20	3.45	0.98
Ferrovia	9	PF 1	9.47	129.28	130.23	130.19	130.64	0.003415	2.83	3.35	3.56	0.93
Ferrovia	8.5	Bridge										
Ferrovia	8	PF 1	9.47	129.19	130.14	130.10	130.55	0.003441	2.84	3.34	3.52	0.93
Ferrovia	7	PF 1	9.47	129.05	130.02	129.96	130.42	0.003314	2.80	3.38	3.52	0.91
Ferrovia	6	PF 1	9.47	128.95	129.93	129.85	130.32	0.003139	2.75	3.45	3.52	0.89
Ferrovia	5	PF 1	9.47	128.84	129.86	129.75	130.22	0.002823	2.66	3.57	3.66	0.84
Ferrovia	4	PF 1	9.47	128.77	129.82	129.68	130.16	0.002561	2.58	3.69	3.96	0.81
Ferrovia	3.5	Bridge										
Ferrovia	3	PF 1	9.47	128.70	129.68	129.61	130.07	0.003215	2.77	3.42	3.52	0.90
Ferrovia	2	PF 1	9.47	128.63	129.54	129.54	129.99	0.003947	2.98	3.19	3.65	1.00
Ferrovia	1	PF 1	9.47	128.50	129.70	129.70	129.72	0.000345	1.00	18.63	24.37	0.33
Ferrovia	0.5	PF 1	9.47	128.43	129.48	129.48	129.53	0.001047	1.56	11.71	18.06	0.56