

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE PROGETTAZIONE

S.O. IDRAULICA

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE-FALCONARA

RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228-CASTELPLANIO

Lotto 1

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idraulica –Corsi d'Acqua Minori - Lotto 1

SCALA:

-

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

IR0F 01 R 09 RI ID0002 002 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P. Cucino	Gennaio 2022	F. Cabas	Gennaio 2022	C. Urciuoli	Gennaio 2022	F. Cabas Febbraio 2024
B	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali	Febbraio 2024	C. Cesali	Febbraio 2024	C. Urciuoli	Febbraio 2024	ITALFERR S.p.A. Iscrizione all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma al n. 15744 Ing. Fabrizio Cabas

File: IR0F01R09RIID0002002B.doc

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1					
	PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	2 di 79

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	4
2.1	NORMATIVA NAZIONALE	4
2.2	NORMATIVA REGIONALE	5
2.3	DOCUMENTI TECNICI	6
3.	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	6
4.	IDROLOGIA E IDRAULICA	8
4.1	INQUADRAMENTO GENERALE.....	8
5.	ANALISI INTERFERENZE IDRAULICHE.....	11
5.1	MANUALE DI PROGETTAZIONE FERROVIARIO.....	11
5.2	VERIFICHE IDRAULICHE	12
5.2.1	<i>Verifiche idrauliche in moto uniforme.....</i>	<i>13</i>
5.2.2	<i>Verifiche idrauliche con il software HY-8</i>	<i>14</i>
5.2.3	<i>Verifiche idrauliche mediante il software HEC-RAS</i>	<i>20</i>
6.	ANALISI SISTEMAZIONI IDRAULICHE PRINCIPALI.....	27
6.1	TOMBINO IN01	28
6.1.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>28</i>
6.1.2	<i>Condizioni post operam</i>	<i>33</i>
6.2	TOMBINO IN02	36
6.2.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>36</i>
6.2.2	<i>Condizioni post operam</i>	<i>39</i>
6.3	TOMBINO IN03	42
6.3.1	<i>Condizioni ante operam</i>	<i>43</i>
6.3.2	<i>Condizioni post operam</i>	<i>46</i>

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 3 di 79

6.4	TOMBINO IN04	49
6.4.1	Condizioni ante operam	50
6.4.2	Condizioni post operam	52
6.5	RIEPILOGO DELLE VERIFICHE IDRAULICHE SECONDO MODELLI HECRAS	56
6.6	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE OPERE IN PROGETTO.....	57
6.7	CONSIDERAZIONI SUL TRASPORTO SOLIDO FLUVIALE	58
6.7.1	Generalità.....	58
6.7.2	Valutazione della tendenza evolutiva	58
6.7.3	Modello monodimensionale a “fondo mobile” (HECRAS)	59
6.7.4	Simulazione numerica dei fenomeni di trasporto solido e risultati.....	63
6.7.5	Riepilogo dei risultati e considerazioni conclusive.....	71
	ALLEGATO A: RISULTATI MODELLAZIONE HY-8	72
	ALLEGATO B: RISULTATI MODELLAZIONE HEC-RAS	79

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 4 di 79

1. **PREMESSA**

Il presente documento è parte della Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del “*Raddoppio della tratta PM228 - Castelplanio - Lotto 1*” nell’ambito del “*Potenziamento infrastrutturale Orte - Falconara*”.

La presente relazione descrive il dimensionamento e la verifica idraulica delle opere di attraversamento sui corsi d’acqua minori nel tratto da PM228 a Bivio Nord Albacina, a partire dai risultati ottenuti dall’analisi idrologica che ha condotto alla determinazione delle massime portate di progetto dei bacini idrografici di interesse lungo l’intervento di progetto.

Tali opere sono state individuate sia a partire dal rilievo disponibile del tracciato esistente, sia da analisi geomorfologiche dei bacini idrografici afferenti la linea ferroviaria.

L’analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Verifica idraulica delle sistemazioni idrauliche principali mediante modello HEC-RAS 1D: confronto dei profili in moto permanente e delle sezioni con livelli idrici ed energetici relativi alle condizioni ante e post operam;
- Verifica idraulica delle sistemazioni di progetto minori con modello HY-8.

2. **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA**

Con specifico riferimento agli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale e regionale, i riferimenti principali nel campo idrologico-idraulico sono elencati nel seguito.

2.1 **Normativa nazionale**

- [1] R.D. 25/07/1904, n. 523 – “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”;
- [2] D.M. 12/12/1985 – “Normativa tecnica per le tubazioni”;
- [3] Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;
- [4] Legge 18 maggio 1989, n. 183. Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
- [5] L. 36/94 (Legge Galli). Disposizioni in materia di risorse idriche.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 5 di 79

[6] D.P.R. 14 aprile 1994. Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale e interregionale.

[7] Dpcm 4/3/96. Disposizioni in materia di risorse idriche.

[8] Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale.

2.2 Normativa regionale

[9] Legge regionale 22 giugno 1998, n. 18. Disciplina delle risorse idriche.

[10] Legge regionale 25/5/1999, n° 13. Disciplina regionale della difesa del suolo.

[11] Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Marche, richiesto dalle LL. 267/98 e 365/00.

[12] Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale – P.G.R.A.A.C.

[13] Legge regionale 23 novembre 2011, n. 22. Norme in materia di riqualificazione urbana sostenibile e assetto idrogeologico

[14] Piano d'ambito per i comuni dell'ATO 2 Marche Centro, Ancona - Fase 3 - Disponibilità attuale e futura delle risorse idriche

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 6 di 79

2.3 Documenti tecnici

- [15] D. Citrini, G. Nosedà – “Idraulica” – Casa Editrice Ambrosiana Milano – 1987;
- [16] F. Arredi – “Costruzioni Idrauliche” – Utet – 1987;
- [17] G. Ippolito – “Appunti di costruzioni idrauliche” – Liguori – 1993;
- [18] S. Gabriele, G. Liritano – “Alcuni aspetti teorici ed applicativi nella regionalizzazione delle piogge con il modello TCEV” – Previsione e Prevenzione degli Eventi Idrologici Estremi e Loro Controllo, Rapporto 1992/93, L1, GNDICI-CNR, Roma – 1994;
- [19] G. Calenda, F. Campolo, C. Cosentino, R. Guercio – “Valutazione delle piene nei bacini delle sezioni idrografiche di Roma e Pescara” – In La valutazione delle piene in Italia-Rapporto Nazionale di Sintesi, CNR-GNDICI, Allegato F, Roma – 1994;
- [20] L. Da Deppo, C. Datei – “Fognature” – Edizioni Progetto Padova – 1997;
- [21] S. Artina et al. – “Sistemi di Fognatura” – Centro Studi Deflussi Urbani – Hoepli – 1997.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Nell'ambito del potenziamento infrastrutturale della Linea ferroviaria Orte-Falconara, il presente Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica riguarda il raddoppio della tratta PM228-Castelplanio. Tale progetto è suddiviso nei 3 Lotti Funzionali di seguito elencati:

- Lotto 1: da PM228 a Bivio Nord Albacina da progressiva Km 0+00 (Km 228+014 della LS) alla progressiva Km 7+200 di progetto.
- Lotto 2: da Bivio Nord Albacina a Serra San Quirico (i) da progressiva Km 0+00 (Km 237+589 della LS) alla progressiva Km 8+889 (Km 246+958 della LS).
- Lotto 3 da Serra San Quirico (e) a Castelplanio (e) da progressiva Km 0+00 a progressiva Km 6+272 (Km 252+578 della LS).

Nel 2003 era stato redatto da ITF il progetto preliminare nell'ambito della Legge Obiettivo che già teneva conto dei 3 Lotti Funzionali sopra descritti. Rispetto al tracciato previsto in tale Progetto, che non ha

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 7 di 79

ricevuto alcuna approvazione da parte degli Enti, il tracciato del PFTE in oggetto è stato aggiornato per tenere conto degli aggiornamenti normativi intercorsi.

Nell'ambito del lotto 1 (PM228-Bivio Nord Albacina), oggetto di analisi nel presente elaborato:

- ad inizio intervento in corrispondenza del PM228 è previsto un Fabbricato Tecnologico con annesso locale di Consegna ENEL;
- la linea ferroviaria prosegue in variante rispetto alla linea esistente, e dopo circa 800m di doppio binario all'aperto, è prevista la lunga galleria (Galleria Le Cone) di lunghezza pari a circa 5.350 m. Trattasi di una galleria a doppia canna con le due canne distanti circa 30m con by pass ogni 500m. Agli imbocchi della galleria sono previste i fabbricati di emergenza (PGEP) per la sicurezza in galleria e i FFP per gestire l'esodo delle persone in condizioni di sicurezza. In progetto sono previste anche le viabilità per raggiungere i fabbricati di emergenza anzidetti agli imbocchi della galleria;
- all'uscita della lunga galleria la linea prosegue in viadotto (VI01) per circa 400m, attraversando il Fiume Esino, per poi congiungersi con la linea esistente nel Bivio Nord Albacina;
- dal punto di vista degli Impianti di Segnalamento, il progetto comprende le modifiche ed implementazioni finalizzate al raddoppio della linea ed il passaggio da tecnologia elettromeccanica (ACEI) a tecnologia statica (ACC). Inoltre, verrà implementato il sistema di distanziamento BABcf eRSC 3/3 - 9 codici gestito da Apparato Centralizzato Computerizzato di Linea (ACC-L) che sarà installato in opportuno fabbricato tecnologico nel PC/Bivio 228 (gestione della tratta PC/Bivio 228 - Genga S. Vittore) e nella stazione di Genga San Vittore (gestione della tratta Genga S. Vittore - Castelplanio).

4. IDROLOGIA E IDRAULICA

4.1 Inquadramento generale

Dal punto di visto idrologico-idraulico, la tratta ferroviaria in progetto si sviluppa interamente in affiancamento al Fiume Esino, attraversando quest'ultimo in vari punti, lungo il tracciato, in ognuno dei tre lotti previsti. Inoltre, sono attraversati anche una serie di corsi d'acqua minori, tributari del Fiume Esino stesso, oggetto della presente relazione.

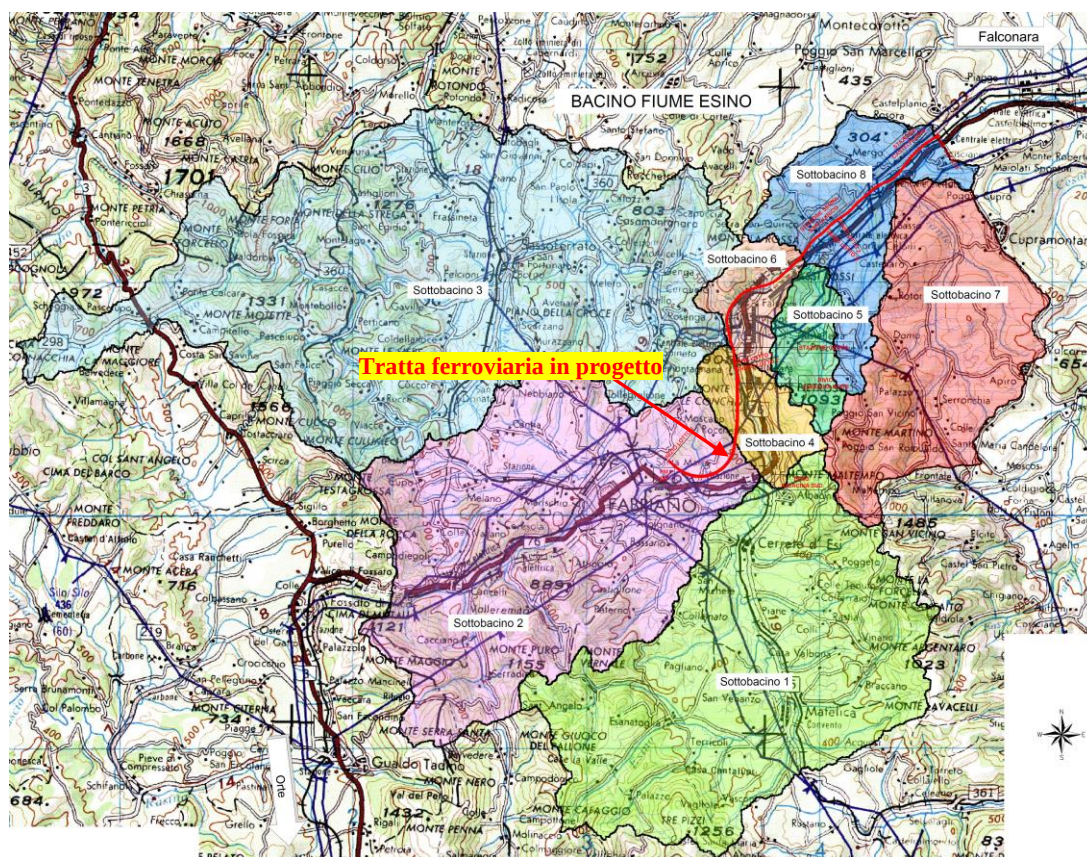


Figura 1 Inquadramento idrologico/idraulico: bacino del Fiume Esino

Come analizzato nella relazione idrologica, per rappresentare l'andamento plano-altimetrico dell'area di studio è stato utilizzato il DTM (Digital Terrain Model) della Regione Marche (risoluzione 20mx20m) e quello del MATT (risoluzione 1mx1m) per la fascia in prossimità del Fiume Esino.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 9 di 79

Oltre al reticolo idrografico disponibile nel database dell'idrografia regionale della Regione Marche, sulla base del DTM è stata ricostruita la rete idrografica dell'area di intervento, perimetrando i bacini afferenti ai corsi d'acqua interferenti con la linea ferroviaria e le viabilità di progetto, come riportato nella figura seguente.

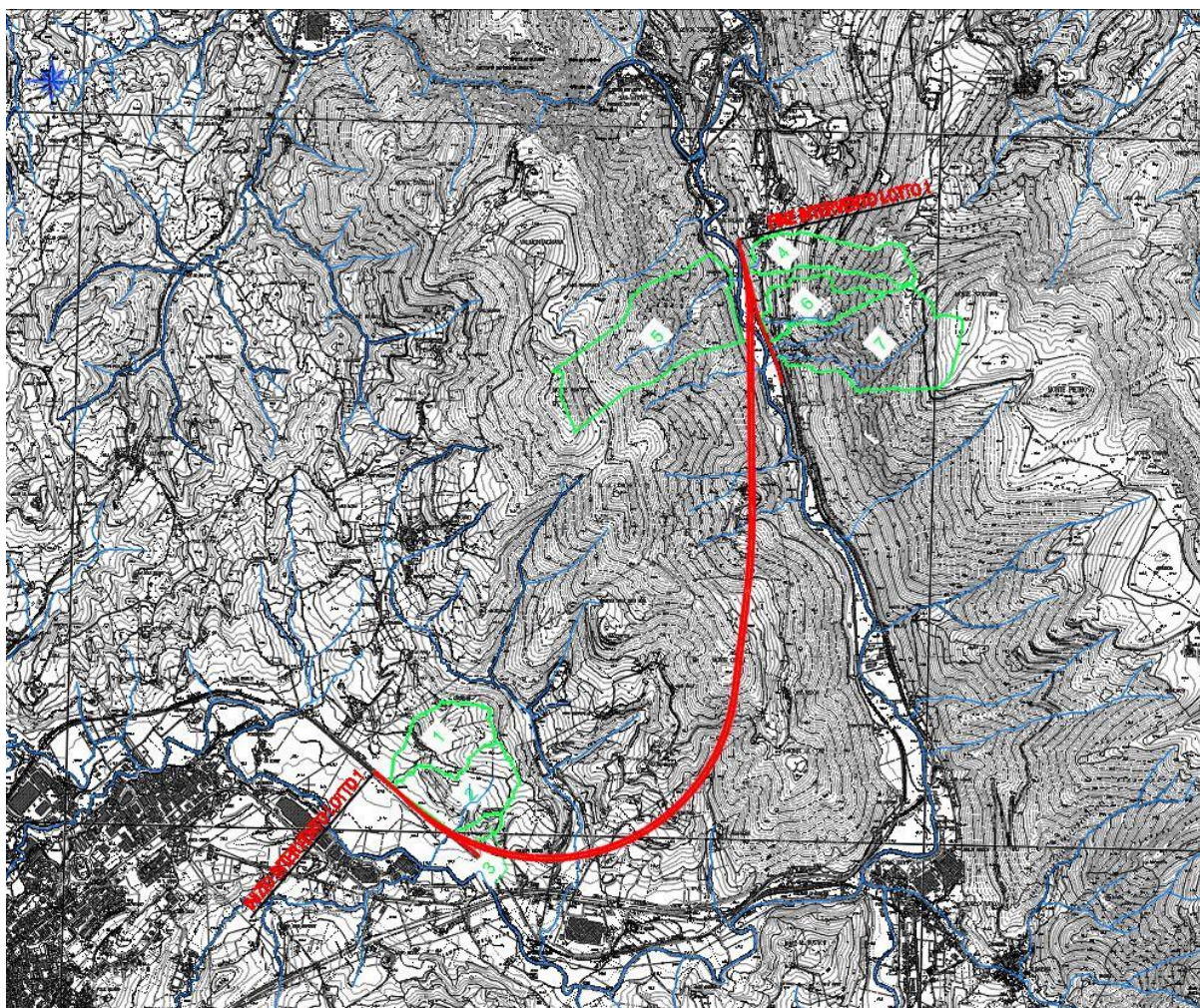


Figura 2 Individuazione aree contribuenti relative agli attraversamenti ferroviari nel Lotto 3.

Le portate afferenti alle sezioni di chiusura dei bacini minori sono state calcolate con il metodo razionale, confrontando i risultati derivanti dall'elaborazione statistica di Gumbel delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di misura di riferimento con quelli ottenuti dagli studi idrologici condotti secondo la procedura di analisi regionale VAPI.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 10 di 79

I risultati vengono riassunti nella tabella seguente dove emerge come i valori di portata calcolati con la seconda procedura risultino sempre maggiori e sono quindi stati considerati per i successivi dimensionamenti idraulici, poiché ritenuti più cautelativi.

ID	Progressiva km	Pn BELL (mm)	Pn VAPI (mm)	Q GUMBEL (mc/s)	Q VAPI (mc/s)	WBS manufatto
1	0+163	3.2	6.08	3.71	4.99	IN01
2	0+780	2.8	5.71	4.31	5.94	IN02
3	0+913	0.4	3.06	0.45	0.94	IN03
4	7+053	0.7	2.24	1.34	1.97	IN04
5	0+277	0.5	1.65	2.59	3.69	NI01
6	0+591 BNA	1.5	4.53	2.46	3.87	IN05
7	0+415 BNA	3.2	4.97	3.62	4.32	IN06

Tab. 1 – Valori di portata ottenuti per i sottobacini

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 11 di 79

5. ANALISI INTERFERENZE IDRAULICHE

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i criteri di verifica, gli approcci metodologici, i parametri idraulici e le formule applicative utilizzate per il dimensionamento degli attraversamenti di progetto e lo studio dell'interazione tra il reticolo idrografico superficiale e la linea ferroviaria e stradale di progetto.

I criteri di dimensionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua minori realizzati con tombini consistono essenzialmente in:

- evitare la formazione di rigurgiti in corrispondenza delle portate di progetto;
- prevedere adeguati raccordi a monte e a valle dell'opera.

Nel dimensionamento delle opere si è cercato di non determinare restringimenti significativi delle sezioni del corso d'acqua verificando che i massimi livelli per l'evento di progetto garantiscano un corretto deflusso. Ove necessario, sono stati previsti raccordi tra incisione naturale e manufatto in cls, realizzati mediante sistemazioni a gradoni in massi cementati, come descritto negli elaborati grafici specifici.

Infine, per i manufatti con scarico di valle in prossimità di aree soggette ad esondazione è stata valuta anche l'interazione con quota di esondazione dell'Esino con Tr200, al fine di evitare eventuali fenomeni di rigurgito.

5.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico è stato verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr :

Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $Tr = 200$ anni
- deviazioni stradali $Tr = 200$ anni

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

“Le tipologie ammesse sono:

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

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 12 di 79

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

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

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

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

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

Per la sistemazione idraulica di torrenti e fossi esistenti prescrive inoltre.

“La sistemazione idraulica dei torrenti naturali esistenti potrà comportare, sulla base della morfologia locale e della tipologia della linea ferroviaria, la deviazione dell'asta incisa ovvero opere di raccordo a monte ed a valle dello scatolare di attraversamento.

Le deviazioni e le opere di raccordo dovranno essere realizzate in modo da garantire la stabilità dell'alveo e la sicurezza della infrastruttura ferroviaria nei confronti di fenomeni di esondazione e/o di erosione; quindi la forma delle sezioni, i valori di pendenza dell'alveo e delle sponde, il progetto dei salti e delle opere di rivestimento e stabilizzazione, la tipologia delle opere e i materiali utilizzati dovranno essere compatibili con le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua e la sua tendenza evolutiva.

I raccordi a monte ed a valle degli scatolari dovranno essere dimensionati in modo tale da consentire comunque il deflusso a superficie libera senza fenomeni di rigurgito.

Qualora il dislivello tra la quota di fondo del tombino e la quota di fondo fosso, in corrispondenza della sezione di imbocco, sia di particolare rilievo ($\Delta H > 20\%$ dell'altezza dello scatolare), si dovranno prevedere a monte del tombino uno o più salti di fondo di appropriata altezza.”

5.2 Verifiche idrauliche

I fenomeni di deflusso in esame si caratterizzano per la prevalenza di una dimensione rispetto alle altre, ed appare quindi ragionevole l'accettazione della ipotesi di mono-dimensionalità del moto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 13 di 79

Nei paragrafi seguenti verranno quindi espone le metodologie impiegate per le verifiche idrauliche oggetto della presente relazione, evidenziando le ipotesi adottate di semplificazione ed i criteri di valutazione assunti per la quantificazione dei parametri.

Per tutti gli attraversamenti minori, oggetto di questa relazione, è stata effettuata dapprima un dimensionamento in moto uniforme e, in seguito, modelli di simulazione con due diversi software:

- simulazione Hec-Ras 1D per gli attraversamenti principali, dove le sezioni batimetriche restituite dal rilievo risultavano sufficienti;
- verifica HY-8 per gli attraversamenti minori, dove le condizioni di valle erano definite.

Al § 5.2.1 sono riportate le verifiche eseguite a moto uniforme, all'Allegato A è possibile consultare il report riassuntivo di output del software HY-8 ed infine all'Allegato B sono riportati i risultati del software Hec-Ras (sezioni e profili di moto).

5.2.1 Verifiche idrauliche in moto uniforme

Per il pre-dimensionamento e la verifica dei manufatti idraulici in condizioni di moto uniforme, è stato fatto riferimento alla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = A \cdot k_s \cdot \sqrt{i_f} \cdot (R_H)^{2/3}$$

dove le grandezze indicate sono:

- Q portata [m³/s];
- R_H raggio idraulico [m];
- A sezione idraulica bagnata [m²];
- i pendenza [m/m];
- K_s coefficiente di scabrezza, posto cautelativamente pari a 50 m^{1/3}/s per considerare le condizioni di usura dovute all'esercizio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 14 di 79

Tombini idraulici

Considerando, dove possibile, le dimensioni minime indicate nel manuale di progettazione e un riempimento massimo dei manufatti pari al 70%, in tabella vengono riportate le verifiche in moto uniforme dei manufatti di progetto.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m³/s)	Sezione		If (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
IN01	0+163	4.99	2.0	1.5	0.005	0.501	1.01	67.0
IN02	0+780	5.95	3.0	2.0	0.007	0.482	0.71	35.5
IN03	0+913	0.94	2.0	2.0	0.010	0.219	0.28	14.0
IN04	7+053	1.97	2.0	2.0	0.010	0.306	0.44	22.0
IN05	0+591 BNA	3.87	2.0	2.0	0.005	0.462	0.86	43.0
IN06	0+415 BNA	4.32	2.0	2.0	0.005	0.490	0.96	48.0

Tab. 2 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (moto uniforme)

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m³/s)	Sezione		If (m/m)	Rh (m)	Tirante y	GR %
			B	H				
NI01	0+277 (NVP01)	3.69	3.0	2.0	0.005	0.339	0.594	29.7%

Tab. 3 – Verifica idraulica dei tombini stradali (moto uniforme)

Come si evince dalla tabella sopra riportata, a moto uniforme, tutti i manufatti risultano ampiamente verificati, con gradi di riempimento inferiori al 70%, ovvero ai 2/3 dell'altezza dei manufatti stessi.

5.2.2 Verifiche idrauliche con il software HY-8

Tale software consente di simulare il deflusso che avviene all'interno di un tombino in condizioni di moto permanente, sfruttando l'equazione di conservazione dell'energia secondo la metodologia messa a punto dall'agenzia americana U.S. Federal Highway Administration.

Il funzionamento idraulico dei manufatti di attraversamento a sezione chiusa dipende da numerosi fattori quali:

- la pendenza;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 15 di 79

- la sezione;
- la forma;
- la scabrezza ;
- i livelli liquidi a monte e a valle del collettore.

La verifica proposta dalla FHWA (Federal Highway Administration) ossia l'Agenzia del Dipartimento dei Trasporti degli Stati Uniti, che detta i criteri e gli standard di progettazione delle strade, intende stabilire il tipo di funzionamento del tombino, che può essere controllato da monte (inlet control) o da valle (outlet control) e ricavare in base ad esso il grado di riempimento della sezione.

Il programma HY-8 ha quindi lo scopo di consentire un supporto alla progettazione ed alla verifica delle intersezioni dei corsi d'acqua minori con le infrastrutture viarie come strade e ferrovie. Il software utilizza le routines, in accordo ai criteri della FHWA definiti nelle pubblicazioni seguenti: HDS-5, "*Hydraulic Design of Highway Culverts*," e HEC-14, "*Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels*".

I principali risultati che si possono ottenere tramite questo programma sono:

- determinare la dimensione, la forma ed il numero di opere d'arte (tombini e scatolari) necessari a far defluire la portata di progetto;
- definire la capacità di deflusso di un manufatto esistente imponendo il livello idrico ammissibile di monte;
- calcolare il livello idrico raggiunto a monte del manufatto per far defluire una determinata portata, sia in condizioni di normale deflusso che in condizioni di acqua ferma all'imbocco;
- determinare la scala di portata o altre relazioni tra le principali variabili idrauliche per determinare il livello di rischio della struttura;
- determinare il profilo idrico della portata transitante nell'opera.

Metodologia utilizzata

Il "controllo da monte" si realizza quando il tombino può convogliare più portata di quanta transiti attraverso l'ingresso. La sezione di controllo si localizza appena oltre l'ingresso come sezione ad altezza critica e prosegue in regime supercritico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IROF	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 16 di 79

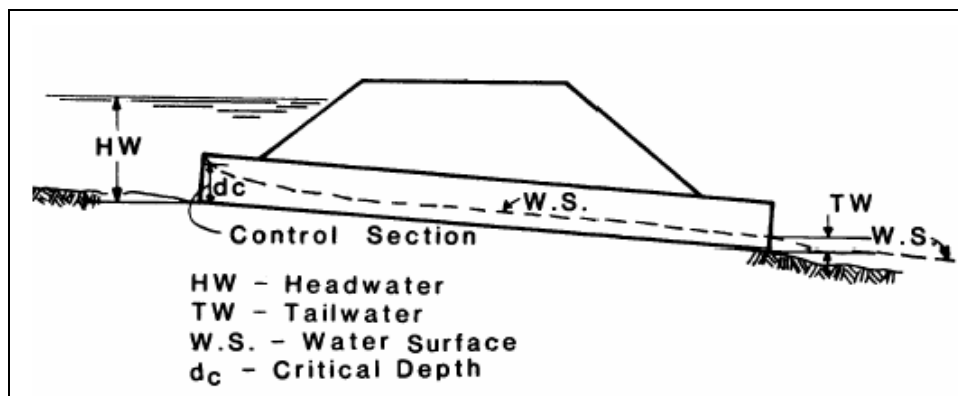


Figura 3 Esempio di moto controllato dalla sezione di ingresso

Il “controllo da valle” invece si verifica quando il tombino non è in grado di convogliare tanta portata quanta ne accetta l’ingresso. La sezione di controllo si localizza allora all’uscita del tombino o più a valle. In queste condizioni il moto può essere sia a pelo libero che in pressione.

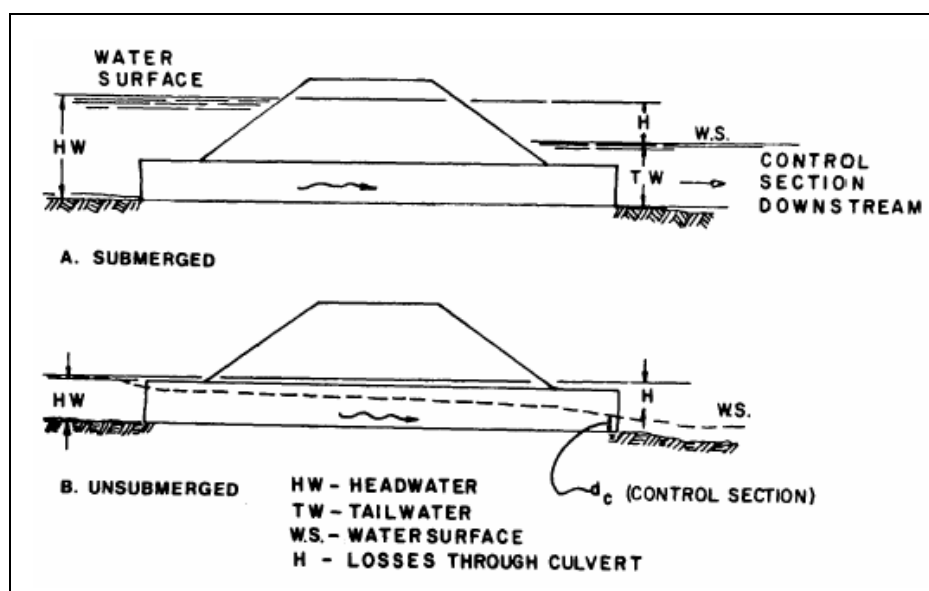


Figura 4 Esempio di moto controllato da sezioni a valle del tombino

Per calcolare il livello idrico a monte del manufatto vengono utilizzati dei diagrammi sperimentali (*Hydraulic Charts for the selection of highway culverts – Bureau of Public Roads – 1964, USA*).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 17 di 79

Il software HY-8 determina, per diversi valori della portata, il tipo di controllo (inlet/outlet) che si instaura nella canna e fornisce per esso il profilo della superficie idrica lungo la canna, nonché il tirante all'imbocco e allo sbocco.

Nell'analisi delle strutture di progetto di nuovi tombini è fondamentale conoscere la condizione al contorno di valle. Il programma permette di assegnare al livello idrico di valle un valore costante (caso tipico dell'immissione in un lago o in un altro fiume, o in un manufatto di sbocco in cui per la sezione di partenza del canale di allontanamento si possono ipotizzare condizioni di acqua ferma e quindi componente cinetica iniziale nulla) o l'altezza di moto uniforme che si sviluppa nel canale di valle.

Calcolo idraulico per tombini con controllo all'ingresso

Le equazioni del deflusso dipendono dal fatto che l'imbocco del tombino sia sommerso o meno.

Il manuale HDS-5, già citato, fornisce le equazioni sulla base del parametro (non adimensionale):

$$Q / AD^{0.5}$$

Dove Q [ft³/s] è la portata, A [ft²] è la sezione del tombino e D [ft] è l'altezza interna.

Riferendoci alle unità del SI, le equazioni usate dal software assumono le seguenti forme:

Se $Q / AD^{0.5} < 1,932$ l'imbocco è non sommerso, e si utilizza:

$$Hw_i = H_c/D + K[1,81 Q/AD^{0.5}] - 0,5 S$$

Se $Q / AD^{0.5} > 2,208$ l'imbocco è sommerso, e si utilizza:

$$Hw_i = c[1,81 Q/AD^{0.5}]^2 + Y - 0,5 S$$

Se infine $1,932 < Q / AD^{0.5} < 2,208$ si è in una zona di transizione e si effettua una interpolazione lineare tra le due equazioni precedenti.

I termini utilizzati nelle equazioni indicano:

- H_{wi} = altezza idrica prima dell'imbocco, nel caso di velocità in arrivo nulla;
- H_c = energia critica;
- S = pendenza della condotta;
- K, M, Y, c = coefficienti dipendenti dalla forma dell'imbocco, dai materiali e dall'equazione usata.

Calcolo idraulico per tombini con sezione di controllo a valle

Il calcolo viene eseguito sulla base della conservazione dell'energia (simboli indicati in figura):

$$Hw_0 + \frac{v_u^2}{2g} = TW + \frac{v_d^2}{2g} + H_L$$

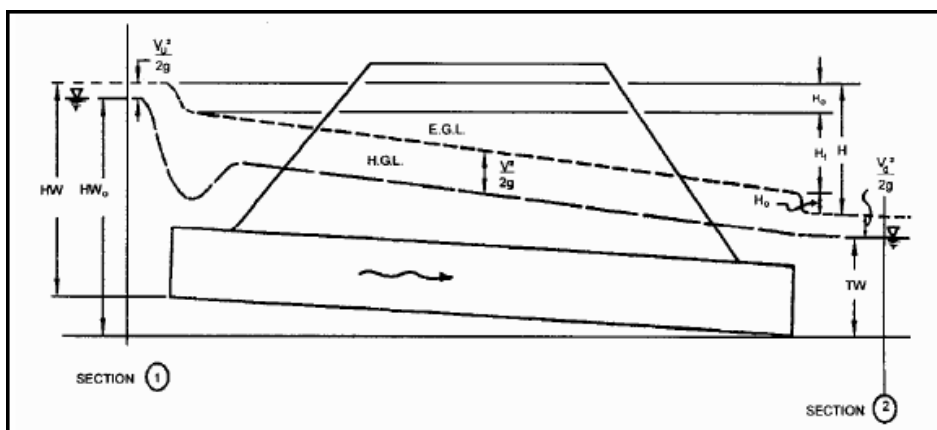


Figura 5 Variabili di riferimento per l'equazione di conservazione dell'energia

Il pelo libero di moto permanente viene integrato utilizzando gli usuali metodi numerici e tenendo conto della pendenza dello stato rapido o lento della corrente e degli eventuali risalti idraulici.

Per calcolare la condizione al contorno di valle, che è fondamentale, come già detto, è possibile definire la sezione del canale e la sua scabrezza, sia per canali con sezione geometrica (rettangolare, trapezia, ecc.), sia per alvei naturali.

Il calcolo del moto uniforme si basa sulla formula di Manning:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

dove:

- $v [m/s]$ = velocità media della corrente;
- $R [m]$ = raggio idraulico;
- S = pendenza della linea dell'energia;
- n = scabrezza. Per canali rivestiti in materassi è pari a 0.025, per canali rivestiti in cls pari a 0,02.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	19 di 79

Nella tabella di seguito vengono riportate le verifiche degli scatolari idraulici effettuate mediante HY-8, mentre i risultati completi dell'analisi sono riportati all'allegato A.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		If (m/m)	Tirante y	GR %
			B	H			
IN05	0+591 BNA	3.87	2.0	2.0	0.005	0.90	45.0
IN06	0+415 BNA	4.32	2.0	2.0	0.005	0.98	49.0

Tab. 4 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari mediante HY8.

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		If (m/m)	Tirante y	GR %
			B	H			
NI01	0+277 (NVP01)	3.69	3.0	2.0	0.005	0.61	31.0

Tab. 5 – Verifica idraulica dei tombini stradali mediante HY8.

Analogamente alla verifica a moto uniforme, i manufatti in progetto riportati nelle tabelle precedenti risultano verificati, in particolare con grado di riempimento inferiore/uguale al massimo consentito (i.e. 67%). Si precisa che i deflussi di piena afferenti a tali manufatti - sebbene in prossimità del Fiume Esino – non sono influenzati dai livelli idrici associati alle aree di esondazione (Tr200) del Fiume Esino stesso. Nella tabella seguente sono indicate le quote di scorrimento dei tombini suddetti unitamente alla quota del livello idrico associato alla piena Tr200 del Fiume Esino, per diretto confronto.

WBS manufatto	Quota scorrimento [m slm]	Livello idrico Fiume Esino (Tr200) [m slm]
IN05	207.10	203.30
IN06	208.60	202.90
NI01	202.95	202.40

Pertanto, essendo le quote di scorrimento superiori a quelle dei livelli idrici Tr200 del Fiume Esino, per questi manufatti è stata imposta come condizione al contorno di valle la condizione “*normal depth*”.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 20 di 79

5.2.3 Verifiche idrauliche mediante il software HEC-RAS

Il software utilizzato per lo studio dei profili delle sistemazioni idrauliche principali è HEC-RAS 1D, il quale è in grado di simulare l'andamento idraulico monodimensionale del tirante in canali naturali o artificiali in condizioni di fondo fisso, in regime subcritico, supercritico o vario.

Il profilo della superficie libera viene calcolato a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle a seconda che il regime sia, rispettivamente, subcritico o supercritico, risolvendo con una procedura iterativa nota come *standard step*, l'equazione che esprime il bilancio dell'energia della corrente, nota anche come equazione di Bernoulli e riportata di seguito:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- i pedici 1 e 2 indicano i valori relativi alla sezione di valle e di monte del tratto considerato;
- Y rappresenta il tirante;
- Z rappresenta la quota del fondo dell'alveo rispetto ad un riferimento prefissato;
- v rappresenta la velocità media nella sezione;
- α è il coefficiente di Coriolis;
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e rappresenta la perdita di energia complessiva tra la sezione di monte e quella di valle.

Le perdite complessive di energia h_e tra le due sezioni sono imputabili sia alle perdite continue, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa fluida, sia a quelle localizzate in genere dovute alla presenza in alveo di strutture che inizialmente producono un restringimento della corrente ed un successivo allargamento con formazione di vortici, che, come è noto, sono fenomeni dissipativi.

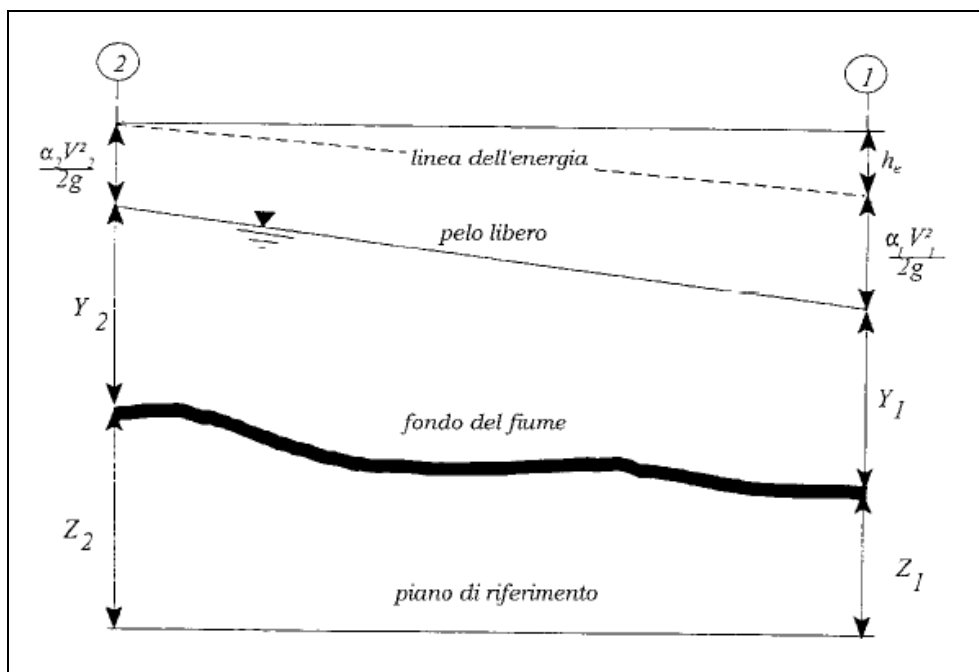


Figura 6 Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua

La perdita di carico complessiva tra le due sezioni viene infatti valutata come somma di due termini, il primo termine corrisponde alle perdite di carico distribuite ed il secondo termine corrispondente a perdite di carico concentrate:

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

dove:

- L è la distanza tra le sezioni di calcolo;
- $\bar{J}$ rappresenta la cadente media dell'energia specifica nel tratto compreso tra le due sezioni;
- C è il coefficiente di perdita dovuto all'espansione o contrazione della vena fluida.

Per la valutazione della perdita di carico J viene utilizzata la formula di Manning:

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

da cui si ottiene:

$$J = \frac{nv}{R_h^{4/3}}$$

dove:

- Q è la portata;
- A è l'area della sezione bagnata;
- R_h è il raggio idraulico della sezione;
- n è il coefficiente di scabrezza di Manning e pari a $\frac{1}{K_s}$
con $K_s [m^{1/3}/s]$ = coefficiente di scabrezza.

Nel caso di sezioni composte (come quella riportata in figura), tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti dove la velocità media possa essere ritenuta, a fini pratici, costante.

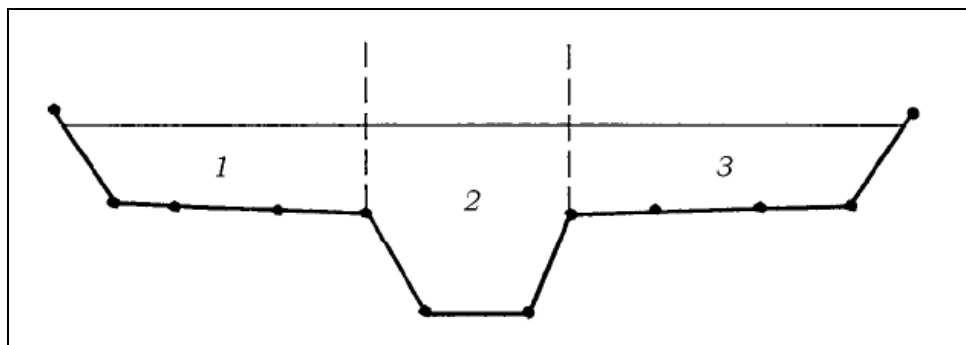


Figura 7 Sezione schematica di un corso d'acqua naturale

Con riferimento allo schema riportato, indicando con $K_i = Q_i / \sqrt{J}$ la capacità di portata di ogni i -esima parte in cui la sezione è stata suddivisa, si ottiene, in accordo con la formula di Manning:

$$K_i = \frac{1}{n} A_i R_{h,i}^{2/3}$$

Calcolata la capacità di portata si calcolano la perdita di carico per unità di lunghezza $\bar{J}$, il coefficiente di Coriolis α e le perdite di energia h_e ; l'equazione del bilancio dell'energia permette quindi di

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 23 di 79

calcolare Y_2+Z_2 , nella sezione di monte, essendo noto, in corrispondenza della sezione di valle, il valore dell'energia totale,

$$Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g},$$

quando ci si trovi in condizioni di corrente lenta. Al contrario per le correnti veloci l'incognita è la quota del pelo libero all'estremità di valle del tronco, essendo noti i valori a monte. Essendo l'equazione del bilancio dell'energia un'equazione non lineare, la soluzione viene ottenuta con ciclo iterativo, che parte da una soluzione iniziale approssimata di primo tentativo.

Il software HEC- RAS utilizza, parallelamente all'equazione di bilancio dell'energia, anche l'equazione di bilancio della quantità di moto. Tale equazione viene utilizzata più in particolare, in tutte quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile, come nei risalti idraulici o nelle confluenze, e, pertanto non risulta più possibile applicare in maniera affidabile il principio di conservazione dell'energia. Ogni volta che si verifica il passaggio da un regime di corrente veloce ad un regime di corrente lenta o viceversa il programma HEC-RAS automaticamente applica l'equazione della quantità di moto.

Questa equazione deriva dalla seconda legge di moto di Newton:

$$\sum F_x = ma$$

L'applicazione di tale legge al volume di controllo indicato in Figura 8 riferita all'unità di tempo, permette di ricavare l'equazione della quantità di moto:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta v_x$$

dove:

- P : pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : risultante degli sforzi tangenziali agenti sulla superficie bagnata del tratto considerato;
- Q : portata;
- ρ : densità dell'acqua;

- Δv_x : variazione di velocità tra la sezione 2 e la sezione 1.

Esplicitando i vari termini dell'equazione si ottiene:

$$\gamma \cdot A_2 \bar{Y}_2 - \gamma \cdot A_1 \bar{Y}_1 + \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot LS_0 - \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot LS_f = \frac{Q_1 \gamma}{g} \beta_1 V_1 - \frac{Q_2 \gamma}{g} \beta_2 V_2$$

dove:

- γ : peso specifico dell'acqua;
- A_1, A_2 : area bagnata delle sezioni 1 e 2;
- $\bar{Y}_1, \bar{Y}_2$: profondità d'acqua misurata dal pelo libero al baricentro della sezione;
- L : distanza tra la sezione 1 e la sezione 2 misurata lungo x;
- S_0 : pendenza dell'alveo, data da $\frac{z_2 - z_1}{L}$, con z_1 e z_2 quota del fondo nelle sezioni 1 e 2;
- S_f : pendenza della linea dei carichi;
- β_1, β_2 : coefficienti correttivi della quantità di moto per tenere conto della non uniforme distribuzione della velocità nella sezione.

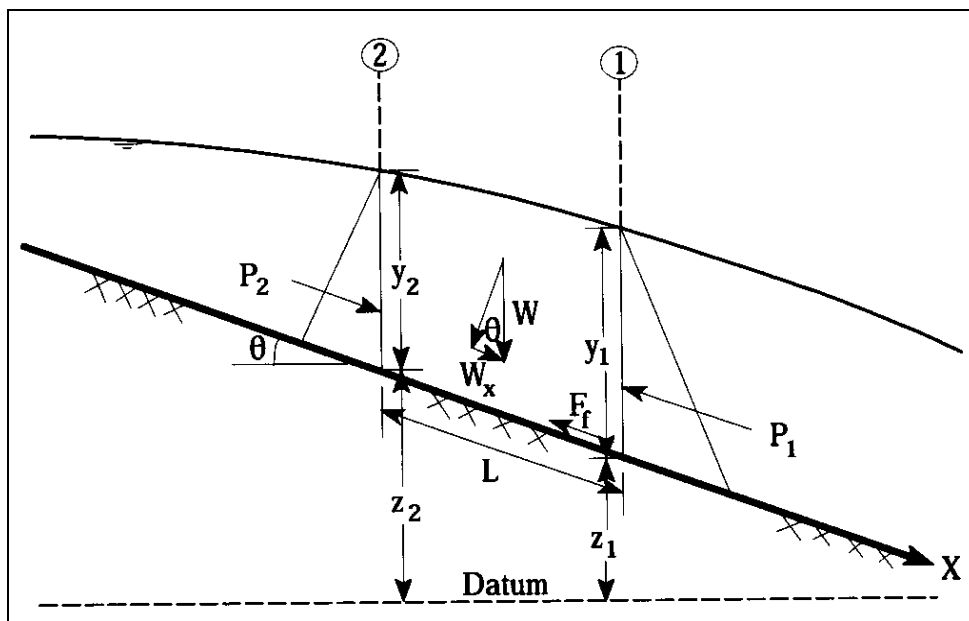


Figura 8 Forze in gioco nell'applicazione del principio della quantità di moto

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 25 di 79

I dati di input del programma HEC-RAS, necessari per la simulazione dei profili d'acqua con fondo fisso, comprendono dati sia di tipo geometrico che di tipo idraulico riguardanti l'intero tratto di alveo che si intende studiare.

Una volta inserite la geometria delle sezioni, si passa all'inserimento dei dati riguardanti le portate in ingresso, le condizioni al contorno ed i coefficienti di scabrezza.

Portate in ingresso

Le portate con le quali sono state effettuate le simulazioni del profilo idraulico delle sistemazioni idrauliche principali sono quelle calcolate per Tr 200 anni.

Condizioni al contorno

Il programma richiede, per la modellazione, la scelta del tipo di condizione al contorno, cioè l'assegnazione in una determinata sezione, di un valore noto del livello idrico da cui far procedere il calcolo dei livelli incogniti (partendo da valle se la corrente è subcritica, o viceversa da monte se la corrente è supercritica) e del tipo di regime di flusso. Le possibili condizioni al contorno da assegnare sono essenzialmente tre:

- un livello idrico noto;
- il livello idrico di moto uniforme per l'assegnata portata e pendenza di fondo nota;
- il livello di stato critico per l'assegnata portata.

La prima condizione si verifica quando il corso d'acqua in esame è collegato (a monte o a valle) ad un recipiente idrico (corso d'acqua maggiore, serbatoio o lago) il cui livello possa considerarsi invariante nel tempo; la stessa condizione può essere applicata anche quando il livello da assegnare sia noto perché misurato in situ.

Quando non sia disponibile un valore noto del livello, è possibile ipotizzare l'instaurarsi delle condizioni di moto uniforme nel tratto a valle (per le correnti lente) o in quello a monte (per le correnti veloci), anche se data la natura variabile delle correnti, i corsi d'acqua naturali sono sempre molto lontani dalle condizioni ideali del moto uniforme. Più facilmente nei corsi d'acqua naturali si possono trovare situazioni morfologiche per le quali si stabiliscono, per la corrente, condizioni di deflusso in stato critico che costituiscono sezioni di controllo dal punto di vista idraulico.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 26 di 79

Per i modelli delle sistemazioni in oggetto è stata imposta come condizione di monte quella di moto uniforme, considerando come pendenza del fondo quella ottenuta dalle sezioni batimetriche del rilievo nel tratto finale di studio, mentre a valle è stata imposta la quota del tirante del Fiume Esino per Tr 200 anni, per poter valutare eventuali fenomeni di rigurgito. Per quanto riguarda invece il regime di corrente è stata scelta una condizione di corrente mista.

Scabrezza idraulica dell'alveo

La scabrezza idraulica fornisce informazioni riguardo la scabrezza del fondo dell'alveo. Una formula ampiamente utilizzata in alvei fluviali, con riferimento al coefficiente $K_s = \frac{1}{n}$ di Gauckler-Strickler, è la formula di Meyer-Peter e Müller, riferita al d_{90} , diametro che meglio rappresenta la scabrezza:

$$K_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}}$$

Tuttavia la definizione del coefficiente richiede attenzione in quanto la scabrezza intrinseca di grano non è l'unica causa di resistenza al moto; nella determinazione di un coefficiente globale di resistenza entrano in gioco anche altri fattori quali:

- la vegetazione in termini di altezza, densità, distribuzione e tipologia della stessa;
- forme di fondo e variazioni di forma come dimensione della sezione trasversale con contigui allargamenti e restringimenti che si succedono lungo il corso d'acqua;
- ostruzioni, quali macigni, alberi, pile di ponti, sbarramenti, ecc;
- regolarità del contorno in termini di regolarità dell'andamento planimetrico sinuoso o a meandri.

Per le analisi in oggetto si sono considerati i seguenti valori di scabrezza:

- alveo inciso in terra **n= 0.029** che corrisponde a un $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- rivestimento in cls **n=0.020**, che corrisponde a un $K_s=50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- golene **n=0.045**, che corrisponde a un $K_s=22 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Nei capitoli successivi verranno analizzate le sistemazioni idrauliche principali, per le quali è stata effettuata un'analisi delle condizioni ante operam e post operam secondo modello monodimensionale (1D), in regime di moto permanente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 27 di 79

6. ANALISI SISTEMAZIONI IDRAULICHE PRINCIPALI

Con riferimento alle sistemazioni idrauliche principali, in particolare a quelle relative alle opere denominate IN01, IN02, IN03, IN04, si precisa che tali interventi si configurano come completamento / prolungamento di opere già previste nell'ambito dei progetti di fattibilità tecnico-economica dei lotti adiacenti PM228-Albacina e PM228-Castelplanio, lotto 2, già assentiti/approvati.

Tra queste, l'opera IN04 viene realizzata completamente nell'ambito del lotto 2, già predisposta anche per i "futuri" binari di *Bivio Nord Albacina*, in progetto nell'ambito dell'intervento relativo al lotto 1. Nella tabella seguente, è riportata la corrispondenza, in termini di denominazione (WBS), tra le opere previste nel presente intervento (lotto 1) e quelle già realizzate nei lotti adiacenti.

WBS manufatto (LOTTO 1)	Progressiva km (LOTTO 1)	WBS manufatto e progressiva (Lotto adiacente)
IN01	0+163 (tombino scatolare 2m x 1.5m)	NI05 (PM228-Albacina) (tombino scatolare 2m x 2m, progr. 0+850 NV30)
IN02	0+780 (tombino scatolare 3m x 2m)	IN01 (PM228-Albacina) (tombino scatolare 3m x 2m, progr. 0+078.50) NI06 (PM228-Albacina) (tombino scatolare 3m x 2m, progr. 1+450.00 NV30)
IN03	0+913	IN02 (PM228-Albacina) (tombino scatolare 2m x 2m, progr. 0+220.00) NI07 (PM228-Albacina) (tombino scatolare 2m x 2m, progr. 1+600.00 NV30)
IN04	7+053	IN00 (PM228-Castelplanio, lotto 2) (tombino scatolare 2m x 2m, progr. 1+130.00 BN)

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 28 di 79

6.1 Tombino IN01

In corrispondenza della pk. 0+163, è stato studiato l'attraversamento del corso d'acqua interferente con la linea storica e la viabilità esistenti (condizioni ante operam) e con il tracciato ferroviario di progetto (post operam). Il tratto oggetto di modellazione inizia circa 100 m a monte dell'attraversamento ferroviario esistente e si estende per altri 100 m circa a valle del tombino stradale esistente. Il tombino stradale esistente è oggetto di rifacimento/adeguamento nell'ambito del lotto PM228-Albacina (opera NI05 lungo la nuova viabilità NVP01).

6.1.1 Condizioni ante operam

Per l'analisi delle condizioni *ante operam* le sezioni di studio sono quelle batimetriche restituite dal rilievo, così come le dimensioni del tombino ferroviario esistente.

Per quanto riguarda invece il tombino stradale, è stato considerato il dimensionamento effettuato in occasione del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del “*Raddoppio della tratta PM228 - Albacina*”, sempre nell'ambito del “*Potenziamento infrastrutturale Orte - Falconara*”. In particolare, in corrispondenza della pk. 0+850.00 della NVP01, sarà realizzato un tombino scatolare 2.00x2.00m con pendenza pari al'1.0 %.

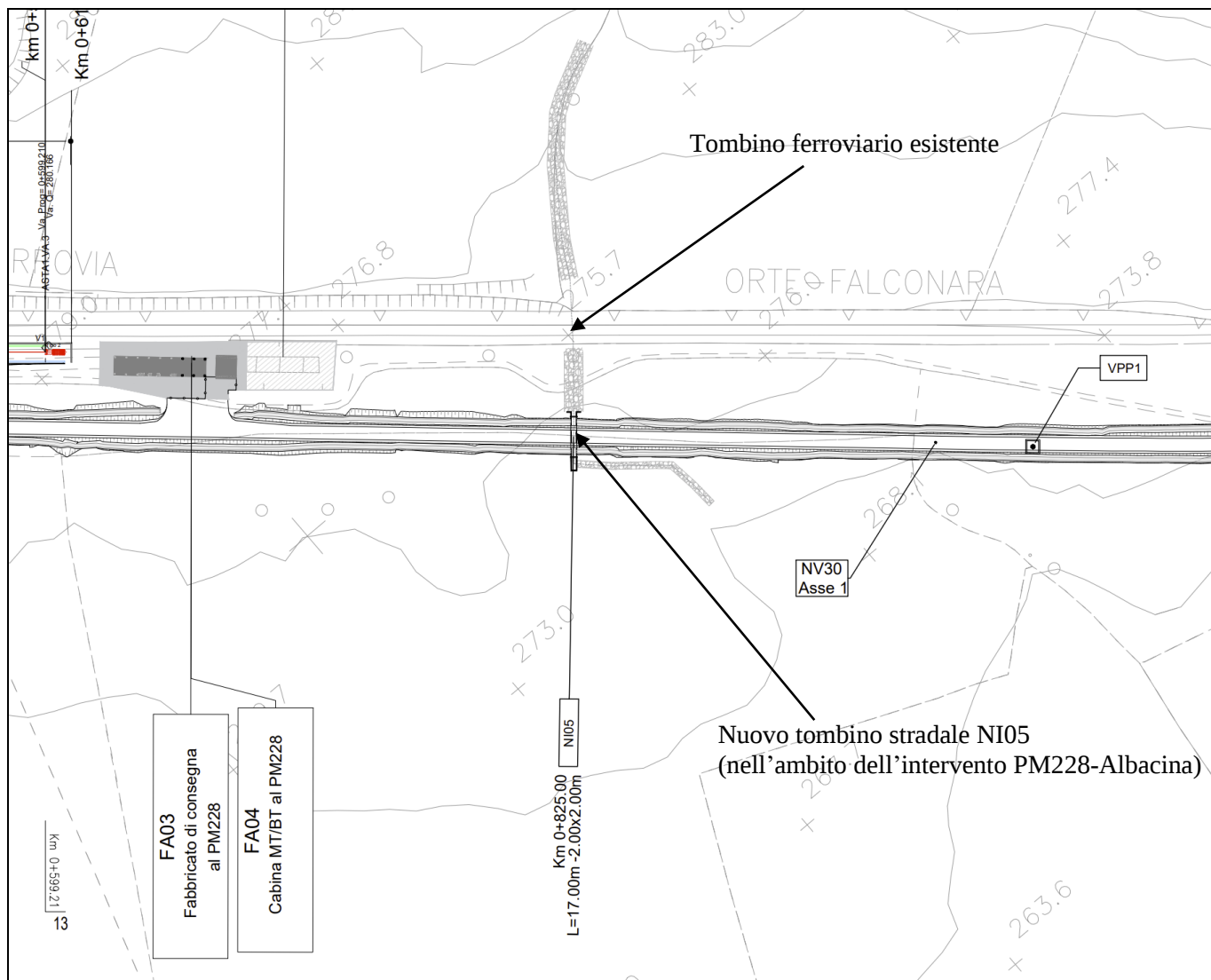


Figura 9 – Stralcio della planimetria di progetto di PM228-Albacina, condizioni Ante Operam per IN01.

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	30 di 79

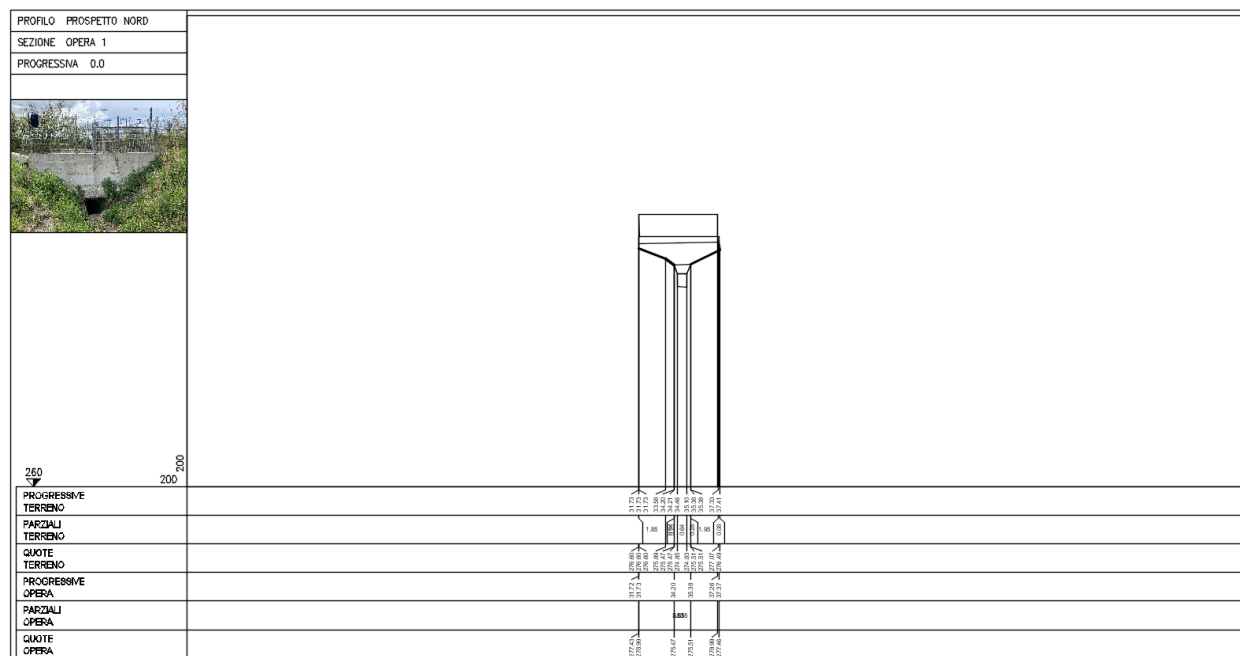
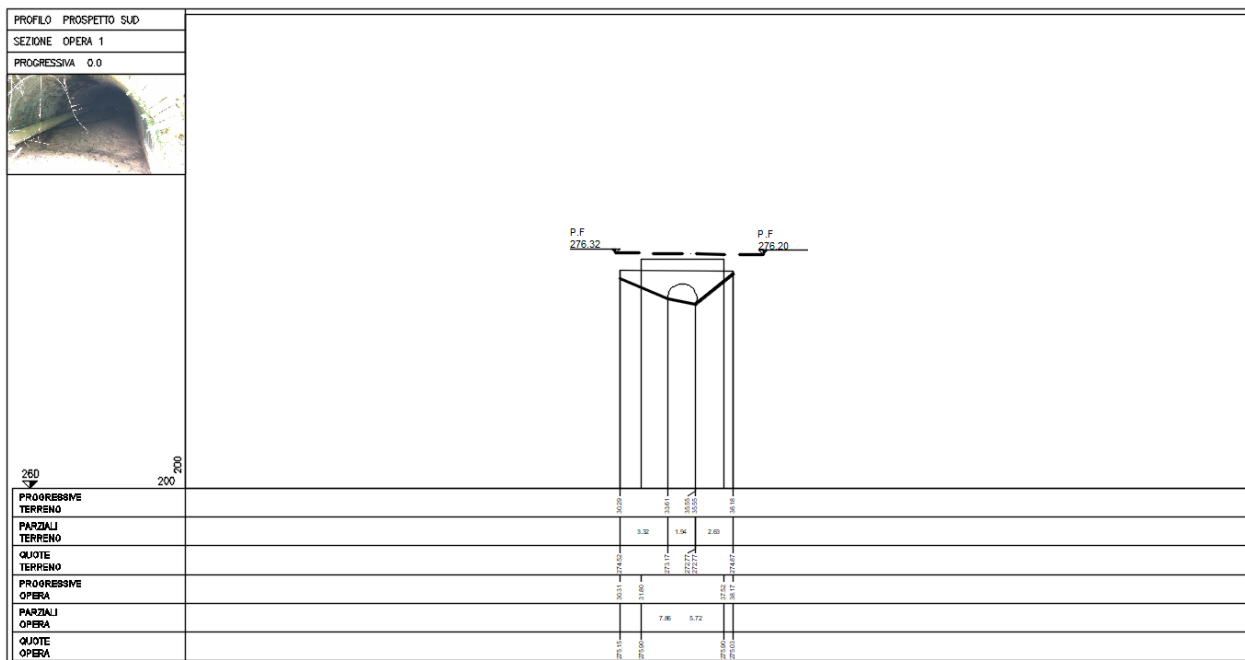


Figura 10 Sezioni di monte e valle dell'attraversamento ferroviario esistente

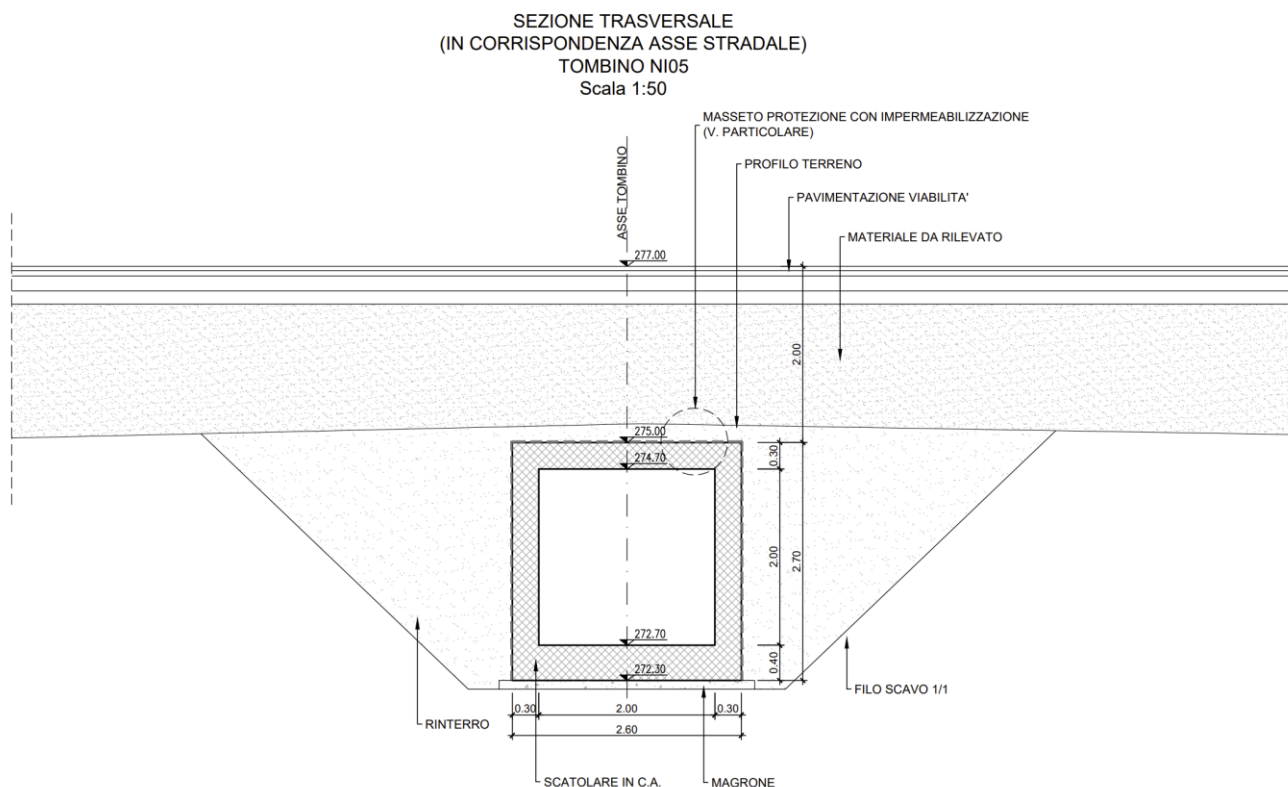


Figura 11 Sezione tombino stradale NI05

Dalle sezioni disponibili dal rilievo, il tratto di studio presenta pendenza abbastanza elevata a monte. Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit. W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	
NI05	49	4.99	282.99	283.64	283.64	283.78	1.85	0.91
NI05	43	4.99	281.02	281.47	281.77	282.57	4.66	2.59
NI05	38	4.99	277.26	277.75	278.1	279.05	5.04	2.67
NI05	30	4.99	275.19	276.29	276.45	276.81	3.21	1.44
NI05	27	4.99	273.95	274.75	275.16	276.19	5.31	2.42
NI05	26	4.99	273.7	274.57	274.87	275.52	4.32	1.82
NI05	25	4.99	273.4	274.25	274.61	275.39	4.73	1.99
NI05	21	4.99	273	274.09	273.75	274.21	1.5	0.53

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit. W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	
NI05	19	4.99	272.97	274.07	273.72	274.18	1.46	0.52
NI05	16	4.99	272.78	274.07	273.53	274.14	1.18	0.39
NI05	12	4.99	272.61	273.57	273.26	273.72	1.72	0.56
NI05	9	4.99	272.5	273.55	273.2	273.7	1.73	0.54
NI05	6	4.99	272.4	273.48	273.14	273.66	1.84	0.57
NI05	3	4.99	272.3	273.39	273.09	273.6	2.04	0.63
NI05	0	4.99	272.2	273.07	273.06	273.49	2.88	0.99

Tab. 6 – Risultati simulazione HEC-RAS IN01 ante operam Tr200

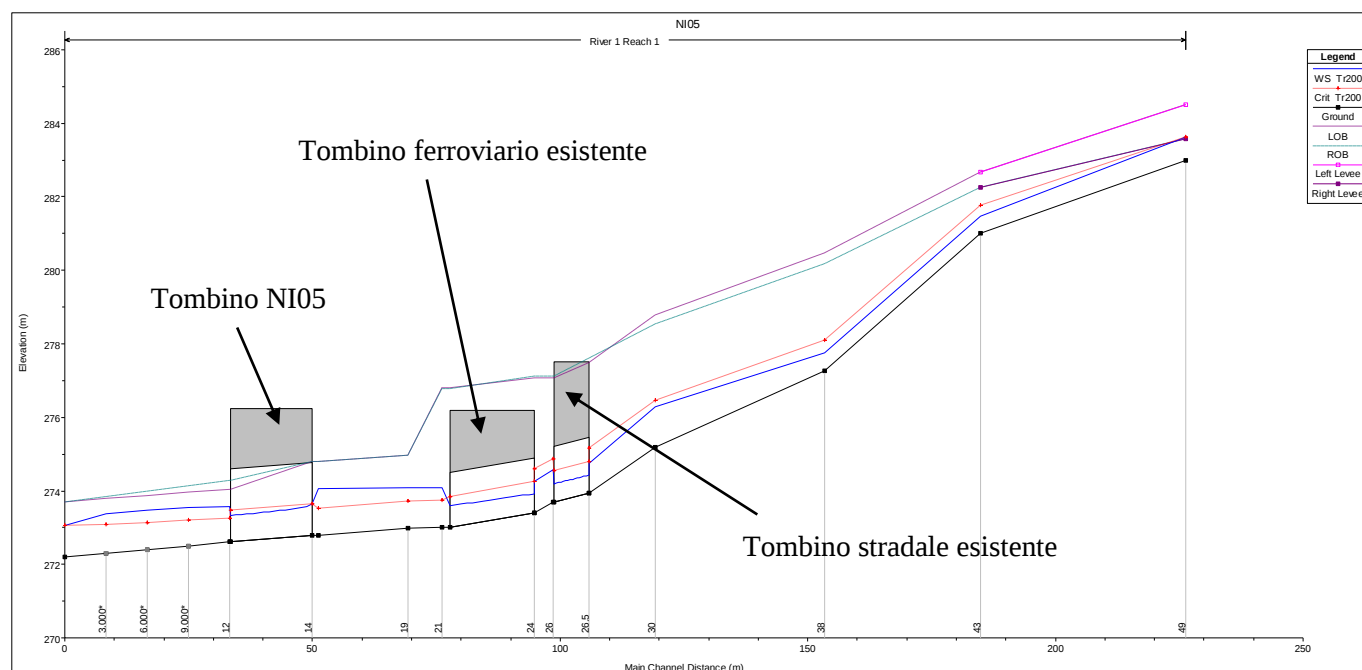


Figura 12 Risultati simulazione HEC-RAS IN01 ante operam: profilo di rigurgito Tr200.

Il deflusso nelle condizioni attuali avviene per tutto il tratto di monte in corrente veloce, passando invece in condizioni di corrente lenta in corrispondenza del manufatto idraulico di attraversamento stradale NI05. In particolare, il passaggio di regime avviene con un risalto a monte di tale opera, nel tratto di raccordo con il manufatto ferroviario esistente. Il tombino stradale viene attraversato quindi con un tirante massimo di 1.29 m (grado di riempimento 64.9%), mentre quello ferroviario esistente con un tirante di 0.85 m (i.e. con grado di riempimento del 57%) e velocità elevate (oltre 5 m/s).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 33 di 79

6.1.2 Condizioni post operam

Per l'analisi delle condizioni post operam è stata considerata una sistemazione idraulica con canale rettangolare a monte (a gradoni), tra l'attraversamento stradale esistente e il nuovo tombino ferroviario IN01. A valle invece, il raccordo con il tombino stradale NI05 sarà realizzato mediante un canale a sezione trapezoidale rivestito in massi intasati con malta, di lunghezza circa pari a 20 m.

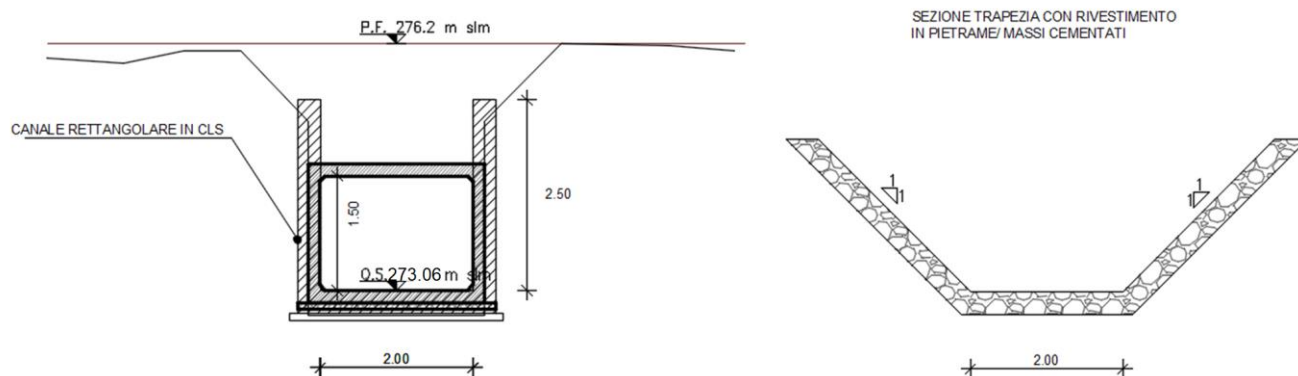
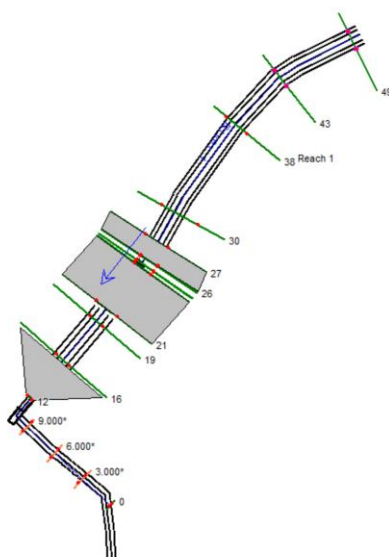


Figura 13 Sezioni di monte e di valle delle sistemazioni idrauliche del tombino IN01

Le sezioni di studio sono state quindi costruite in corrispondenza dei punti significativi della sistemazione (monte e valle del tombino di progetto).



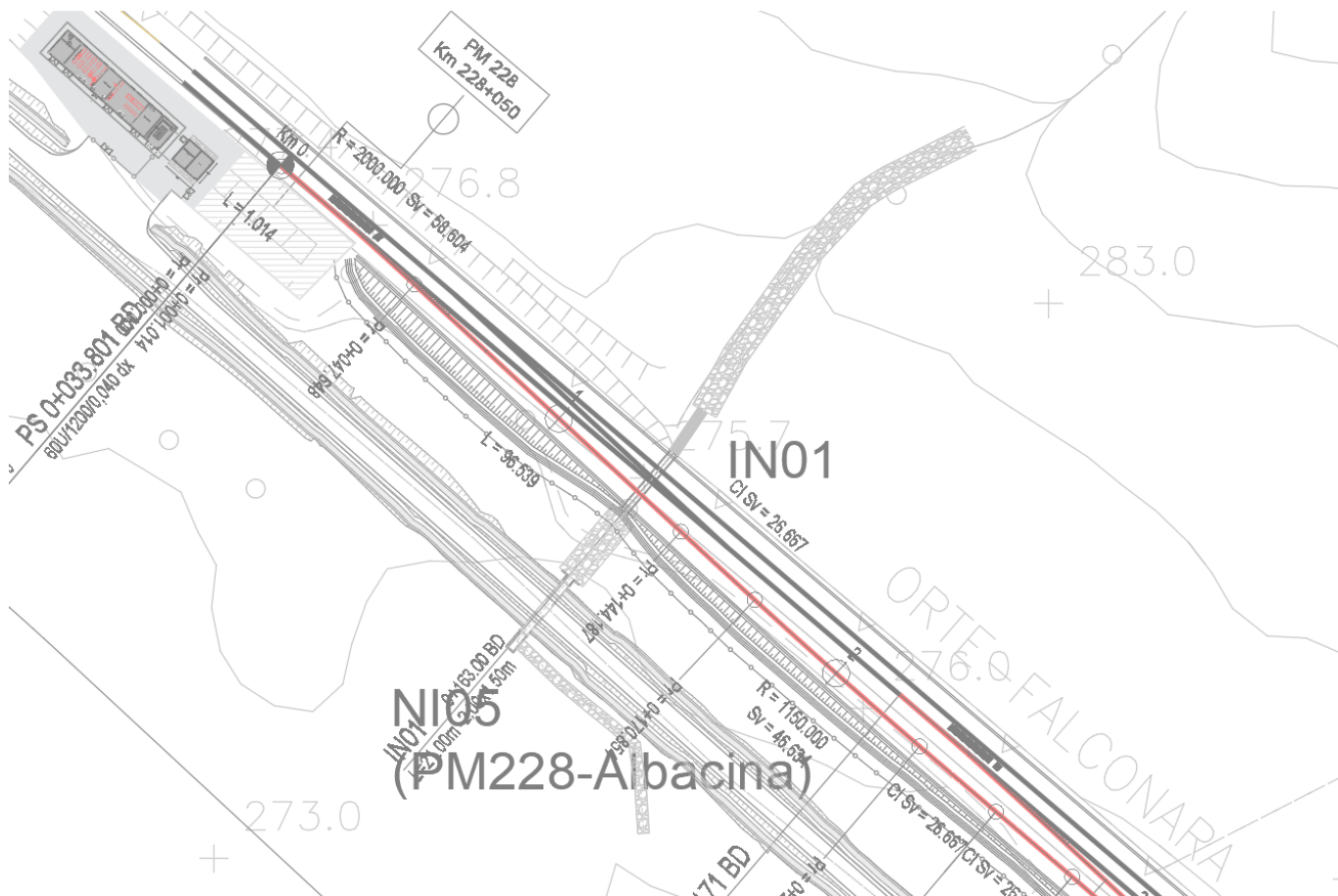


Figura 14 – Planimetria del tombino IN01-post operam.

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
NIO5	49	4.99	282.99	283.64	283.64	283.78	1.85	0.91
NIO5	43	4.99	281.02	281.47	281.77	282.57	4.66	2.59
NIO5	38	4.99	277.26	277.75	278.1	279.05	5.04	2.67
NIO5	30	4.99	275.19	276.29	276.45	276.81	3.21	1.44
NIO5	27	4.99	273.95	274.75	275.16	276.19	5.31	2.42
NIO5	26	4.99	273.7	274.2	274.5	275.22	4.49	2.14

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	35 di 79

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch EI (m)	W.S. Elev (m)	Crit. W.S. (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
NI05	29.95	4.99	273.67	274.14	274.45	275.21	4.59	2.29
NI05	25.9	4.99	273.34	273.76	274.12	275.17	5.26	2.74
NI05	25.4	4.99	273.32	273.75	274.1	275.06	5.06	2.59
NI05	25.35	4.99	273.09	273.5	273.88	275.03	5.47	2.88
NI05	25.05	4.99	273.07	273.48	273.86	274.97	5.4	2.83
NI05	25	4.99	273.07	273.48	273.86	274.97	5.39	2.82
NI05	21	4.99	272.96	273.28	273.61	274.62	5.13	2.87
NI05	12	4.99	272.61	272.96	273.26	274.07	4.67	2.5
NI05	9	4.99	272.5	273.55	273.2	273.7	1.73	0.54
NI05	6	4.99	272.4	273.48	273.14	273.66	1.84	0.57
NI05	3	4.99	272.3	273.39	273.09	273.6	2.04	0.63
NI05	0	4.99	272.2	273.07	273.06	273.49	2.88	0.99

Tab. 7 Risultati simulazione HEC-RAS IN01 Post Operam Tr200

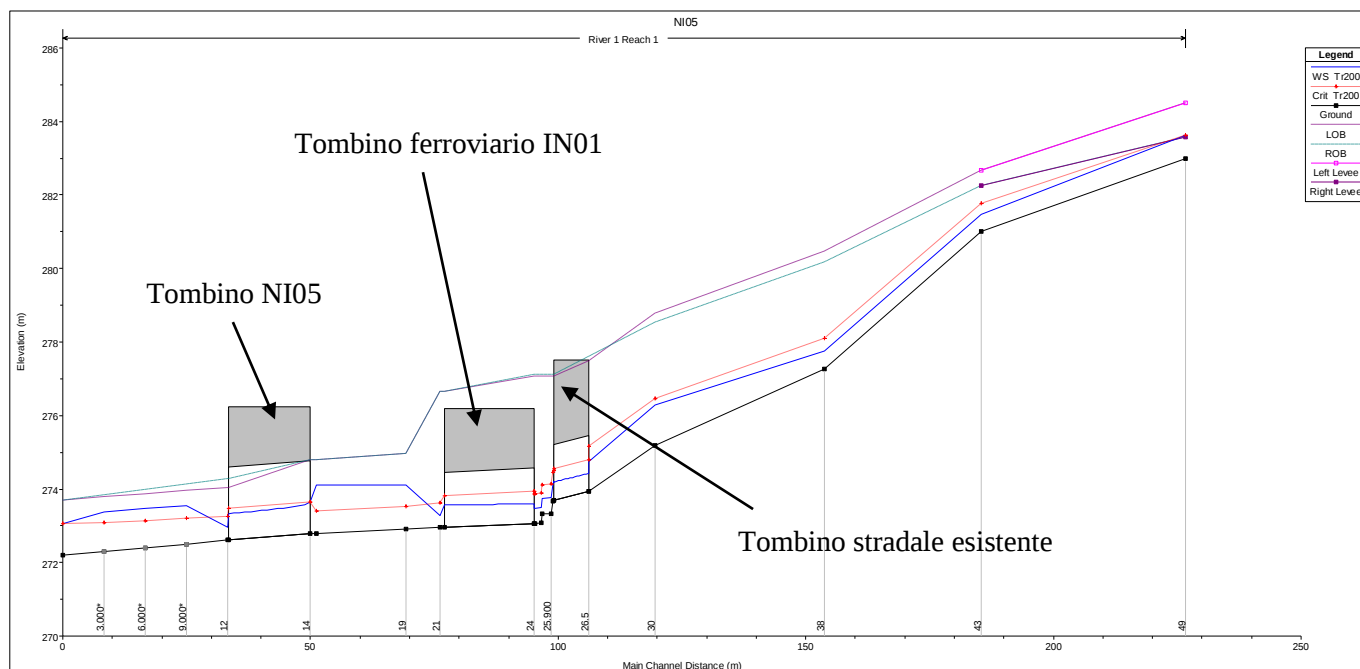


Figura 15 Risultati simulazione HEC-RAS IN01 post operam: profilo di rigurgito Tr200.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 36 di 79

Analogamente alla situazione “ante operam”, il deflusso nelle condizioni di progetto avviene in corrente veloce nel tratto a monte e in corrente lenta nel tratto tra i tombini IN01 e NI05; il tombino ferroviario in progetto permette il transito della portata di progetto con un tirante di **0.60 m** (grado di riempimento 40%) e velocità di circa 5 m/s.

6.2 Tombino IN02

In corrispondenza della pk. 0+780, è stato studiato l'attraversamento del corso d'acqua interferente con i tracciati ferroviario e stradale esistenti (condizioni ante operam) e con il raddoppio di progetto (post operam). Il tratto oggetto di modellazione inizia circa 130 m a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria esistente, e si estende fino a 170 m a valle del tombino stradale esistente.

6.2.1 Condizioni ante operam

Per l'analisi delle condizioni ante operam le sezioni di studio sono sia quelle batimetriche restituite dal rilievo sia quelle emerse dal Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica del “*Raddoppio della tratta PM228 - Albacina*”, sempre nell'ambito del “Potenziamento infrastrutturale Orte - Falconara”.

Infatti, i due tombini già realizzati (per lo stato ante operam dell'intervento in progetto, lotto 1) NI06 e IN01, stradale e ferroviario, e le relative sistemazioni idrauliche considerate sono quelli dimensionati per tale intervento, nel quale era già stata considerata in parte la futura realizzazione del Lotto 1 del raddoppio della tratta PM228-Castelplanio.

In particolare, l'opera IN02 dell'intervento in progetto (lotto 1) si configura come il prolungamento del tombino IN01 del lotto adiacente PM228-Albacina.

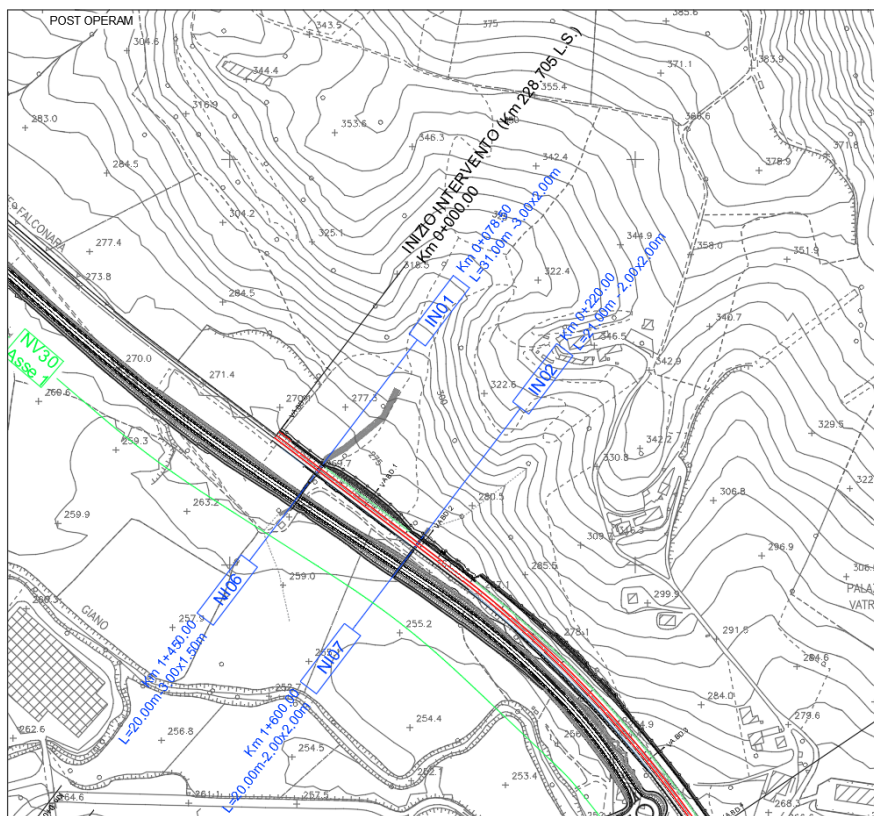


Figura 16 Stralcio della planimetria di progetto di PM228-Albacina, ante operam per IN02.

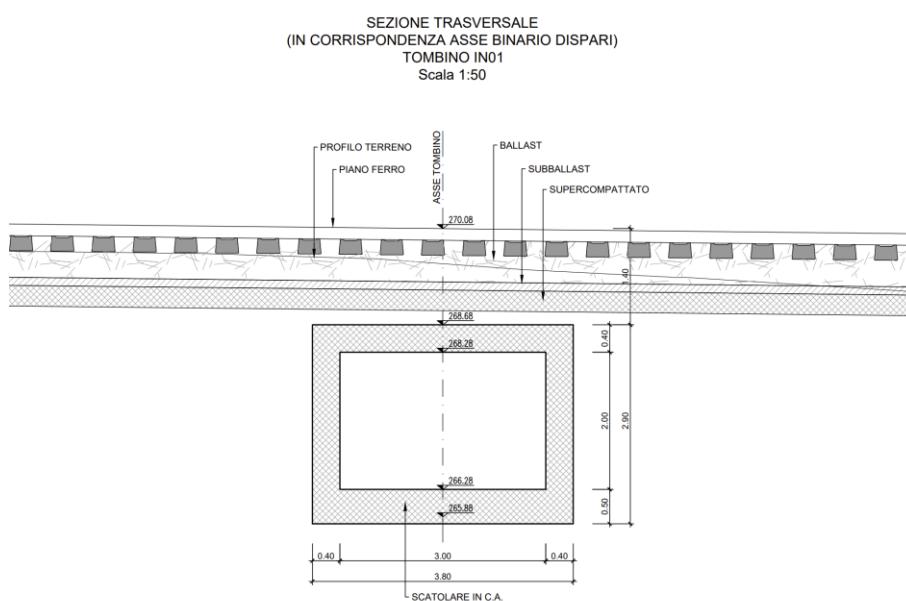


Figura 17 Sezione tombino ferroviario IN01 di PM 228-Albacina (ante operam per IN02).

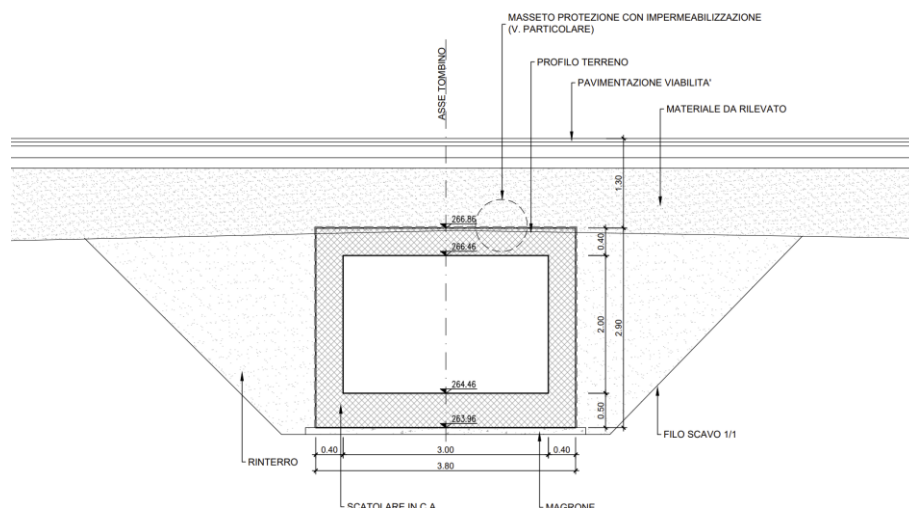


Figura 18 Sezione tombino stradale NI06 di PM 228-Albacina (ante operam per IN02).

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN02 AO	111	5.95	283.51	283.97	284.2	284.97	4.43	2.97
IN02 AO	109.95	5.95	277.16	277.69	277.99	278.97	5.01	3.12
IN02 AO	109	5.95	270.6	270.89	271.06	271.55	3.62	2.62
IN02 AO	108.9	5.95	269.1	269.39	269.78	271.38	6.26	3.87
IN02 AO	108.37	5.95	268.88	269.39	269.55	269.93	3.25	1.55
IN02 AO	108.36	5.95	267.68	267.98	268.35	269.79	5.96	3.63
IN02 AO	107.85	5.95	267.4	267.91	268.08	268.48	3.33	1.6
IN02 AO	107.32	5.95	266.35	266.79	267.09	267.82	4.5	2.16
IN02 AO	106.53	5.95	266.15	267.06	266.88	267.3	2.18	0.73
IN02 AO	106.26	5.95	264.59	264.9	265.32	266.98	6.39	3.66
IN02 AO	106.0	5.95	264.52	265.61	265.26	265.78	1.82	0.56
IN02 AO	105.61	5.95	264.41	265.42	265.15	265.62	1.97	0.63
IN02 AO	104.0	5.95	264.18	264.92	264.92	265.29	2.68	1
IN02 AO	103.71	5.95	262.17	262.9	263.19	263.67	3.89	1.75
IN02 AO	102.69	5.95	260.41	261	261.09	261.58	3.86	2.05
IN02 AO	101.0	5.95	258.19	258.57	258.65	258.83	2.26	1.52

Tab. 8 Risultati simulazione HEC-RAS IN02 ante operam Tr200

Il deflusso nelle condizioni attuali avviene in condizioni di corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione a gradoni, passando in condizioni di corrente lenta all'uscita del primo manufatto. Il tombino ferroviario (IN01 di PM228-Albacina) è attraversato con un tirante di circa 0.58 m (grado di riempimento pari a circa il 29%) e quello stradale (NI06 di PM228-Albacina) con un tirante pari a 1.09 m (grado di riempimento 54.5%). L'alveo esistente non risulta influenzato dai livelli di piena del Torrente Giano.

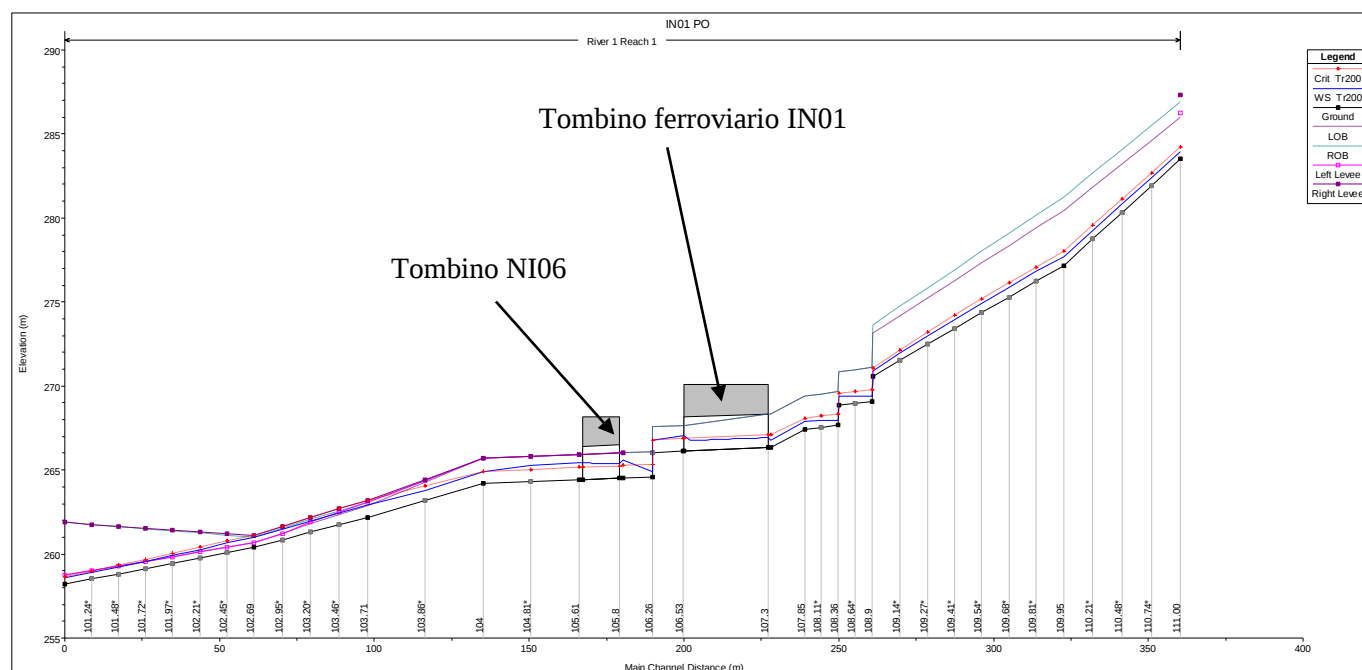


Figura 19 Risultati simulazione HEC-RAS IN02 ante operam: profilo di rigurgito Tr200.

6.2.2 Condizioni post operam

Come anticipato, l'opera IN02 dell'intervento in progetto (lotto 1) si configura come il prolungamento del tombino IN01 del lotto adiacente PM228-Albacina. Si provvede inoltre a migliorare il raccordo con la sistemazione idraulica già prevista, adeguandone il raccordo con il prolungamento del tombino IN01.

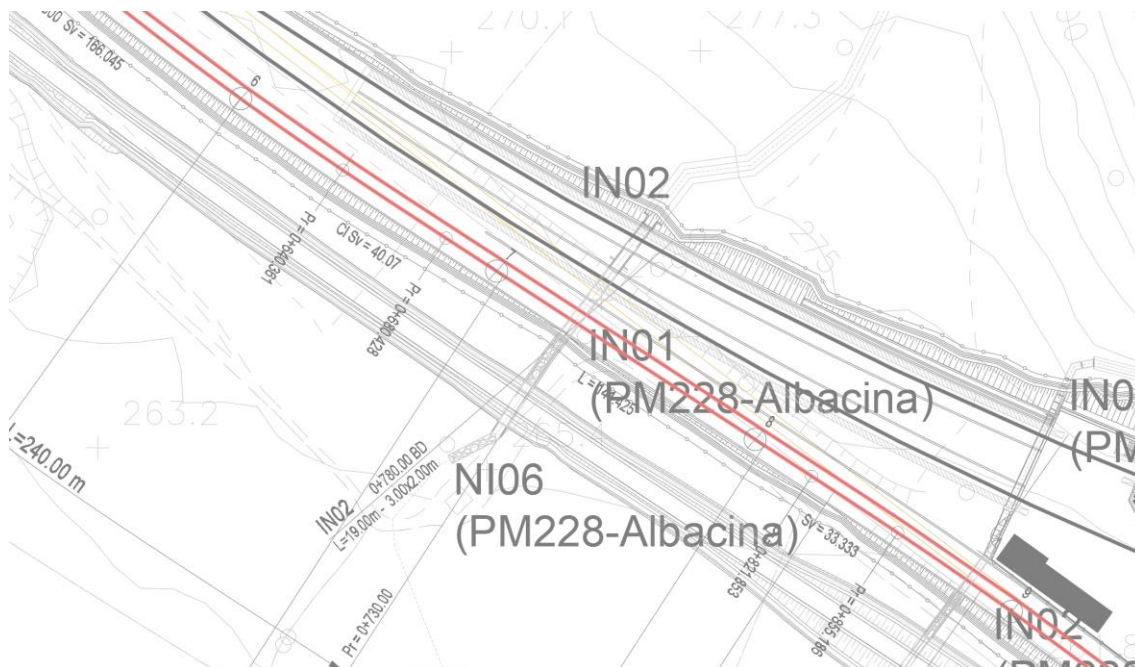


Figura 20 IN02: prolungamento del tombino IN01 (PM228-Albacina) e adeguamento sistemazione idraulica di monte.

Le sezioni di studio sono state quindi costruite in corrispondenza dei punti significativi della sistemazione (monte e valle dei manufatti).

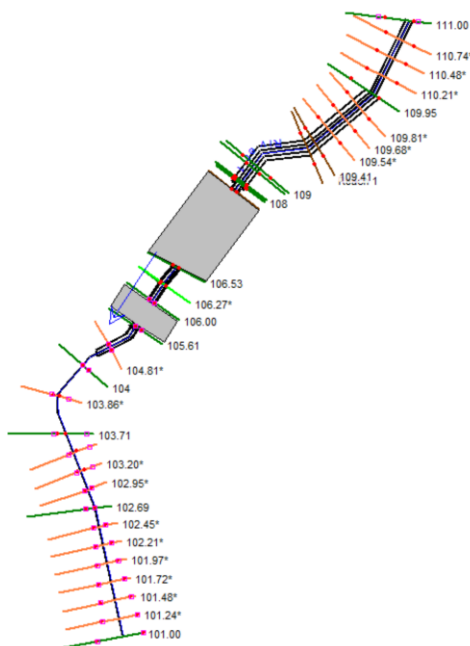


Figura 21 Schema planimetrico dell'opera IN02 in condizioni Post Operam

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 41 di 79

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Froude
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
IN02 AO	111	5.95	283.51	283.97	284.2	284.97	4.43	2.97
IN02 AO	109.95	5.95	277.16	277.69	277.99	278.97	5.01	3.12
IN02 AO	109.41	5.95	273.41	273.95	274.2	274.9	4.32	2.68
IN02 AO	109.34	5.95	272.94	273.45	273.69	274.37	4.23	2.7
IN02 AO	109.0	5.95	270.6	270.91	271.06	271.46	3.28	2.27
IN02 AO	108.9	5.95	269.1	269.41	269.78	271.1	5.74	3.43
IN02 AO	108.37	5.95	268.88	269.33	269.55	270.06	3.78	1.91
IN02 AO	108.36	5.95	267.68	267.97	268.35	269.9	6.15	3.79
IN02 AO	108.0	5.95	267.6	267.92	268.28	269.52	5.61	3.32
IN02 AO	107.9	5.95	266.68	266.94	267.35	269.39	6.93	4.5
IN02 AO	107.78	5.95	266.61	267.01	267.35	268.26	4.95	2.5
IN02 AO	106.53	5.95	266.15	266.68	266.88	267.39	3.72	1.63
IN02 AO	106.26	5.95	264.59	264.9	265.32	266.98	6.39	3.66
IN02 AO	106.0	5.95	264.52	265.61	265.26	265.78	1.82	0.56
IN02 AO	105.61	5.95	264.41	265.42	265.15	265.62	1.97	0.63
IN02 AO	104.0	5.95	264.18	264.92	264.92	265.29	2.68	1
IN02 AO	103.71	5.95	262.17	262.9	263.19	263.67	3.89	1.75
IN02 AO	102.69	5.95	260.41	261	261.09	261.58	3.86	2.05
IN02 AO	101.0	5.95	258.19	258.57	258.65	258.83	2.26	1.52

Tab. 9 Risultati simulazione HEC-RAS IN02 Post Operam Tr200

Il deflusso nelle condizioni di progetto con il prolungamento del tombino IN01 avviene in condizioni di corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione, analogamente alla condizione attuale, passando in condizioni di corrente lenta all'uscita del primo manufatto. Il tombino ferroviario IN02 in progetto è attraversato con un tirante di 0.60 m (grado di riempimento 30%) e quello stradale (NI06 di PM228-Albacina) con un tirante pari a 1.09 m (grado di riempimento 54.5%).

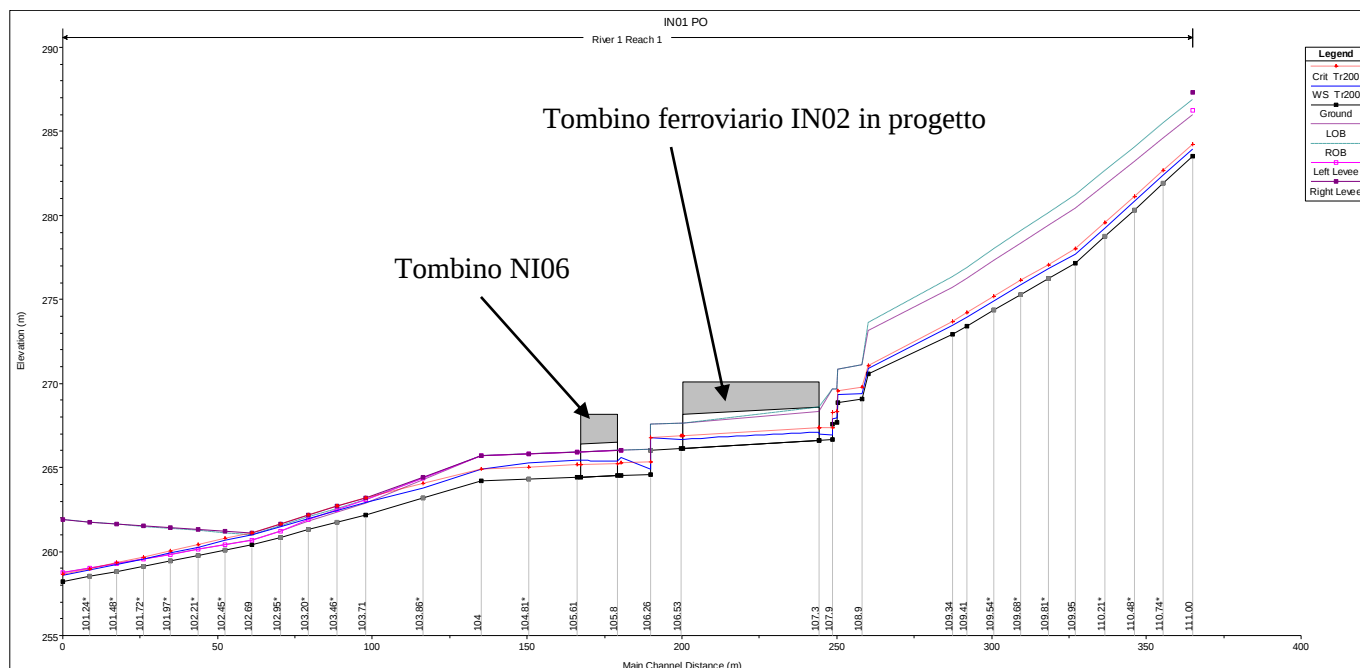


Figura 22 Risultati simulazione HEC-RAS IN02 post operam: profilo di rigurgito Tr200.

6.3 Tombino IN03

Il tombino IN03 in corrispondenza della pk. 0+913.00 si configura come completamento della sistemazione già prevista nel lotto PM228-Albacina, in corrispondenza delle opere IN02 (ferrovia) e NI07 (viabilità NV30).

Per l'analisi delle condizioni ante e post operam è stata considerata la sistemazione idraulica a monte del tombino, integrata con l'intervento di sistemazione del versante già previsto.

I manufatti (già realizzati prima del tombino IN03) sono 2 tombini (IN02, NI07) scatolari di dimensioni 2.0 x 2.0 m con pendenza del fondo pari allo 1.0% circa per entrambi. A monte dei manufatti, come previsto nel PFTE PM228-Albacina, è presente un tratto di raccordo con vari salti del fondo del canale di altezza massima pari a circa 1.0m. Tra i due manufatti il canale è stato modellato con una serie di salti idraulici di altezza massima pari a circa 1.2 m. La sezione tra i manufatti è di tipo trapezio di altezza pari a 1.0 m e fondo largo 2.0 m.

6.3.1 Condizioni ante operam

Come anticipato, la situazione ante operam per il tombino IN03 coincide con la situazione post operam dei manufatti IN02 e NI07 del lotto PM228-Albacina.

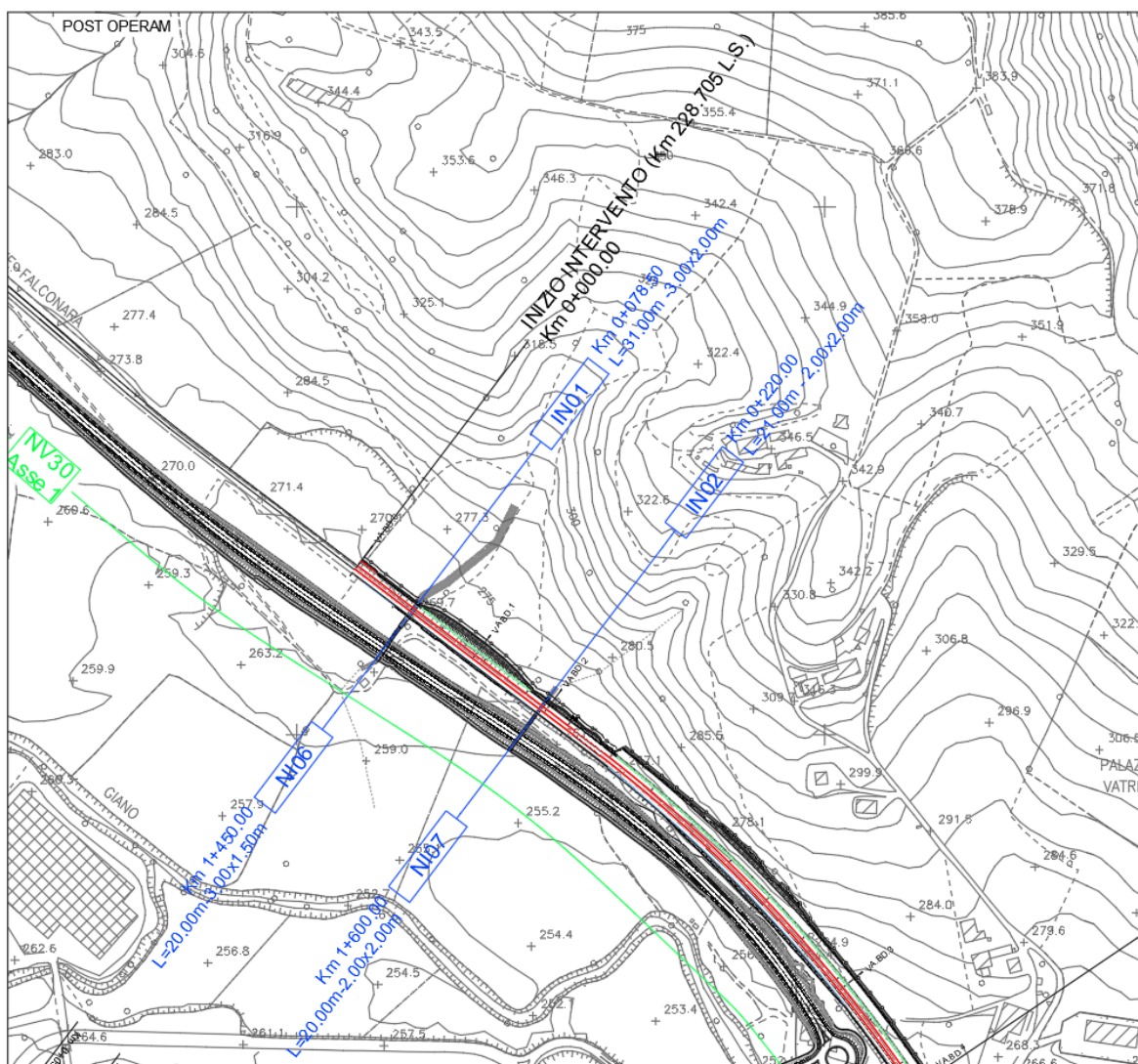
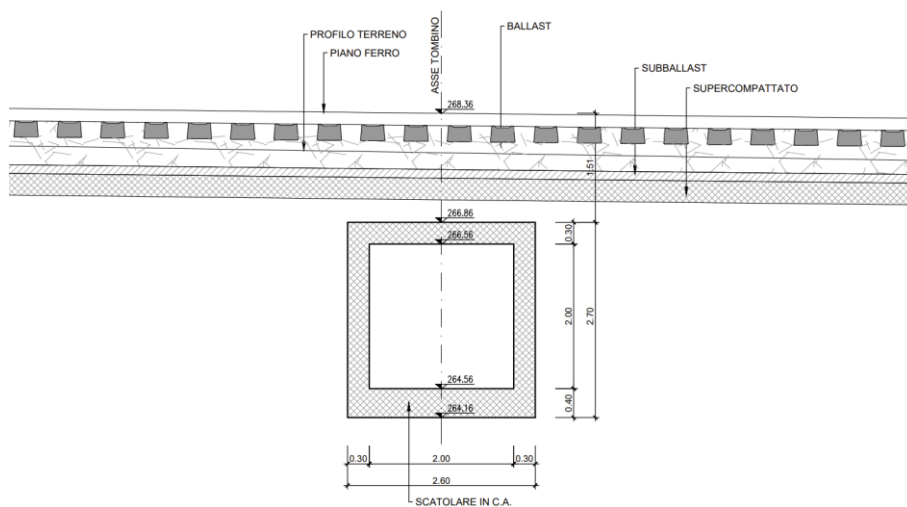


Figura 23 Stralcio della planimetria di progetto di PM228-Albacina, ante operam per IN03.

SEZIONE TRASVERSALE
(IN CORRISPONDENZA ASSE BINARIO DISPARI)
TOMBINO IN02
Scala 1:50



SEZIONE TRASVERSALE
(IN CORRISPONDENZA ASSE STRADALE)
TOMBINO NI07
Scala 1:50

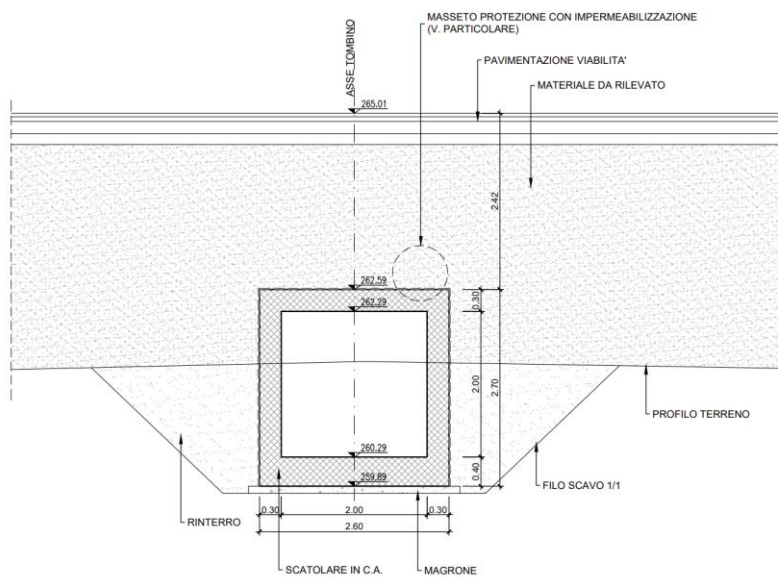


Figura 24 Sezione tombino ferroviario IN02 (sopra) e stradale NI06 (sotto) di PM 228-Albacina (ante operam per IN03 del lotto 1).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 45 di 79

Nella tabella seguente, sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN03_AO	286	0.94	302.31	302.54	303.04	0.15016	3.13	2.68
IN03_AO	235.76	0.94	291.2	291.45	292.48	0.312574	4.5	3.86
IN03_AO	185.76	0.94	273.6	273.79	274.8	0.401724	4.45	4.3
IN03_AO	144.79	0.94	266.57	266.68	267.59	0.411239	4.22	4.25
IN03_AO	138.58	0.94	266.44	266.81	266.99	0.023373	1.88	1.11
IN03_AO	138.38	0.94	265.8	265.99	266.9	0.240801	4.24	3.37
IN03_AO	132.38	0.94	265.67	265.82	266.03	0.062615	2.05	1.76
IN03_AO	132.18	0.94	264.69	264.79	265.91	0.576705	4.7	4.97
IN03_AO	110.71	0.94	264.48	264.68	264.92	0.05117	2.17	1.62
IN03_AO	110.51	0.94	263.5	263.59	264.79	0.640138	4.86	5.21
IN03_AO	107.91	0.94	263.44	263.6	263.99	0.108052	2.76	2.3
IN03_AO	107.71	0.94	262.64	262.74	263.87	0.582907	4.72	4.99
IN03_AO	102.9	0.94	262.64	262.85	263.07	0.044851	2.07	1.53
IN03_AO	102.7	0.94	261.54	261.63	262.93	0.727685	5.06	5.52
IN03_AO	95.91	0.94	261.4	261.61	261.83	0.044663	2.07	1.53
IN03_AO	95.71	0.94	260.39	260.48	261.7	0.657816	4.9	5.28
IN03_AO	74.9	0.94	260.18	260.37	260.64	0.063475	2.32	1.8
IN03_AO	54.21	0.94	259.66	260.08	260.19	0.013318	1.5	0.74
IN03_AO	33	0.94	259.3	259.64	259.81	0.023571	1.83	1
IN03_AO	0	0.94	258.04	258.29	258.61	0.06188	2.53	1.63

Tab. 10 Risultati simulazione HEC-RAS IN03 ante operam Tr200

Il deflusso nelle condizioni attuali avviene in condizioni di corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione. Il tombino ferroviario IN02 di PM228Albacina è attraversato con un tirante di 0.12 m (grado di riempimento 6%) e quello stradale (NI07 di PM228-Albacina) con un tirante pari a 0.10 m (grado di riempimento 5%).

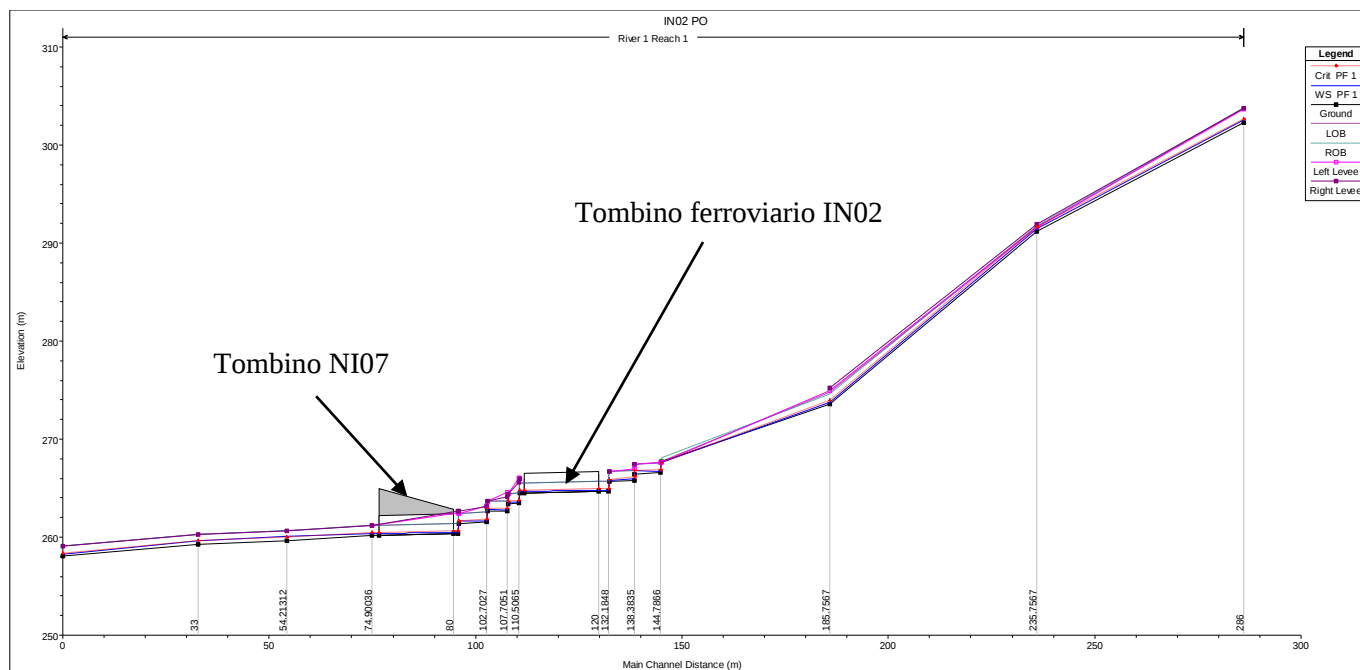


Figura 25 Risultati simulazione HEC-RAS IN03 ante operam: profilo di rigurgito Tr200.

6.3.2 Condizioni post operam

La configurazione di progetto del lotto 1 prevede la realizzazione di un canale a U in cls a monte del tombino IN02 di PM228, per raccordo con il tombino IN03 sotto i nuovi binari.

A monte del tombino IN03 si prevede inoltre una riprofilatura dell'incisione secondo un canale a U con salti e una riprofilatura secondo una sezione trapezia (base = 2 m; altezza = 1m) per il raccordo con il tratto di incisione esistente.

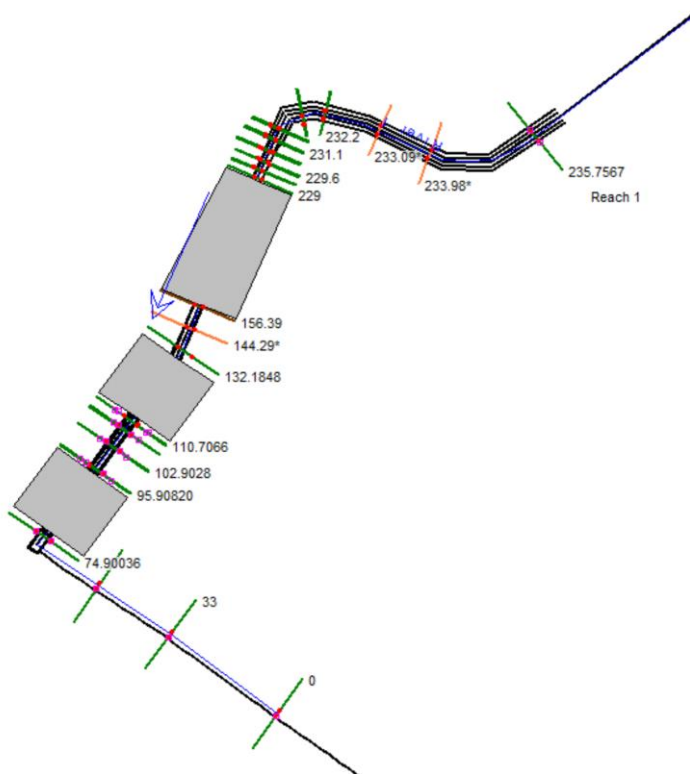
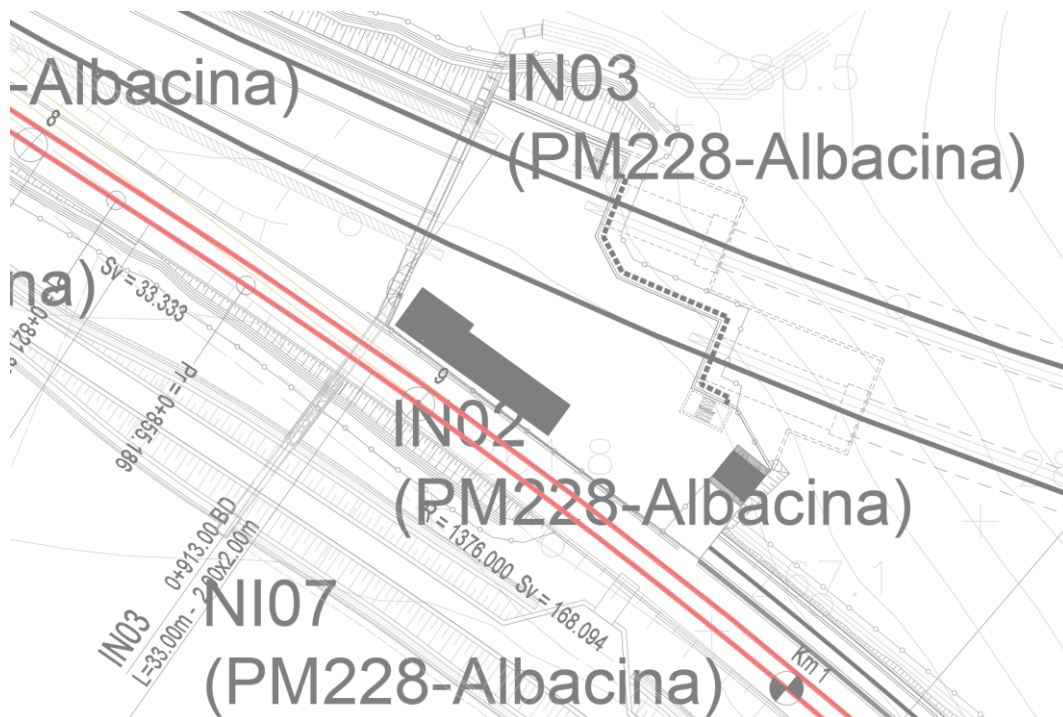


Figura 26 – Planimetria del tombino IN03-post operam (sopra) e corrispondente modello HEC RAS (sotto).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 48 di 79

Nella tabella seguente, sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN03_PO	235.76	0.94	291.2	291.49	291.62	292.1	3.44	2.74
IN03_PO	232.2	0.94	282	282.14	282.28	282.69	3.26	2.75
IN03_PO	232.0	0.94	280	280.07	280.28	282.42	6.8	8.26
IN03_PO	231.9	0.94	279.5	279.66	279.78	280.11	2.98	2.4
IN03_PO	231.7	0.94	277	277.06	277.28	279.81	7.34	9.27
IN03_PO	231.5	0.94	276.5	276.67	276.78	277.06	2.79	2.17
IN03_PO	231.3	0.94	274.4	274.47	274.68	276.81	6.78	8.23
IN03_PO	231.1	0.94	274	274.12	274.28	274.87	3.83	3.51
IN03_PO	231	0.94	272	272.07	272.28	274.57	7.01	8.65
IN03_PO	230	0.94	271.5	271.62	271.78	272.36	3.81	3.49
IN03_PO	229.8	0.94	269.5	269.57	269.78	272.07	7	8.63
IN03_PO	229.6	0.94	269.4	269.53	269.68	270.2	3.62	3.21
IN03_PO	229.4	0.94	267.4	267.47	267.68	269.91	6.93	8.5
IN03_PO	229.2	0.94	267.2	267.32	267.48	268.06	3.79	3.44
IN03_PO	229.1	0.94	265.2	265.27	265.48	267.76	6.99	8.62
IN03_PO	229	0.94	265.1	265.22	265.38	265.99	3.89	3.57
IN03_PO	156.39	0.94	264.79	265.18	265.07	265.25	1.22	0.63
IN03_PO	132.18	0.94	264.69	265.12	264.96	265.16	0.89	0.47
IN03_PO	110.71	0.94	264.48	264.71	264.75	264.88	1.82	1.27
IN03_PO	110.51	0.94	263.5	263.59	263.77	264.76	4.79	5.11
IN03_PO	107.91	0.94	263.44	263.6	263.71	263.98	2.74	2.27
IN03_PO	107.71	0.94	262.64	262.74	262.91	263.86	4.71	4.98
IN03_PO	102.9	0.94	262.64	262.85	262.91	263.06	2.07	1.52
IN03_PO	102.7	0.94	261.54	261.63	261.81	262.93	5.05	5.52
IN03_PO	95.91	0.94	261.4	261.61	261.67	261.83	2.07	1.52
IN03_PO	95.71	0.94	260.39	260.48	260.66	261.7	4.9	5.28
IN03_PO	74.9	0.94	260.18	260.37	260.45	260.64	2.32	1.8
IN03_PO	54.21	0.94	259.66	260.08	260	260.19	1.5	0.74
IN03_PO	33	0.94	259.3	259.64	259.64	259.81	1.83	1
IN03_PO	0	0.94	258.04	258.29	258.38	258.61	2.53	1.63

Tab. 11 Risultati simulazione HEC-RAS IN03 post operam Tr200

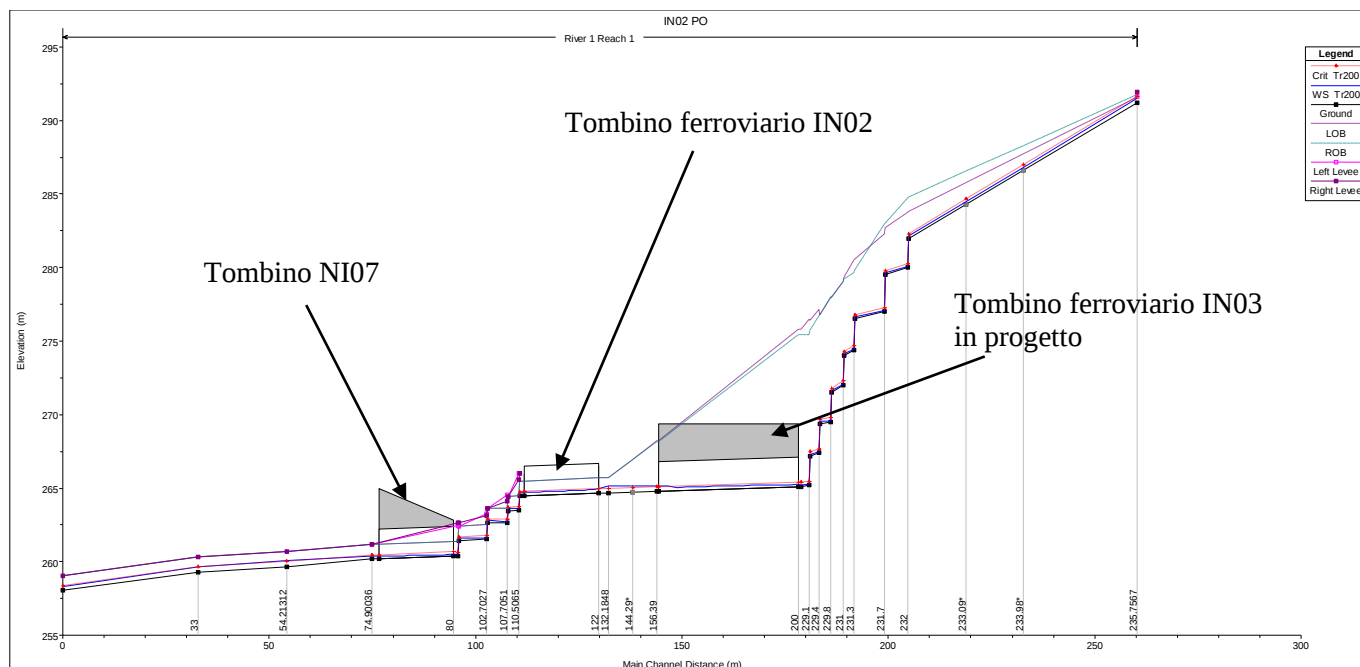


Figura 27 Risultati simulazione HEC-RAS IN03 post operam: profilo di rigurgito Tr200.

Analogamente alla situazione attuale, il deflusso nelle condizioni di progetto del lotto 1 avviene in condizioni di corrente veloce per tutto il tratto di sistemazione. Il tombino ferroviario IN03 in progetto è attraversato con un tirante di 0.39 m (grado di riempimento 19.5%).

6.4 Tombino IN04

In corrispondenza della pk. 7+053, l'idrografia secondaria, interferisce attualmente con la linea storica, e con il tracciato di progetto. L'alveo inciso inizia circa 50m a monte dell'interferenza di progetto, mentre sfocia nel fiume Esino poco dopo il termine del secondo tratto tombinato.

Si precisa che tale tombino sarà completamente realizzato nell'ambito del lotto 2 di PM228-Castelplanio (denominato "IN00"), già predisposto ad accogliere i "nuovi" binari di Bivio Nord Albacina oggetto di intervento nel presente Lotto 1. Si riportano quindi per completezza le analisi eseguite nello studio idrologico/idraulico di PM228-Castelplanio, lotto 2.

6.4.1 Condizioni ante operam

In questo paragrafo, si riporta la verifica idraulica eseguita nella condizione ante operam, ovvero allo stato attuale, precedente anche alla realizzazione del lotto 2 di PM228 – Castelplanio.

Tale verifica è stata eseguita prendendo come dati di base le sezioni del rilievo celerimetrico, del torrente e del manufatto esistente di attraversamento della linea storica.

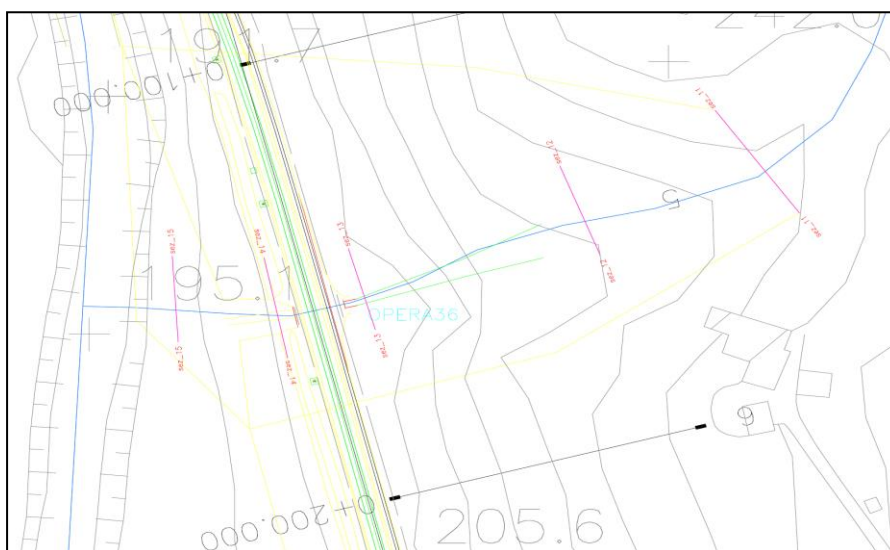


Figura 28 planimetria ante operam IN04.

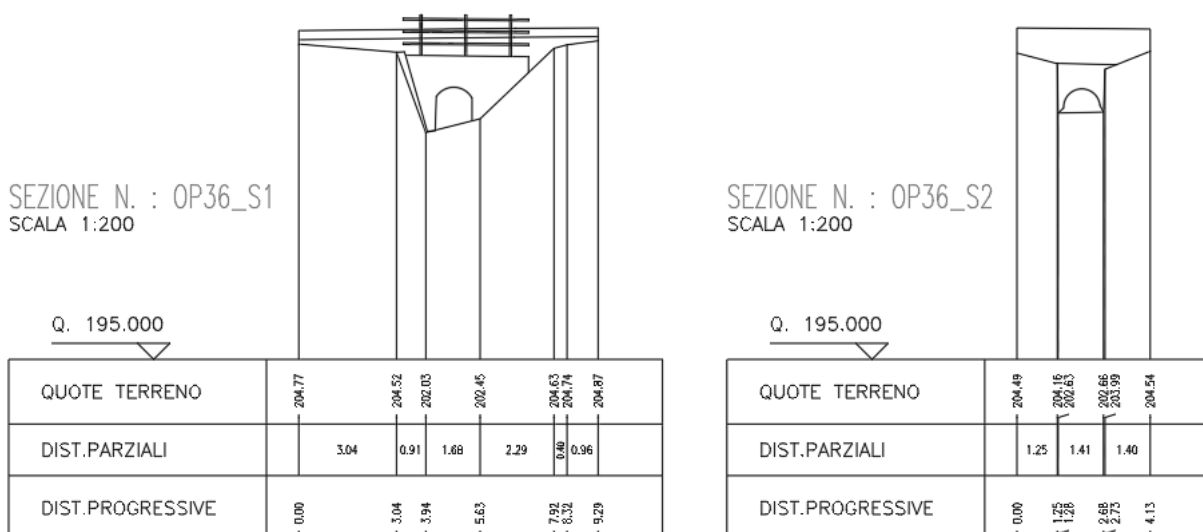


Figura 29 Sezioni tombino IN00 ante operam.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 51 di 79

Dalle sezioni disponibili dal rilievo, il tratto iniziale presenta pendenza caratteristica dei profili torrentizi, per poi aumentare la stessa nel tratto immediatamente a monte del tombino esistente. Mentre la condizione imposta a valle è la quota di piena del Fiume Esino per $Tr = 50$ e 200 anni. Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04_AO	105	1.97	231.66	231.89	232.01	232.41	3.2	3.04
IN04_AO	104	1.97	223.97	224.21	224.34	224.74	3.21	2.93
IN04_AO	103	1.97	203.97	204.16	204.47	206.04	6.07	4.74
IN04_AO	102.76	1.97	202.6	204.32	203.2	204.34	0.6	0.18
IN04_AO	102.12	1.97	202.05	202.56	202.56	202.75	1.93	1
IN04_AO	102.0	1.97	201.79	202.16	202.31	202.64	3.06	1.92
IN04_AO	101.0	1.97	197.28	202.5	197.96	202.5	0.04	0.01

Tab. 12 - Risultati simulazione HEC-RAS IN04 ante operam $Tr200$ (con condizione al contorno di valle "livello idrico $Tr200$ Fiume Esino").

Il deflusso nelle condizioni attuali avviene per quasi tutto il tratto in corrente veloce, mentre passa a corrente lenta in corrispondenza del tratto terminale, per la sovrapposizione delle piene cinquantennale e duecentennale del fiume Esino, questo avviene a valle dell'opera di attraversamento esistente. Dal profilo allegato emerge come il livello di piena dell'Esino provochi un rigurgito all'interno del tombino esistente, compromettendo la sua capacità di deflusso durante il passaggio della piena.

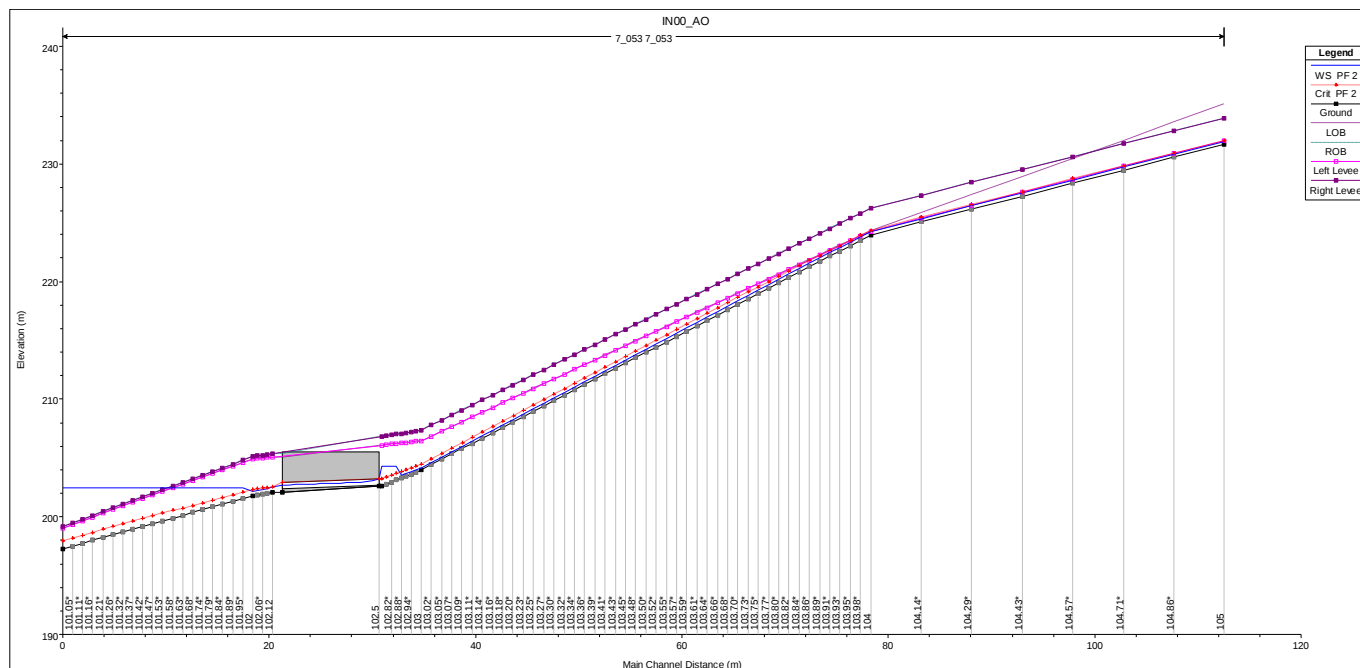


Figura 30 Risultati simulazione HEC-RAS IN04 ante operam: profilo di rigurgito Tr200 (con condizione al contorno di valle "livello idrico Tr200 Fiume Esino").

6.4.2 Condizioni post operam

Per l'analisi è stata considerata la sistemazione idraulica che prevede l'attraversamento sia della nuova viabilità, che più a valle della nuova ferrovia.

Data l'importanza della pendenza del tratto tra i due tombini, data dall'elevato dislivello e dal poco spazio tra i due attraversamenti (stradale a monte della linea ferroviaria storica e "nuovo" ferroviario), è stata presa in considerazione l'idea di creare un canale sotterraneo, con sviluppo a scalini, con delle soglie di fondo, per diminuire la velocità della vena fluida proveniente da monte, ed evitare che eventuali portate particolarmente eccezionali sovrastino la sovrastruttura ferroviaria.

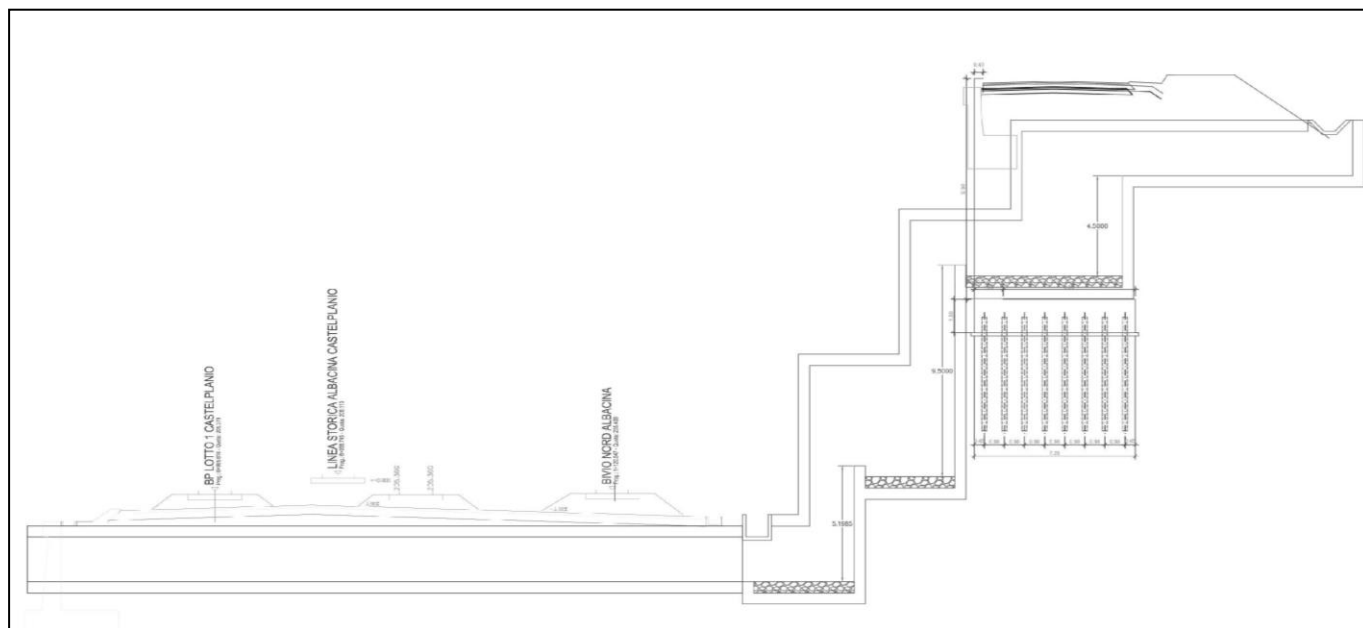


Figura 31 Sezione d'intervento IN00.

Nella tabella sono indicate le grandezze fondamentali del moto risultanti dalla simulazione, mentre in allegato vengono riportati gli elaborati grafici ottenuti di profilo e sezioni.

Reach	River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04_PO	118	1.97	231.66	232.01	232.01	232.1	1.33	1.01
IN04_PO	117	1.97	223.97	224.22	224.34	224.68	2.98	2.67
IN04_PO	112	1.97	222	222.14	222.25	222.69	3.95	3.39
IN04_PO	111.4	1.97	219.5	219.63	219.96	222.41	7.38	6.45
IN04_PO	111.3	1.97	219.5	219.72	219.96	220.74	4.48	3.05
IN04_PO	111	1.97	219.5	219.96	219.96	220.19	2.13	1
IN04_PO	110	1.97	215	215.1	215.46	219.67	9.46	9.37
IN04_PO	109.3	1.97	215	216.25	215.46	216.29	0.79	0.22
IN04_PO	109.1	1.97	215	216.25	215.46	216.28	0.79	0.22
IN04_PO	109	1.97	215	215.46	215.46	215.69	2.12	1
IN04_PO	108	1.97	206	207.26	206.46	207.29	0.78	0.22
IN04_PO	107.3	1.97	206	207.26	206.46	207.29	0.78	0.22
IN04_PO	107.1	1.97	206	207.25	206.46	207.29	0.79	0.22

Reach	River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04_PO	107	1.97	206	206.46	206.46	206.69	2.12	1
IN04_PO	106	1.97	201.4	201.5	201.86	206.16	9.55	9.5
IN04_PO	105.3	1.97	201.4	202.43	201.86	202.48	0.95	0.3
IN04_PO	105	1.97	201.4	202.43	201.86	202.48	0.96	0.3
IN04_PO	103	1.97	201.34	202.39	201.74	202.4	0.54	0.17
IN04_PO	102	1.97	197.28	202.4	197.95	202.4	0.04	0.01

Tab. 13 - Risultati simulazione HEC-RAS IN04 post operam Tr200 (condizione al contorno di valle "livello idrico Tr200 Fiume Esino").

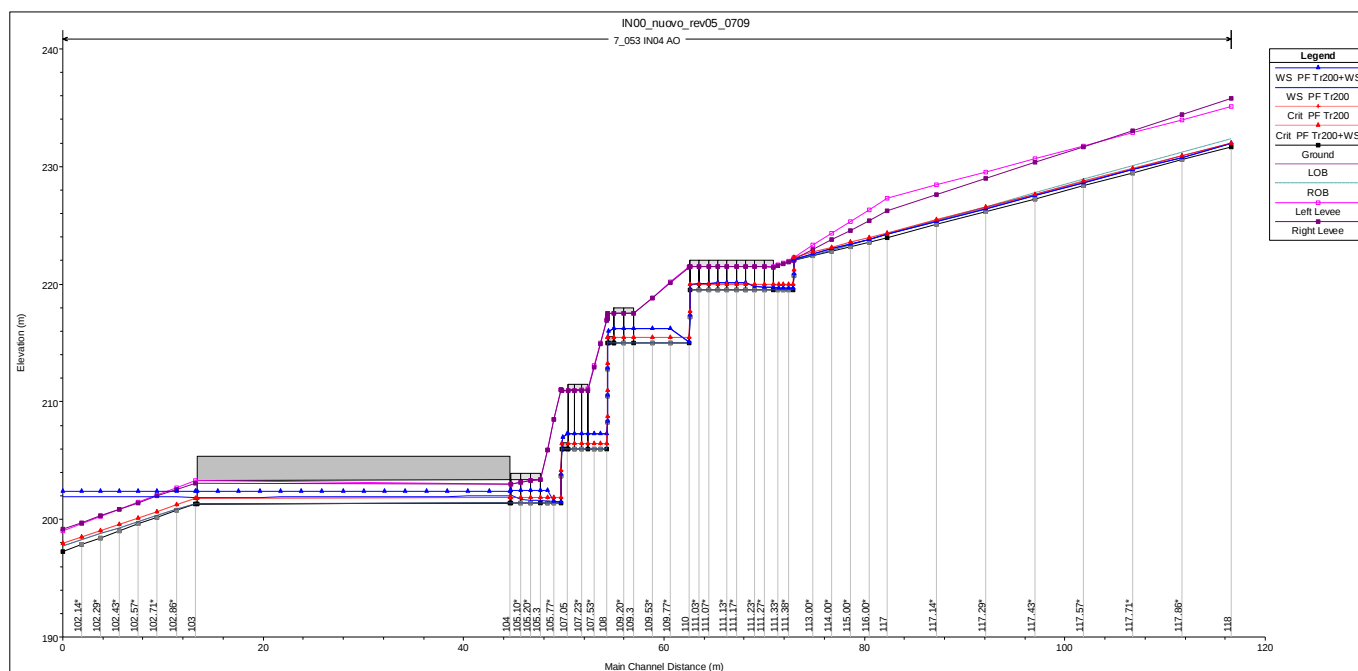


Figura 32 Risultati simulazione HEC-RAS IN04 post operam: profilo di rigurgito Tr200 (con condizione al contorno di valle "livello idrico Tr200 Fiume Esino").

Reach	River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04_PO	118	1.97	231.66	232.01	232.01	232.1	1.33	1.01
IN04_PO	117	1.97	223.97	224.22	224.34	224.68	2.98	2.67
IN04_PO	112	1.97	222	222.14	222.25	222.69	3.95	3.39

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	55 di 79

Reach	River Sta	Q Total (m³/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Froude
IN04_PO	111.4	1.97	219.5	219.63	219.96	222.41	7.38	6.45
IN04_PO	111.3	1.97	219.5	219.72	219.96	220.74	4.48	3.05
IN04_PO	111	1.97	219.5	219.96	219.96	220.19	2.13	1
IN04_PO	110	1.97	215	215.1	215.46	219.67	9.46	9.37
IN04_PO	109.3	1.97	215	216.25	215.46	216.29	0.79	0.22
IN04_PO	109.1	1.97	215	216.25	215.46	216.28	0.79	0.22
IN04_PO	109	1.97	215	215.46	215.46	215.69	2.12	1
IN04_PO	108	1.97	206	207.26	206.46	207.29	0.78	0.22
IN04_PO	107.3	1.97	206	207.26	206.46	207.29	0.78	0.22
IN04_PO	107.1	1.97	206	207.25	206.46	207.29	0.79	0.22
IN04_PO	107	1.97	206	206.46	206.46	206.69	2.12	1
IN04_PO	106	1.97	201.4	201.5	201.86	206.16	9.55	9.5
IN04_PO	105.3	1.97	201.4	201.59	201.86	202.96	5.19	3.81
IN04_PO	105	1.97	201.4	202.1	201.86	202.2	1.41	0.54
IN04_PO	103	1.97	201.34	201.84	201.74	201.93	1.45	0.65
IN04_PO	102	1.97	197.28	201.9	197.95	201.9	0.05	0.01

Tab. 14 - Risultati simulazione HEC-RAS IN04 post operam Tr200 (condizione al contorno di valle "livello idrico Tr50 Fiume Esino").

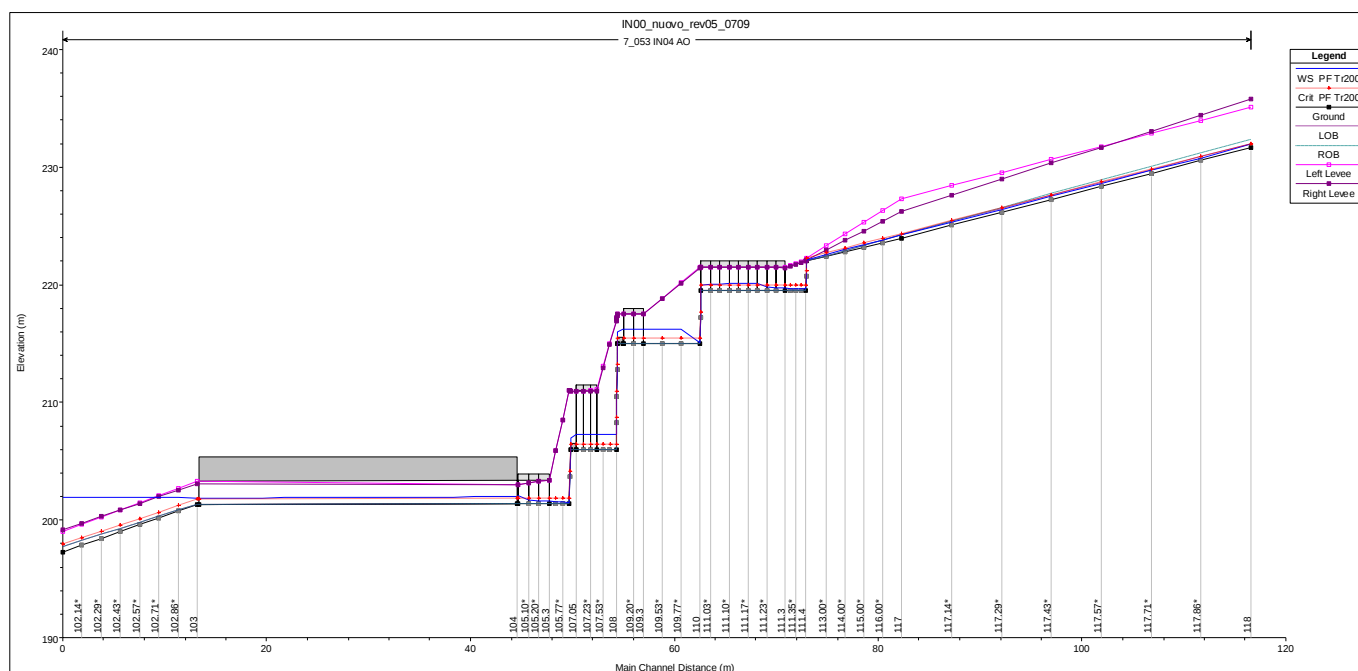


Figura 33 Risultati simulazione HEC-RAS IN04 post operam: profilo di rigurgito Tr200 (con condizione al contorno di valle "livello idrico Tr50 Fiume Esino").

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 56 di 79

Il deflusso nelle condizioni di progetto avviene in corrente veloce per il tratto iniziale. Mentre dove inizia la sistemazione, ovvero in prossimità del fosso di guardia posto a protezione della nuova viabilità di accesso al piazzale, l'alveo viene incanalato in un sistema di gradoni sotterraneo, calmando la stessa e permettendo il deflusso in corrente lenta, fino al tombino ferroviario.

L'attraversamento dello scatolare posto sotto la nuova linea ferroviaria avviene con un grado di riempimento pari al 52% (1.03 m di tirante idrico) nell'ipotesi di concomitanza della piena con Tr200 del Fiume Esino e al 35% (0.70 m di tirante idrico) nell'ipotesi di concomitanza della piena con Tr50 del Fiume Esino; questo è causato (nonostante la esigua portata di progetto) dal rigurgito proveniente dall'esondazione del fiume Esino per le sue portate cinquantennale e bicentennale.

6.5 Riepilogo delle verifiche idrauliche secondo modelli HECRAS

Di seguito, si riporta una tabella di riepilogo dei risultati delle simulazioni secondo modellazione HEC RAS, monodimensionale (moto permanente).

WBS manufatto	Progressiva km	Q (m ³ /s)	Sezione		Tirante y (m)	GR %
			B	H		
IN01	0+163	4.99	2.0	1.5	0.60	40%
IN02	0+780	5.95	3.0	2.0	0.60	30%
IN03	0.913	0.94	2.0	2.0	0.39	19.5%
IN04	7+053	1.97	2.0	2.0	0.70	35% (Tr50 Esino)
					1.03	52% (Tr200 Esino)

Tab. 15 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (Hec Ras)

L'opera IN01 è l'unica ad avere altezza pari a 1,5 m, contro l'altezza minima per tombini scatolari di 2 m indicata nel Manuale di Progettazione Ferroviaria RFI. Tale dimensione del tombino IN01 è legata a vincoli plano-altimetrici di tracciato dettati dal vicino posto di movimento PM228. Nella successiva fase progettuale (prima della gara di appalto) si provvederà comunque ad eseguire ulteriori valutazioni al fine di adeguare per quanto possibile l'altezza di tale opera agli standards previsti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 57 di 79

6.6 Effetti dei cambiamenti climatici sulle opere in progetto

Con riferimento all'analisi descritta nella relazione idrologica IR0F00R09RIID0001001, per effetto dei cambiamenti climatici nel periodo 2061-2090 si prevede (sulla base dell'elaborazione dei risultati di differenti modelli meteorologici sviluppati su base regionale) un incremento massimo delle precipitazioni, e quindi delle portate al colmo, pari a circa **+8%**. Stimate le corrispondenti portate di progetto “*incrementate*” (IR0F01R09RIID0001001), si è proceduto a ripetere le verifiche idrauliche sopra sviluppate (sia con HEC RAS che HY-8), a parità di condizioni al contorno (in particolare, per i manufatti/tombini influenzati dai livelli idrici del Fiume Esino, è stata ripetuta per semplicità soltanto la verifica con condizione al contorno “*Known level*” relativa a $Tr = 200$ anni). Nelle tabelle seguenti, i risultati ottenuti.

WBS manufatto	Progressiva km	Q200+8% [climate change] (m ³ /s)	Tirante y 200 [m]	GR %	ΔGR (%) [*]
IN01	0+163.00	5.40	0.65	43.3%	+8.3%
IN02	0+780.00	6.45	0.64	32.0%	+6.7%
IN03	0+913.00	1.01	0.41	20.5%	+5.1%
IN04	7+053.00	2.13	1.05	52.5%	+1.9%
IN05	0+591 BNA	4.19	0.95	47.5%	+5.6%
IN06	0+415 BNA	4.68	1.04	52.0%	+6.1%

Tab. 16 – Verifica idraulica dei tombini ferroviari (per portate incrementate, [*] incremento del grado di riempimento rispetto alle condizioni progettuali attuali, ovvero differenza tra il GR per la portata Tr_{200} “*incrementata*” e il GR della portata con Tr_{200}).

WBS manufatto	Progressiva km	Q200+8% [climate change] (m ³ /s)	Tirante y 200 [m]	GR %	ΔGR (%) [*]
NI01	0+277 (NVP01)	3.99	0.64	32%	+4.9%

Tab. 17 – Verifica idraulica dei tombini stradali (per portate incrementate, [*] incremento del grado di riempimento rispetto alle condizioni progettuali attuali, ovvero differenza tra il GR per la portata Tr_{200} “*incrementata*” e il GR della portata con Tr_{200}).

In definitiva, sulla base delle proiezioni climatiche ad oggi disponibili, le opere previste in progetto garantirebbero (al 2090) il passaggio a pelo libero di eventuali “*portate incrementate*” per effetto dei cambiamenti climatici.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 58 di 79

6.7 Considerazioni sul trasporto solido fluviale

6.7.1 Generalità

In ottemperanza di quanto indicato nella circolare n.7/2019 delle NTC2018, si è proceduto alla valutazione della tendenza evolutiva (erosione/deposizione sul fondo alveo) dei corsi d'acqua minori afferenti alle opere in progetto denominate IN01, IN02, IN03 e IN04, per i quali si dispone di analisi granulometriche del materiale di fondo alveo ed è stato sviluppato un modello monodimensionale in moto permanente, al fine di verificare il manifestarsi di eventuali fenomeni di deposizione in corrispondenza delle stesse, che possano influenzarne il relativo franco idraulico, nonché l'efficacia delle opere di sistemazione/protezione idraulica previste.

Le analisi sono state eseguite secondo modelli numerici a “*fondo mobile*”, implementati nel codice di calcolo HECRAS 6.4.1.

6.7.2 Valutazione della tendenza evolutiva

La procedura implementata in questa fase progettuale per valutare la tendenza evolutiva di un corso d'acqua si compone operativamente di:

- sviluppo di modelli idraulici numerici, mono-dimensionali, «a fondo mobile» (HEC RAS), secondo scenari di andamento delle portate medie mensili (a lungo termine), ai fini dell'individuazione dei tratti di alveo soggetti a fenomeni erosione e/o deposizione, nelle situazioni *ante-operam* e *post-operam*, in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto;
- simulazioni di scenari relativi a portate corrispondenti a tempi di ritorno elevati, laddove necessario (ad es. in presenza di zone soggette a deposizione immediatamente a monte dell'intervento), per una più dettagliata valutazione della possibilità di interrimento delle opere previste.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 59 di 79

6.7.3 Modello monodimensionale a “fondo mobile” (HECRAS)

La geometria dei modelli di calcolo a fondo mobile è la stessa di quelli monodimensionali a fondo a fisso, già implementati nei modelli 1D (HECRAS) precedentemente descritti.

Ricordiamo che la geometria del modello di calcolo è costituita dalle sezioni trasversali, dalle opere eventualmente presenti e dalle caratteristiche idrauliche delle sezioni stesse.

I valori di scabrezza adottati per i vari corsi d'acqua sono quelli adottati per le simulazioni a fondo fisso.

La caratteristica principale del modello a fondo mobile è proprio rappresentata dai limiti della porzione erodibile delle sezioni.

È possibile indicare le coordinate dei nodi di ogni sezione che possono essere alzati o abbassati in funzione dell'erosione o della deposizione calcolata, nonché la massima profondità di erosione.

Nei casi in esame sono state individuate in via preliminare le seguenti condizioni:

- limiti del fondo mobile in ogni sezione coincidenti con i limiti del canale principale;
- massima profondità di erosione pari a 5 m.

La morfologia dei corsi d'acqua in esame può essere tale da giustificare una mobilità del fondo alveo uniforme lungo la verticale, il che corrisponde all'opzione di default del codice di calcolo che non prevede erosione né deposizione al di fuori dei limiti del fondo mobile. Tuttavia è possibile selezionare l'opzione corrispondente alla deposizione al di fuori del fondo mobile, qualora siano da attendersi livelli idrici superiori alla quota dei limiti del fondo erodibile.

Fondamentale in un modello a “fondo mobile” è la scelta della formula di trasporto solido da applicare per i casi in esame, che è stata condotta secondo quanto indicato nella tabella seguente, ovvero in relazione ai valori di tirante attesi e della granulometria del fondo alveo dei corsi d'acqua oggetto di studio.

Nello specifico, in base alle granulometrie rilevate, descritte nel paragrafo successivo, per i corsi d'acqua oggetto di studio è stata adottata la formula di *Meyer-Peter e Muller*.

Le formule di trasporto solido calcolano il trasporto potenziale senza considerare la reale disponibilità di materiale solido movimentabile, la quale dipende dalle caratteristiche granulometriche che influenzano il

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 60 di 79

fenomeno del rimescolamento del fondo con conseguente possibile corazzamento dello stesso (armoring).

Autore	d₅₀ [mm]	pendenza fondo	Froude	Rapporto tra larghezza e tirante B / h	Tirante idrico h [m]
<i>Meyer-Peter e Muller trasporto di fondo</i>	0.4 ÷ 30	$4 \cdot 10^{-4} \div 2 \cdot 10^{-2}$			0.01 ÷ 1.2
<i>Toffaletti trasporto totale</i>	0.062 ÷ 16				> 3
<i>Ackers-White trasporto totale</i>	0.04 ÷ 4.9		< 0.8		<0.4
	0.1 ÷ 68		< 0.8	9 ÷ 60	
<i>Yang trasporto di fondo</i>	0.137 ÷ 1.35				0.022 ÷ 0.86

Tab. 18 – Limiti di applicabilità delle formule di trasporto solido

Il codice di calcolo consente quindi di selezionare l'opzione più adatta per rappresentare questo fenomeno e nei casi in esame è stata adottata in prima approssimazione quella di default, che corrisponde al cosiddetto metodo "Exner 5" in cui si considera un modello di fondo alveo a tre strati in cui si forma uno strato corazzato che limita lo scambio di materiale dagli altri due strati.

La granulometria dei sedimenti di cui è costituito il fondo alveo viene rappresentata con la curva granulometrica dei campioni prelevati. Poiché nel codice di calcolo è possibile associare una sola curva granulometrica per ogni sezione, la scelta del punto di prelievo è di fondamentale importanza affinché esso sia rappresentativo dell'intera variabilità granulometrica osservata, tenendo anche conto che lo studio condotto in questa sede volge l'attenzione ai fenomeni di medio periodo, quindi i campioni devono essere rappresentativi di ciò che si può mobilitare durante tali eventi. L'ubicazione dei punti di prelievo e le relative curve granulometriche sono state associate alle corrispondenti sezioni; il codice di calcolo determina poi un andamento lineare della granulometria tra una sezione e l'altra. Nei tratti a monte e a valle dei punti di prelievo sono state considerate granulometrie uguali a quelle definite dal campione più a monte e più a valle. La condizione al contorno di monte per quanto concerne i sedimenti deve definire, per ogni granulometria considerata, l'apporto in kg/s per l'intero periodo di simulazione. Tale apporto dipende dalle caratteristiche morfologiche del bacino di monte e dagli eventi meteorici che lo investono.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 61 di 79

Usualmente si definisce una relazione univoca tra portata liquida e portata solida, trascurando quello che può essere il diverso impatto di un evento meteorico sul bacino. Se si assume che la sezione in cui è imposta la condizione al contorno sia mediamente stabile, questa relazione può essere direttamente definita mediante la formula di trasporto definita. Il codice di calcolo è in grado di determinare automaticamente il carico di equilibrio, che corrisponde alla capacità di trasporto per quella sezione in ogni passo temporale e per ogni classe granulometrica. In via cautelativa è stata adottata, per i casi in esame, la condizione di carico di equilibrio. A tal proposito, è stata condotta un'analisi di sensibilità della condizione al contorno applicata, i.e. carico nullo vs carico di equilibrio. Quest'ultima, per i tratti fluviali oggetto di studio massimizza i valori di spessore di deposito ed erosione; pertanto, in via cautelativa, per il caso in esame è stata adottata la condizione di carico di equilibrio (a meno di situazioni di instabilità numerica o di particolari sistemazioni idrauliche, nelle quali è stata applicata la condizione di carico entrante nullo).

Da sottolineare che essendo i tratti di interesse dell'analisi quelli a cavallo dell'attraversamento della linea ferroviaria e che questi si trovano ad una certa distanza dalla sezione in cui è definita la condizione al contorno, l'imprecisione legata alla definizione di tale condizione è attenuata dal fatto che il modello riadatta la sua capacità di trasporto sulla base delle caratteristiche dell'alveo schematizzato, perdendo quindi l'informazione iniziale definita con la condizione al contorno. Le condizioni al contorno nel modello a fondo mobile riguardano sia la componente acqua, sia quella sedimenti e sono sinteticamente descritte di seguito.

Per ciascuno dei corsi d'acqua studiati, come anticipato, è stata considerata una portata media mensile, stimata sulla base di un valore indice (l/s/kmq), ovvero della portata specifica del bacino maggiore di appartenenza (i.e. Fiume Esino). Quest'ultima, per il Fiume Esino è di 13.94 l/s/kmq, con riferimento a quanto riportato sugli Annali Idrologici (parte II) per la stazione idrometrica di "Esino a Camponococchio" (valore più cautelativo o comunque disponibile rispetto alla stazione idrometrica di Moie – presso Castelplanio, comunque più lontana al tratto fluviale di studio).

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 2017

	ANNO	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Q max (m^3s^{-1})	143.31	32.22	78.55	143.31	11.45	6.93	5.18	2.65	1.24	2.66	2.00	35.11	48.04
Q media (m^3s^{-1})	8.58	14.10	25.97	22.14	5.47	4.36	2.05	1.38	1.05	1.35	1.23	5.79	18.06
Q min (m^3s^{-1})	0.97	2.56	10.16	6.28	3.98	2.56	1.48	1.13	0.97	1.01	1.12	1.15	5.48
Q media ($ls^{-1}km^{-2}$)	13.94	22.91	42.19	35.96	8.89	7.09	3.33	2.23	1.71	2.19	2.00	9.40	29.34
Deflusso (mm)	434.99	61.35	102.07	96.33	23.04	18.98	8.64	5.98	4.57	5.69	5.37	24.36	78.59
Affl. meteorico (mm)	1069.90	124.70	118.40	81.80	83.90	70.40	63.70	19.00	8.90	130.20	40.80	186.00	142.10
Coeff. deflusso	0.41	0.49	0.86	1.18	0.27	0.27	0.14	0.31	0.51	0.04	0.13	0.13	0.55

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 62 di 79

Per ciascuno dei corsi d'acqua studiati, la portata media mensile utilizzata per la costruzione dell'idrogramma di piena da imporre come condizione al contorno nel modello numerico a fondo mobile è stata ottenuta quindi moltiplicando il valore di portata specifica (13.94 l/s/km^2) per l'area del bacino studiato: i valori di portata così ottenuti sono riportati in tabella.

Corso d'acqua	$Q_{\text{media mensile}}$	Q_{Tr200}
	[m ³ /s]	[m ³ /s]
IN01	0.0045	4.99
IN02	0.0052	5.95
IN03	0.0006	0.94
IN04	0.0044	1.97

Tab. 19 – Valori di portata media mensile e Tr200 simulati per ciascuno dei corsi d'acqua.

Nello specifico, l'idrogramma di piena di input si compone di un tratto a portata (media mensile) costante della durata complessiva di 30 giorni (720 ore), suddivisa in 240 intervalli di durata pari a 3 ore ognuno, suddivisi a loro volta in incrementi computazionali di durata pari a 0.06 ore, al quale si aggiunge l'idrogramma corrispondente alla portata associata ad un tempo di ritorno di 200 anni. E' stato applicato in via speditiva (ma coerentemente con lo studio idrologico annesso) un idrogramma di tipo triangolare di durata pari al tempo di corrivazione T_c , con picco/colmo a $t = T_c/2$ (rif. IR0F01R09RIID0001001).

Si è proceduto all'implementazione di tre modelli monodimensionali a fondo mobile (HEC-RAS v. 6.4.1) distinti per i corsi d'acqua oggetto di studio. Le condizioni al contorno di valle sono analoghe a quelle già applicate per i modelli numerici a fondo fisso, come precedentemente definite.

Per ciascuno dei corsi d'acqua in esame sono state dunque eseguite simulazioni numeriche sia per lo stato di fatto (A.O.) che per lo stato di progetto (P.O.).

Nella configurazione di progetto, per i tratti oggetto di sistemazione idraulica è previsto il rivestimento sia delle sponde che del fondo alveo: di conseguenza, con riferimento allo scenario di progetto (P.O.), su tali sezioni è stata imposta la condizione di *non erodibilità* del fondo alveo e delle sponde.

6.7.4 Simulazione numerica dei fenomeni di trasporto solido e risultati

Si riportano di seguito, per ciascuno dei corsi d'acqua oggetto di studio i risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche a fondo mobile, eseguite secondo quanto sopra descritto.

6.7.4.1 OPERA IN01

Caratteristiche granulometriche del materiale di fondo alveo

Nel tratto fluviale del Torrente Giano lungo il quale confluiscono i corsi d'acqua afferenti alle opere IN01, IN02, IN03, è stato eseguito un prelievo di materiale in alveo, considerato rappresentativo per i suddetti tre corsi d'acqua.

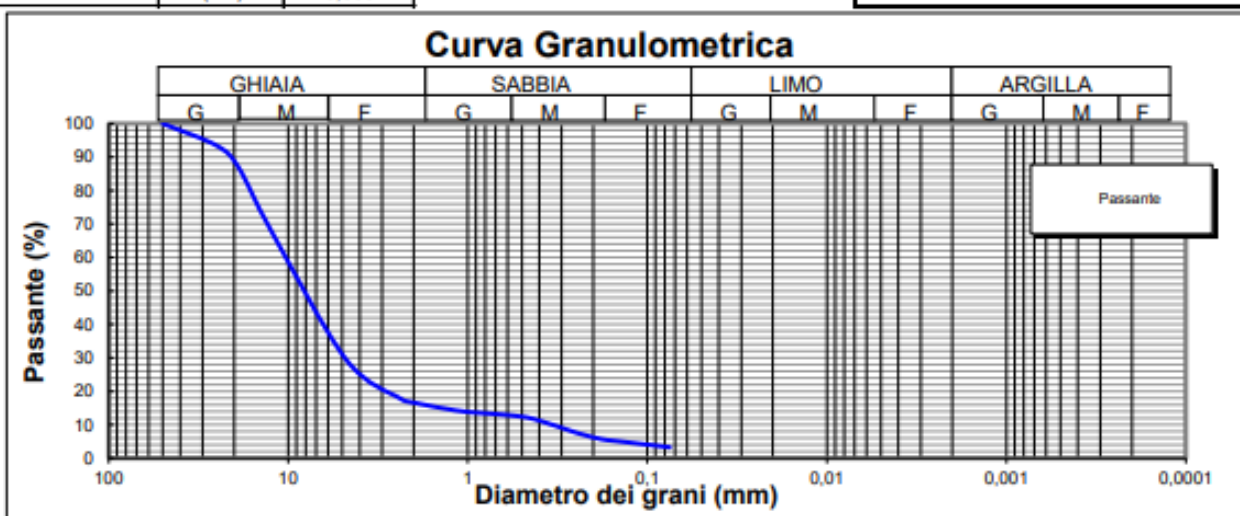
La relativa curva granulometrica, ottenuta per setacciatura e/o sedimentazione, identifica la presenza di un materiale classificato come “ghiaia sabbiosa”, con diametro medio (d50) pari a 9 mm circa.

Coefficienti granulometrici

Descrizione campione (AGI) :

D60	(mm)	10,471	Coeff. Uniformità (Cu)	31,5
D30	(mm)	4,732	Coeff. Curvatura (Cc)	6,4
D10	(mm)	0,333		

Ghiaia sabbiosa

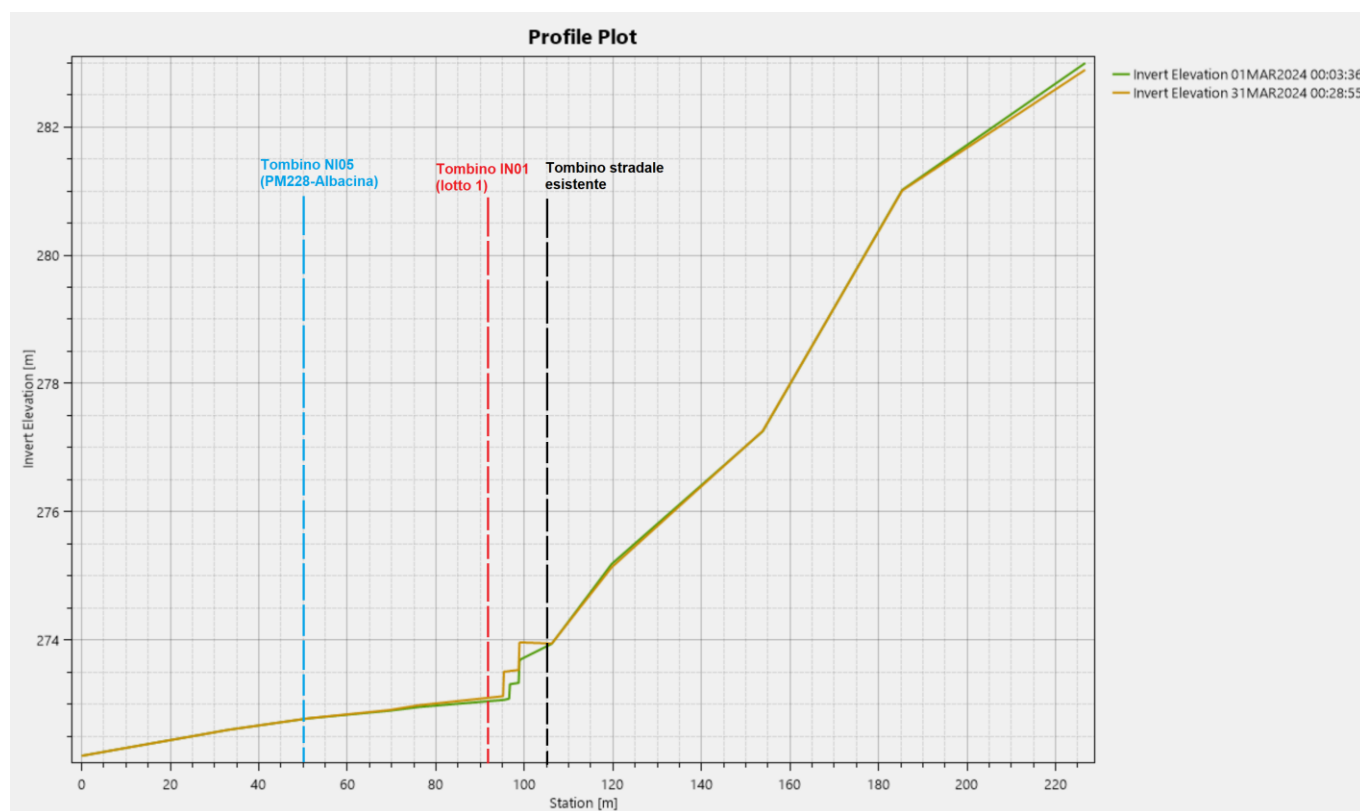


Tendenza all'erosione e alla deposizione

Lungo il corso d'acqua oggetto di studio, si prevede una sistemazione idraulica con:

- sezione trapezia, con fondo alveo e sponde rivestiti con massi. Tale sistemazione è prevista nel tratto compreso tra il tombino ferroviario e quello stradale;
- sezione rettangolare, con fondo alveo e sponde rivestiti con massi. Tale sistemazione ha inizio a valle del tombino stradale in progetto e si estende per 50 m circa a valle dello sbocco del tombino stradale; inoltre, la medesima è prevista anche a monte del tombino ferroviario, tra il tombino stradale esistente e il tombino ferroviario medesimo.

La figura seguente riporta il profilo di fondo iniziale e finale del corso d'acqua, nello stato *post operam*, per l'intero tratto simulato (rappresentazione del post-processor di RAS) nella configurazione di progetto.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 65 di 79

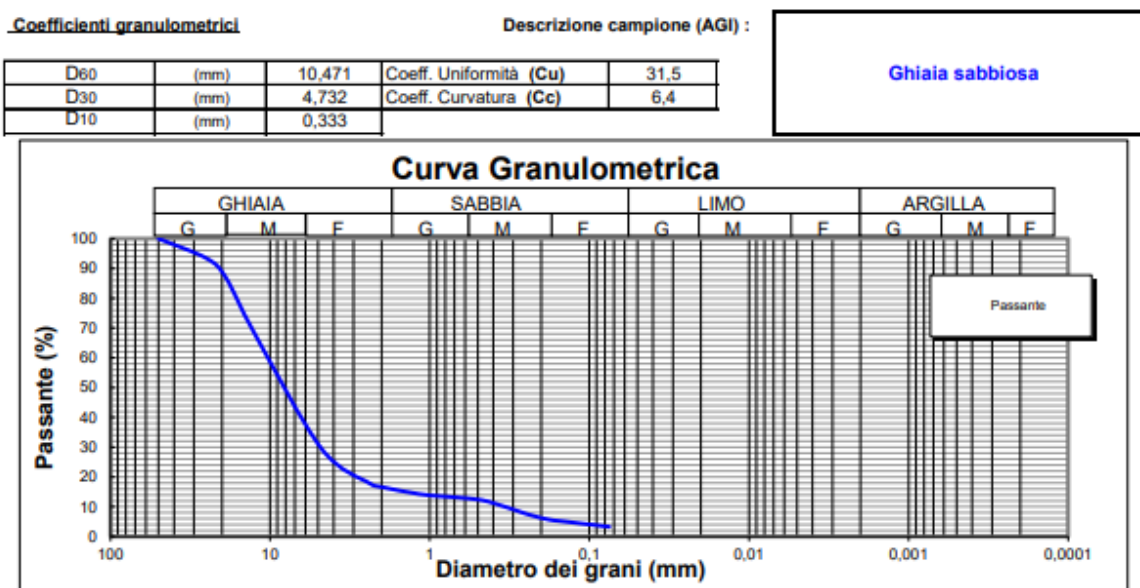
Come si evince nella figura sopra riportata:

- in corrispondenza del tombino stradale esistente, a monte dell'opera IN01, il corso d'acqua è soggetto a deposito, con innalzamenti del fondo alveo di circa +0.30 m;
- in corrispondenza del tombino ferroviario in progetto IN01, scatolare 2.0mx1.5m, il corso d'acqua è soggetto a debole deposito, con innalzamenti del fondo alveo di circa +0.10 m;
- la sistemazione a gradoni proposta tra il tombino IN01 e il tombino stradale esistente, è potenzialmente soggetta a deposito, dell'ordine di +0.20 m;
- in corrispondenza del tombino stradale NI05, scatolare (2.0mx2.0m, oggetto di altro intervento, lotto PM228-Albacina), il fondo alveo del corso d'acqua risulta stabile.

6.7.4.2 OPERA IN02

Caratteristiche granulometriche del materiale di fondo alveo

Come anticipato, nel tratto fluviale del Torrente Giano lungo il quale confluiscono i corsi d'acqua afferenti alle opere IN01, IN02, IN03, è stato eseguito un prelievo di materiale in alveo, considerato rappresentativo per i suddetti tre corsi d'acqua. La relativa curva granulometrica, ottenuta per setacciatura e/o sedimentazione, identifica la presenza di un materiale classificato come “ghiaia sabbiosa”, con diametro medio (d50) pari a 9 mm circa.

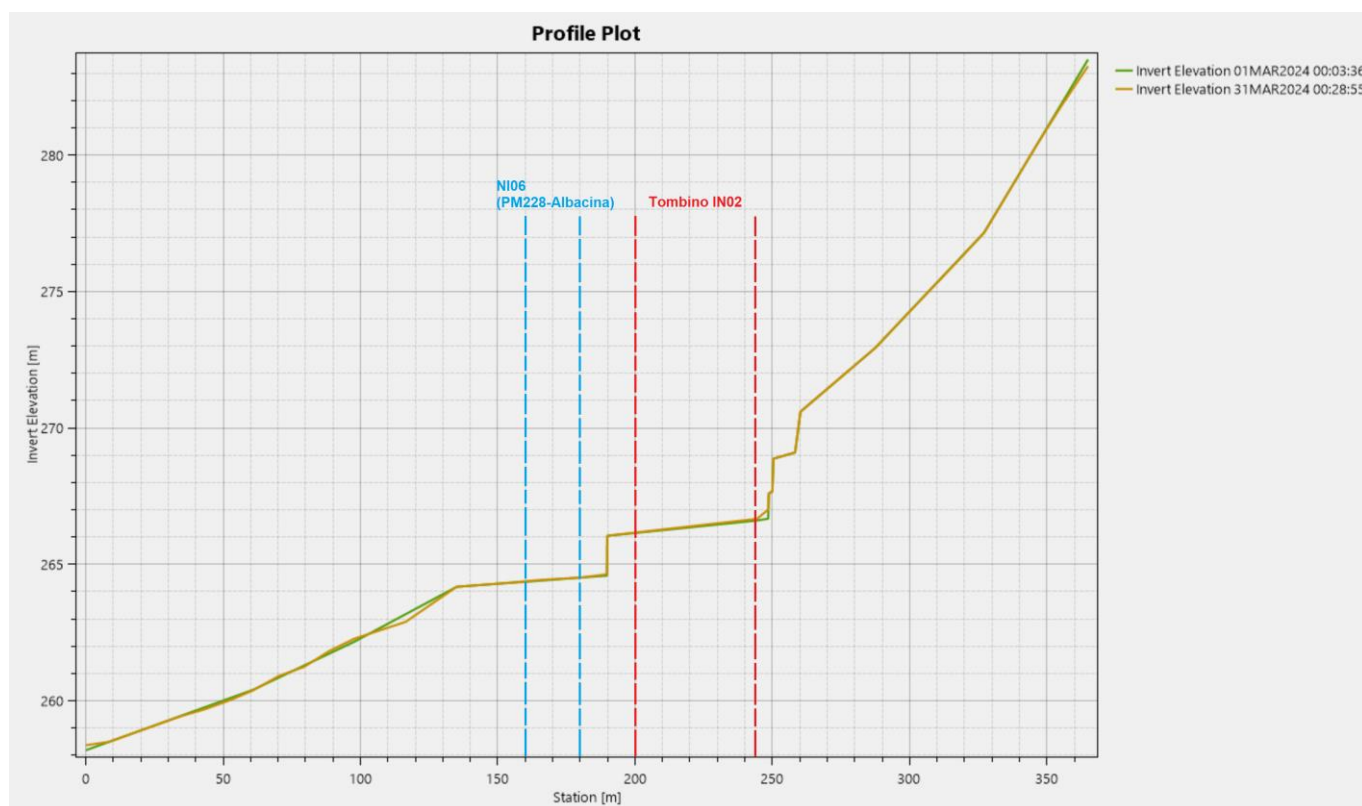


Tendenza all'erosione e alla deposizione

Lungo il corso d'acqua oggetto di studio, si prevede una sistemazione idraulica con:

- sezione trapezia, con fondo alveo e sponde rivestiti con massi. Tale sistemazione è prevista nel tratto a monte del tombino ferroviario (IN02) per una estensione di circa 30 m e nel tratto a valle del manufatto stradale NI06 (di PM228-Albacina).
- sezione rettangolare, in cls, con profilo a gradoni nel tratto immediatamente a monte del tombino ferroviario IN02 e tra quest'ultimo e il tombino stradale NI06.

La figura seguente riporta il profilo di fondo iniziale e finale del corso d'acqua, nello stato post operam, per l'intero tratto simulato (rappresentazione del post-processor di RAS) nella configurazione di progetto.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 67 di 79

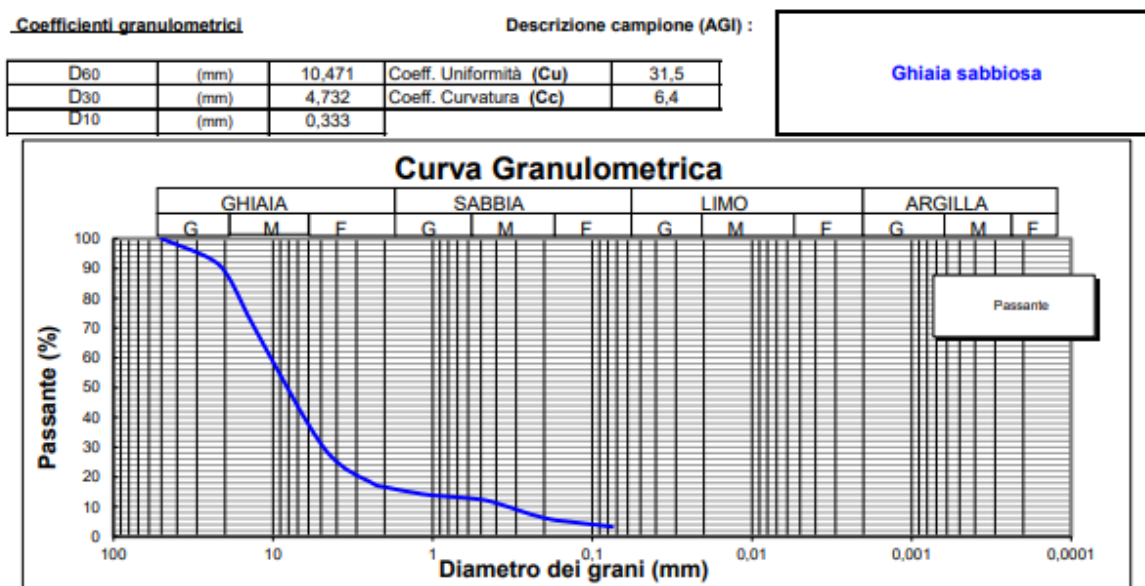
Come si evince nella figura sopra riportata:

- in corrispondenza del tombino ferroviario in progetto IN02, scatolare 3.0mx2.0m, il corso d'acqua è soggetto a debole deposito, con innalzamenti del fondo alveo di circa +0.10 m;
- la sistemazione a gradoni proposta a monte del tombino IN02 è potenzialmente soggetta a deposito, dell'ordine di +0.30-0.40 m;
- in corrispondenza del tombino stradale NI06, scatolare (3.0mx2.0m, oggetto di altro intervento, lotto PM228-Albacina), il fondo alveo del corso d'acqua risulta interessato da lievi fenomeni di deposito: +0.10 m.

6.7.4.3 OPERA IN03

Caratteristiche granulometriche del materiale di fondo alveo

Come anticipato, nel tratto fluviale del Torrente Giano lungo il quale confluiscono i corsi d'acqua afferenti alle opere IN01, IN02, IN03, è stato eseguito un prelievo di materiale in alveo, considerato rappresentativo per i suddetti tre corsi d'acqua. La relativa curva granulometrica, ottenuta per setacciatura e/o sedimentazione, identifica la presenza di un materiale classificato come “ghiaia sabbiosa”, con diametro medio (d50) pari a 9 mm circa.

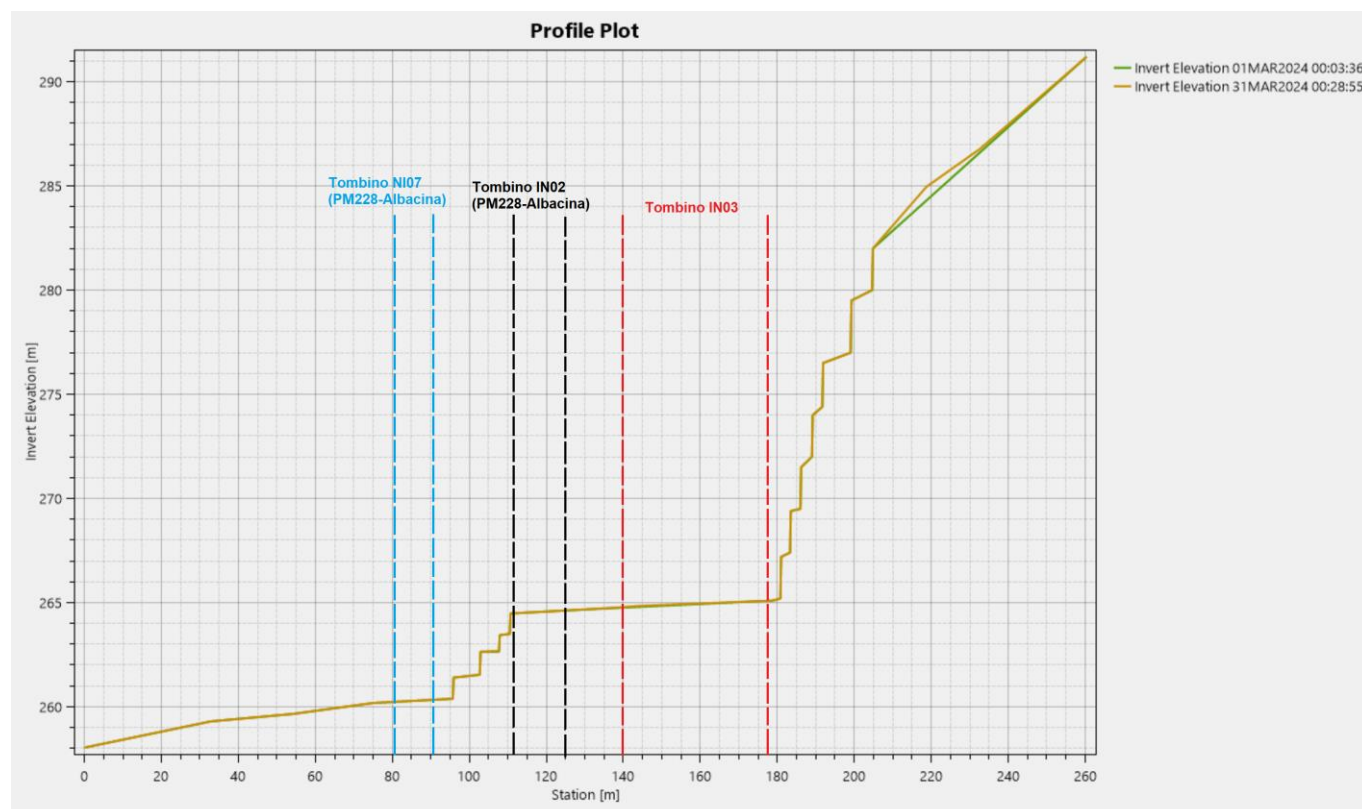


Tendenza all'erosione e alla deposizione

Lungo il corso d'acqua oggetto di studio, si prevede una sistemazione idraulica con:

- sezione rettangolare, in cls, con profilo a gradoni nel tratto immediatamente a monte del tombino ferroviario IN03 e tra i tombini IN02 e NI07 del lotto adiacente PM228-Albacina;
- canale rettangolare, in cls, tra i tombini ferroviari IN03 (lotto 1) e IN02 (PM228-Albacina).

La figura seguente riporta il profilo di fondo iniziale e finale del corso d'acqua, nello stato post operam, per l'intero tratto simulato (rappresentazione del post-processor di RAS) nella configurazione di progetto.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	69 di 79

Come si evince nella figura sopra riportata:

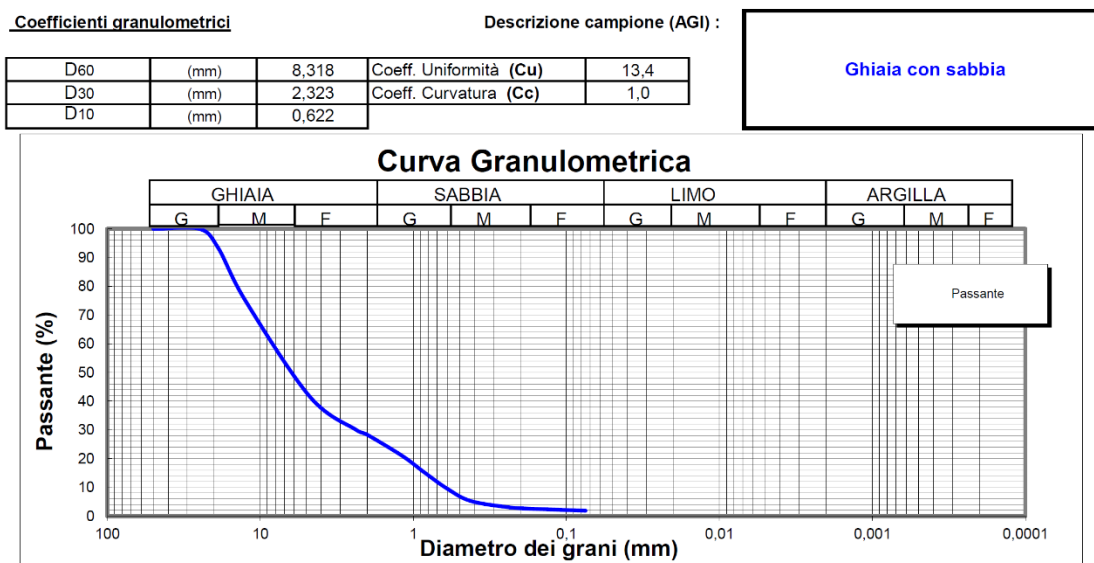
- a monte della sistemazione a gradoni, a sua volta a monte del tombino IN03, il corso d'acqua è soggetto a deposito, con innalzamenti del fondo alveo di circa +0.40-0.50 m;
- in corrispondenza del tombino ferroviario in progetto IN03, scatolare 2.0mx2.0m, il fondo alveo del corso d'acqua risulta stabile;
- anche in corrispondenza del tombino ferroviario IN02 e del tombino stradale NI06, scatolari 2.0mx2.0m, oggetto di altro intervento, lotto PM228-Albacina, il fondo alveo del corso d'acqua risulta stabile.

6.7.4.4 OPERA IN04

Caratteristiche granulometriche del materiale di fondo alveo

Lungo il corso d'acqua afferente all'opera IN04 (corrispondente all'opera IN00 completamente realizzata nell'ambito del lotto 2 di PM228-Castelplanio) è stato eseguito un prelievo di materiale in alveo, in corrispondenza della relativa confluenza nel Fiume Esino.

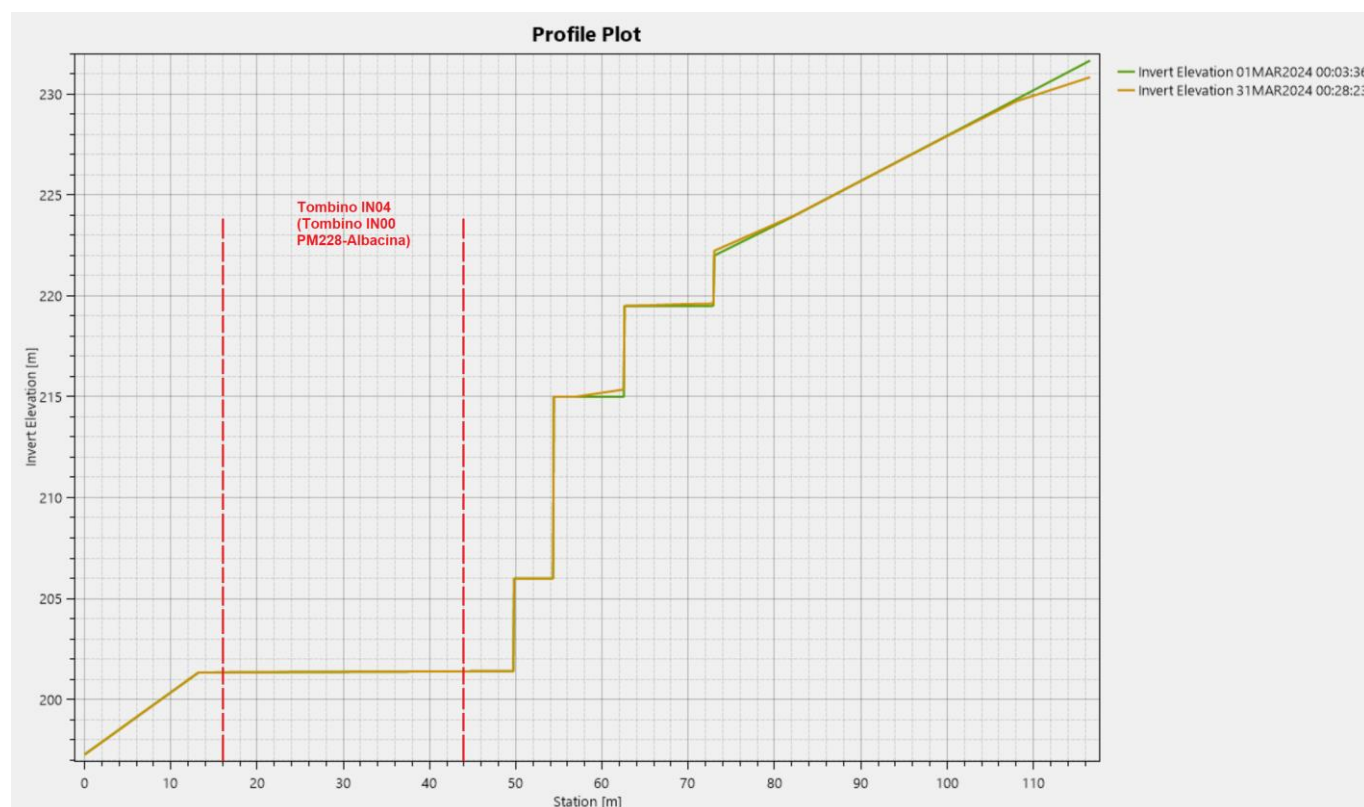
La relativa curva granulometrica, ottenuta per setacciatura e/o sedimentazione, identifica la presenza di un materiale classificato come “*ghiaia con sabbia*”, con diametro medio (d₅₀) pari a 7 mm circa.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 70 di 79

Tendenza all'erosione e alla deposizione

Lungo il corso d'acqua oggetto di studio, si prevede una sistemazione idraulica mediante un canale sotterraneo, con sviluppo a scalini, con delle soglie di fondo, per diminuire la velocità della vena fluida proveniente da monte, ed evitare che eventuali portate particolarmente eccezionali sovrastino la sovrastruttura ferroviaria. La figura seguente riporta il profilo di fondo iniziale e finale del corso d'acqua, nello stato post operam, per l'intero tratto simulato (rappresentazione del post-processor di RAS) nella configurazione di progetto.



Come si evince nella figura sopra riportata:

- in corrispondenza del primo e secondo gradone, a loro volta a monte del tombino IN04, il corso d'acqua è soggetto a deposito, con innalzamenti del fondo alveo di circa +0.20-0.30 m;
- in corrispondenza del tombino ferroviario in progetto IN04, scatolare 2.0mx2.0m (già realizzato nell'ambito del lotto 2 di PM228-Castelplanio), il fondo alveo del corso d'acqua risulta stabile.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 71 di 79

6.7.5 Riepilogo dei risultati e considerazioni conclusive

Nella tabella seguente sono sintetizzate le condizioni di simulazione ed i risultati ottenuti in termini di tendenza all'erosione o alla deposizione per i tre corsi d'acqua oggetto di studio.

Corso d'acqua	Scenario	Portata (m ³ /s)	Apporto di sedimenti	Tendenza evolutiva	Entità di deposito (+) / erosione (-) [m]
IN01	Post operam	Portata media mensile+idrogramma di piena Tr200	Carico entrante nullo	Strada (NI05, PM228-Albacina): stabile Ferrovia (IN01, lotto 1): deposito	+ 0.00 + 0.10
IN02	Post operam	Portata media mensile+idrogramma di piena Tr200	Carico di equilibrio	Strada (NI06, PM228-Albacina): stabile Ferrovia (IN02, lotto 1): deposito	+ 0.10 + 0.10
IN03	Post operam	Portata media mensile+idrogramma di piena Tr200	Carico di equilibrio	Strada (NI07, PM228-Albacina): stabile Ferrovia (IN03, lotto 1 + IN02, PM228-Albacina): stabile	+ 0.00 + 0.00
IN04	Post operam	Portata media mensile+idrogramma di piena Tr200	Carico entrante nullo	Ferrovia (IN04, lotto 1 ovvero IN00, PM228-Castelplanio, lotto 2): stabile	+ 0.00

In ragione dei risultati ottenuti, si può asserire che i fenomeni di trasporto solido non compromettono la compatibilità idraulica delle opere di attraversamento qui studiate. In ragione della lieve tendenza alla deposizione, si potrà prevedere l'adozione di idonei dispositivi, quali ad esempio griglie di intercettazione presso gli imbocchi (anche a presidio di eventuale trasporto di materiale galleggiante), di concerto con il gestore dell'infrastruttura.

Si provvederà comunque nelle successive fasi progettuali (prima della gara di appalto/affidamento) ad approfondire la tematica con ulteriori valutazioni e indagini/prelievi in alveo per una migliore caratterizzazione del materiale soggetto a fenomeni di trasporto solido, nonché a fornire il dettaglio dei dispositivi/sistemi mitigativi.

	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 72 di 79

ALLEGATO A: RISULTATI MODELLAZIONE HY-8

OPERA FERROVIARIA IN05

INPUT DATA

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	3.870	cms
Maximum Flow	4.190	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Rectangular Channel	
Bottom Width	2.000	m
Channel Slope	0.0050	m/m
Manning's n (channel)	0.020	
Channel Invert Elevation	206.980	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	5.000	m
Crest Elevation	210.800	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	20.000	m

Culvert Properties

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	U...
CULVERT DATA		
Name	IN05	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.000	mm
Rise	2000.000	mm
Embedment D...	0.000	mm
Manning's n	0.020	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configura...	Square Edge (90°) Headwall (Ke=0...	
Inlet Depressio...	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	207.100	m
Outlet Station	24.000	m
Outlet Elevation	206.980	m
Number of Barrels	1	
Computed Culvert Sl...	0.005000	m/m

RELAZIONE IDRAULICA

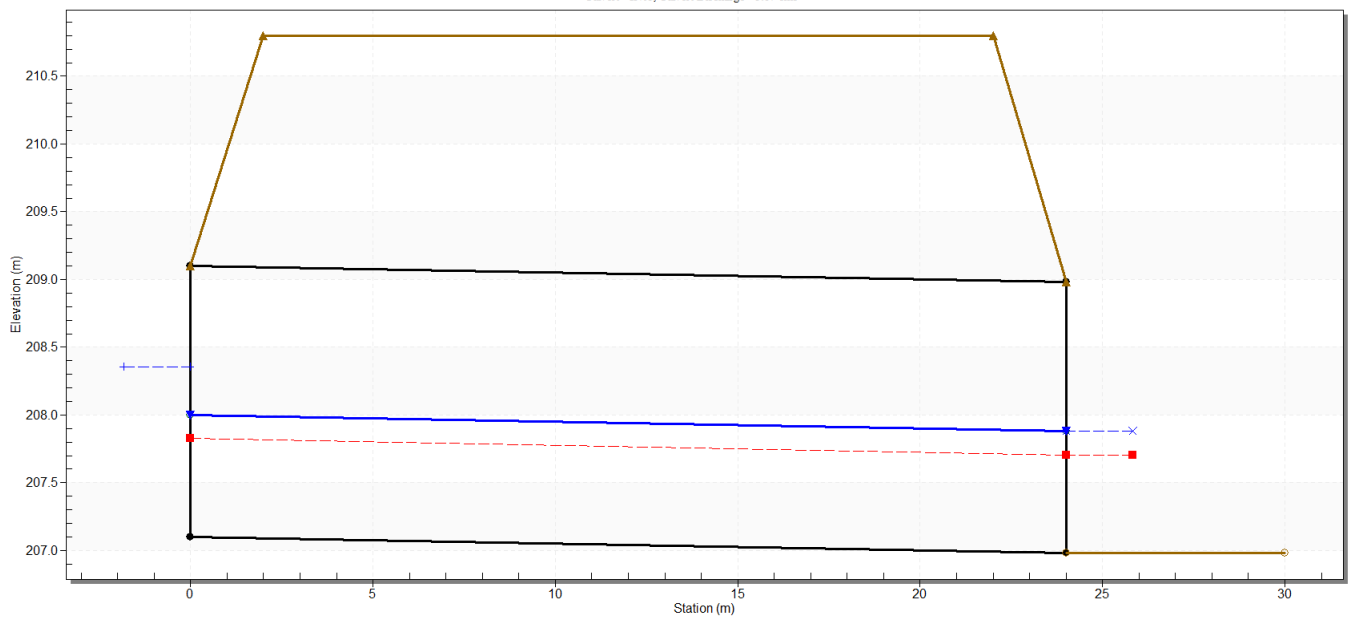
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	74 di 79

CULVERT SUMMARY TABLE

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	207.10	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.42	0.42	207.38	0.28	0.28	3-M1t	0.20	0.16	0.20	0.20	1.06	1.06
0.84	0.84	207.55	0.45	0.45	3-M1t	0.31	0.26	0.31	0.31	1.35	1.35
1.26	1.26	207.69	0.59	0.59	3-M1t	0.41	0.34	0.41	0.41	1.55	1.55
1.68	1.68	207.81	0.71	0.71	3-M1t	0.49	0.42	0.50	0.50	1.69	1.69
2.10	2.10	207.93	0.82	0.83	3-M1t	0.58	0.48	0.58	0.58	1.81	1.81
2.51	2.51	208.04	0.93	0.94	3-M1t	0.66	0.54	0.66	0.66	1.91	1.91
2.93	2.93	208.14	1.03	1.04	3-M1t	0.73	0.60	0.74	0.74	1.99	1.99
3.35	3.35	208.24	1.12	1.14	3-M1t	0.81	0.66	0.81	0.81	2.07	2.07
3.87	3.87	208.35	1.23	1.25	3-M1t	0.90	0.73	0.90	0.90	2.15	2.15
4.19	4.19	208.42	1.30	1.32	3-M1t	0.95	0.76	0.96	0.96	2.19	2.19

WATER SURFACE PROFILE

Crossing - IN05, Design Discharge - 3.87 cms
Culvert - IN05, Culvert Discharge - 3.87 cms



OPERA FERROVIARIA IN06

INPUT DATA

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	4.320	cms
Maximum Flow	4.680	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Rectangular Channel	
Bottom Width	2.000	m
Channel Slope	0.0050	m/m
Manning's n (channel)	0.020	
Channel Invert Elevation	208.510	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	5.000	m
Crest Elevation	212.000	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	12.000	m

Culvert Properties

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	U...
CULVERT DATA		
Name	IN06	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	2000.000	mm
Rise	2000.000	mm
Embedment D...	0.000	mm
Manning's n	0.020	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configura...	Square Edge (90°) Headwall (Ke=0...	
Inlet Depressio...	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	208.600	m
Outlet Station	17.000	m
Outlet Elevation	208.515	m
Number of Barrels	1	
Computed Culvert Sl...	0.005000	m/m

RELAZIONE IDRAULICA

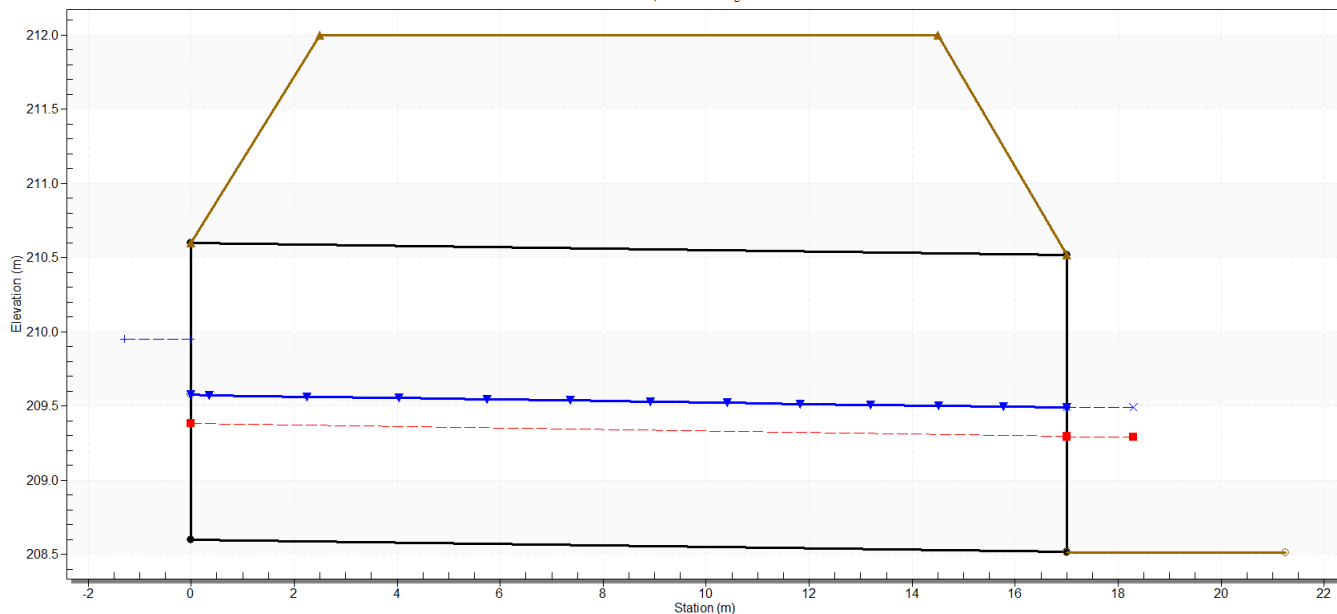
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	76 di 79

CULVERT SUMMARY TABLE

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	208.60	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.47	0.47	208.91	0.30	0.31	3-M2t	0.21	0.18	0.21	0.21	1.13	1.11
0.94	0.94	209.08	0.48	0.48	3-M2t	0.33	0.28	0.33	0.33	1.42	1.40
1.40	1.40	209.23	0.63	0.63	3-M2t	0.44	0.37	0.43	0.44	1.62	1.60
1.87	1.87	209.37	0.76	0.77	3-M2t	0.53	0.45	0.53	0.53	1.77	1.75
2.34	2.34	209.49	0.89	0.89	3-M2t	0.62	0.52	0.62	0.63	1.89	1.87
2.81	2.81	209.61	1.00	1.01	3-M2t	0.71	0.59	0.71	0.71	1.98	1.97
3.28	3.28	209.72	1.11	1.12	3-M2t	0.80	0.65	0.79	0.80	2.07	2.06
3.74	3.74	209.83	1.21	1.23	3-M2t	0.88	0.71	0.87	0.88	2.14	2.13
4.32	4.32	209.95	1.32	1.35	3-M2t	0.98	0.78	0.97	0.98	2.22	2.21
4.68	4.68	210.03	1.39	1.43	3-M2t	1.04	0.82	1.03	1.04	2.27	2.25

WATER SURFACE PROFILE

Crossing - IN06, Design Discharge - 4.32 cms
Culvert - IN06, Culvert Discharge - 4.32 cms



OPERA STRADALE NI01

INPUT DATA

Crossing Properties

Name:

Parameter	Value	Units
DISCHARGE DATA		
Discharge Method	Minimum, Design, and Maximum	
Minimum Flow	0.000	cms
Design Flow	3.690	cms
Maximum Flow	3.990	cms
TAILWATER DATA		
Channel Type	Rectangular Channel	
Bottom Width	3.000	m
Channel Slope	0.0050	m/m
Manning's n (channel)	0.020	
Channel Invert Elevation	202.825	m
Rating Curve	View...	
ROADWAY DATA		
Roadway Profile Shape	Constant Roadway Elevation	
First Roadway Station	0.000	m
Crest Length	5.000	m
Crest Elevation	206.800	m
Roadway Surface	Paved	
Top Width	15.000	m

Culvert Properties

Add Culvert
Duplicate Culvert
Delete Culvert

Parameter	Value	U...
CULVERT DATA		
Name	NI01	
Shape	Concrete Box	
Material	Concrete	
Span	3000.000	mm
Rise	2000.000	mm
Embedment D...	0.000	mm
Manning's n	0.020	
Culvert Type	Straight	
Inlet Configura...	Square Edge (90°) Headwall (Ke=0...	
Inlet Depressio...	No	
SITE DATA		
Site Data Input Option	Culvert Invert Data	
Inlet Station	0.000	m
Inlet Elevation	202.950	m
Outlet Station	25.000	m
Outlet Elevation	202.825	m
Number of Barrels	1	
Computed Culvert Sl...	0.005000	m/m

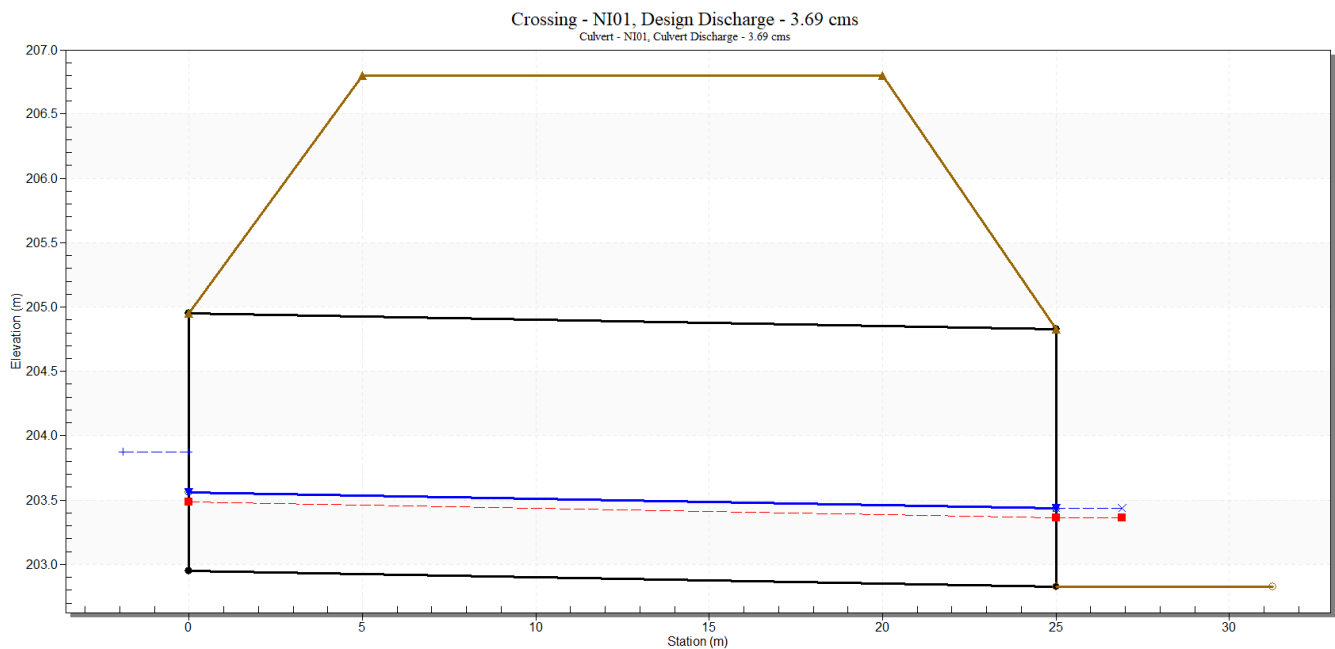
RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IR0F	01 R 09	RI	ID0002 002	B	78 di 79

CULVERT SUMMARY TABLE

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.00	0.00	202.95	0.00	0.0	0-NF	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.40	0.40	203.16	0.21	0.21	3-M1t	0.14	0.12	0.14	0.14	0.92	0.92
0.80	0.80	203.28	0.33	0.33	3-M1t	0.22	0.19	0.22	0.22	1.19	1.19
1.20	1.20	203.38	0.43	0.43	3-M1t	0.29	0.25	0.29	0.29	1.38	1.38
1.60	1.60	203.48	0.52	0.53	3-M1t	0.35	0.31	0.35	0.35	1.52	1.52
1.99	1.99	203.56	0.61	0.61	3-M1t	0.40	0.36	0.40	0.40	1.65	1.65
2.39	2.39	203.64	0.69	0.69	3-M1t	0.45	0.40	0.46	0.46	1.75	1.75
2.79	2.79	203.71	0.76	0.76	3-M1t	0.50	0.45	0.50	0.50	1.85	1.85
3.19	3.19	203.79	0.83	0.84	3-M1t	0.55	0.49	0.55	0.55	1.93	1.93
3.69	3.69	203.87	0.92	0.92	3-M1t	0.61	0.54	0.61	0.61	2.02	2.02
3.99	3.99	203.92	0.97	0.97	3-M1t	0.64	0.56	0.64	0.64	2.07	2.07

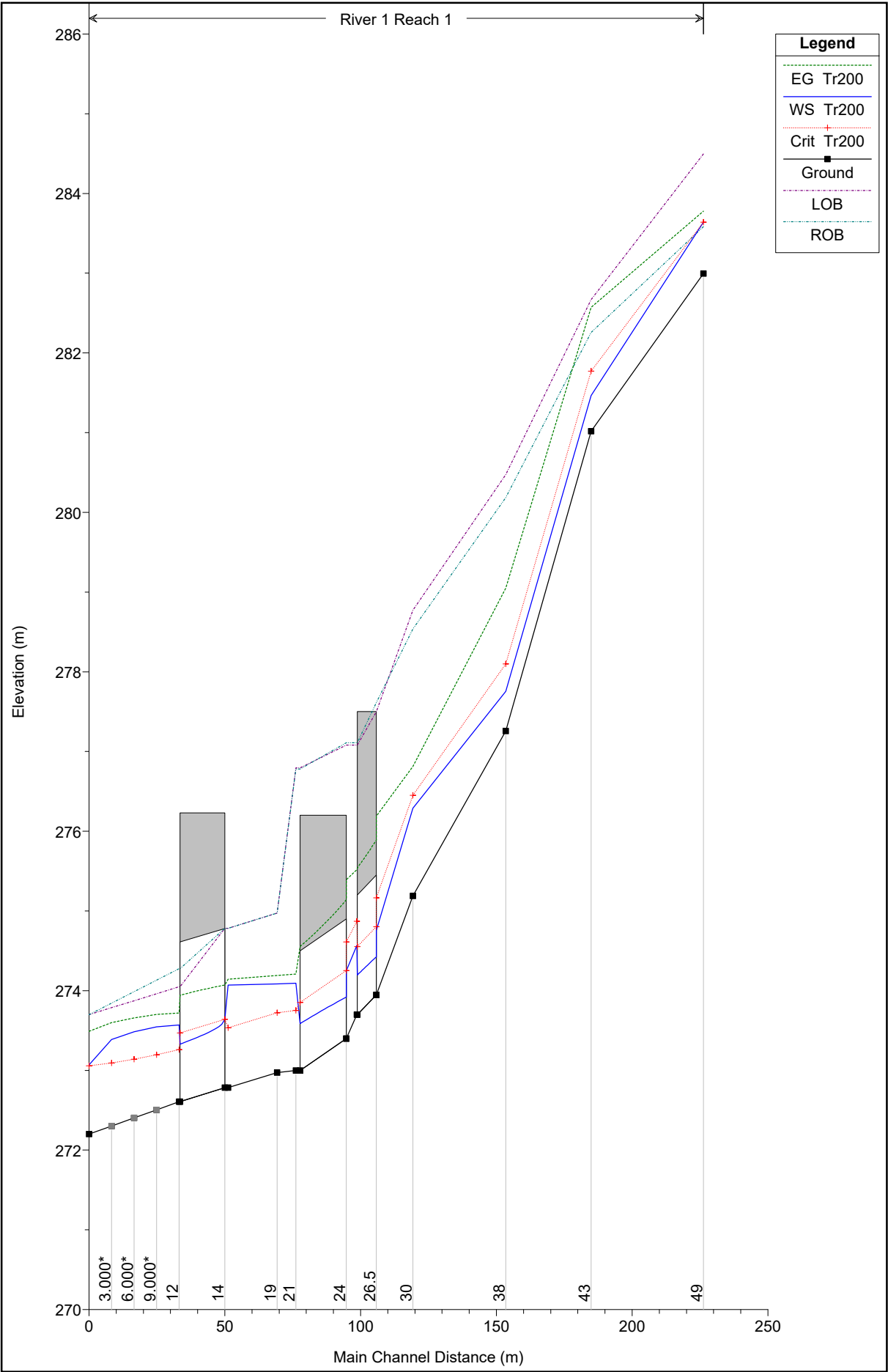
WATER SURFACE PROFILE

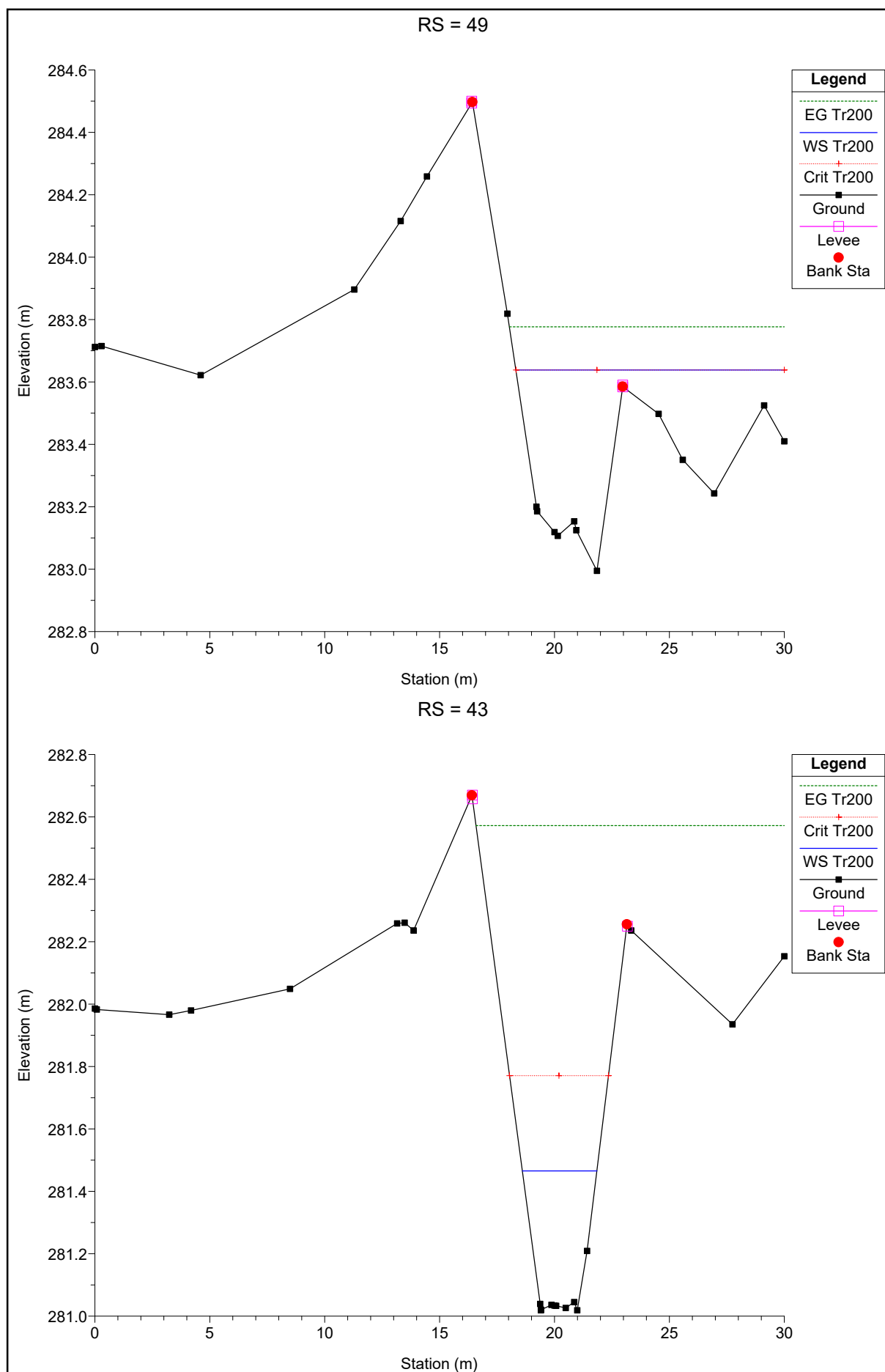


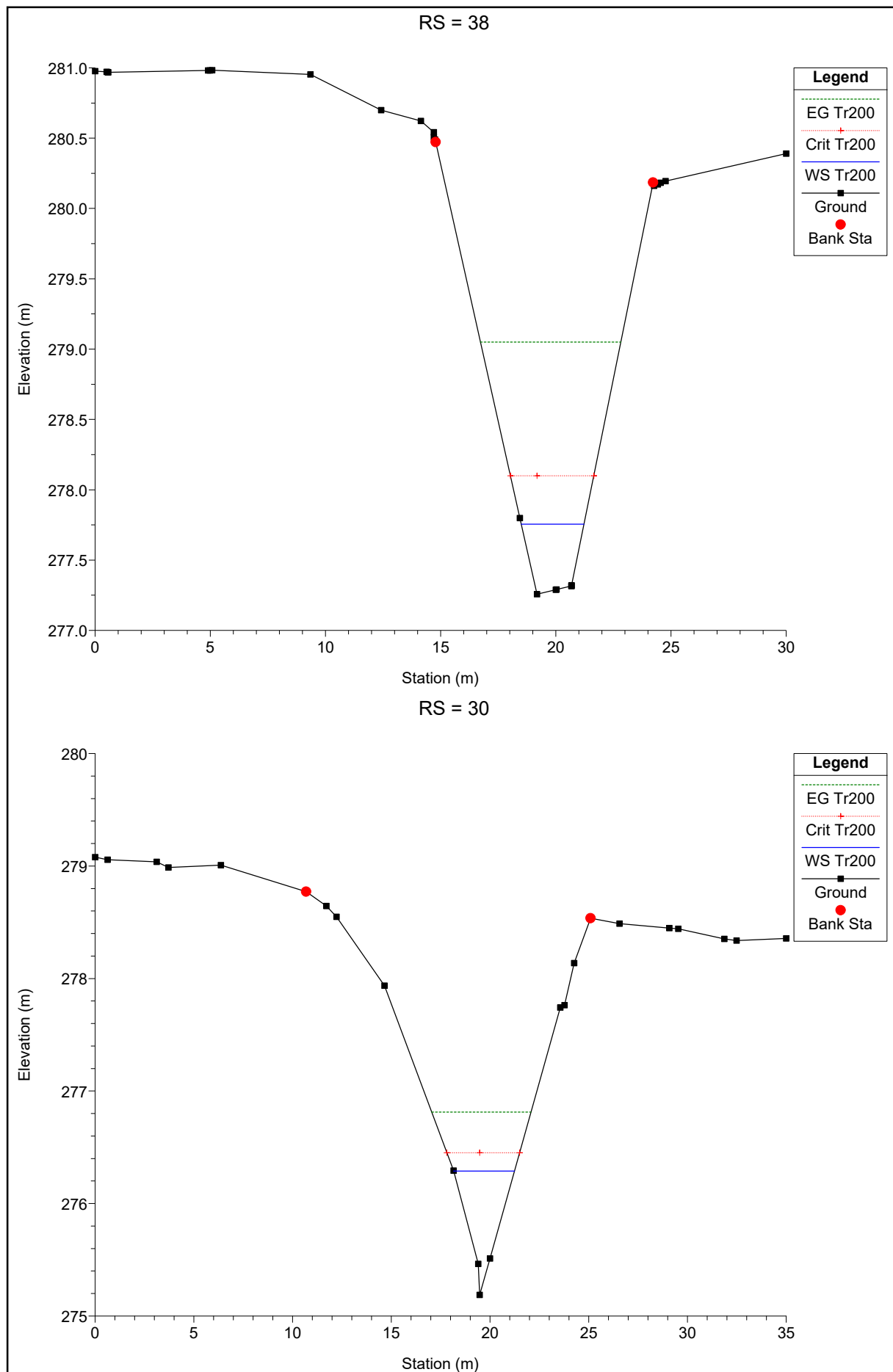
	POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE ORTE - FALCONARA. RADDOPPIO DELLA TRATTA PM228 – CASTELPLANIO Lotto 1 PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IR0F	LOTTO 01 R 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. B	FOGLIO 79 di 79

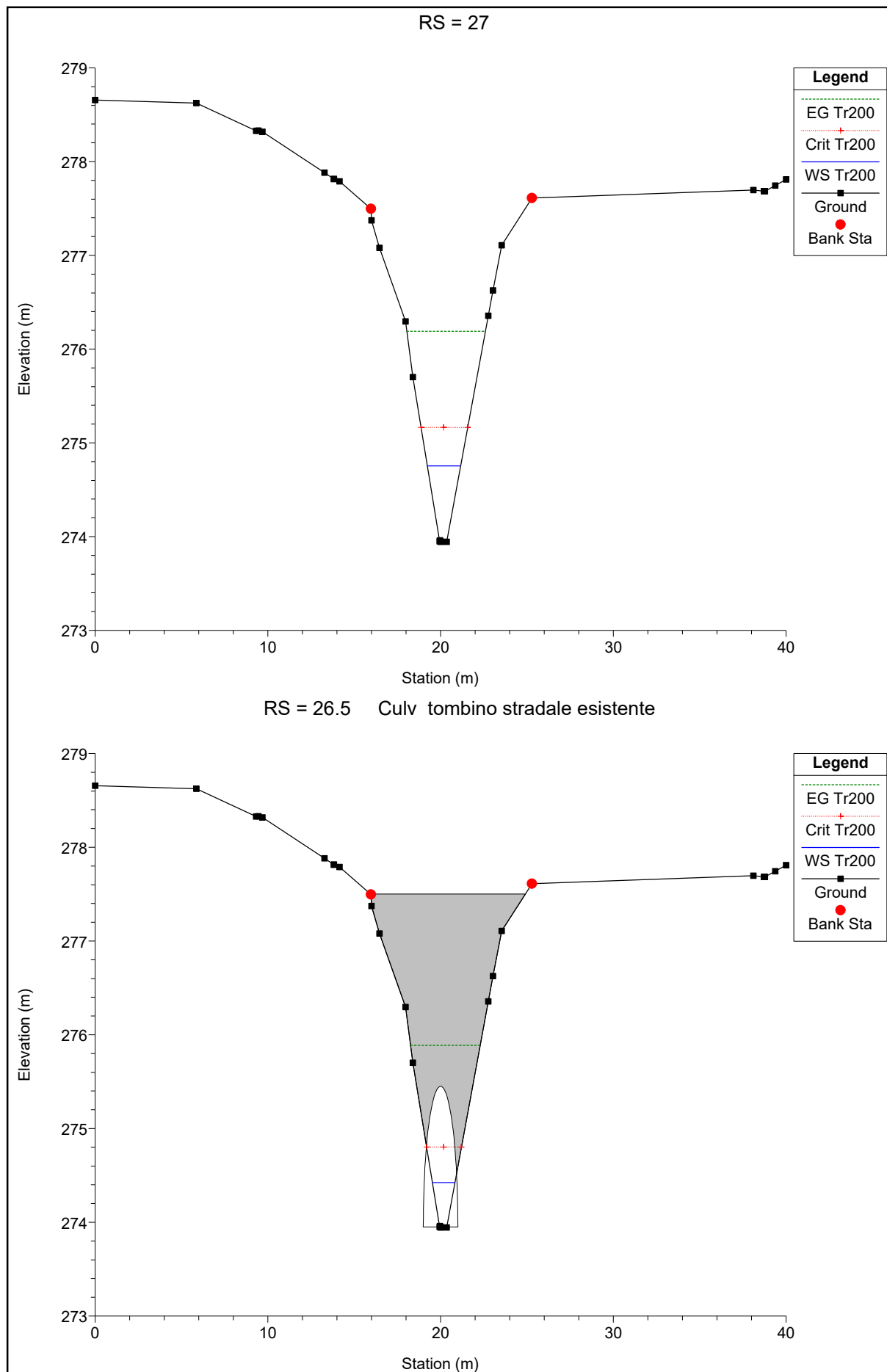
ALLEGATO B: RISULTATI MODELLAZIONE HEC-RAS

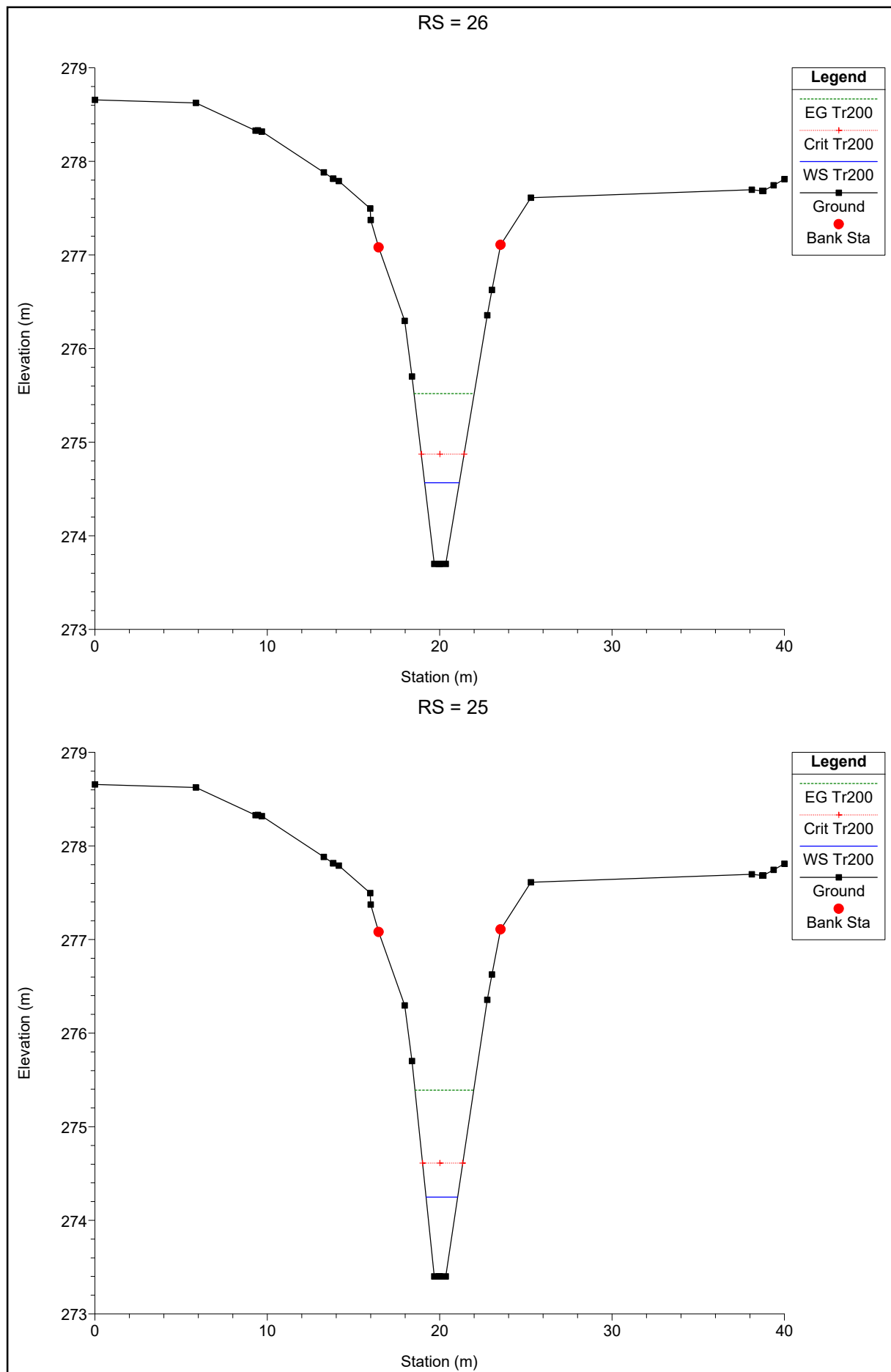
IN01-ANTE OPERAM

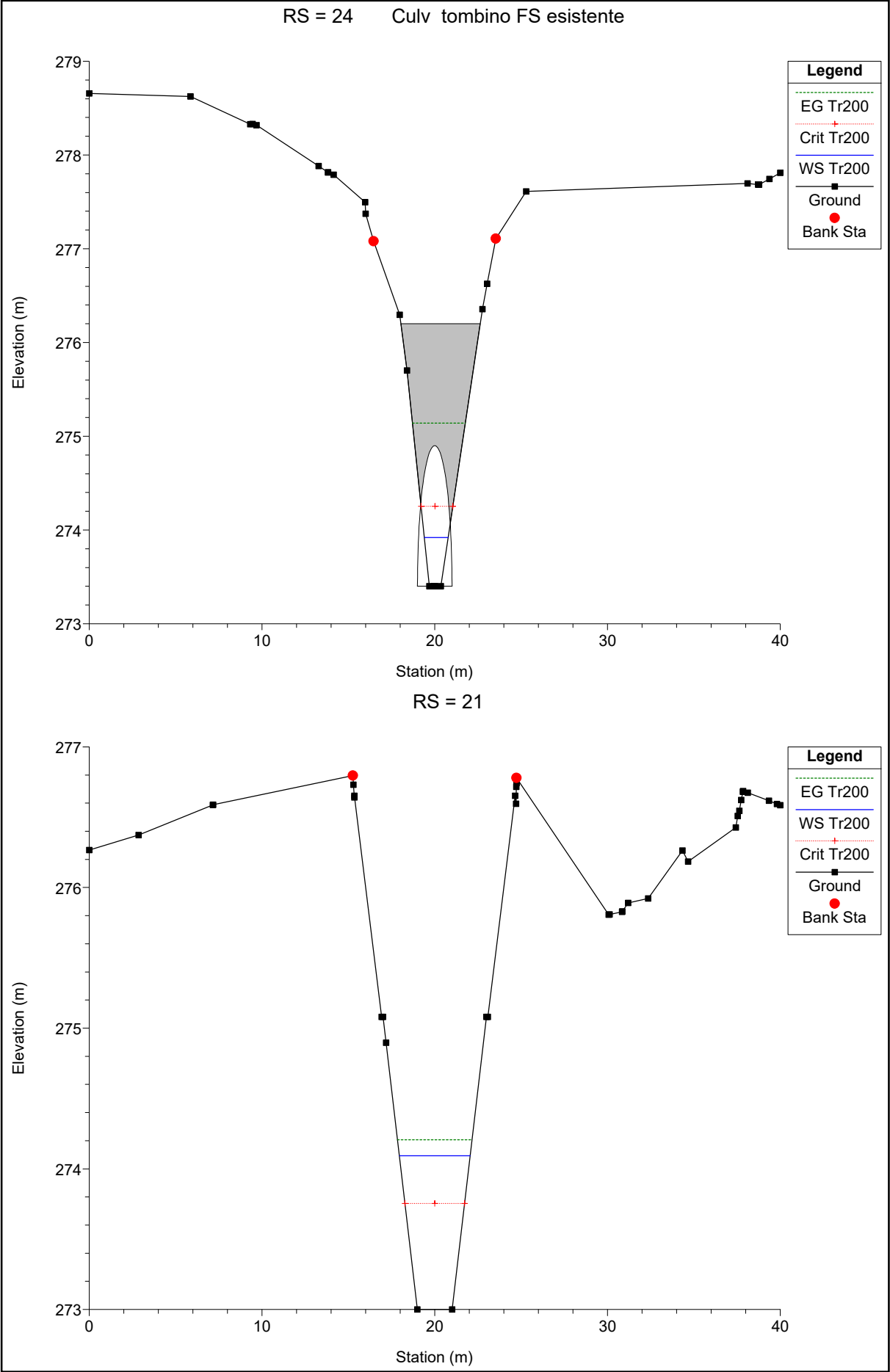


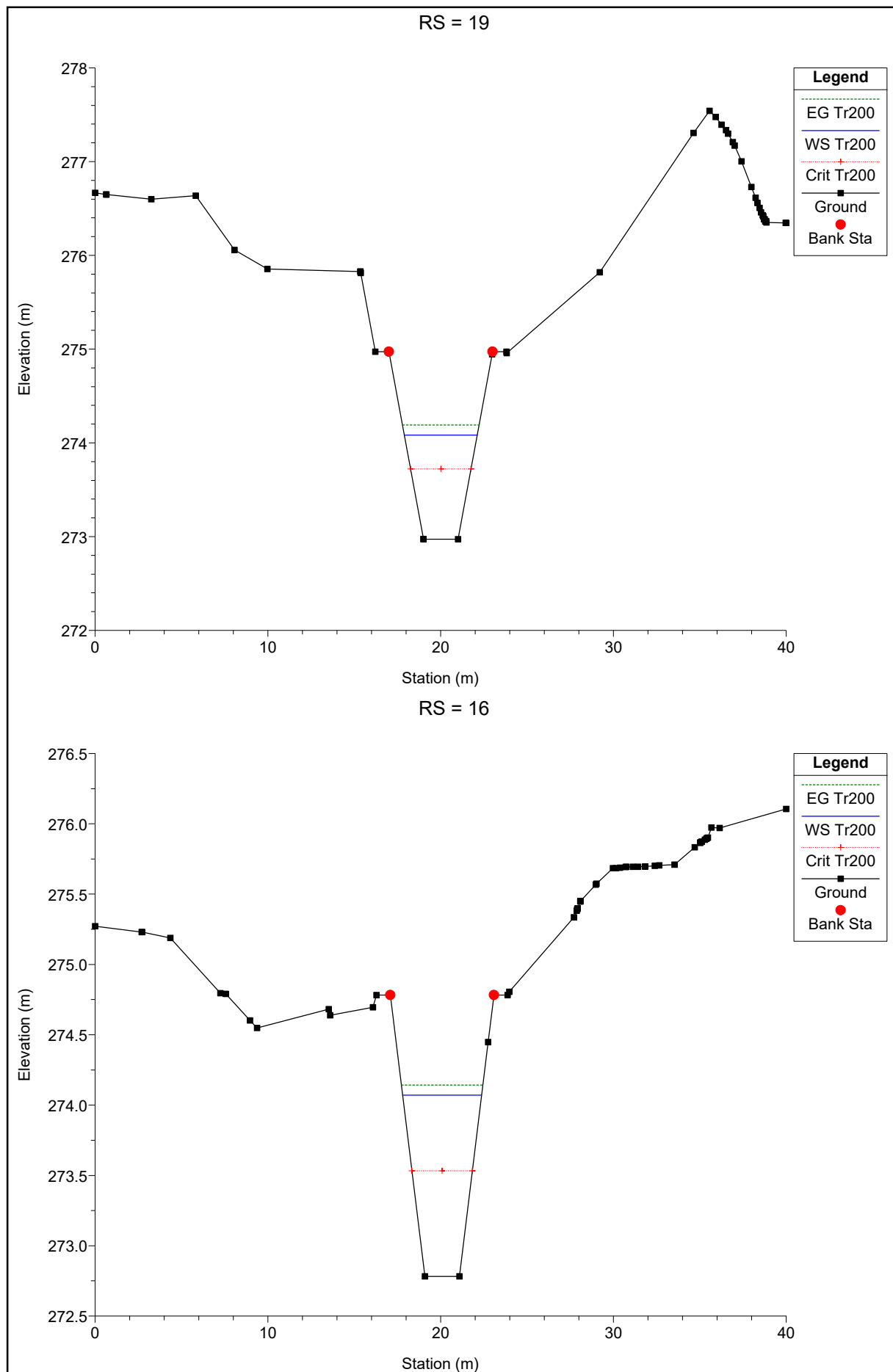


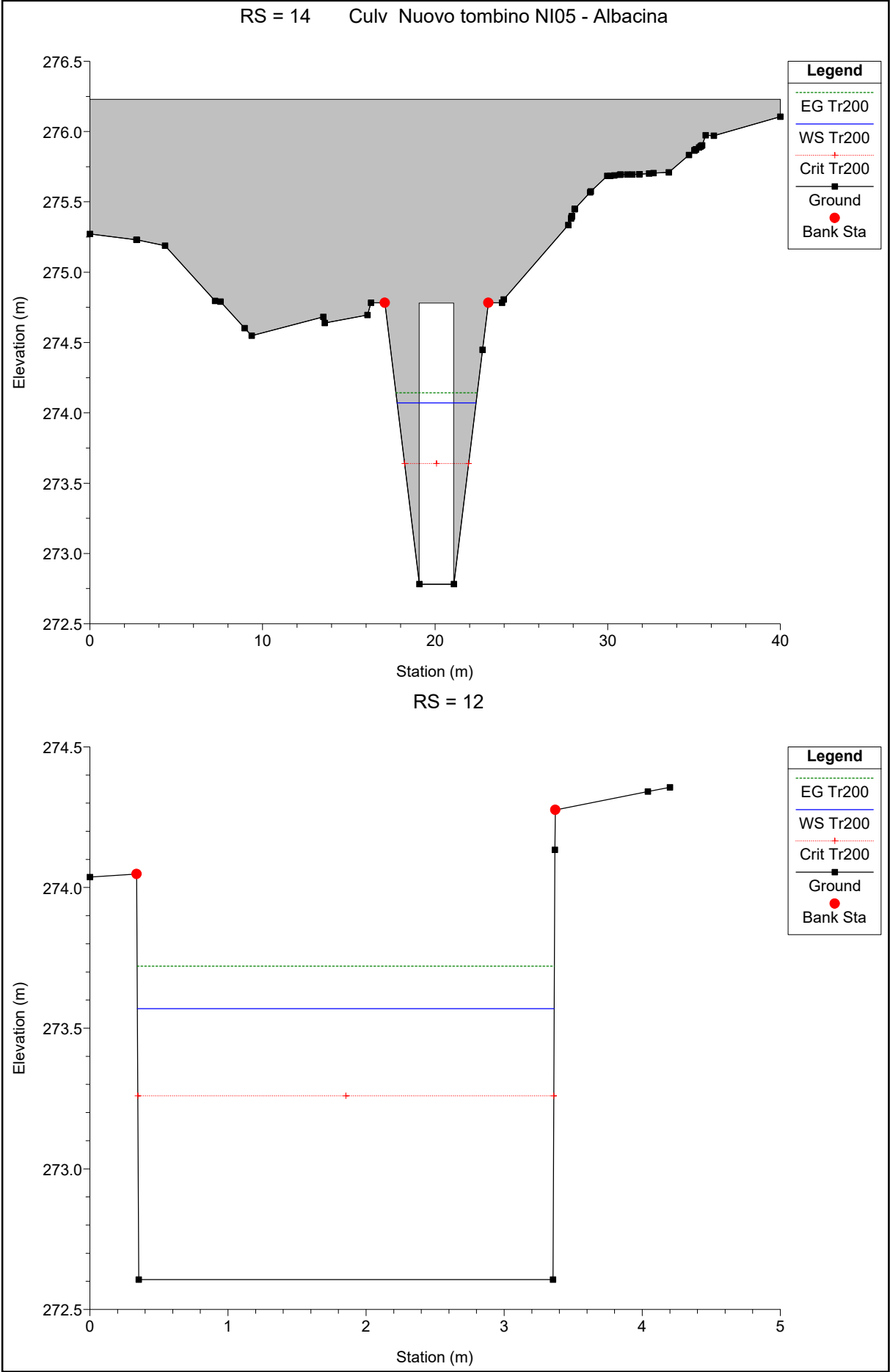


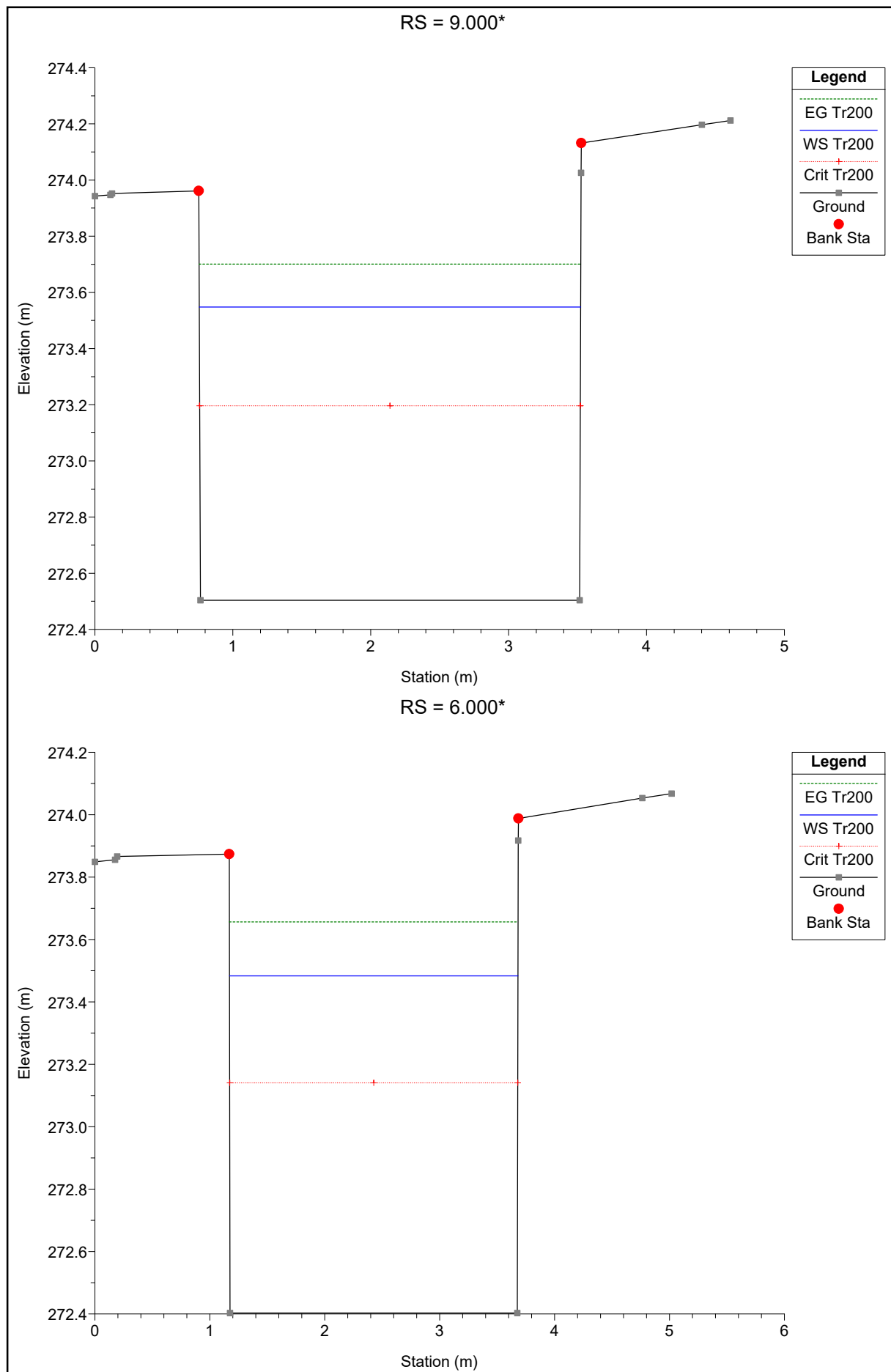


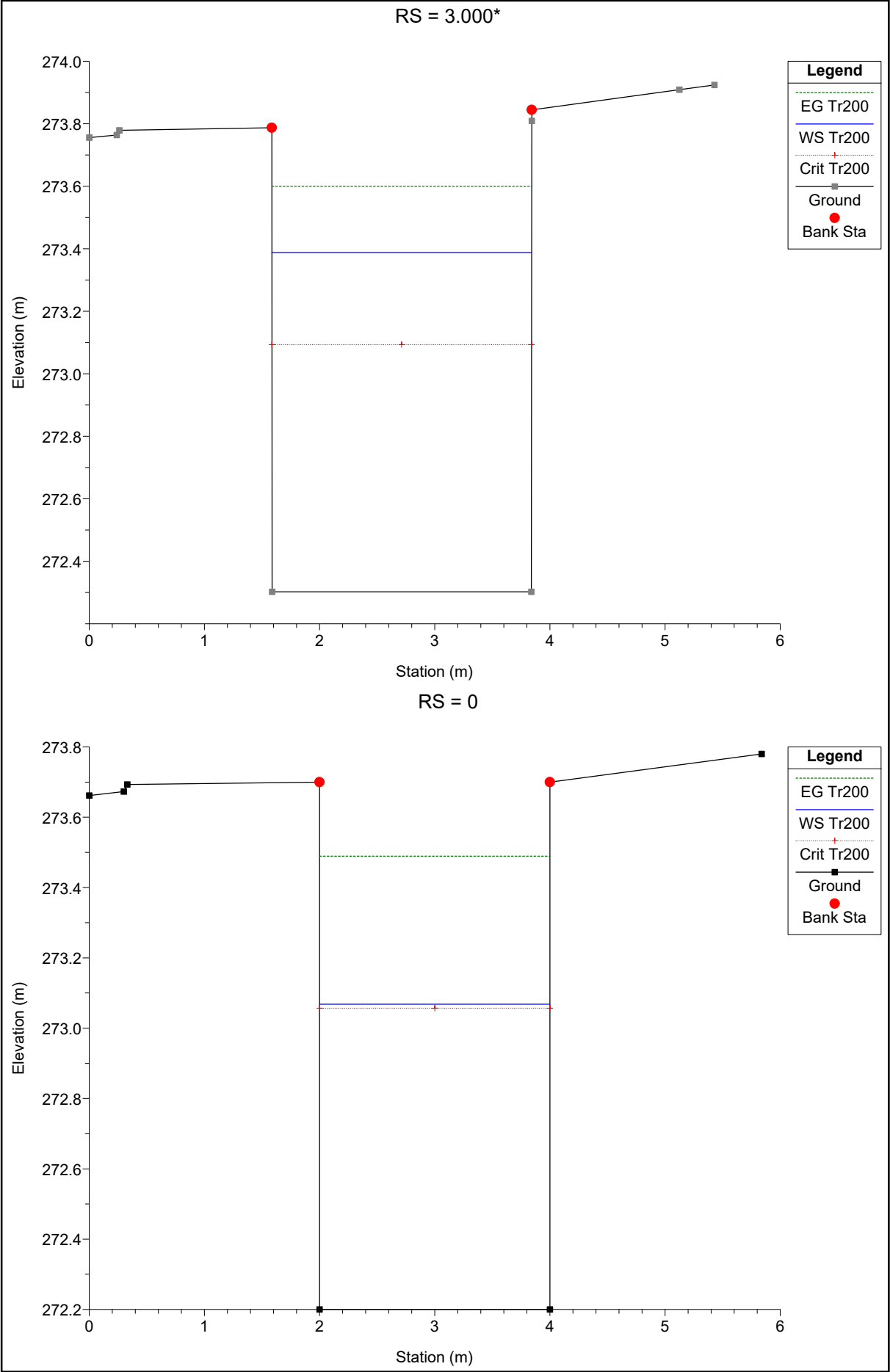




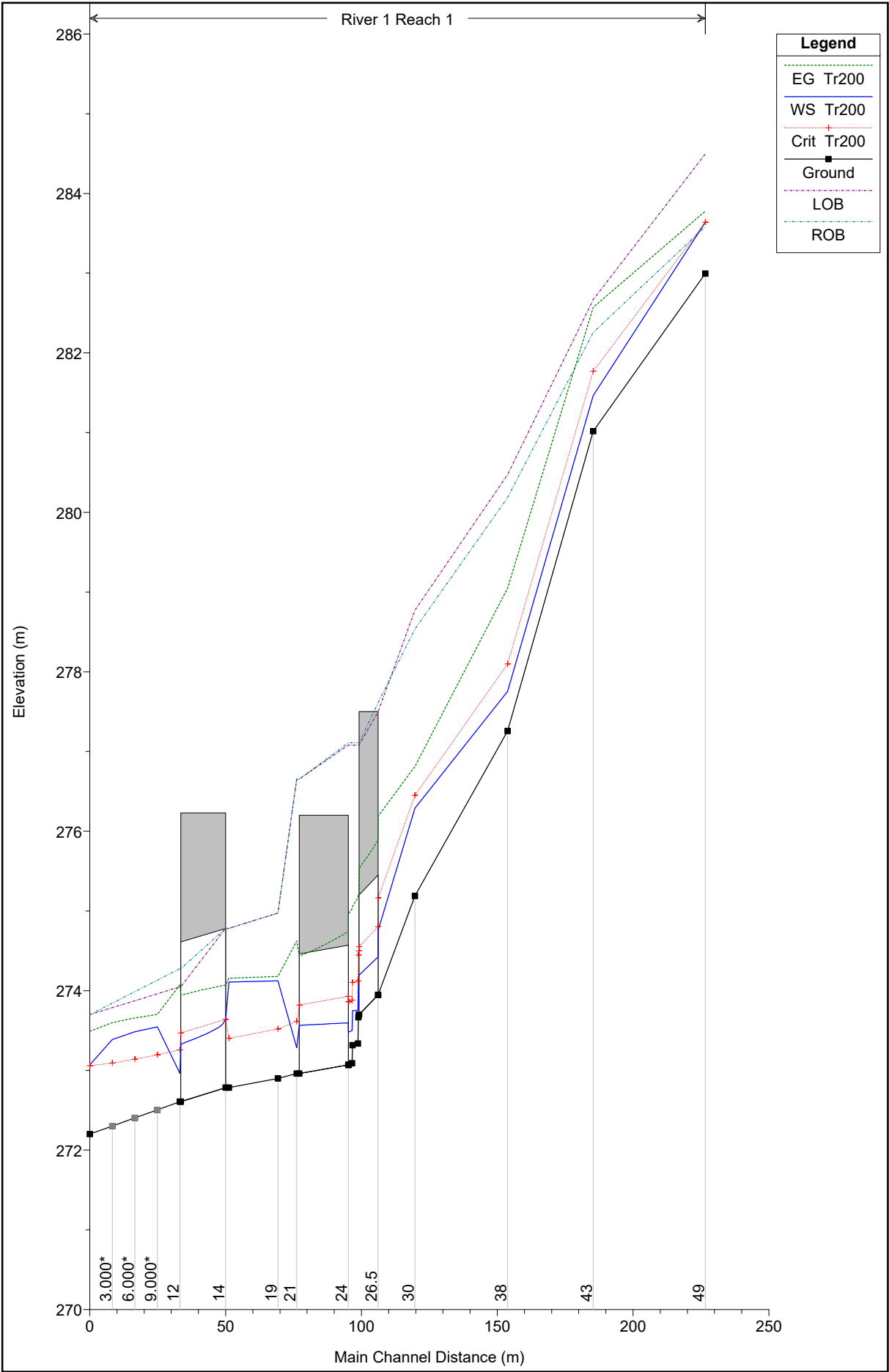


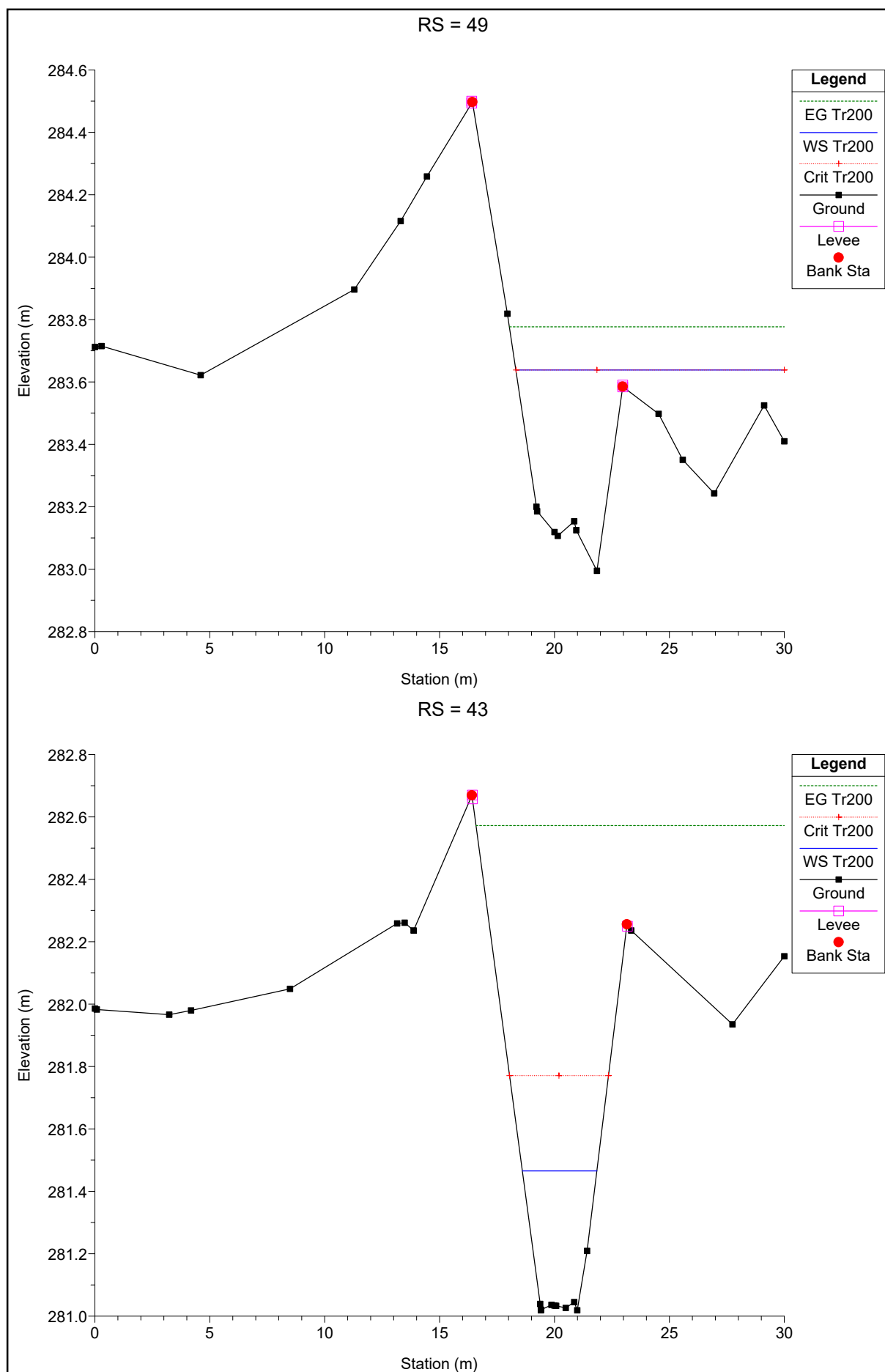


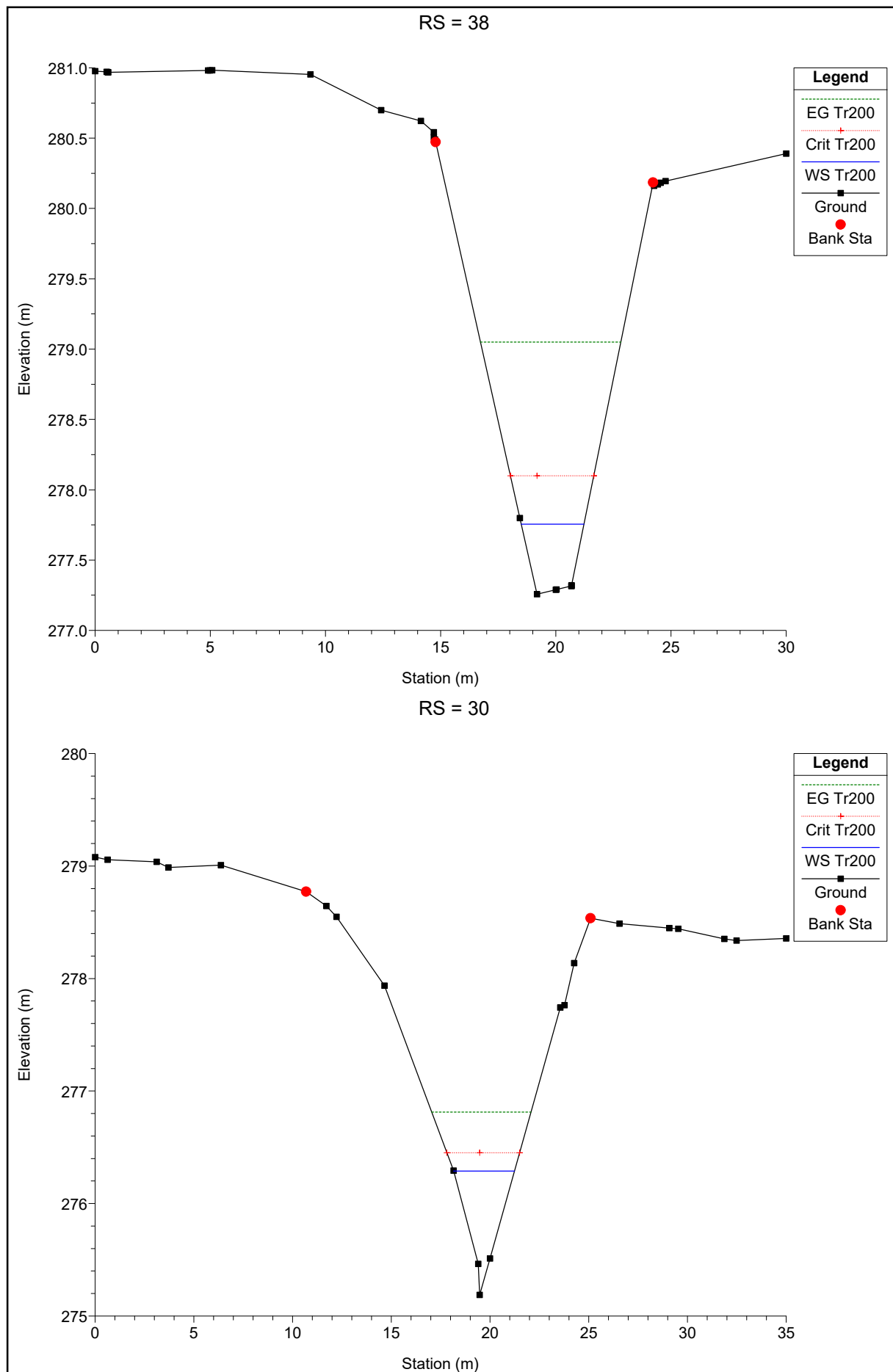


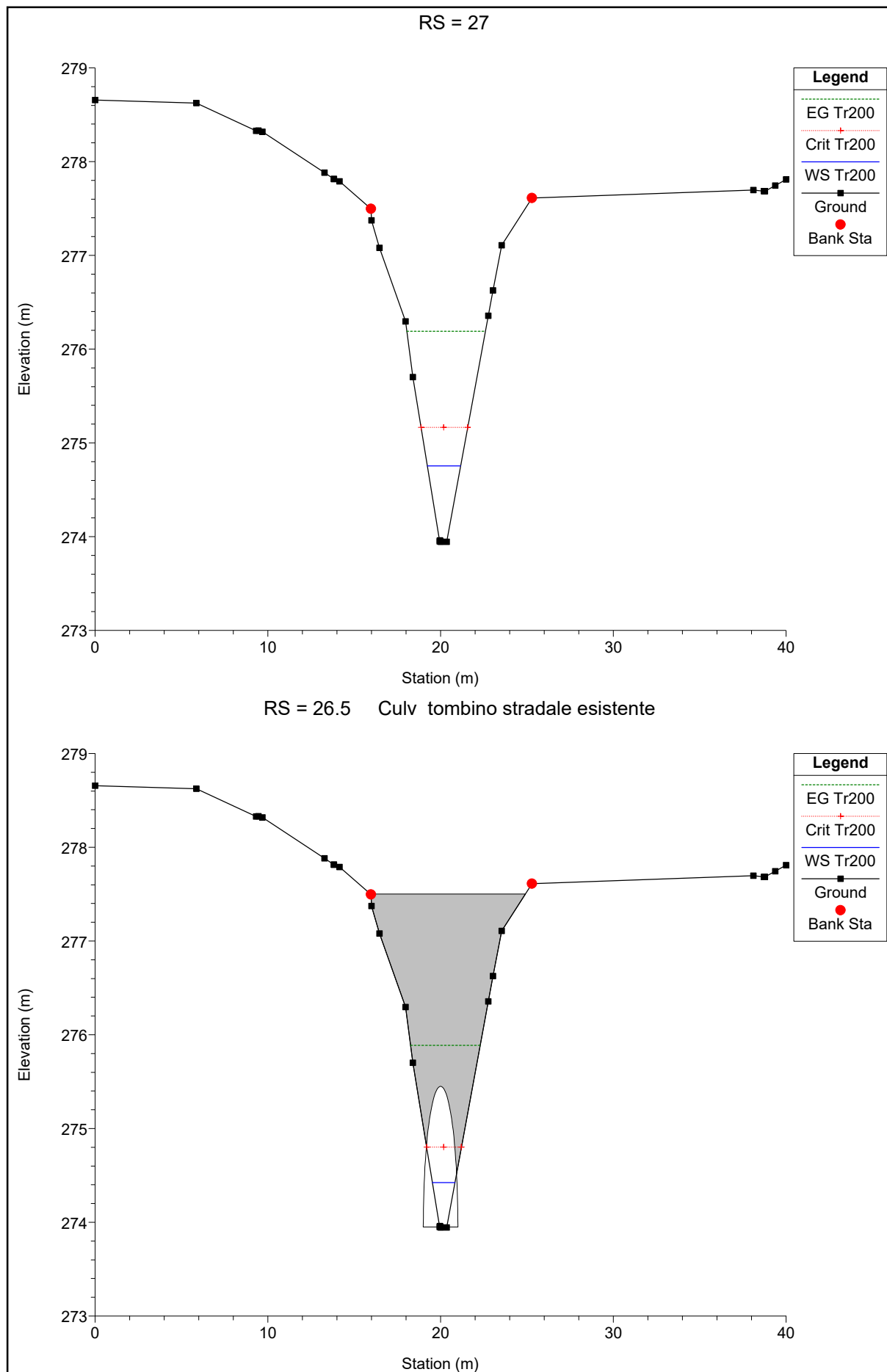


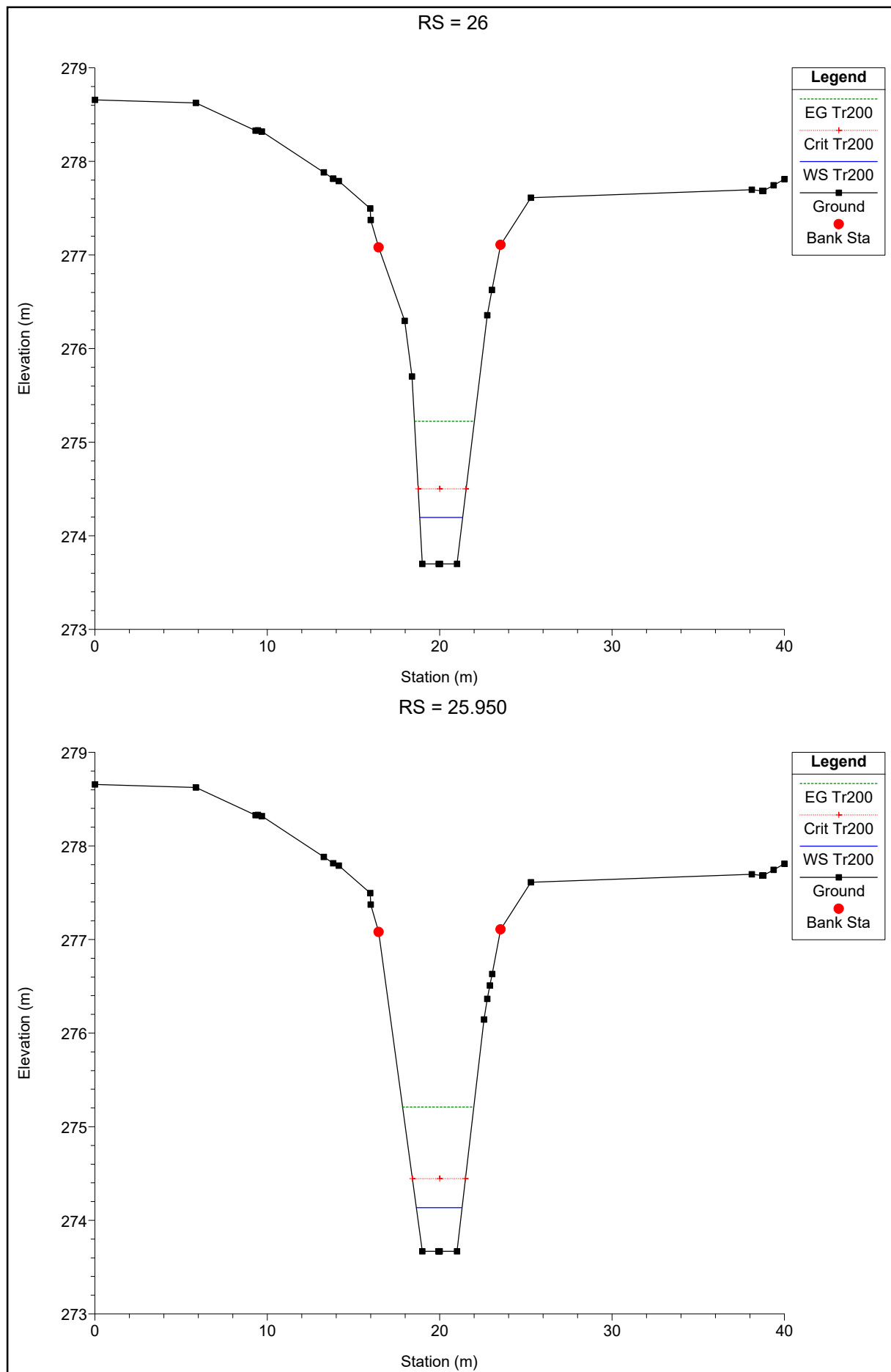
IN01-POST OPERAM

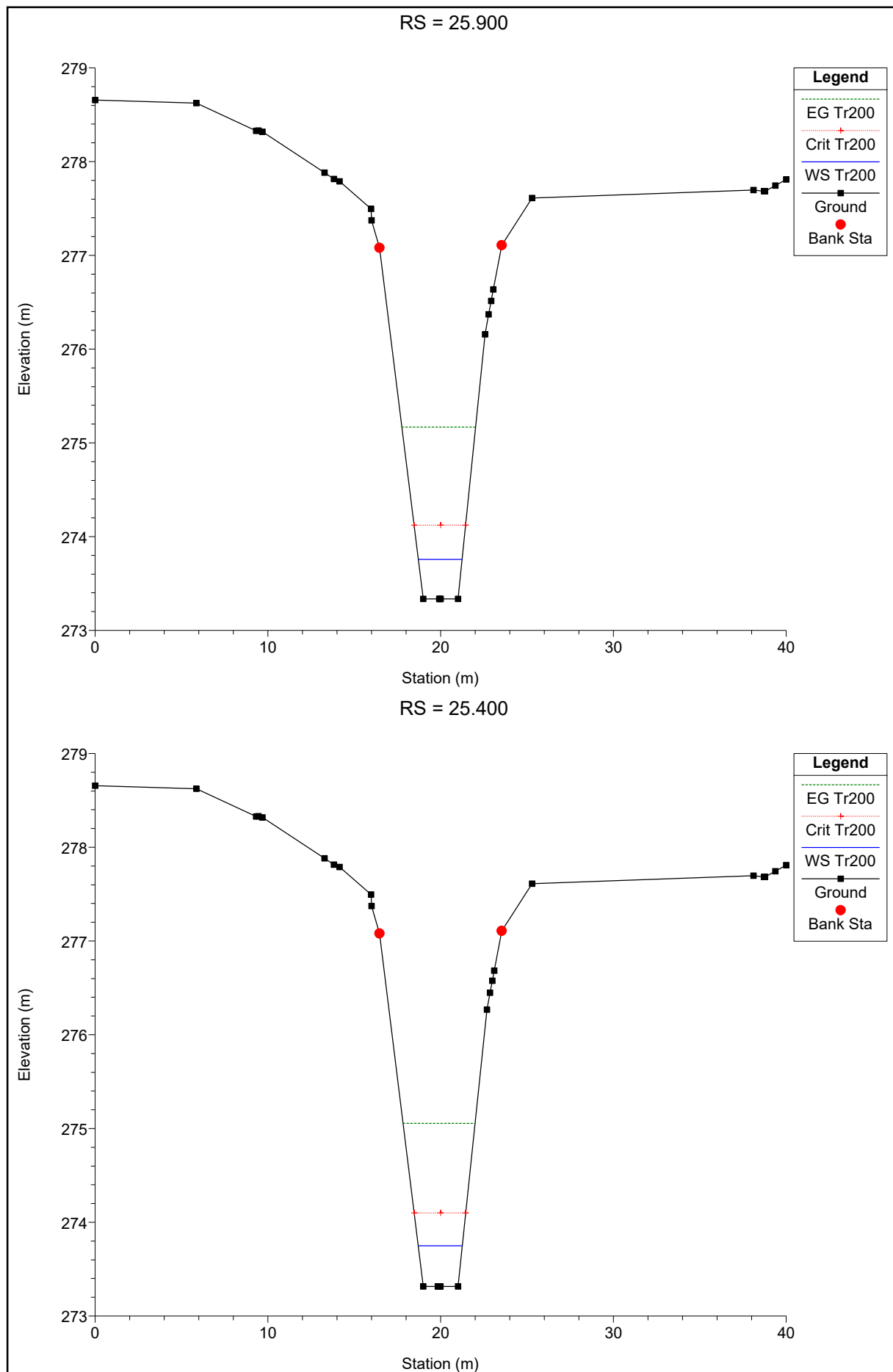


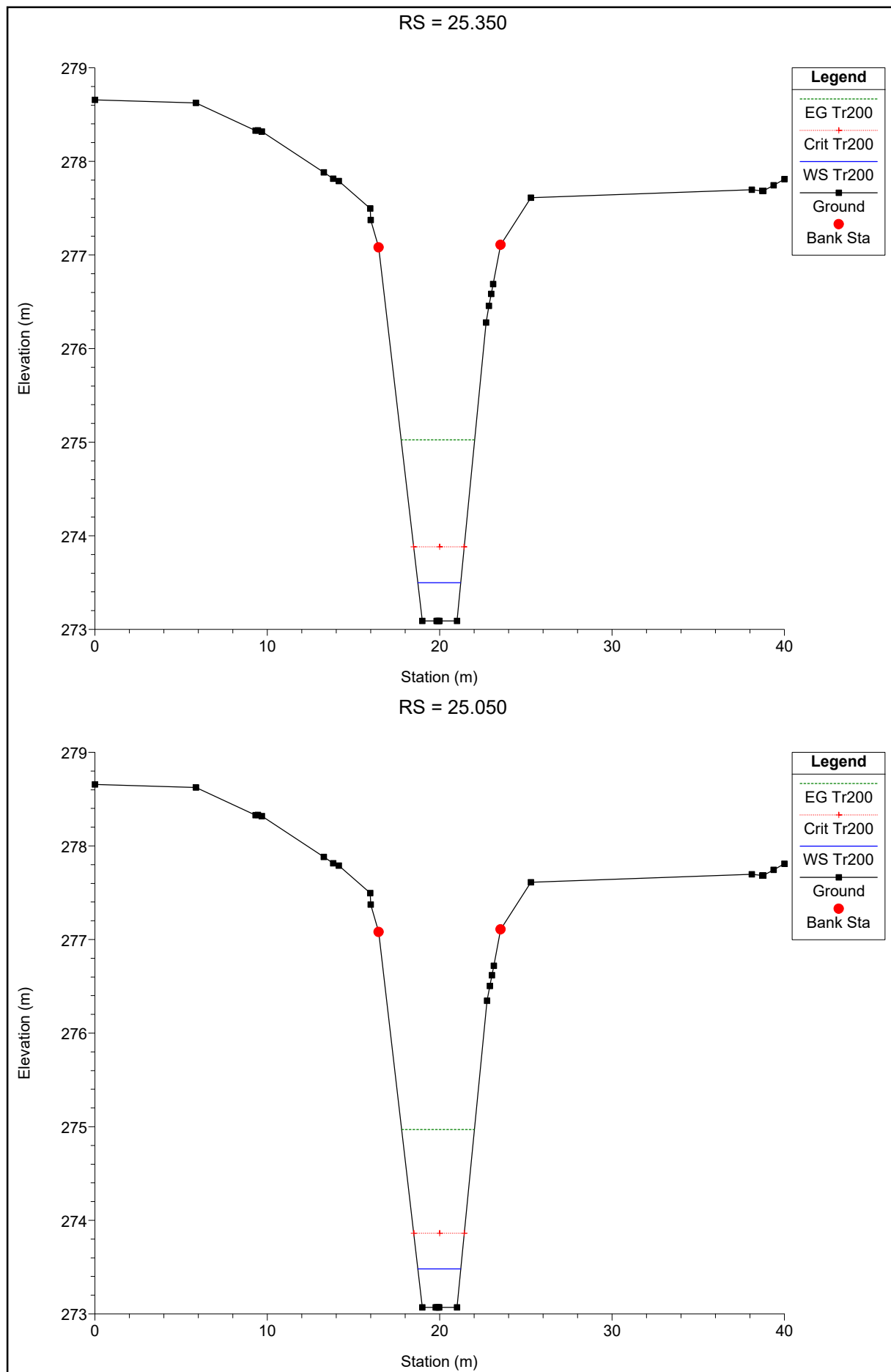


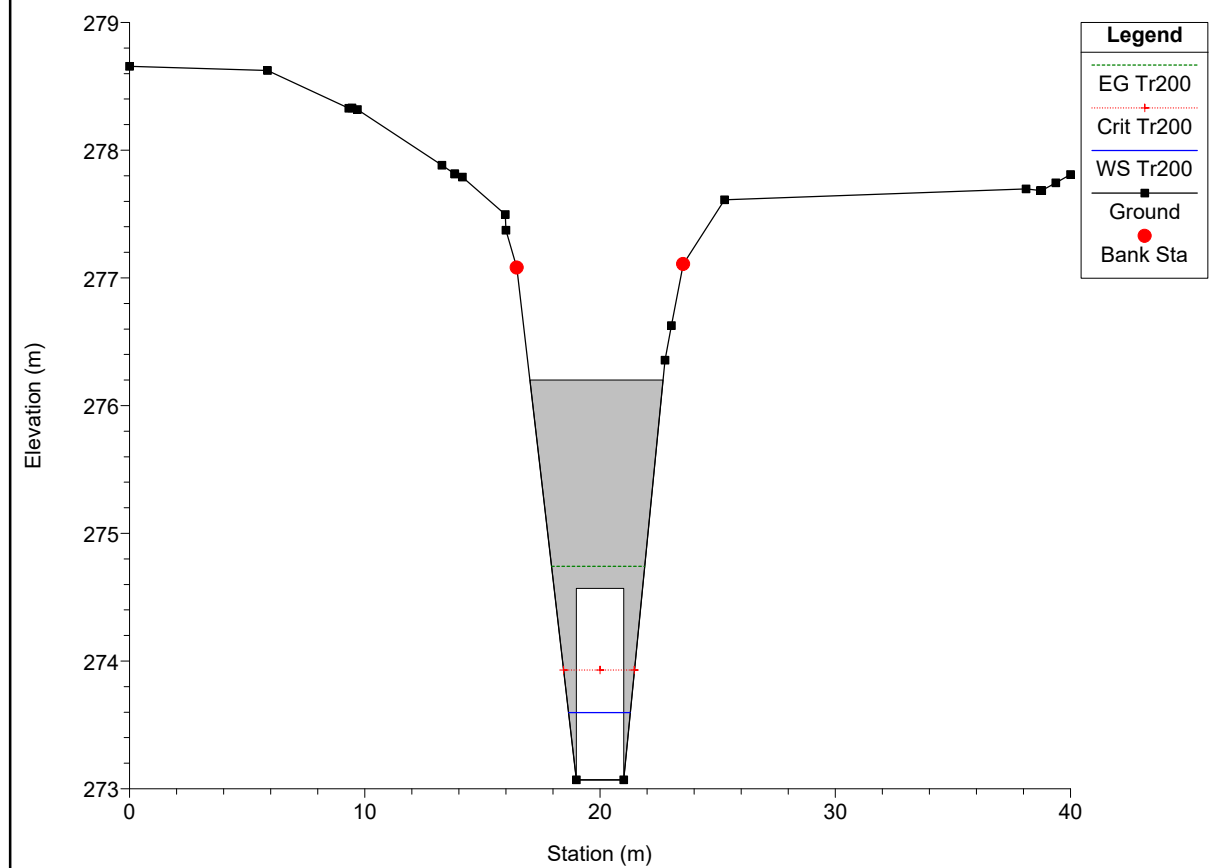
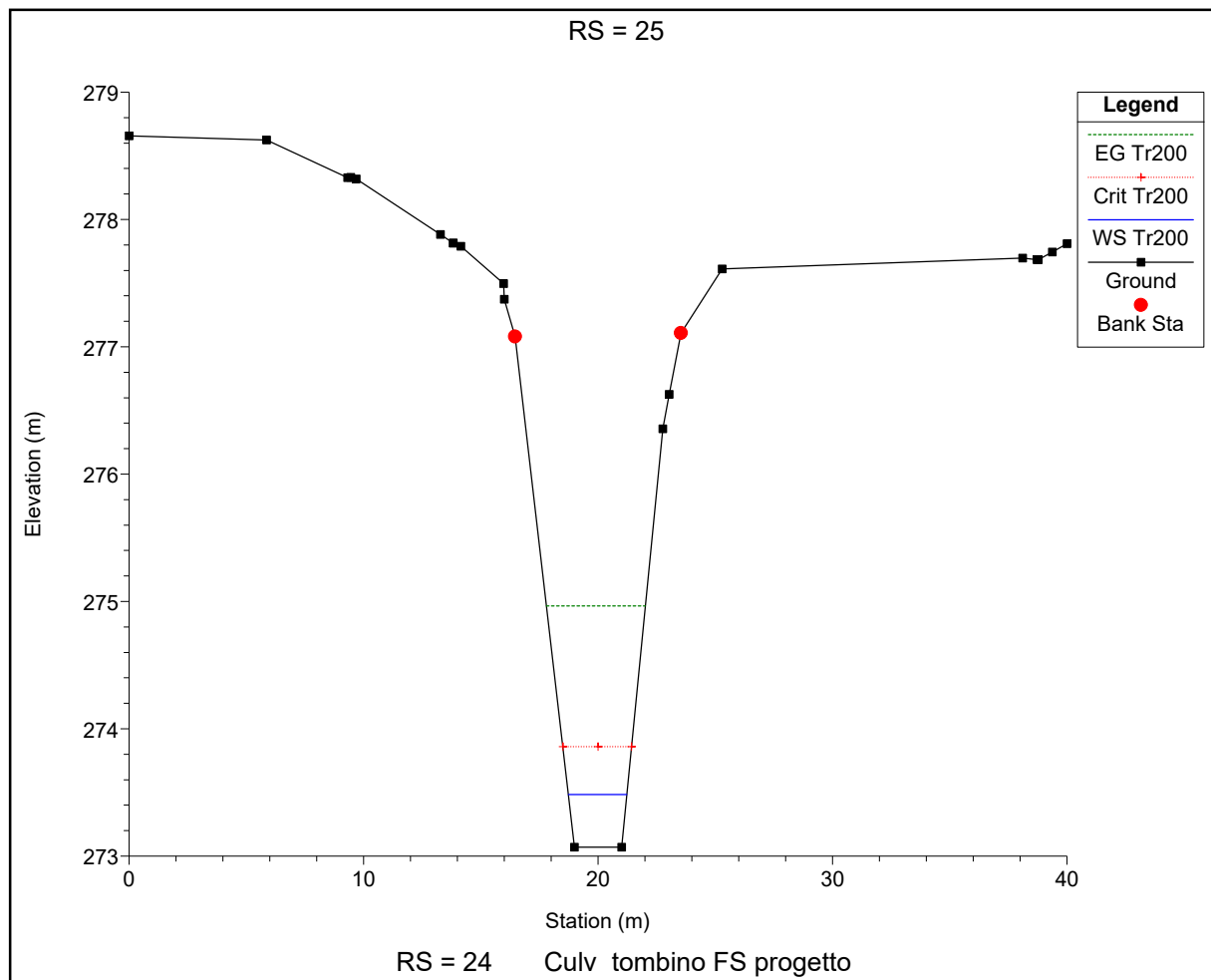


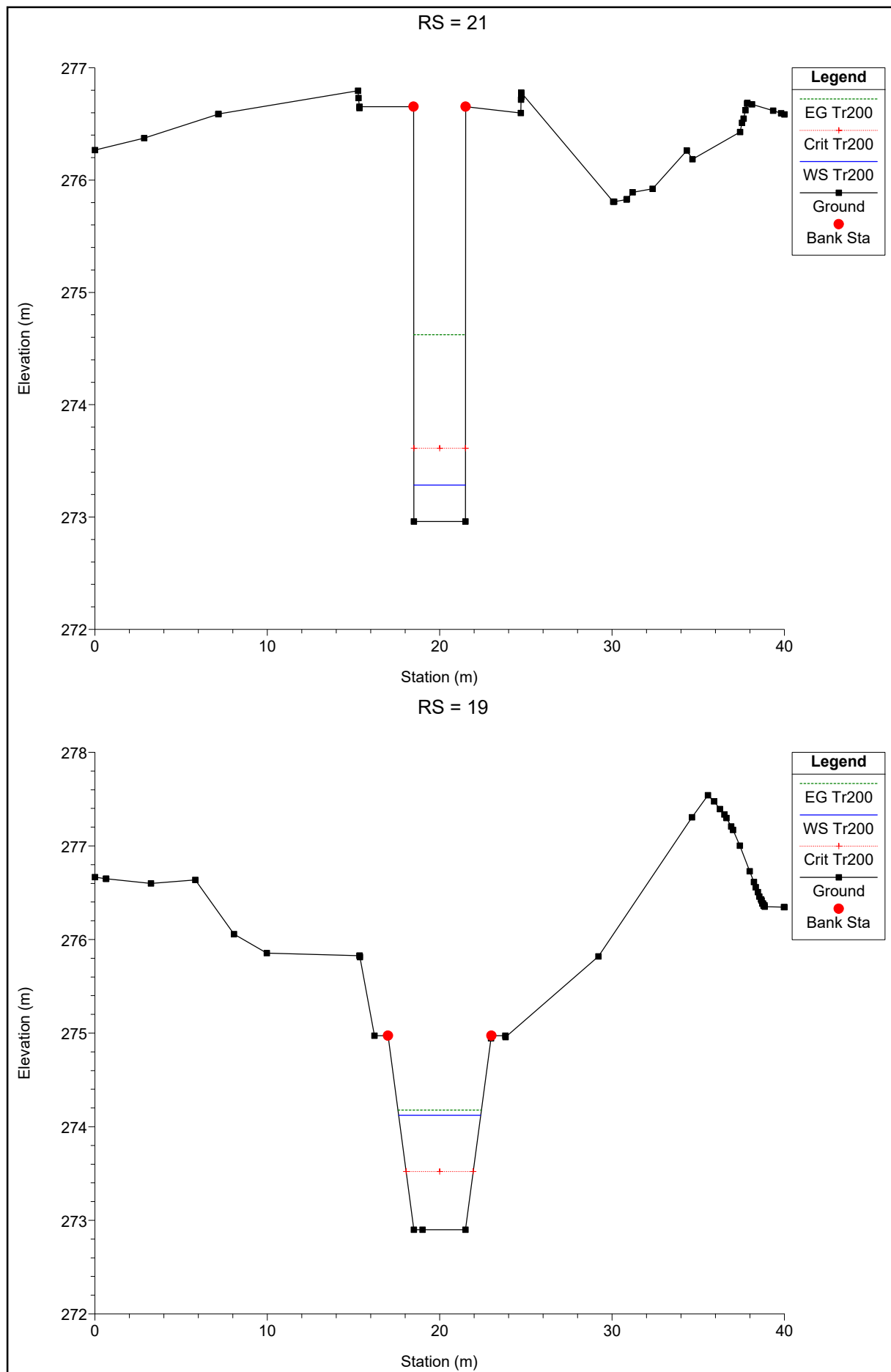


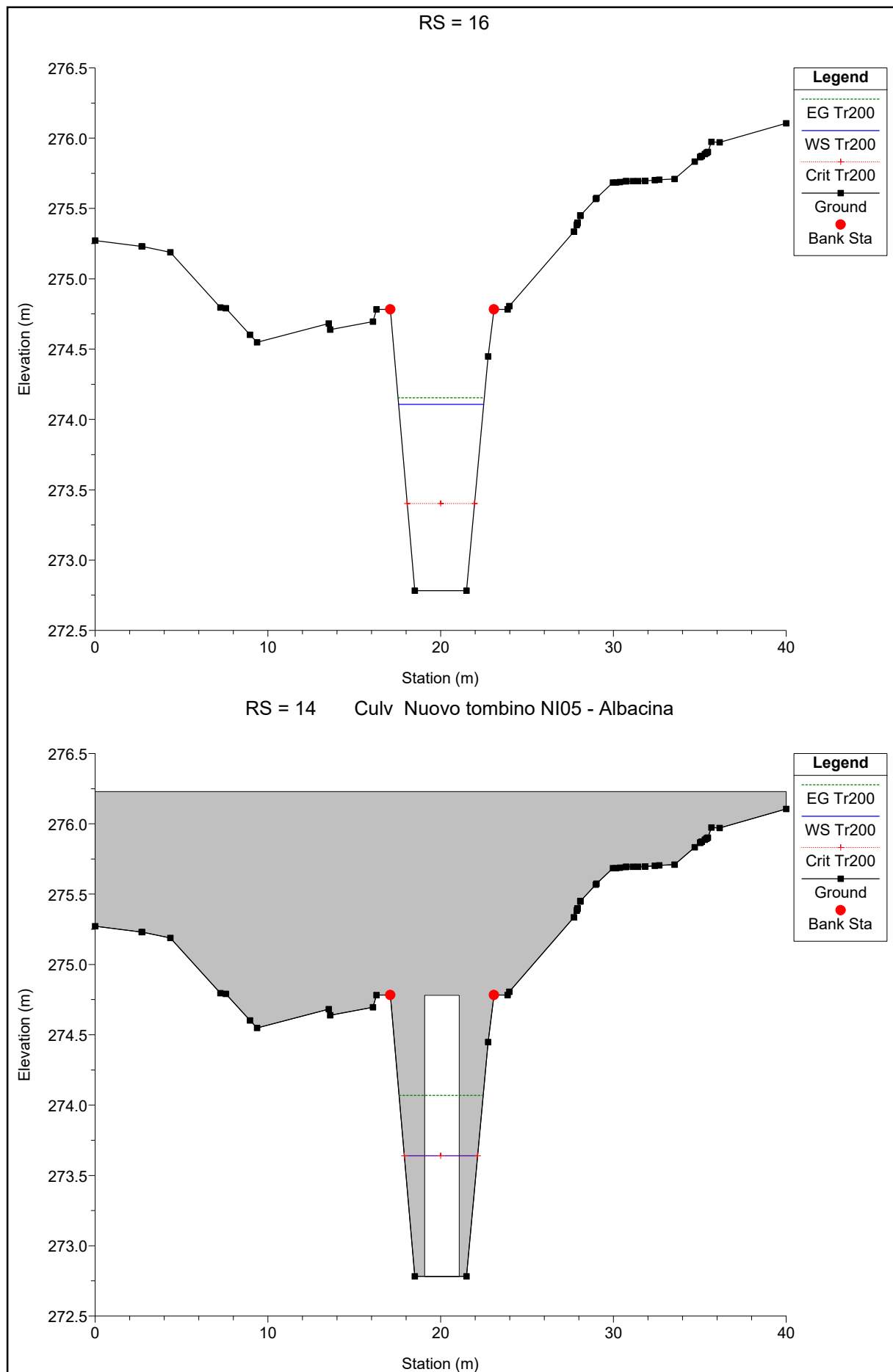


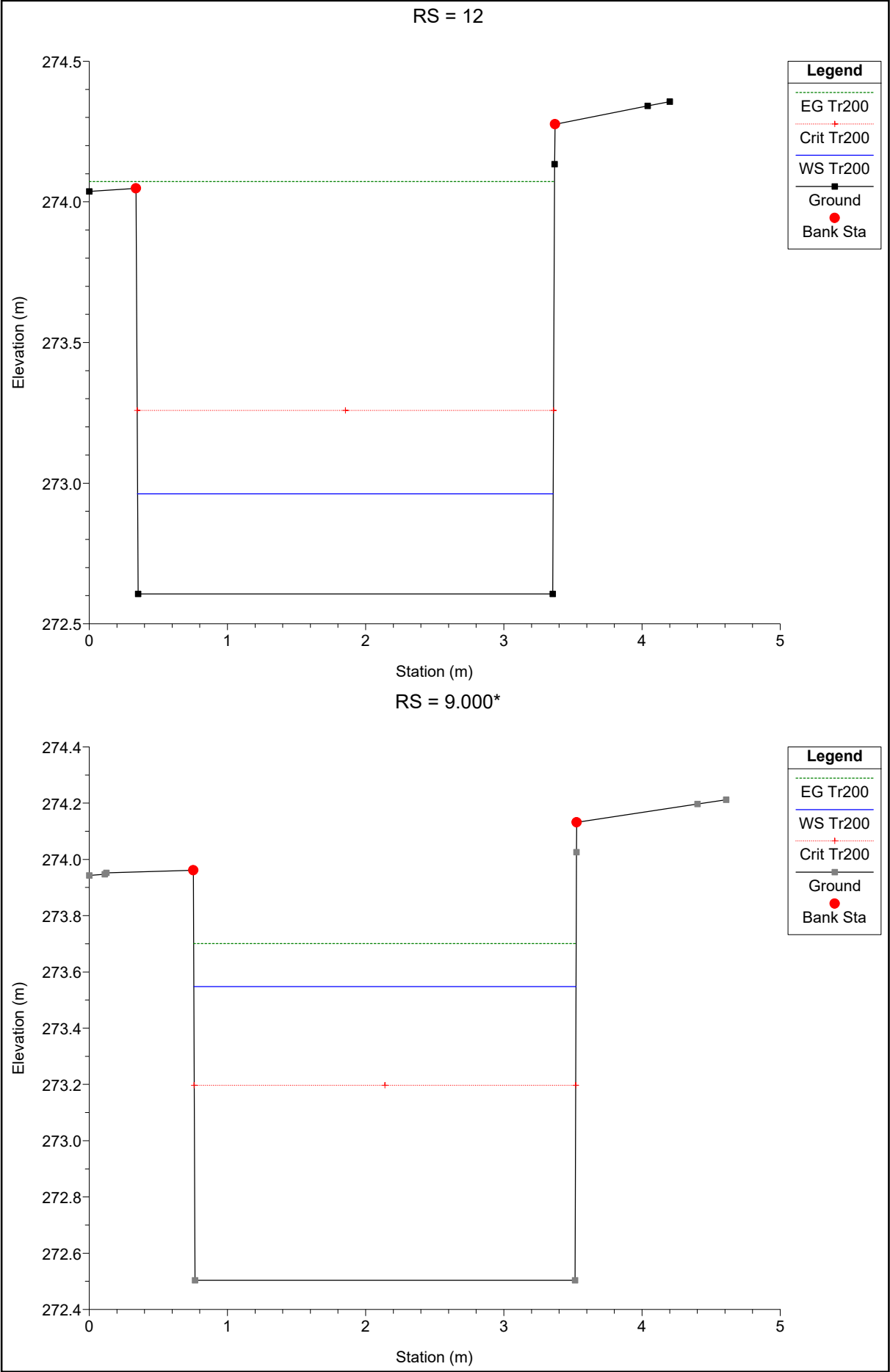


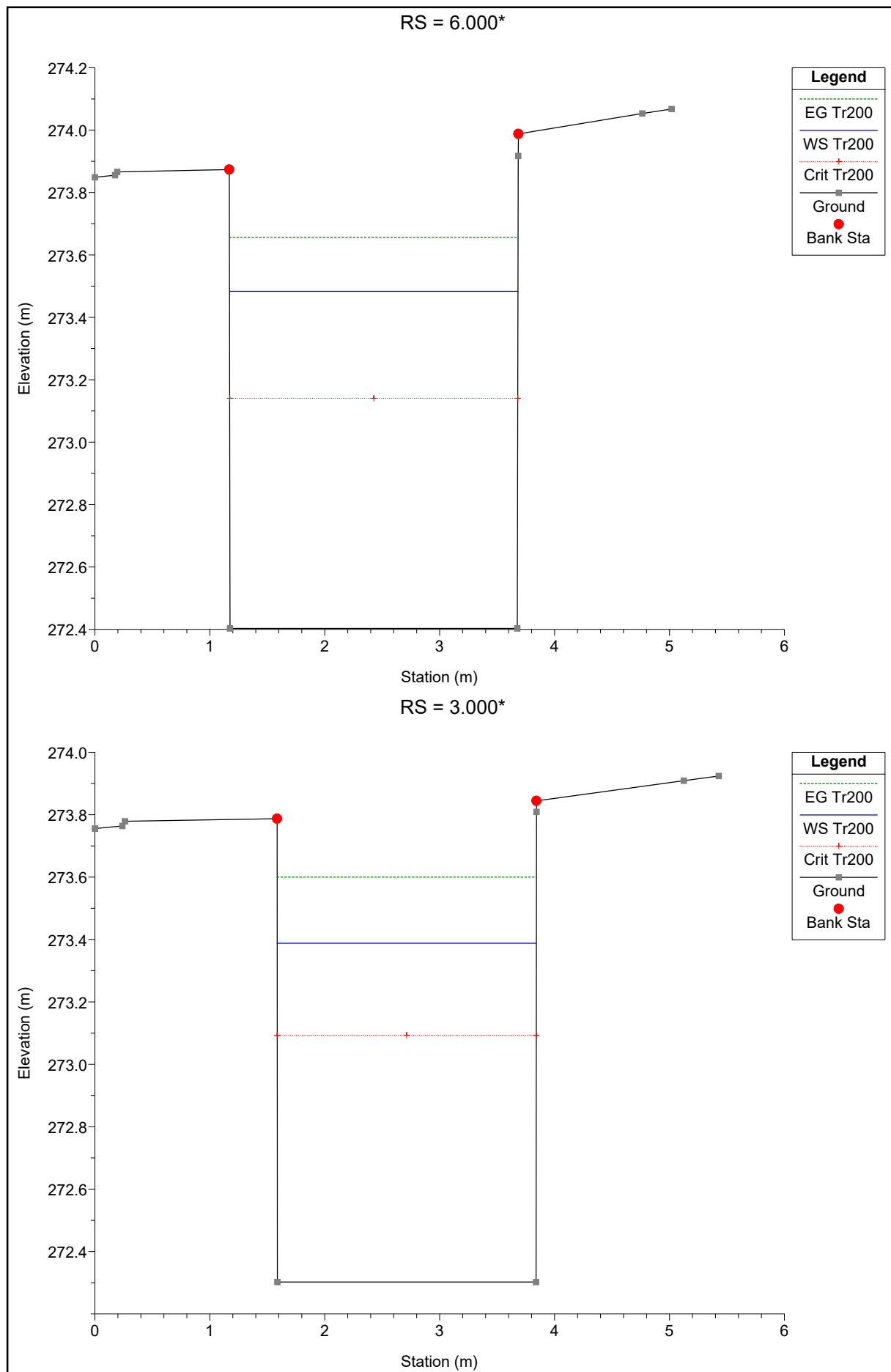


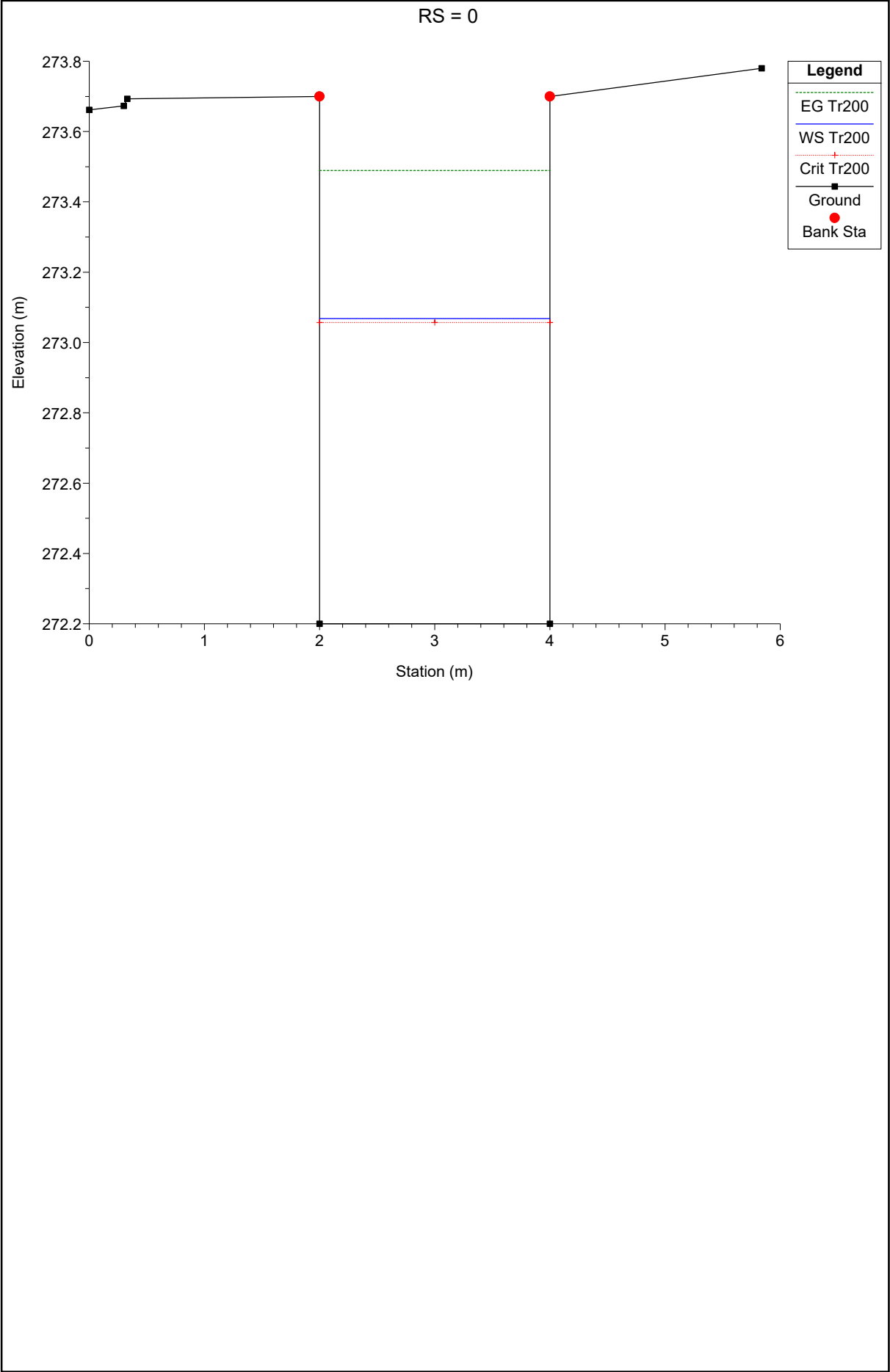




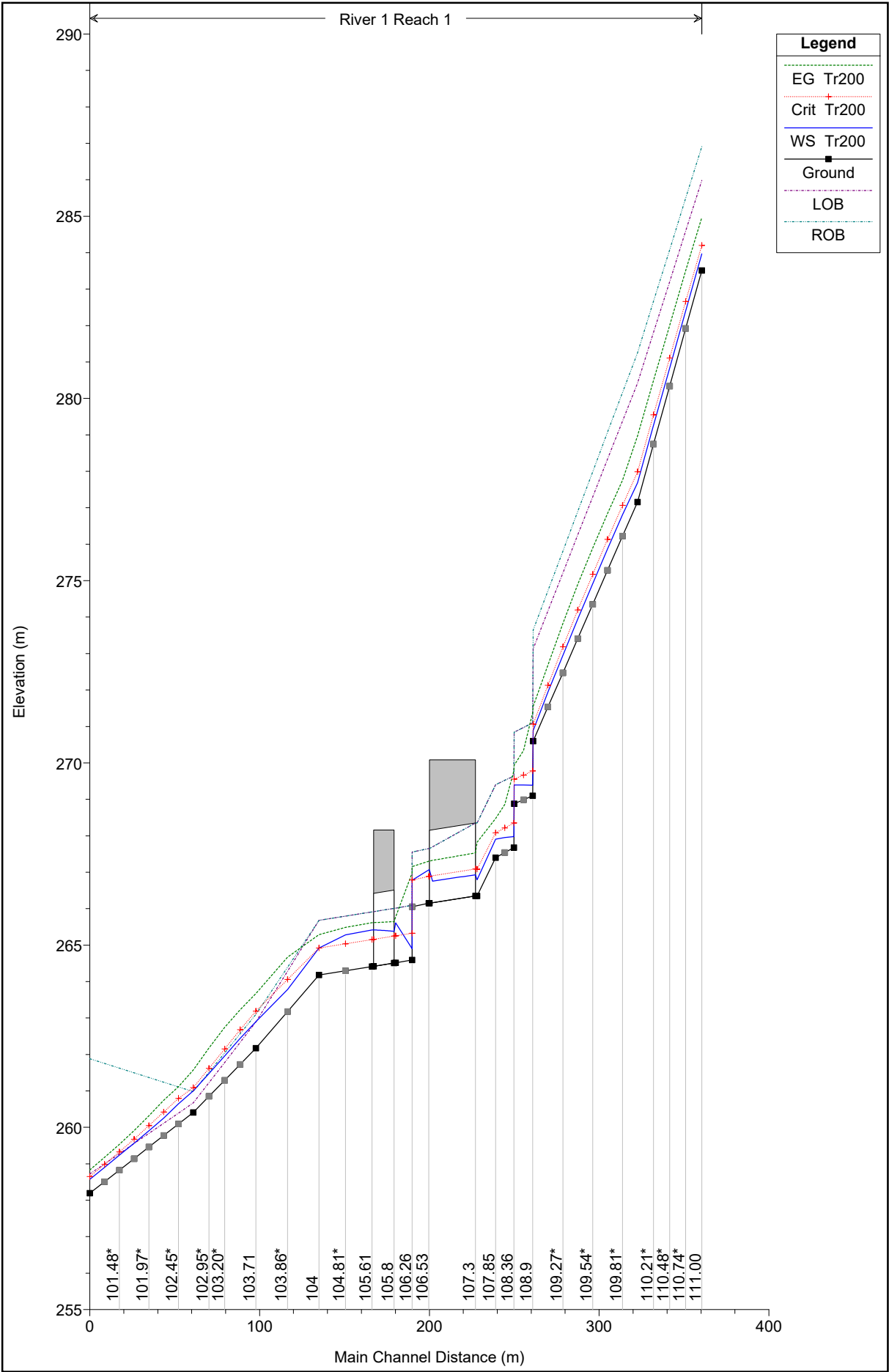


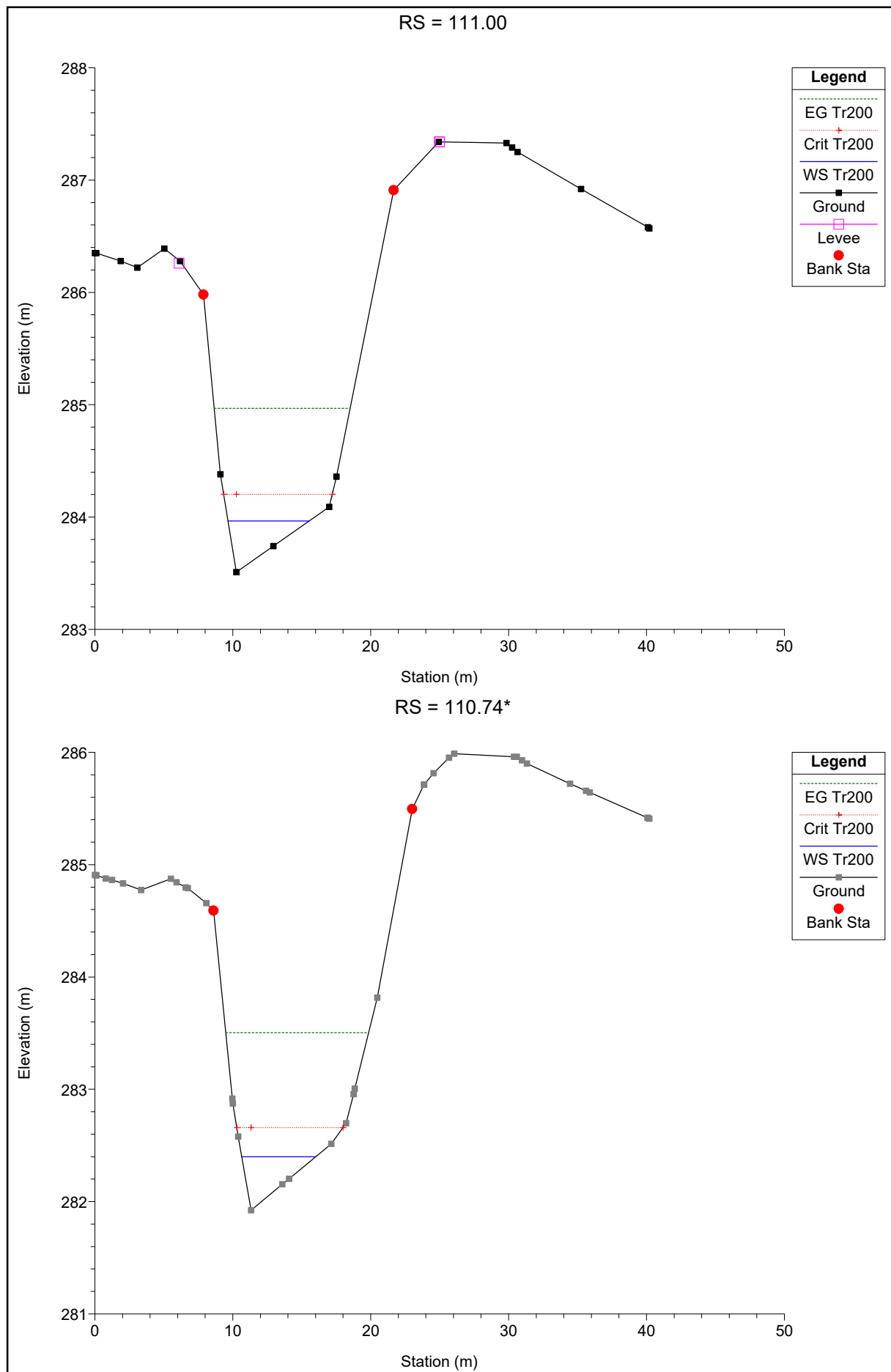


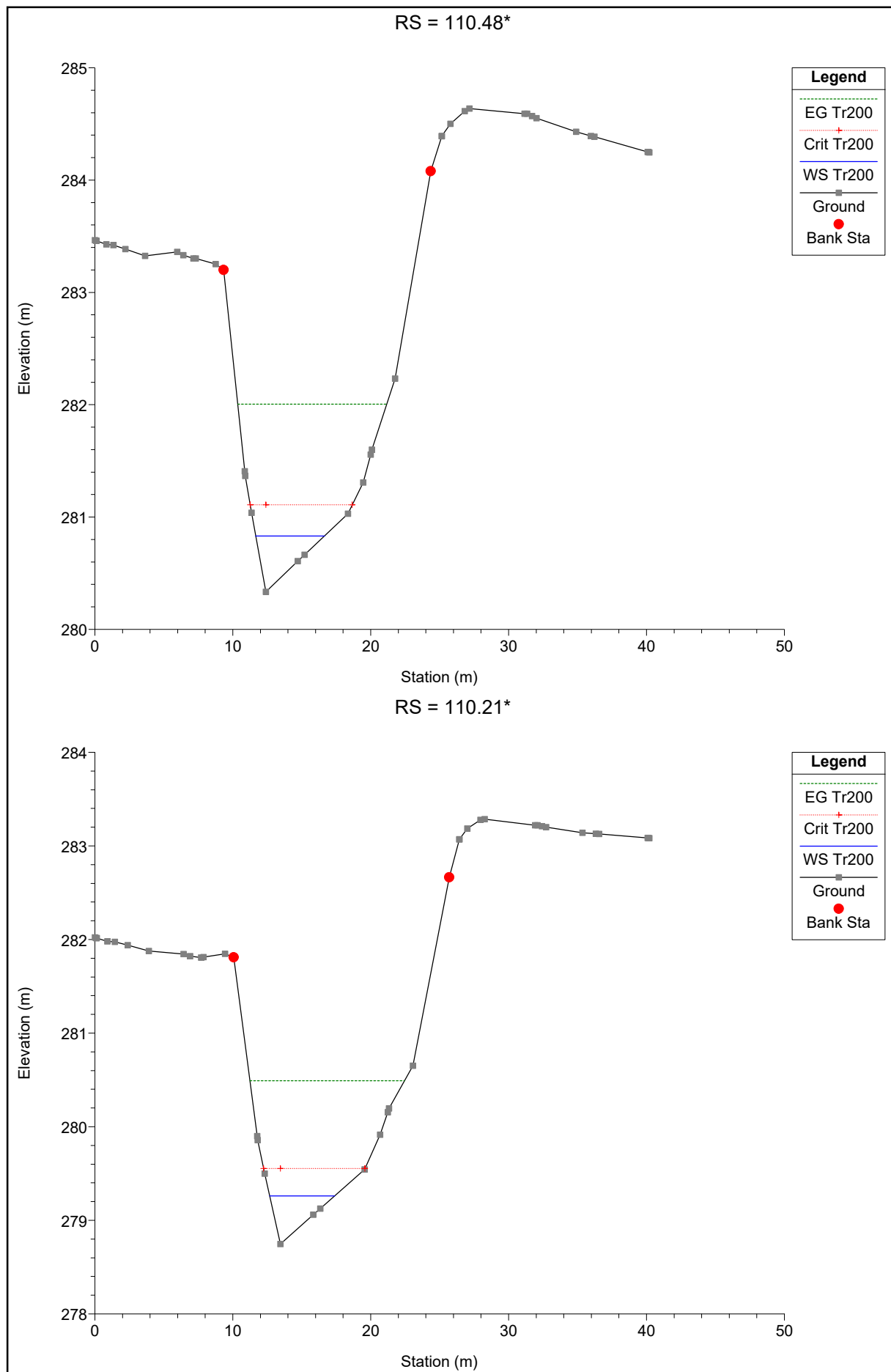


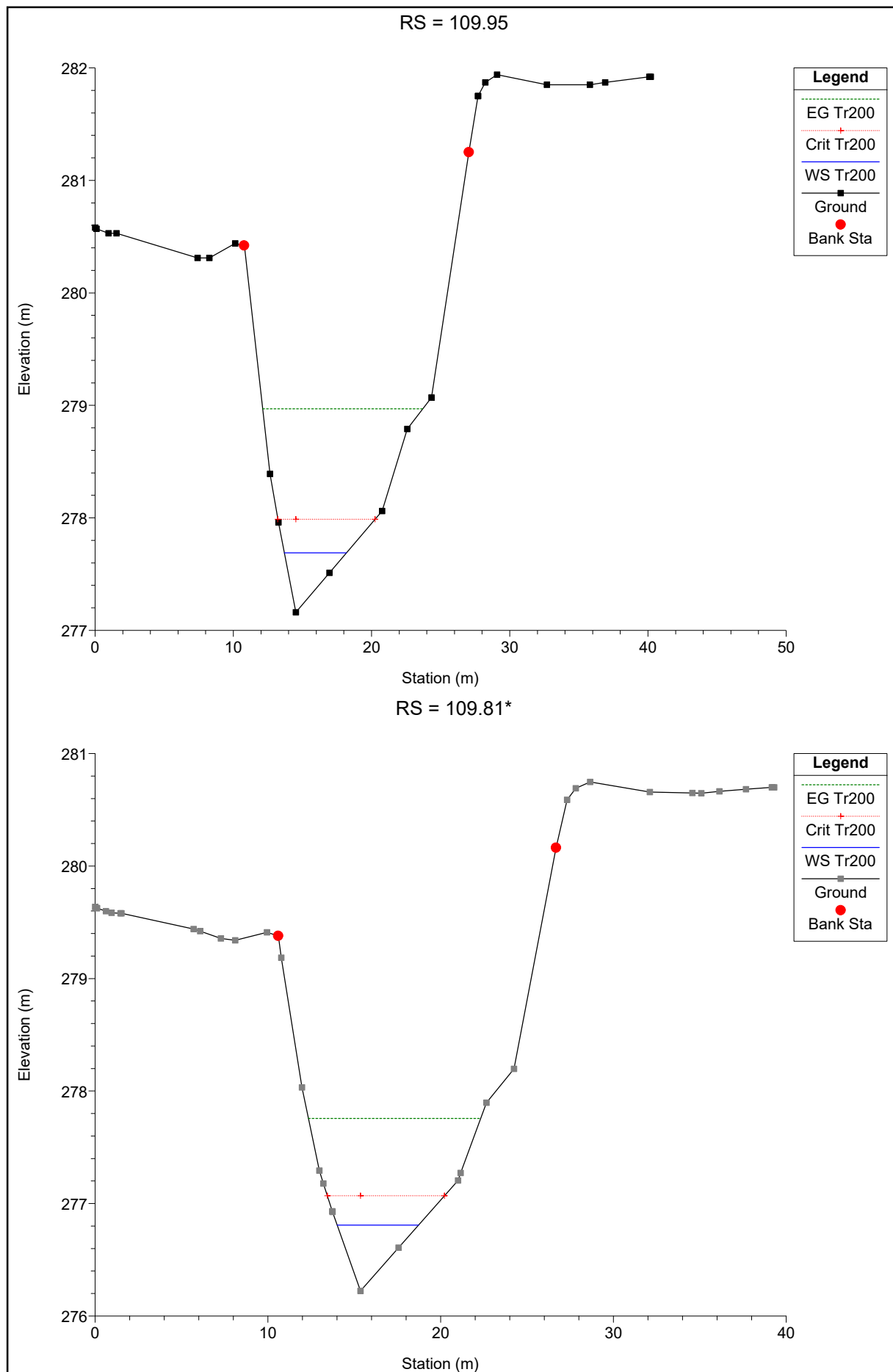


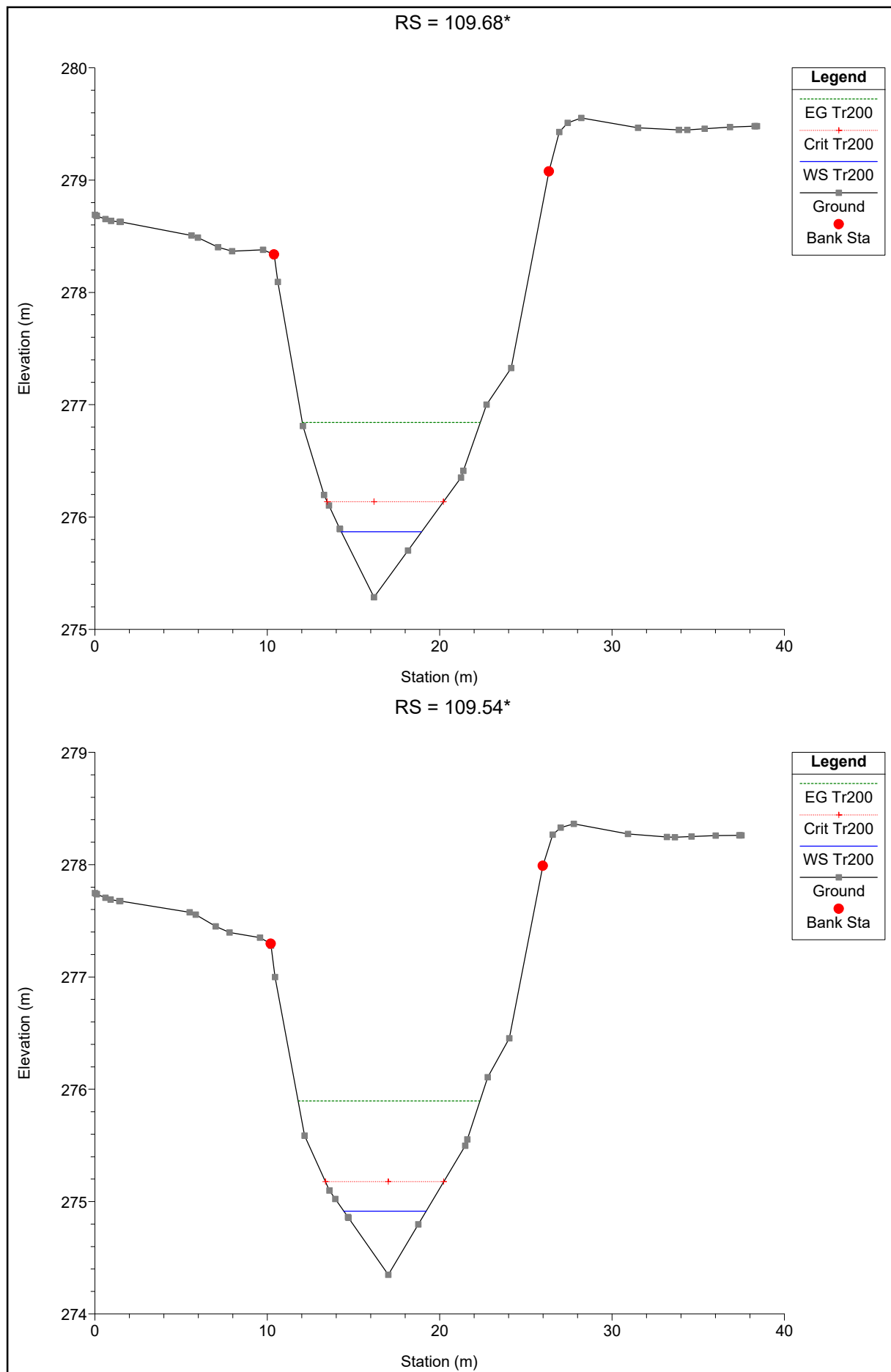
IN02-ANTE OPERAM

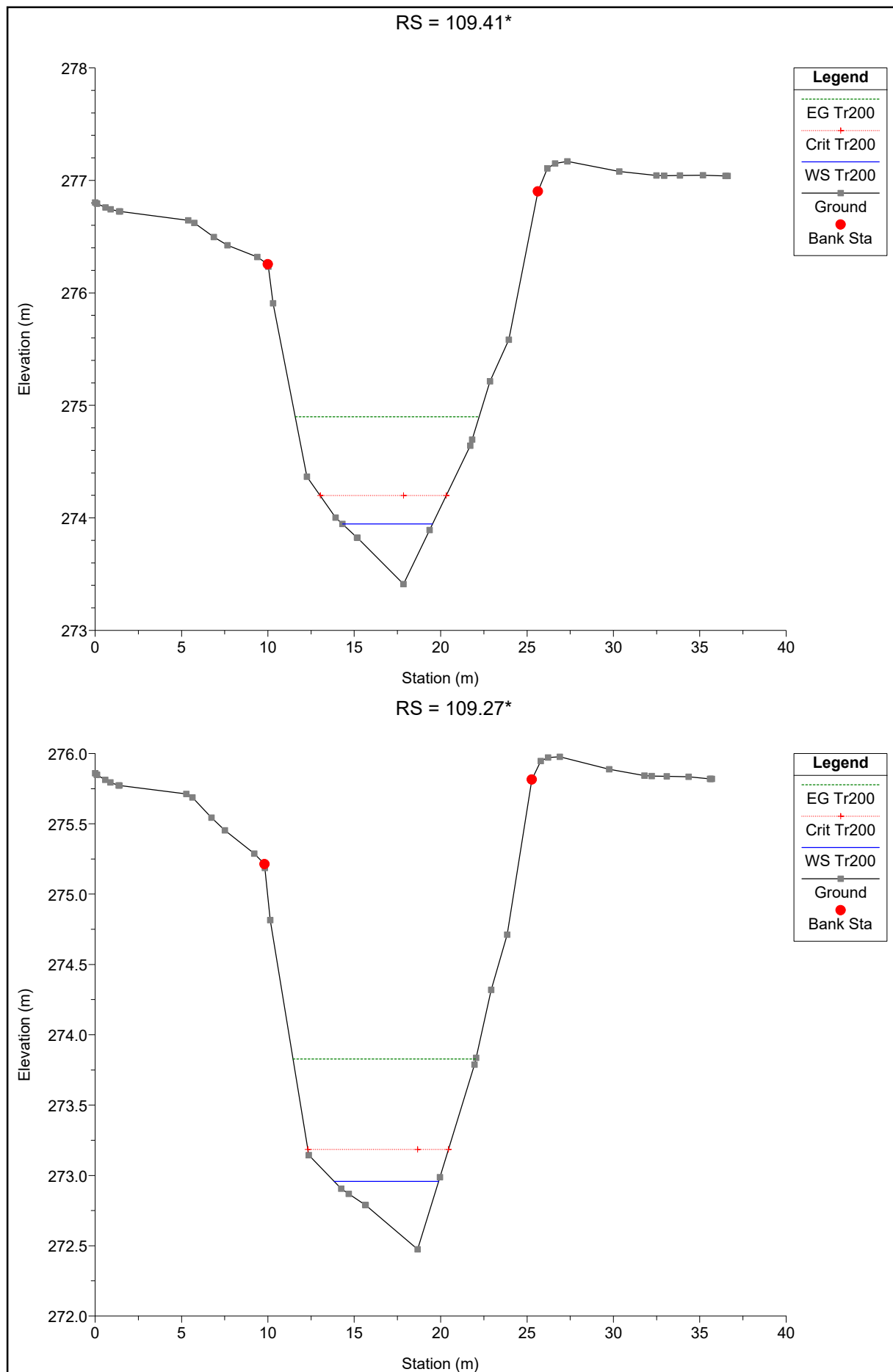


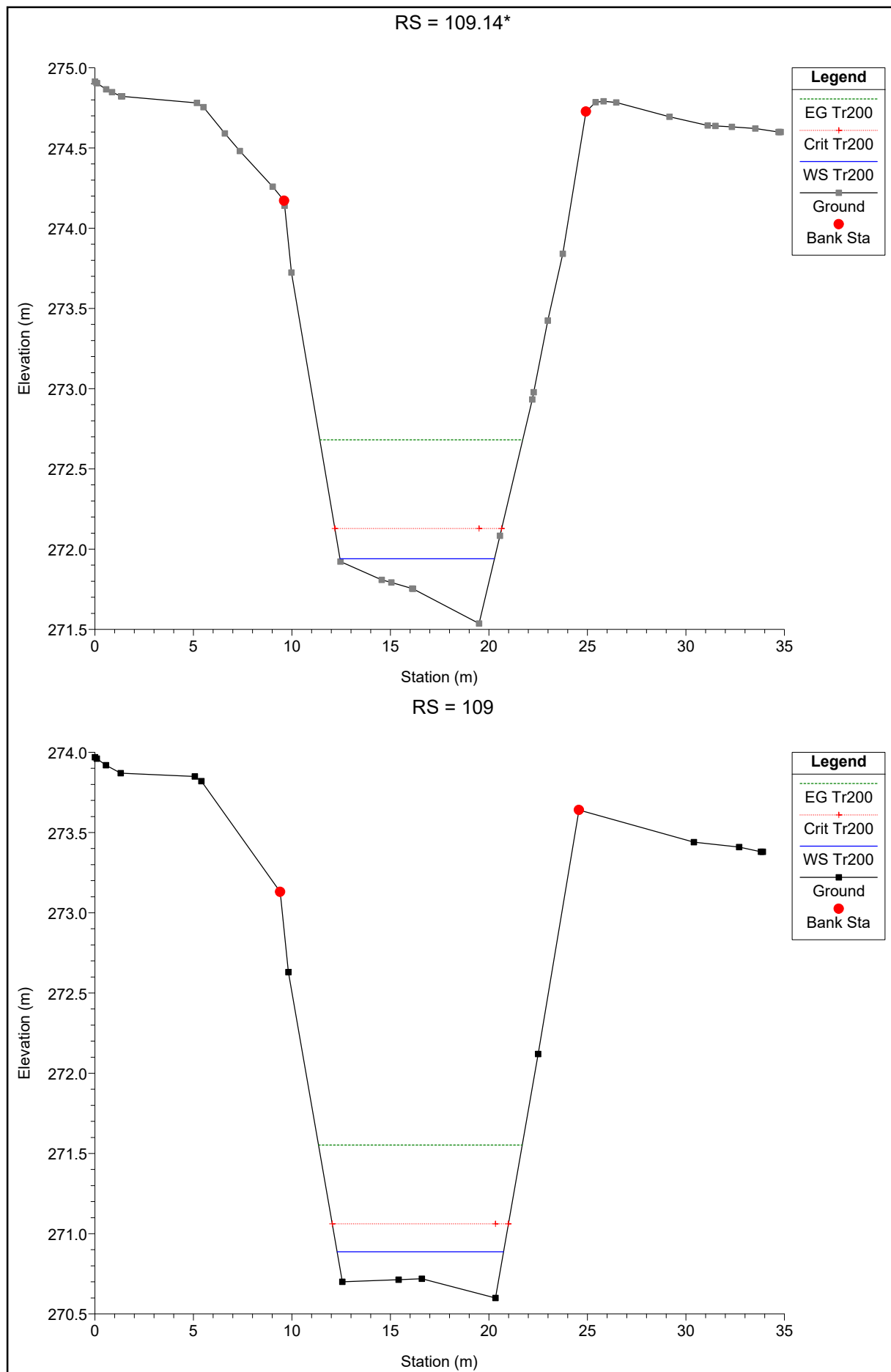


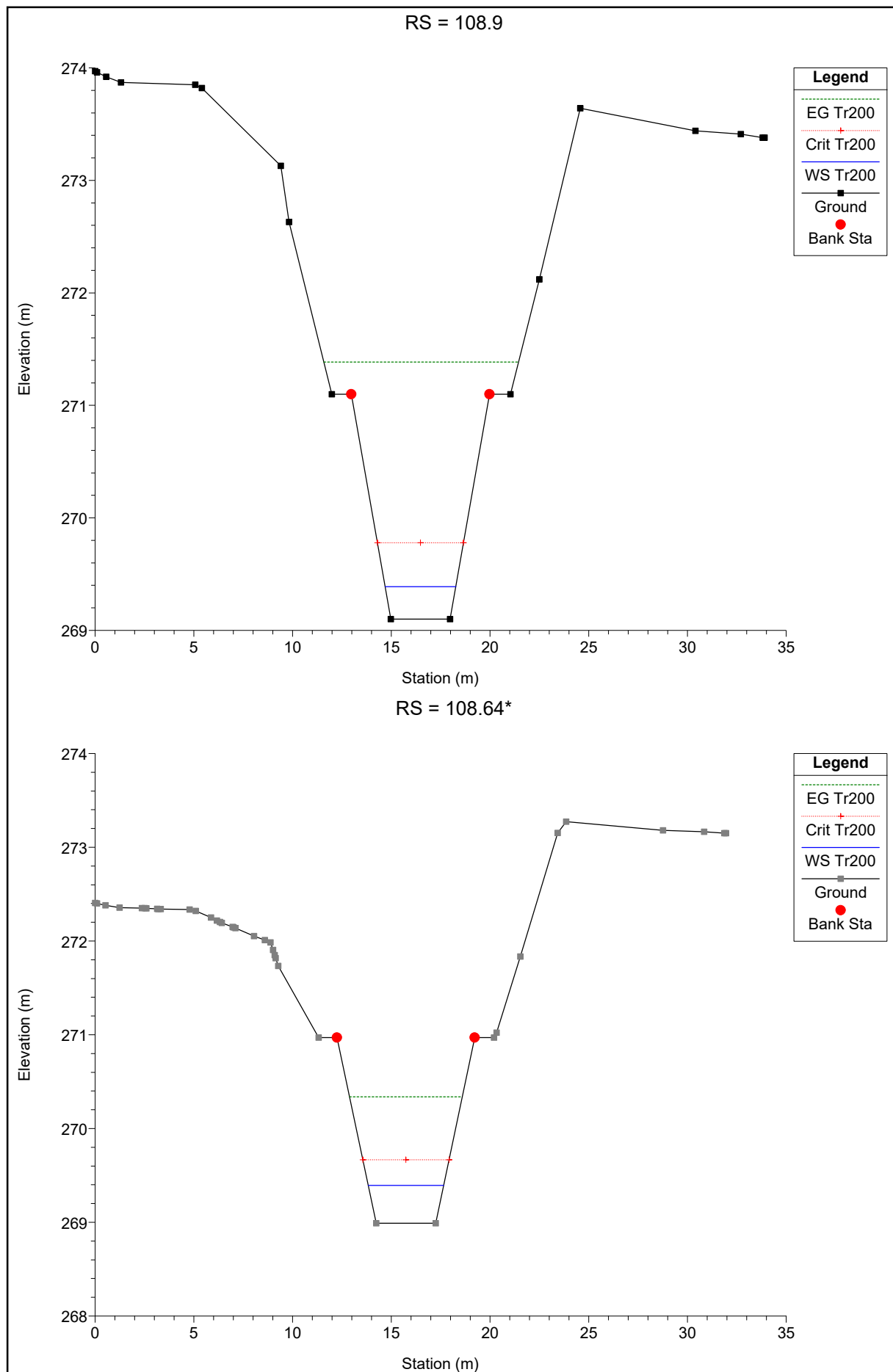


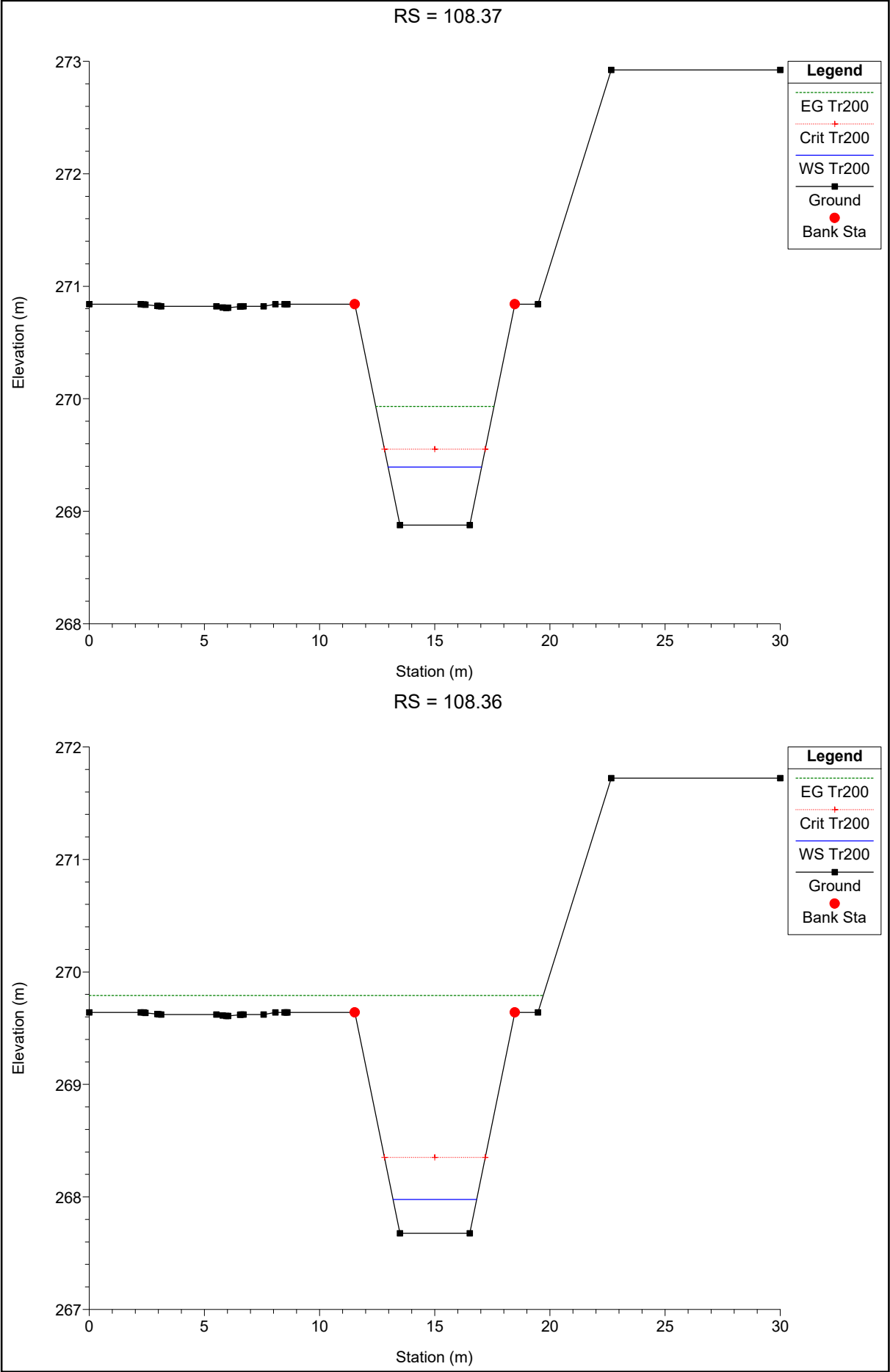


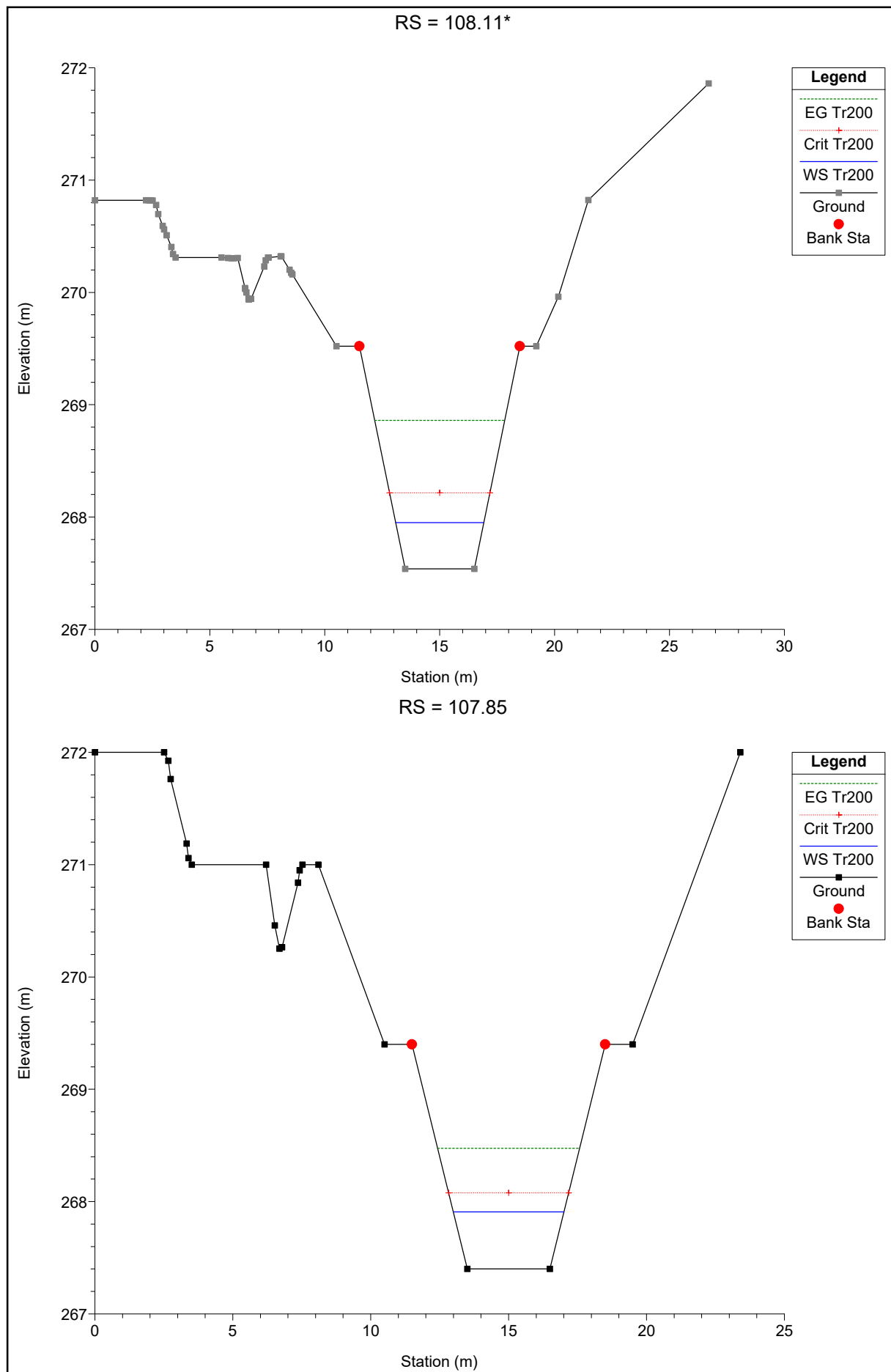


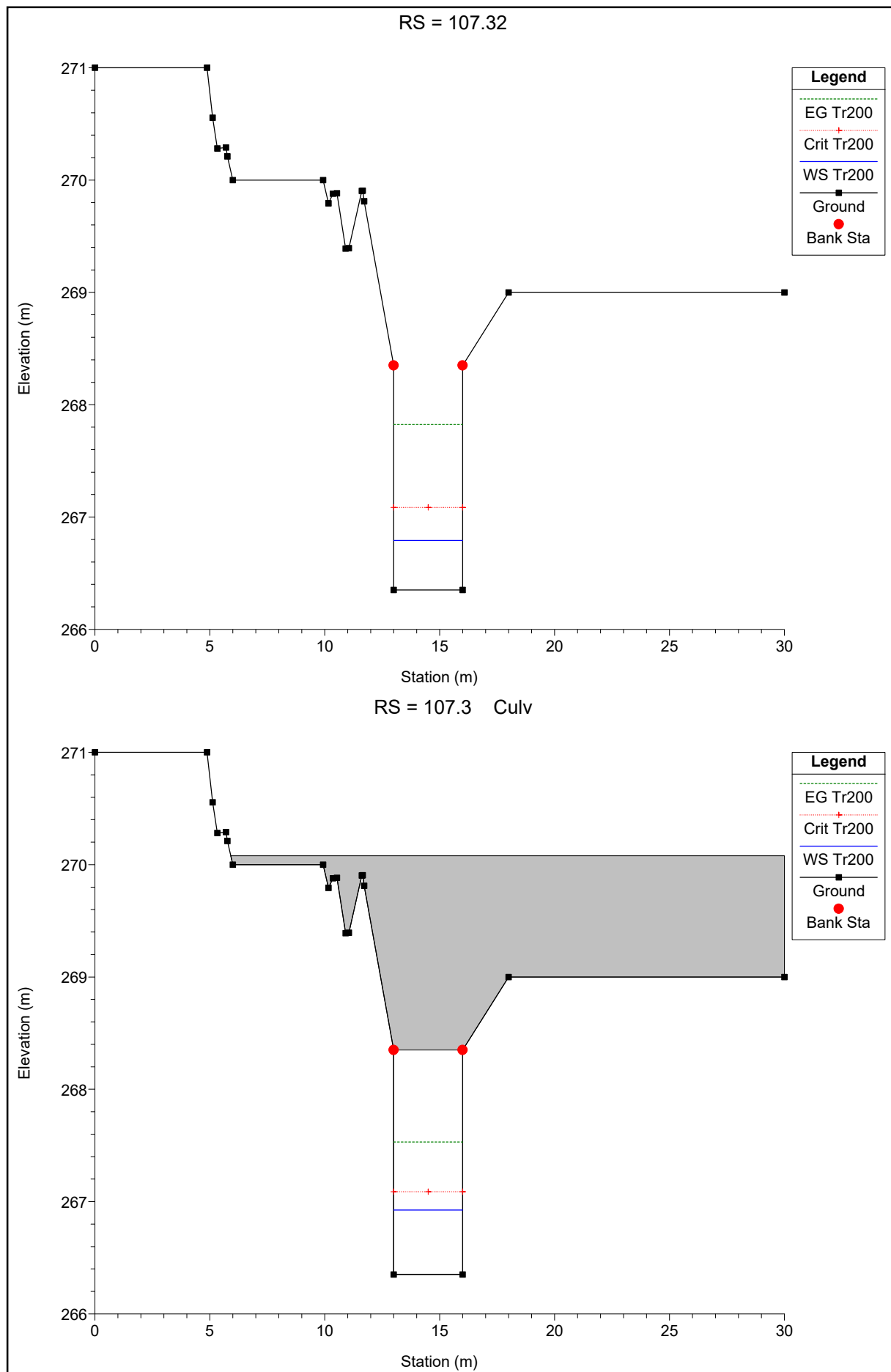


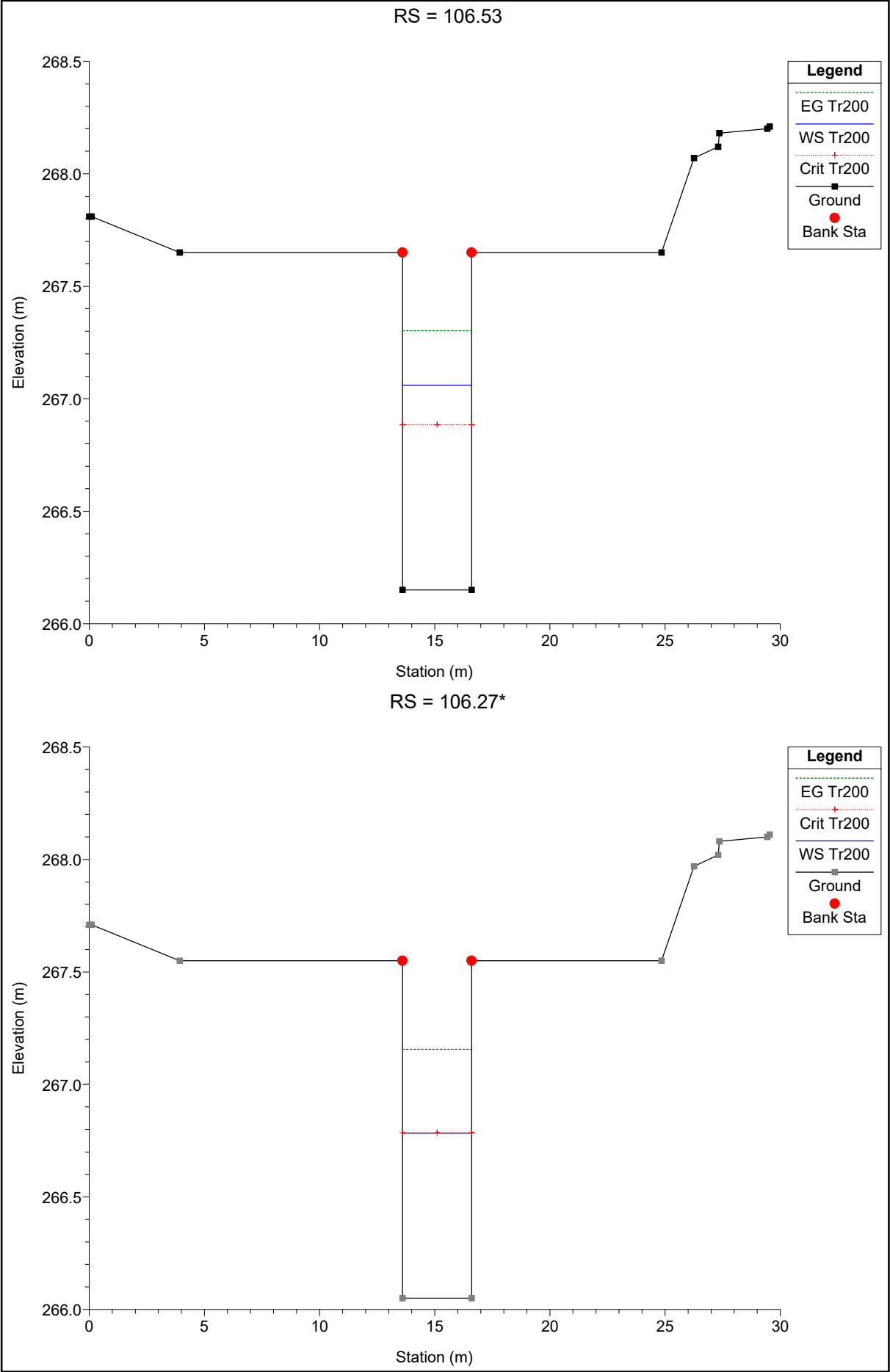


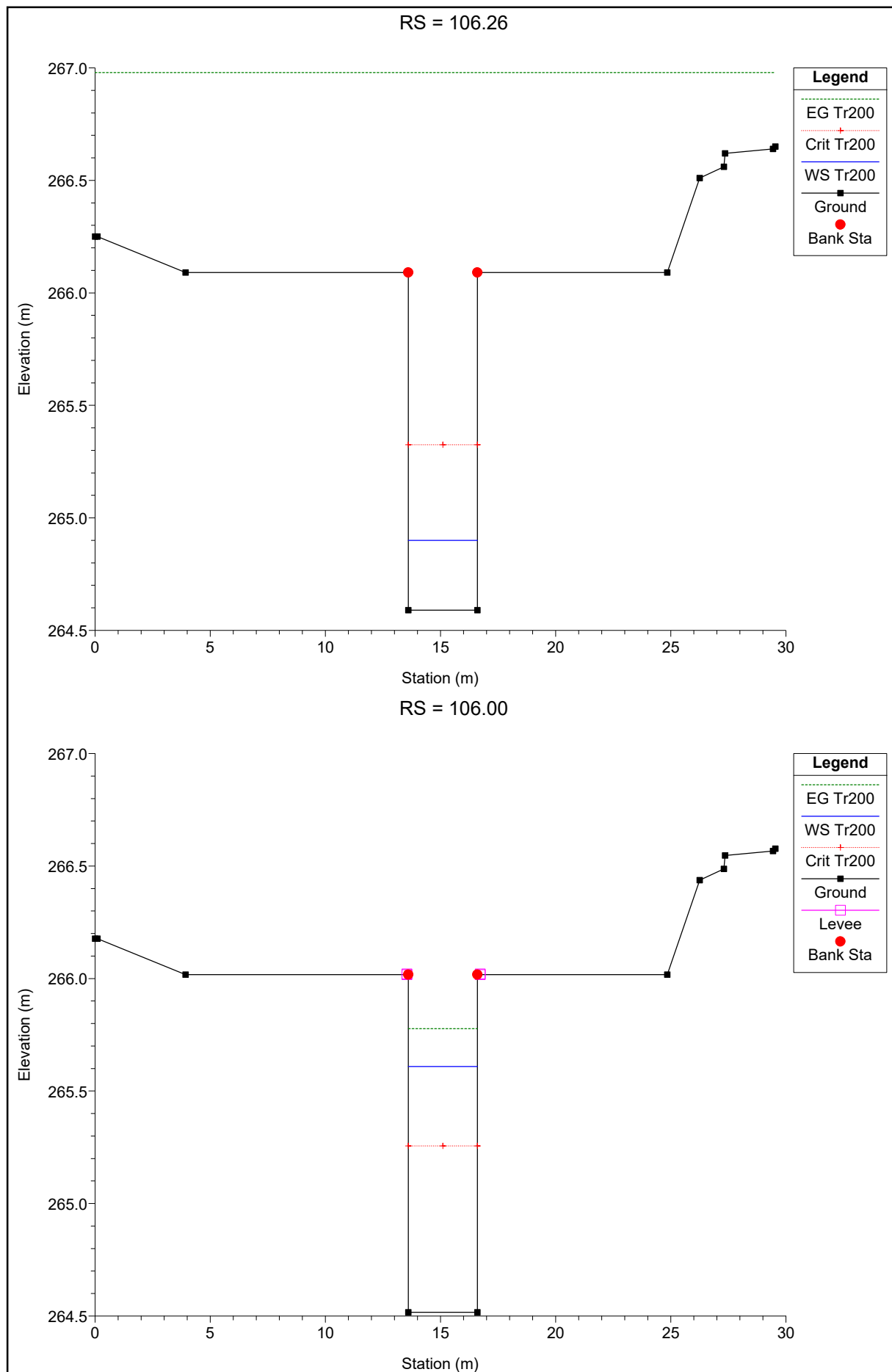


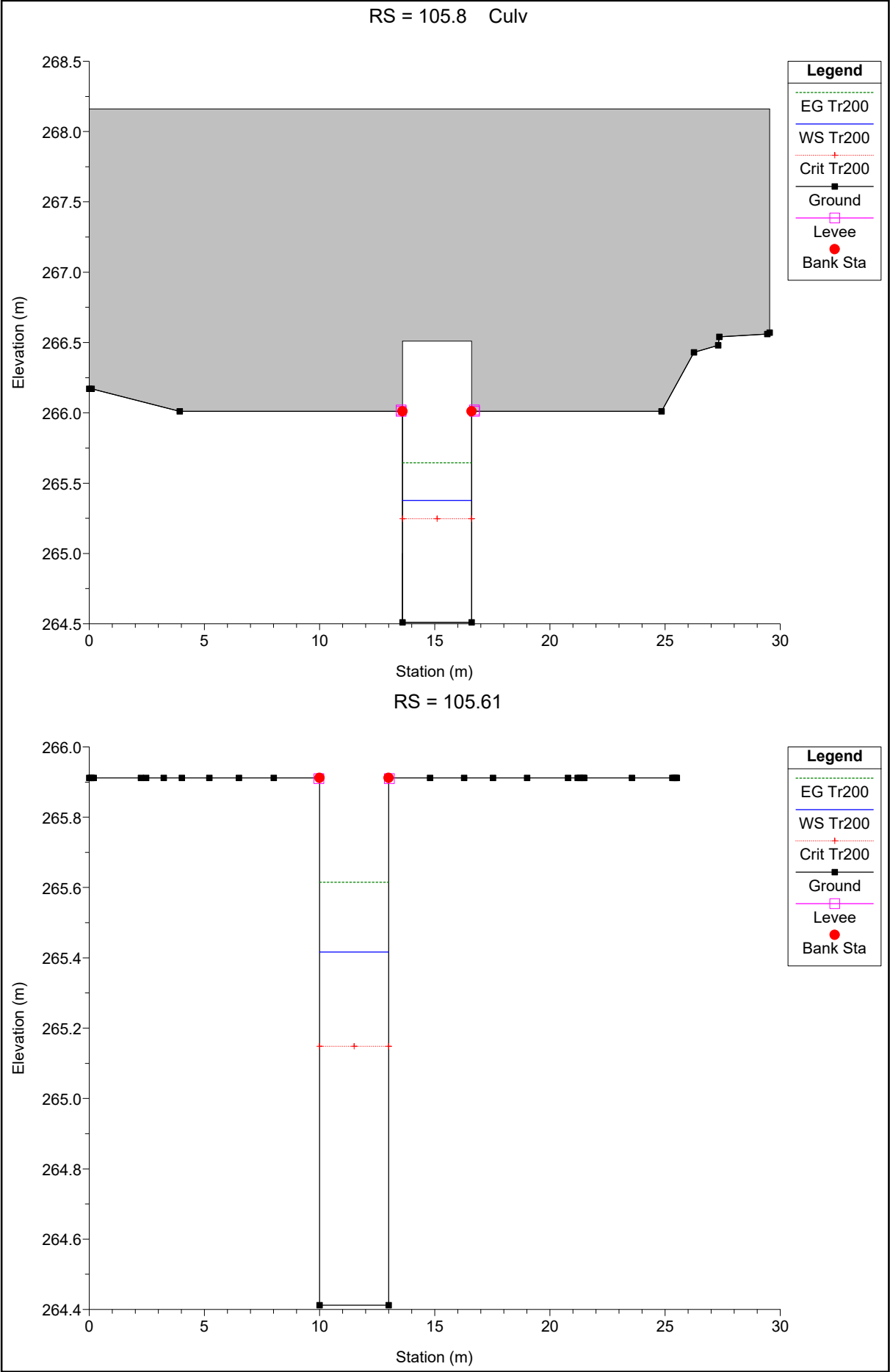


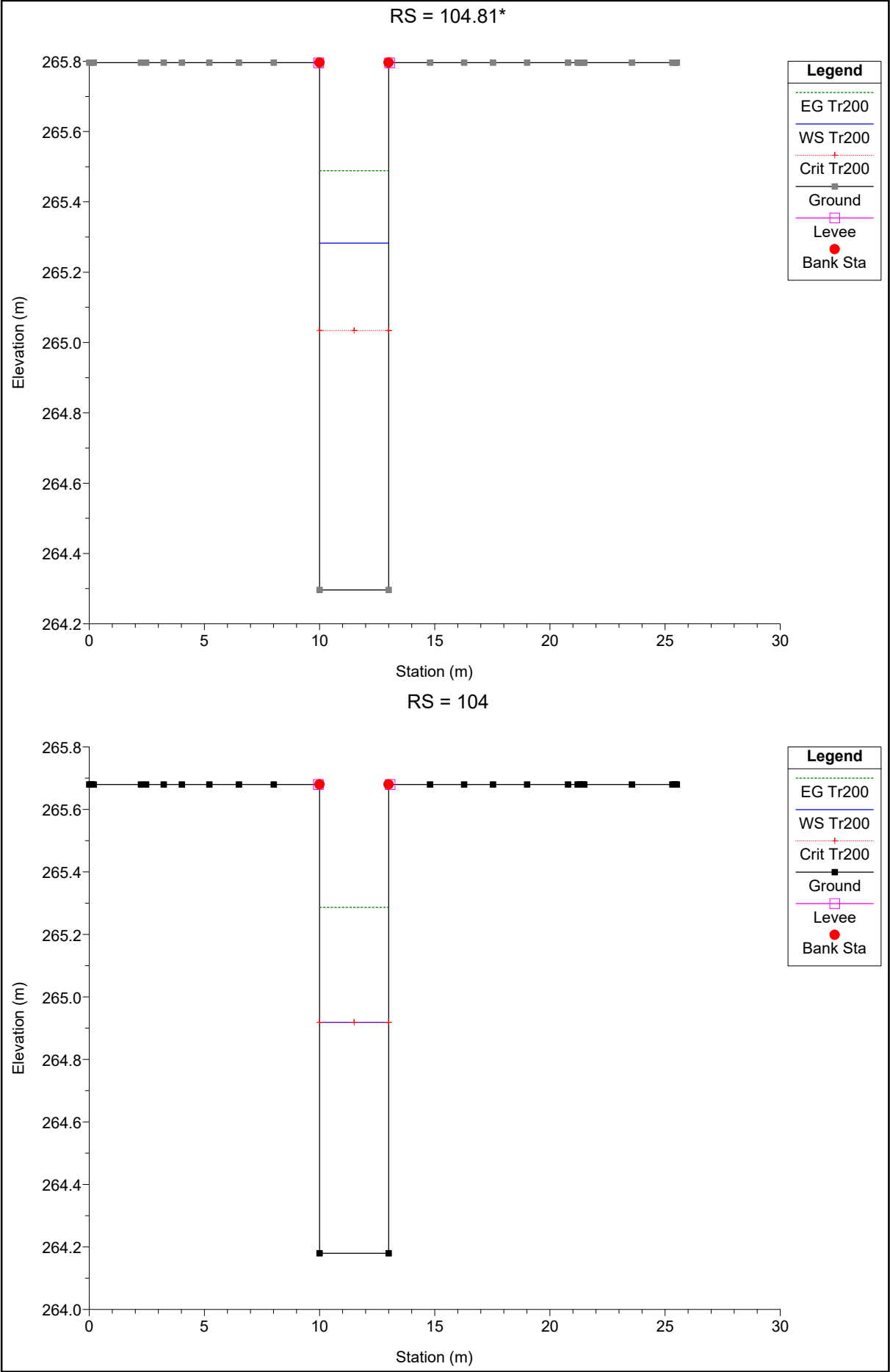


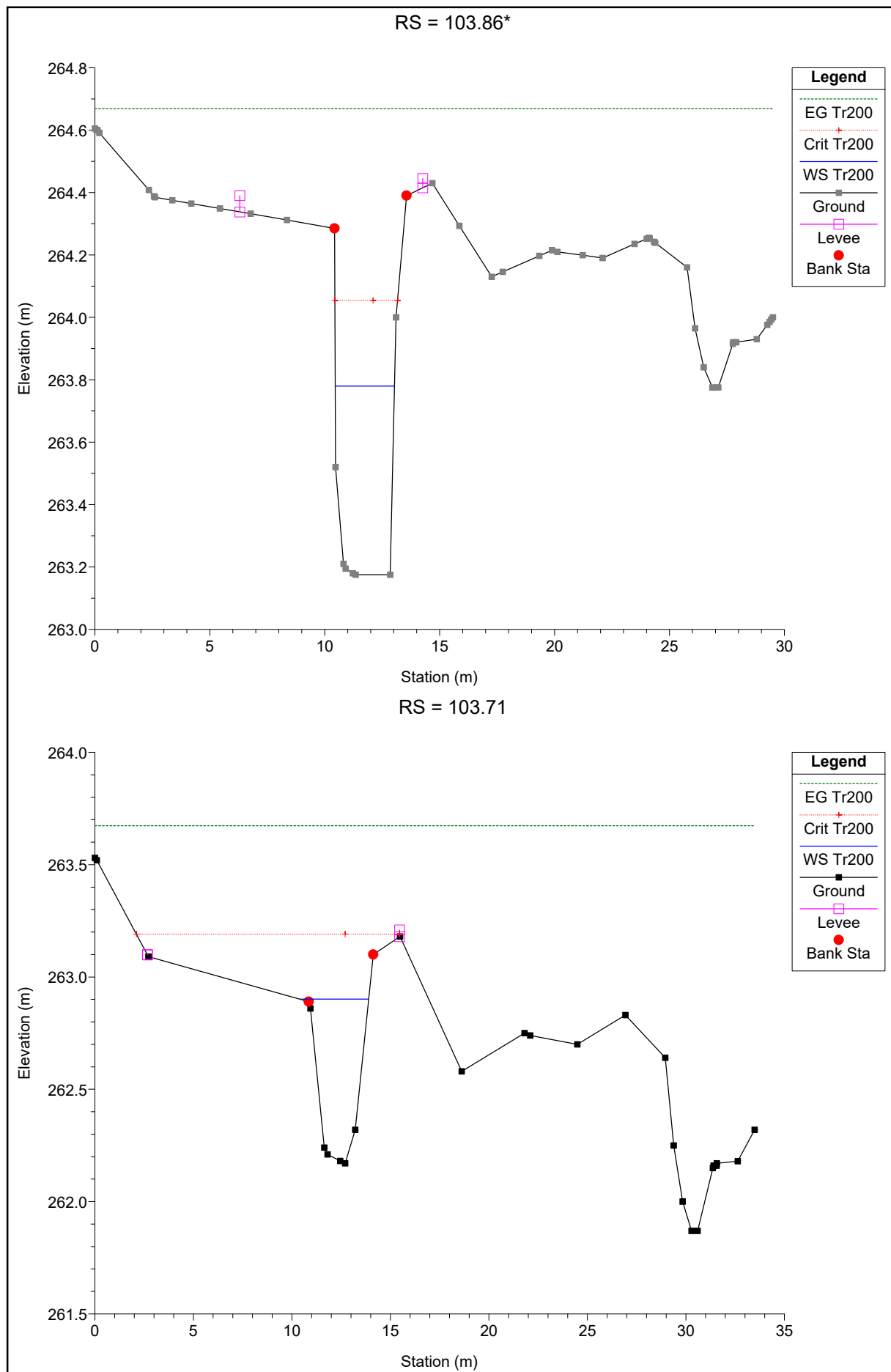


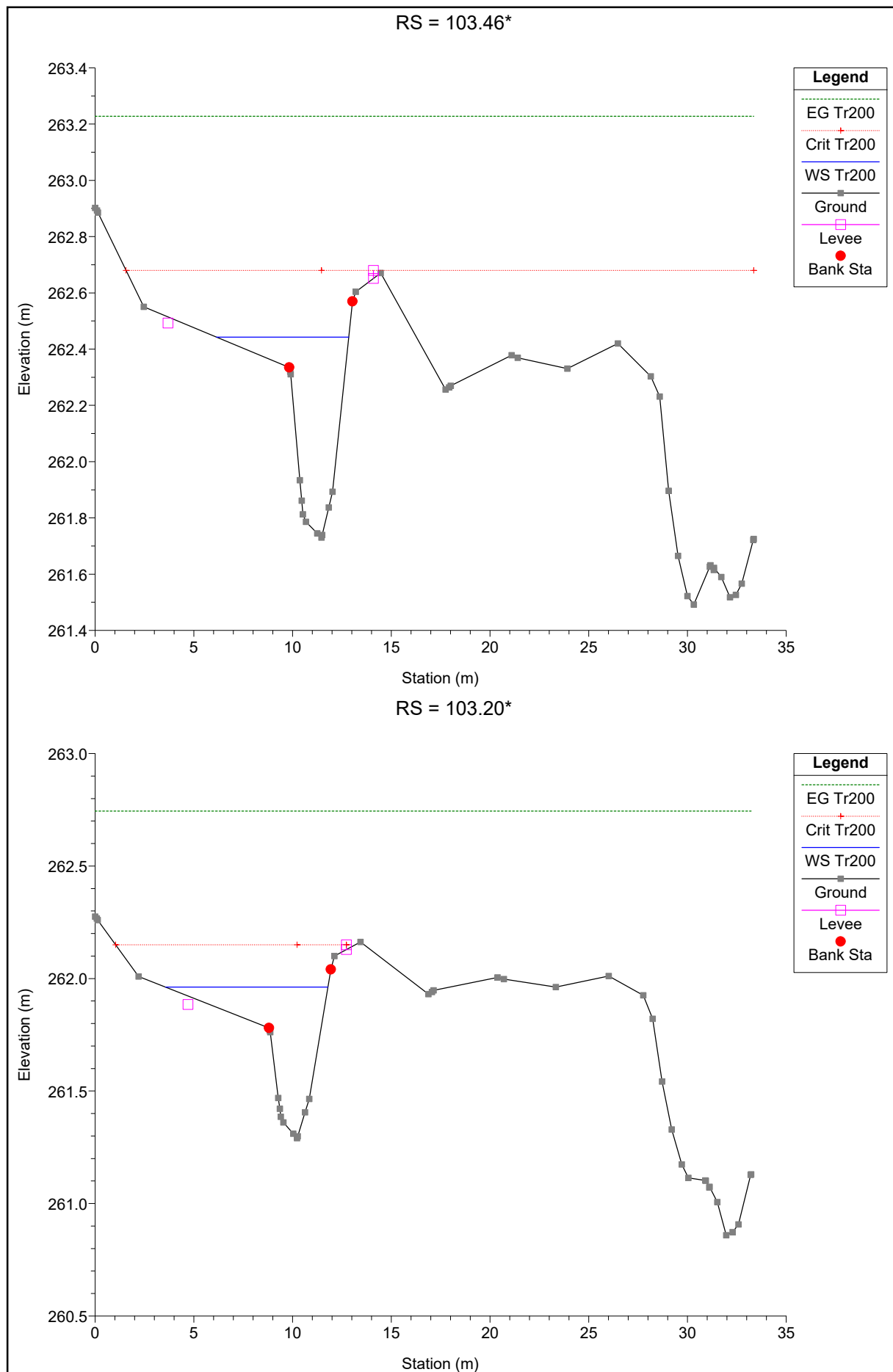


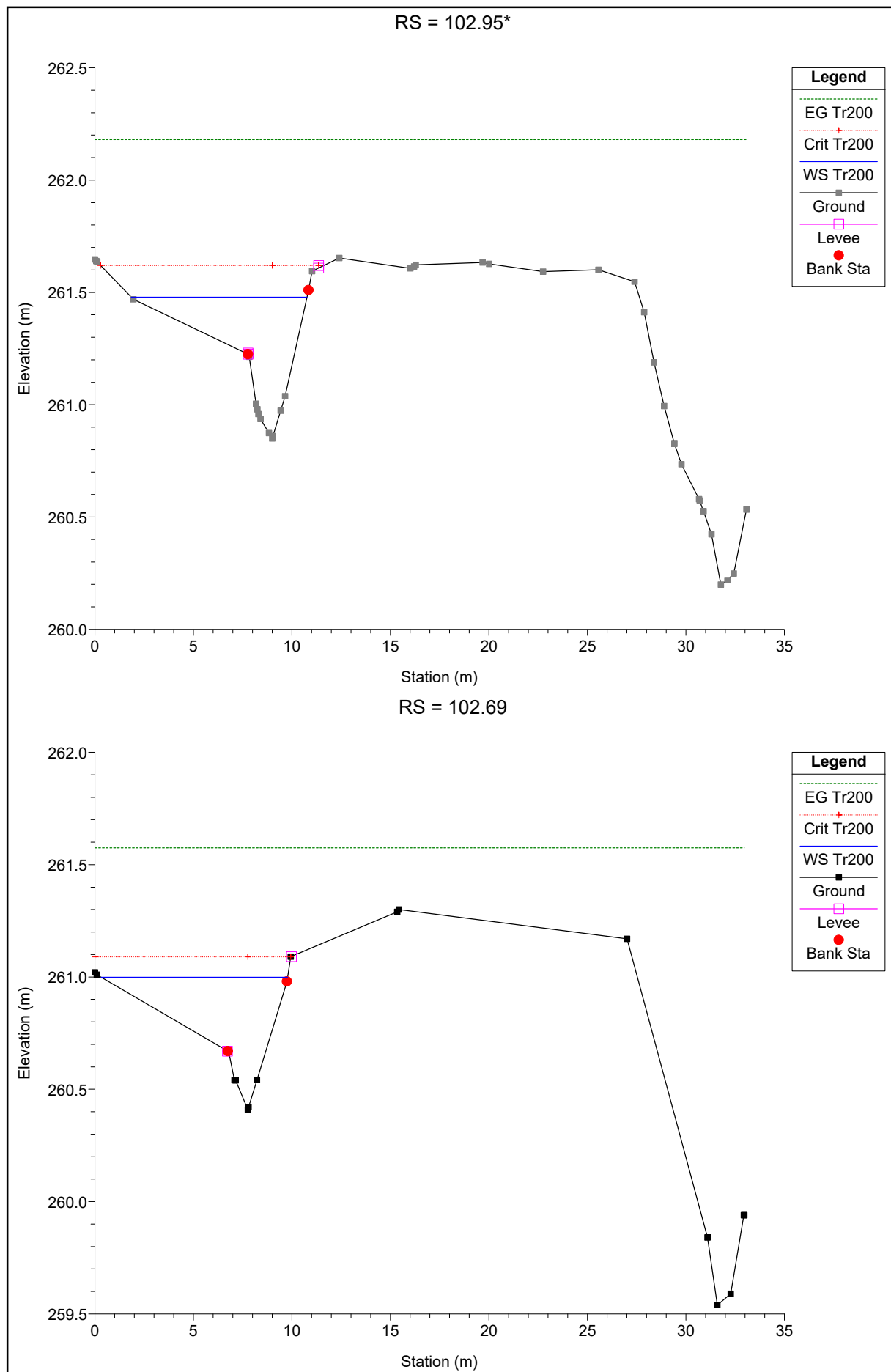


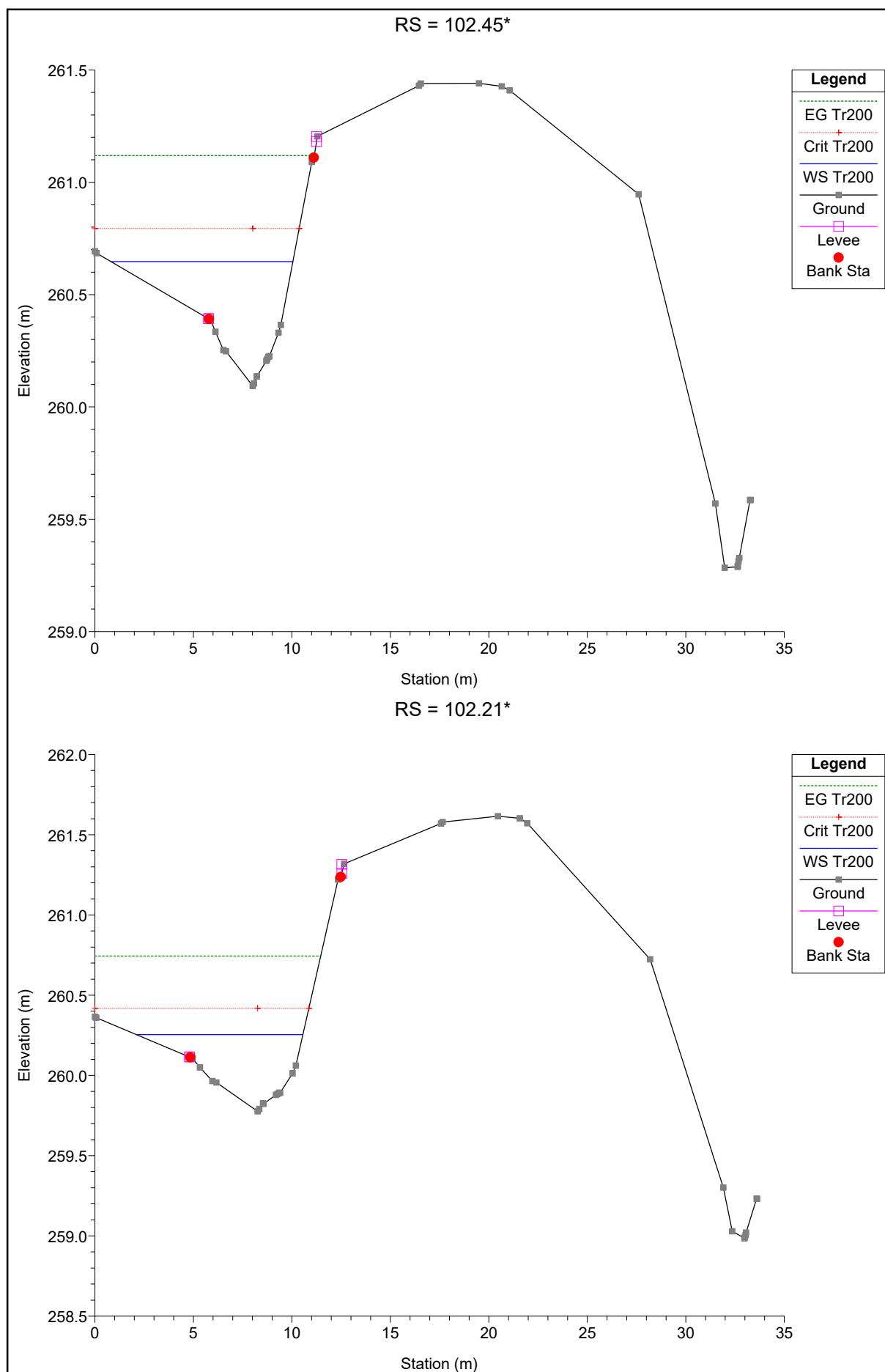


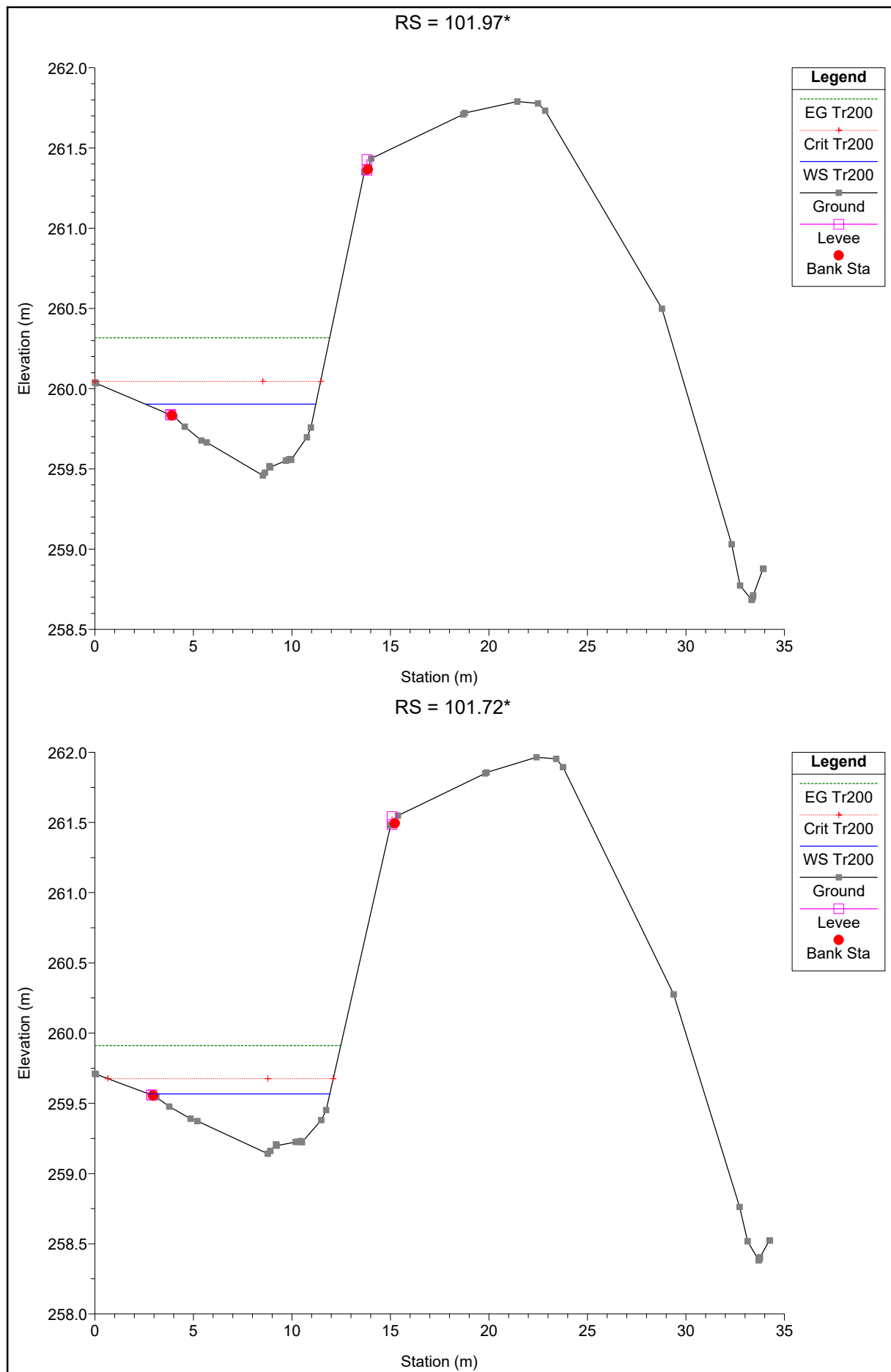


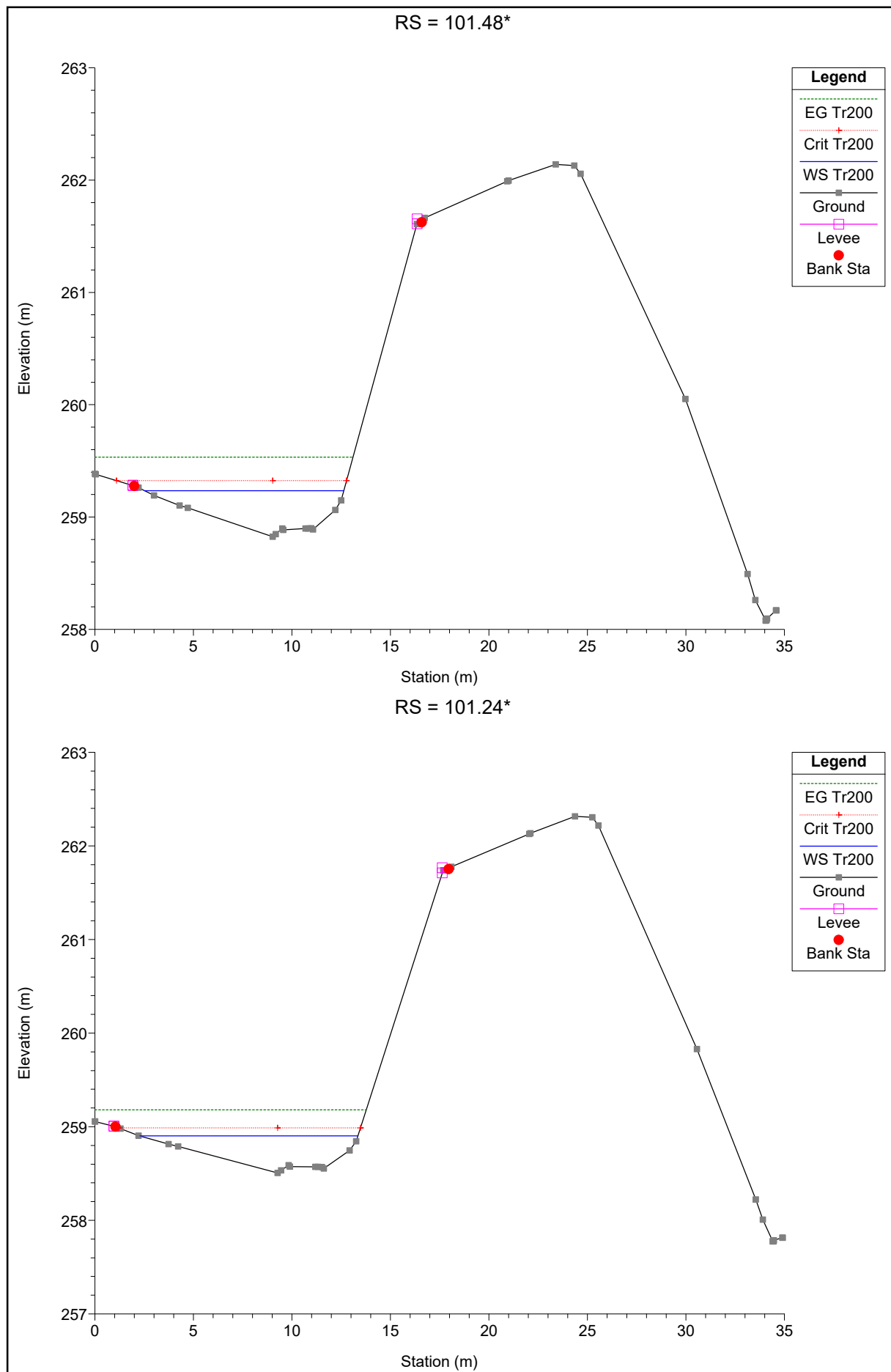


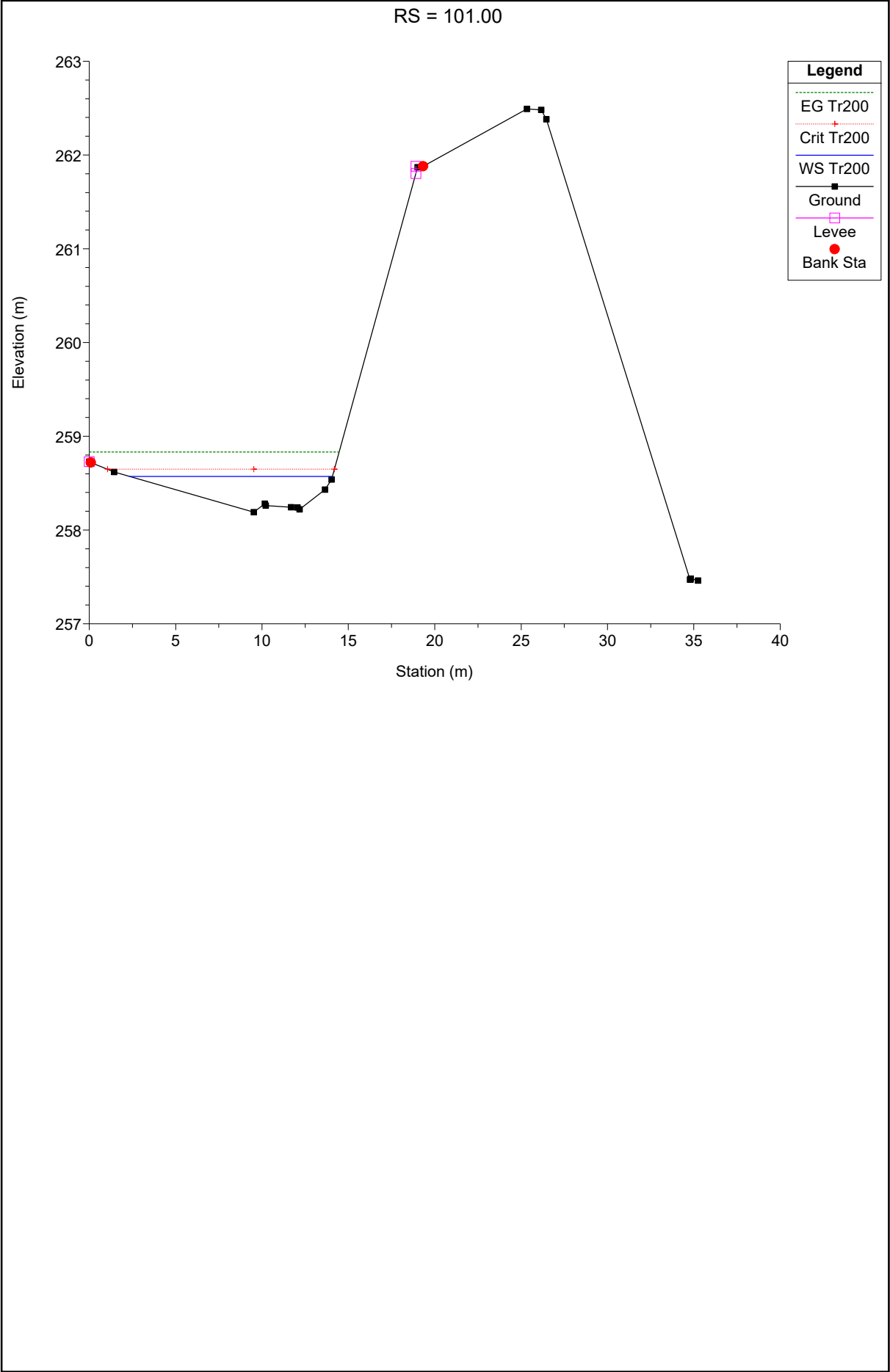




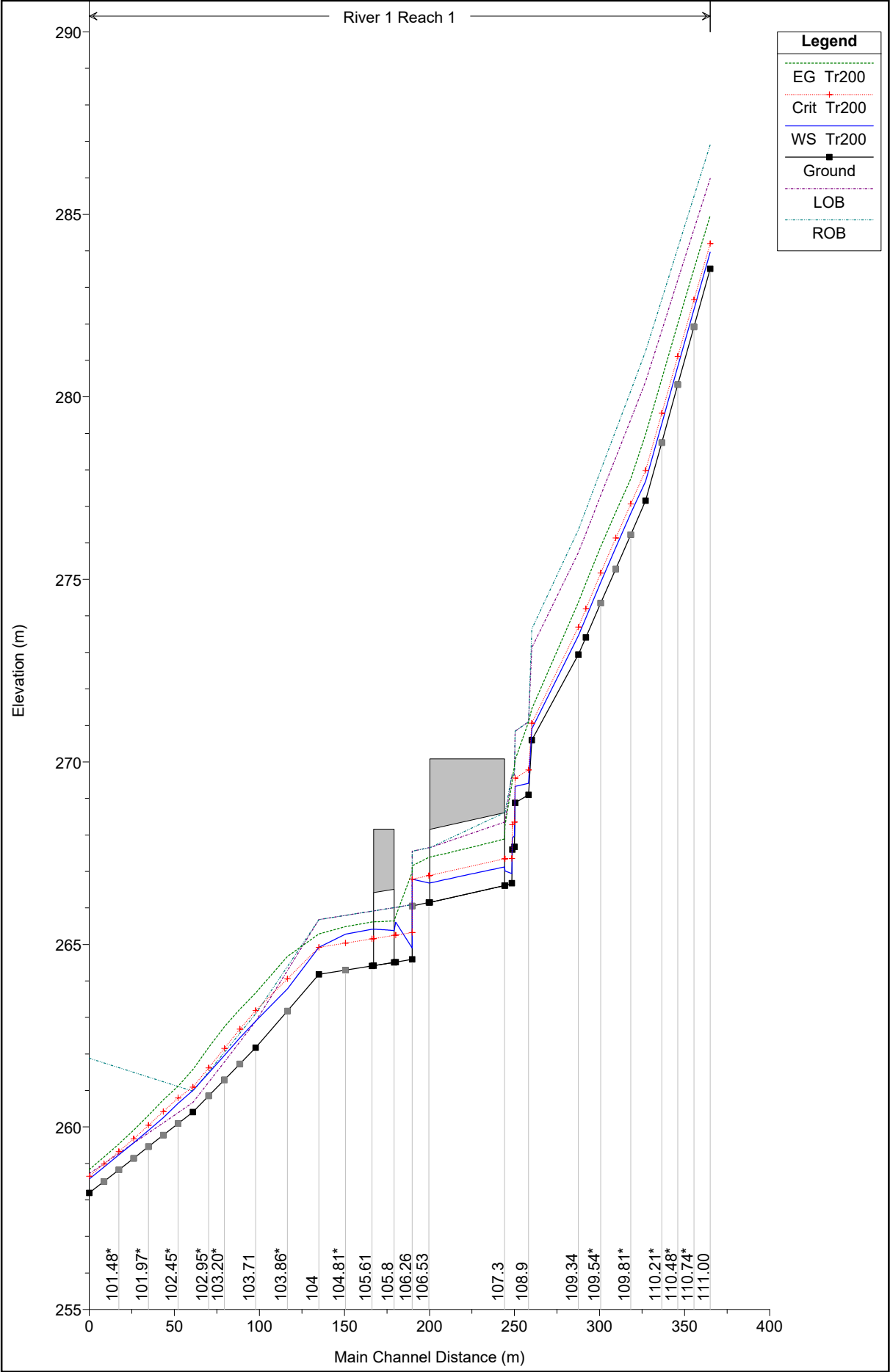


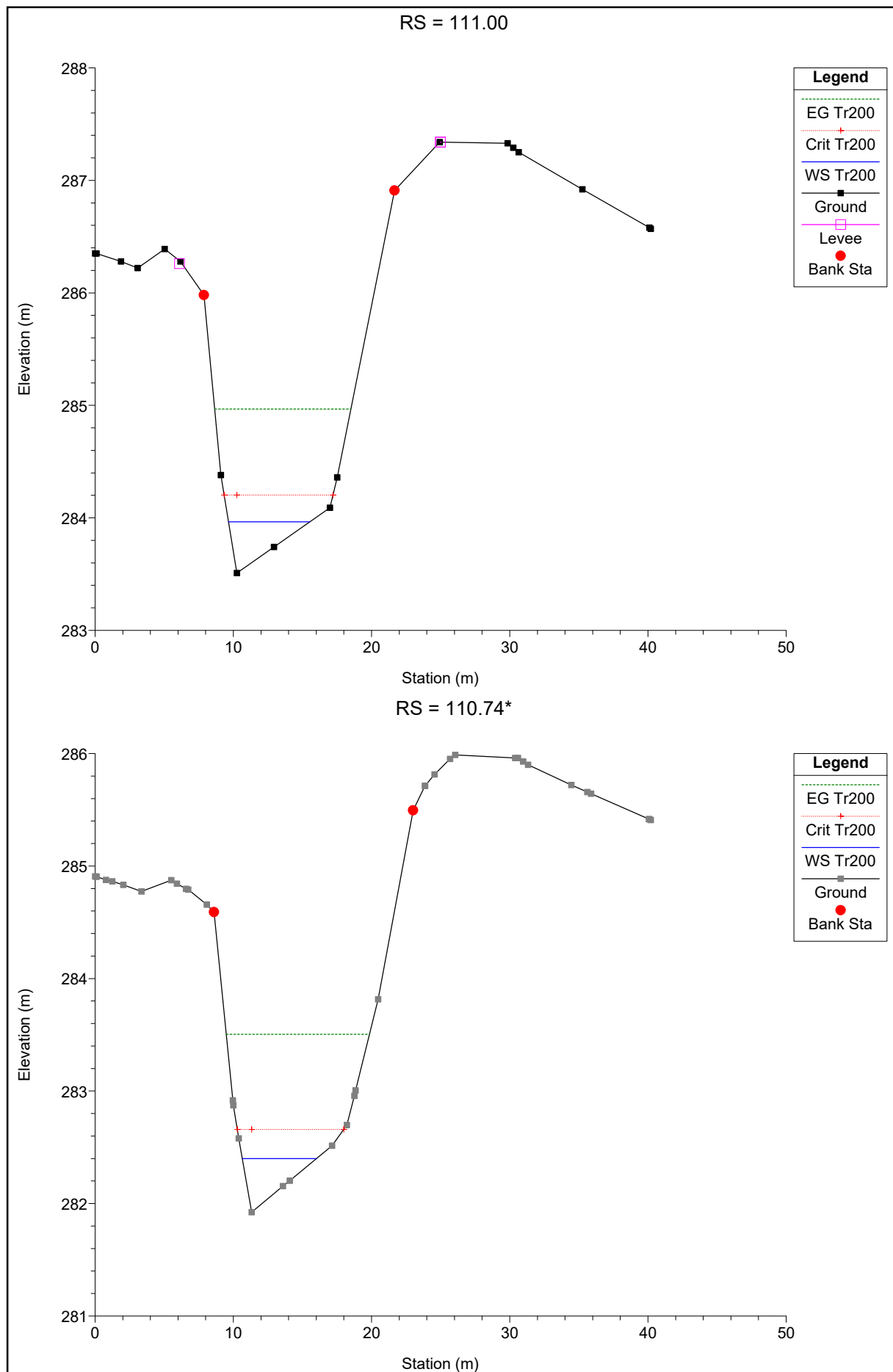


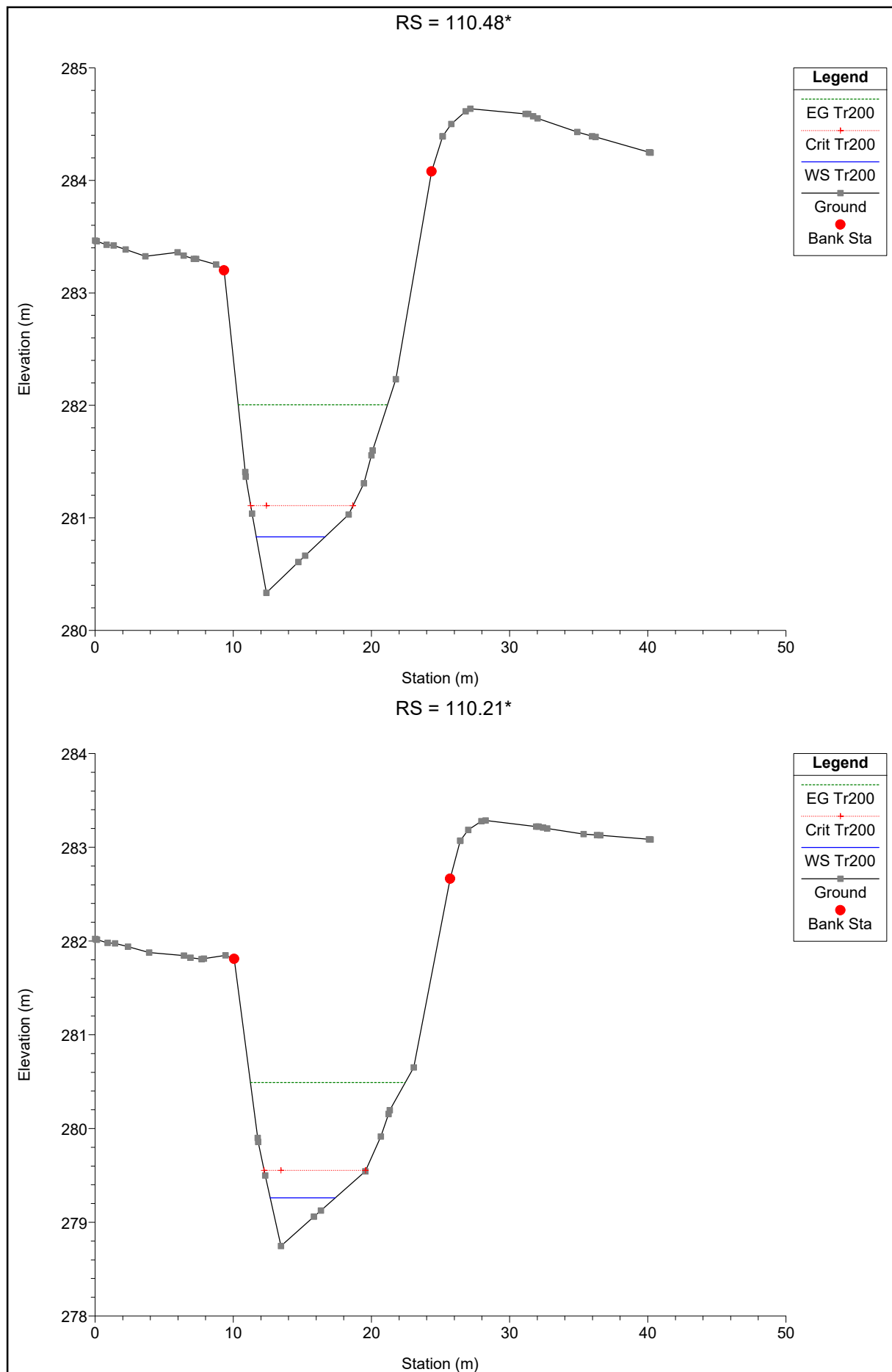


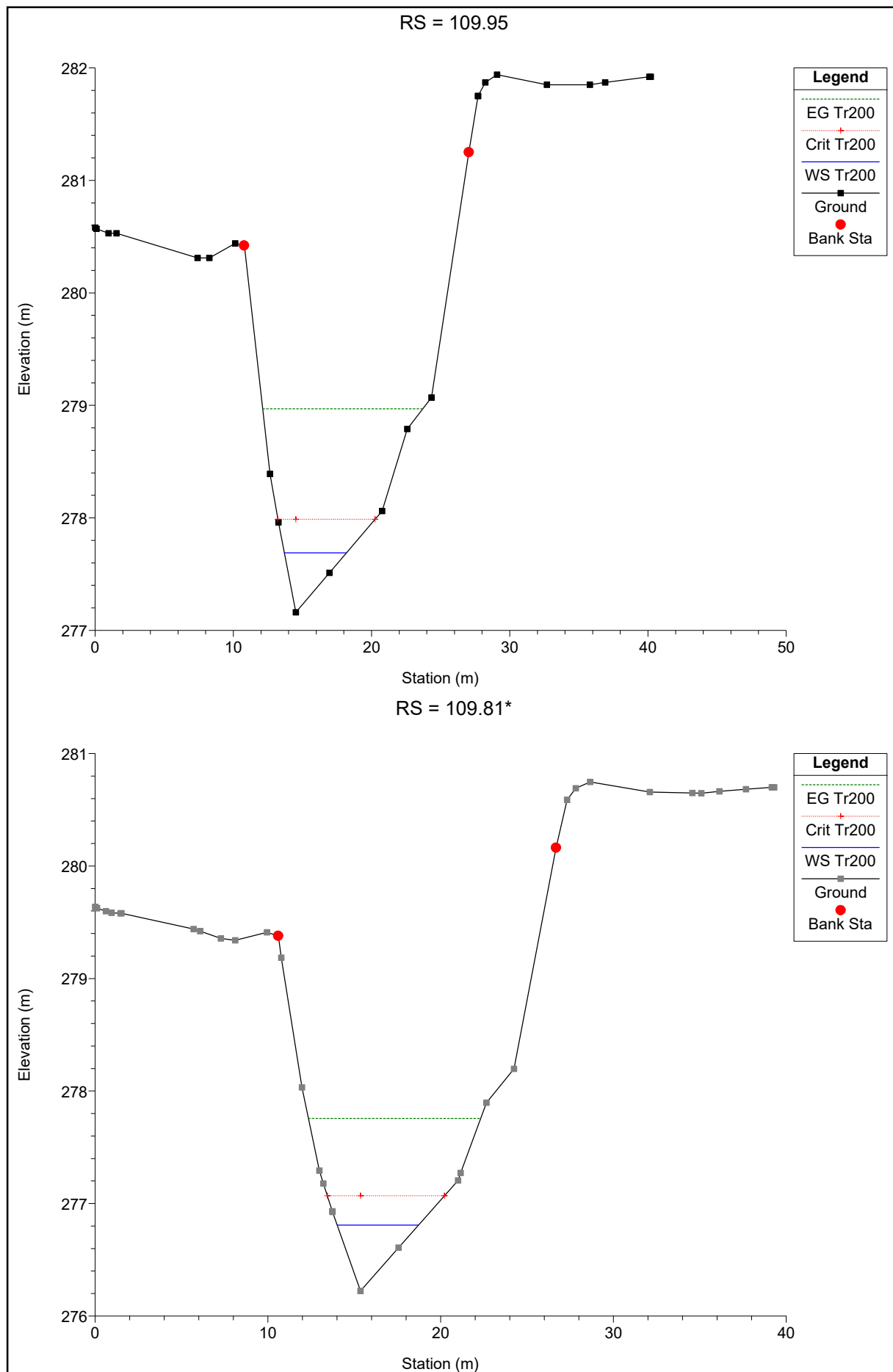


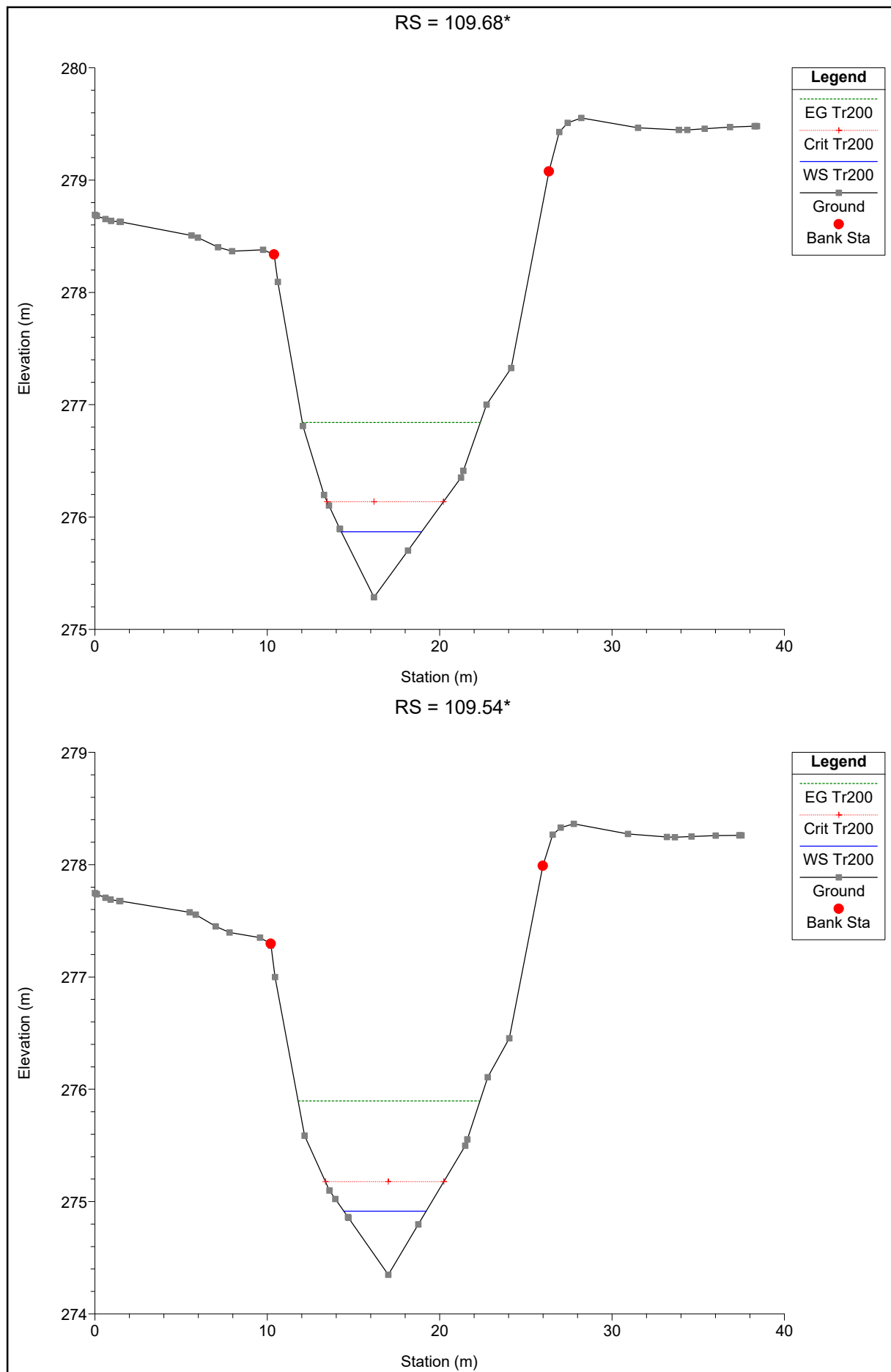
IN02-POST OPERAM

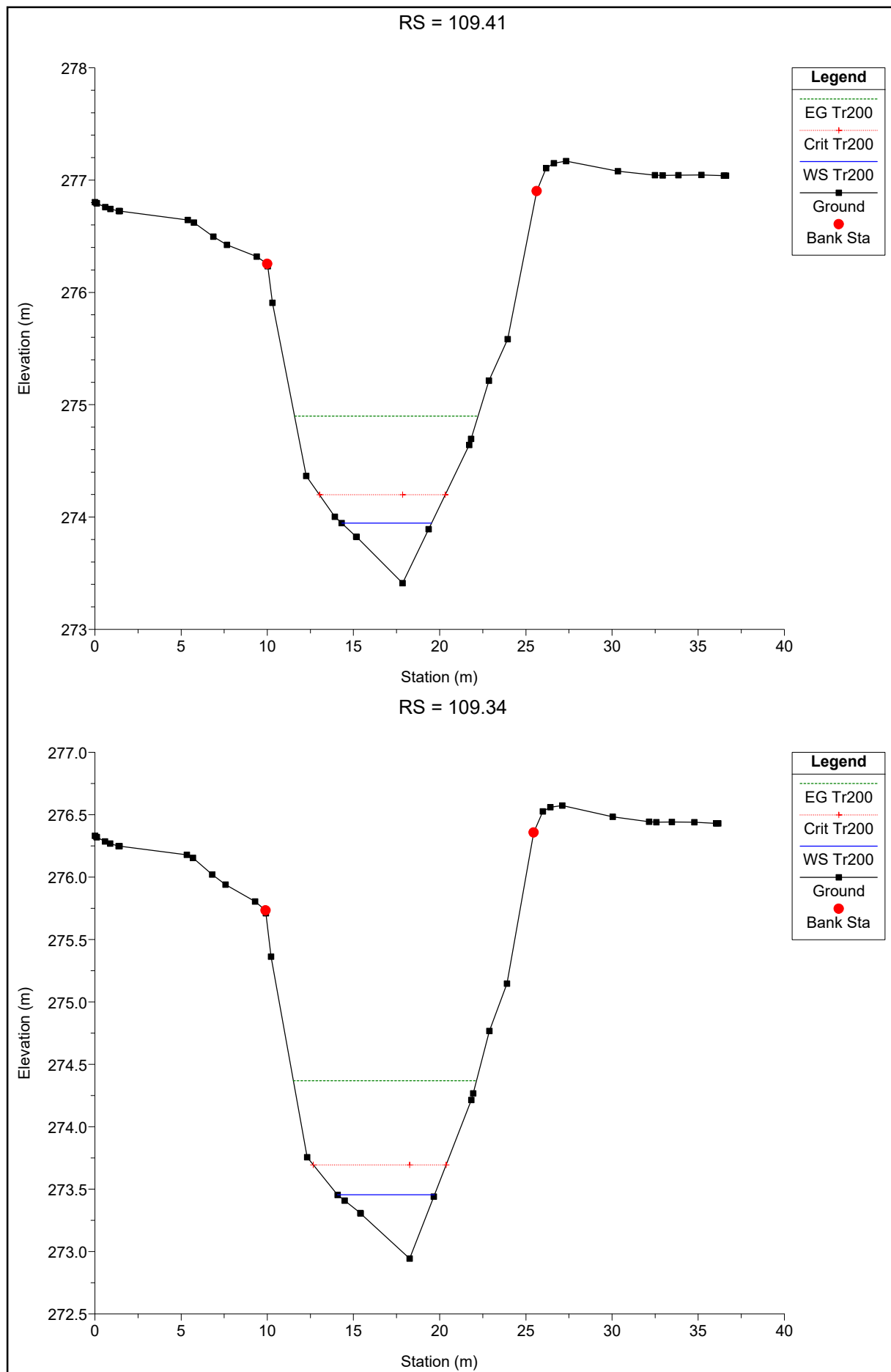


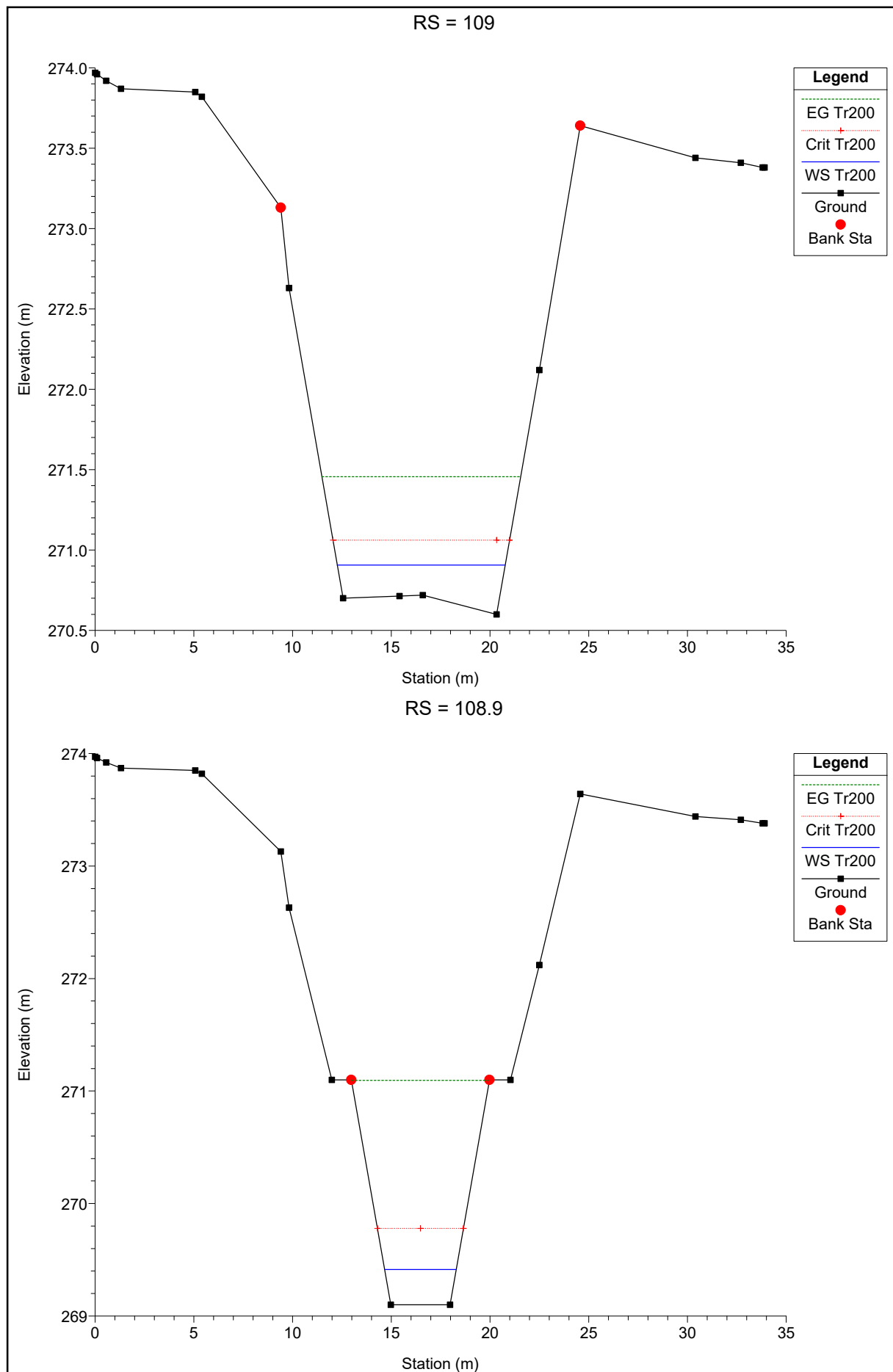


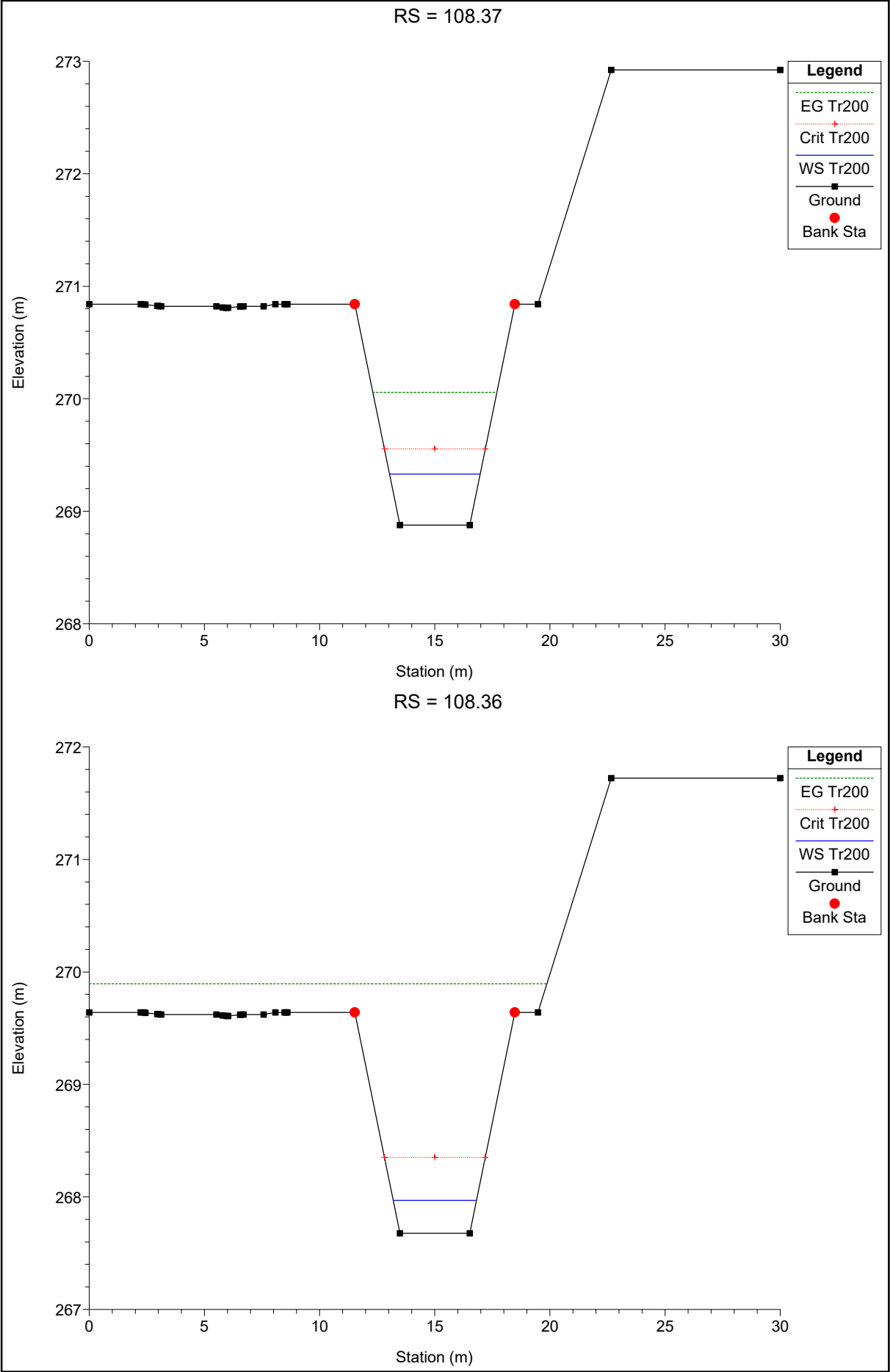


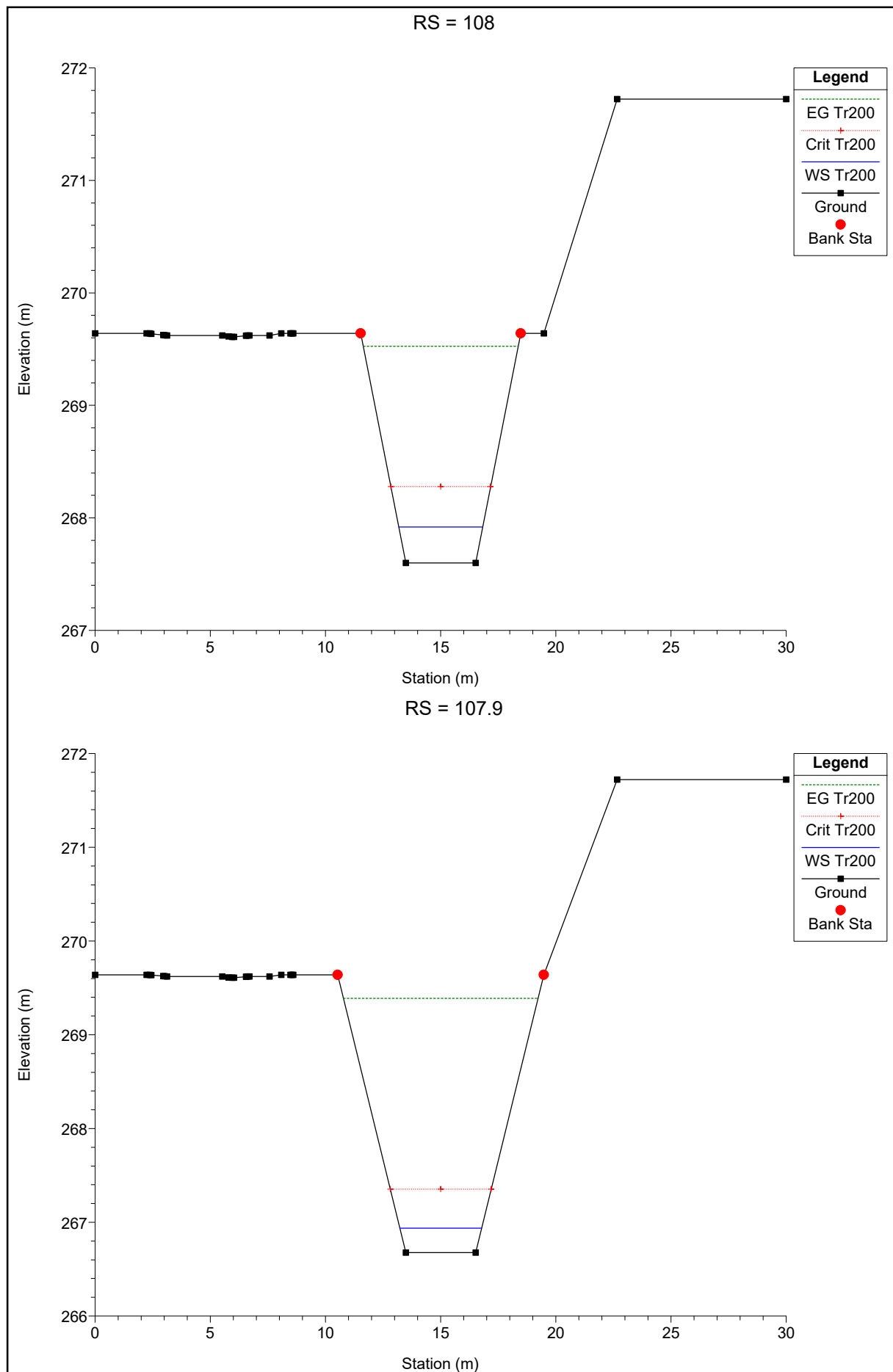


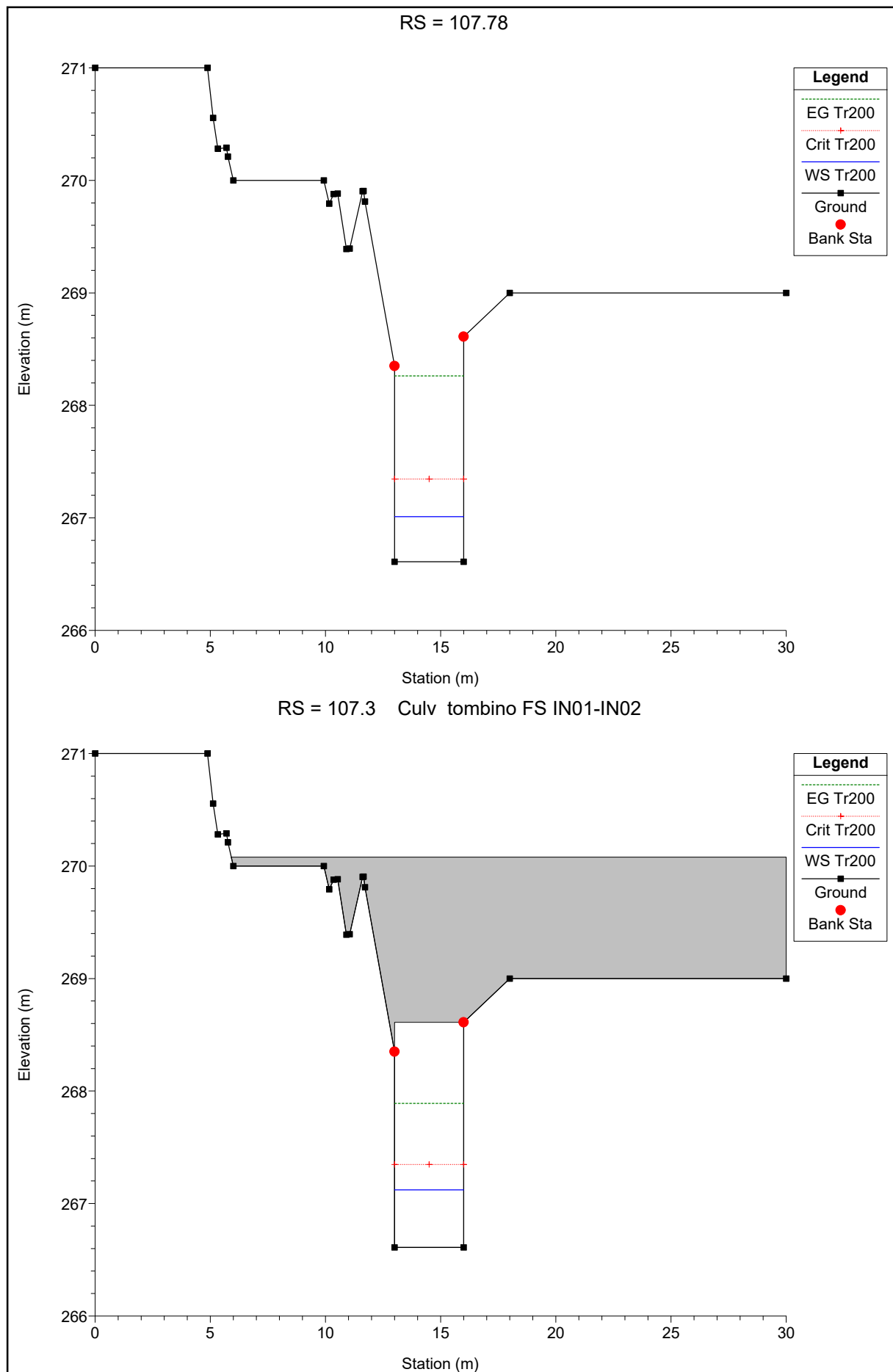


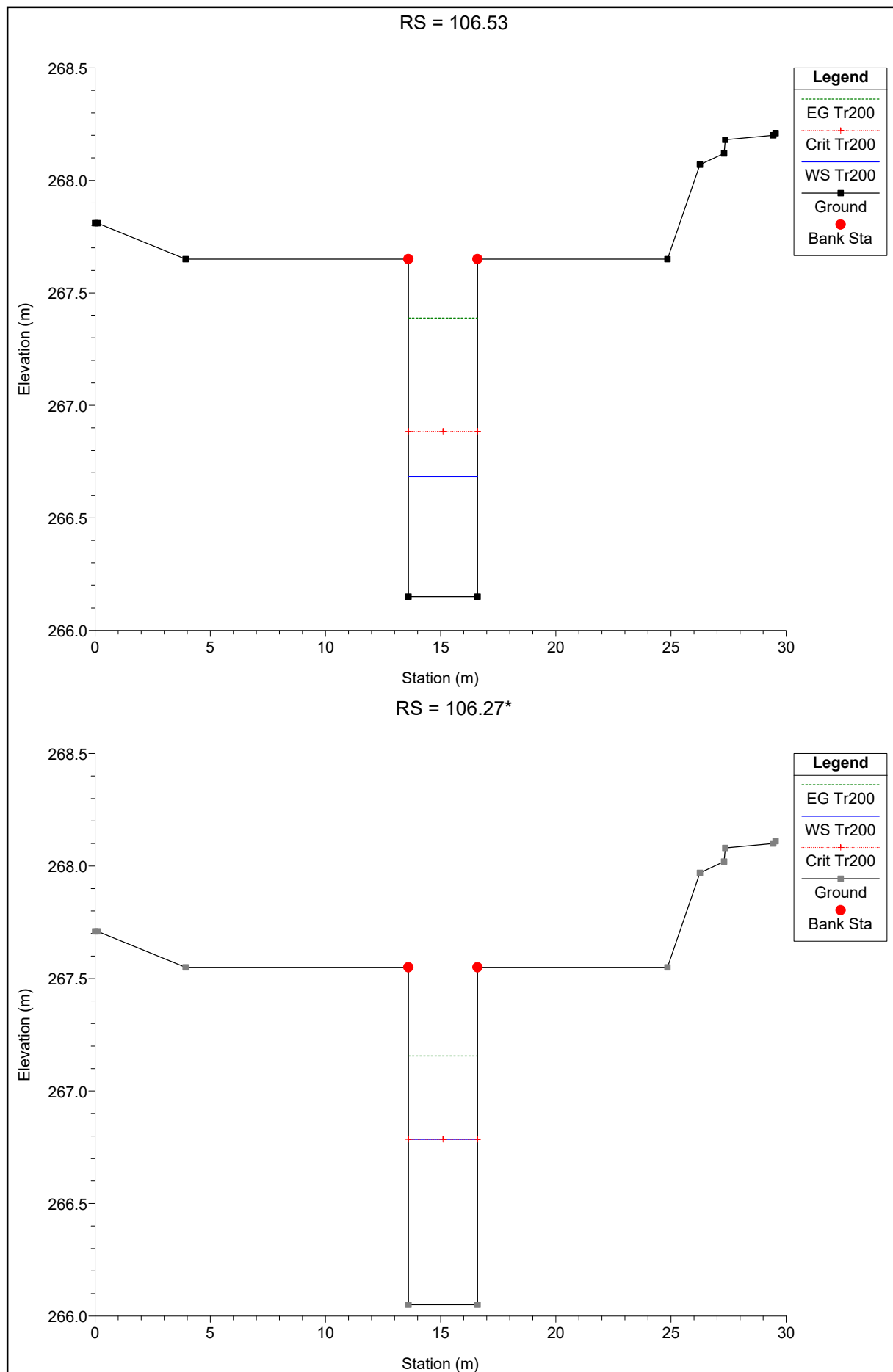


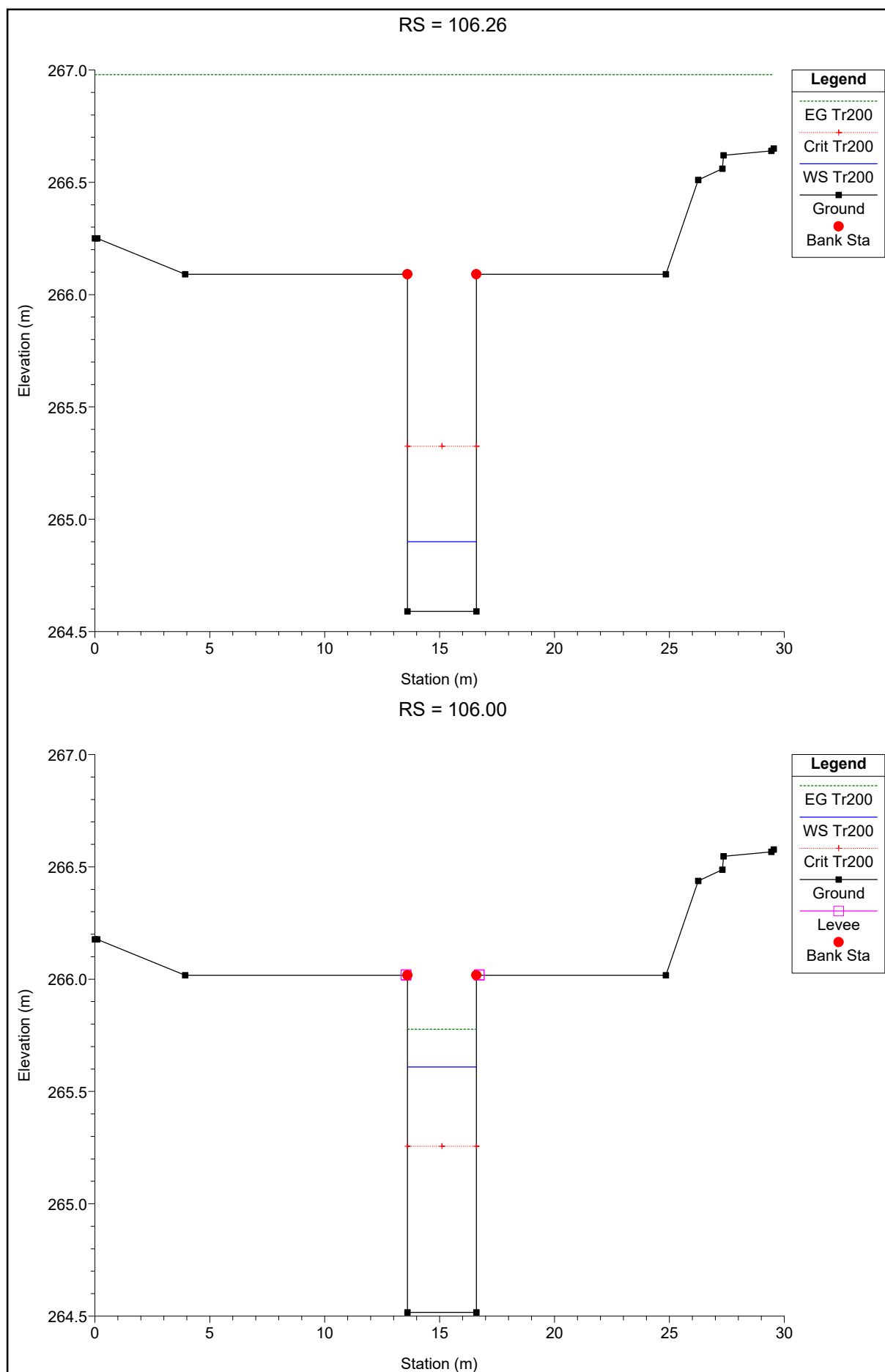


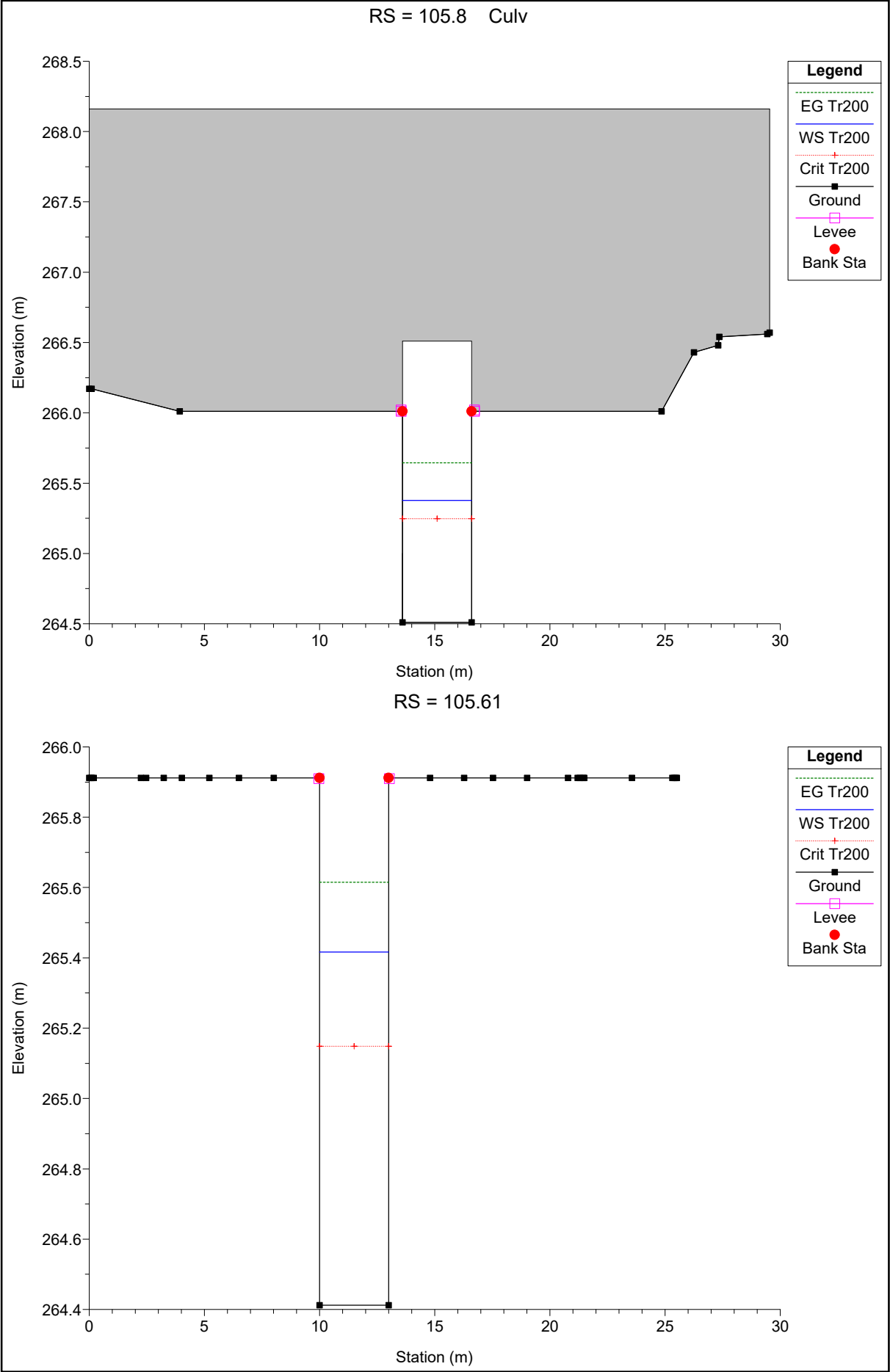


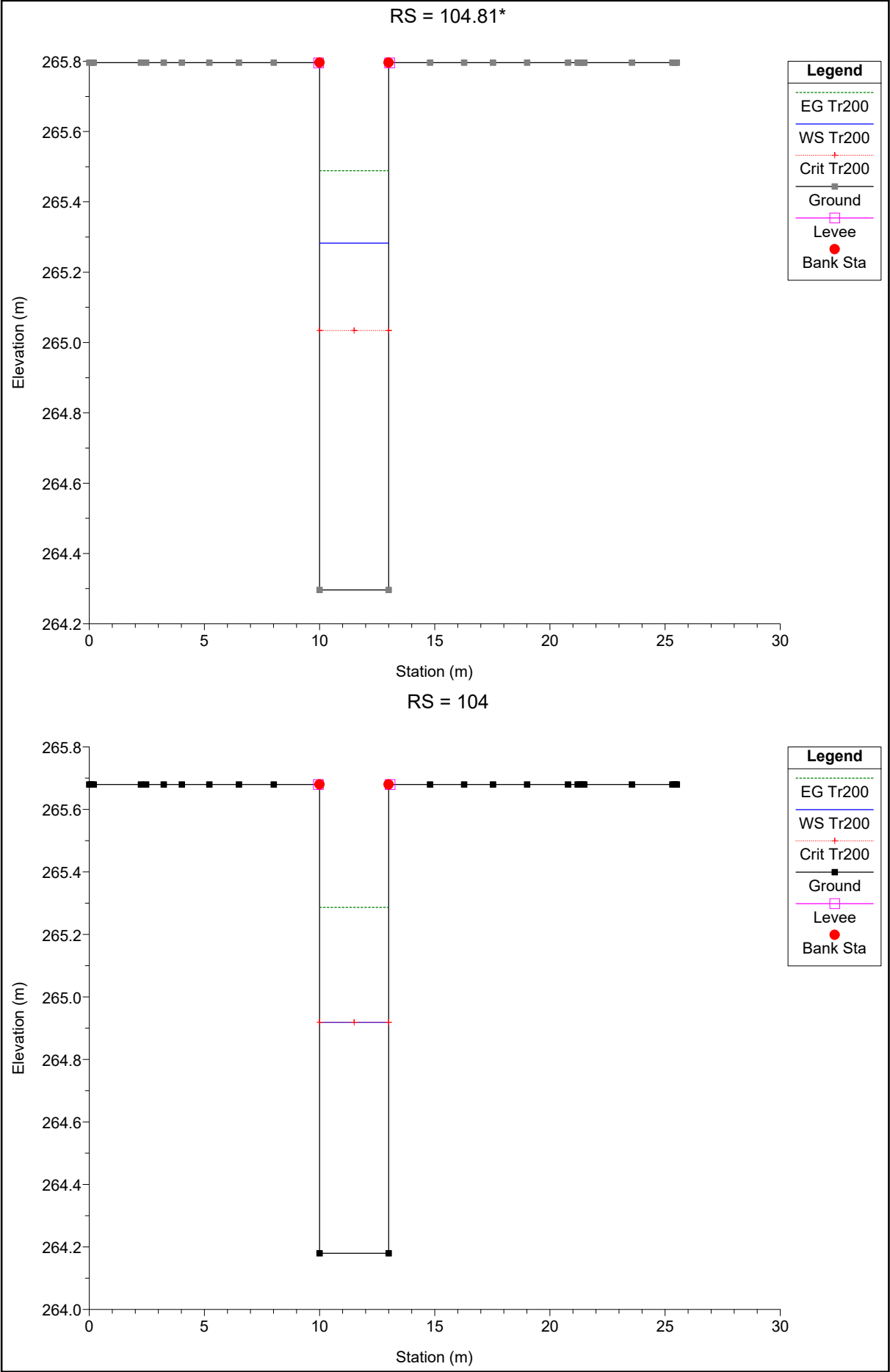


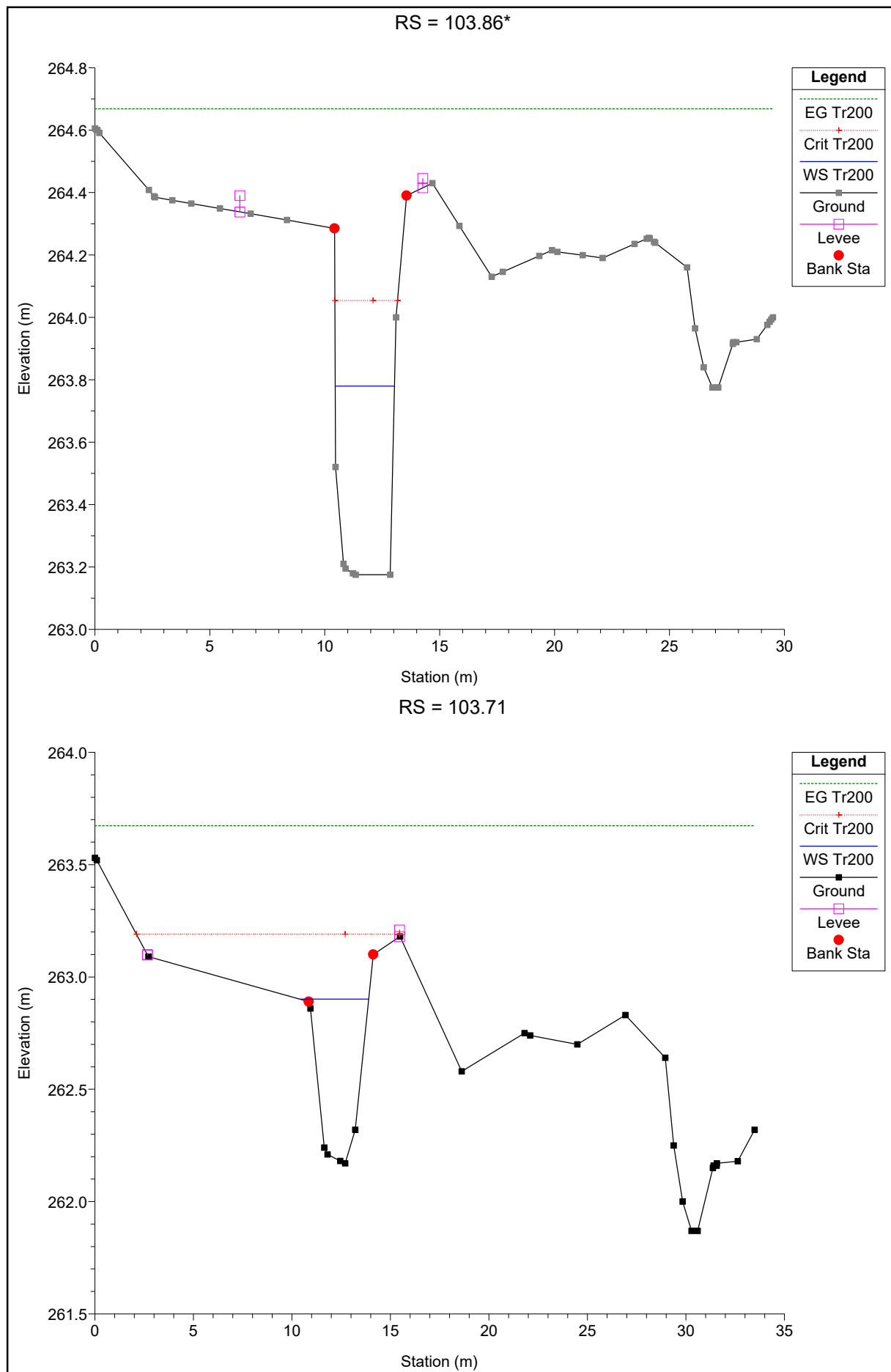


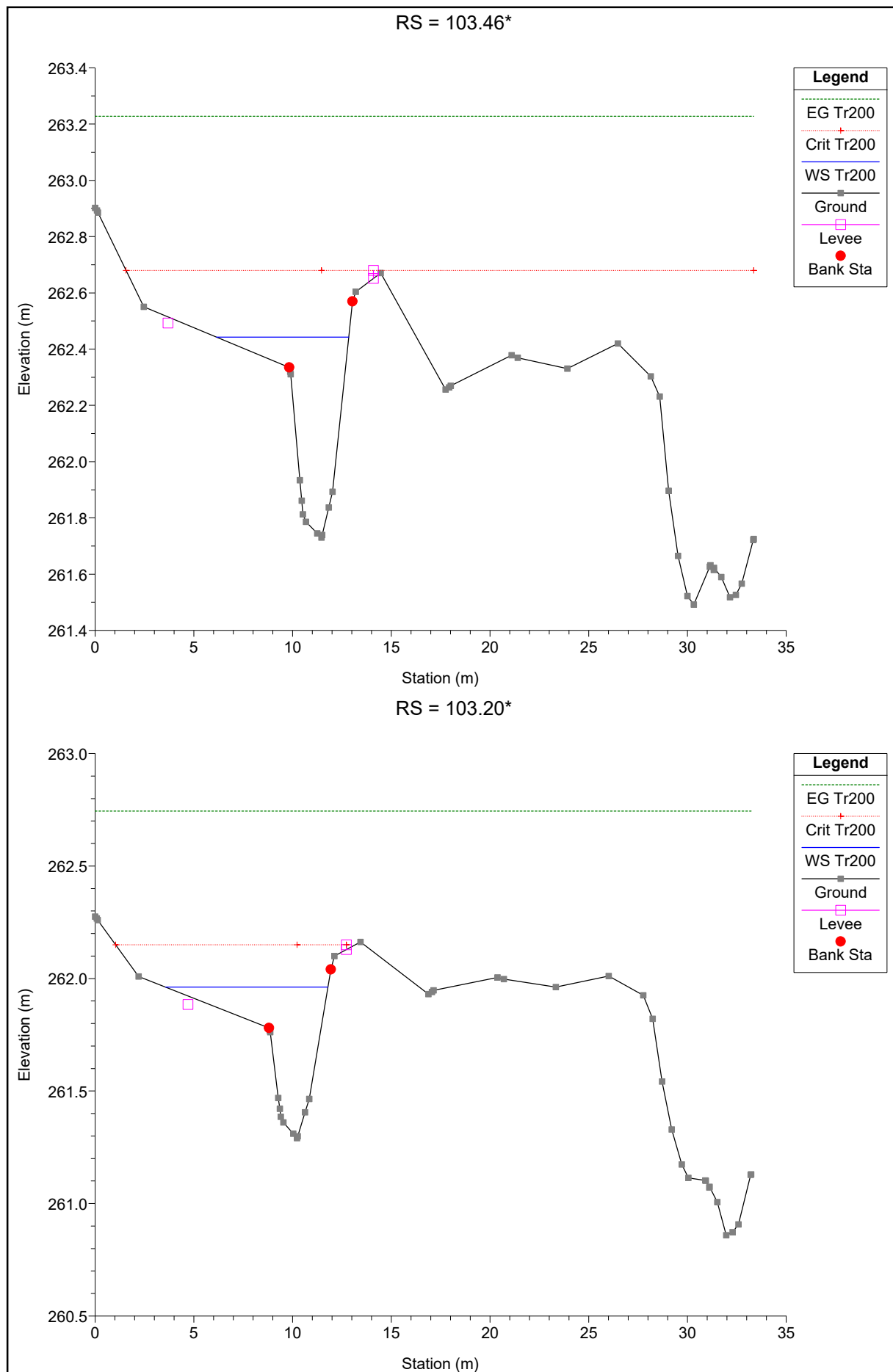


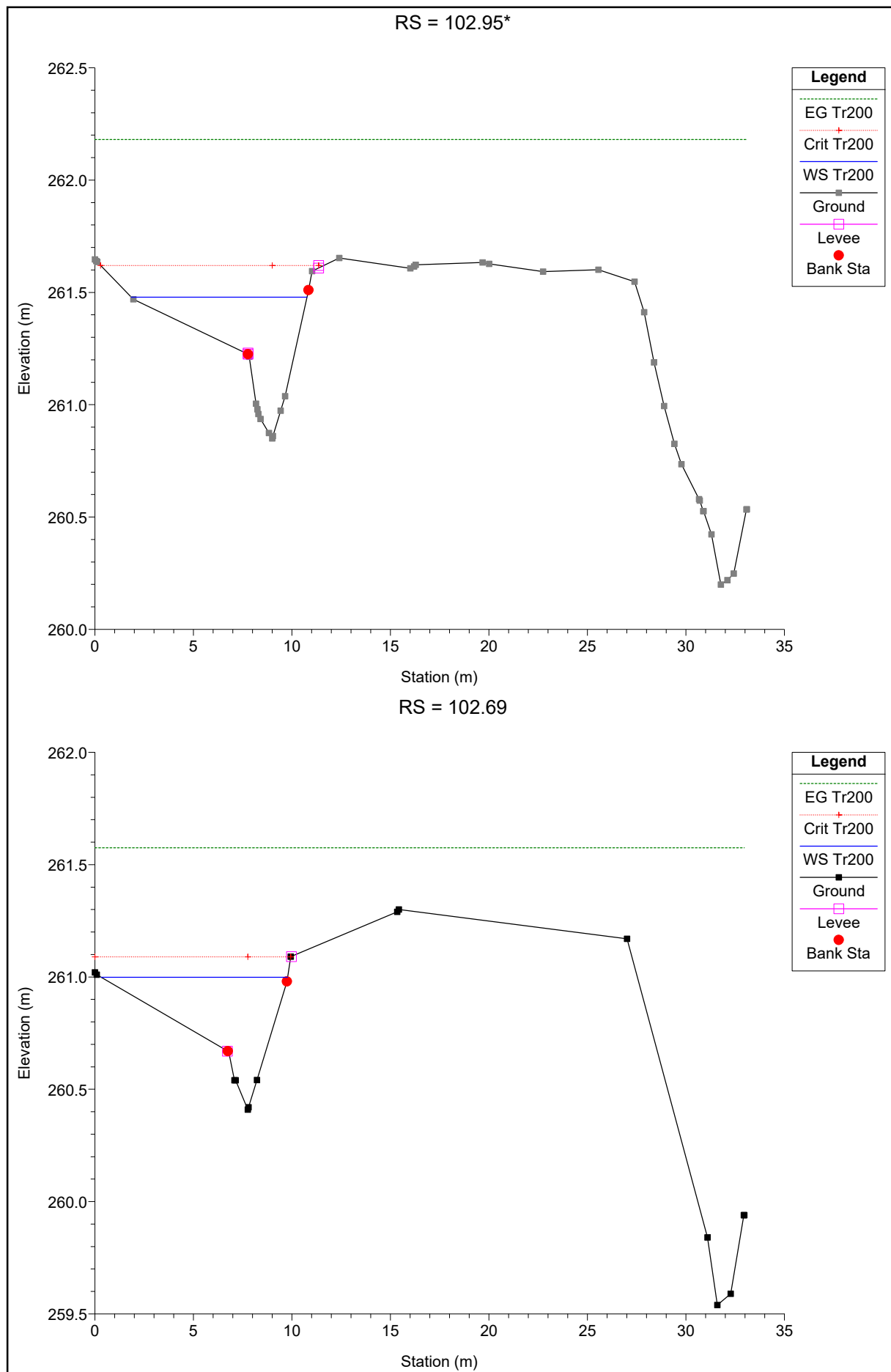


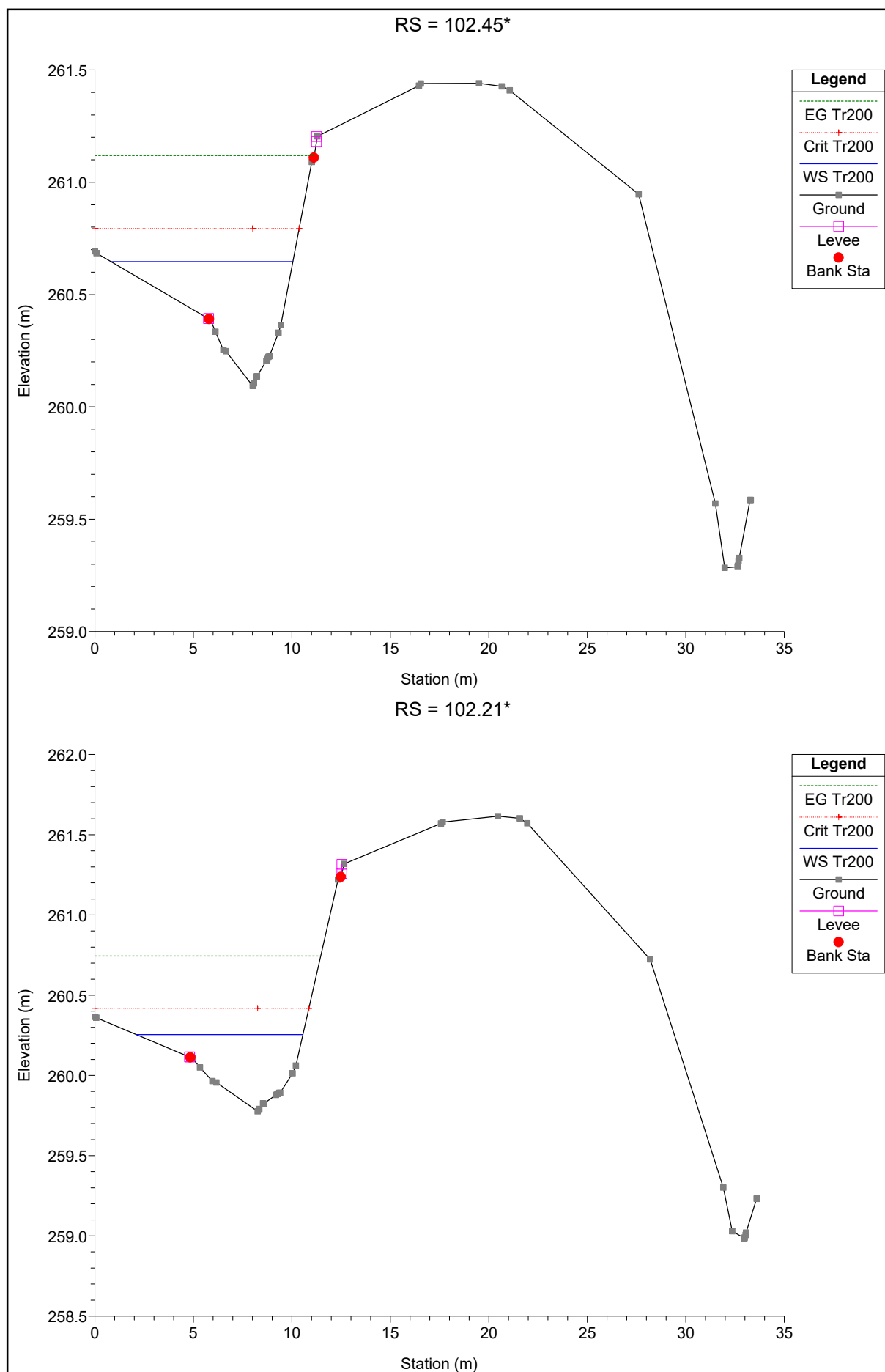


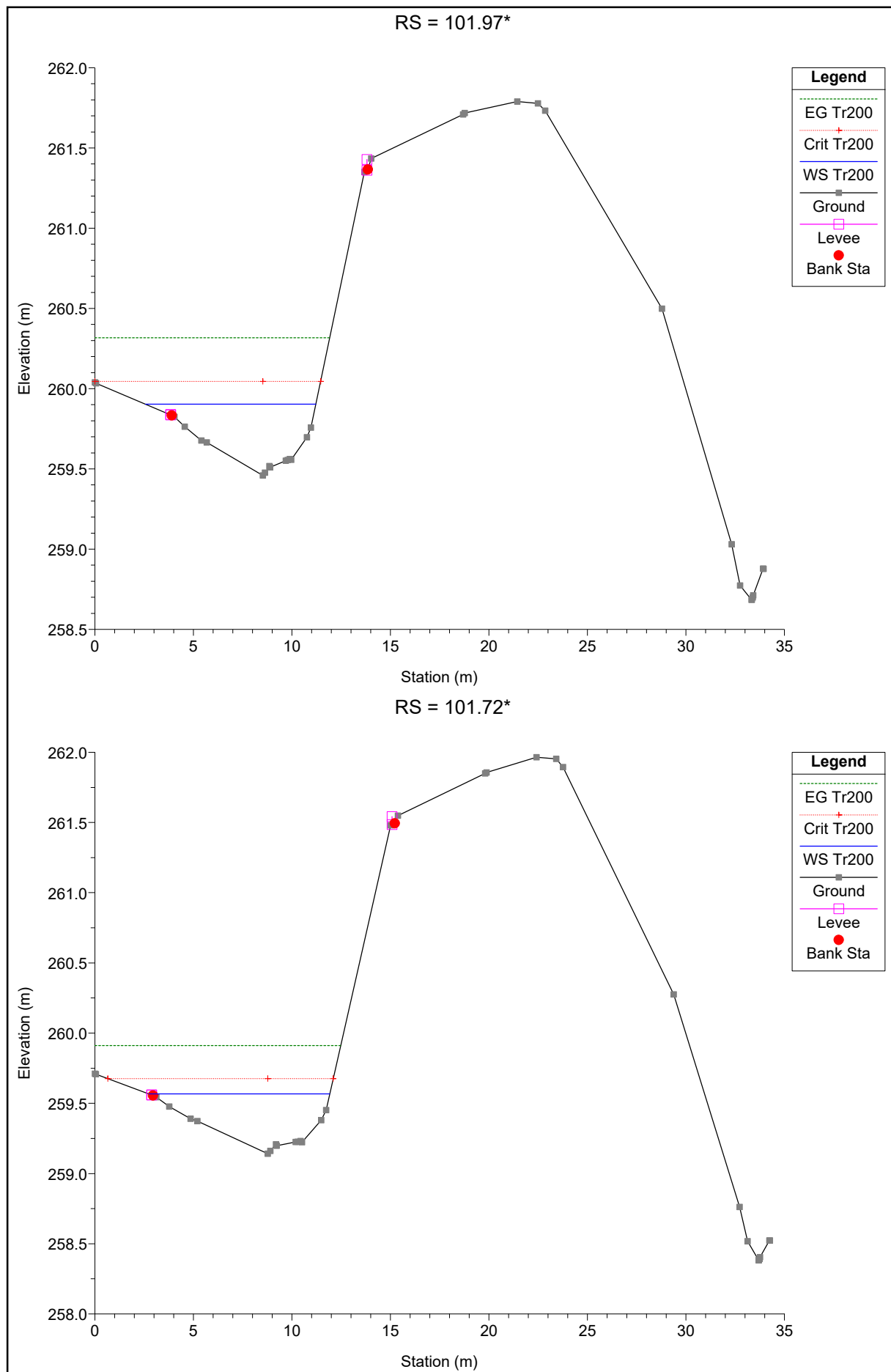


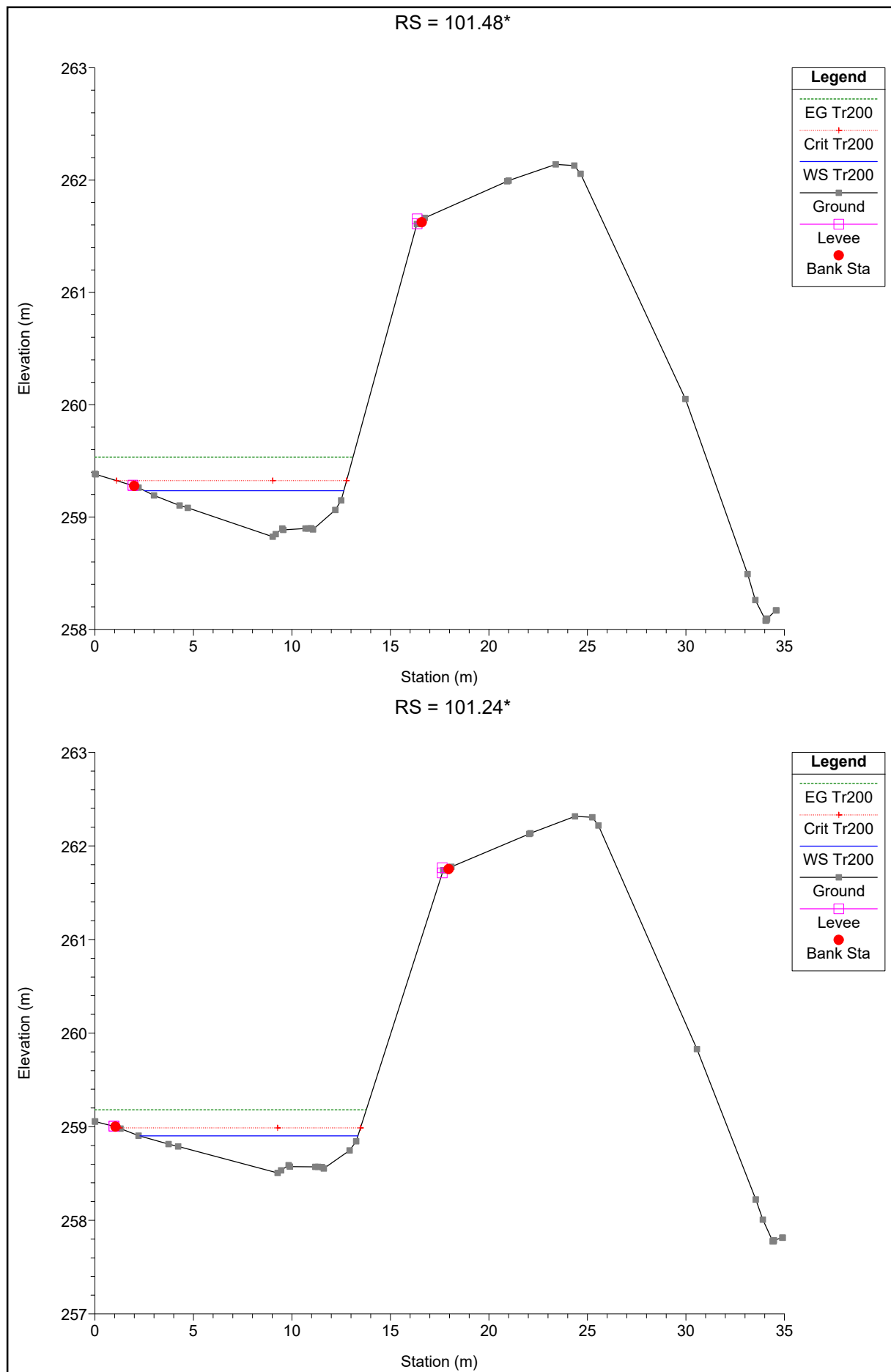


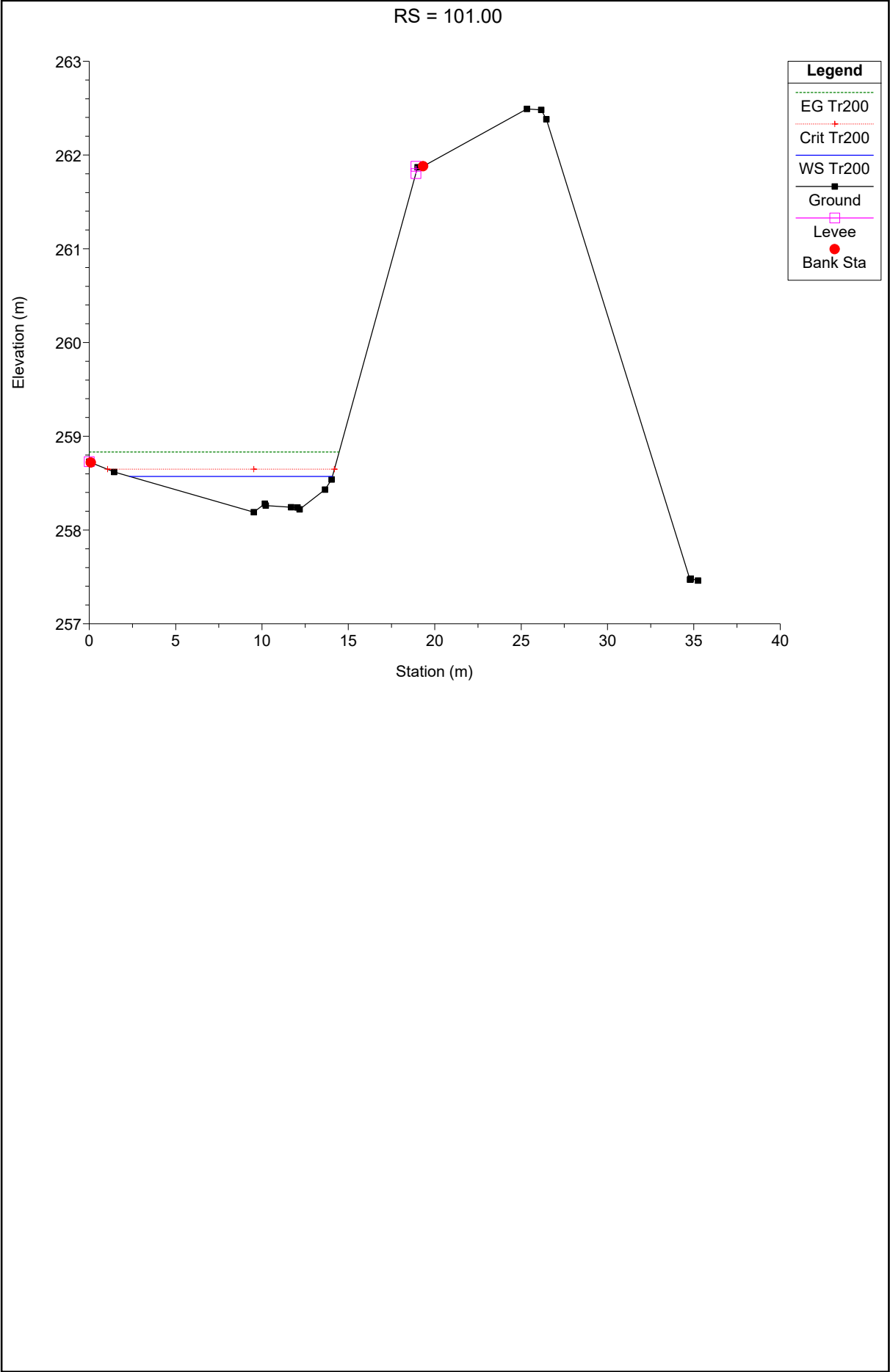




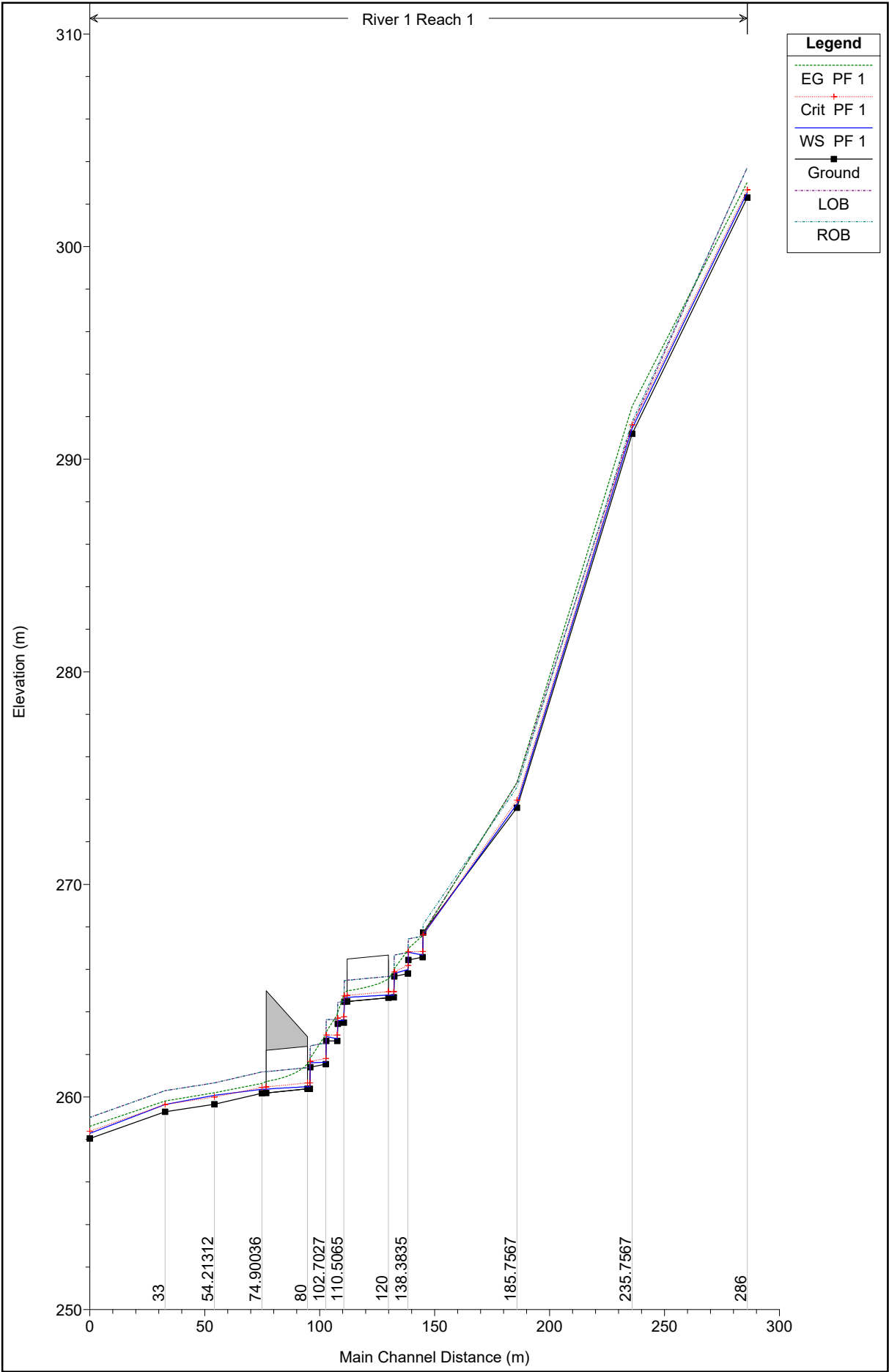


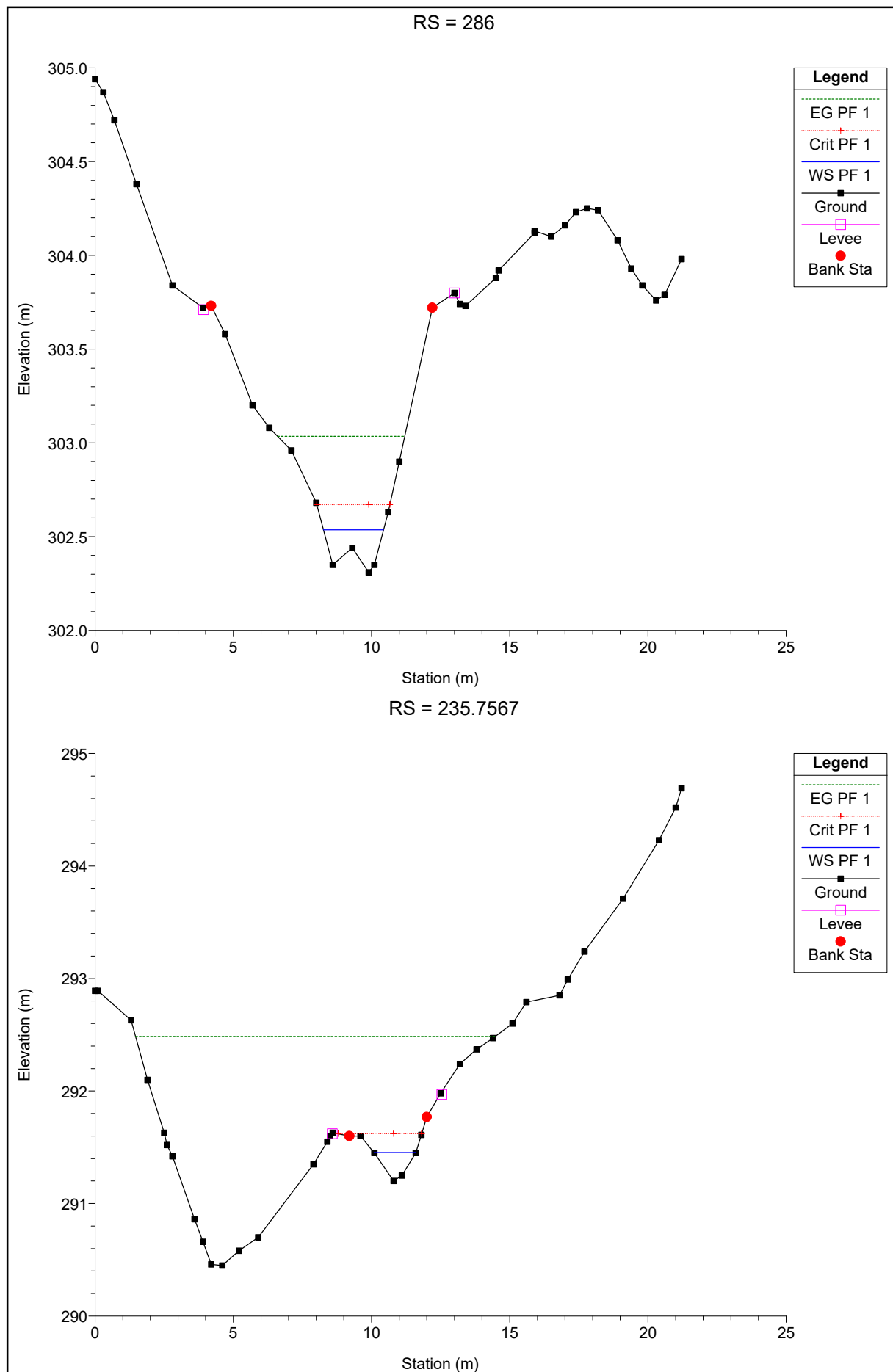


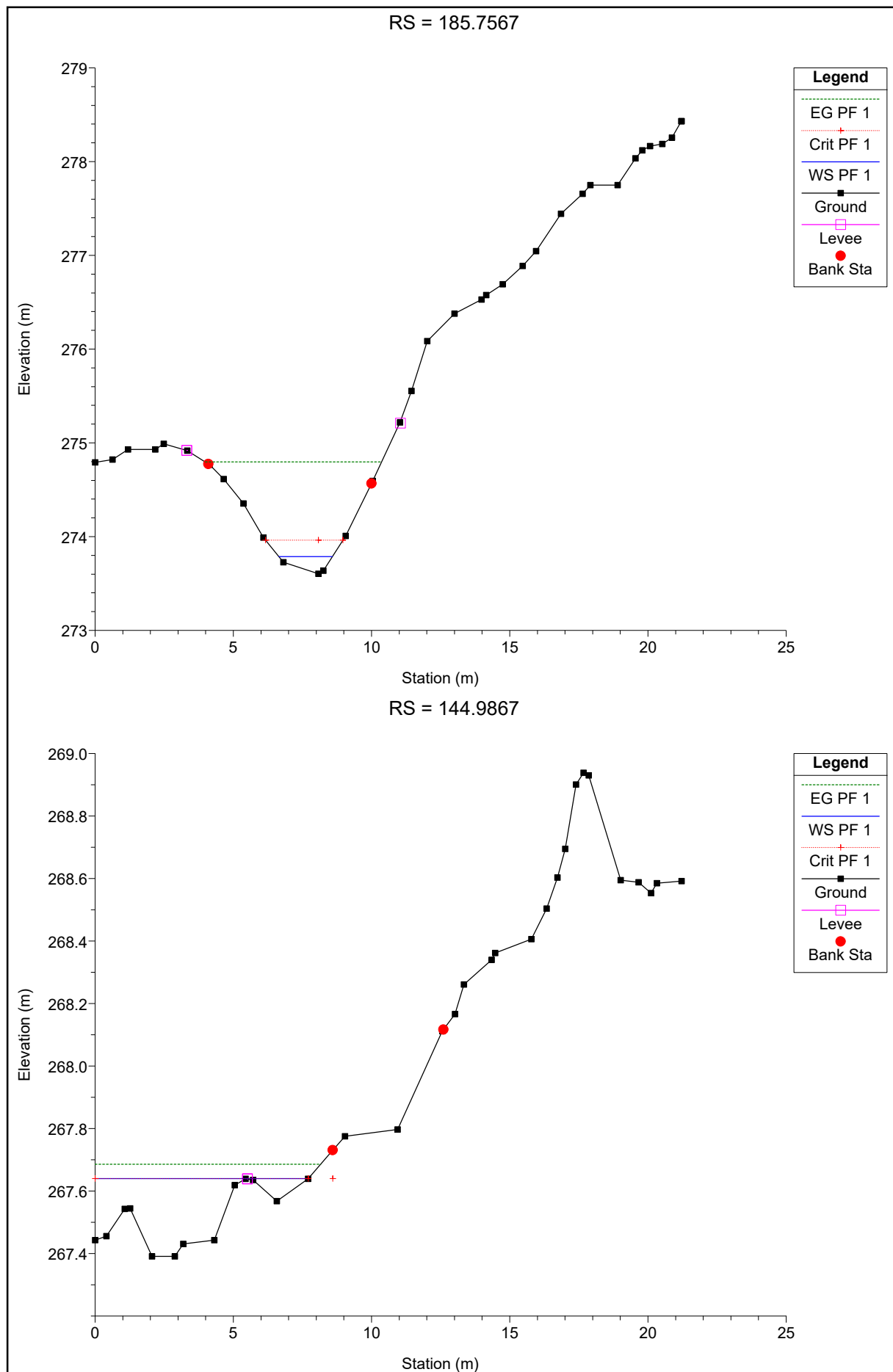


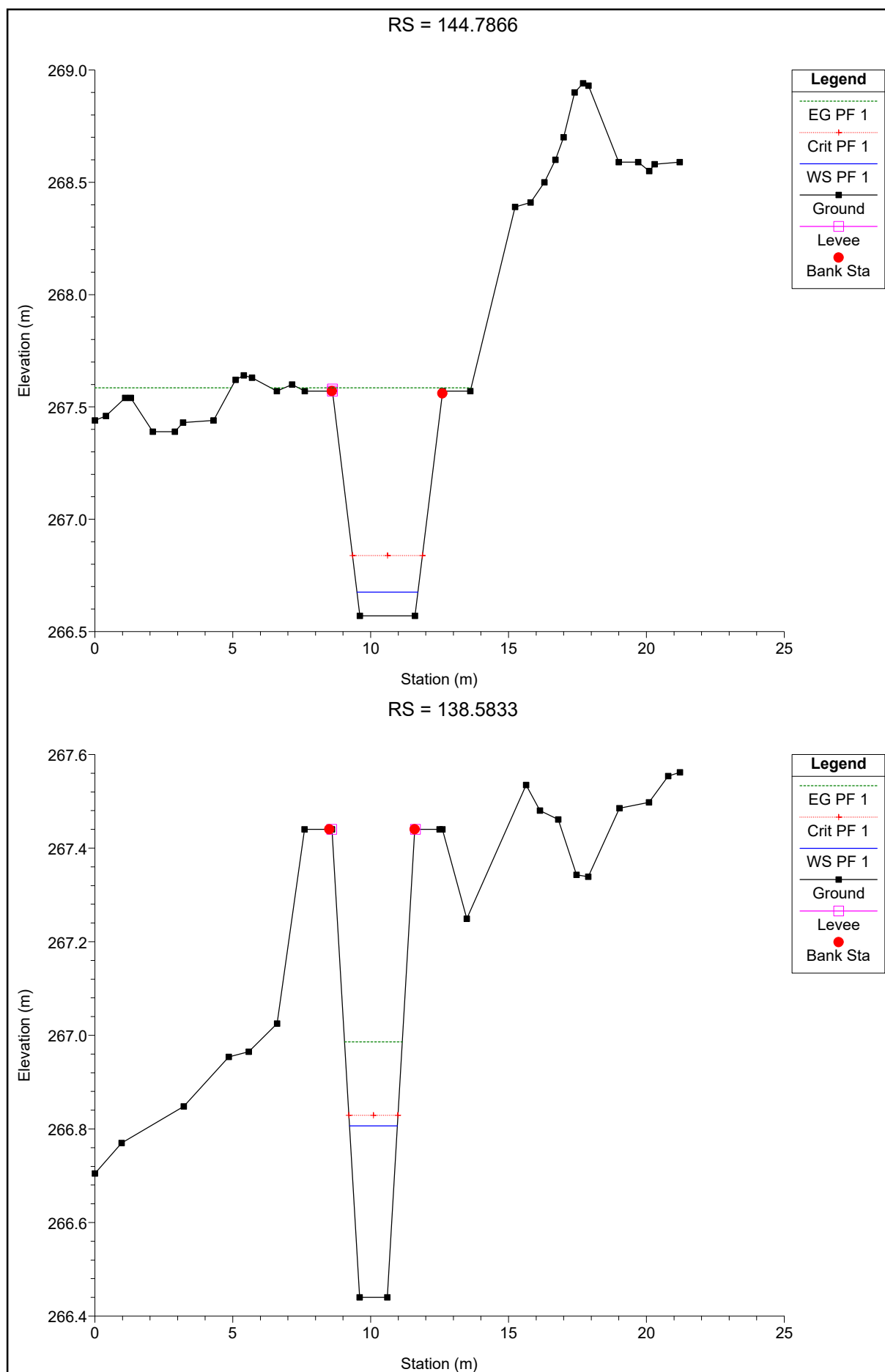


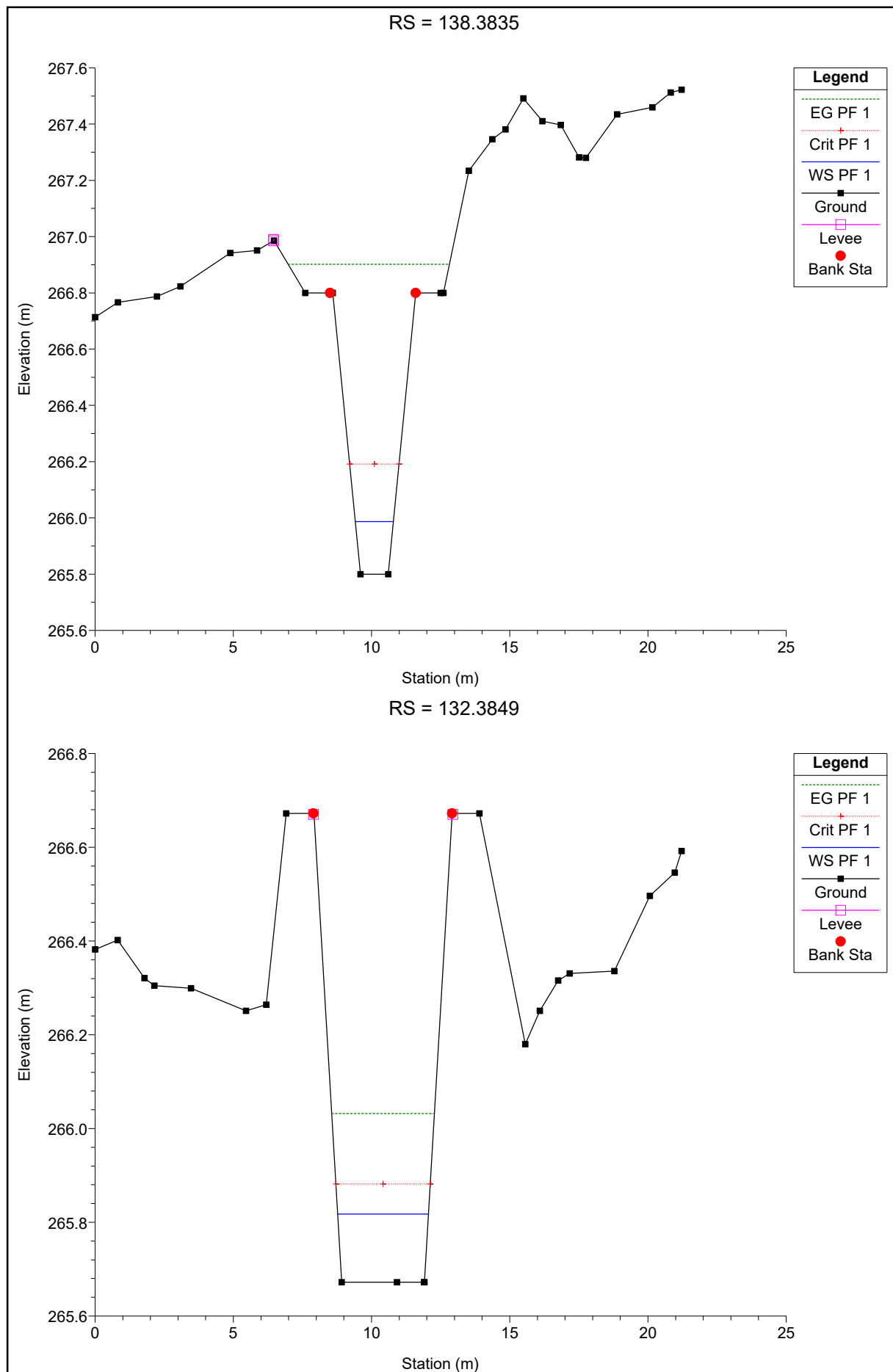
IN03-ANTE OPERAM

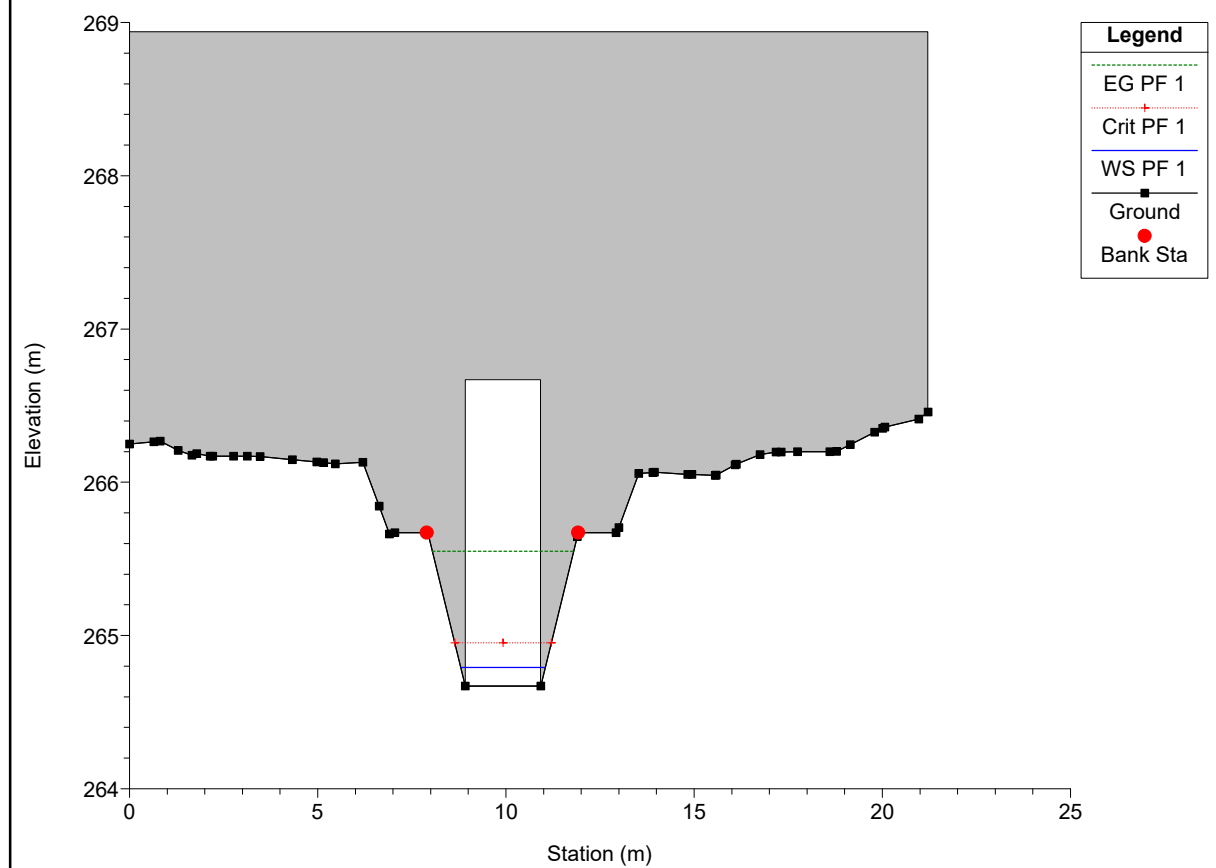
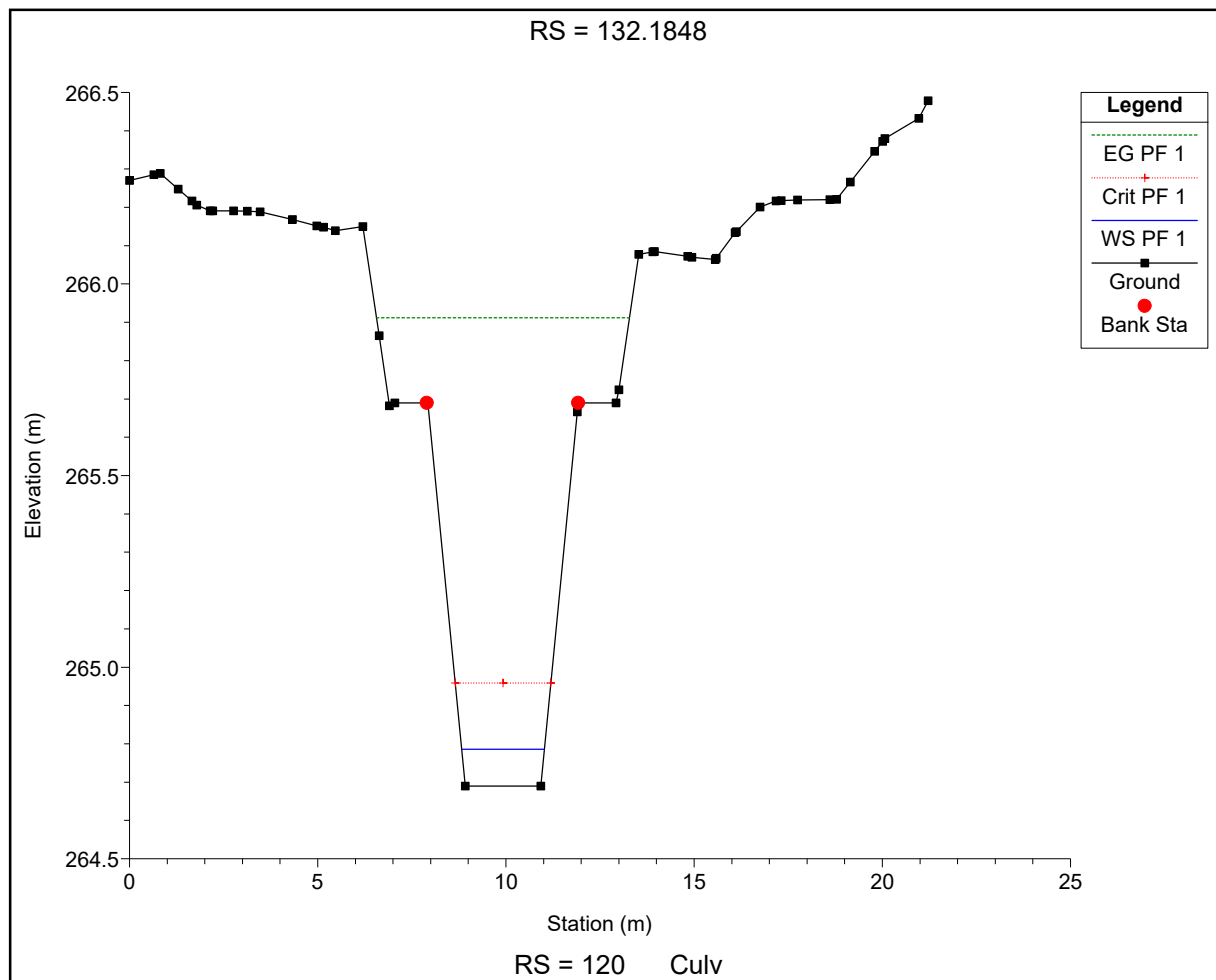


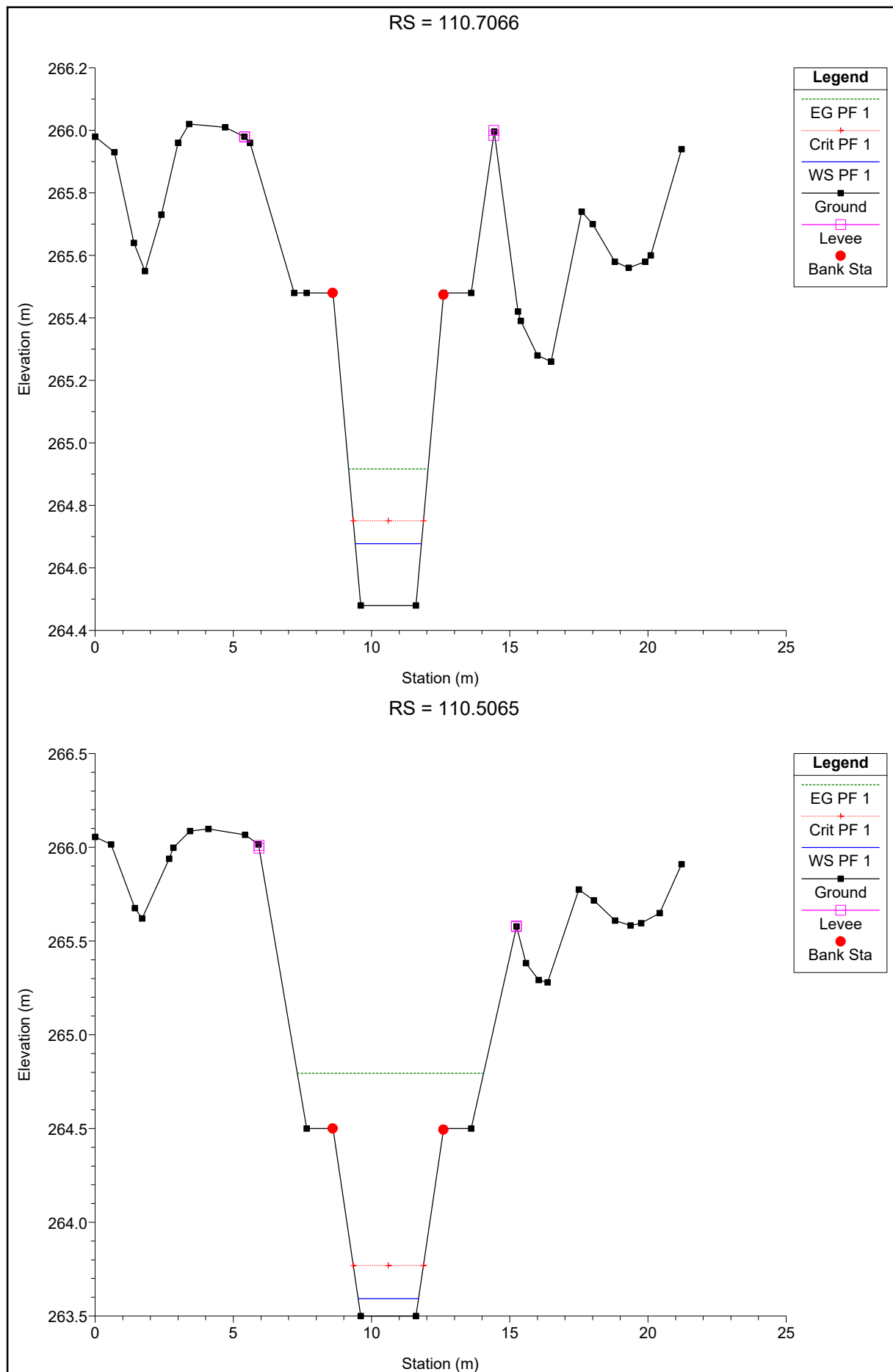


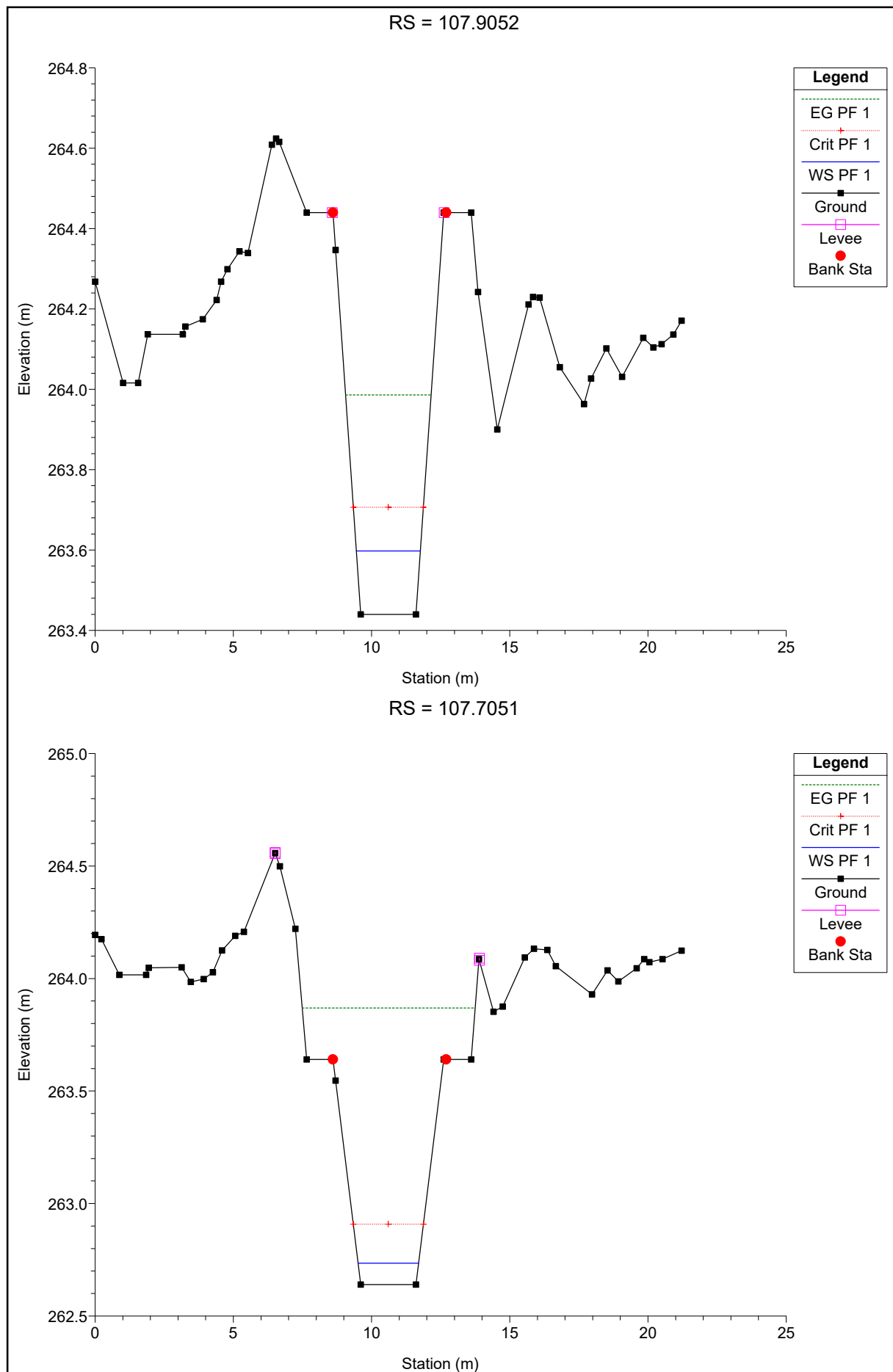


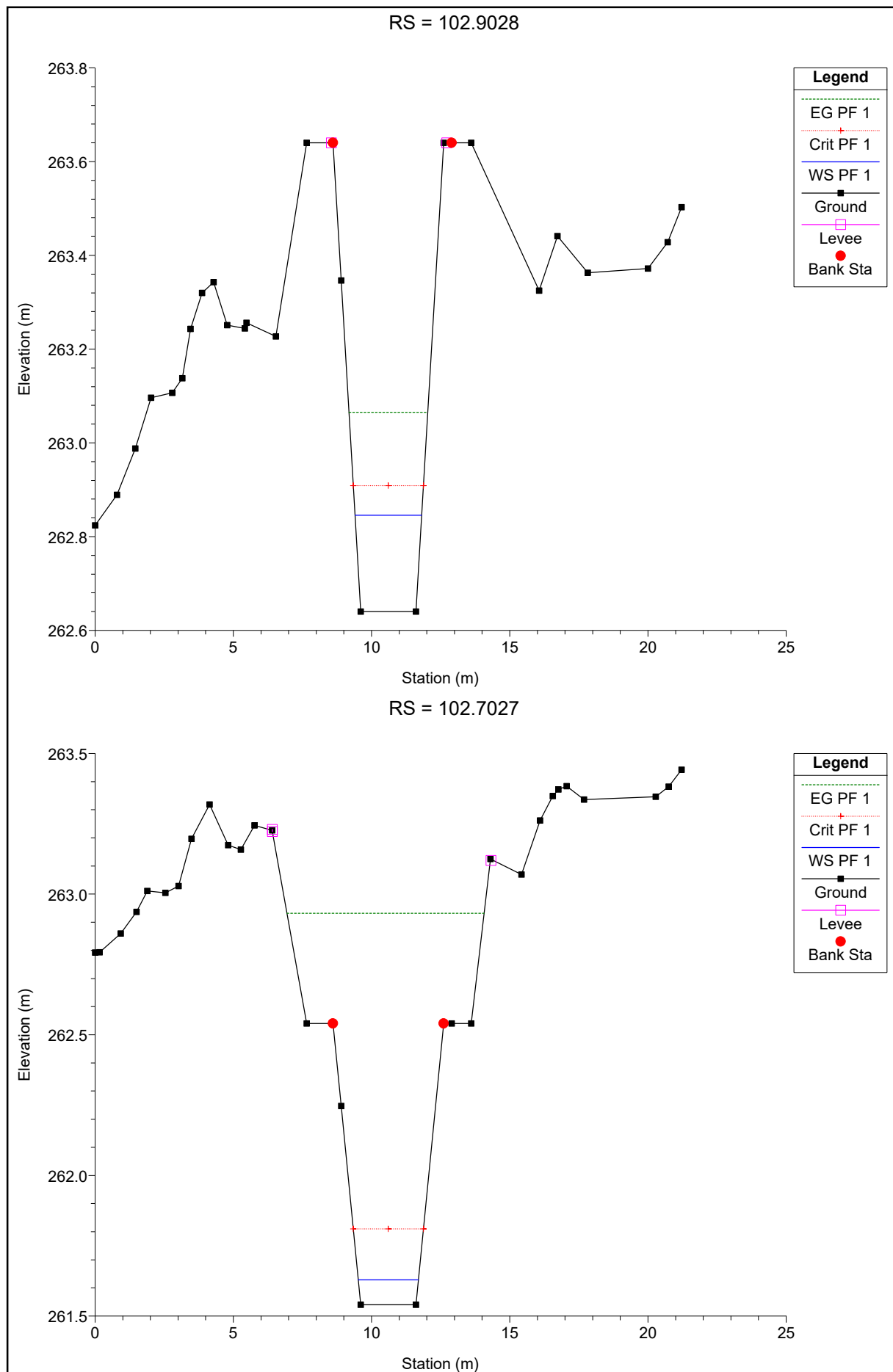


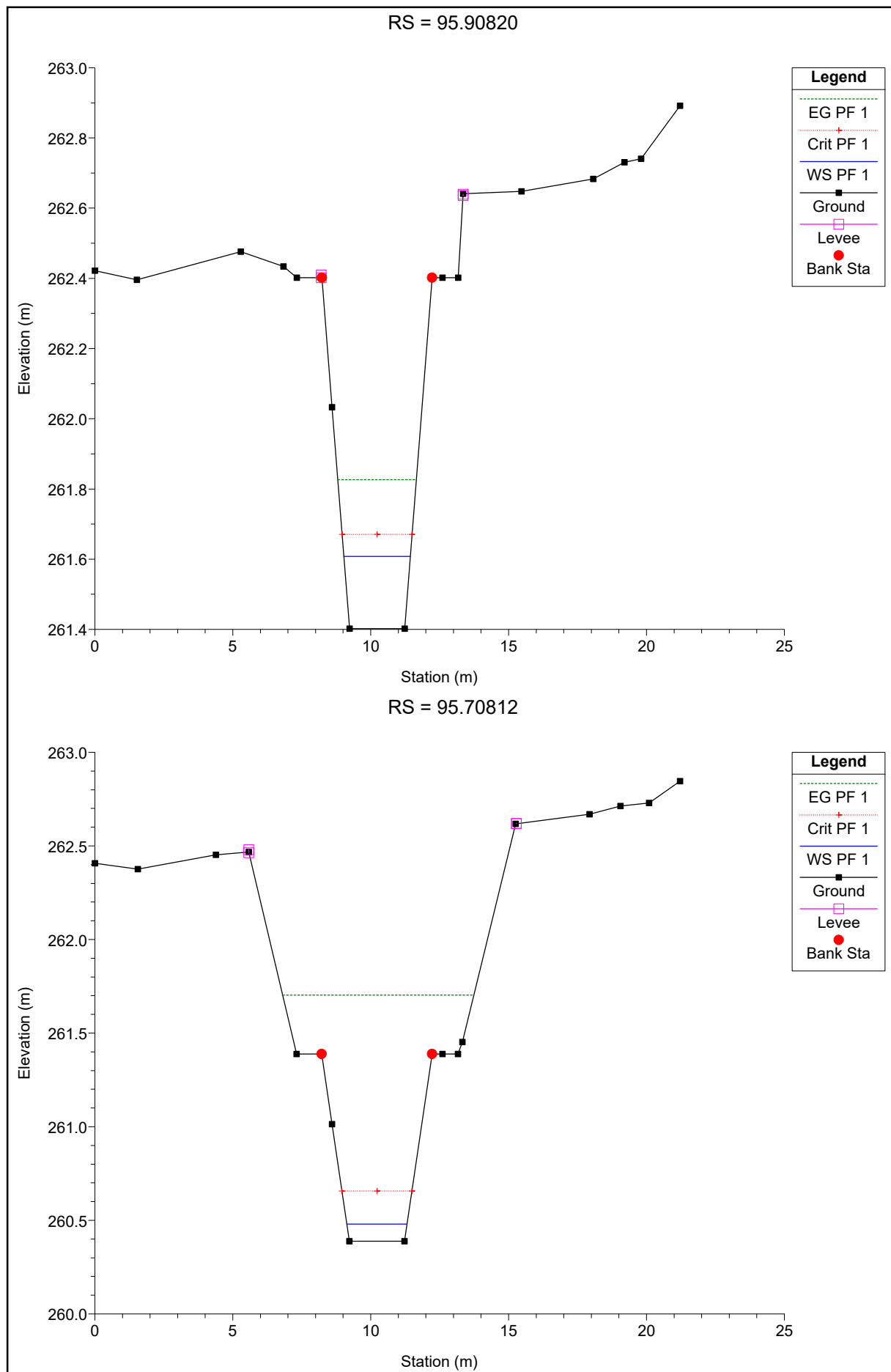


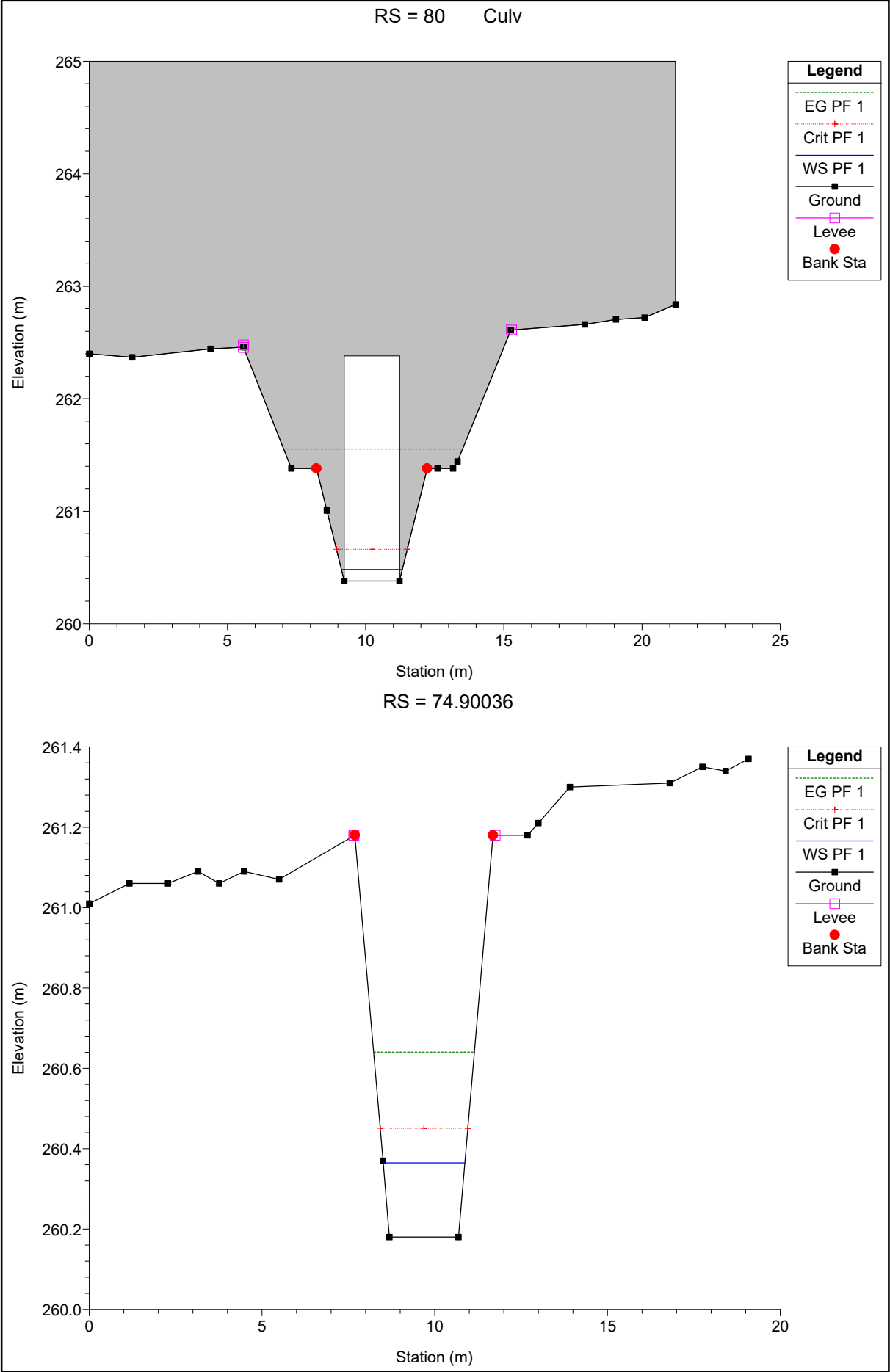


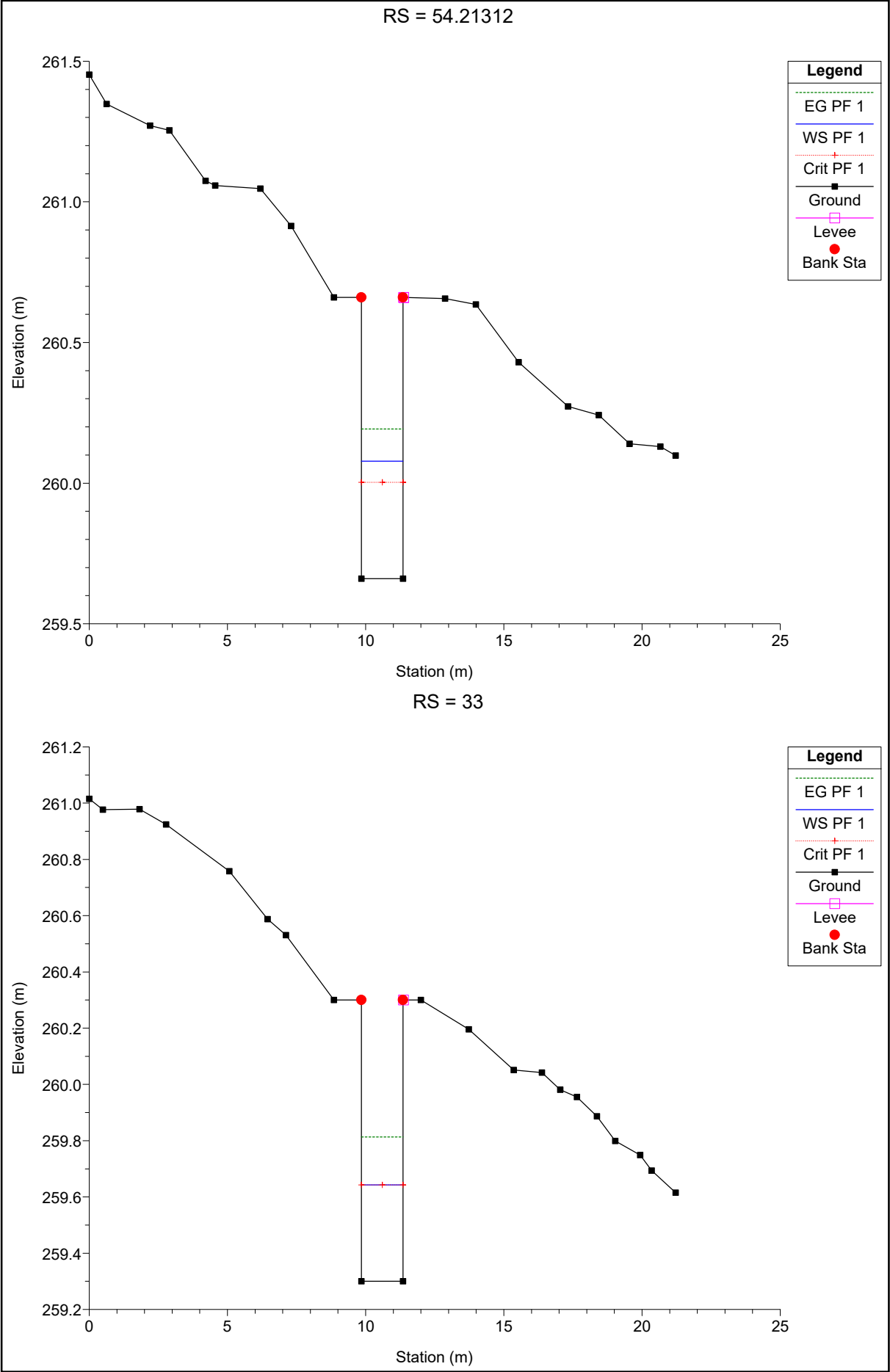


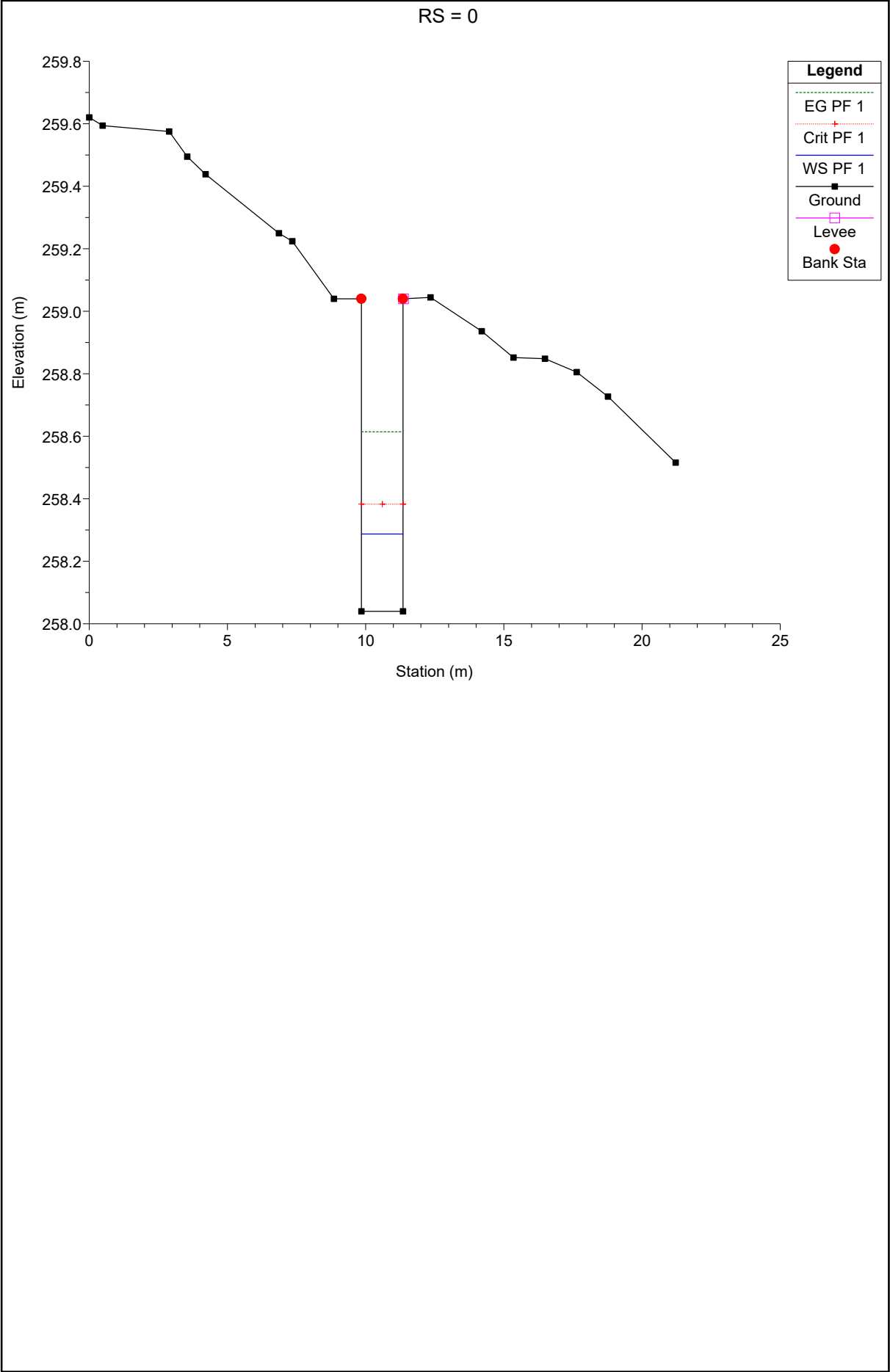




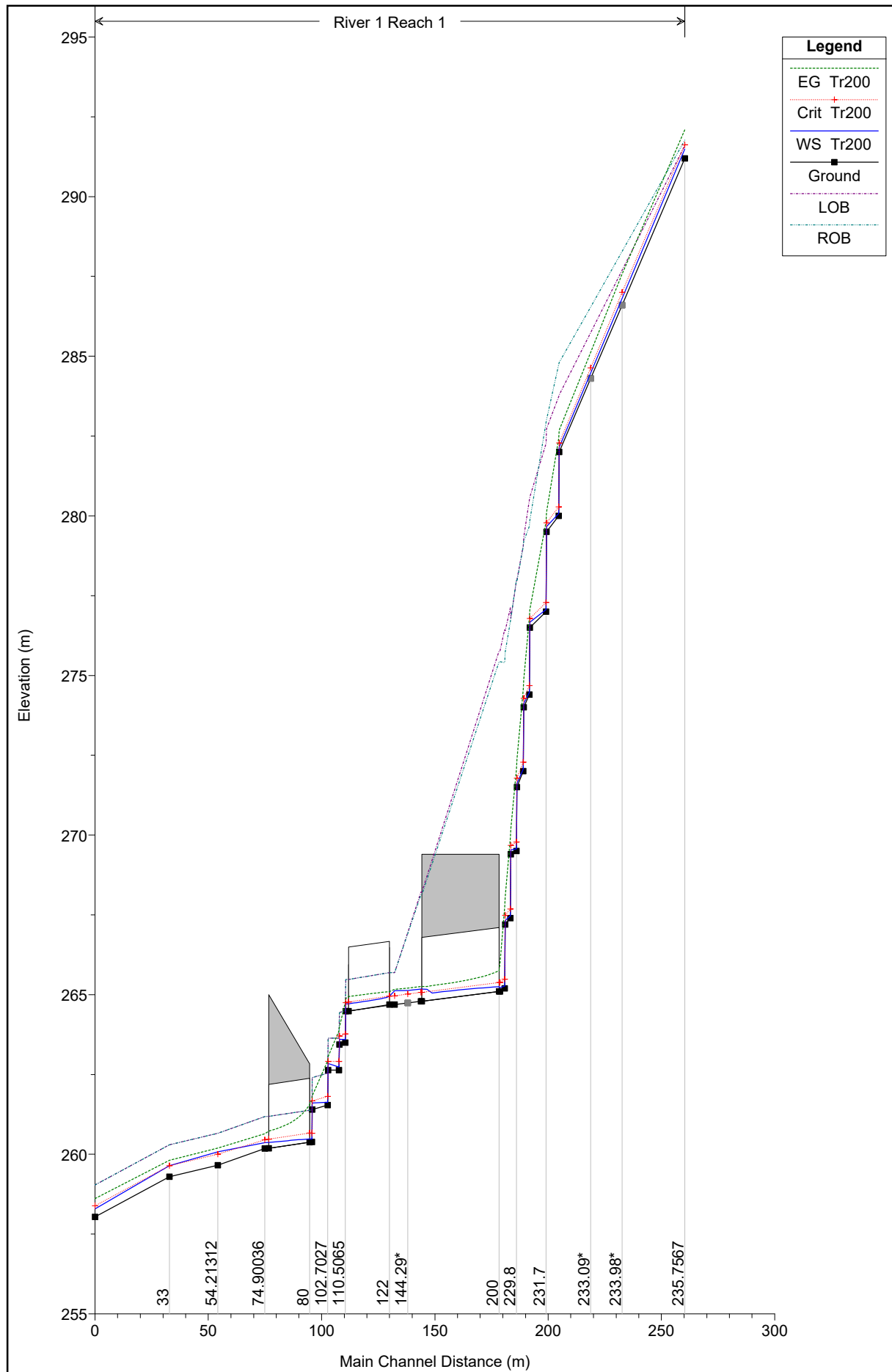


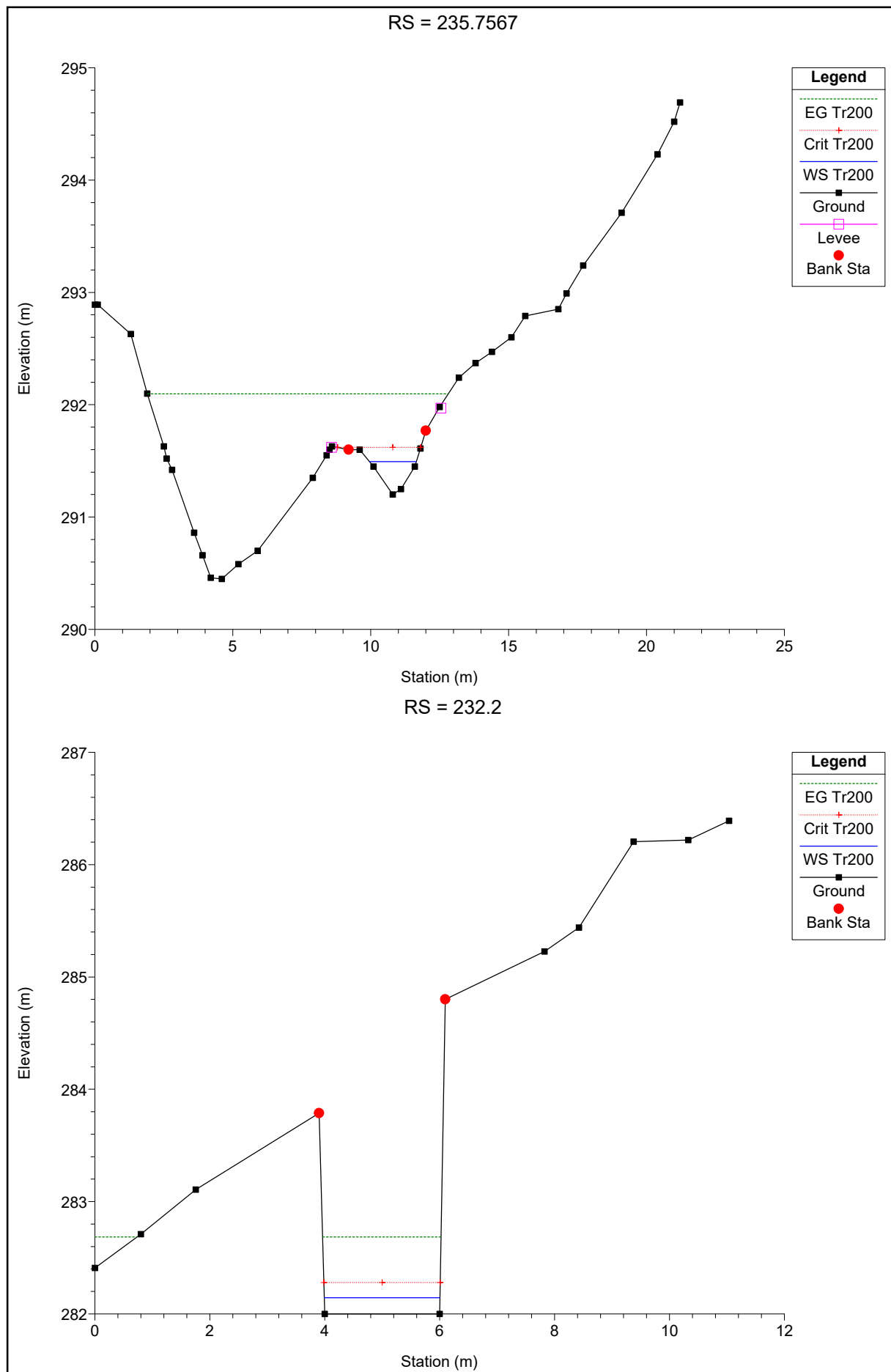


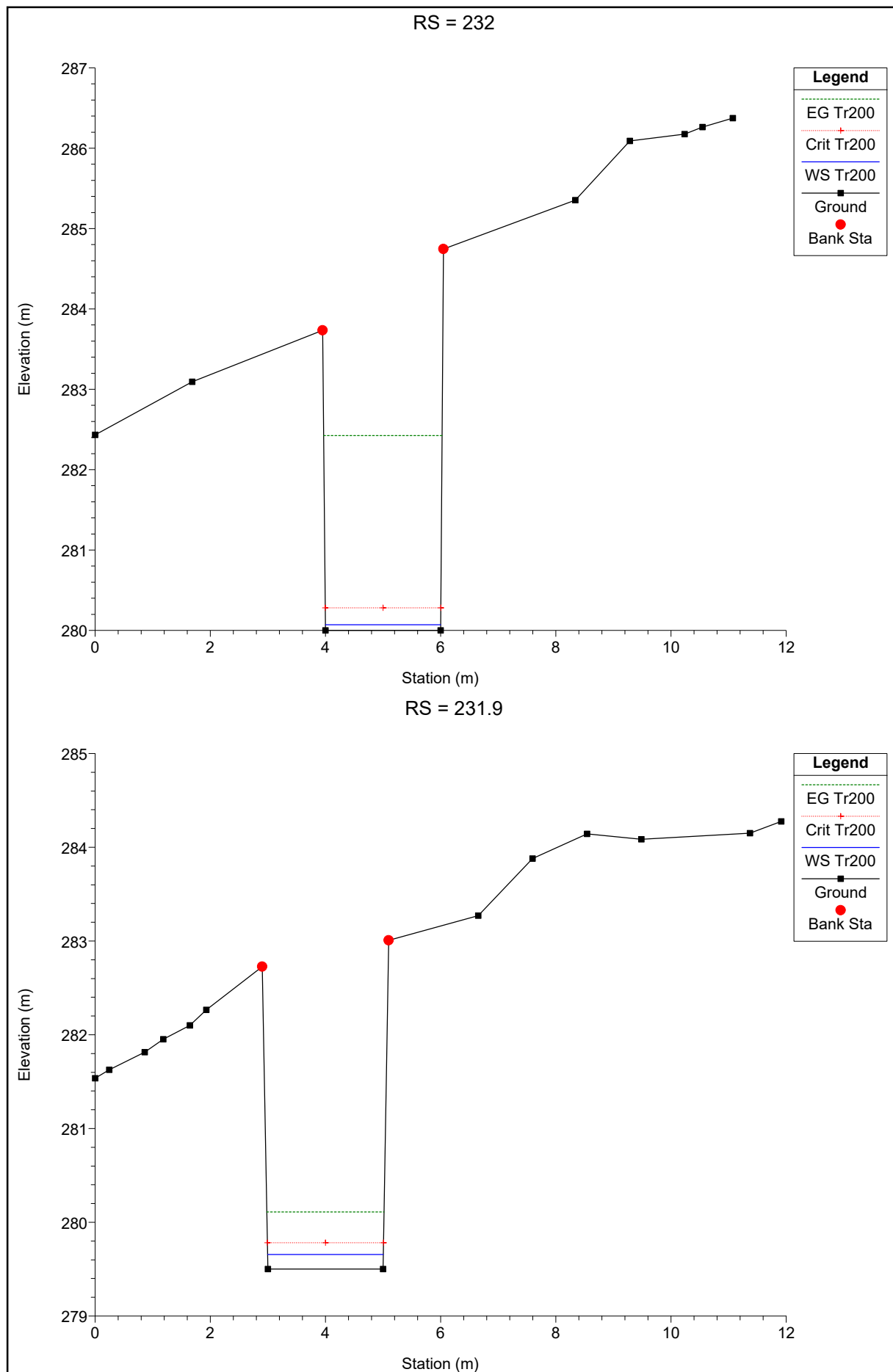


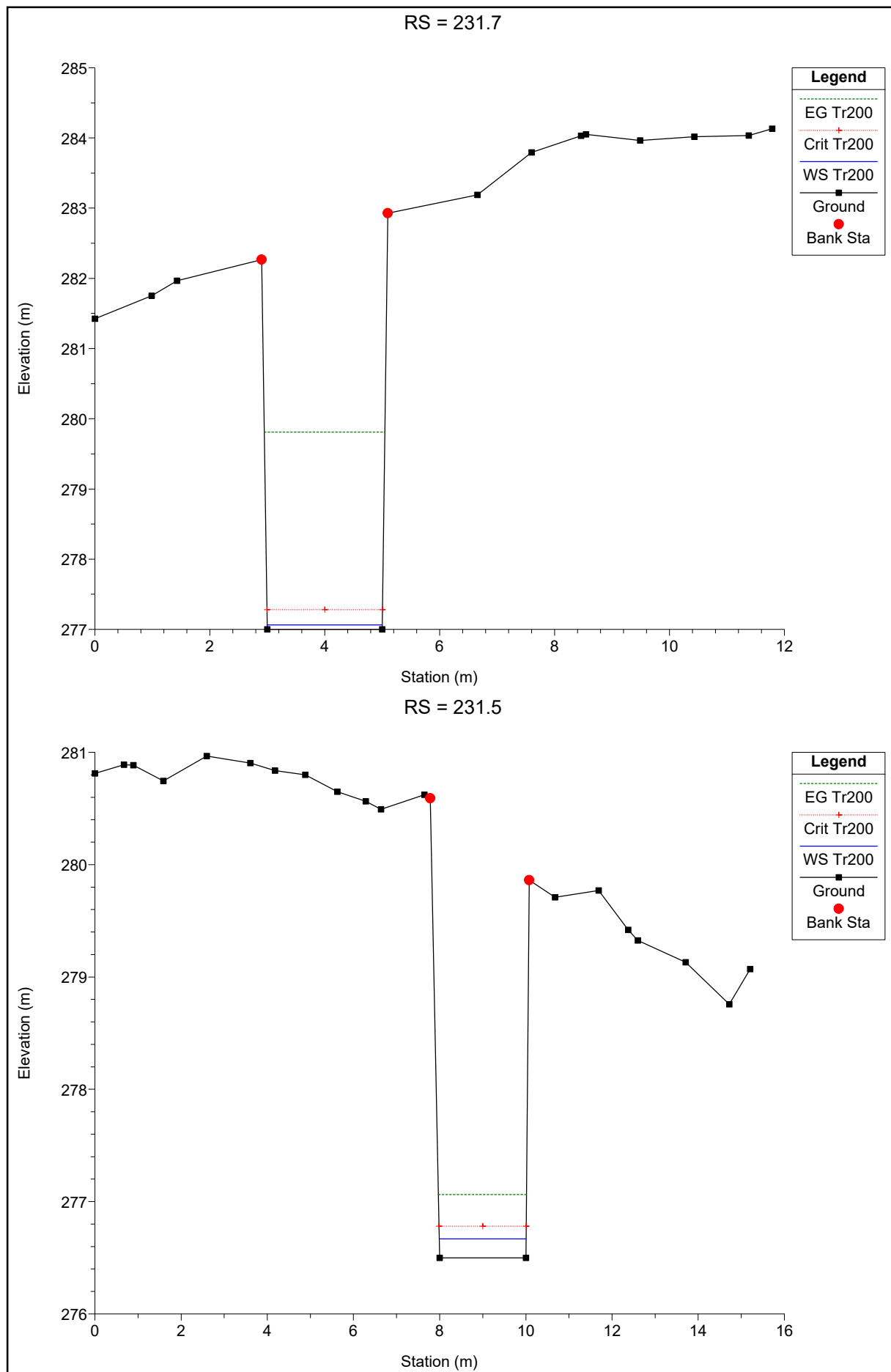


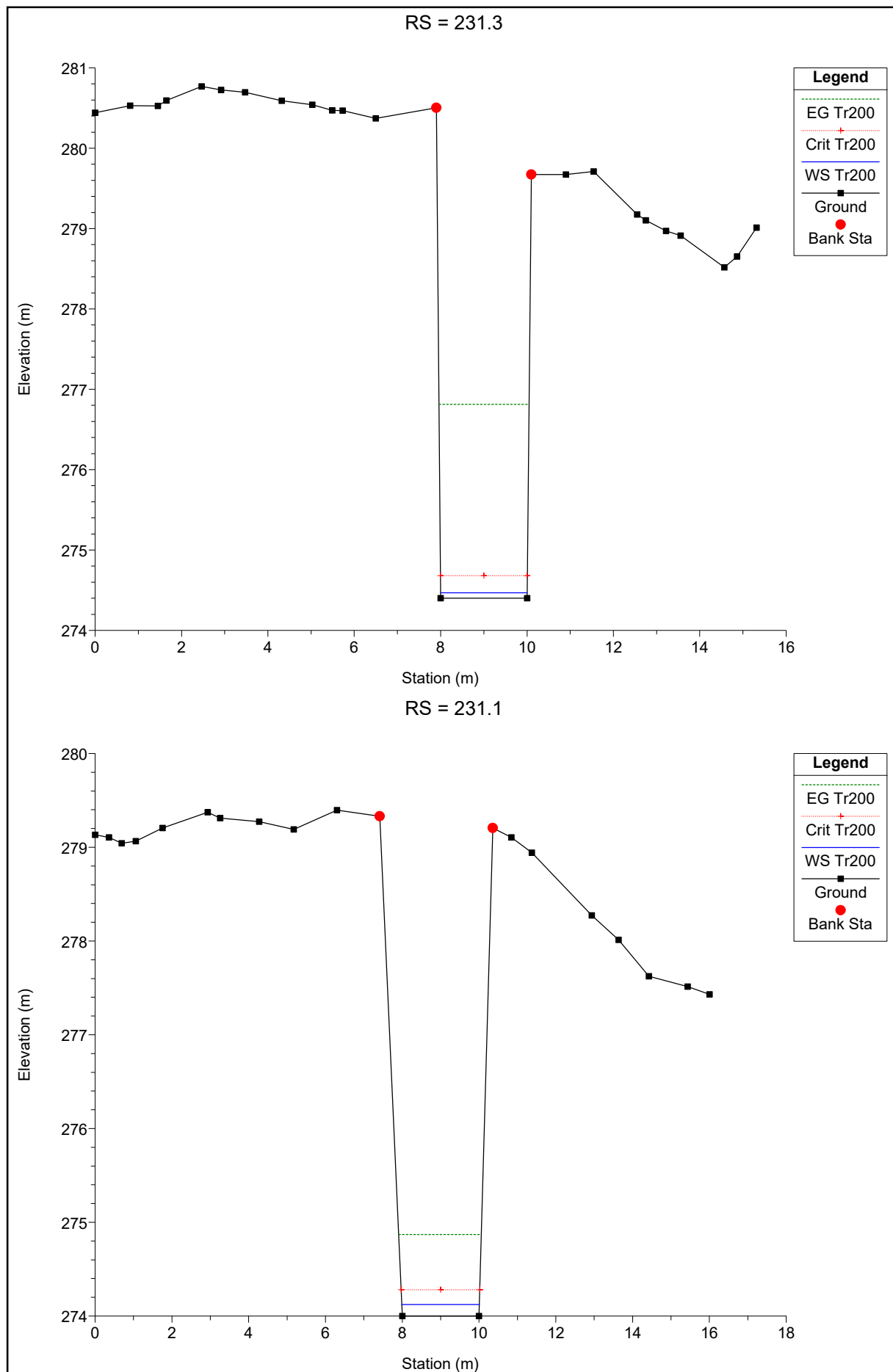
IN03-POST OPERAM

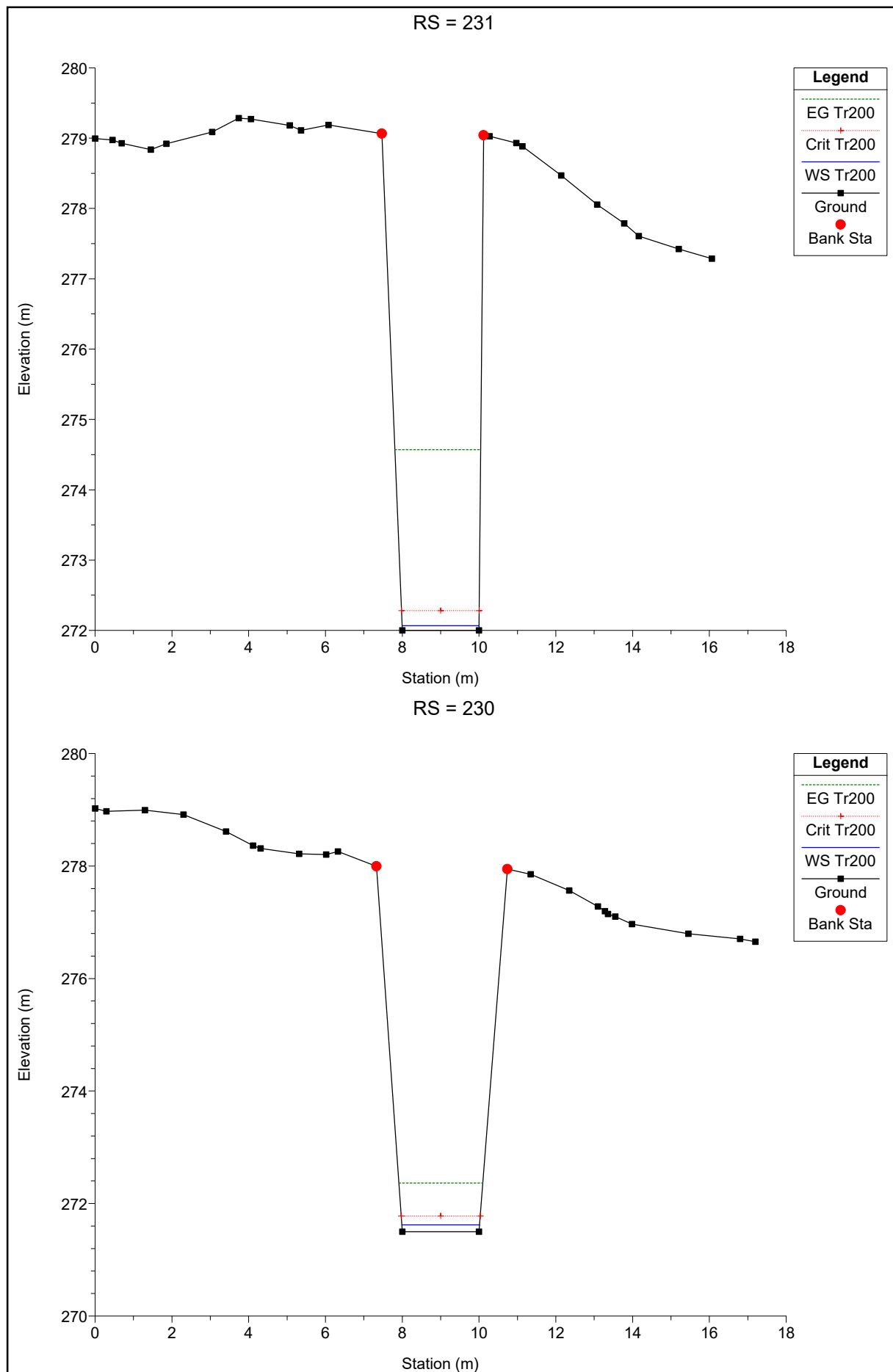


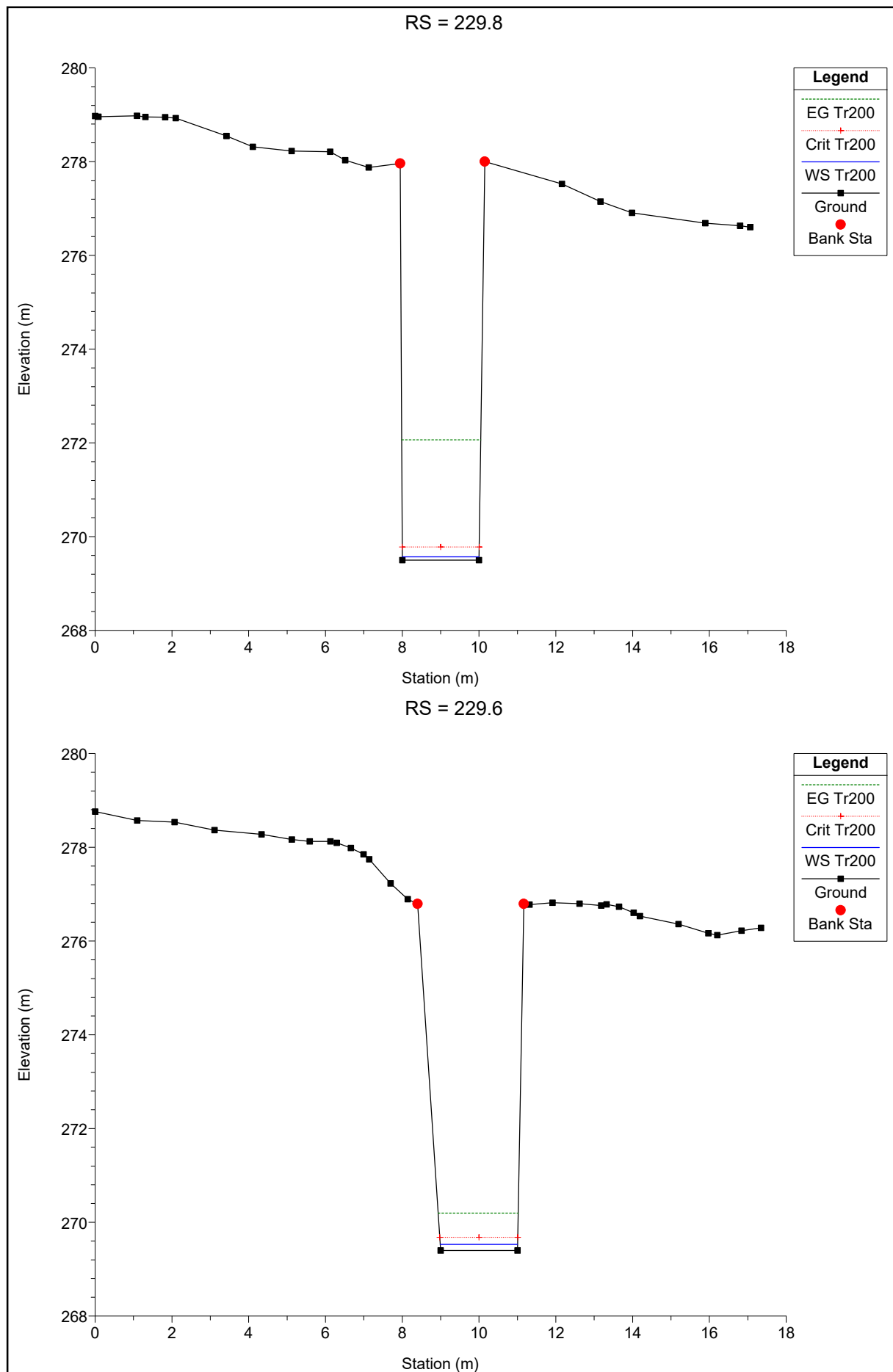


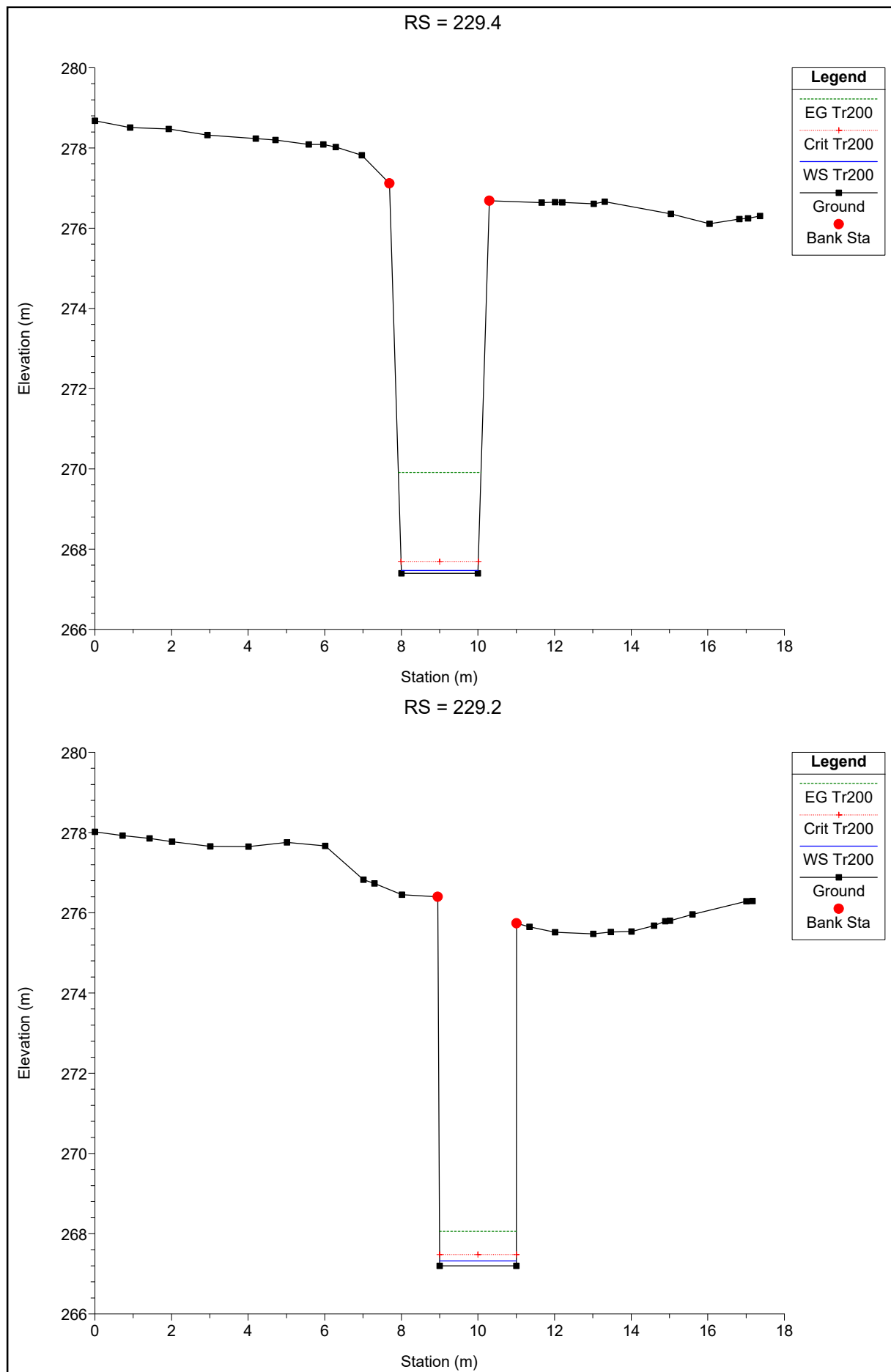


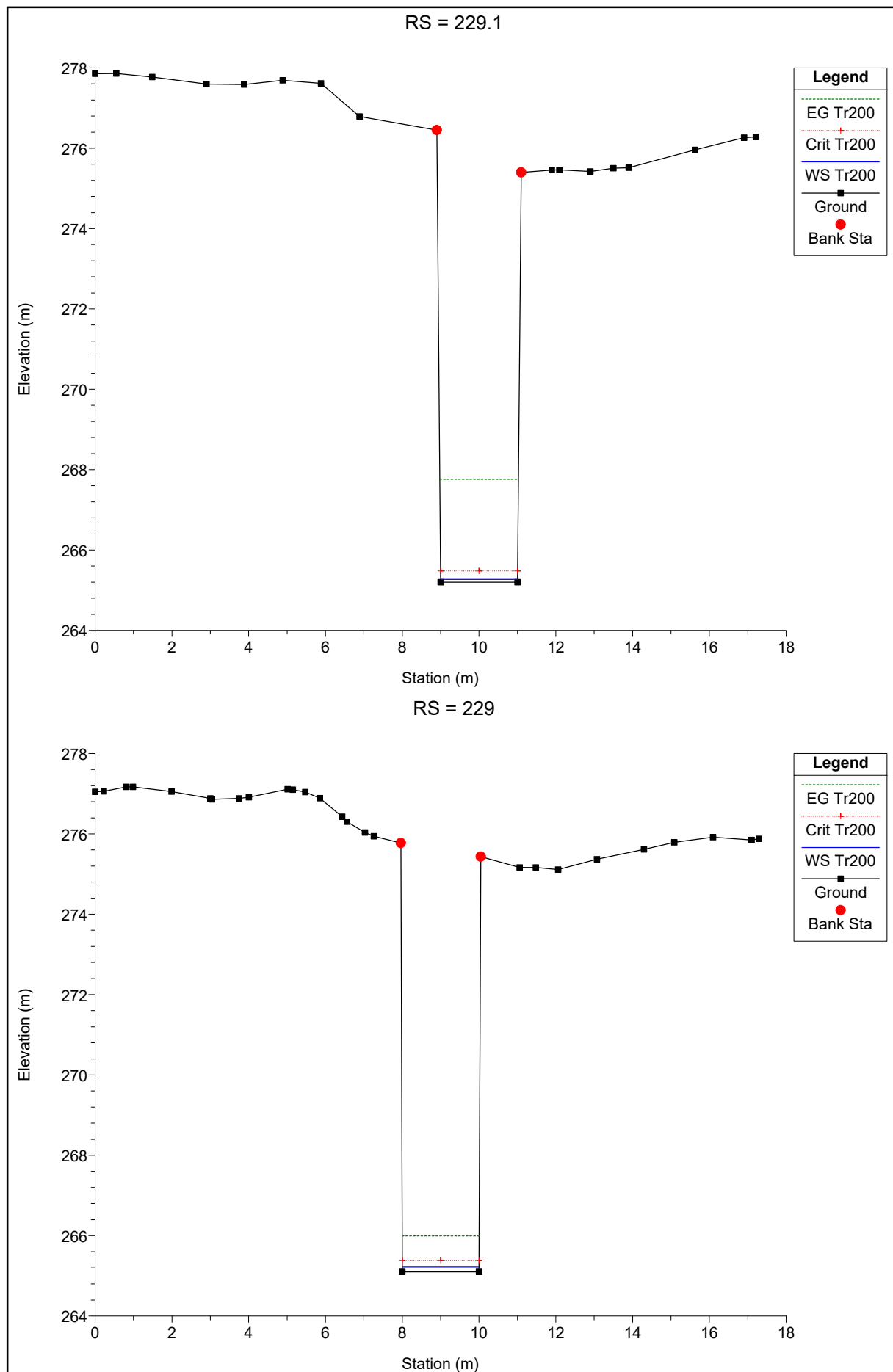


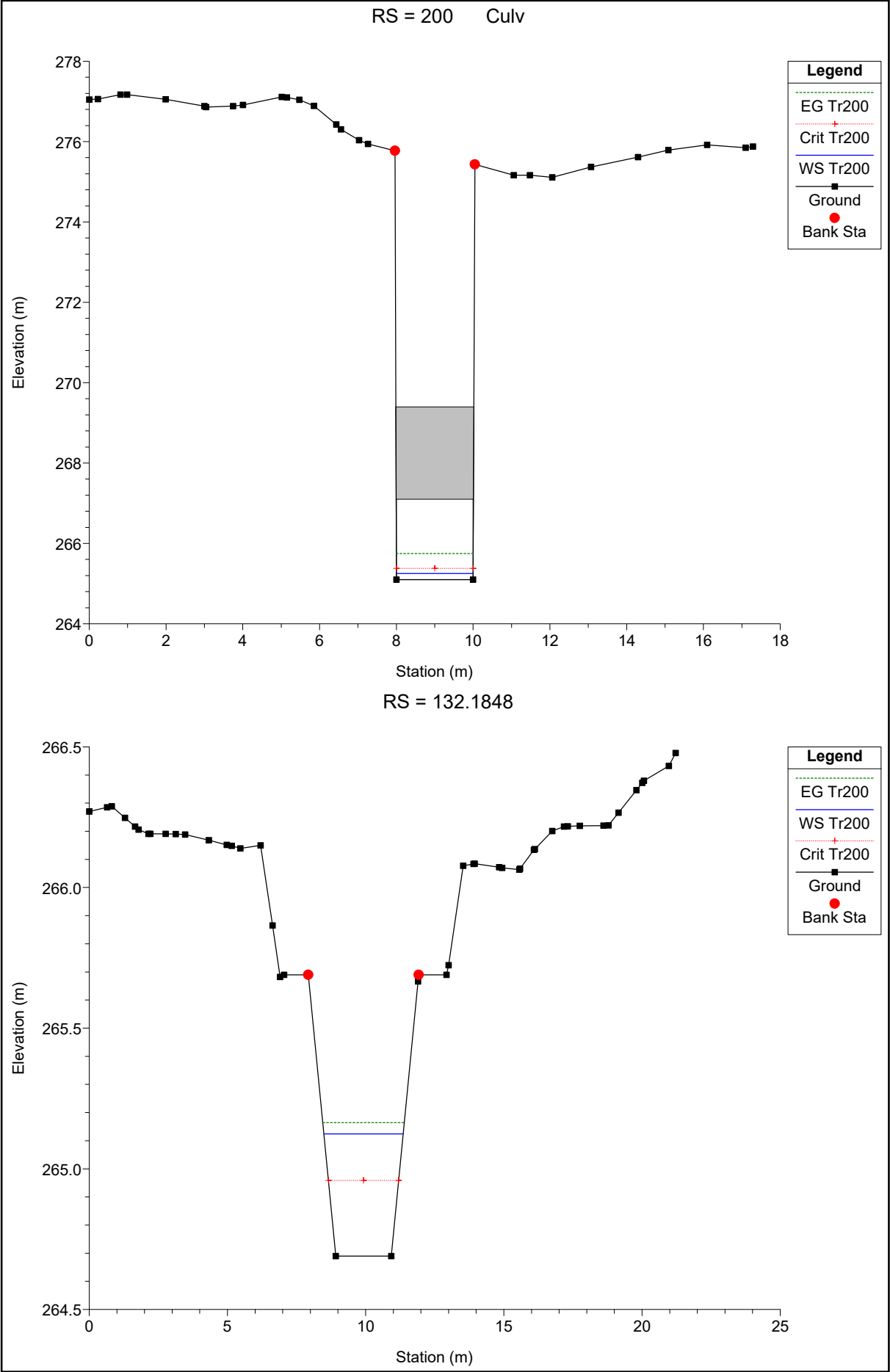


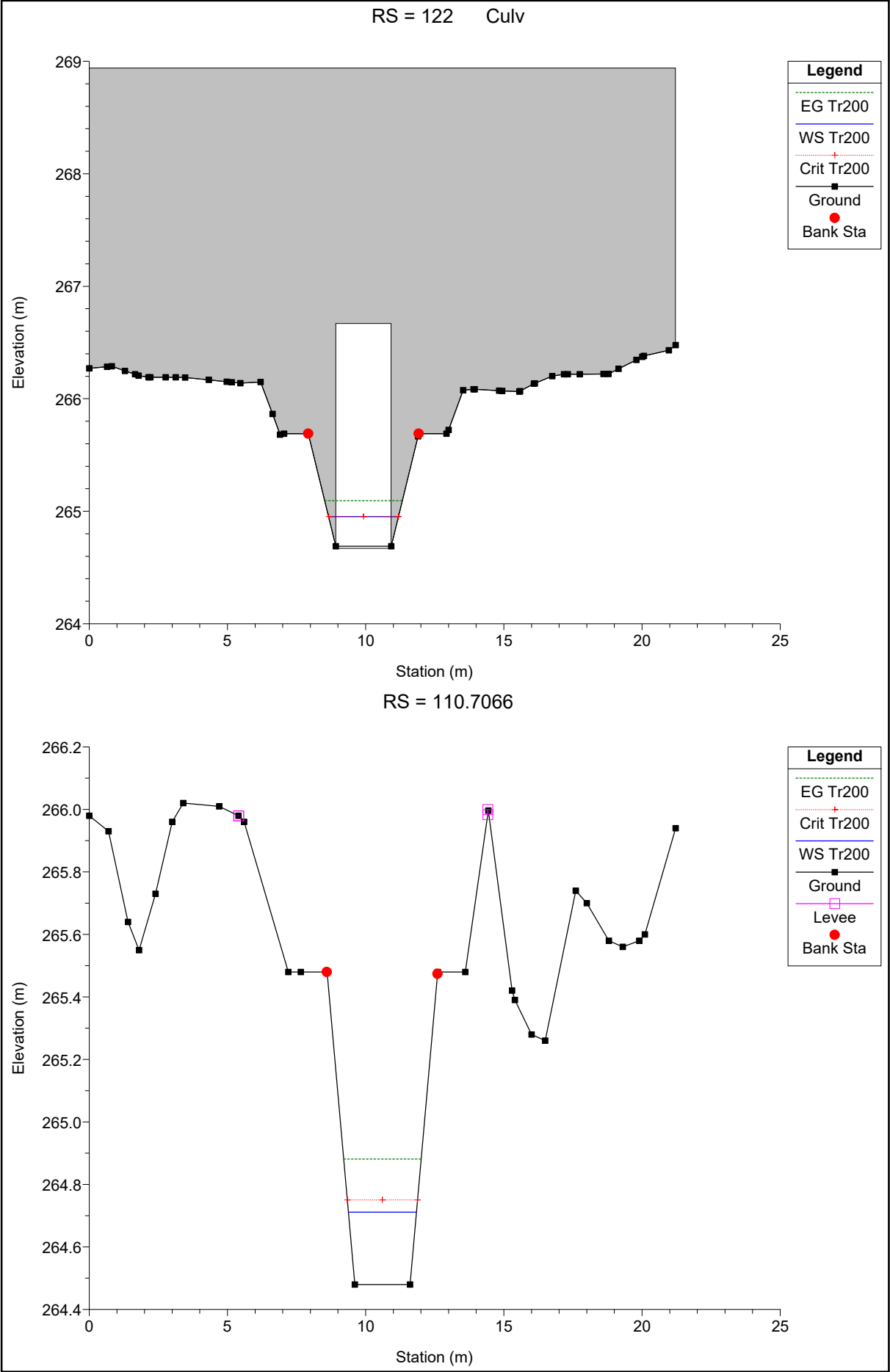


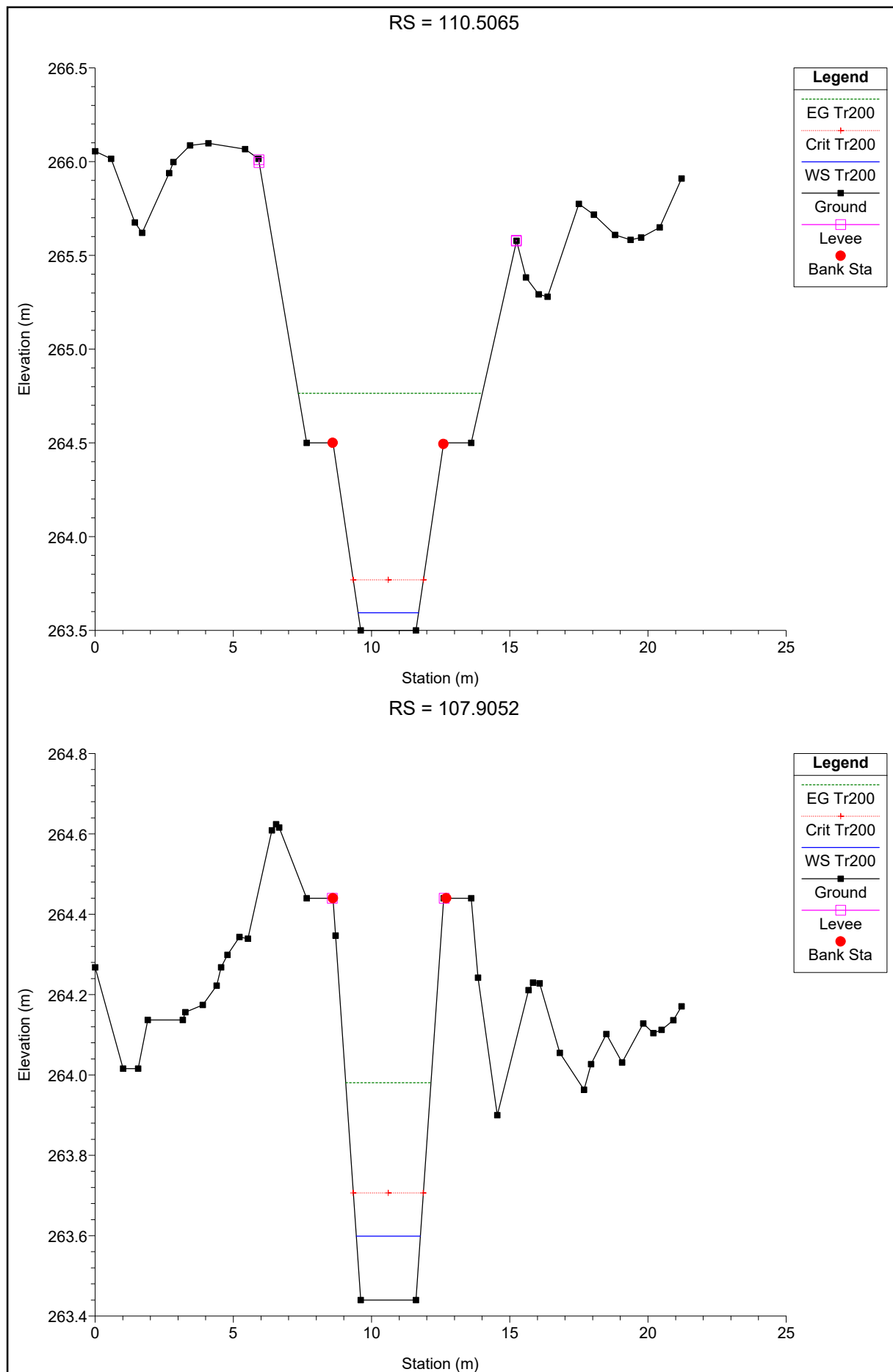


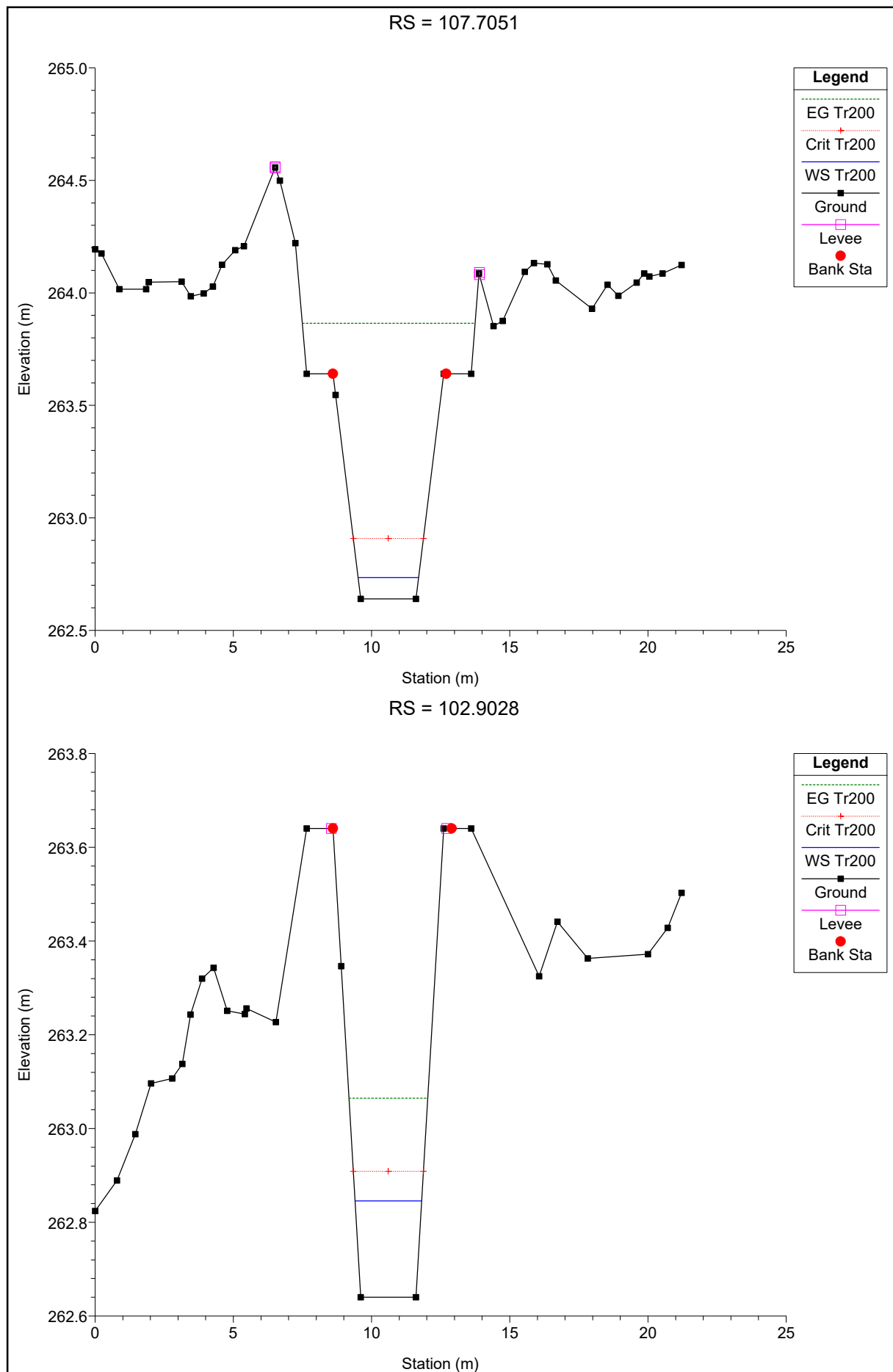


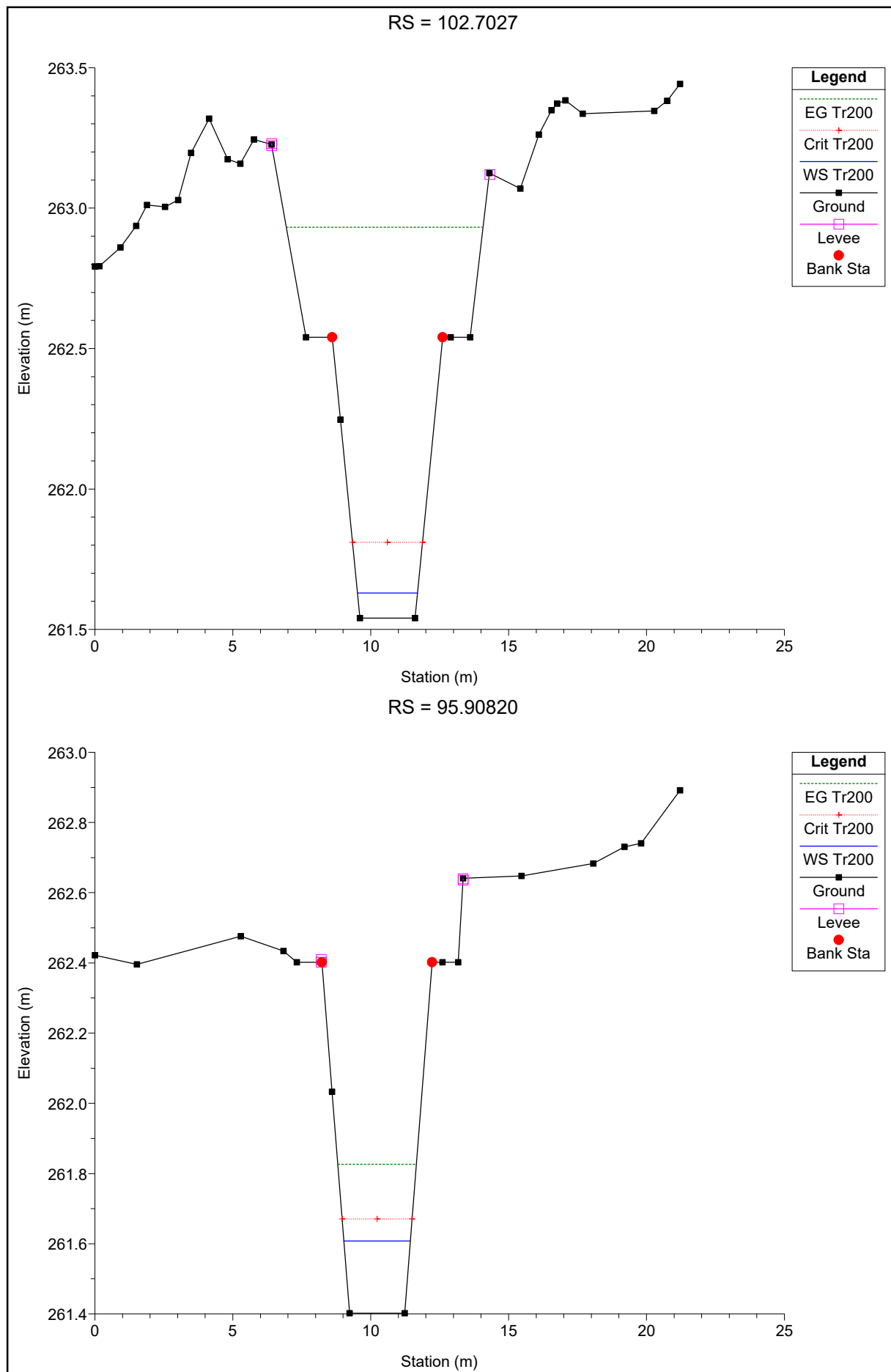


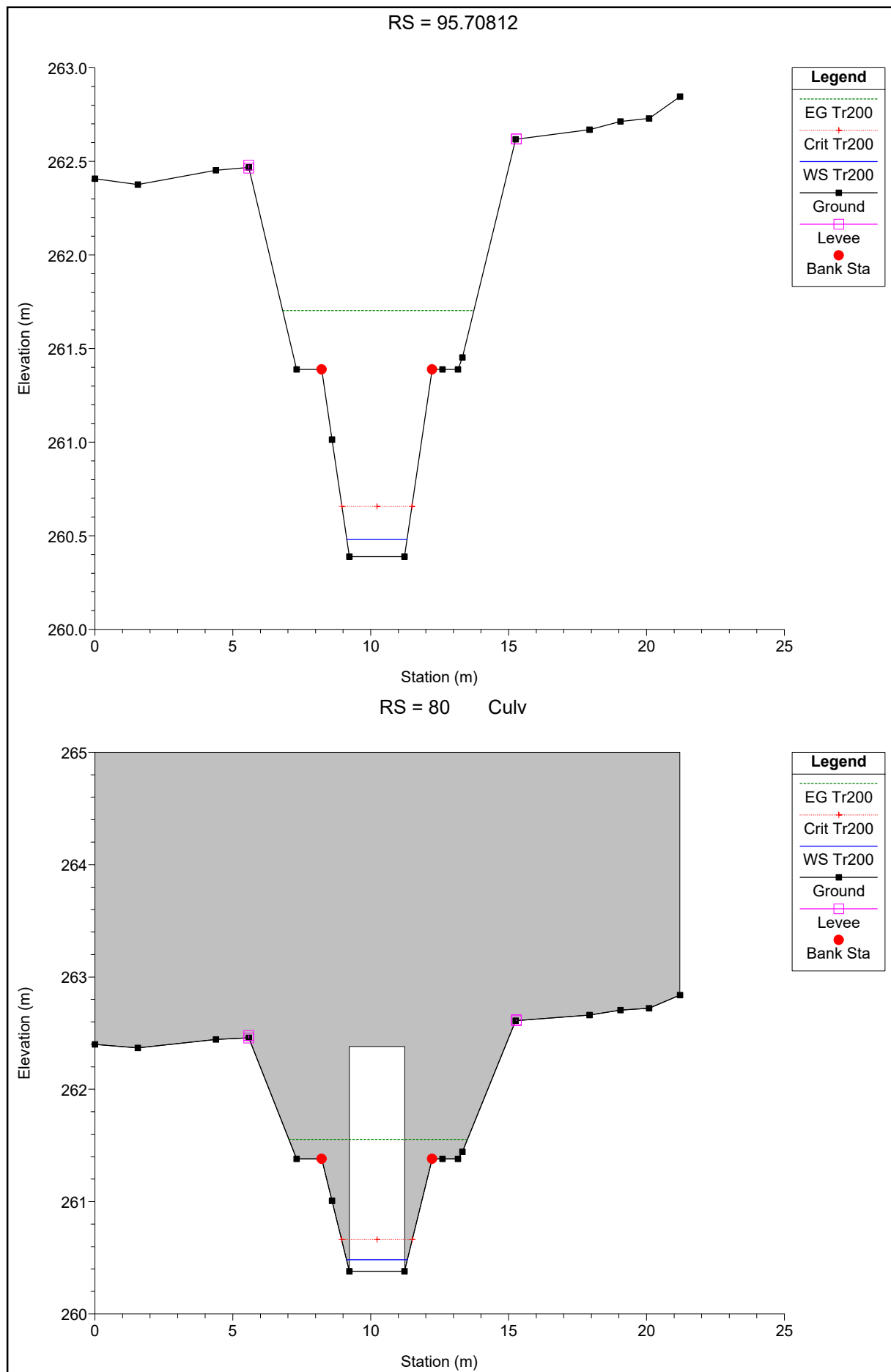


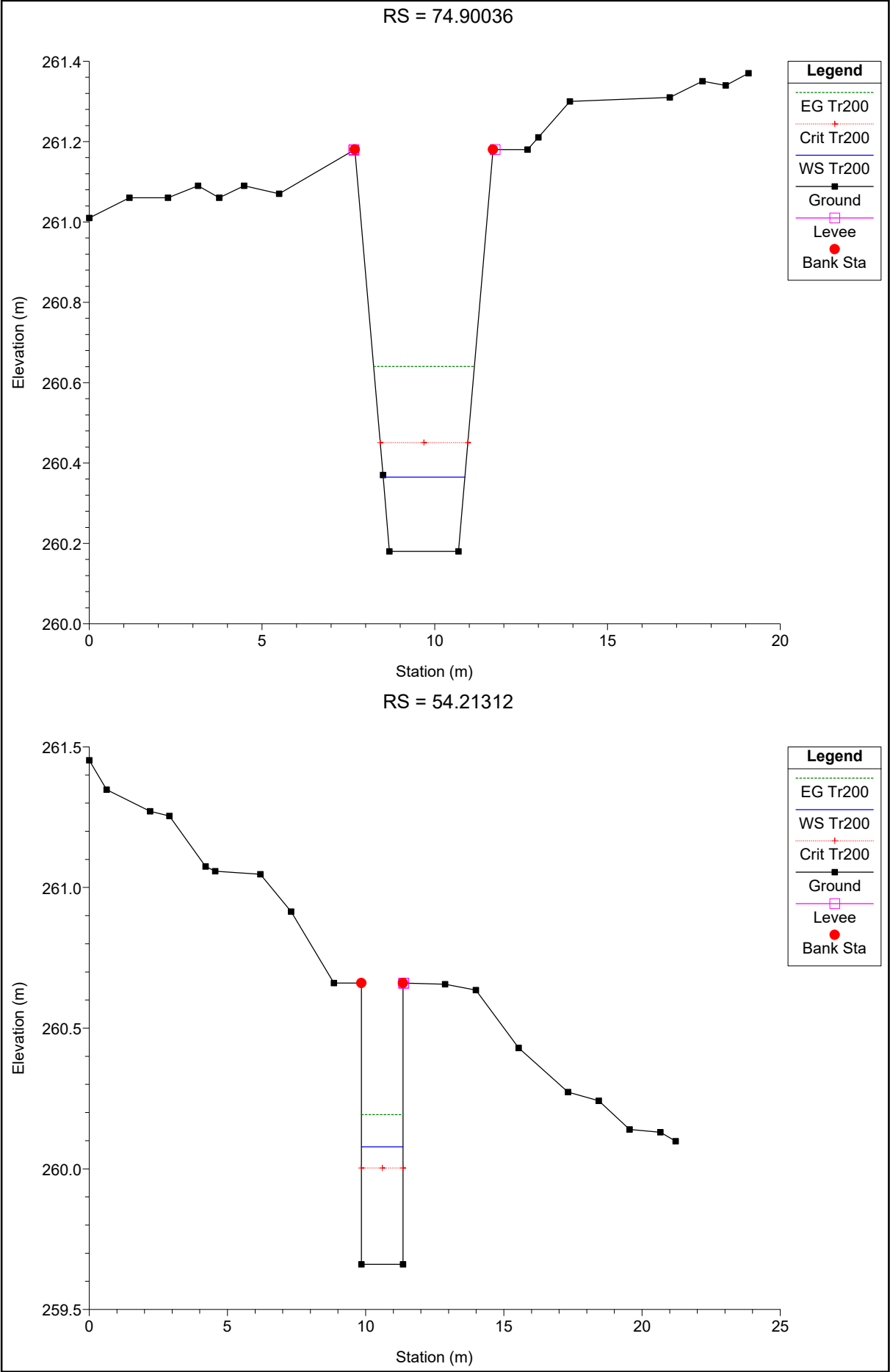


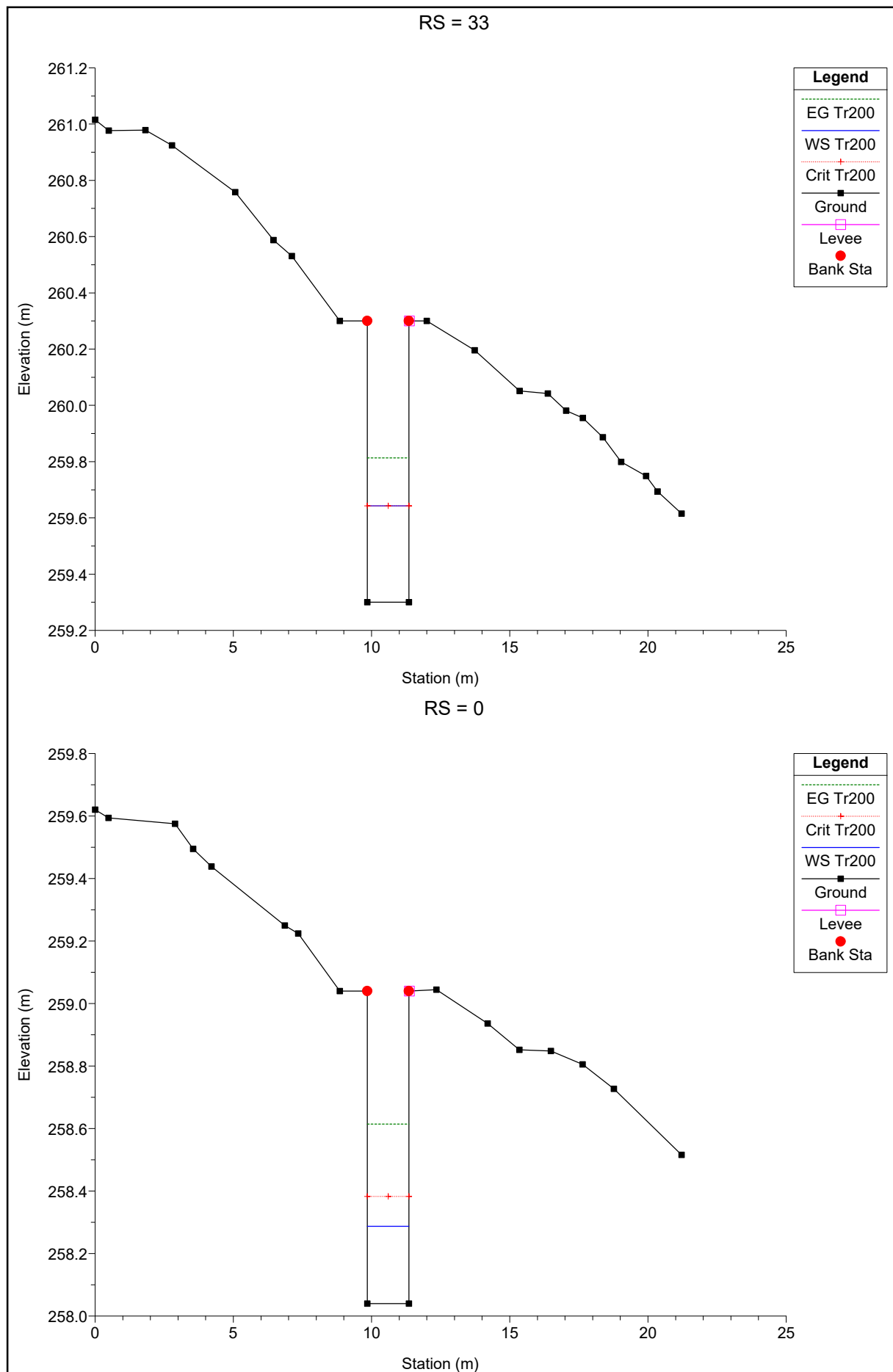


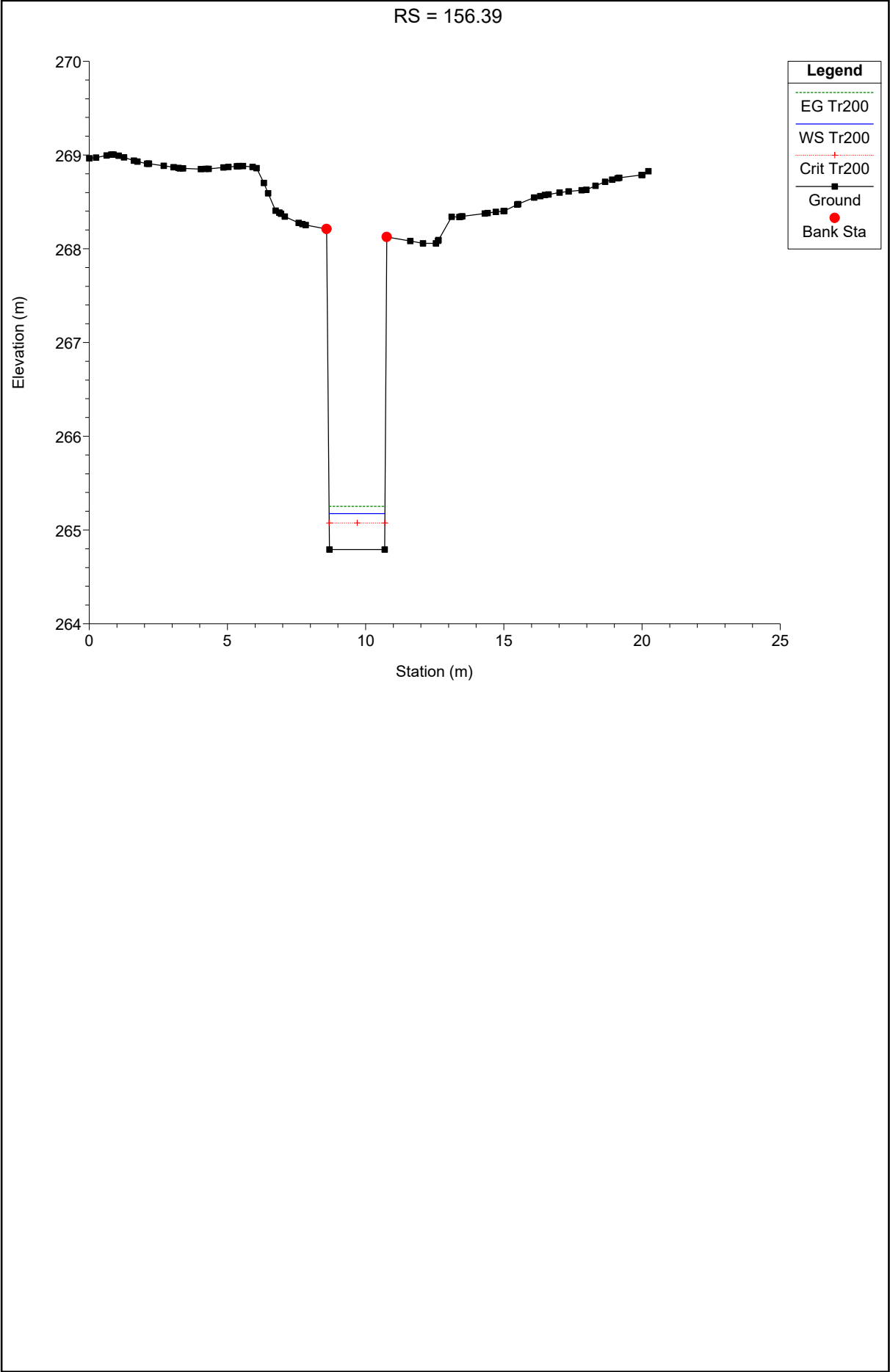












IN04-POST OPERAM

