



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

## Bolognetta S.c.p.a.

Il Responsabile Ambientale:  
Dott. Maurizio D'angelo

### - PERIZIA DI VARIANTE N.3 -



Titolo elaborato:

### OPERE D'ARTE

## NUOVI VIADOTTI - VIADOTTO "SAN LEONARDO" Realzione Idraulica e Studio Idrologico

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	V9	RT04	6	2

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PV_V9_RT04_62_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA D.L.		Maggio 2020	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti :  
F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria  
via Flaminia 71 - 00196 Roma  
tel: 06 32609519  
e-mail: info@facesrl.com  
pec: pec.facesrl@pec.com

**FACTORY OF ARCHITECTURE CIVIL ENGINEERING**

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:  
 **E&G s.r.l.**  
ENVIRONMENT & GEOTECHNIC  
STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile  
Ing. Antonio Ambrosi

Il Geologo  
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo

Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di Esecuzione:  
Arch. Francesco Rondelli

Il Coordinatore per la  
Esecuzione dei Lavori  
arch. Francesco Rondelli

Il Direttore dei Lavori:  
Ing. Sandro Favero

Il Direttore dei Lavori  
ing. Sandro Favero

ANAS S.p.A.

DATA:	PROTOCOLLO:	VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
CODICE PROGETTO	LO410CE1101	Dott. Ing. Luigi Mupo

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>INDICE DELLE FIGURE</b> .....	<b>3</b>
<b>INDICE DELLE TABELLE</b> .....	<b>5</b>
<b>1   PREMESSA</b> .....	<b>6</b>
<b>2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>8</b>
<b>3   INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO IDROLOGICO, GEOLOGICO ED USO DEL SUOLO DELL'AREA</b> .....	<b>9</b>
3.1   INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE.....	9
3.2   INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE.....	10
3.3   AREE SOGGETTE A RISCHIO IDRAULICO.....	10
3.4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE ED USO DEL SUOLO.....	11
<b>4   DESCRIZIONE DELL'EVENTO DEL NOVEMBRE 2018</b> .....	<b>15</b>
<b>5   DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO</b> .....	<b>16</b>
5.1   DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO.....	20
5.3   CALCOLO DELLA PORTATA DI PROGETTO.....	26
<b>6   MODELLAZIONE IDRAULICA</b> .....	<b>27</b>
6.1   COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING.....	30
6.2   DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO.....	32
6.3   RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	37
6.3.1 <i>Torrente Azzirolo</i> .....	43
<b>7   STIMA DELL'EROSIONE ALLA BASE DELLE PILE</b> .....	<b>44</b>
<b>8   VERIFICA DELLA PROTEZIONE CON GABBIONI</b> .....	<b>47</b>
<b>9   MOVIMENTI TERRE</b> .....	<b>49</b>
9.1   CONFERIMENTO MATERIALI DI RISULTA.....	50
<b>10   CONCLUSIONI</b> .....	<b>51</b>

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

---

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

**ALLEGATO 1: OUPUT DI CALCOLO HEC-RAS**

**ALLEGATO 2: OUPUT DI CALCOLO TOPKO –Movimenti Materie-**

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Stralcio planimetrico nuovo Viadotto San Leonardo .....	6
Figura 2 Stralcio sezione Nuovo Viadotto San Leonardo.....	6
Figura 3 Viadotto San Leonardo. Immagine scattata in seguito agli eventi di Novembre 2018 .....	7
Figura 4 P.A.I. Fiume San Leonardo: Carta di rischio idraulico per fenomeni di esondazione (n.14) .....	11
Figura 5 - Carta delle aree boscate .....	14
Figura 6 Sottozone pluviometricamente omogene regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.....	16
Figura 7 Coefficienti a, b per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.....	17
Figura 8 Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.....	18
Figura 9 - Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali .....	22
Figura 10 - Procedura grafica per la stima di CN .....	23
Figura 11 Sezioni di calcolo.....	27
Figura 12 Schema per il tracciamento delle sezioni in corrispondenza di un ponte.....	28
Figura 13 Geometria di calcolo sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo .....	29
Figura 14 Geometria di calcolo sezioni in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo .....	30
Figura 15 - Conservazione dell'energia, schema di calcolo .....	33
Figura 16 - Conservazione della quantità di moto, schema di calcolo.....	36
Figura 17 Profilo del Fiume San Leonardo .....	38
Figura 18 Risultati modellazione sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo.....	38
Figura 19 Risultati modellazione in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo –Sezione di monte-.....	39
Figura 20 Risultati modellazione in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo –Sezione di valle- .....	40
Figura 21 Risultati modellazione sezione a valle del Nuovo Viadotto San Leonardo .....	40

Figura 22 Profili di velocità sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo.....	41
Figura 23 Profili di velocità in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo – Sezione di monte- .....	41
Figura 24 Profili di velocità in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo – Sezione di valle- .....	42
Figura 25 Profili di velocità sezione a valle del Nuovo Viadotto San Leonardo .....	42
Figura 26 Schema del fenomeno dello scalzamento locale dovuto alla pila.....	44
Figura 27 Andamento della funzione $f_3$ al variare di $\alpha$ , $l$ , $s$ .....	45

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Metodo SCS-CN Classi di suolo .....	21
Tabella 2 - Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II) .....	21
Tabella 3 - Definizione della classe di umidità in base all'indice $API_5$ .....	22
Tabella 4 Geometria <i>ineffective flow area</i> nelle sezioni di monte e di valle del Viadotto .....	29
Tabella 5 Valori di input del coefficient di Manning utilizzati per la modellazione .....	31
Tabella 6 Sintesi dei risultati della modellazione idraulica; in giallo le sezioni in prossimità del Nuovo Viadotto San Leonardo.....	37

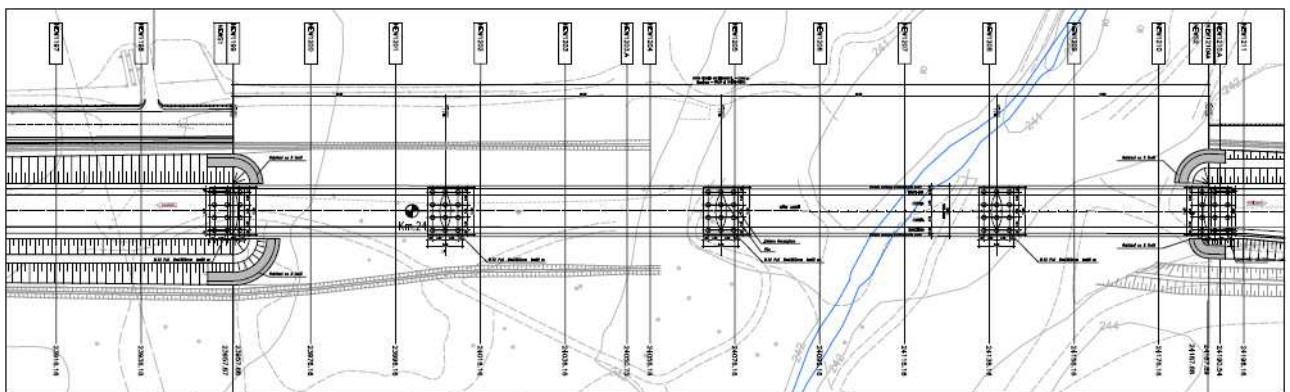
## 1 PREMESSA

Il presente documento costituisce la Relazione Idraulica e Studio Idrologico allegato al Progetto Esecutivo di Variante n.3 relativo al Nuovo Viadotto San Leonardo, in corrispondenza della nuova Sistemazione Idraulica SF15.

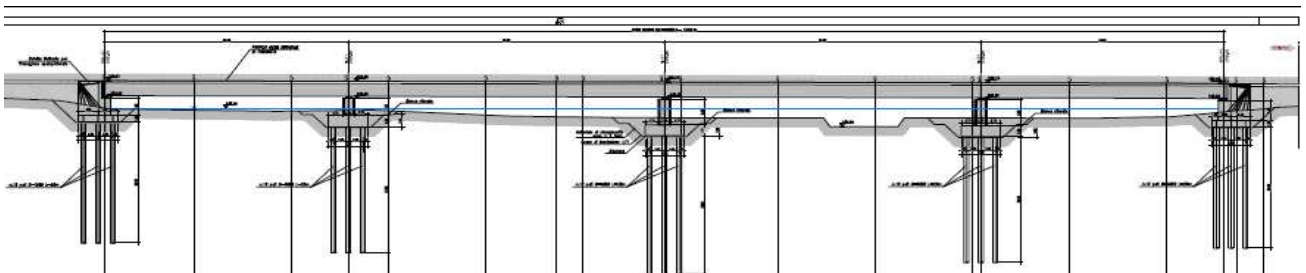
L'area in esame si trova lungo la strada S.S. 121 Palermo-Agrigento, tra le progressive 23+957.87 e 24+196.16, in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo.

Il Nuovo Viadotto presenta un lunghezza complessiva di 230 m, è costituito da 4 campate di luce rispettivamente 50 m, 65 m, 65m , 50 m. L'impalcato, in calcestruzzo armato, ha uno spessore complessivo di 3.5 m.

Si riporta di seguito uno stralcio della configurazione di progetto.



**Figura 1 Stralcio planimetrico nuovo Viadotto San Leonardo**



**Figura 2 Stralcio sezione Nuovo Viadotto San Leonardo**

La necessità del presente progetto di Variante nasce in seguito agli eventi di piena verificatesi tra il 2 ed il 4 Novembre del 2018, durante i quali la piena ha invaso totalmente la carreggiata principale

e le secondarie già realizzate, facendo registrare quote idrometriche superiori a quelle del viadotto esistente.



**Figura 3 Viadotto San Leonardo. Immagine scattata in seguito agli eventi di Novembre 2018**

A valle di una breve panoramica circa le caratteristiche del bacino in esame, saranno presentate le metodologie utilizzate per il calcolo della portata di progetto, ed i modelli realizzati ai fini delle verifiche idrauliche in ottemperanza alla vigente normativa.

La modellazione idraulica è stata condotta con l’ausilio del software di calcolo HEC-RAS 5.0.5.

La portata di progetto, utilizzata nelle verifiche, è corrispondente ad un tempo di ritorno par a 300 anni.

A monte della realizzazione dei modelli sono stati eseguiti rilievi topografici di dettaglio nei mesi di Giugno e Luglio 2019, i quali risultati sono stati implementati nei modelli di calcolo.



## 2    **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”.
- P.A.I della Regione Siciliana , Relazione Generale 2004.
- P.A.I della Regione Siciliana, “Bacino idrografico del fiume San Leonardo (PA)” (2004 e successivi aggiornamenti).

### **3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO IDROLOGICO, GEOLOGICO ED USO DEL SUOLO DELL'AREA**

#### **3.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO GENERALE**

Il Fiume San Leonardo rappresenta il corso d'acqua principale della costa settentrionale della Sicilia. Il bacino presenta un'estensione areale di circa 506 km<sup>2</sup>, di cui, circa 400 sono stati dichiarati montani.

Il bacino del San Leonardo si sviluppa tra la catena costiera (Monti di Trabia, Monte S. Calogero) e le propaggini settentrionali dei monti Sicani (Monte Cardellia, Monte Barracù, Monti di Prizzi); confina ad est con il bacino del Fiume Torto, a SE con quello del Fiume Platani, a sud con quello del Fiume Sosi, a SO con quello del Belice ed a Ovest con quello del Fiume Millicia.

Nella zona centrale dell'asta principale del fiume San Leonardo, confluisce, in sponda sinistra, il Torrente Azziriolo, che rappresenta l'affluente più importante dell'intero bacino. A valle il fiume riceve, in sponda destra, il V.ne Macaluso e prosegue quindi verso la foce nel Mar Tirreno.

La forma del bacino è sub-circolare, con una pronunciata appendice settentrionale che si estende in direzione NNE-SSW dalla foce, verso la zona montana. Il bacino raggiunge la massima ampiezza a meridione (circa 22 km), mentre, nella parte settentrionale, si riduce sensibilmente in larghezza fino alla gola di Rosamarina dove presenta una larghezza di circa 1 km. In corrispondenza di detta gola il corso del fiume è stato sbarrato dall'omonima diga costruita negli anni '80, a circa 3.5 km dalla foce.

Nel bacino l'azione antropica è riconoscibile, oltre che dai centri abitati, dalle numerose infrastrutture di trasporto. Tra queste le più importanti sono la linea ferroviaria Palermo-Messina, la S.S.113 Palermo-Messina, l'autostrada A19 Palermo-Catania, l'arteria a scorrimento veloce S.S. 121 Palermo-Agrigento.

La morfologia del bacino è particolarmente accidentata, esso è infatti quasi privo di pianure, fatta eccezione per la cosiddetta "Pianotta di Vicari".

Nelle zone collinari e pedemontane, dove prevalgono i litotipi plastici, i versanti sono poco acclivi e mostrano morfosculture generate principalmente da processi franosi e di erosione accelerata. In tale contesto, uno dei principali processi morfodinamici è legato allo scorrimento di acque libere e all'erosione e al trasporto solido delle acque incanalate.

Nel complesso il bacino del San Leonardo si è evoluto sino ad uno stadio di erosione fluviale "mediamente senile" con un reticolo idrografico discretamente gerarchizzato nel quale i segmenti fluviali di ordine minore sono caratterizzati da un elevato gradiente altimetrico, mentre, i segmenti di ordine maggiore hanno spesso percorso meandriforme.

La presenza del reticolato idrografico contribuisce fortemente ai processi di dissesto idrogeologico estremamente diffusi in tutto il bacino: frane, ruscellamento, calanchi.

L'erosione, in particolare, determina la disgregazione e la degradazione dei suoli agrari e delle porzioni affioranti delle formazioni geologiche. I processi franosi sono stati, e sono, molto diffusi, giocando quindi un ruolo predominante nell'evoluzione morfologica dei versanti, in particolare sui terreni a frazione argillosa prevalente.

### **3.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO GENERALE**

Nel bacino del Fiume San Leonardo sono presenti due stazioni idrometriche: la stazione di Vicari , e di Monumentale.

La stazione a Vicari, posta a 250 m.s.l.m., sottende un bacino di circa 252 km<sup>2</sup>, avente una altitudine media di 672 m.s.l.m.

In base a 14 anni di osservazioni (1924 -1933 e 1972 -1975) risulta un deflusso medio annuo di 177 mm (pari a 44.8 Mm<sup>3</sup>/anno), con 722 mm di precipitazione. La stazione Monumentale, posta a 15 m.s.l.m., sottende un bacino di 521.5 km<sup>2</sup>, avente una altitudine media di 578 m.s.l.m. In base a 58 anni di osservazioni (1928 -1975) risulta un deflusso medio annuo di 191 mm (pari a circa 99.6 Mm<sup>3</sup>/anno), con 705 mm di precipitazione.

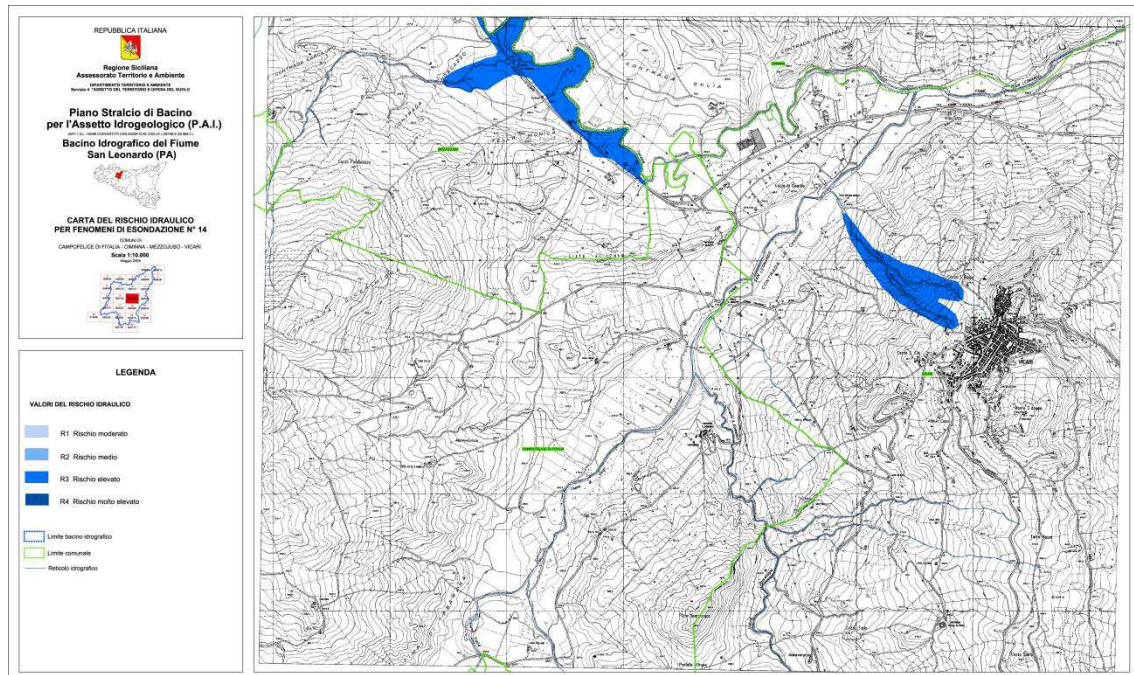
### **3.3 AREE SOGGETTE A RISCHIO IDRAULICO**

Il bacino del fiume san Leonardo ricade all'interno del P.A.I della regione Sicilia. All'interno del documento non sono disponibili carte di pericolosità del rischio idraulico. Le carte del rischio riportano solamente alcune aree a rischio elevato (R3), di cui alcune adiacenti al tratto di viabilità oggetto del presente studio. Si riporta nel seguito la carta di rischio n.14.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO



**Figura 4 P.A.I. Fiume San Leonardo: Carta di rischio idraulico per fenomeni di esondazione (n.14)**

### 3.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE ED USO DEL SUOLO

Come si evince dalla carta tratta dalla pubblicazione del Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana “Carta Litologica della Sicilia – fogli 10 e 11”, il bacino del F. San Leonardo nella porzione oggetto del presente studio è caratterizzato dalla presenza prevalente di depositi argillosi/marnosi impermeabili e soggetti a forte attività erosiva e di dilavamento per una percentuale che oscilla intorno al 69%.

Si tratta di depositi afferenti principalmente alle Formazioni Geologiche note in letteratura come: a) Flysch Numidico – componente argillosa; b) Fm Terravecchia – componente argillosa; c) Marne di San Cipirrello.

Tra le formazioni soggette a forte attività erosiva e di dilavamento sono stati inseriti anche i depositi di copertura (detriti di falda prevalentemente argillo-limosi, depositi di frana, depositi colluviali ed alluvionali, ect)

La restante parte è costituita da depositi poco permeabili (Componente sabbio-limosa della Fm.Terravecchia, le marne calcaree ed i calcari marnosi delle Fm. Scaglia/Lattimusa) per una percentuale pari al 24% dell'intero bacino e dai depositi permeabili per fratturazione (Calcari, Gessi, Dolomie e Quarzareniti) per la restante parte pari al solo 7%.

Il Flysch Numidico è una potente formazione, litologicamente costituita da un'alternanza di peliti brune, quarzareniti e quarzosiltiti grigio-giallastre, nella quale si possono distinguere due diverse litofacies: quella arenacea e quella argillosa.

La facies argillosa è costituita da argille siltose, generalmente brune o color tabacco, ricche in ossidi di ferro. Mineralogicamente sono costituite da fillosilicati quali clorite, caolinite, montmorillonite ed illite; inoltre sono presenti minerali di ferro quale siderite e pirite. La struttura si presenta scagliettata con scaglie millimetriche, a struttura caotica, talora lucide per effetti di striature, legate agli stress tettonici che si sono avvicendati nel corso degli eventi geologici. La stratificazione è assente. Questa porzione, sia per la natura argillosa che per la forte caoticità della sua struttura è molto sensibile ai fenomeni franosi ed all'attività erosiva degli agenti geodinamici.

La facies arenacea è costituita da quarzareniti nettamente stratificate e generalmente molto fratturate, in strati e banconi di spessore anche superiori al metro. La permeabilità è elevata ma il loro affioramento è localizzato quasi esclusivamente lungo versanti a pendenza notevole, spesso a strapiombo.

La Fm Terravecchia è stata introdotta da Schmidt di Friedberg nel 1962 e prende il nome dalla località tipo: il fianco settentrionale di Cozzo Terravecchia, circa 2 km a nord di S. Caterina Villaermosa.

I depositi sono costituiti da una sequenza conglomeratica più o meno potente in basso (non affiorante, se non in piccoli lembi nell'ambito dell'area studiata), passante verso l'alto a sabbie ed arenarie e successivamente ad argille ed argille marnose, spesso siltose o sabbiose, di colore grigio-azzurro e grigio-verdastro, spesso con cristalli di gesso, dure e compatte, a frattura concoide e con intercalati sottili livelli sabbiosi che ne marcano la stratificazione.

Dal punto di vista mineralogico sono costituite da un abbondante scheletro sabbioso in cui prevalgono quarzo, gesso, calcite, tracce di dolomite, feldspati, pirite, ossidi di ferro, mentre la frazione argillosa è costituita da kaolinite, illite e scarsa clorite, cui si aggiungono in minori quantità interlaminazioni illitiche-montmorillonitiche.

La stratificazione è marcata dai sottili livelli sabbiosi intercalati.

Le argille spesso si presentano piuttosto tettonizzate con giunti variamente orientati con superfici lucide ed in questo caso la tessitura è brecciata e talora a scaglie. Anche questa formazione è fortemente sensibile alle attività geodinamiche degli agenti morfogenetici attivi, sia per la presenza di sottili livelli sabbiosi, sia per la frequente caoticità della sua struttura, sia infine per la presenza, nella matrice, di una componente sabbiosa.

Verso la sommità aumentano le intercalazioni di sabbia, fino a passare ad una zona costituita da sabbie ed arenarie con intercalazioni argillose.

La sequenza sabbioso-arenacea è costituita da una potente serie di sabbie, sabbie siltose, arenarie, arenarie molassiche, molasse calcaree di colore da giallastro a grigio, talora con sottili livelli pelitici.

La giacitura è in genere lenticolare con stratificazione incrociata e sono presenti laminazioni piane ed a lisca di pesce, con inclinazione spesso variabile delle lamine. Il cemento è generalmente di natura argillosa e rende il deposito caratterizzato da una permeabilità piuttosto bassa.

La Formazione delle Marne di San Cipirello è costituita da argille ed argille debolmente sabbiose, da scarsamente a mediamente consistenti, con inclusi elementi lapidei di natura calcarea. Presentano un colore variabile dal grigio a beige, la struttura è omogenea.

Nell'ambito del bacino idrologico le altre formazioni geologiche sono, invece, molto marginali per gli scopi del presente lavoro.

Da considerare, inoltre, che gran parte degli affioramenti della componente permeabile sono costituiti da limitate aree immerse all'interno della matrice argillosa (quarzareniti del Flysch Numidico) o si trovano nella parte sommitale del bacino in versanti particolarmente acclivi o addirittura sub verticali (calcari e dolomie).

Siamo, quindi, nelle condizioni che in casi di piogge abbondanti ed intense il bacino può essere considerato, nella sostanza, praticamente impermeabile per tutta la sua estensione.

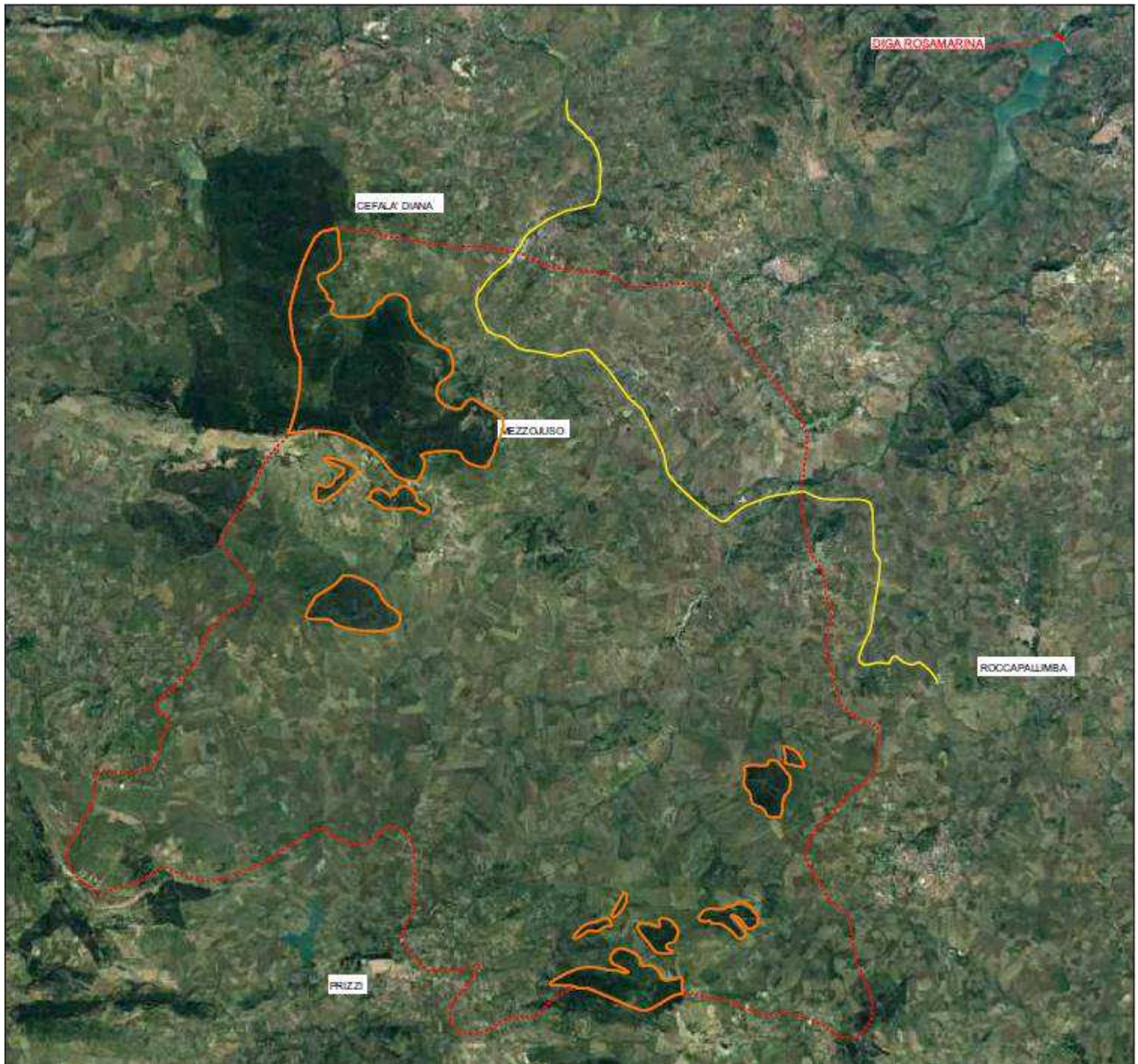
Da un punto di vista della superficie boscata si può dire che è estremamente limitata (circa il 10%) ed è legata alla presenza di una porzione del bosco di Ficuzza e di piccole aree sparse di scarso interesse ai fini del coefficiente di deflusso.

Da tenere in considerazione, inoltre, che molte di queste piccole aree boscate si trovano in aree pianeggianti e/o sub pianeggianti per cui influiscono poco sul deflusso idrico superficiale.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO



## LEGENDA



Aree boscate



Spartiacque superficiale



Tracciato stradale

Figura 5 - Carta delle aree boscate

## 4 DESCRIZIONE DELL'EVENTO DEL NOVEMBRE 2018

E' tristemente noto che, nei primi giorni del novembre 2018, la Sicilia è stata investita da un'intensa ondata di maltempo che ha accentuato i suoi effetti nell'area dell'entroterra palermitano e dell'agrigentino occidentale andando a causare danni in diversi punti del tracciato stradale in ammodernamento.

A partire dalla giornata del 1 novembre persistenti precipitazioni hanno interessato l'entroterra siciliano nelle province di Palermo e Agrigento, con incremento di intensità che ha raggiunto il suo apice la sera del 3 novembre, giorno in cui la quantità d'acqua scaricata al suolo (in particolare per tempi di registrazione brevi) è risulta molto elevata rispetto alle serie storiche disponibili per le aree studiate.

Le precipitazioni del giorno 3 sono cadute su terreni già saturi a causa dei rovesci dei giorni precedenti e che, per propria composizione geologica, risultano praticamente impermeabili in casi di piogge abbondanti. Il conseguente deflusso delle acque superficiali è avvenuto in maniera rapida e non ostacolata. Gli alvei dei torrenti e dei corsi d'acqua raggiunti da questo ingente quantitativo d'acqua si presentavano, nella maggior parte dei casi, privi della idonea manutenzione e ricchi di vegetazione sugli argini ed in alveo.

Specifiche valutazioni in merito all'evento alluvionale del 2, 3 e 4 novembre 2018 e dei suoi effetti sul tronco stradale oggetto dell'intervento di ammodernamento sono state fornite nella RELAZIONE TECNICA DI INTERPRETAZIONE DELL'EVENTO METEOROLOGICO DEL NOVEMBRE 2018, redatta a cura dello scrivente gruppo di progettazione.

La determinazione del tempo di ritorno caratteristico di detti eventi è stata determinata mediante una *back analysis* eseguita sui dati di portata in acceso alla diga di Rosamarina. In tale analisi è stato utilizzato come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale (VaPi Sicilia), nella quale il coefficiente di deflusso è stato determinato con il metodo del Curve Number (P.A.I Bacino San Leonardo).

Lo studio svolto, e per la cui integrità si rimanda alla su richiamata relazione, ha permesso, meditante la citata *back analysis* di definire il procedimento più idoneo e conservativo per la determinazione delle portate di progetto del bacino in esame.



## 5 DEFINIZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

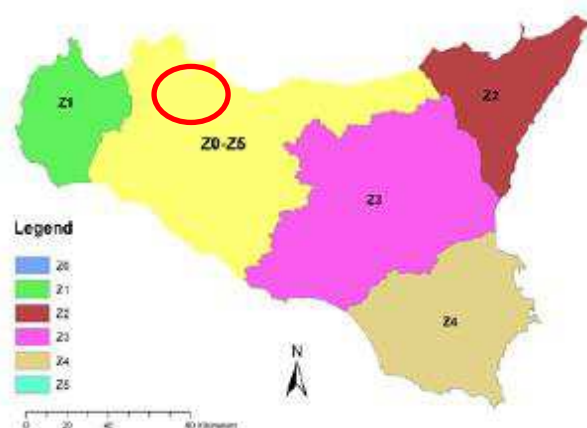
Con riferimento al bacino oggetto di studio, l'individuazione delle caratteristiche pluviometriche è stata determinata in conformità a quanto previsto dal progetto di valutazione Piene (VaPi) del gruppo Nazionale di Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) , mediante le procedure di regionalizzazione, secondo le procedure indicate nel rapporto della Regione Sicilia (Ferro e Carnozzo 1993).

La determinazione dell'altezza di pioggia ( $h$ ), e le relative intensità ( $i$ ) è stata condotta utilizzando il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola in tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni parametri statistici.

Nel primo livello di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico della serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata  $t$  sia costante per l'intera regione Sicilia. L'intera regione si ritiene pertanto una zona pluviometricamente omogenea ed i valori dei parametri sono costanti ed indipendenti dalla durata  $t$ .

Il secondo livello di regionalizzazione prevede l'individuazione di sottozone omogenee (SZO) all'interno di quella individuata al primo livello. In tali zone risulta costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometricamente omogenee.



**Figura 6 Sottozone pluviometricamente omogenee regione Sicilia. Cerchiata in rosso l'area di interesse.**

In ogni sottozona la variabile adimensionale  $h = h(t, T)$ , valore dell'altezza di pioggia per fissata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$  rapportata alla media della legge TCEV, assume la seguente espressione:

$$K_T = a * \ln(T) + b$$

Dove:

$K_T$ : coefficiente adimensionale di crescita per ogni SZO fissato il tempo di ritorno;

$a, b$ : parametri per le differenti SZO definiti nella tabella seguente.

<i>Sottozona</i>	<i>Z<sub>0</sub>-Z<sub>5</sub></i>	<i>Z<sub>1</sub></i>	<i>Z<sub>2</sub></i>	<i>Z<sub>3</sub></i>	<i>Z<sub>4</sub></i>
<i>Parametro</i>					
<i>a</i>	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
<i>b</i>	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti  $a$  e  $b$  per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

**Figura 7 Coefficienti  $a, b$  per la definizione del coefficiente di crescita. Cerchiata in rosso la zona di interesse.**

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità ( $\mu$ ) e le grandezze relative al sito di misura, dipendenti dai parametri geografici.

L'espressione della curva di probabilità pluviometria assume quindi la forma:

$$h(t, T) = K_T * \mu(t)$$

Dove:

$h(t, T)$ : è l'altezza di pioggia per assegnata durata  $t$  e tempo di ritorno  $T$ ;

$\mu(t)$ : assume per le stazioni pluviografiche siciliane la seguente forma:  $\mu(t) = a * t^n$ , con  $a, n$  tabellati per ogni stazione pluviografica.

Nel presente caso, vista l'ubicazione dell'area oggetto del presente studio, sono stati utilizzati i valori di  $a$  ed  $n$  afferenti alla stazione pluviometrica di Vicari.

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per il tempo di ritorno pari a 300 anni assume quindi la seguente forma:

$$h(t, T = 300) = 69.07 * t^{0.3205}$$

Tab. 5.III - Valori delle costanti a e n della (5.17) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muio e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarrà e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camasira	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzoiuso	S. Leonardo	20.6	0.3415

**Figura 8 Parametri a, n delle curve CPP per le differenti stazioni pluviometriche.**

All'analisi pluviometrica segue la valutazione della portata al colmo di piena istantanea. Per tale valutazione ci si è riferiti al modello di regionalizzazione proposto dal VaPi Sicilia al terzo livello di regionalizzazione, utilizzando come metodo di trasformazione afflussi-deflussi la formula razionale per la quale:

$$Q = \frac{\psi * I(t_c) * A}{3.6} [mc/s]$$

Dove:

$\psi$ : Coefficiente di deflusso;

$I(t_c)$ : Intensità di precipitazione massima registrata in un intervallo orario pari al tempo di corrivazione del bacino;

A: Area del bacino.

La modellazione numerica eseguita è relativa al tratto del fiume San Leonardo a partire da circa 1 km a monte del viadotto San Leonardo, sino a circa 350 m a valle della confluenza con il torrente Azziriolo, lo stesso modellato sino a circa 200 m a monte di detta confluenza.

Per il calcolo delle portate sono state considerate le seguenti aree:

- San Leonardo sino alla confluenza:  $A = 252 \text{ km}^2$
- Torrente Azziriolo:  $A = 99 \text{ km}^2$

Il tempo di corrivazione dei due bacini, estrapolato secondo la metodologia indicata dal Vapi della regione Sicilia ( $t_c = 0.35\sqrt{A}$ ) è pari rispettivamente a:

- San Leonardo sino alla confluenza:  $t_c = 5.6 \text{ h}$
- Torrente Azziriolo:  $t_c = 3.5 \text{ h}$

Il valore del coefficiente di deflusso è stato determinato mediante il metodo “Curve Number” proposto dal Soil Conservation Service (1972), metodologia indicata dal rapporto relativo al *P.A.I. per il bacino idrografico del fiume San Leonardo* (2004 e successivi aggiornamenti). La metodologia completa viene illustrata nel seguente paragrafo.

## 5.1 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il metodo del Curve Number si basa sull'assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) risulti legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda (effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale secondo la relazione:

$$P_{net} = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} [mm] \quad (1)$$

Dove:

S: Massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni sature;

$I_a$ : Perdita iniziale, equivalente al valore limite di altezza di pioggia che può essere trattenuta dal terreno senza che si origini il deflusso.

In assenza di adeguate osservazioni utili il parametro  $I_a$  può essere calcolato come:

$$I_a = 0.2 * S \quad (2)$$

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right) [mm] \quad (3)$$

Dove CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e della condizione di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base delle capacità di assorbimento del terreno, ha classificato i vari tipi di suolo in 4 gruppi (A,B,C,D) come indicato nella tabella che segue.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

**Tabella 1 - Metodo SCS-CN Classi di suolo**

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di uso del suolo.

Tipologia di Uso del Territorio	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
<b>Terreno a pascolo</b>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<b>Terreni boscosi o forestati</b>				
in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
con copertura erbosa superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
con copertura erbosa compresa tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
con copertura erbosa inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
<b>Aree commerciali (area impermeabile 85%)</b>	89	92	94	95
<b>Distretti industriali (area impermeabile 72%)</b>	81	88	91	93
<b>Aree residenziali</b>				
impermeabilità media 65%	77	85	90	92
impermeabilità media 38%	61	75	83	87
impermeabilità media 30%	57	72	81	86
impermeabilità media 25%	54	70	80	85
impermeabilità media 20%	51	68	79	84
impermeabilità media 12%	46	65	77	82
<b>Parcheggi, tetti, autostrade</b>	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
con letto in ghiaia	76	85	89	91
battute in terra	72	82	87	89

**Tabella 2 - Metodo SCS-CN ;CN per diversi tipi di uso del suolo per condizioni di umidità iniziale media (Classe II)**

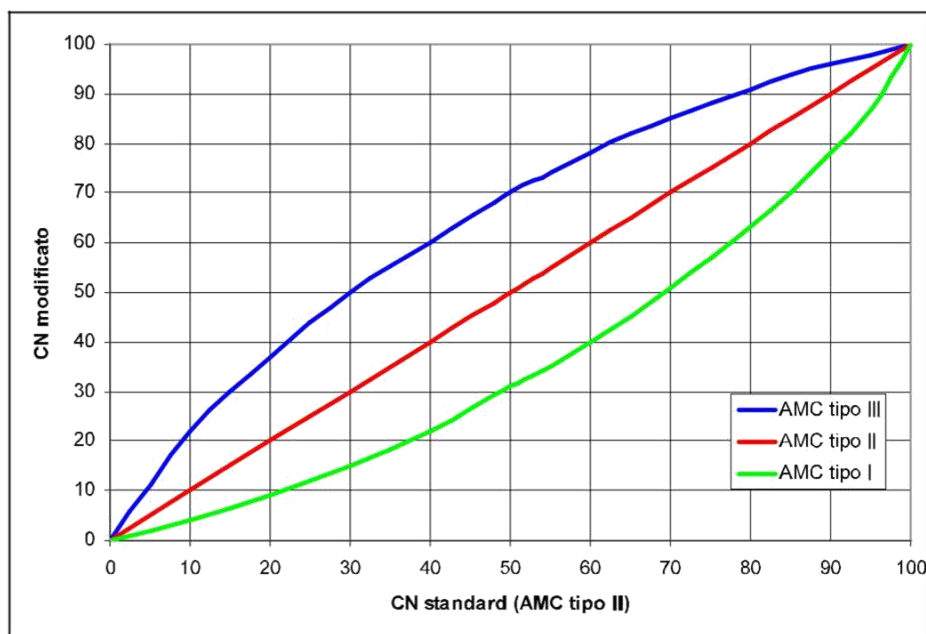
I valori di CN riportati in tabella si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo intermedia secondo la classifica AMC (Antecedent Moisture Condition). Si assume pertanto che il valore di CN vari in relazione alle condizioni di imbibimento all'atto della piena. Tale stato di imbibimento viene

espresso, dalla classificazione AMC, in base ad un indice di altezza di pioggia corrispondente all'altezza cumulata dei 5 giorni precedenti all'evento che si intende considerare (API5).

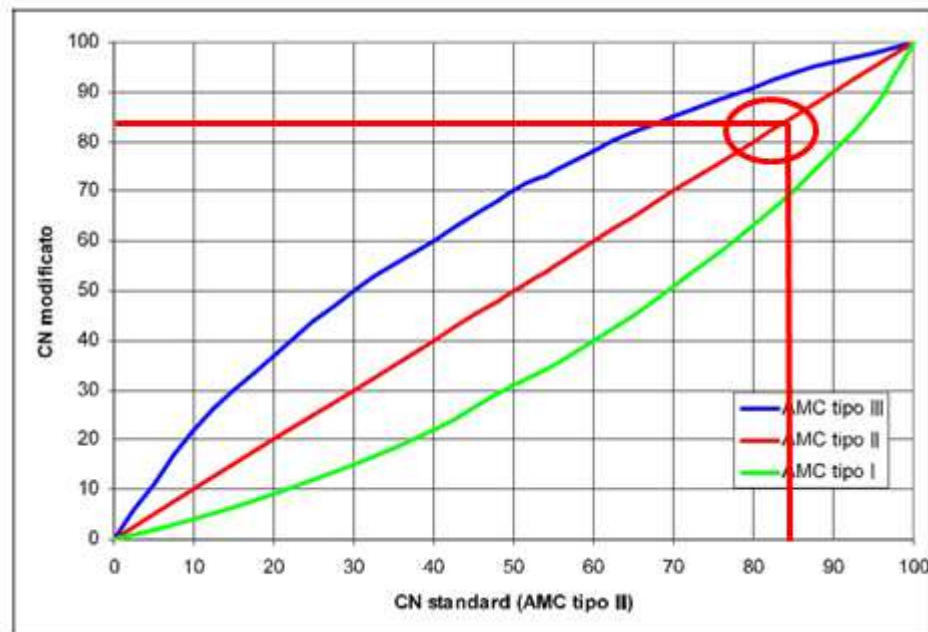
Noto il valore di CN per le condizioni medie (ACM II), è possibile ricavare il corrispondente valore per le condizioni di interesse secondo le curve di seguito riportate.

CLASSE AMC	Altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I - asciutta	< 12.7	< 35.5
II - media	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III - umida	> 28.0	> 53.3

**Tabella 3 - Definizione della classe di umidità in base all'indice API5**



**Figura 9 - Curve di conversione dei valori di CN per le diverse condizioni iniziali**



**Figura 10 - Procedura grafica per la stima di CN**

Considerando le caratteristiche geologiche del bacino idrografico oggetto del presente studio (vedasi relazione Geologica Generale allegata al presente progetto), si è considerata la tipologia idrologica di suolo **D**.

il valore del parametro CN è stato ricavato come media pesata dei valori  $CN_i$  attribuiti ai diversi usi del suolo.

A partire dalla carta di uso del suolo del 2018 della Regione Sicilia, le categorie di uso del suolo presenti nel bacino di competenza sono state ricondotte a 3 categorie principali, a ciascuna delle quali è stato attribuito un valore di CN stabilito sulla base di quanto riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

Si riportano i valori di CN attribuiti a ciascuna categoria:

- 1- Spazi aperti, pascoli e terreni coltivati  $CN_{SA}=85$
- 2- Aree boschive o forestali  $CN_{AB}=82$



### 3- Aree impermeabilizzate, aree residenziali e commerciali $CN_{AI}=95$

Il valore del CN da attribuire al bacino o sottobacino è stato quindi calcolato come:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}}$$

Essendo le aree di pertinenza di ogni categoria per il bacino in esame:

- $A_{SA} = 299.3$  (km<sup>2</sup> Spazi aperti/pascoli e terreni coltivati)
- $A_{AB} = 50.4$  (km<sup>2</sup> Aree boscate e forestali)
- $A_{AI} = 1.3$  (km<sup>2</sup> Aree impermeabilizzate residenziali e commerciali)

Si ottiene quindi:

$$CN = \frac{\sum_i CN_i A_i}{A_{tot}} = \frac{85 * 299.3 + 82 * 50.4 + 95 * 2.3}{353} = 85$$

Dove l'area totale è data dalla somma delle aree del bacino del San Leonardo e del torrente Azzirolo.

Considerando una condizione di imbibimento del terreno media (classe AMC II) si è attribuito un valore di CN pari a 85.

La determinazione della pioggia lorda è stata eseguita secondo la metodologia proposta dal VaPi Sicilia, come illustrato nel precedente paragrafo.

Il valore di pioggia lorda, per il tempo di ritorno pari a 300 anni, per i due bacini risulta pertanto:

- **Fiume San Leonardo:**

$$P(h(t, T)) = 119.7 \text{ mm}$$

- **Torrente Azzirolo:**

$$P(h(t, T)) = 103 \text{ mm}$$

Utilizzando le relazioni (1), (2), (3) si ottengono pertanto i seguenti valori:

- **Fiume San Leonardo:**

- $S = 254 \left( \frac{100}{85} - 1 \right) = 44.8 [mm]$
- $I_a = 0.2 * 44.8 = 9.0$
- $P_{net} = \frac{(119.7-9.0)^2}{119.7-9.0+44.8} = 78.8 [mm]$

Il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P} = \mathbf{0.66}$$

- **Torrente Azzirolo:**

- $S = 254 \left( \frac{100}{85} - 1 \right) = 44.8 [mm]$
- $I_a = 0.2 * 44.8 = 11.2$
- $P_{net} = \frac{(103-9.0)^2}{103-9.0+44.8} = 63.7 [mm]$

Il valore del coefficiente di deflusso è quindi calcolabile come rapporto tra la pioggia effettiva e la pioggia netta calcolata con il metodo SCS-CN e pertanto pari a:

$$\psi = \frac{P_{net}}{P} = \mathbf{0.62}$$

### 5.3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PROGETTO

La portata di progetto con tempo di ritorno trecentennale è quindi stata calcolata sulla base delle metodologie e dei risultati illustrati nei precedenti paragrafi. Applicando pertanto la formula razionale, utilizzando i coefficienti di deflusso calcolati con il metodo SCS, si ottiene:

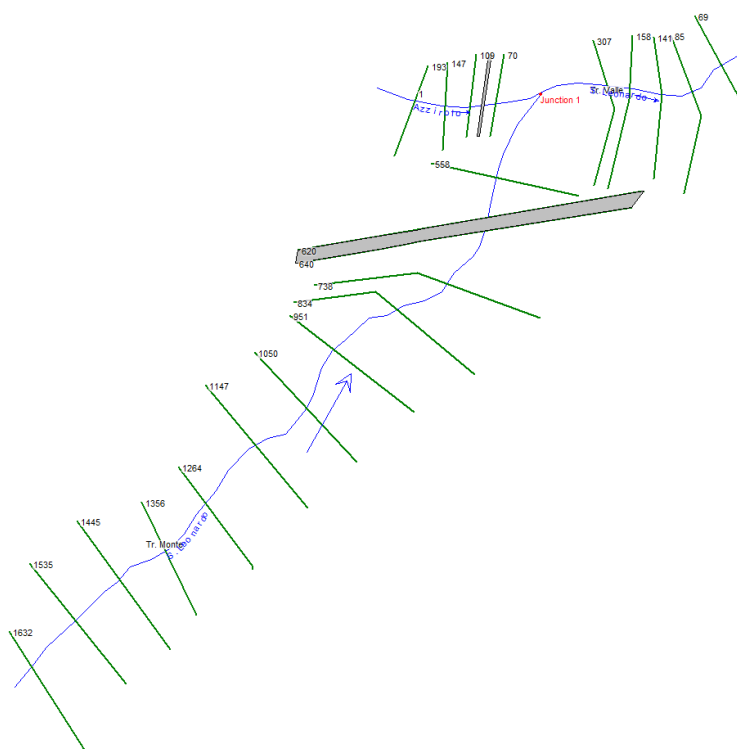
- Fiume San Leonardo:  $Q = 993 \text{ m}^3/\text{s}$
- Torrente Azziriolo:  $Q = 503 \text{ m}^3/\text{s}$
- Fiume San Leonardo, a valle della confluenza con il torrente Azziriolo:  $Q = 1496 \text{ m}^3/\text{s}$

## 6 MODELLAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica è stata condotta con l’ausilio del software di calcolo HEC-RAS 5.0.5, redatto dal Hydrologic Engineering Center dell’US Army Corps of Engineers, secondo uno schema monodimensionale della propagazione dei deflussi in alveo in condizioni di moto permanente in corrente mista.

Nei mesi di Giugno e Luglio 2019 sono stati condotti rilievi topografici di dettaglio lungo l’asta fluviale, in modo da considerare nel modello eventuali cambiamenti nella topografia dell’alveo causati dalla ridotta manutenzione dello stesso nonché dalla piena del Novembre 2018.

Utilizzando tutti i punti battuti durante i rilievi topografici a terra, unitamente ai dati planimetrici vettoriali 3D (CTR, Planimetria stradale con isoipse ogni metro) è stato ricavato un modello TIN (Triangular Irregular Network), per poi essere esportato in un modello di elevazione digitale (DEM).



**Figura 11** Sezioni di calcolo

Tale modello è stato importato nel software di calcolo mediante la funzione RasMapper. Le sezioni sono quindi state create direttamente all’interno del software di calcolo. Successivamente, le sezioni per le quali si aveva a disposizione il rilievo di dettaglio lungo tutto lo stendimento sono state

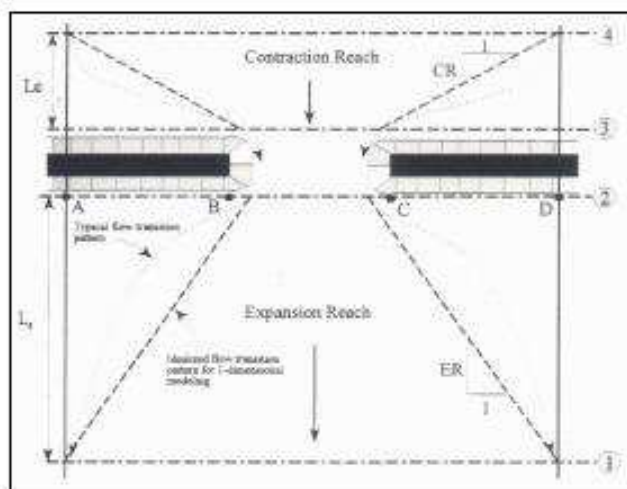
modificate manualmente laddove necessario, analogamente sono state modificate le sezioni per le quali si prevede una riprofilatura nella configurazione di progetto.

La modellazione è stata condotta per un tratto del San Leonardo avente lunghezza pari a circa 1 km a monte del viadotto, fino a 350 m circa a valle della confluenza con il torrente Azziriolo, lo stesso modellato per un tratto di lunghezza 200 m circa.

L'asta principale del San Leonardo è stata quindi divisa nel modello in un tratto di monte (Tr Monte) ed uno di Valle (Tr Valle), rispettivamente a monte e a valle della confluenza con il torrente Azziriolo. I tre rami sono stati quindi uniti mediante un elemento "Junction".

Le sezioni da implementare nel software di calcolo sono state estrapolate seguendo i seguenti criteri:

- In corrispondenza dell'alveo le sezioni risultano perpendicolari allo stesso in condizioni di piena;
- Non deve esserci sovrapposizione delle sezioni;
- Numerazione progressiva a partire dalla prima sezione di valle;
- In corrispondenza dell'attraversamento è necessario tracciare 4 sezioni secondo lo schema di seguito riportato in Figura 12.



**Figura 12 Schema per il tracciamento delle sezioni in corrispondenza di un ponte**

La necessità di inserire 4 sezioni per la corretta modellazione dell'attraversamento deriva dal fatto che Hec-Ras valuta le perdite di energia causate da questa struttura in tre parti:

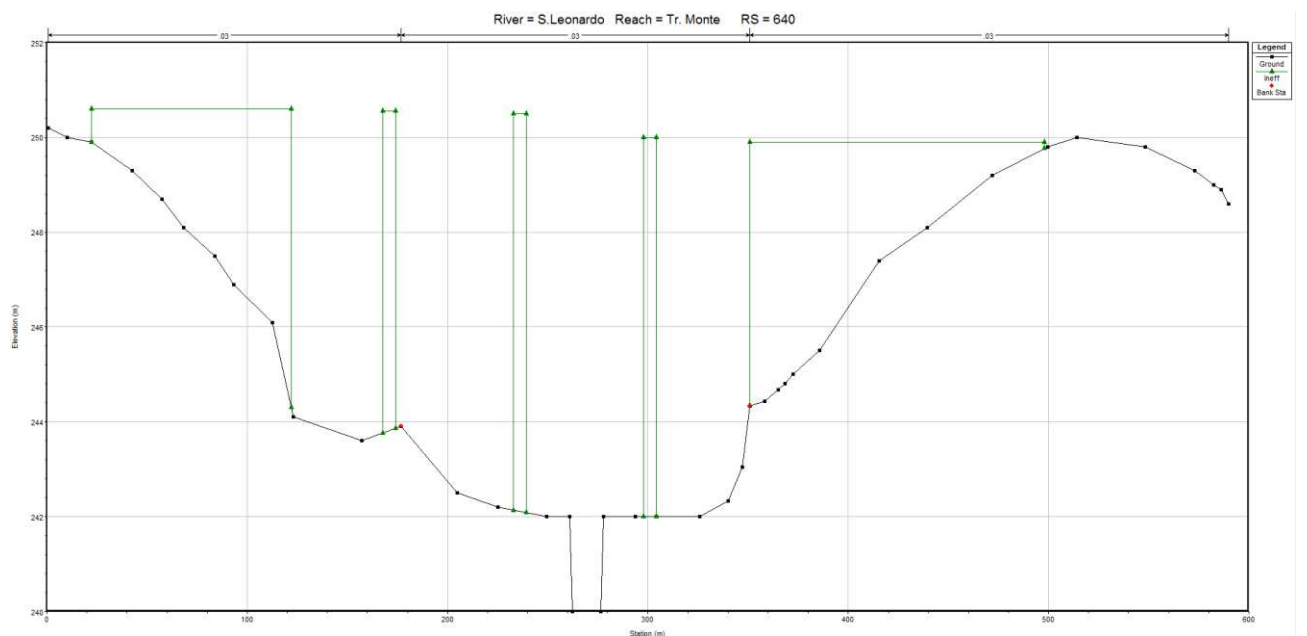
- Dovute all'espansione del flusso che si verifica immediatamente a valle
- Dovute alla contrazione del flusso che si verifica immediatamente a monte
- Dovute all'opera stessa.

Le sezioni 1 e 4 della Figura 12 devono essere tracciate in modo che, rispettivamente a valle ed a monte di esse, il flusso non risenta più della struttura e che le linee di flusso siano approssimativamente parallele. Le lunghezze **Le** ed **Lc** (Length of expansion e length of contraction) dipendono dal grado di restringimento della sezione causato dalla presenza delle pile e dalle spalle del ponte.

L'effetto di “disturbo” della corrente ad opera della presenza dell'attraversamento è stata inoltre simulata mediante l'utilizzo di “Ineffective flow areas” in corrispondenza di spalle e pile nelle sezioni di monte e di valle del ponte. Allo scopo di tenere in debita considerazione l'angolo di incidenza tra direzione del flusso e l'asse delle pile, sono state modellate *Ineffective flow areas* in corrispondenza delle pile di spessore pari all'effettivo ingombro in senso trasversale alla corrente.

Cross Section with Ineffective Regions																
	RS	Left	Right	Elev	Left	Right	Elev	Left	Right	Elev	Left	Right	Elev	Left	Right	Elev
1	640	22.46	122	250.6	167.8	174.2	250.55	232.8	239.2	250.5	297.8	304.2	250	351	498	249.9
2	620	22.46	122	250.6	167.8	174.2	250.55	232.8	239.2	250.5	297.8	304.2	250	350.67	498	249.855

**Tabella 4 Geometria *ineffective flow area* nelle sezioni di monte e di valle del Viadotto**

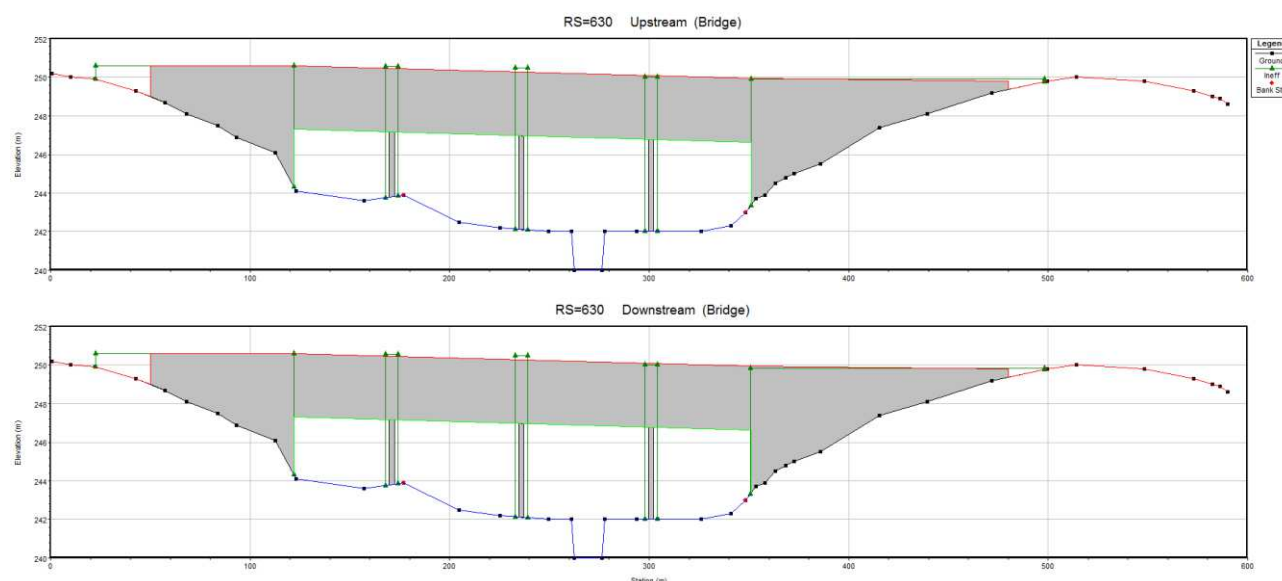


**Figura 13 Geometria di calcolo sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo**

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO



**Figura 14 Geometria di calcolo sezioni in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo**

Per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati utilizzati i valori di 0,1 e 0,3, valevoli per graduali transizioni, e di 0,3 e 0,5 per le sezioni dei ponti.

Le equazioni che governano la modellazione saranno descritte più nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

## 6.1 COEFFICIENTE DI SCABREZZA DI MANNING

La determinazione del coefficiente di scabrezza è stata effettuata mediante la taratura del modello agli eventi alluvionali del Novembre 2018. Per un maggiore dettaglio circa la metodologia utilizzata si rimanda alla *Relazione Idrologica e Studio Idraulico del progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica del Viadotto San Leonardo* redatto dal presente gruppo di progettazione.

A partire dalle caratteristiche di scabrezza delle diverse sezioni, determinate come sopra descritto, si è proceduto modificando il valore del coefficiente di Manning nelle sezioni che saranno oggetto di intervento, per le quali si provvederà ad una riprofilatura corredata da interventi di pulizia straordinari.

In particolare, il range di coefficienti utilizzati nel modello, varia da 0.03 per alvei naturali in buone condizioni, a 0.08, estremo superiore per alvei naturali in assenza di manutenzione.

Si riporta nella seguente tabella il valore utilizzato per ogni sezione.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

River	Reach	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
Azzirolo	1	193	n	0.04	0.03	0.04
Azzirolo	1	147	n	0.04	0.03	0.04
Azzirolo	1	109	n	0.04	0.03	0.04
Azzirolo	1	85	Bridge			
Azzirolo	1	70	n	0.04	0.03	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1632	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1535	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1445	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1356	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1264	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	1147	n	0.06	0.04	0.06
S.Leonardo	Tr. Monte	1050	n	0.06	0.04	0.06
S.Leonardo	Tr. Monte	951	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	834	n	0.04	0.04	0.04
S.Leonardo	Tr. Monte	738	n	0.03	0.03	0.03
S.Leonardo	Tr. Monte	640	n	0.03	0.03	0.03
S.Leonardo	Tr. Monte	630	Bridge			
S.Leonardo	Tr. Monte	620	n	0.03	0.03	0.03
S.Leonardo	Tr. Monte	558	n	0.03	0.03	0.03
S.Leonardo	Tr. Valle	307	n	0.08	0.08	0.08
S.Leonardo	Tr. Valle	158	n	0.08	0.08	0.08
S.Leonardo	Tr. Valle	141	n	0.08	0.08	0.08
S.Leonardo	Tr. Valle	85	n	0.08	0.08	0.08
S.Leonardo	Tr. Valle	69	n	0.08	0.08	0.08

**Tabella 5 Valori di input del coefficienti di Manning utilizzati per la modellazione**



## 6.2 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center per lo studio delle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo in HEC-RAS è basata sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto monodimensionale;
- moto gradualmente variato;
- distribuzione idrostatica delle pressioni in ciascuna sezione (linee di corrente rettilinee e parallele);
- alvei a debole pendenza ( $i < 1:10$ );
- perdite di carico continue mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- sponde e fondo delle sezioni fisse (no erosione).

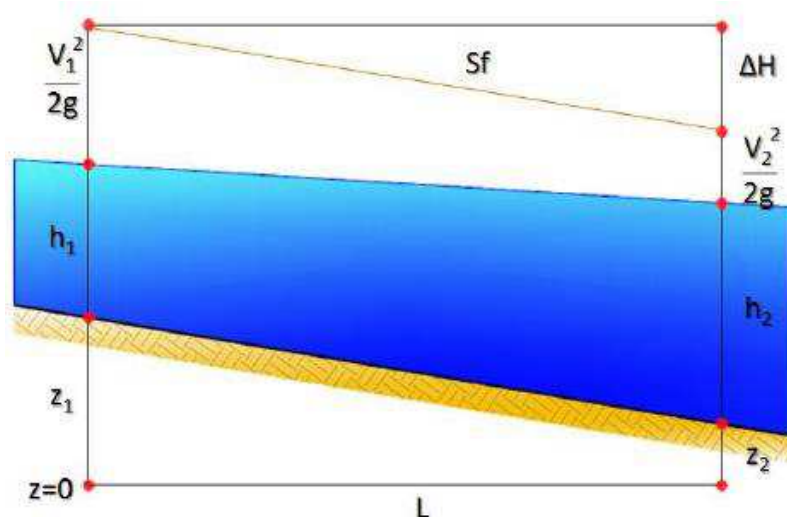
Sotto le predette ipotesi, le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle, a seconda che il regime sia rispettivamente supercritico o subcritico, risolvendo, con la procedura iterativa dello standard step method, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni (1):

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H \quad (1)$$

dove, indicando con i pedici 1 e 2 le grandezze che si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

- $h_1$  e  $h_2$  sono le altezze idriche;
- $z_1$  e  $z_2$  sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;  $V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie;

- $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;
- $\Delta H$  è la perdita di carico tra le due sezioni.



**Figura 15 - Conservazione dell'energia, schema di calcolo**

L'equazione (1) esprime il ben noto principio per cui la variazione tra due sezioni dell'energia specifica della corrente è pari alle perdite distribuite, derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a diversa velocità nell'interno della massa liquida, ed alle perdite localizzate, in genere dovute alla presenza di strutture in alveo che inizialmente producono un restringimento della corrente e un successivo allargamento con formazione di vortici.

La perdita di carico tra le due sezioni viene, infatti, valutata come la somma di due termini: una componente di attrito  $h_f$ , dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning, e una componente  $h_0$  che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico:

$$\Delta H = h_f + h_0 = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

con  $S_f$  : cadente della linea dei carichi totali;

C: coefficiente di contrazione ed espansione.

HEC-RAS possiede quattro diverse modalità per la valutazione della cadente media  $S_f$  :

1. Trasporto medio valutato tra le sezioni 1,2;
2. Media aritmetica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
3. Media geometrica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;
4. Media armonica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2;

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni, a meno di indicazioni diverse da parte dell'utente. Il programma offre una quinta opzione che consente la selezione automatica della formula più idonea tra quelle illustrate in funzione del regime della corrente.

Il codice HEC-RAS suddivide l'area interessata dal moto in tre zone principali: zona golenale sinistra (LOB, left overbank), alveo ordinario (CH, channel), zona golenale destra (ROB, right overbank). Per tener conto dell'andamento curvilineo dell'asse, la distanza di calcolo tra due sezioni viene ponderata rispetto alla frazione di portata che fluisce rispettivamente nelle tre zone. La lunghezza mediata del tratto viene quindi calcolata come:

$$L = \frac{L_{LOB} \cdot \bar{Q}_{LOB} + L_{CH} \cdot \bar{Q}_{CH} + L_{ROB} \cdot \bar{Q}_{ROB}}{\bar{Q}_{LOB} + \bar{Q}_{CH} + \bar{Q}_{ROB}} \quad (3)$$

Con:

$L_{LOB}, L_{CH}, L_{ROB}$  : lunghezze del tratto relative rispettivamente all'area golenale sinistra, alveo ordinario e area golenale destra;

$Q_{LOB}, Q_{CH}, Q_{ROB}$  : portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, alveo ordinario e golena destra.

Per illustrare lo standard step method utilizzato da HEC-RAS per la soluzione dell'equazione (1) si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie libera della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono  $h_1$ ,  $V_1$  e  $\Delta H$ .  $V_1$  è desumibile direttamente dal valore di  $h_1$ , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da  $h_e = h_f + h_o$ , per poter ottenere una soluzione. Stante la tipologia delle equazioni, la ricerca della soluzione sarà del tipo "trial and error", per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti:

- Viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi,  $\Delta h = (Q/K)^2 L$ , dove  $\Delta h$  rappresenta la variazione nella quota del pelo libero,  $Q$  è la portata,  $K$  il termine di trasporto e  $L$  la distanza dalla sezione a monte;
- Sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- Con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di  $h_e$ ;
- Con il valore calcolato di  $h_e$ , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;
- Viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza (di default pari a 3 mm), il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

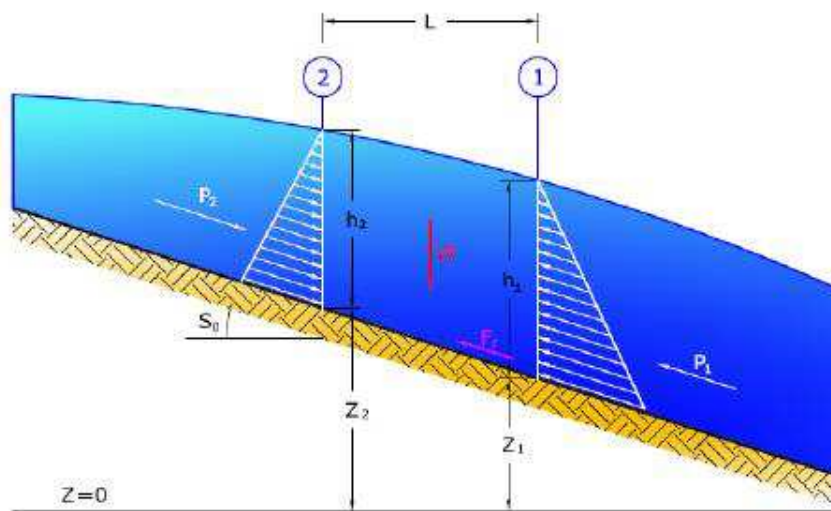
Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche.

In corrispondenza di particolari situazioni localizzate, per le quali il moto non può, a rigore, essere considerato gradualmente variato, come avviene in corrispondenza di ponti, tombini, stramazzi, risalti idraulici ecc. (passaggio attraverso lo stato critico), per il calcolo dei profili idrici viene utilizzata l'equazione di bilancio della quantità di moto:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = M_1 - M_2 \quad (4)$$

Dove:

- P1 e P2 sono le spinte agenti in corrispondenza delle sezioni 1 e 2;
- Wx è la componente della forza peso del volume di controllo nella direzione del moto; Ff è la forza resistente dovuta all'attrito;
- M2 e M1 sono i flussi della quantità di moto entranti ed uscenti dalle sezioni 2 e 1.



**Figura 16 - Conservazione della quantità di moto, schema di calcolo**

Esplicitando i vari termini si ottiene la formula funzionale dell'equazione di conservazione della quantità di moto utilizzata da HEC-RAS:

$$\frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot \Sigma_2} + \Sigma_2 \cdot h_2 + \left( \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left( \frac{\Sigma_1 + \Sigma_2}{2} \right) \cdot L \cdot \overline{S_f} = \frac{\beta_1 \cdot Q_1^2}{g \cdot \Sigma_1} + \Sigma_1 \cdot h_1$$

### 6.3 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Si riportano nel seguito i risultati della modellazione idraulica, in relazione al deflusso della portata con tempo di ritorno 300 anni.

Per gli output grafici delle singole sezioni si rimanda all'Allegato 1 della presente relazione.

POSTOPERAM NUOVO VIADOTTO SAN LEONARDO										
	Tratto	Sezione	Q	Quota min. Alveo	Quota pelo libero	Hidr (max)	Velocità in alveo	Velocità sponda sinistra	Velocità sponda destra	Froude
			(m <sup>3</sup> /s)	(m.s.l.m.)	(m. s.l.m.)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	
S.Leonardo	Monte	1632.0	993.00	248.6	253.13	4.50	4.97	3.08	3.14	0.77
S.Leonardo	Monte	1535.0	993.00	247.4	252.14	4.74	6.06	3.27	4.00	0.90
S.Leonardo	Monte	1445.0	993.00	247.4	251	3.60	6.24	1.94	4.25	1.10
S.Leonardo	Monte	1356.0	993.00	247.4	250.64	3.25	4.67	1.80	2.50	0.83
S.Leonardo	Monte	1264.0	993.00	247.4	249.65	2.25	6.25	1.47	2.72	1.36
S.Leonardo	Monte	1147.0	993.00	245.0	247.95	2.91	3.89	2.56	1.61	0.75
S.Leonardo	Monte	1050.0	993.00	242.1	246.73	4.63	5.33	2.89	1.42	0.95
S.Leonardo	Monte	951.0	993.00	242.4	246.31	3.88	3.04	2.04	2.52	0.57
S.Leonardo	Monte	834.0	993.00	241.5	245.23	3.77	4.65	2.54	2.37	0.81
S.Leonardo	Monte	738.0	993.00	241.5	244.46	2.95	3.94	2.24	3.24	0.74
S.Leonardo	Monte	640.0	993.00	240.0	244.25	4.25	2.88	1.00		0.63
S.Leonardo	Monte	630.0	Bridge							
S.Leonardo	Monte	620.0	993.00	240.0	244.18	4.18	2.97	0.94	1.84	0.66
S.Leonardo	Monte	558.0	993.00	240.9	244.24	3.33	2.04	1.92	1.25	0.41
S.Leonardo	Valle	307.0	1496.00	239.1	244.1	4.96	3.06	1.97	2.53	0.45
S.Leonardo	Valle	158.0	1496.00	238.0	243.89	5.89	2.80	2.06	2.32	0.41
S.Leonardo	Valle	141.0	1496.00	238.0	243.38	5.38	3.50	2.32	2.73	0.49
S.Leonardo	Valle	85.0	1496.00	239.0	242.92	3.92	2.92	2.15	2.57	0.50
S.Leonardo	Valle	69.0	1496.00	238.3	241.16	2.84	4.41	2.01	3.92	0.99
Azzirolo	-	193.0	503.00	240.0	244.67	4.67	1.86	0.94	0.81	0.29
Azzirolo	-	147.0	503.00	240.0	244.64	4.64	1.83	0.73	0.80	0.29
Azzirolo	-	109.0	503.00	240.0	244.64	4.64	1.67	1.01	1.02	0.26
Azzirolo	-	85.0	Bridge							
Azzirolo	-	70.00	503.00	240.1	244.41	4.35	1.34	1.14	1.03	0.21

**Tabella 6 Sintesi dei risultati della modellazione idraulica; in giallo le sezioni in prossimità del Nuovo Viadotto San Leonardo- SF15-**

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

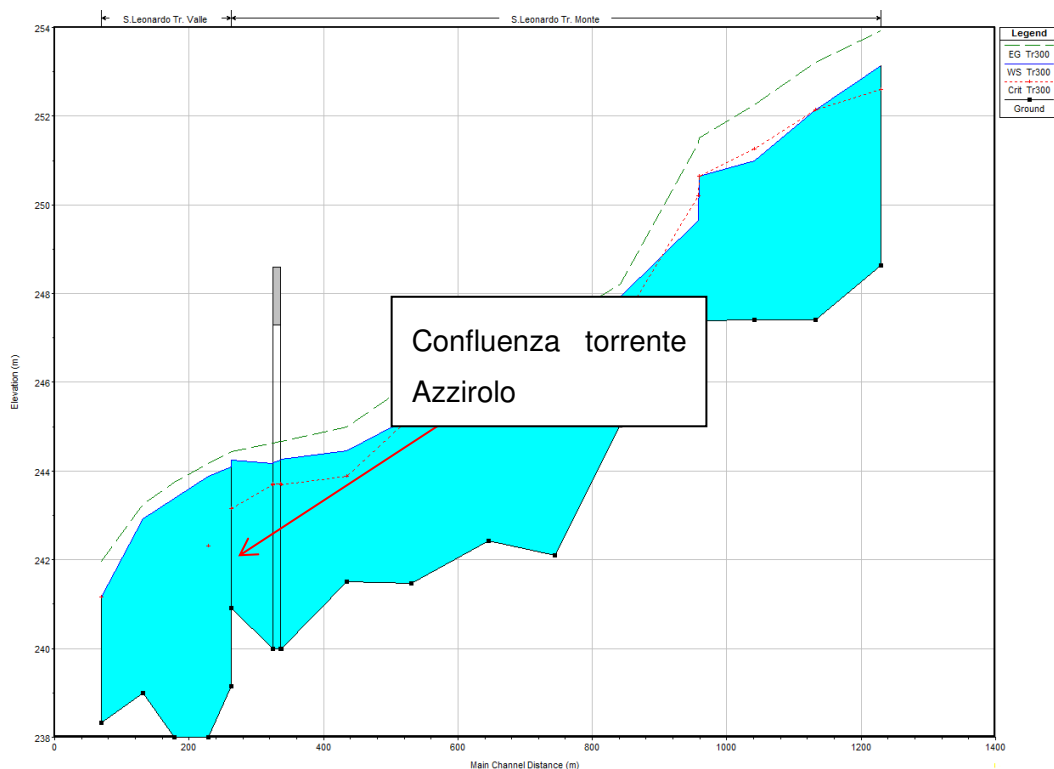


Figura 17 Profilo del Fiume San Leonardo

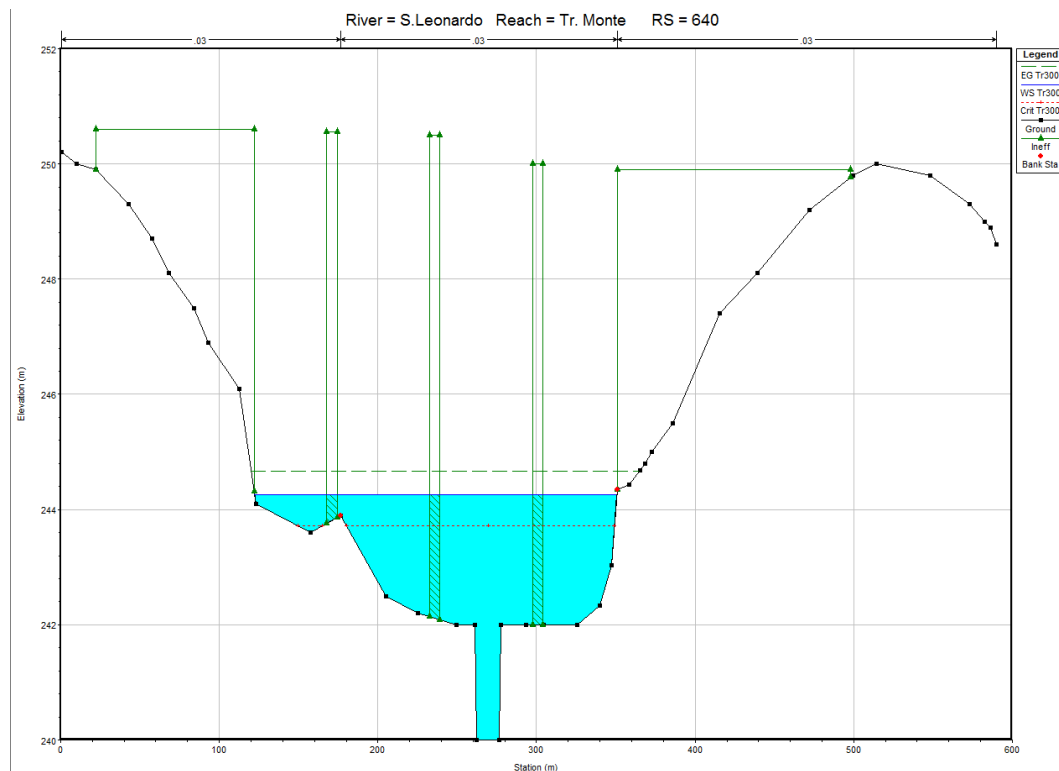
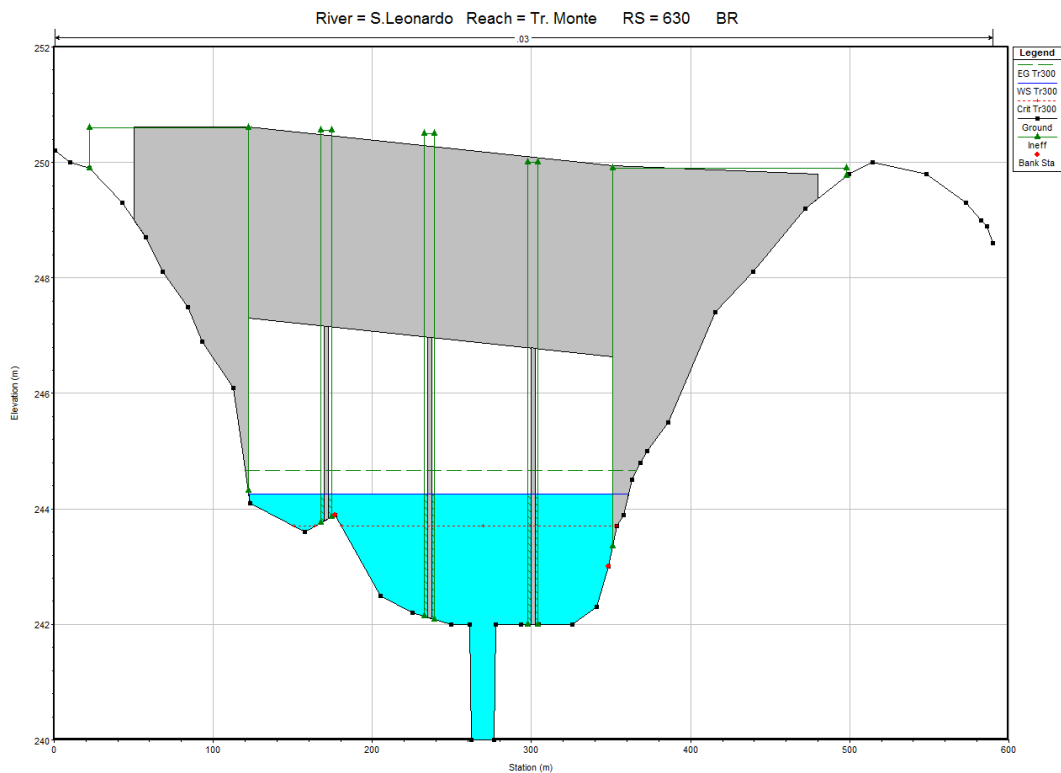


Figura 18 Risultati modellazione sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO



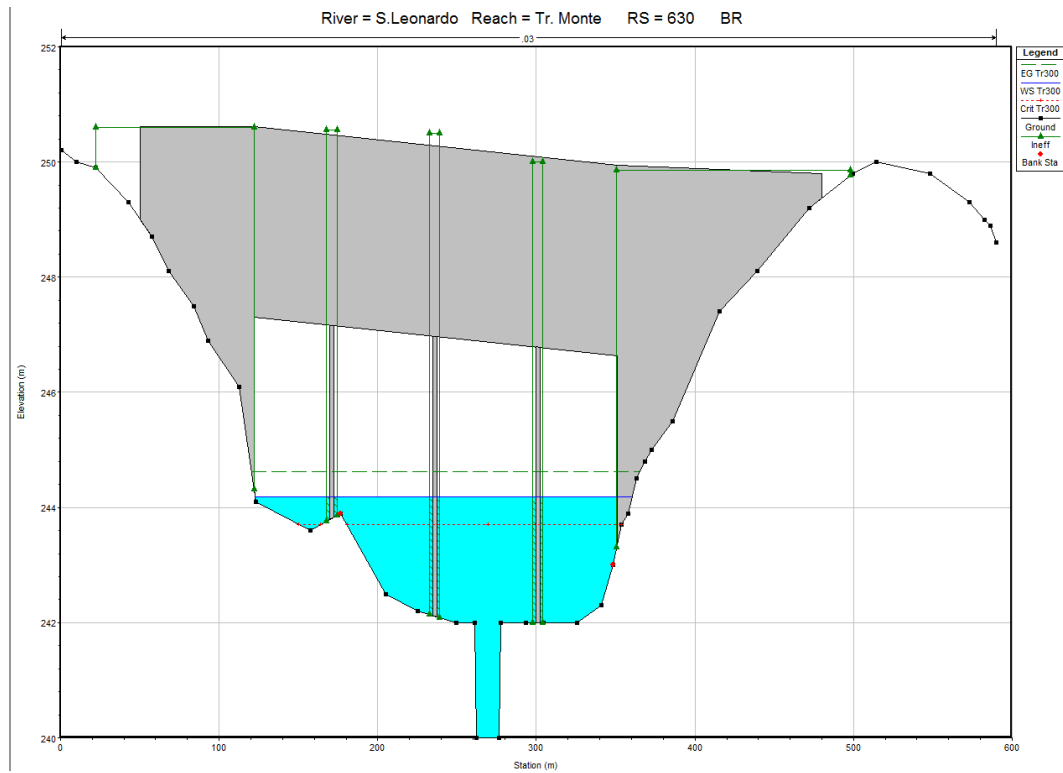
**Figura 19 Risultati modellazione in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo –Sezione di monte-**



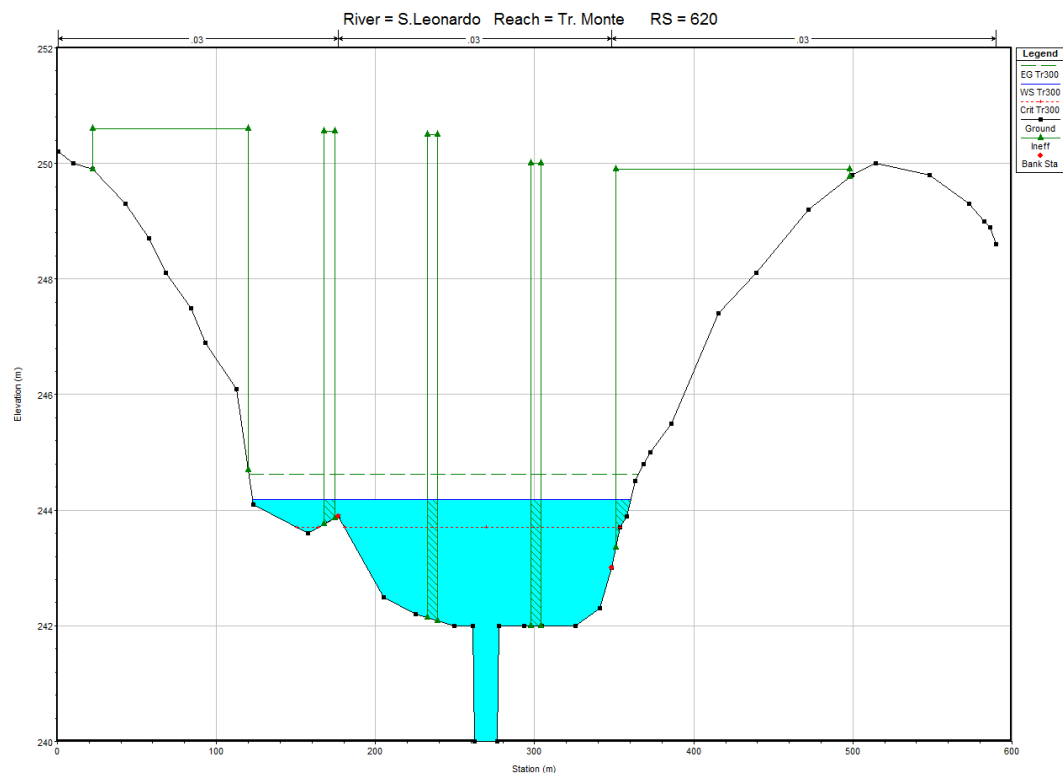
Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO



**Figura 20 Risultati modellazione in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo –Sezione di valle-**



**Figura 21 Risultati modellazione sezione a valle del Nuovo Viadotto San Leonardo**

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

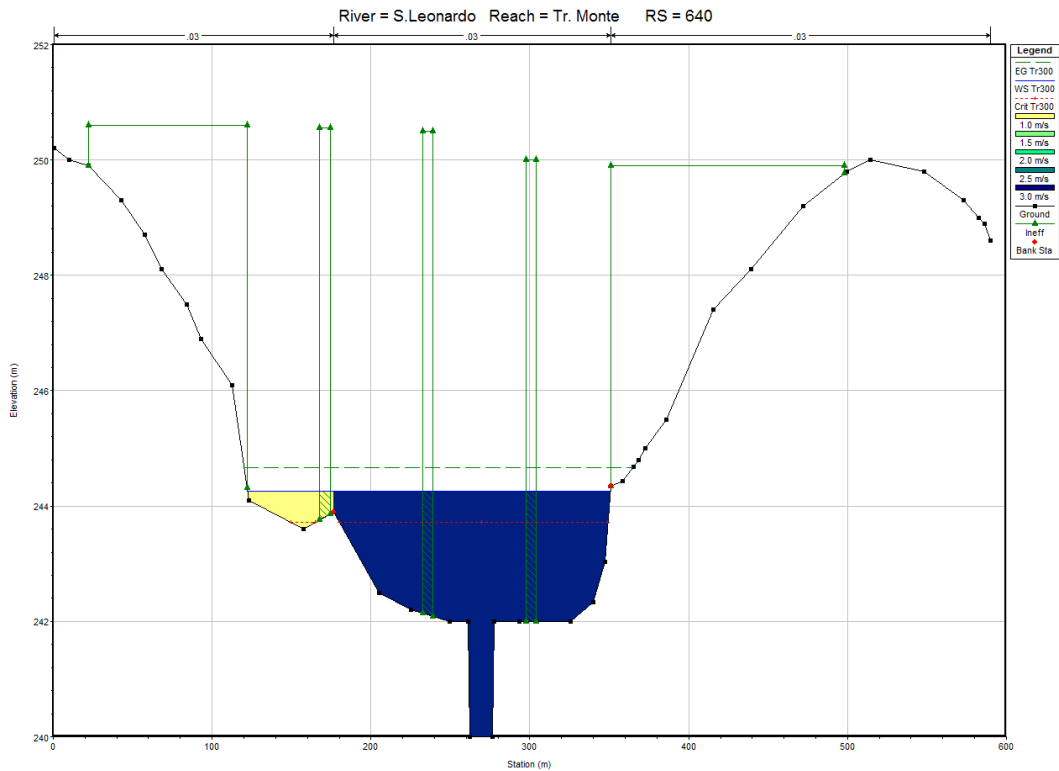


Figura 22 Profili di velocità sezione a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo

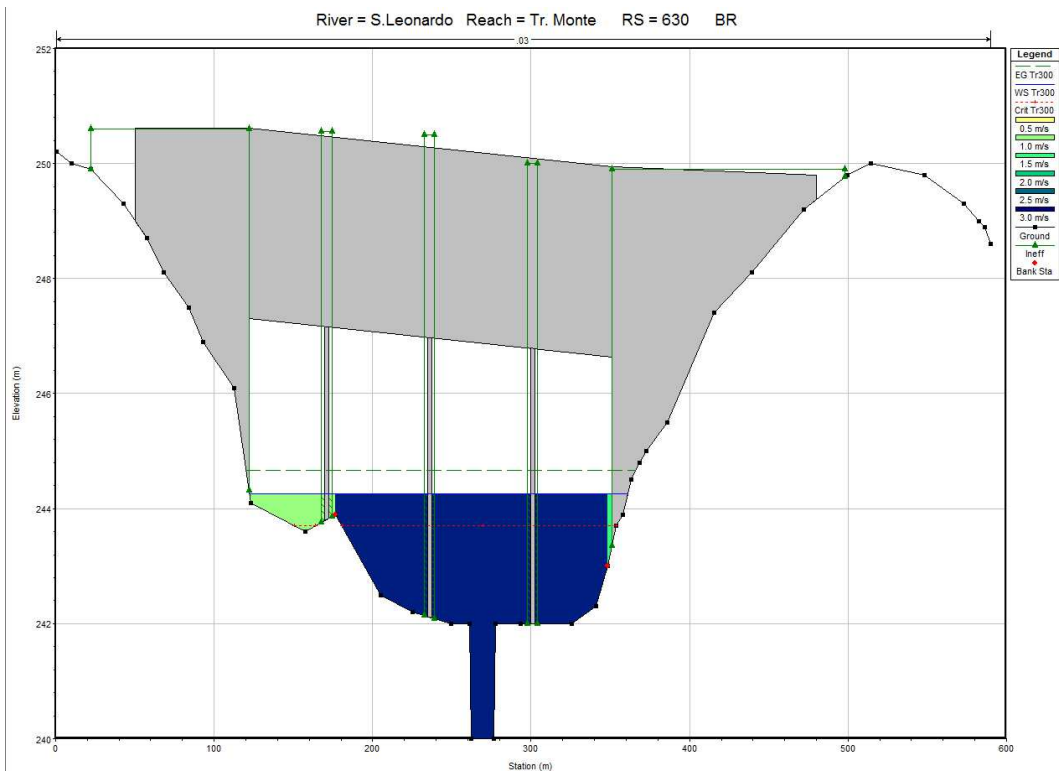


Figura 23 Profili di velocità in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo – Sezione di monte-

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

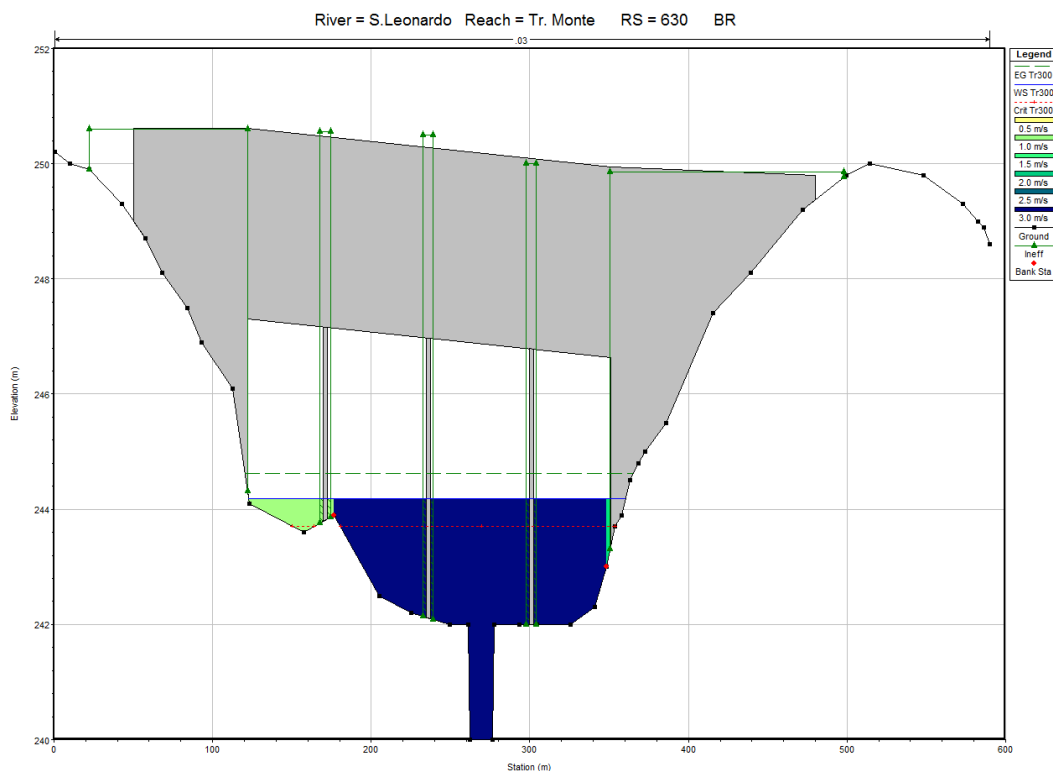


Figura 24 Profili di velocità in corrispondenza del Nuovo Viadotto San Leonardo – Sezione di valle-

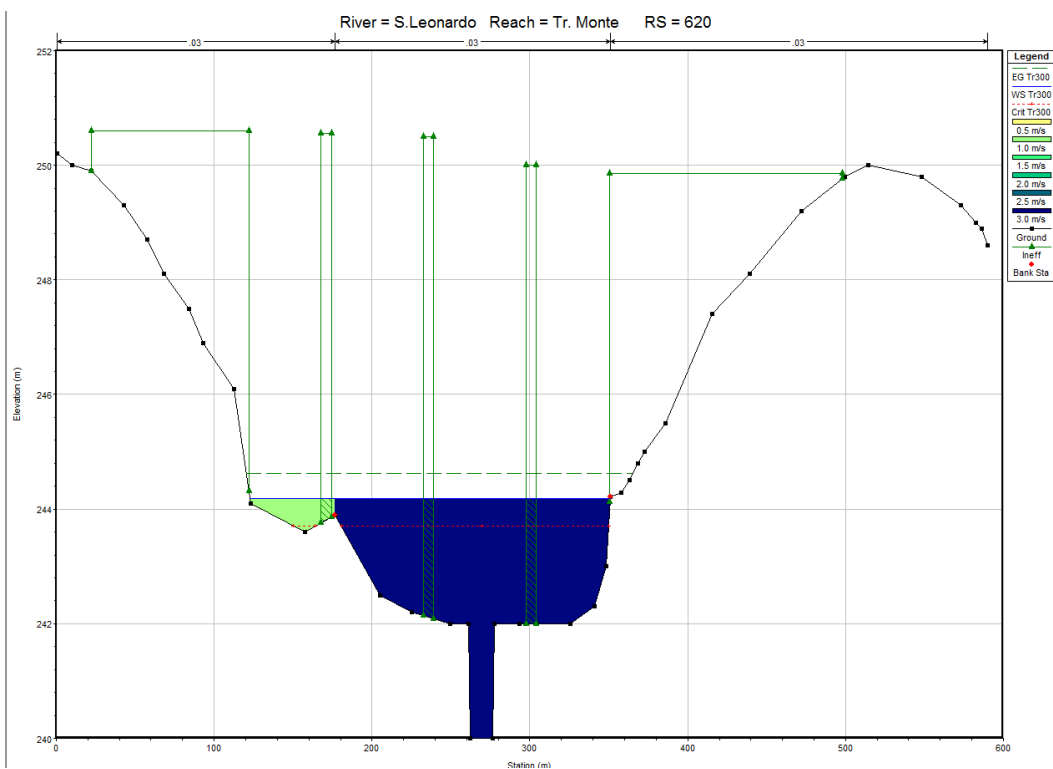


Figura 25 Profili di velocità sezione a valle del Nuovo Viadotto San Leonardo

I risultati della modellazione mostrano come, in corrispondenza della piena con tempo di ritorno 300 anni, la quota idrometrica nella sezione immediatamente a monte del Nuovo Viadotto San Leonardo è pari a 244. 25 m.s.l.m, garantendo pertanto un franco di 2.1 m circa rispetto al punto più basso dell'impalcato (pila lato Agrigento).

### **6.3.1 *Torrente Azzirolo***

Ai fini della completezza dello studio proposto, la modellazione idraulica ha tenuto in considerazione la presenza dell'affluente in destra idraulica Torrente Azzirolo.

I risultati della modellazione, presentati nell'Allegato 1 del presente documento, mostrano come l'attraversamento esistente sulla viabilità secondaria (Torrente Azzirolo) non sia verificato per il transito della portata avente tempo di ritorno 300 anni.

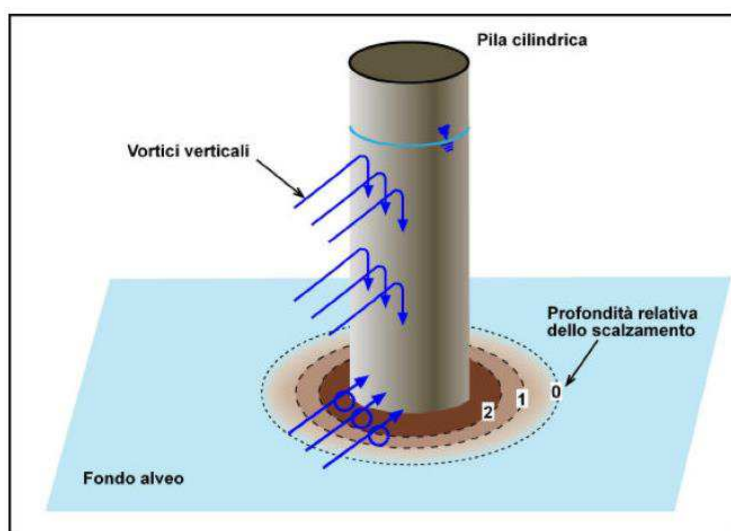
I risultati della modellazione hanno altresì permesso di verificare che l'intervento di progetto sul fiume San Leonardo non ha effetti in termini idraulici (tiranti e velocità) sull'attraversamento di detta viabilità secondaria.

Poiché, tale attraversamento risulta esterno all'area di progetto non sono pertanto previsti interventi di sistemazione idraulica.

## 7 STIMA DELL'EROSIONE ALLA BASE DELLE PILE

La presenza di una pila in alveo causa, come ben noto, un aumento delle velocità in corrispondenza della stessa, resa manifesta dall'addensamento delle linee di corrente e della formazione di vortici a ferro di cavallo.

Lo scalzamento locale per effetto delle pile è funzione delle caratteristiche del materiale d'alveo, della configurazione della sezione, delle caratteristiche di deflusso (velocità, profondità di corrente, angolo di incidenza sulla pila) e della geometria della pila e delle fondazioni.



**Figura 26 Schema del fenomeno dello scalzamento locale dovuto alla pila**

Assunta come riferimento una pila di forma generica la profondità di scavo  $d_s$  può essere descritta come funzione delle seguenti variabili:

$$\frac{d_s}{s} = f \left( \frac{V_0}{V_c}, \frac{y_0}{s}, \text{forma}, \alpha \right)$$

Dove:

$d_s$  = profondità di scavo misurata dal fondo del terreno indisturbato;

$s$  = larghezza della pila di lunghezza  $l$ ;

$V_0$  = Velocità media della corrente a monte della pila;

$V_c$  = Velocità critica di trascinamento del materiale di fondo alveo di diametro  $d$ ;

$\alpha$  = angolo che la corrente indisturbata forma con la pila.

Per le applicazioni tecniche può quindi essere utilizzata la seguente formula:

$$\frac{d_s}{s} = f_1 \left( \frac{V_0}{V_c} \right) * \left[ 2 \tanh \left( \frac{y_0}{s} \right) \right] * f_2(forma) * f_3 \left( \alpha, \frac{l}{s} \right)$$

Nella quale:

$$f_1 \left( \frac{V_0}{V_c} \right) = 0 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} \leq 0.5$$

$$f_1 \left( \frac{V_0}{V_c} \right) = 2 \frac{V_0}{V_c} - 1 \quad \text{per } 0.5 < \frac{V_0}{V_c} \leq 1.0$$

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

$f_2(forma) = 1.00$  per pile circolari o con rostri arrotondati

$f_2(forma) = 0.75$  per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente

$f_2(forma) = 1.30$  per pile rettangolari

$f_3$  è ricavabile dal grafico in figura seguente

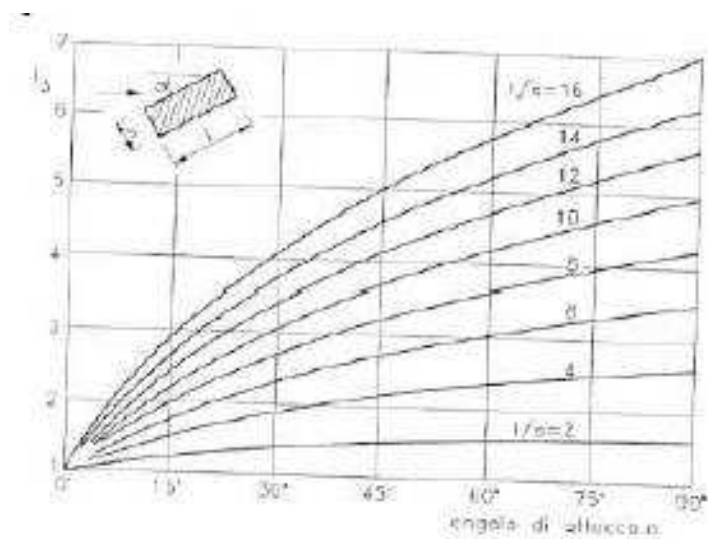


Figura 27 Andamento della funzione  $f_3$  al variare di  $\alpha$ ,  $l$ ,  $s$

La velocità critica del materiale in alveo può essere calcolata adottando come valore di diametro il corrispondente  $d_{50}$ , utilizzando la seguente relazione:

$$v_{cr} = 0.85 \sqrt{2gd_{50} \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma}}$$

Con  $\gamma_s$  pari al peso specifico del materiale di fondo e  $\gamma$  quello dell'acqua.

Considerando, pertanto, che la presente proposta progettuale prevede la protezione delle pile con materiale di pezzatura minima  $d= 900\text{mm}$  (peso minimo 1 ton per masso), si riporta nel seguito il risultato del calcolo.

VERIFICA PROTEZIONE PILA			
$V_0$	Velocità media della corrente indisturbata	2.88	m/s
$d_{50}$	diámetro minimo per evitare lo scalzamento	900	mm
$d_{50}$	diámetro minimo per evitare lo scalzamento	0.9	m
$V_c$	velocità critica del materiale di diámetro d	4.7	m/s
$Y_0$	Altezza della corrente indisturbata	2.3	m
s	Spessore della pila	2.5	m
l	Lunghezza della pila	7.5	m
$\alpha$	Angolo di incidenza corrente/pila	25	°

l/s	3.0
-----	-----

Vcr	5.96
$V_0/V_c$	0.62
f1	0.24
f2	1
f3	1.5

ds	1.3	m
----	-----	---

Poiché la profondità di scalzamento massimo risulta inferiore alla profondità di posa del plinto di fondazione (compresa tra 1.5 e 2 m), l'intervento di protezione delle pile si ritiene verificato.

## 8 VERIFICA DELLA PROTEZIONE CON GABBIONI

I risultati del modello hanno mostrato come la piena di progetto lambisca il rilevato di approccio in corrispondenza della pila lato Agrigento.

L'intervento di progetto sarà pertanto corredato da un intervento di protezione del piede del rilevato di approccio mediante n. 2 file gabbioni di dimensioni 2X1X1 m. In via precauzionale e del tutto cautelativa detto intervento è previsto anche sul rilevato di approccio in prossimità della pila lato Palermo.

Si procede pertanto alla verifica dell'intervento di progetto.

Per la determinazione della velocità critica del materiale costituente i gabbioni si è fatto riferimento alla formulazione di Shields per la quale:

$$\tau_{cr} = \gamma R_H i$$

Dove:

$\tau_{cr}$ : tensione critica di trascinamento

$\gamma$ : peso specifico della massa liquida

$R_H$ : raggio idraulico

$i$ : pendenza del fondo

Secondo la formulazione di Gauckler-Strikler la stessa relazione può essere scritta come:

$$\tau_{cr} = \gamma \frac{v_{cr}^2}{K_s^2 R_H^{1/3}}$$

Considerato un materiale cui  $\gamma_s = 2600 \text{ kg/m}^3$  la precedente equazione può scriversi come:

$$v_{cr} = 0.31 K_s R_H^{1/6} \sqrt{d}$$

Dove il coefficiente di scabrezza  $K_s$  assume valori compresi tra 25 e 35  $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ .

Nella verifica in esame sono stati considerati i seguenti valori tabellati.



<b>Material</b>	<b>Allowable velocity [m/s]</b>
Gabions 0.50m - $d_{50} = 0.21$ m	7.60
Reno mattress 0.17m - $d_{50} = 0.10$ m	4.20
Reno mattress 0.23m - $d_{50} = 0.12$ m	5.50
Reno mattress 0.30m - $d_{50} = 0.15$ m	6.40
MacMat R	1.50 - 3.00(*)

\* For duration less than 60 hours (Utah water research Laboratory)

Poiché, dai risultati ottenuti dal modello di calcolo la massima velocità in corrispondenza del canale, nelle sezioni interessate dall'intervento è pari a 2.97 m/s (sezione di valle del viadotto da Tabella 6), l'intervento di protezione risulta pertanto verificato.

## 9 MOVIMENTI TERRE

La realizzazione della configurazione di progetto della nuova sistemazione fluviale SF15 prevede la modifica delle sezioni dell'alveo del fiume San Leonardo per un'estensione areale di circa 42 mila mq.

L'area interessata dagli interventi di riprofilatura è riportata nella tavola PVIDB019A\_61\_4137, nella quale si evidenziano le aree interessate dagli scavi e quelle interessate dai rinterri.

Come già illustrato nei precedenti paragrafi, al fine di ricostruire lo stato di fatto dell'alveo successivo agli eventi alluvionali del 2018 sono stati eseguiti rilievi di dettaglio che hanno consentito la realizzazione di un modello digitale del terreno. In particolare per il modello anteoperam, sono stati utilizzati i rilievi topografici di dettaglio eseguiti nel 2019, unitamente ai dati planimetrici vettoriali 3D (CTR, Planimetria stradale), ed è stato ricavato un modello TIN (Triangular Irregular Network), lo stesso modello utilizzato per la creazione del DEM impiegato nella modellazione idraulica (vedasi Par. 6).

Successivamente alla definizione della geometria di progetto, così come definita dalla modellazione idraulica, le sezioni della configurazione post operam sono state utilizzate come base per la rimodulazione della cartografia e la definizione dello stato finale.

La cartografia dello stato di progetto, creata a partire dal modello di stato di fatto e delle indicazioni progettuali, è stata quindi utilizzata per la creazione di un modello matematico tridimensionale a triangoli del terreno (TIN).

A partire dai due modelli sorgente (ante e post operam) la computazione dei volumi di scavo e rinterro è stata eseguita mediante l'ausilio del codice di calcolo software Topko TMI della Sierrasoft. L'utilizzo di tale codice di calcolo permette infatti il calcolo delle differenze volumetriche mediante intersezione di modelli 3d.

Le differenze volumetriche sono state calcolate, all'interno dell'area di interesse (vedasi tavola PVID\_B019A\_614137) definita "area di riparto". Per aumentare la precisione dei calcoli il software Topko consente di spezzare i triangoli sul limite di ogni riparto e valutare le quantità di sterro e di riporto. I risultati volumetrici ottenuti, tenuto conto dell'elevato dettaglio e precisione dei modelli di input, possono essere affetti da un errore massimo valutabile nell'ordine del 5%.

I valori ottenuti da queste differenze volumetriche sono riassunti nel documento di output prodotto dal programma (vedasi ALLEGATO 2).

Analogamente, anche il computo dell'area deputata al taglio degli arbusti, è stata definita a partire dal risultato dell'operazione di intersezione dei modelli 3D.

## 9.1 CONFERIMENTO MATERIALI DI RISULTA

Per il conferimento a discarica dei materiali di risulta, provenienti dagli interventi di riprofilatura finalizzati alla realizzazione della SF15, è stato identificato come unico sito la “**Cava Filaga**”, cava di prestito e deposito, ubicata nel comune di Prizzi. Il sito è raggiungibile con la S.S. 189 (fino al Lercara) e la S.S: 188 in direzione Agrigento, dista circa 30 km dal cantiere.

## 10 CONCLUSIONI

Nella presente Relazione Idrologica ed Idraulica allegata al Progetto Esecutivo di Variante n.3 del Nuovo Viadotto San Leonardo, lungo la S.S. 121 Palermo Agrigento, sono state condotte simulazioni idrauliche al fine di verificare la soluzione progettuale proposta per la nuova Sistemazione Idraulica SF15.

Le verifiche sono state condotte considerando la portata di progetto con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Il valore della portata è stato determinato secondo la metodologia indicata dal progetto VaPi Sicilia, con l'adozione della formula razionale come modello di trasformazione afflussi-deflussi. All'interno di tale relazione empirica, il coefficiente di deflusso è stato determinato con il metodo del Curve Number, proposto dal Soil Conservation Service, secondo indicazioni contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I) Bacino Idrografico del Fiume San Leonardo (2004 e successivi aggiornamenti). Tale procedura si considera validata per il bacino in esame a seguito delle simulazioni in back analysis riportate nei documenti "*RELAZIONE TECNICA DI INTERPRETAZIONE DELL'EVENTO METEOROLOGICO DEL NOVEMBRE 2018*" e "*Relazione Idrologica e Studio Idraulico del progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica del Viadotto San Leonardo*" redatti dallo scrivente gruppo di progettazione.

Rilievi topografici di dettaglio, eseguiti tra Giugno e Luglio 2019 hanno permesso di ottenere una geometria di calcolo che fosse il più possibile rappresentativa della situazione attuale, a seguito degli eventi di piena del Novembre 2018.

A partire dalle condizioni attuali, per le quali condizioni di deflusso si rimanda alla "*Relazione Idrologica e Studio Idraulico del progetto di Fattibilità Tecnico ed Economica del Viadotto San Leonardo*", sono state modificate le sezioni che saranno interessate dagli interventi di progetto.

La modellazione idraulica è stata eseguita con il software HEC-RAS 5.0.5.

I risultati della modellazione hanno mostrato come, la nuova configurazione del Viadotto San Leonardo, garantisca il transito della piena con tempo di ritorno 300 anni con un franco di 2.1 m circa rispetto all'intradosso dell'impalcato lato Agrigento.

L'intervento di progetto è inoltre corredato da un intervento di protezione delle pile mediante utilizzo di massi aventi peso non inferiore ad 1 ton, ed a un intervento di protezione al piede con gabbioni del rilevato di approccio al nuovo viadotto, entrambi verificati.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

**PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3**

---

NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

## **ALLEGATO 1: OUTPUT DI CALCOLO HEC-RAS**

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

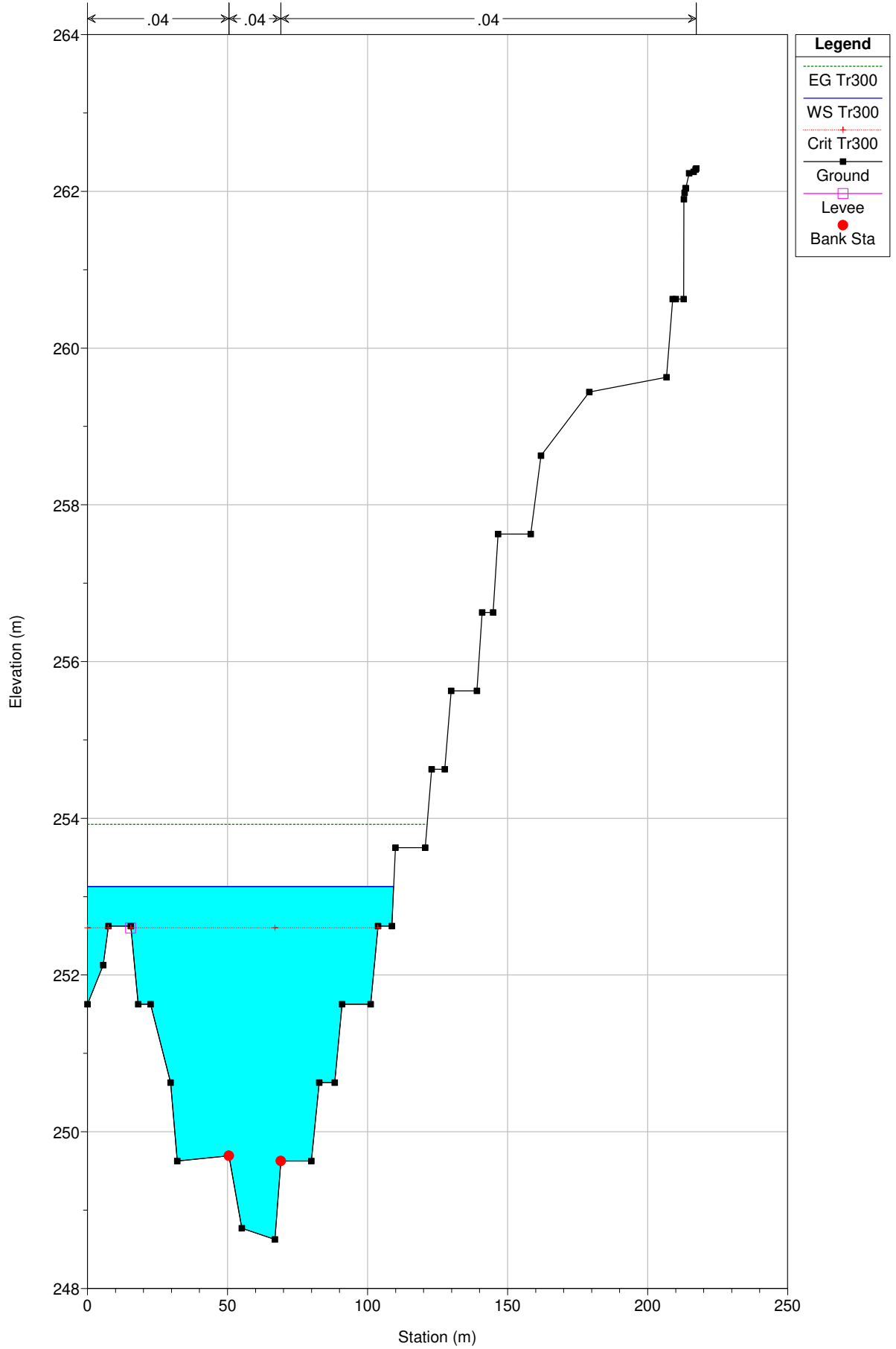
PROGETTO ESECUTIVO VARIANTE 3

---

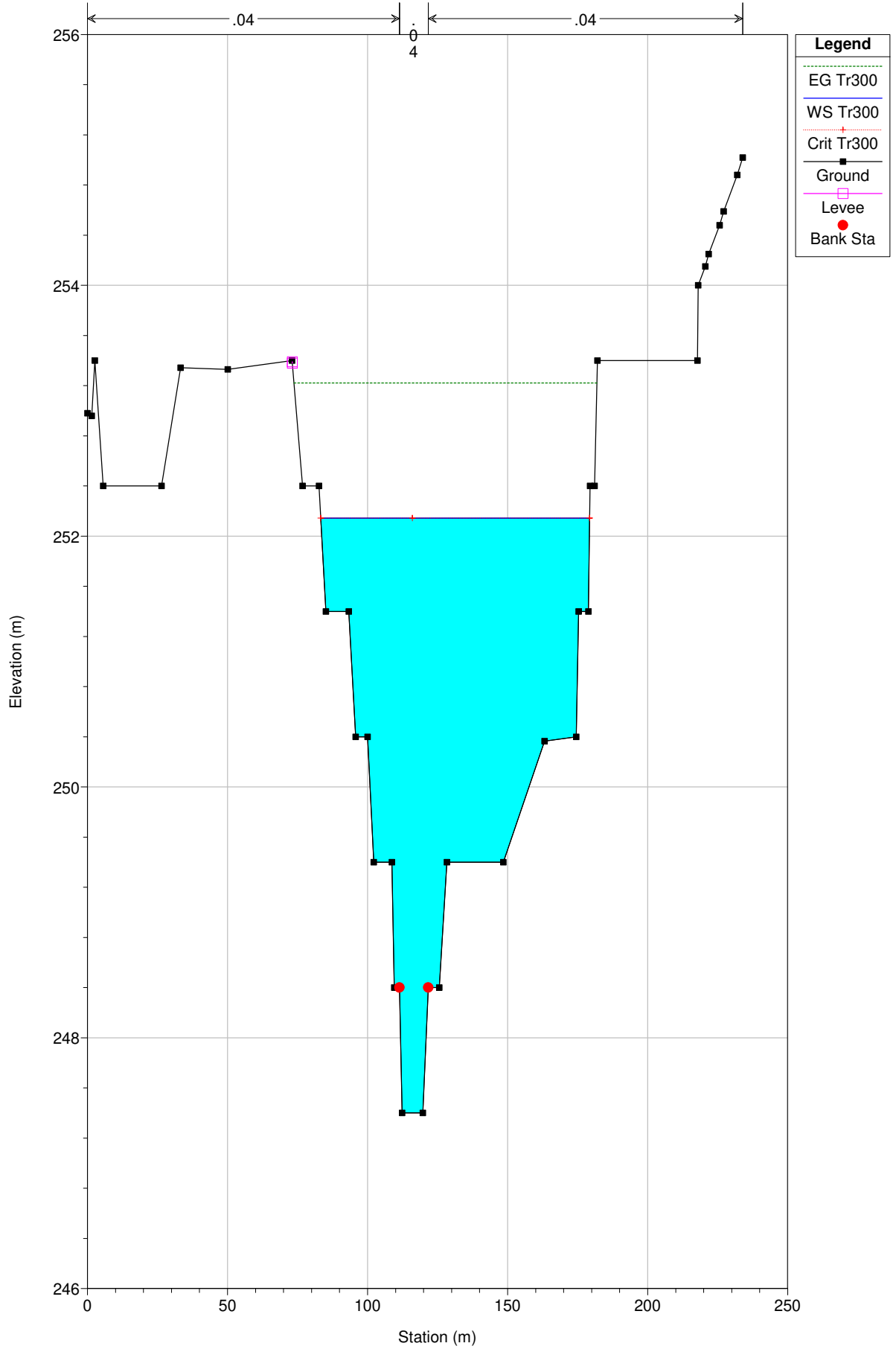
NUOVI VIADOTTI -VIADOTTO SAN LEONARDO- RELAZIONE IDRAULICA E STUDIO IDROLOGICO

## **ALLEGATO 1: OUTPUT DI CALCOLO**

River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1632

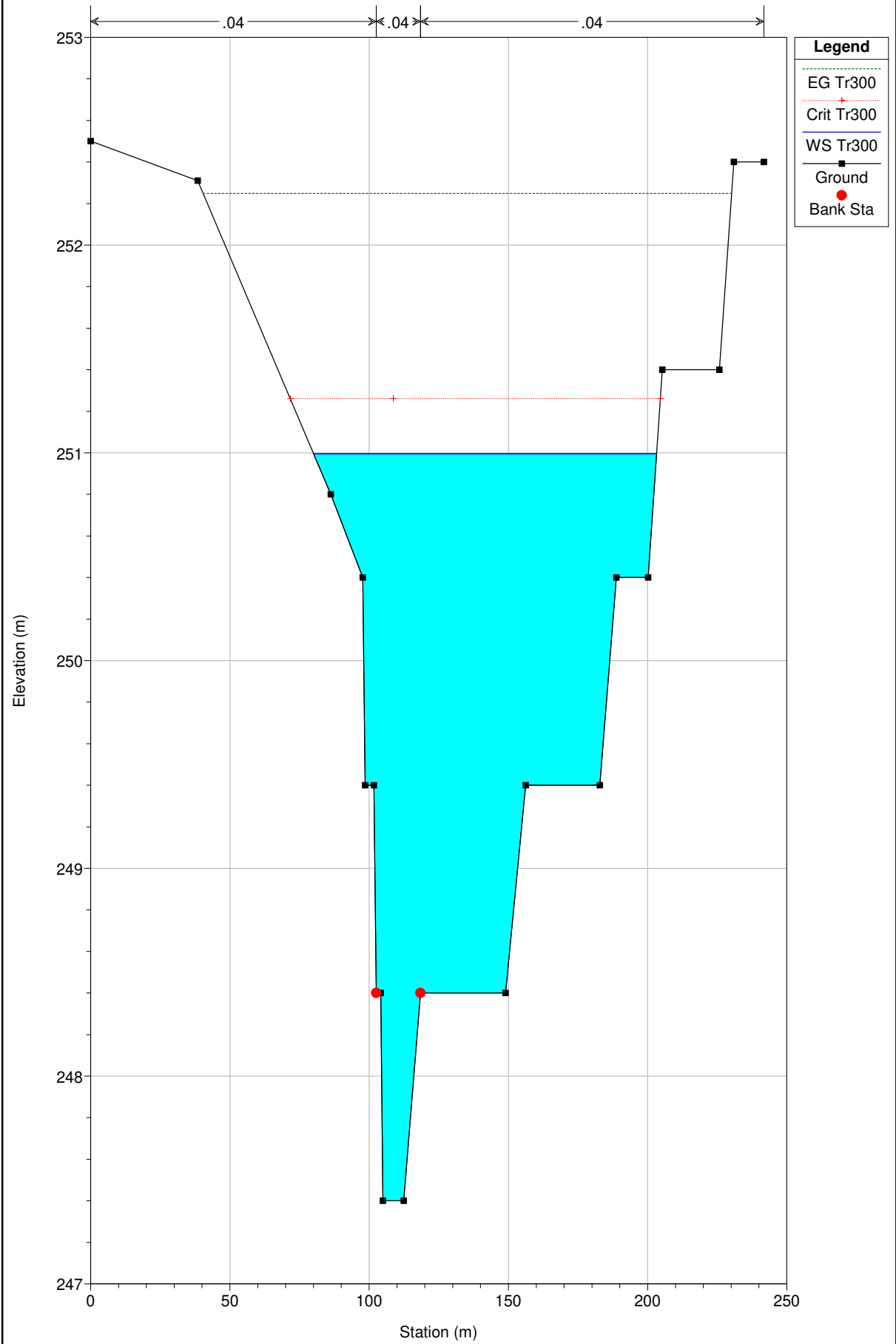


River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1535

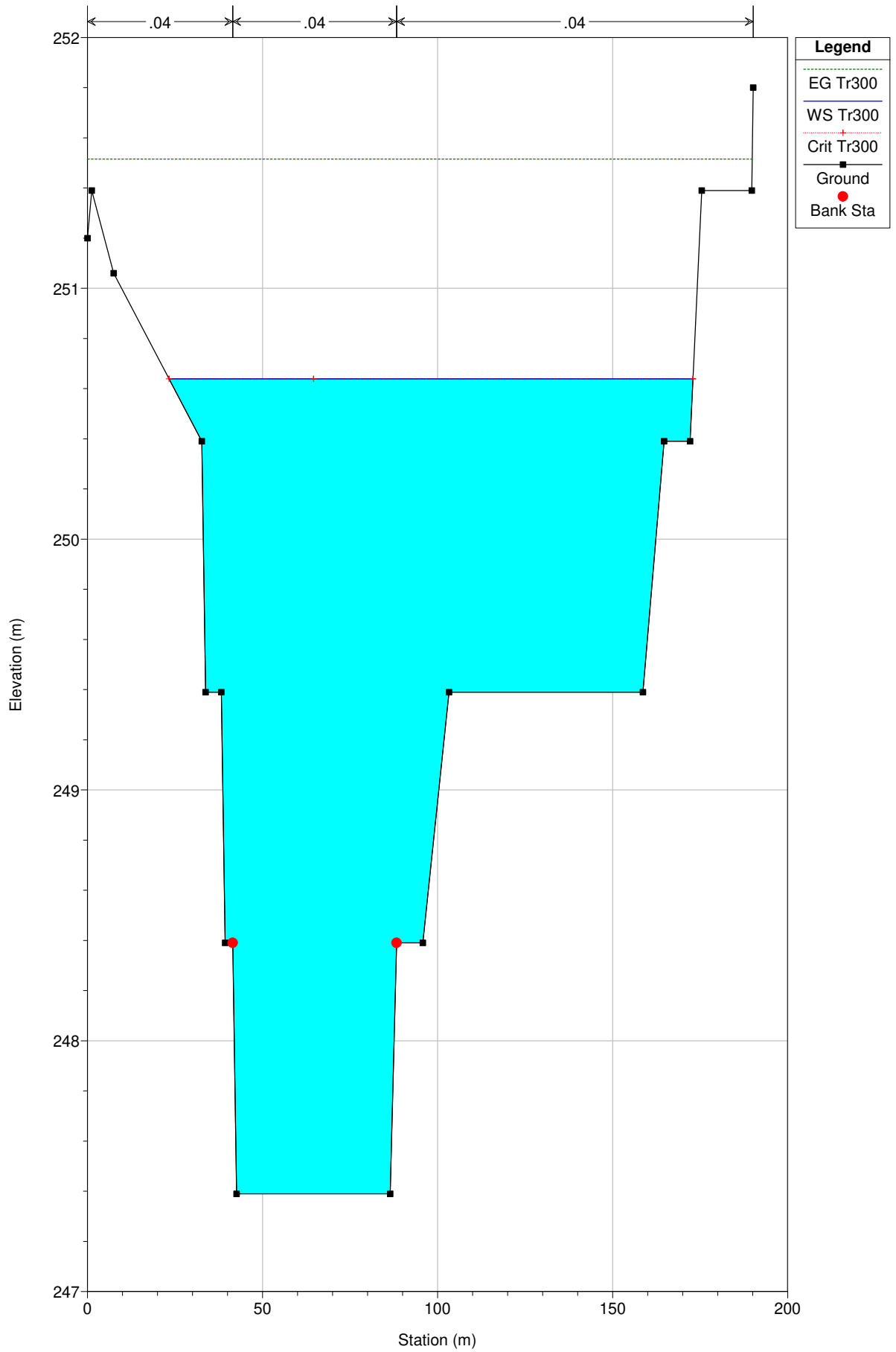




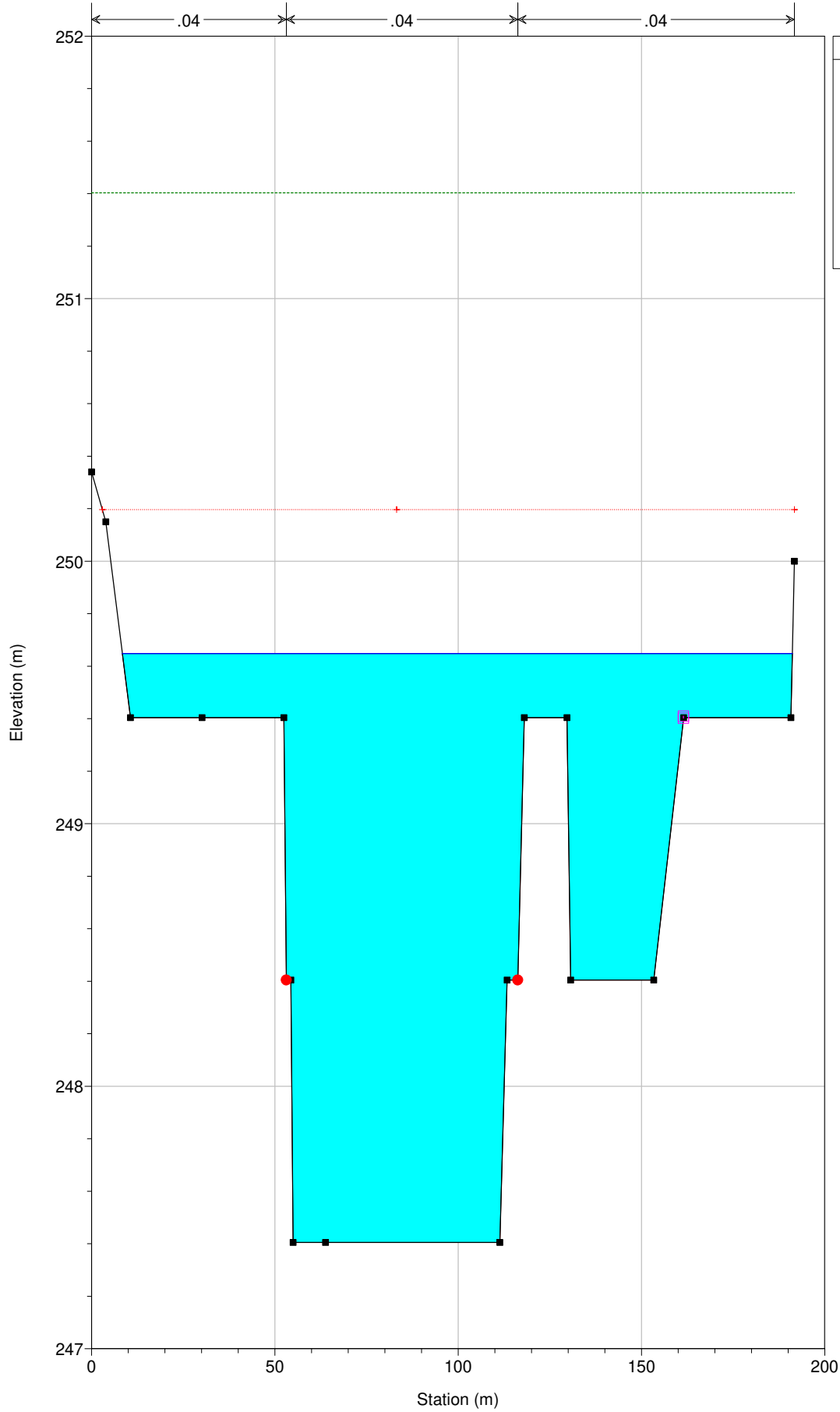
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1445



River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1356



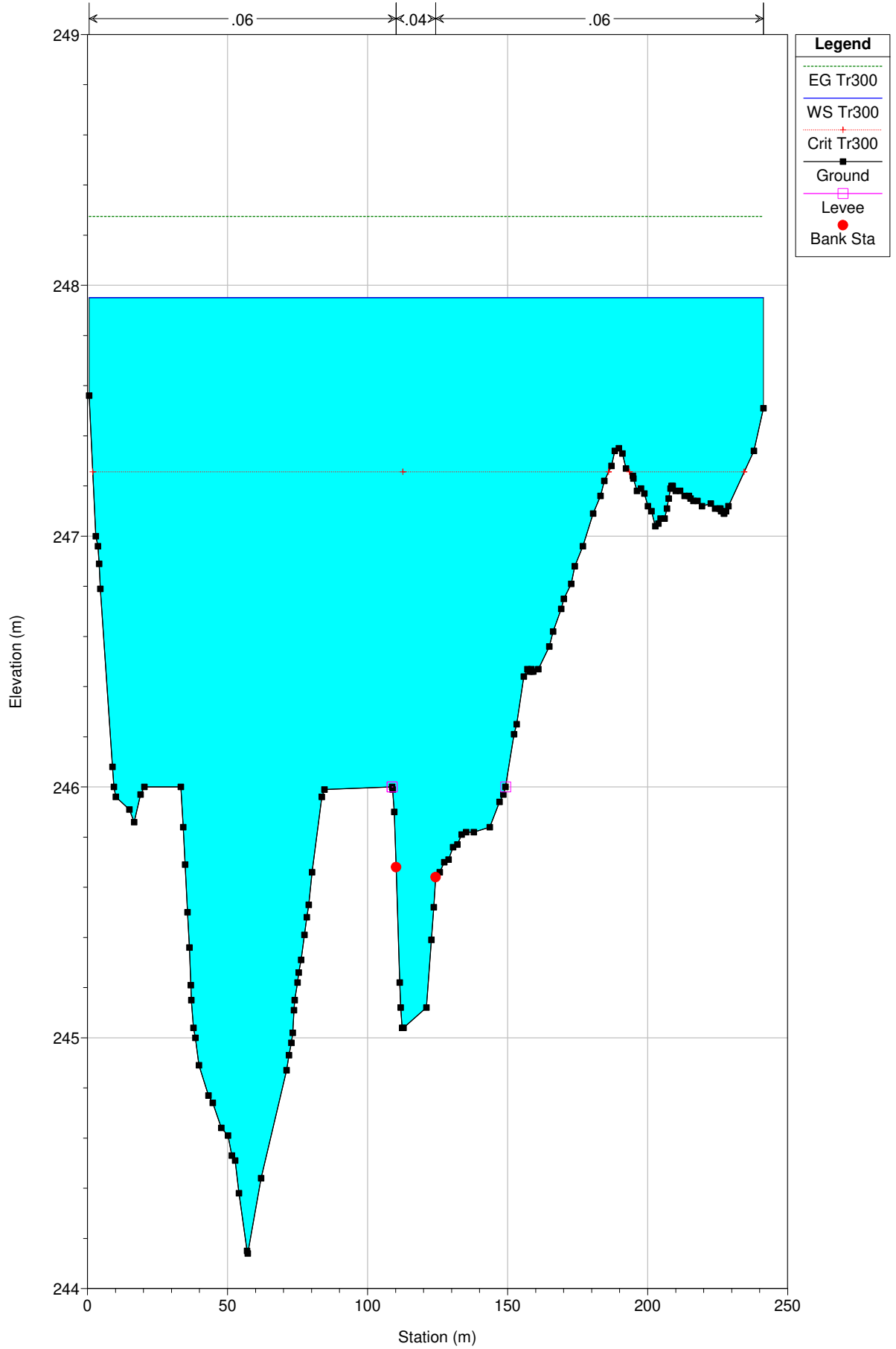
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1264



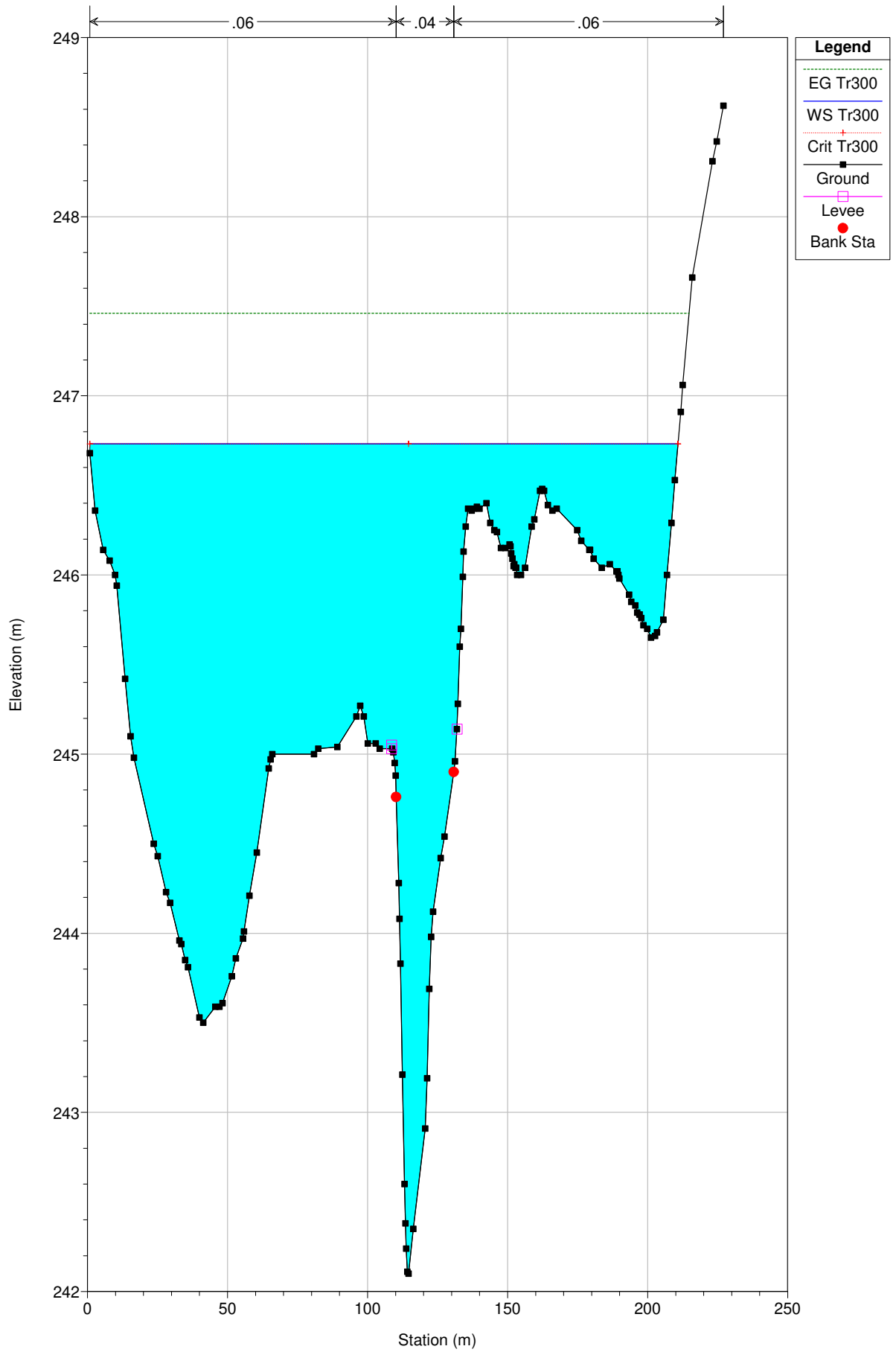
**Legend**

- EG Tr300
- Crit Tr300
- WS Tr300
- Ground
- Levee
- Bank Sta

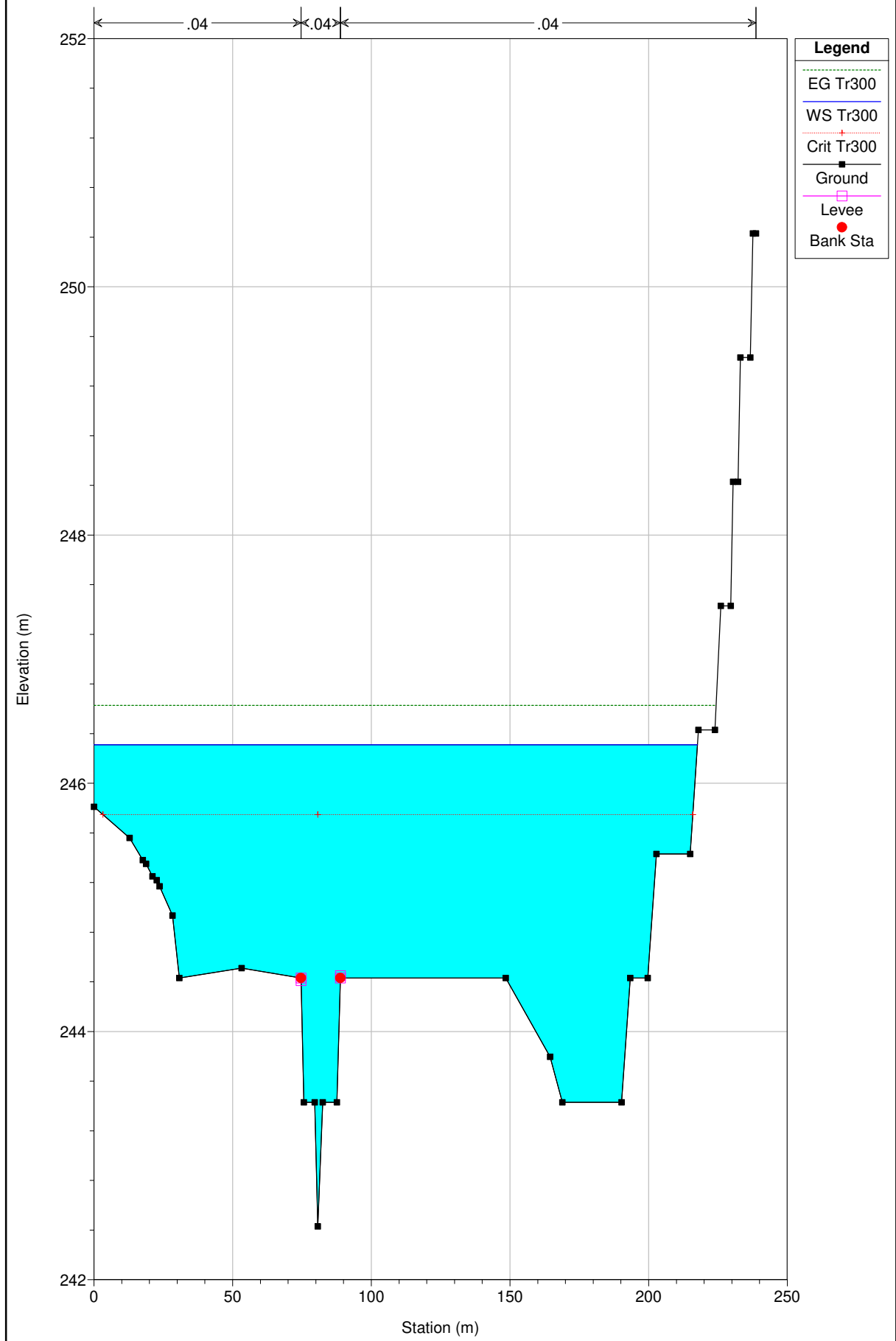
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1147



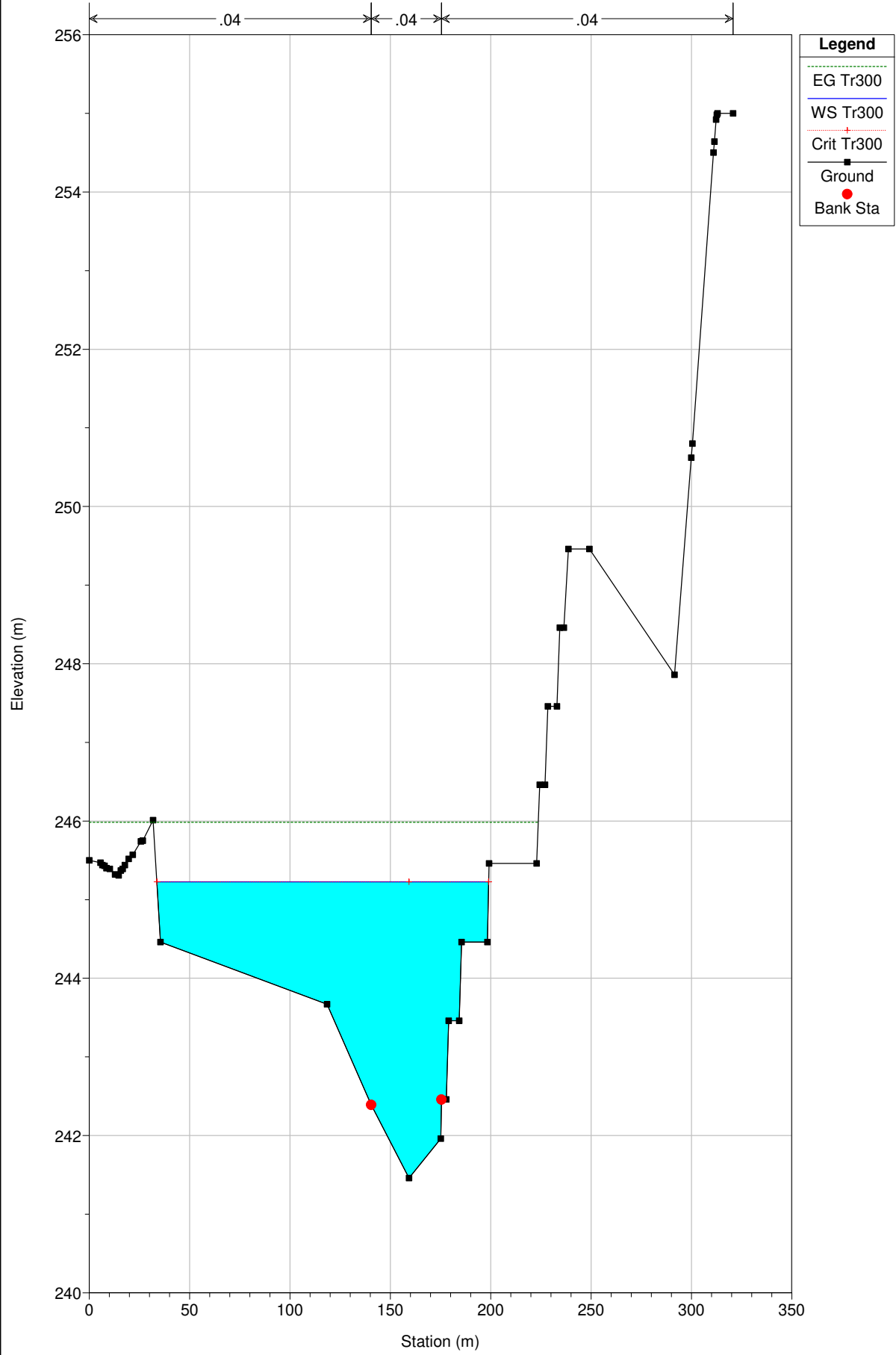
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1050



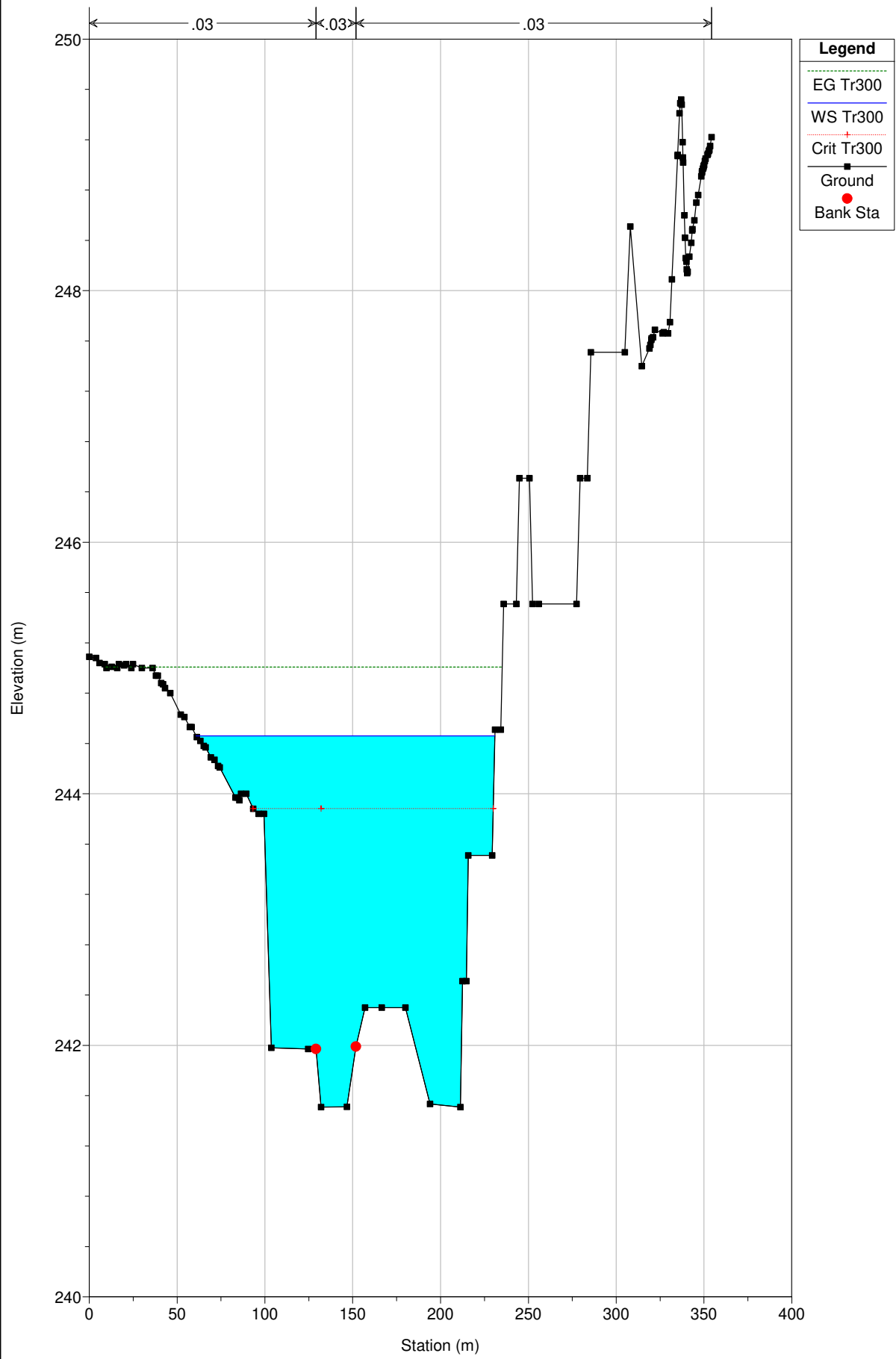
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 951



River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 834

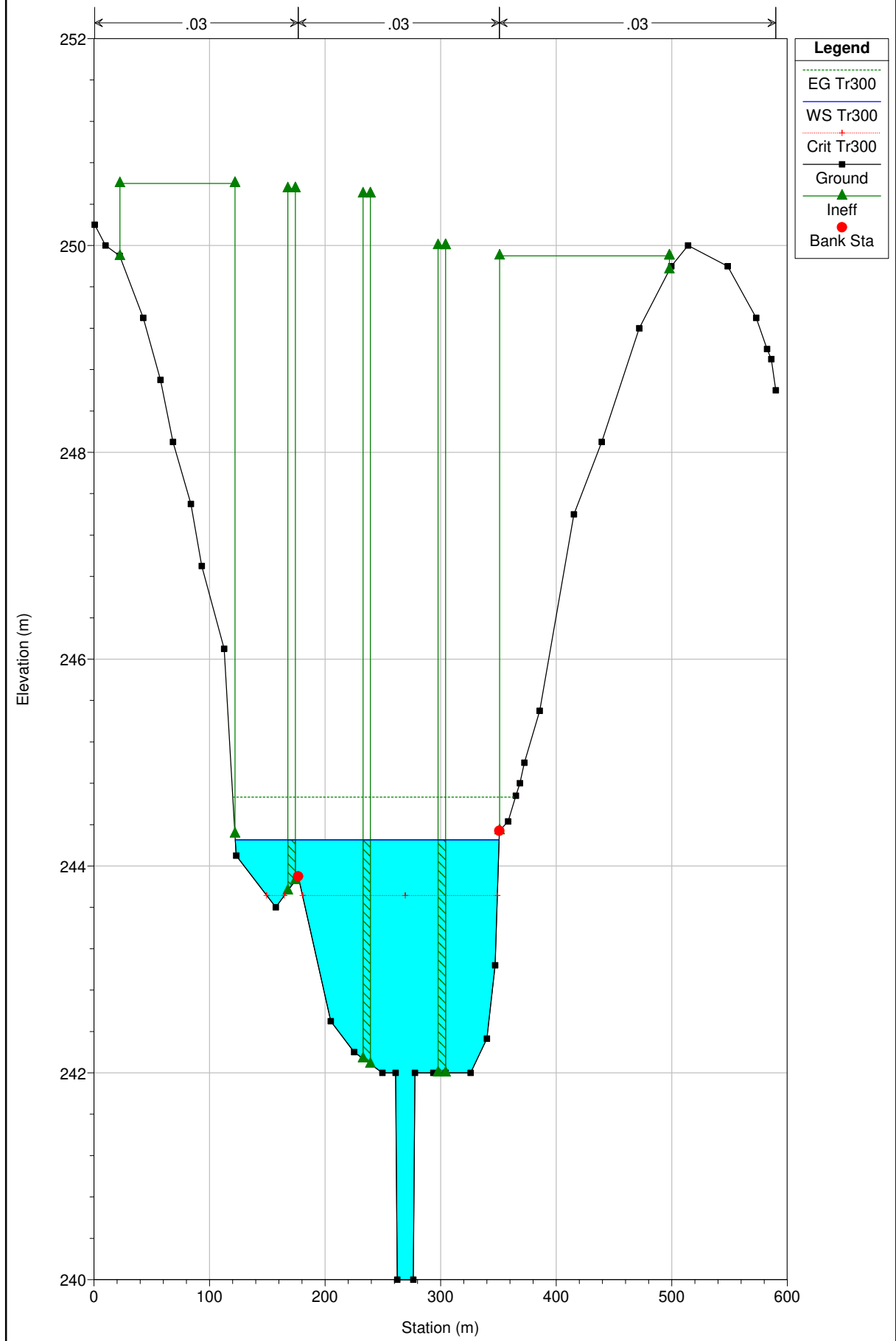


River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 738

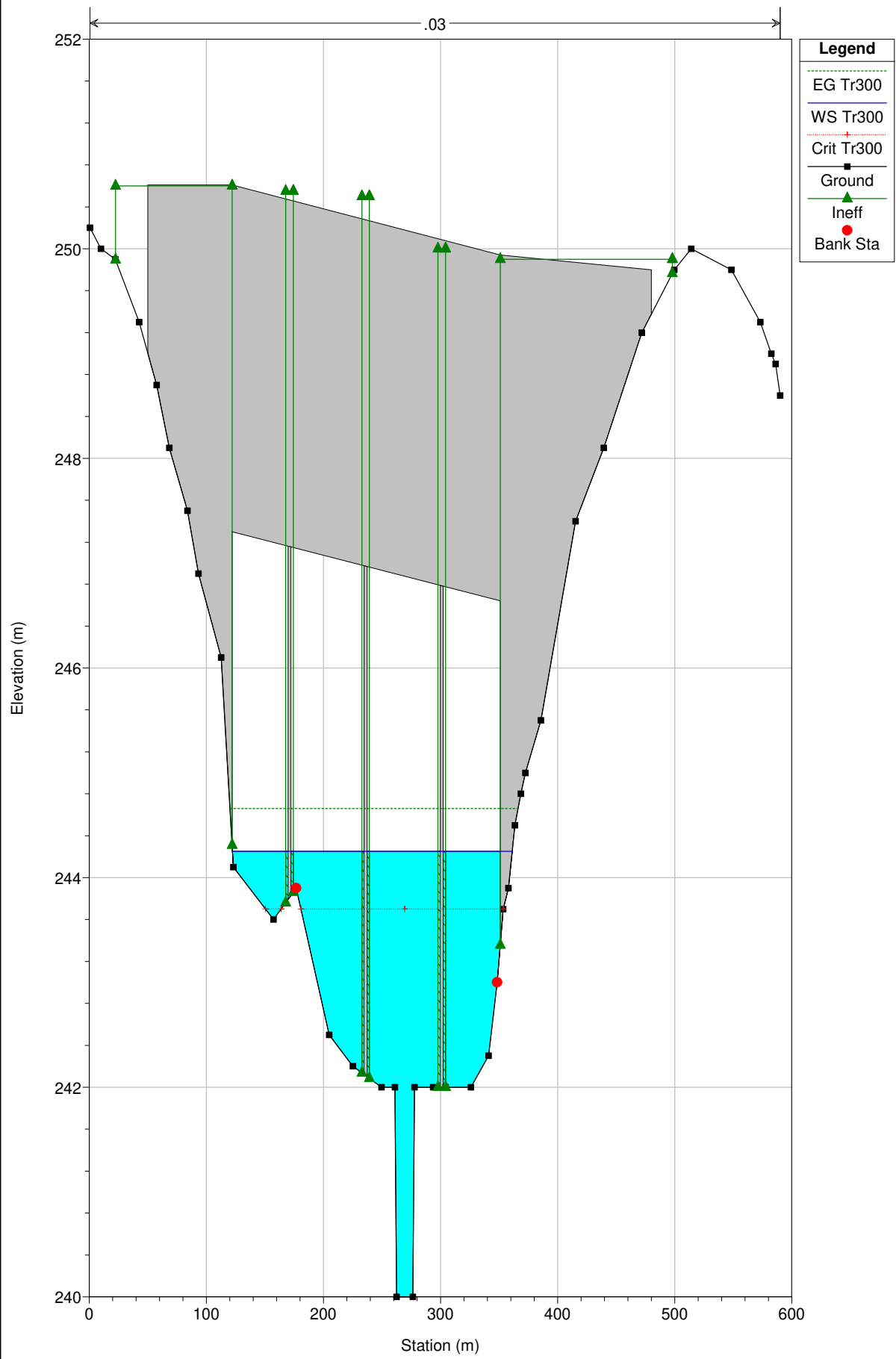




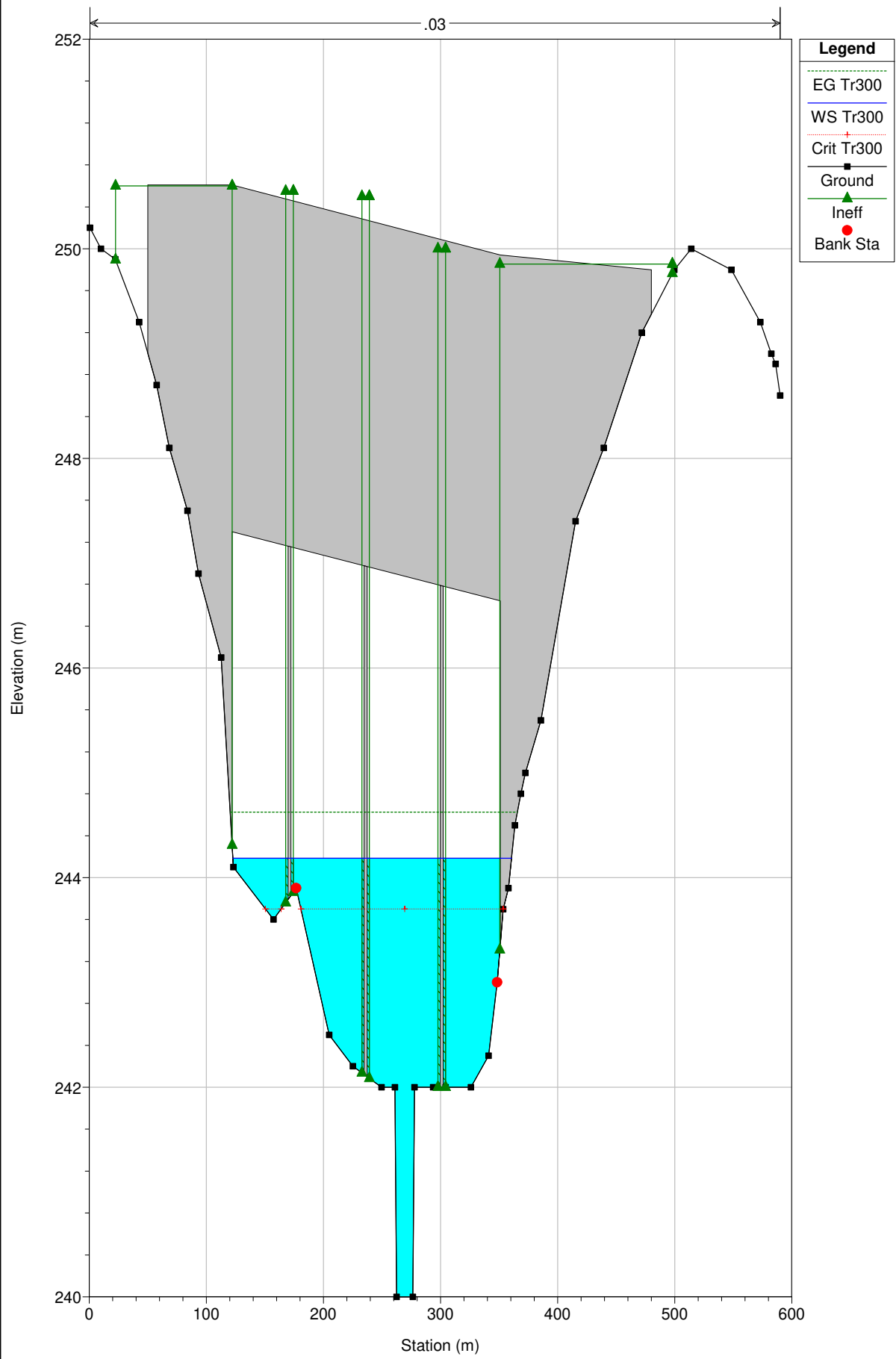
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 640



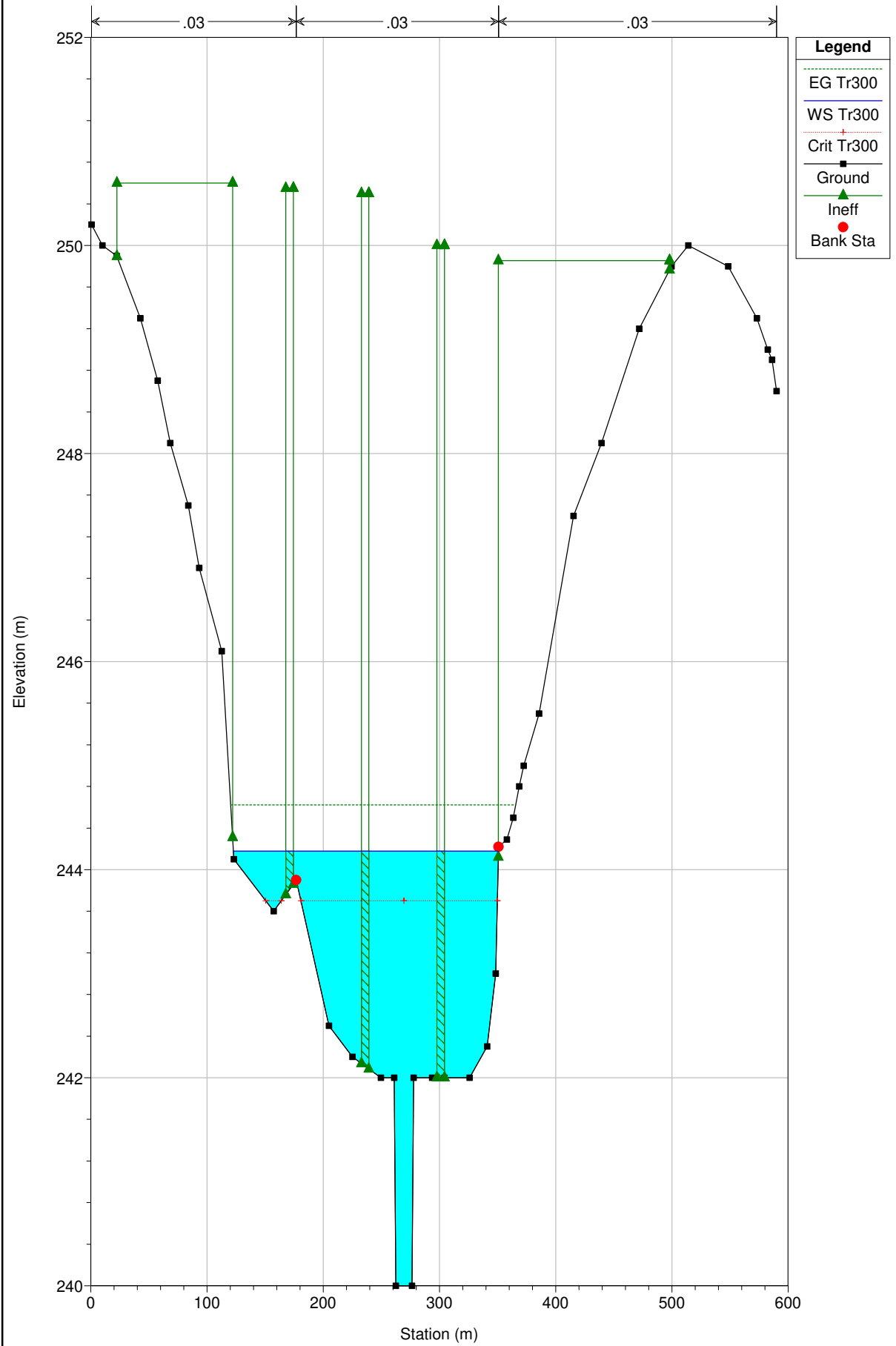
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 630 BR



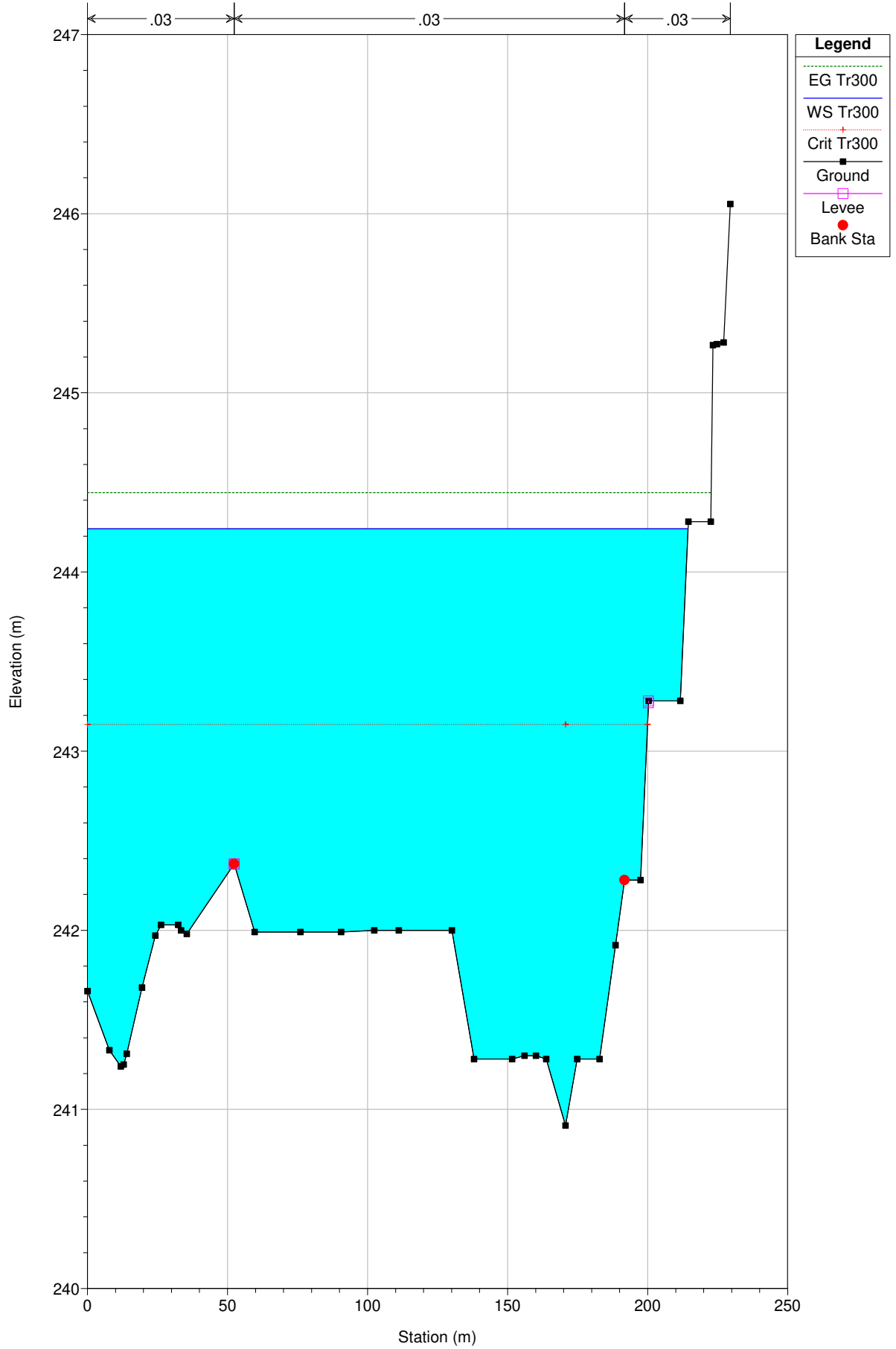
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 630 BR



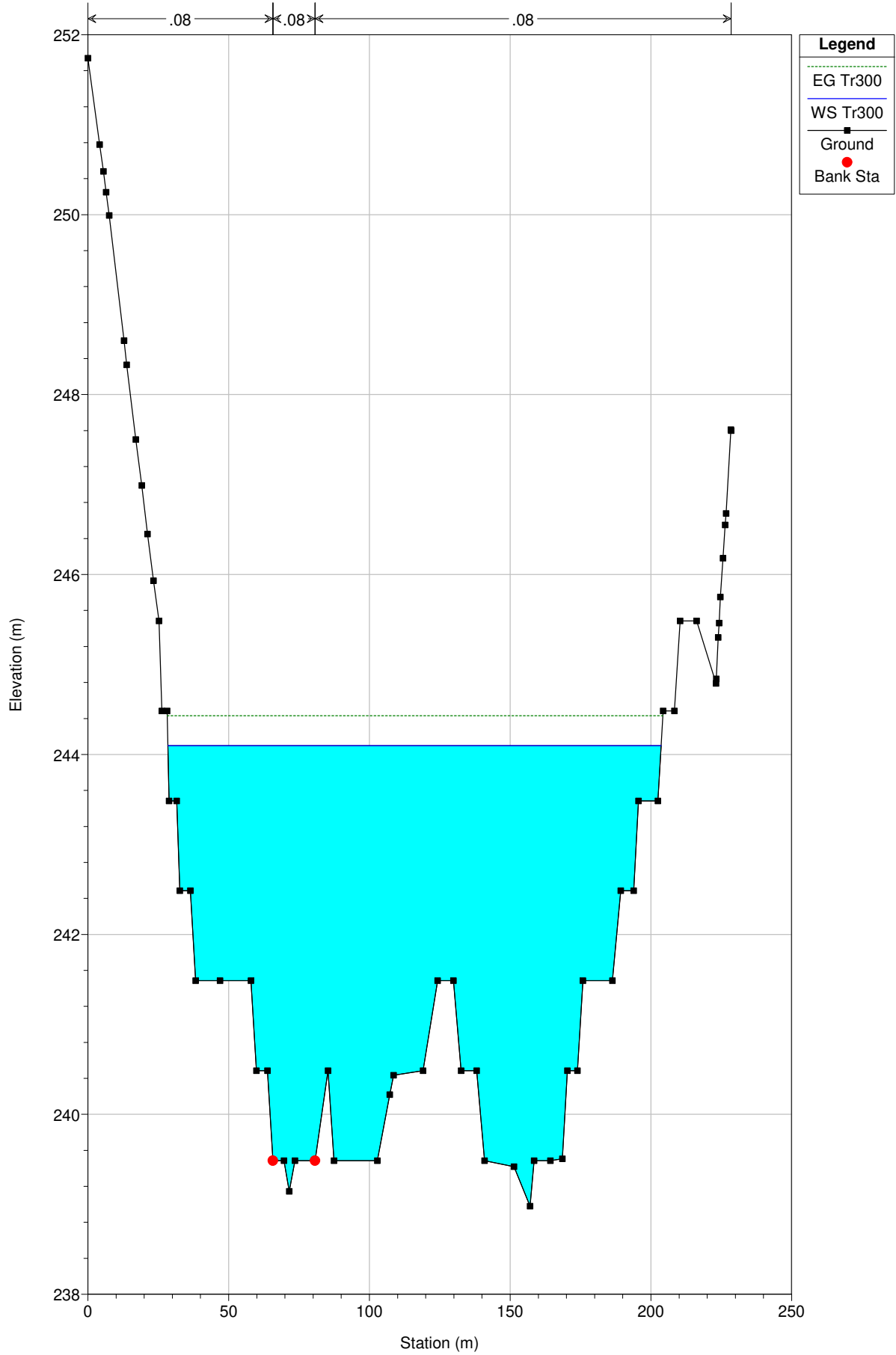
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 620



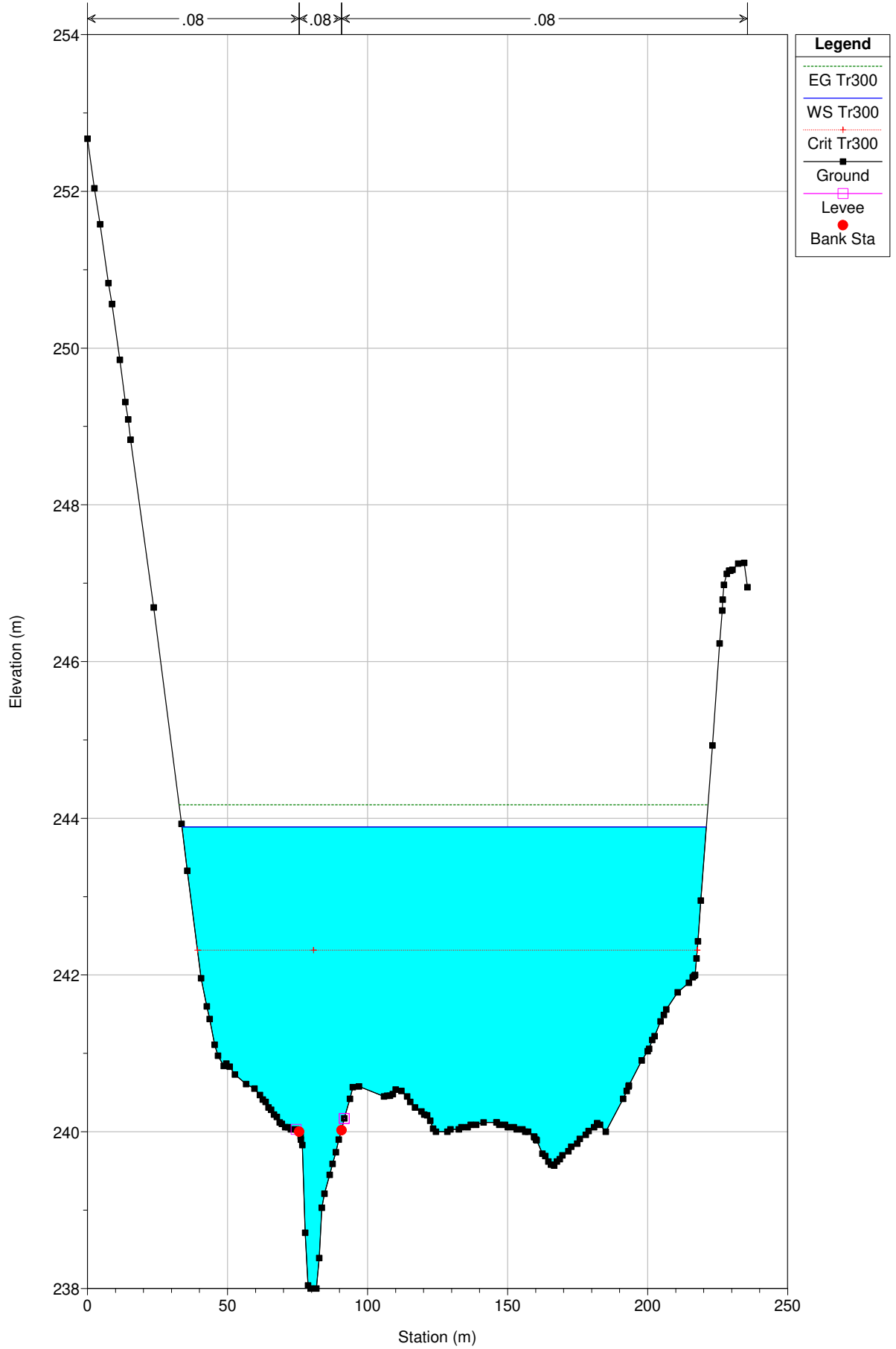
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 558



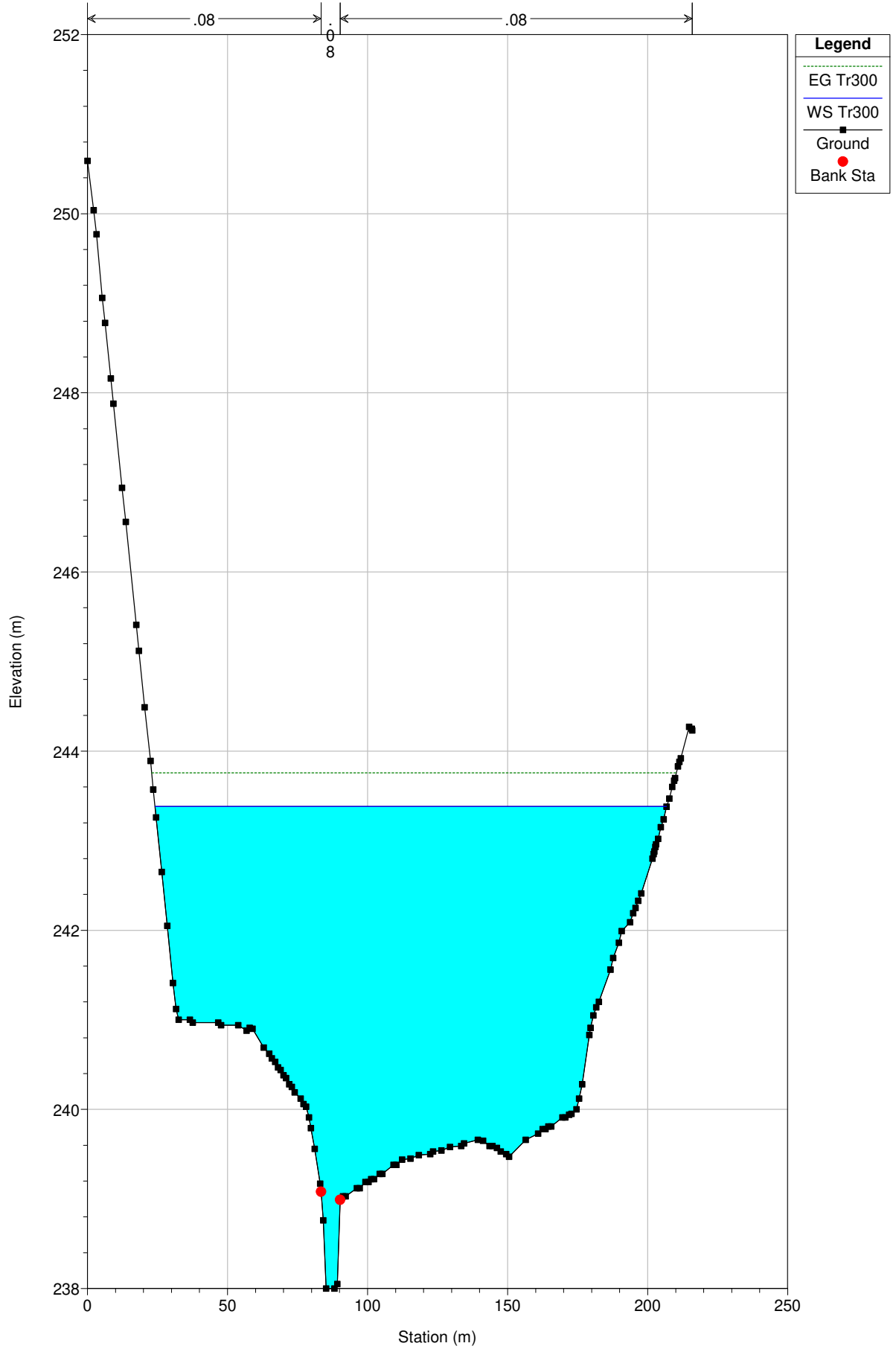
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 307



River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 158

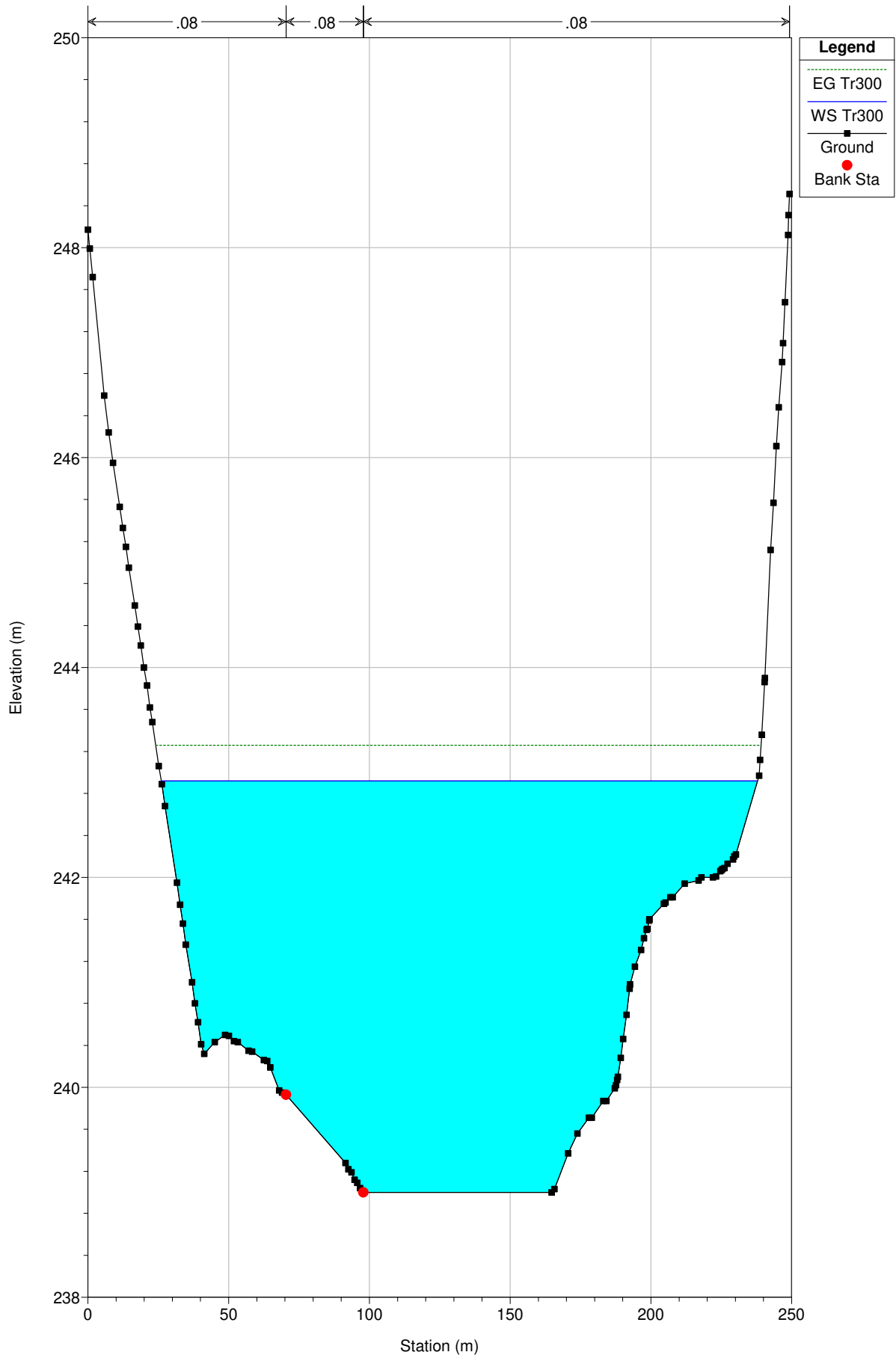


River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 141

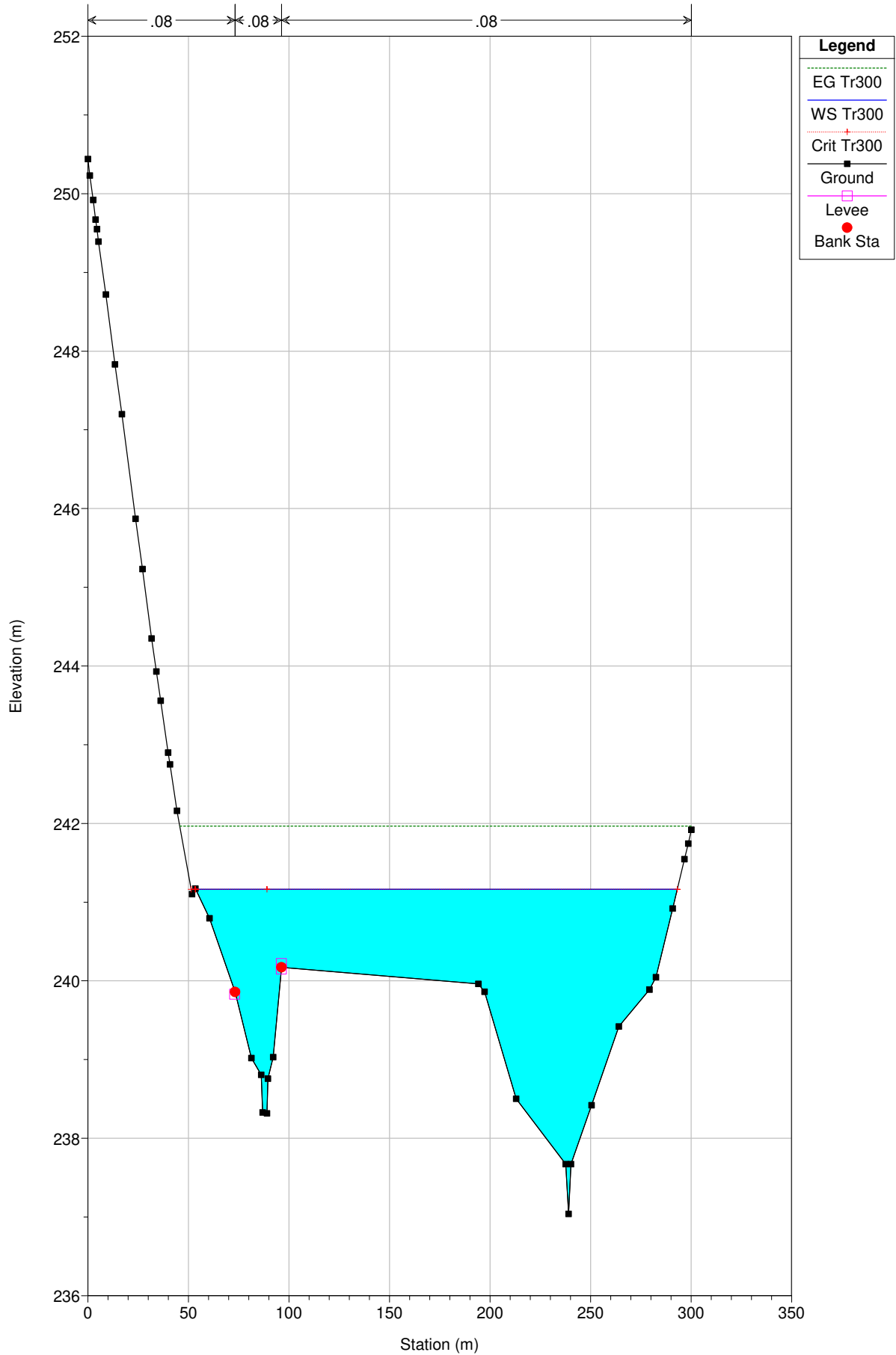




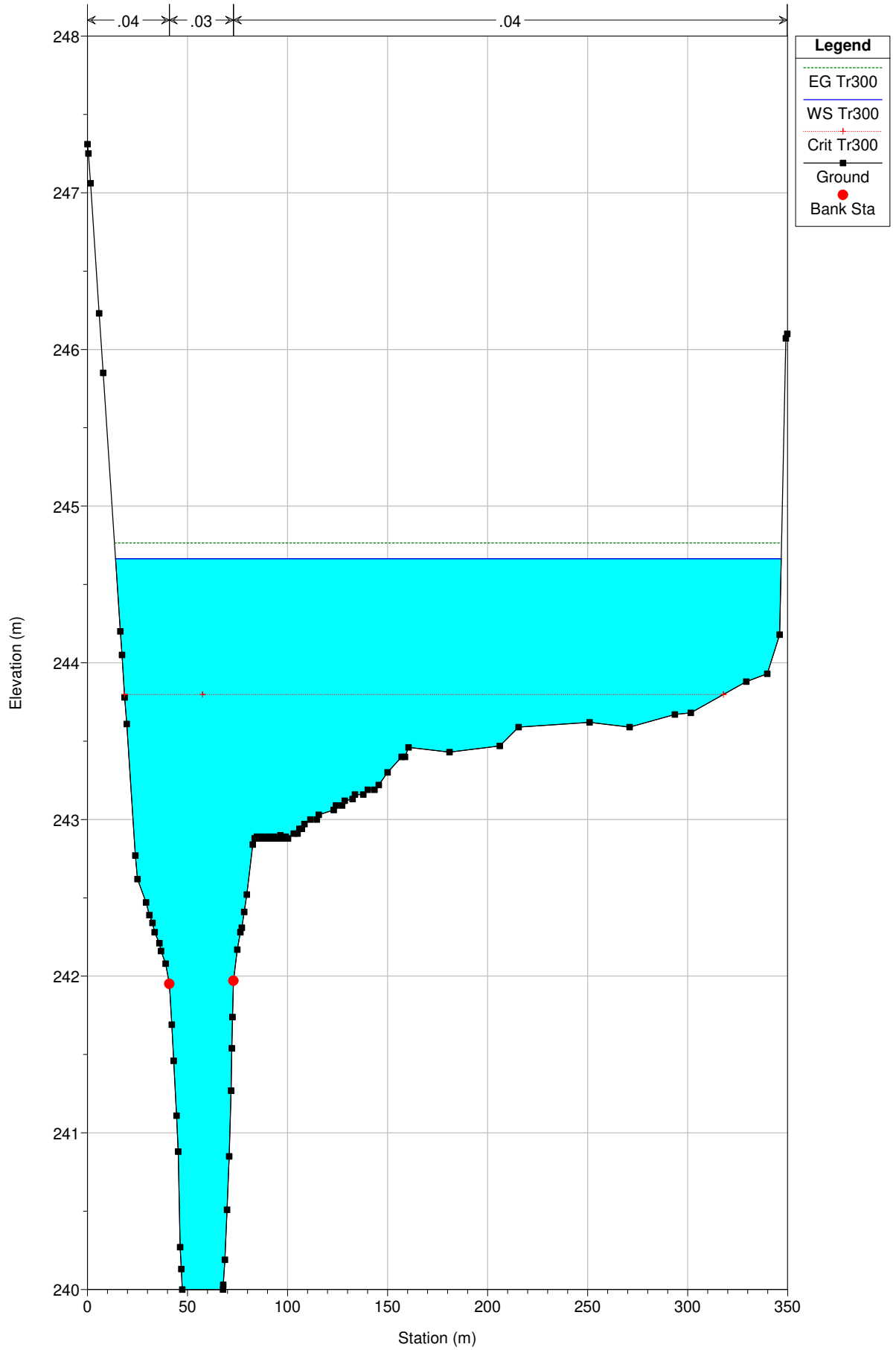
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 85



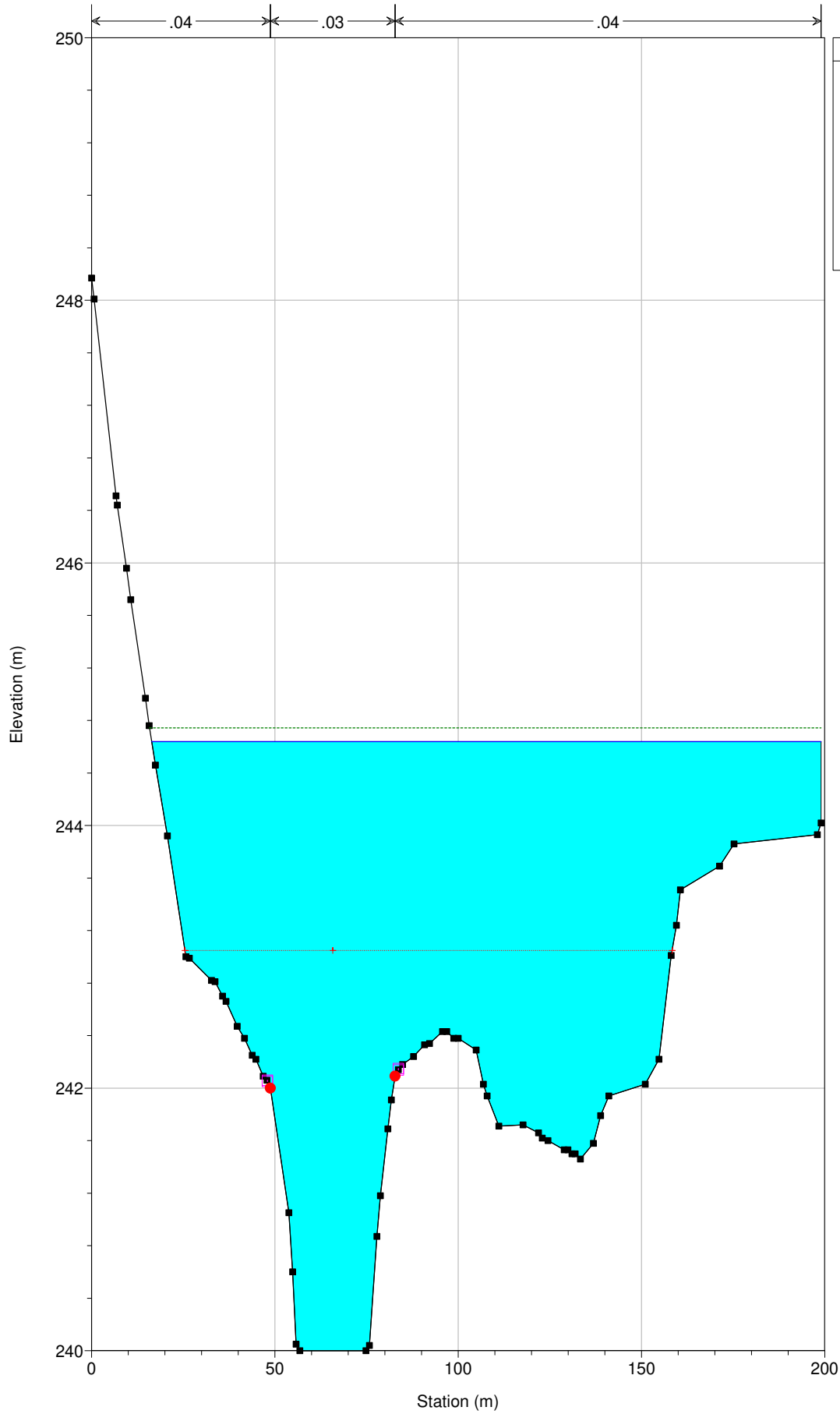
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 69



River = Azzirolo Reach = 1 RS = 193



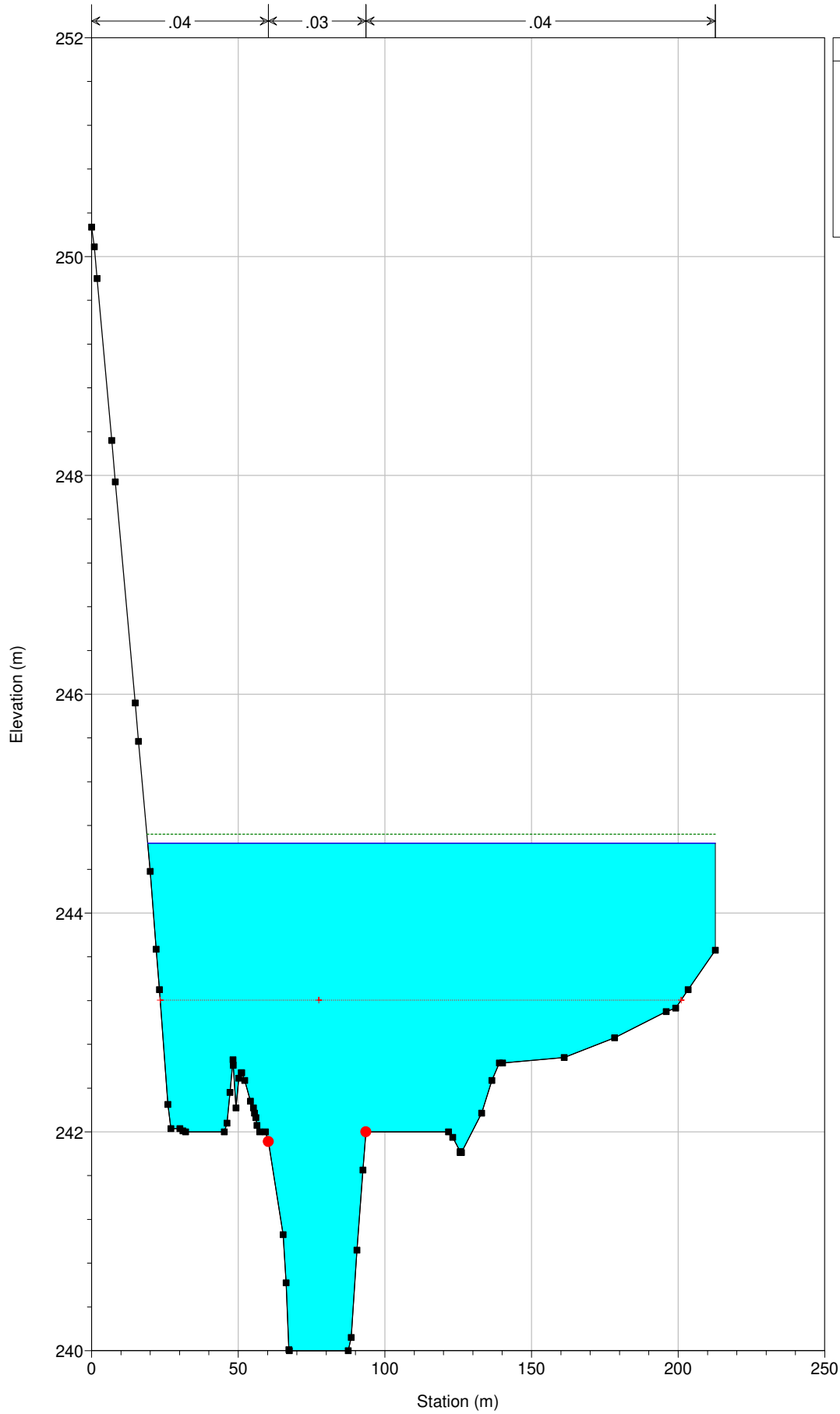
River = Azzirolo Reach = 1 RS = 147



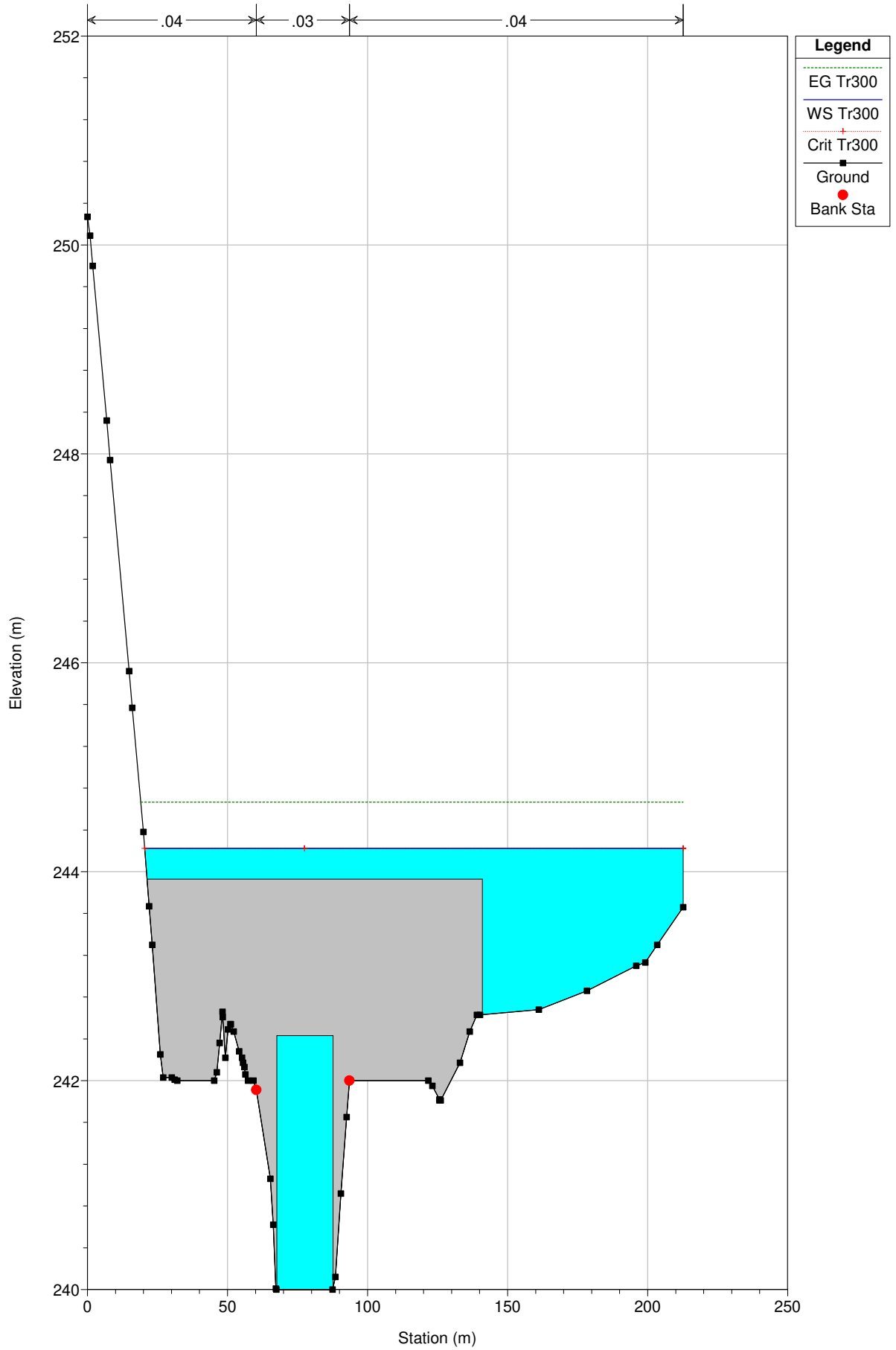
**Legend**

- EG Tr300
- WS Tr300
- Crit Tr300
- Ground
- Levee
- Bank Sta

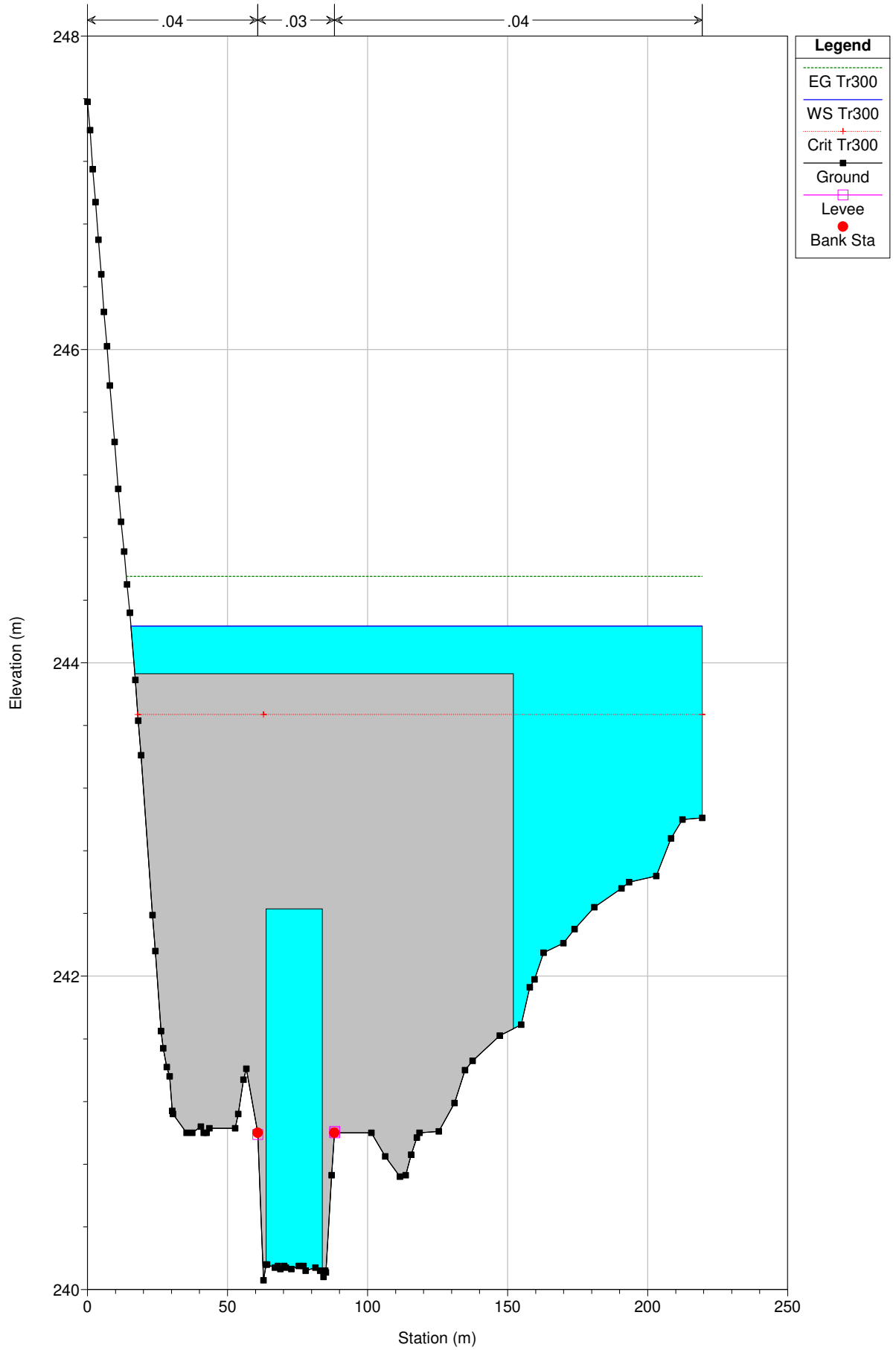
River = Azzirolo Reach = 1 RS = 109



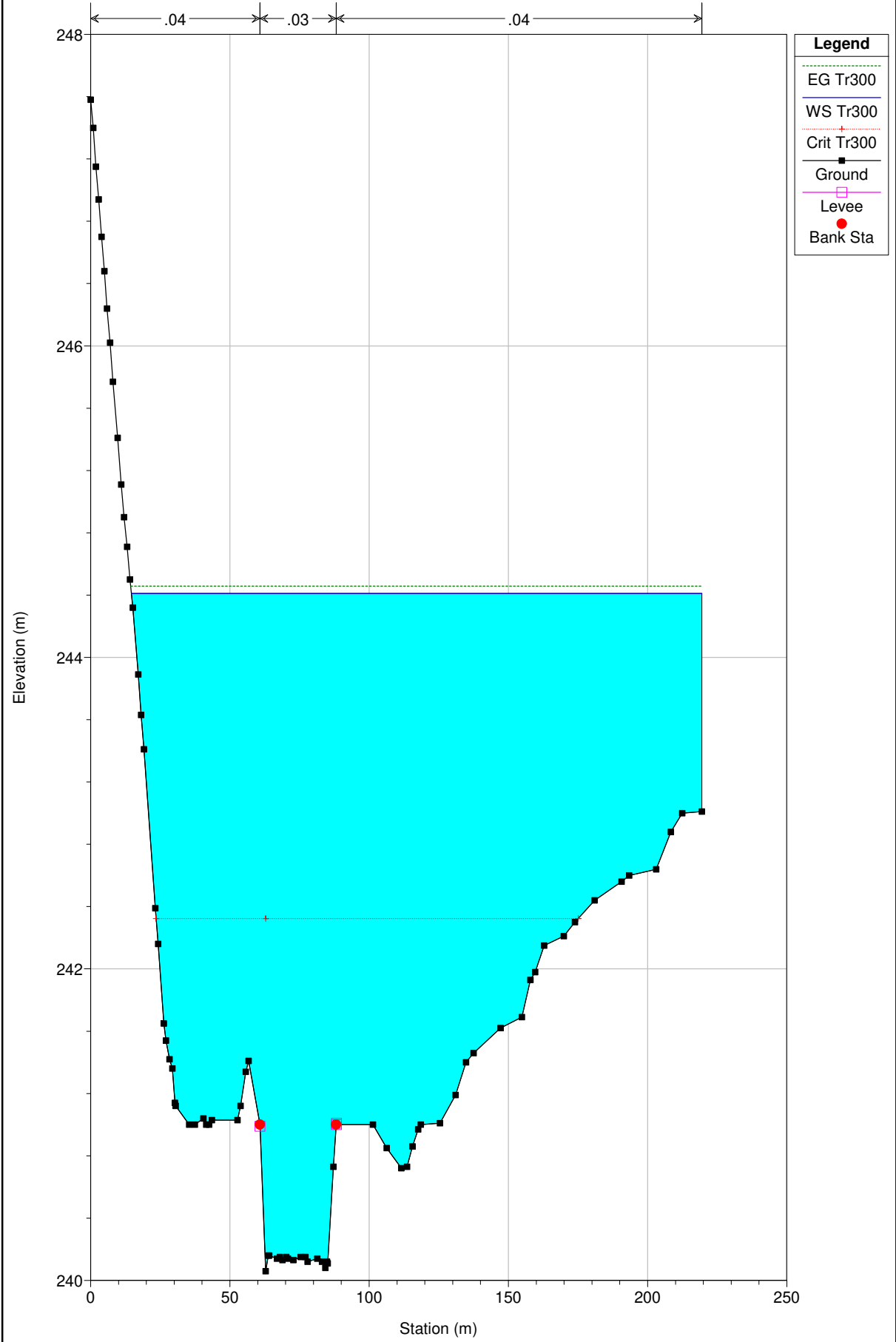
River = Azzirolo Reach = 1 RS = 85 BR



River = Azzirolo Reach = 1 RS = 85 BR

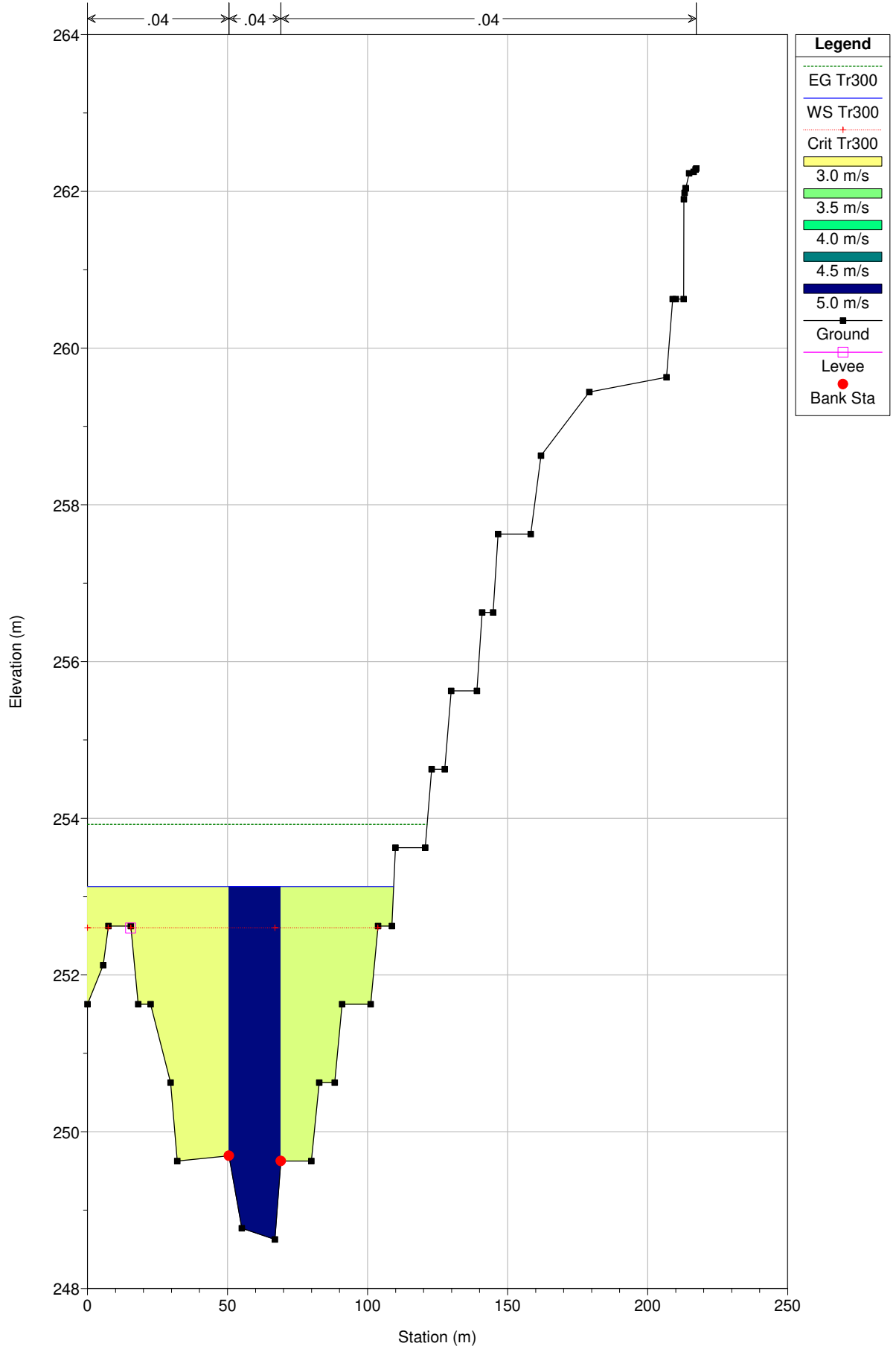


River = Azzirolo Reach = 1 RS = 70

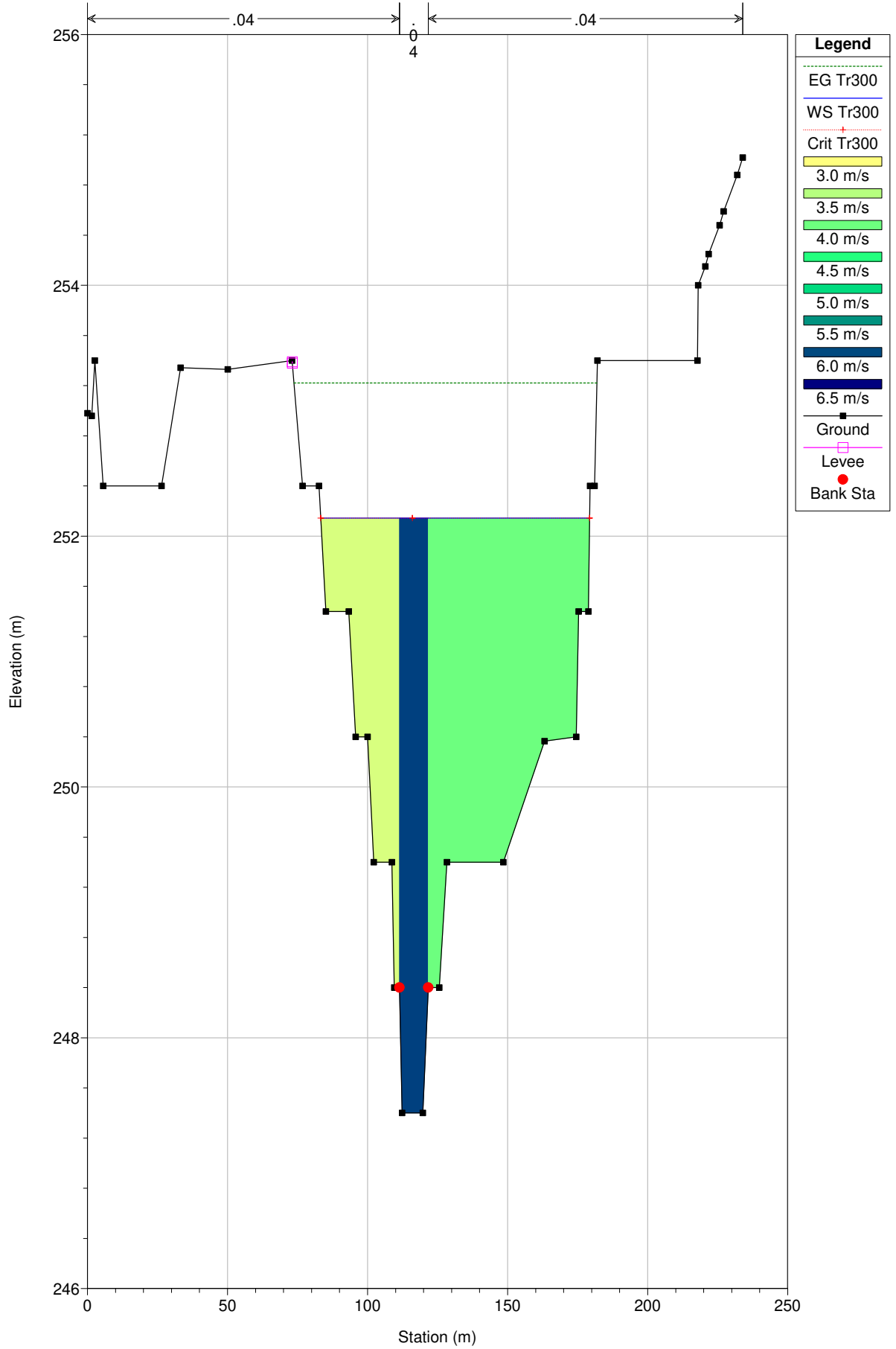




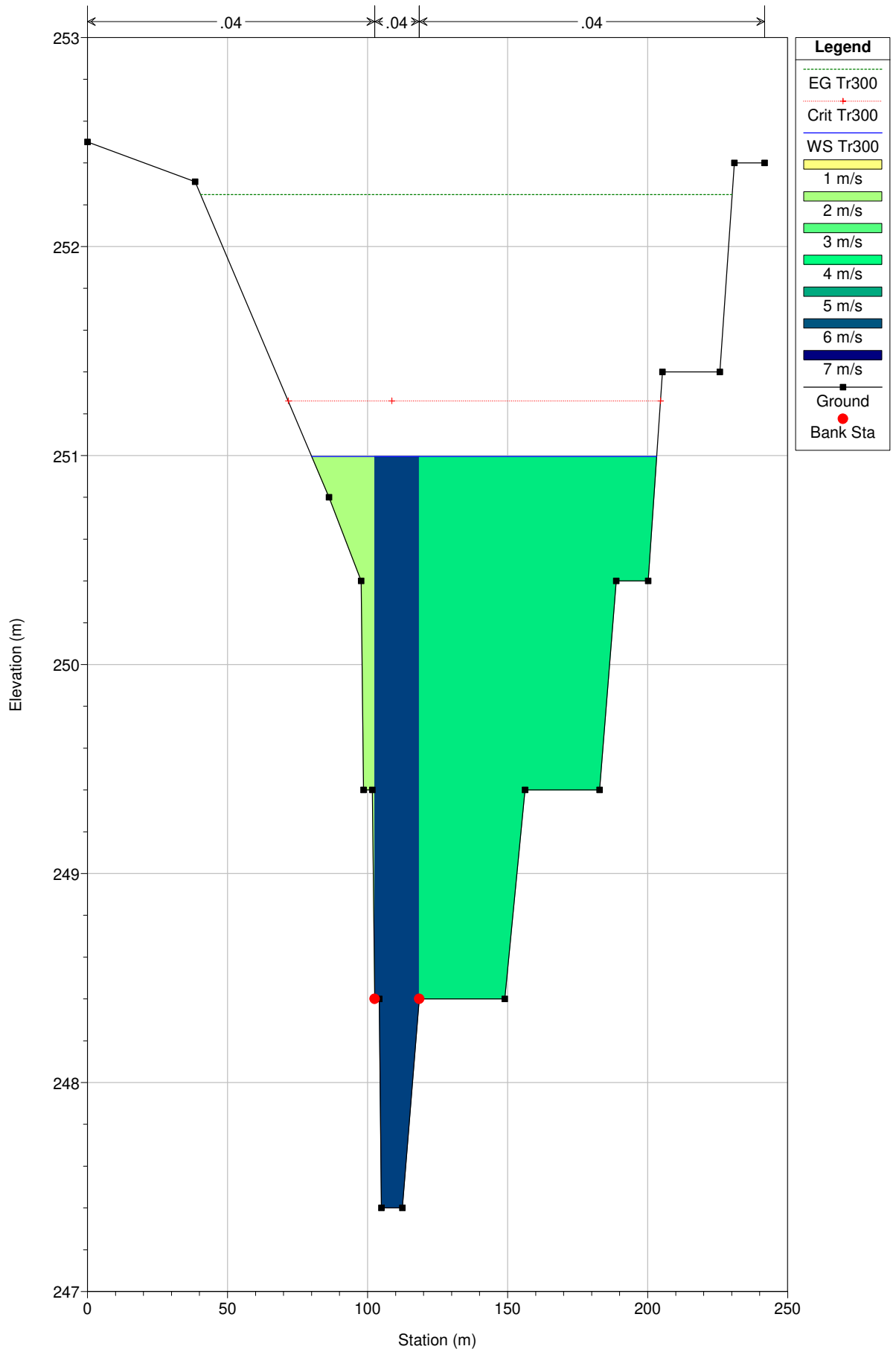
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1632



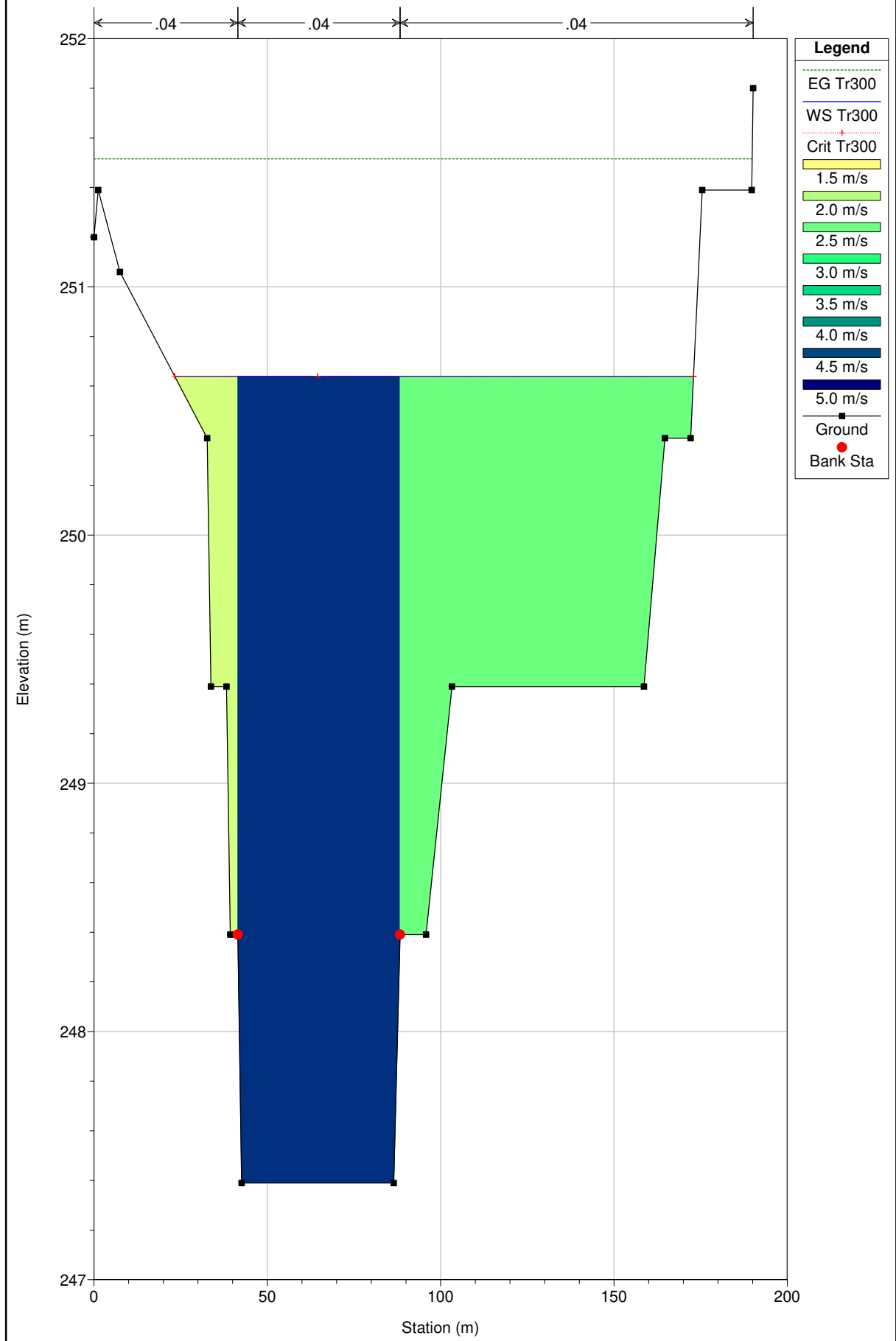
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1535



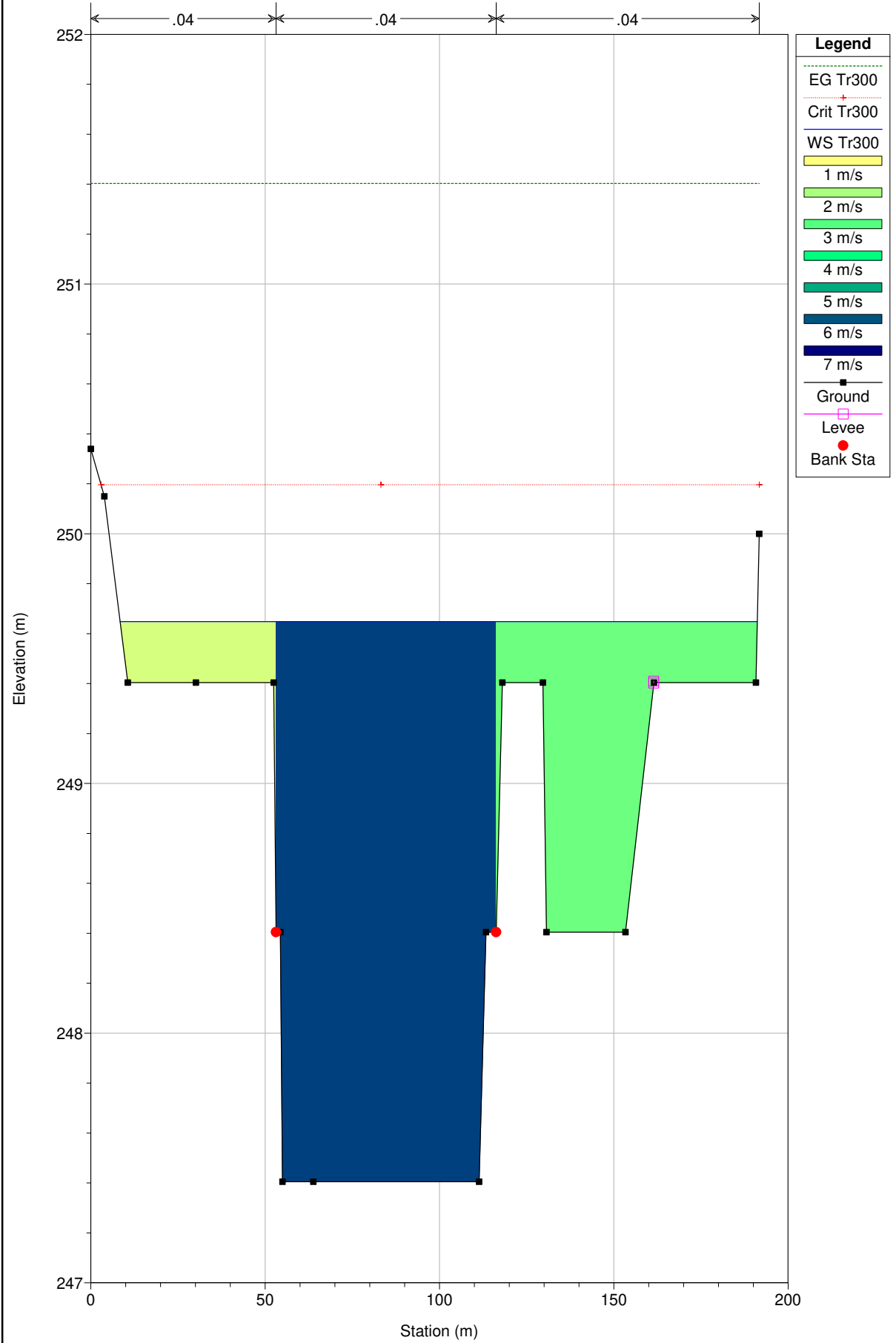
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1445



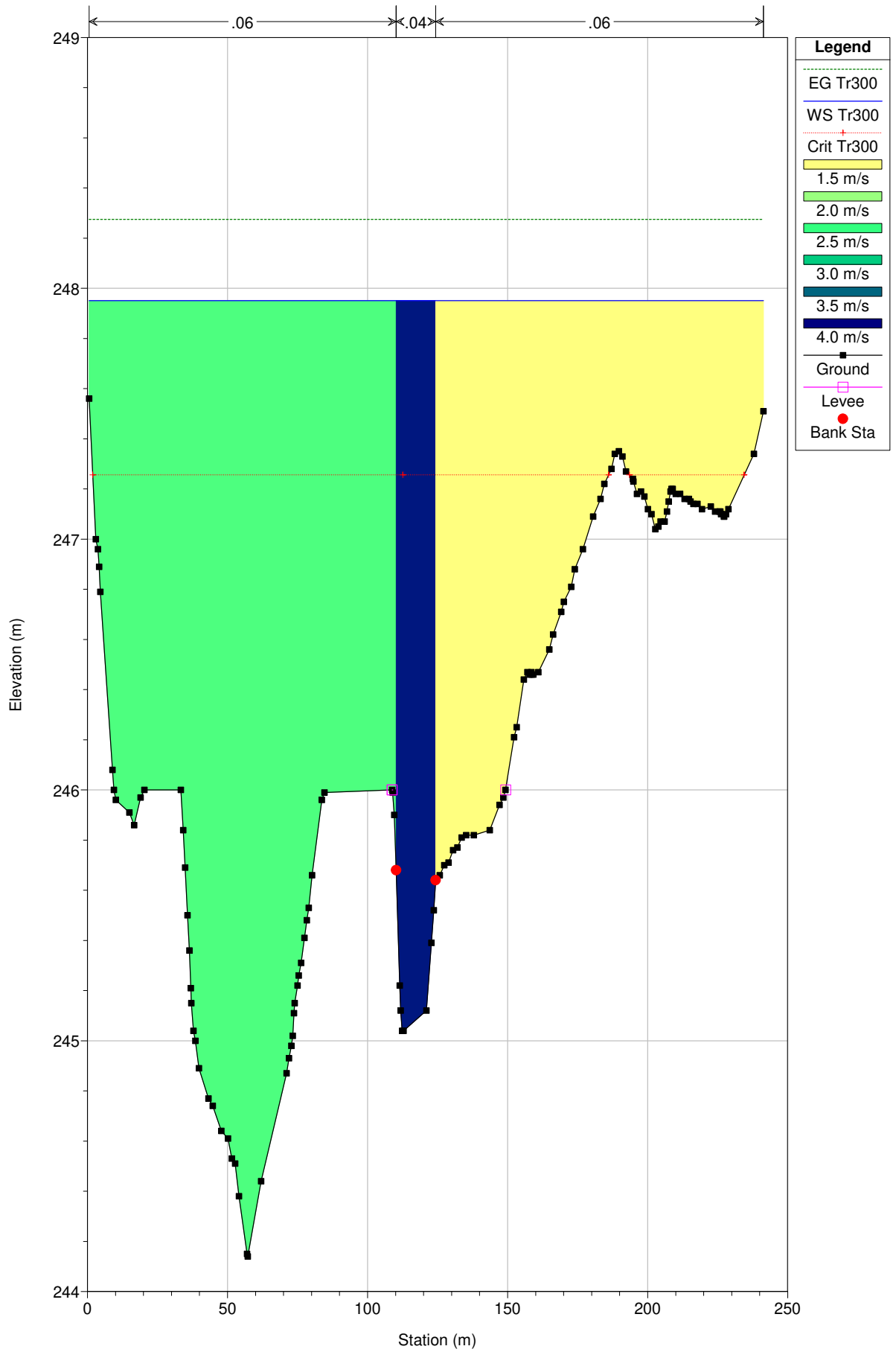
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1356



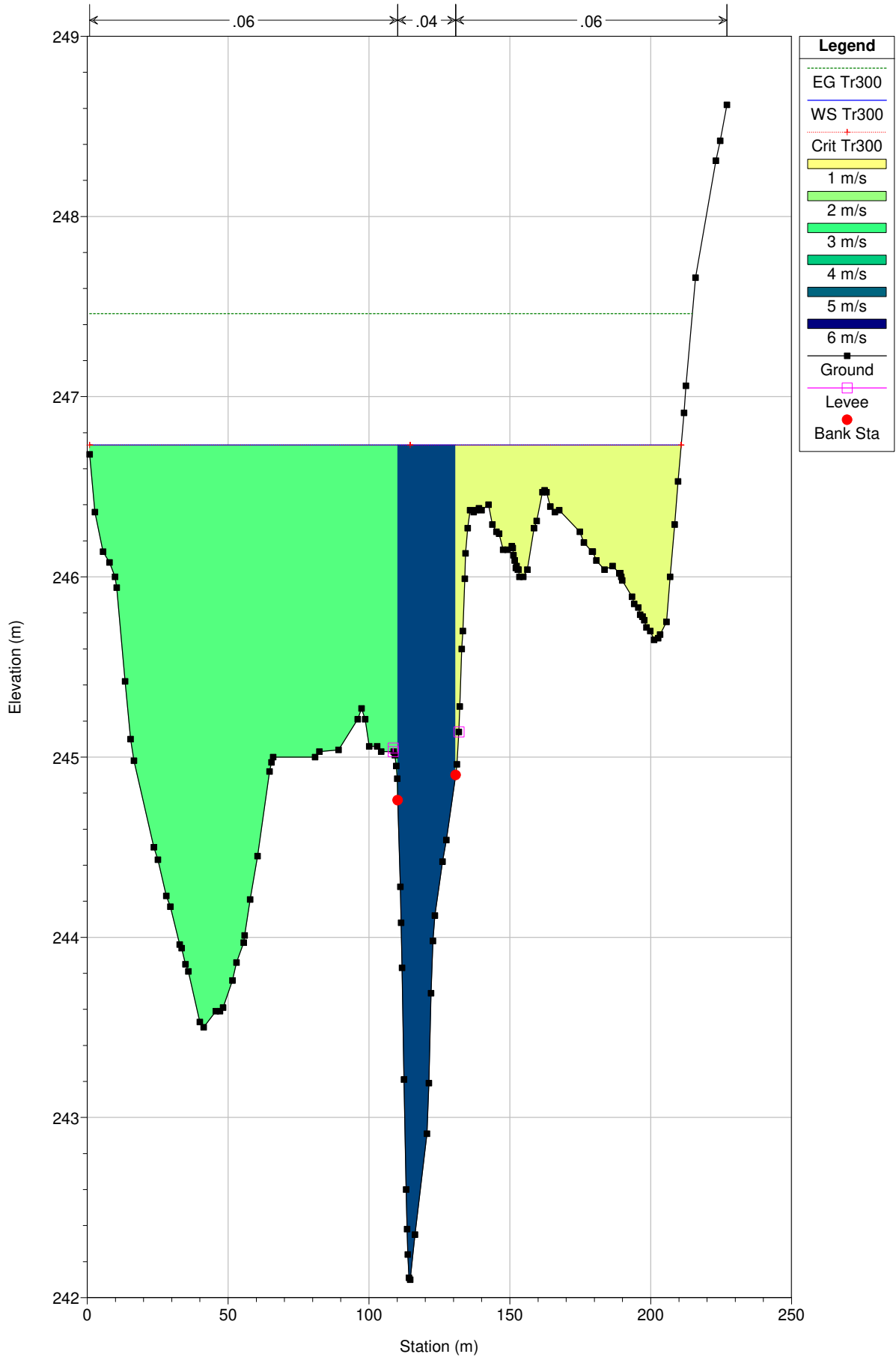
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1264



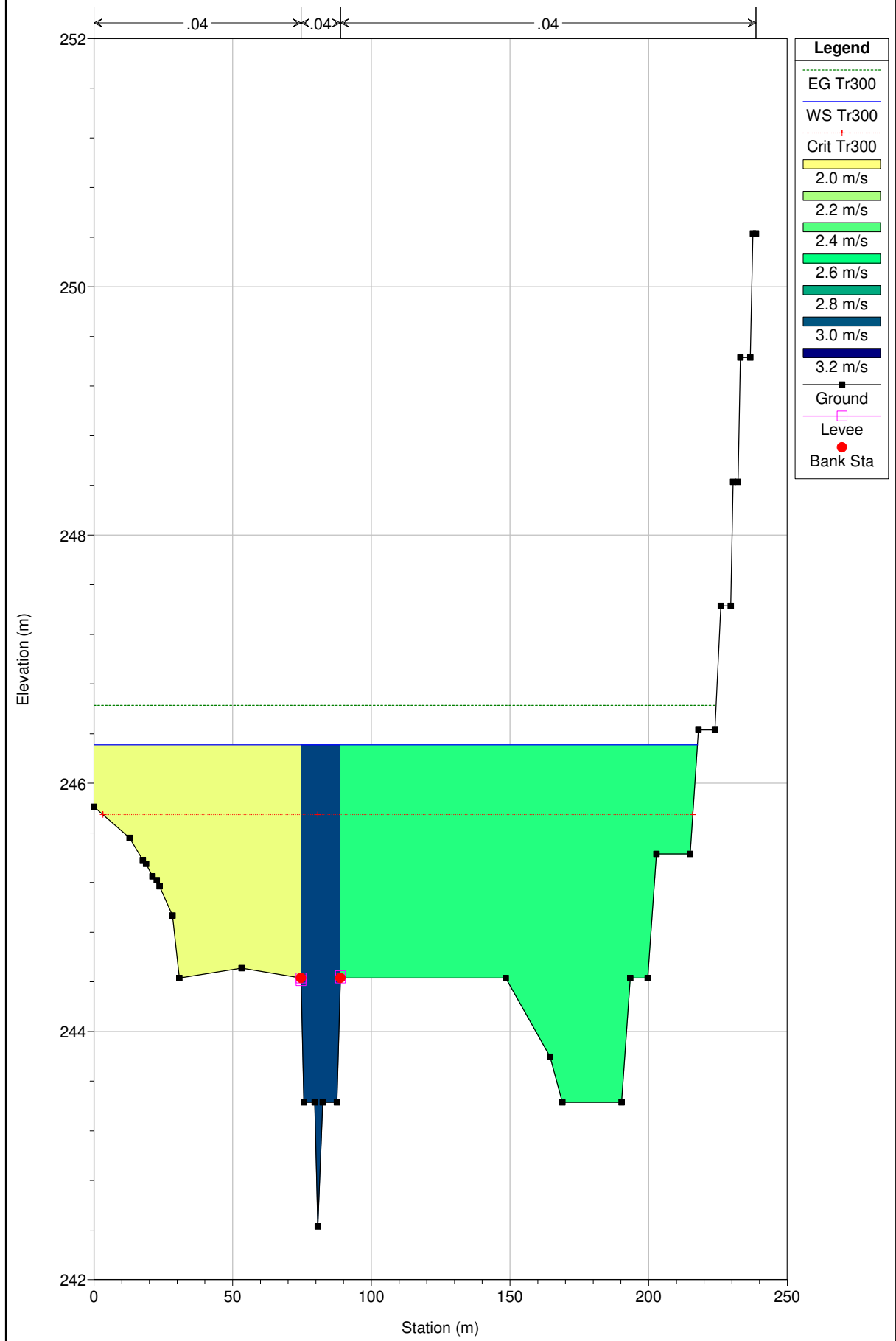
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1147



River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 1050

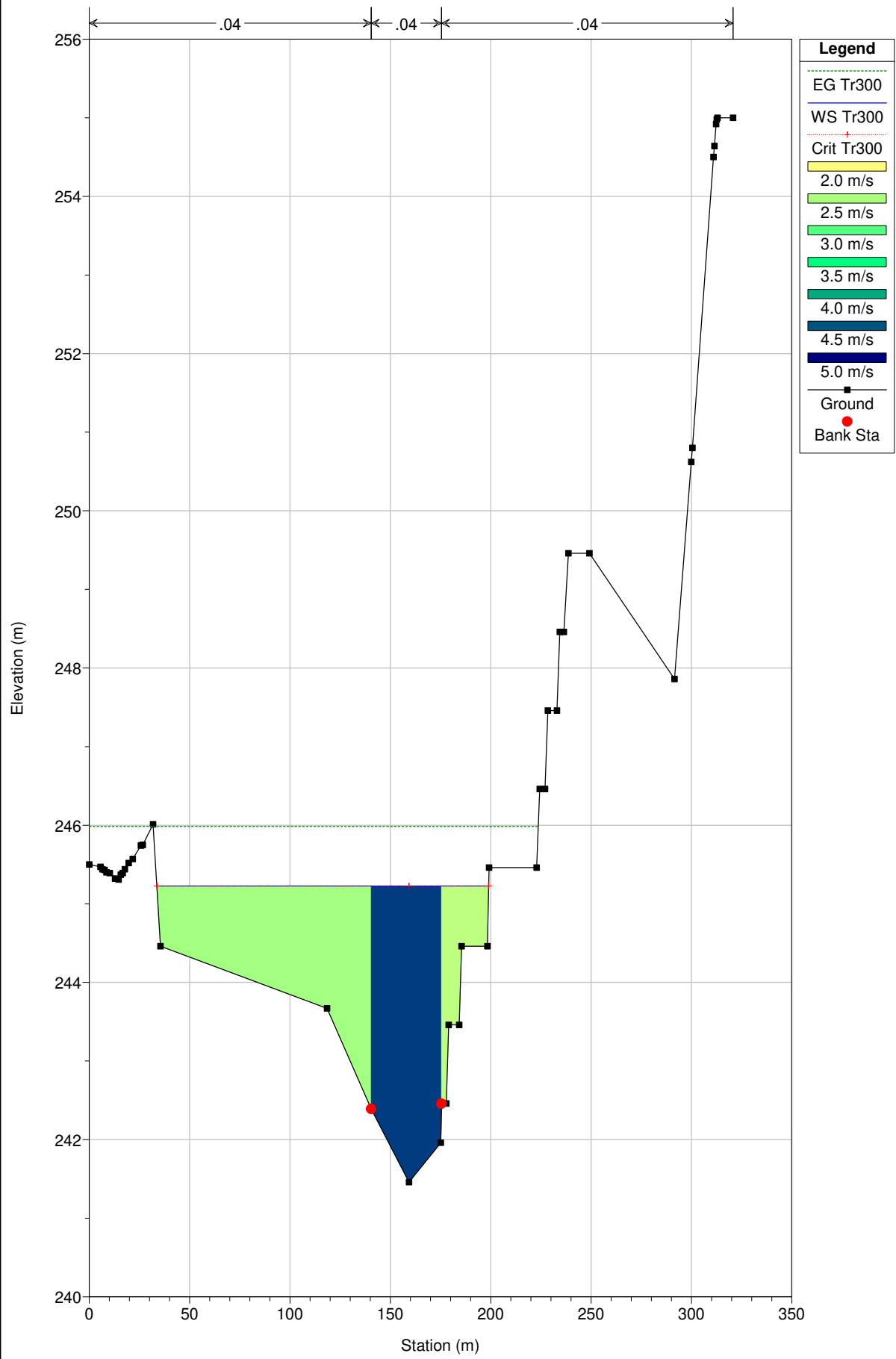


River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 951

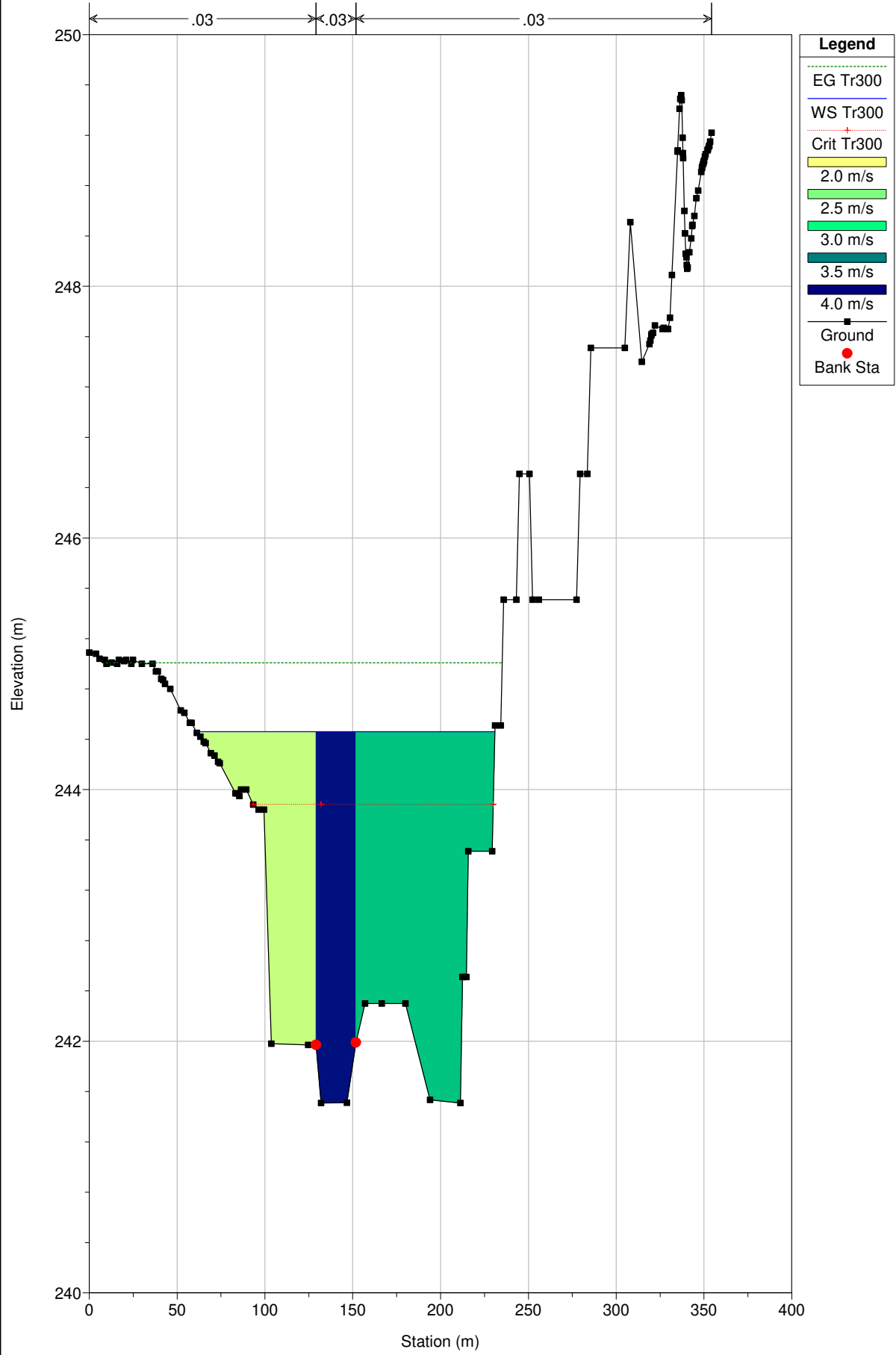




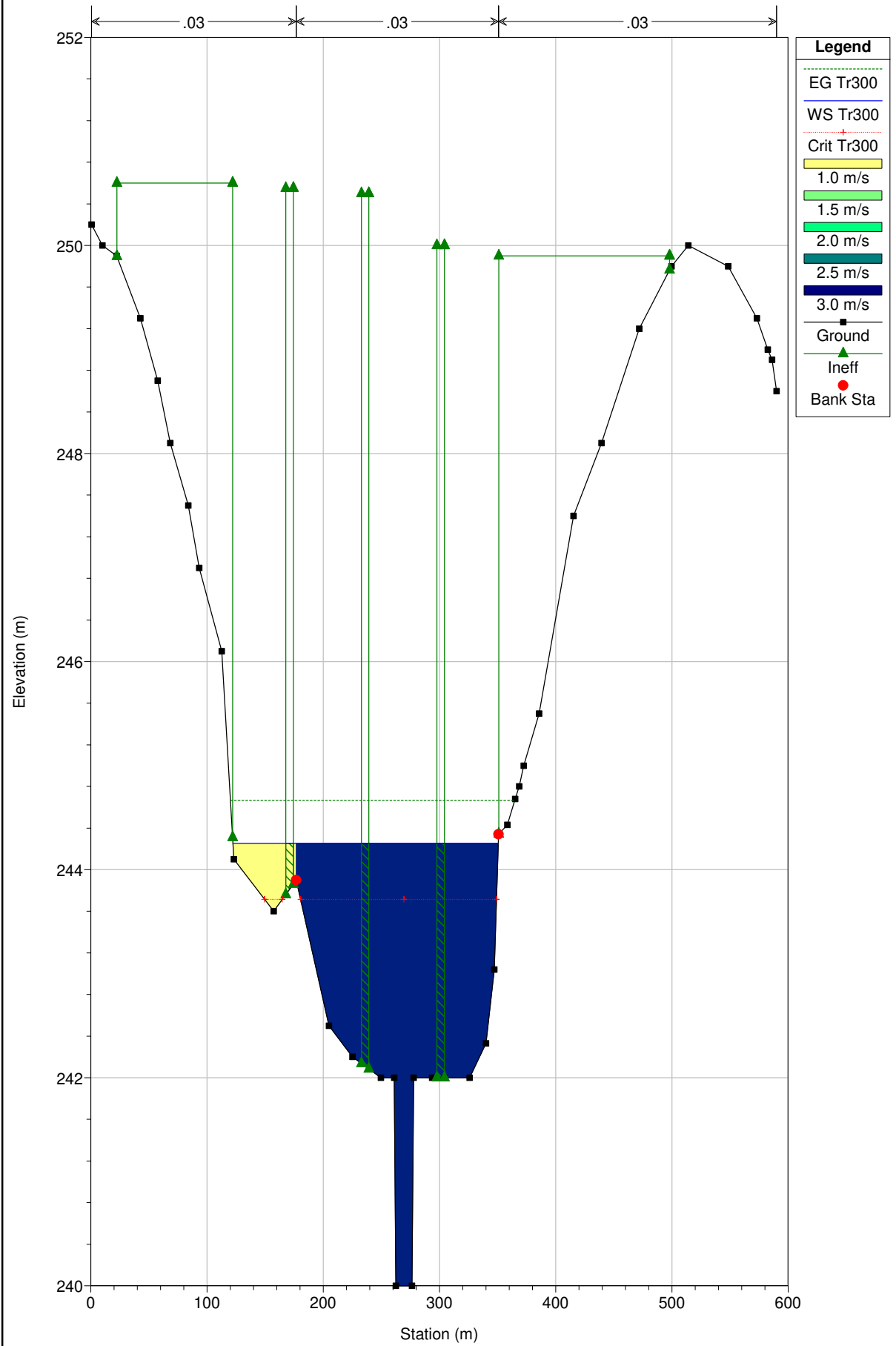
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 834



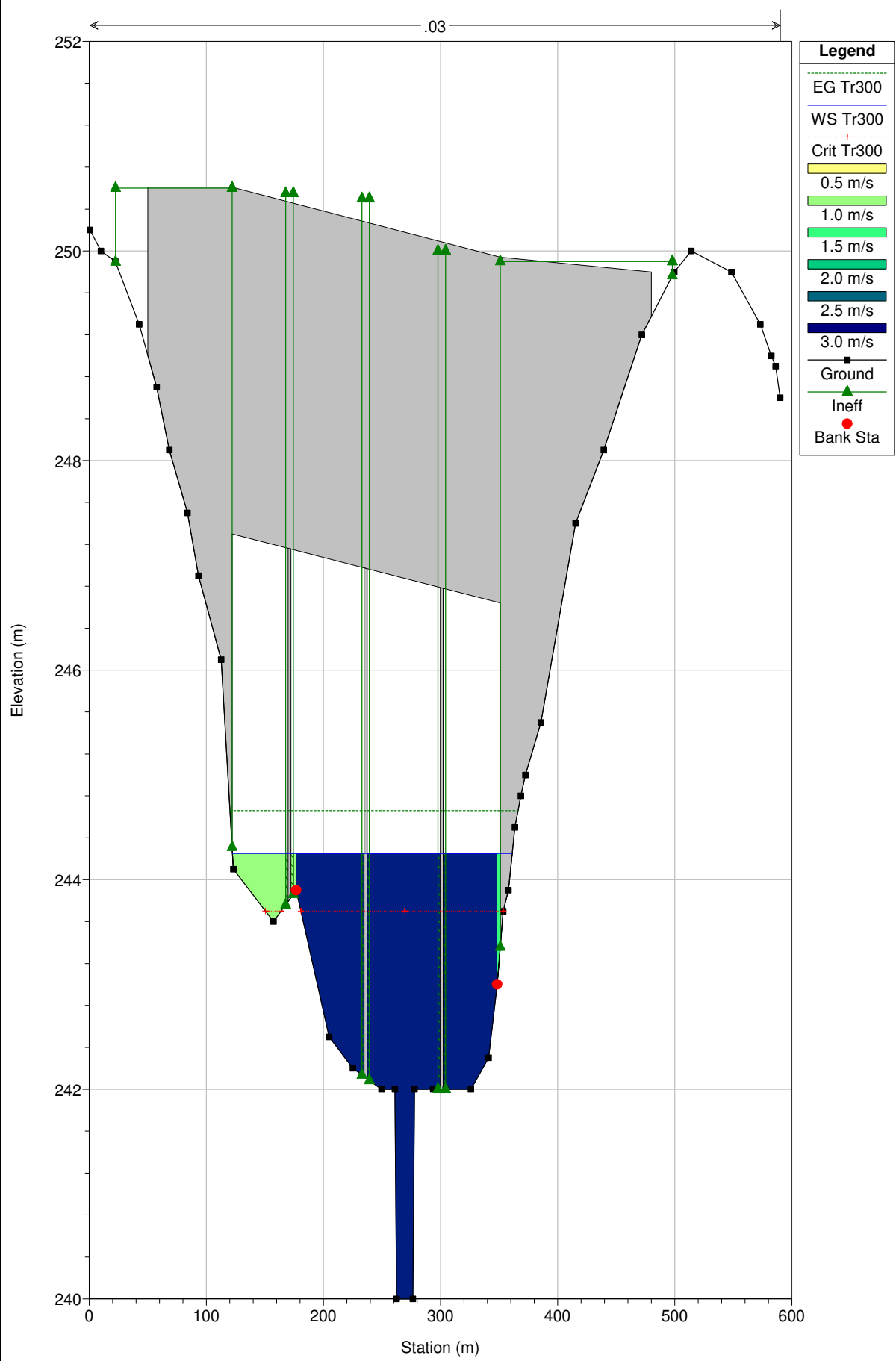
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 738



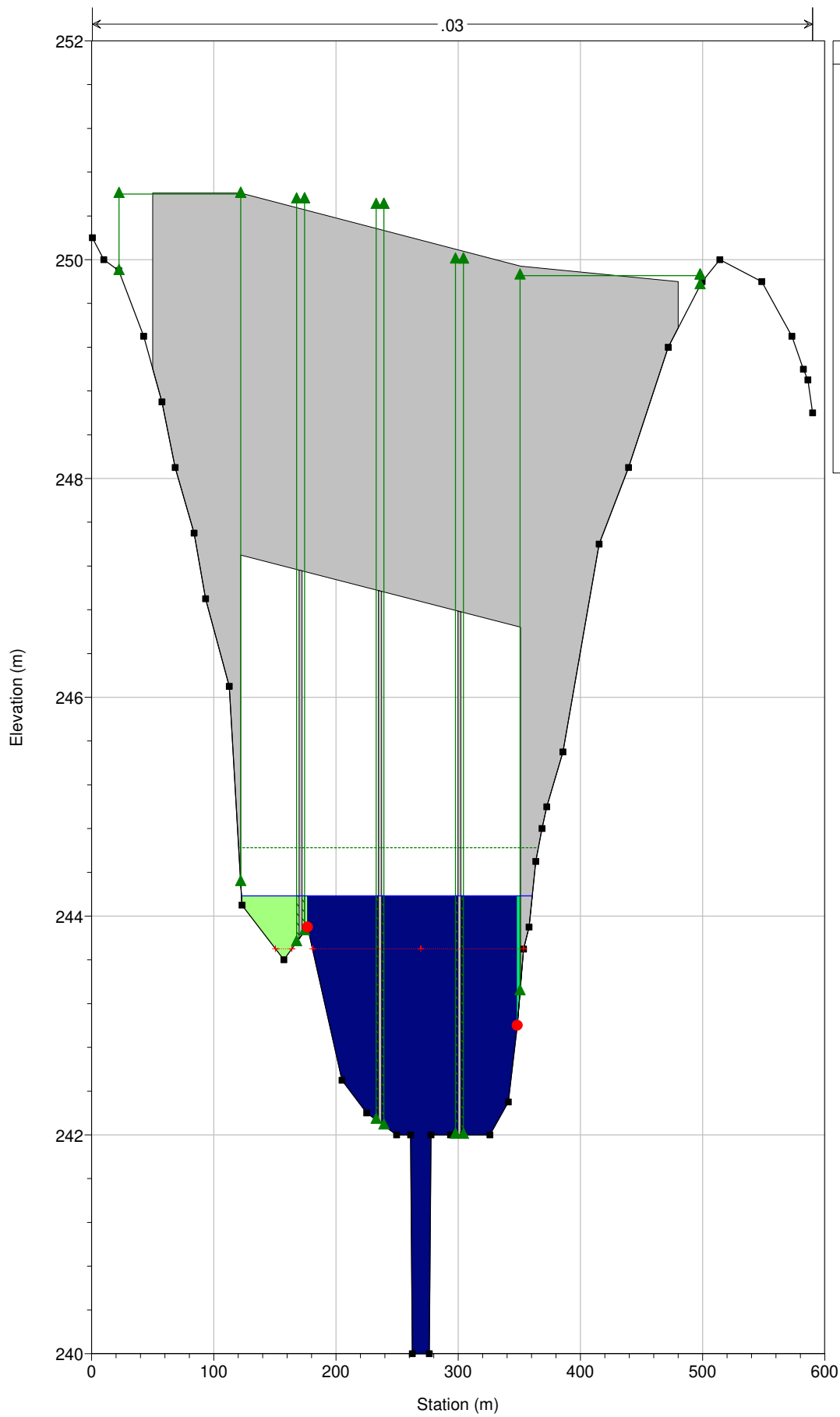
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 640



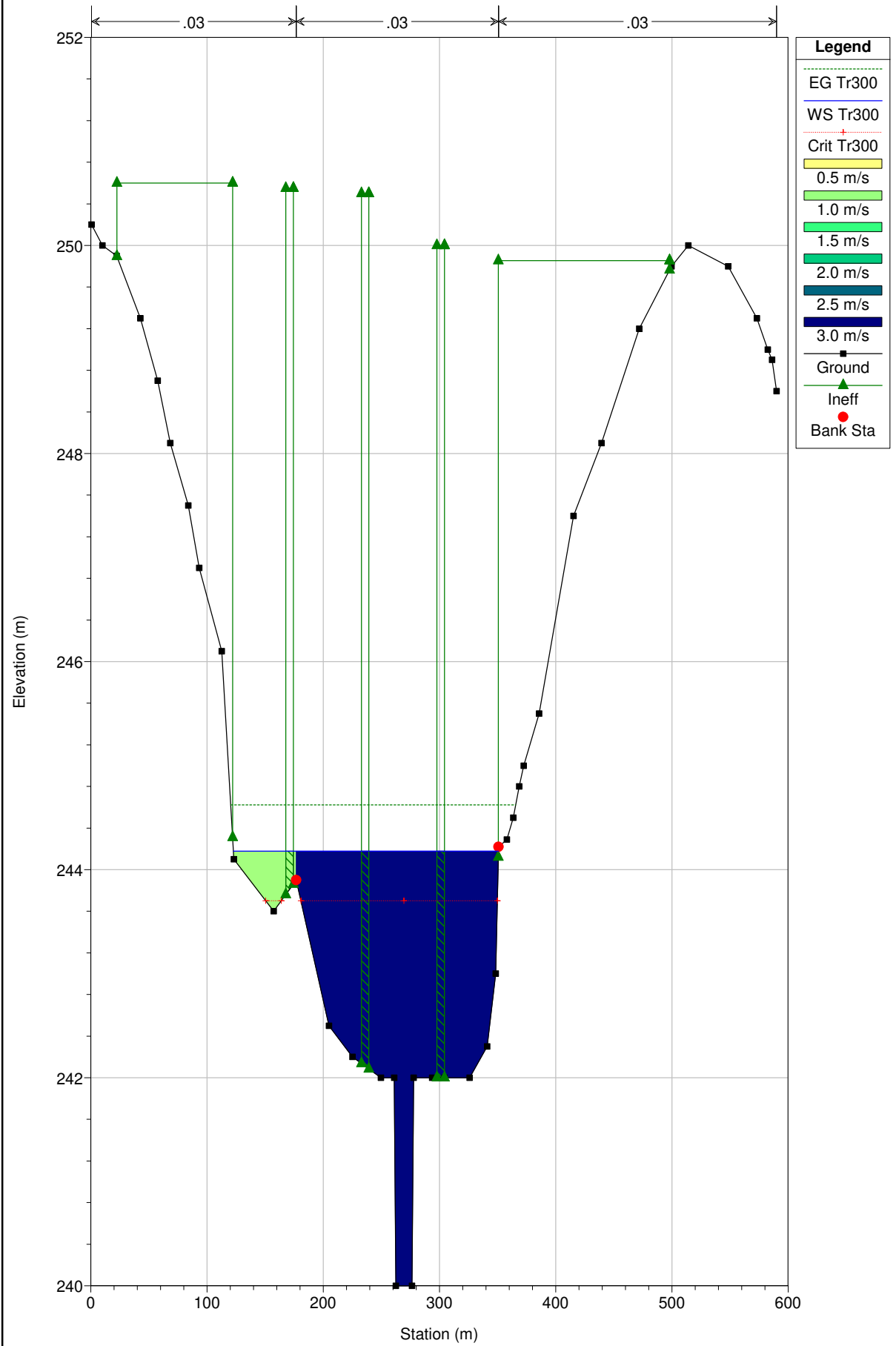
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 630 BR



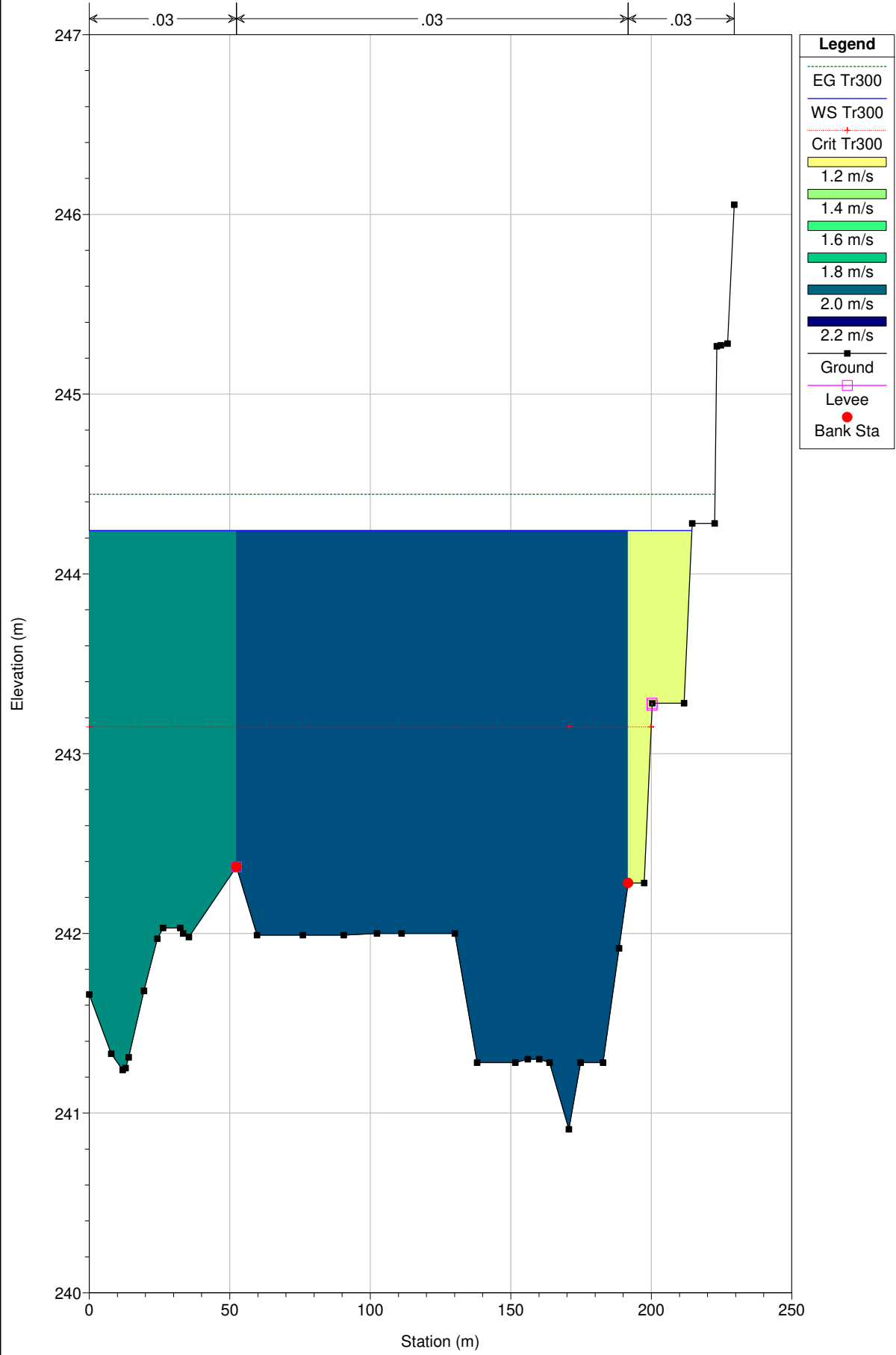
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 630 BR



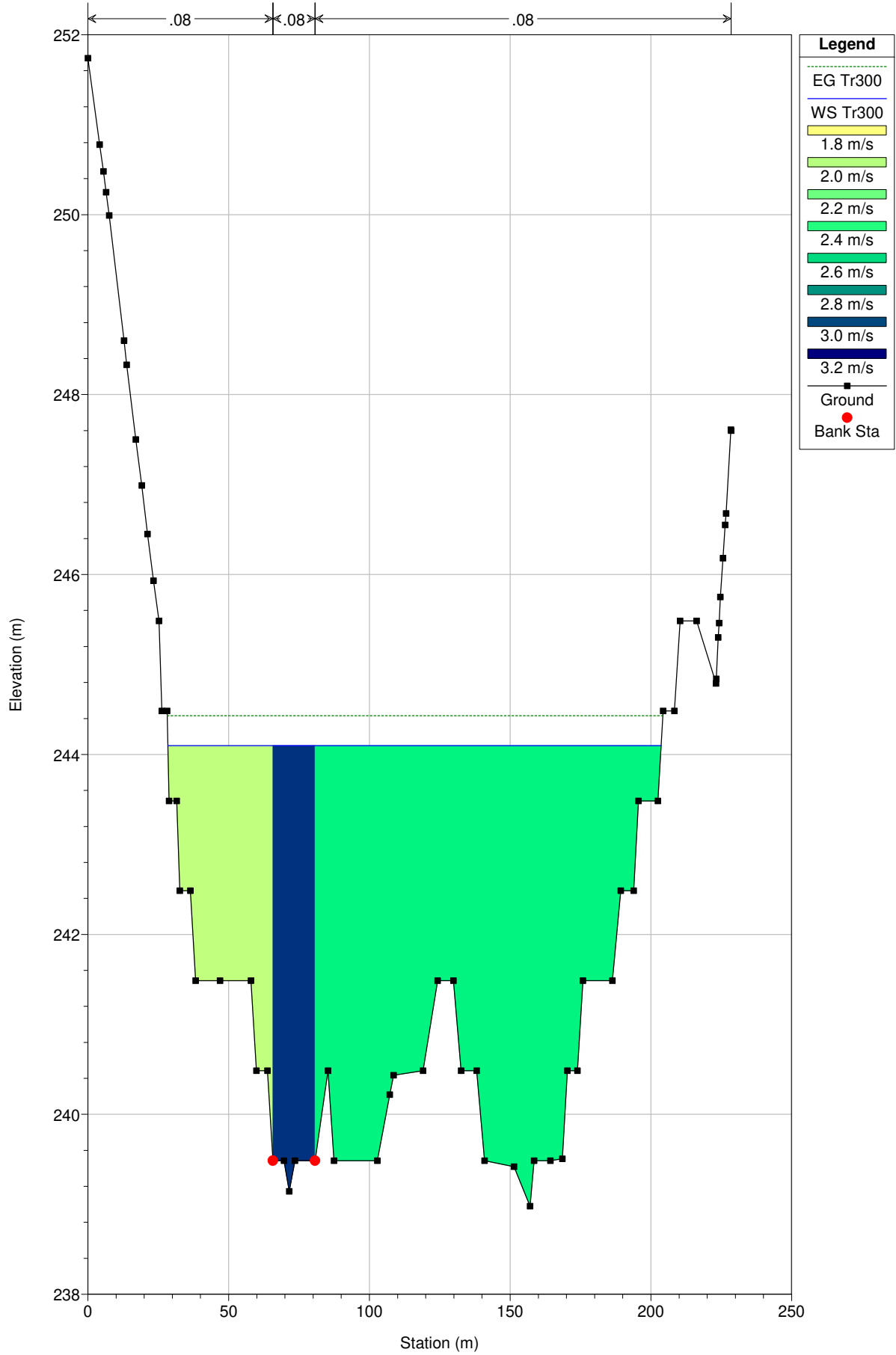
River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 620



River = S.Leonardo Reach = Tr. Monte RS = 558

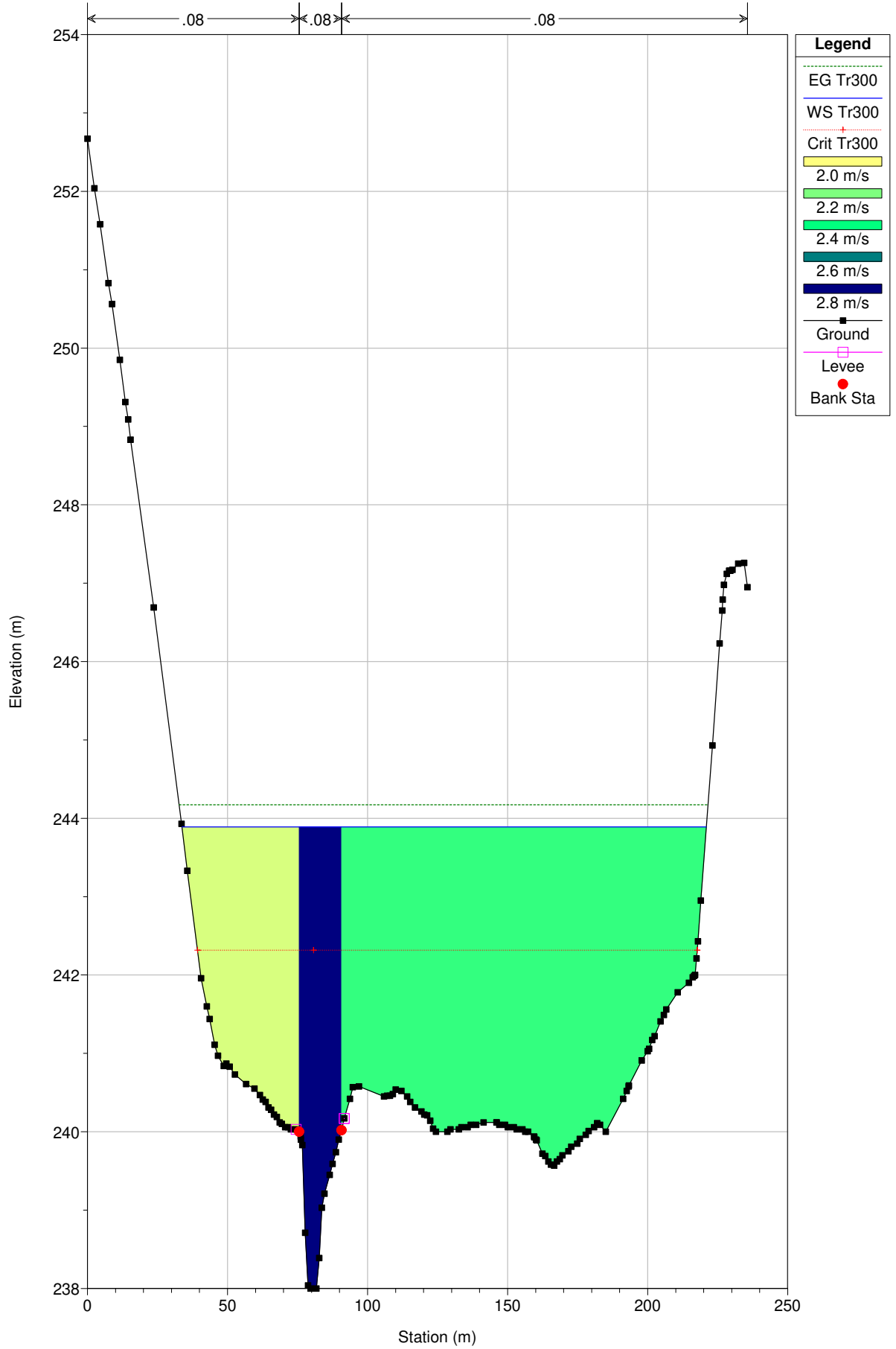


River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 307

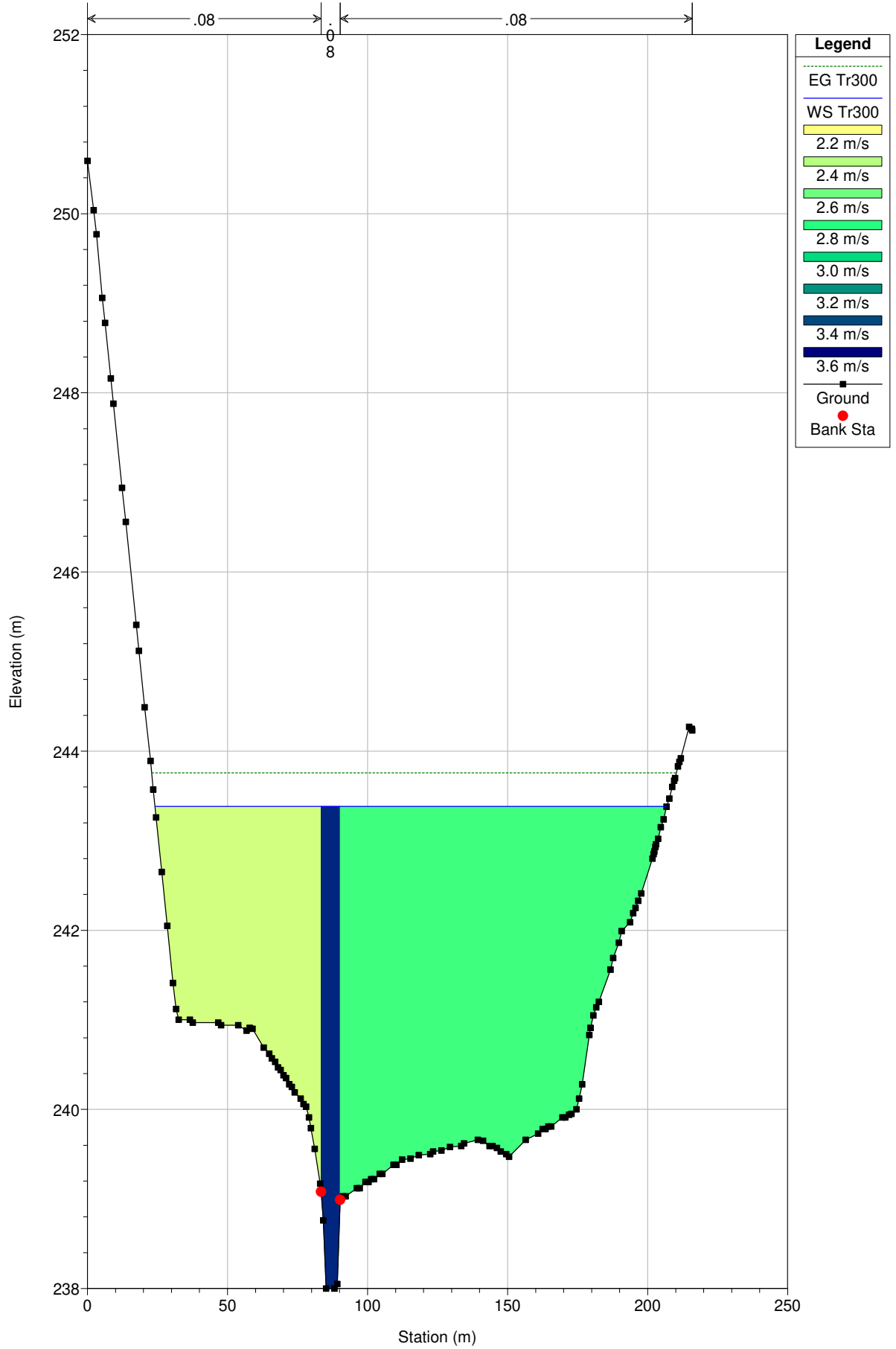




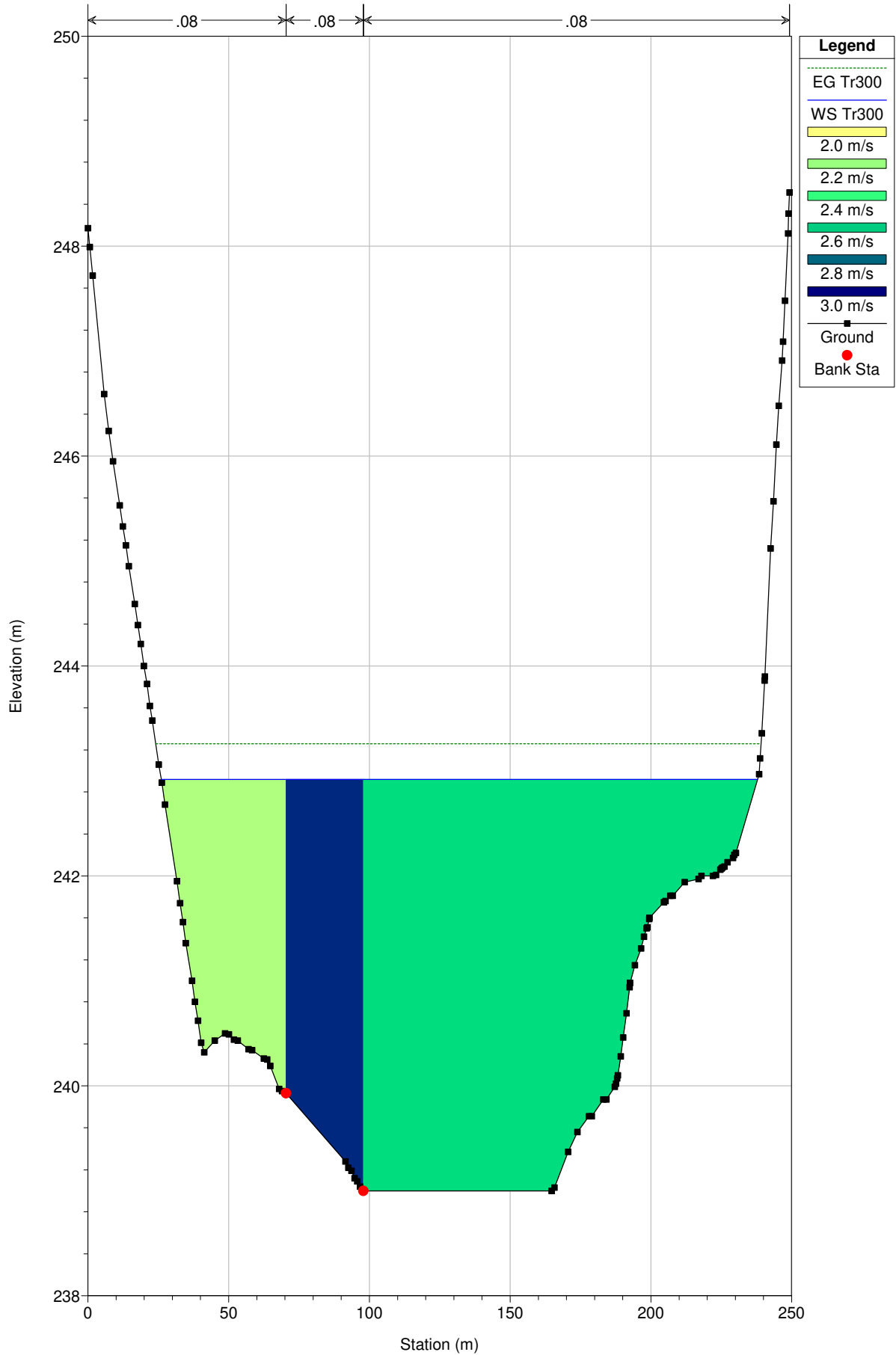
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 158



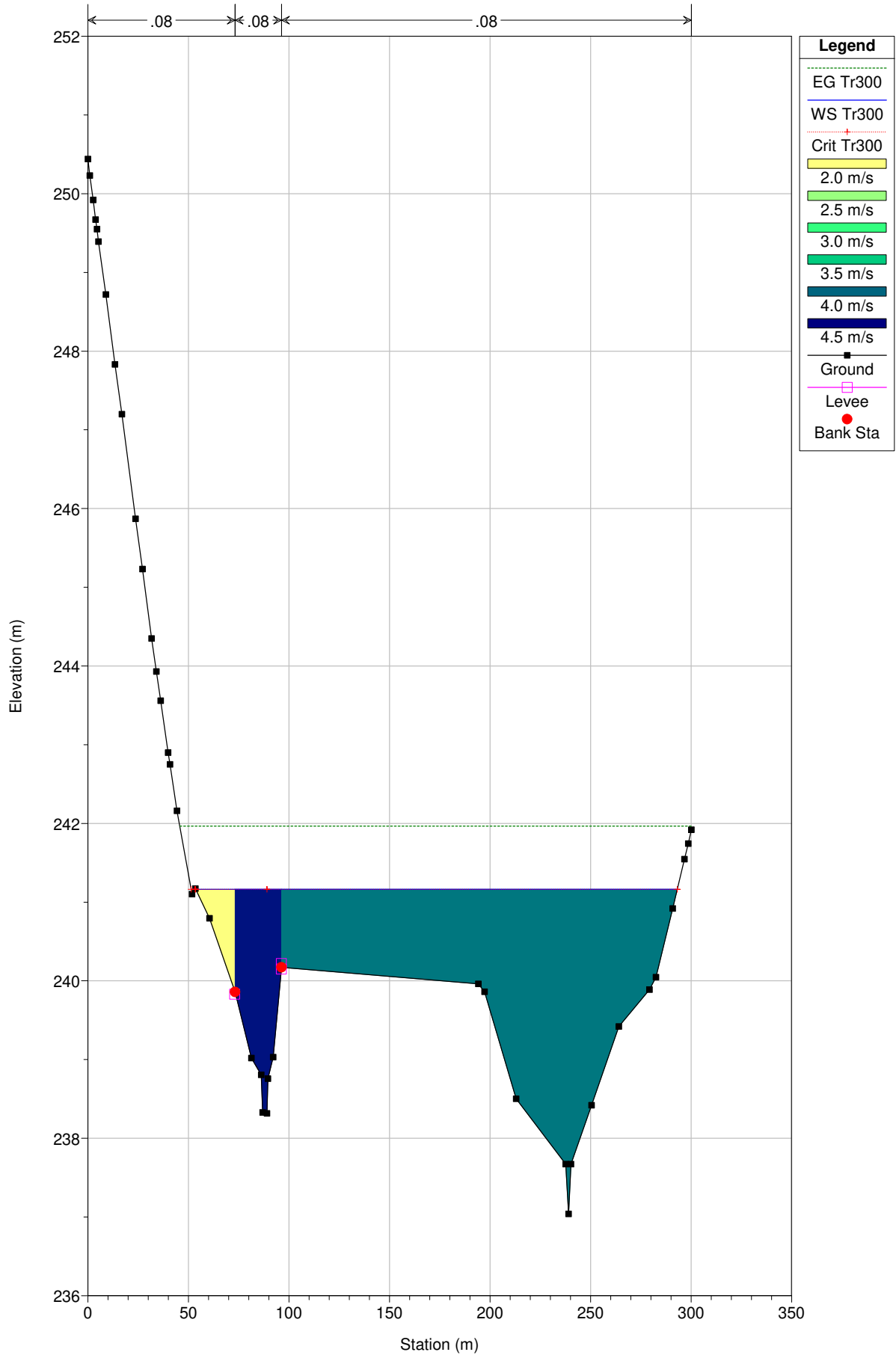
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 141



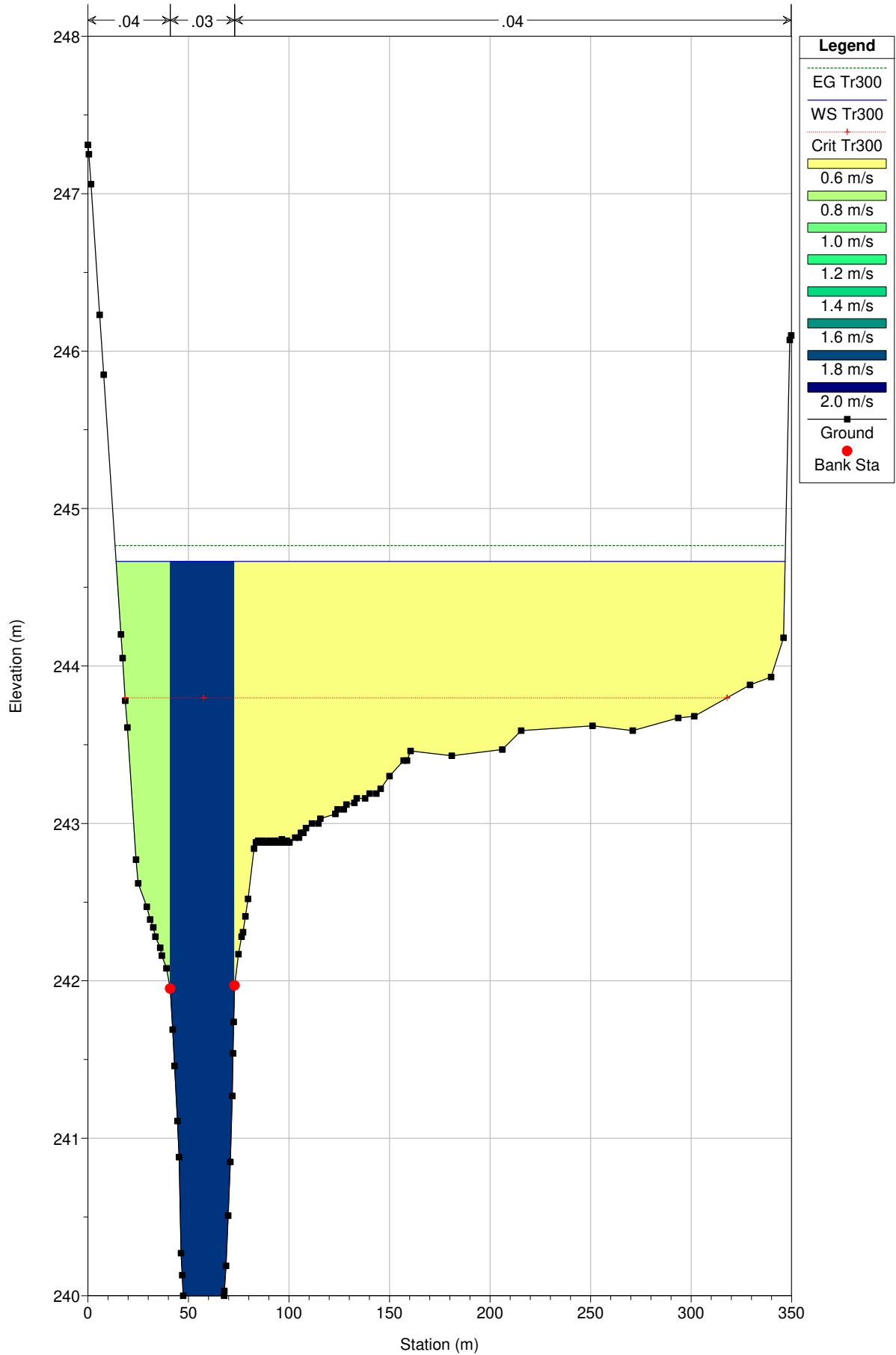
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 85



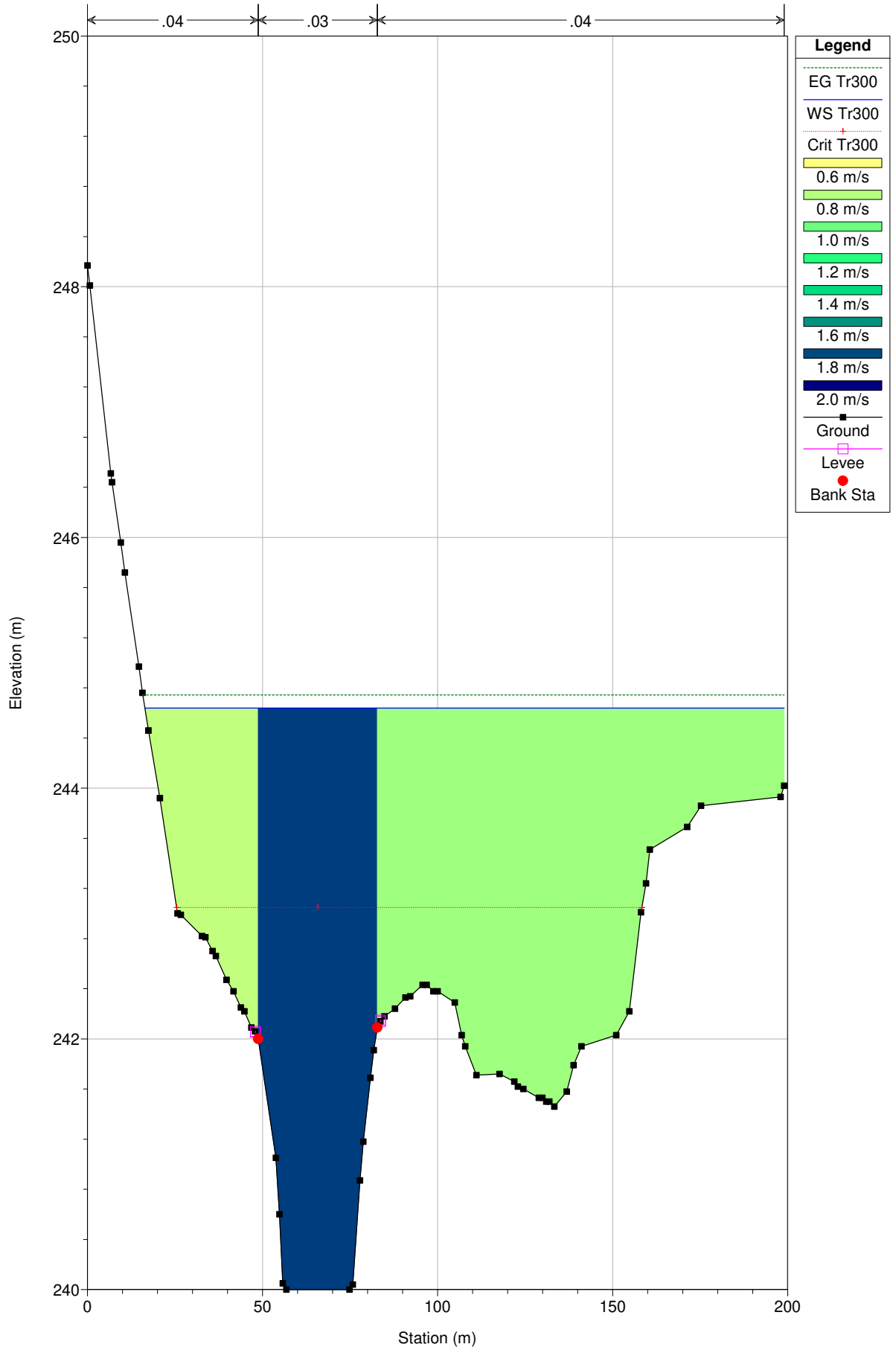
River = S.Leonardo Reach = Tr. Valle RS = 69



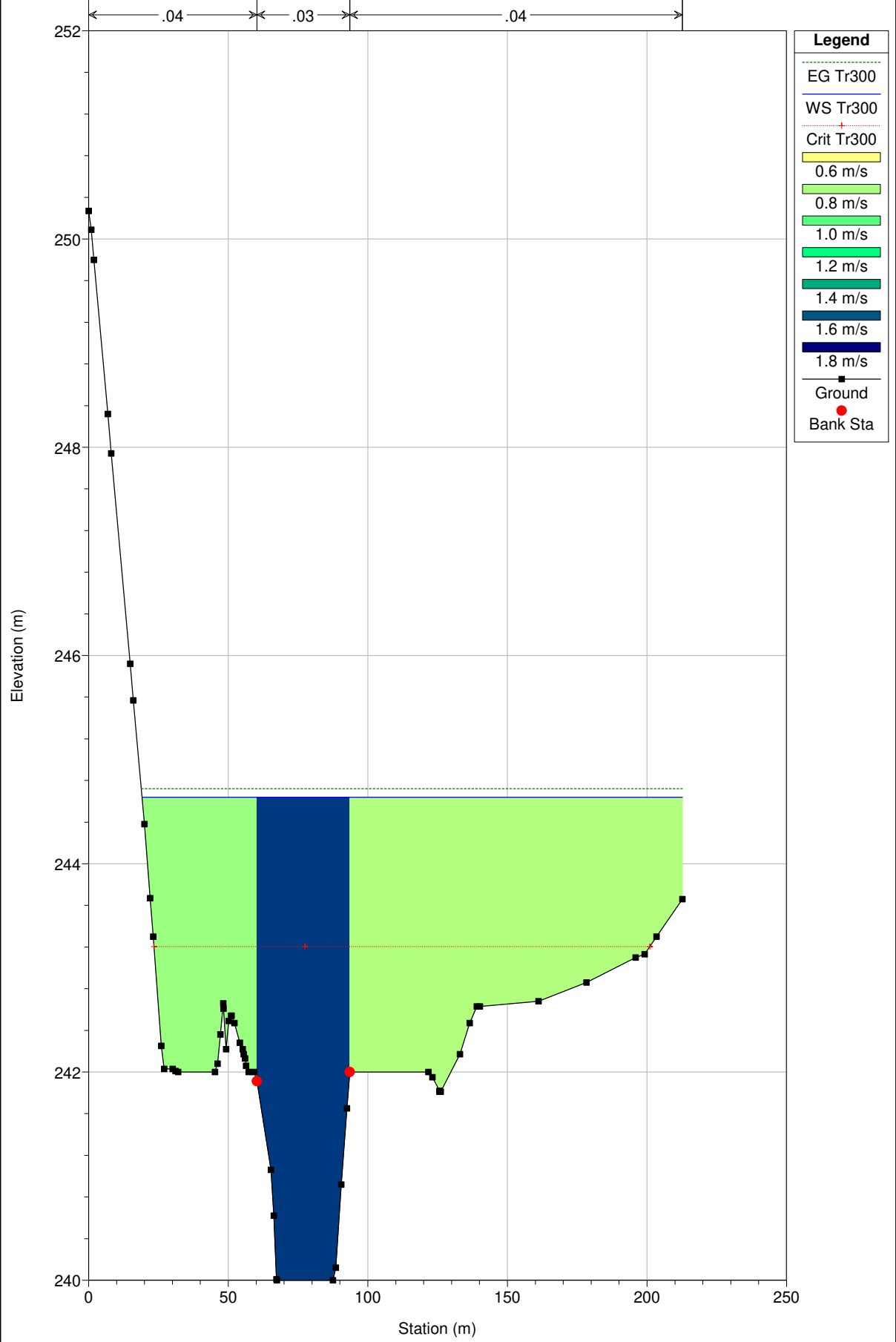
River = Azzirolo Reach = 1 RS = 193



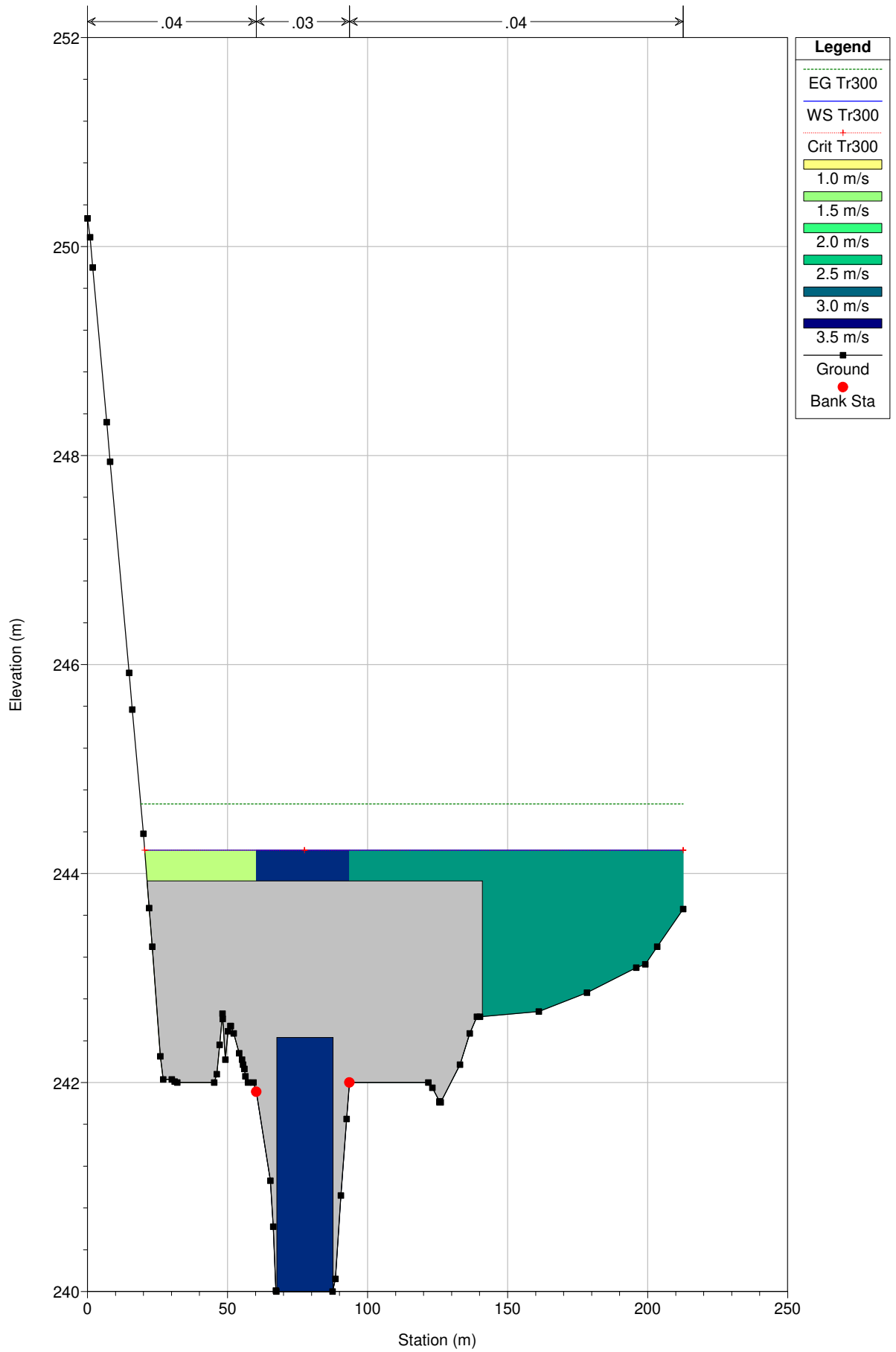
River = Azzirolo Reach = 1 RS = 147



River = Azzirolo Reach = 1 RS = 109

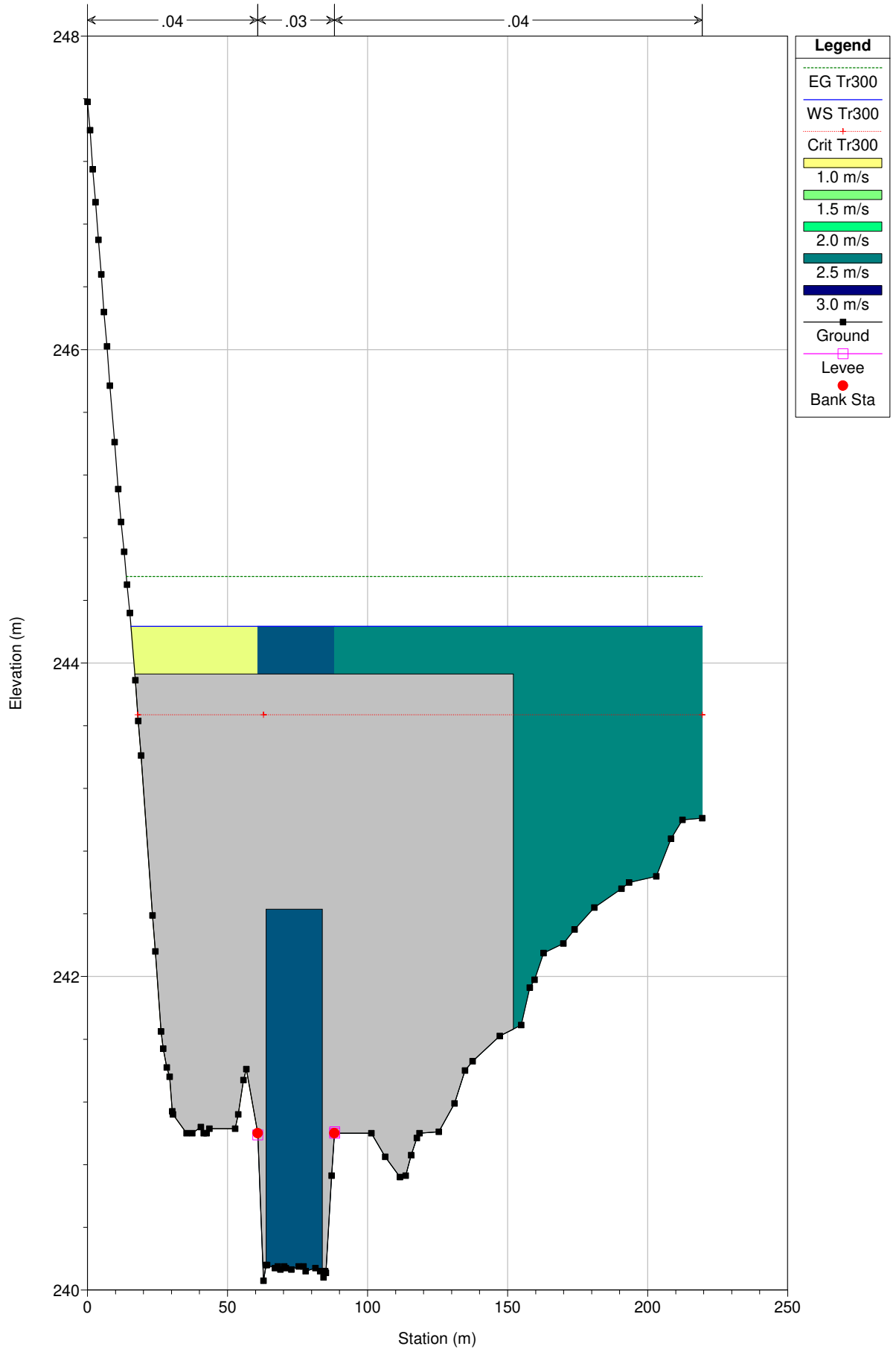


River = Azzirolo Reach = 1 RS = 85 BR

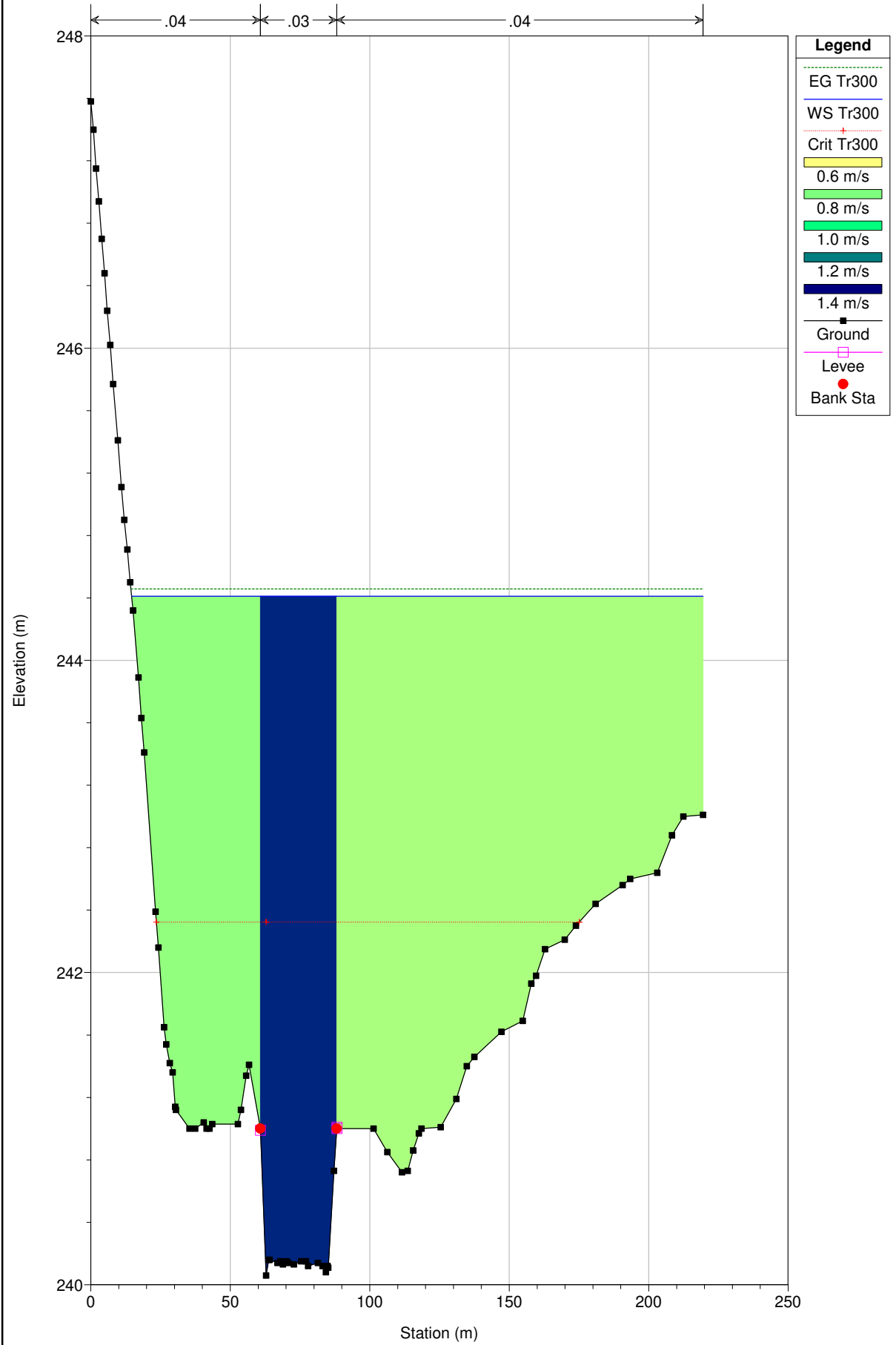




River = Azzirolo Reach = 1 RS = 85 BR



River = Azzirolo Reach = 1 RS = 70



**Intersezione modelli-RIPARTO\_2021**

Superficie :	41888.956 mq
Sterro :	50431.264 mc
Riporto :	341.631 mc
Volume aggiuntivo :	0.000 mc
Area piana di sterro :	40915.148 mq
Area piana di riporto :	971.427 mq
Area inclinata di sterro :	41069.891 mq
Area inclinata di riporto :	980.856 mq