

COMUNE DI MONCALIERI
(Provincia di Torino)

LAVORI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA
DI RII VARI PREVISTI DAL P.T.E.
(Piano Tecnico Esecutivo) – 1° GRUPPO

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO: RELAZIONE IDRAULICA

TAVOLA N° RI	LAVORO N° 394	SCALA
DATA: DICEMBRE 2016	AGG.	AGG.
Responsabile Unico del Procedimento Dott. Ing. R. CILLIS	Dott. Ing. Giovanni BRIGNOLO stud. Via Viotti - 4 - 10121 – Torino Tel. 011/5629490 - Fax 011/530047 E-mail: studiotechico@ingbrignolo.it Cod. Fisc. BRG GNN 68C21 C722X Albo degli Ingegneri n° 6714S	Comune di Moncalieri Ufficio ciclo delle acque Dott. Ing. R. CILLIS

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	INDAGINE IDROLOGICA.....	4
2.1	Aspetti morfometrici.....	4
2.2	Aspetti pluviometrici	6
2.3	Altri parametri.....	8
2.4	Determinazione delle portate di riferimento	10
2.4.1	Il Metodo Razionale.....	10
2.4.2	Il metodo SCS-CN.....	10
2.4.3	Portate idriche di riferimento	11
3	INDAGINE IDRAULICA	13
3.1	Rio dei Cunioli – INTERVENTO A1.....	13
3.1.1	Scenario “ante operam”.....	13
3.1.2	Scenario “post operam”.....	14
3.2	Rio dei Cunioli – INTERVENTO A2.....	14
3.2.1	Scenario “ante operam”.....	14
3.2.2	Scenario “post operam”.....	15
3.3	Rio Botero – INTERVENTO L1	15
3.3.1	Scenario “ante operam”.....	16
3.3.2	Scenario “post operam”.....	16
3.4	Rio San Bartolomeo – INTERVENTO P10-P11-P12.....	17
3.4.1	Scenario “ante operam”.....	17
3.4.2	Scenario “post operam”.....	17
4	ALLEGATI	20
4.1	Allegato 1: Rio dei Cunioli, intervento A1 – Modello idraulico ante operam (sezioni)	21
4.2	Allegato 2: Rio dei Cunioli, intervento A1 – Modello idraulico post operam (sezioni)	24
4.3	Allegato 3: Rio dei Cunioli, intervento A2 – Modello idraulico ante operam (sezioni)	27
4.4	Allegato 4: Rio dei Cunioli, intervento A2 – Modello idraulico post operam (sezioni)	31
4.5	Allegato 5: Rio Botero, Modello idraulico ante operam (sezioni)	35
4.6	Allegato 6: Rio Botero, intervento A2 – Modello idraulico post operam (sezioni)	39
4.7	Allegato 7: Rio San Bartolomeo, intervento P10-P11 – Modello idraulico ante operam (sezioni).....	43
4.8	Allegato 8: Rio San Bartolomeo, intervento P10-P11 – Modello idraulico ante operam (sezioni).....	50

1 PREMESSA

La presente relazione idrologica e idraulica riporta le indagini sviluppate a corredo del “Progetto Definitivo dei lavori di sistemazione idraulica di Rii vari nel Comune di Moncalieri”.

La componente idrologica, che conduce alla determinazione delle portate di riferimento, si sviluppa a partire dall'analisi dei caratteri morfometrici dei bacini.

Per la valutazione degli aspetti pluviometrici si fa esplicito riferimento al Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po.

Le portate vengono calcolate attraverso l'applicazione e il confronto di due metodologie distinte: Il Metodo Razionale e il metodo SCS-CN.

Per l'analisi idraulica si è ricorso alla modellizzazione in condizioni di moto permanente, mediante l'impiego del codice numerico HEC-RAS.

2 INDAGINE IDROLOGICA

2.1 ASPETTI MORFOMETRICI

In questa sede si procede alla misurazione dei parametri fondamentali caratterizzanti i bacini oggetto di studio ricercando i valori delle seguenti grandezze, impiegate nell'applicazione dei metodi descritti in seguito per la determinazione delle portate di riferimento:

- Superficie del bacino;
- Lunghezza idraulica dell'asta principale;
- Pendenza media dei versanti;
- Altitudine media del bacino;
- Pendenza media dell'asta principale

Le misurazioni fondamentali necessarie sono state eseguite sulla base cartografica CTR della Regione Piemonte alla scala 1:10.000, sez. 174010 e 156130, nelle quali ricadono interamente i bacini oggetto di studio. Lo strumento operativo utilizzato è il software GIS Mapinfo 6.0, in grado di consentire il disegno delle entità di interesse sul fondo cartografico e di fornire misurazioni con semplici operazioni di analisi territoriale. Le aree e lunghezze utilizzate per i calcoli successivi sono state determinate come in seguito descritto.

La perimetrazione dei bacini oggetto di intervento, necessaria alla misurazione delle aree, a partire dalla sezione di chiusura, è avvenuta secondo i normali criteri morfologici, seguendo gli spartiacque e mantenendo il perimetro del bacino ortogonale alle isoipse intersecate.

La misurazione della lunghezza idraulica dell'asta principale è avvenuta ripercorrendo graficamente il corso d'acqua dalla sezione di chiusura verso monte, estendendo la misura fino allo spartiacque sommitale.

Per il calcolo della pendenza media dei versanti si fa riferimento alla relazione:

$$y_m = e_i \frac{\sum l_i}{A}$$

In cui “ y_m ” è la pendenza media dei versanti, “ e_i ” l'equidistanza tra le isoipse considerate (in km), “ l_i ” la lunghezza delle singole isoipse (anch'essa in km) e “ A ” la superficie (km²) complessiva del bacino sotteso. Detto valore può essere utilizzato anche in percentuale.

Si considera, quale altitudine media del bacino, la media ponderata rispetto alla superficie delle altitudini medie attribuibili alle porzioni di bacino delimitate da isoipse consecutive. Il calcolo viene effettuato attraverso la seguente formula:

$$H_m = \frac{\sum h_i a_i}{A}$$

in cui: “ H_m ” è l’altitudine media in metri, “ h_{mi} ” l’altitudine media attribuita alla porzione di bacino compresa tra due isoipse successive (in metri), “ a_i ” detta superficie (in kmq) e “ A ” la superficie dell’intero bacino (anch’essa in kmq). Con il termine “altitudine media relativa” si indica la differenza tra l’altitudine media e la quota della sezione di chiusura.

La pendenza media dell’asta principale è parametro utilizzato per il calcolo del tempo di corrivazione e viene calcolato mediante la relazione:

$$i_a = \left(\frac{L}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{i_{ai}}}} \right)^2$$

In cui: “ i_a ” è la pendenza dell’asta principale, “ L ” la lunghezza della medesima, “ L_i ” la lunghezza del tratto i-esimo di asta compreso tra due isoipse consecutive, “ i_{ai} ” la pendenza del tratto i-esimo.

PARAMETRO	u.m.	Rio dei Cunioli	Rio Botero	Rio San Bartolomeo
Quota max.	m slm	478.00	340.00	590.00
Quota sez. chiusura	m slm	230.00	237.00	260.00
Superficie	km ²	0.627	1.032	2.284
Altezza media	m slm	345.4	285.7	342.6
Altezza media relativa	m	115.4	48.7	82.6
Pendenza media versanti		0.34	0.15	0.21
Pendenza media asta		0.10	0.02	0.04
Lunghezza asta	km	1.534	1.321	2.659

2.2 ASPETTI PLUVIOMETRICI

Per l'analisi in corso si intende fare riferimento alle portate associate a precipitazioni caratterizzate da tempo medio di ritorno pari a 20, 100, 200 e 500 anni (ovvero ad eventi caratterizzati da una possibilità di verificarsi pari o inferiori rispettivamente al 5%, 1%, 0.5% e 0.2% annuo). Fissati tali valori si ricercano dati significativi per le località oggetto di studio da inserire nell'equazione della curva di possibilità pluviometrica, che notoriamente si scrive:

$$h = a \times t^n$$

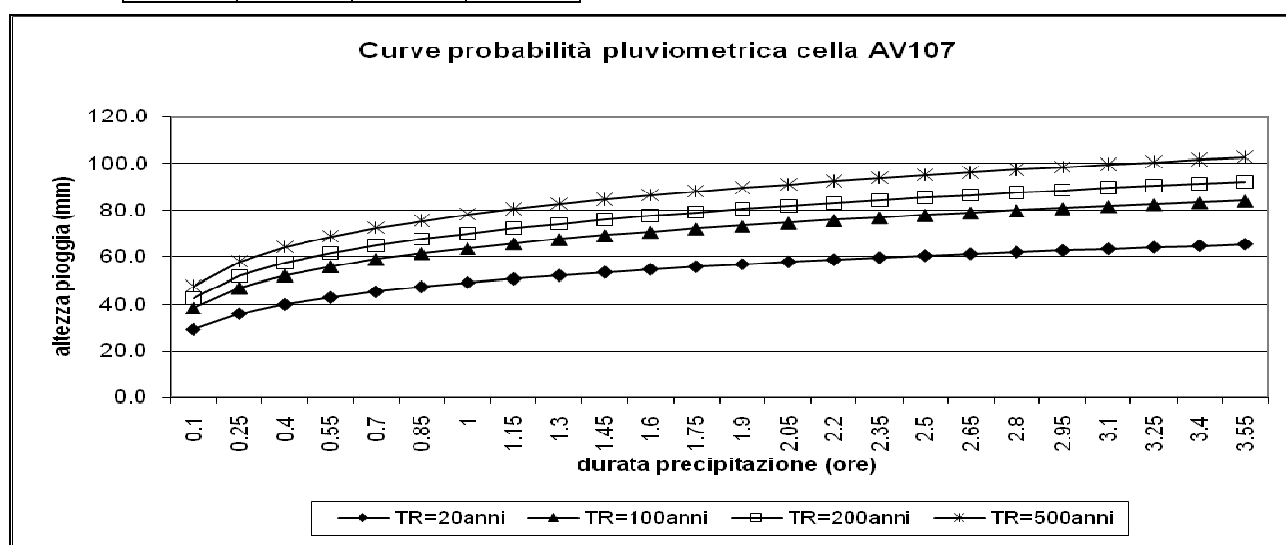
dove "h" è l'altezza di pioggia in mm, "a" il valore della precipitazione di durata pari a 1 ora e "n" l'esponente della curva. I dati a cui si fa riferimento sono quelli riportati nella mosaicatura del PAI - Piano per l'Assetto Idrogeologico – All.3. Per quanto concerne i dati contenuti nel PAI si ricorda che, come descritto nella Direttiva Piene Progetto, il bacino del Po è stato suddiviso in celle con lato pari a 2 km, per ognuna delle quali, in funzione del TR sono stati calcolati i valori dei parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica.

Per quanto concerne il Rio dei Cunioli, si rileva che insiste, con superfici confrontabili, sulle celle AV107 e AW107. Nello specifico si considerano i valori pluviometrici della cella **AV107** in quanto più gravosi e quindi cautelativi. Il Rio Botero, a monte della sezione di chiusura, giace interamente all'interno della cella **AX108**. Il Rio San Bartolomeo giace, per circa il 60% della sua superficie, all'interno della cella AX107; il rimanente 40%, costituito da aree a pendenza inferiore, e quindi presumibilmente meno rapide nella produzione di deflusso, nella cella AX108. Si ritiene opportuno, individuare quali valori dei parametri pluviometrici di riferimento, quelli della cella **AX107**. Di seguito si riportano i parametri pluviometrici e le rispettive curve segnalatrici di possibilità pluviometrica:

Rio dei Cunioli:

Cella PAI **AV107**

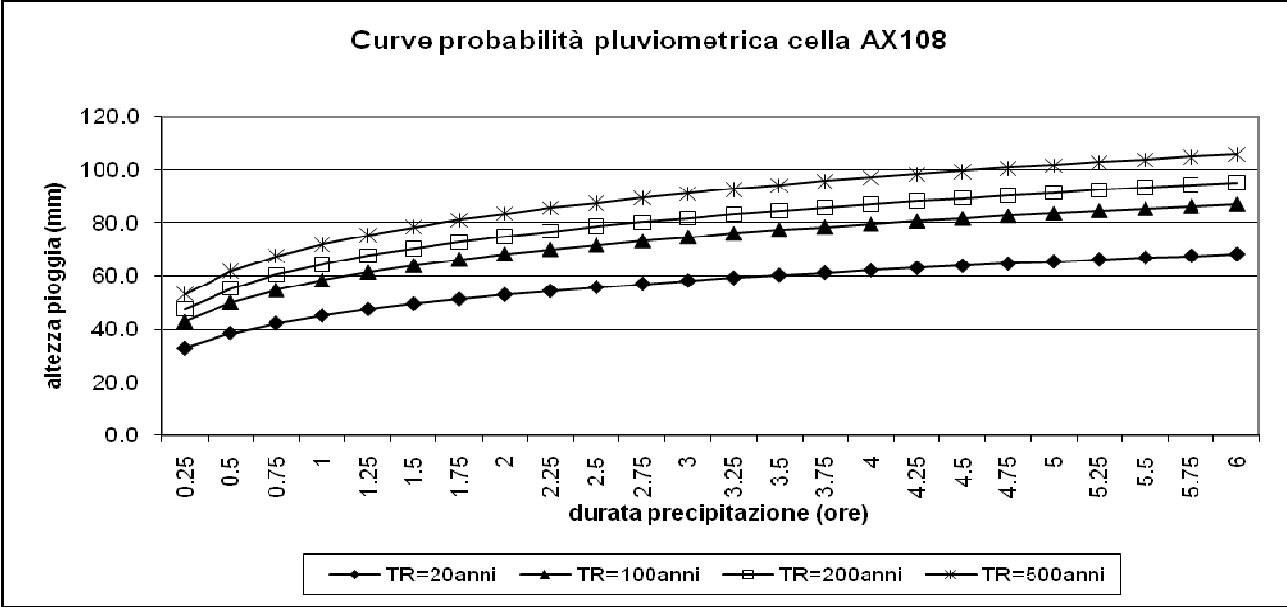
	TR=20	TR=100	TR=200	TR=500
a	49.17	63.80	70.05	78.28
n	0.226	0.219	0.217	0.215



Rio Botero:

Cella PAI **AX108**

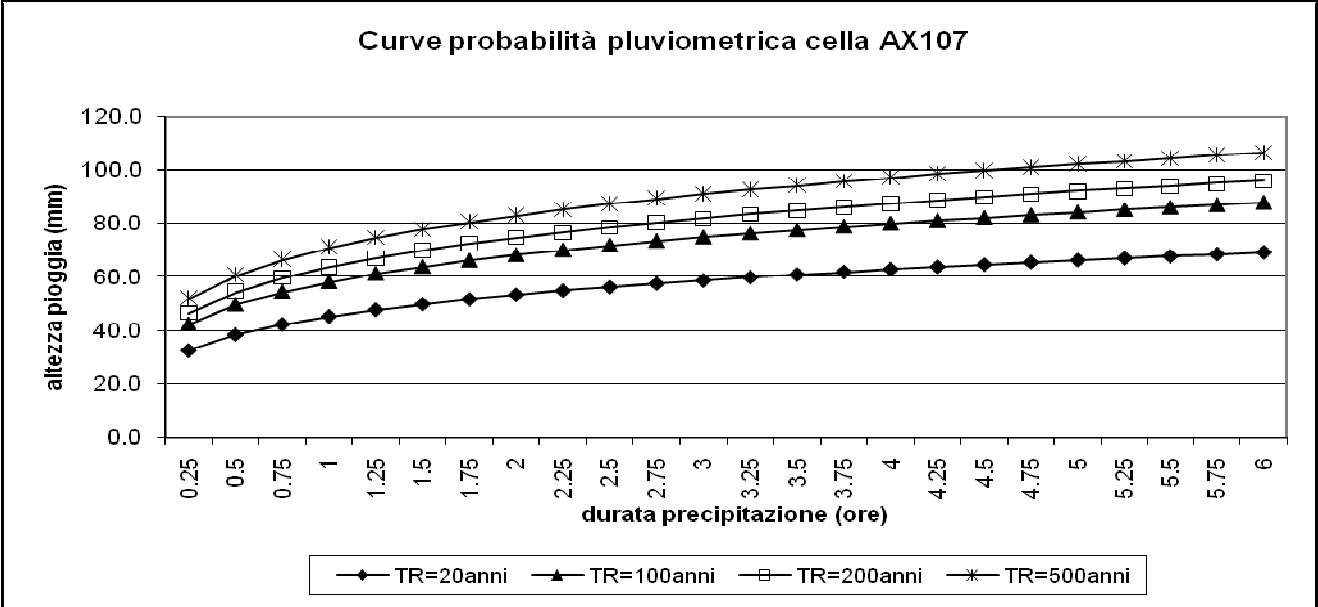
	TR=20	TR=100	TR=200	TR=500
a	45.45	58.75	64.49	71.98
n	0.229	0.221	0.218	0.216



Rio San Bartolomeo:

Cella PAI **AX107**

	TR=20	TR=100	TR=200	TR=500
a	45.42	58.29	63.84	71.09
n	0.236	0.23	0.228	0.226



2.3 ALTRI PARAMETRI

Altri parametri di cui è richiesta la determinazione al fine dell'applicazione dei metodi citati per la individuazione delle portate di riferimento sono: il Tempo di corrivazione (T_c), il Tempo di ritardo (TI – Time Lag), il Coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico (C – nel Metodo Razionale) e il “numero di curva” (CN – nel metodo SCS-CN).

Le caratteristiche morfometriche del bacino determinano la prontezza con cui gli afflussi si trasformano in deflussi. A tale proposito ci si riferisce normalmente al concetto di “Tempo di Corrivazione”, indicando con questo termine il tempo impiegato dalla particella d'acqua, caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino, a contribuire al deflusso nella sezione di chiusura. Diversi autori propongono relazioni per la determinazione di questo intervallo di tempo. Per i bacini montani le espressioni più frequentemente utilizzate sono quelle di Giandotti e di Tournon-Merlo.

La formula di Giandotti prevede l'utilizzo di tre fattori e si scrive:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

dove “ t_c ” è il tempo di corrivazione in ore, “ A ” la superficie del bacino in kmq, “ L ” la lunghezza idraulica dell'asta principale in km, “ H_m ” l'altitudine media del bacino e “ H_0 ” la quota della sezione di chiusura considerata, entrambe espresse in metri.

L'altra formula è quella proposta da Tournon e Merlo (1973) per bacini montani di superficie ridotta, dove è molto sensibile l'influenza dei fattori legati alla pendenza dei versanti e di quella dell'asta principale.

La relazione è la seguente:

$$t_c = 0.396 \times \frac{L}{\sqrt{i_a}} \times \left(\frac{A}{L^2} \times \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{y_m}} \right)^{0.72}$$

dove “ t_c ” è il tempo di corrivazione in ore, “ A ” la superficie del bacino in kmq, “ L ” la lunghezza idraulica dell'asta principale in km, “ i_a ” la pendenza media dell'asta principale e “ y_m ” la pendenza media dei versanti.

Significato diverso assume invece il concetto di “Tempo di ritardo” o “Time lag”, definito come intervallo che intercorre tra il baricentro del pluviogramma e il colmo dell'idrogramma nelle applicazioni che prevedono l'utilizzo del parametro “CN” (curve number) in relazioni di provenienza statunitense ed ormai largamente utilizzate anche in Italia. Nella sua definizione interviene anche la condizione di copertura ed uso del suolo del bacino oltre che le condizioni di infiltrabilità dei suoli che costituiscono il bacino idrografico. Proprio queste sono le caratteristiche riassunte nel parametro “CN”.

Per l'analisi oggetto di studio si fa riferimento alla relazione di Mockus

$$t_{lag} = 0.342 \times \frac{1}{\sqrt{Y}} \times L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

In cui “ t_{lag} ” è il tempo di ritardo in ore, “ L ” la lunghezza idraulica dell’asta in km, “ Y ” la pendenza media dei versanti espressa in percentuale, “ CN ” il curve number caratteristico del bacino in esame.

Note le caratteristiche morfometriche e pluviometriche dei bacini, è intuitivo pensare che, in termini di bilancio idrologico, e in assenza di significativi contributi esterni (apporti sotterranei da altri bacini,...) parte dell’afflusso meteorico va a formare le portate che defluiscono attraverso la sezione di chiusura, e parte si perde per motivi diversi (infiltrazione, intercettazione da parte dell’apparato fogliare delle piante, ...) e non contribuisce alla formazione delle portate alla sezione di chiusura, almeno per un periodo di tempo compatibile con la durata dell’evento considerato (periodo di crescita e di svuotamento dell’idrogramma di piena).

I due metodi adottati per il calcolo delle portate al colmo dei corsi d’acqua oggetto di studio prevedono l’introduzione di questo fattore, e nello specifico il Metodo Razionale prevede l’impiego del coefficiente di riduzione dell’afflusso meteorico, generalmente indicato con la lettera maiuscola “ C ”.

La tabella riportata nella Direttiva Piene Progetto del PAI, per tipi di suolo con infiltrazione media e uso del suolo da coltivo a bosco, riporta un intervallo che va rispettivamente da **$C = 0.50$** a **$C = 0.40$** .

Similmente il metodo SCS-CN rappresenta nel parametro “Curve Number” (CN appunto) la frazione di afflusso meteorico in grado di produrre deflusso in funzione della natura dei suoli, della copertura e del livello di saturazione caratteristico del momento in cui si suppone la precipitazione abbia inizio. Quest’ultimo concetto è sintetizzato nel parametro AMC (Antecedent Moisture Condition), per cui il valore del CN varia a seconda che il suolo si trovi in condizioni di saturazione completa, media o assente (rispettivamente AMC III, AMC II, AMC I). Le tabelle a disposizione forniscono normalmente il valore di AMC II, ovvero di condizione di media saturazione. Esso può essere trasformato in AMC III (condizione più gravosa per il bacino) attraverso la relazione proposta dal Soil Conservation Service stesso:

$$CN(III) = 23CN(II)/(10 + 0.13CN(II))$$

Il settore di versante in esame può essere ricondotto a suoli di tipo “B”, ovvero “con moderata infiltrazione se saturi” (HECF-1 User’s manual). Le coperture del suolo, desunte dalla carta dell’uso del suolo predisposta da IPLA (Istituto Pianta da Legno e Ambiente) nell’ambito della redazione del Piano Forestale Territoriale (AF58) sono rappresentate prevalentemente da boschi.

Il valore di CN caratteristico delle suddette categorie, in condizioni di AMC II, è $CN = 64$, cui corrisponde, mediante la citata relazione di trasformazione, un valore medio in condizioni di AMC III di **$CN = 80$** .

La seguente tabella riassume, per i corsi d’acqua oggetto di studio, i parametri calcolati come sopra:

PARAMETRO	u.m.	Rio dei Cunioli	Rio Botero	Rio San Bartolomeo
Tempo di corrivazione (Giandotti)	ore	0.64	1.08	1.38
Tempo di corrivazione (Tournon)	ore	0.48	1.22	1.27
Tempo di ritardo	ore	0.20	0.35	0.46
Parametro C		0.50	0.50	0.50
Parametro CN		80	80	80

2.4 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

Per la determinazione delle portate di riferimento con TR = 20,100,200 e 500 anni, si procede impiegando e confrontando due metodi differenti. Il primo è il Metodo Razionale, largamente utilizzato in Italia, su bacini di qualsiasi dimensione, il secondo il metodo SCS-CN, indicato, al pari del primo, come riferimento per bacini di piccole dimensioni e precipitazioni brevi ed intense dalla Direttiva Piene Progetto del PAI già più volte citata. Dal confronto dei due metodi derivano i valori delle portate di riferimento da utilizzarsi nel corso delle verifiche idrauliche.

2.4.1 Il Metodo Razionale

La relazione che conduce alla determinazione della portata al colmo corrispondente ad un prescelto tempo di ritorno della precipitazione, prevede l'impiego, quale durata critica, della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino. La formula è la seguente:

$$Q = \frac{A \times C \times h_c}{3.6 \times t_c}$$

In cui "Q" è la portata al colmo (mc/s) per il TR considerato, "A" la superficie del bacino in kmq, "C" il coefficiente di riduzione dell'afflusso meteorico, in relazione alla tipologia del substrato e all'uso del suolo, "h_c" la precipitazione critica in mm, ovvero quella relativa al TR considerato e di durata pari al tempo di corrivazione del bacino, "t_c" il tempo di corrivazione in ore.

2.4.2 Il metodo SCS-CN

Come indicato nella Direttiva Piene Progetto del PAI, il metodo può essere utilizzato per la determinazione della portata al colmo di piccoli bacini montani in occasione di precipitazioni brevi ed intense.

Esso propone il calcolo della portata di riferimento attraverso la relazione:

$$Q = 0.28 \times R_0 \times \frac{A}{t_p}$$

In cui “ t_p ” è il tempo di crescita dell’onda di piena (in ore), “ A ” la superficie del bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura, “ R_0 ” il volume netto di pioggia per unità di superficie (in mm) e “ Q ” la portata al colmo in mc/s.

Si ricorda che:

$$t_p = D/2 + t_{lag}$$

Dove “ D ” è la durata della precipitazione e “ t_{lag} ” il tempo di ritardo, calcolato con uno dei due metodi sopra descritti.

$$R_0 = \frac{(h - 0.2S)^2}{h + 0.8S}$$

Con “ h ” precipitazione meteorica in mm e “ R_0 ” volume netto di pioggia in mm;

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

Con “ S ” valore massimo dell’invaso per infiltrazione in mm e “ CN ” Curve Number.

2.4.3 Portate idriche di riferimento

Applicando le metodologie sopra illustrate e utilizzando i parametri derivanti dall’analisi morfometrica e pluviometrica, si ottengono i risultati riportati nella seguente tabella:

Metodo Razionale:

RIO DEI CUNIOLI	
Cella PAI	AV107
Tc	0.64
Area	0.627
C	0.5

	a	n	hc	Q
	mm		mm	mc/s
TR20	49.17	0.226	44.5	6.0
TR100	63.8	0.219	57.9	7.9
TR200	70.05	0.217	63.6	8.7
TR500	78.28	0.215	71.1	9.7

RIO BOTERO	
Cella PAI	AX108
Tc	1.08
Area	1.032
C	0.55

	a	n	hc	Q
			mm	mc/s
TR20	45.45	0.229	41.0	6.0
TR100	58.75	0.221	53.2	7.8

TR200	64.49	0.218	58.5	8.5
TR500	71.98	0.216	65.4	9.5

RIO SAN BARTOLOMEO	
Cella PAI	AX108
Tc	1.38
Area	2.284
C	0.55

	a	n	hc	Q
	mm		mm	mc/s
TR20	45.45	0.229	41.0	10.4
TR100	58.75	0.221	53.2	13.5
TR200	64.49	0.218	58.5	14.8
TR500	71.98	0.216	65.4	16.5

Metodo SCS-CN

Portata al colmo in funzione del TR	u.m.	Rio dei Cunioli	Rio Botero	Rio San Bartolomeo
TR = 20 anni	mc/s	3.62	3.78	6.33
TR = 100 anni	mc/s	6.67	6.74	11.19
TR = 200 anni	mc/s	8.14	8.23	13.59
TR = 500 anni	mc/s	10.27	10.30	16.99

Visti i risultati dei calcoli espletati, si individuano, per i corsi d'acqua in esame, le seguenti portate di riferimento associate a TR = 200 anni da impiegarsi nelle successive verifiche, opportunamente arrotondate in maniera cautelativa:

Rio dei Cunioli : **$Q_{200} = 9.0$ mc/s**

Rio Botero : **$Q_{200} = 9.0$ mc/s**

Rio di San Bartolomeo : **$Q_{200} = 15.0$ mc/s**

3 INDAGINE IDRAULICA

Per le valutazioni di carattere idraulico inerenti gli interventi oggetto del presente Progetto, si è utilizzato il codice numerico HEC-RAS, di provenienza statunitense, ma già largamente usato per la modellizzazione dei corsi d'acqua in condizioni di moto permanente anche in Italia.

L'allestimento dei modelli è stato reso possibile dalla disponibilità di rilievi piano altimetrici dedicati, utilizzati anche in sede di progettazione delle opere.

Nello specifico, per ognuno dei corsi d'acqua e dei siti oggetto di intervento si sono sviluppati 2 scenari: quello "ante" e quello "post-operam", in modo da valutare le criticità esistenti e la funzionalità idraulica degli interventi proposti.

Ogni scenario viene di seguito analizzato nel dettaglio.

3.1 RIO DEI CUNIOLI – INTERVENTO A1

3.1.1 Scenario "ante operam"

La portata di riferimento per il sito oggetto di intervento viene proporzionata a quella calcolata per il bacino chiuso più a valle, tenendo conto che l'area sottesa dalla sezione di chiusura di cui trattasi è pari a 0.507 kmq. Essendo di 9.0 mc/s la portata calcolata per il bacino chiuso in corrispondenza dell'intervento A2, con una superficie sottesa di 0.627 kmq, si conclude che la portata di riferimento due centennale è pari a 7.3 mc/s.

Fatta la debita premessa, ed analizzate le 5 sezioni rilevate nell'ambito del tratto oggetto di intervento, si perviene alla definizione dei caratteri idraulici legati al transito della portata di piena nelle condizioni attuali del corso d'acqua:

Sez	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	n° Froude	ROB Elev (m)	LOB Elev (m)	F
50	7.3	252.2	252.93	0.040052	3.58	2.04	1.72	252.96	253.8	0.03
40	7.3	251.64	252.45	0.04479	4.08	1.79	1.85	252.49	253.7	0.04
30	7.3	251.58	252.32	0.042584	4.02	1.98	1.81	252.16	253.8	-0.16
20	7.3	251.5	252.24	0.038963	3.85	2.06	1.73	252.14	253.63	-0.1
10	7.3	250.36	251.49	0.068106	4.63	1.65	1.77	251.52	251.52	0.03

La criticità presentata dal tratto di corso d'acqua oggetto di intervento è l'inadeguatezza dimensionale al convogliamento della portata di riferimento. Infatti il franco risulta essere pressoché inesistente, laddove non si rilevi addirittura una fuoriuscita di portata in direzione della viabilità lungo cui si sviluppa l'alveo.

Le velocità dell'acqua, che si mantengono in un range compreso tra 2.2 e 3.4 m/s, risultano poco compatibili con il materiale costituente il fondo e le sponde. Ciò induce a temere, in caso di piena, locali mobilitazioni del materiale, con conseguente instaurarsi di fenomeni erosivi che possono alimentare il trasporto solido del corso

d'acqua in direzione del tratto tombato giacente a valle (non oggetto di intervento), con pericolo di occlusione parziale dello stesso, e diminuzione dell'efficienza idraulica.

3.1.2 Scenario "post operam"

Realizzate le opere in progetto, così come descritte nella Relazione Tecnica, le condizioni idrauliche di transito della portata di riferimento divengono le seguenti:

Sez	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	n° Froude	ROB Elev	LOB Elev	F
	(m3/s)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)
50	7.3	252.2	252.93	0.040053	3.95	1.85	1.96	252.96	253.8	0.03
40	7.3	251.64	252.27	0.056422	4.7	1.55	2.14	253.51	253.7	1.24
30	7.3	251.58	252.31	0.033575	3.95	1.85	1.68	253.18	253.8	0.87
20	7.3	251.5	252.23	0.03251	3.86	1.89	1.64	253.03	253.63	0.8
10	7.3	250.34	250.96	0.073646	5.67	1.29	2.41	252.4	251.52	0.56

In seguito alla sistemazione il franco (F) presenta dei valori pluridecimetrici, con diminuzione della pericolosità del sito.

Inoltre il rivestimento del fondo impedisce i fenomeni di erosione localizzata e mobilitazione di sedimento in direzione del tratto tombato.

Le velocità, comunque rilevanti in caso di piena, anche in caso di morbida favoriscono il mantenimento della pulizia del tratto tombato stesso.

3.2 RIO DEI CUNIOLI – INTERVENTO A2

Si ricorda che la portata di riferimento due centennale è pari a 9.0 mc/s.

3.2.1 Scenario "ante operam"

Si analizzano 6 sezioni misurate, di cui 3 a valle e 3 a monte del tratto tombato esistente al di sotto di Corso Torino.

Nella situazione attuale il deflusso avviene con le seguenti caratteristiche idrauliche:

Sez	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	n° Froude	ROB Elev	LOB Elev	F
	(m3/s)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)
60	9	224.97	226.28	0.034016	3.25	2.77	1.09	226.76	227.29	0.48
50	9	224.6	226.31	0.012336	2.21	4.08	0.66	226.39	226.92	0.08
40	9	224.45	225.87	0.030974	3.16	2.85	1.01	226.43	226.72	0.56
35	Culvert									

30	9	223.44	224.83	0.012081	2.24	4.03	0.66	226.76	225.68	0.85
20	9	222.95	224.43	0.033022	3.2	2.81	1.01	226.15	225.15	0.72
10	9	222.58	224	0.038808	3.4	2.65	1.09	225.78	224.78	0.78

Le principali criticità evidenziate sono:

- All'imbocco del tratto tombato il franco residuo (F), misurato rispetto alla sponda più bassa, si riduce sensibilmente;
- Le velocità dell'acqua, che si mantengono in un range compreso tra 2.2 e 3.4 m/s, risultano poco compatibili con il materiale costituente il fondo e le sponde. Ciò induce a temere, in caso di piena, locali mobilitazioni del materiale, con conseguente instaurarsi di fenomeni erosivi che possono alimentare il trasporto solido del corso d'acqua in direzione del tratto tombato, con pericolo di occlusione parziale dello stesso, e diminuzione dell'efficienza idraulica.

3.2.2 Scenario "post operam"

Realizzate le opere in progetto, così come descritte nella Relazione Tecnica, le condizioni idrauliche di transito della portata di riferimento divengono le seguenti:

Sez	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	n° Froude	ROB Elev (m)	LOB Elev (m)	F (m)
60	9	225.07	226.27	0.03401	3.75	2.4	1.34	226.76	227.29	0.49
50	9	224.7	225.89	0.036102	3.83	2.35	1.38	226.39	226.92	0.5
40	9	223.45	223.81	0.18373	6.47	1.39	3.46	226.43	226.43	2.62
35	Culvert									
30	9	223.12	224.11	0.007834	2.26	3.99	0.73	226.76	225.9	1.79
20	9	223.1	223.9	0.014729	2.8	3.22	1.01	226.15	225.5	1.6
10	9	222.8	223.43	0.029676	3.54	2.54	1.43	225.85	225.2	1.77

Gli interventi sono tali da aumentare considerevolmente il franco residuo nell'intorno del tratto tombato, diminuendo il rischio di ostruzione del medesimo.

Inoltre il rivestimento del fondo impedisce i fenomeni di erosione localizzata e mobilitazione di sedimento in direzione del tratto tombato.

Le velocità, comunque rilevanti in caso di piena, anche in caso di morbida favoriscono il mantenimento della pulizia del tratto tombato stesso.

3.3 Rio BOTERO – INTERVENTO L1

Si ricorda che la portata di riferimento duecentennale è pari a 9.0 mc/s.

3.3.1 Scenario "ante operam"

Si analizzano 6 sezioni misurate, di cui 3 a valle e 3 a monte del tratto tombato esistente.

Nella situazione attuale il deflusso avviene con le seguenti caratteristiche idrauliche:

Sez. in Tavola	Sez	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	n° Froude	ROB Elev (m)	LOB Elev (m)	F
1	70	9	230.25	231.13	2.67	3.37	1.29	231.82	231.45	0.32
2	60	9	230.15	230.91	2.69	3.4	1.39	231.49	230.92	0.01
3	50	9	229.44	230.18	3.71	2.61	1.63	229.76	230.23	-0.42
	40	9	228.32	230.31	1.26	8.35	0.3	229.8	229.8	-0.51
4	35	Culvert								
	30	9	228	229.08	3.13	2.88	1	229.7	229.7	0.62
5	20	9	227.3	227.85	5.5	1.64	2.98	228.58	229.58	0.73
6	10	9	226.9	227.8	4.49	2	1.75	229.95	230.15	2.15

Le criticità risultano essere le seguenti:

- Il tratto tombato non risulta idoneo al convogliamento della portata di riferimento due centennale. In occasione del transito si verificano fuoriuscite di portata, con tiranti anche significativi, e conseguente allagamento delle zone limitrofe e della viabilità;
- Le velocità si mantengono intorno a valori piuttosto elevati (range di riferimento da 1.2 a oltre 5 m/s, potendo innescare fenomeni erosivi e mobilitare il sedimento in direzione del tratto tombato.
- Generalmente il franco (F) è ridotto.

3.3.2 Scenario "post operam"

Realizzate le opere in progetto, così come descritte nella Relazione Tecnica, le condizioni idrauliche di transito della portata di riferimento divengono le seguenti:

Sez. in Tavola	Sez	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	n° Froude	ROB Elev (m)	LOB Elev (m)	F
1	70	9	230.16	231	3.26	2.76	1.25	231.46	231.46	0.46
2	60	9	229.98	230.73	3.41	2.64	1.34	231.18	231.18	0.45
	52	9	228.5	228.97	5.74	1.57	2.8	230.18	230.18	1.21
3	50	9	227.86	228.3	6.36	1.42	3.17	230.18	230.18	1.88
	40	9	227.72	228.27	5.36	1.68	2.34	229.62	229.62	1.35
4	35	Culvert								
	30	9	227.56	228.2	4.6	1.96	1.86	229.62	229.62	1.42
5	20	9	227.45	228.63	2.96	3.04	1.01	229.95	229.95	1.32
6	10	9	226.9	227.73	4.71	1.91	1.88	230	230	2.27

Gli interventi sono tali da aumentare considerevolmente il franco residuo nell'intorno del tratto tombato, diminuendo il rischio di ostruzione del medesimo.

Inoltre il rivestimento del fondo impedisce i fenomeni di erosione localizzata e mobilitazione di sedimento in direzione del tratto tombato.

Le velocità, comunque rilevanti in caso di piena, anche in caso di morbida favoriscono il mantenimento della pulizia del tratto tombato stesso.

3.4 RIO SAN BARTOLOMEO – INTERVENTO P10-P11-P12

Si ricorda che la portata di riferimento duecentennale è pari a 15.0 mc/s. L'intervento P12 si sviluppa nel tratto di corso d'acqua immediatamente a monte dell'attraversamento di valle esistente.

3.4.1 Scenario "ante operam"

Si analizzano 14 sezioni misurate, nella situazione attuale il deflusso avviene con le seguenti caratteristiche idrauliche:

Sez. in Tavola	Sez	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	n° Froude	ROB Elev (m)	LOB Elev (m)	F
	80	15	256.95	258.25	3.59	4.18	1.31	259.01	260.22	0.76
	70	15	256.7	257.77	3.63	4.13	1.48	259.05	259.03	1.26
	60	15	255.86	258.12	1.24	12.07	0.34	258.35	258.72	0.23
	50	15	255.67	258.11	1.18	13.61	0.29	257.7	258.21	-0.41
	49	15	255.62	258.12	1.13	14.17	0.28	257.65	258.16	-0.47
	45	Culvert								0
	41	15	255.62	256.94	3.05	4.91	1	257.65	258.16	0.71
11	40	15	254.92	256.25	3.88	3.87	1.38	256.76	257.31	0.51
10	30	15	254.16	255.92	3.24	4.64	1.03	256.08	257.48	0.16
9	20	15	253.66	256.03	1.16	13.21	0.31	255.78	256.93	-0.25
	19	15	253.51	256.04	1.03	15.06	0.26	255.63	256.78	-0.41
	15	Culvert								0
	11	15	253.21	254.64	2.79	5.37	1	255.33	256.48	0.69
8	10	15	252.76	254.18	3.56	4.21	1.19	254.52	254.77	0.34

Si evidenziano criticità per il convogliamento della portata di riferimento soprattutto per i due attraversamenti presenti lungo il tratto, e in particolare per quello primario della SP 125 di Revigliasco.

Le portate fuoriuscenti si riversano lungo la sede stradale, causando allagamenti.

Il franco residuo è alquanto limitato.

3.4.2 Scenario "post operam"

Realizzate le opere in progetto, così come descritte nella Relazione Tecnica, le condizioni idrauliche di transito della portata di riferimento divengono le seguenti:

Sez. in		Sez	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Flow Area	n° Froude	ROB Elev	LOB Elev	F
Tavola			(m3/s)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)		(m)	(m)	(m)
		80	15	257.05	258.08	3.93	3.82	1.34	258.55	258.55	0.47
		70	15	256.84	257.89	3.89	3.85	1.33	258.35	258.35	0.46
		60	15	256	256.78	5.47	2.74	2.12	258.36	258.36	1.58
		50	15	255.75	256.62	4.79	3.13	1.76	257.66	258.11	1.04
		49	15	255.7	257.41	2.12	7.06	0.59	257.61	258.06	0.2
		45	Culvert								
		41	15	255.65	256.89	3.18	4.72	1.01	257.56	258.01	0.67
11		40	15	254.7	255.48	5.43	2.76	2.1	256.61	257.8	1.13
10		30	15	254.21	255.17	4.29	3.5	1.52	256.38	257.31	1.21
9		20	9	253.47	255.06	1.29	6.97	0.38	255.78	256.57	0.72
		19	9	253.32	255.07	1.14	7.93	0.32	255.63	256.42	0.56
		15	Culvert								
		11	9	253.02	253.86	2.89	3.12	1.1	255.33	256.12	1.47
8		10	9	252.77	253.62	2.95	3.05	1.1	254.27	254.27	0.65
		5	9	252.06	253	4.00	2.25	1.6	253.82	254.07	0.82

E' evidente il cospicuo miglioramento dei valori del franco residuo (F) dovuto alla ricalibratura delle sezioni di deflusso.

L'attraversamento di monte appare ora idoneo al convogliamento delle portate di riferimento (15 mc/s).

La stessa portata però non sarebbe in grado di transitare nel tratto tombato al di sotto della SP125 di Revigliasco.

Per ovviare a tale criticità si prevede la realizzazione dello scolmatore indicato negli elaborati grafici, dimensionato per sottrarre al canale principale una portata pari a 6 mc/s.

La portata residua di 9 mc/s transita lungo l'attraversamento della SP125 con le caratteristiche idrauliche indicate nella tabella.

Data la regolarità delle sezioni e della pendenza, si verifica la capacità di convogliamento dello scolmatore in condizioni di moto uniforme, secondo la nota relazione di Chèzy.

Larghezza del fondo "b"	2	m
Pendenza media del tratto "i"	0.02	m/m
Inclinazione sponda dx (y/x)	100	m/m
Inclinazione sponda sx (y/x)	100	m/m
"n" di Manning	0.022	
Franco	0.5	m

h pl	B	A	C	r	V	Q
m	m	mq	m	m	m/s	mc/s
0.80	2.02	1.60	3.59	0.445	3.75	6.000

Nello specifico per ciò che attiene direttamente l'intervento P12 si è proceduto alla verifica idraulica del manufatto immediatamente a monte del quale si sviluppa l'intervento in progetto.

Essendo il tratto a monte dell'imbocco dell'attraversamento, idraulicamente "poco esteso" per l'analisi mediante modello di moto permanente, si propone la verifica in condizioni di moto uniforme, sotto ipotesi cautelative di considerare, per la struttura, una sezione inferiore a quella reale, raggiungendo di fatto una sottostima del franco residuo.

Essendo la luce attuale costituita da tubo fin sider a sezione ribassata di altezza pari a 2.15 m e larghezza di 2.0 m, si considera la medesima approssimata ad una sezione circolare di diametro pari a 1.80 m.

La pendenza del fondo scorrevole, desunta dalle quote di fondo a monte (237.04) e a valle (236.86) del manufatto, risulta pari al 1.1%. Cautelativamente si assume una pendenza di verifica pari a $j=1\%$.

Il coefficiente di scabrezza è individuato pari a $n = 0.012$ (nella formulazione di Manning).

Sotto queste ipotesi la scala di deflusso della sezione, corrispondente alla capacità di convogliamento della stessa, risulta essere la seguente:

Diametro D (m)	1.8
Pendenza j	0.01
Scabrezza n ($m^{-1/3} s$)	0.012

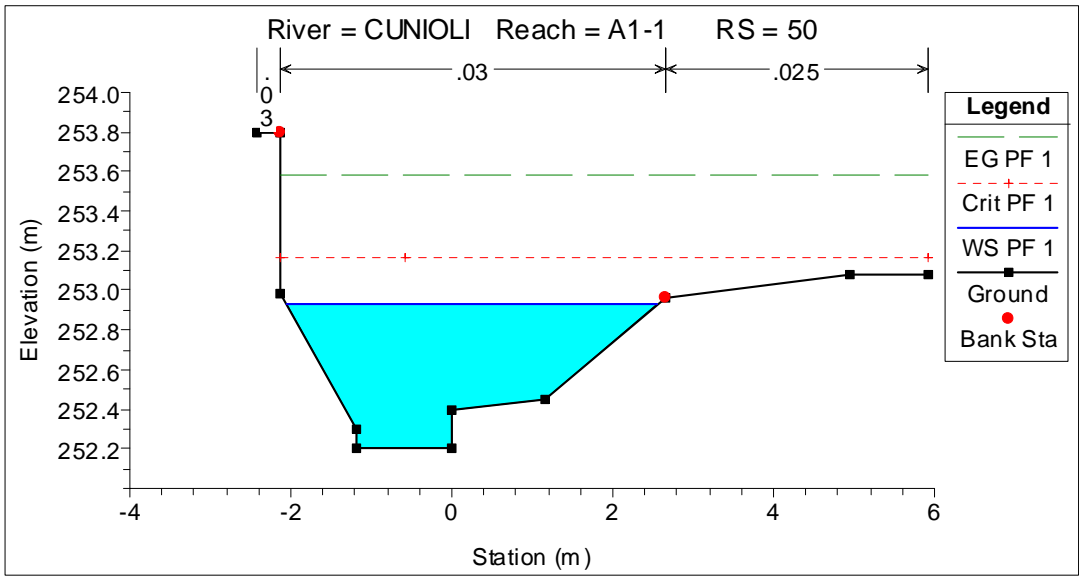
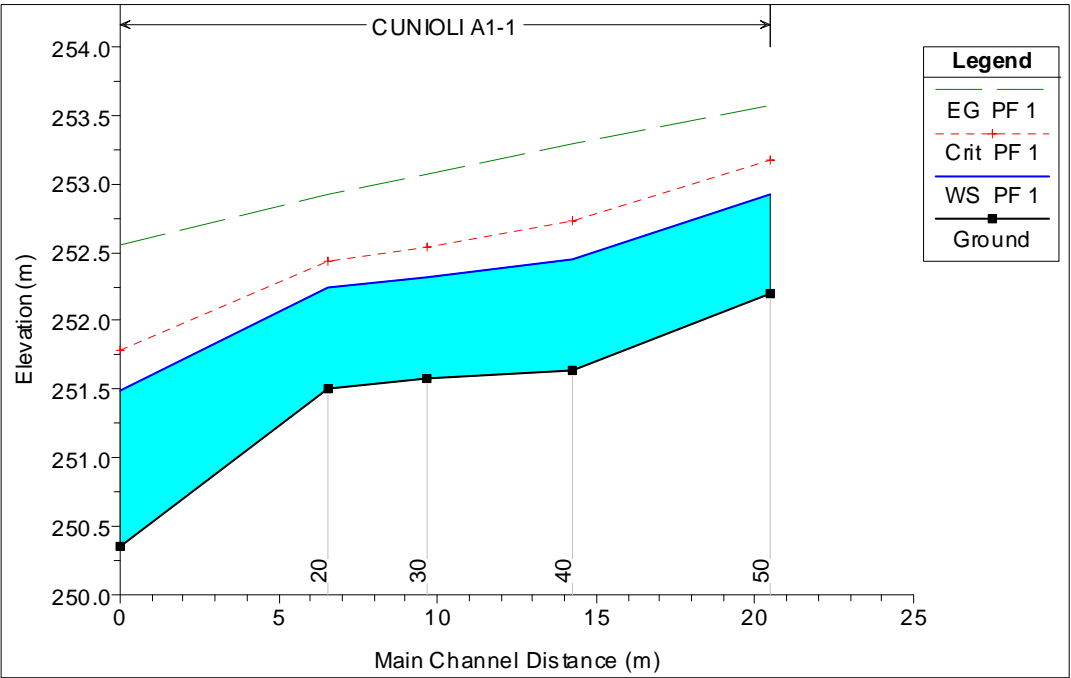
Profondità corrente y (m)	Rapporto di riempimento (y/D)	V	Q	l/s	T	alpha	C	A	R
0.7	0.39	4.35	3.985	3985	1.75	2.69	2.42	0.9153	0.38
0.8	0.44	4.64	5.074	5074	1.79	2.92	2.63	1.0927	0.42
0.9	0.50	4.89	6.226	6226	1.80	3.14	2.83	1.2723	0.45
1	0.56	5.11	7.413	7413	1.79	3.36	3.03	1.4519	0.48
1.1	0.61	5.28	8.602	8602	1.75	3.59	3.23	1.6293	0.50
1.2	0.67	5.42	9.761	9761	1.70	3.82	3.44	1.8021	0.52
1.3	0.72	5.51	10.850	10850	1.61	4.06	3.66	1.9678	0.54
1.4	0.78	5.57	11.825	11825	1.50	4.32	3.89	2.1236	0.55
1.5	0.83	5.58	12.632	12632	1.34	4.60	4.14	2.2658	0.55
1.6	0.89	5.52	13.197	13197	1.13	4.92	4.43	2.3901	0.54
1.7	0.94	5.38	13.391	13391	0.82	5.33	4.80	2.4890	0.52
1.8	1.00	4.89	12.452	12452	0.00	6.28	5.65	2.5446	0.45

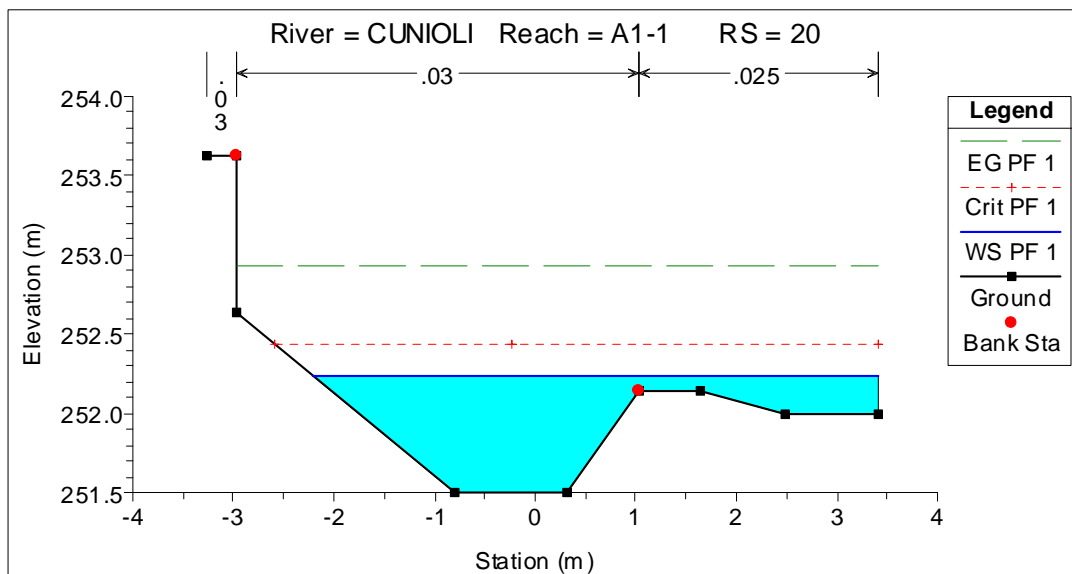
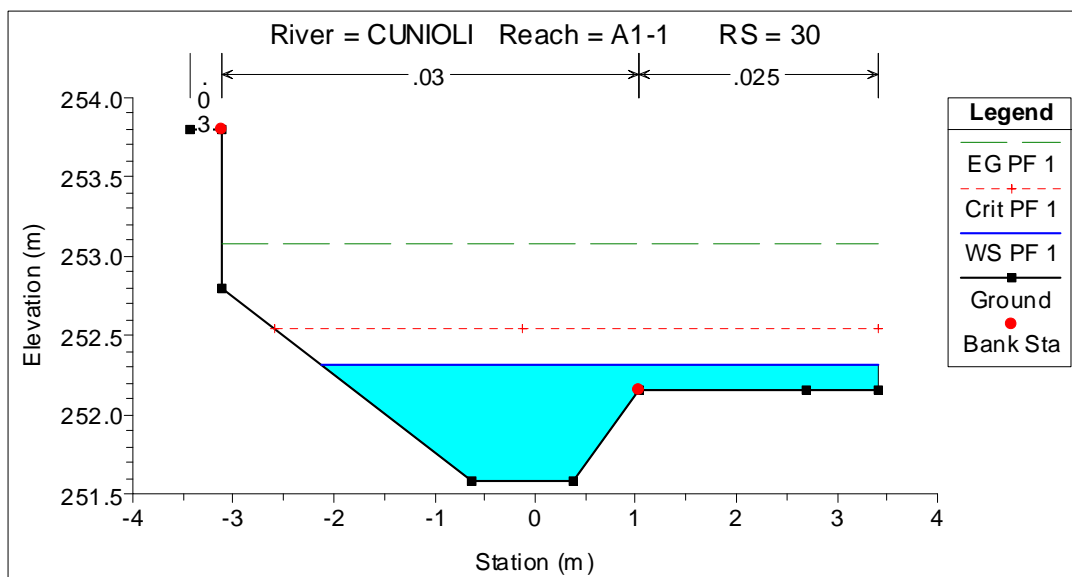
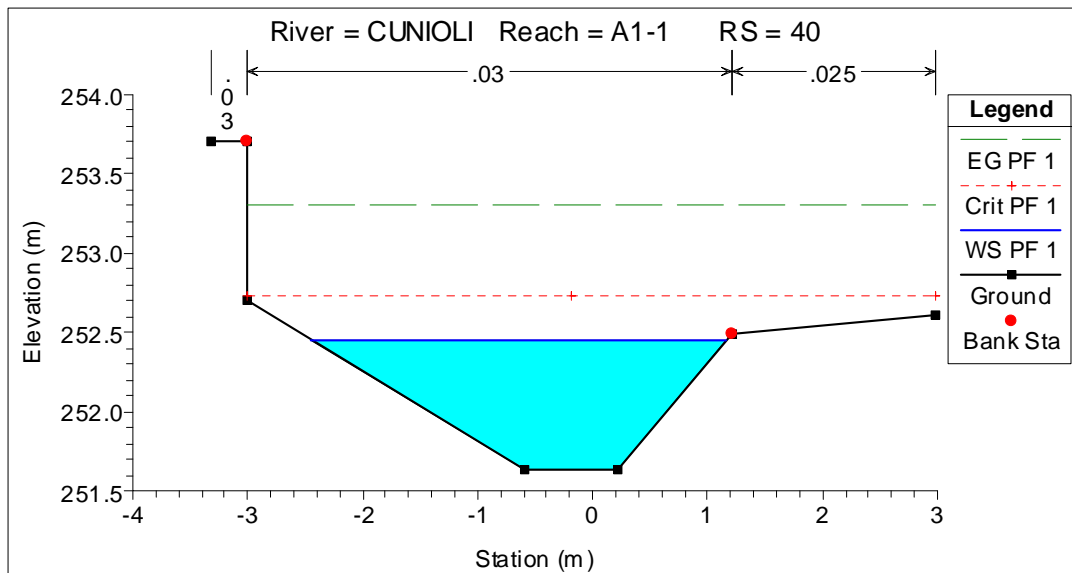
Da cui si evince che la portata di riferimento ($Q=9.0$ mc/s) transita con un riempimento inferiore al 67%, ed una altezza idrica compresa tra 1.1 e 1.2 m.

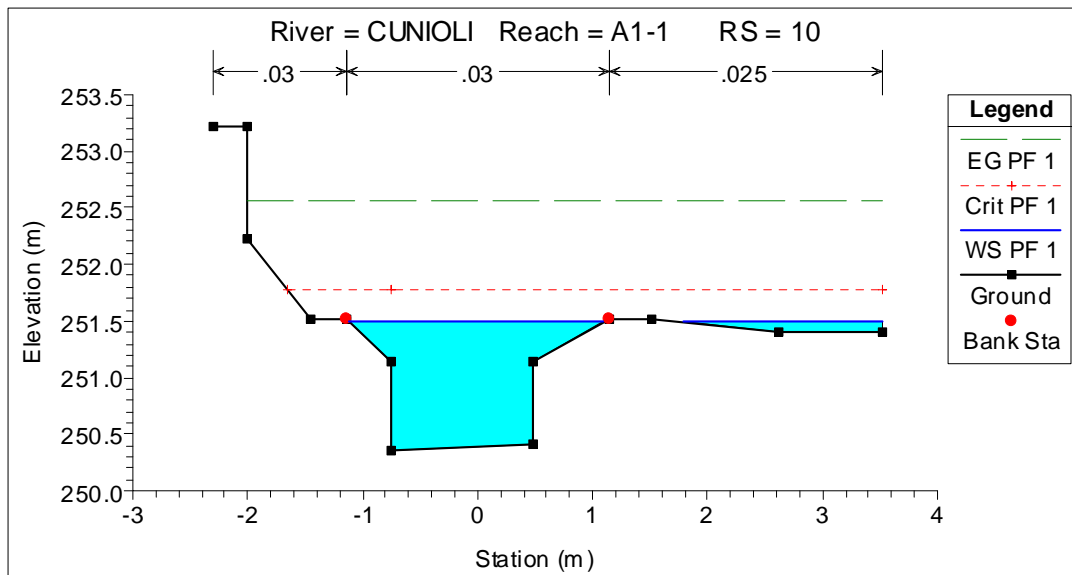
Il franco residuo è pari ad almeno 70 cm, seppure nell'ipotesi cautelativa considerata.

4 ALLEGATI

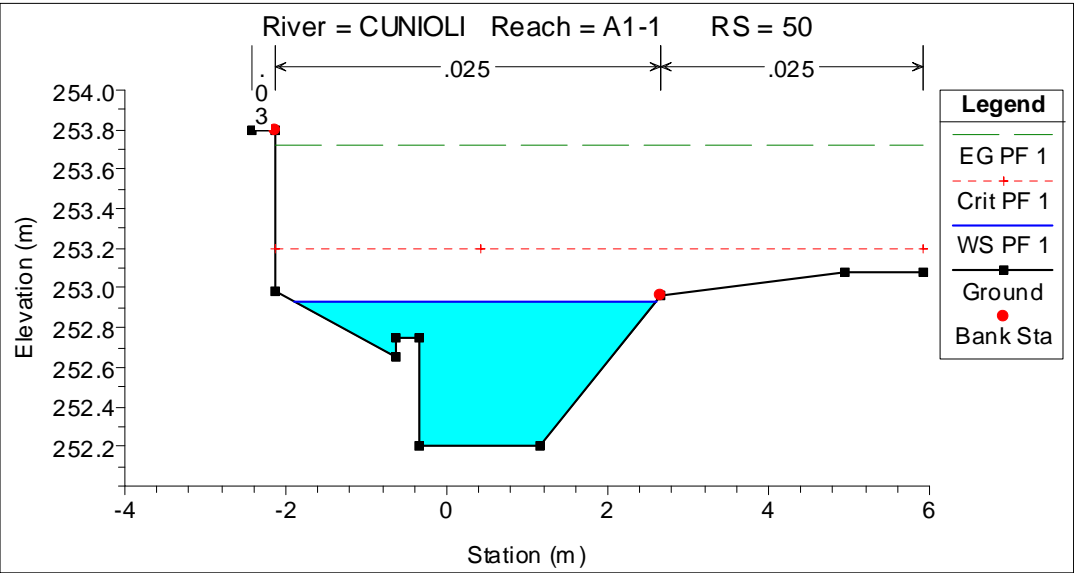
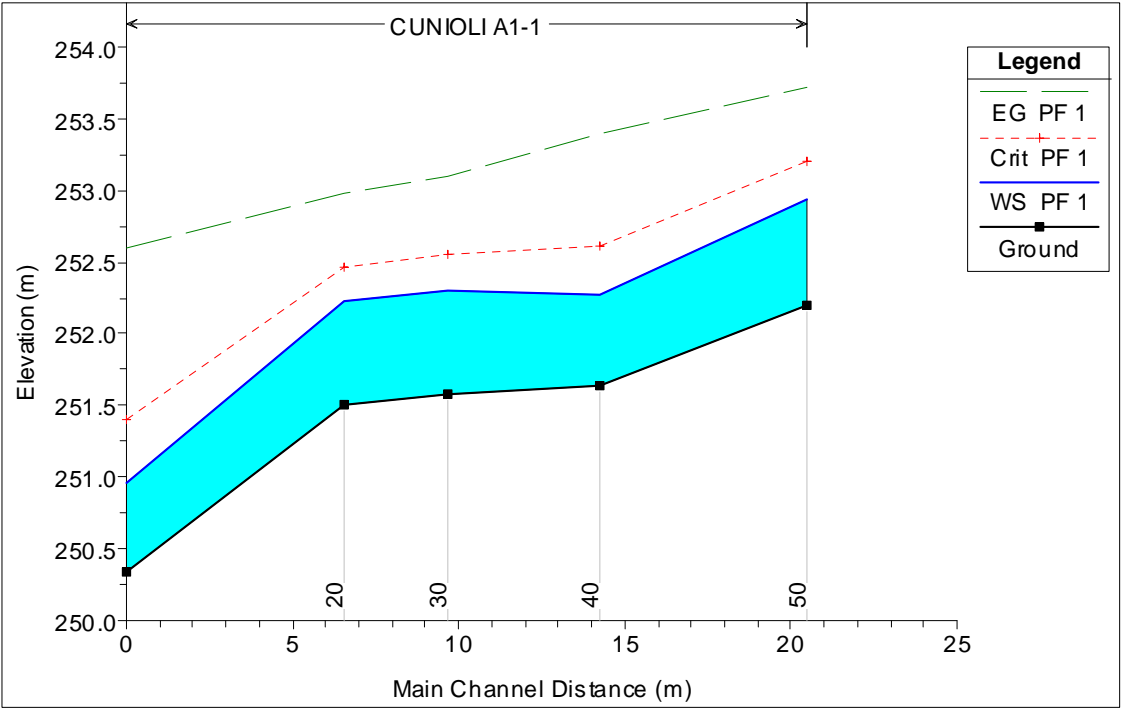
4.1 ALLEGATO 1: RIO DEI CUNIOLI, INTERVENTO A1 – MODELLO IDRAULICO ANTE OPERAM (SEZIONI)

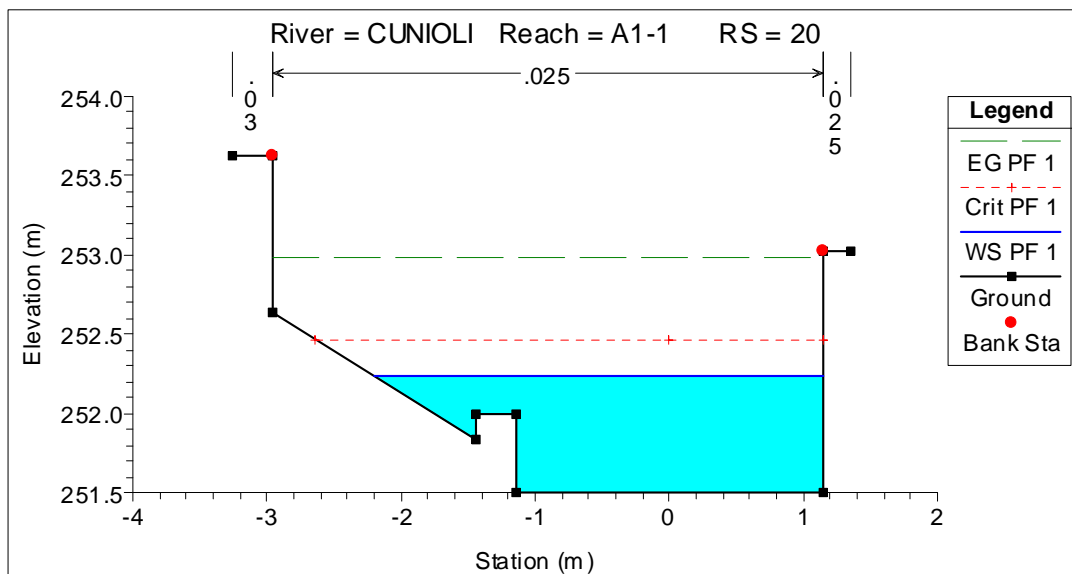
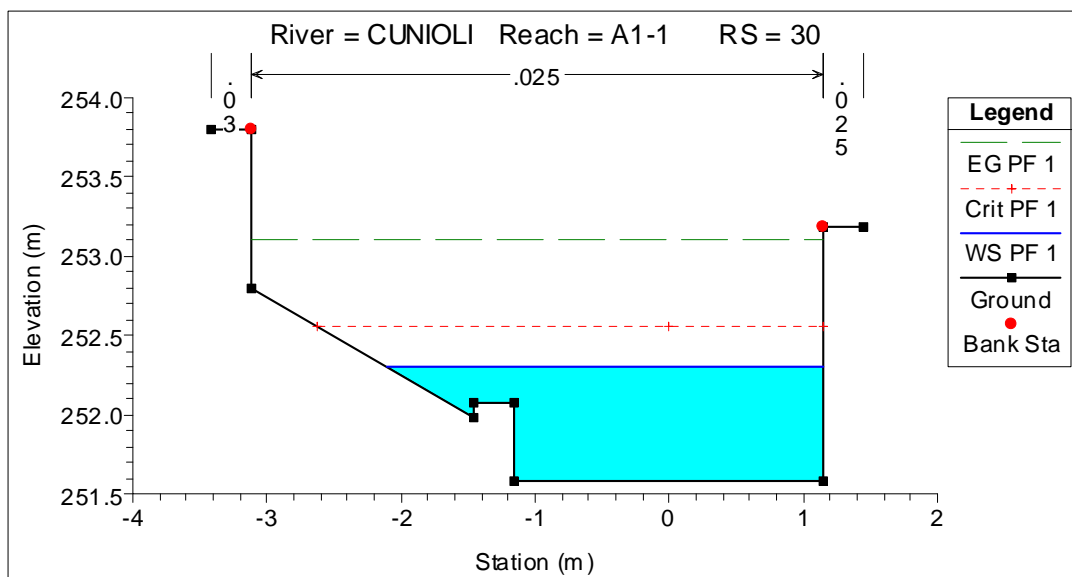
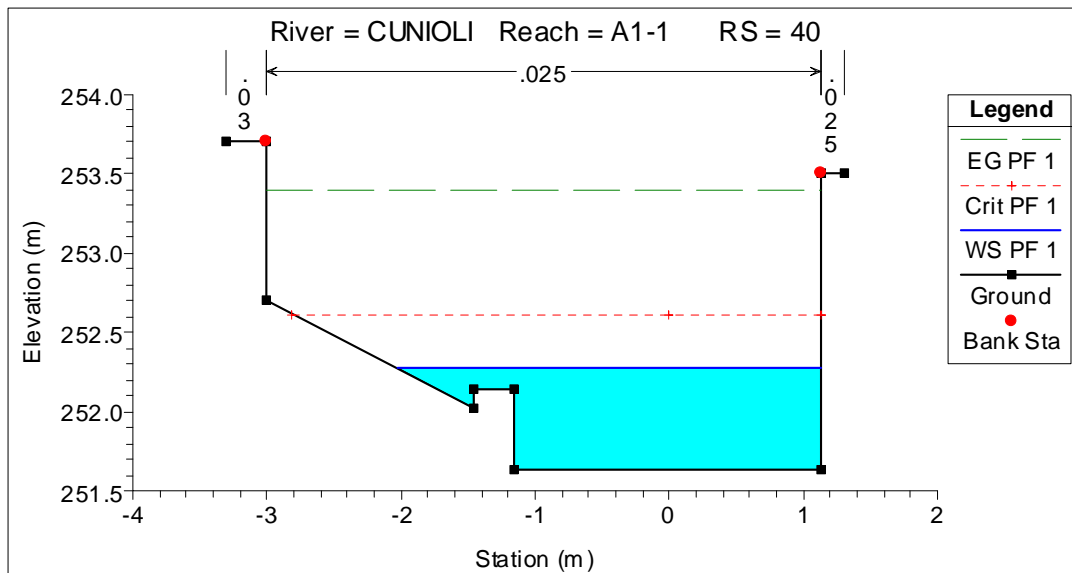


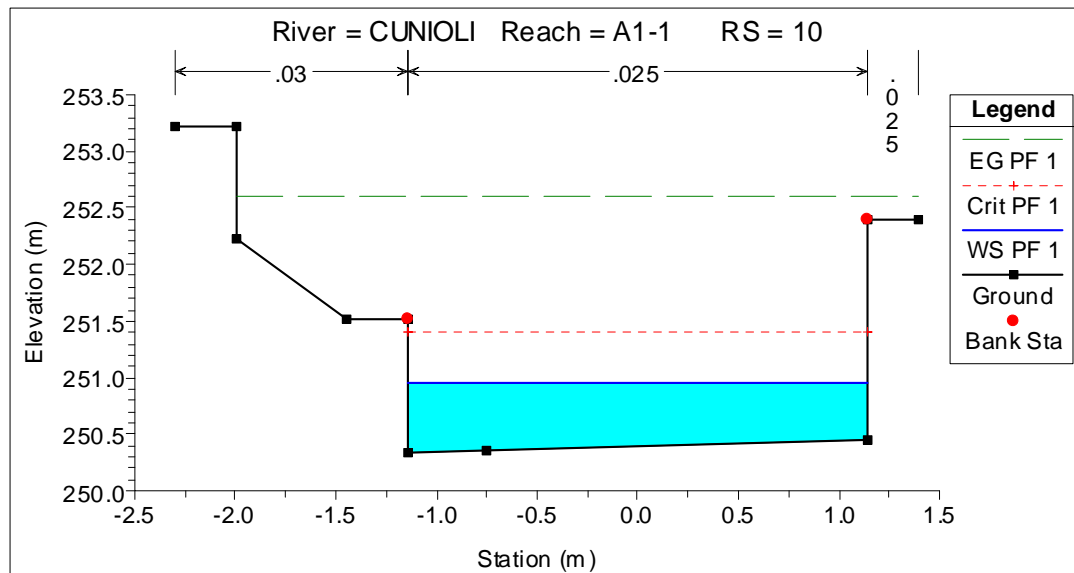




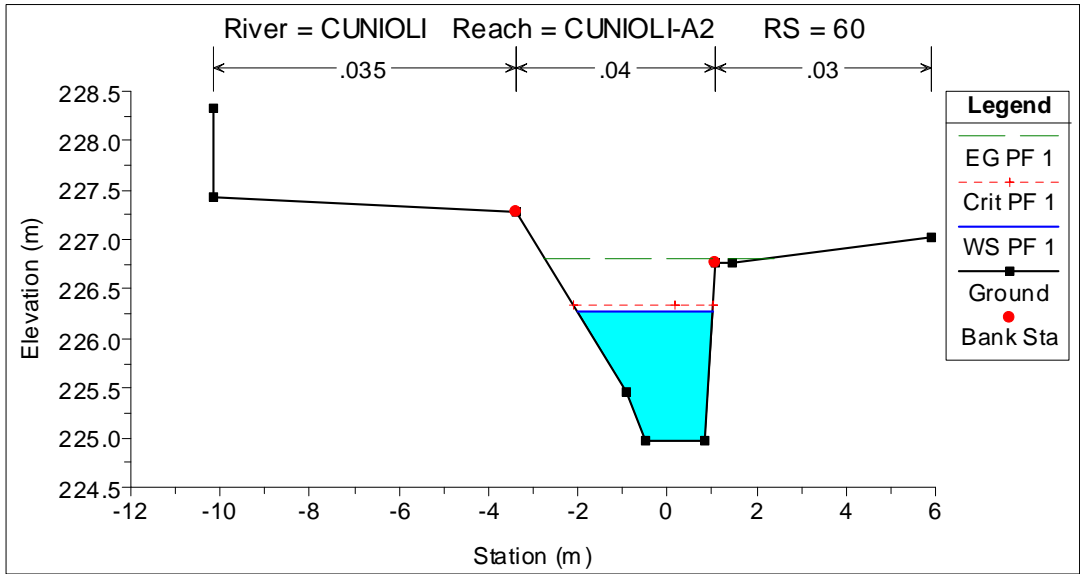
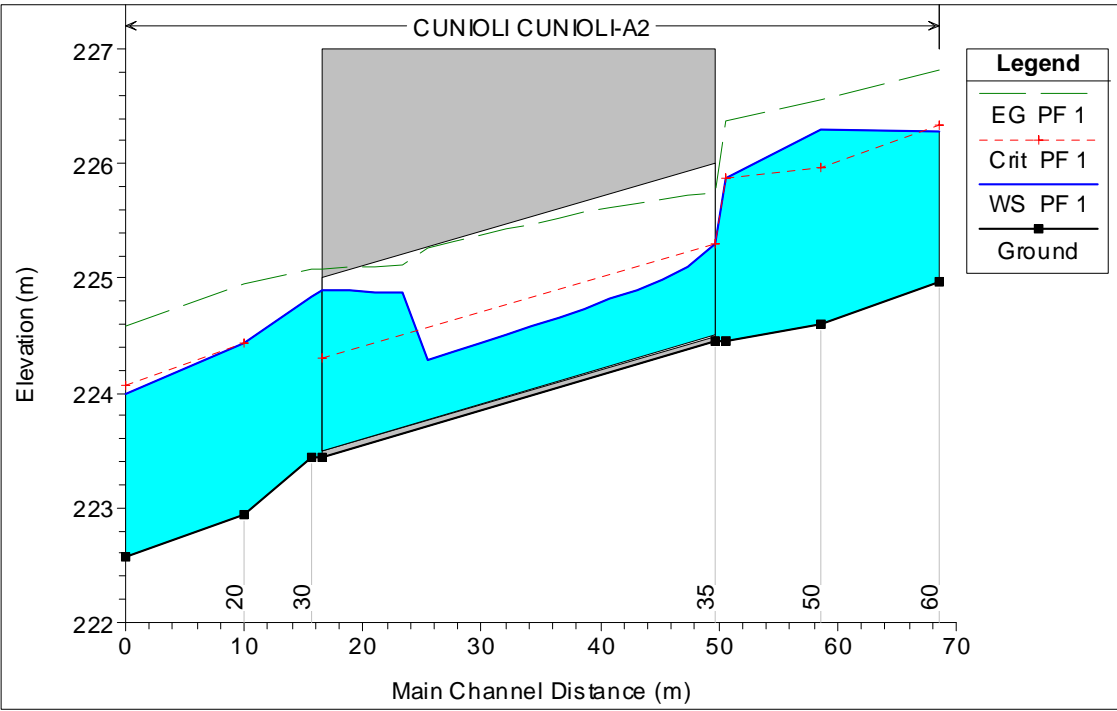
4.2 ALLEGATO 2: RIO DEI CUNIOLI, INTERVENTO A1 – MODELLO IDRAULICO POST OPERAM (SEZIONI)

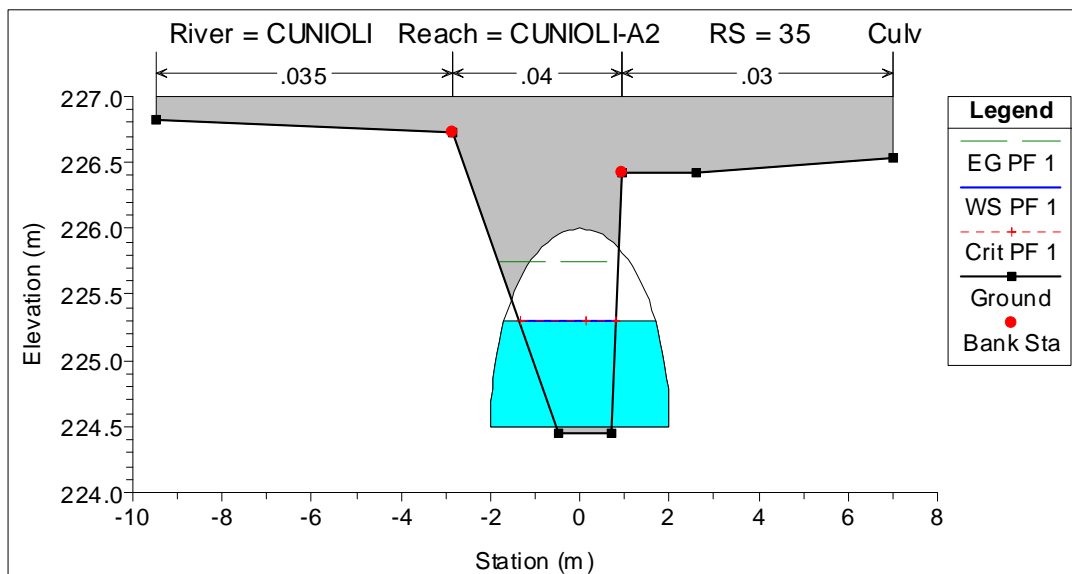
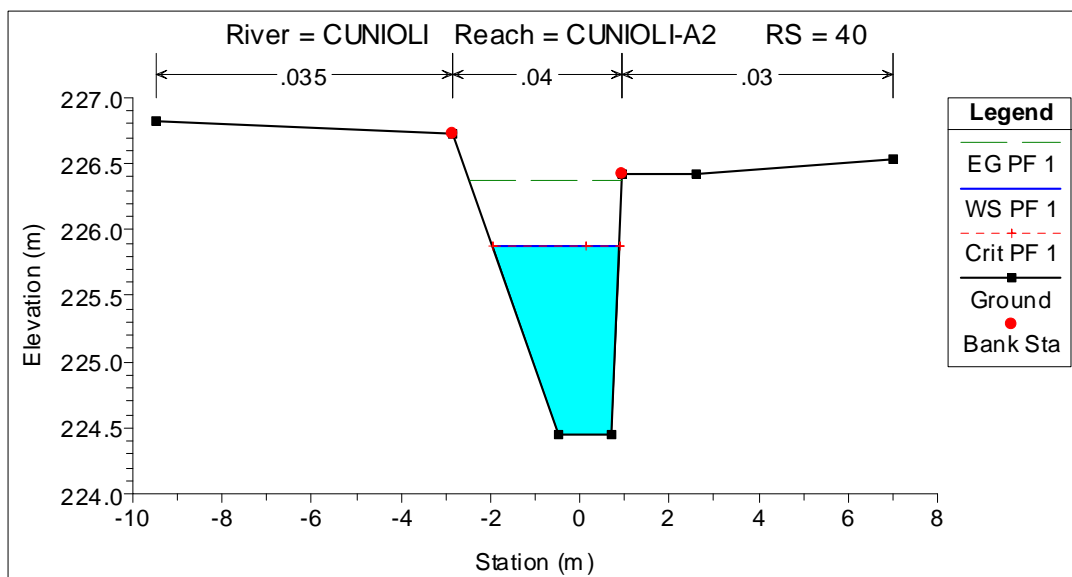
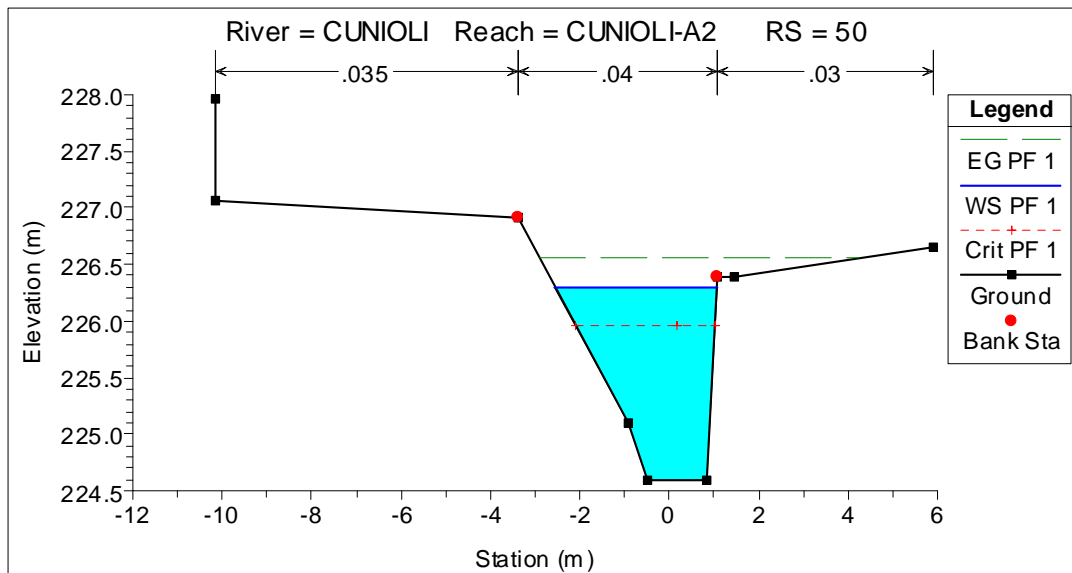


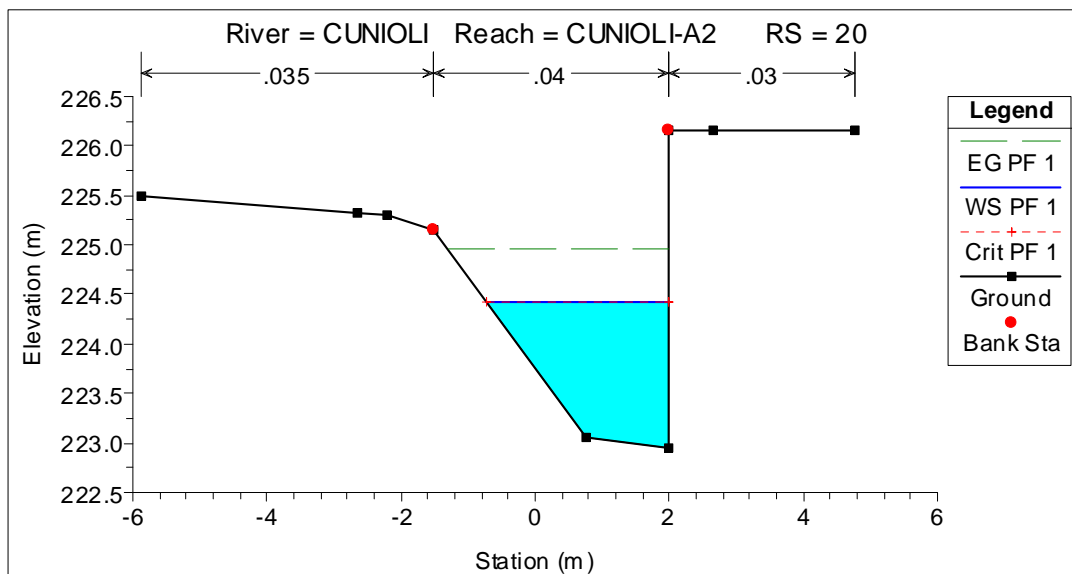
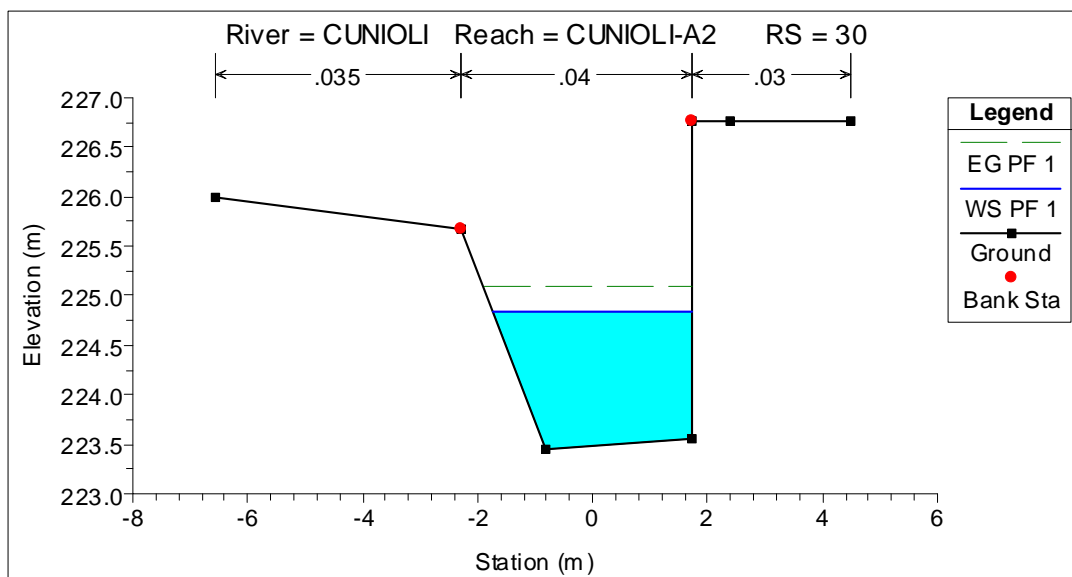
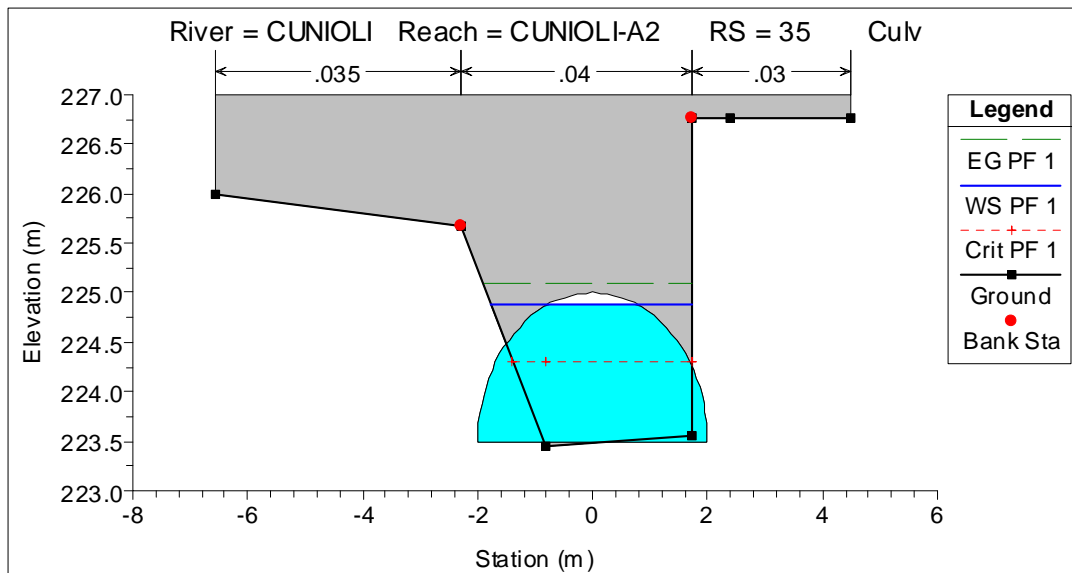


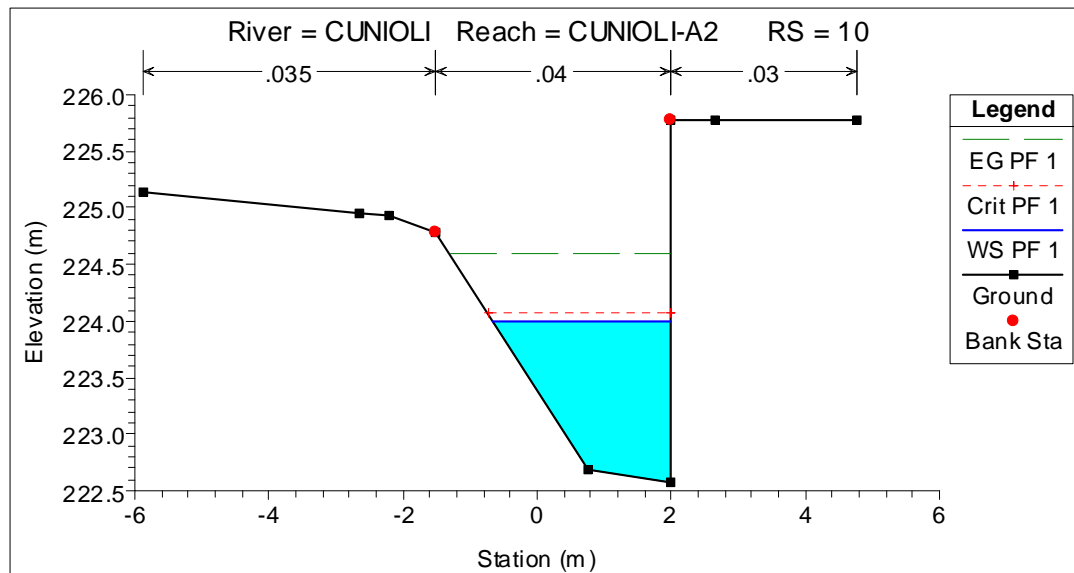


4.3 ALLEGATO 3: RIO DEI CUNIOLI, INTERVENTO A2 – MODELLO IDRAULICO ANTE OPERAM (SEZIONI)

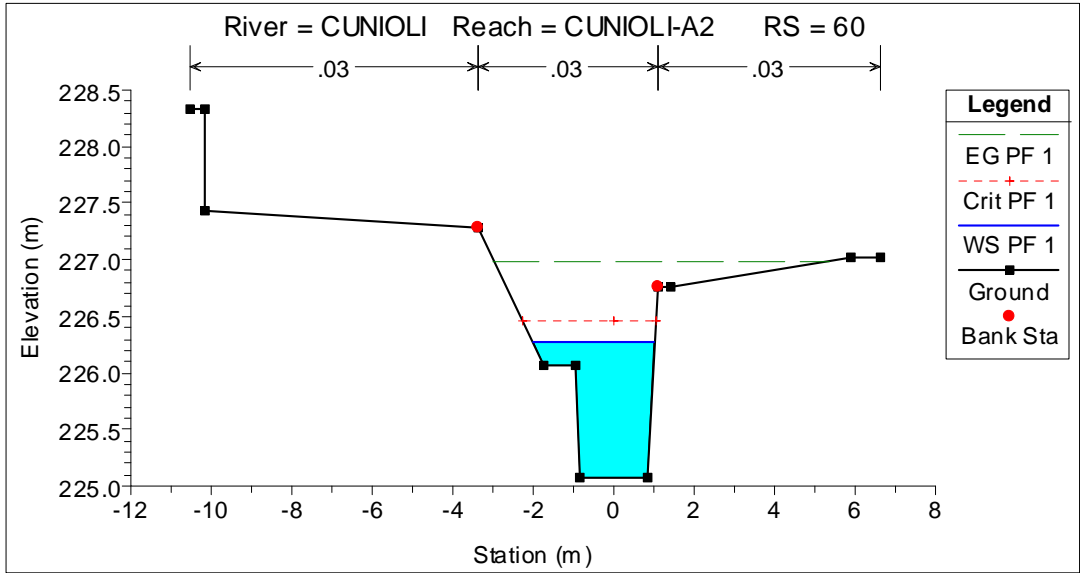
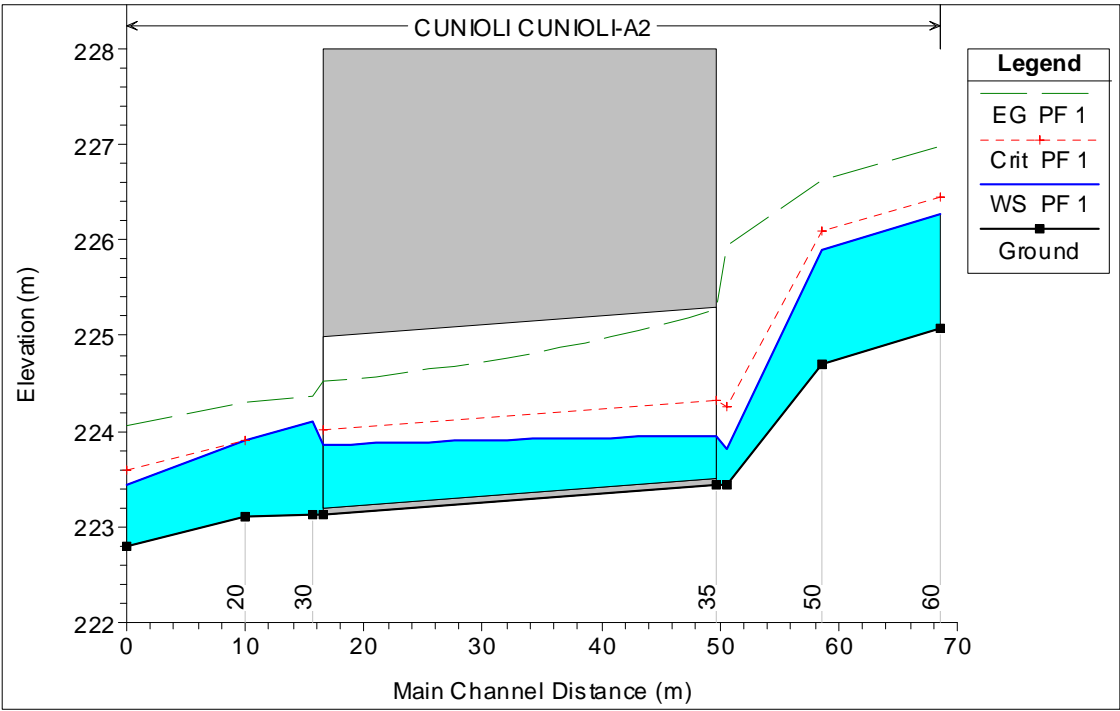


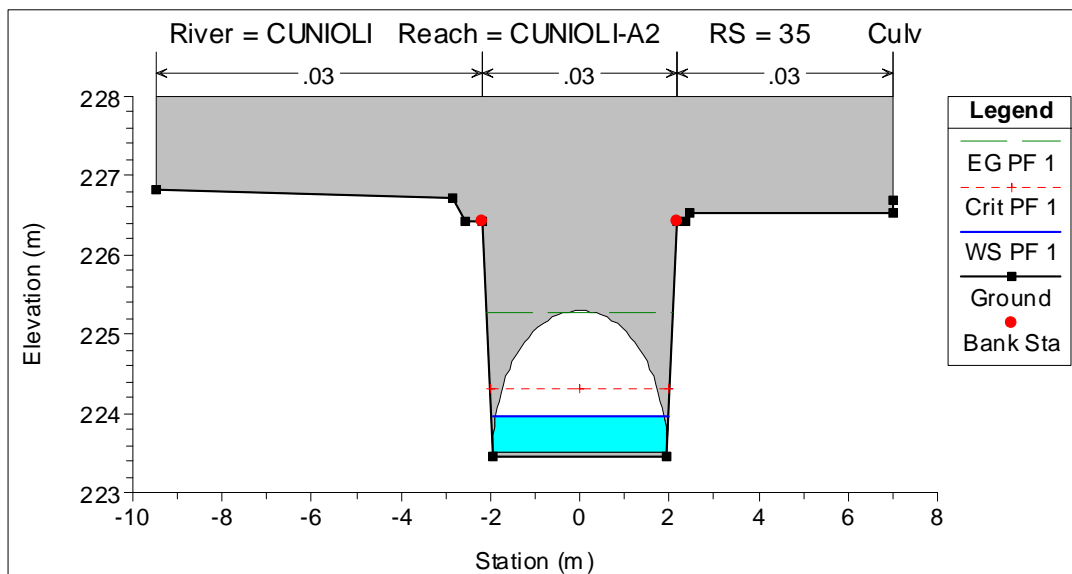
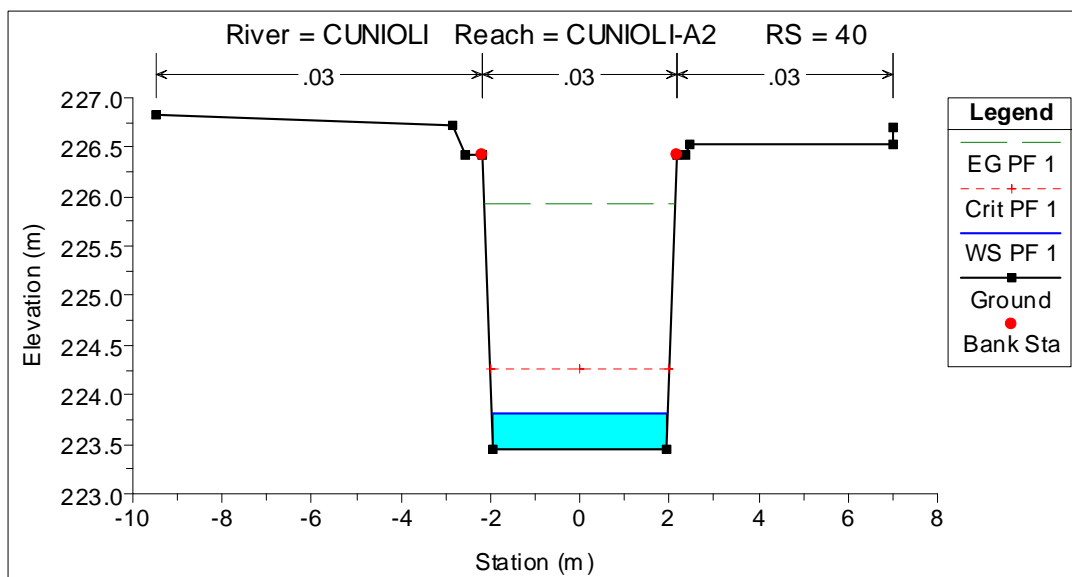
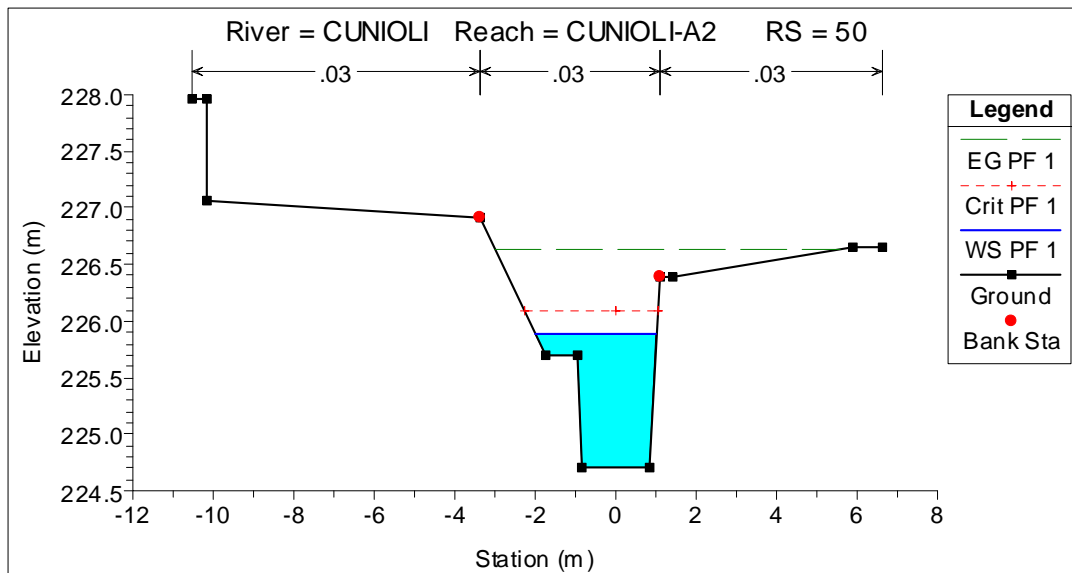


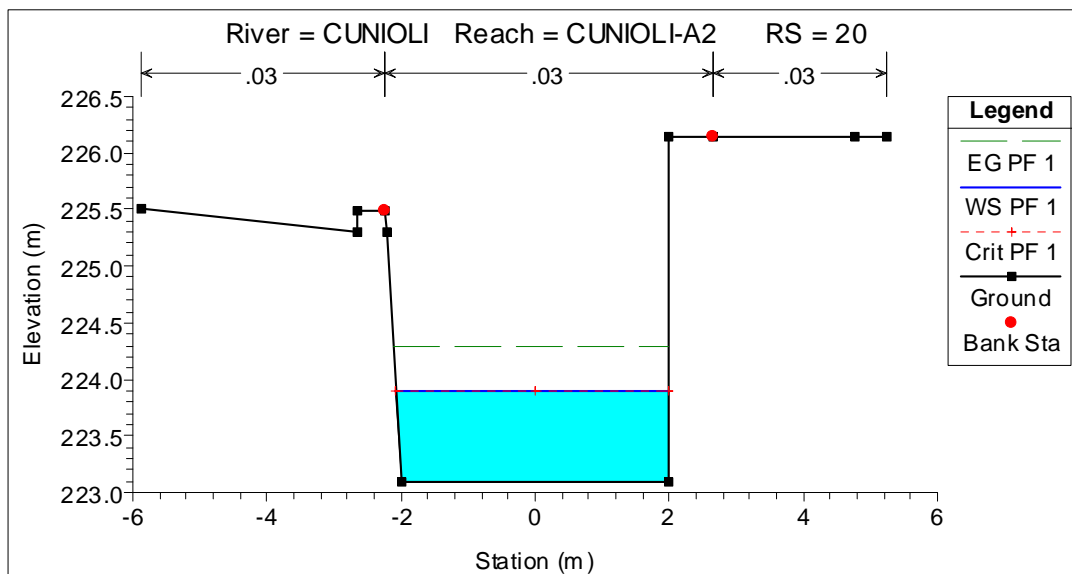
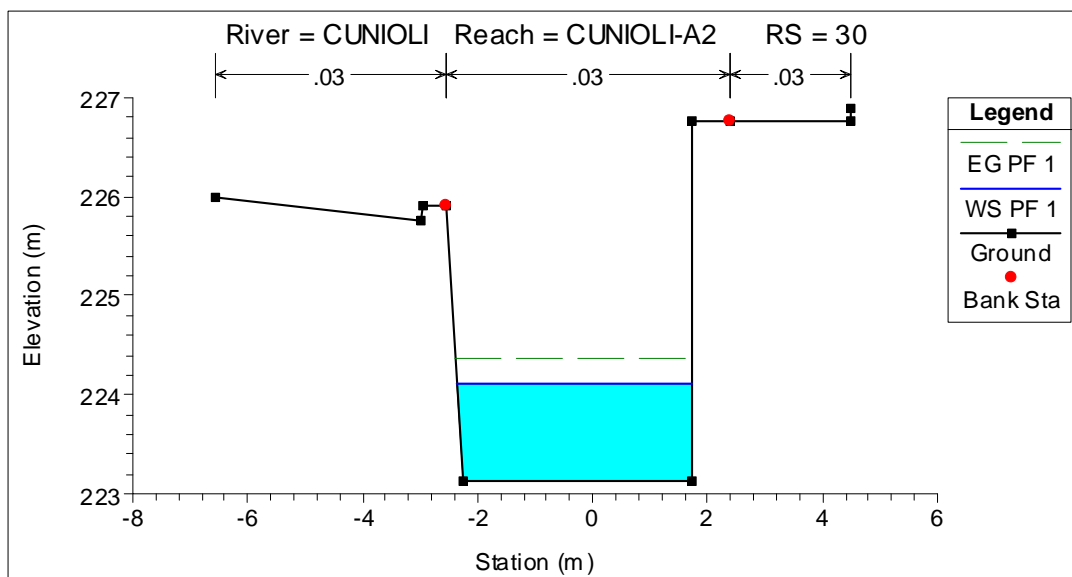
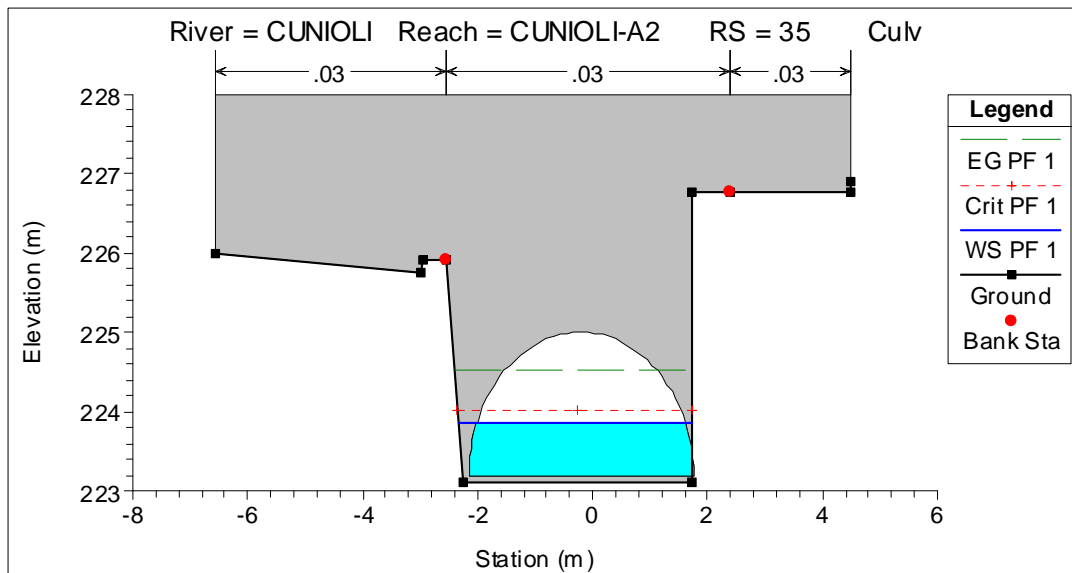


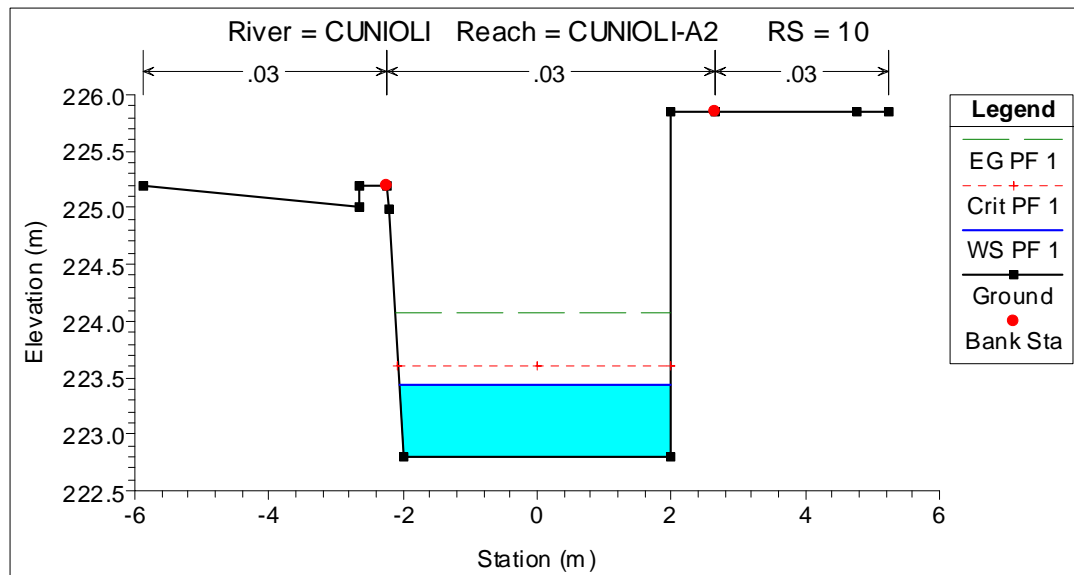


4.4 ALLEGATO 4: RIO DEI CUNIOI, INTERVENTO A2 – MODELLO IDRAULICO POST OPERAM (SEZIONI)

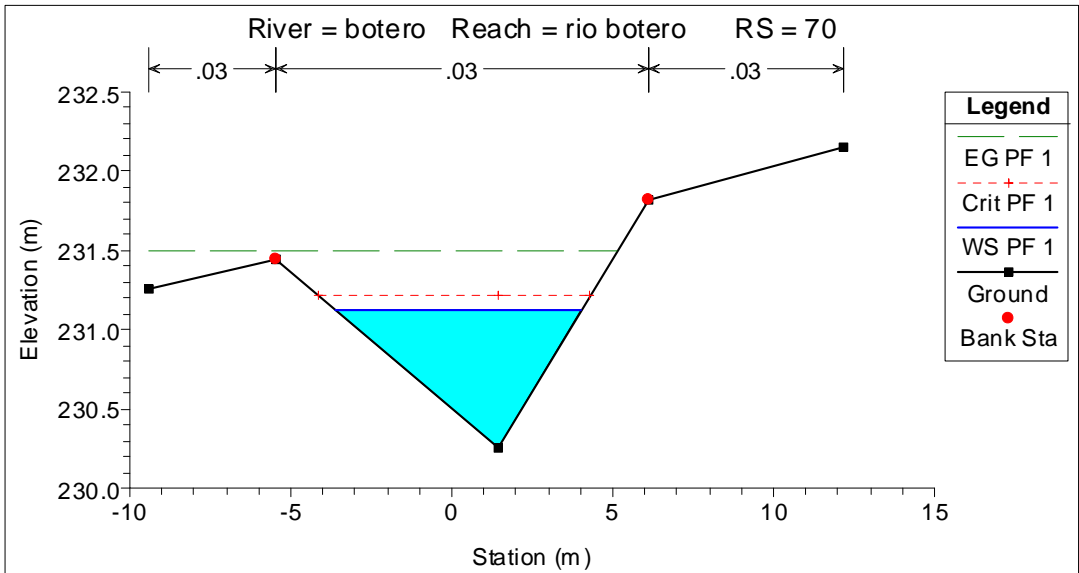
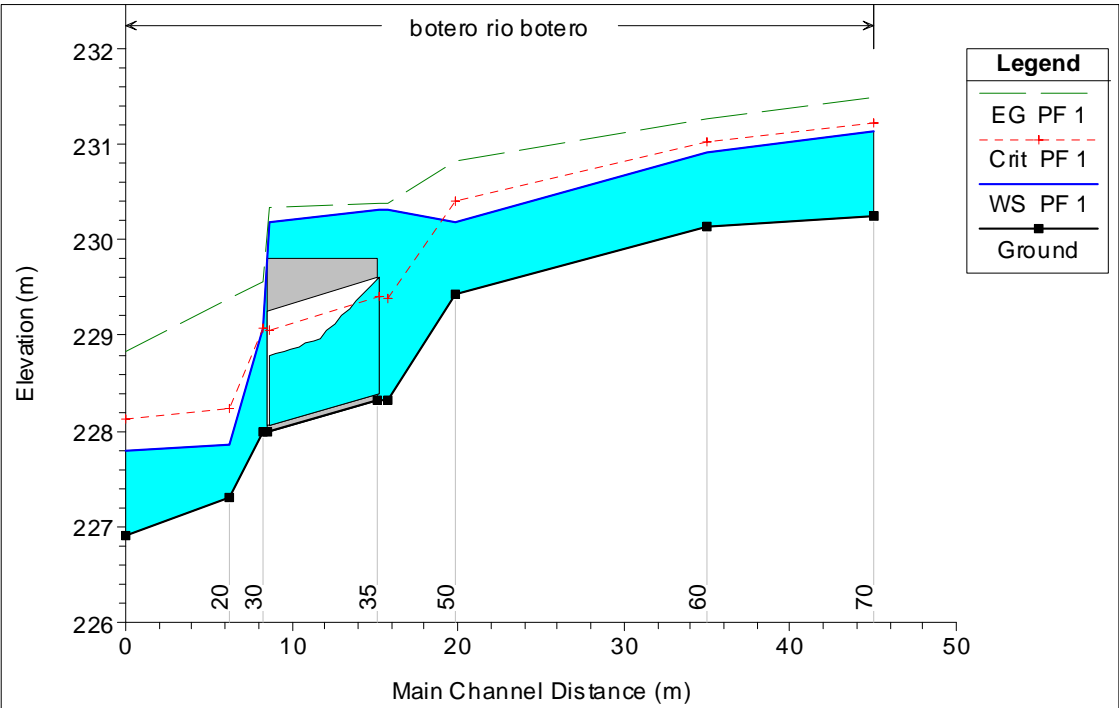


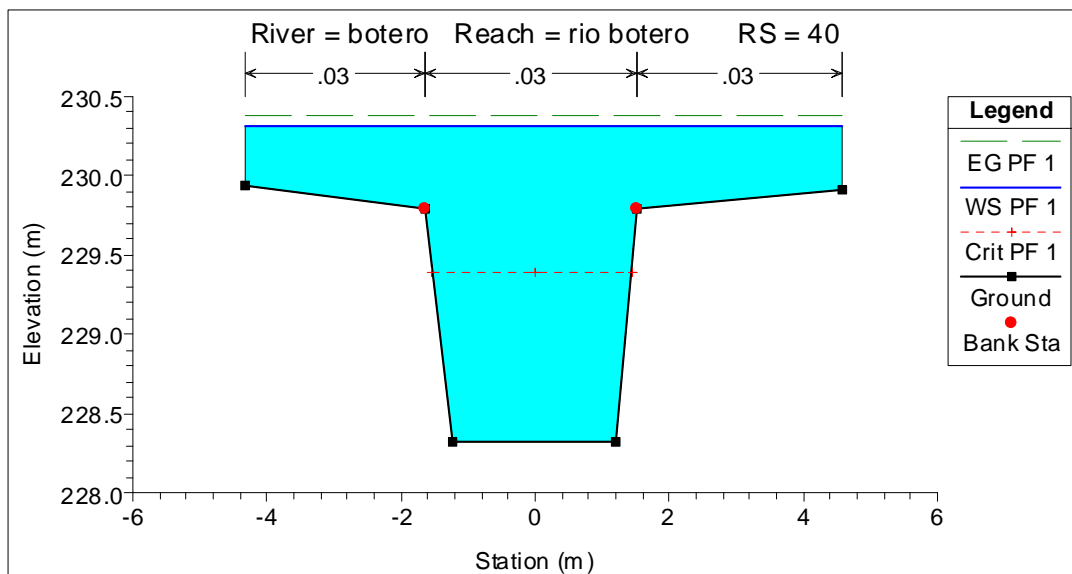
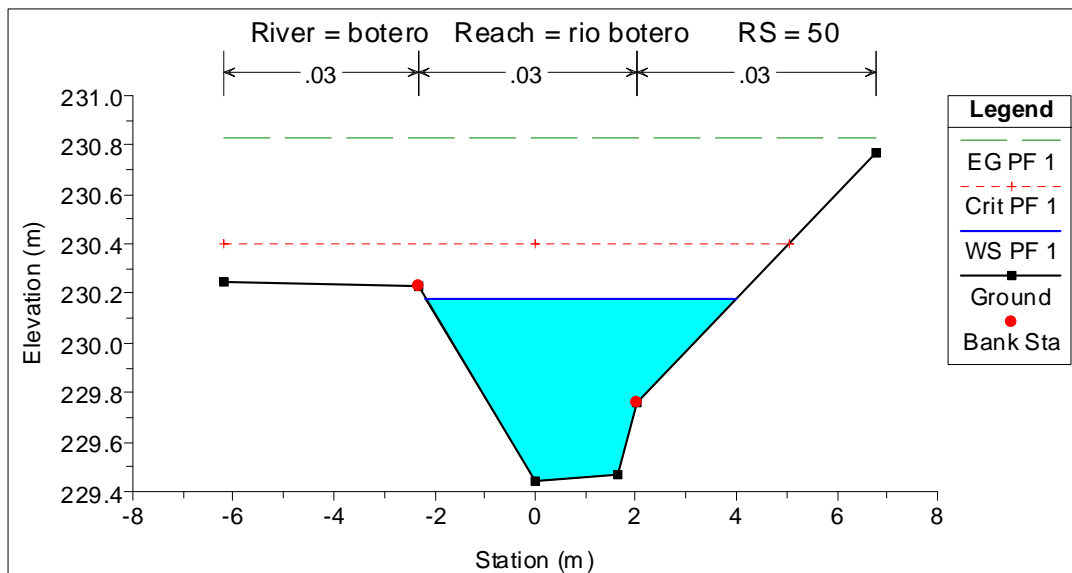
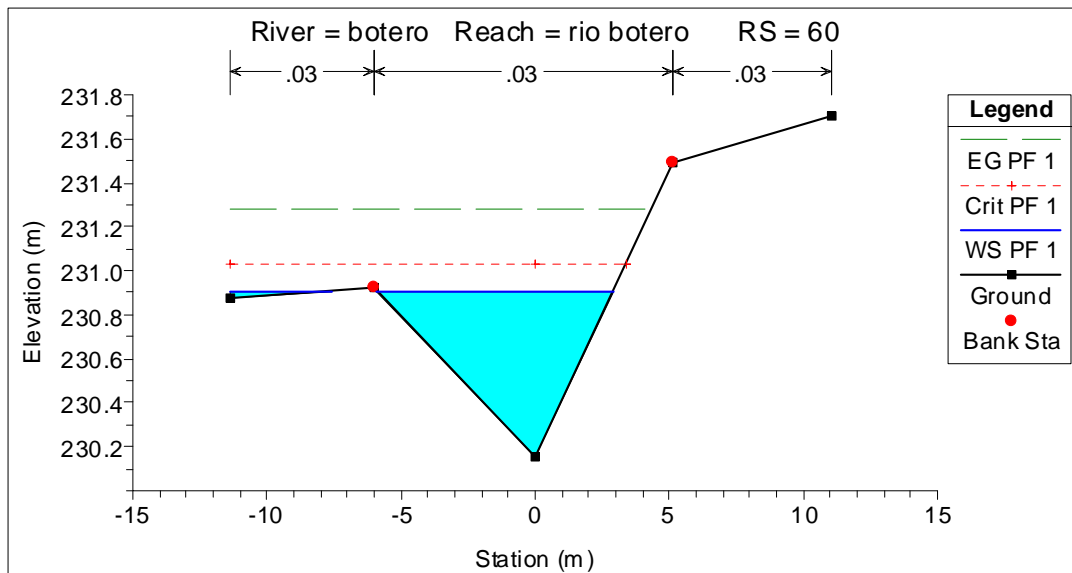


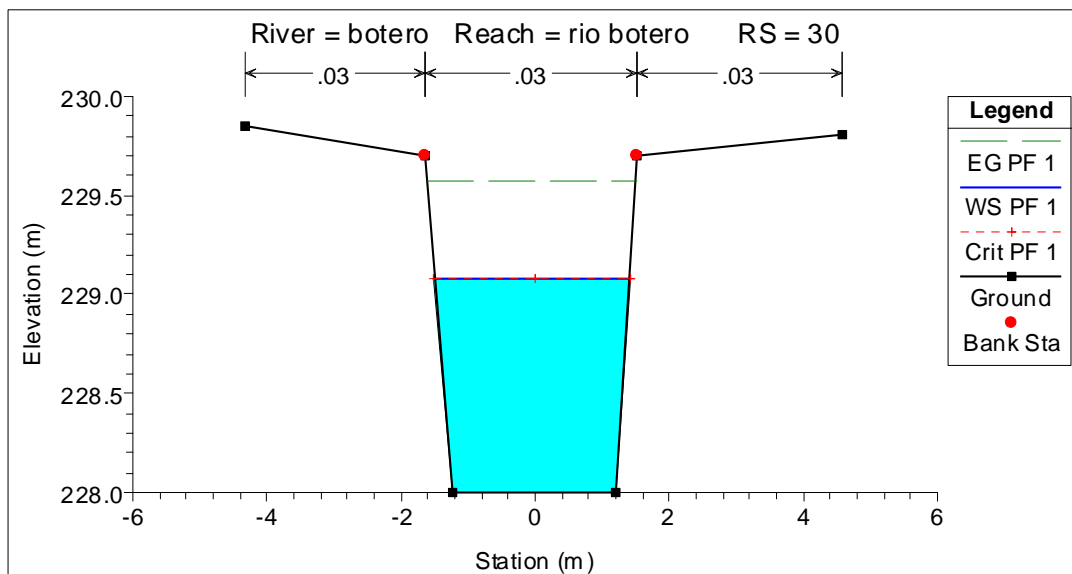
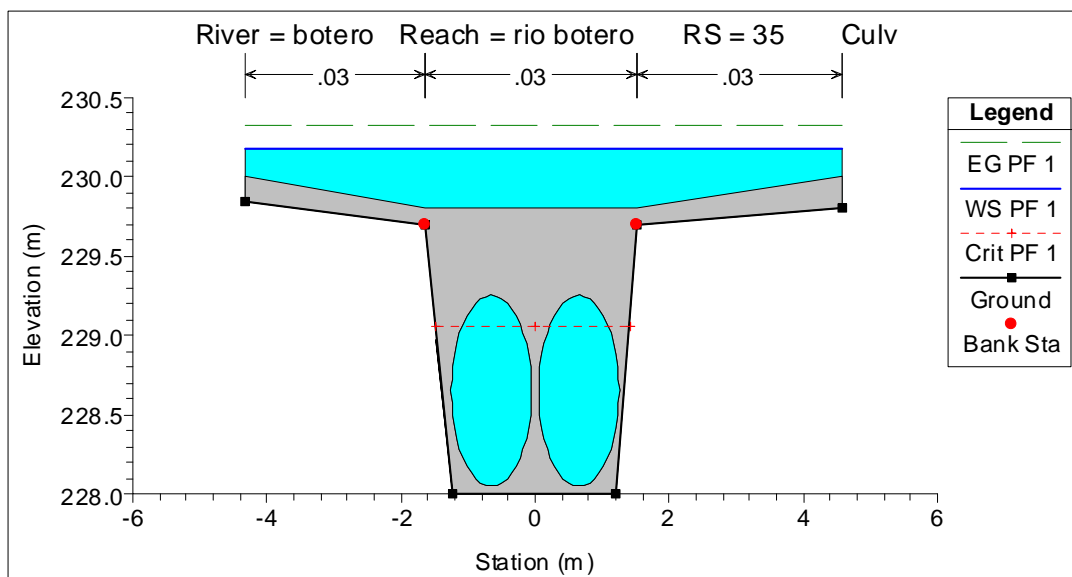
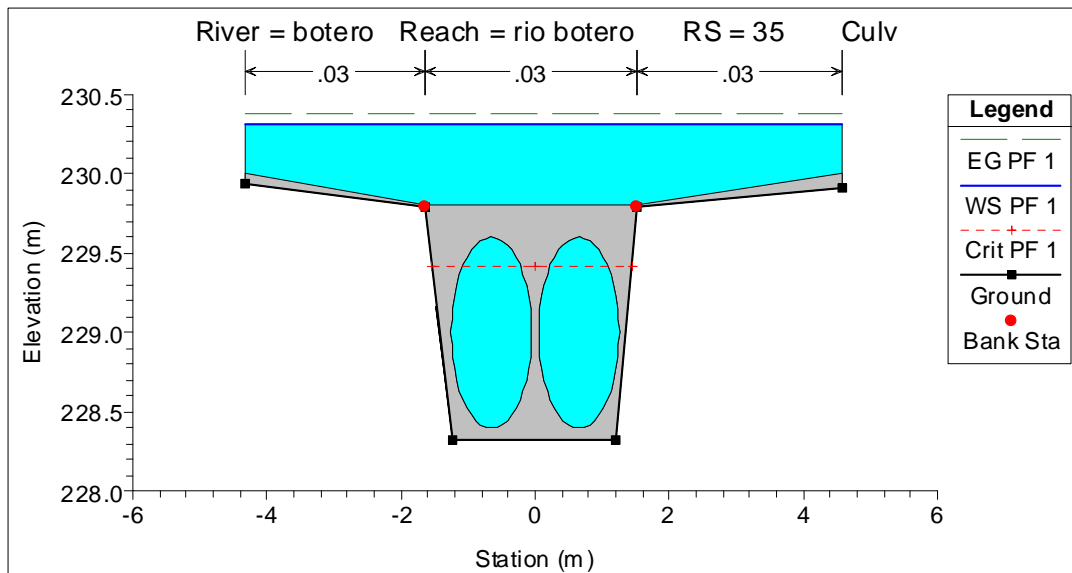


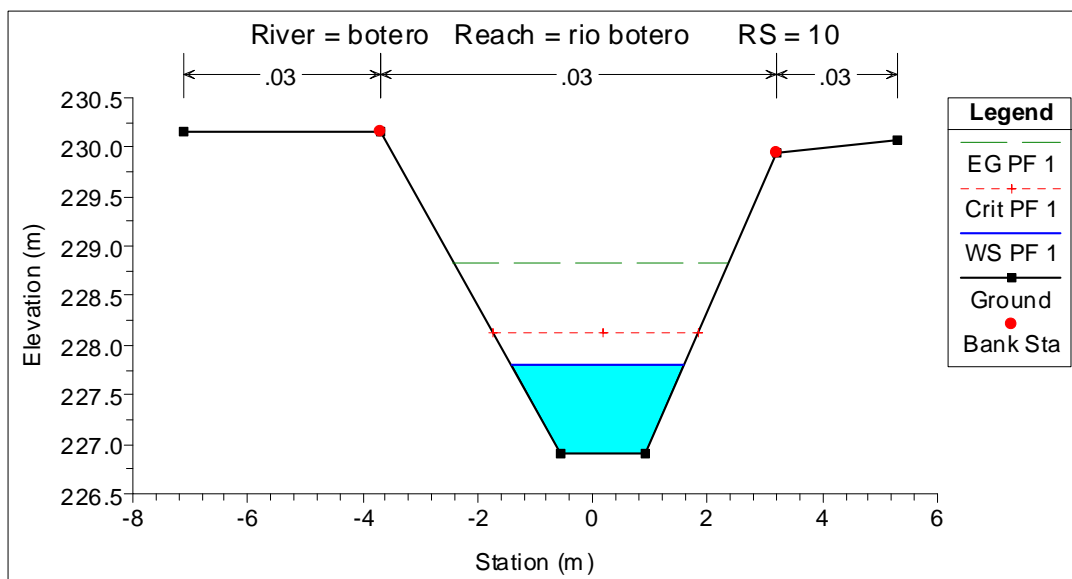
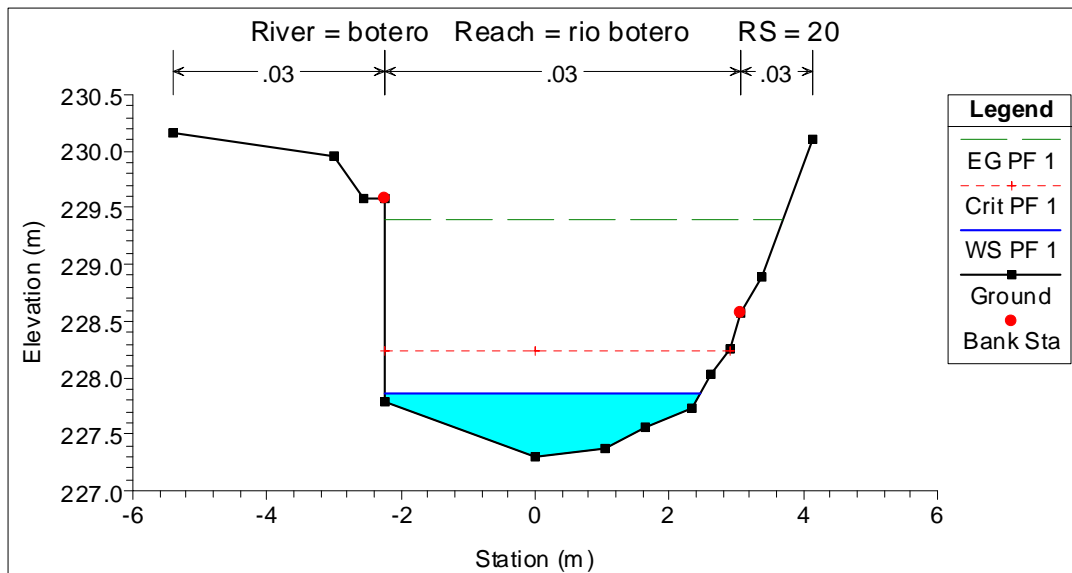


4.5 ALLEGATO 5: RIO BOTERO, MODELLO IDRAULICO ANTE OPERAM (SEZIONI)

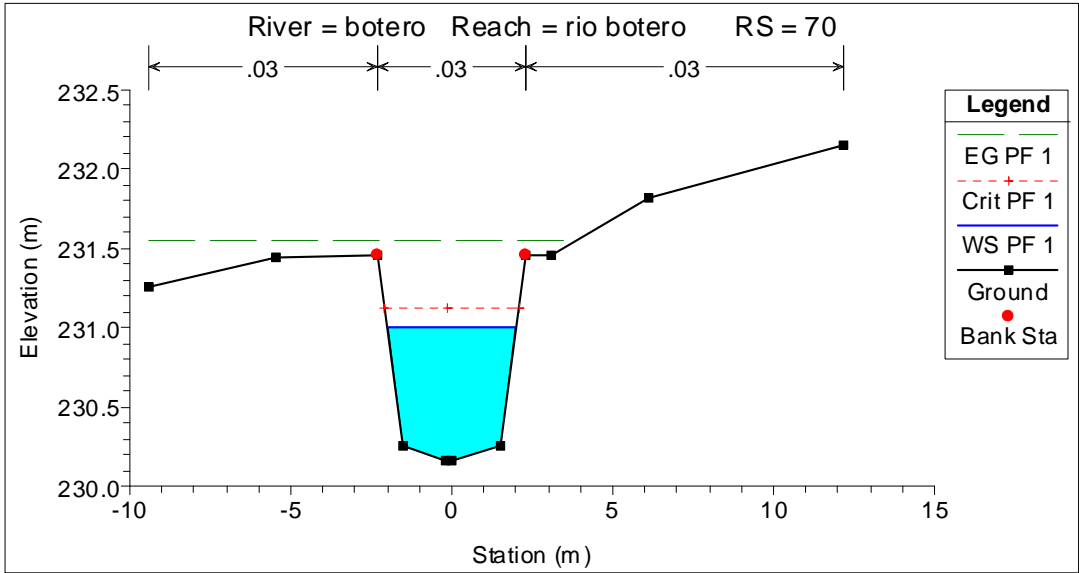
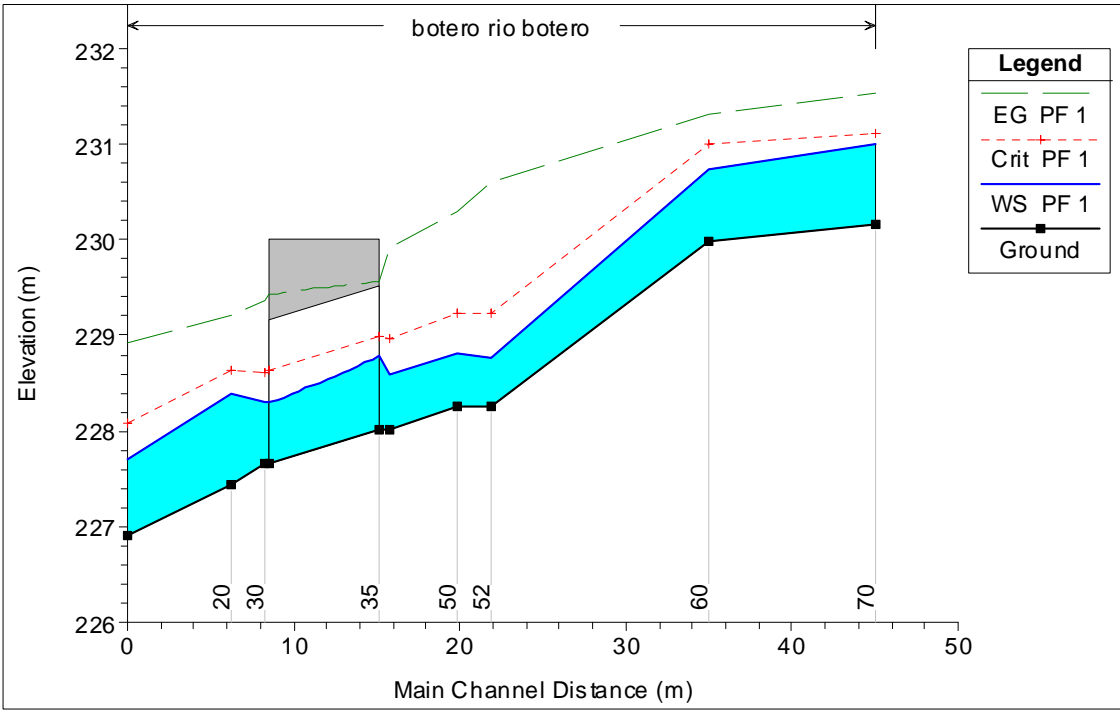


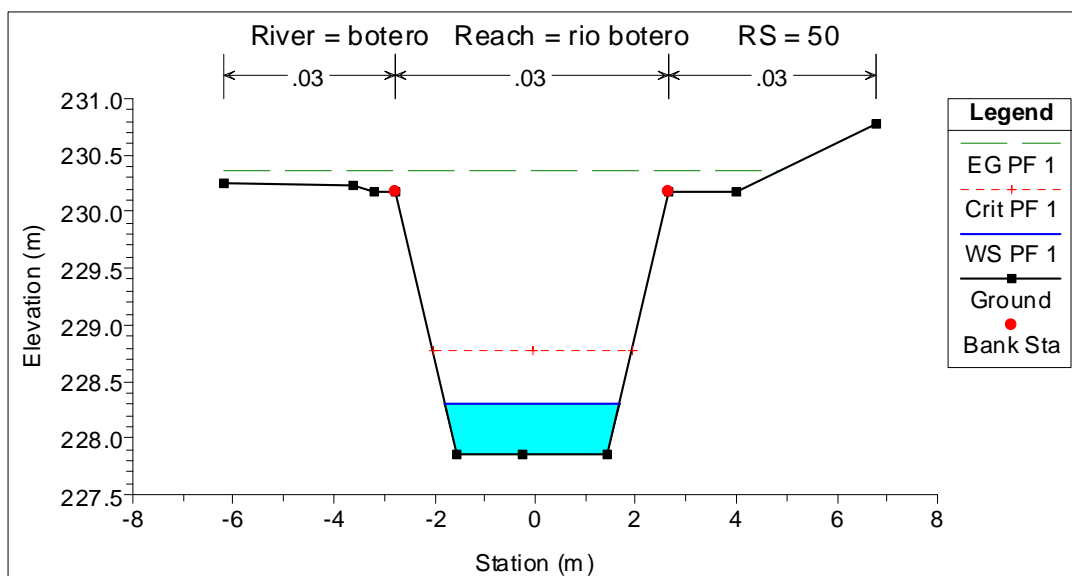
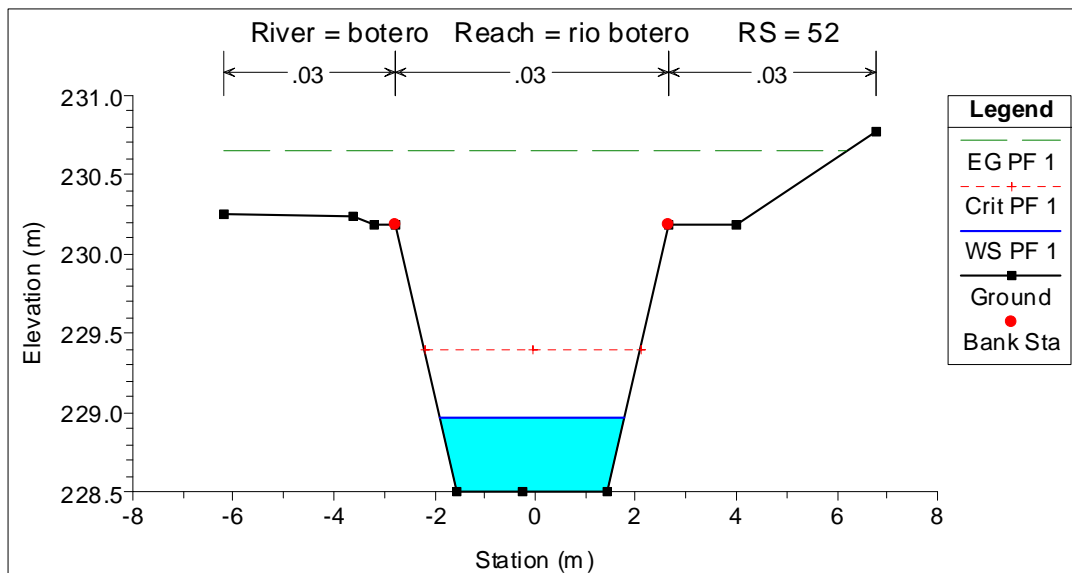
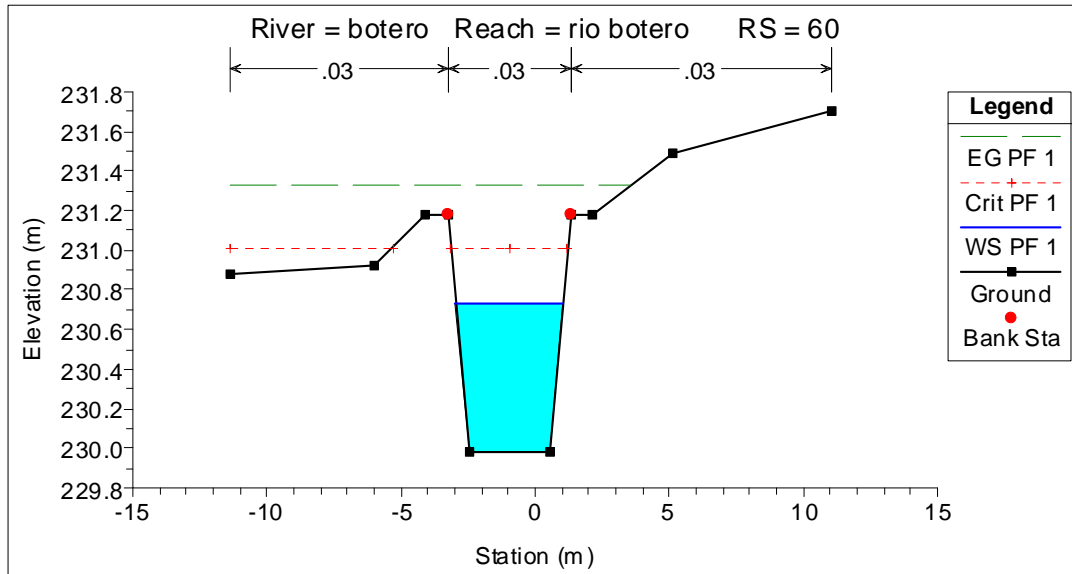


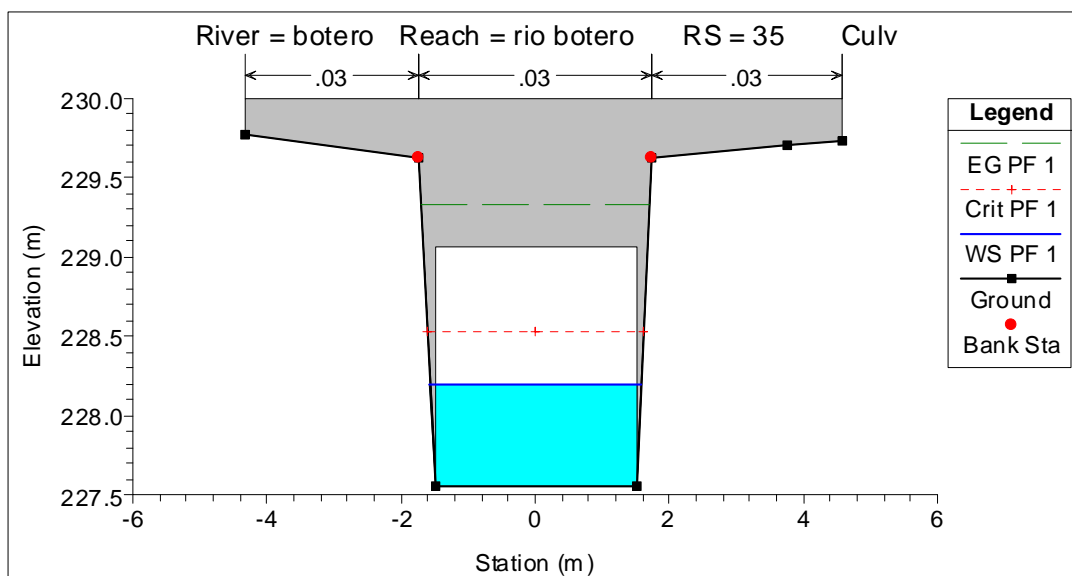
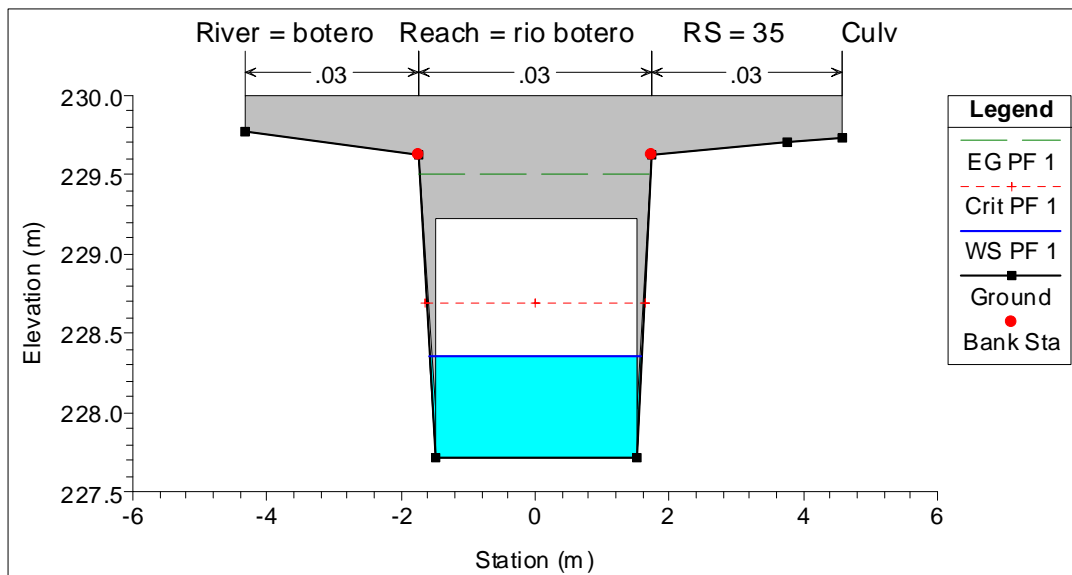
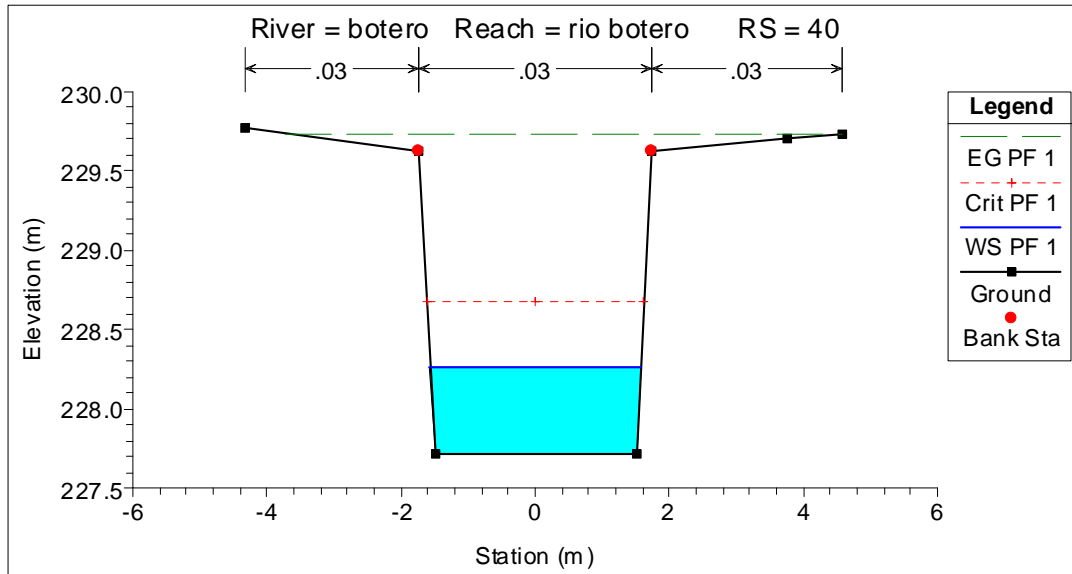


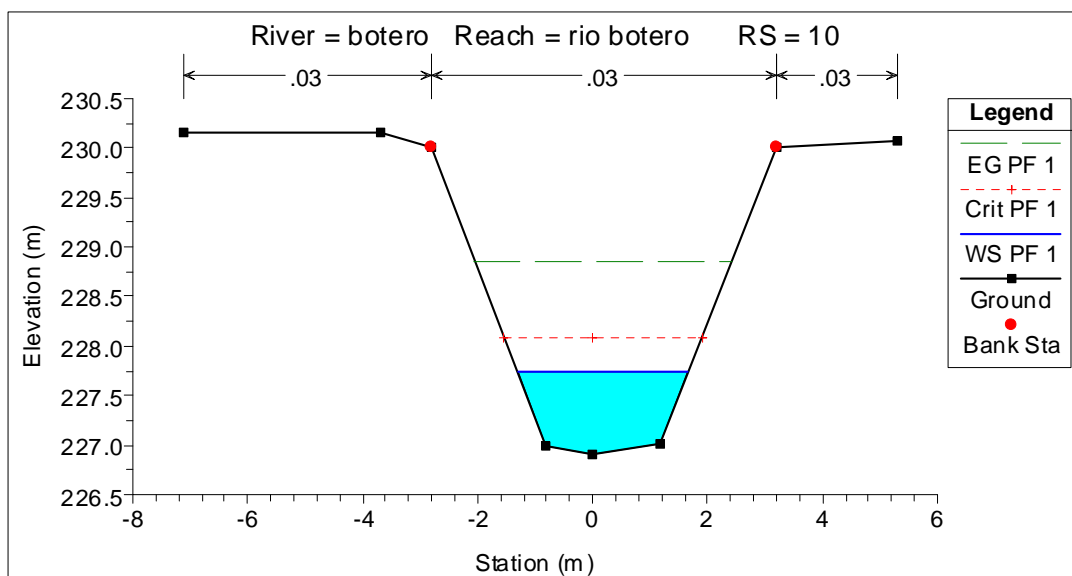
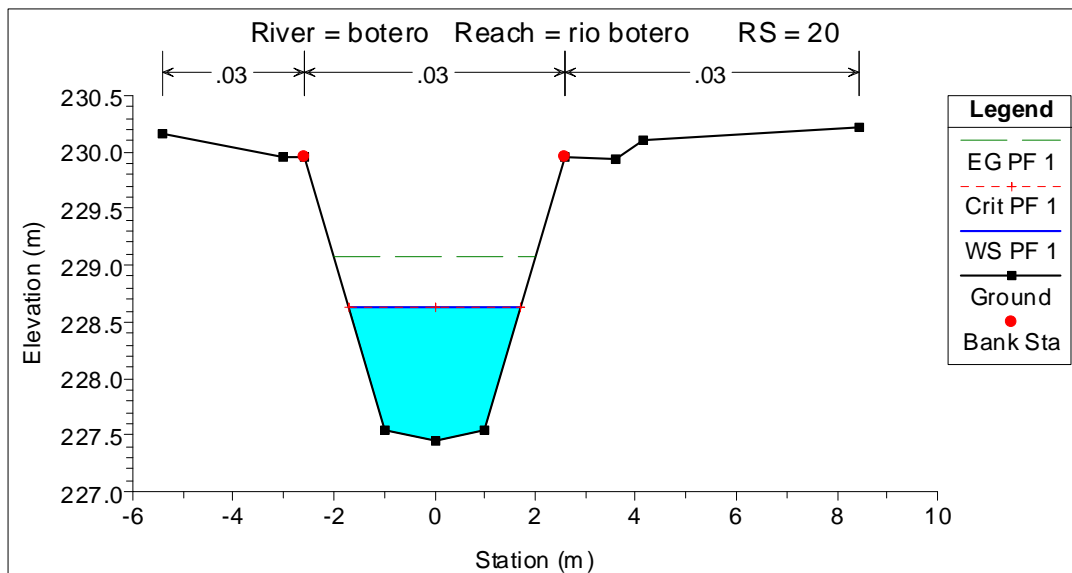
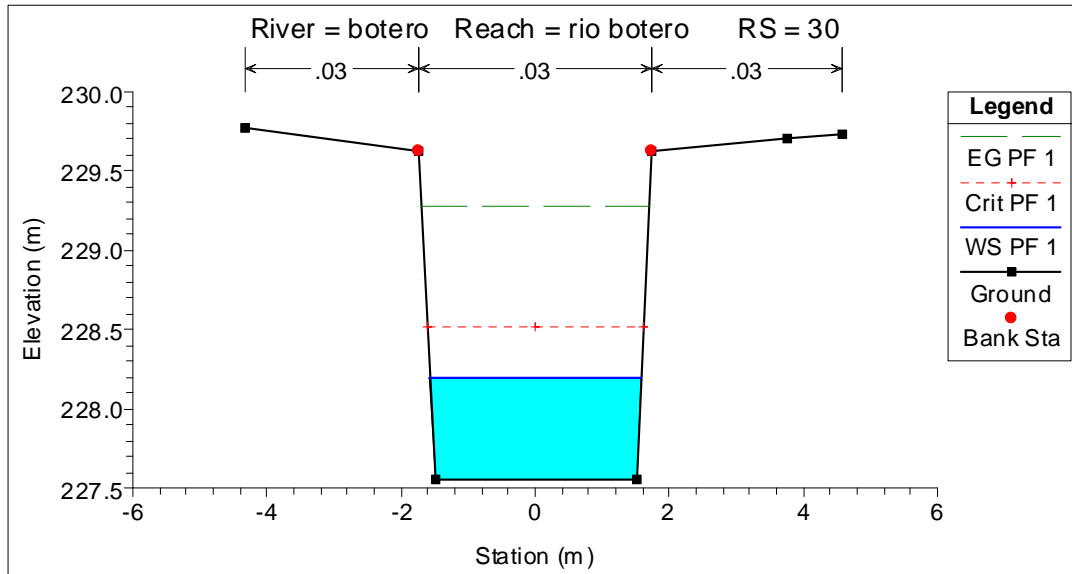


4.6 ALLEGATO 6: RIO BOTERO, INTERVENTO A2 – MODELLO IDRAULICO POST OPERAM (SEZIONI)

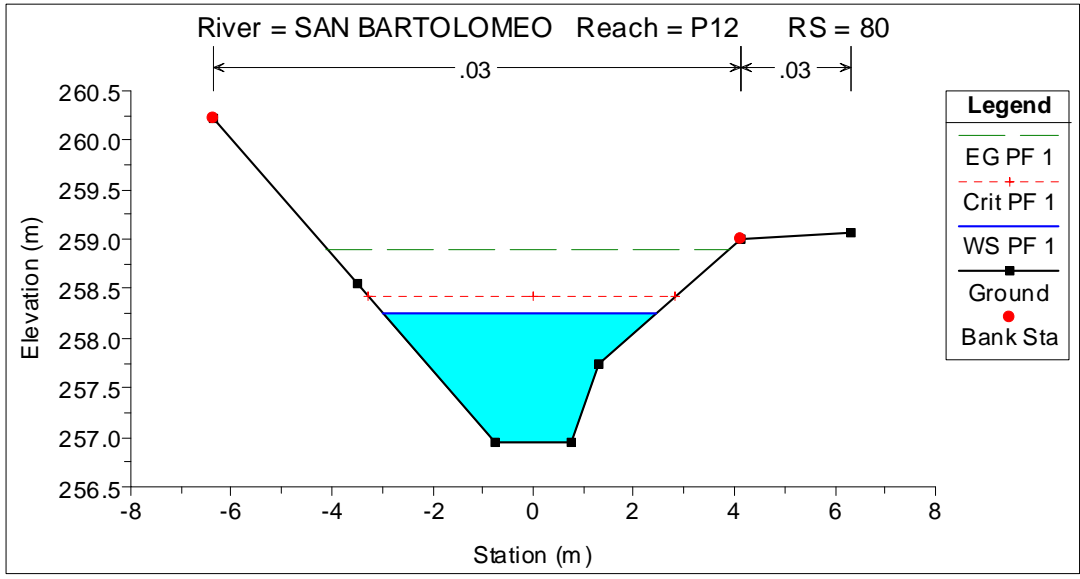
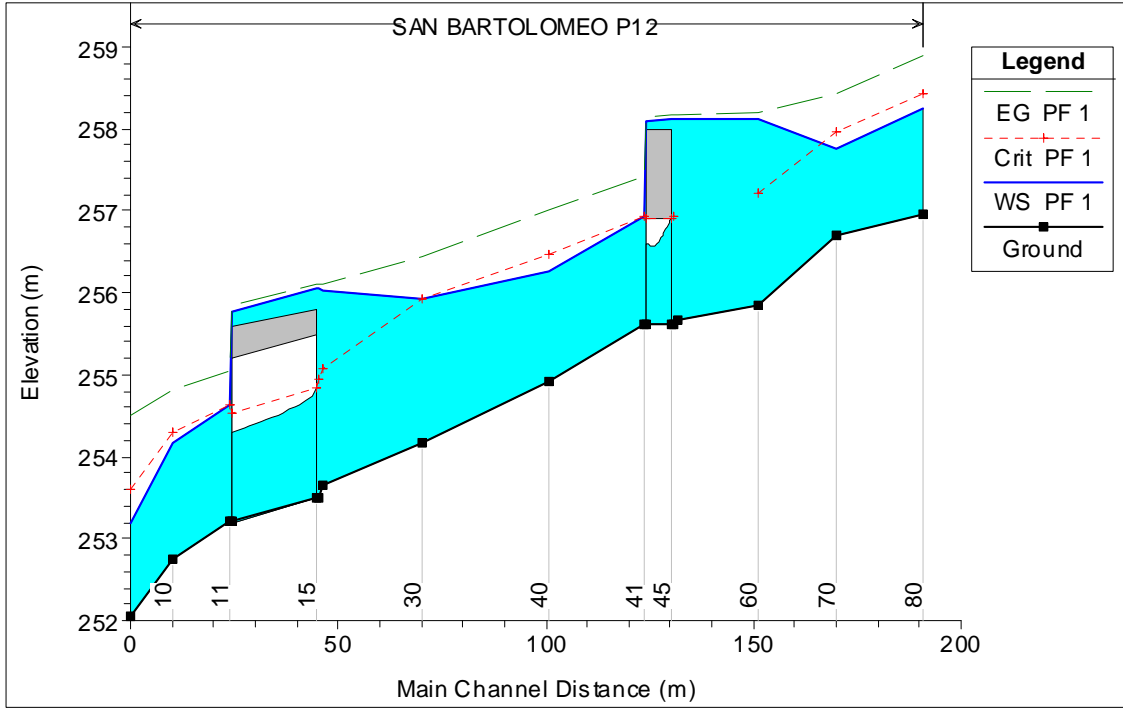


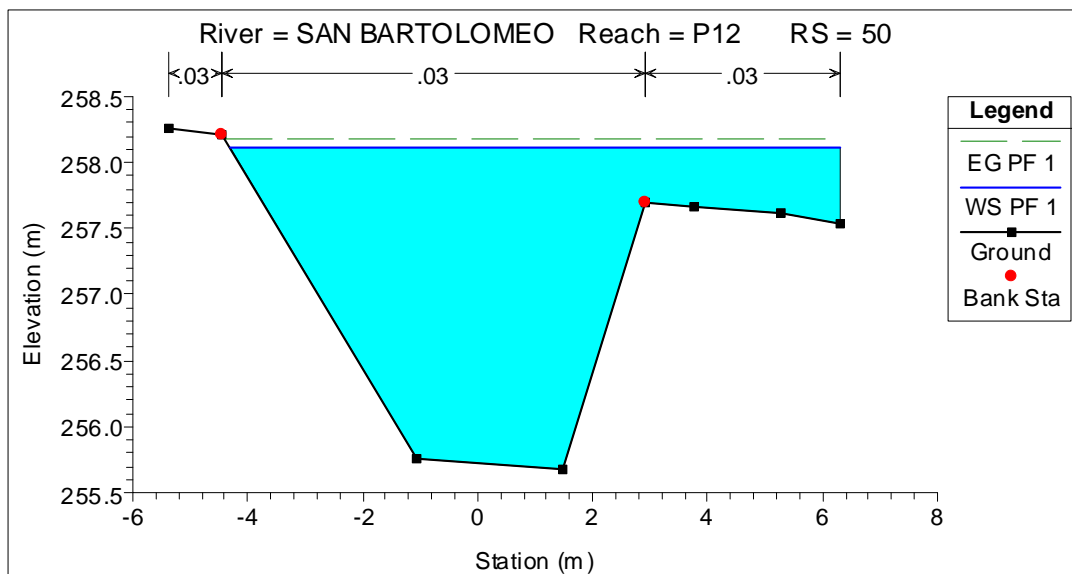
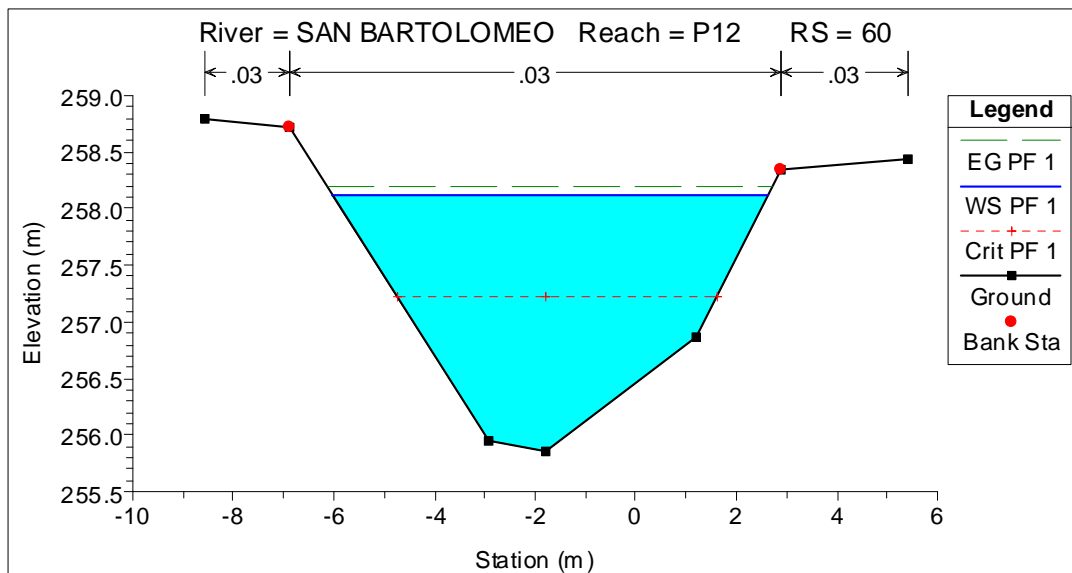
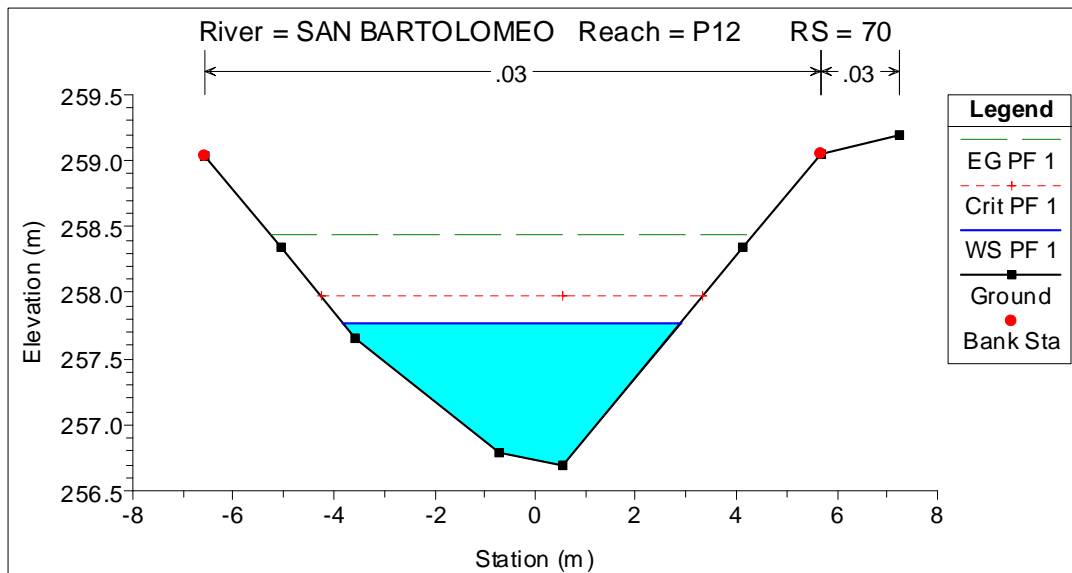


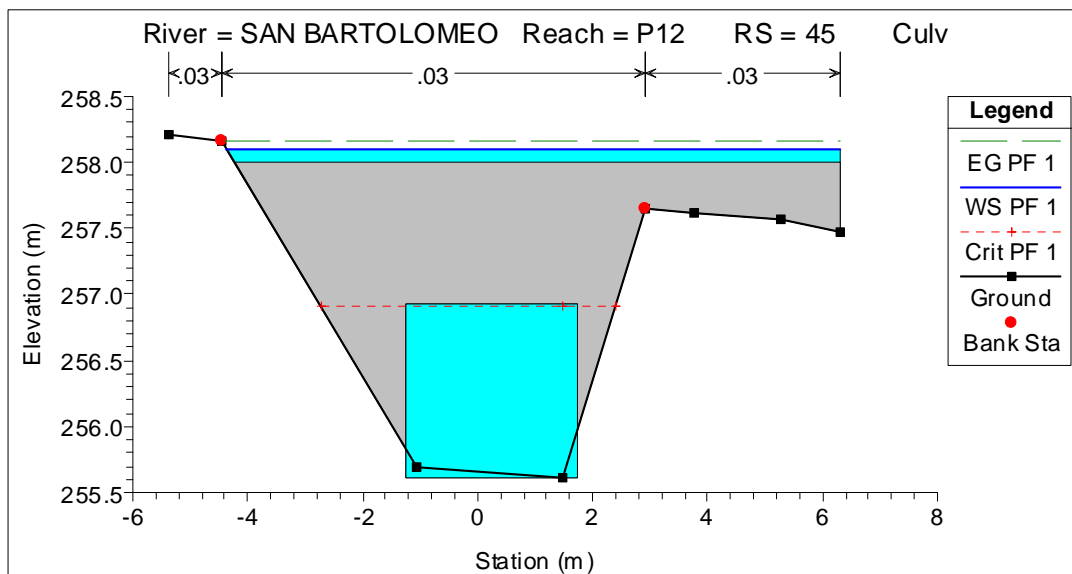
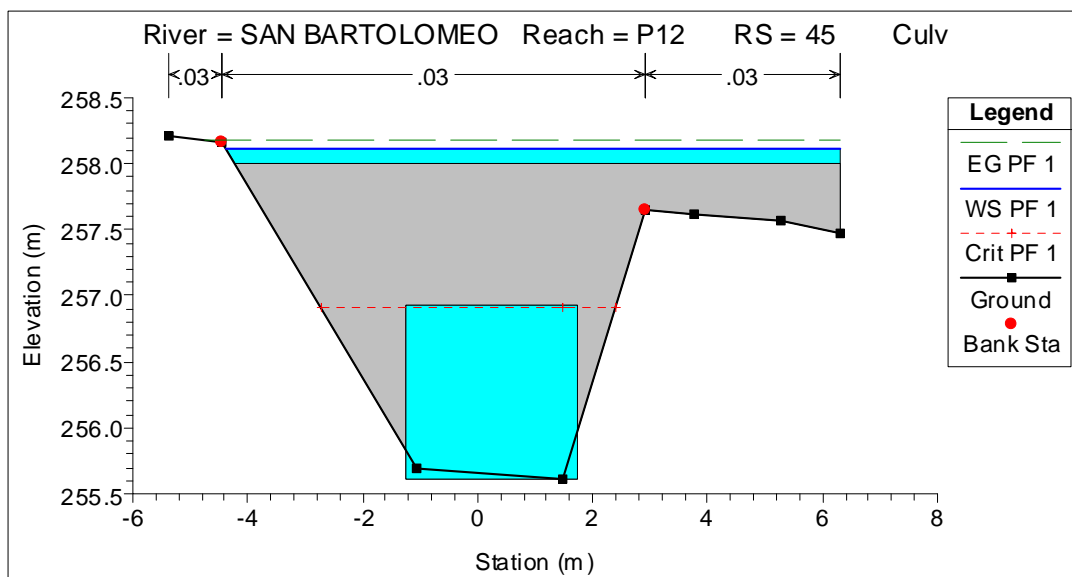
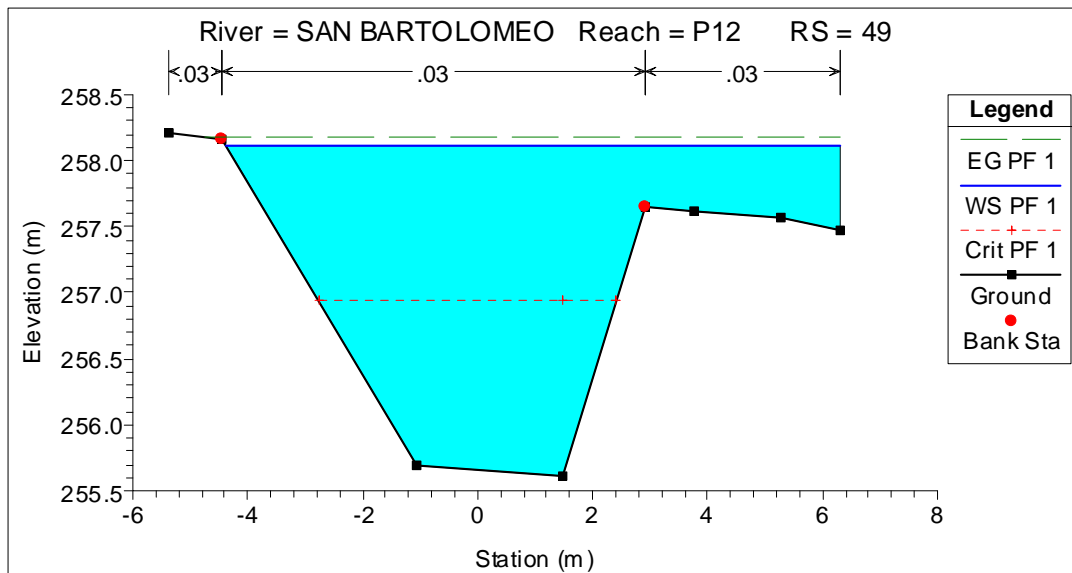


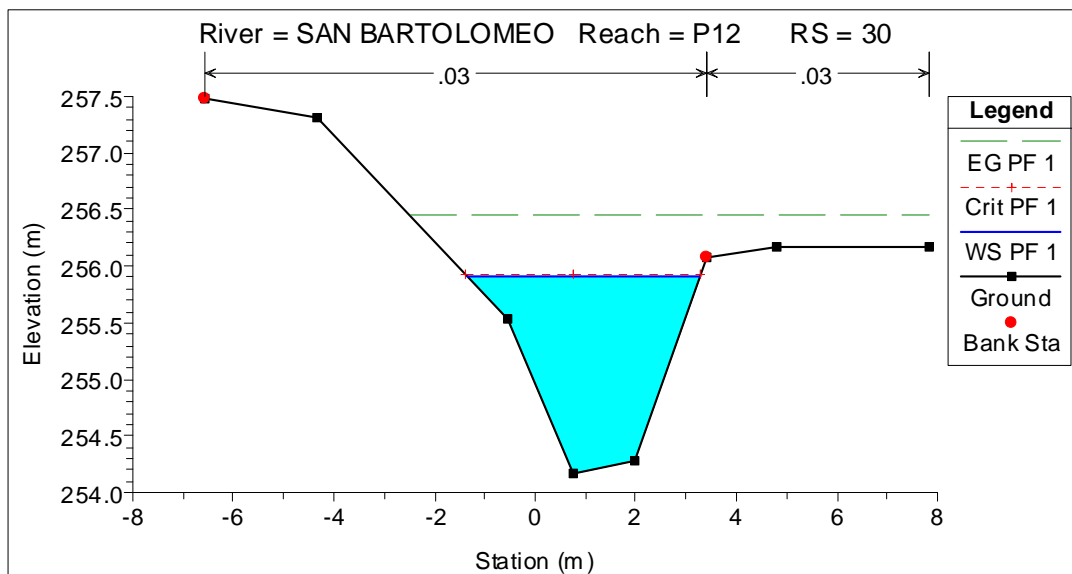
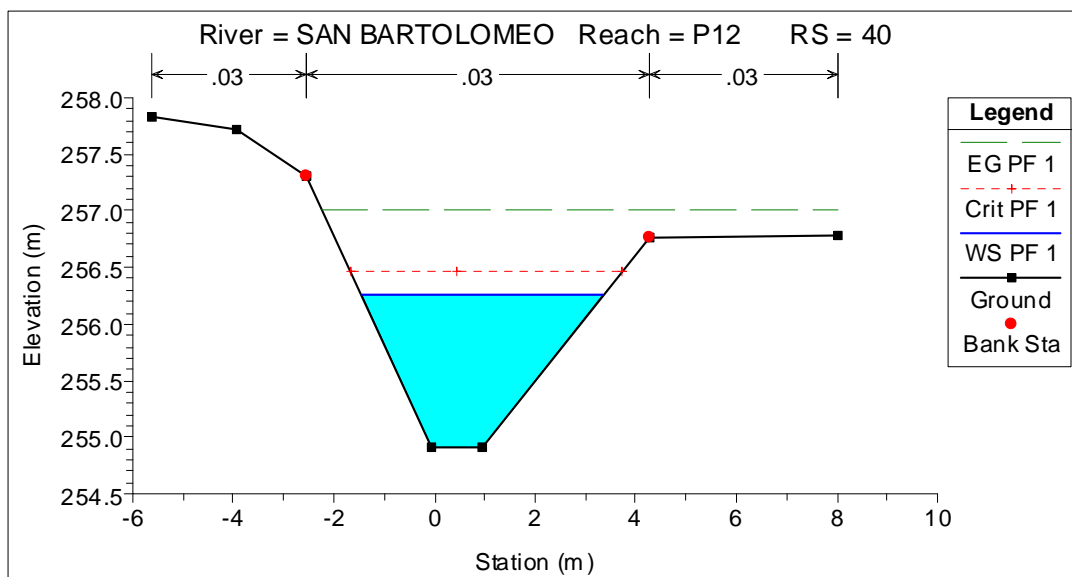
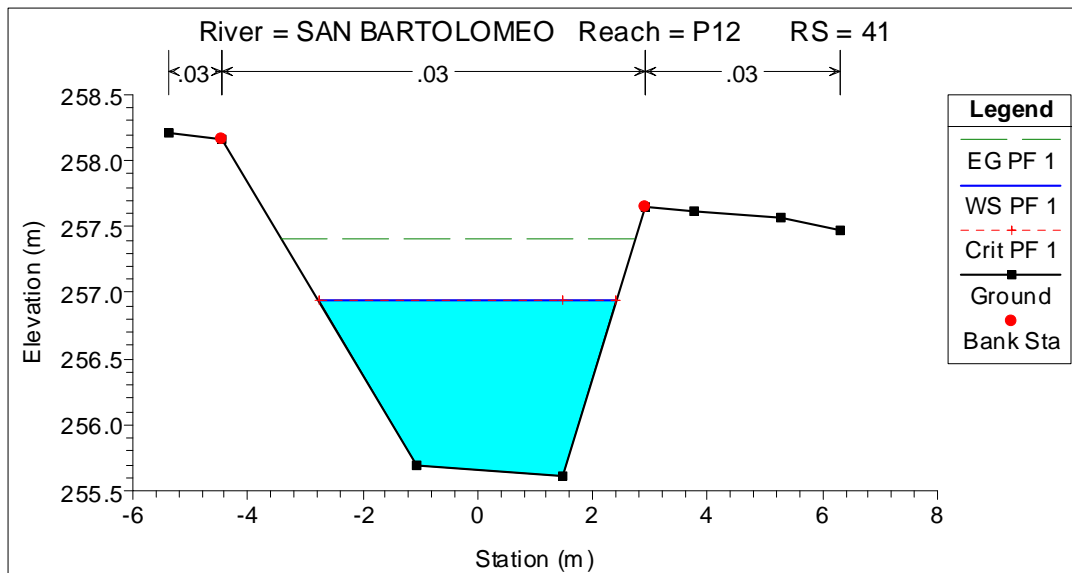


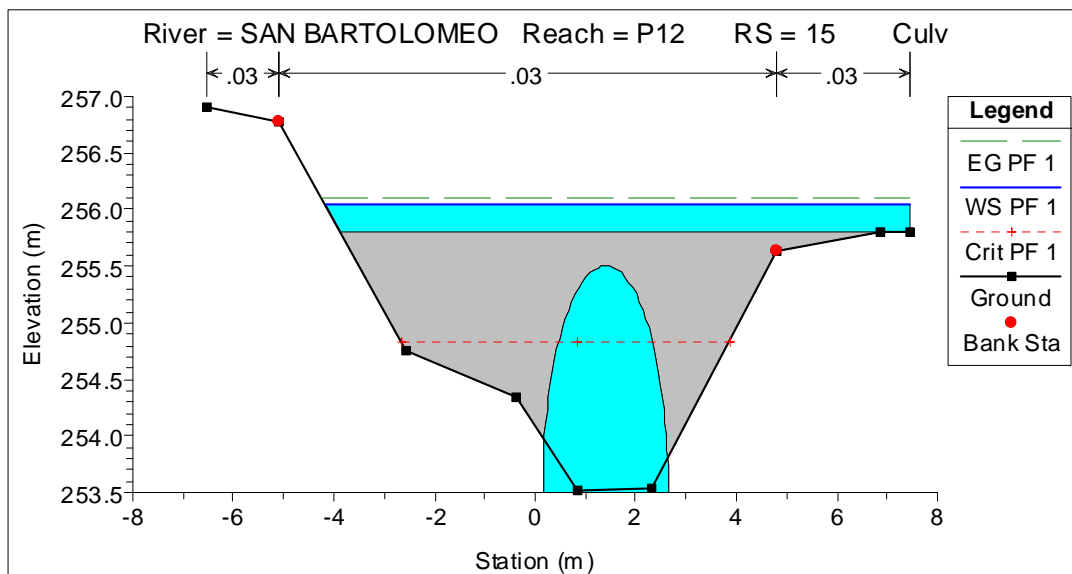
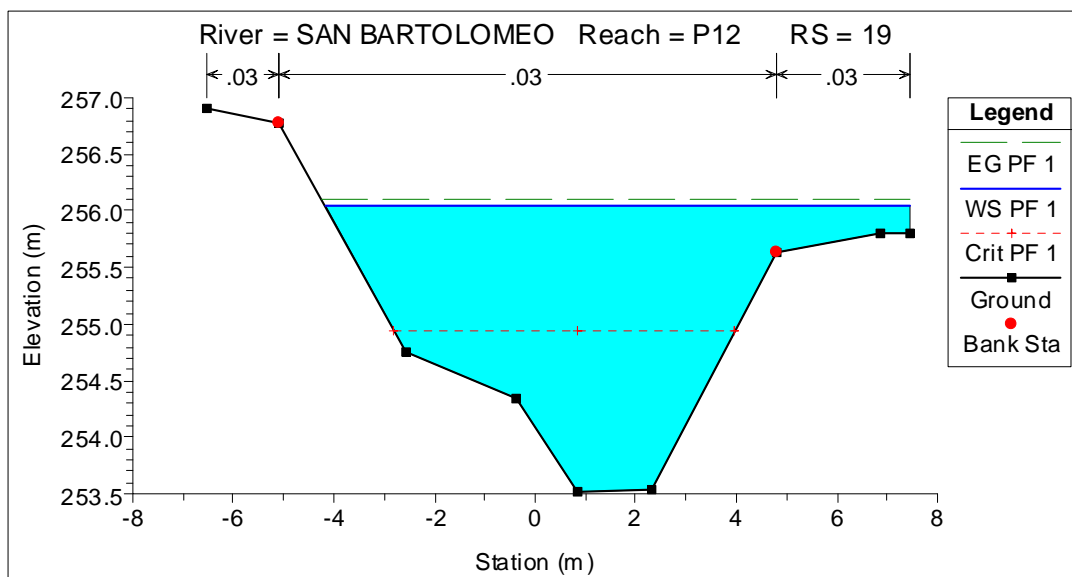
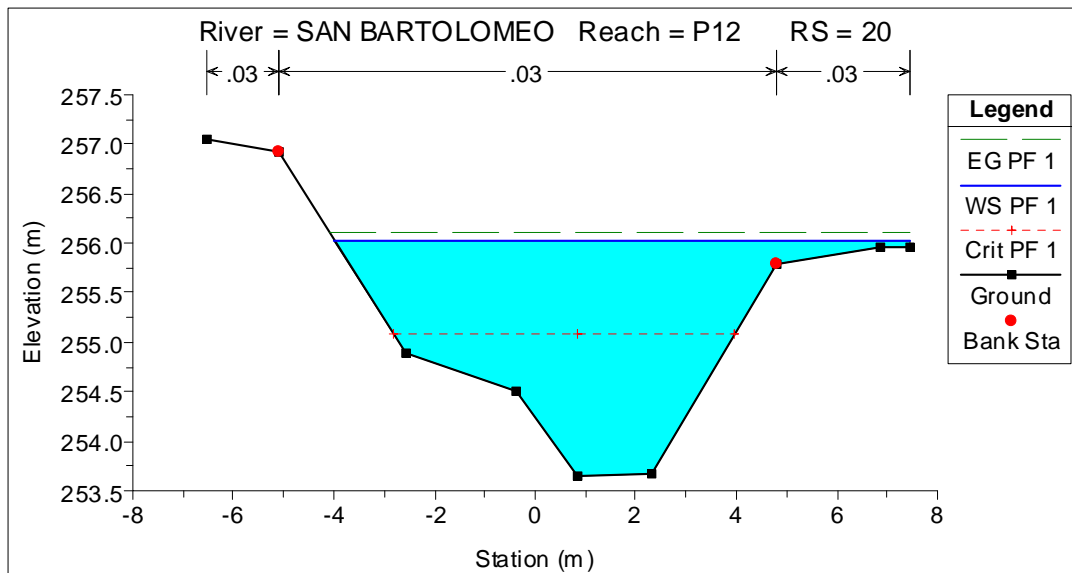
4.7 ALLEGATO 7: RIO SAN BARTOLOMEO, INTERVENTO P10-P11-P12 – MODELLO IDRAULICO ANTE OPERAM (SEZIONI)

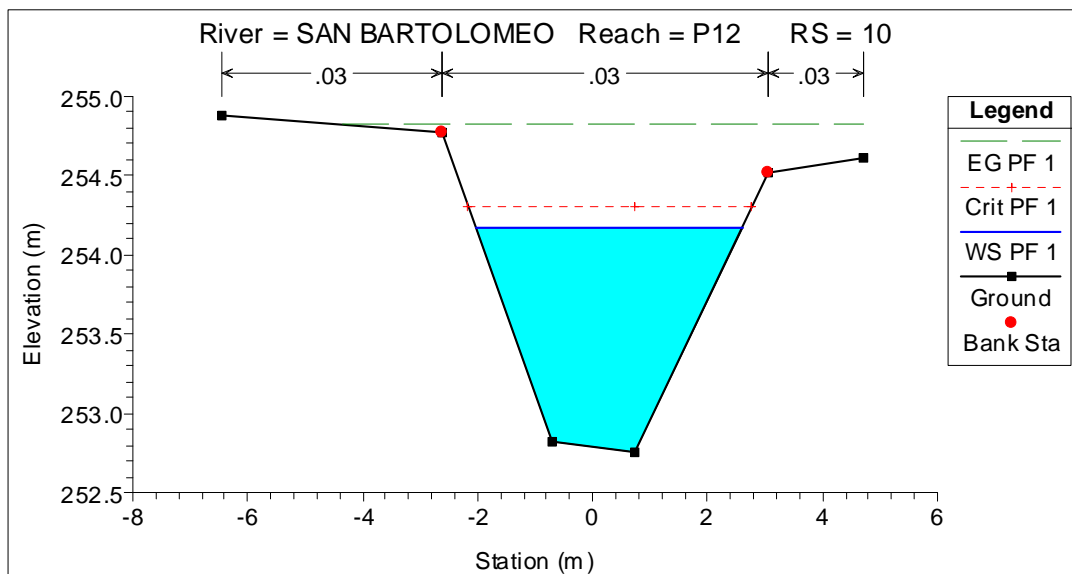
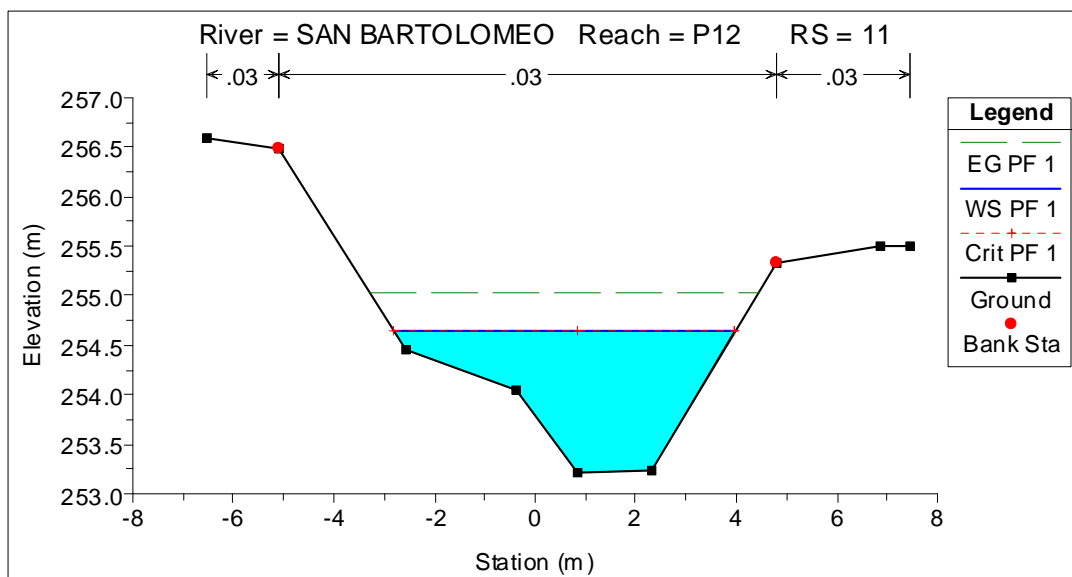
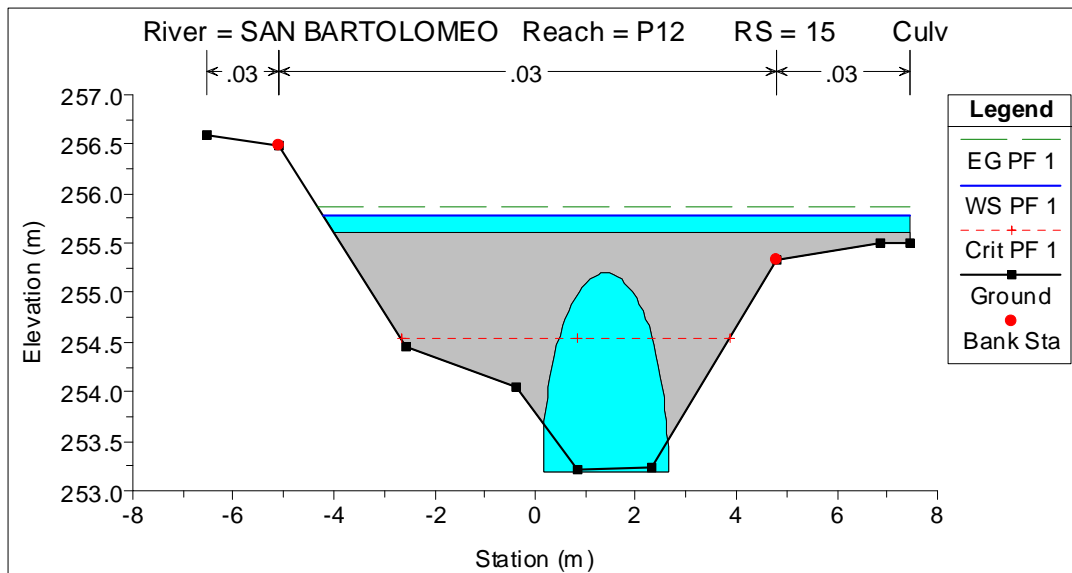


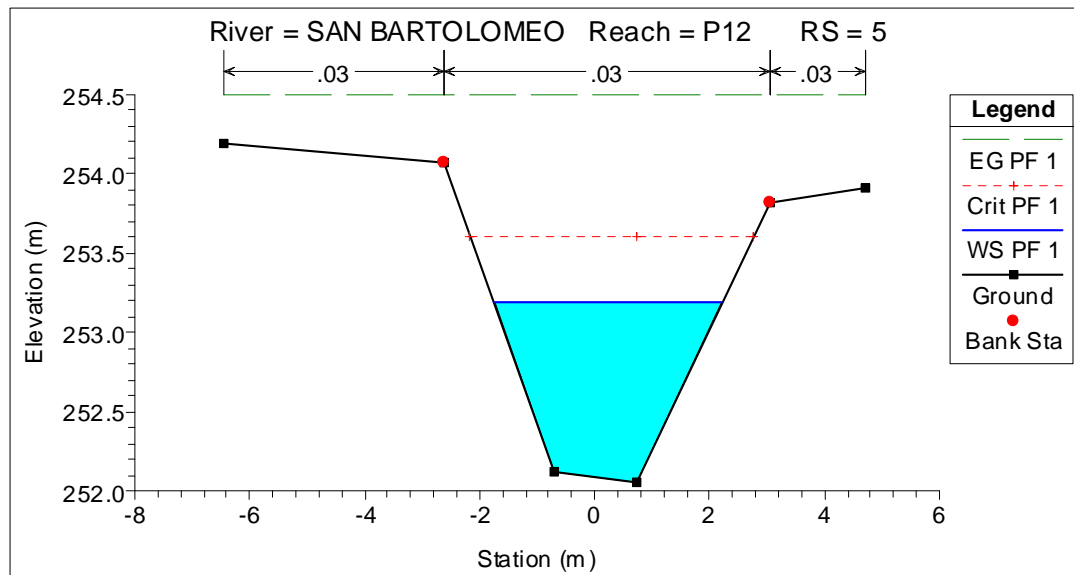












4.8 ALLEGATO 8: RIO SAN BARTOLOMEO, INTERVENTO P10-P11-P12 – MODELLO IDRAULICO POST OPERAM (SEZIONI)

