



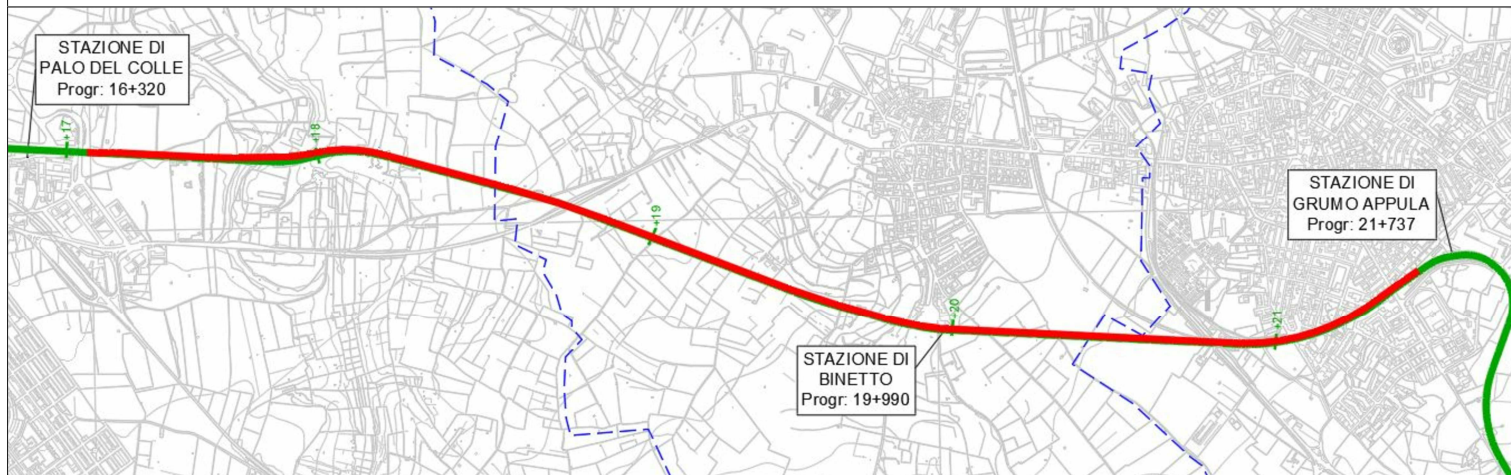
FERROVIE APPULO LUCANE S.R.L.

Ferrovie Appulo Lucane

PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE, VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE, DEL RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA

C.U.P.: G21E16000380001

C.I.G.: 72395498D2



RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Dott. Ing. MASSIMILIANO NATILE

FIRME:



Integrazione delle prestazioni specialistiche:

Ing. MARCO RASIMELLI

Resp. Studio SIA

Ing. DINO BONADIES

Geologia :

Dott. Geol. STEFANO PIAZZOLI

Ing. SIMONE PELLEGRINI

Ing. VALERIO MASTROIANNI

Geom. CARLO ROSI

Ing. PRIMO STASI

Geologia :

Dott. Geol. MARIO STANI

Studio SIA:

Arch. LUCIA LEPORE

Ing. ANTONIO DI LEO


Coordinamento Sicurezza in fase di Progetto

Ing. NICOLA LABARILE




PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato	Pratica	ELABORATI GENERALI				
OI0001	18021_DAR					
Scala	Codifica elaborato	Relazione idraulica e idrologica				
-	DAR_3RY001a					
A	GIUGNO 2020	PRIMA EMISSIONE	C.STANO	C.STANO	P.STASI	M.RASIMELLI
Rev.	Data	Motivazione	Redatto	Verificato	Approvato	Autorizzato

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 2 di 67</p>
---	---	---

Sommario


1.	PREMESSA	3	
2.	INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME	4	
2.1.	PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	7	
3.	STUDI PREGRESSI	13	
4.	CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DELLA LAMA LAMASINATA	15	
4.1.	DTM (MODELLO DIGITALE DEL TERRENO)	16	
4.2.	RILIEVO DEGLI ATTRAVERSAMENTI ESISTENTI	18	
4.2.1.	Premessa	18	
4.2.2.	Attraversamento ferroviario: Ponte a 5 archi	18	
4.2.3.	Attraversamento ferroviario: Ponte ad 1 arco	20	
4.2.4.	Sottovia Sandro Pertini e tombino a quattro luci	21	
4.2.5.	Tombino Grumo Appula	23	
5.	ANALISI IDROLOGICA	25	
5.1.	ACQUISIZIONE DATI CARTOGRAFICI	25	
5.2.	ELABORAZIONE PLUVIOMETRICHE DISTRIBUZIONE DI GUMBEL	27	
5.3.	ELABORAZIONE MEDIANTE DISTRIBUZIONE TCEV DELLO STUDIO VAPI	30	
5.4.	ALTEZZE DI PIOGGIA NETTE	32	
5.5.	MODELLO IDROLOGICO HEC-HMS	34	
5.5.1.	Modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo	35	
5.5.2.	Modello di trasformazione afflussi-deflussi	35	
5.5.3.	Modello di formazione dell'onda di piena	36	
5.5.4.	Determinazione degli idrogrammi di piena	37	
6.	ANALISI IDRAULICA	40	
6.1.	IL CODICE DI CALCOLO INFOWORKS ICM	40	
6.2.	IL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS	42	
6.2.1.	Equazioni per il calcolo del profilo idraulico	43	
6.2.2.	Calcolo della profondità di stato critico	45	
6.2.3.	Calcoli idraulici per sezioni con singolarità	46	
6.3.	MODELLI IMPLEMENTATI E CONDIZIONI AL CONTORNO	48	
6.3.1.	Ponte a cinque archi	49	
6.3.1.1.	Stato di fatto	49	49
6.3.1.2.	Intervento di progetto	51	51
6.3.2.	Ponte ad un arco	55	
6.3.2.1.	Stato di fatto	55	55
6.3.2.2.	Intervento di progetto	57	57
6.3.3.	Sottovia S. Pertini	59	
6.3.3.1.	Stato di fatto	59	59
6.3.3.2.	Modellazione bidimensionale con HEC RAS	60	60
6.3.3.3.	Verifica monodimensionale tombino a due luci	64	64
7.	CONCLUSIONI	67	

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 3 di 67
---	---	--

1. PREMESSA

Il presente documento accompagna il progetto definitivo del raddoppio della linea ferroviaria delle Ferrovie Appulo Lucane nel tratto compreso tra la stazione di Palo de Colle e quella del comune di Grumo Appula.

Al fine di verificare la compatibilità idraulica in corrispondenza delle interferenze tra il reticolo idrografico e l'infrastruttura ferroviaria, si è proceduto in primo luogo alla realizzazione dello studio idrologico dei bacini affluenti in corrispondenza delle opere d'arte e di conseguenza allo studio idraulico ante e post operam per ognuna di esse.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 4 di 67</p>
---	---	---

2. INQUADRAMENTO DELL'AREA IN ESAME

L'area oggetto di studio ricade nel territorio della Provincia di Bari, interessando uno dei più importanti impluvi dell'altopiano murgiano: il bacino della Lama Lamasinata.



Figura 1: Principali bacini provincia di Bari

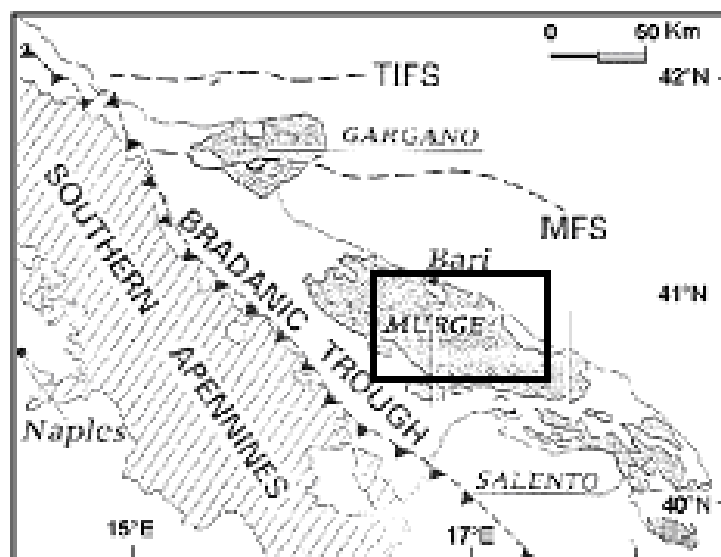

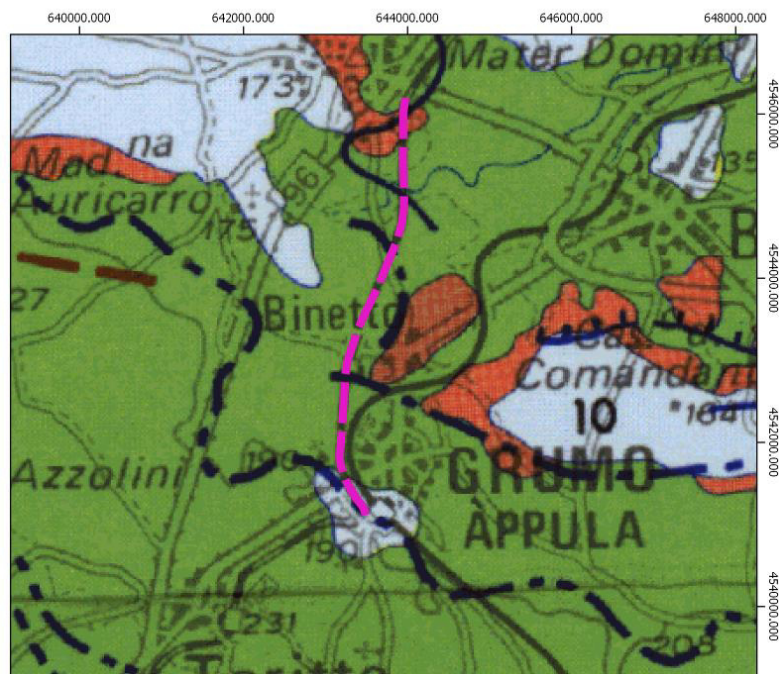


Figura 2: Schema geologico-strutturale dell'Italia meridionale. TIFS= faglia delle Isole Tremiti; MFS=faglia di Mattinata; (modificato da CHILOVI et al., 2000; GUERRICCHIO & PIERRI, 1998)

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 5 di 67</p>
---	---	---



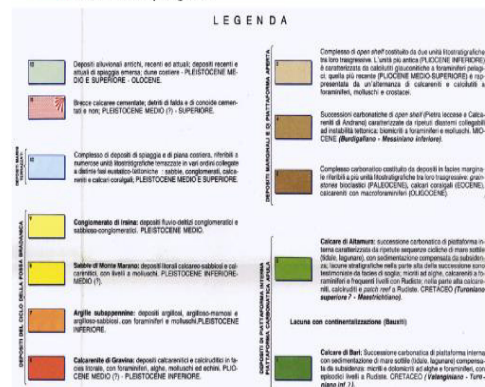
750 0 750 1500 2250 3000 m

Legenda

CARTA GEOLOGICA
SCALA 1: 50000

Legenda


Tracciato di progetto



Dalla Carta Idrogeomorfologica, consultabile sul sito www.adb.puglia.it e di cui si riporta uno stralcio in Figura 3, si evince come il reticolo idrografico della Lama Lamasinata interferisce con l'infrastruttura ferroviaria FAL in tre punti distinti:

1. In corrispondenza del ponte in muratura a cinque archi nel territorio di Palo del Colle.
2. In corrispondenza del ponte in muratura ad un arco, ricadente nel territorio di Binetto.
3. Nell'abitato di Grumo Appula, in corrispondenza del sottovia S. Pertini.

Secondo i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici, i primi due reticoli interessati sono classificati come episodici: sono tali i corsi d'acqua temporanei con acqua in alveo solo in seguito ad eventi di precipitazione particolarmente intensi, anche meno di una volta ogni 5 anni. Il reticolo che interessa il sottovia S. Pertini, invece, è considerato un corso d'acqua obliterato ovvero un corso d'acqua temporaneo, il cui alveo è stato occluso dall'attività antropica e/o dall'espansione dei centri abitati.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 6 di 67</p>
---	---	---

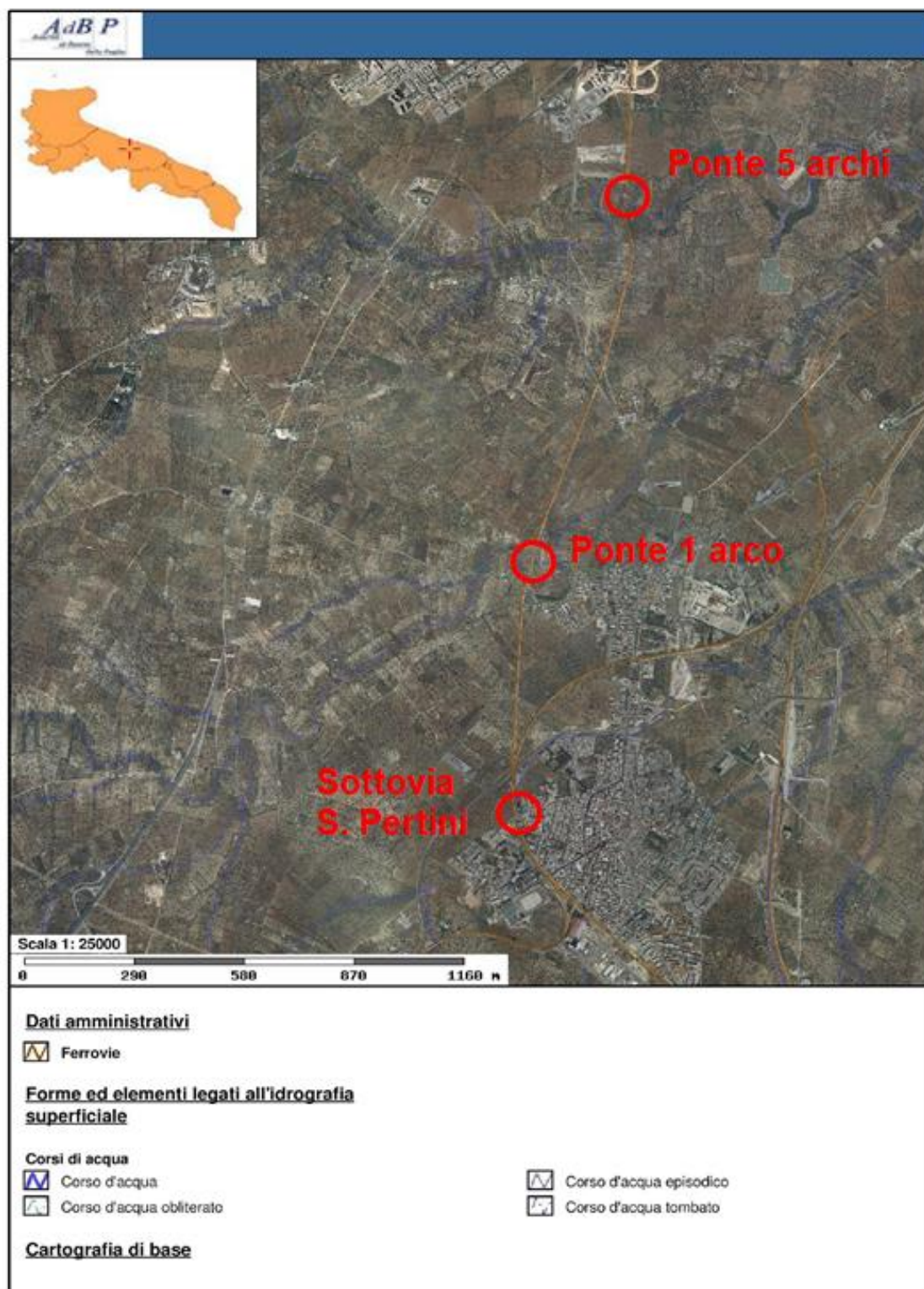



Figura 3: Estratto carta Idrogeomorfologica. Aggiornamento al 15 marzo 2016

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 7 di 67
---	--	--

2.1. PIANO DI BACINO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

L'Autorità di Bacino regionale della Puglia ha adottato con Deliberazione n. 25 del Comitato Istituzionale del 15 dicembre 2004 il Piano di bacino della Puglia, stralcio "Assetto Idrogeologico" e relative Norme Tecniche di Attuazione.


Il PAI, ai sensi dell'articolo 17 comma 6 ter della Legge 18 maggio 1989, n. 183, ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo attraverso il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo ricadente nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Le finalità del PAI sono realizzate dall'Autorità di Bacino della Puglia e dalle altre amministrazioni competenti, mediante:

- a) la definizione del quadro della pericolosità idrogeologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti;
- b) la definizione degli interventi per la disciplina, il controllo, la salvaguardia, la regolarizzazione dei corsi d'acqua e la sistemazione dei versanti e delle aree instabili a protezione degli abitati e delle infrastrutture, indirizzando l'uso di modalità di intervento che privilegino la valorizzazione ed il recupero delle caratteristiche naturali del territorio;
- c) l'individuazione, la salvaguardia e la valorizzazione delle aree di pertinenza fluviale;
- d) la manutenzione, il completamento e l'integrazione dei sistemi di difesa esistenti;
- e) la definizione degli interventi per la difesa e la regolarizzazione dei corsi d'acqua;
- f) la definizione di nuovi sistemi di difesa, ad integrazione di quelli esistenti, con funzione di controllo dell'evoluzione dei fenomeni di dissesto e di esondazione, in relazione al livello di riduzione del rischio da conseguire.

All'interno del territorio di propria competenza, il PAI individua e perimetra:

- aree a pericolosità idraulica;
- aree a pericolosità geomorfologica;
- aree a rischio.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 8 di 67</p>
---	---	---

Il Piano individua le aree caratterizzate da un significativo livello di pericolosità idraulica, e, in funzione della frequenza con cui esse sono interessate dai deflussi, le classifica in:

- *Aree a alta pericolosità idraulica (AP)*: porzione di territorio soggette ad essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) inferiore a 30 anni;
- *Aree a media pericolosità idraulica (MP)*: porzione di territorio soggette ad essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) compresa fra 30 anni e 200 anni;
- *Aree a bassa pericolosità idraulica (BP)*: porzione di territorio soggette ad essere allagate con un tempo di ritorno (frequenza) compresa fra 200 anni e 500 anni.

Riguardo la pericolosità geomorfologica:

- *aree a pericolosità geomorfologica molto elevata (P.G.3)*: porzione di territorio interessata da fenomeni franosi attivi o quiescenti;
- *aree a pericolosità geomorfologica elevata (P.G.2)*: porzione di territorio caratterizzata dalla presenza di due o più fattori geomorfologici predisponenti l'occorrenza di instabilità di versante e/o sede di frana stabilizzata;
- *aree a pericolosità geomorfologica media e moderata (P.G.1)*: porzione di territorio caratterizzata da suscettività geomorfologica all'instabilità


Riguardo le aree a rischio, esse sono suddivise in:

- **R4**: aree a rischio molto elevato;
- **R3**: aree rischio elevato;
- **R2**: aree a rischio medio;
- **R1**: aree a rischio basso.

Gli interventi ricadenti nelle aree perimetrate sopra citate sono soggetti alle prescrizioni previste dalle Norme Tecniche di Attuazione allegate al PAI.

Dal WebGIS dell'Autorità di Bacino Puglia, accessibile dal sito internet www.adb.puglia.it, è fruibile la cartografia allegata al PAI, aggiornata al 19 novembre 2019 (Figura 4 - Figura 5).

Dalla disamina della cartografia si evince che nel tratto interessato dall'intervento di progetto, si interferisce con le perimetrazioni relative alla pericolosità idraulica e quella

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 9 di 67</p>
---	---	---

relativa al rischio in due aree: la prima ricadente nel territorio di Palo del Colle, la seconda, nel Comune di Grumo Appula.

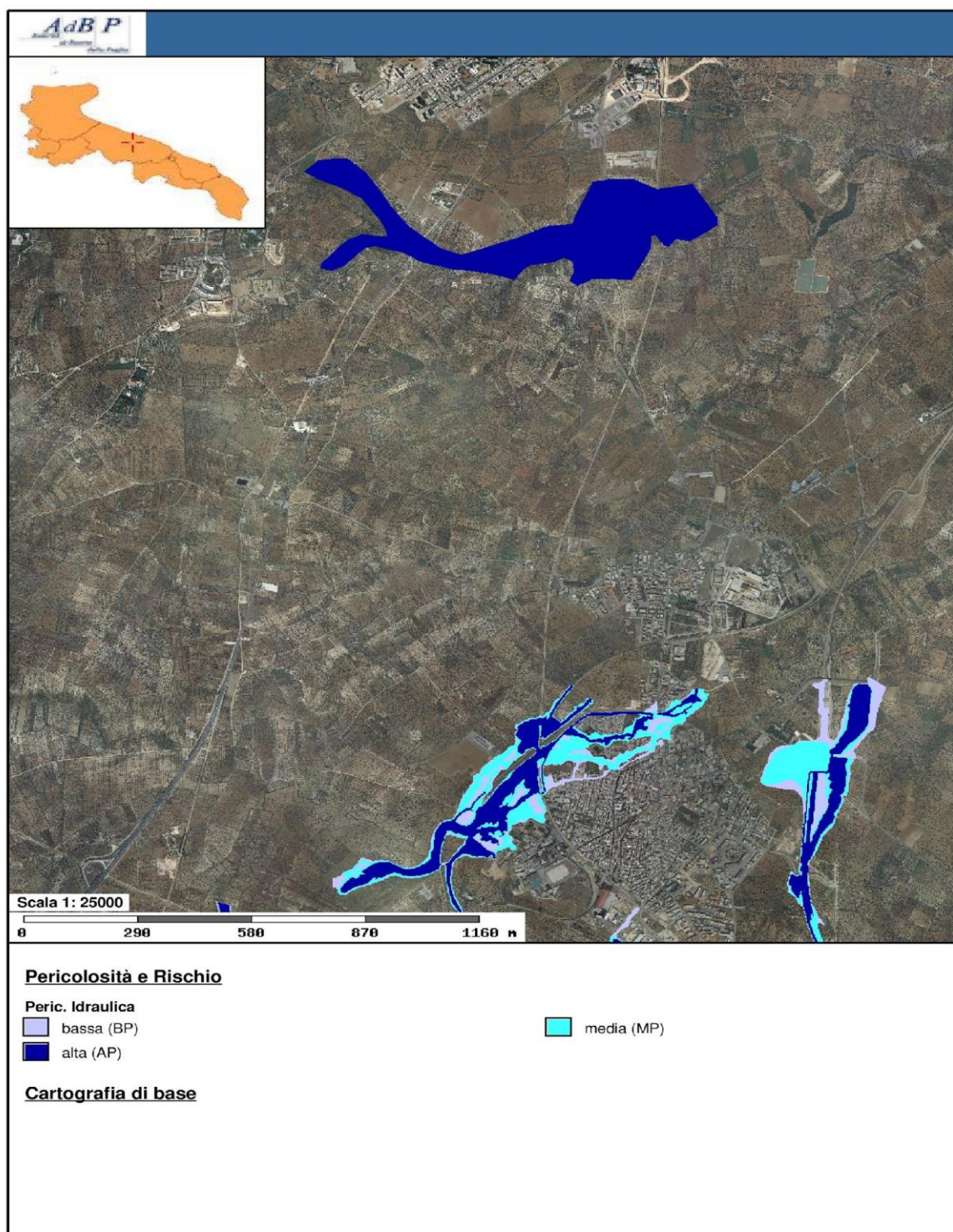


Figura 4: Stralcio cartografia PAI - Pericolosità idraulica. Aggiornata al 19 novembre 2019



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Idraulica e idrologica

DAR_3RY001A -
RELAZ_IDRAUL_IDRO
LOG.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 10 di 67

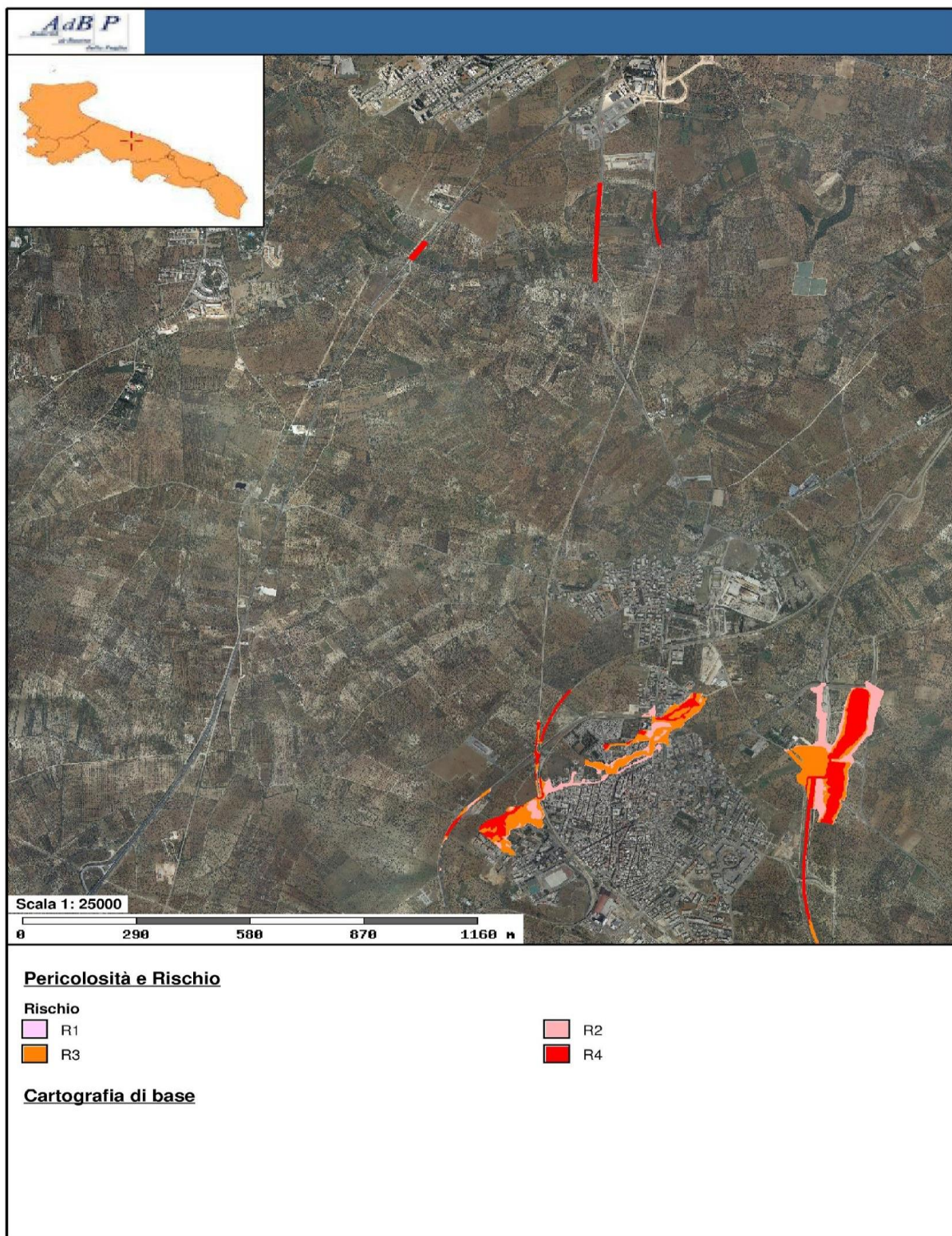



Figura 5: Stralcio cartografia PAI - Rischio. Aggiornata al 19 novembre 2019

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 11 di 67</p>
---	---	--


Ai sensi dell'art.4 delle NTA allegate al PAI:

“Nelle aree a pericolosità idraulica, tutte le nuove attività e i nuovi interventi devono essere tali da:

- a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;*
- b) non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;*
- c) non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;*
- d) non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
- e) garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;*
- f) limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
- g) rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.”*

Ai sensi dell'art. 5, *“nelle aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10 sono consentiti:*

- a) gli interventi idraulici e le opere idrauliche per la messa in sicurezza delle aree e per la riduzione o l'eliminazione della pericolosità;*
- b) gli interventi di sistemazione e miglioramento ambientale, che favoriscano tra l'altro la ricostruzione dei processi e degli equilibri naturali, il riassetto delle cenosi di vegetazione riparia, la ricostituzione della vegetazione spontanea autoctona. Tra tali interventi sono compresi i tagli di piante stabiliti dall'autorità forestale o idraulica competente per territorio per assicurare il regolare deflusso delle acque, tenuto conto di quanto disposto dal decreto del Presidente della Repubblica 14 aprile 1993;*


 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 12 di 67
---	--	---

c) *gli interventi di somma urgenza per la salvaguardia di persone e beni a fronte di eventi pericolosi o situazioni di rischio eccezionali.”*

Infine, ai sensi dell’art. 7 delle NTA, “nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti interventi di sistemazione idraulica approvati dall’autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell’Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI”.

Per interventi ricadenti in queste aree è richiesto uno studio di compatibilità idrologica ed idraulico che attesti compiutamente gli effetti a monte ed a valle dell’area interessata dalle opere.

Nel presente studio si provvede pertanto a verificare gli effetti sul regime idraulico delle aste del reticolo idrografico interessate dalle nuove opere relative al raddoppio ferroviario della linea FAL, mediante simulazioni ante e post intervento.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 13 di 67
---	--	---

3. STUDI PREGRESSI


Nello sviluppo delle analisi idrauliche che sono state condotte nel presente studio, si è fatto particolare riferimento ai dati idrologico – idraulici – morfologici contenuti nello studio elaborato dall'Autorità di Bacino della Puglia *“Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi”* (ultimo aggiornamento dicembre 2012), da parte della Regione Puglia nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro in materia di “Difesa del Suolo”, finanziato con le risorse trasferite dallo Stato con fondi CIPE n. 35/2005, realizzato a seguito dei violenti eventi alluvionali dell' ottobre/novembre 2005.

Tale studio è articolato in differenti e successive fasi: integrazione del quadro conoscitivo generale dei principali bacini idrografici dei corsi d'acqua nelle aree metropolitana di Bari e della provincia di Brindisi; integrazione del rilievo topografico disponibile comprensivo del rilievo di dettaglio di tutti i manufatti interferenti con le predette aree di pertinenza; definizione delle caratteristiche idrogeomorfologiche dei bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua oggetto dello studio; aggiornamento delle procedure di valutazione e stima delle precipitazioni massime al variare della durata e del tempo di ritorno; modellazione monodimensionale e bidimensionale del comportamento idraulico dei corsi d'acqua oggetto dello studio ed individuazione delle aree a diverso livello di pericolosità idraulica.

Come risultato dello studio è stata effettuata la mappatura sistematica della pericolosità idraulica sui corsi d'acqua principali, la valutazione preliminare delle azioni e degli interventi prioritari necessari alla messa in sicurezza del territorio e sono state definite linee guida per la loro progettazione, esecuzione e controllo.


Un ulteriore studio a cui si è fatto riferimento è lo studio idrologico ed idraulico condotto dalla Segreteria Tecnica Operativa dell'Autorità di Bacino, rivolto all'aggiornamento dell'assetto idraulico nel bacino idrografico della Lama Lamasinata nei territori comunali di Bitonto, Palo del Colle, Toritto, Grumo Appula, Binetto e Bitetto ai sensi dell'art. 24 delle NTA del vigente Pai, redatto nel 2017.

Oltre agli studi citati, si è fatto riferimento anche allo studio idrologico idraulico a corredo del Progetto Esecutivo “Presidio e mitigazione idraulica relativi ad aree ad elevata pericolosità idraulica e rischio R4 del PAI a salvaguardia del centro urbano” del Comune di Grumo Appula redatto nell'agosto 2011, le cui opere sono già state realizzate. Le opere di mitigazione

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 14 di 67
---	---	---

realizzate hanno comportato una trasformazione consistente dello stato dei luoghi nel territorio di Grumo Appula dal punto di vista dei deflussi idrici e delle aree allagabili. Tuttavia, le perimetrazioni ufficiali riportate sul webGIS dell'AdB risultano obsolete poiché non tengono conto del nuovo assetto idraulico in prossimità dell'abitato. E' stata cura dello scrivente analizzare i dati a disposizione e procedere alla modellazione e verifica delle condizioni idrauliche dell'area in oggetto per simulare la reale condizione attuale.

Le informazioni riguardanti i tratti fluviali oggetto del presente studio, e cioè i tratti della Lama Lamasinata compresi nei territori comunali di Palo del Colle, Binetto e Grumo Appula, contenute negli studi citati, sono state utilizzate sia per caratterizzare i tratti di asta fluviale in oggetto, sia come condizioni al contorno e di input dei modelli implementati per l'elaborazione dei necessari approfondimenti inerenti la componente idraulica.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 15 di 67
---	--	---


4. CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA DELLA LAMA LAMASINATA

Per poter effettuare una modellazione idraulica di un corso d'acqua, sia essa di tipo monodimensionale o bidimensionale, in grado di interpretare quanto più correttamente e dettagliatamente il reale comportamento di un fiume in diverse condizioni di regime idraulico, è necessario disporre, tra l'altro, di dati relativi all'assetto geometrico, con riferimento sia all'alveo inciso che alle aree golenali, nonché alle opere presenti (argini, traverse, ponti, briglie, ecc.).

Nel presente studio, i modelli idraulici sono stati implementati utilizzando le seguenti fonti di informazioni topografiche:

- Estratto della Carta Tecnica Regionale 1:5000, reperita dal database del Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia <http://www.sit.puglia.it>;
- D.T.M. (modello digitale del terreno) Lidar realizzato nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (2010), descritto nel dettaglio nel successivo Paragrafo 4.1 ;
- Rappresentazione geometrica dei principali attraversamenti idraulici esistenti della Lama Torre Cimarosa con la rete stradale e ferroviaria, realizzata dall'Autorità di Bacino Puglia nell'ambito dello *“Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi”*. Le schede monografiche relative ai principali attraversamenti sulla rete idrografica delle Province di Bari e Brindisi sono state redatte a seguito di accurati rilievi in campo, e sono corredate da documentazione fotografica;
- Rilievo topografico di dettaglio delle aree di intervento;
- Le cartografie a scala minore (CTR e aerofotogrammetria), così come l'impiego di immagini satellitari, sono servite per una più precisa localizzazione degli elementi esistenti e degli interventi in progetto durante la modellazione, e per un ulteriore confronto incrociato della qualità delle differenti basi topografiche, a diversa scala cartografica e risalenti a momenti differenti.

Il DTM è stato utilizzato come base per l'implementazione della modellazione idraulica mono e bidimensionale. Le schede monografiche dei rilievi geometrici e topografici degli

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 16 di 67
---	--	---

attraversamenti idraulici esistenti sono state utilizzate per la corretta modellazione dello stato attuale dei corsi d'acqua. Le caratteristiche dimensionali e funzionali dei manufatti esistenti sono state definite coerentemente con quelle riportate nella documentazione ufficiale dell'Autorità di Bacino.


4.1. DTM (MODELLO DIGITALE DEL TERRENO)

Il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), ai sensi della legge 179 del 31 luglio 2002 art. 27, è un Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Ministero della Difesa (MD) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome ed ha l'obiettivo di generare e rendere disponibili e condivisibili, all'intero comparto della Pubblica Amministrazione, le informazioni territoriali indispensabili per la creazione di elaborati ad alto valore aggiunto.

L'obiettivo del Piano Straordinario è stato quello di avviare, per la prima volta, la costituzione di una Base Dati rappresentativa del territorio Nazionale ad altissima risoluzione, e ad elevato valore aggiunto, da ottenersi tramite l'utilizzo delle tecnologie più evolute che le piattaforme satellitari e su aeromobili rendono attualmente disponibili.

In particolare, il progetto ha previsto l'acquisizione, da parte del Ministero, di dati prodotti da Telerilevamento con tecnica Laser-scanning LIDAR (da piattaforma aerea) e con tecnica interferometrica (da piattaforma satellitare) e la conseguente catalogazione di tali dati nella Banca Dati del Geoportale Nazionale (GN). Le basi dati realizzate rappresentano un valido contributo alle attività di governo del territorio, supportando in particolare le attività di topografia, cartografia e fotogrammetria numerica, la modellistica tridimensionale, i Sistemi Informativi Territoriali e, soprattutto, i Sistemi Informativi di Supporto alle decisioni.

Con riferimento alla applicazione del LIDAR (sensore Laser che rileva la distanza relativa tra target e sensore, abbinato con una piattaforma IMU (GPS+INS) che permette la georeferenziazione 3D dei punti), è stato condotto il monitoraggio di tutta la linea di costa italiana con un buffer di 800 m verso l'interno, di tutte le aste fluviali di I, II e III ordine riportate nel catalogo dei fiumi dell'IGM con un buffer di 350 m a destra e 350 m a sinistra e di circa 11 mila kmq di aree critiche individuate in base alle informazioni fornite al MATTM dalle Autorità di Bacino.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 17 di 67
---	---	---

La particolare tecnologia LIDAR permette di discriminare i punti relativi al terreno e quelli relativi agli “oggetti” presenti sul terreno; misurando la coltre vegetativa, penetrando fino al suolo, si ottengono informazioni sul terreno e sulle quote, con un’accuratezza centimetrica. Infatti, il DTM presenta un’accuratezza altimetrica corrispondente ad un errore inferiore ± 15 cm, mentre per l’accuratezza planimetrica l’errore deve essere contenuto entro ± 30 cm. Esso costituisce quindi il supporto principale delle attività di modellazione idraulica per la perimetrazione delle aree di potenziale esondazione dei principali corsi d’acqua e per la modellazione idrologica e di individuazione delle aree maggiormente esposte a pericolo in caso di eventi alluvionali.

Grazie alla sua elevata accuratezza, è stato possibile utilizzare il DTM come base per la modellazione idraulica mono e bidimensionale, essendo esso completamente rappresentativo nel dettaglio delle caratteristiche del terreno della Lama e delle aree agricole e urbane ad essa adiacenti.

Si riporta in Figura 6 la sovrapposizione del DTM con la carta tecnica regionale nell’area oggetto di studio.

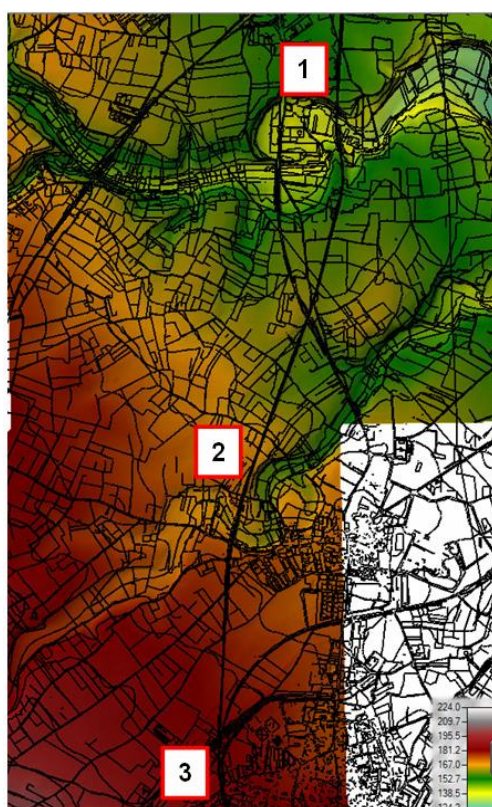



Figura 6: DTM utilizzato come base della modellazione idraulica, sovrapposto alla CTR. Sono individuati i seguenti attraversamenti idraulici: 1) Ponte a 5 archi; 2) Ponte ad 1 arco; 3) Sottovia Sandro Pertini.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 18 di 67</p>
---	---	--

4.2. RILIEVO DEGLI ATTRAVERSAMENTI ESISTENTI

4.2.1. Premessa

Nell'ambito della realizzazione dello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi", l'Autorità di Bacino della Puglia ha condotto un rilievo di dettaglio delle principali opere di attraversamento idraulico del reticolo idrografico con la rete stradale e ferroviaria, in modo da evidenziarne le criticità ai fini di polizia idraulica e l'inadeguatezza dimensionale e funzionale.

Questa campagna di rilevamento ufficiale ha interessato anche due degli attraversamenti oggetto del presente studio, ed è stata quindi utile strumento per definire le caratteristiche idraulico-geometriche degli attraversamenti esistenti nella modellazione dello stato di fatto.


Di seguito si riportano le informazioni geometriche dimensionali relative a ciascuna di queste opere, ricavate in prima battuta dalle schede monografiche prodotte nell'ambito dello studio citato e verificate con una campagna di sopralluoghi e rilievi di dettaglio, unitamente al modello digitale del terreno.

4.2.2. Attraversamento ferroviario: Ponte a 5 archi

Il primo attraversamento che si incontra lungo la tratta ferroviaria FAL oggetto d'intervento, è il ponte ferroviario a cinque archi. Esso ricade nel territorio comunale di Palo del Colle e si colloca alla progressiva chilometrica 17+663.

Come risulta evidente dalla sovrapposizione cartografica tra DTM e CTR, Il reticolo idrografico non ha un andamento lineare: a monte è caratterizzato da un'ansa ben definita, attraversa il ponte con una inclinazione di circa 33 gradi rispetto all'asse ferroviario, per poi curvare verso Nord a valle della struttura.

La sezione del ponte si sviluppa per una lunghezza di circa 70 m, attraversando la Lama per tutta la sua larghezza. Le quattro pile in alveo sottendono archi di luce 11.7 m ed altezza libera 13.50 m al massimo. Le pile, di forma rettangolare-squadrata sono larghe 2.40 m e lunghe 4.4 m nella direzione del flusso. I rilevati su cui si innestano il primo e l'ultimo arco sono rivestiti in pietrame locale intasato a garanzia di maggiore protezione dall'azione del deflusso delle acque.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 19 di 67</p>
---	--	--

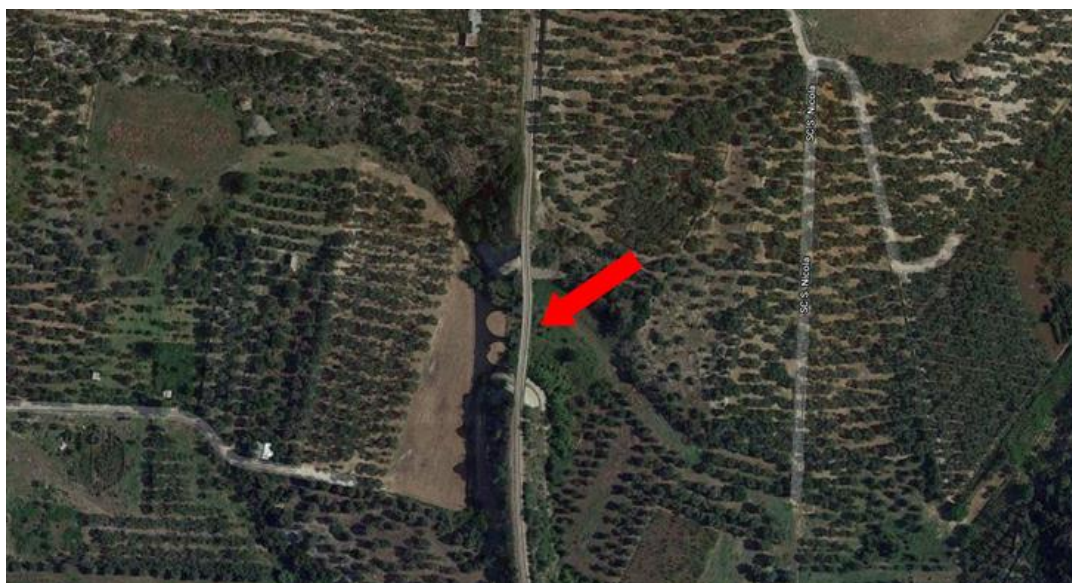


Figura 7: Ponte a cinque archi, ubicazione planimetrica (fonte Google Map)

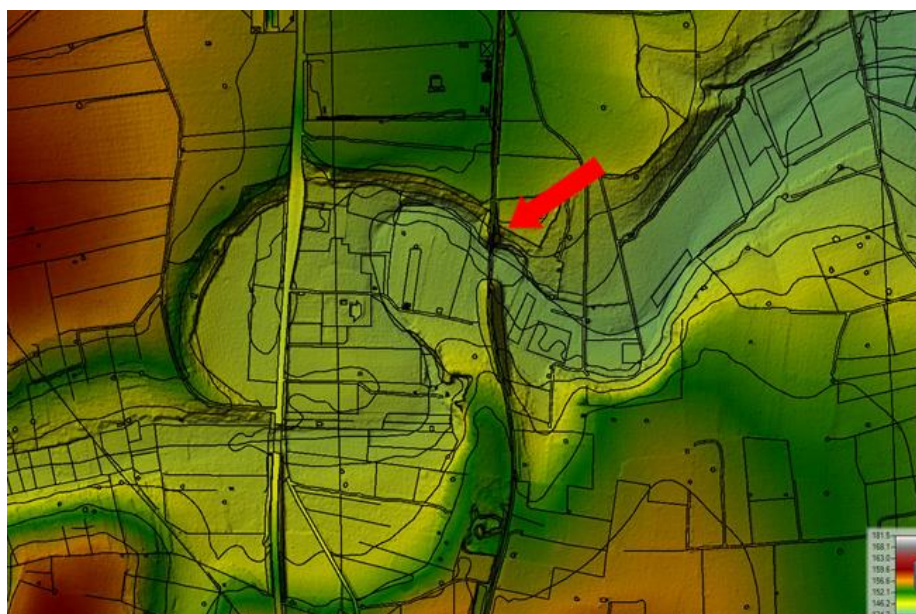


Figura 8: Ponte a cinque archi, sovrapposizione DTM e CTR


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 20 di 67</p>
---	---	--



Figura 9: Rilevato ferroviario e attraversamento esistente – vista da monte

4.2.3. Attraversamento ferroviario: Ponte ad 1 arco

Il ponte ferroviario ad un arco è indicato con il numero 2 nei paragrafi precedenti, si localizza alla progressiva 19+810.43 della linea FAL di progetto e ricade nel comune di Binetto. Esso garantisce la continuità idraulica da Ovest verso Est in corrispondenza del rilevato ferroviario posto a Nord del centro abitato..

L'attraversamento è costituito da una struttura ad arco in muratura rivestito in pietra locale di luce 5.90 m ed altezza libera pari a 8.13 m. Il rilevato occupa una fascia di 27 metri in direzione longitudinale alla corrente e sia a monte che a valle i muri di risvolto partendo dall'attacco con la spalla, si abbassano seguendo la scarpa del rilevato fino ad un'altezza di circa 1m dalla fondazione. Essi, oltre ad avere funzione di contenimento del rilevato di accesso al ponte, garantiscono una maggiore protezione dall'azione erosiva delle acque.



Figura 10: Ponte ad un arco, ubicazione planimetrica (fonte Google Map)


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 21 di 67</p>
---	---	--



Figura 11: Ponte ad un arco, sovrapposizione DTM e CTR




Figura 12: Ponte ad un arco – vista da monte

4.2.4. Sottovia Sandro Pertini e tombino a quattro luci

Il sottovia S. Pertini localizzato alla progressiva 21+146.92 della linea FAL, ricade nel territorio comunale di Grumo Appula. Trattasi di una struttura in c.a. di luce netta 5.45 m, larghezza 7.00 m ed altezza libera pari a 2.30 m. Come si nota dalla foto in Figura 14, una imponente batteria di griglie si sviluppa sia a monte che a valle dell'attraversamento per captare le acque piovane che vengono poi convogliate in corrispondenza del canale circondariale esistente posto ad Est del rilevato ferroviario, per poi proseguire in direzione Binetto.



Figura 13: ubicazione planimetrica (fonte Google Map)

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 22 di 67</p>
---	---	--

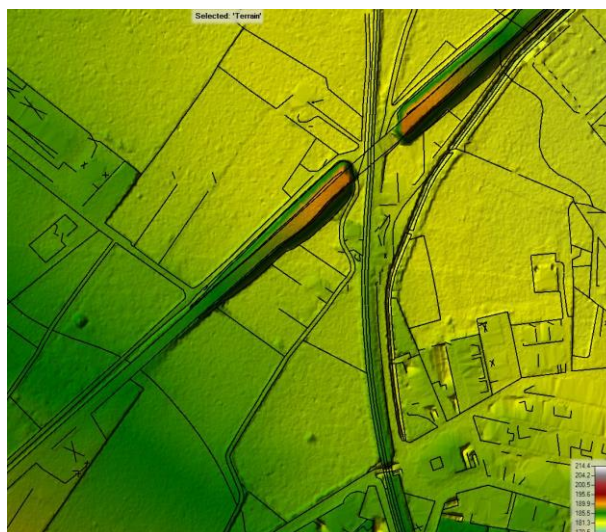


Figura 14: sovrapposizione DTM e CTR


In adiacenza alla struttura del sottovia, in sinistra idraulica, si colloca un tombino a quattro luci di epoca precedente alla realizzazione dell'attraversamento, costituito da quattro luci rettangolari di dimensioni 1.00 x 1.00 m circa.

Le due opere contigue, hanno garantito la continuità idraulica in direzione Ovest-Est del reticolo idrografico, classificato "obliterato" a causa delle attività antropiche che hanno pesantemente modificato nel corso degli anni, la naturale continuità del reticolo originario.

Negli ultimi anni, la funzionalità idraulica delle strutture esistenti è però passata in secondo piano nel momento in cui sono state realizzate nuove opere di mitigazione, descritte nel successivo paragrafo.



Figura 15: Sottovia Sandro Pertini e tombino a quattro luci – vista da monte

 Ferrovie Appulo Lucane	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 23 di 67</p>
---	--	--

4.2.5. Tombino Grumo Appula


In corrispondenza della progressiva 21+042.93 della linea FAL di progetto è localizzato un tombino scatolare a 2 luci realizzato nell'ambito del progetto "Presidio e mitigazione idraulica relativi ad aree ad elevata pericolosità idraulica e rischio R4 del PAI a salvaguardia del centro urbano". L'attraversamento collega il Canale deviatore realizzato nell'ambito dello stesso progetto al canale circondariale esistente posto ad Est della massicciata ferroviaria. Il tombino è costituito da due luci di dimensioni nette 3.75 m x 2.40 m divise da un setto centrale dello spessore di 0.40 m.



Figura 16: ubicazione planimetrica (fonte Google Map)




Figura 17: Tombino Grumo Appula – vista da monte

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 24 di 67
---	--	---

Essendo di recente costruzione, non è riportato nelle tavole della Cartografia Tecnica Regionale tantomeno nel DTM. E' stata cura dello scrivente implementare la geometria del tombino e di tutte le opere di mitigazione del rischio idraulico ad essa connesse per poter svolgere le opportune verifiche idrauliche.

E' bene evidenziare che dai sopralluoghi effettuati in loco, si è constatata una importante difformità rispetto agli atti progettuali, riguardante l'angolo con cui il tombino si immette nel canale circondariale. La sua geometria, diversamente da quanto descritto nel progetto esecutivo, non è tale da innestarsi ad angolo acuto nella direzione del flusso, bensì si immette con una angolazione molto prossima ai 90°.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 25 di 67
---	---	---

5. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica si prefigge lo scopo di stimare le portate idriche corrispondenti ad eventi meteorici associati a tempi di ritorno prefissati. Le portate idriche di riferimento del PAI sono correlate a tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, ma per la verifica dello stato di fatto e di progetto delle opere idrauliche in esame si assume come portata di progetto, il valore della portata duecentennale.

L'analisi è stata pertanto condotta secondo le seguenti fasi di lavoro svolte in successione:

- Acquisizione dati cartografici;
- Acquisizione ed elaborazione dei dati pluviometrici finalizzati alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica;
- Stima delle portate al colmo di piena.

5.1. ACQUISIZIONE DATI CARTOGRAFICI

Al fine di ampliare il quadro conoscitivo dei bacini contribuenti ed individuare il reale andamento dell'alveo oggetto di studio, si è fatto riferimento alle tipologie di dati di seguito elencate:

- Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia;
- Carta Tecnica Regione Puglia e ortofoto;
- Curve di livello della Carta tecnica Regionale scala 1:5000;
- Modello digitale del terreno con risoluzione 8x8m (Fonte SIT Puglia);
- Rilievo LIDAR del Geoportale Nazionale con risoluzione 1x1m, fornito dal MATTM (Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare);
- Rilievo planoaltimetrico di dettaglio in corrispondenza degli attraversamenti e delle opere d'arte presenti lungo il tracciato ferroviario.

Sulla base dei predetti dati cartografici e con l'ausilio di software CAD in grado di lavorare in ambiente GIS (Civil 3d, Infracore e Map 3D), si è provveduto alla definizione dei bacini idrografici afferenti alle sezioni di chiusura poste in corrispondenza delle opere d'arte in esame ed al conseguente studio dei dati morfometrici che li caratterizzano.



Ferrovie Appulo Lucane

**RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA**
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Idraulica e idrologica

DAR_3RY001A -
RELAZ_IDRAUL_IDRO
LOG.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 26 di 67



Figura 18: Bacino ponte a 5 archi

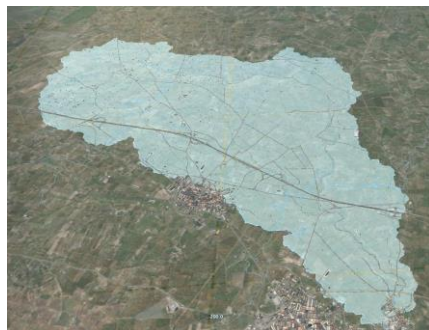


Figura 19: Bacino ponte ad 1 arco



Figura 20: Bacino
sottovia S.Pertini

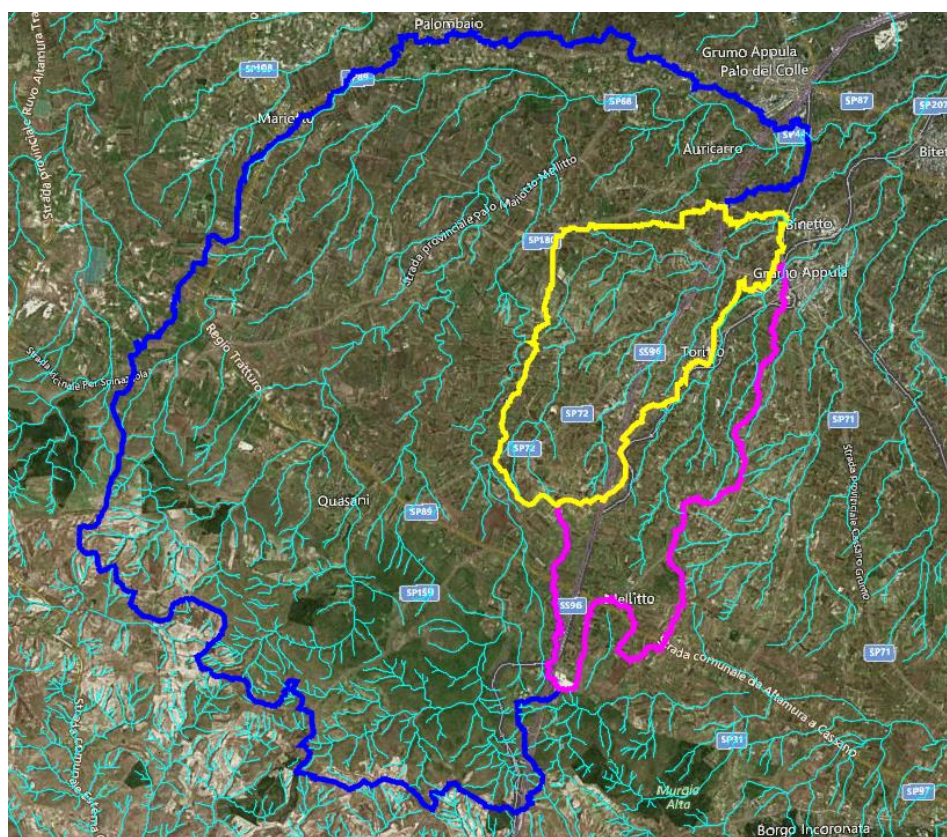



Figura 21: Reticolo idrografico e bacini esaminati. Ortofoto Bing Map

DATI MORFOMETRICI BACINI		
PONTE 5 ARCHI		
Superficie S	km ²	162,67
Lunghezza asta L	km	31,66
Quota max bacino	m s.l.m.	513,00
Quota min bacino	m s.l.m.	133,00
Quota media bacino	m s.l.m.	325,41
Pendenza media dell'asta	%	5,10

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 27 di 67
---	---	---

PONTE 1 ARCO		
Superficie S	km ²	26,66
Lunghezza asta L	km	13,33
Quota max bacino	m s.l.m.	365,00
Quota min bacino	m s.l.m.	164,96
Quota media bacino	m s.l.m.	258,53
Pendenza media dell'asta	%	3,93
SOTTOVIA S. PERTINI		
Superficie S	km ²	16,90
Lunghezza asta L	km	9,90
Quota max bacino	m s.l.m.	401,16
Quota min bacino	m s.l.m.	180,80
Quota media bacino	m s.l.m.	316,07
Pendenza media dell'asta	%	4,72


5.2. ELABORAZIONE PLUVIOMETRICHE DISTRIBUZIONE DI GUMBEL

La determinazione dell'altezza di pioggia corrispondente ad un determinato evento meteorico si ottiene avvalendosi della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica, ovvero una relazione tra l'altezza di pioggia h caduta in un intervallo di tempo di durata t e il tempo di ritorno T_R . Le curve di possibilità pluviometrica sono rappresentabili dalla seguente equazione:


$$h(t, T_R) = a_{T_R} \times t^n$$

La taratura dei parametri α ed n essere condotta mediante l'acquisizione ed l'elaborazione statistica dei dati di precipitazione registrati da una stazione pluviometrica prossima al comprensorio oggetto dello studio; nel presente caso è stato fatto riferimento alla stazione di Grumo Appula. Nella seguente tabella si riportano le altezze massime di pioggia verificatesi per le durate 1, 3, 6, 12, 24 ore rispettivamente, per il periodo in cui esse risultano disponibili, tra il 1932 ed il 2013, per un totale di 56 osservazioni.

DATI PLUVIOGRAFICI					
(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)					
Stazione di : Grumo Appula					
Quota (m s.l.m.) : 180		Numero di osservazioni : N = 56			
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1932	16.00	30.00	31.00	40.00	46.60

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 28 di 67
---	---	---

1933	26.40	32.00	37.20	49.80	56.80
1935	26.00	30.40	34.00	48.80	63.40
1936	12.80	19.80	19.80	27.60	48.20
1937	23.00	25.20	31.00	37.40	47.40
1938	11.20	25.00	40.80	60.00	103.20
1940	13.60	23.80	38.80	58.80	67.60
1942	16.20	20.40	32.80	42.40	42.40
1944	24.60	31.40	34.60	50.60	64.60
1946	22.80	31.20	40.80	43.20	44.60
1947	15.00	19.40	28.80	39.80	46.00
1956	17.60	25.60	28.20	29.00	49.60
1957	21.20	29.60	37.20	44.00	72.00
1961	40.60	44.60	60.60	63.00	63.20
1963	22.00	33.20	42.20	42.40	53.00
1964	21.60	23.60	34.20	55.80	64.60
1965	22.00	24.00	38.40	52.20	70.00
1966	28.20	30.00	32.00	35.60	44.00
1967	23.00	29.20	32.20	32.20	32.20
1969	32.80	37.80	39.00	39.00	41.60
1970	25.00	28.60	33.80	43.40	67.60
1973	64.00	77.80	94.40	102.20	113.00
1974	23.20	37.00	53.00	56.80	57.20
1975	16.40	25.20	40.00	50.00	68.40
1976	31.40	40.20	40.80	47.20	55.20
1977	26.60	31.20	32.40	32.40	49.00
1978	38.80	40.60	40.80	40.80	40.80
1979	21.40	22.00	25.40	33.00	49.40
1980	16.80	18.00	26.60	40.00	58.00
1981	16.00	25.20	25.20	36.40	42.80
1982	35.00	40.60	40.80	40.80	44.00
1983	47.00	47.00	48.00	50.60	55.80
1984	11.00	19.00	35.20	47.20	91.80
1985	15.00	27.00	33.80	39.00	54.00
1986	24.80	46.20	47.80	50.80	50.80
1987	22.20	36.00	55.00	69.40	97.80
1988	37.20	39.00	43.20	43.20	45.00
1990	21.20	23.20	40.00	72.00	95.80
1991	36.00	59.80	60.20	60.20	60.80
1993	14.20	20.40	25.80	27.20	43.40
1995	36.40	37.00	37.00	57.80	78.60
1996	20.40	20.40	27.00	34.80	49.80
1997	21.00	44.20	61.80	85.40	87.60
1998	49.40	58.40	69.60	69.60	69.60
1999	34.40	37.00	37.00	37.00	37.00
2000	16.20	21.60	30.80	43.80	72.00
2001	14.40	15.20	27.80	45.20	56.60
2002	69.80	77.40	82.20	84.20	84.20

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 29 di 67
---	---	---

2003	15.60	20.20	28.40	47.20	57.00
2004	33.40	46.20	49.40	65.40	73.80
2005	24.60	27.20	28.00	45.40	61.80
2008	24.20	24.20	34.80	49.60	50.00
2010	28.00	55.00	63.80	66.80	76.00
2011	23.80	54.00	72.80	73.60	73.80
2012	16.00	17.40	19.00	28.80	41.40
2013	18.40	27.20	46.00	82.00	117.00

Nell'ipotesi che la pioggia segua la legge di distribuzione di Gumbel, la probabilità di non superamento può essere espressa dalla seguente relazione:

$$P(h_t) = e^{-e^{-\frac{-(h_t - u_t)}{a_t}}}$$

dove u_t e a_t sono i parametri della curva legati alla media $m(h_t)$ ed allo scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ della variabile h_t secondo opportune relazioni teoriche:

$$u_t = m(h_t) - 0,45 \sigma(h_t)$$

$$a_t = 1,283 / \sigma(h_t)$$

Invertendo la legge di distribuzione e sostituendo il tempo di ritorno T_R in luogo della probabilità P si ottiene:

$$h_t(T_R) = u_t - a_t \ln \left[-\ln \left(\frac{T_R - 1}{T_R} \right) \right]$$


che permette di calcolare, per ciascuna delle durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore) il valore di altezza massima di pioggia (quantile regolarizzato) fissato il tempo di ritorno.

Disponendo su un diagramma logaritmico le $h_t(T_R)$ al variare della durata t è possibile ricavare i parametri a ed n mediante il modello lineare:

$$\ln(h_t(T_R)) = \ln(a(T_R)) + n(T_R) \times \ln(t)$$

I risultati dell'analisi statistica portano alla definizione le curve di possibilità pluviometrica riportate nella seguente tabella.

N = 56	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$	25.46	33.09	40.56	49.84	61.57

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 30 di 67
---	---	---

$\sigma(h_t)$	11.89	13.82	15.06	15.94	19.19
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$	0.11	0.09	0.09	0.08	0.07
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$	20.11	26.87	33.78	42.66	52.93

Tr	LEGGE DI PIOGGIA GUMBEL
10 anni	$h=40.156xt^{0.2337}$
30 anni	$h=50.514xt^{0.2168}$
50 anni	$h=55.246xt^{0.211}$
100 anni	$h=61.633xt^{0.2045}$
200 anni	$h=67.999xt^{0.1991}$
500 anni	$h=76.401xt^{0.1933}$

5.3. ELABORAZIONE MEDIANTE DISTRIBUZIONE TCEV DELLO STUDIO VAPI

Altre espressioni analitiche delle curve di possibilità pluviometrica possono essere desunte dai risultati del progetto VaPi del GNDCI-CNR, per il quale il territorio della Regione Puglia è suddivisibile in sei aree pluviometriche omogenee. Sovrapponendo il perimetro del bacino idrografico individuato con la carta delle zone pluviometriche omogenee, si è constatato che il bacino in oggetto ricade in Zona 5, per la quale la corrispondente espressione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma seguente:

ZONA 5	$h = 28.2 \times t^{(0.628+0.0002z)/3.178}$
---------------	---


In questo caso la curva dipende, oltre che dal tempo, dal parametro geomorfologico z, ovvero la quota assoluta sul livello del mare.

Al valore così ottenuto va applicato un fattore correttivo K_T , Fattore di Crescita, funzione del tempo di ritorno ed espresso come:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 \ln T$$

Valido per le zone 5 e 6, i cui valori sono riportati nella seguente tabella.

T _R (anni)	5	10	30	50	100	200	500
K _T	0.99	1.35	1.92	2.18	2.54	2.90	3.37

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 31 di 67
---	--	---

A vantaggio di sicurezza, non è stato considerato il coefficiente di riduzione areale K_A che dipende dall'estensione dell'area studiata e dalla durata dell'evento pluviometrico di progetto.


I parametri a e t delle curve di possibilità pluviometrica secondo la distribuzione TCEV dello studio VaPi applicate al caso in esame, per diversi tempi di ritorno, assumono i seguenti valori:

Legge di pioggia VAPI – ZONA 5						
T_R	Bacino ponte 5 archi		Bacino ponte 1 arco		Bacino sottovia S. Pertini	
	a	n	a	n	a	n
10 anni	38.05	0.218	38.05	0.214	38.05	0.212
30 anni	54.06	0.218	54.06	0.214	54.06	0.212
50 anni	61.50	0.218	61.50	0.214	61.50	0.212
100 anni	71.60	0.218	71.60	0.214	71.60	0.212
200 anni	81.70	0.218	81.70	0.214	81.70	0.212
500 anni	95.04	0.218	95.04	0.214	95.04	0.212

Il raffronto dei valori massimi delle altezze di pioggia che si ricavano dalle due metodologie illustrate, sono riportate nella seguente tabella:

		VAPI [mm]	GUMBEL [mm]
Bacino ponte 5 archi	h_{30}	108.11	103.55
	h_{200}	163.38	132.14
	h_{500}	190.08	145.87
Bacino ponte 1 arco	h_{30}	106.67	103.55
	h_{200}	161.21	132.14
	h_{500}	187.55	145.87
Bacino sottovia S. Pertini	h_{30}	105.23	103.55
	h_{200}	159.03	132.14
	h_{500}	185.02	145.87

L'elaborazione dei dati pluviometrici mediante la distribuzione TCEV del metodo VaPi restituisce altezze di pioggia maggiori rispetto al metodo Gumbel. Per questo motivo, saranno i valori restituiti dalle curve di possibilità pluviometrica del metodo VaPi ad essere utilizzati nella determinazione delle portate di picco da implementare nelle verifiche degli attraversamenti idraulici.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 32 di 67
---	--	---

5.4. ALTEZZE DI PIOGGIA NETTE

La stima dei valori di pioggia netta od efficace si ricava mediante l'applicazione del metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service, che consente di quantificare le perdite idrologiche iniziali.

L'espressione per il calcolo della pioggia netta P_n è:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

dove:

P altezza di pioggia lorda

I_a valore delle perdite per invaso superficiale, posto pari a $0,2 \times S$ secondo le indicazioni note in letteratura;


S ritenzione potenziale del bacino [mm] che è funzione, attraverso il runoff curve number CN, della tessitura e dell'umidità iniziale, ed ha espressione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

La determinazione del parametro CN è ottenuta in base al grado di umidità del suolo prima dell'evento meteorico ed alla tipologia litologica e pedologica del terreno. La classificazione del tipo di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro diversi livelli di potenzialità di deflusso; nel caso in esame, si reputa adeguato considerare i suoli in classe A, ovvero aventi potenzialità di deflusso scarsa. La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece aree caratterizzate da coperture vegetali, condizioni di conservazione, destinazione d'uso. Il bacino viene pertanto suddiviso in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro CN. Il valore complessivo del CN del bacino è ottenuto come media pesata dei valori imposti sulle i-esime sub-aree:

$$CN = p_1 CN_1 + p_2 CN_2 + \dots + p_n CN_n$$

dove p_1, p_2, p_n sono le percentuali dell'intera area del bacino caratterizzata da un valore del parametro rispettivamente pari a CN_1, CN_2, \dots, CN_n . I valori del CN corrispondente alla classe AMC II per zone omogenee sono riportati nella seguente tabella.


 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 33 di 67
---	---	---

VALORI DEL CN CORRISPONDENTE ALLA CLASSE AMC II				
Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini d'acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo - autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile - estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

Per la determinazione del CN dei bacini in esame, si è fatto riferimento all'allegato 3.3.4 "Rappresentazione cartografica del Curve Number" facente parte dello "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste Joniche e Salentine della Regione Puglia" realizzato dall'Autorità di Bacino della Puglia. I valori di CN utilizzati per le successive elaborazioni sono riassunti in Tabella 1.

	Bacino ponte 5 archi	Bacino ponte 1 arco	Bacino sottovia S. Pertini
CN	69	71	63

Tabella 1: CN bacini afferenti

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 34 di 67</p>
---	---	--

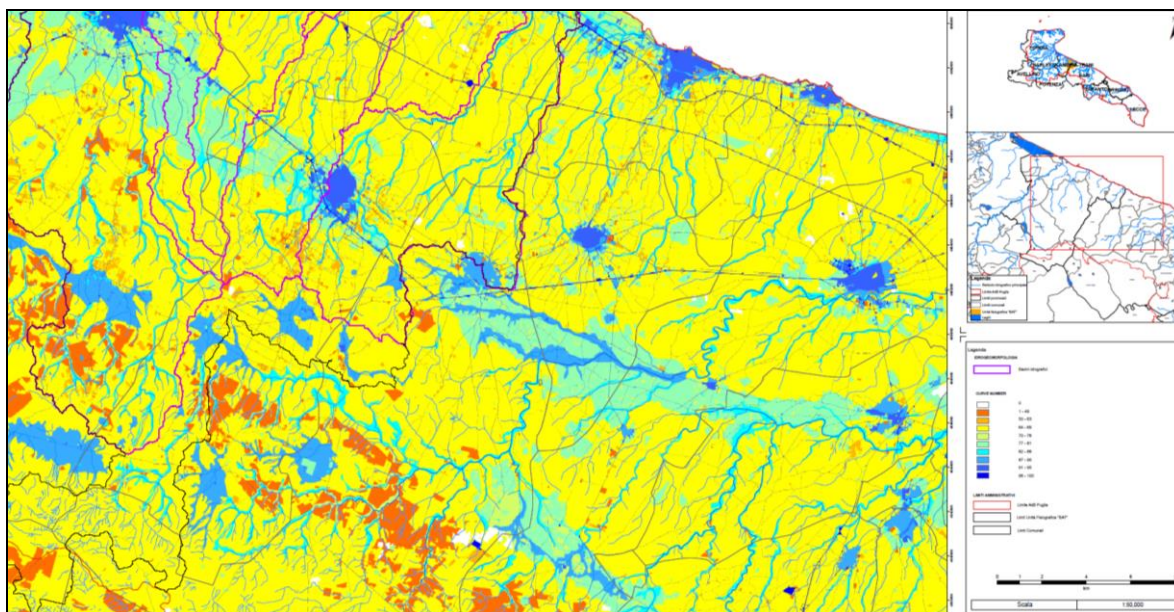



Figura 22: Allegato 3.3.4 “Rappresentazione cartografica del Curve Number” dello “Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste Joniche e Salentine della Regione Puglia”

5.5. MODELLO IDROLOGICO HEC-HMS

Lo studio idrologico è stato condotto mediante l'utilizzo di un modello numerico di afflussi-deflussi, Hec-HMS, che ha consentito di determinare in questo modo le portate idriche (idrogrammi di piena) da assegnare al modello idraulico, quali condizioni al contorno in ingresso.

Il software per la modellazione idrologica HMS (Hydrologic Modeling System), creato dal US Army Corps of Engineers (USACE), ha lo scopo di simulare i processi di scorrimento superficiale dovuti a precipitazioni in sistemi delimitati da spartiacque. Il programma è un modello matematico che contiene una vasta classificazione di metodi per la simulazione dello scorrimento idrico superficiale; le componenti fondamentali di un modello idrologico sono:

- Modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo;
- Modello di trasformazione afflussi-deflussi;
- Modello di formazione dell'onda di piena.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 35 di 67
---	---	---

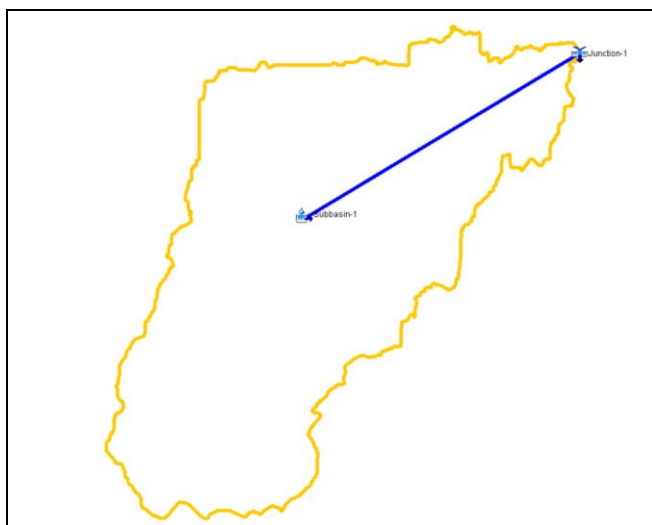



Figura 23: Schematizzazione modello idrologico Hec-Hms per il bacino del ponte ad 1 arco

5.5.1. Modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo

Il modello di stima delle precipitazioni lorde al suolo permette di ricostruire, a partire da misure di pioggia puntuali e/o distribuite in zone limitate, la quantità di precipitazione che interessa il bacino in ogni punto per tutta la durata dell'evento. La precipitazione può rappresentare un evento di pioggia osservato, un evento ipotetico costruito su base statistica o un evento limite ottenuto con leggi statistiche. Nel presente caso, ai fini dell'analisi ante/post degli attraversamenti idraulici in esame, vengono considerati gli eventi corrispondenti a tempi di ritorno TR30 e TR200, pertanto si fa riferimento alle curve di possibilità pluviometriche desunte dalla studio VAPI, le cui altezze di pioggia lorda sono serviti ad inserire nel modello idrologico di calcolo i valori di precipitazione riferiti agli eventi meteorici presi a riferimento per la simulazione (Frequency Storm).

5.5.2. Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Questo modello si prefigge di stimare l'insieme dei processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica. La precipitazione prima di raggiungere il terreno viene parzialmente intercettata dalla vegetazione e dagli invasi naturali o artificiali, mentre in parte raggiunge il suolo. La componente intercettata è soggetta a parziale evaporazione. Una parte della precipitazione che giunge a terra si infiltra nel terreno, un'altra ruscella sulla superficie. Il deflusso superficiale si produce quando la portata meteorica supera la capacità di infiltrazione.


 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 36 di 67
---	--	---

Nel presente caso, per la stima del deflusso superficiale, si è utilizzato il metodo SCS Curve Number sviluppato dal Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture. Il deflusso è calcolato in base alla differenza tra precipitazioni e perdite, inglobando però in un unico termine di perdita anche fattori diversi dall'infiltrazione. I parametri per descrivere le perdite sono due: perdita iniziale (Initial Abstraction) e CN (Curve Number) che dipende dal tipo di suolo e dall'umidità relativa.

5.5.3. Modello di formazione dell'onda di piena

Il codice di calcolo consente di determinare l'andamento temporale della portata $Q(t)$ (idrogramma di piena) nella sezione fluviale di chiusura del bacino analizzato partendo dai valori massimi lordi di pioggia ai quali viene applicato il parametro correttivo CN. Il modello matematico consente molteplici approcci finalizzati alla stima dell'onda di piena:

- Kinematik Wave: il metodo della corrivazione o cinematico schematizza il meccanismo del deflusso di piena come un puro fenomeno di trasferimento della massa liquida; ogni singola goccia di pioggia che si muove sulla superficie del bacino segue un percorso immutabile che dipende esclusivamente dalla posizione del punto in cui essa è caduta; inoltre la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce. La portata defluita si ottiene sommando tra loro le portate elementari che di presentano allo stesso istante alla sezione di chiusura.
- SCS Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato che si basa su un idrogramma unitario adimensionale. L'unico parametro è costituito dal ritardo definito come tempo intercorrente tra baricentro dello ietogramma e l'istante di colmo di piena. È stato sviluppato dal Soil Conservation Service negli Stati Uniti.
- Snyder Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato, dove i parametri del modello sono costituiti dal ritardo t_{lag} (ovvero il tempo trascorso tra il baricentro dello ietogramma e l'istante del picco di piena nella sezione di chiusura) ed il coefficiente di picco C_p .
- Clark Unit Hydrograph: è un modello lineare integrato che tiene conto dell'effetto di propagazione e di laminazione a cui è sottoposto il deflusso superficiale quando si sposta attraverso il bacino per arrivare alla sezione di chiusura. Si basa su due parametri: Time of Concentration (h) (tempo impiegato dalla particella più lontana dalla sezione di chiusura per raggiungere la stessa) e Storage Coefficient (h) (tiene conto

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 37 di 67
---	---	---

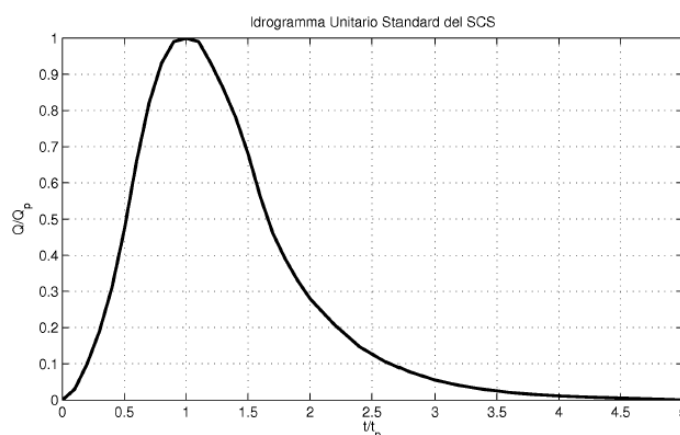
dell'effetto di immagazzinamento temporaneo, schematizzando un serbatoio lineare).

La forma dell'idrogramma è quella di Clark.

Nel presente caso si è fatto ricorso all'idrogramma unitario SCS.

L'idrogramma unitario SCS è fornito per punti nella seguente tabella in forma adimensionale, in cui t_p è l'istante in cui si verifica la portata di picco Q_p :

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0.0	0	1.1	0.990	2.4	0.147
0.1	0.030	1.2	0.930	2.6	0.107
0.2	0.100	1.3	0.860	2.8	0.077
0.3	0.190	1.4	0.780	3.0	0.055
0.4	0.310	1.5	0.680	3.2	0.040
0.5	0.470	1.6	0.560	3.4	0.029
0.6	0.660	1.7	0.460	3.6	0.021
0.7	0.820	1.8	0.390	3.8	0.015
0.8	0.930	1.9	0.330	4.0	0.011
0.9	0.990	2.0	0.280	4.5	0.005
1.0	1.000	2.2	0.207	5.0	0



Il tempo di picco t_p è dato dalla seguente equazione:

$$t_p = (\Delta t/2) + t_{lag}$$

in cui:

Δt = durata dell'evento meteorico

t_{lag} = tempo di ritardo, ovvero il ritardo del picco rispetto al baricentro dello ietogramma

Il dato richiesto dal modello di calcolo è, per ciascuno dei sottobacini individuati, il tempo di ritardo t_{lag} , che è legato al tempo di corrivazione t_c dalla seguente equazione:


$$t_{lag} = 0.6 \times t_c$$

per la stima del tempo di ritardo del bacino si è utilizzata la formula di Mockus:

$$t_{lag} = 0.342 L^{0.8} / s^{0.5} (1000/CN - 9)^{0.7}$$

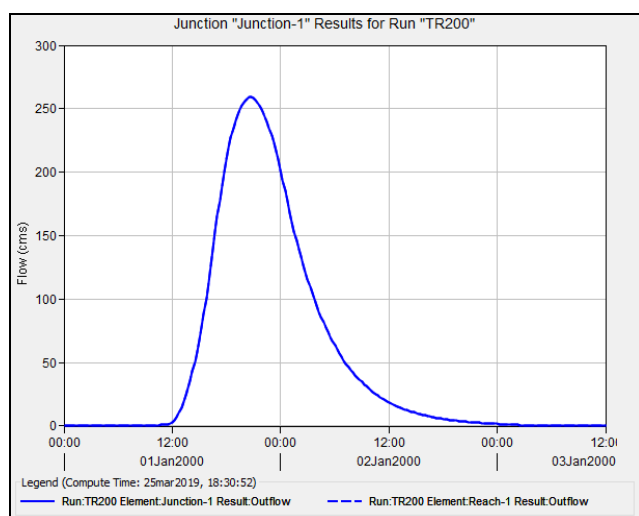
In cui s è la pendenza media del bacino espressa in %, L la lunghezza dell'asta principale espressa in Km e CN è il curve number caratteristico del bacino.

5.5.4. Determinazione degli idrogrammi di piena

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 38 di 67</p>
---	---	--

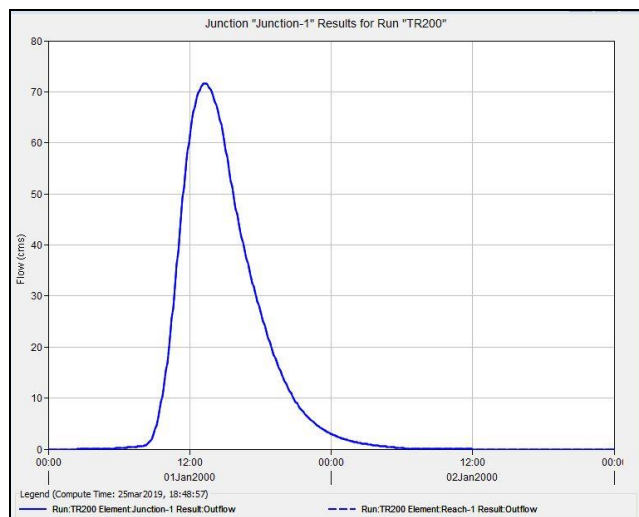
Gli idrogrammi di piena desunti dal modello Hec-Hms sono stati determinati per tempi di pioggia prossimi al tempo di corrivazione. Laddove non è stato possibile scegliere l'intervallo di "Storm duration" adeguato, si è implementato il valore di tempo di pioggia immediatamente superiore.

A seguire, si riportano gli idrogrammi dei bacini in esame ed i corrispondenti valori di picco della portata di progetto riferita ad un tempo di ritorno duecentennale.




Project: 5ARCHI Simulation Run: TR200	
Junction: Junction-1	
Start of Run: 01gen2000, 00:00	Basin Model: Ponte 5 archi
End of Run: 03gen2000, 12:00	Meteorologic Model: TR_200
Compute Time: 25mar 2019, 18:30:52	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge: 259,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01gen2000, 20:45
Volume: 10743,0 (1000 M3)	

Figura 24: Risultati della modellazione Hec-Hms per il bacino con il ponte a 5 archi



Project: 1arco Simulation Run: TR200	
Junction: Junction-1	
Start of Run: 01gen2000, 00:00	Basin Model: Ponte 1 arco
End of Run: 03gen2000, 00:00	Meteorologic Model: FS TR_200
Compute Time: 25mar 2019, 18:48:57	Control Specifications: Control 1
Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge: 71,6 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 01gen2000, 13:20
Volume: 1764,6 (1000 M3)	

Figura 25: Risultati della modellazione Hec-Hms per il bacino con il ponte a 1 arco

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 39 di 67
---	---	---

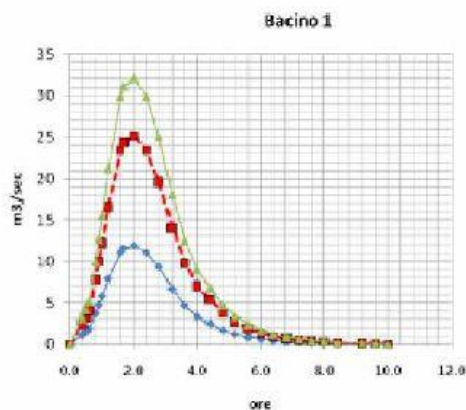


Figura 26: Idrogramma sottobacino 1 Grumo Appula da Progetto Esecutivo 2011

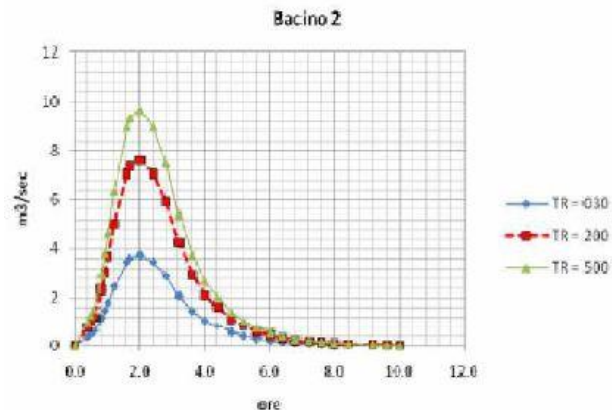



Figura 27: Idrogramma sottobacino 2 Grumo Appula da Progetto Esecutivo 2011

In sintesi, le portate di picco risultanti dallo studio idrologico, sono di seguito riassunte:

	Bacino ponte 5 archi		Bacino ponte 1 arco		Bacino sottovia S. Pertini	
	T _R 30	T _R 200	T _R 30	T _R 200	T _R 30	T _R 200
Q [m ³ /s]	124.30	259.20	33.50	71.60	7.59	25.16

I valori determinati con la modellazione idrologica in Hec-Hms e riportati in Tabella 2 sono ben allineati con i valori di portata contenuti nello studio elaborato dall'Autorità di Bacino della Puglia "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico interessato dagli eventi alluvionali di Ottobre e Novembre 2005 nelle province di Bari e Brindisi" (ultimo aggiornamento dicembre 2012), da parte della Regione Puglia nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro in materia di "Difesa del Suolo", finanziato con le risorse trasferite dallo Stato con fondi CIPE n. 35/2005, realizzato a seguito dei violenti eventi alluvionali dell'ottobre/novembre 2005.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 40 di 67
---	--	---

6. ANALISI IDRAULICA

La verifica idraulica dello stato di fatto e delle soluzioni progettuali previste nell'ambito dell'intervento di raddoppio è stata condotta avvalendosi di due tipologie di software: HEC-RAS della US Army Corps of Engineers per la modellazione idraulica mono e bi-dimensionale dell'area in corrispondenza del sottovia S. Pertini; mentre, per quanto riguarda la modellazione bidimensionale del ponte a cinque archi e del ponte ad un arco è stato utilizzato il software Infoworks ICM della Wallingford Software Ltd poichè più stabile nelle simulazioni in condizioni di moto vario. Nei paragrafi a seguire vengono descritti i principi di funzionamento del software utilizzato.

6.1. IL CODICE DI CALCOLO INFOWORKS ICM


Il codice di calcolo per la modellazione bidimensionale analizza il campo di moto a partire da un DTM, rappresentativo della geometria del dominio di calcolo, basandosi sulla risoluzione di tre equazioni non lineari alle differenze finite per la determinazione del campo di moto della corrente su di un piano bidimensionale (x, y). Due di queste sono le equazioni del moto nelle direzioni x e y; la terza equazione è data dalla legge di continuità che garantisce la conservazione della massa all'interno del dominio di calcolo.

Il modello digitale del terreno viene discretizzato come una griglia di elementi di geometria triangolare. Le tre equazioni vengono risolte in ciascun nodo della maglia di calcolo; il metodo di risoluzione delle suddette equazioni prevede una procedura di calcolo iterativa per la minimizzazione dello scarto della soluzione stessa. In questo modo è calcolata in ogni nodo la velocità mediata sul tirante idrico, ovvero senza tenere conto della sua variazione nella direzione z.

Per minimizzare i possibili errori numerici nella soluzione, dovuti a scarti nel calcolo dell'equazione di conservazione di massa, è possibile infittire localmente la maglia di calcolo per limitare tali effetti di diffusione numerica e ottenere risultati più accurati

Il dominio 2D presenta numerose caratteristiche tra cui le più rilevanti sono:

- Area (ha): l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria;
- Massima Area Triangolo (m2) (Maximum Triangle Area): questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia


 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 41 di 67</p>
---	---	--

triangolare durante il processo automatico di magliatura;

- Area minima elementi (m2) (Minimum Element Area): durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo)
- Condizioni al contorno: questa proprietà definisce il comportamento che l'acqua deve assumere qualora arrivasse a lambire il confine del poligono durante la simulazione.

Le possibili condizioni al contorno sono:

- "Vertical wall" indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta, non vi è flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D;
- "Critical condition" presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;
- "Supercritical condition" presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica ($Froude > 1$) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (corrente veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota del segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile
- "Dry" prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- "Normal condition", si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o di moto uniforme); l'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.
- Percentuale di Pioggia: si indica la percentuale (0-100%) di altezza di pioggia indicata nell'evento che deve cadere sulla zona 2D, rappresenta quindi delle perdite idrologiche tramite un coefficiente d'afflusso percentuale.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 42 di 67
---	--	---

È inoltre possibile individuare alcune zone all'interno del dominio di calcolo bidimensionale in cui si desidera effettuare l'analisi con un dettaglio superiore o inferiore a quanto definito in modo generale nel poligono.


Anche queste aree sono identificate dalla presenza di poligoni, denominati zone di magliatura (mesh polygon) e caratterizzati dalla dimensione massima della maglia che si desidera creare al loro interno.

Nel caso siano presenti ostacoli di forma poligonale chiusa come edifici o muri di cinta all'interno della zona in cui interessa mappare l'esondazione con il calcolo bidimensionale (compresa quindi all'interno di una zona 2D), si possono introdurre nel modello altri poligoni attraverso i quali il flusso sia interdetto; al loro interno non verrà generata la magliatura di calcolo bidimensionale. Tali poligoni sono considerati di default impermeabili e di altezza illimitata. È possibile che si presentino ostacoli di forma lineare all'interno del dominio di calcolo bidimensionale. Esiste un oggetto specifico di InfoWorks che permette di rappresentare ostacoli al flusso di tipo lineare nel modello, esso ha un'altezza infinita e porosità nulla, non è quindi permesso alcun tipo di flusso.

6.2. IL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS

Il primo passo fondamentale nell'implementazione del codice di calcolo HEC-RAS riguarda le informazioni relative alla geometria di ciascun corpo idrico da riprodurre in un'apposita sezione (*geometric data*), all'interno della quale si devono fornire gli andamenti planimetrici dei corsi d'acqua (denominati *reach*), le geometrie delle sezioni (*cross section geometry*), la distanza tra le sezioni (*reach lengths*) ed i coefficienti di scabrezza, rappresentativi delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning. In questa sezione sono disponibili altre opzioni, tra le quali la procedura di interpolazione tra due sezioni rilevate (*XS Interpolation*), utile quando occorre infittire il numero di sezioni, la definizione delle quote delle sponde (*left and right elevations*) e degli argini (*levees*) ed inserire in specifiche sezioni aree di ristagno che non contribuiscono al deflusso (*ineffective flow areas*). Il codice di calcolo permette inoltre di inserire la geometria di ponti o tombamenti in una sezione (*bridge and culvert data*) nella quale è possibile definire per ogni struttura l'impalcato (*deck/roadway*), le pile (*piers*), le spalle (*sloping abutments*) e le condizioni di calcolo (*bridge modelling approach*).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (denominata *steady flow data*), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 43 di 67
---	--	---

condizioni al contorno (denominate *boundary conditions*). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominata *steady flow analysis*. I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (*cross-section table e profile table*) e grafici delle sezioni geometriche (*plot cross-section*) e del profilo longitudinale (*plot profile*) e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (*x, y, z perspective plot*).

6.2.1. Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua si considera uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, etc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio. Sotto tale ipotesi, la pendenza del fondo i_f risulta pari alla pendenza piezometrica J , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza. La relazione $i_f = J$ costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard Step Method*, basato sull'equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovuto all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.


In particolare, h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \times L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza $L[m]$.

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 44 di 67
---	---	---

$$J = \left[\frac{Q}{K} \right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) rappresenta un parametro di conducibilità, ricavabile attraverso la seguente espressione:


$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ è l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n [m^{-1/3} \cdot s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza, espresso in termini di coefficiente di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (*main channel*) e due zone laterali golenali (*right and left overbanks*).

Ai fini del calcolo, si possono assumere valori del coefficiente n riportati nella tabella seguente a seconda della tipologia di alveo e di golenale; tali valori sono da intendersi di riferimento, e, quindi, in ogni situazione reale vanno adeguatamente soppesati con le condizioni esistenti.

Descrizione del corso d'acqua: alveo e area golenale	n Manning ($m^{-1/3} \cdot s$)
Tratti montani dei corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione arbustiva-arborea in alveo	0.033 0.040
Corsi d'acqua regolari con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	0.028 0.033
Corsi d'acqua di pianura, con andamento regolare e scarsa presenza di vegetazione	0.025 0.028
Tratti urbanizzati dei corsi d'acqua, con fondo naturale e pareti in massi regolari cementati	0.025 0.028
Corsi d'acqua con fondo e pareti totalmente cementati, in buono stato e privi di manufatti in alveo	0.013 0.018
Tratti tominati perfettamente lisciati e dotati di dispositivi di trattenuta di materiale flottante o di trasporto	0.018 0.020
Aree golenali verdi, caratterizzate da vegetazione regolare e alberi di medie dimensioni	0.040 0.050
Aree golenali a prato, con erba tagliata e assenza di alberi	0.025 0.033
Aree urbane adibite a parcheggio o con strade abbastanza ampie	0.012 0.020

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 45 di 67
---	--	---

Per il calcolo della scabrezza equivalente n_c , il codice di calcolo utilizza la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N \left(P_i \cdot n_i^{\frac{3}{2}} \right)}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

dove $P[m]$ rappresenta il perimetro bagnato dell'intera sezione, P_i e n_i il perimetro bagnato ed il coefficiente di Manning della sezione i-esima.

Per rappresentare la macro-scabrezza, in particolare nei tratti urbani dove si possono trovare edifici in prossimità del corso d'acqua, il codice di calcolo permette di inserire dei blocchi (*blocked obstruction*), che sono aree della sezione permanentemente bloccare, le quali diminuiscono l'area della sezione ed aggiungono perimetro bagnato quando l'acqua giunge a contatto con esse.

Il termine h_e dipende, invece, dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:


$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 [m/s] sono i valori della velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

6.2.2. Calcolo della profondità di stato critico

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. Esso è stato valutato imponendo che il numero di Froude, indicato come Fr , assuma valore unitario. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive:

$$Fr = \frac{VA}{\sqrt{A^2 g h_m}}$$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 46 di 67
---	--	---

dove g è l'accelerazione di gravità, h_m il tirante idrico, A l'area bagnata della sezione, e V la velocità media nella sezione. L'equazione succitata permette la determinazione dell'altezza di stato critico tramite il valore h_m .

6.2.3. Calcoli idraulici per sezioni con singolarità

Il codice di calcolo consente la simulazione del deflusso attraverso ponti (*bridge*) e tombature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, etc.). La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello utilizza il metodo della conservazione della quantità di moto (*Momentum Balance*) che consiste nell'eguagliare la quantità di moto tra le sezioni di monte e di valle del manufatto attraverso tre passi successivi.

- 1) tra sezione esterna di valle (sezione 2) e sezione interna di valle (sezione D):

$$(my)_D + (mq)_D = (my)_2 - (my)_p + (mq)_2 + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

- 2) tra sezione interna di valle (sezione D) e sezione interna di monte (sezione U):


$$(my)_U + (mq)_U = (my)_D + (mq)_D + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

- 3) tra sezione interna di monte (sezione U) e sezione esterna di monte (sezione 1):

$$(my)_1 + (mq)_1 = (my)_U + (mq)_U + (my)_p + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \left(\frac{A_p}{A_1} \right) \cdot (mq)_1 + \frac{F_f - W_x}{\gamma}$$

Avendo indicato con:

$my = AY$ prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 47 di 67</p>
---	---	--

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

C_D = coefficiente di “drag” variabile in funzione della forma delle pile;

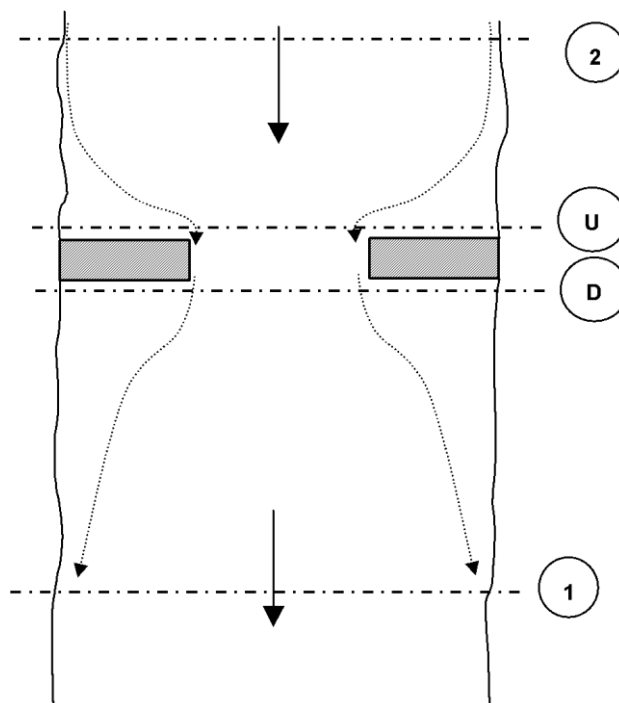
F_f = forza dovuta all’attrito sul fondo e sulle pareti;

W_x = forza peso nella direzione del flusso;

γ = peso specifico dell’acqua


p = pedice di riferimento della sola sezione bagnata delle pile.

Nella seguente figura si riporta lo schema della successione delle sezioni (ordinarie e fittizie) utilizzato per il calcolo del profilo in presenza delle pile di un ponte, dove la freccia indica la direzione del moto e i numeri si riferiscono alle sezioni utilizzate nelle formulazioni viste precedentemente. Le sezioni che delimitano il tronco devono essere scelte in modo che la corrente che le attraversa sia gradualmente varia e, inoltre, tale che la loro distanza sia sufficientemente breve da poter lecitamente trascurare la risultante degli sforzi di attrito.



Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell’efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gH}$$

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 48 di 67
---	--	---

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalco del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluite al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Nella verifica di sezioni particolari, quali ad esempio, le zone di confluenza, dove non sono applicabili le relazioni precedenti, si applica il teorema della quantità di moto.


In particolare, è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione:

$$F_s + G = I + M_u - M_e$$

dove F_s è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo, G è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso), I è la risultante delle inerzie locali M_u e M_e le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

6.3. MODELLI IMPLEMENTATI E CONDIZIONI AL CONTORNO

Il reticolo idrografico della Lama Lamasinata, interseca la rete ferroviaria FAL Bari-Matera nel tratto Palo del Colle – Grumo Appula in corrispondenza di tre punti:

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 49 di 67
---	--	---

- 1) Ponte in muratura a cinque archi;
- 2) Ponte in muratura ad un arco;
- 3) Sottovia Sandro Pertini.

Lo scenario di modellazione dello stato di fatto, è stato realizzato grazie all’ausilio del software Civil 3D, il quale ha permesso l’importazione e successiva elaborazione dei dati contenuti nel rilievo LIDAR fornito dal MATTM. Si è quindi provveduto alla creazione della superficie TIN (Triangulated Irregular Network), sulla quale, seguendo le caratteristiche geospaziali del reticolo idrografico della carta Geomorfologica della Regione Puglia, si è definito il tracciato che ripercorre l’andamento dell’asta fluviale, il profilo altimetrico sulla base del DTM e la geometria dell’infrastruttura esistente sulla base dei rilievi di dettaglio. Questa serie di operazioni hanno permesso di implementare le sezioni geometriche nei modelli.


Per la definizione dello scenario di progetto complessivo, come evidenziato nel capitolo delle NTC 2018 relativo ai ponti, l’opera di attraversamento deve essere dimensionata in modo da garantire un franco di 1.50 m rispetto all’evento di piena duecentennale, dove per franco idraulico si intende la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture.

Per quanto riguarda il posizionamento planimetrico dei nuovi manufatti esso è chiaramente vincolato dall’andamento del tracciato del raddoppio della linea che verrà realizzato interamente in sinistra secondo la direzione Bari-Matera, quindi a valle degli attuali attraversamenti. Le dimensioni dei manufatti di progetto sono state quindi definite in modo da rispettare i criteri idraulici, strutturali e considerando la fattibilità tecnica ed il miglior rapporto costi-benefici dell’intervento.

6.3.1. Ponte a cinque archi

6.3.1.1. Stato di fatto

Il ponte a cinque archi è inclinato di 33° rispetto alla naturale direzione del deflusso delle acque. Per considerare l’ipotetico disturbo che implica l’inclinazione della struttura rispetto alle linee di flusso, nella modellazione è stato utilizzato lo strumento “*Skew Bridge*”, grazie al quale, in funzione dell’angolo di inclinazione del ponte, vengono ridotte le distanze progressive

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 50 di 67</p>
---	---	--

delle sezioni geometriche interessate, in quanto la struttura viene proiettata su un piano perpendicolare al verso della corrente.

La simulazione dello stato di fatto è stata implementata per il transito della portata di picco $Q_{Tr200} = 259.20 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ipotizzando un regime di moto di tipo misto, sono state imposte condizioni al contorno di monte e di valle, come segue:

Moto condizionato dalla pendenza del fondo i in condizioni indisturbate

$$i = i_{media} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

Dove:

Δx = lunghezza del tratto considerato;

Δy = dislivello fra la quota più bassa della sezione a monte e quella della sezione a valle.

Si ipotizza pertanto sia nella sezione di monte che in quella di valle una pendenza del pelo libero pari a quella del fondo canale.

In Figura 27-Figura 28 si riportano gli output grafici della simulazione realizzata per la portata di progetto duecentennale. Nella sezione immediatamente a monte del ponte risulta un tirante idrico di 3.65 metri, ed un franco idraulico rispetto all'intradosso degli archi di circa 10.8 metri. Sulla base dei risultati ottenuti dalla simulazione dello stato di fatto, l'infrastruttura si considera verificata, in quanto, il franco idraulico risultante ha un valore nettamente superiore all'1.50 m minimo prescritto da normativa.

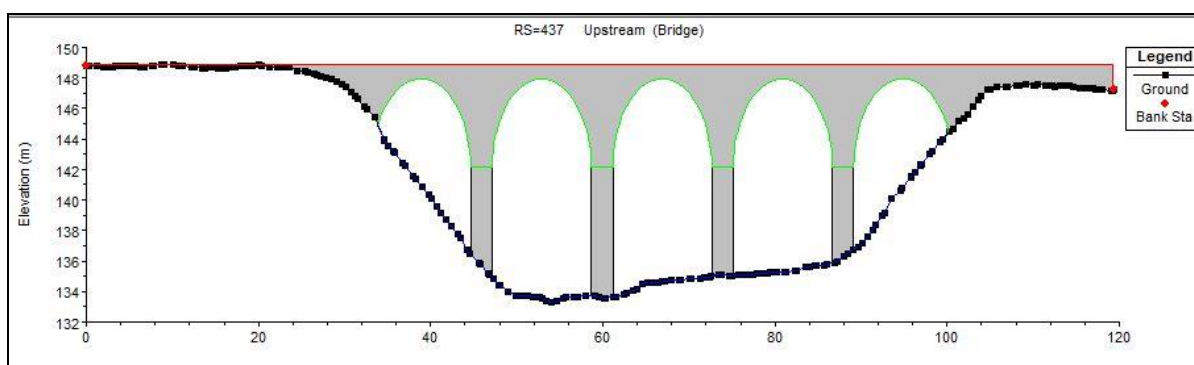


Figura 28: Modellazione sezione ponte ad archi esistente



Ferrovie Appulo Lucane

RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE -
GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA
C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Idraulica e idrologica

DAR_3RY001A -
RELAZ_IDRAUL_IDRO
LOG.DOC

Data: Giugno 2020

Pag. 51 di 67

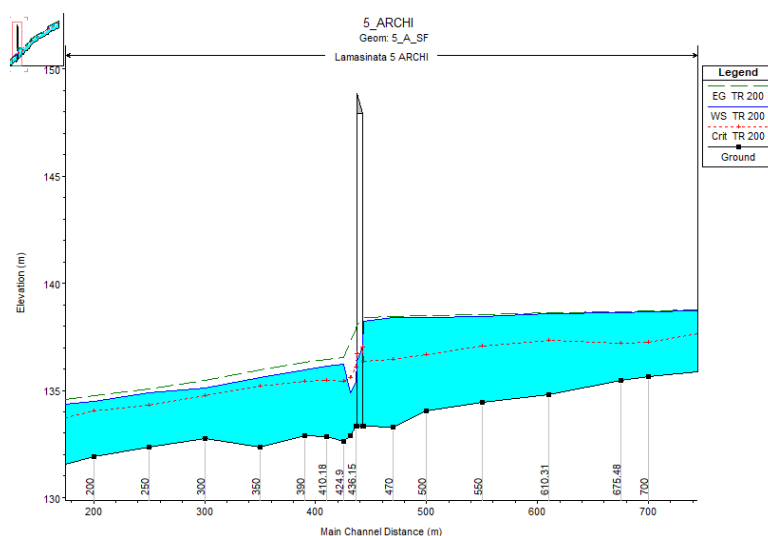


Figura 29: Profilo idrico stato di fatto. Portata di transito $Q_{Tr200} = 259.20 \text{ m}^3/\text{s}$

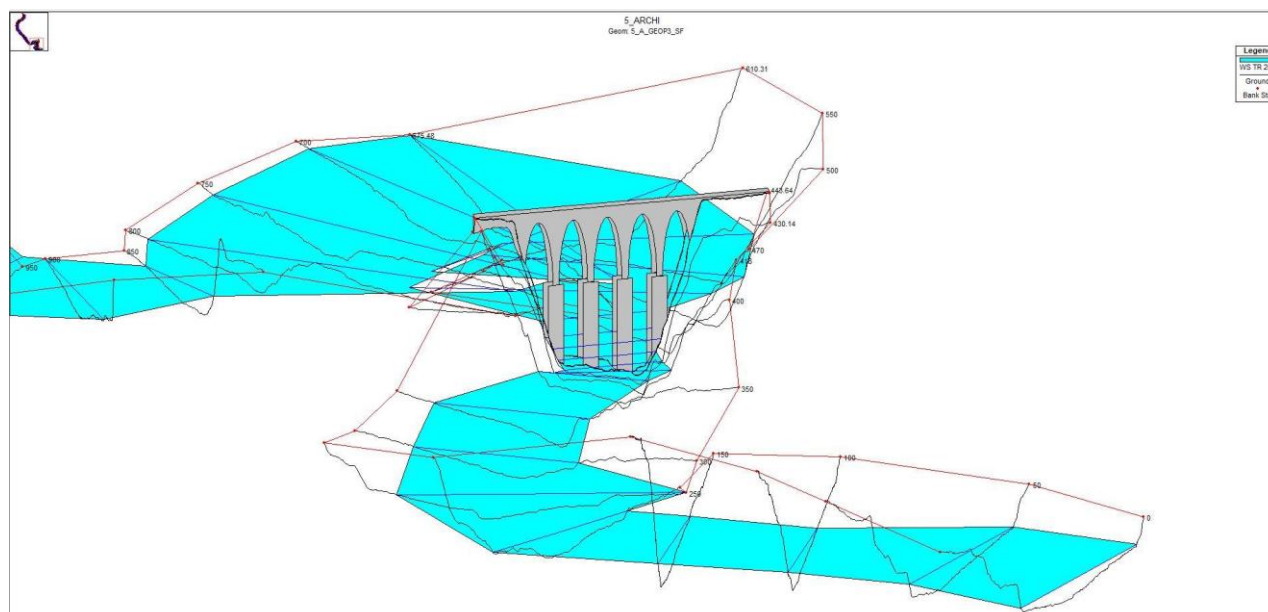



Figura 30: Vista 3D livello idrico della portata duecentennale in corrispondenza del ponte a 5 archi - Stato di fatto

6.3.1.2. Intervento di progetto

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di un nuovo ponte in affiancamento a quello esistente.

Come prescrive il *Capitolo 5 "Ponti"* delle *NTC 2018*, nella sezione *Compatibilità idraulica*, i nuovi manufatti non dovranno interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo,

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 52 di 67
---	--	---

la luce netta minima tra pile contigue, o fra pile e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.

Per ottemperare alle suddette prescrizioni, nell'ottica di non peggiorare le condizioni idrauliche nell'area interessata dal raddoppio, l'intervento in progetto prevede un viadotto a campata unica di luce 60 m ed un muro di contenimento del rilevato ferroviario a valle della spalla lato Binetto.


Considerando che la nuova infrastruttura verrà realizzata a valle dell'esistente, che viste le importanti luci e altezze libere non vi è pericolo di sormonto e che le spalle sono state posizionate in modo da non creare ulteriori ostruzioni/ostacoli lungo l'alveo inciso, si è giunti alla conclusione che per poter analizzare l'evoluzione delle dinamiche fluviali nel tratto di corso d'acqua interessato dalla realizzazione della nuova opera, non sarebbe stato sufficiente una modellazione di tipo monodimensionale. E' stato quindi implementato un modello idraulico bidimensionale a moto vario con l'ausilio del Software Infoworks ICM.

Il modello bidimensionale di dettaglio della Lama è stato implementato per una estensione longitudinale lungo l'asse pari a circa 2.3 km, e per una area trasversale tale da comprendere l'intera larghezza dell'alveo e le aree circostanti che possono essere interessate durante eventi di piena.

Per esaminare con maggiore accuratezza le zone che presentano geometrie particolari (discontinuità spaziali, restringimenti, bruschi cambi di direzione o elevazione), senza però appesantire eccessivamente l'onere computativo del modello, si è deciso di utilizzare una discretizzazione della maglia di calcolo variabile in base al grado di dettaglio necessario per la precisa caratterizzazione del campo di moto del corso d'acqua. In particolare:

- Aree agricole limitrofe: superficie maglia di calcolo compresa tra un minimo di 25 e un massimo di 100 m²;
- Alveo inciso: superficie maglia di calcolo compresa tra un minimo di 5 e un massimo di 10 m²;
- Attraversamenti e loro adiacenze: superficie maglia di calcolo compresa tra un minimo di 2 e un massimo di 5 m²;

Per quanto riguarda la definizione della condizione al contorno idraulica della portata in ingresso al sistema, essendo il modello implementato a moto vario, è necessario definire come immissione l'idrogramma (cioè la rappresentazione dell'andamento della portata nel

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 53 di 67
---	--	---

tempo) relativo all'evento che si vuole simulare, perché sia definito in ciascun istante il reale sviluppo dell'onda di piena. Nello caso in esame, è stato implementato l'idrogramma duecentennale proveniente dalla modellazione idrologica realizzata con il software HEC-HMS.

Per quanto riguarda il livello idrico nel sistema, si impongono le seguenti condizioni idrauliche iniziali e al contorno:


- si ipotizza che il sistema all'inizio dell'evento di piena sia completamente asciutto, e dunque che il livello idrico sia zero in tutti i punti del sistema;
- si impone che in uscita dal dominio di modellazione durante la simulazione si verifichi nell'alveo inciso un livello di moto uniforme, che dipende dalla portata transitante istantaneamente nel corso d'acqua. Questa ipotesi è compatibile con la dinamica fluviale nella Lama, e non interferisce con le strutture di cui interessa verificare il comportamento, avendo posto la chiusura del dominio di modellazione sufficientemente lontano a valle dell'attraversamento di progetto.

La risposta idraulica delle aree interessate a qualunque sollecitazione di deflusso è determinata dalla natura dei vari terreni e delle loro diverse coperture vegetali o artificiali, o dalla presenza di eventuali ostacoli. Alla diversa natura delle coperture dei terreni sono associabili le specifiche caratteristiche di scabrezza idraulica, determinanti ai fini della simulazione del fenomeno.

L'alveo della Lama Lamasinata risulta essere in prevalenza occupato da uliveti e frutteti per cui si è assunto indice di Manning $n=0.05$.

In Figura 31 si riportano le impronte delle aree di allagamento. A sinistra, il risultato della simulazione dello stato di fatto con la presenza del solo ponte a cinque archi. A destra, lo stato di progetto, in cui sono evidenziate in giallo il limite delle spalle del ponte da 60 metri e lo sviluppo del muro di contenimento del rilevato lato Binetto.

Come si può notare dalle mappe di allagamento e dalle tabelle con le massime altezze in corrispondenza della sezione a monte ed a valle dei ponti sia per lo scenario dello stato di fatto che per quello di progetto, la presenza della nuova infrastruttura non costituisce un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, poiché la sua conformazione ed ubicazione è stata studiata in maniera funzionale alle impronte di allagamento scaturite dalle simulazioni, non producendo significativi ostacoli al

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 54 di 67</p>
---	---	--

normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso dell' aree interessata.

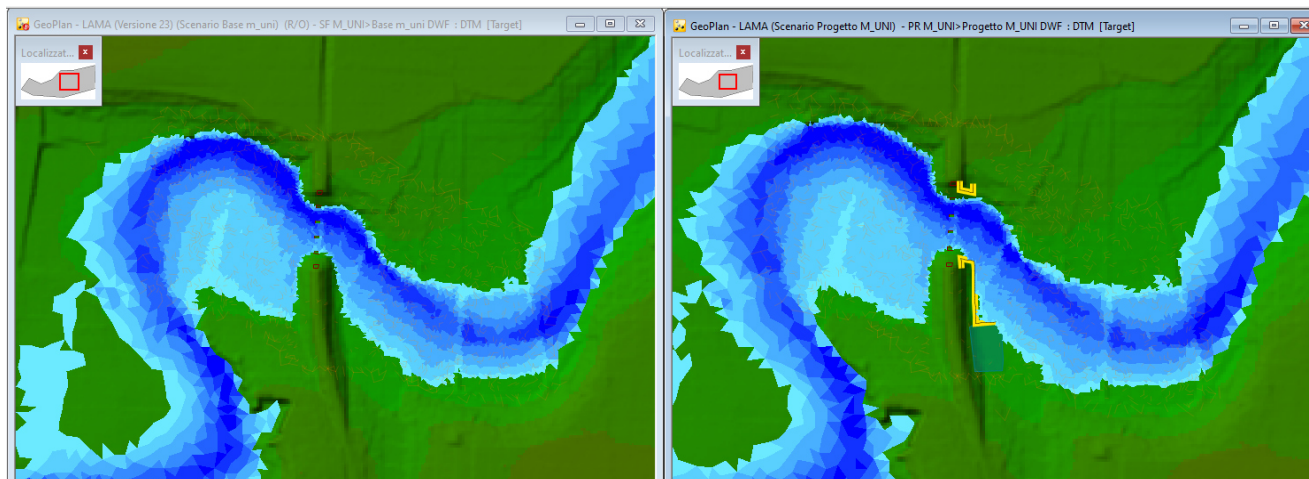



Figura 31: Risultati simulazione scenario attuale e di progetto

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
00 20:28:00		257.90317	3.58921	2.61494
00 20:30:00		258.14017	3.59081	2.61507
00 20:32:00		258.36182	3.59230	2.61520
00 20:34:00		258.57057	3.59371	2.61532
00 20:36:00		258.76868	3.59505	2.61544
00 20:38:00		258.95521	3.59630	2.61554
00 20:40:00		259.12499	3.59746	2.61563
00 20:42:00		259.27303	3.59848	2.61568
00 20:44:00		259.39720	3.59933	2.61573
00 20:46:00		259.49853	3.60004	2.61576
00 20:48:00		259.57978	3.60061	2.61578
00 20:50:00		259.64439	3.60106	2.61579
00 20:52:00		259.69463	3.60141	2.61580
00 20:54:00		259.72883	3.60166	2.61579
▶ 00 20:56:00		259.74345	3.60179	2.61576
00 20:58:00		259.73635	3.60177	2.61572
00 21:00:00		259.70781	3.60160	2.61566
00 21:02:00		259.66002	3.60131	2.61559
00 21:04:00		259.59605	3.60091	2.61551
00 21:06:00		259.51885	3.60041	2.61544
00 21:08:00		259.42877	3.59983	2.61535
00 21:10:00		259.32297	3.59914	2.61524
00 21:12:00		259.19850	3.59834	2.61512
00 21:14:00		259.05456	3.59741	2.61498
00 21:16:00		258.89226	3.59635	2.61484
00 21:18:00		258.71399	3.59518	2.61468
00 21:20:00		258.52241	3.59392	2.61453
00 21:22:00		258.31948	3.59259	2.61436

Figura 32: Stralcio risultati scenario attuale sezione di monte

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
00 20:24:00		261.62082	3.43042	2.61260
00 20:26:00		261.90036	3.43180	2.61380
00 20:28:00		262.16374	3.43311	2.61492
00 20:30:00		262.40968	3.43433	2.61596
00 20:32:00		262.63979	3.43547	2.61694
00 20:34:00		262.85600	3.43654	2.61786
00 20:36:00		263.06070	3.43756	2.61873
00 20:38:00		263.25415	3.43851	2.61956
00 20:40:00		263.43174	3.43939	2.62031
00 20:42:00		263.58767	3.44016	2.62096
00 20:44:00		263.71929	3.44081	2.62150
00 20:46:00		263.82719	3.44134	2.62195
00 20:48:00		263.91395	3.44177	2.62230
00 20:50:00		263.98300	3.44210	2.62258
00 20:52:00		264.03711	3.44237	2.62280
00 20:54:00		264.07530	3.44256	2.62295
▶ 00 20:56:00		264.09402	3.44265	2.62301
00 20:58:00		264.09070	3.44263	2.62298
00 21:00:00		264.06523	3.44250	2.62285
00 21:02:00		264.01955	3.44227	2.62263
00 21:04:00		263.95670	3.44195	2.62235
00 21:06:00		263.87984	3.44157	2.62200
00 21:08:00		263.78995	3.44112	2.62160
00 21:10:00		263.68454	3.44060	2.62113
00 21:12:00		263.56040	3.43998	2.62058
00 21:14:00		263.41631	3.43926	2.61994
00 21:16:00		263.25312	3.43845	2.61922
00 21:18:00		263.07306	3.43755	2.61843

Figura 33: Stralcio risultati scenario attuale sezione di valle

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 55 di 67</p>
---	---	--

		Flow through line (m ³ /s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
	00 20:30:00	256.93808	3.64517	2.64538
	00 20:32:00	257.15317	3.64657	2.64545
	00 20:34:00	257.35615	3.64789	2.64553
	00 20:36:00	257.54943	3.64915	2.64560
	00 20:38:00	257.73169	3.65033	2.64567
	00 20:40:00	257.89729	3.65142	2.64571
	00 20:42:00	258.04106	3.65236	2.64573
	00 20:44:00	258.16121	3.65316	2.64573
	00 20:46:00	258.25838	3.65381	2.64573
	00 20:48:00	258.33656	3.65433	2.64573
	00 20:50:00	258.39920	3.65475	2.64572
	00 20:52:00	258.44828	3.65508	2.64571
	00 20:54:00	258.48153	3.65531	2.64569
▶	00 20:56:00	258.49481	3.65542	2.64565
	00 20:58:00	258.48580	3.65538	2.64559
	00 21:00:00	258.45484	3.65521	2.64552
	00 21:02:00	258.40424	3.65490	2.64545
	00 21:04:00	258.33746	3.65449	2.64538
	00 21:06:00	258.25785	3.65399	2.64531
	00 21:08:00	258.16566	3.65341	2.64523
	00 21:10:00	258.05789	3.65273	2.64514
	00 21:12:00	257.93161	3.65194	2.64503
	00 21:14:00	257.78589	3.65102	2.64491
	00 21:16:00	257.62205	3.64999	2.64478
	00 21:18:00	257.44261	3.64885	2.64465
	00 21:20:00	257.25033	3.64762	2.64453
	00 21:22:00	257.04691	3.64632	2.64440
	00 21:24:00	256.83114	3.64495	2.64426

Figura 34: Stralcio risultati scenario di progetto sezione di monte

		Flow through line (m ³ /s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
	00 20:32:00	266.20849	3.45062	2.65814
	00 20:34:00	266.41936	3.45172	2.65914
	00 20:36:00	266.61982	3.45277	2.66009
	00 20:38:00	266.80958	3.45376	2.66099
	00 20:40:00	266.98319	3.45467	2.66180
	00 20:42:00	267.13512	3.45546	2.66251
	00 20:44:00	267.26249	3.45612	2.66310
	00 20:46:00	267.36650	3.45666	2.66358
	00 20:48:00	267.45007	3.45709	2.66396
	00 20:50:00	267.51701	3.45744	2.66427
	00 20:52:00	267.56991	3.45772	2.66451
	00 20:54:00	267.60706	3.45791	2.66467
▶	00 20:56:00	267.62444	3.45799	2.66474
	00 20:58:00	267.61909	3.45796	2.66470
	00 21:00:00	267.59095	3.45781	2.66454
	00 21:02:00	267.54213	3.45755	2.66430
	00 21:04:00	267.47602	3.45721	2.66397
	00 21:06:00	267.39624	3.45679	2.66357
	00 21:08:00	267.30372	3.45630	2.66312
	00 21:10:00	267.19577	3.45573	2.66260
	00 21:12:00	267.06914	3.45507	2.66198
	00 21:14:00	266.92257	3.45430	2.66126
	00 21:16:00	266.75704	3.45343	2.66045
	00 21:18:00	266.57498	3.45247	2.65957
	00 21:20:00	266.37927	3.45144	2.65862
	00 21:22:00	266.17195	3.45036	2.65762
	00 21:24:00	265.95230	3.44920	2.65656
	00 21:26:00	265.71747	3.44797	2.65542


Figura 35: Stralcio risultati scenario di progetto sezione di valle

6.3.2. Ponte ad un arco

6.3.2.1. Stato di fatto

La seconda interferenza del reticolo idrografico con l'infrastruttura ferroviaria FAL è rappresentata dal ponte in muratura ad un arco, ricadente nel territorio di Binetto alla progressiva 19+810.43.

Anche in questo caso, la simulazione dello stato di fatto per il transito della portata di picco $Q_{Tr200} = 71.60 \text{ m}^3/\text{s}$, dimostra che l'attraversamento esistente risulta verificato al transito della portata di progetto duecentennale con un franco idraulico superiore all'1.50 m minimo prescritto da normativa.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 56 di 67</p>
---	---	--

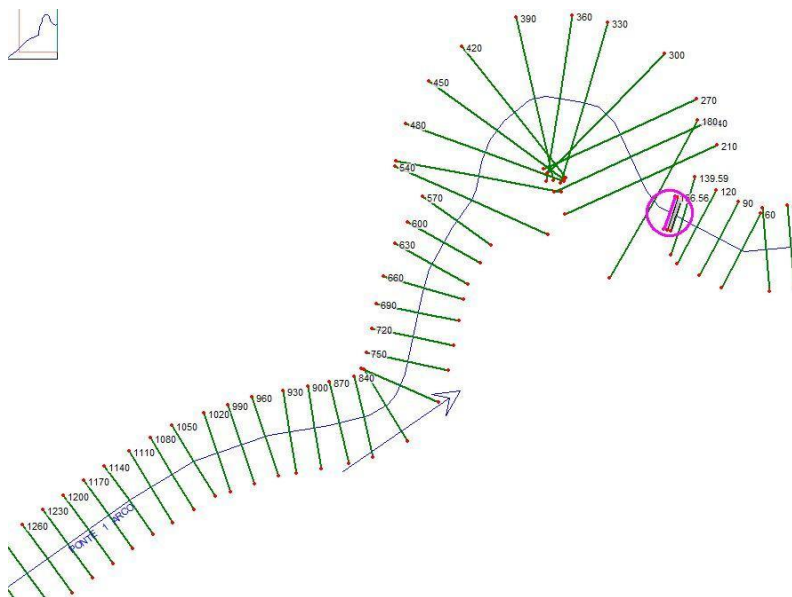


Figura 36: Schematizzazione Hec-Ras del reticolo idrografico in corrispondenza del ponte ad un arco

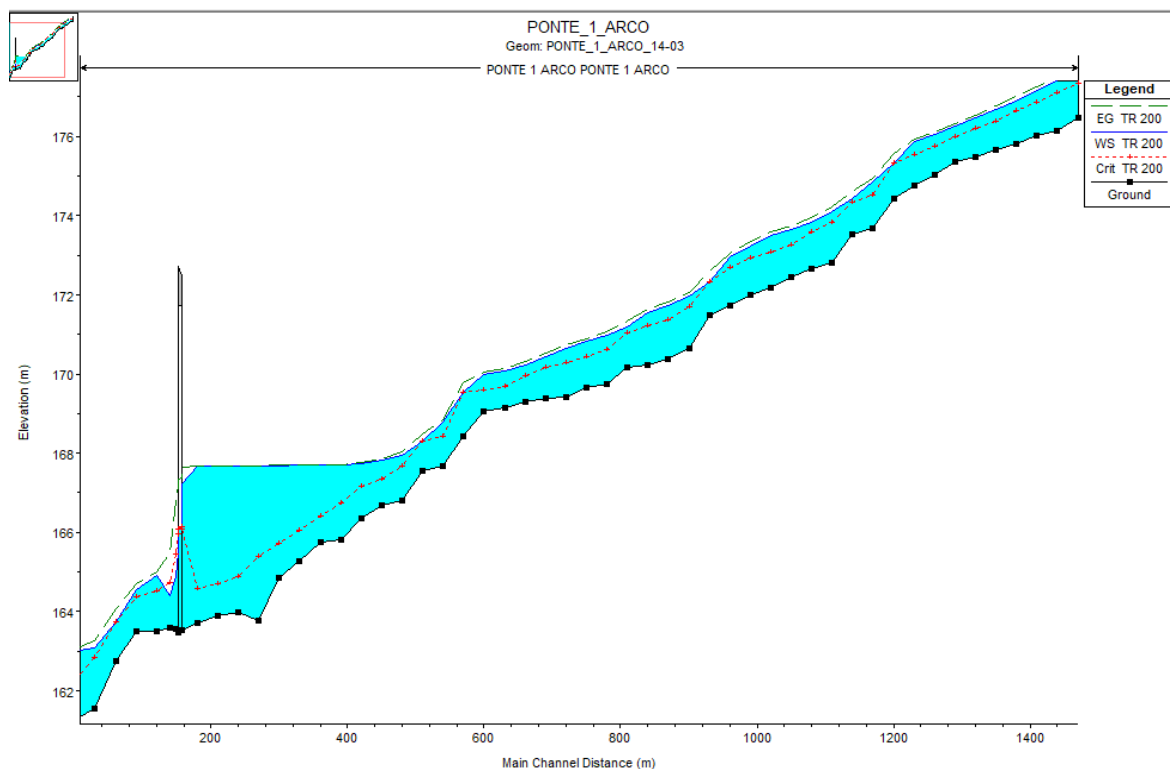



Figura 37: Profilo idrico stato di fatto. Portata di transito $Q_{Tr200} = 71.60 \text{ m}^3/\text{s}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 57 di 67</p>
---	---	--

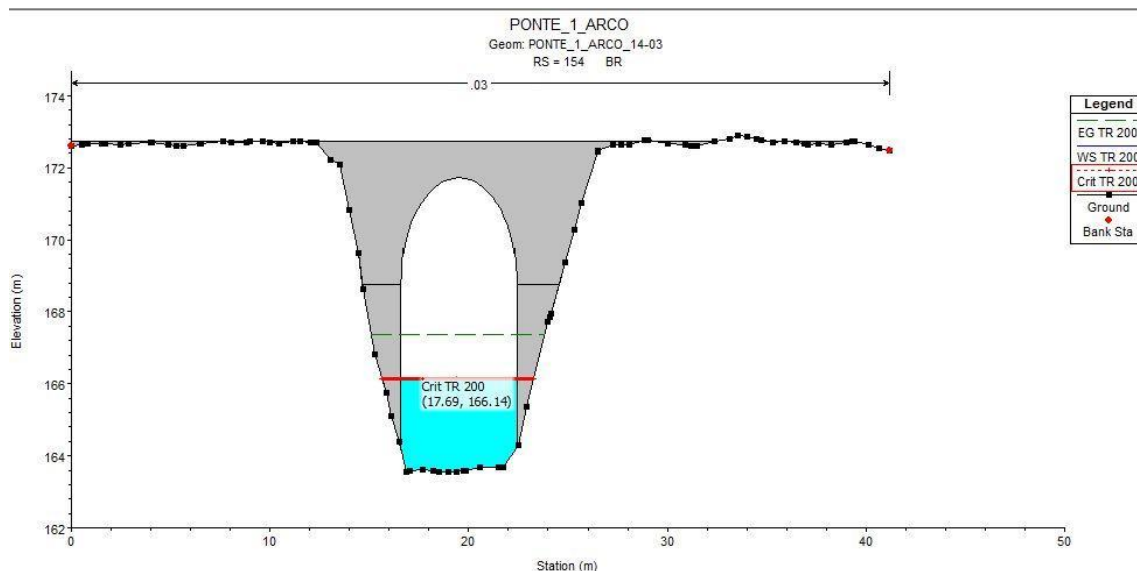



Figura 38: Sezione a monte del ponte ad 1 arco esistente. Quota assoluta del livello idrico portata duecentennale qtr200= 166.14 m

6.3.2.2. Intervento di progetto

Nell'intervento di progetto, si prevede la realizzazione di una struttura in continuità a quella esistente, con luce interna netta di 6 metri ed altezza libera 8.45 m.

Anche in questo caso, essendo un intervento realizzato a valle dell'esistente, non vi è pericolo di sormonto, si è quindi preferito realizzare una modellazione bidimensionale per analizzare l'eventuale variazione delle impronte allagabili causate dagli ingombri di progetto.

A seguire si riportano le immagini dello scenario ante e post operam. I segmenti gialli evidenziano l'ingombro dei rilevati ed il varco idraulico in corrispondenza dell'attraversamento. L'immagine a sinistra rappresenta lo scenario ante, a destra in post operam. Come dimostrato dai risultati della simulazione, non vi è una variazione significativa dell'impronta dell'area allagabile e dei valori dei livelli idrici monte/valle in quanto la situazione critica si manifesta a monte dell'attraversamento, zona non interessata dalla nuova opera.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 58 di 67</p>
---	---	--

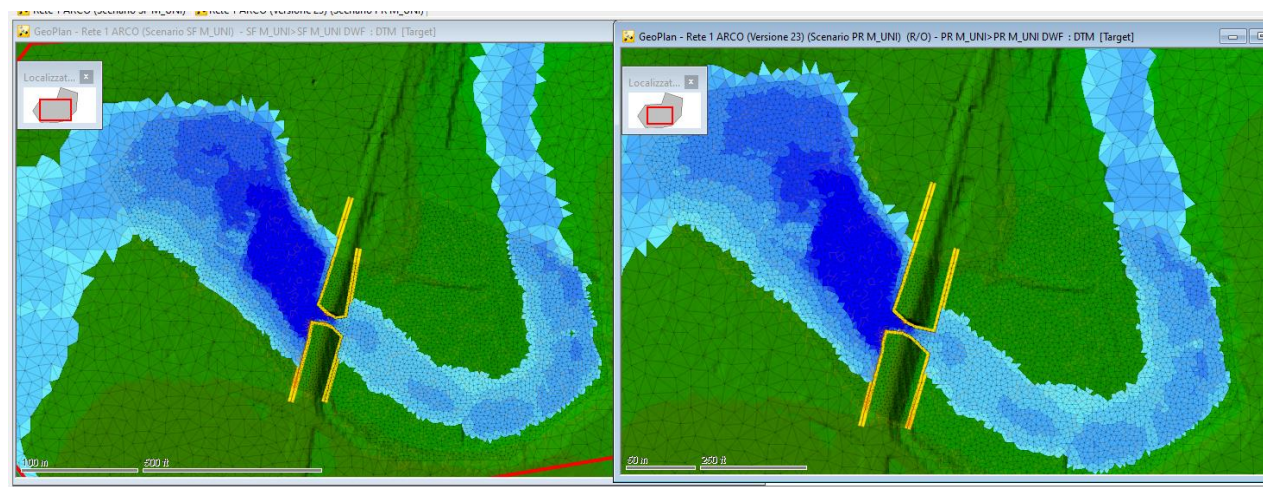



Figura 39: Risultati simulazione scenario attuale e di progetto

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
00 13:12:00		70.05529	3.98645	0.67511
00 13:14:00		70.20660	3.99197	0.67552
00 13:16:00		70.34687	3.99707	0.67590
00 13:18:00		70.47535	4.00178	0.67624
00 13:20:00		70.59082	4.00602	0.67656
00 13:22:00		70.69591	4.00985	0.67684
00 13:24:00		70.79104	4.01330	0.67709
00 13:26:00		70.87506	4.01640	0.67732
00 13:28:00		70.94696	4.01914	0.67752
00 13:30:00		71.00370	4.02136	0.67768
00 13:32:00		71.04740	4.02309	0.67780
00 13:34:00		71.07894	4.02439	0.67790
00 13:36:00		71.09973	4.02528	0.67796
00 13:38:00		71.10874	4.02579	0.67800
▶ 00 13:40:00		71.10517	4.02586	0.67800
00 13:42:00		71.09003	4.02551	0.67797
00 13:44:00		71.06083	4.02470	0.67791
00 13:46:00		71.01909	4.02343	0.67781
00 13:48:00		70.96593	4.02174	0.67769
00 13:50:00		70.90243	4.01967	0.67753
00 13:52:00		70.82928	4.01725	0.67735
00 13:54:00		70.74377	4.01444	0.67714
00 13:56:00		70.64685	4.01120	0.67690
00 13:58:00		70.54060	4.00760	0.67663
00 14:00:00		70.42512	4.00364	0.67633
00 14:02:00		70.30010	3.99938	0.67601
00 14:04:00		70.16367	3.99474	0.67567
00 14:06:00		70.01701	3.98973	0.67529

Figura 40: Stralcio risultati scenario attuale sezione di monte

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
00 13:12:00		72.87786	1.08921	5.38798
00 13:14:00		73.04230	1.08933	5.39545
00 13:16:00		73.19432	1.08945	5.40235
00 13:18:00		73.33456	1.08955	5.40869
00 13:20:00		73.46110	1.08965	5.41441
00 13:22:00		73.57515	1.08973	5.41956
00 13:24:00		73.67788	1.08981	5.42420
00 13:26:00		73.77040	1.08987	5.42836
00 13:28:00		73.85216	1.08993	5.43204
00 13:30:00		73.91852	1.08998	5.43503
00 13:32:00		73.97032	1.09002	5.43735
00 13:34:00		74.00898	1.09005	5.43909
00 13:36:00		74.03578	1.09007	5.44029
00 13:38:00		74.05105	1.09008	5.44098
▶ 00 13:40:00		74.05313	1.09009	5.44108
00 13:42:00		74.04287	1.09008	5.44062
00 13:44:00		74.01898	1.09007	5.43955
00 13:46:00		73.98136	1.09005	5.43786
00 13:48:00		73.93120	1.09002	5.43561
00 13:50:00		73.86969	1.08998	5.43284
00 13:52:00		73.79785	1.08993	5.42961
00 13:54:00		73.71418	1.08987	5.42585
00 13:56:00		73.61805	1.08981	5.42152
00 13:58:00		73.51080	1.08974	5.41668
00 14:00:00		73.39327	1.08966	5.41137
00 14:02:00		73.26633	1.08957	5.40563
00 14:04:00		73.12853	1.08947	5.39939
00 14:06:00		72.97957	1.08936	5.39263

Figura 41: Stralcio risultati scenario attuale sezione di valle

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 59 di 67</p>
---	---	--

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
	00 13:12:00	70.17482	3.89942	0.69518
	00 13:14:00	70.32127	3.90463	0.69558
	00 13:16:00	70.45671	3.90943	0.69596
	00 13:18:00	70.58004	3.91384	0.69630
	00 13:20:00	70.69006	3.91778	0.69661
	00 13:22:00	70.78845	3.92132	0.69689
	00 13:24:00	70.87657	3.92448	0.69714
	00 13:26:00	70.95539	3.92730	0.69736
	00 13:28:00	71.02183	3.92977	0.69755
	00 13:30:00	71.07275	3.93172	0.69770
	00 13:32:00	71.10993	3.93318	0.69782
	00 13:34:00	71.13488	3.93421	0.69790
	00 13:36:00	71.14887	3.93484	0.69795
	00 13:38:00	71.15097	3.93509	0.69797
►	00 13:40:00	71.14030	3.93490	0.69795
	00 13:42:00	71.11788	3.93430	0.69791
	00 13:44:00	71.08116	3.93325	0.69783
	00 13:46:00	71.03165	3.93175	0.69771
	00 13:48:00	70.97059	3.92983	0.69756
	00 13:50:00	70.89915	3.92753	0.69738
	00 13:52:00	70.81815	3.92490	0.69718
	00 13:54:00	70.72478	3.92189	0.69694
	00 13:56:00	70.62030	3.91848	0.69668
	00 13:58:00	70.50574	3.91470	0.69639
	00 14:00:00	70.38208	3.91060	0.69607
	00 14:02:00	70.25014	3.90620	0.69572
	00 14:04:00	70.10707	3.90145	0.69535
	00 14:06:00	69.95368	3.89634	0.69495

Figura 42: Stralcio risultati scenario di progetto sezione di monte

		Flow through line (m3/s)	Highest depth along line (m)	Highest speed normal to line (m/s)
	00 13:12:00	76.30854	1.07108	4.98767
	00 13:14:00	76.46321	1.07184	4.99519
	00 13:16:00	76.60594	1.07254	5.00212
	00 13:18:00	76.73704	1.07318	5.00847
	00 13:20:00	76.85454	1.07376	5.01415
	00 13:22:00	76.95954	1.07428	5.01923
	00 13:24:00	77.05343	1.07475	5.02376
	00 13:26:00	77.13733	1.07516	5.02781
	00 13:28:00	77.21073	1.07553	5.03134
	00 13:30:00	77.26886	1.07582	5.03414
	00 13:32:00	77.31251	1.07603	5.03624
	00 13:34:00	77.34311	1.07619	5.03771
	00 13:36:00	77.36205	1.07628	5.03862
	00 13:38:00	77.36967	1.07632	5.03898
►	00 13:40:00	77.36433	1.07629	5.03873
	00 13:42:00	77.34685	1.07620	5.03789
	00 13:44:00	77.31600	1.07605	5.03641
	00 13:46:00	77.27148	1.07582	5.03427
	00 13:48:00	77.21469	1.07554	5.03154
	00 13:50:00	77.14687	1.07520	5.02827
	00 13:52:00	77.06911	1.07481	5.02452
	00 13:54:00	76.97991	1.07437	5.02021
	00 13:56:00	76.87887	1.07387	5.01533
	00 13:58:00	76.76698	1.07332	5.00992
	00 14:00:00	76.64536	1.07272	5.00403
	00 14:02:00	76.51495	1.07207	4.99771
	00 14:04:00	76.37427	1.07138	4.99087
	00 14:06:00	76.22280	1.07064	4.98349


Figura 43: Stralcio risultati scenario di progetto sezione di valle

6.3.3. Sottovia S. Pertini

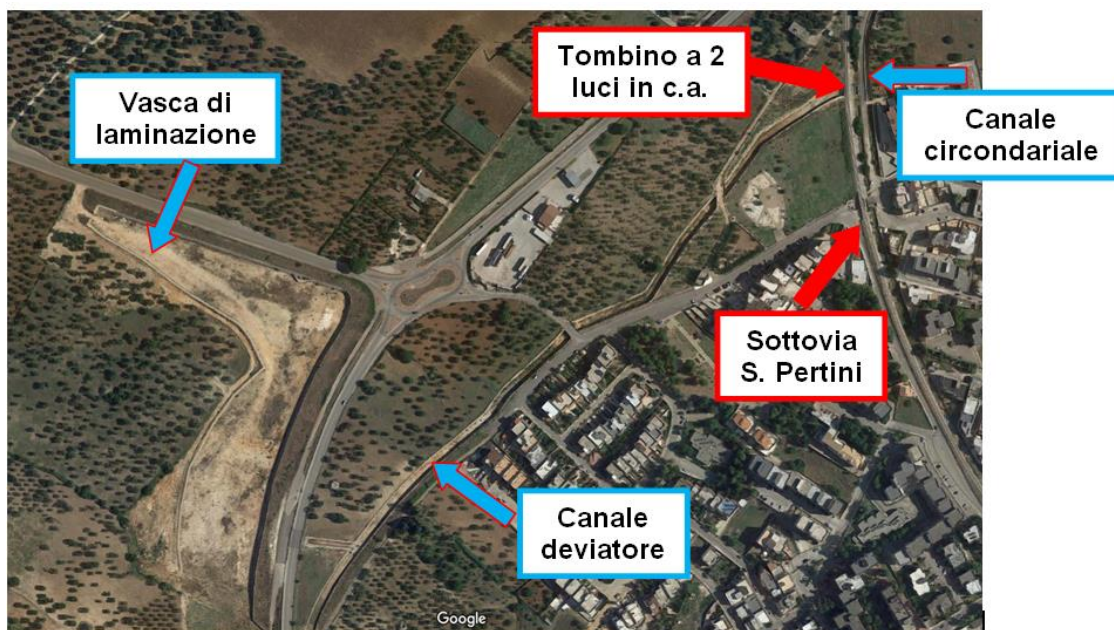
6.3.3.1. Stato di fatto

L'analisi dello stato di fatto del sottovia S. Pertini localizzato alla progressiva 21+146.92 della linea FAL congiuntamente al tombino a quattro luci ad esso adiacente, ha dovuto tener conto della recente realizzazione di nuove opere di mitigazione del rischio idraulico che ha modificato le perimetrazioni delle aree allagabili ad oggi riportate sul Web-GIS dell'Adb.

Nello specifico, il nuovo assetto del territorio comprende una vasca di laminazione realizzata a monte della SP228, che intercetta la quasi totalità dei flussi idrici provenienti dal ramo Sud-Ovest del reticolo idrografico, mentre le portate provenienti dal ramo sud-est vengono convogliate nel nuovo canale deviatore che dopo aver attraversato il rilevato ferroviario in

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 60 di 67</p>
---	---	--

corrispondenza della progressiva 21+146.92 con un tombino in c.a. a due luci rettangolari, confluisce nel canale circondariale esistente.




Questa nuova conformazione intercetta le portate duecentennali che negli anni passati provocavano una vasta area di allagamento nella zona interclusa tra la tangenziale e la linea ferroviaria, causata dalla presenza di un unico punto di interconnessione con il canale circondariale rappresentato dal corso d'acqua obliterato transitante in corrispondenza del sottovia Sandro Pertini e dal tombino a quattro luci ad esso adiacente. Nella conformazione attuale, la portata di progetto viene per lo più accumulata nella vasca di laminazione, mentre la restante parte transita nel canale deviatore per poi confluire nel canale esistente.

Il presente studio ha un duplice obiettivo:

- verificare con una modellazione bidimensionale la variazione di estensione delle aree perimetrate per un rischio idraulico avente come tempo di ritorno: tr 200 anni;
- verificare localmente con una modellazione monodimensionale il tombino a due luci esistente che si immette nel canale circondariale, con un angolo prossimo a 90°.

6.3.3.2. Modellazione bidimensionale con HEC RAS

Lo schema di calcolo adottato è quello bidimensionale di moto vario recentemente implementato dal codice HECRAS "River Analysis System" Versione 5.0.6 (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center).

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 61 di 67
---	--	---

Il modello in questione risolve le equazioni costitutive dei fluidi note come equazione di continuità e della quantità di moto (equazione dei momenti).

L'equazione di conservazione della massa (equazione di continuità) assume la seguente forma differenziale:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0$$

(Dove H è il carico totale, h il tirante locale, u e v le velocità mediate sull'altezza lungo una delle direzioni x o y, t il tempo, q l'intensità degli eventuali afflussi o sottrazioni).

L'equazione dei momenti assume la forma:

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

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


Dove g è l'accelerazione di gravità, ν_t rappresenta il coefficiente dell'Eddy viscosity orizzontale, c_f rappresenta il coefficiente d'attrito di fondo ed f il parametro di Coriolis.

La bidimensionalità è data dal fatto che le variabili sono calcolate su due dimensioni cartesiane x ed y e mediate invece sulla profondità e che le componenti lungo z delle grandezze idrauliche vettoriali sono trascurate.

In condizioni ben specifiche, ovvero quando i termini legati alla gravità e all'attrito sul fondo sono dominanti e il termine viscoso, la non stazionarietà e l'avvezione sono trascurabili, le equazioni del moto possono essere sostituite da una sola equazione semplificata e la cui forma è definita "Diffusion-Wave Form". La diretta sostituzione di quest'ultima equazione nell'equazione di conservazione della massa, permette di ottenere la "Diffusion Wave Approximation of the Shallow Water (DSW) equations".

La modellazione bidimensionale fatta con HEC-RAS 5.0.6 funziona per celle, che possono essere strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangolari, quadrate, rettangolari o anche elementi a cinque e sei facce (ma non più di 8).

Il contorno esterno della maglia computazionale è definito, invece, con un poligono. Generalmente, il software crea delle celle di forma quadrata nella zona centrale, mentre in prossimità del contorno esterno la mesh si adatta al profilo dell'area.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 62 di 67
---	---	---

In corrispondenza di ogni cella in cui viene applicato l'algoritmo risolutivo per risolvere le equazioni considerando volumi finiti, il software ipotizza dei valori iniziali di calcolo e controlla se la differenza tra il livello dell'acqua calcolato e il suo valore precedente siano minori oppure no della tolleranza della soluzione numerica. In caso affermativo, significa aver trovato la giusta soluzione per quel passo temporale e quindi si può passare al successivo "time step". In caso negativo invece il codice di calcolo procede iterativamente facendo una nuova stima delle derivate e risolvendo ancora le equazioni applicando l'algoritmo risolutivo.

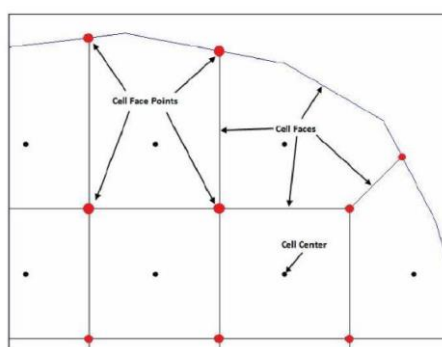


Figura 44: Esempio mesh computazionale HEC RAS 5.0.6

Nello specifico, il rilievo LIDAR del Geoportale Nazionale con risoluzione 1x1m è stato adeguato alla nuova conformazione dello stato di fatto, modellando la nuova vasca di laminazione ed il canale deviatore:

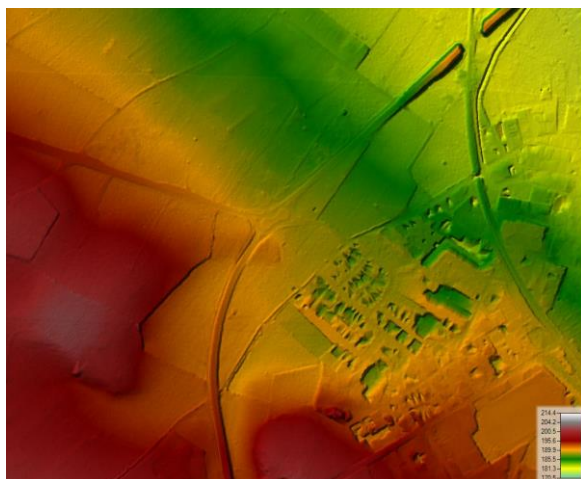


Figura 45: DTM Geoportale

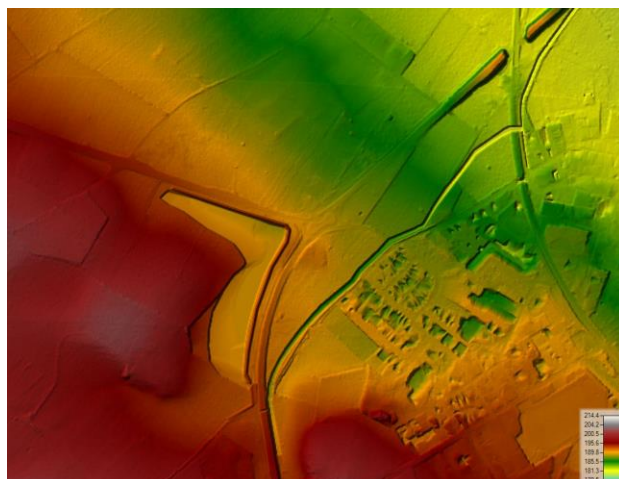



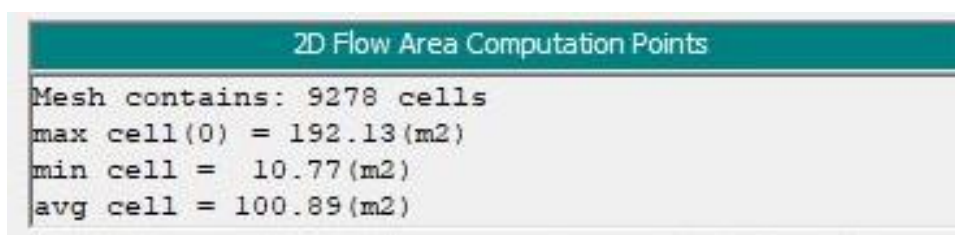
Figura 46: DTM geoportale modificato

Il DTM fornisce al modello la topografia di riferimento, mentre la mesh in Hec Ras 2D definisce il dominio di calcolo, ovvero i punti in cui vengono calcolate le variabili idrauliche.

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 63 di 67</p>
---	---	--

Nel caso in esame la maglia è costituita da celle adiacenti disposte in forme strutturate nella parte centrale (rettangoli o quadrati) e da celle non strutturate sul bordo dell'area 2D (aventi da 3 a 8 lati di forma variabile).

La mesh implementata ha una risoluzione pari a 10 x 10 m. Complessivamente il dominio si estende per 945325 m², le cui caratteristiche medie sono di seguito riportate:



La dimensione delle celle non rappresenta per il modello HEC RAS 5.0.6 il limite della risoluzione. Il calcolo del risolutore in termini di area liquida, volume di invaso e raggio idraulico, si basa infatti sulla sottostante geometria e sulla risoluzione del DTM.

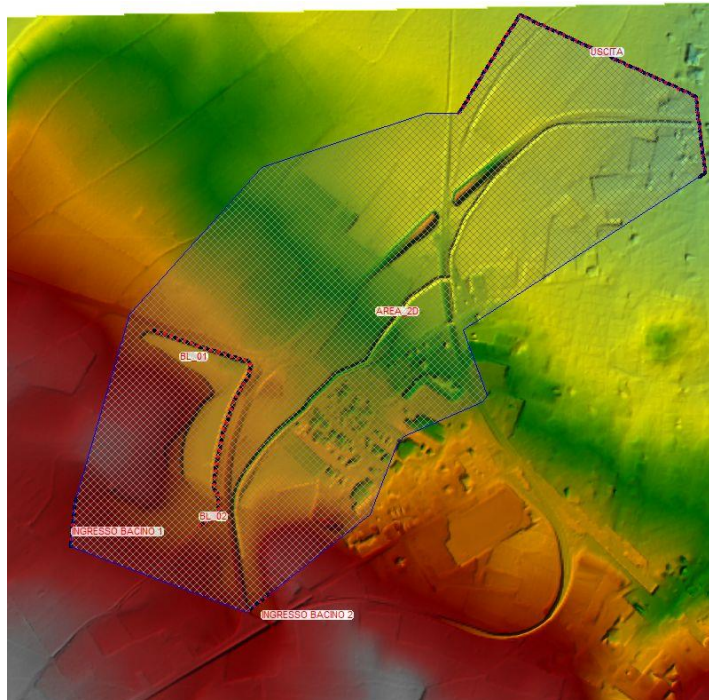


Figura 47: Dominio di calcolo totale impostato su DTM

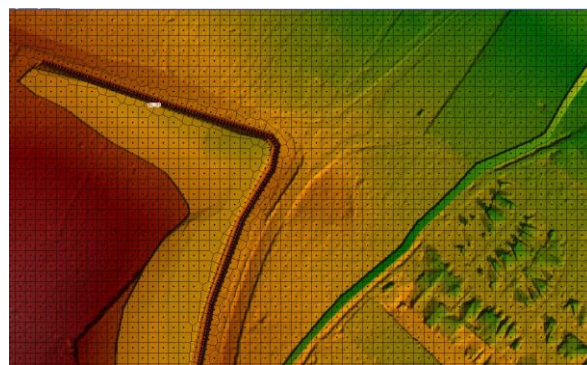



Figura 48: Dettaglio dominio di calcolo

Nel modello 2D i dati di input principali sono stati definiti nelle sezioni di ingresso del bacino 1 e 2 a monte del dominio di calcolo, introducendo gli idrogrammi duecentennali di progetto, determinati nello studio idraulico del Progetto Esecutivo "Presidio e mitigazione idraulica

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 64 di 67
---	--	---

relativi ad aree ad elevata pericolosità idraulica e rischio R4 del PAI a salvaguardia del centro urbano” del Comune di Grumo Appula.

A valle, nella sezione in uscita, è stata imposta come condizione al contorno una “Normal depth” fornendo la pendenza della linea dei carichi totali che si può approssimare con la pendenza del tratto di canale a monte.

Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza, è stato assunto pari a 0.03 m-1/3s per tutta l'area.

Come risulta evidente dall'output grafico della simulazione bidimensionale riportata in Figura 49-Figura 50, con la realizzazione della vasca di laminazione e del canale deviatore, il Sottovia Sandro Pertini, non viene più interessato dal transito delle portate duecentennali provenienti dal reticolo idrografico della Lama Lamasinata, ma viene by-passato dal tombino a 2 luci rettangolari posto alla progressiva 21+042.93 della linea FAL che garantisce la continuità idraulica dei deflussi transitanti da Ovest verso Est rispetto al rilevato ferroviario.

Si è quindi proceduto alla verifica monodimensionale del tombino.

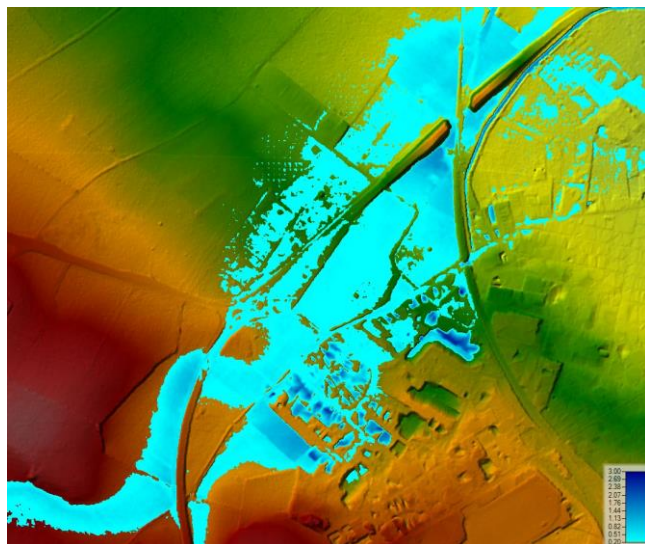


Figura 49: Stato di fatto con DTM Geoportale

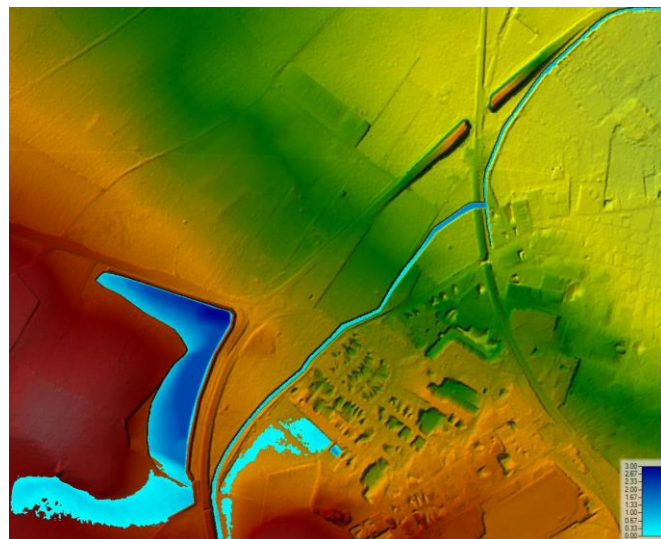



Figura 50: Stato di fatto con DTM modificato

6.3.3.3. Verifica monodimensionale tombino a due luci

Con la modellazione idraulica monodimensionale si è verificato che il transito della portata di progetto di 20 m³/s relativa ad un tempo di ritorno duecentennale con cui è stato dimensionato

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 65 di 67</p>
---	---	--

l'attraversamento, rispetti il franco minimo previsto da normativa anche con l'attuale curvatura in corrispondenza della confluenza nel canale circondariale.

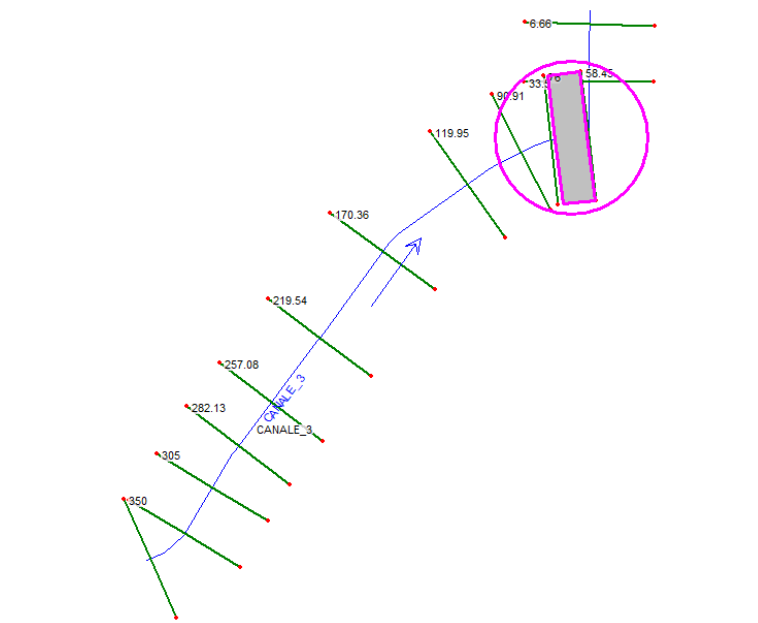


Figura 51: Schematizzazione Hec-Ras del reticolo idrografico in corrispondenza del tombino

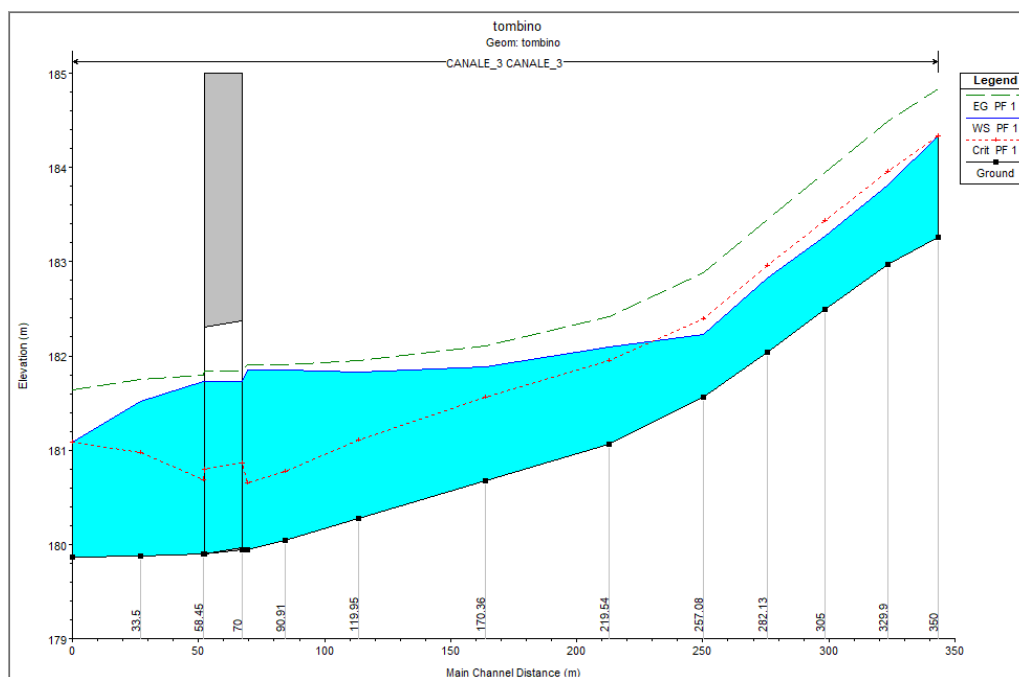



Figura 52: Profilo idraulico dello stato di fatto. Portata di transito $Q_{Tr200} = 20 \text{ m}^3/\text{s}$

 <p>Ferrovie Appulo Lucane</p>	<p>RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione Idraulica e idrologica</p>	<p>DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC</p> <p>Data: Giugno 2020</p> <p>Pag. 66 di 67</p>
---	---	--

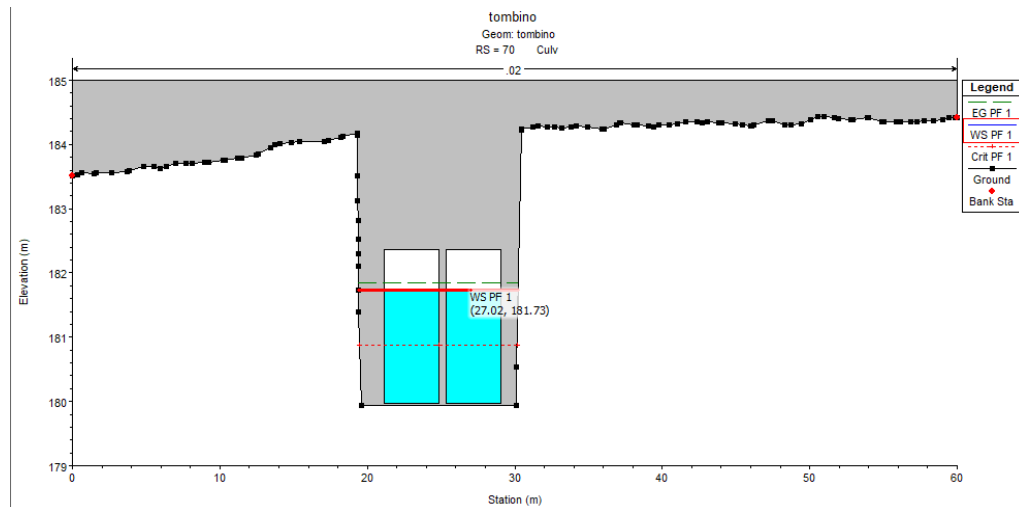



Figura 53: Sezione a monte del tombino nello stato attuale. Quota assoluta del livello idrico portata duecentennale qtr200= 20m³/s

I risultati delle simulazioni effettuate mostrano che il franco idraulico per il tombino di Grumo Appula rispetto al transito della portata di progetto di 20 m³/s è di 0.64 m. E' quindi garantito il franco minimo di 0.50 m previsto dalle NTC2018 per i tombini con portate fino a 50 m³/s.

 Ferrovie Appulo Lucane	RADDOPPIO DELLA TRATTA PALO DEL COLLE - GRUMO APPULA DELLA LINEA BARI-MATERA C.U.P.: G21E16000380001 C.I.G.: 72395498D2 PROGETTO DEFINITIVO Relazione Idraulica e idrologica	DAR_3RY001A - RELAZ_IDRAUL_IDRO LOG.DOC Data: Giugno 2020 Pag. 67 di 67
---	--	---

7. CONCLUSIONI

Le analisi idrologico - idrauliche sviluppate nel presente studio hanno analizzato la risposta idraulica delle aree interessate dalle opere da realizzare nell'ambito del raddoppio della linea FAL nel tratto compreso tra Palo del Colle e Grumo Appula.

Le elaborazioni mono e bi dimensionali si sono concentrate sulle interferenze dell'infrastruttura ferroviaria con il reticolo idrografico della Lama Lamasinata in tre punti:

- Ponte Lama Lamasinata a campata unica realizzato in affiancamento al ponte a cinque archi esistente;
- Ponte ad un arco con realizzazione della nuova struttura in continuità a quella esistente;
- Sottovia S. Pertini, by-passato dalla realizzazione di recenti opere di mitigazione del rischio idraulico nel Comune di Grumo Appula.

Considerando la naturale direzione del deflusso delle acque, le nuove opere sono posizionate a valle degli attraversamenti esistenti e non producono ostacoli significativi al normale libero deflusso delle acque.

I risultati delle simulazioni verificano gli attraversamenti al transito della portata duecentennale di progetto e dimostrano che la realizzazione delle nuove opere non peggiora le condizioni di funzionalità idraulica delle aree interessate.

Dall'analisi delle impronte delle aree allagabili non si riscontra un aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a monte o a valle in quanto i nuovi ingombri non causano una riduzione significativa della capacità di invaso e garantiscono il deflusso della piena di progetto.

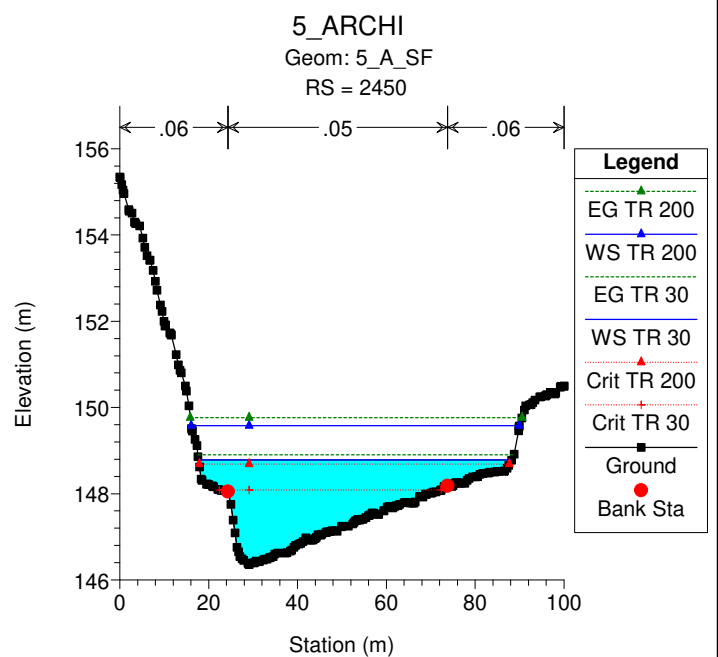
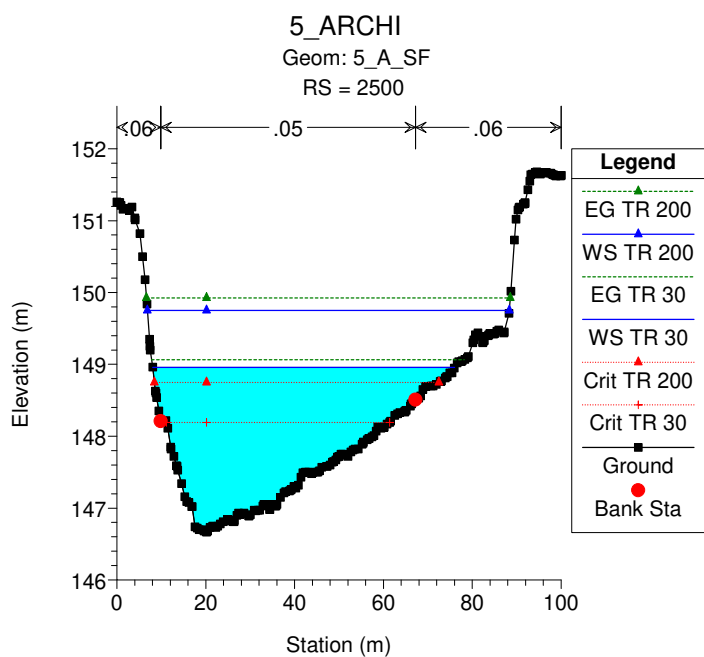
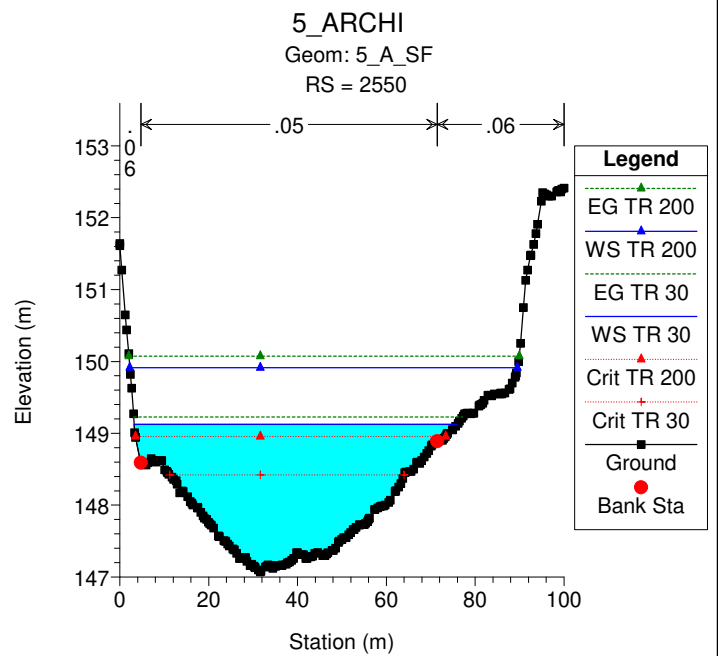
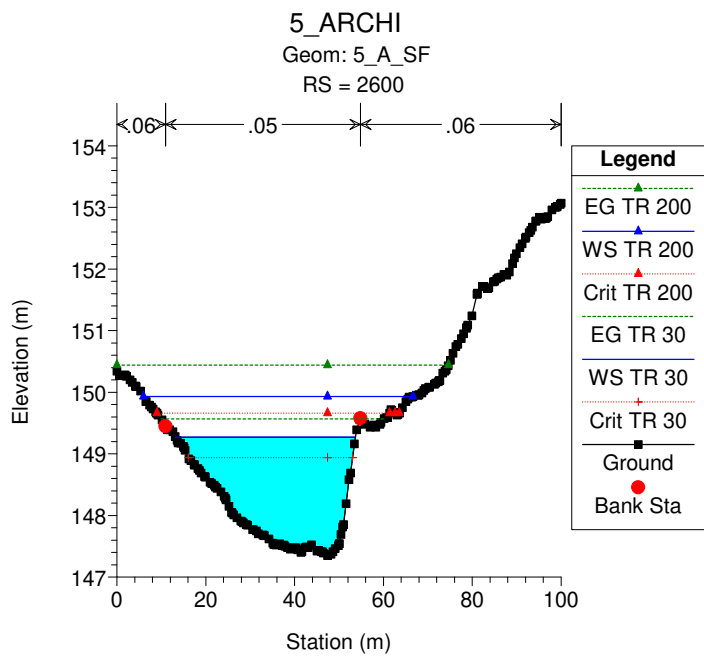
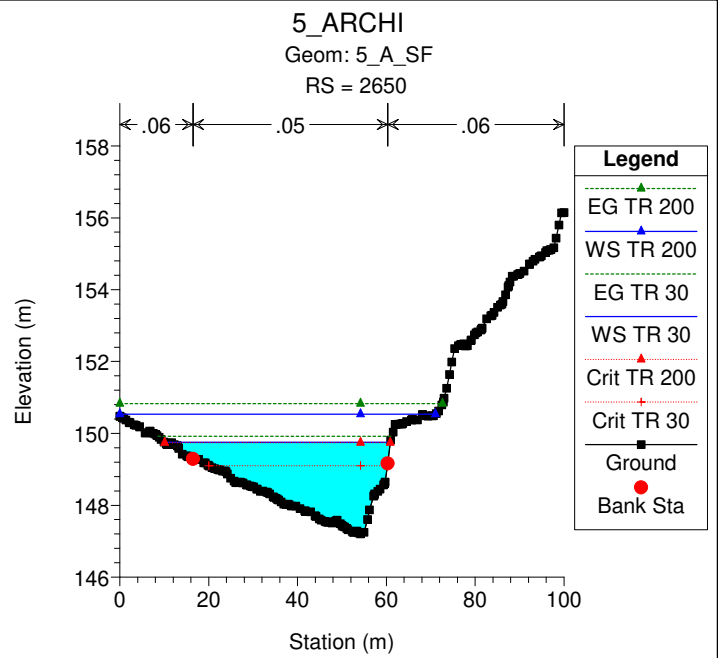
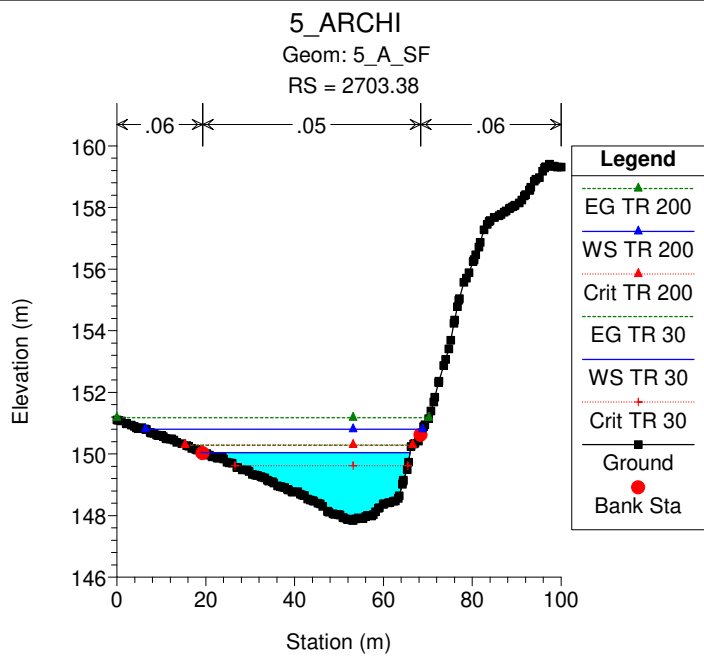
Sulla base di quanto esposto, gli interventi in progetto risultano essere compatibili con le norme di legislazione vigente di protezione dei rischi idraulici e con la conformazione dei luoghi.

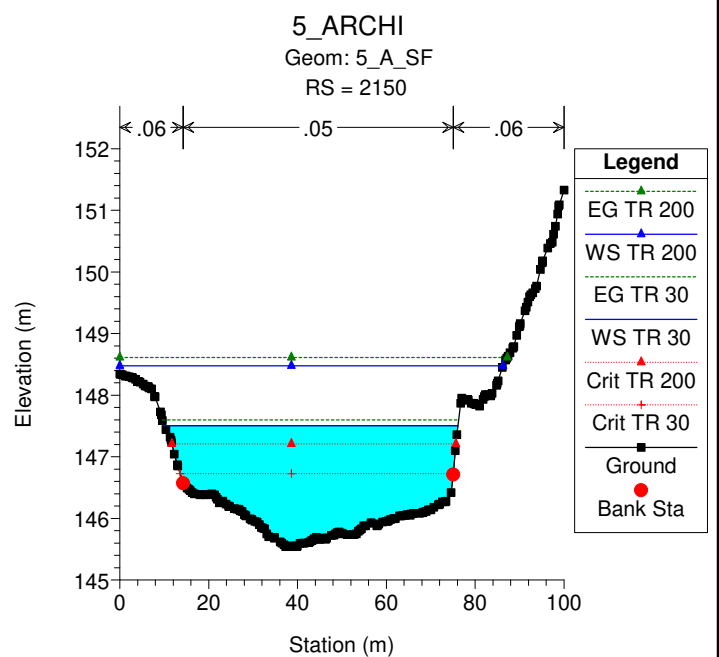
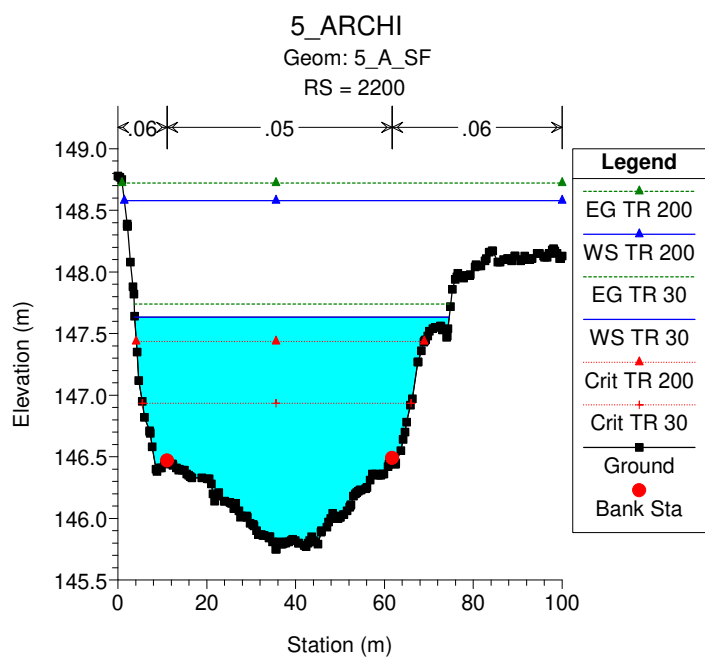
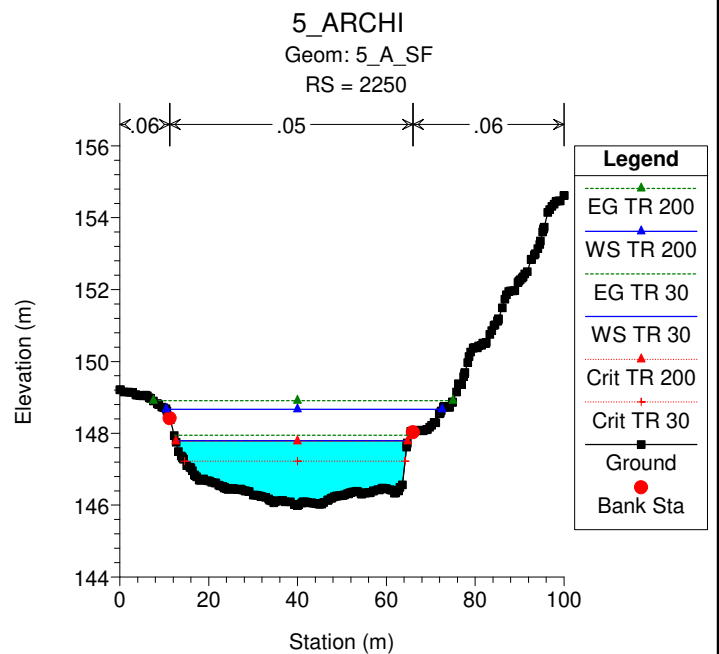
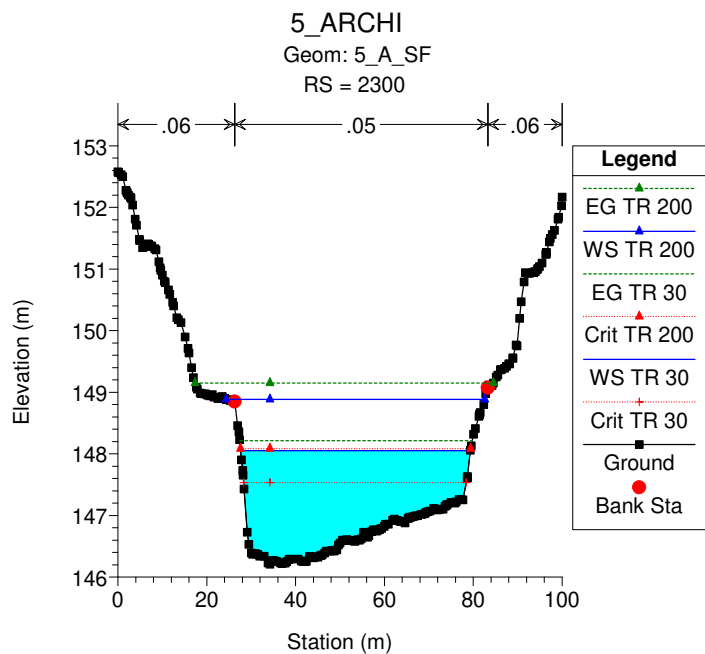
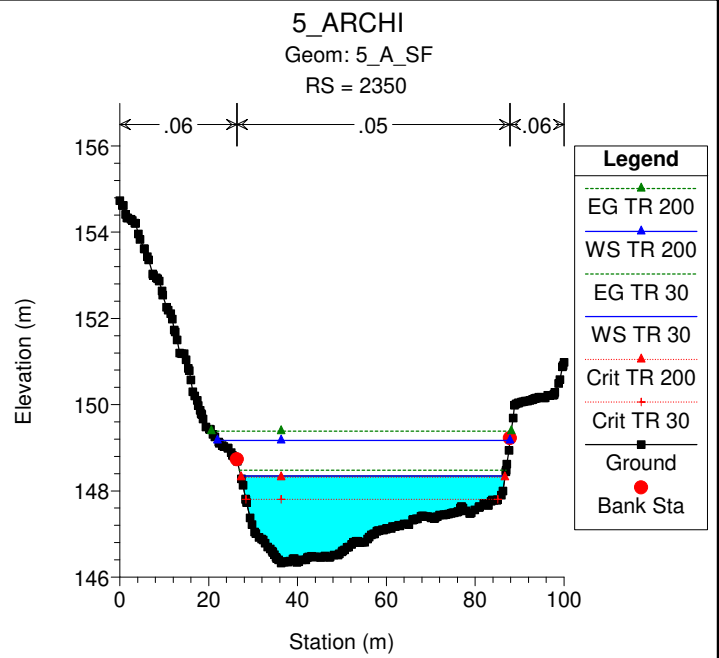
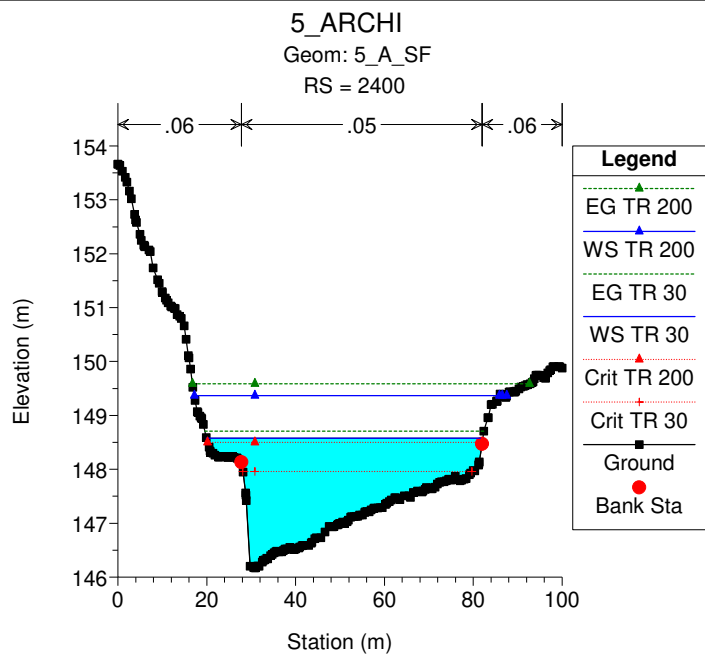
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
5 ARCHI	2703.38	TR 30	125.00	147.84	150.04	149.62	150.28	0.009123	2.18	57.46	47.08	0.63
5 ARCHI	2703.38	TR 200	260.00	147.84	150.81	150.29	151.18	0.007905	2.72	99.18	62.45	0.63
5 ARCHI	2650	TR 30	125.00	147.20	149.75	149.10	149.92	0.004701	1.83	69.66	50.92	0.47
5 ARCHI	2650	TR 200	260.00	147.20	150.53	149.74	150.83	0.004915	2.45	115.11	71.05	0.51
5 ARCHI	2600	TR 30	125.00	147.35	149.27	148.94	149.57	0.010748	2.42	51.68	40.48	0.68
5 ARCHI	2600	TR 200	260.00	147.35	149.93	149.66	150.44	0.011655	3.20	84.94	60.63	0.76
5 ARCHI	2550	TR 30	125.00	147.07	149.12	148.42	149.23	0.003481	1.42	89.09	72.69	0.39
5 ARCHI	2550	TR 200	260.00	147.07	149.91	148.96	150.07	0.002983	1.79	153.01	87.24	0.39
5 ARCHI	2500	TR 30	125.00	146.67	148.96	148.19	149.06	0.003023	1.44	89.00	67.99	0.37
5 ARCHI	2500	TR 200	260.00	146.67	149.75	148.75	149.92	0.002964	1.89	148.48	81.47	0.40
5 ARCHI	2450	TR 30	125.00	146.36	148.78	148.09	148.90	0.003464	1.56	85.79	70.45	0.40
5 ARCHI	2450	TR 200	260.00	146.36	149.58	148.69	149.77	0.003275	2.00	143.23	73.85	0.42
5 ARCHI	2400	TR 30	125.00	146.17	148.58	147.96	148.71	0.004185	1.61	79.31	62.25	0.43
5 ARCHI	2400	TR 200	260.00	146.17	149.37	148.50	149.58	0.003891	2.09	130.70	69.70	0.45
5 ARCHI	2350	TR 30	125.00	146.33	148.34	147.81	148.48	0.004945	1.64	75.99	59.53	0.46
5 ARCHI	2350	TR 200	260.00	146.33	149.17	148.31	149.38	0.004157	2.06	126.92	65.82	0.46
5 ARCHI	2300	TR 30	125.00	146.21	148.05	147.53	148.22	0.005628	1.80	69.29	51.70	0.50
5 ARCHI	2300	TR 200	260.00	146.21	148.88	148.08	149.15	0.005203	2.28	114.11	58.16	0.51
5 ARCHI	2250	TR 30	125.00	145.99	147.79	147.22	147.95	0.004979	1.73	72.16	52.27	0.47
5 ARCHI	2250	TR 200	260.00	145.99	148.67	147.77	148.90	0.004233	2.16	122.45	62.06	0.47
5 ARCHI	2200	TR 30	125.00	145.75	147.63	146.94	147.74	0.003096	1.48	90.91	70.79	0.38
5 ARCHI	2200	TR 200	260.00	145.75	148.58	147.44	148.72	0.002340	1.77	171.60	98.57	0.36
5 ARCHI	2150	TR 30	125.00	145.54	147.51	146.72	147.60	0.002513	1.33	95.43	66.04	0.34
5 ARCHI	2150	TR 200	260.00	145.54	148.48	147.21	148.61	0.002014	1.65	168.17	86.26	0.33
5 ARCHI	2100	TR 30	125.00	144.76	146.94	146.69	147.33	0.012643	2.74	45.64	33.76	0.75
5 ARCHI	2100	TR 200	260.00	144.76	147.53	147.43	148.32	0.016873	3.94	66.30	36.23	0.91
5 ARCHI	2050	TR 30	125.00	144.82	146.59	146.16	146.80	0.007498	2.02	61.93	48.79	0.57
5 ARCHI	2050	TR 200	260.00	144.82	147.21	146.74	147.61	0.008951	2.79	93.52	53.12	0.66
5 ARCHI	2000	TR 30	125.00	144.62	146.25	145.84	146.42	0.007174	1.82	68.67	61.53	0.55
5 ARCHI	2000	TR 200	260.00	144.62	146.89	146.35	147.19	0.006799	2.39	109.49	67.92	0.58
5 ARCHI	1950	TR 30	125.00	144.30	145.84	145.46	146.03	0.008080	1.95	64.15	56.63	0.58
5 ARCHI	1950	TR 200	260.00	144.30	146.54	146.03	146.84	0.007218	2.41	109.79	70.24	0.59
5 ARCHI	1900	TR 30	125.00	143.72	145.59	145.00	145.72	0.004454	1.60	78.21	59.09	0.44
5 ARCHI	1900	TR 200	260.00	143.72	146.29	145.52	146.53	0.004811	2.15	121.70	70.79	0.49
5 ARCHI	1850	TR 30	125.00	143.67	145.32	144.82	145.48	0.005146	1.80	75.20	67.07	0.48
5 ARCHI	1850	TR 200	260.00	143.67	146.02	145.39	146.28	0.005113	2.35	124.50	74.11	0.52
5 ARCHI	1800	TR 30	125.00	143.34	145.14	144.52	145.26	0.003528	1.62	89.26	74.57	0.41
5 ARCHI	1800	TR 200	260.00	143.34	145.84	145.08	146.04	0.003800	2.15	144.79	84.21	0.45
5 ARCHI	1750	TR 30	125.00	143.19	144.91	144.36	145.05	0.004665	1.71	77.39	66.93	0.46
5 ARCHI	1750	TR 200	260.00	143.19	145.57	144.92	145.82	0.005022	2.29	126.52	82.38	0.51
5 ARCHI	1700	TR 30	125.00	143.07	144.67	144.18	144.81	0.005010	1.74	77.98	69.12	0.48
5 ARCHI	1700	TR 200	260.00	143.07	145.30	144.68	145.55	0.005545	2.36	124.76	80.42	0.53
5 ARCHI	1650	TR 30	125.00	142.95	144.44	143.95	144.56	0.004791	1.55	81.28	70.72	0.45
5 ARCHI	1650	TR 200	260.00	142.95	145.06	144.40	145.28	0.005013	2.09	125.87	72.91	0.50
5 ARCHI	1600	TR 30	125.00	142.82	144.12	143.81	144.27	0.007196	1.77	77.04	86.41	0.55
5 ARCHI	1600	TR 200	260.00	142.82	144.83	144.24	145.02	0.004855	2.05	140.21	89.45	0.49
5 ARCHI	1550	TR 30	125.00	142.24	143.83	143.31	143.97	0.004791	1.64	76.82	61.83	0.46
5 ARCHI	1550	TR 200	260.00	142.24	144.55	143.80	144.78	0.004597	2.16	125.70	73.09	0.49
5 ARCHI	1500	TR 30	125.00	141.72	143.68	142.90	143.78	0.002787	1.41	89.03	61.27	0.36
5 ARCHI	1500	TR 200	260.00	141.72	144.38	143.41	144.58	0.003349	1.99	137.60	74.59	0.42
5 ARCHI	1450	TR 30	125.00	141.59	143.42	142.93	143.58	0.005891	1.78	70.18	55.63	0.51
5 ARCHI	1450	TR 200	260.00	141.59	144.03	143.46	144.34	0.006734	2.47	108.22	68.93	0.58
5 ARCHI	1400	TR 30	125.00	141.37	143.13	142.65	143.29	0.005722	1.74	72.05	60.36	0.50

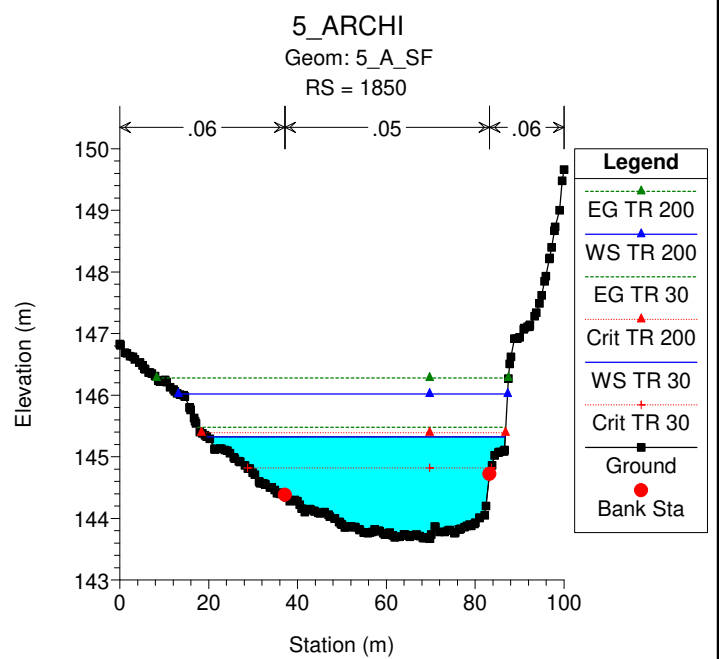
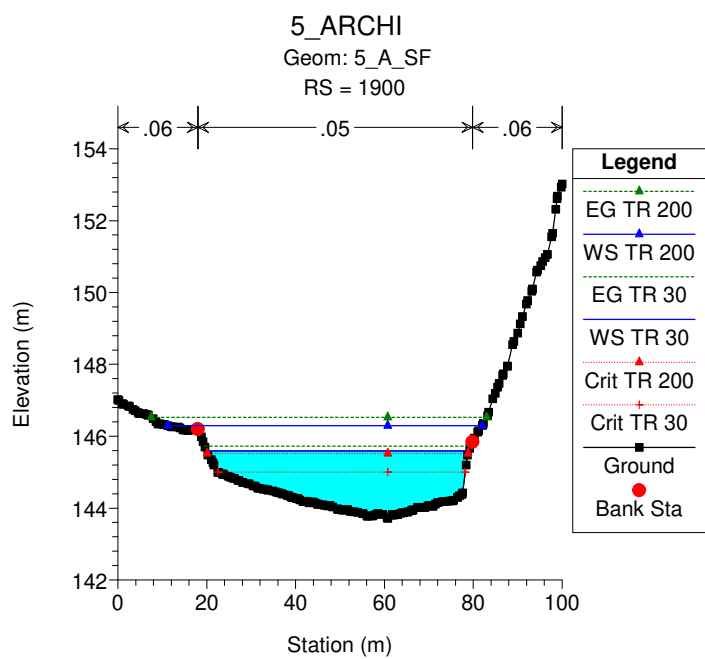
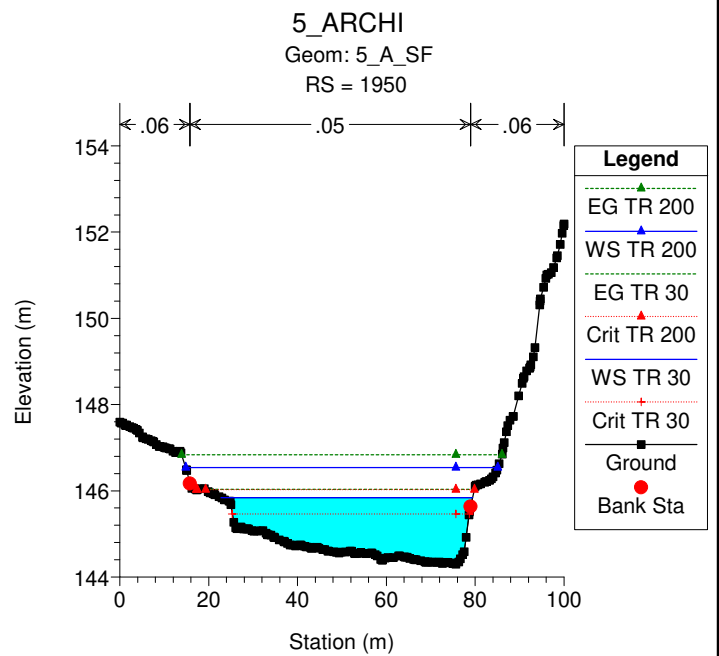
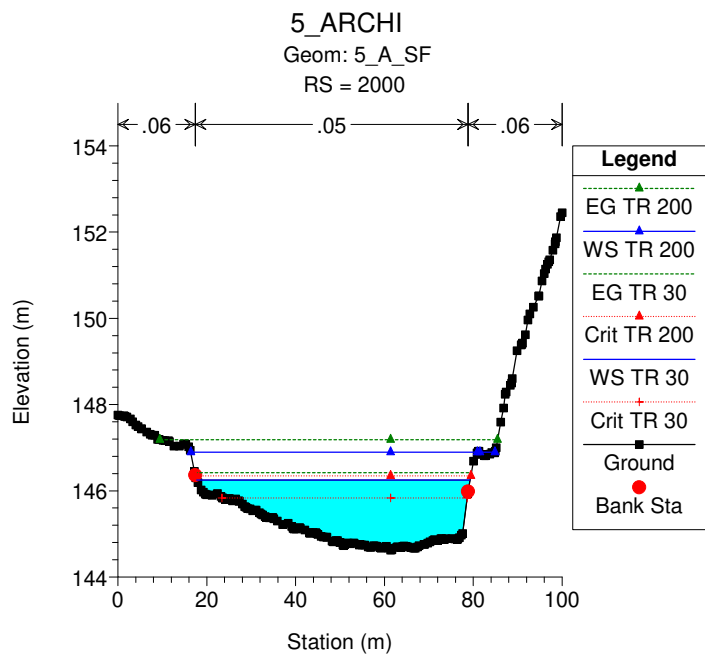
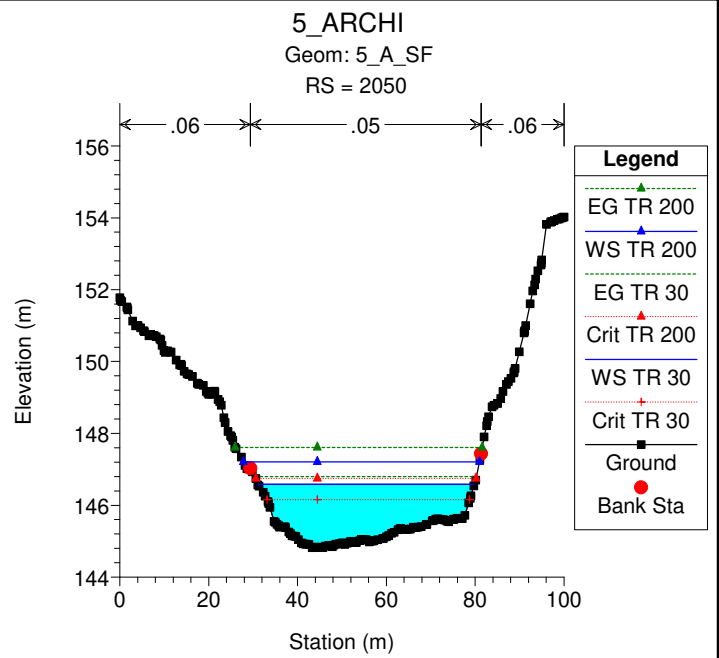
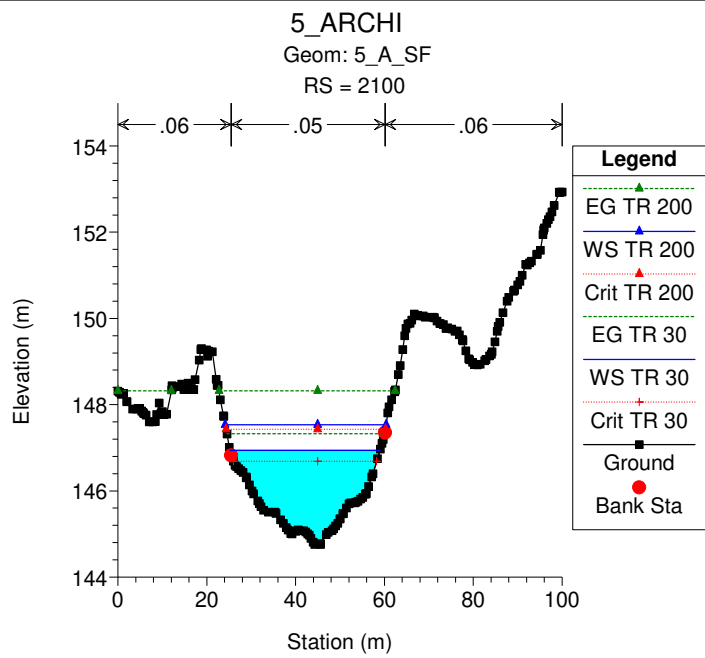
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
5 ARCHI	1400	TR 200	260.00	141.37	143.68	143.17	143.99	0.007098	2.48	108.81	71.05	0.59
5 ARCHI	1350	TR 30	125.00	141.13	142.73	142.45	142.92	0.009302	1.93	66.09	74.32	0.62
5 ARCHI	1350	TR 200	260.00	141.13	143.29	142.93	143.60	0.008816	2.50	108.83	80.08	0.64
5 ARCHI	1300	TR 30	125.00	140.80	142.28	142.01	142.45	0.009391	1.83	68.43	75.26	0.61
5 ARCHI	1300	TR 200	260.00	140.80	142.97	142.44	143.21	0.006269	2.17	120.80	77.07	0.55
5 ARCHI	1250	TR 30	125.00	140.24	142.02	141.46	142.13	0.004237	1.46	85.78	73.55	0.43
5 ARCHI	1250	TR 200	260.00	140.24	142.79	141.92	142.96	0.003442	1.83	144.24	78.74	0.42
5 ARCHI	1200	TR 30	125.00	140.03	141.71	141.34	141.86	0.006833	1.70	74.24	74.67	0.53
5 ARCHI	1200	TR 200	260.00	140.03	142.61	141.79	142.78	0.003600	1.86	144.56	82.83	0.43
5 ARCHI	1150	TR 30	125.00	138.97	140.63	140.63	141.24	0.023741	3.44	36.30	30.12	1.00
5 ARCHI	1150	TR 200	260.00	138.97	141.40	141.40	142.35	0.019541	4.32	60.94	33.38	0.99
5 ARCHI	1100	TR 30	125.00	138.22	140.25	139.64	140.44	0.005017	1.97	69.27	67.75	0.49
5 ARCHI	1100	TR 200	260.00	138.22	140.97	140.50	141.23	0.004763	2.45	135.12	98.84	0.51
5 ARCHI	1050	TR 30	125.00	138.13	139.96	139.55	140.15	0.006749	1.97	67.31	62.33	0.55
5 ARCHI	1050	TR 200	260.00	138.13	140.62	140.12	140.94	0.006893	2.60	111.59	80.27	0.59
5 ARCHI	1000	TR 30	125.00	137.50	139.79	138.99	139.92	0.002977	1.61	89.67	80.60	0.38
5 ARCHI	1000	TR 200	260.00	137.50	140.47	139.73	140.67	0.003439	2.14	148.54	89.35	0.43
5 ARCHI	950	TR 30	125.00	137.34	139.67	138.85	139.77	0.002553	1.54	95.47	76.96	0.36
5 ARCHI	950	TR 200	260.00	137.34	140.29	139.50	140.50	0.003458	2.17	147.26	87.83	0.44
5 ARCHI	900	TR 30	125.00	137.53	139.30	139.05	139.53	0.011781	2.12	60.54	72.21	0.69
5 ARCHI	900	TR 200	260.00	137.53	139.94	139.60	140.23	0.008513	2.45	113.39	86.37	0.63
5 ARCHI	850	TR 30	125.00	136.58	138.17	138.17	138.67	0.024928	3.12	40.02	40.28	1.00
5 ARCHI	850	TR 200	260.00	136.58	138.84	138.84	139.53	0.022998	3.67	70.88	52.71	1.01
5 ARCHI	800	TR 30	125.00	135.49	137.96	137.34	138.02	0.003286	1.17	121.18	119.75	0.37
5 ARCHI	800	TR 200	260.00	135.49	138.79	137.75	138.85	0.002302	1.20	231.18	152.75	0.32
5 ARCHI	750	TR 30	125.00	135.89	137.77	137.35	137.83	0.004319	1.27	115.81	142.97	0.42
5 ARCHI	750	TR 200	260.00	135.89	138.70	137.69	138.76	0.001491	1.17	260.69	169.27	0.27
5 ARCHI	700	TR 30	125.00	135.66	137.65	136.81	137.68	0.002038	0.78	163.31	173.29	0.27
5 ARCHI	700	TR 200	260.00	135.66	138.67	137.26	138.69	0.000845	0.85	352.10	206.01	0.20
5 ARCHI	675.48	TR 30	125.00	135.47	137.60	136.78	137.64	0.001458	0.85	167.82	170.02	0.25
5 ARCHI	675.48	TR 200	260.00	135.47	138.65	137.20	138.68	0.000611	0.84	363.49	207.06	0.18
5 ARCHI	610.31	TR 30	125.00	134.78	137.41	136.73	137.49	0.003521	1.29	107.58	140.61	0.39
5 ARCHI	610.31	TR 200	260.00	134.78	138.57	137.33	138.62	0.000977	1.08	279.17	153.07	0.23
5 ARCHI	550	TR 30	125.00	134.43	137.12	136.38	137.25	0.004396	1.59	79.38	67.35	0.44
5 ARCHI	550	TR 200	260.00	134.43	138.45	137.05	138.55	0.001432	1.45	203.98	97.64	0.28
5 ARCHI	500	TR 30	125.00	134.05	136.94	135.98	137.06	0.003189	1.50	84.14	63.69	0.39
5 ARCHI	500	TR 200	260.00	134.05	138.40	136.66	138.48	0.001037	1.33	230.42	104.30	0.25
5 ARCHI	470	TR 30	125.00	133.29	136.88	135.68	136.97	0.002140	1.34	103.66	109.95	0.32
5 ARCHI	470	TR 200	260.00	133.29	138.40	136.46	138.45	0.000702	1.16	276.31	115.89	0.20
5 ARCHI	443.64	TR 30	125.00	133.33	136.78	135.60	136.91	0.002519	1.59	78.49	37.75	0.35
5 ARCHI	443.64	TR 200	260.00	133.33	138.22	136.35	138.41	0.002039	1.92	135.55	41.15	0.34
5 ARCHI	440		Bridge									
5 ARCHI	436.15	TR 30	125.00	133.32	134.92	135.38	136.47	0.114677	5.50	22.71	30.48	2.04
5 ARCHI	436.15	TR 200	260.00	133.32	135.37	136.11	137.88	0.110116	7.02	37.04	33.36	2.13
5 ARCHI	431.5	TR 30	125.00	132.88	135.55	134.94	135.74	0.005537	1.93	64.81	43.22	0.50
5 ARCHI	431.5	TR 200	260.00	132.88	134.90	135.59	137.30	0.124837	6.87	37.87	39.07	2.23
5 ARCHI	424.9	TR 30	125.00	132.64	135.55	134.83	135.69	0.003933	1.68	74.56	47.11	0.43
5 ARCHI	424.9	TR 200	260.00	132.64	136.23	135.42	136.53	0.005410	2.43	106.93	48.62	0.52
5 ARCHI	410.18	TR 30	125.00	132.85	135.46	134.88	135.62	0.005439	1.78	70.24	52.37	0.49
5 ARCHI	410.18	TR 200	260.00	132.85	136.14	135.48	136.44	0.006340	2.41	107.83	57.02	0.56
5 ARCHI	390	TR 30	125.00	132.89	135.32	134.83	135.50	0.006518	1.88	66.44	52.26	0.53
5 ARCHI	390	TR 200	260.00	132.89	135.96	135.42	136.30	0.007699	2.58	100.88	55.87	0.61

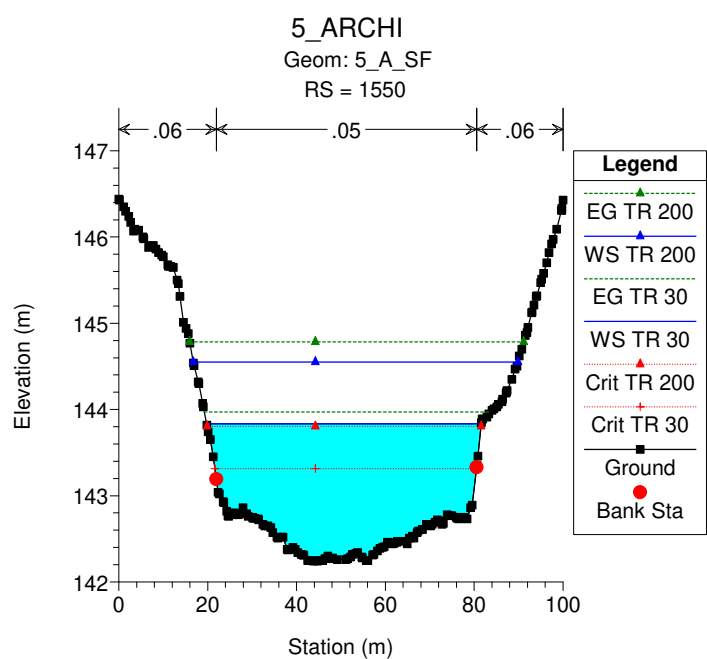
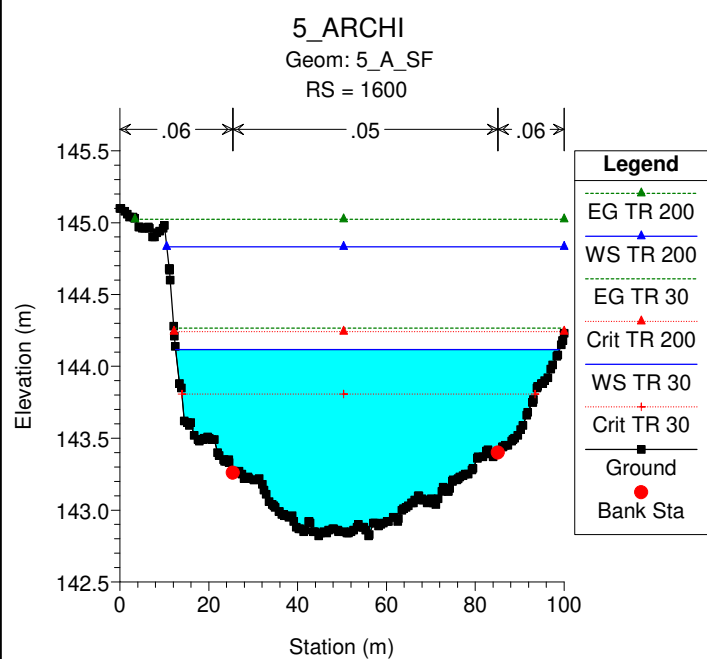
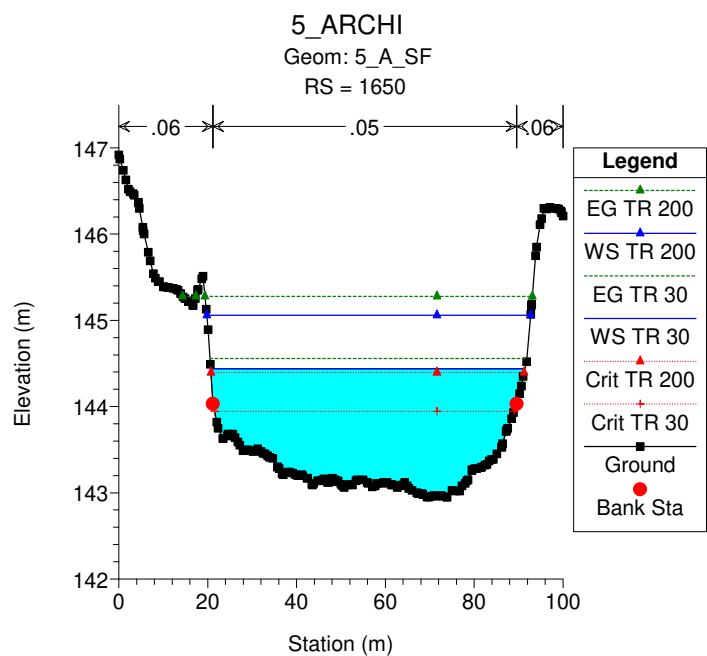
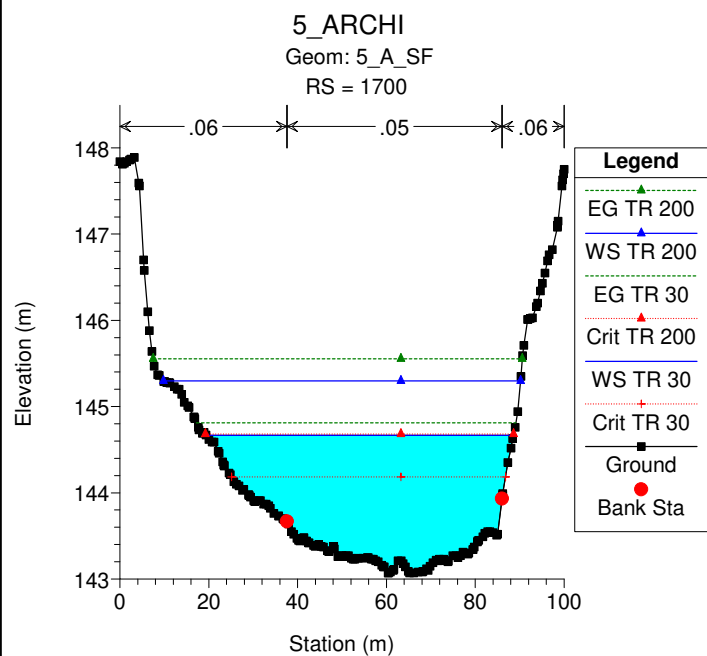
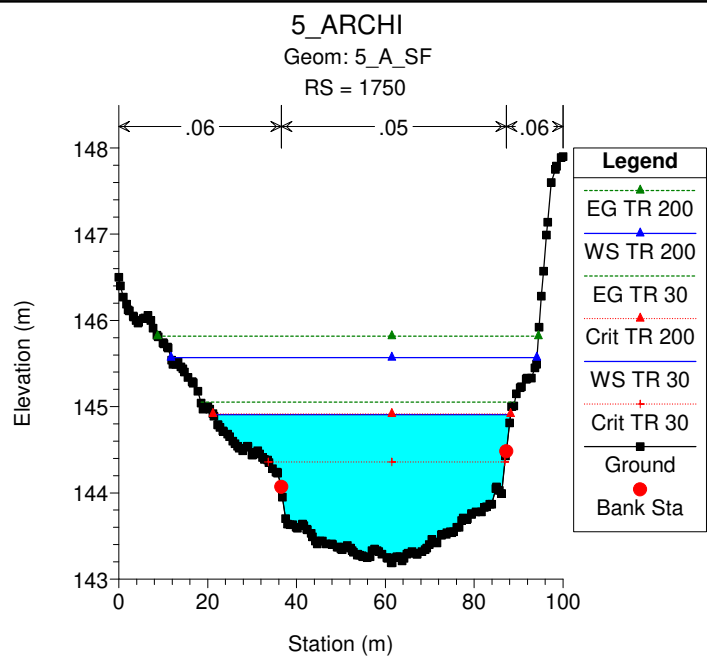
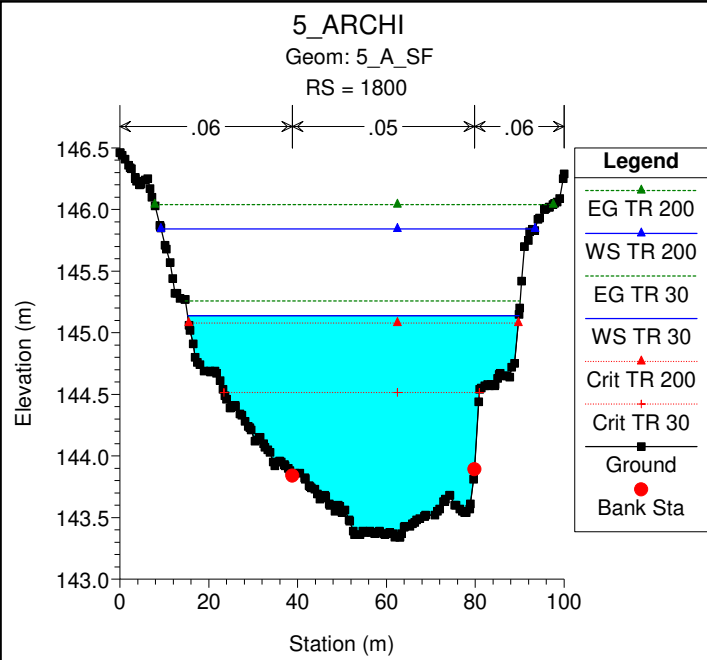
HEC-RAS Plan: PlanSF River: Lamasinata Reach: 5 ARCHI (Continued)

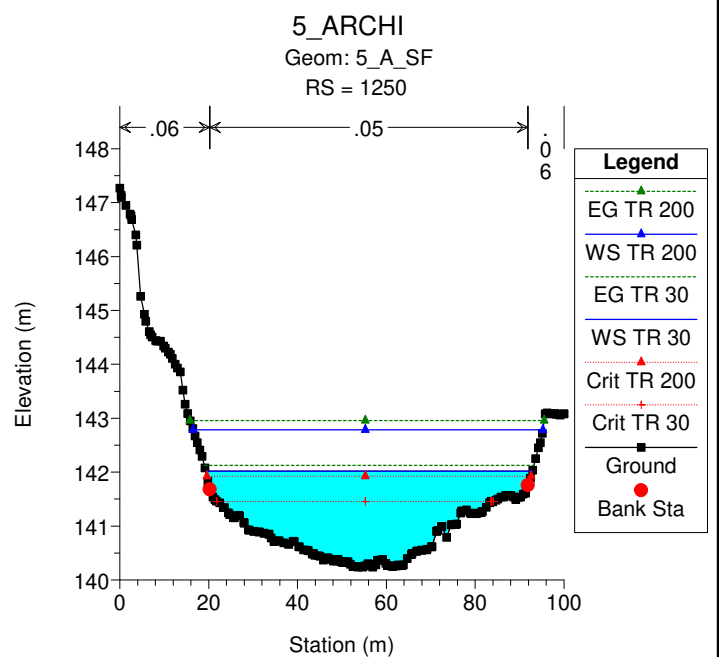
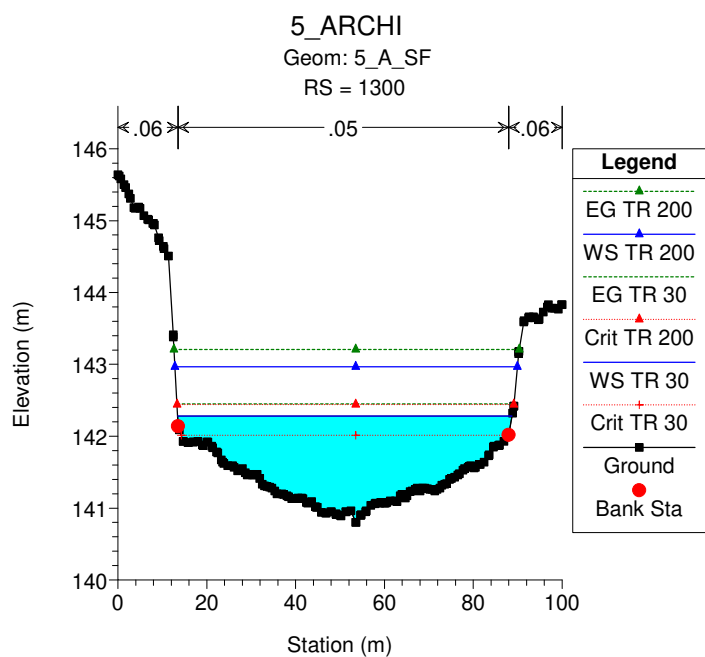
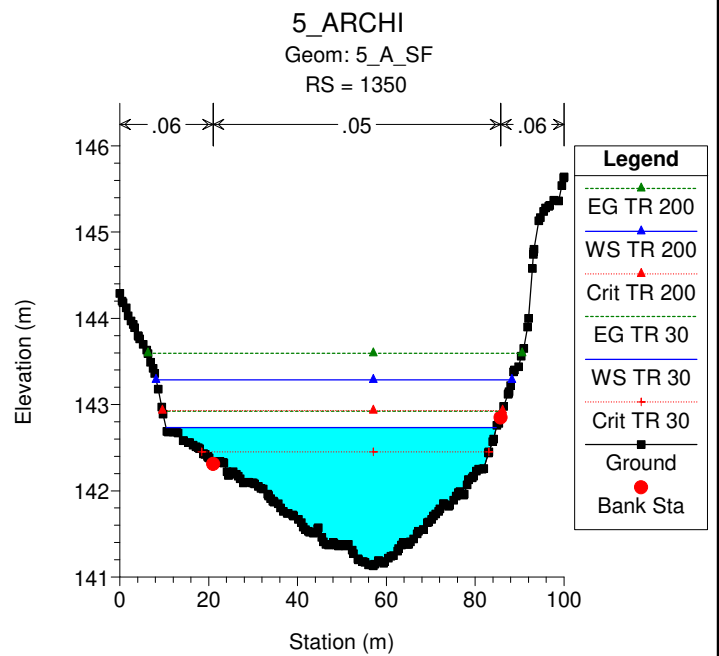
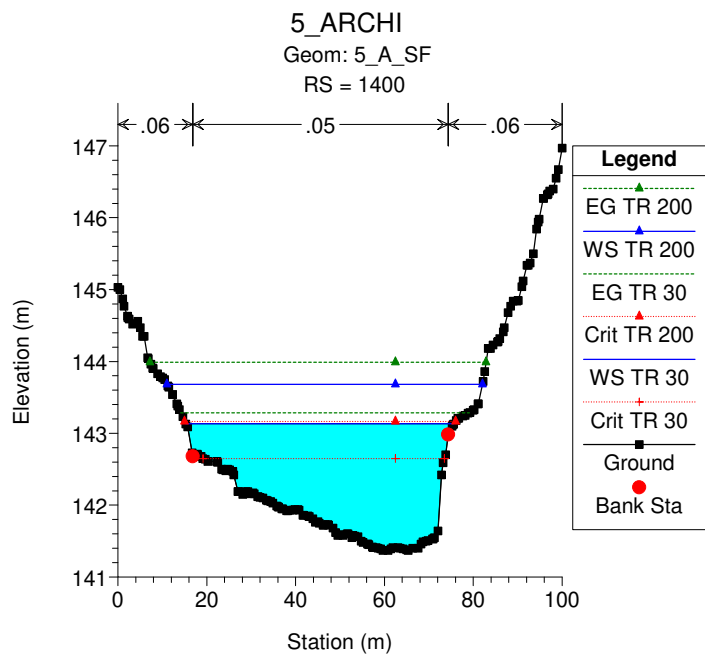
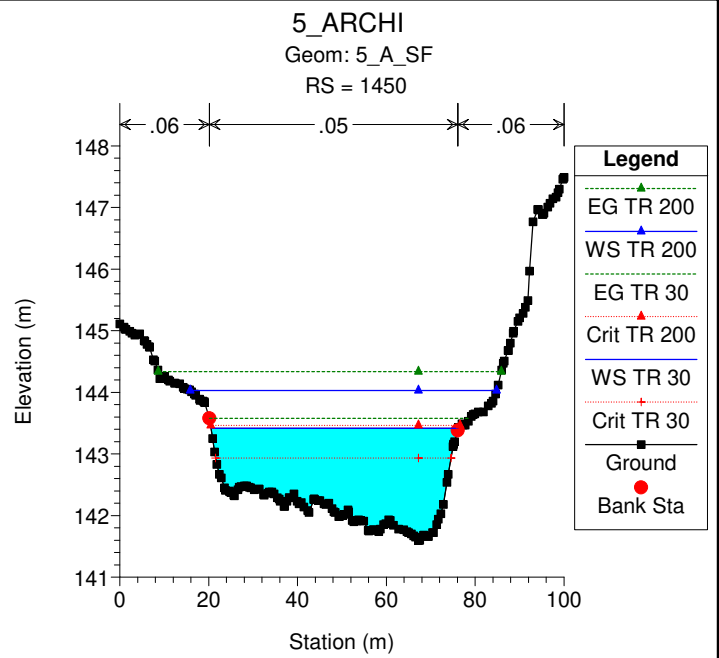
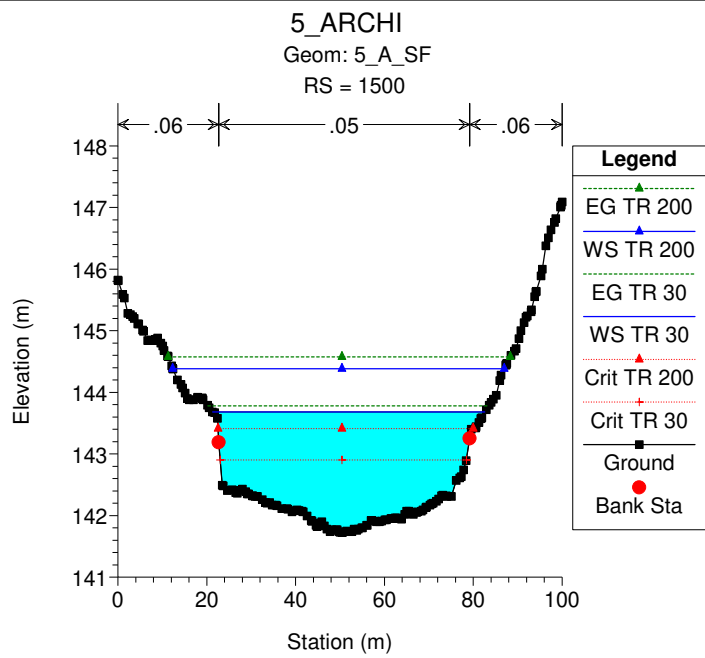
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
5 ARCHI	350	TR 30	125.00	132.37	134.98	134.57	135.20	0.008864	2.04	61.29	53.59	0.61
5 ARCHI	350	TR 200	260.00	132.37	135.60	135.22	135.95	0.009983	2.61	101.66	76.44	0.68
5 ARCHI	300	TR 30	125.00	132.75	134.59	134.24	134.78	0.007618	1.96	66.39	66.29	0.57
5 ARCHI	300	TR 200	260.00	132.75	135.11	134.76	135.47	0.009061	2.72	105.70	85.08	0.66
5 ARCHI	250	TR 30	125.00	132.37	134.29	133.85	134.42	0.006313	1.60	78.19	77.21	0.51
5 ARCHI	250	TR 200	260.00	132.37	134.88	134.32	135.07	0.005468	2.00	139.39	115.21	0.51
5 ARCHI	200	TR 30	125.00	131.90	133.82	133.52	134.01	0.010247	1.96	63.90	66.87	0.64
5 ARCHI	200	TR 200	260.00	131.90	134.50	134.04	134.75	0.007452	2.24	119.63	100.70	0.59
5 ARCHI	150	TR 30	125.00	131.21	133.51	132.79	133.65	0.005071	1.65	75.69	59.93	0.47
5 ARCHI	150	TR 200	260.00	131.21	134.18	133.48	134.42	0.005649	2.17	119.76	68.12	0.52
5 ARCHI	100	TR 30	125.00	130.99	133.13	132.70	133.32	0.008242	1.95	63.96	56.78	0.59
5 ARCHI	100	TR 200	260.00	130.99	133.66	133.30	134.03	0.010997	2.68	96.95	66.41	0.71
5 ARCHI	50	TR 30	125.00	130.94	132.87	132.31	132.98	0.005147	1.46	85.40	82.74	0.46
5 ARCHI	50	TR 200	260.00	130.94	133.39	132.82	133.59	0.005770	1.99	130.84	88.54	0.52
5 ARCHI	0	TR 30	125.00	130.93	132.62	132.16	132.72	0.005002	1.36	91.84	97.34	0.45
5 ARCHI	0	TR 200	260.00	130.93	133.14	132.58	133.31	0.005004	1.82	143.28	100.86	0.48

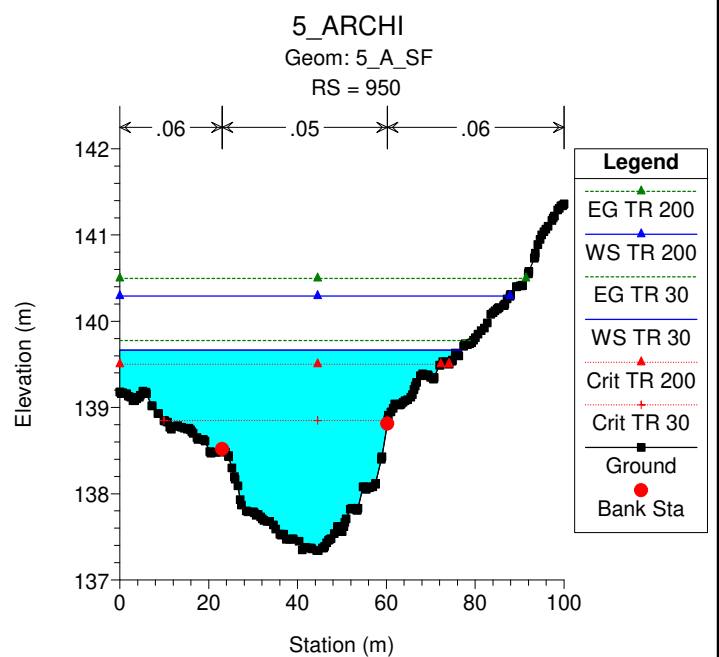
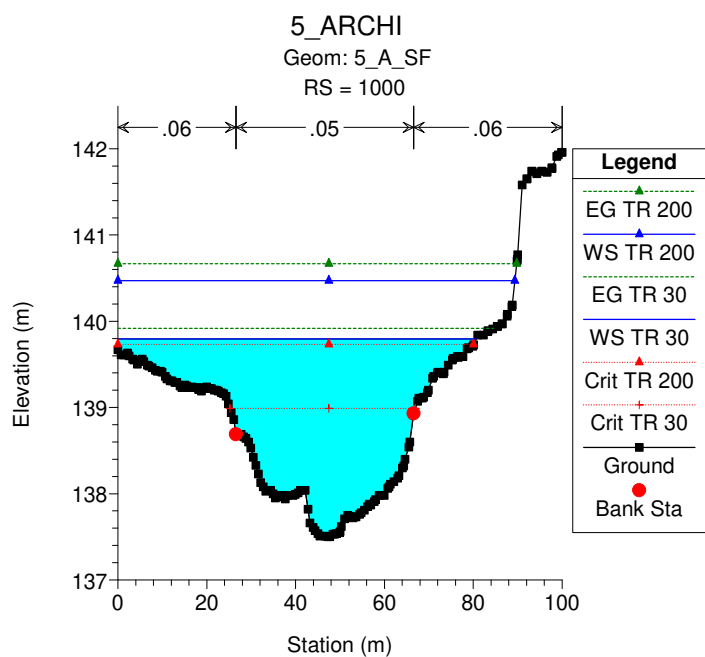
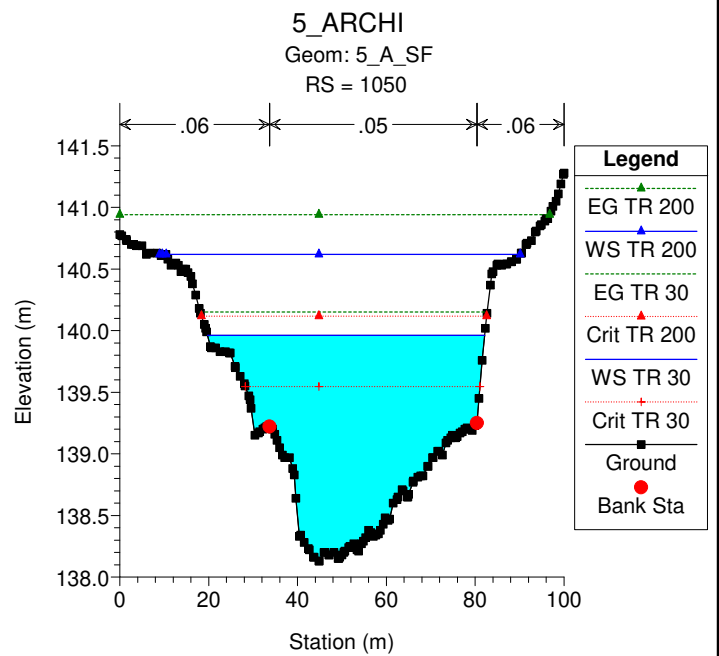
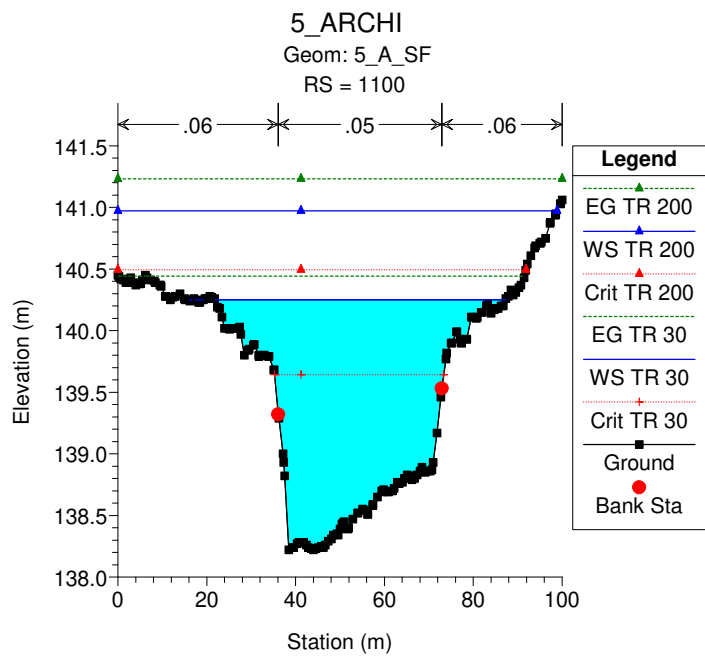
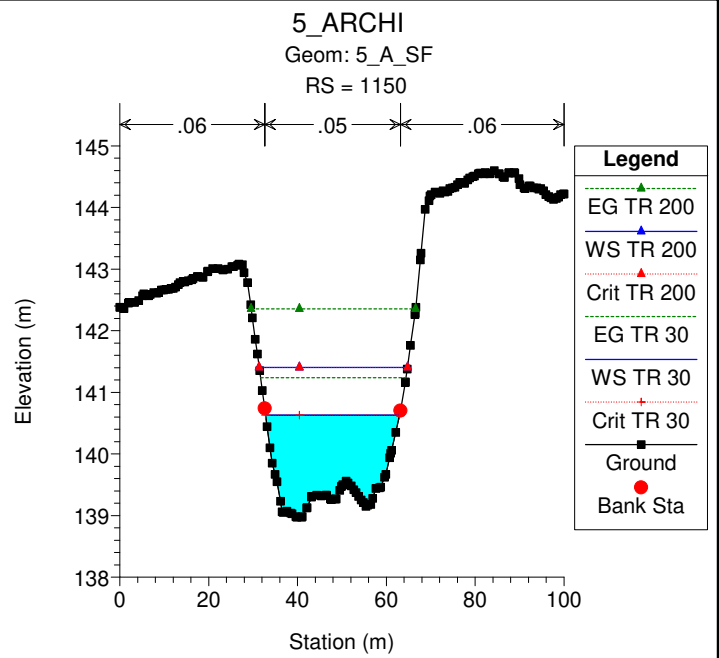
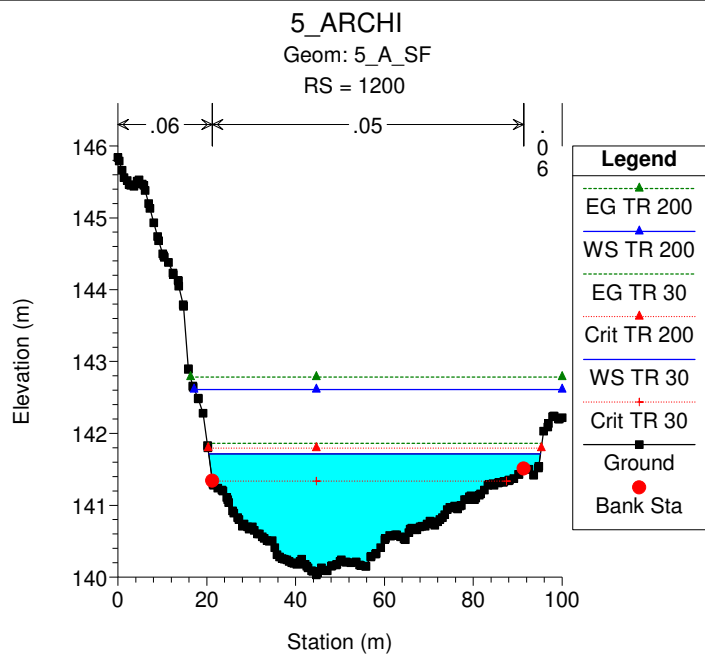


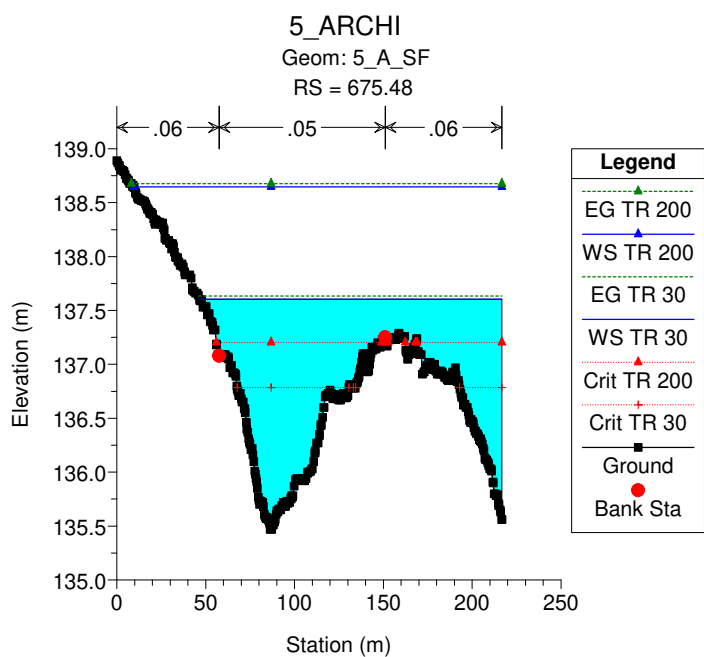
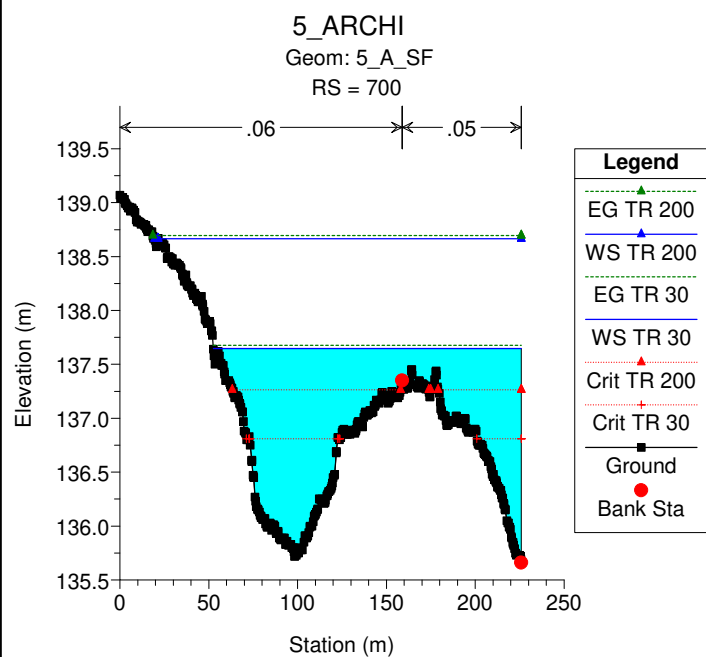
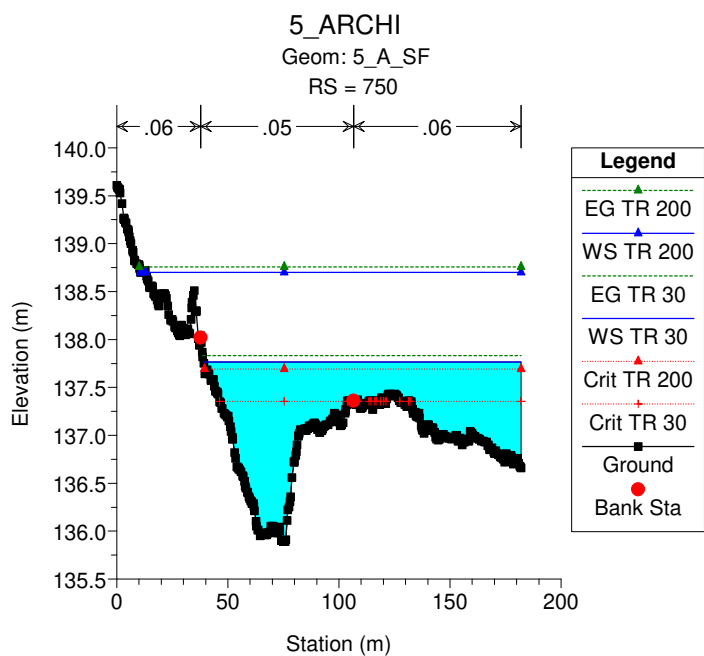
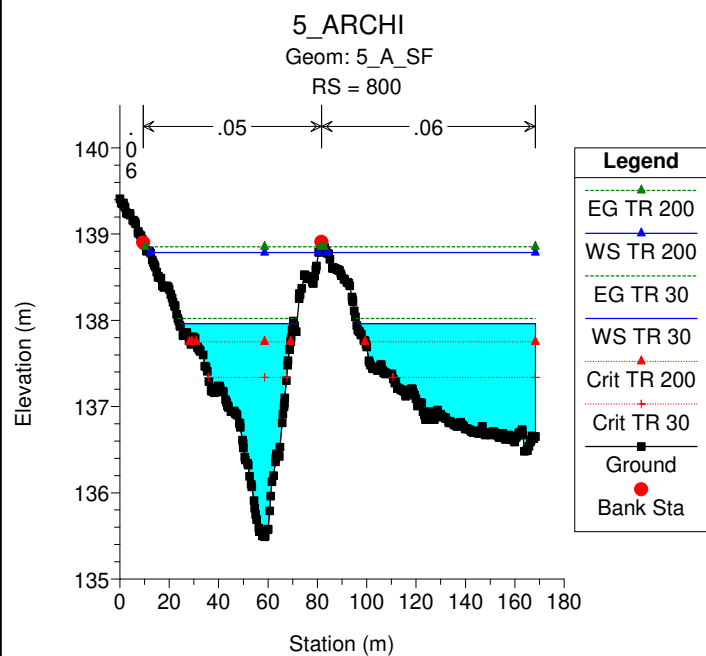
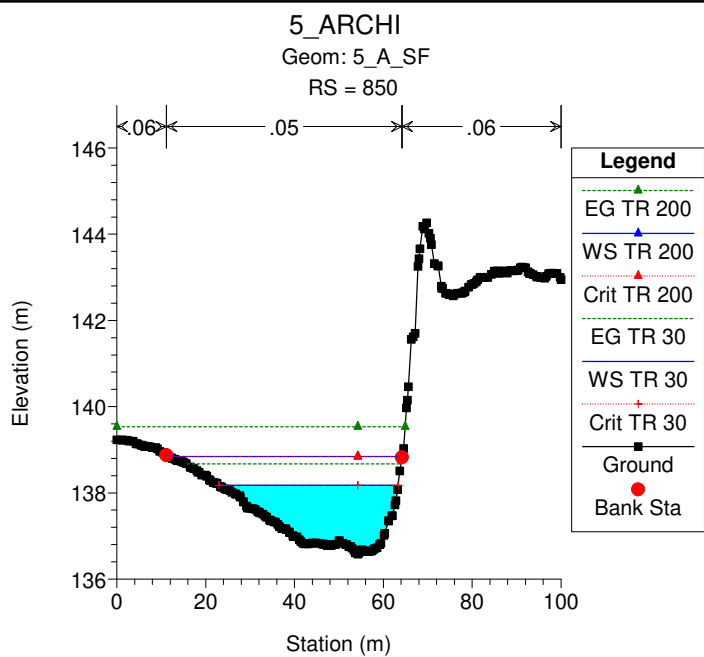
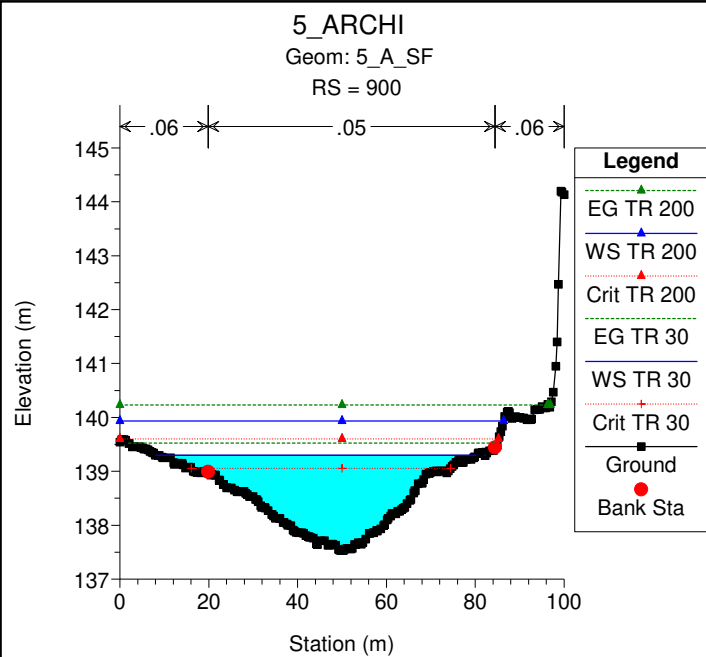


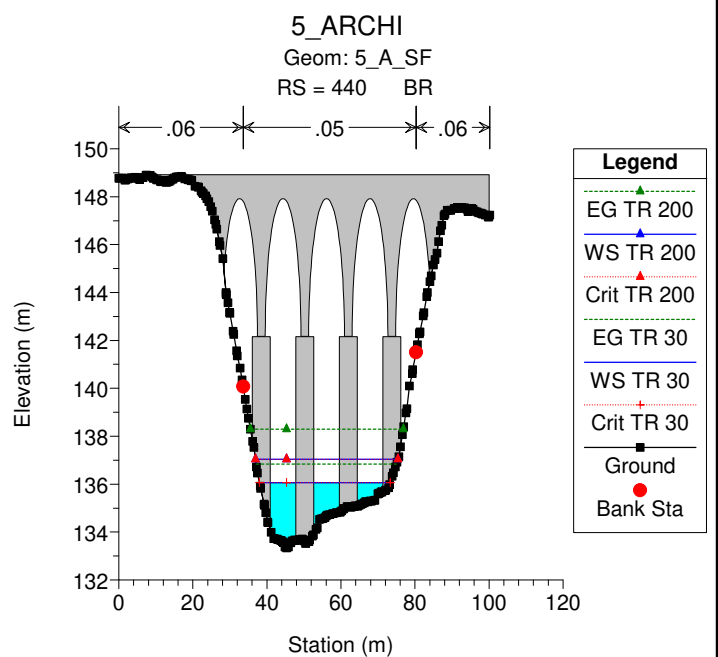
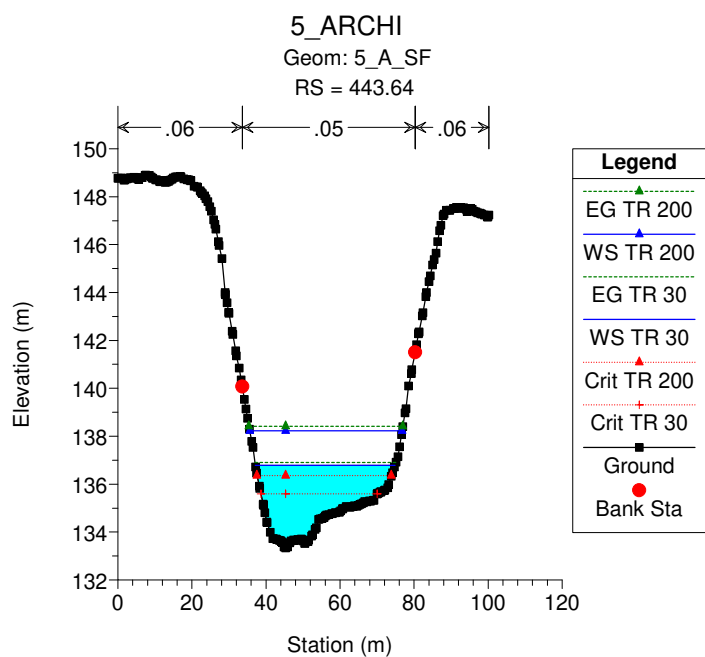
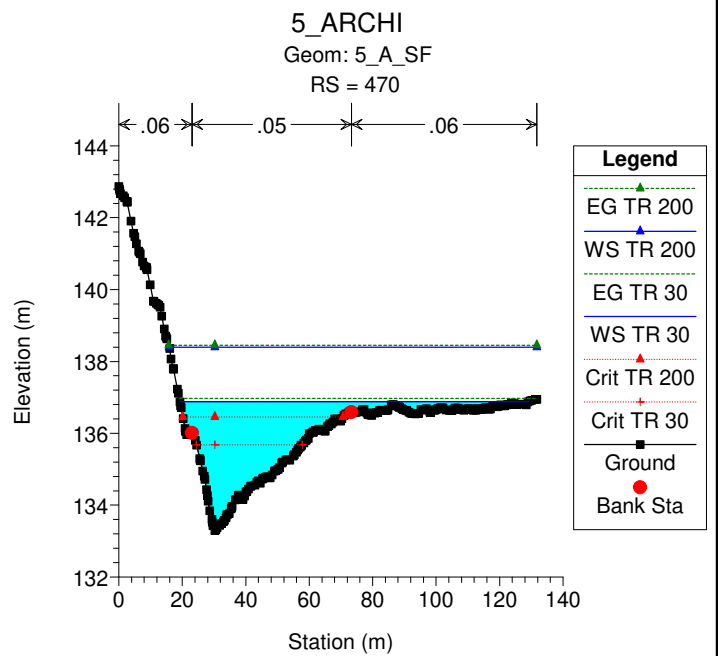
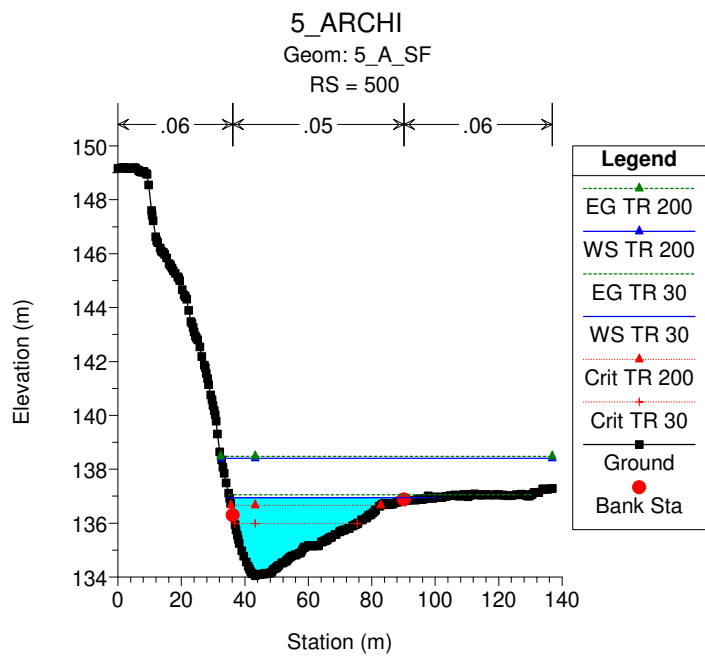
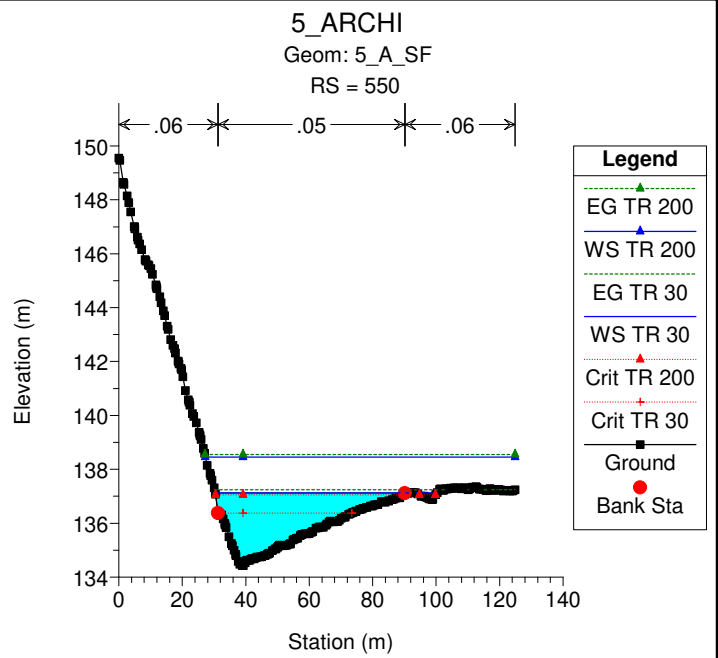
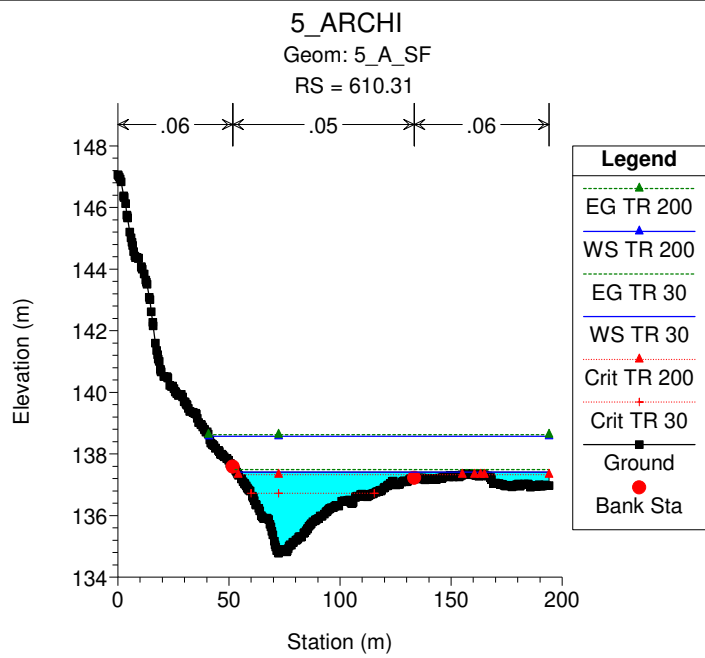


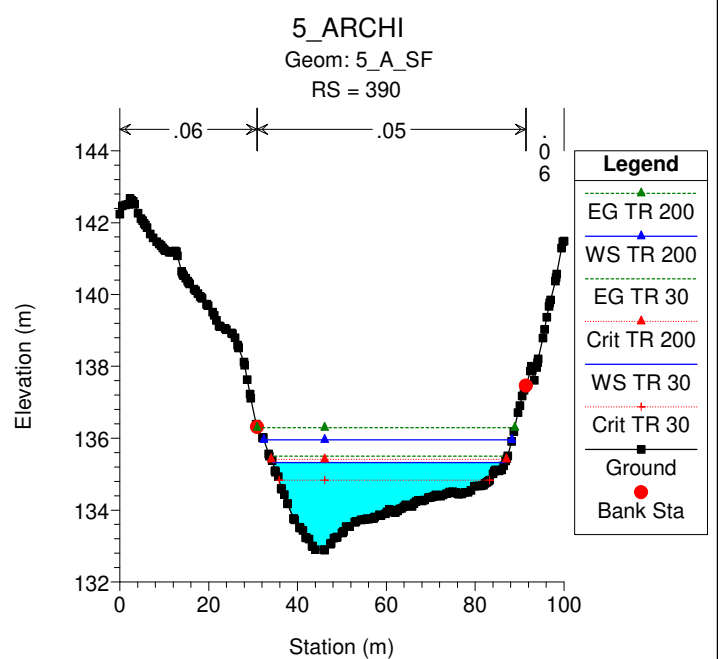
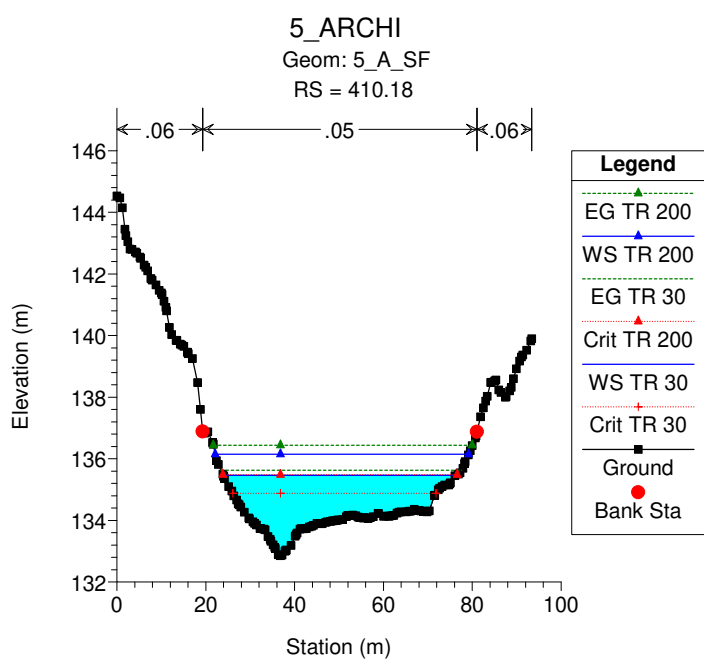
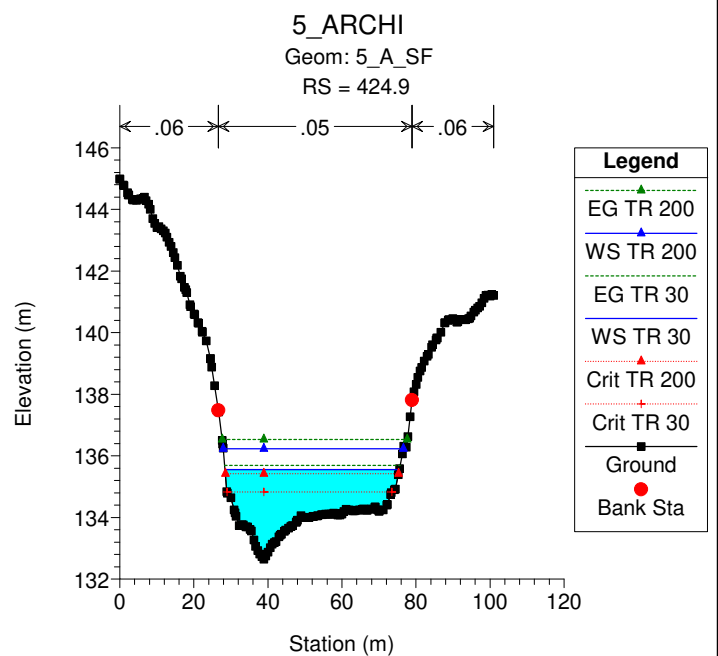
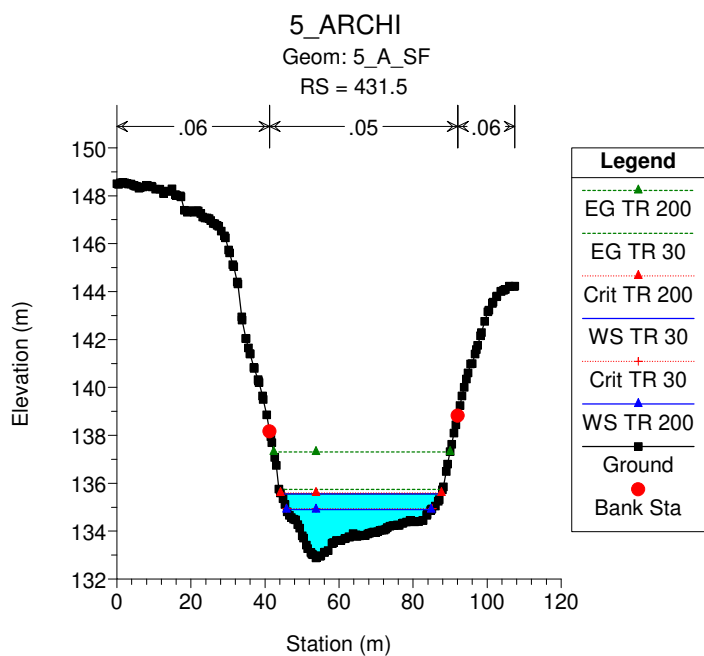
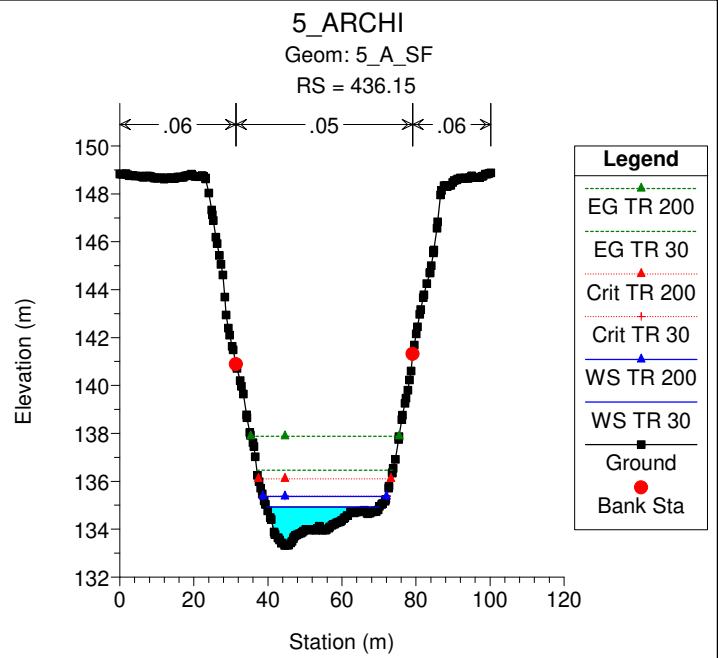
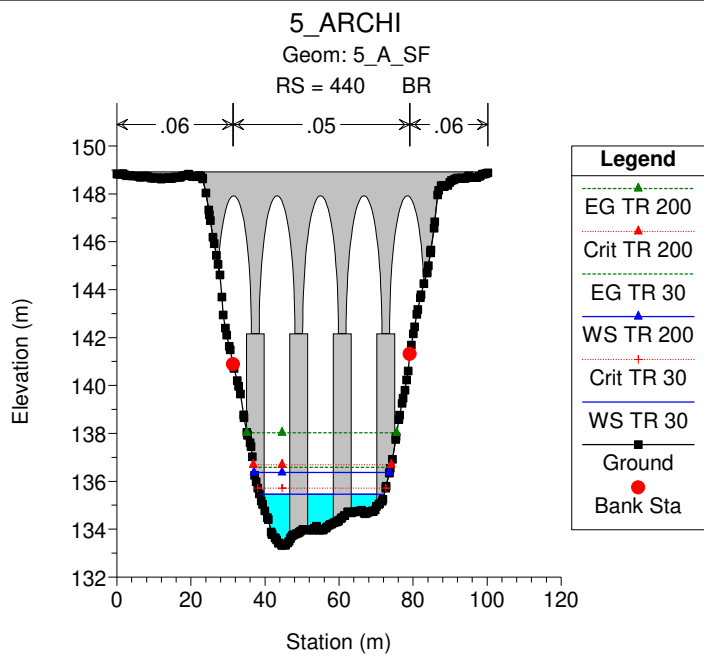


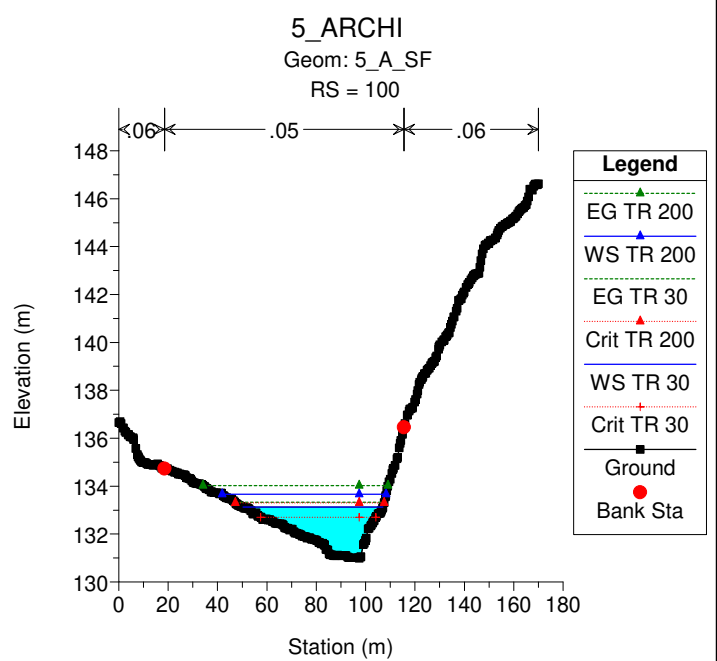
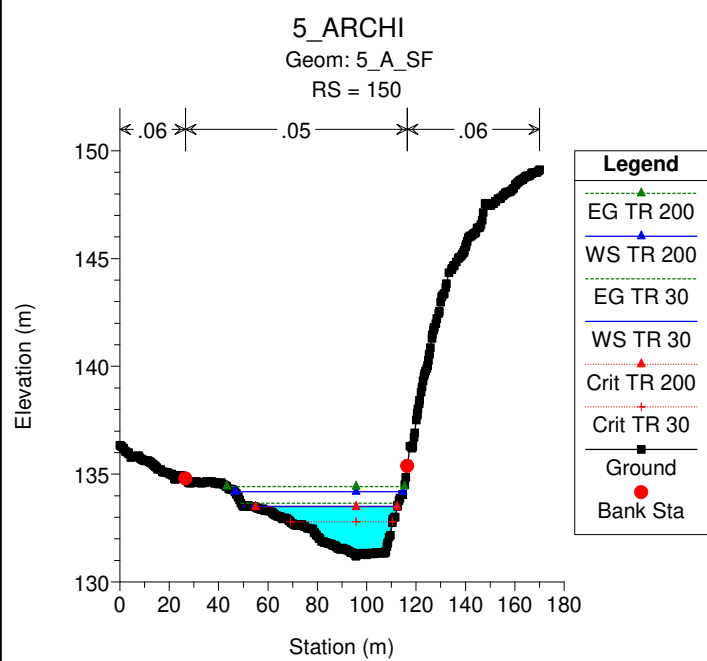
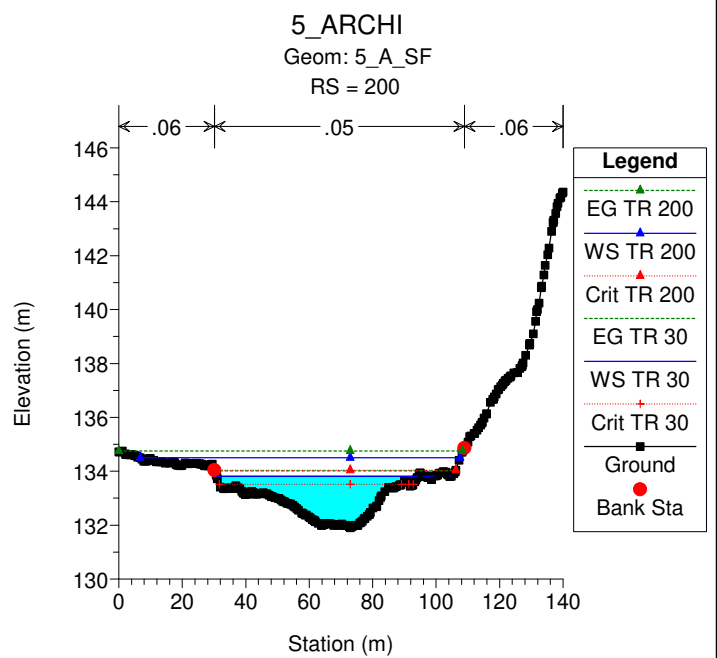
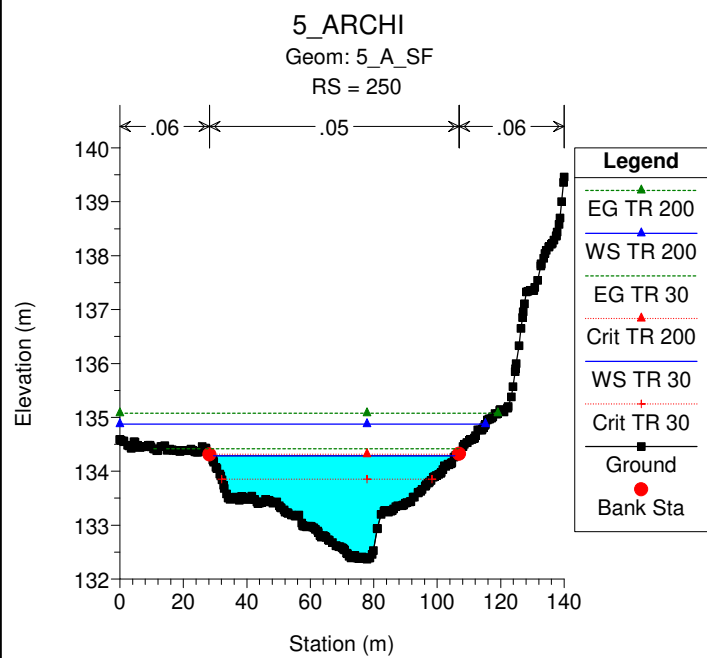
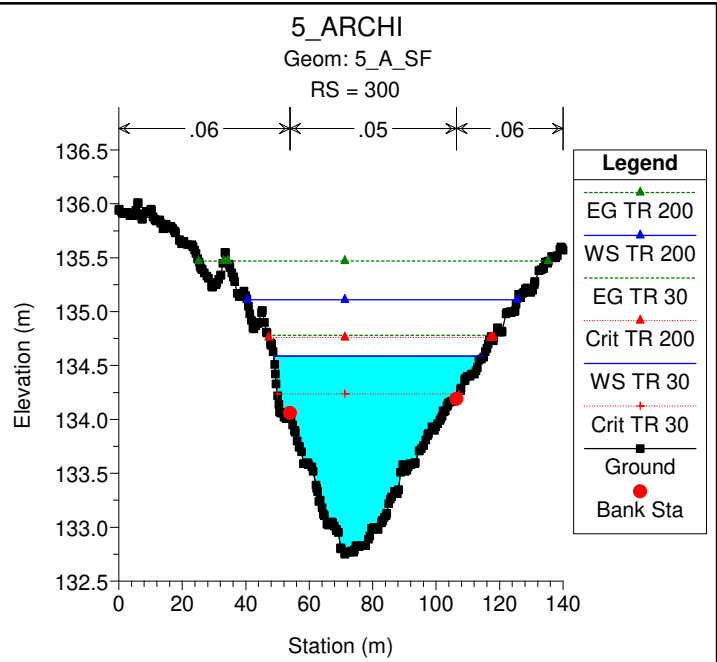
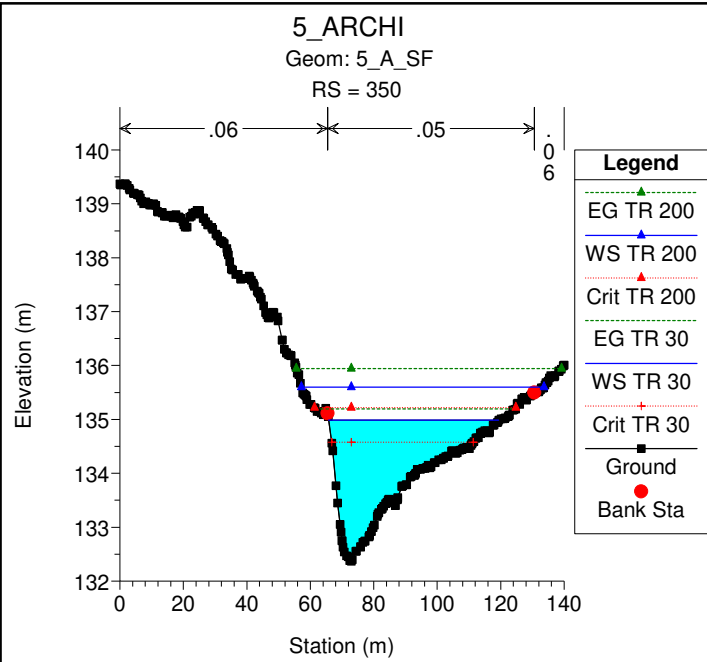


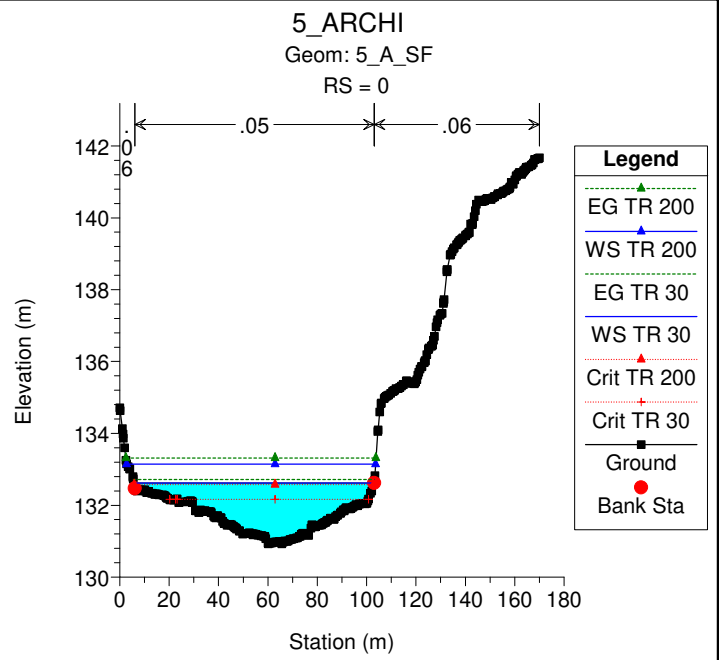
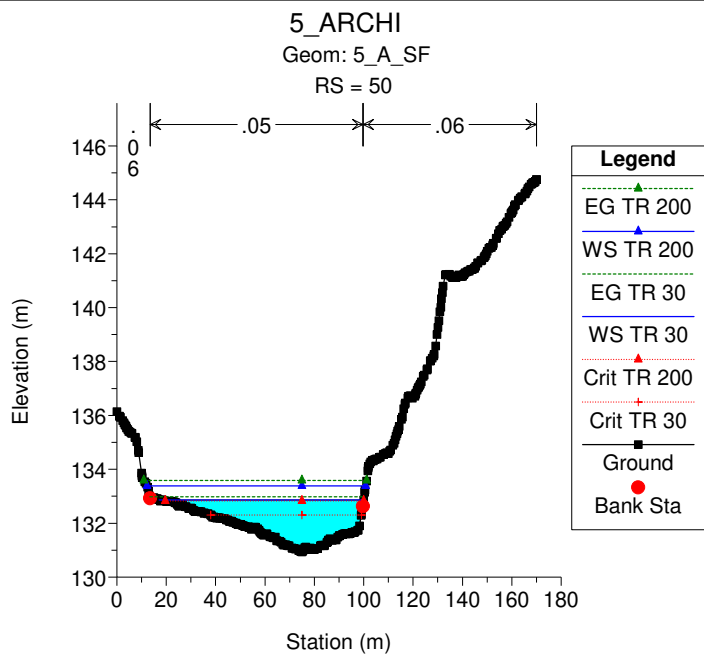












HEC-RAS Plan: Plan 08 River: PONTE 1 ARCO Reach: PONTE 1 ARCO

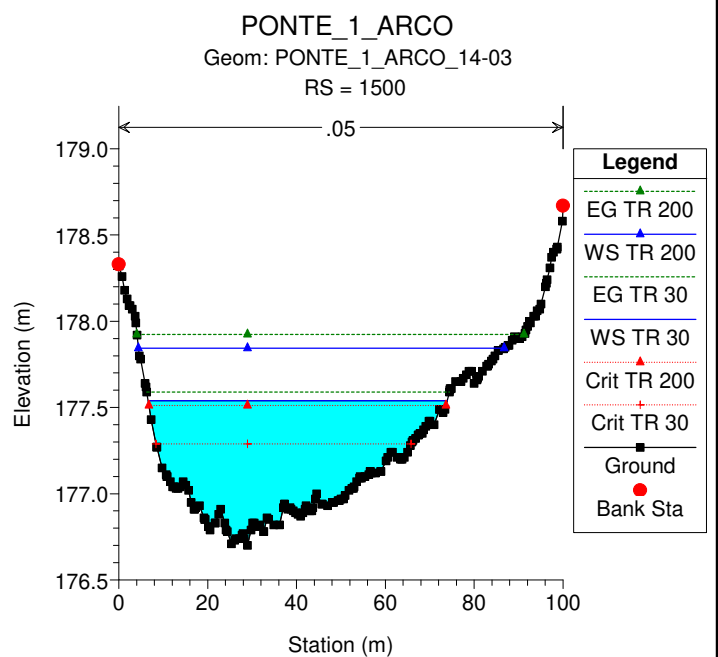
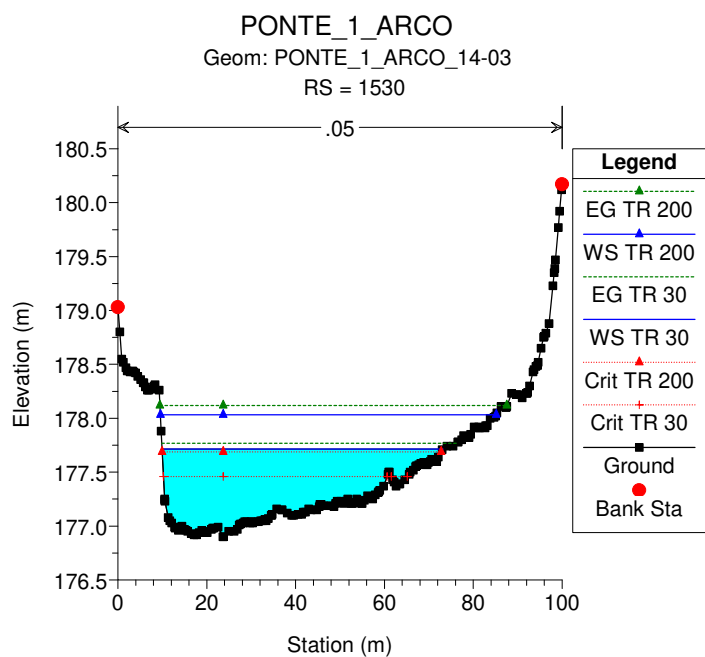
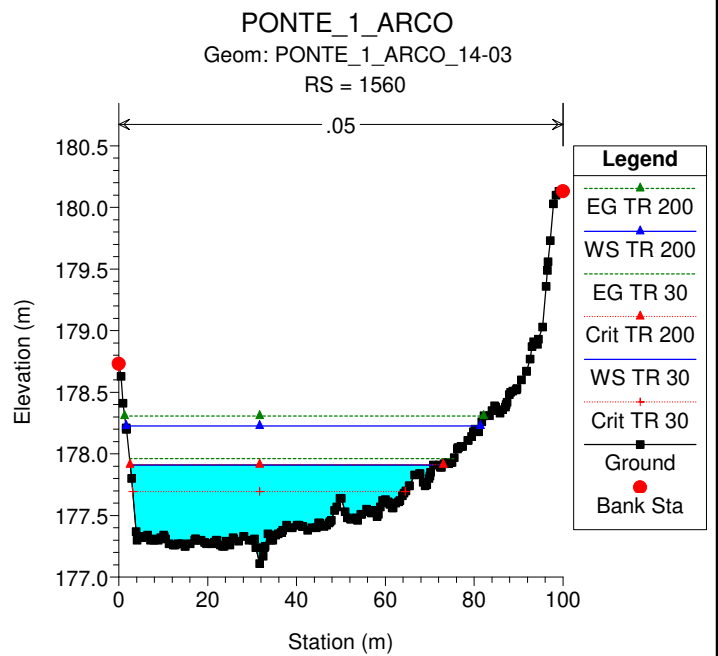
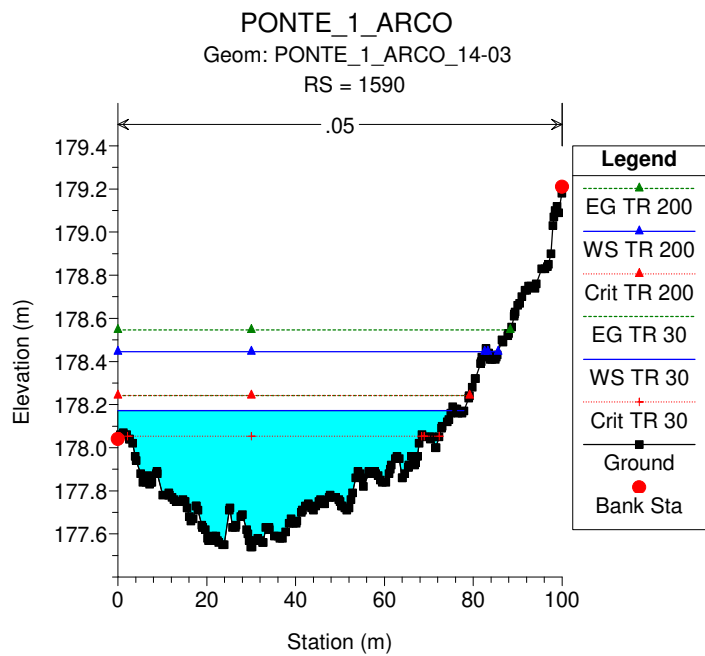
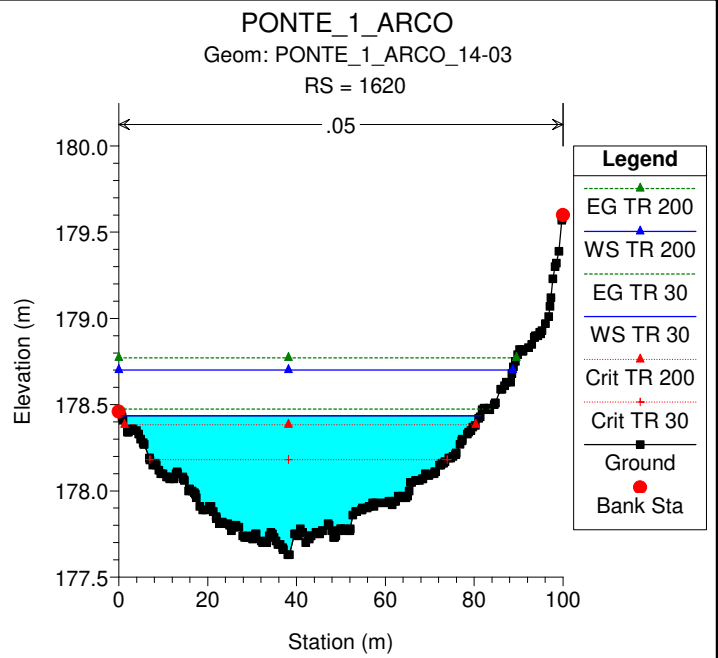
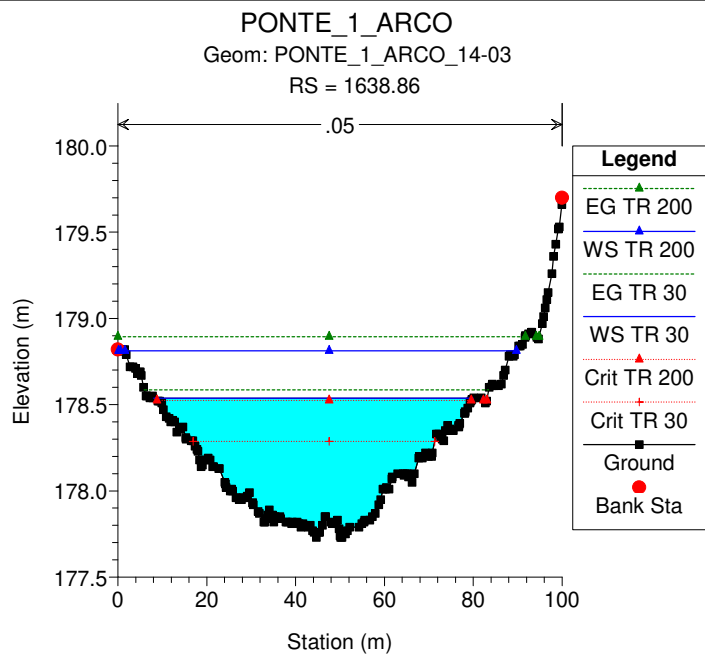
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
PONTE 1 ARCO	1638.86	TR 30	33.50	177.73	178.54	178.29	178.59	0.006435	0.97	34.52	73.25	0.45
PONTE 1 ARCO	1638.86	TR 200	71.60	177.73	178.81	178.52	178.89	0.007050	1.25	57.14	88.52	0.50
PONTE 1 ARCO	1620	TR 30	33.50	177.63	178.44	178.18	178.47	0.005175	0.87	38.31	80.79	0.41
PONTE 1 ARCO	1620	TR 200	71.60	177.63	178.70	178.38	178.77	0.005668	1.17	61.11	88.68	0.45
PONTE 1 ARCO	1590	TR 30	33.50	177.54	178.17	178.05	178.24	0.012478	1.16	28.83	76.62	0.60
PONTE 1 ARCO	1590	TR 200	71.60	177.54	178.45	178.24	178.55	0.009945	1.41	50.77	84.87	0.58
PONTE 1 ARCO	1560	TR 30	33.50	177.11	177.91	177.69	177.96	0.006997	1.02	32.93	69.19	0.47
PONTE 1 ARCO	1560	TR 200	71.60	177.11	178.23	177.91	178.31	0.006295	1.26	56.76	79.78	0.48
PONTE 1 ARCO	1530	TR 30	33.50	176.90	177.72	177.46	177.77	0.005949	1.00	33.36	63.25	0.44
PONTE 1 ARCO	1530	TR 200	71.60	176.90	178.03	177.69	178.12	0.006282	1.29	55.60	75.57	0.48
PONTE 1 ARCO	1500	TR 30	33.50	176.70	177.54	177.29	177.59	0.005879	0.98	34.29	67.31	0.44
PONTE 1 ARCO	1500	TR 200	71.60	176.70	177.84	177.51	177.92	0.006548	1.26	56.75	82.30	0.49
PONTE 1 ARCO	1470	TR 30	33.50	176.47	177.32	177.11	177.38	0.008376	1.07	31.28	69.81	0.51
PONTE 1 ARCO	1470	TR 200	71.60	176.47	177.62	177.35	177.71	0.007754	1.31	54.55	84.67	0.52
PONTE 1 ARCO	1440	TR 30	33.50	176.14	177.09	176.87	177.14	0.007210	1.05	32.03	66.16	0.48
PONTE 1 ARCO	1440	TR 200	71.60	176.14	177.40	177.09	177.49	0.007002	1.29	55.55	82.07	0.50
PONTE 1 ARCO	1410	TR 30	33.50	176.01	176.86	176.65	176.92	0.007861	1.09	30.84	64.20	0.50
PONTE 1 ARCO	1410	TR 200	71.60	176.01	177.17	176.88	177.27	0.007767	1.36	52.60	77.31	0.53
PONTE 1 ARCO	1380	TR 30	33.50	175.80	176.62	176.40	176.68	0.007967	1.12	29.90	60.01	0.51
PONTE 1 ARCO	1380	TR 200	71.60	175.80	176.91	176.65	177.01	0.009082	1.44	49.58	75.02	0.57
PONTE 1 ARCO	1350	TR 30	33.50	175.66	176.41	176.19	176.46	0.006659	0.98	34.21	73.51	0.46
PONTE 1 ARCO	1350	TR 200	71.60	175.66	176.68	176.40	176.76	0.007322	1.30	54.94	82.51	0.51
PONTE 1 ARCO	1320	TR 30	33.50	175.48	176.20	176.00	176.25	0.007026	0.96	34.81	79.89	0.47
PONTE 1 ARCO	1320	TR 200	71.60	175.48	176.46	176.20	176.54	0.007266	1.27	56.48	87.80	0.50
PONTE 1 ARCO	1290	TR 30	33.50	175.35	175.99	175.81	176.03	0.007539	0.96	35.02	85.28	0.48
PONTE 1 ARCO	1290	TR 200	71.60	175.35	176.25	175.99	176.32	0.007134	1.21	58.99	96.21	0.49
PONTE 1 ARCO	1260	TR 30	33.50	175.03	175.77	175.57	175.81	0.007039	0.95	35.33	82.71	0.46
PONTE 1 ARCO	1260	TR 200	71.60	175.03	176.04	175.76	176.12	0.006674	1.20	59.57	93.69	0.48
PONTE 1 ARCO	1230	TR 30	33.50	174.75	175.58	175.35	175.62	0.005648	0.89	37.56	81.76	0.42
PONTE 1 ARCO	1230	TR 200	71.60	174.75	175.86	175.55	175.93	0.005831	1.16	61.82	92.87	0.45
PONTE 1 ARCO	1200	TR 30	33.50	174.42	175.09	175.09	175.26	0.036591	1.82	18.39	55.89	1.01
PONTE 1 ARCO	1200	TR 200	71.60	174.42	175.33	175.33	175.56	0.033102	2.13	33.55	74.60	1.02
PONTE 1 ARCO	1170	TR 30	33.50	173.67	174.56	174.27	174.61	0.006032	0.99	33.69	65.65	0.44
PONTE 1 ARCO	1170	TR 200	71.60	173.67	174.86	174.54	174.94	0.006874	1.30	55.10	79.27	0.50
PONTE 1 ARCO	1140	TR 30	33.50	173.54	174.14	174.09	174.27	0.025149	1.65	20.34	54.21	0.86
PONTE 1 ARCO	1140	TR 200	71.60	173.54	174.42	174.34	174.61	0.020133	1.88	38.04	70.29	0.82
PONTE 1 ARCO	1110	TR 30	33.50	172.82	173.80	173.57	173.86	0.007938	1.11	30.11	60.95	0.51
PONTE 1 ARCO	1110	TR 200	71.60	172.82	174.12	173.82	174.21	0.008265	1.38	51.82	78.07	0.54
PONTE 1 ARCO	1080	TR 30	33.50	172.66	173.50	173.33	173.58	0.011158	1.26	26.57	57.51	0.59
PONTE 1 ARCO	1080	TR 200	71.60	172.66	173.83	173.58	173.94	0.009627	1.48	48.40	73.81	0.58
PONTE 1 ARCO	1050	TR 30	33.50	172.44	173.28	173.00	173.33	0.005829	0.99	33.81	64.61	0.44
PONTE 1 ARCO	1050	TR 200	71.60	172.44	173.66	173.25	173.74	0.004742	1.20	59.77	73.20	0.42
PONTE 1 ARCO	1020	TR 30	33.50	172.17	173.11	172.81	173.16	0.005488	1.05	31.94	53.05	0.43
PONTE 1 ARCO	1020	TR 200	71.60	172.17	173.49	173.07	173.58	0.005471	1.31	54.47	64.06	0.46
PONTE 1 ARCO	990	TR 30	33.50	171.99	172.89	172.65	172.97	0.007798	1.23	27.31	46.34	0.51
PONTE 1 ARCO	990	TR 200	71.60	171.99	173.24	172.94	173.35	0.010757	1.52	47.02	73.52	0.61
PONTE 1 ARCO	960	TR 30	33.50	171.74	172.66	172.36	172.72	0.008129	1.09	30.69	64.27	0.50
PONTE 1 ARCO	960	TR 200	71.60	171.74	172.97	172.70	173.06	0.008560	1.31	54.70	90.72	0.54
PONTE 1 ARCO	930	TR 30	33.50	171.50	172.08	172.08	172.26	0.035865	1.91	17.56	48.49	1.01
PONTE 1 ARCO	930	TR 200	71.60	171.50	172.34	172.34	172.60	0.031236	2.27	31.53	60.31	1.00
PONTE 1 ARCO	900	TR 30	33.50	170.65	171.59	171.35	171.67	0.009176	1.24	27.09	52.12	0.55
PONTE 1 ARCO	900	TR 200	71.60	170.65	171.95	171.68	172.05	0.008506	1.36	52.84	83.69	0.54
PONTE 1 ARCO	870	TR 30	33.50	170.39	171.40	171.08	171.45	0.005546	1.04	32.13	54.73	0.43

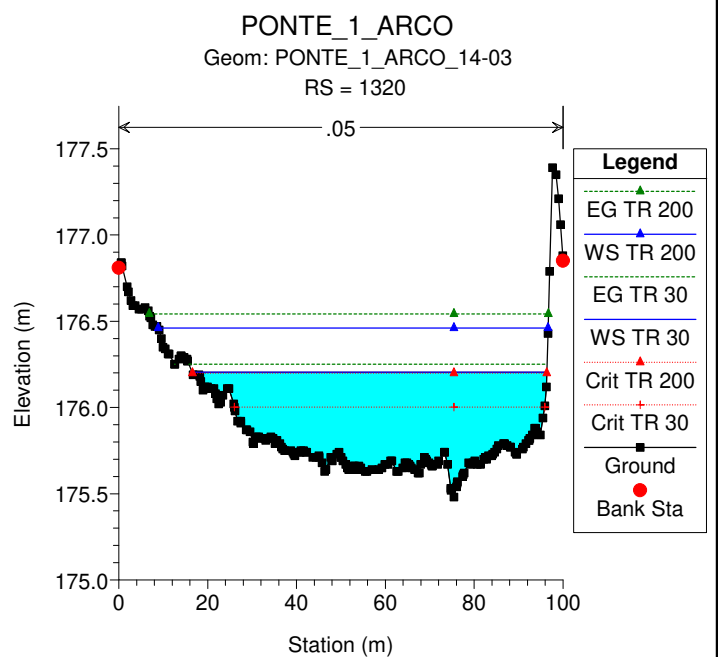
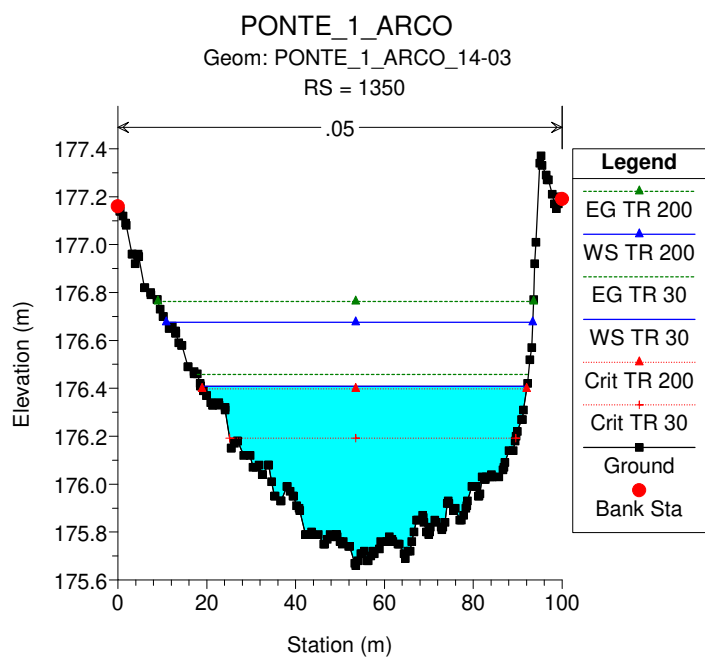
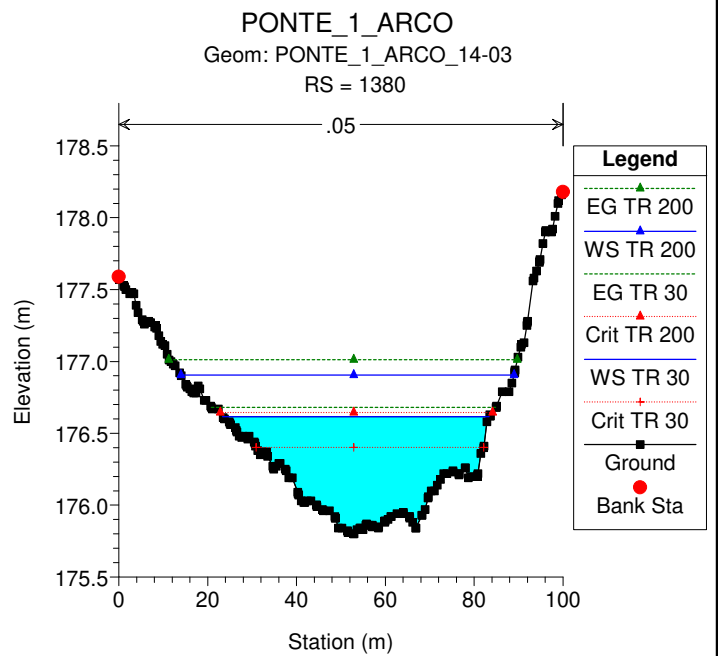
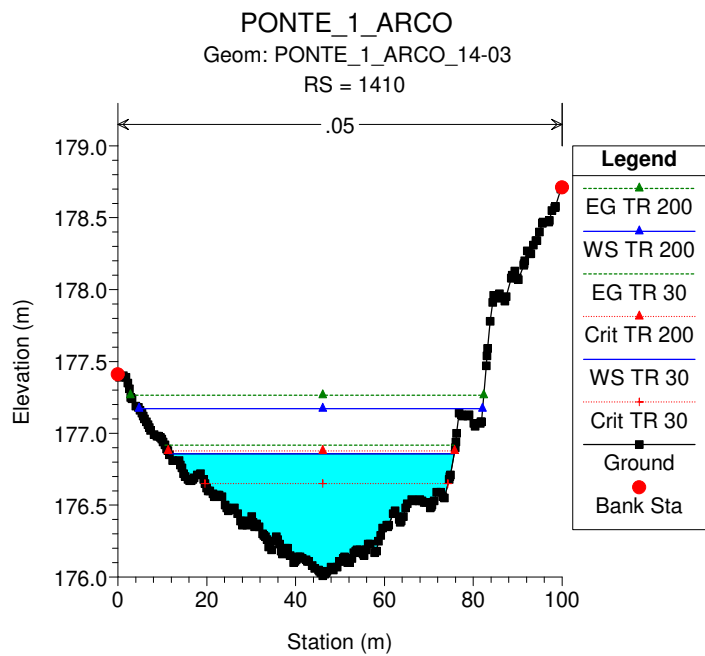
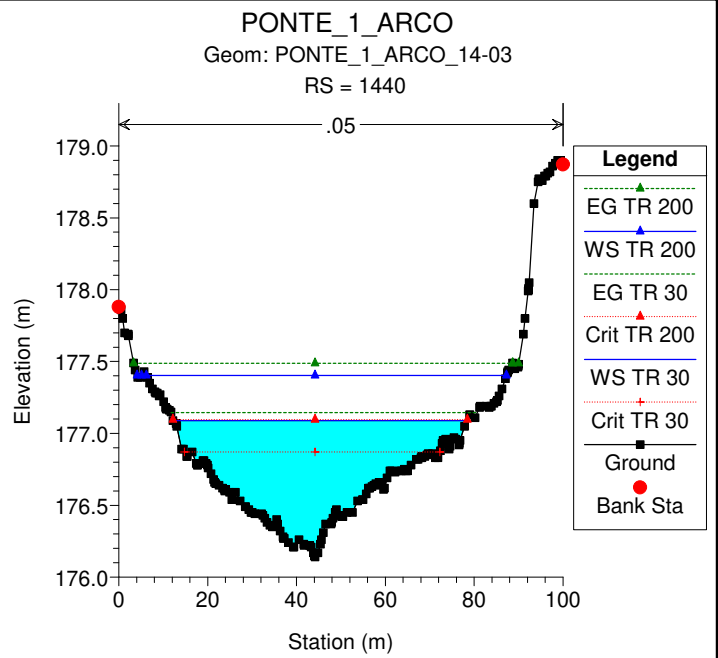
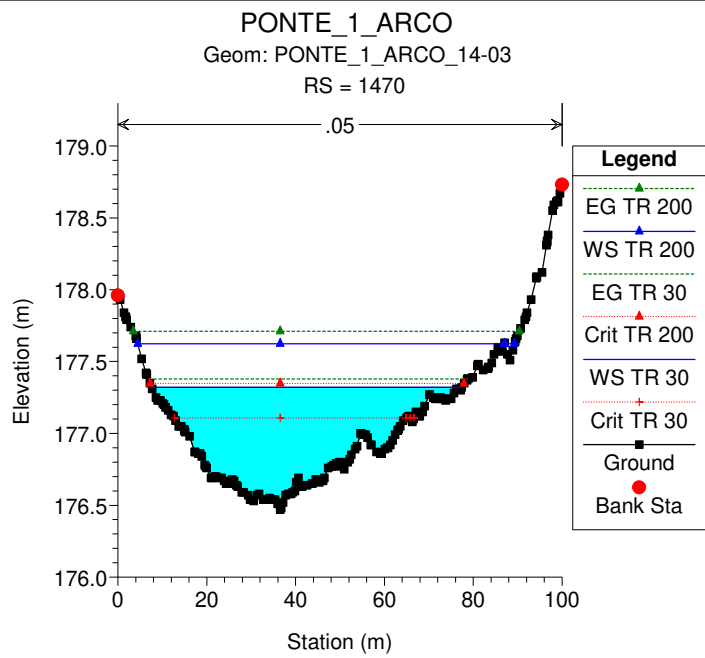
HEC-RAS Plan: Plan 08 River: PONTE 1 ARCO Reach: PONTE 1 ARCO (Continued)

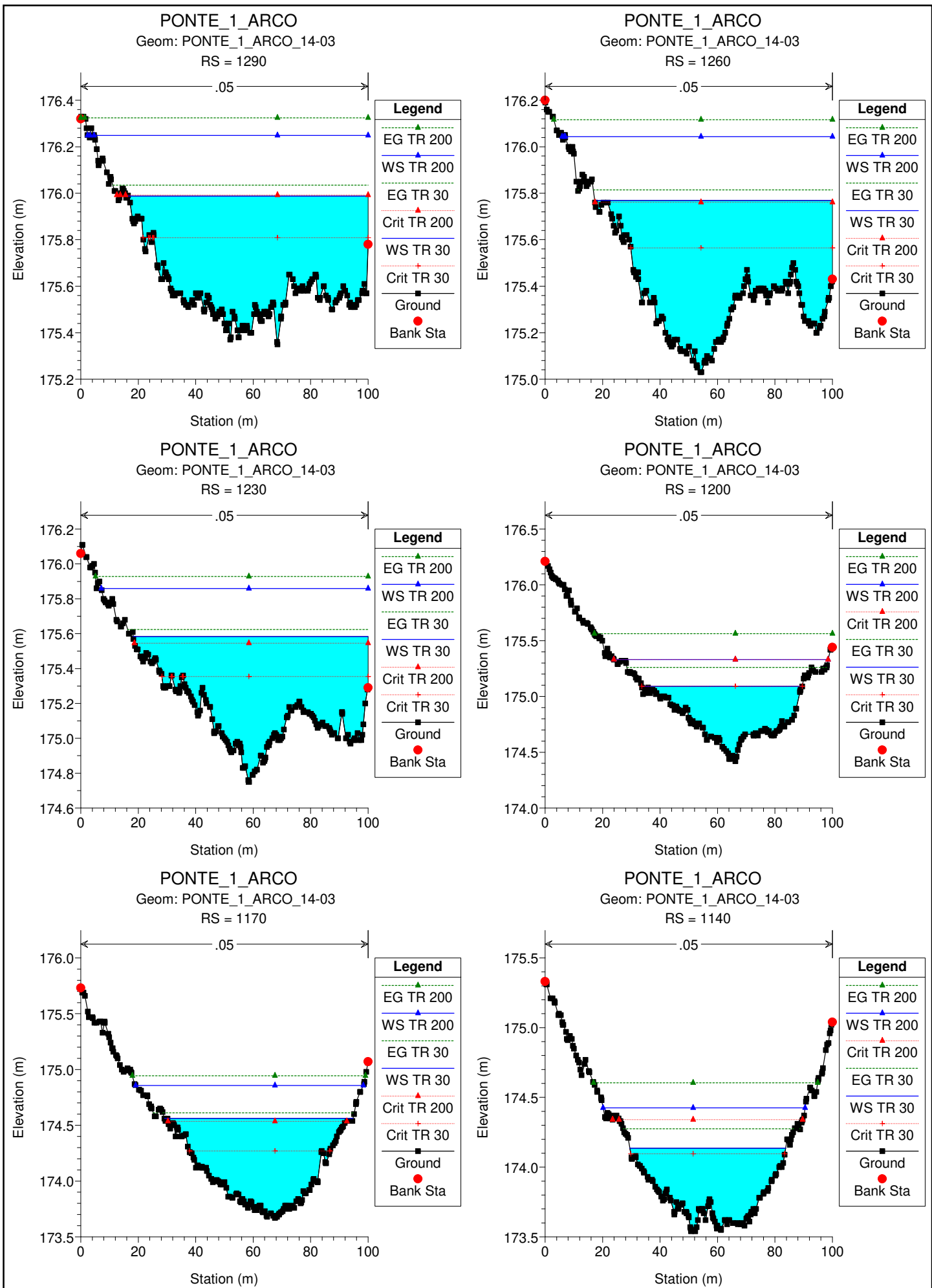
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
PONTE 1 ARCO	870	TR 200	71.60	170.39	171.73	171.36	171.82	0.006676	1.34	53.35	71.52	0.50
PONTE 1 ARCO	840	TR 30	33.50	170.22	171.21	170.91	171.27	0.006633	1.04	32.18	62.90	0.46
PONTE 1 ARCO	840	TR 200	71.60	170.22	171.54	171.21	171.62	0.006293	1.28	55.75	76.22	0.48
PONTE 1 ARCO	810	TR 30	33.50	170.18	170.85	170.73	170.97	0.015865	1.54	21.79	45.57	0.71
PONTE 1 ARCO	810	TR 200	71.60	170.18	171.18	171.05	171.34	0.015685	1.72	41.59	72.80	0.73
PONTE 1 ARCO	780	TR 30	33.50	169.76	170.65	170.39	170.69	0.005313	0.95	35.09	66.06	0.42
PONTE 1 ARCO	780	TR 200	71.60	169.76	170.98	170.60	171.05	0.005469	1.22	58.70	78.17	0.45
PONTE 1 ARCO	750	TR 30	33.50	169.67	170.50	170.18	170.54	0.004718	0.92	36.30	65.70	0.40
PONTE 1 ARCO	750	TR 200	71.60	169.67	170.82	170.42	170.90	0.004730	1.24	57.83	67.38	0.43
PONTE 1 ARCO	720	TR 30	33.50	169.42	170.34	170.03	170.39	0.005267	0.98	34.02	60.69	0.42
PONTE 1 ARCO	720	TR 200	71.60	169.42	170.65	170.30	170.74	0.005953	1.34	53.28	65.30	0.48
PONTE 1 ARCO	690	TR 30	33.50	169.37	170.16	169.94	170.22	0.006411	1.02	32.83	64.34	0.46
PONTE 1 ARCO	690	TR 200	71.60	169.37	170.44	170.15	170.54	0.007504	1.40	51.01	69.66	0.52
PONTE 1 ARCO	660	TR 30	33.50	169.29	169.94	169.78	169.99	0.008750	1.05	31.92	75.83	0.52
PONTE 1 ARCO	660	TR 200	71.60	169.29	170.21	169.97	170.30	0.008123	1.34	53.43	83.13	0.53
PONTE 1 ARCO	630	TR 30	33.50	169.13	169.81	169.53	169.84	0.003158	0.72	46.83	91.48	0.32
PONTE 1 ARCO	630	TR 200	71.60	169.13	170.09	169.69	170.14	0.003449	0.99	72.41	92.71	0.36
PONTE 1 ARCO	600	TR 30	33.50	169.06	169.72	169.43	169.74	0.003122	0.72	46.72	90.13	0.32
PONTE 1 ARCO	600	TR 200	71.60	169.06	169.98	169.60	170.03	0.003684	1.02	70.36	90.57	0.37
PONTE 1 ARCO	570	TR 30	33.50	168.41	169.35	169.35	169.50	0.042624	1.70	19.73	73.70	1.05
PONTE 1 ARCO	570	TR 200	71.60	168.41	169.55	169.55	169.77	0.033722	2.07	34.61	80.48	1.01
PONTE 1 ARCO	540	TR 30	33.50	167.68	168.52	168.20	168.55	0.004021	0.80	41.90	83.38	0.36
PONTE 1 ARCO	540	TR 200	71.60	167.68	168.77	168.42	168.84	0.005244	1.10	65.09	97.98	0.43
PONTE 1 ARCO	510	TR 30	33.50	167.56	168.12	168.12	168.26	0.038986	1.66	20.14	73.50	1.01
PONTE 1 ARCO	510	TR 200	71.60	167.56	168.31	168.31	168.50	0.034350	1.90	37.73	102.79	1.00
PONTE 1 ARCO	480	TR 30	33.50	166.81	167.60	167.43	167.66	0.011206	1.13	29.64	75.72	0.58
PONTE 1 ARCO	480	TR 200	71.60	166.81	167.96	167.66	168.03	0.007223	1.16	61.77	109.37	0.49
PONTE 1 ARCO	450	TR 30	33.50	166.69	167.37	167.14	167.41	0.006039	0.95	35.39	74.27	0.44
PONTE 1 ARCO	450	TR 200	71.60	166.69	167.81	167.34	167.86	0.004198	0.95	75.50	120.29	0.38
PONTE 1 ARCO	420	TR 30	33.50	166.36	167.06	166.93	167.14	0.015605	1.26	26.54	73.65	0.67
PONTE 1 ARCO	420	TR 200	71.60	166.36	167.73	167.16	167.76	0.002523	0.75	95.97	149.54	0.30
PONTE 1 ARCO	390	TR 30	33.50	165.81	166.70	166.55	166.76	0.009977	1.05	31.83	83.03	0.54
PONTE 1 ARCO	390	TR 200	71.60	165.81	167.70	166.75	167.72	0.000649	0.53	136.15	129.36	0.16
PONTE 1 ARCO	360	TR 30	33.50	165.76	166.31	166.21	166.39	0.014994	1.26	26.66	72.40	0.66
PONTE 1 ARCO	360	TR 200	71.60	165.76	167.69	166.41	167.70	0.000352	0.44	163.06	128.55	0.12
PONTE 1 ARCO	330	TR 30	33.50	165.28	166.06	165.82	166.10	0.006311	0.95	35.09	75.18	0.45
PONTE 1 ARCO	330	TR 200	71.60	165.28	167.69	166.04	167.69	0.000153	0.33	218.56	143.02	0.08
PONTE 1 ARCO	300	TR 30	33.50	164.86	165.99	165.52	166.01	0.001601	0.64	52.45	73.24	0.24
PONTE 1 ARCO	300	TR 200	71.60	164.86	167.69	165.73	167.69	0.000107	0.30	242.29	141.39	0.07
PONTE 1 ARCO	270	TR 30	33.50	163.78	165.97	165.00	165.98	0.000694	0.52	64.30	64.34	0.17
PONTE 1 ARCO	270	TR 200	71.60	163.78	167.68	165.39	167.69	0.000126	0.33	220.03	124.86	0.08
PONTE 1 ARCO	240	TR 30	33.50	163.98	165.96	164.63	165.97	0.000229	0.40	84.67	55.76	0.10
PONTE 1 ARCO	240	TR 200	71.60	163.98	167.68	164.89	167.68	0.000085	0.30	237.74	112.22	0.07
PONTE 1 ARCO	210	TR 30	33.50	163.88	165.96	164.45	165.96	0.000134	0.31	106.92	67.38	0.08
PONTE 1 ARCO	210	TR 200	71.60	163.88	167.68	164.69	167.68	0.000067	0.28	259.10	116.65	0.06
PONTE 1 ARCO	180	TR 30	33.50	163.72	165.95	164.33	165.96	0.000136	0.33	102.64	61.29	0.08
PONTE 1 ARCO	180	TR 200	71.60	163.72	167.67	164.59	167.68	0.000069	0.29	243.75	102.81	0.06
PONTE 1 ARCO	156.56	TR 30	33.50	163.54	165.43	165.16	165.90	0.017785	3.02	11.08	7.00	0.77
PONTE 1 ARCO	156.56	TR 200	71.60	163.54	167.21	166.08	167.63	0.008656	2.86	25.00	8.63	0.54
PONTE 1 ARCO	154		Bridge									
PONTE 1 ARCO	152.5	TR 30	33.50	163.47	164.78	165.07	165.84	0.059139	4.55	7.36	6.87	1.41
PONTE 1 ARCO	152.5	TR 200	71.60	163.47	165.48	165.95	167.18	0.060365	5.79	12.37	7.58	1.45

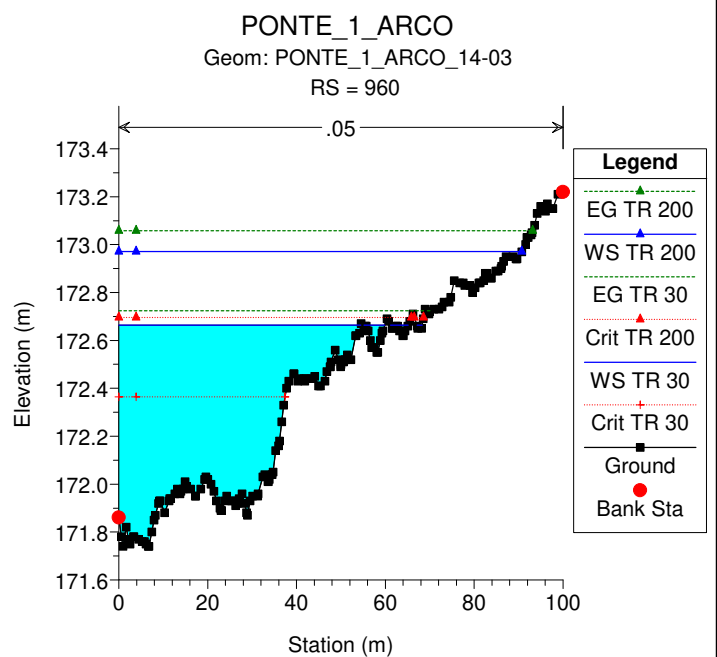
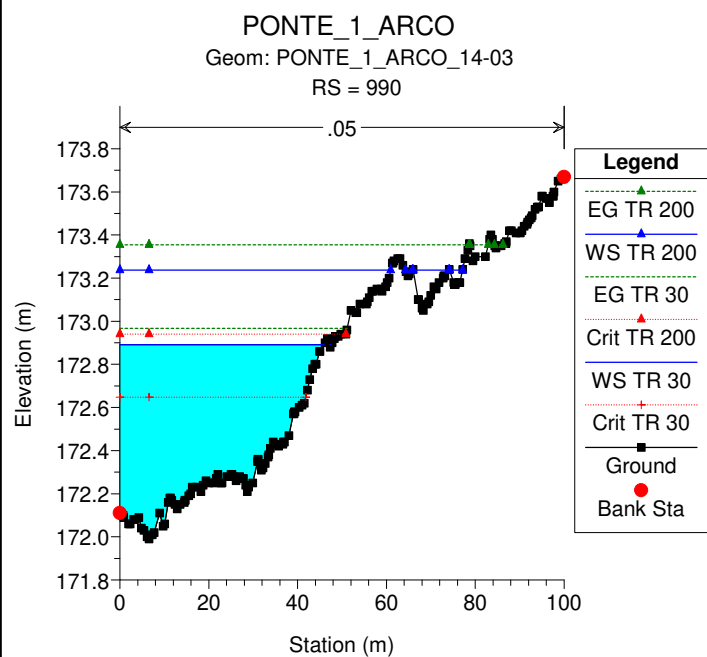
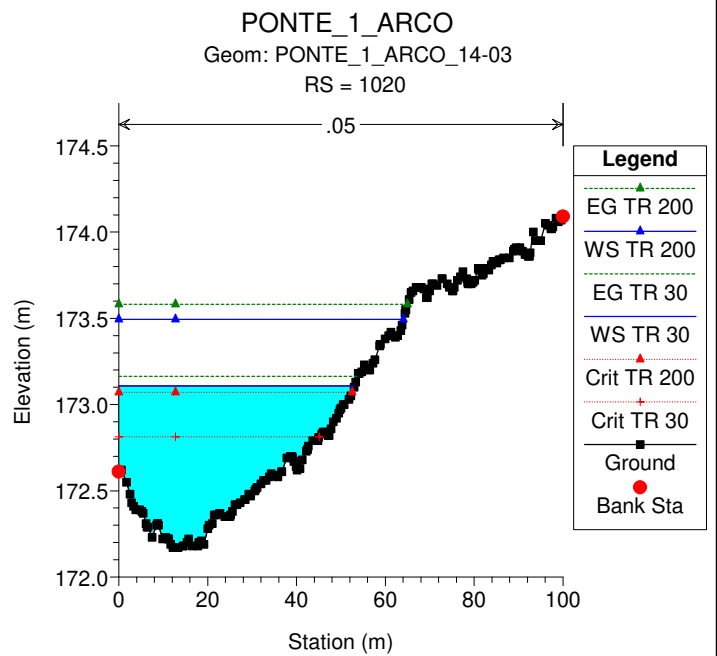
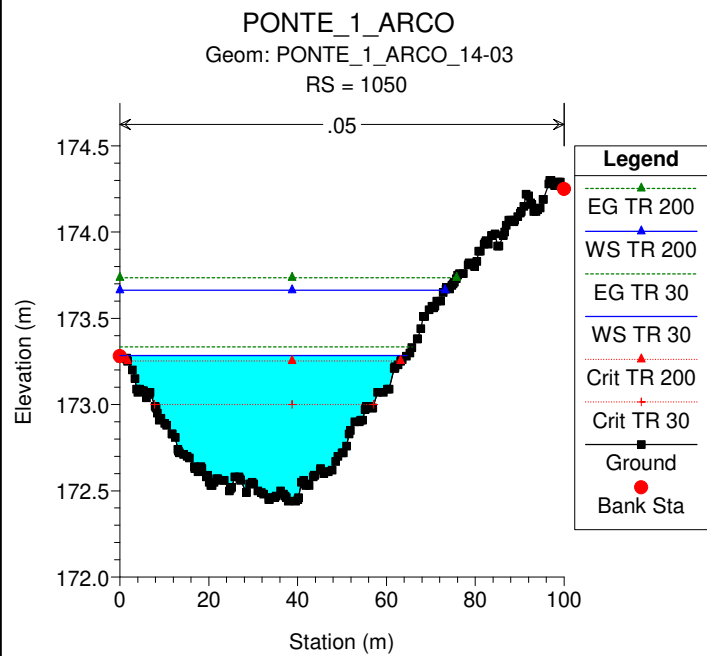
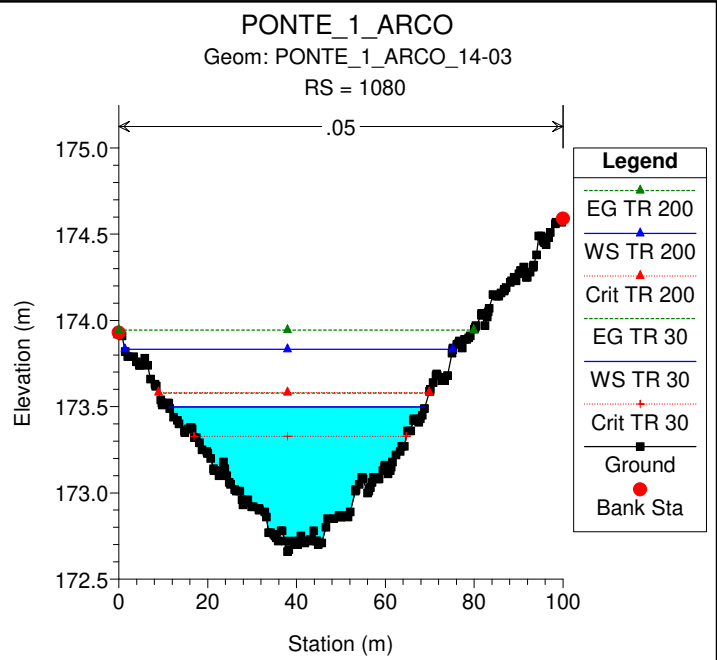
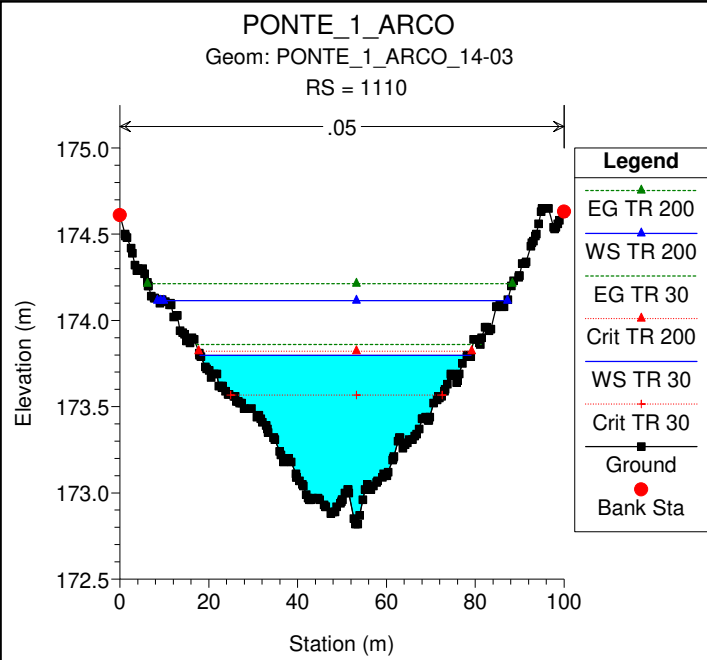
HEC-RAS Plan: Plan 08 River: PONTE 1 ARCO Reach: PONTE 1 ARCO (Continued)

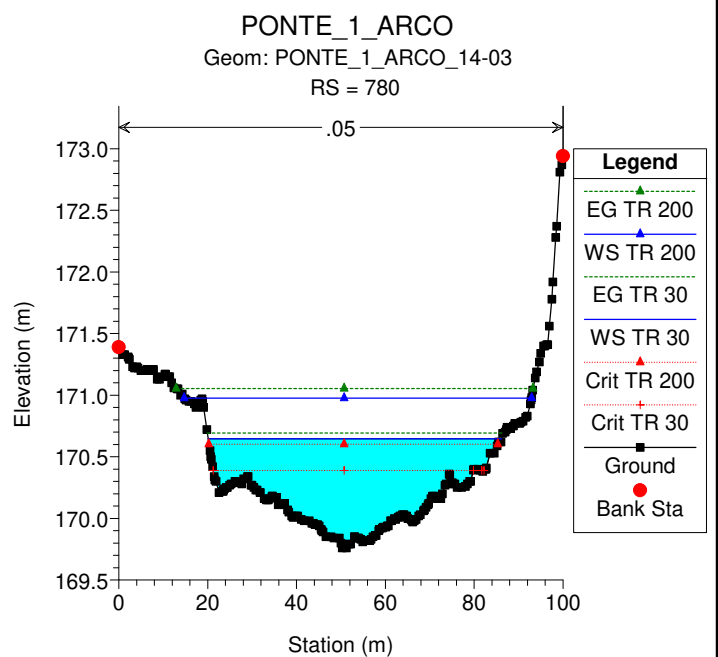
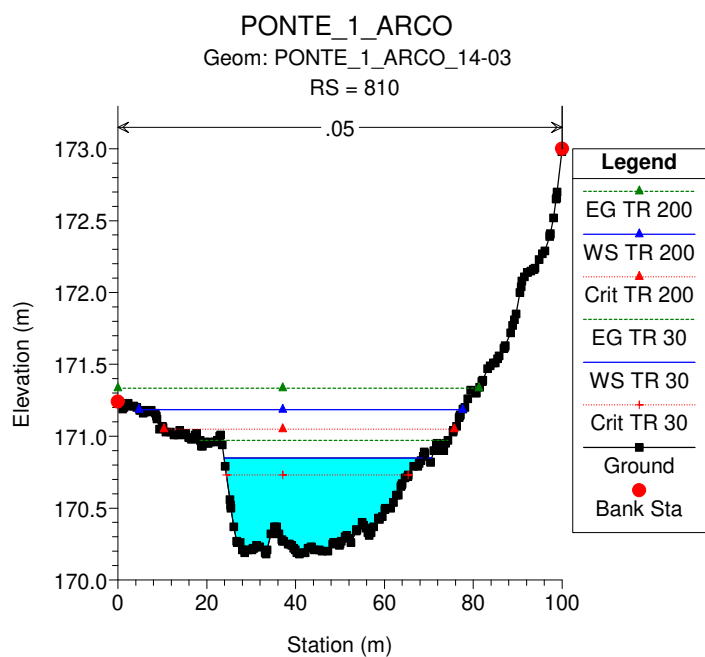
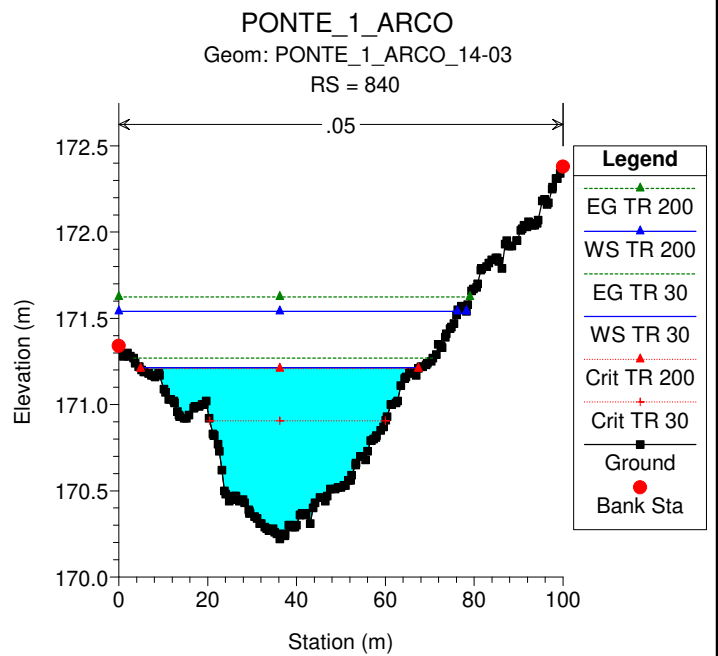
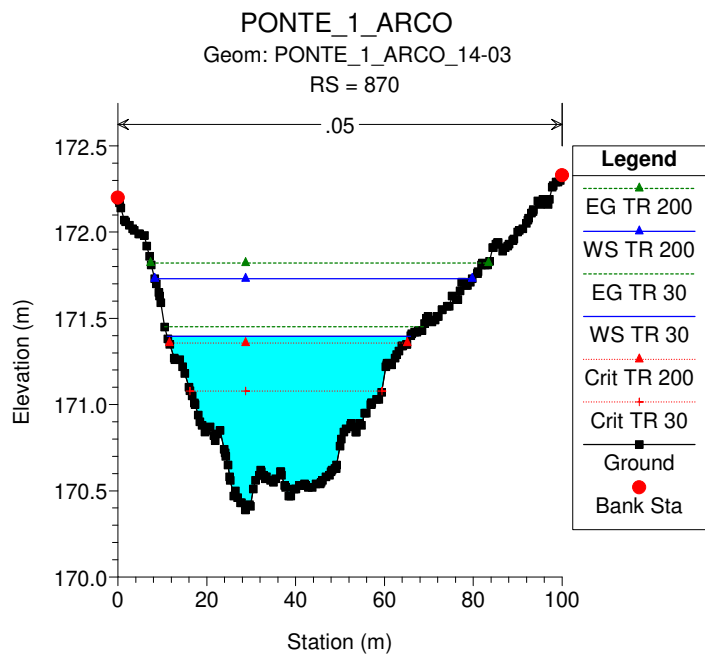
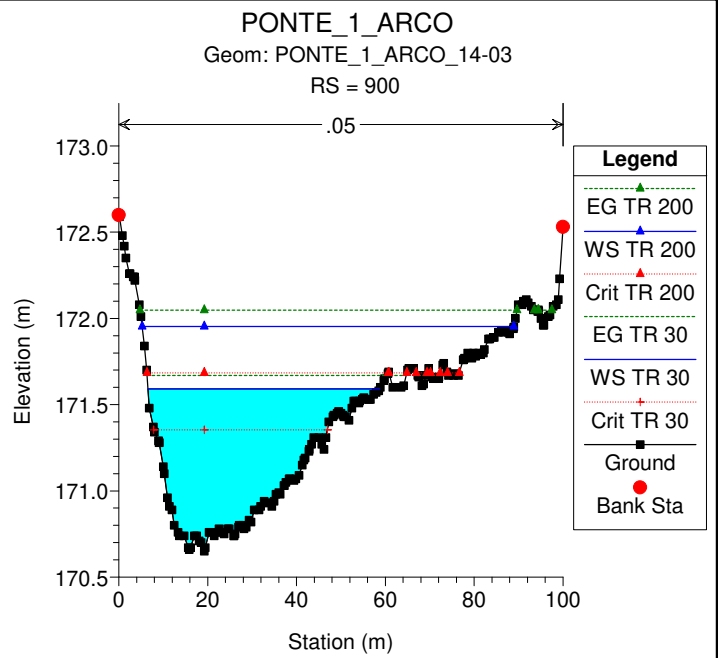
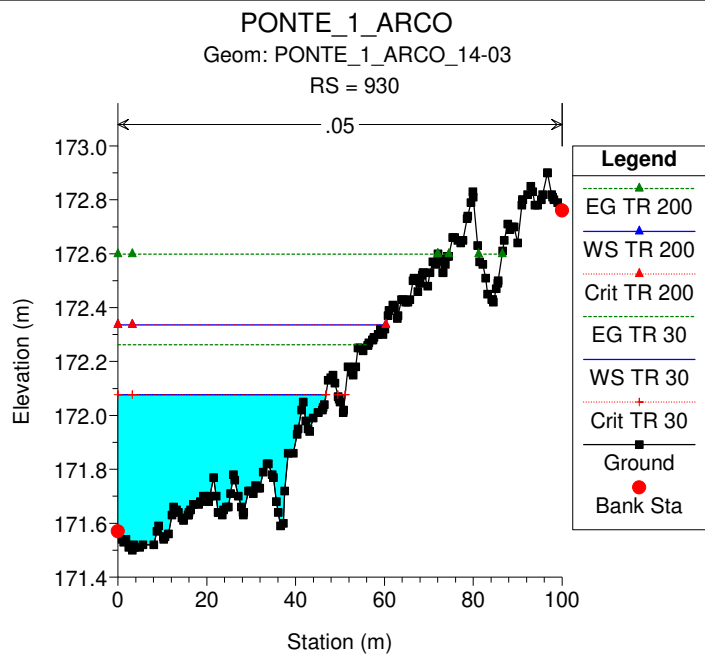
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
PONTE 1 ARCO	148.44	TR 30	33.50	163.56	164.44	164.76	165.54	0.089986	4.64	7.23	9.98	1.74
PONTE 1 ARCO	148.44	TR 200	71.60	163.56	164.87	165.45	166.81	0.094814	6.17	11.61	10.33	1.86
PONTE 1 ARCO	139.59	TR 30	33.50	163.59	164.67	164.42	164.75	0.008682	1.28	26.27	45.85	0.54
PONTE 1 ARCO	139.59	TR 200	71.60	163.59	164.41	164.74	165.47	0.163026	4.56	15.70	36.51	2.22
PONTE 1 ARCO	120	TR 30	33.50	163.51	164.55	164.25	164.60	0.005719	1.06	31.75	54.36	0.44
PONTE 1 ARCO	120	TR 200	71.60	163.51	164.91	164.52	165.00	0.006456	1.32	54.04	72.00	0.49
PONTE 1 ARCO	90	TR 30	33.50	163.50	164.20	164.10	164.33	0.016680	1.54	21.76	47.18	0.72
PONTE 1 ARCO	90	TR 200	71.60	163.50	164.54	164.37	164.70	0.015547	1.81	39.64	64.16	0.73
PONTE 1 ARCO	60	TR 30	33.50	162.75	163.47	163.45	163.67	0.029460	1.96	17.11	39.68	0.95
PONTE 1 ARCO	60	TR 200	71.60	162.75	163.74	163.74	164.06	0.029618	2.51	28.55	45.81	1.01
PONTE 1 ARCO	30	TR 30	33.50	161.54	162.49	162.49	162.74	0.031882	2.23	15.03	30.05	1.01
PONTE 1 ARCO	30	TR 200	71.60	161.54	163.07	162.85	163.27	0.013807	1.95	36.71	47.53	0.71
PONTE 1 ARCO	0	TR 30	33.50	161.24	162.42	161.93	162.46	0.003002	0.92	36.27	45.86	0.33
PONTE 1 ARCO	0	TR 200	71.60	161.24	163.00	162.24	163.06	0.003006	1.01	70.78	78.17	0.34

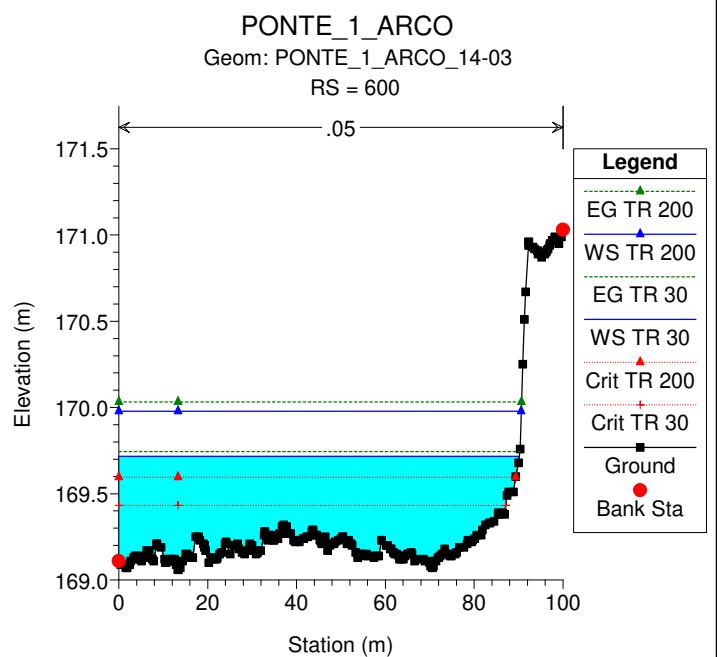
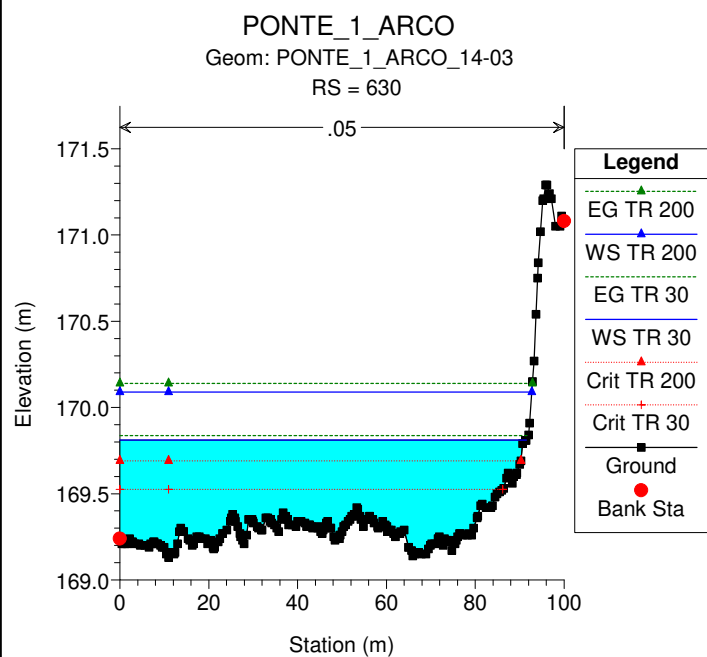
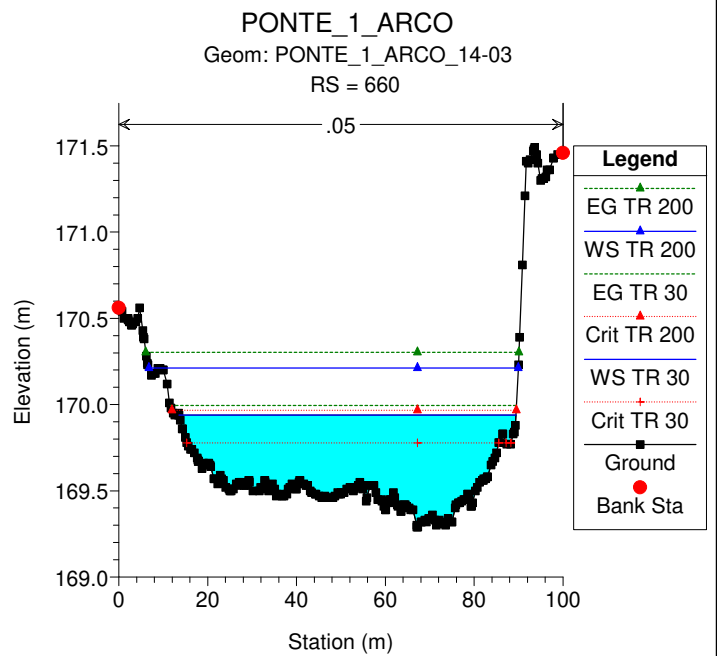
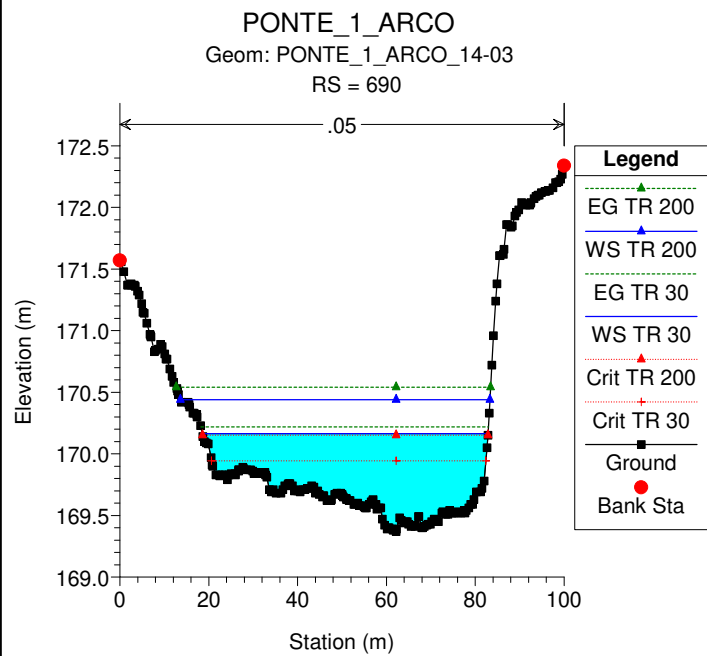
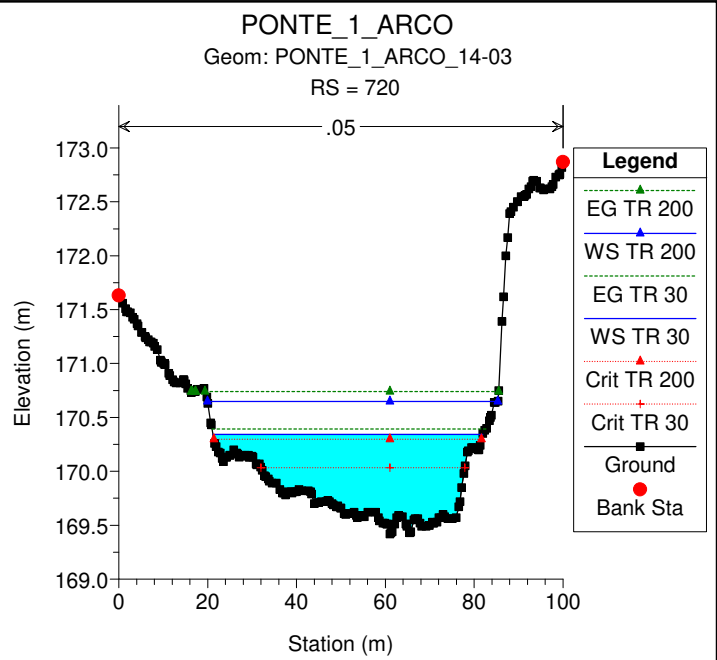
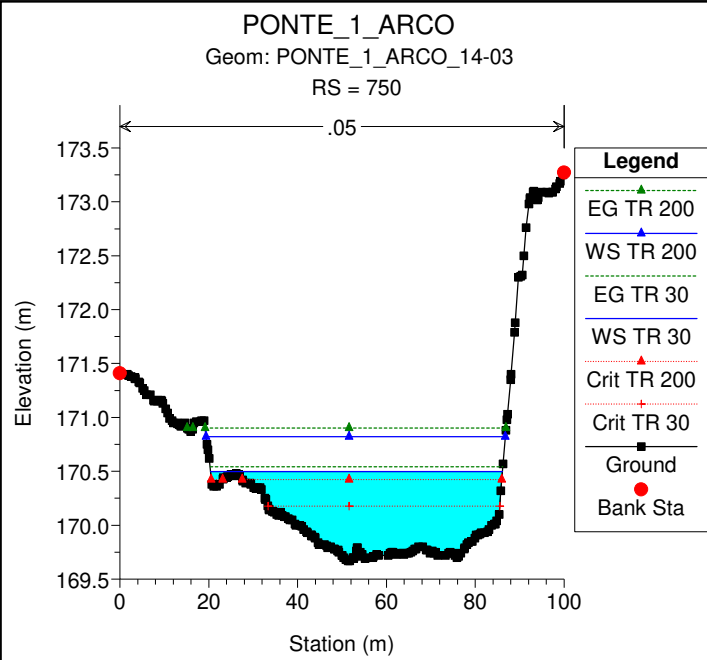


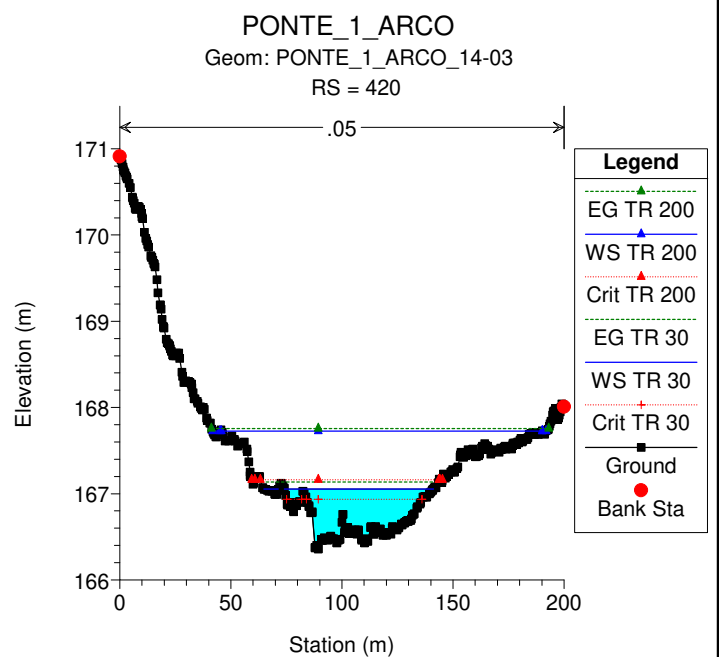
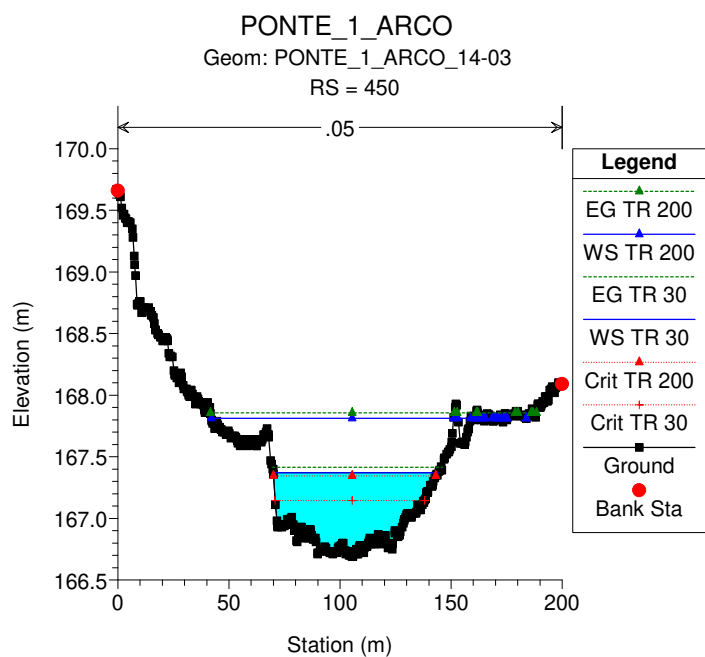
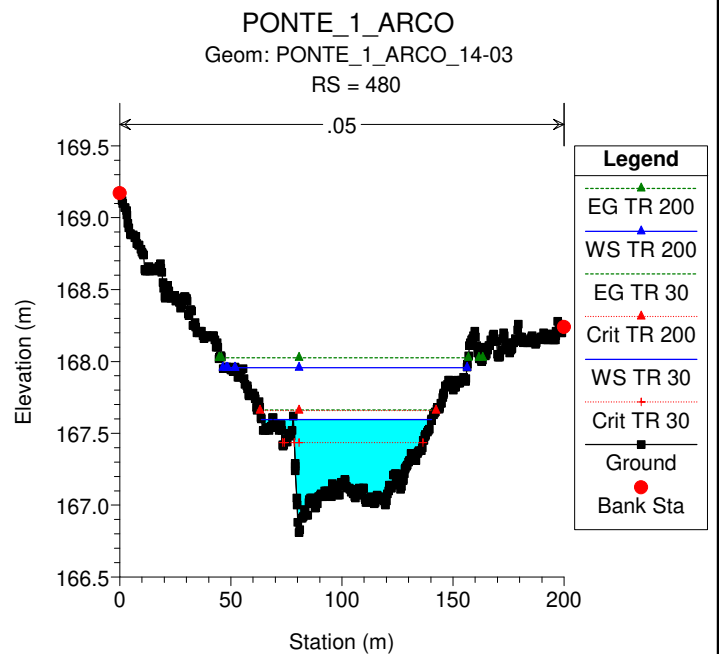
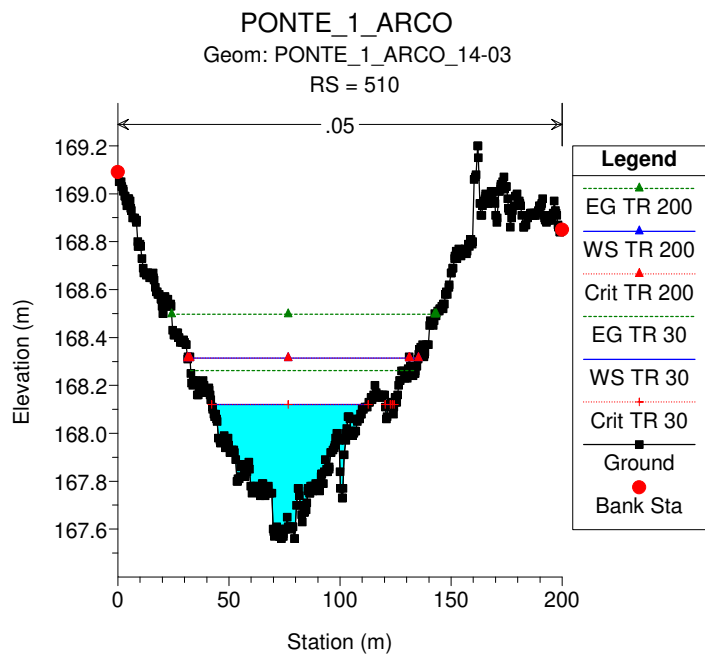
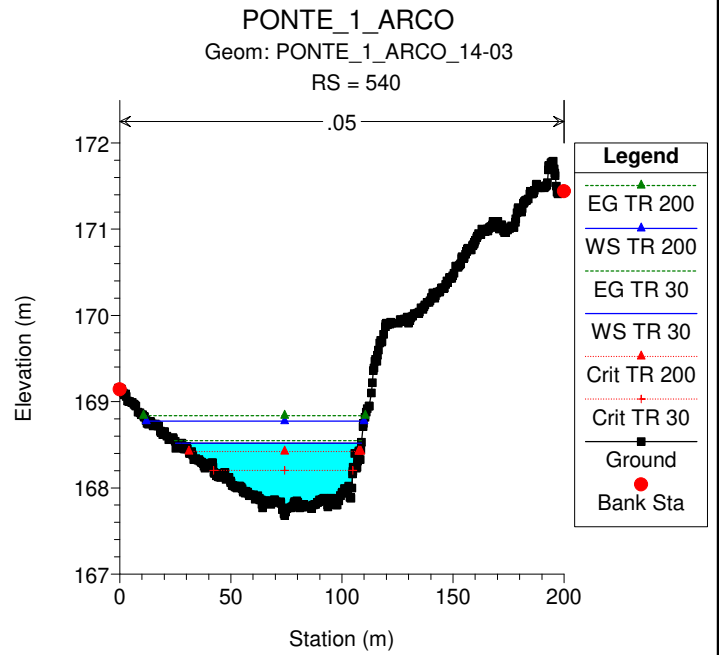
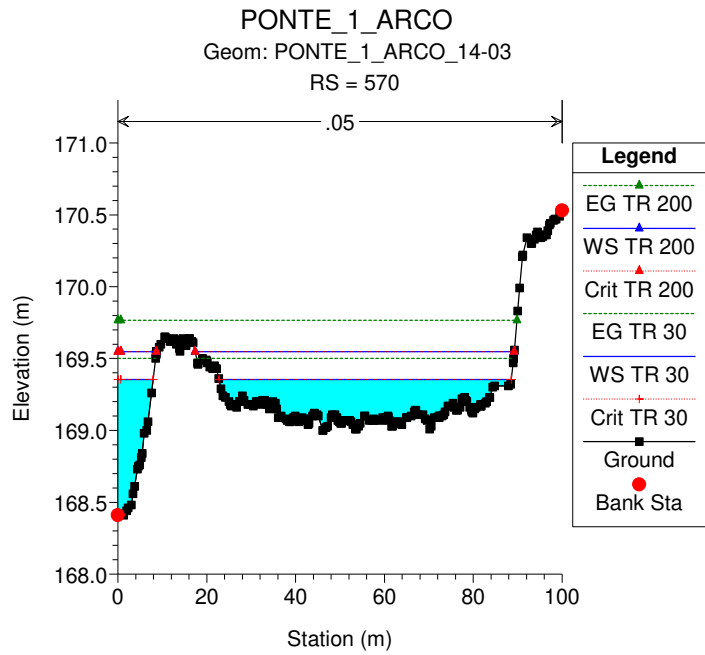


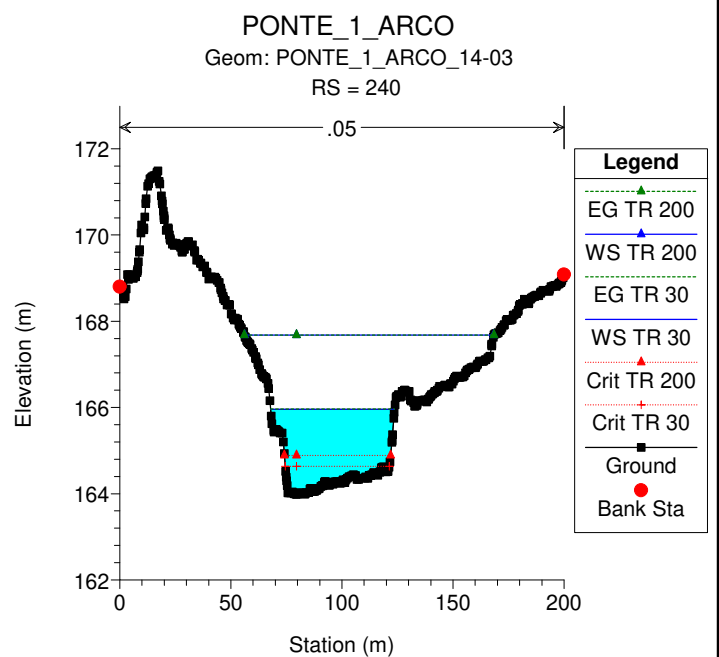
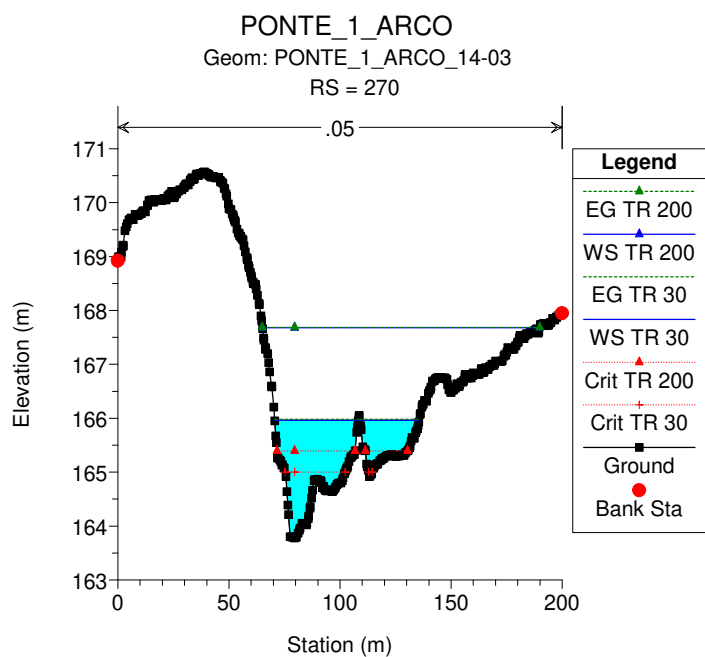
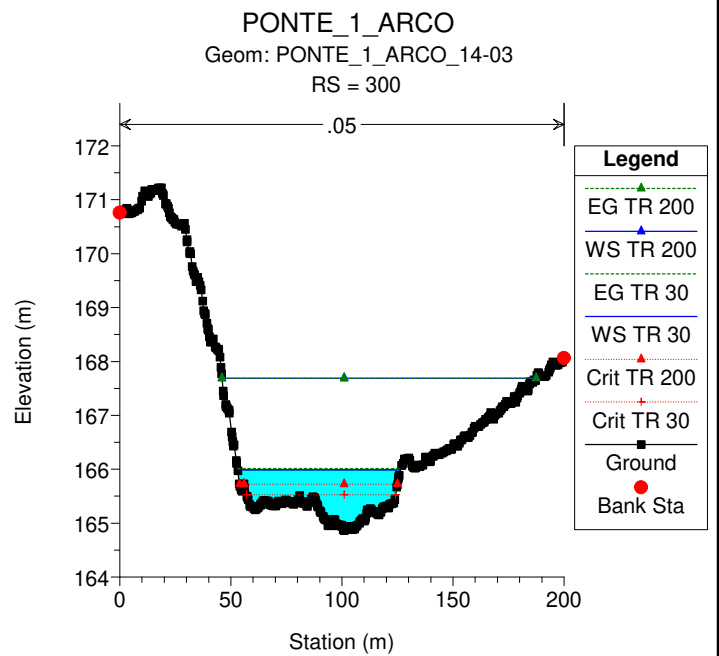
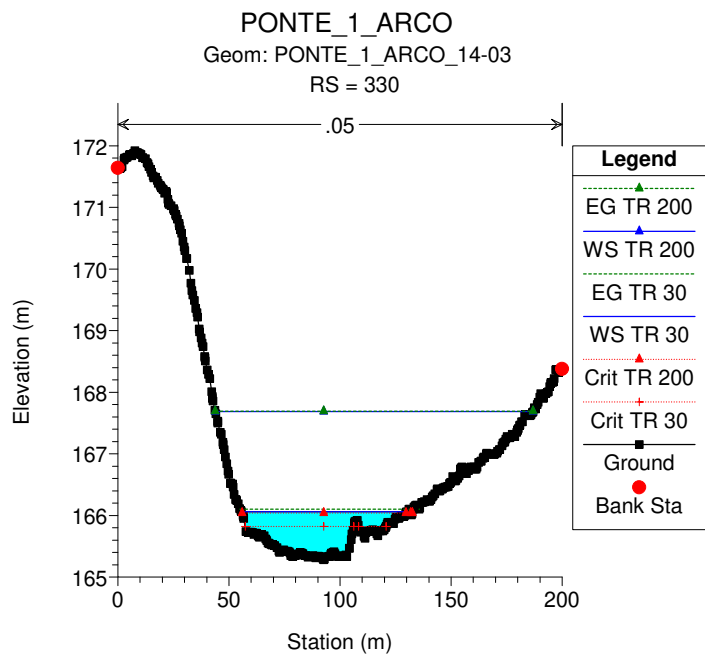
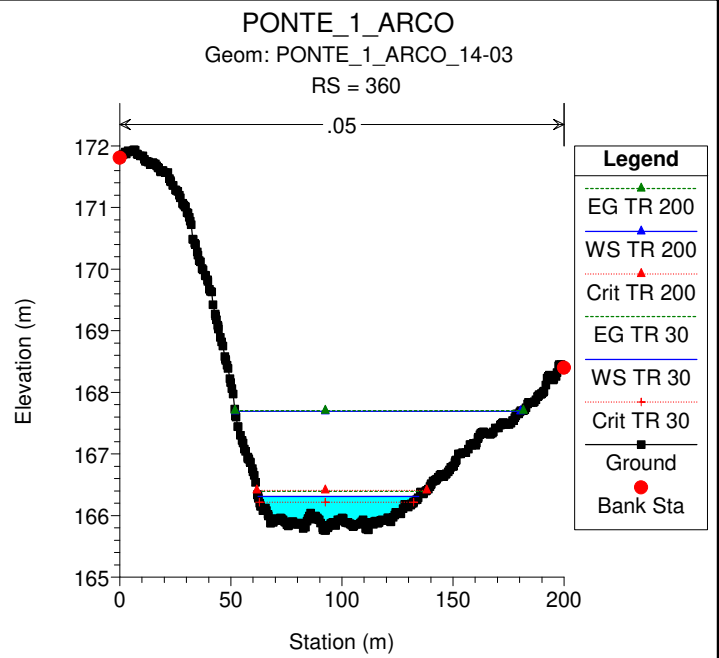
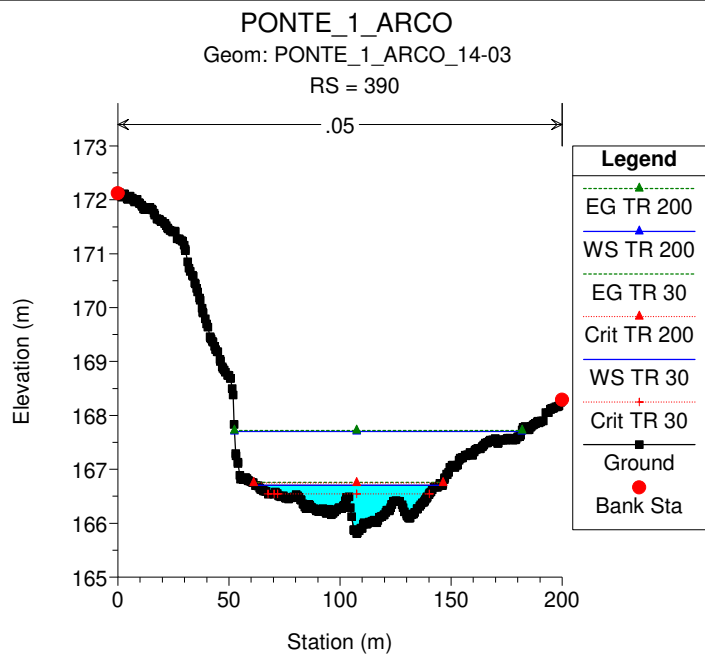


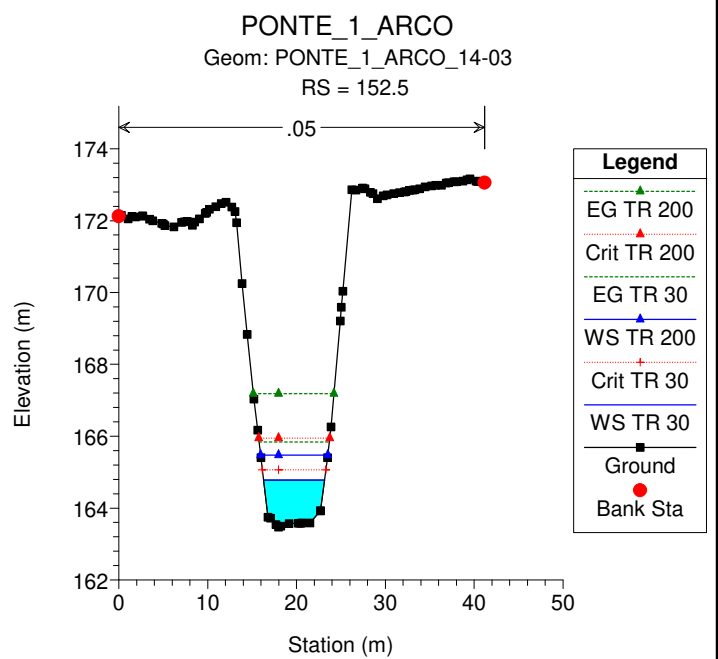
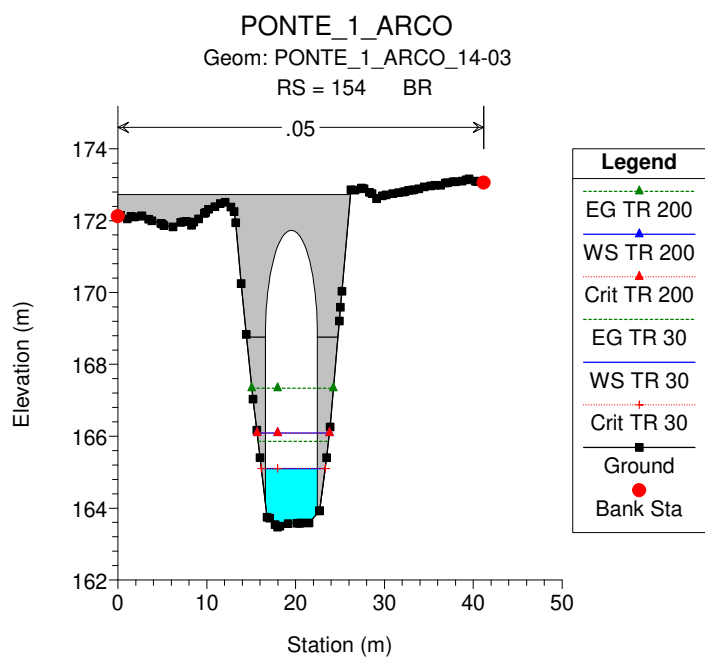
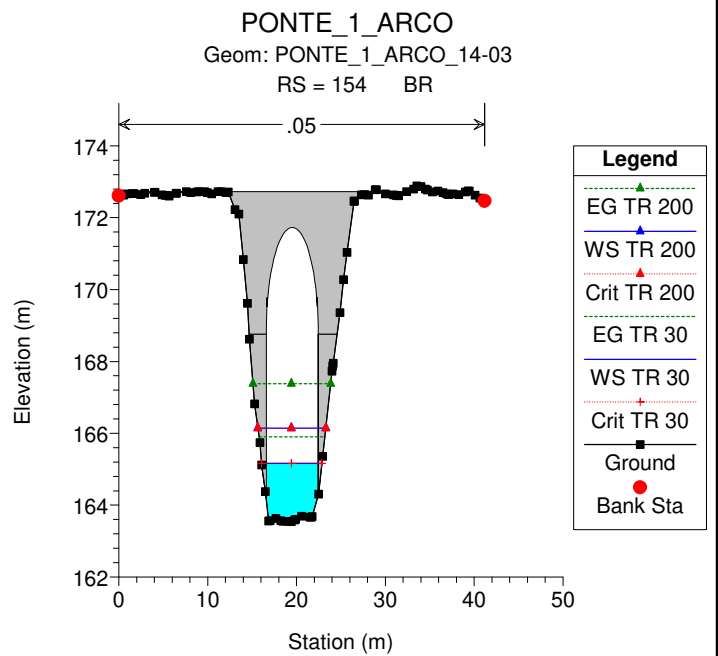
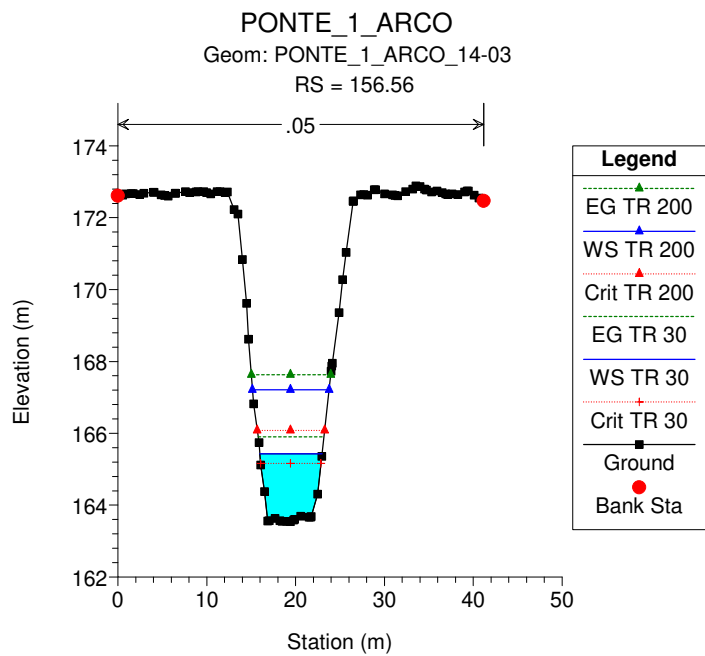
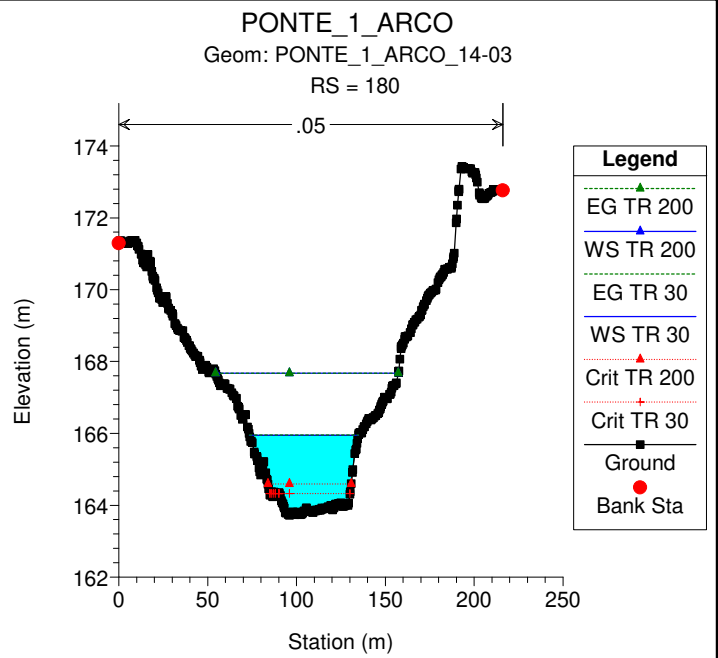
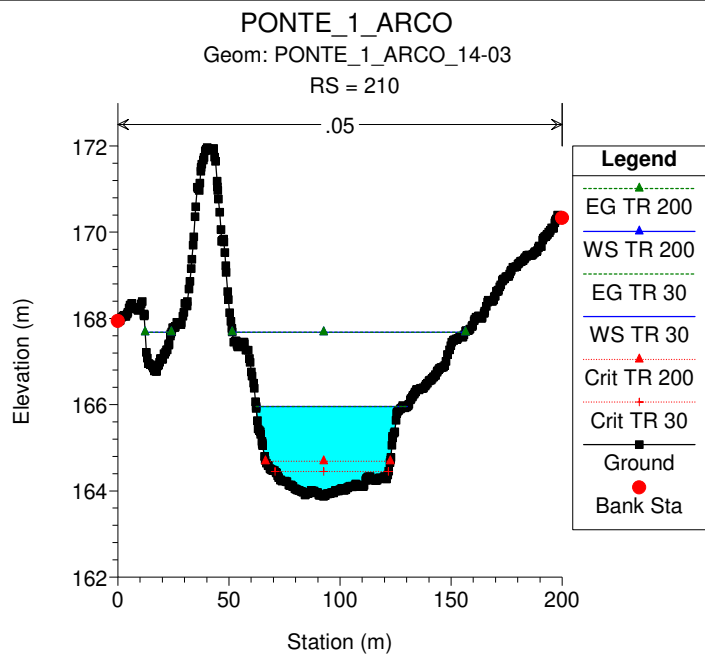


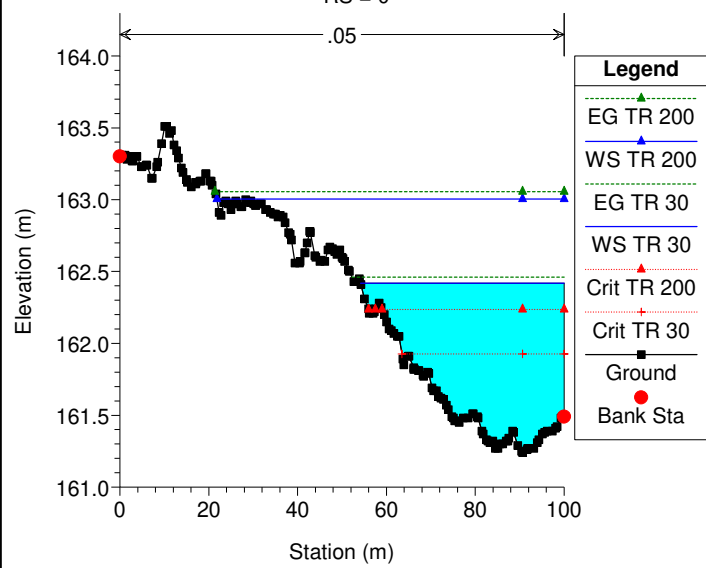










$$RS = 0$$


HEC-RAS Plan: Plan 01 River: CANALE_3 Reach: CANALE_3 Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
CANALE_3	350	PF 1	20.00	183.26	184.34	184.34	184.84	0.012744	3.13	6.40	6.50	1.01
CANALE_3	329.9	PF 1	20.00	182.97	183.81	183.96	184.49	0.021166	3.66	5.47	6.77	1.30
CANALE_3	305	PF 1	20.00	182.49	183.27	183.43	183.95	0.022367	3.64	5.49	7.29	1.34
CANALE_3	282.13	PF 1	20.00	182.04	182.83	182.96	183.45	0.020053	3.49	5.74	7.56	1.28
CANALE_3	257.08	PF 1	20.00	181.56	182.23	182.40	182.89	0.024970	3.59	5.58	8.65	1.43
CANALE_3	219.54	PF 1	20.00	181.06	182.09	181.95	182.42	0.007772	2.54	7.87	7.80	0.81
CANALE_3	170.36	PF 1	20.00	180.67	181.88	181.56	182.11	0.004368	2.10	9.53	8.20	0.62
CANALE_3	119.95	PF 1	20.00	180.27	181.83	181.10	181.94	0.001715	1.51	13.27	8.65	0.39
CANALE_3	90.91	PF 1	20.00	180.04	181.85	180.77	181.91	0.000297	1.06	18.88	10.68	0.25
CANALE_3	76	PF 1	20.00	179.94	181.85	180.65	181.90	0.000239	0.98	20.46	10.84	0.23
CANALE_3	70		Culvert									
CANALE_3	58.45	PF 1	20.00	179.90	181.73	180.69	181.79	0.000563	1.11	18.03	16.64	0.34
CANALE_3	33.5	PF 1	20.00	179.88	181.51	180.98	181.75	0.001792	2.17	9.21	5.81	0.55
CANALE_3	6.66	PF 1	20.00	179.86	181.09	181.09	181.64	0.006164	3.29	6.08	5.56	1.00

