

Committente:

COMUNE DI STREVI

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



Oggetto:

SISTEMAZIONE IDRAULICA TRATTO TERMINALE RIO CROSIO

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

SCALA:

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	
E2PE43615A03	E	2	P	E	436/15	A	03

Dati Progettisti / Consulenti

Ing. Geol. Luigi MARENCO

Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Alessandria n° 1242
Ordine Geologi del Piemonte n° 435

Ing. Giorgia Andrea TOFFOLI

Iscritta all'Ordine degli Ingegneri della
Provincia di Torino n° 12246F

Rev.	Redatto	Verificato	Validato	Data	Timbri e Firme
1	ing. G. Toffoli	ing. M. Tuberga	ing. L. Marengo	06/17	

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File: E2PE43615A03.pdf

GEO sintesi

Associazione tra Professionisti

geol. Edoardo RABAJOLI
ing. Massimo TUBERGA
ing. Luigi MARENCO
geol. Nicola QUARANTA
geol. Teresio BARBERO

C.so Unione Sovietica, 560 - 10135 Torino
Tel. 011 3913194 - Fax. 011 3470903
email : info@geoengineering.torino.it

0	PREMESSA	1
	SEZIONE 1 - RELAZIONE IDROLOGICA	3
1	METODOLOGIA DI INDAGINE	5
1.1	Acquisizione dei dati	5
1.2	Rilievi sul terreno.....	5
2	COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUL CORSO D'ACQUA.....	6
3	ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA.....	7
3.1	Fisiografia.....	7
3.2	Geologia.....	12
3.3	Permeabilità	13
3.4	Uso del suolo	14
4	EFFICACIA DELL'INTERVENTO NEI CONFRONTI DEL TERRITORIO	16
5	IDROLOGIA	18
5.1	Dati idrologici.....	18
5.1.1	Elaborazioni statistiche dei dati pluviometrici	18
5.1.2	Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di cui al PAI	18
6	METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	21
6.1	Metodo razionale.....	21
7	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA.....	24
7.1	Tempo di corrivazione.....	24
7.2	Coefficienti di deflusso	24
7.3	Altezze di pioggia.....	25
7.4	Portate di progetto	25
	SEZIONE 2 - RELAZIONE IDRAULICA.....	27
1	ANALISI IDRAULICHE	29
1.1	Geometria delle sezioni	30
1.2	Valori di scabrezza.....	31
1.3	Simulazione in moto permanente	32
2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE	37
2.1	Settori A e B.....	37
2.2	Settore C.....	40
3	VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE.....	43
3.1	Settori A e B.....	43
	ALLEGATI	49

0 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo Esecutivo di “Sistemazione idraulica tratto terminale Rio Crosio” in comune di Strevi (AL).

Lo studio ha previsto dapprima un'indagine idrologica per la definizione delle portate di progetto per diversi tempi di ritorno. Successivamente, con riferimento ai tratti d'alveo presi in esame, sono state condotte le verifiche in moto permanente al fine di valutare le problematiche connesse al deflusso delle piene di carattere straordinario, e significativamente delle piene con tempo di ritorno 200 anni, in corrispondenza di ciascuna delle sezioni tipo dei settori in studio.

Nei paragrafi che seguono sono esposti la metodologia di lavoro adottata e i risultati a cui si è pervenuti.

SEZIONE 1 - RELAZIONE IDROLOGICA

1 METODOLOGIA DI INDAGINE

1.1 Acquisizione dei dati

Lo studio si è sviluppato, per la fase di inquadramento generale e di definizione dei dati idrologici di progetto, attraverso la ricerca di studi pregressi e la consultazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), quali *Interventi sulla rete idrografica e sui versanti*, *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*, *Allegato 3: Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni*.

Per quanto concerne l'adozione della cartografia necessaria agli opportuni inquadramenti territoriali di rappresentazione ci si è avvalsi della base topografica in scala 1:10.000 della Carta Tecnica Regionale, in particolare delle sezioni 194060, 194070, 194100 e 194110 dove è rappresentato il Rio Crosio ed i settori su cui è previsto l'intervento di sistemazione idraulica.

1.2 Rilievi sul terreno

Per le verifiche di tipo idraulico si è fatto riferimento ai rilievi topografici di dettaglio condotti nei mesi di aprile, agosto ed ottobre 2015, con definizione del profilo di fondo e di una sezione trasversale tipo del corso d'acqua per ciascun settore su cui si andrà ad intervenire, sulle quali sono state inserite le sezioni di progetto.

2 COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUL CORSO D'ACQUA

Il Rio Crosio risulta catastalmente censito come acqua pubblica, come risulta dagli estratti catastali riportati nelle immagini seguenti. Esso risulta di competenza del Servizio OO.PP. e Difesa del Suolo della Regione Piemonte – Settore decentrato di Alessandria.

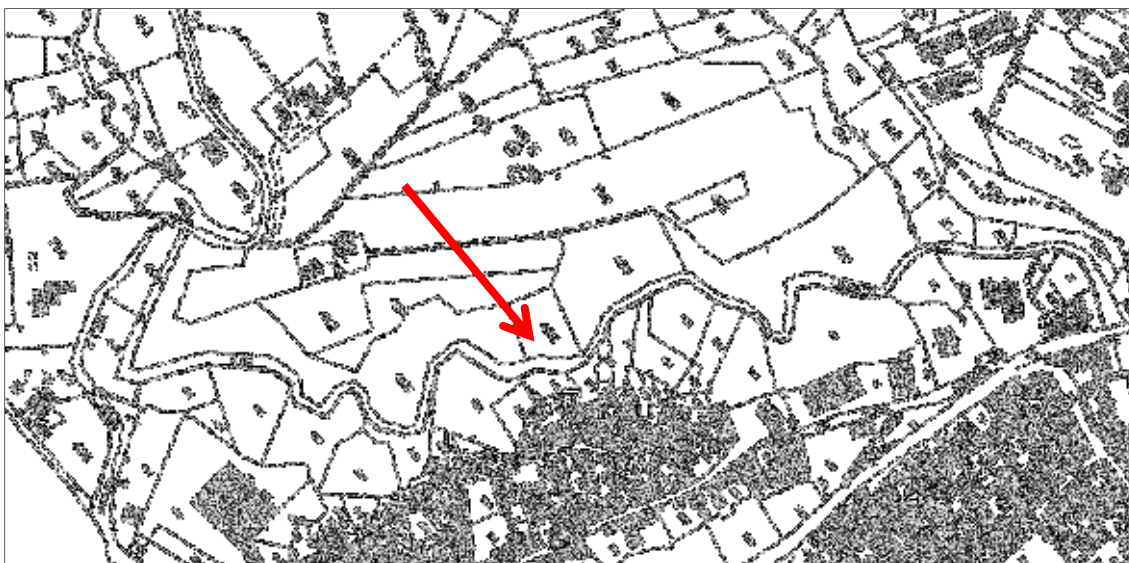


Figura 1: Estratto catastale settori A e B (Fogli 9 e 10 – Comune di Strevi) – In rosso il Rio Crosio

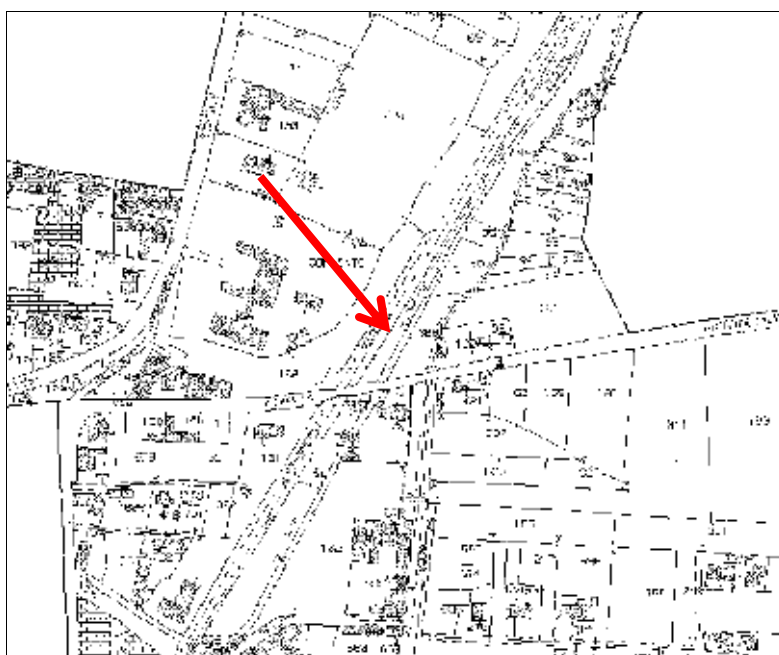


Figura 2: Estratto catastale settore C (Foglio 10 – Comune di Strevi) – In rosso il Rio Crosio

3 ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

3.1 Fisiografia

Dal punto di vista amministrativo ci si colloca in comune di Strevi (AL), lungo tre settori di Rio Crosio: i settori A e B sono ubicati lungo il Rio ai piedi della scarpata su cui si erge l'edificato antico di Strevi, mentre il settore C si sviluppa a cavallo dell'attraversamento della SP195 e parallelamente alla linea ferroviaria sino al depuratore comunale.

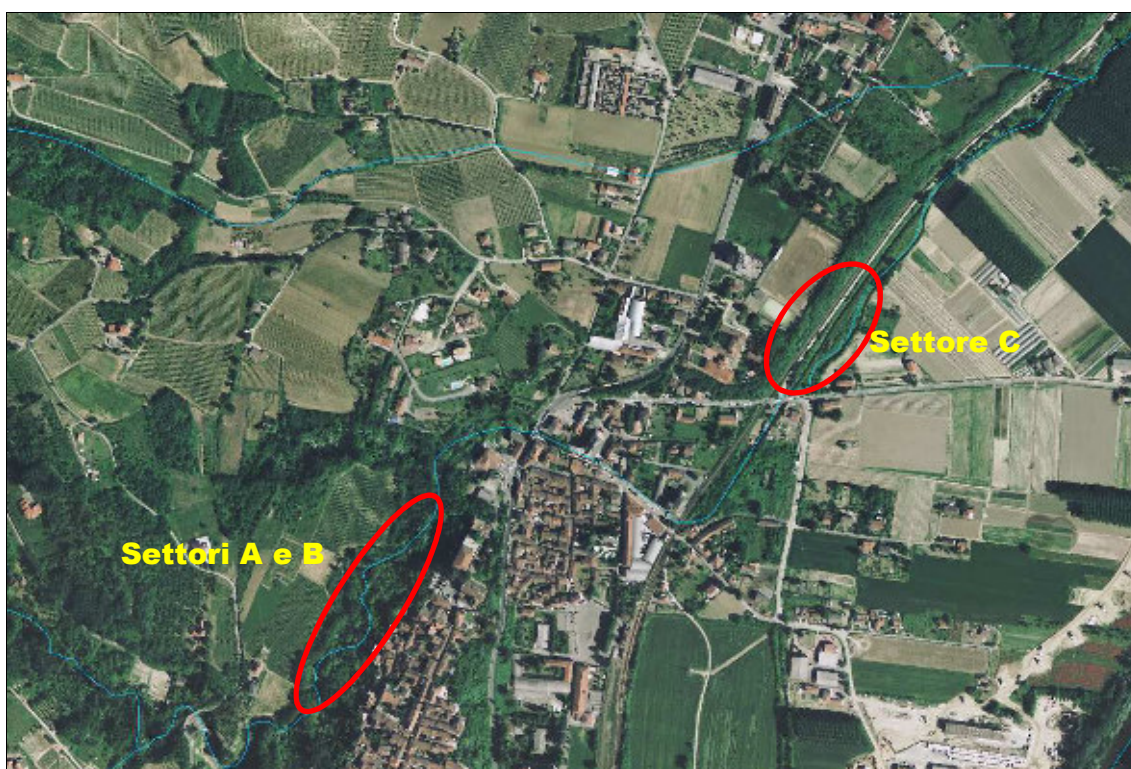


Figura 3: In rosso i settori in studio lungo il Rio Crosio (fonte: Geoportale Nazionale)

Il Rio Crosio è un tributario sinistro del Fiume Bormida e si diparte in prossimità di C. Rico, scorrendo con direzione NO-SE per circa 2,4 km fino all'abitato di Strevi, in prossimità del quale devia verso sinistra e costeggia con direzione SO-NE il rilievo ora occupato dall'edificato più antico di Strevi. In corrispondenza del ponte sulla via Alessandria, il Rio Crosio devia verso sinistra e per circa 350 m lambisce l'abitato inferiore di Strevi sino a raggiungere la linea ferroviaria, dove devia nuovamente il suo percorso affiancandola per 1 km con direzione di scorrimento SE-NO sino alla confluenza in sinistra Bormida. In quest'ultimo tratto il Rio Crosio scorre a confine con il

comune di Rivalta Bormida, mentre la testata del bacino dello stesso è delimitato dalla dorsale confinante con il comune di Ricaldone.

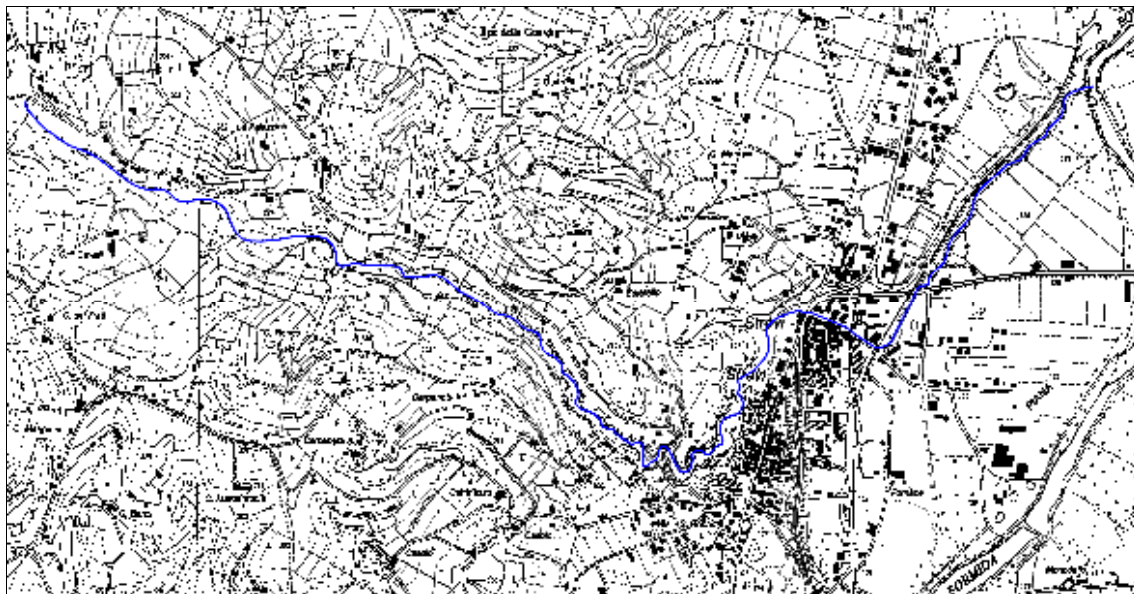


Figura 4: Inquadramento dell'area di intervento – in blu il Rio Crosio (Estratto C.T.R. Piemonte)

Il corso d'acqua a monte di Regione Valle Rizza riceve il contributo di un affluente in destra, mentre lungo il tratto in cui scorre parallelo alla linea ferroviaria riceve un affluente in sinistra.

Nel tratto immediatamente a valle dell'attraversamento lungo la SP 195, il tracciato del Rio Crosio è caratterizzato dalla presenza di un ramo non collegato in destra idrografica, avente uno sviluppo di circa 350 m; tale ramo è il vecchio canale dismesso catastalmente censito come Bedale del Molino.

L'asta del Rio Crosio ha genericamente andamento unicursale rettilineo, ad esclusione del tratto a Ovest dell'abitato di Strevi, in cui scorre tra due dorsali di origine alluvionale, dove la morfologia evolve in sinuosa.

Il bacino del Rio Crosio è delimitato a Nord dalla dorsale che dall'intersezione tra la Strada Comunale della Valle e Via Regione Bagnario (direzione NW-SE), passando dal Bric della Guardia, si collega con direzione SW-NE alla SP30 a monte di C. Braida fino alla confluenza in Bormida. A partire dall'intersezione tra le due strade di cui sopra, proseguendo in direzione sud, la dorsale che delimita il bacino segue dapprima il confine tra i comuni di Ricaldone e Strevi e scendendo verso SE il confine con il comune di Acqui Terme sino a loc. Carpeneta superiore, da dove la dorsale, con direzione prevalente W-E arriva su Via Acqui per poi procedere con direzione S-N all'interno dell'abitato di Strevi e discendere verso la sezione di chiusura in Bormida.

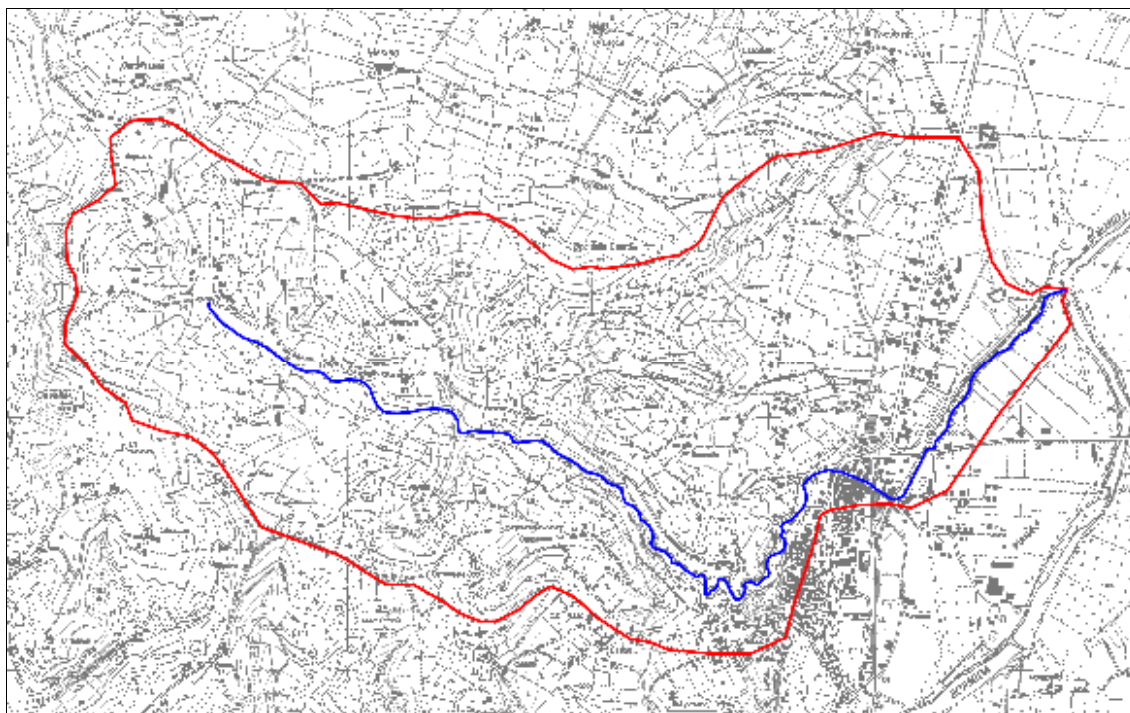


Figura 5: Delimitazione bacino Rio Crosio non in scala (CTR 1:10000 Regione Piemonte)

Lo studio del bacino del Rio Crosio, di cui è riportata la delimitazione nella figura sopra, è stato condotto con l'ausilio delle tecniche GIS, utilizzando il software Arcview 3.3 il quale ha permesso di ricavare la stima dei parametri morfometrici che lo caratterizzano.

Il bacino idrografico del Rio Crosio, alla sezione di chiusura considerata posta in corrispondenza della confluenza in Bormida, ha una superficie complessiva pari a 5,28 km².

L'altitudine media del bacino è stata stimata tramite la seguente correlazione:

$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot S_i}{S}$$

dove:

- h_i = quota media della superficie i-esima posta tra due curve di livello
- S_i = superficie i-esima compresa tra due curve di livello equidistanti
- S = superficie totale del bacino

Per la definizione della pendenza media dell'asta si è fatto riferimento alla correlazione di Alvord – Horton:

$$\sqrt{i_m} = \frac{L}{\sum \frac{L_i}{\sqrt{i_i}}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta fluviale

i_i = pendenza del tratto i -esimo

L = lunghezza dell'asta fluviale

L_i = lunghezza del tratto i -esimo

Le caratteristiche fisiche del bacino idrografico alle sezioni di chiusura considerate risultano riportate nelle tabelle seguenti:

Intervallo tra le isoipse	Lunghezza parziale		Lunghezza progressiva		Area parziale		Area cumulata	
	m	%	m	%	km ²	%	km ²	%
					0.00	0.00	0.000	0.00
> 300	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	6.70	0.354	6.70
300-250	0.00	0.00	0.00	0.00	1.56	29.53	1.912	36.22
250-200	1087.44	21.78	1087.44	21.78	1.36	25.82	3.276	62.04
200-150	1712.42	34.30	2799.86	56.09	1.25	23.64	4.524	85.68
< 150	2191.92	43.91	4991.78	100.00	0.76	14.32	5.280	100.00
Totale	4991.78	100.00			5.28	100.00		

Tabella 1: Elaborazione curva ipsografica del bacino del Rio Crosio

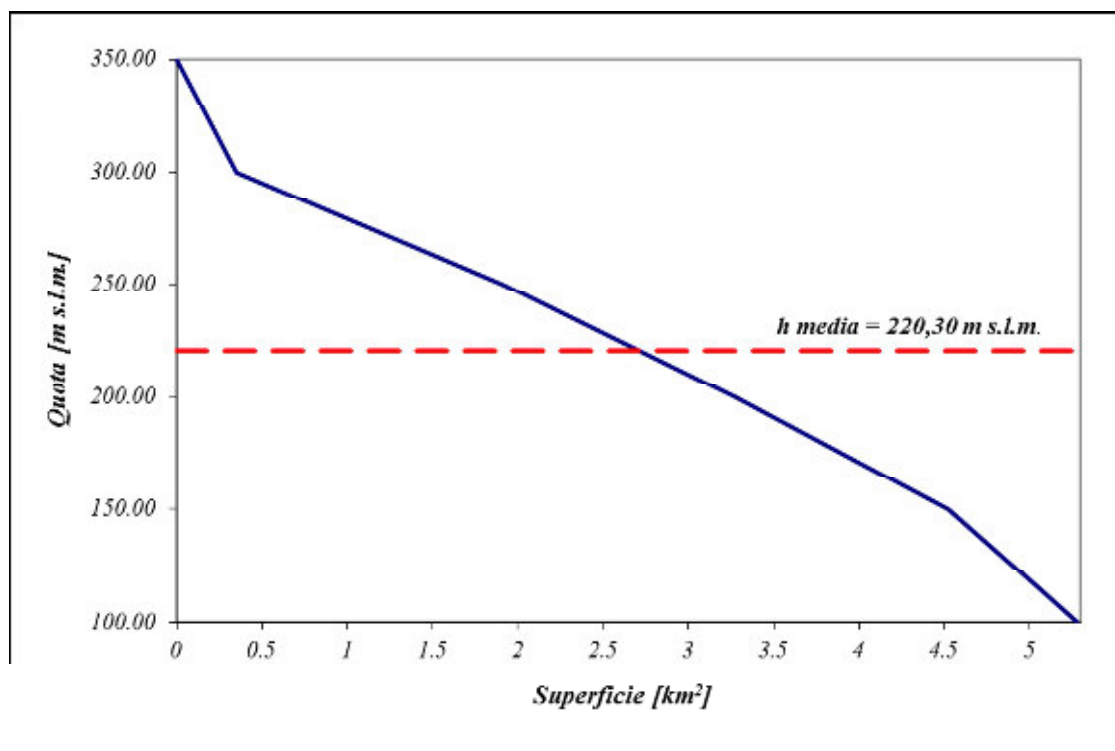
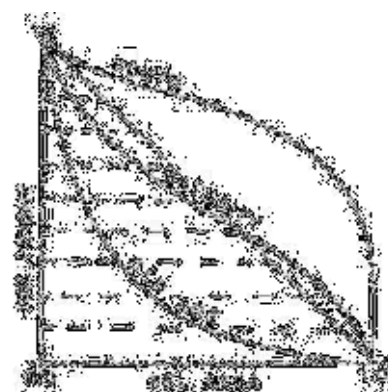
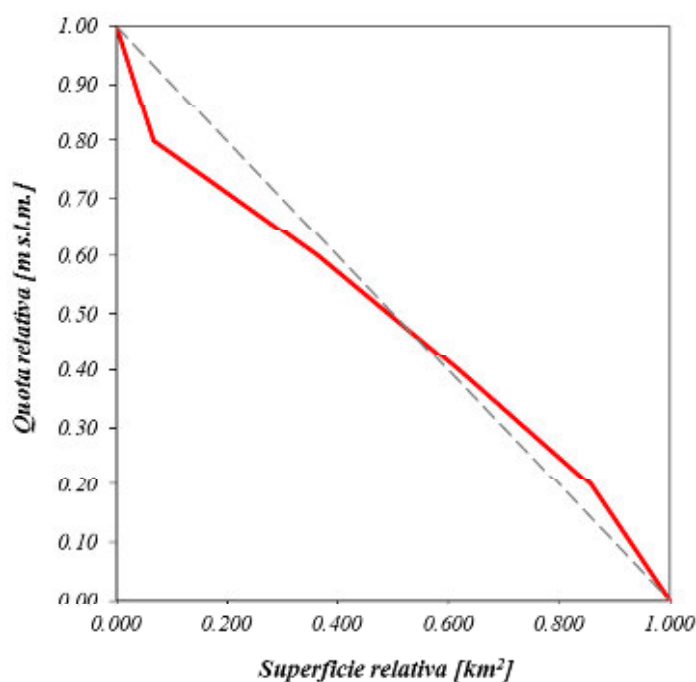


Figura 6: Curva ipsografica del bacino

Parametri del bacino			
<i>Superficie bacino</i>	S	5.28	km^2
<i>Altitudine massima</i>	$H_{\max}$	337.0	m s.l.m.
<i>Altitudine media</i>	H_m	220.3	m s.l.m.
<i>Quota sez. di chiusura</i>	H_0	123.0	m s.l.m.
<i>Lunghezza asta principale</i>	L_{ap}	4.99	km
<i>Pendenza media asta</i>	i_m	2.84	%

Tabella 2: Parametri del bacino

La concavità della curva ipsografica elaborata caratterizza il paesaggio come maturo, come si può notare dal confronto della curva ipsometrica relativa con la rappresentazione delle curve ipsometriche e stadi evolutivi da Scheidegger (1987).


Figura 7: Curva ipsografica relativa

La fisiografia del bacino è quella propria di un ambiente collinare, caratterizzato dalla presenza di aree agricole, quali soprattutto vigneti, in quasi tutti i settori del bacino.

La rete di drenaggio secondaria naturale del Rio Crosio risulta scarna ed essenziale, non evidenziando tributari significativi.

3.2 Geologia

Dal punto di vista geologico l'alveo del Rio Crosio, nel tratto in esame, scorre nell'ambito di depositi di origine sedimentaria ascrivibili al Bacino Terziario Ligure Piemontese; nel dettaglio, la zona è caratterizzata dalle "Arenarie di Serravalle", (cfr. Carta Geologica d'Italia - Foglio n° 70 "Alessandria"), visibili in affioramento lungo il rio Crosio e in corrispondenza della scarpata di erosione.

Nei settori di interesse tali depositi, come ben rappresentato nel più recente Foglio n. 194 "Acqui Terme" del progetto CARG alla scala 1:50.000, sono litologicamente costituite da arenarie da medie a molto grossolane in strati spessi per lo più amalgamati o alternati a livelli pelitici, ascrivibili alla Formazione di Cassinasco. Relativamente all'intervento di trattenuta relativo alla porzione terminale del settore B, è prevista l'imposta sui materiali ascrivibili a tale formazione; tali depositi marnoso arenacei garantiscono una adeguata tenuta nei confronti di eventuali fenomeni di filtrazione trattandosi di termini aventi una permeabilità ridotta.

Relativamente ai settori A e B i depositi di copertura sono ascrivibili al Fluviale Medio, che affiora estesamente in sponda orografica sinistra del rio Crosio ed in corrispondenza del crinale della dorsale morfologica ove si colloca il centro storico di Strevi. Litologicamente sono prevalentemente costituiti da depositi alluvionali costituiti da argille, limi e loro termini intermedi, con lenti ed intercalazioni di sabbie fini, che sormontano termini fortemente eterometrici rappresentati da ghiaie sabbioso-limose, intercalate a ghiaietti e sabbie grossolane, con locale presenza di ciottoli e blocchi pluridecimetrici.

Entro il settore in esame i termini più fini sono abbondantemente presenti in copertura mentre i termini a componente più grossolana si rilevano in corrispondenza del contatto con il substrato.

La medesima cartografia evidenzia, limitatamente al settore terminale del Rio Crosio denominato settore C, la locale presenza di depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi ascrivibili al subsistema di Rocchetta Cairo (Sistema di Cairo Montenotte, *Olocene – Attuale*). Trattasi di depositi grossolani a supporto di clasti, localmente a supporto di matrice, coperti da estese coltri di esondazione fluviale di spessore metrico (1 - 4 m) costituite da sabbie e sabbie siltose massive con rari ciottoli.

La granulometria e le caratteristiche dei depositi sono comunque fortemente influenzati dalla dinamica del corso d'acqua e dalla sua erosione spondale.

3.3 Permeabilità

In senso generale, gli ammassi rocciosi del settore collinare del bacino sono interessati da una permeabilità per fessurazione il cui grado è direttamente legato alla frequenza delle famiglie di discontinuità. In tale ambito l'instaurarsi di una falda idrica o, comunque, di una circolazione ipodermica è possibile qualora le fratture siano pervie ed interconnesse.

Le unità detritiche di copertura (in senso ampio) sono caratterizzate da una permeabilità per porosità che è essenzialmente funzione della dimensione dei pori intergranulari, a sua volta legata alla granulometria della componente clastica, alla natura della frazione fine e del grado di addensamento o di cementazione. Anche in tale caso la circolazione idrica è possibile solo se i vuoti sono reciprocamente connessi.

Con riferimento a quanto sopra ed alle caratteristiche geolitologiche dei terreni compresi nell'ambito del bacino è stato quindi possibile assegnare a ciascuna delle sub-aree un dato di permeabilità, con lo scopo di fornire un elemento indispensabile per l'elaborazione del modello idrologico.

A tal fine, per la definizione delle classi di permeabilità ci si è riferiti alle seguenti accezioni semplificate, previste dal modello idrologico stesso:

- *molto permeabile*
- *mediamente permeabile*
- *poco permeabile*
- *impermeabile*

La natura delle unità geologiche presenti nel territorio porta ad escludere la possibilità di riferire ad interi areali le attribuzioni estreme di "molto permeabile" ed "impermeabile", sebbene esse possano essere adeguate per descrivere specifiche situazioni locali, non rappresentative di un intero contesto.

Tale situazione rende manifesta la difficoltà di adottare un termine univoco per connotare settori estesi quali quelli compresi dalle sub-aree, in cui si affiancano situazioni distinte per aspetti litologici, morfologici, plano-altimetrici, ciascuno dei quali può condizionare, in modo non trascurabile, le capacità di assorbimento idrico del substrato.

Con tali premesse si è ritenuto di applicare la connotazione di "mediamente permeabile" alla maggior parte dell'area in studio.

3.4 Uso del suolo

Dall'analisi del bacino tramite il software ArcView GIS 3.3 è inoltre possibile identificare con più dettaglio le categorie di uso del suolo del bacino del Rio Crosio: ciò tramite utilizzo della carta forestale messa a disposizione dalla Regione Piemonte e qui di seguito riportata limitatamente al bacino oggetto di studio.

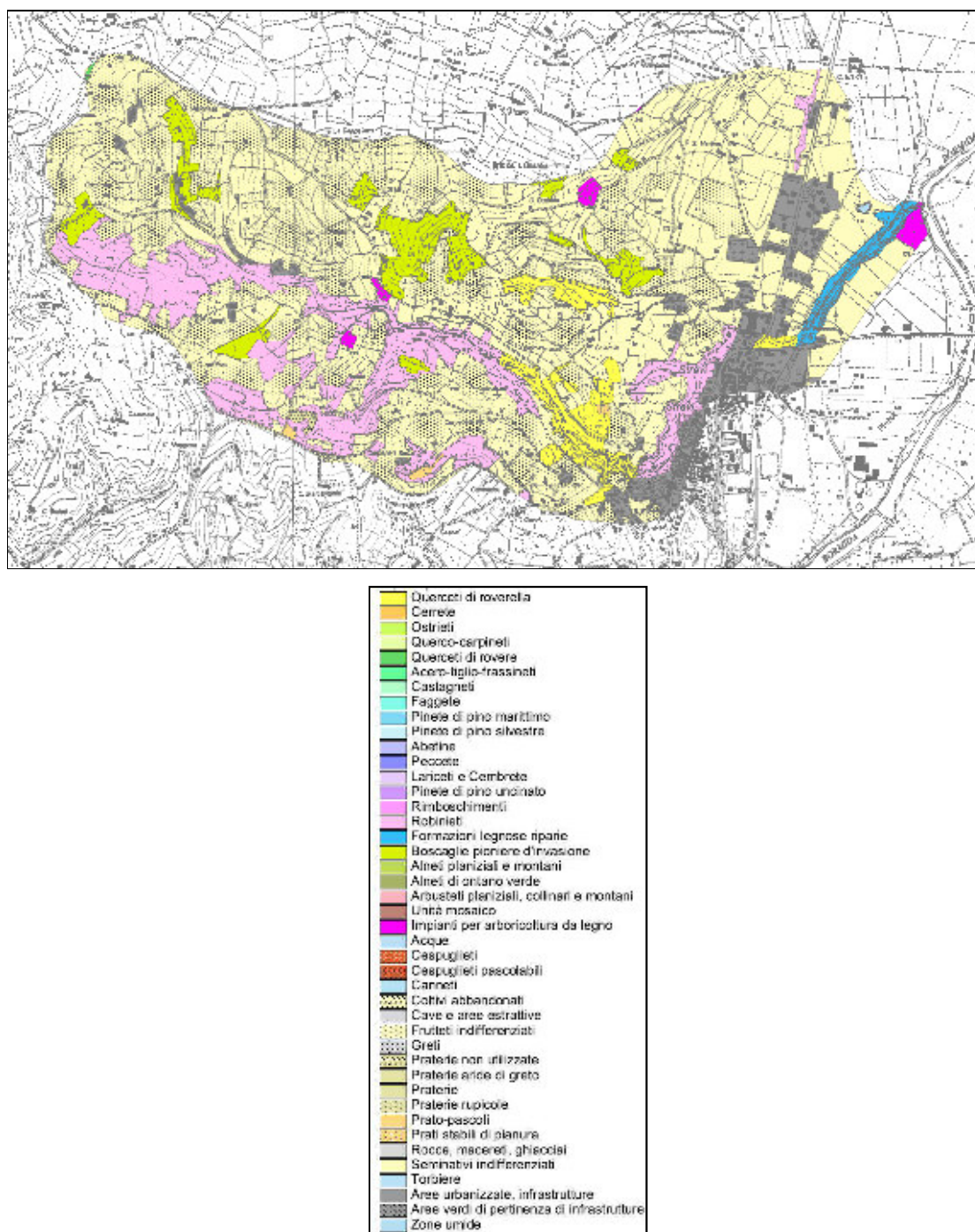


Figura 8: Uso del suolo bacino Rio Crosio avente sezione di chiusura alla confluenza con il Bormida di Spigno e relativa legenda

La maggior parte dell'estensione del bacino del Rio Crosio, circa il 70 %, è occupata da aree agricole, mentre lungo lo sviluppo dell'asta fluviale si evidenzia la presenza di superfici forestali, in particolare robinieti fino al tratto in cui decorre senza condizionamenti a monte dell'abitato di Strevi e saliceti e pioppeti ripari nel tratto in cui il rio decorre parallelo alla linea ferroviaria (fino alla confluenza in Bormida).

Le aree urbanizzate sono localizzate laddove sorge il centro abitato di Strevi, nella parte meridionale del bacino delimitato e lungo la viabilità principale che porta all'uscita del paese e si diparte verso NE in direzione Alessandria.

Nel complesso le condizioni climatiche e pedologiche non pongono limitazioni all'uso del suolo.

4 EFFICACIA DELL'INTERVENTO NEI CONFRONTI DEL TERRITORIO

Le opere in progetto sono finalizzate a mitigare il rischio di possibili allagamenti del borgo inferiore di Strevi, ove il rio Crosio presenta un alveo interamente artificiale, con presenza di non adeguati attraversamenti.

L'analisi delle banche dati relative al Geo Portale ARPA Piemonte evidenzia che il borgo inferiore di Strevi, in corrispondenza del settore più depresso dell'abitato adiacente al Rio Crosio, è stato interessato in passato da numerosi allagamenti (1670, 1847, 1949, 1966, 1977). I fenomeni sono per lo più attribuibili all'accumulo di materiale flottante, come evidenziato dalla documentazione fotografica storica allegata.

Gli effetti di tale condizione si ripercuotono sulle possibilità di utilizzo del territorio e sulle condizioni di pericolosità per le aree in esame, come meglio si evince dalla documentazione di PRGC riportata nel seguito, che evidenzia per il settore del borgo inferiore di Strevi in adiacenza al Rio Crosio una classe IIIB, con **condizioni di pericolosità areale molto elevata Eel indotte dalla dinamica torrentizia**.

Ciò comporta un'evidente ricaduta sull'incolumità delle persone che abitano tale porzione di territorio, sugli edifici di pertinenza e sulle infrastrutture, con particolare riferimento alla linea ferroviaria di collegamento tra Alessandria e Acqui Terme.



Figura 9: Veduta aerea del borgo inferiore di Strevi, allagato in seguito all'evento alluvionale del 1977

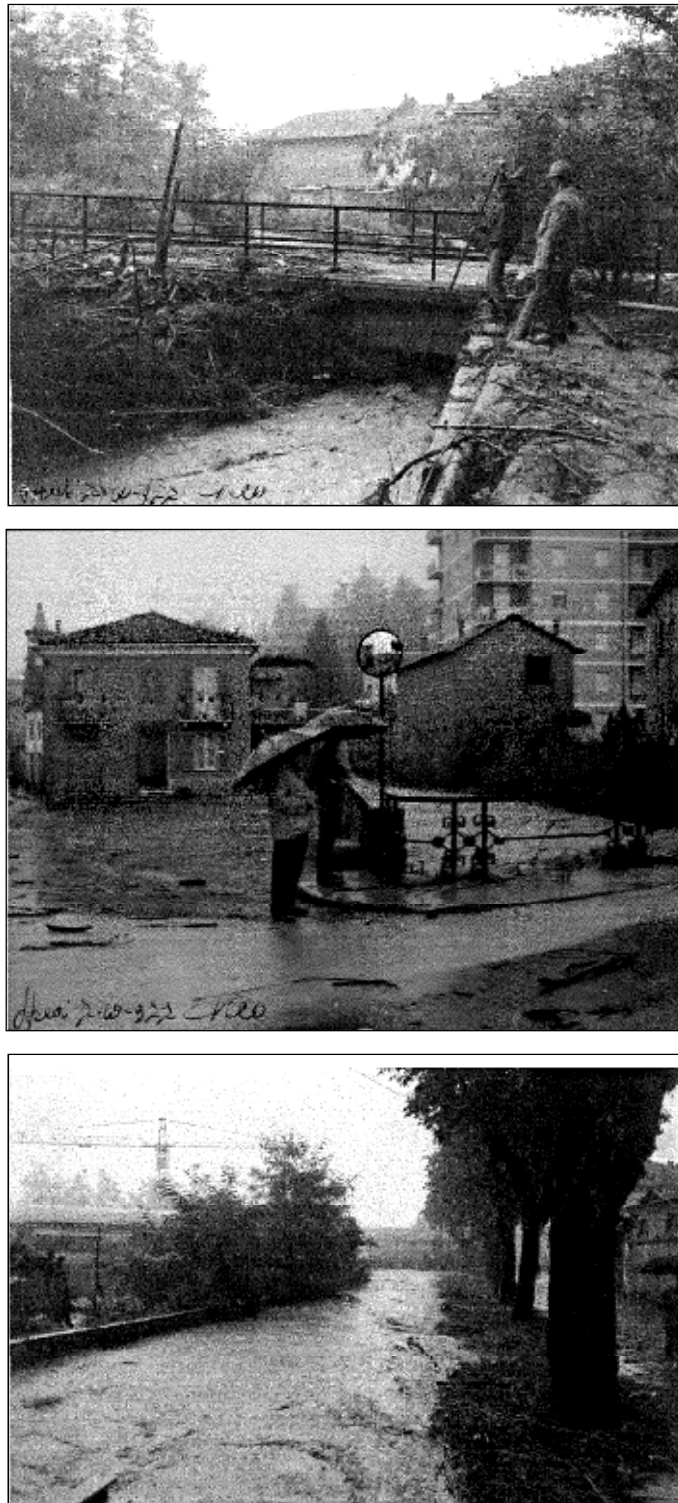


Figura 10: Alcuni attraversamenti entro l'abitato del borgo inferiore di Strevi, durante l'evento alluvionale del 1977; sono evidenti gli accumuli di materiale flottante che compromisero parzialmente la funzionalità delle sezioni di deflusso, favorendo l'esondazione delle acque nelle vie cittadine. La situazione attuale è sostanzialmente invariata.

5 IDROLOGIA

Il presente capitolo riassume le metodologie, i contenuti ed i risultati dello studio idrologico finalizzato all'esame degli eventi meteorici intensi sul bacino del Rio Crosio avente lo scopo di individuare il valore della portata con tempo di ritorno duecentennale necessaria alle verifiche idrauliche lungo l'asta fluviale nelle sezioni allo stato di progetto.

Obiettivo dello studio è stato quello di:

- fornire l'inquadramento idrologico generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici disponibili, delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo;
- analizzare l'effetto dei deflussi nell'ambito del territorio del bacino di riferimento.

5.1 Dati idrologici

Dal punto di vista idrologico il bacino idrografico in esame ha le caratteristiche tipiche di un bacino collinare, con influenza delle precipitazioni nevose trascurabile, a causa della modesta altitudine. Il periodo maggiormente critico per il manifestarsi di piene gravose è compreso tra settembre e novembre anche se sono possibili fenomeni alluvionali in quasi tutti i periodi dell'anno.

5.1.1 Elaborazioni statistiche dei dati pluviometrici

In base alle osservazioni pluviometriche locali disponibili sono state dapprima eseguite le usuali elaborazioni statistiche necessarie a fornire l'adeguata legge di distribuzione delle probabilità che meglio rappresenta il fenomeno idrologico. Sono state inoltre riportate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e contenute, fra l'altro anche nella D.G.R. 15 luglio 2002 n. 45-6656 "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po in data 26 aprile 2001, approvato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 24 maggio 2001. Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico".

5.1.2 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di cui al PAI

Nel presente studio, ai fini delle valutazioni degli eventi estremi, interessano essenzialmente le precipitazioni relativamente brevi ed intense; tali eventi hanno come elementi caratteristici il tempo di pioggia t_p , definito "durata" della precipitazione e

l'altezza di pioggia h . Qualora in una stazione pluviometrica si siano misurate le precipitazioni per un sufficiente numero di anni risulterà possibile classificare le massime annue aventi un'assegnata durata t_p in base ai tempi di ritorno T_r .

Ripetendo la classificazione per i vari t_p , si possono tracciare nel piano $h-t_p$ le curve aventi parametro T_r , che si definiscono linee segnalatrici di possibilità pluviometrica. Tali curve, dette anche "*curve di possibilità climatica*" sono rappresentabili con buona approssimazione da equazioni del tipo:

$$h = a t_p^n$$

ove a e n dipendono dalla stazione considerata e dal tempo di ritorno T_r .

Le elaborazioni necessarie alla valutazione delle precipitazioni di assegnata probabilità possono essere sviluppate sulla base delle serie storiche disponibili: in particolare a cura dell'Autorità di Bacino del Fiume Po sono state regolarizzate le serie dei valori massimi annuali delle precipitazioni di durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore secondo diverse leggi di probabilità. Le elaborazioni statistiche dei campioni di pioggia forniscono, per ciascuna stazione considerata, i coefficienti a ed n delle curve di possibilità climatica per differenti tempi di ritorno T_r . Le distribuzioni statistiche, estese poi alle zone di copertura diretta con un reticolo avente lato 2 km, sono state applicate per tempi di ritorno pari a 20, 100, 200 e 500 anni. In particolare, le valutazioni sul comportamento del bacino in condizioni critiche sono state eseguite con un tempo di ritorno pari a 200 anni, come verrà più ampiamente descritto in seguito.

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po fornisce, nell'ambito della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

Nelle tabelle che seguono sono riportate le espressioni analitiche delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) proposte per il bacino in analisi, fornite dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e le corrispondenti celle del reticolo di cui in precedenza. La scelta dell'appartenenza di un bacino ad una cella piuttosto che la sua esclusione è stata fatta valutando la porzione territoriale di bacino appartenente ad una determinata cella PAI

La celle di interesse per il bacino idrografico del Rio Crosio sono riportate nella tabella seguente insieme alle espressioni analitiche delle curve proposte per le celle elencate, fornite dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po; in grassetto è indicato il valore medio assunto per la Curva di Possibilità Pluviometrica (CPP) del bacino del Rio Crosio.

Parametri curva di possibilità climatica $h = a t^n$										
CELLA	COORD_EST	COORD_NORD	aTR20	nTR20	aTR100	nTR100	aTR200	nTR200	aTR500	nTR500
CB125	459000	4951000	41.77	0.409	55.08	0.406	60.75	0.404	68.24	0.404
CC125	461000	4951000	43.78	0.408	57.84	0.405	63.83	0.404	71.75	0.403
CC126	461000	4949000	45.29	0.413	59.93	0.411	66.17	0.410	74.41	0.410
CD125	463000	4951000	45.87	0.406	60.70	0.404	67.01	0.403	75.35	0.403
CD126	463000	4949000	47.61	0.412	63.08	0.411	69.67	0.410	78.36	0.410
media			44.86	0.410	59.33	0.407	65.49	0.406	73.62	0.406

Tabella 3: Parametri curva possibilità climatica per il Rio Crosio

6 METODOLOGIA E CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Per la definizione della portata di progetto necessaria alla valutazione delle portate di piena, in assenza di stazioni di misura idrometrica diretta nell'ambito del bacino considerato, si è utilizzato un approccio di tipo indiretto basato sull'uso dei modelli proposti in letteratura. Nel caso specifico sono stati utilizzati i metodi congruenti con quanto proposto dal Piano per l'Assetto Idrogeologico del bacino del Po nell'ambito delle norme di attuazione della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica". In particolare per il bacino considerato ci si è riferiti al classico metodo razionale riferito alla stazioni pluviometriche presenti nell'ambito del bacino idrografico di interesse. Per poter giungere a valori congruenti della portata di piena di progetto è stato inoltre considerato il comportamento idraulico del corso d'acqua definito in base alla documentazione storica, ai dati di rilevamento, alla morfologia degli alvei e dei settori ad esso limitrofi nonché alle caratteristiche generali del bacino.

6.1 Metodo razionale

Il metodo razionale considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno dell'altezza di pioggia critica;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- la massima intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione t_c .

Tale metodo fa riferimento alla cosiddetta "formula razionale", presentando quindi già caratteri di un modello deterministico di formazione delle piene pur mantenendo nella definizione dei parametri notevole dose di empirismo.

È stato quindi applicato il metodo cinematico che esprime la portata al colmo come segue:

$$Q = \frac{C \cdot h_c \cdot S}{3,6 \cdot t_c}$$

dove:

C = coefficiente di deflusso

h_c = altezza di precipitazione, espressa in mm, relativa ad un dato tempo di ritorno ed una durata di pioggia pari a t_c ;

S = superficie del bacino espressa in km^2 ;

t_c = tempo di corrivazione del bacino espresso in ore.

Il tempo di corrivazione rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale. Per valutare il tempo di corrivazione nel presente studio sono state applicate le seguenti formule

- formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8\sqrt{H_0 - H_m}}$$

dove:

A = superficie del bacino espressa in km^2 ;

L = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

H_0 = altezza della sezione di chiusura espressa in m;

H_m = altezza media del bacino espressa in m.

- formula di Ventura

$$t_c = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove:

A = superficie del bacino espressa in km^2 ;

i_m = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

- formula di Pezzoli

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta del corso d'acqua principale in km;

i_m = pendenza media dell'asta principale espressa in m/m.

Normalmente per bacini di ridotte dimensioni l'effetto d'invaso può essere trascurato. Per gli altri parametri diversi autori hanno fornito diverse correlazioni ottenendo valori non univoci.

In definitiva occorre osservare come il valore del coefficiente di deflusso C assume valori molto diversi a seconda delle caratteristiche geomorfologiche e meteorologiche del bacino: esso dipende infatti dalla natura dei terreni, dal grado di saturazione del suolo al momento della precipitazione (condizione questa che cambia nel tempo in funzione anche dell'intensità dell'evento pluviometrico), dalla pendenza media dei versanti del bacino imbrifero, dall'estensione e dal tipo di copertura vegetale, dalla presenza delle opere realizzate dall'uomo. Inoltre il bacino normalmente non ha caratteristiche uniformi ed è quindi necessario adottare un valore medio. Nella letteratura tecnica esistono diverse tabelle di riferimento che aiutano i progettisti nella valutazione di tale coefficiente. I valori indicati in tali tabelle oscillano mediamente da un minimo di 0,1, per superfici molto permeabili coperte da boschi, a 0,8 per terreni compatti ed utilizzati in agricoltura.

Nel seguito si riportano le indicazioni fornite dalla Direttiva citata in precedenza.

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

Tabella 4: Valori di riferimento coefficiente di deflusso (Ven Te Chow, 1964)

7 VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

Il presente paragrafo si prefigge di valutare le portate al colmo nelle sezioni significative del reticolo idrografico; in particolare per il bacino considerato si condurranno due diverse simulazioni lungo l'asta del Rio Crosio: la prima lungo le sezioni tracciate nei settori A e B e la seconda lungo il settore C.

Nel seguito si individueranno dunque le due portate aventi tempo di ritorno di 200 anni utilizzate all'interno dei modelli idraulici per i due bacini individuati e chiusi a monte del ponte sulla SS 30 (Via Alessandria) per i settori A e B ed in corrispondenza della confluenza con il fiume Bormida per il settore C.

7.1 Tempo di corrivazione

Si è scelto di assumere come valore per la progettazione il tempo di corrivazione mediato sui tre valori ottenuti in precedenza, pari a:

- Settore A e B: 1,28 ore
- Settore C: 1,82 ore

Giandotti	Ventura	Pezzoli	media
1.63	1.20	1.00	1.28

Tabella 5: Tempi di corrivazione del bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura sul ponte della SS 30 (Via Alessandria)

Giandotti	Ventura	Pezzoli	media
2.11	1.73	1.63	1.82

Tabella 6: Tempi di corrivazione del bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura alla confluenza con il Bormida di Spigno

7.2 Coefficienti di deflusso

Per quanto concerne i coefficienti di deflusso, si è stimato un coefficiente di deflusso C pari a 0,6 per tutti i settori.

7.3 Altezze di pioggia

Sulla base delle curve di possibilità climatica disponibili e dei tempi di corrivazione definito in precedenza per i settori A+B e C, è possibile definire le altezze della pioggia di progetto. I valori ottenuti sono riportati nelle tabelle di seguito riportate.

$h_c (T_r = 20)$	49.57	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	65.51	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	72.29	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	81.27	[mm]

Tabella 7: Altezze di pioggia del bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura sul ponte della SS 30 (Via Alessandria)

$h_c (T_r = 20)$	57.39	[mm]
$h_c (T_r = 100)$	75.79	[mm]
$h_c (T_r = 200)$	83.60	[mm]
$h_c (T_r = 500)$	93.97	[mm]

Tabella 8: Altezze di pioggia del bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura alla confluenza con il Bormida

7.4 Portate di progetto

Il calcolo delle portate con il metodo cinematico ha condotto ai seguenti risultati.

$Q_{(T_r = 20)}$	22.24	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 100)}$	29.39	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 200)}$	32.43	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 500)}$	36.46	[m ³ /s]

Tabella 9: Valori di portata per il bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura sul ponte della SS 30 (Via Alessandria)

$Q_{(T_r = 20)}$	27.68	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 100)}$	36.56	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 200)}$	40.33	[m ³ /s]
$Q_{(T_r = 500)}$	45.33	[m ³ /s]

Tabella 10: Valori di portata per il bacino del Rio Crosio con sezione di chiusura alla confluenza con il Bormida di Spigno

Per le verifiche in moto permanente riportate nel seguito sono stati adottati i seguenti valori di portata duecentennale:

- Simulazione lungo i settori A e B: **32,43 m³/s**
- Simulazione lungo il settore C: **40,33 m³/s**

Sulla base dei valori di portata definiti nel presente documento si è proceduto alle analisi idrauliche nelle sezioni utili individuate sull'asta principale del bacino in esame.

SEZIONE 2 - RELAZIONE IDRAULICA

1 ANALISI IDRAULICHE

L'obiettivo delle analisi idrauliche in moto permanente riportate successivamente per il Rio Crosio è quello di verificare se gli interventi in progetto siano compatibili con la piena di progetto duecentennale e quindi necessari ai fini della stabilizzazione del corso d'acqua e del miglioramento delle condizioni di sicurezza degli abitati più prossimi ad esso.

Le prestazioni richieste alle opere in progetto derivano dalla necessità di limitare i fenomeni erosivi a carico dell'asta del Rio Crosio, stabilizzare l'asta fluviale e trattenere una parte del materiale trasportato dalla corrente in caso di eventi straordinari in modo tale da migliorare le condizioni di sicurezza, dal punto di vista idraulico, per l'abitato a valle della Via Alessandria; per tale settore il corso d'acqua è costretto al passaggio in una serie di attraversamenti situati anche a ridosso di alcuni fabbricati, la cui ostruzione comporterebbe conseguenti fenomeni di allagamento per l'abitato nel settore vallivo.

Collocandosi gli interventi del settore di monte (settori A e B) in un'area boscata, al fine di conciliare le esigenze di corretto inserimento ambientale, si è previsto l'utilizzo di una tipologia di intervento a scogliera vegetata.

Tali opere potranno quindi svolgere una duplice funzione:

- opporsi per gravità, grazie alla pezzatura del materiale posto in opera, alla forza di trascinamento della corrente,
- inserirsi in modo ottimale in fase di esercizio nel contesto ambientale dell'area e nel contempo aumentare il consolidamento delle opere esistenti (briglie in c.a.), limitando lo scalzamento delle stesse e l'aggiramento da parte della corrente.

Per quanto riguarda le platee di fondo in progetto, anch'esse avranno un basso impatto ambientale, essendo costituite da massi di cava mutuamente incastrati e intasati dal materiale proveniente dagli scavi, e avranno la funzione di mitigare l'azione erosiva della corrente in uscita dalle briglie di consolidamento esistenti grazie alla pezzatura del materiale posto in opera.

La vasca di trattenuta, che sarà inserita nel settore B, avrà la funzione di trattenere al suo interno una parte del materiale flottante trasportato dalla corrente in caso di eventi di piena straordinari in modo tale da aumentare la sicurezza dell'abitato di Strevi in corrispondenza degli attraversamenti esistenti, limitandone il rischio di occlusione. L'inserimento di tale manufatto contribuirà anche al consolidamento del fondo dell'asta del Rio Crosio insieme alle briglie esistenti già inserite; sarà indispensabile provvedere

alla sistematica manutenzione del manufatto nel tempo, avendo cura di verificarne il corretto funzionamento e programmando la pulizia a carico del fondo e dei pettini dell'opera sia in condizioni ordinarie che per ogni evento di piena di rilievo.

Le operazioni di riprofilatura e scavo site nel settore C hanno come obiettivo il mantenimento dell'efficienza idraulica del Rio Crosio in tutto il tratto che dal ponte della SP195 prosegue fino al depuratore comunale, consentendo nel tempo la manutenzione dell'asta e migliorando la sicurezza del depuratore stesso in caso di eventi di piena. Anche per questi interventi si raccomanda la costante manutenzione a carico delle sponde, le quali dovranno essere periodicamente oggetto di tagli e sfalci a mantenere le migliori condizioni per il deflusso della portata all'interno delle sezioni del Crosio.

La modellistica idraulica utilizzata necessita dei seguenti elementi di ingresso:

- piano quotato dell'asta fluviale presa in esame
- valori di scabrezza a caratterizzare la resistenza al moto dovuta all'attrito al contorno;
- condizioni al contorno necessarie per la taratura dei modelli.

1.1 Geometria delle sezioni

La geometria delle sezioni è stata ricavata mediante realizzazione di rilievi topografici di dettaglio dei settori di interesse, prestando attenzione ai cambiamenti significativi sia di sezione sia di pendenza del corso d'acqua in modo tale di ottenere una buona rappresentazione dell'asta fluviale. Sono state quindi tracciate delle sezioni trasversali opportunamente infittite nei settori di condizionamento dell'alveo, per descrivere numericamente le caratteristiche del tratto in esame.

Le sezioni trasversali, come richiesto dal programma di simulazione idraulica, sono numerate da valle verso monte e sono visualizzate con vista da monte (sponda destra a destra) posizionate il più possibile perpendicolari al corso d'acqua.

Nel presente studio le sezioni utilizzate per la modellazione dell'asta del Rio Crosio sono:

- Simulazione lungo i settori A e B:
- Simulazione lungo il settore C:

1.2 Valori di scabrezza

Il comportamento idraulico dell'area interessata dal deflusso è funzione del tipo di materiale che costituisce il fondo alveo. Alla diversa natura e copertura dei terreni sono associabili specifiche caratteristiche di scabrezza idraulica, stabilite ai fini della simulazione del fenomeno. Nel caso in esame è stato possibile individuare valori plausibili di tale parametro sulla base delle classificazioni disponibili in letteratura. Si fa comunque presente che il possibile errore nella stima delle scabrezze è normalmente inferiore rispetto ad altre insite nelle ipotesi di calcolo.

A seguito di valutazioni effettuate si è stabilito di far riferimento a quanto proposto dalla Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po dell'11.05.99 assumendo per l'alveo tali valori secondo Strickler:

- 25-30 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per alvei con ciottoli ed irregolarità modeste;
- 30-35 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per alvei regolari con vegetazione erbacea;
- 50 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per alvei artificiale in muratura – pietre grossolanamente squadrate;
- 60 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per calcestruzzo vecchio, superficie pulita.

Nello specifico il programma di simulazione idraulica richiede i valori espressi secondo Manning e pertanto si sono assunti i seguenti per i settori A e B:

- 0,036 $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ quale valore relativo all'alveo ed alle sponde;
- 0,023 $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ quale valore relativo alla scogliera in massi. Si è scelto di adottare un valore superiore in quanto le scogliere in progetto risultano intasate con terra agraria.

Mentre per il settore C sono stati assunti i seguenti:

- 0,033 $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ quale valore relativo all'alveo ed alle sponde;
- 0,025 $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ quale valore relativo alla scogliera in massi;
- 0,017 $\text{m}^{-1/3}\text{s}$ quale valore relativo al muro in calcestruzzo presenti a monte del ponte sulla SP195.

Per le condizioni attuali del profilo di fondo si è fatto riferimento a condizioni di tipo misto, al variare della presenza di discontinuità e variazioni di pendenza significative.

Come condizioni al contorno di monte e di valle è stato assunto il deflusso in moto uniforme secondo le pendenze locali dell'asta.

1.3 Simulazione in moto permanente

La modellazione è effettuata allo stato di progetto per simulare gli effetti determinati dall'evento di piena sulle opere e sulle aree adiacenti.

Il motore di calcolo del profilo è costituito dalla versione 4.1.0 di *Hec-Ras*, messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI.

Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata *standard step method* ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y	profondità della corrente nella sezione [m]
z	quota del fondo [m]
V	velocità media della corrente nella sezione [portata totale/area totale]
α	coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione
g	accelerazione di gravità pari a 9,81 [m/s ²]
h_e	perdita di energia [m]

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura 11.

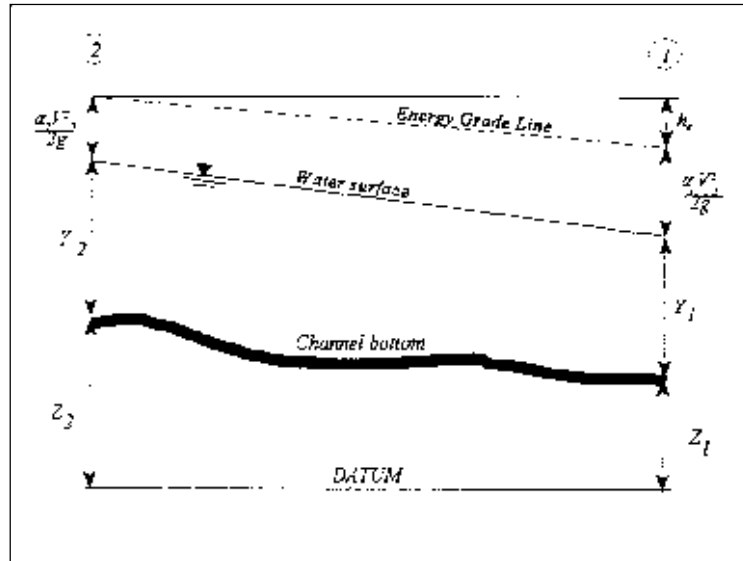


Figura 11: Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da Manuale d'uso Hec-ras 2001)

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice $_{lob}$), canale principale (pedice $_{ch}$), golena destra (pedice $_{rob}$), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e , comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione:

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L = lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa divisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove i simboli L , ciascuno con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m^3/s);

S_f = pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C = coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula espressa in m^3/s :

$$Q = K S_f^{0.5}$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K = capacità di convogliamento di ciascun settore (m^3/s)

espressa come:

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

con

n = coefficiente di scabrezza [$m^{-1/3} s$] secondo Manning

A = area bagnata del settore di area [m^2]

R = raggio idraulico del settore [m]

	<i>Contrazione</i>	<i>Espansione</i>
<i>Nessuna variazione</i>	0.0	0.0
<i>Variazione graduale</i>	0.1	0.3
<i>Tipica situazione in corrispondenza di un ponte</i>	0.3	0.5
<i>Brusca variazione</i>	0.6	0.8

Tabella 11: Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni

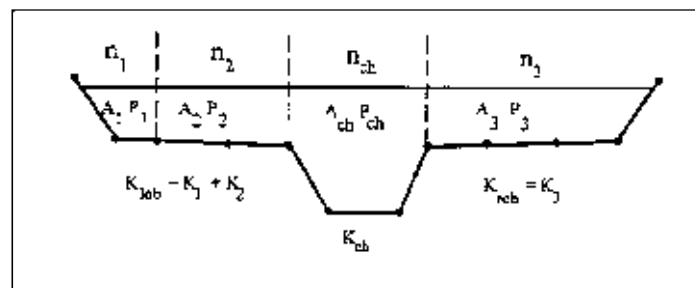


Figura 12: Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1/5})}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c	coefficiente di scabrezza equivalente
P	contorno bagnato dell'intero canale principale
P_i	contorno bagnato della i-esima suddivisione
n_i	scabrezza della i-esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. La relazione allora diventa:

$$\alpha = \frac{(A_{tot})^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_{tot})^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.) valutando la corrente a pelo libero e il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato oltre alla combinazione della corrente in pressione con quella determinata dallo scavalco dell'impalcato stesso.

Il programma, infine, permette di simulare lunghi tratti tombinati a sezione variabile mediante l'opzione denominata *lid*, che computa le sezioni munite di *lid* come se fossero sezioni a cielo aperto utilizzando l'equazione dell'energia per il bilanciamento del profilo del pelo libero con l'unica differenza di sottrarre area e aggiungere perimetro bagnato quando il pelo libero viene a contatto con la copertura.

Typical drag coefficients for various pier shapes	
Pier Shape	Drag Coefficient Cd
<i>Circular pier</i>	1.200
<i>Elongated piers with semi-circular ends</i>	1.330
<i>Elliptical piers with 2:1 length to width</i>	0.600
<i>Elliptical piers with 4:1 length to width</i>	0.320
<i>Elliptical piers with 8:1 length to width</i>	0.029
<i>Square nose piers</i>	2.000
<i>Triangular nose with 30 degree angle</i>	1.000

Tabella 12: Coefficienti di resistenza consigliati dal manuale Hec-ras (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

2.1 Settori A e B

Le simulazioni idrauliche lungo l'asta del Rio Crosio nel tratto in corrispondenza del fondovalle su cui si erge la scarpata ospitante l'edificato di Strevi sono state effettuate inserendo le 33 sezioni trasversali, atte a caratterizzare la geometria del modello, avendo fissato le condizioni di scabrezza per il fondo alveo e le sponde e la pendenza del tratto in esame (condizioni al contorno del modello monodimensionale) oltre al valore della portata di riferimento $Q_{Tr=200}$ pari a $32,43 \text{ m}^3/\text{s}$.

La geometria dell'asta fluviale è stata schematizzata come riportato nella seguente immagine.

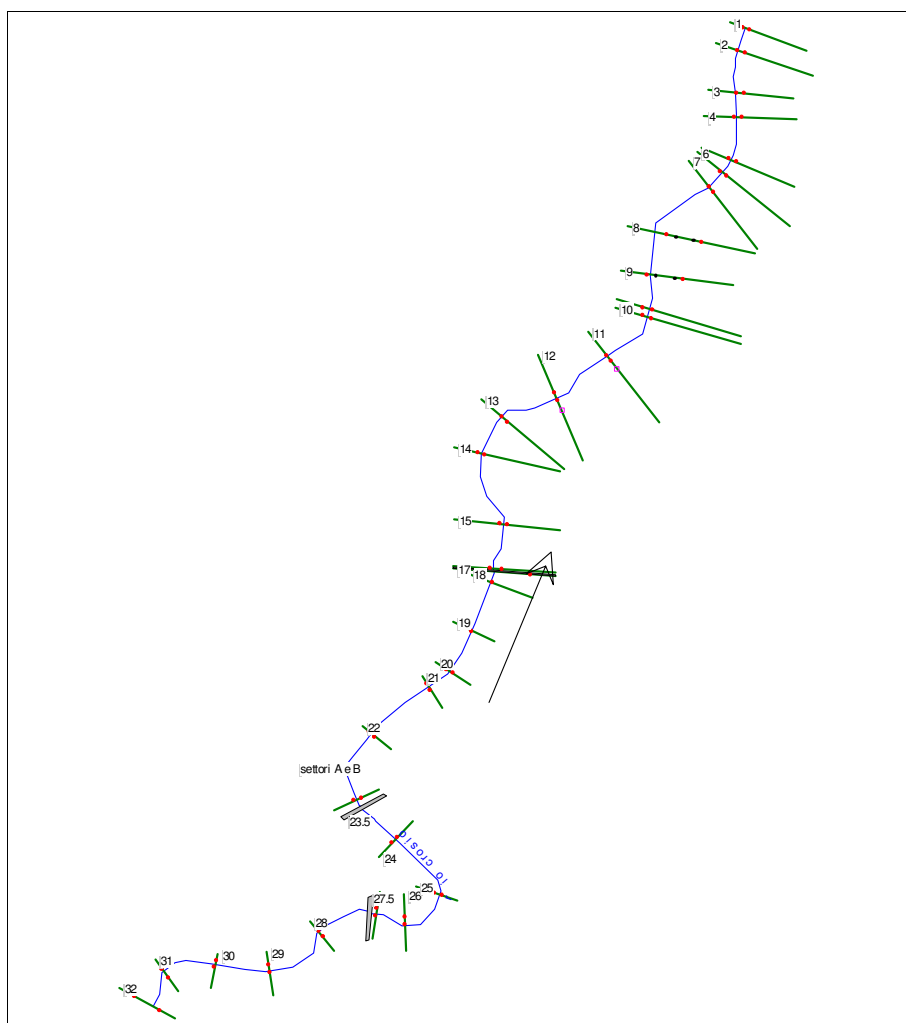


Figura 13: Geometria del modello idraulico dei settori A e B in Hec Ras

Le verifiche sono state condotte allo stato di fatto ed allo stato di progetto, confrontando gli scenari progettuali nel caso di briglia a pettine completamente libera e completamente occlusa (sezioni 9 e 8 del modello idraulico).

Analizzando la simulazione condotta allo stato di fatto si evidenzia un profilo di fondo irregolare nelle sezioni a valle delle sistemazioni trasversali esistenti.

La pendenza media del corso d'acqua nel tratto in analisi risulta essere pari al 2,00 %.

Lungo il tratto analizzato si sviluppano entrambi i regimi di corrente: veloce e lenta.

Il regime di tipo veloce è caratteristico delle sezioni site a valle delle briglie esistenti, dove la corrente raggiunge lo stato critico e dissipa l'energia derivante dal salto che ha compiuto per passare al di sopra dell'opera trasversale.

Anche le sezioni di valle, comprese tra la 5 e la 1, sviluppano un regime di tipo veloce a causa della morfologia del fondo e dalla pendenza elevata che le caratterizza.

Allo stato di fatto risulta evidente come l'alveo attivo non sia sempre in grado di contenere il tirante idrico che sviluppa una portata duecentennale, tendendo pertanto a fuoriuscire dalla sezione in destra idrografica. Le sezioni idraulicamente insufficienti a smaltire tale portata sono la n. 26, le sezioni comprese tra la 21 e la 17, la n. 13 e quelle comprese tra la 10 e la 3.

La simulazione evidenzia inoltre quali sezioni sviluppino velocità elevate e tali da creare problemi di erosione, come in precedenza confermato dai sopralluoghi svolti lungo il settore in analisi in corrispondenza delle sponde e delle opere esistenti.

Gli interventi in progetto lungo il settore, come ampiamente disquisito all'interno della *Relazione Generale* alla quale si rimanda per maggiori dettagli, non hanno la funzione di contenimento delle potenziali piene duecentennali lungo l'asta del Rio Crosio, ma hanno invece lo scopo di stabilizzare il settore di corso d'acqua decorrente in fregio alla scarpata su cui sorge l'abitato di Strevi in modo tale da evitare il formarsi di ulteriori zone soggette ad erosioni più o meno estese e di divagazioni/esondazioni che in un periodo più o meno breve comporterebbero una interferenza con le opere antropiche esistenti in affiancamento ed a valle del settore.

Sulla scorta di quanto affermato sono state eseguite le simulazioni allo stato di progetto, comprendenti la riprofilatura delle sezioni, l'inserimento delle opere antierosive e della vasca di trattenuta del materiale flottante trasportato dalla corrente in caso di eventi di piena.

Da tali simulazioni si ricavano i nuovi livelli di piena che si sviluppano all'interno delle sezioni e che nel complesso risultano inferiori agli stessi nello stato di fatto, contenuti nell'alveo attivo e con regimi di corrente invariati fino alle sezioni 14 e 13. A partire da

queste si osserva un incremento della velocità, associato alla decrescita del tirante idrico, dovuta alla sistemazione del tratto mediante una sezione confinata da scogliere antierosive in destra ed in sinistra e da un restringimento complessivo della stessa rispetto allo stato di fatto.

Localmente le opere antierosive inserite longitudinalmente vengono sormontate dal tirante idrico duecentennale che non risulta quindi completamente contenuto all'interno della sezione riprofilata. Ciò accade nella sezione 26 e nella 22, dove i battenti sono superiori rispetto alla sponda destra di qualche decina di centimetri.

Le velocità che si sviluppano in corrispondenza delle sezioni di progetto nella configurazione di briglia a pettine completamente libera variano da un minimo di 0,94 m/s (sezione 8) ad un massimo di 5,84 m/s (sezione 29), mentre nel caso di opera di trattenuta completamente occlusa si osserva un rallentamento della corrente tra le sezioni 14 e 8 ed un conseguente innalzamento del profilo di corrente causato dal passaggio della stessa corrente attraverso restringimento.

Nel complesso le velocità di corrente aumentano rispetto alla configurazione dello stato di fatto, ciò a causa della tipologia di intervento previsto, il quale diminuisce la scabrezza media del settore di Rio Crosio.

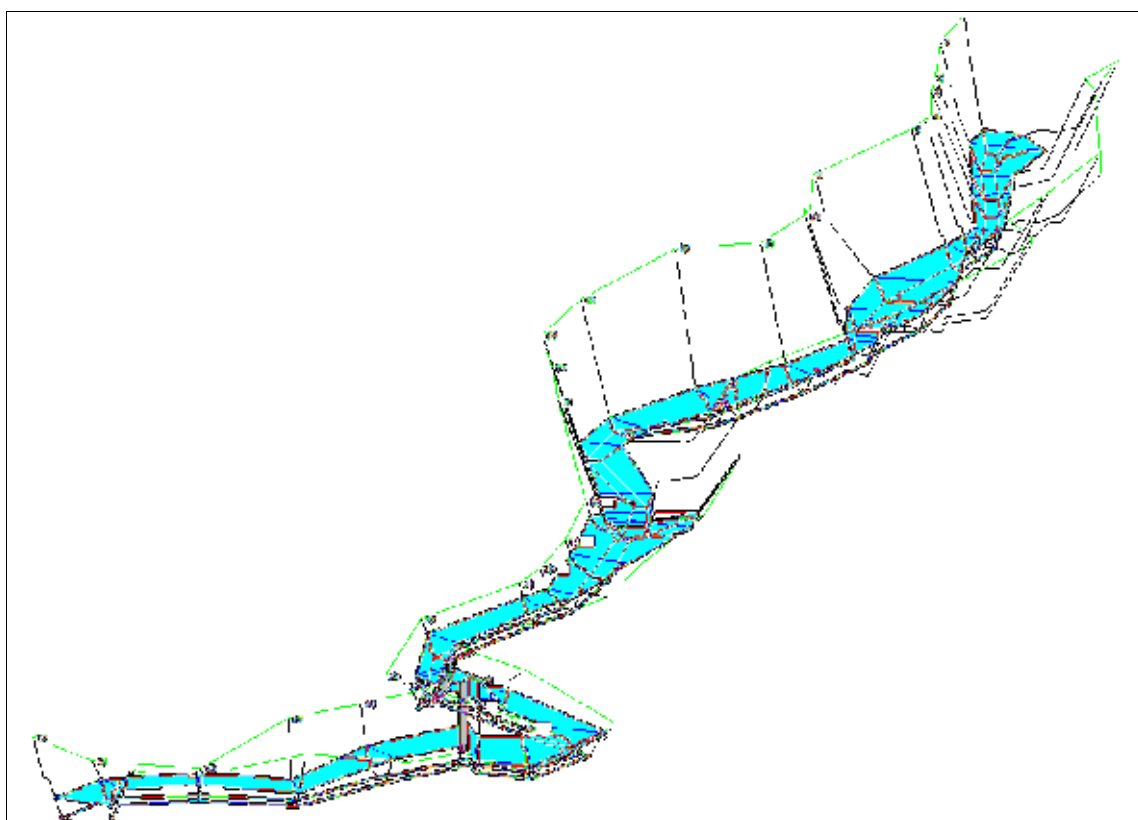


Figura 14: Simulazione settori A e B – briglia in progetto libera

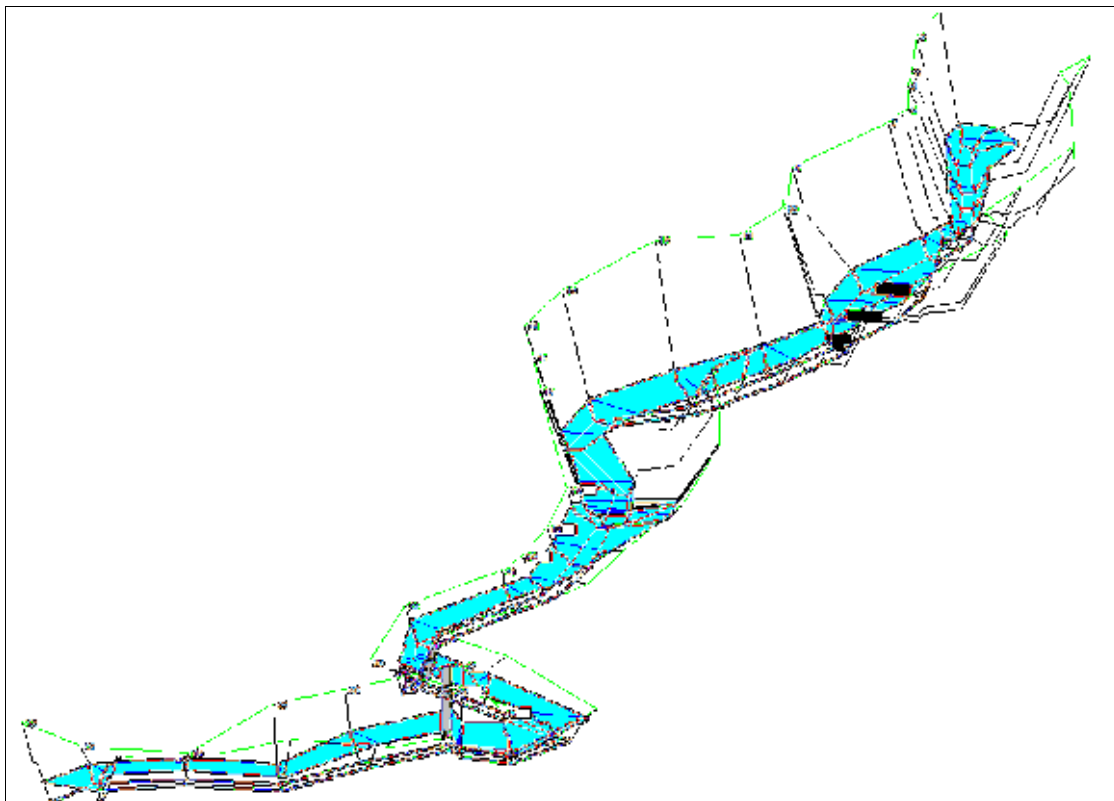


Figura 15: Simulazione settori A e B – briglia in progetto occlusa

2.2 Settore C

Le simulazioni idrauliche lungo l'asta del Rio Crosio nel settore C sono state effettuate inserendo le 39 sezioni trasversali, atte a caratterizzare la geometria del modello, avendo fissato le condizioni di scabrezza per il fondo alveo e le sponde e la pendenza del tratto in esame (condizioni al contorno del modello monodimensionale) oltre al valore della portata di riferimento $Q_{Tr=200}$ pari a $40,33 \text{ m}^3/\text{s}$.

La geometria dell'asta fluviale è stata schematizzata come riportato nella seguente immagine.

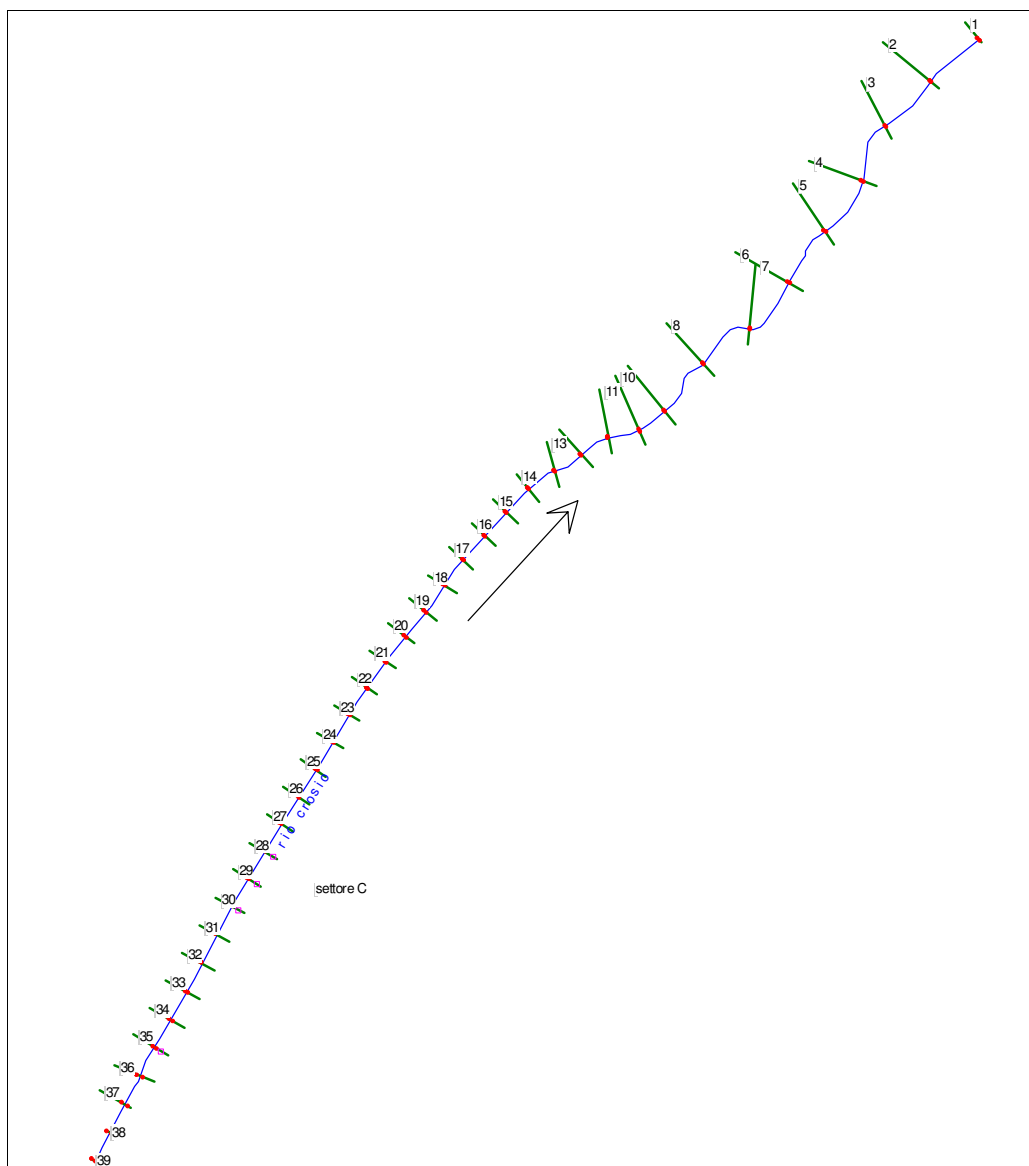


Figura 16: Geometria del modello idraulico del settore C in Hec Ras

Le verifiche sono state condotte allo stato di fatto ed allo stato di progetto, confrontando gli scenari progettuali ante e post riprofilatura delle sezioni comprese tra la 39 e la 27 del modello.

Nel complesso le operazioni di riprofilatura del Rio Crosio nel settore in esame risultano migliorative: il battente che sviluppa una portata di piena duecentennale è sempre contenuto all'interno dell'alveo attivo, a differenza della simulazione condotta allo stato attuale. Tale abbassamento del profilo di corrente porta ad un moderato aumento delle velocità in corrispondenza di alcune delle sezioni oggetto di intervento, sino ad un massimo di 5,5 m/s, valore comunque inferiore del massimo che si sviluppa

nel settore di valle (sezioni dalla 28 alla 1), per il quale non è previsto alcun tipo di riprofilatura.

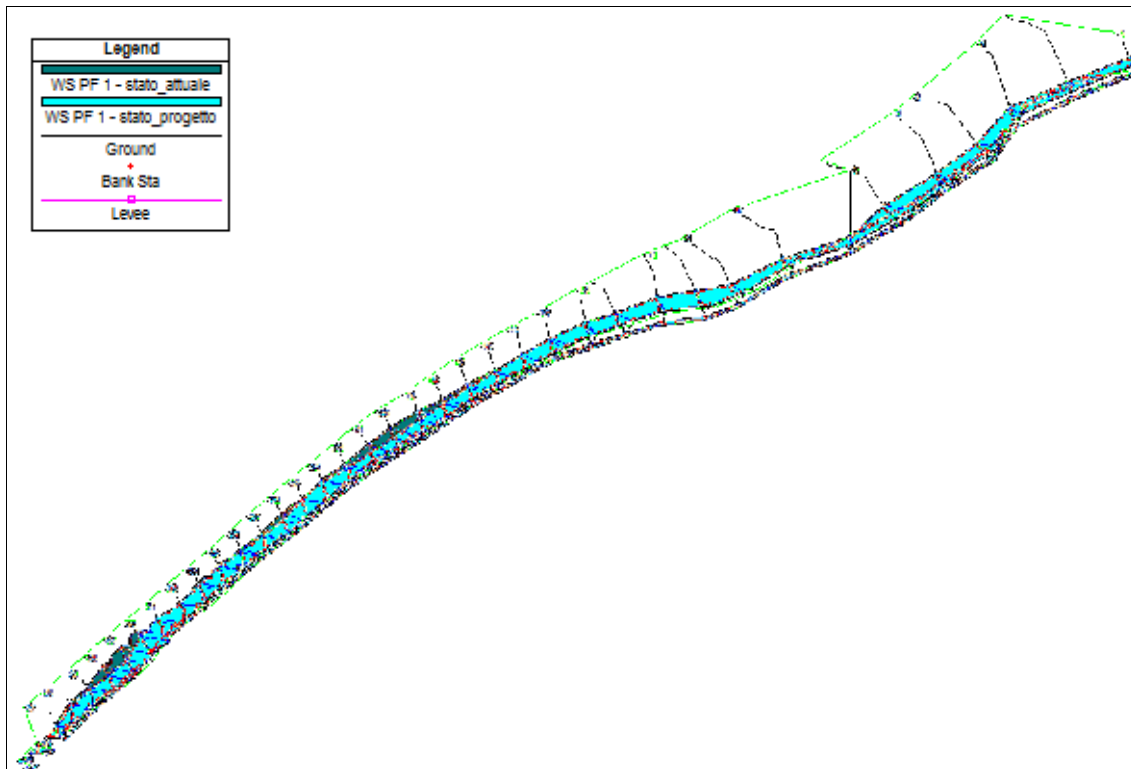


Figura 17: Simulazione settore C – Confronto stato ante e post operazioni di riprofilatura

3 VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE

3.1 Settori A e B

In letteratura sono disponibili varie formule per la valutazione della stabilità dei materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_0 \geq \tau_{cr}$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è minore o uguale a quella esercitata dalla corrente.

Al fine di impostare in modo corretto la progettazione delle difese spondali nel tratto in esame, occorre valutare in termini numerici, partendo dai valori delle portate e dei livelli di massima piena h definiti nella relazione idraulica, l'azione di erosione esercitata dalla corrente sul materiale costituente il rivestimento in progetto.

Lo sforzo tangenziale massimo τ_0 è ricavabile mediante grafici simili a quelli di Figura 18, dove sono riportati i valori ξ dello sforzo tangenziale massimo adimensionalizzato sul fondo e sulle sponde, in funzione del tipo di sezione e del rapporto b/h con b larghezza del fondo.

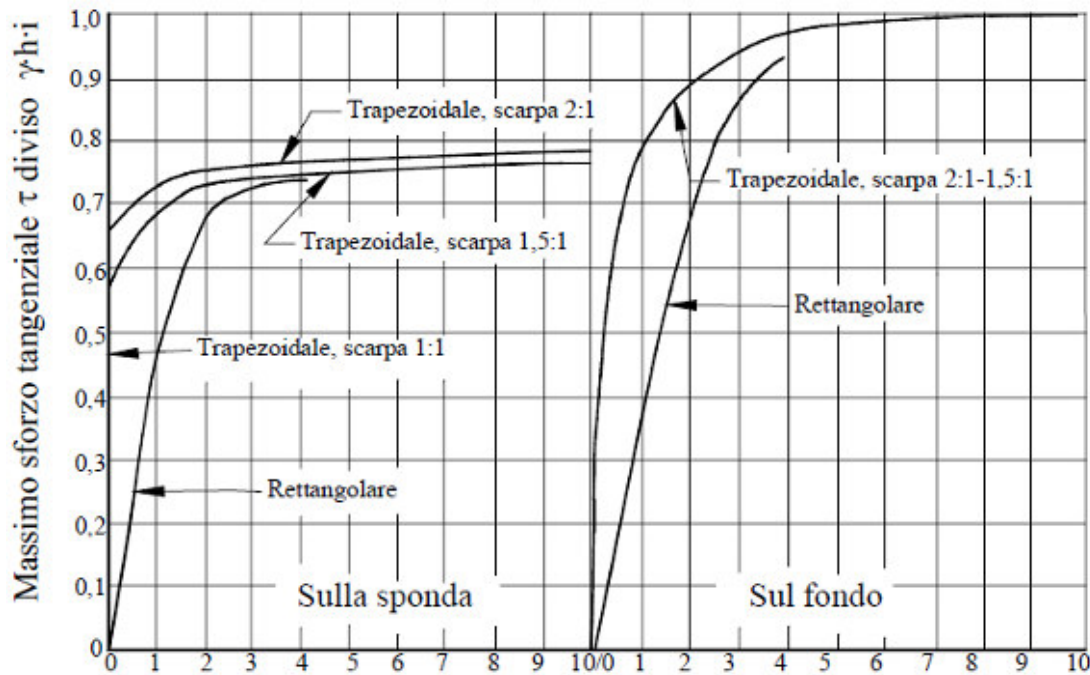


Figura 18: Sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde di alvei a sezione trapezia (*Lane e Carlson, 1953*), (*Maione U., Brath A., Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali, Editoriale Bios, 1994*)

Lo sforzo tangenziale è adimensionalizzato rispetto alla quantità $\gamma \cdot h \cdot i$, con i pendenza locale della linea dell'energia e γ peso specifico dell'acqua, e quindi può essere espresso dalla relazione:

$$\tau_0 = \xi * \gamma * h * i$$

da cui si ricava la velocità di attrito locale:

$$u^* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = (\xi * g * h * i)^{1/2}$$

e il numero di Reynolds della singola particella:

$$Re^* = u^* \cdot d / \nu$$

dove ν è la viscosità cinematica dell'acqua pari a 10^6 e d il diametro;

Noto tale parametro si calcola il parametro di mobilità critico di Shields θ_c che nel caso di alveo orizzontale, per $Re^* \geq 400$, si assume pari al valore 0,06:

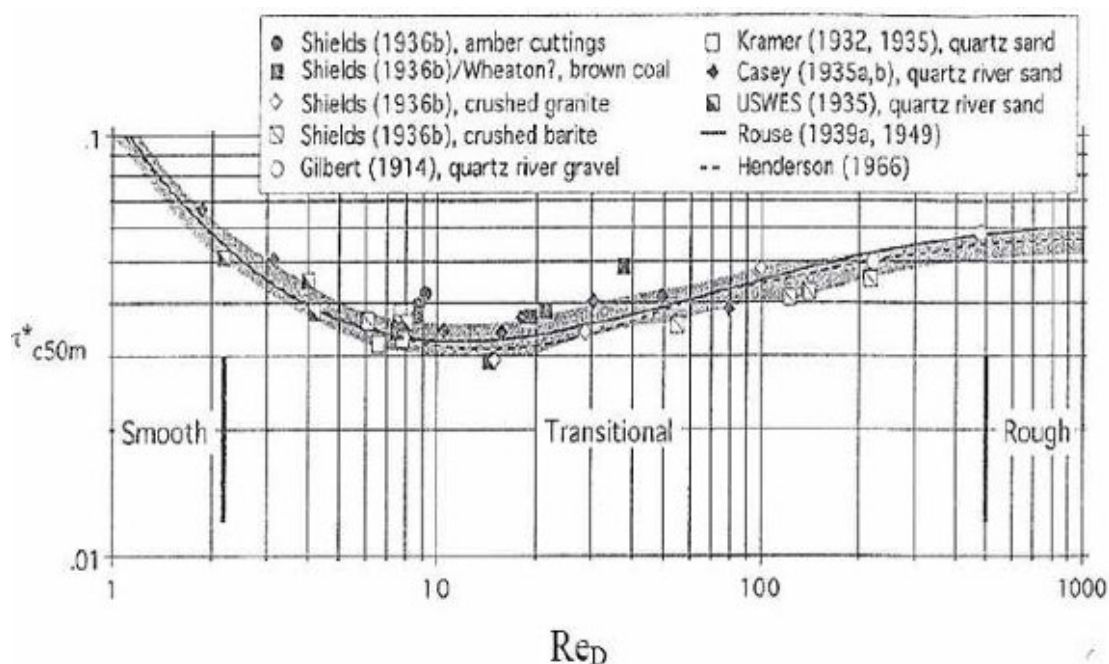


Figura 19- Abaco di Shields (1936)

Risulta:

$$\theta_c = u^2 / g d \Delta \quad \text{dove } \Delta = \gamma_s - \gamma_w / \gamma_w$$

tale valore critico può essere va corretto per tenere in conto:

- la pendenza del fondo qualora non trascurabile,
- la bassa sommergenza relativa in caso di protezioni di sponde, cioè dimensione dei massi dello stesso ordine del tirante idrico,
- dell'inclinazione delle stesse protezioni spondali.

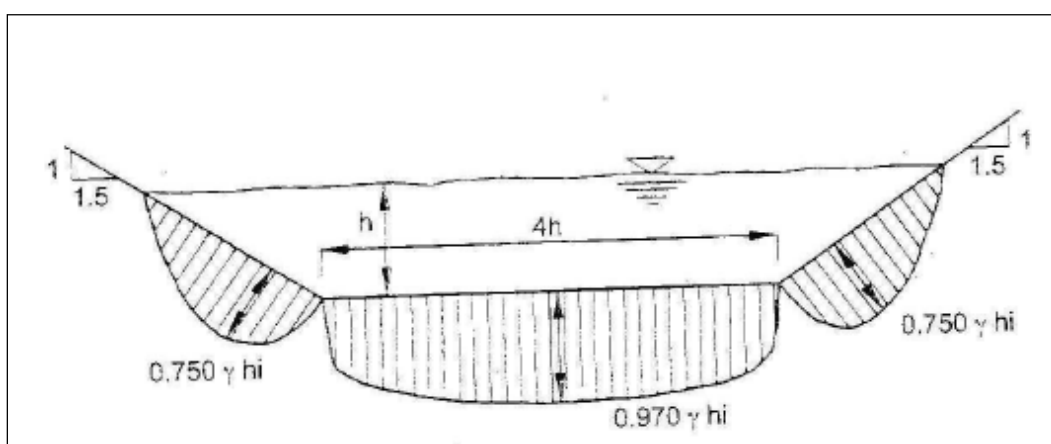


Figura 20: Andamento sforzo tangenziale per alveo trapezio

I fattori di correzione possono esprimersi nel seguente modo:

- $k_1 = (\cos \alpha - \sin \alpha / \tan \varphi)$, nel caso di pendenza del fondo non trascurabile, dove α è la pendenza del fondo alveo e φ l'angolo di attrito del materiale lapideo del fondo alveo;
- $k_2 = (1 + 0,67 (d/h)^{1/2})$ nel caso occorra computare gli effetti della sommergenza relativa (Armanini A., 1990);
- $k_3 = \cos \beta * (1 - \tan^2 \beta / \tan^2 \varphi_s)^{1/2}$ nel caso si debba considerare la pendenza delle sponde (Lane E.W., 1953), con β pendenza delle sponde e φ_s angolo di attrito del materiale lapideo di rivestimento della sponda.

I coefficienti appena illustrati possono essere applicati anche insieme se si presentano contemporaneamente alcune delle situazioni descritte.

Noto il parametro di mobilità critica si determina il valore del diametro dei massi attraverso la formula:

$$d = u^2 / g * \Delta * \theta_c$$

Per sponde in curva tale espressione andrà corretta con un fattore compreso tra 1 e 2 in unzione del raggio di curvatura e dell'ampiezza del pelo libero secondo l'abaco delle figura seguente

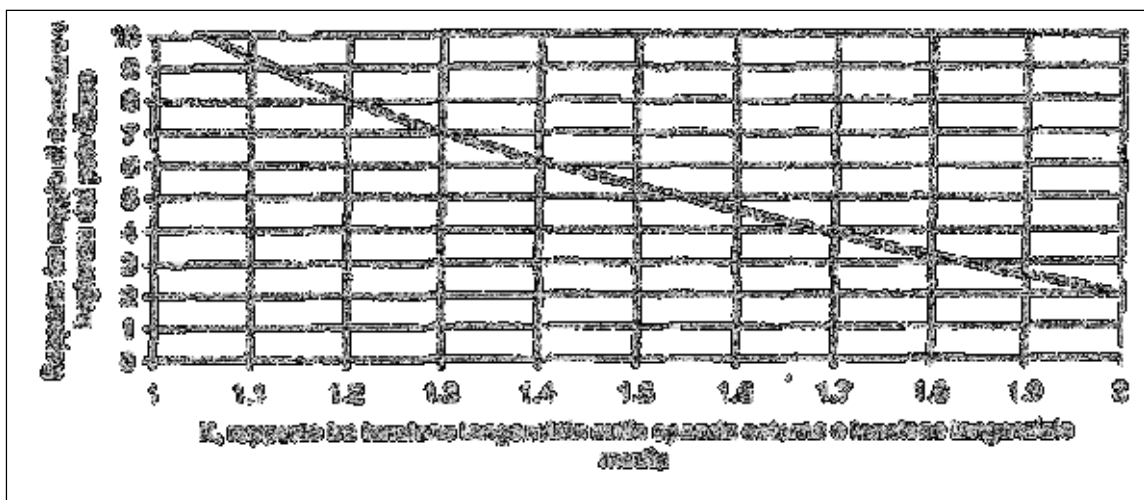


Figura 21: Fattore di correzione per alvei non rettilinei

Nel caso di specie l'alveo del Rio Crosio nel settore A presenta tratti sistemati con diversi valori di pendenza del fondo. Perciò, per effettuare le verifiche di trascinamento, è stato scelto il tratto che ha la maggiore pendenza di progetto, ovvero quello che comprende le sezioni tra la 32 e la 28 del modello, ove la pendenza corrisponde al 2,30%. Tra queste sezioni, la peggiore risulta la 28, per la quale le verifiche in moto

permanente hanno sviluppato un battente idrico h pari a 2,61m, da cui un rapporto b/h pari a 1,15, essendo b la larghezza del fondo.

Dalla Figura 18 si ricava pertanto:

$$\xi = 0,69$$

Da cui:

$$u^* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = (\xi * g * h * i)^{1/2} = (0,69 * 9,81 * 2,61 * 0,023)^{1/2} = 0,637$$

risulta $Re^* = 0,637 * 0,8 * 10^6 > 400$ per cui $\theta_c = 0,06$

avendo assunto un diametro della particella di 0,80 m, pari a un volume di una sfera equivalente di circa 0,3 m³.

Al valore critico $\theta_c = 0,06$ occorre apportare le correzioni descritte in precedenza essendo:

- angolo di attrito materiale lapideo = 55°
- inclinazione del fondo 2,30% = 1,32°
- inclinazione delle sponde 45°

$$k_1 = (\cos \alpha - \sin \alpha / \tan \varphi) = 0,97$$

$$k_2 = (1 + 0,67 (d/h)^{1/2}) = 1,37$$

$$k_3 = \cos \beta * (1 - \tan^2 \beta / \tan^2 \varphi)^{1/2} = 0,50$$

$$\text{Risulta } \theta^*c = 0,06 * 0,97 * 1,37 * 0,50 = 0,040$$

da cui:

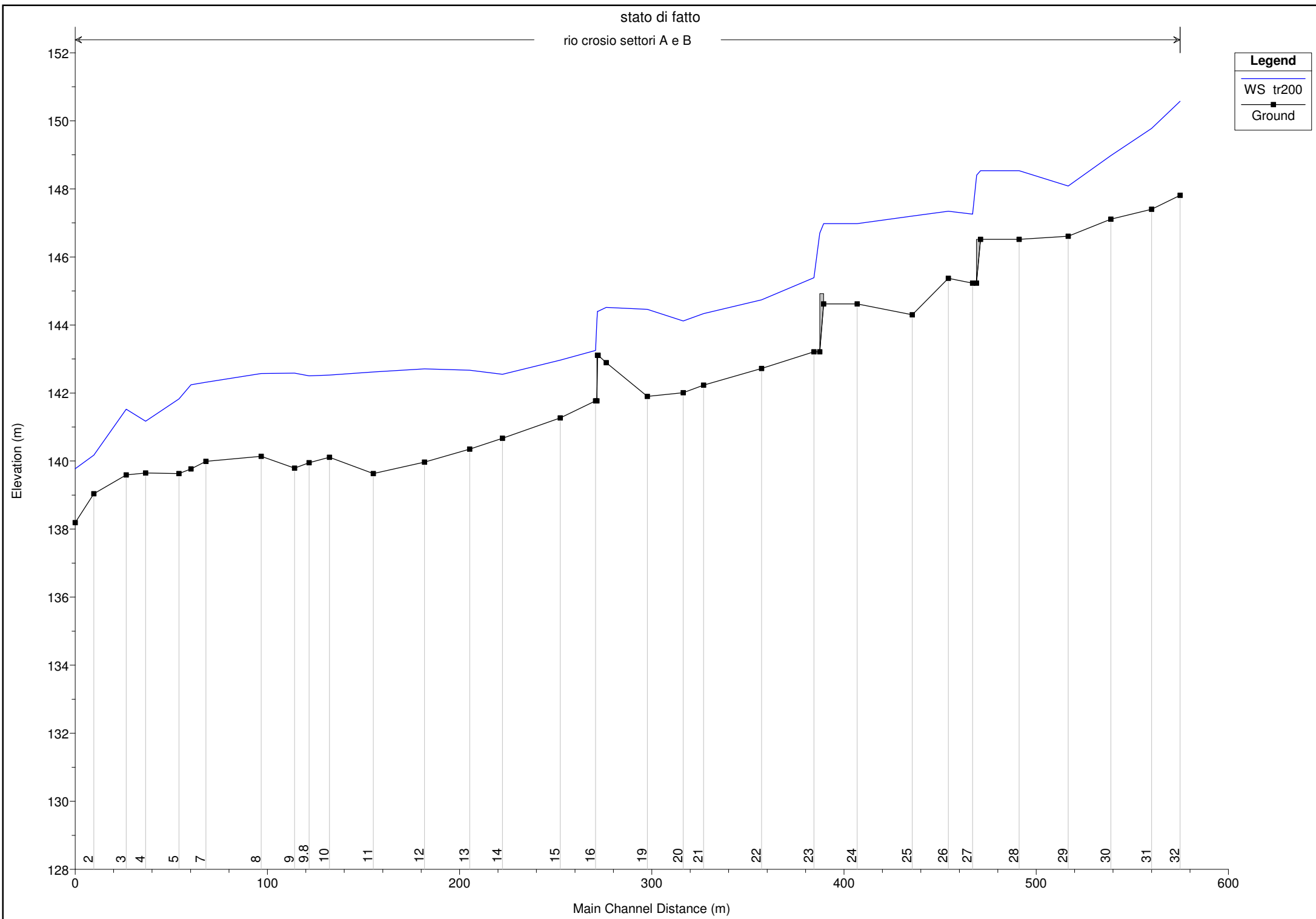
$$d = u^2 / g * \Delta * \theta_c = 0,637^2 / 9,81 * 1,67 * 0,040 = 0,62 \text{ m}$$

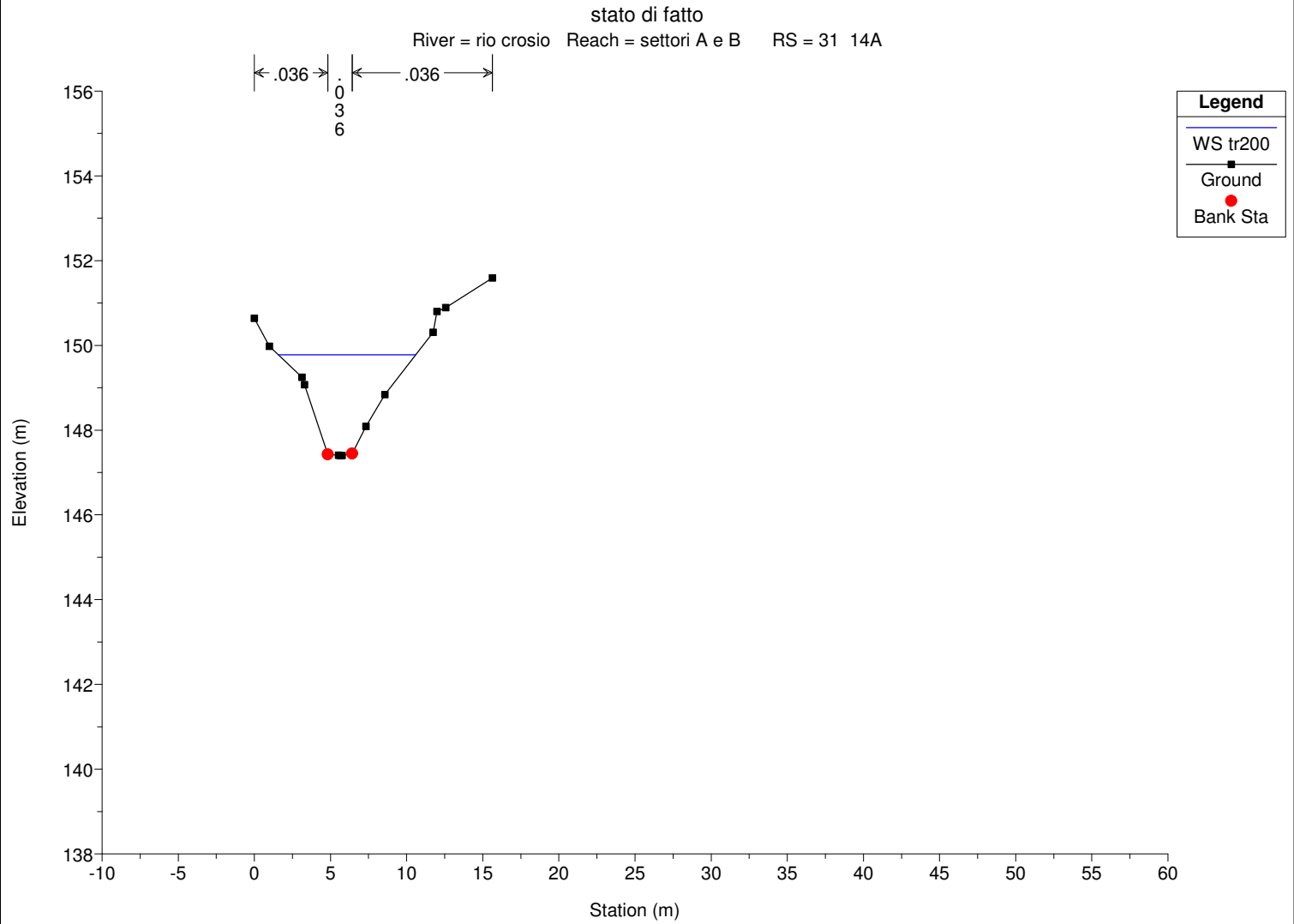
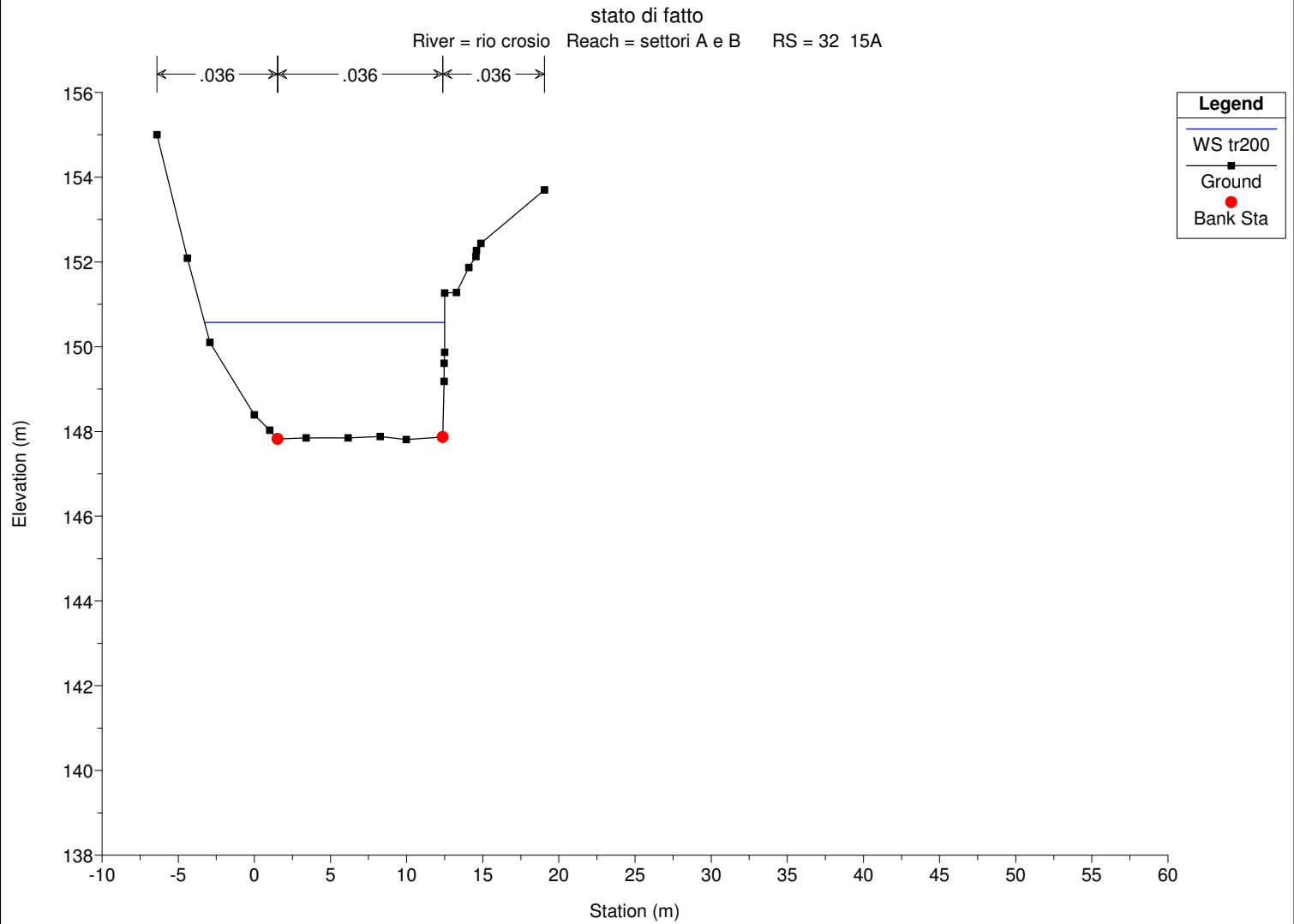
diametro inferiore al valore ipotizzato rappresentativo di massi con volume minimo di 0,3 m³.

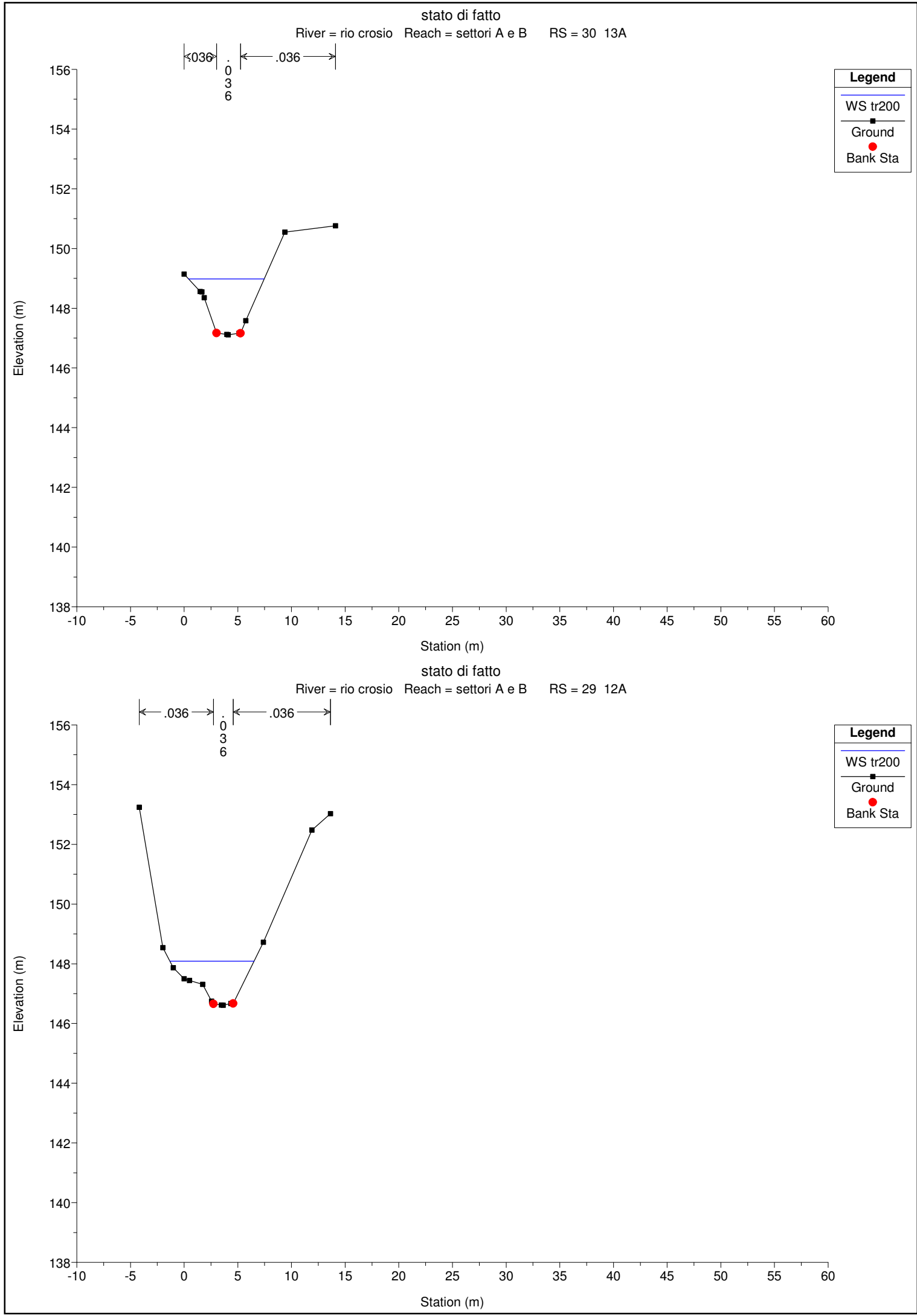
ALLEGATI

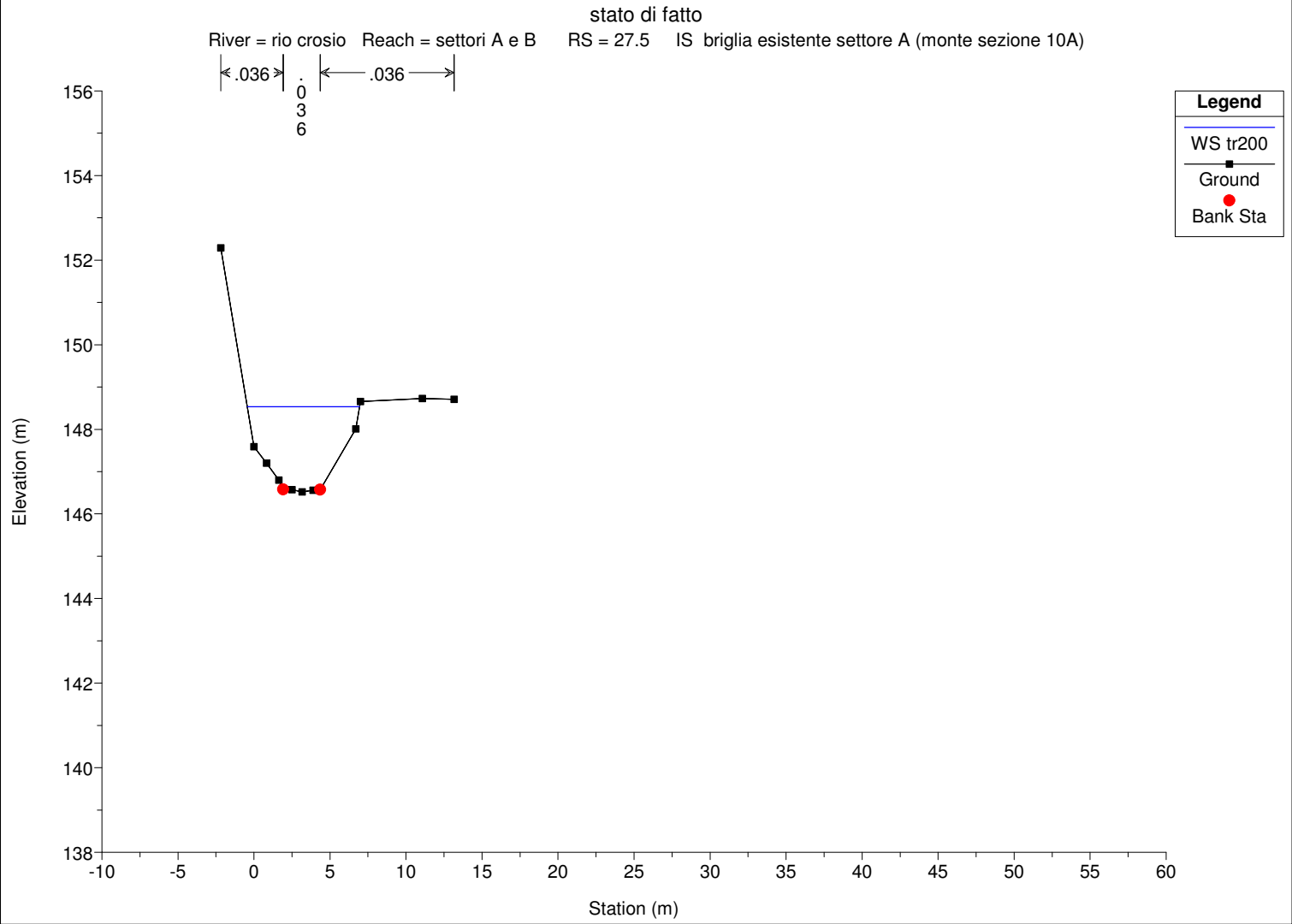
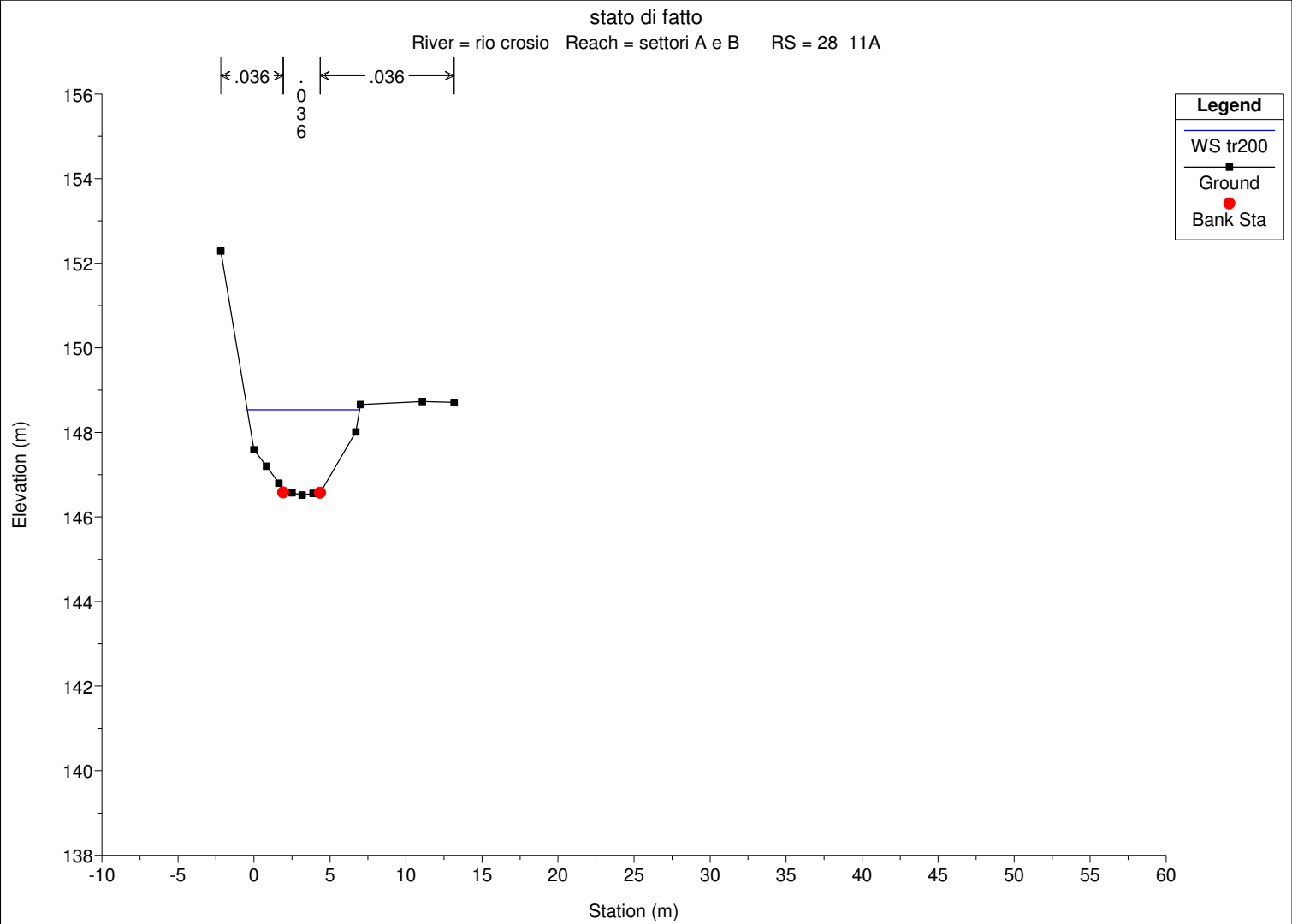
SETTORI A e B

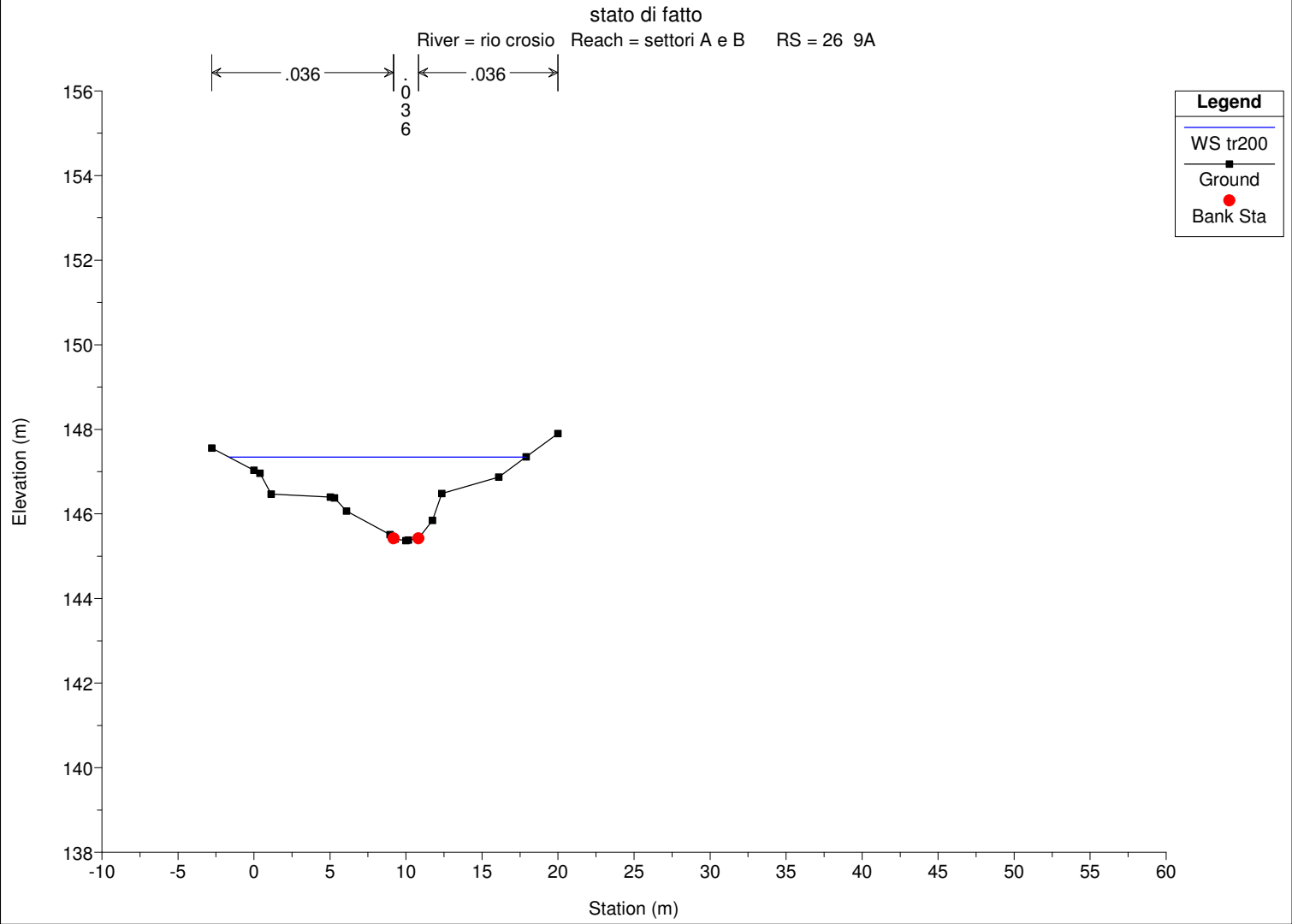
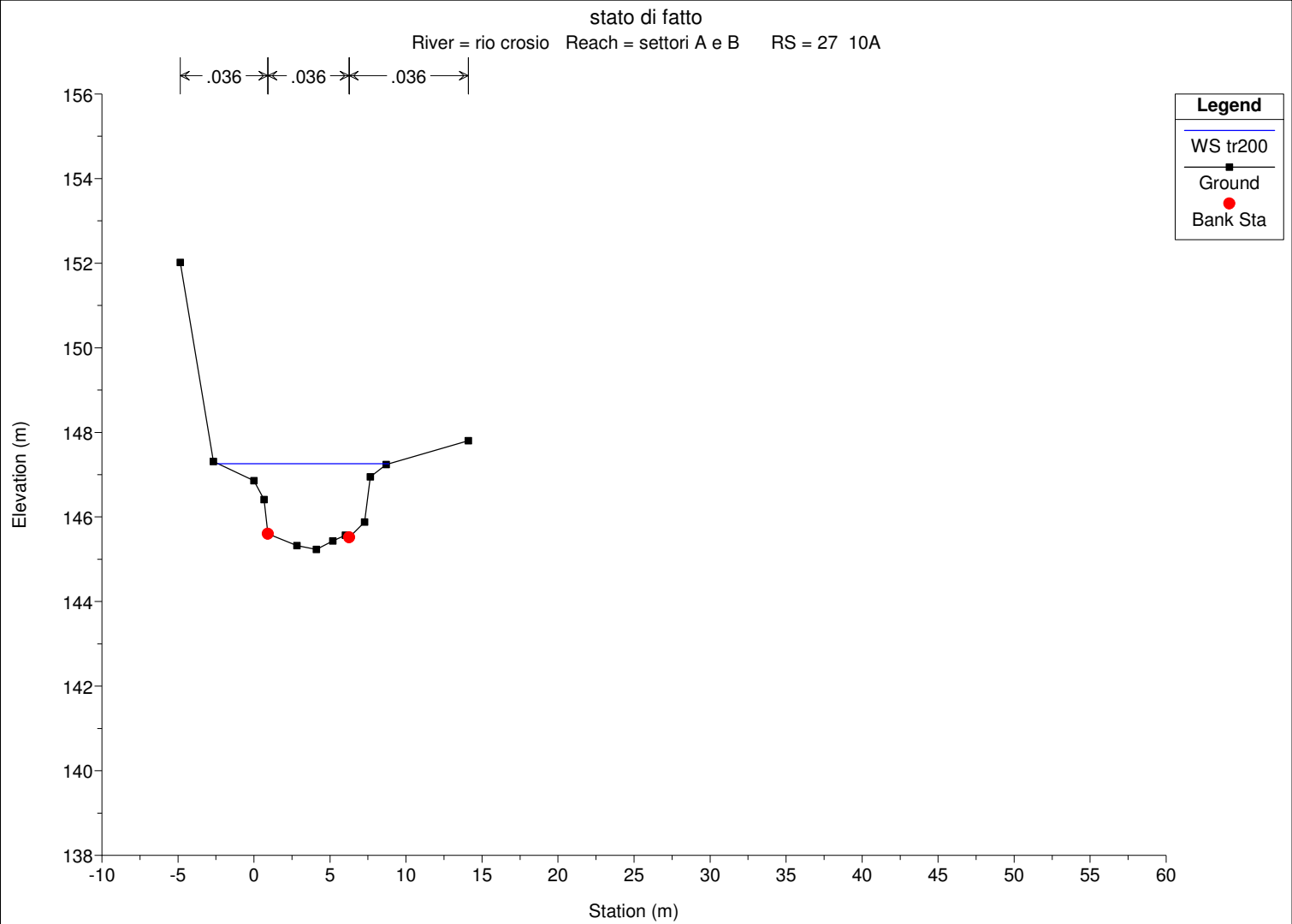
STATO DI FATTO: PROFILO, SEZIONI E RISULTATI

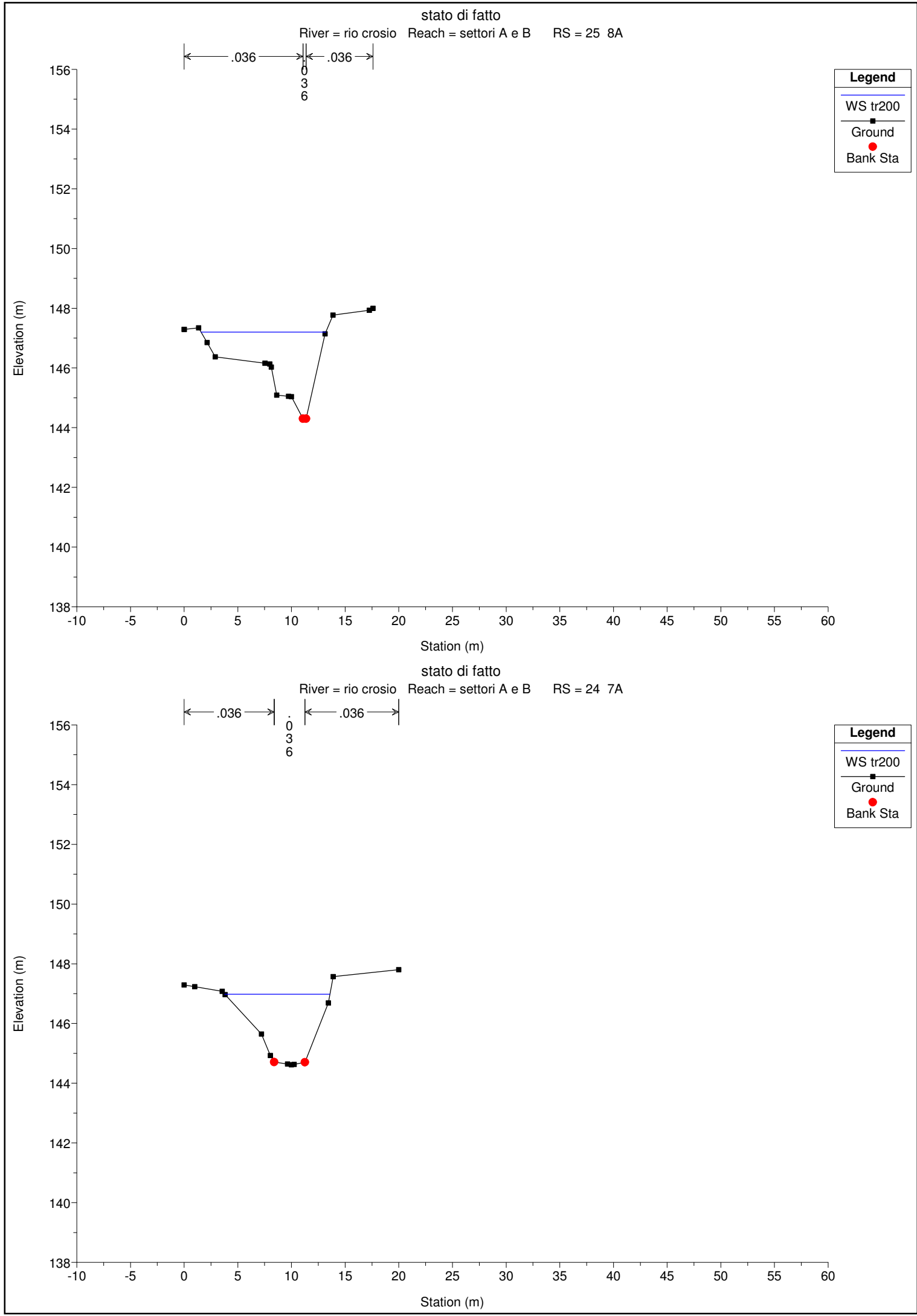






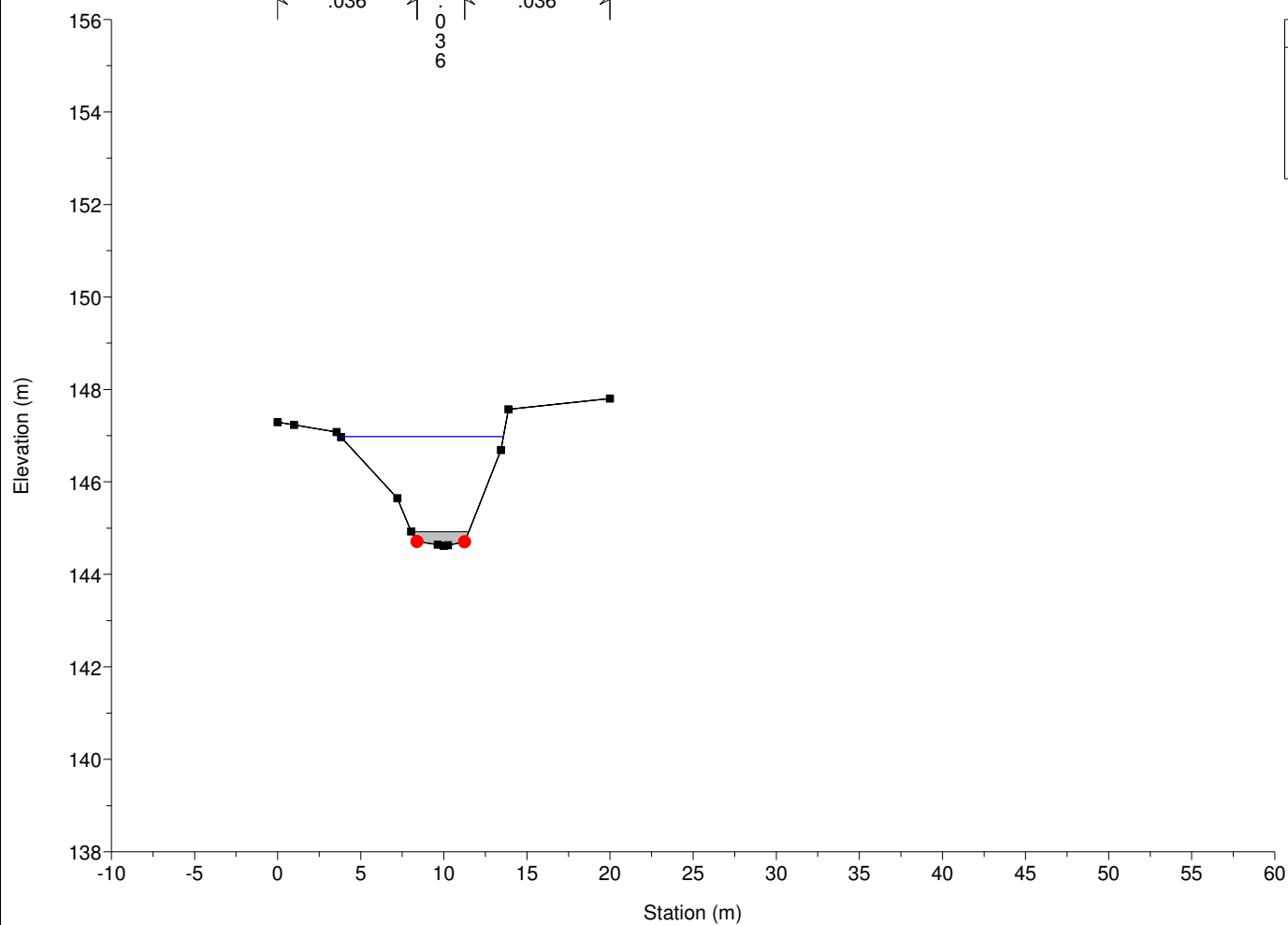






stato di fatto
River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23.5 IS briglia esistente settore A (monte sezione 6A)

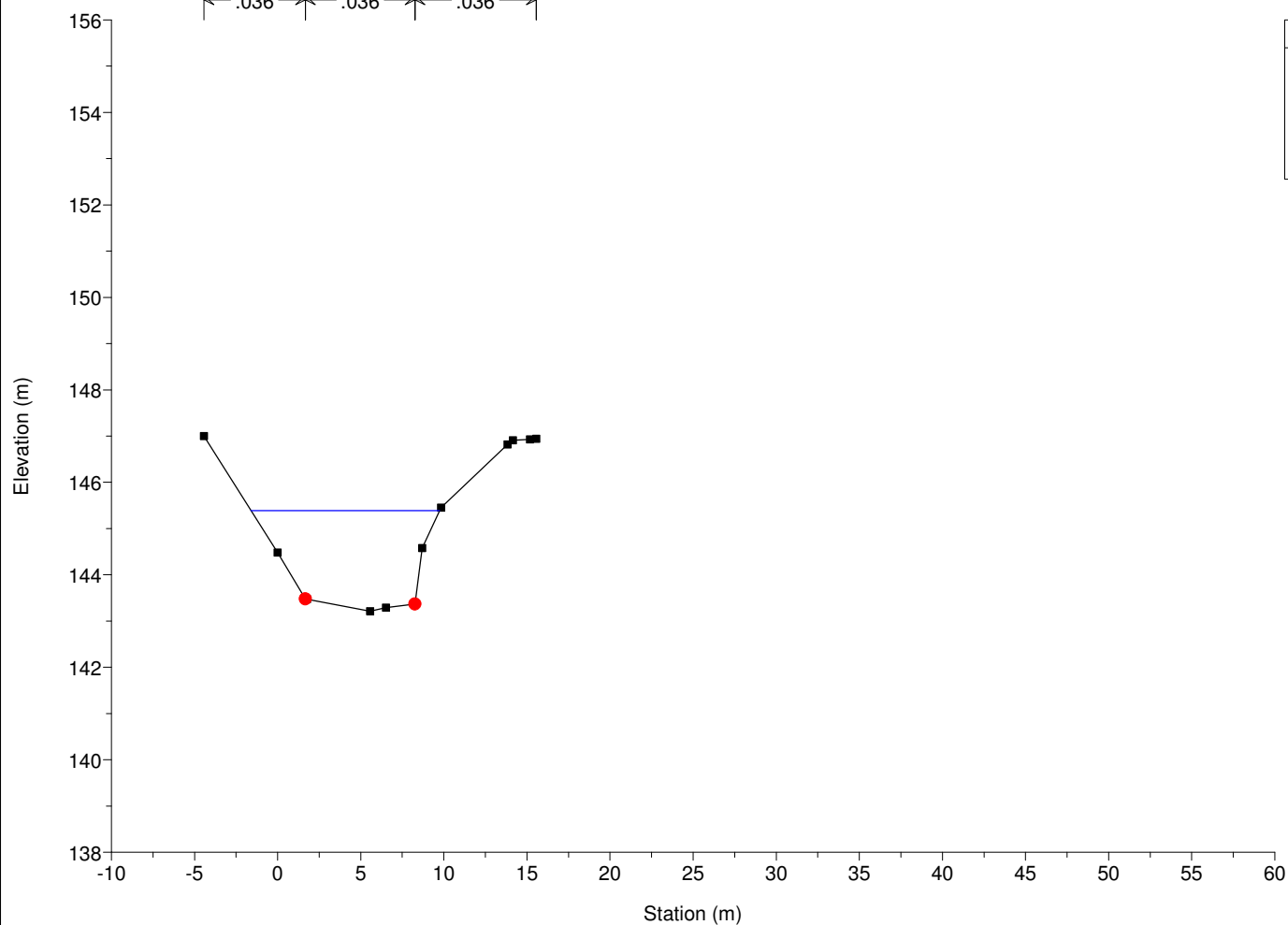
← .036 → | | ← .036 →
.036
0
3
6



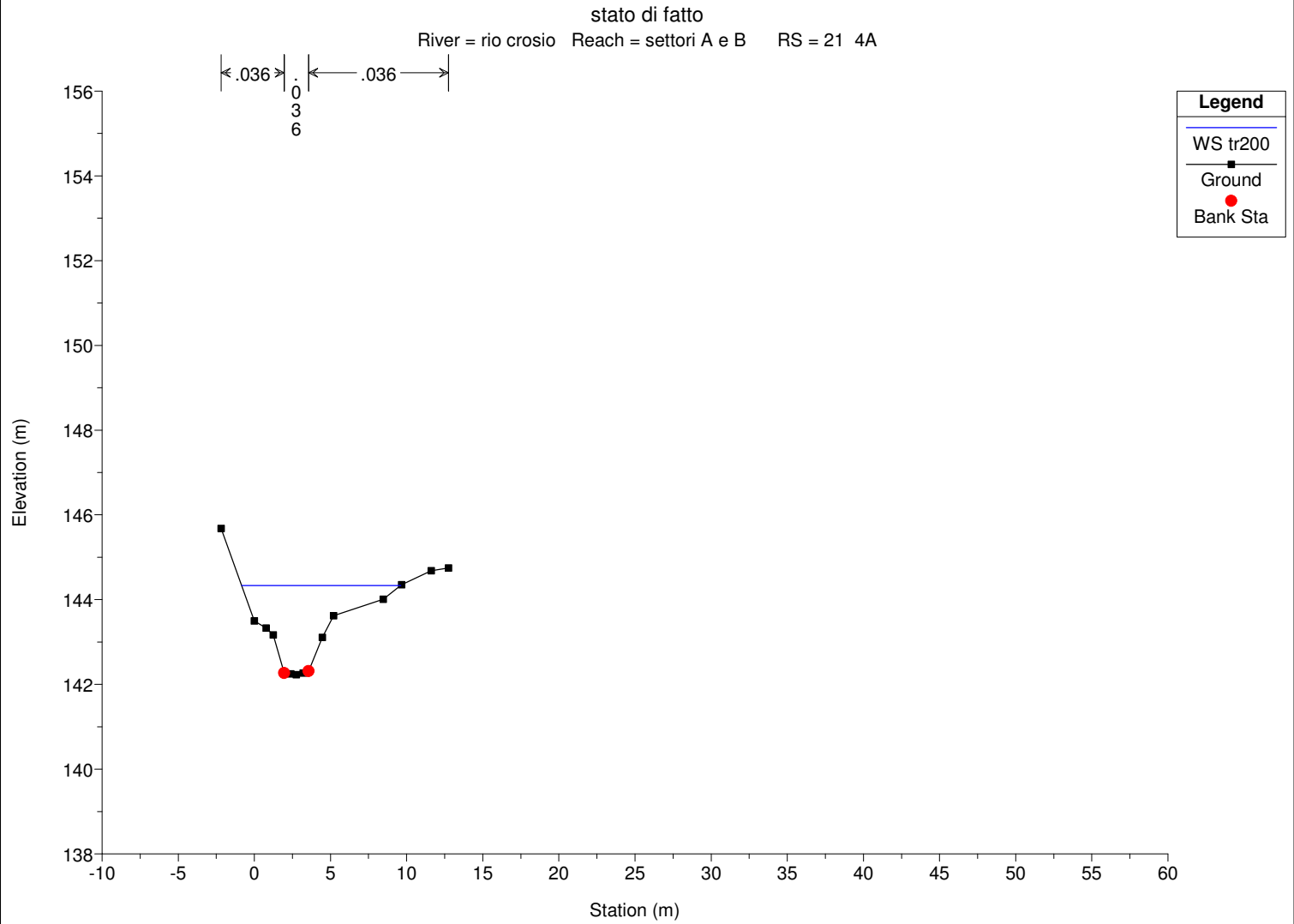
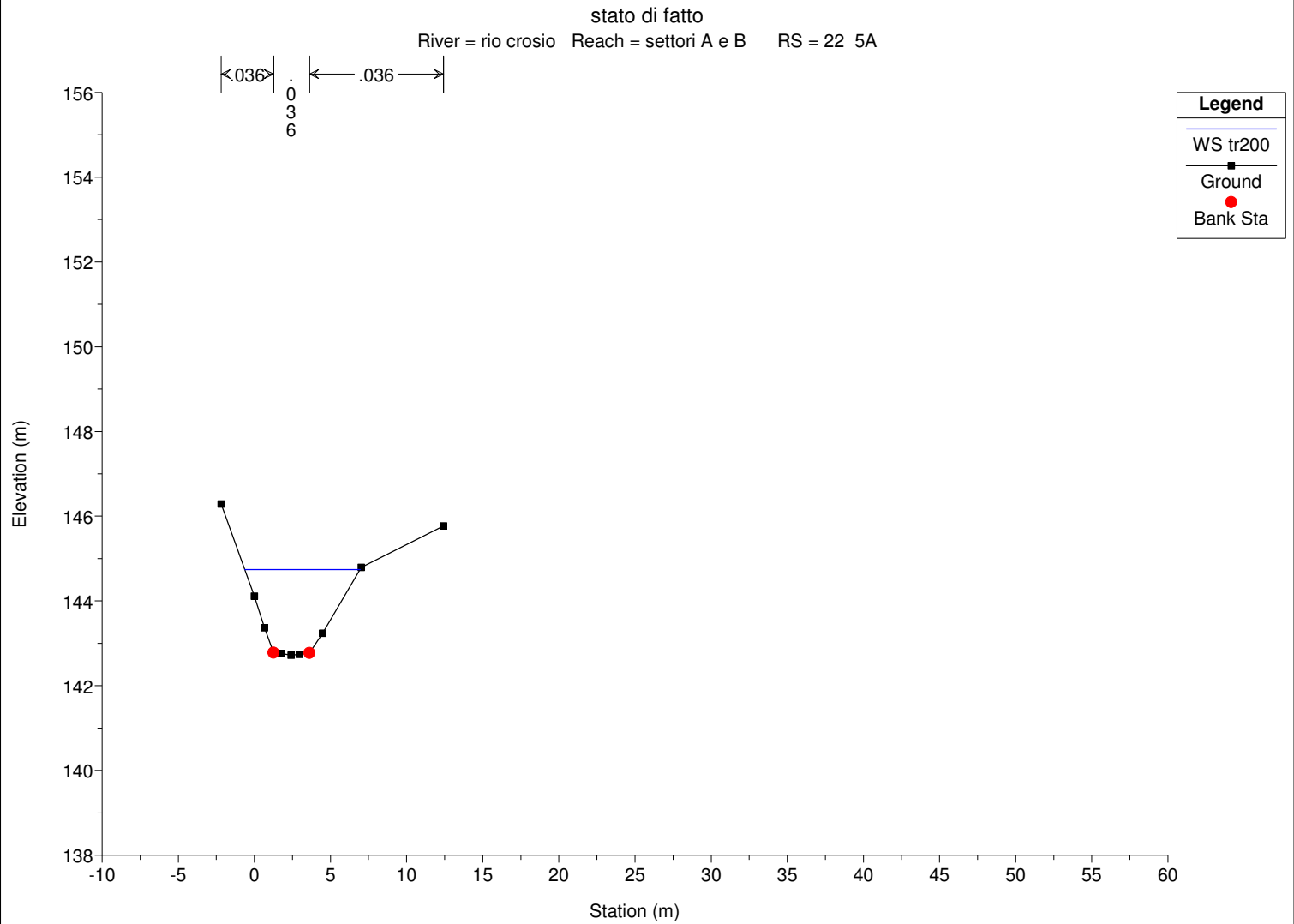
Legend
WS tr200
Ground
Bank Sta

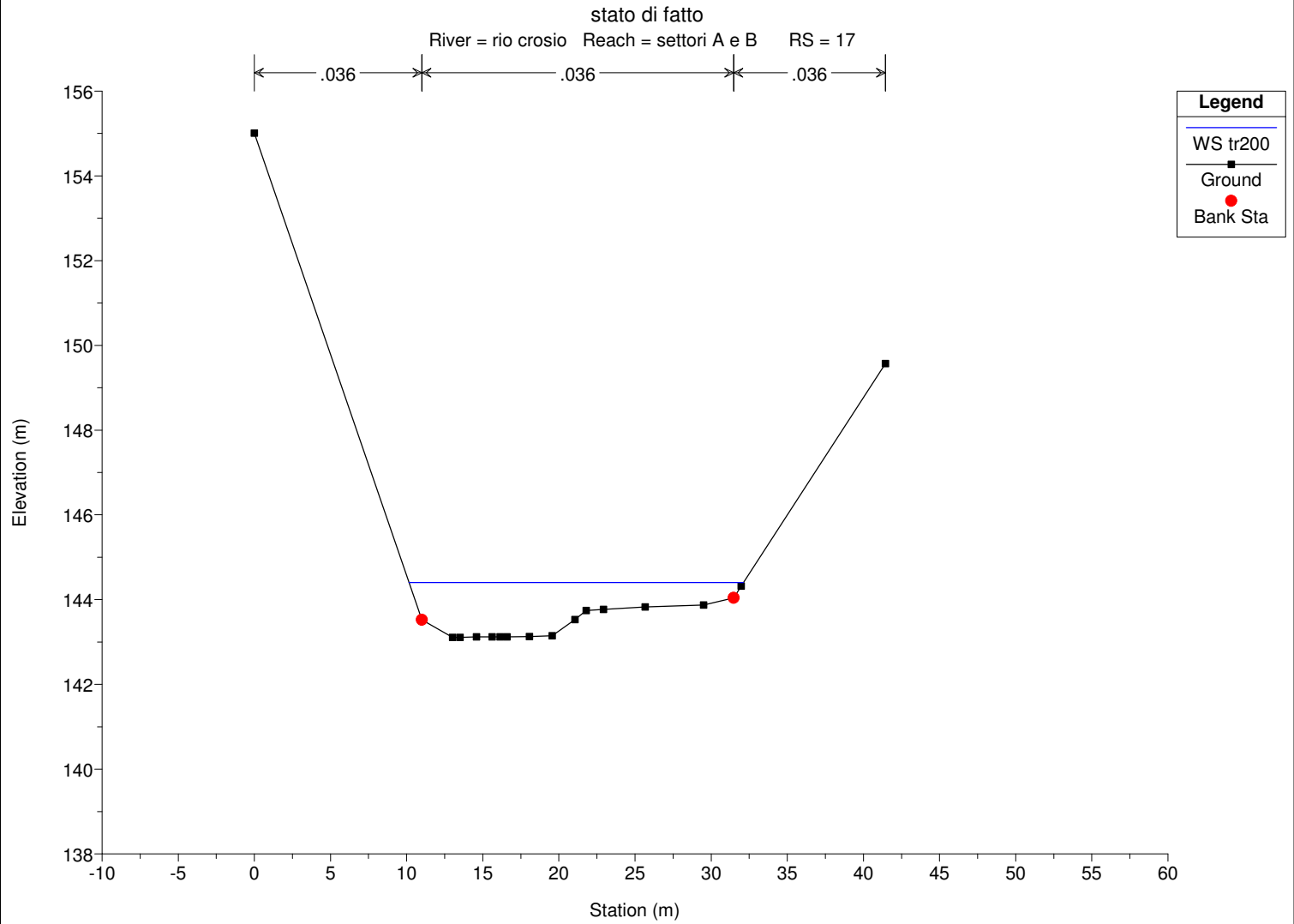
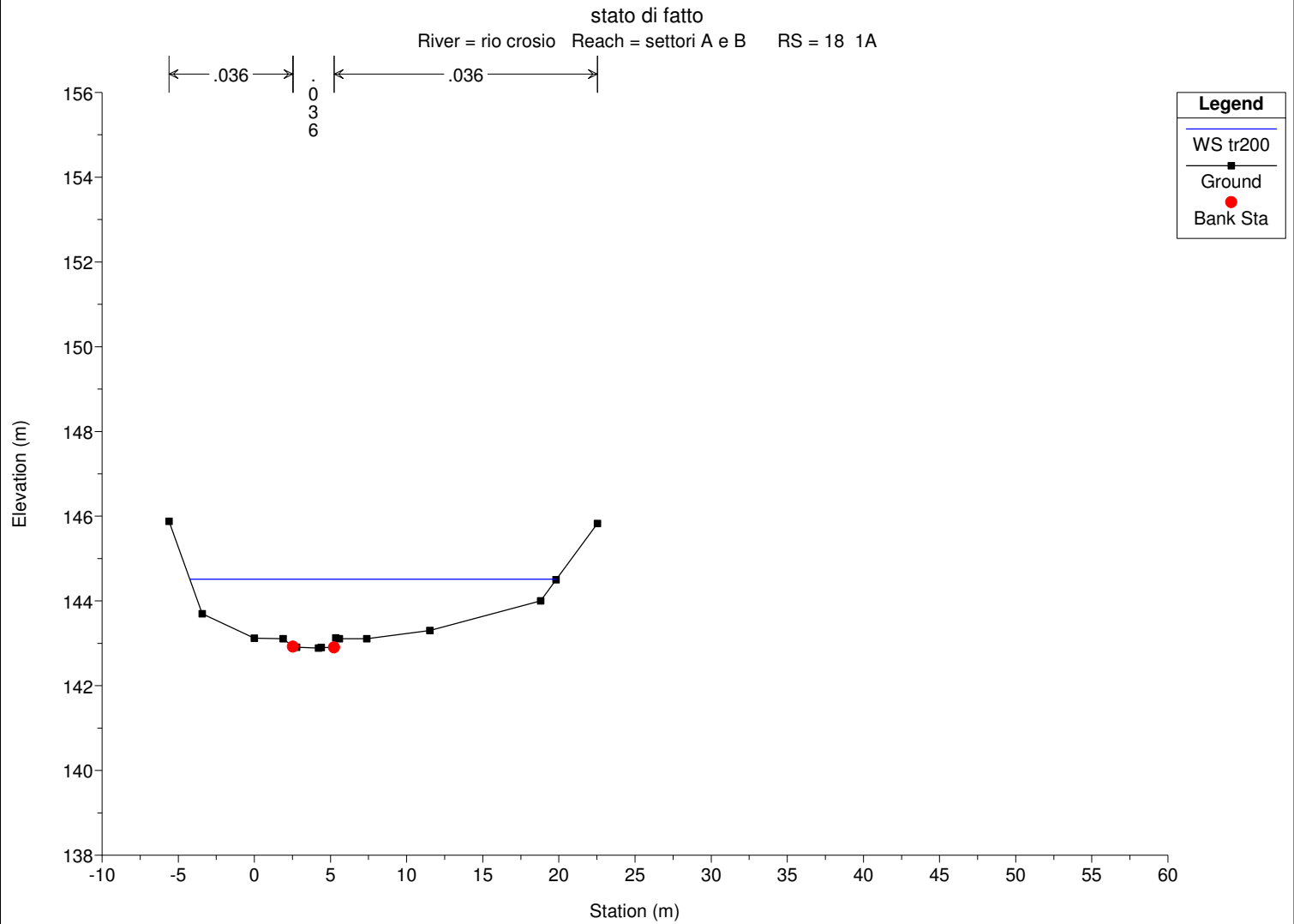
stato di fatto
River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23 6A

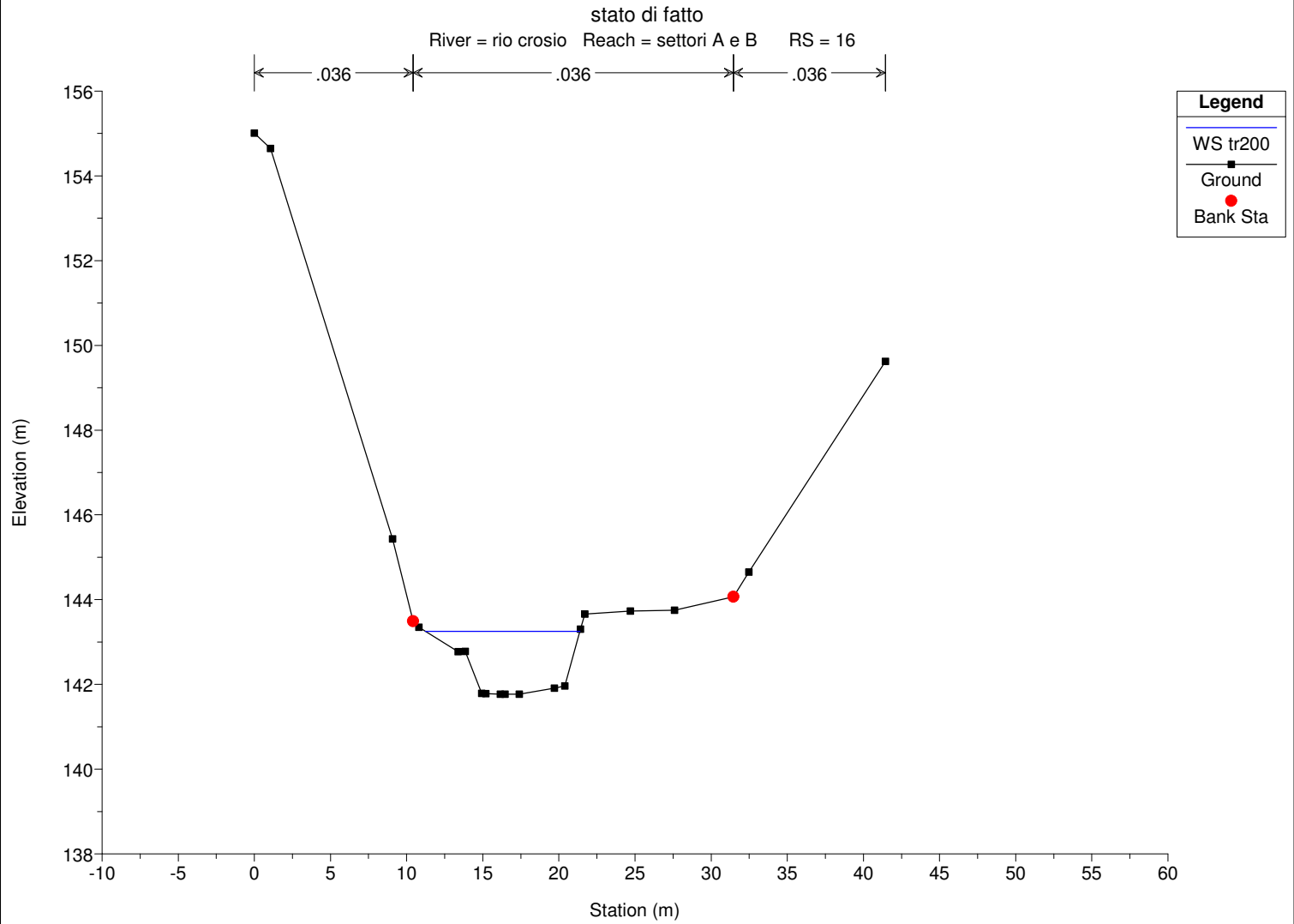
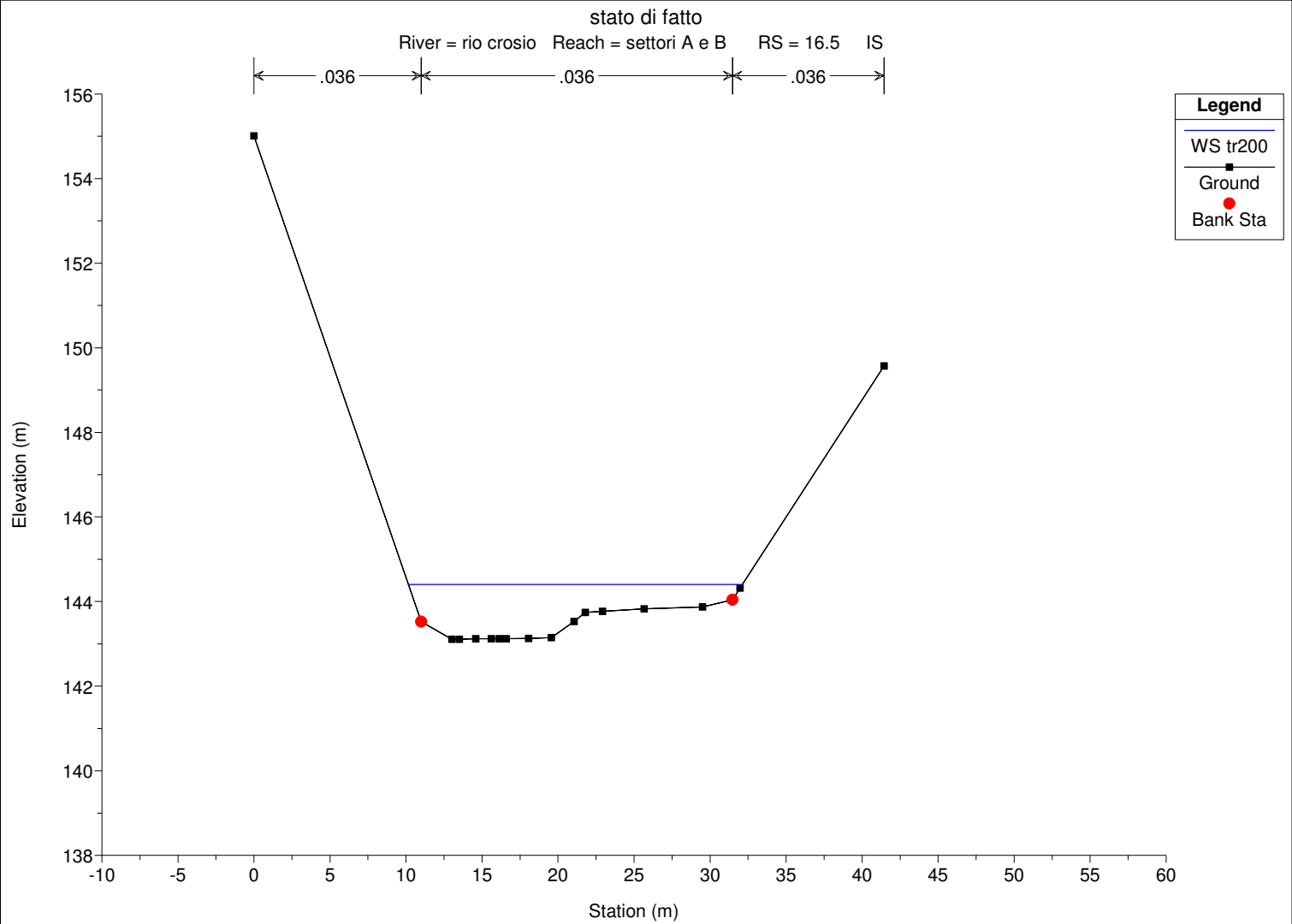
← .036 → | | ← .036 → | | ← .036 →

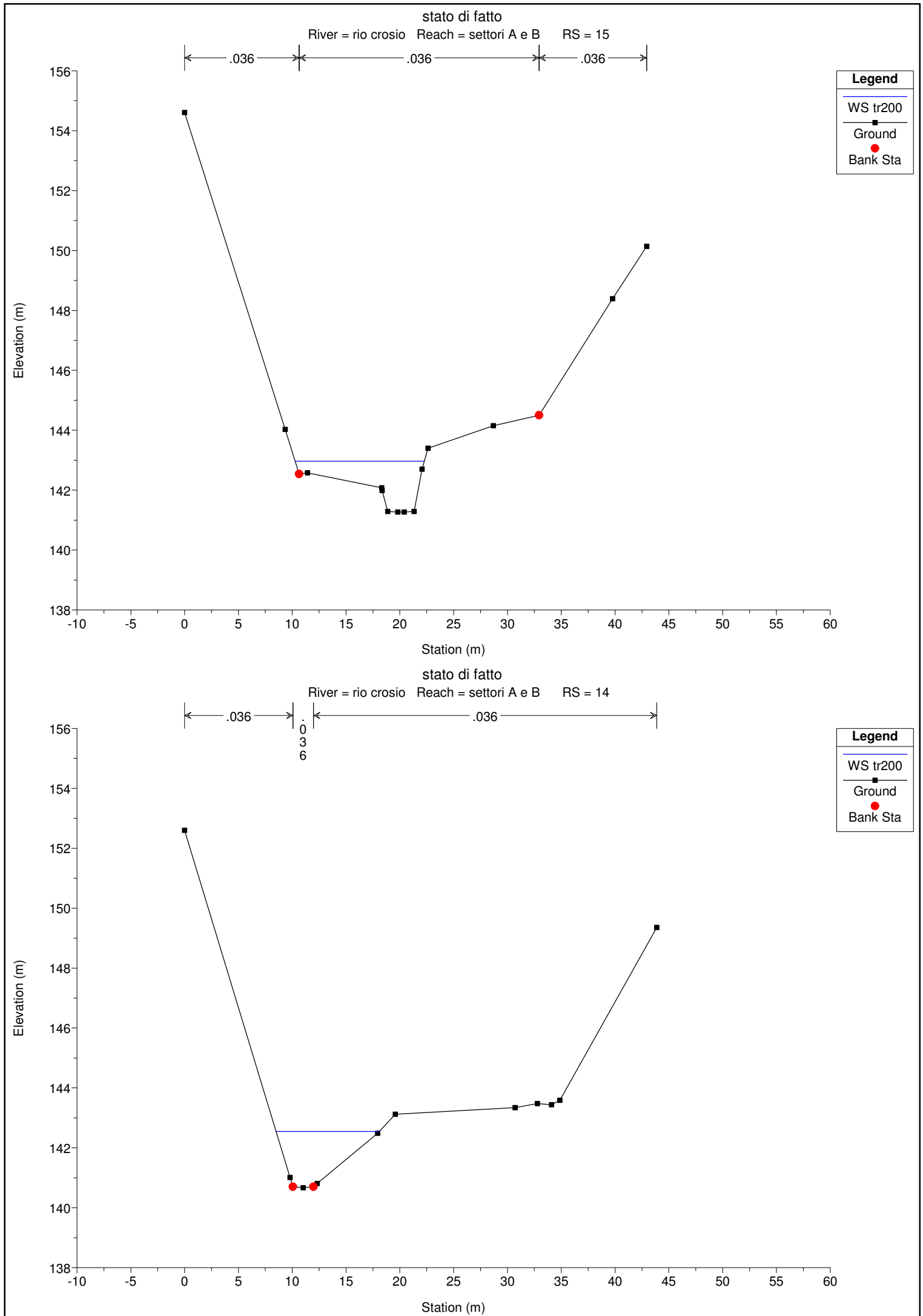


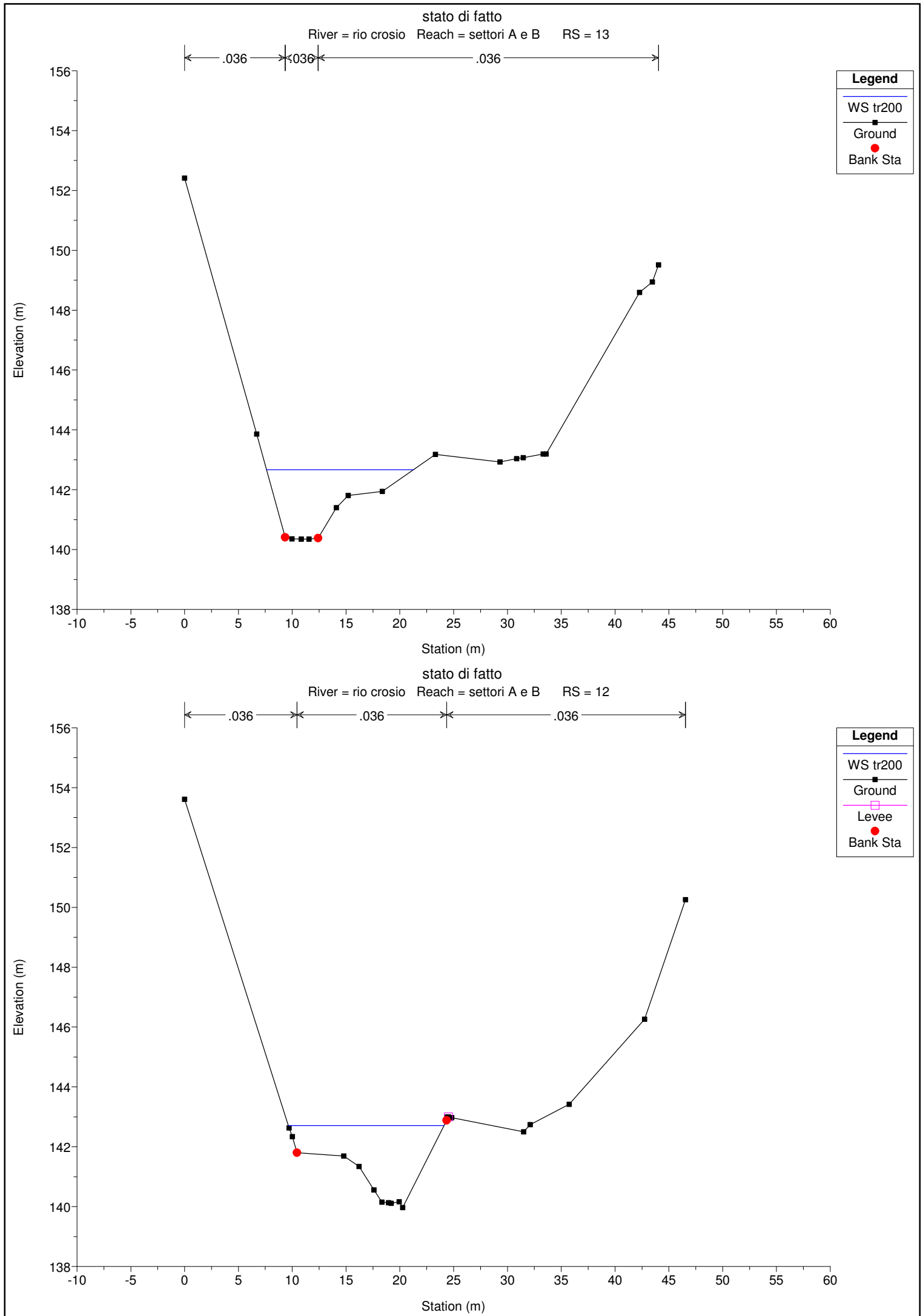
Legend
WS tr200
Ground
Bank Sta

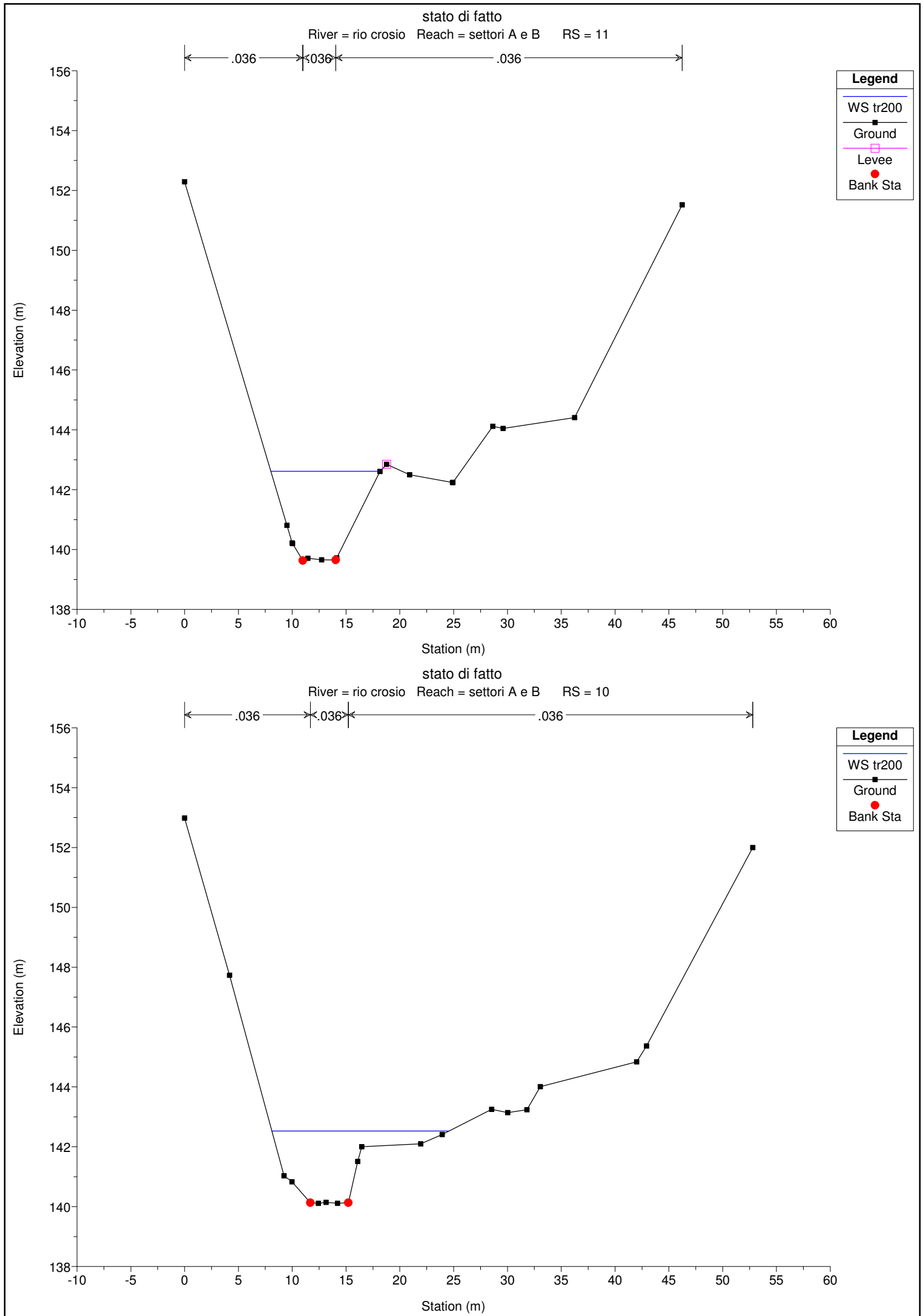


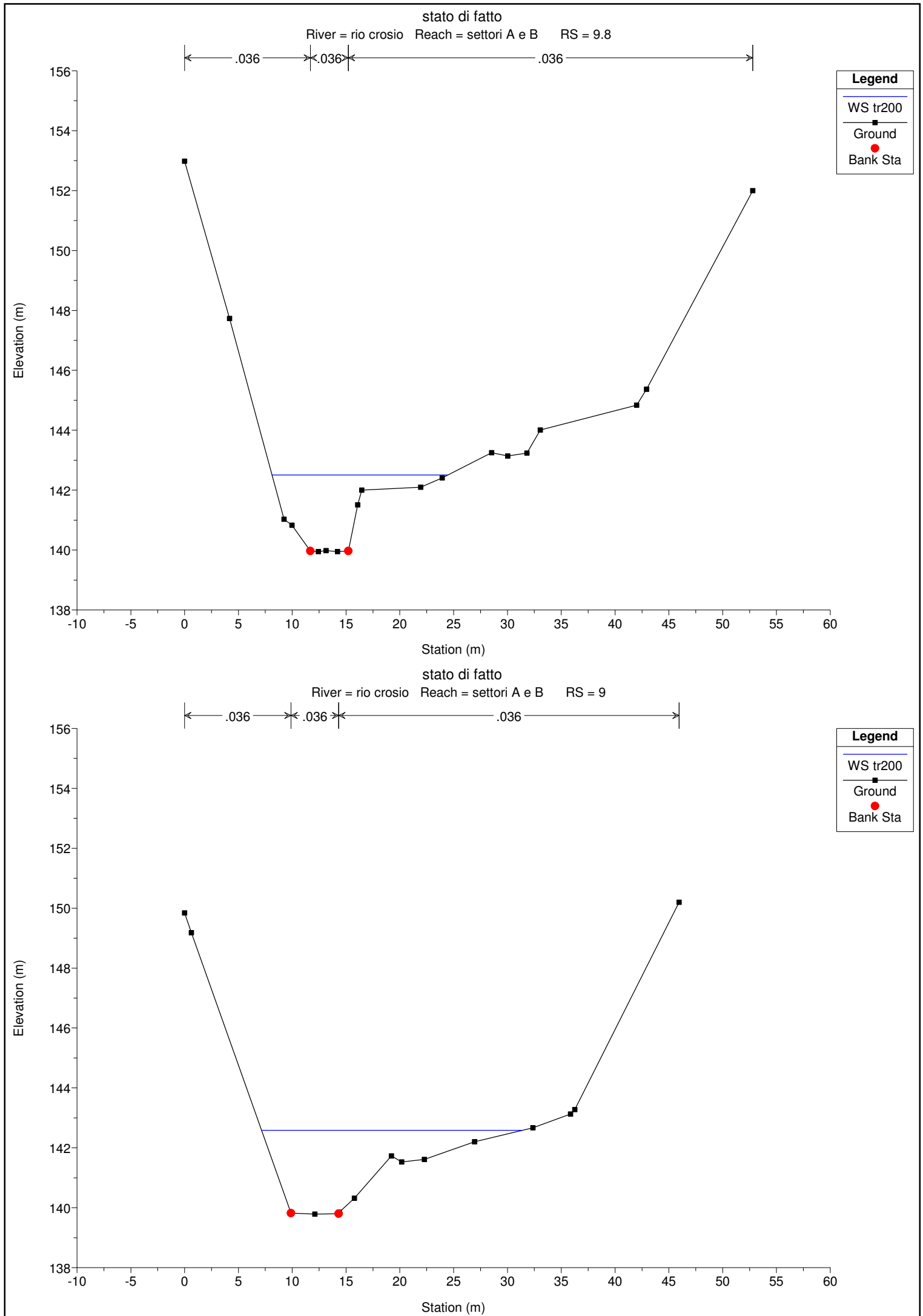


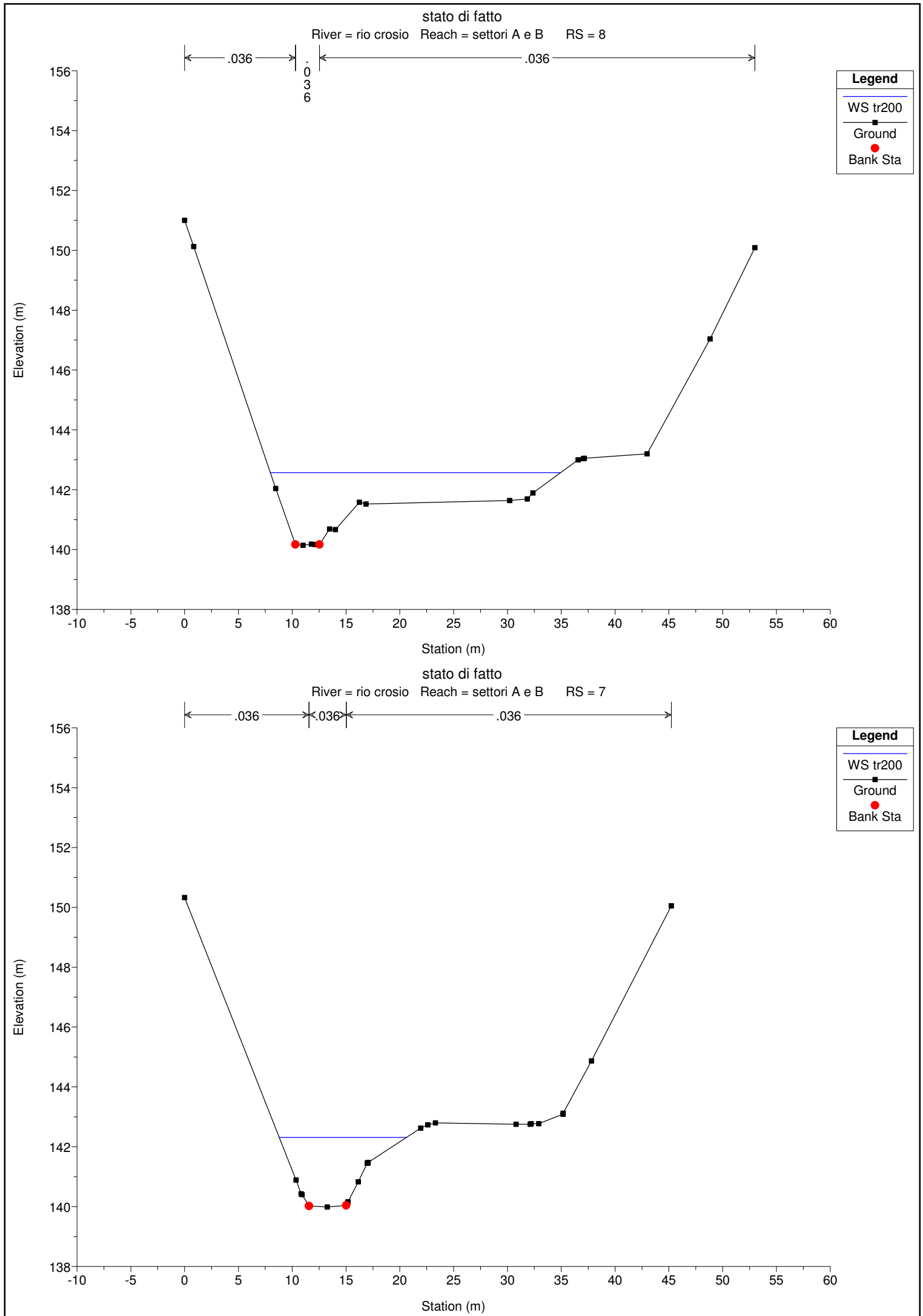


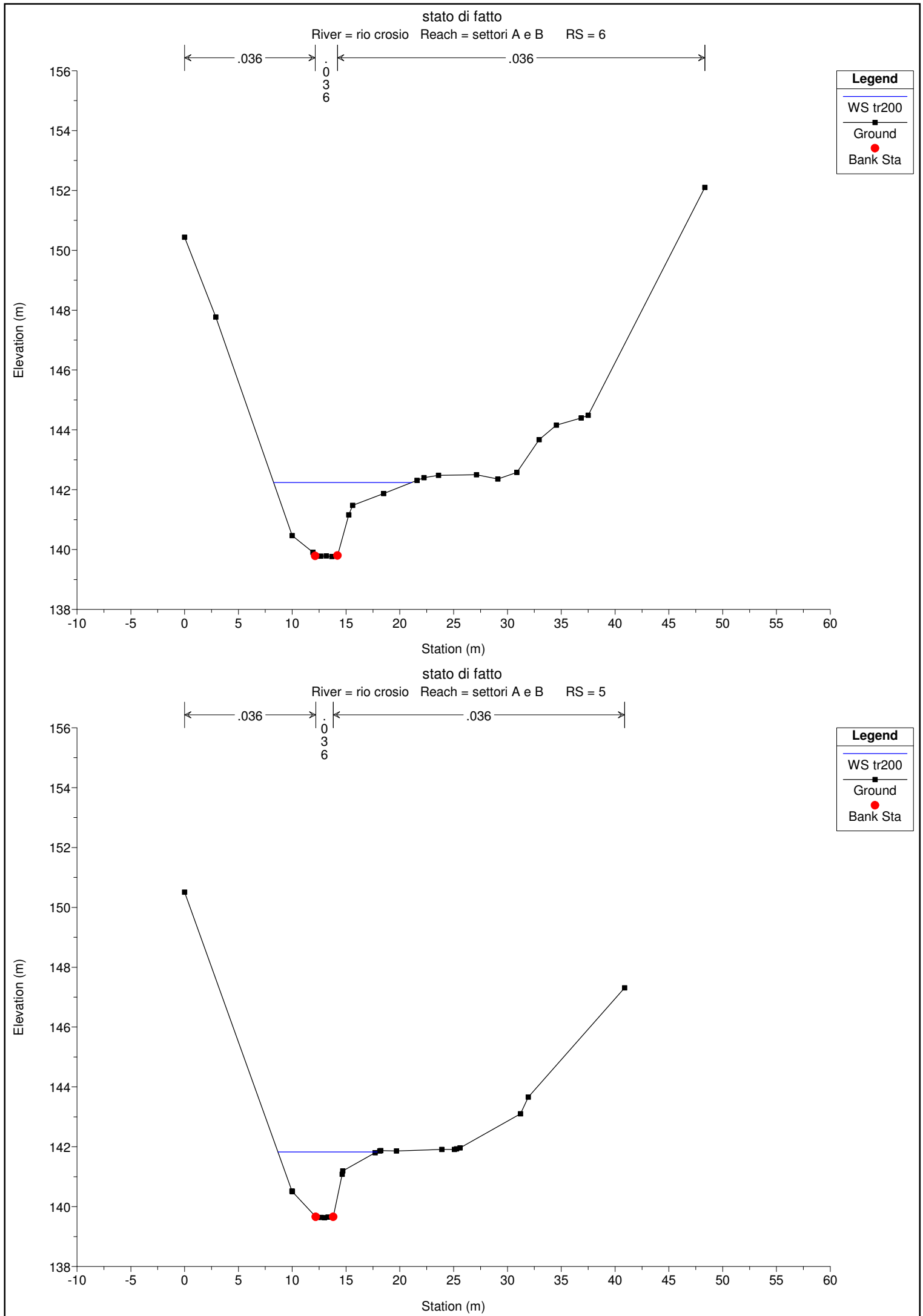


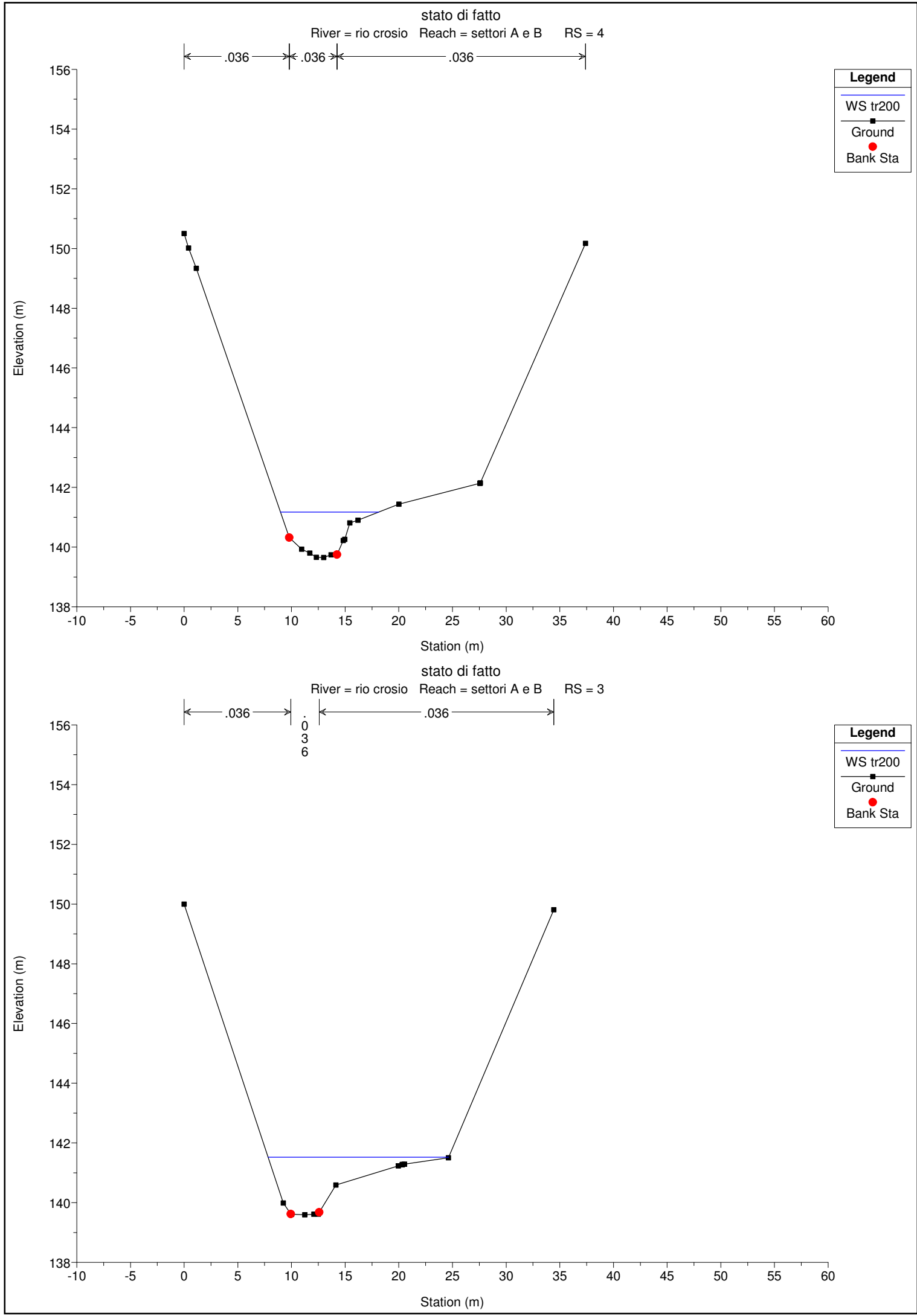


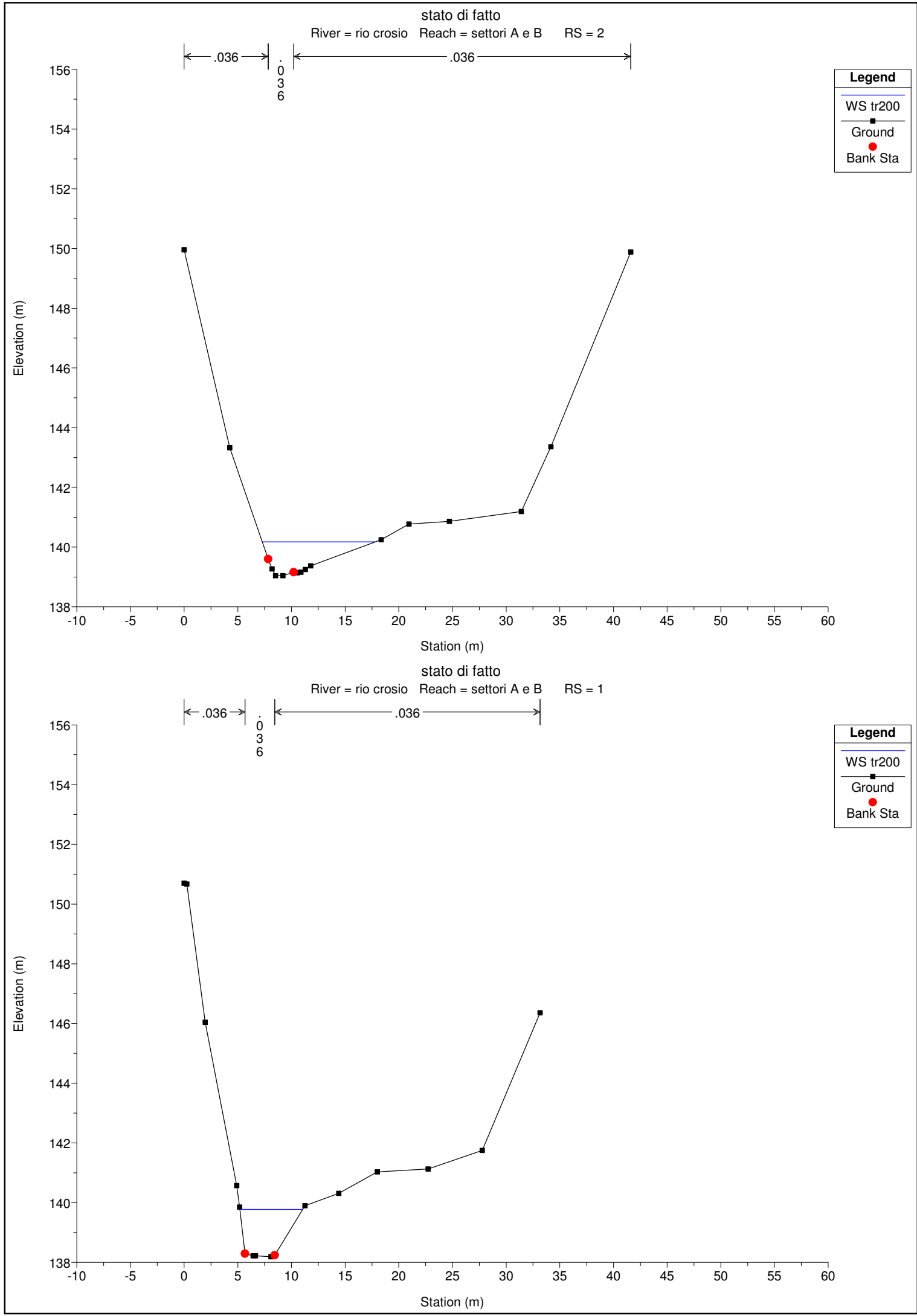






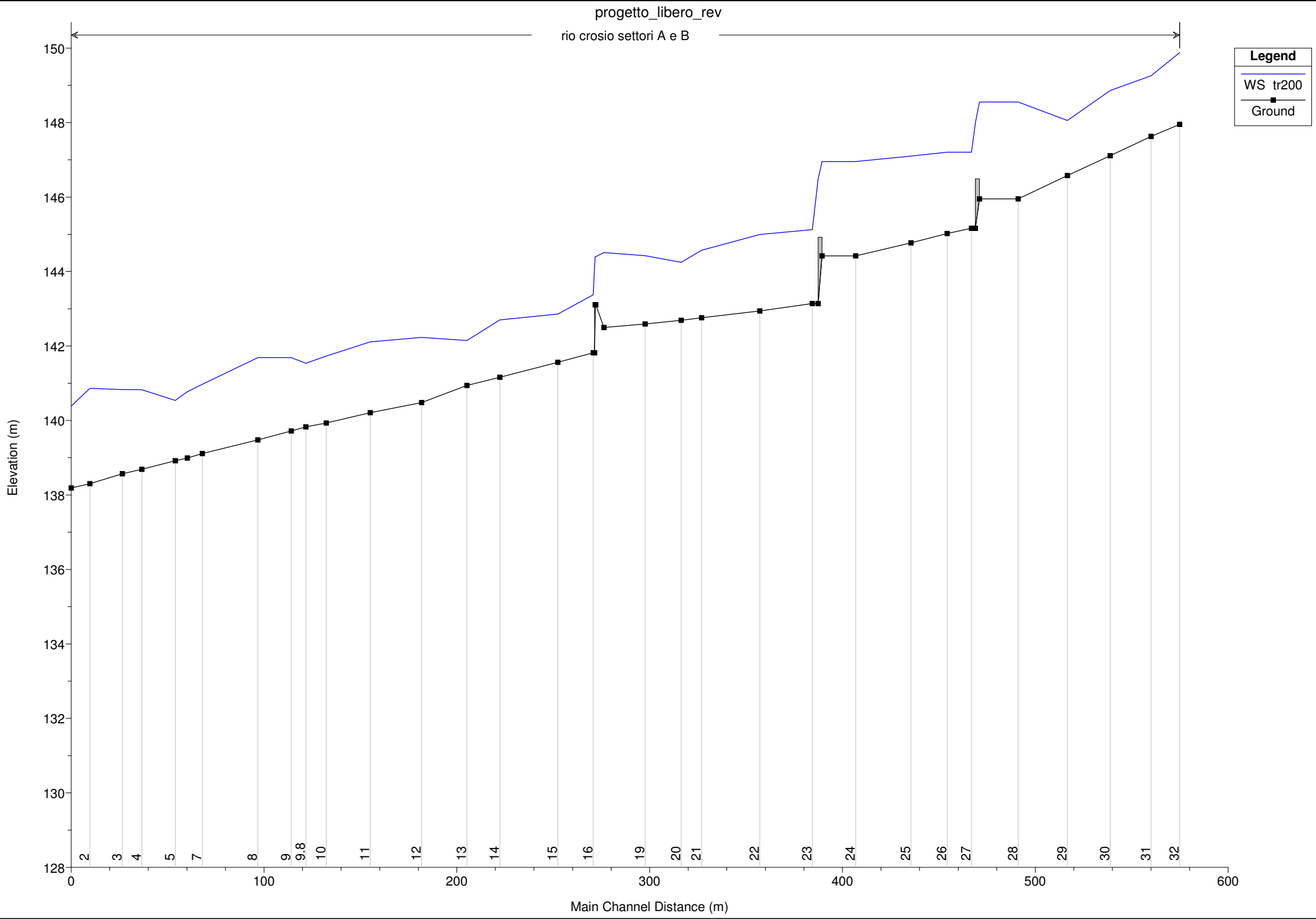


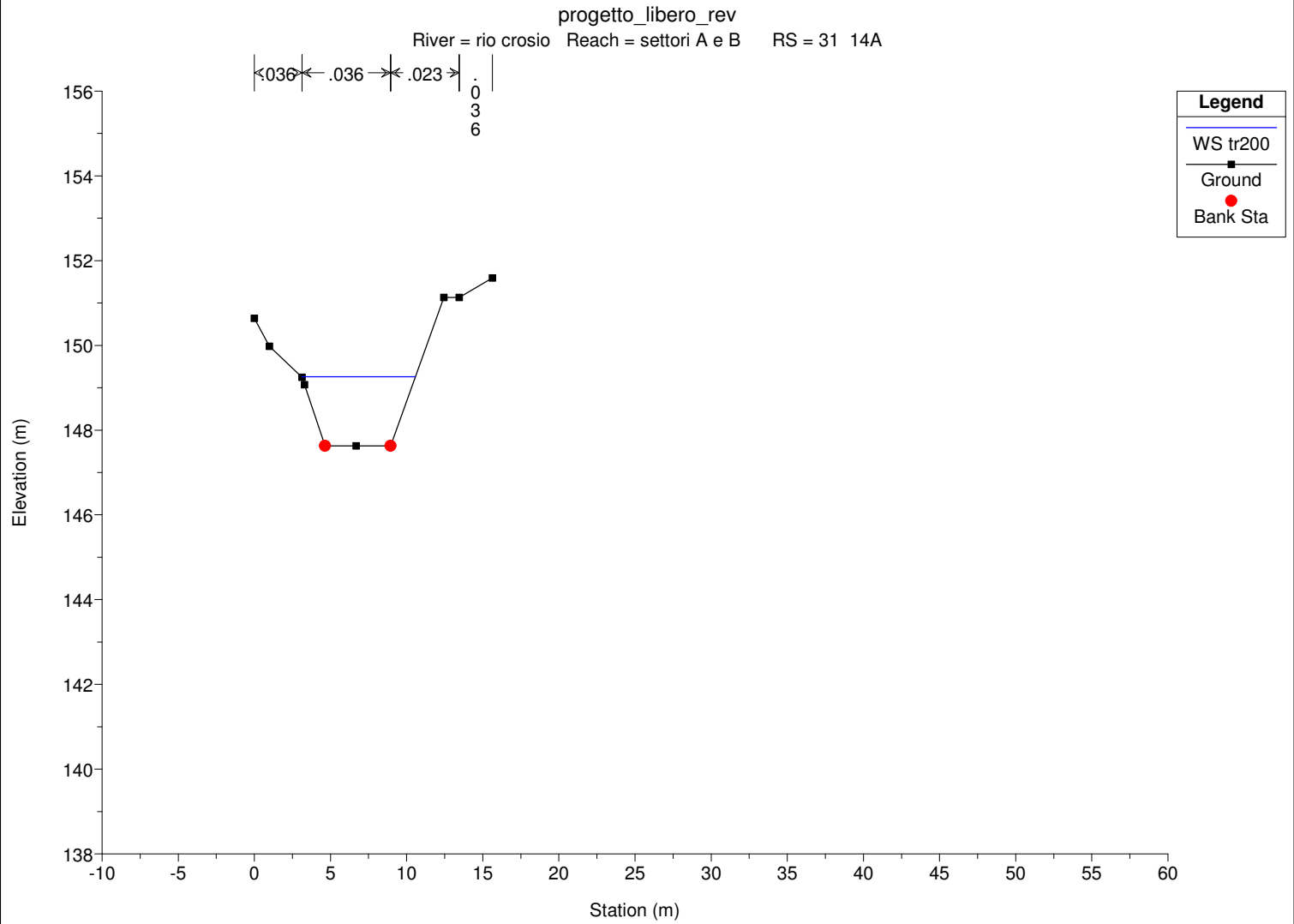
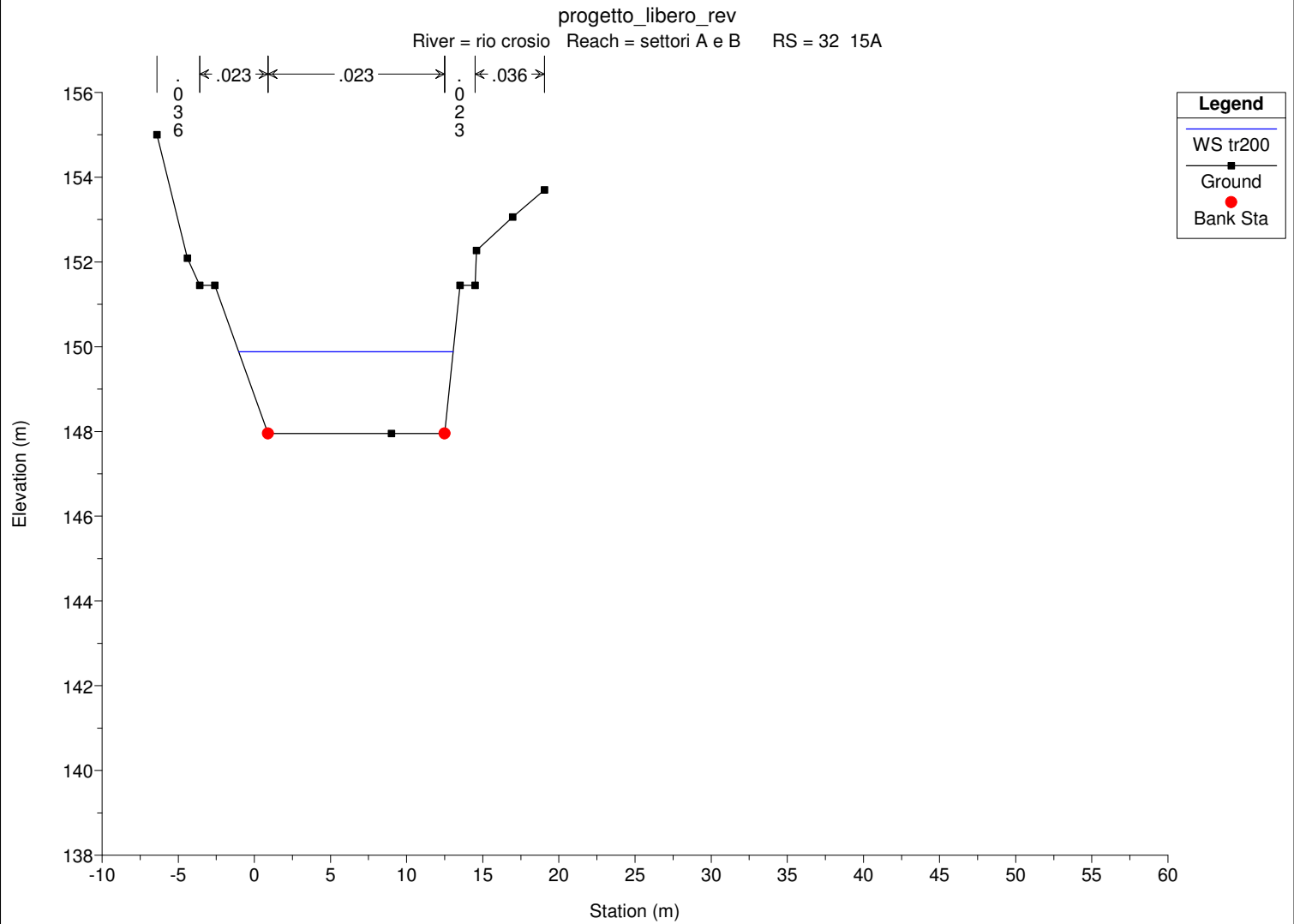


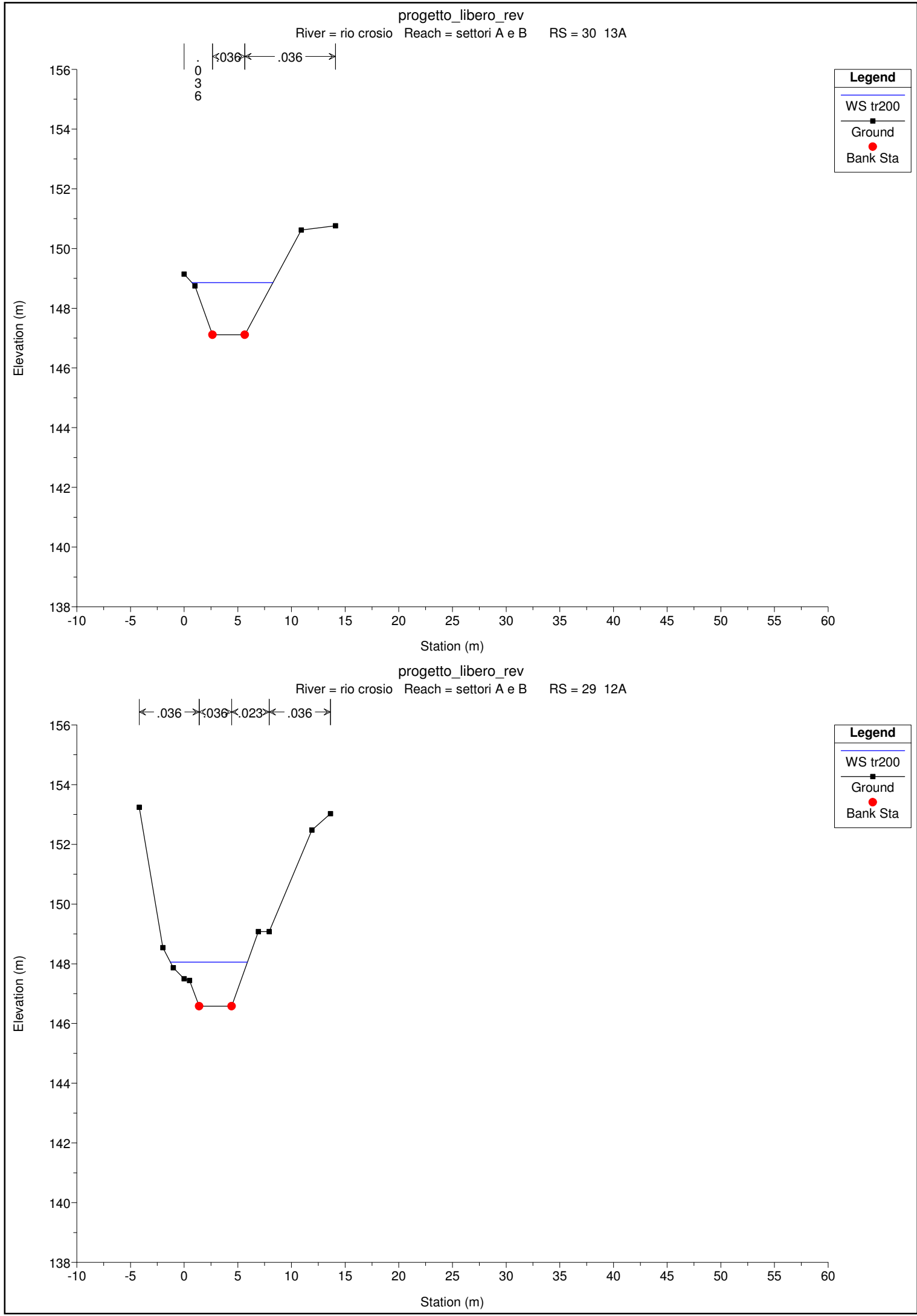


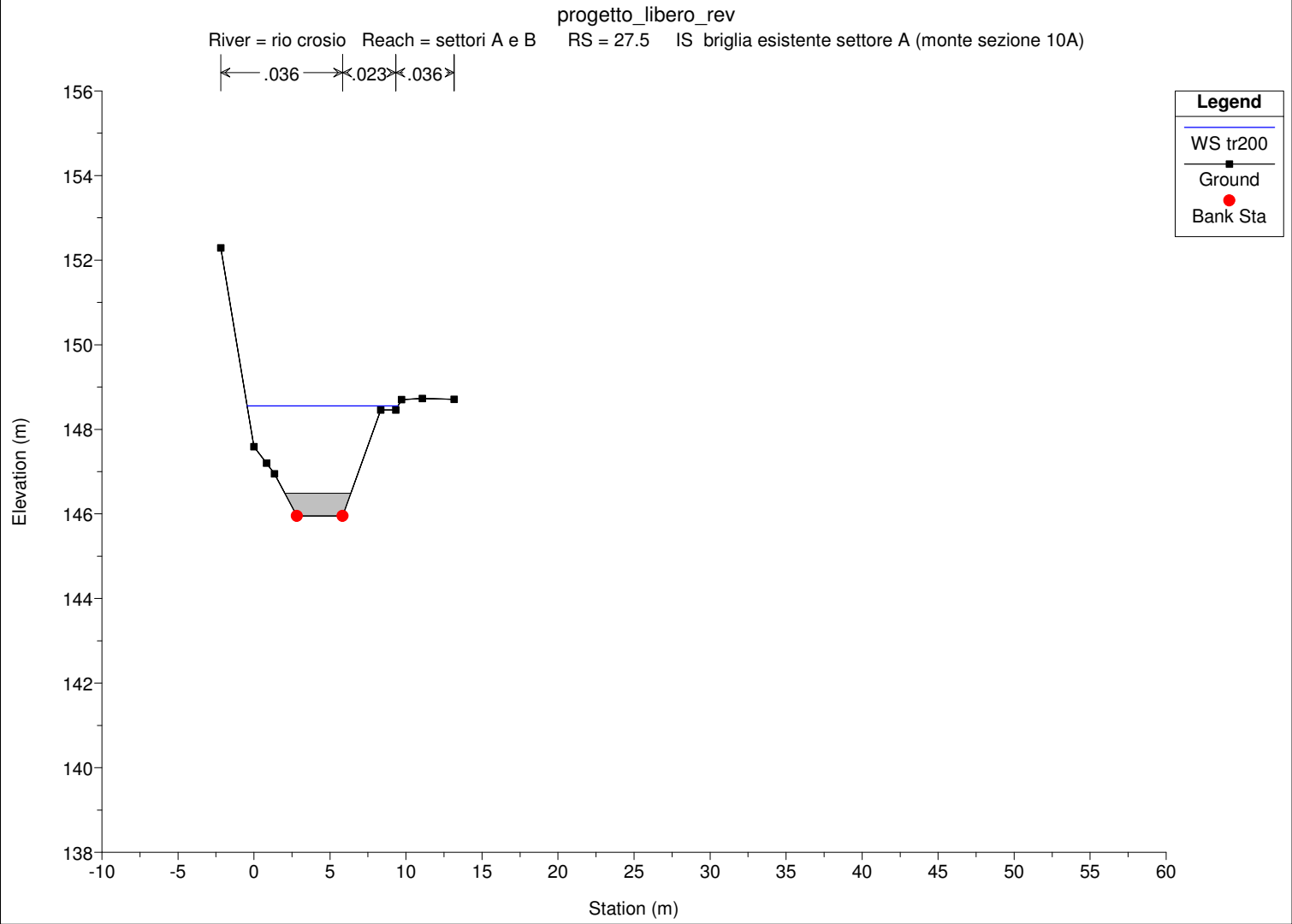
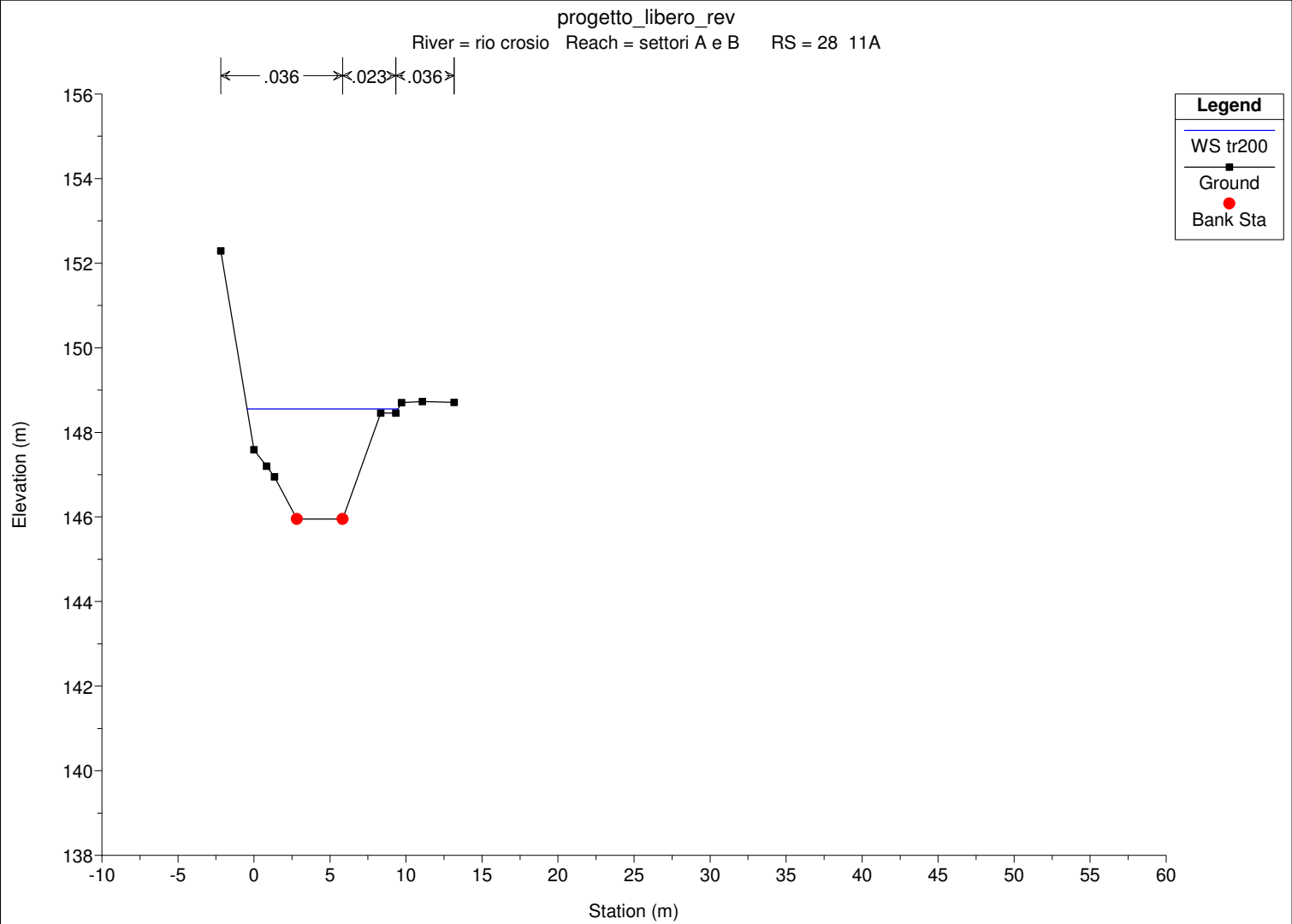
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
settori A e B	32	tr200	32.43	147.81	150.57	148.78	150.61	0.000301	0.94	37.51	15.77	0.18
settori A e B	31	tr200	32.43	147.40	149.78	149.78	150.41	0.008007	4.40	11.00	9.01	0.91
settori A e B	30	tr200	32.43	147.11	148.98	149.32	150.13	0.016994	5.44	7.92	7.05	1.28
settori A e B	29	tr200	32.43	146.61	148.08	148.56	149.57	0.034127	6.55	6.76	7.83	1.74
settori A e B	28	tr200	32.43	146.52	148.53	148.41	149.10	0.007970	3.90	10.71	7.39	0.89
settori A e B	27.5		Inl Struct									
settori A e B	27	tr200	32.43	145.23	147.26		147.64	0.004758	2.88	13.21	11.23	0.67
settori A e B	26	tr200	32.43	145.37	147.35		147.53	0.003725	2.64	18.89	19.53	0.60
settori A e B	25	tr200	32.43	144.30	147.20		147.47	0.004775	3.90	15.43	11.62	0.73
settori A e B	24	tr200	32.43	144.62	146.98	146.61	147.34	0.004121	3.12	13.91	9.80	0.65
settori A e B	23.5		Inl Struct									
settori A e B	23	tr200	32.43	143.21	145.39		145.59	0.002136	2.08	17.72	11.35	0.46
settori A e B	22	tr200	32.43	142.72	144.74	144.74	145.44	0.009575	4.30	9.92	7.58	0.97
settori A e B	21	tr200	32.43	142.23	144.34	144.55	145.11	0.012106	4.96	10.12	10.45	1.10
settori A e B	20	tr200	32.43	142.01	144.12	144.38	144.97	0.012818	5.11	9.97	11.20	1.13
settori A e B	19	tr200	32.43	141.90	144.46	143.90	144.68	0.002450	2.56	18.64	15.06	0.51
settori A e B	18	tr200	32.43	142.89	144.52		144.59	0.001592	1.53	27.14	24.08	0.38
settori A e B	17	tr200	32.43	143.11	144.40	144.15	144.56	0.004836	1.77	18.58	21.96	0.60
settori A e B	16.5		Inl Struct									
settori A e B	16	tr200	32.43	141.77	143.25	143.25	143.76	0.014686	3.17	10.24	10.14	1.01
settori A e B	15	tr200	32.43	141.27	142.97	143.01	143.47	0.017306	3.13	10.42	12.01	1.06
settori A e B	14	tr200	32.43	140.67	142.55	142.58	143.13	0.010042	4.21	10.68	9.59	0.99
settori A e B	13	tr200	32.43	140.35	142.67	142.32	142.93	0.003165	2.73	16.80	13.67	0.57
settori A e B	12	tr200	32.43	139.97	142.71	142.01	142.84	0.002156	1.58	20.70	14.49	0.41
settori A e B	11	tr200	32.43	139.63	142.62	141.45	142.79	0.001417	2.15	20.16	10.16	0.40
settori A e B	10	tr200	32.43	140.11	142.53		142.74	0.002248	2.36	18.99	16.47	0.49
settori A e B	9.8	tr200	32.43	139.95	142.51		142.71	0.002009	2.32	19.40	16.33	0.46
settori A e B	9	tr200	32.43	139.79	142.58		142.66	0.000725	1.48	32.23	24.23	0.28
settori A e B	8	tr200	32.43	140.14	142.57		142.64	0.001100	1.66	31.16	26.99	0.34
settori A e B	7	tr200	32.43	139.99	142.31		142.59	0.003072	2.69	16.05	11.85	0.56
settori A e B	6	tr200	32.43	139.77	142.24		142.56	0.003698	3.08	15.38	12.84	0.63
settori A e B	5	tr200	32.43	139.63	141.83	141.83	142.49	0.009033	4.44	10.48	9.22	0.96
settori A e B	4	tr200	32.43	139.65	141.17	141.50	142.22	0.020819	4.78	7.91	9.16	1.32
settori A e B	3	tr200	32.43	139.59	141.52	141.57	141.96	0.007080	3.59	13.75	16.82	0.83
settori A e B	2	tr200	32.43	139.04	140.17	140.60	141.62	0.056014	6.35	6.53	10.50	1.99
settori A e B	1	tr200	32.43	138.19	139.77	140.39	141.26	0.024899	5.87	6.65	5.84	1.50

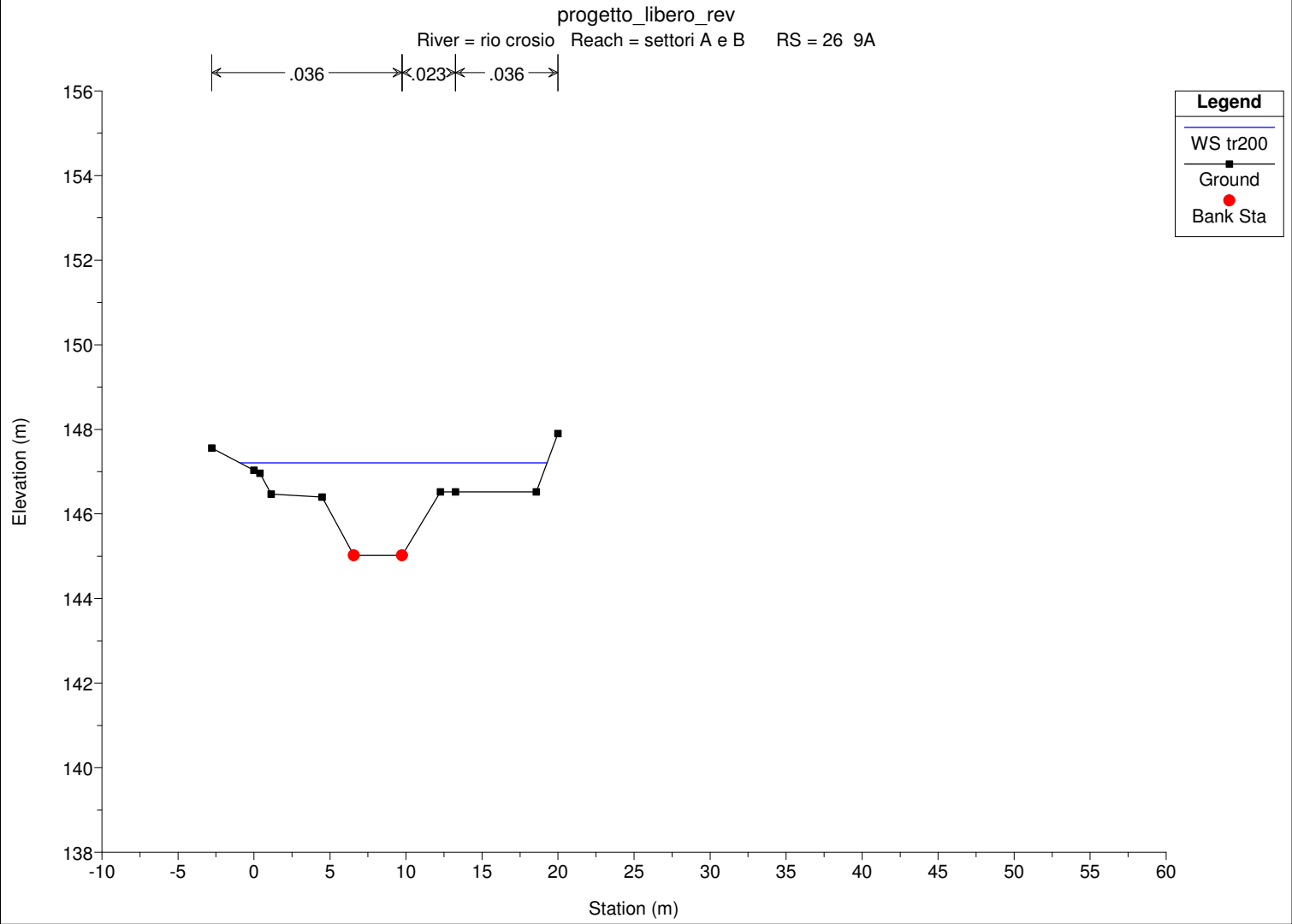
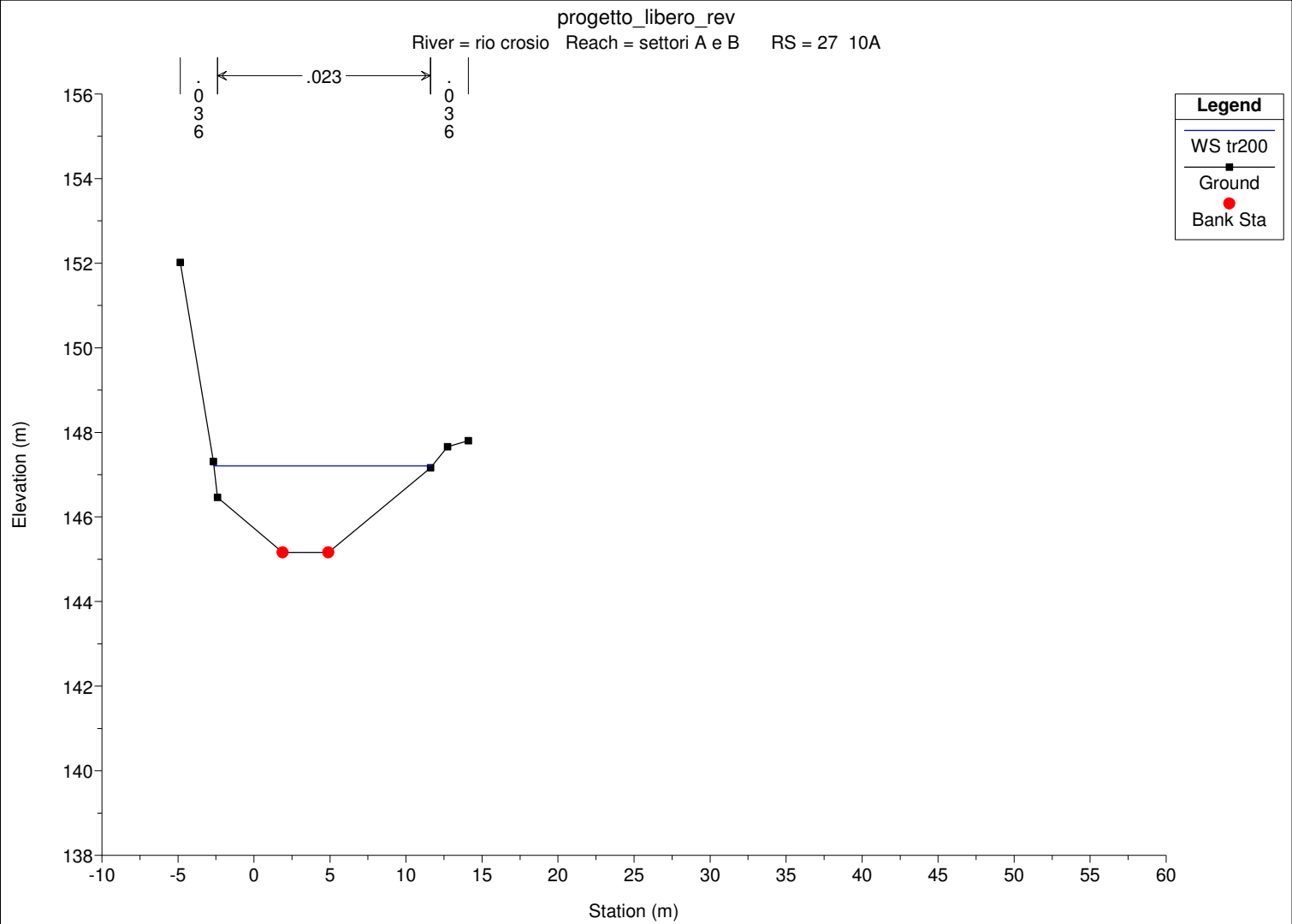
**STATO DI PROGETTO – BRIGLIA DI TRATTENUTA LIBERA: PROFILO,
SEZIONI E RISULTATI**

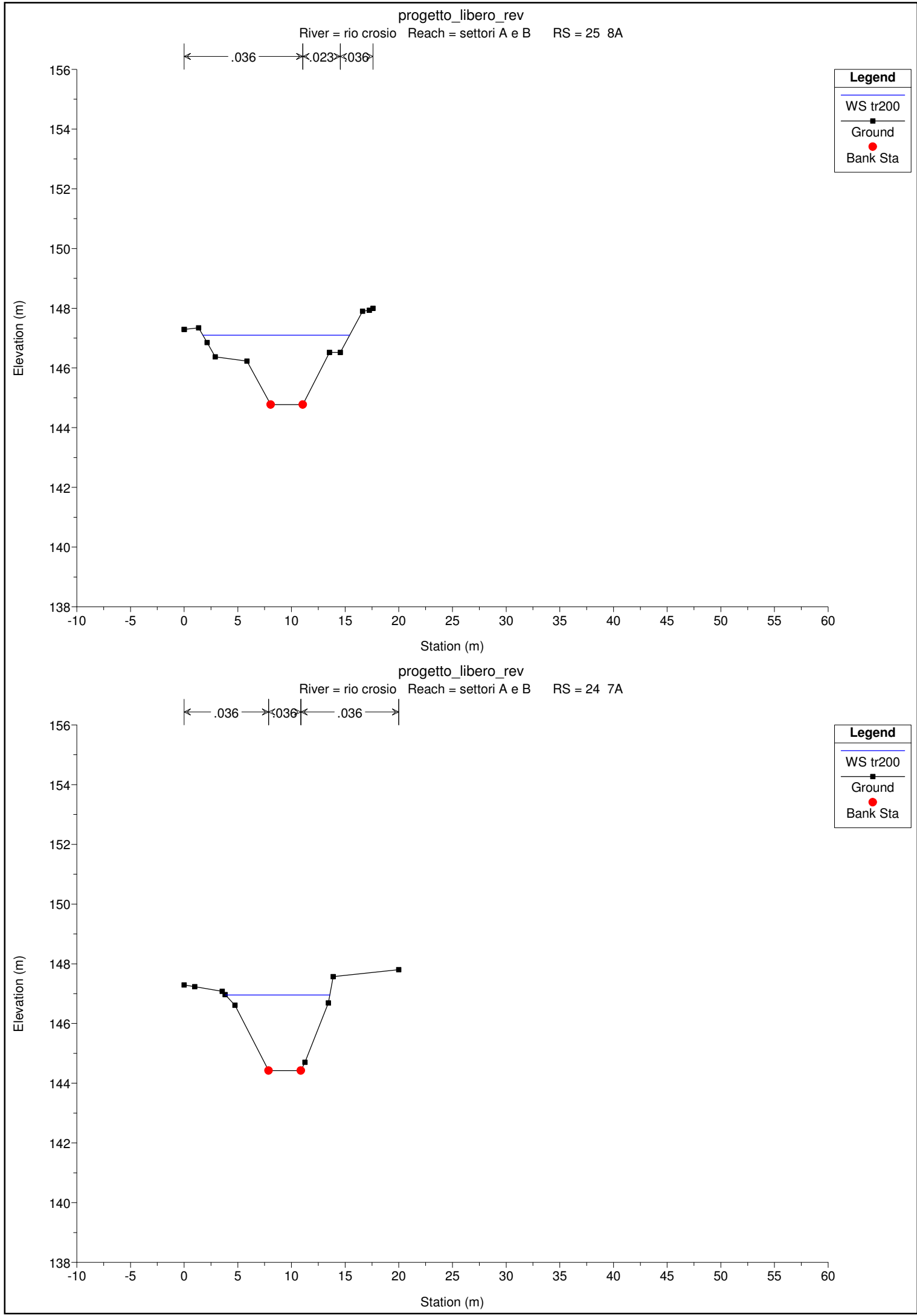






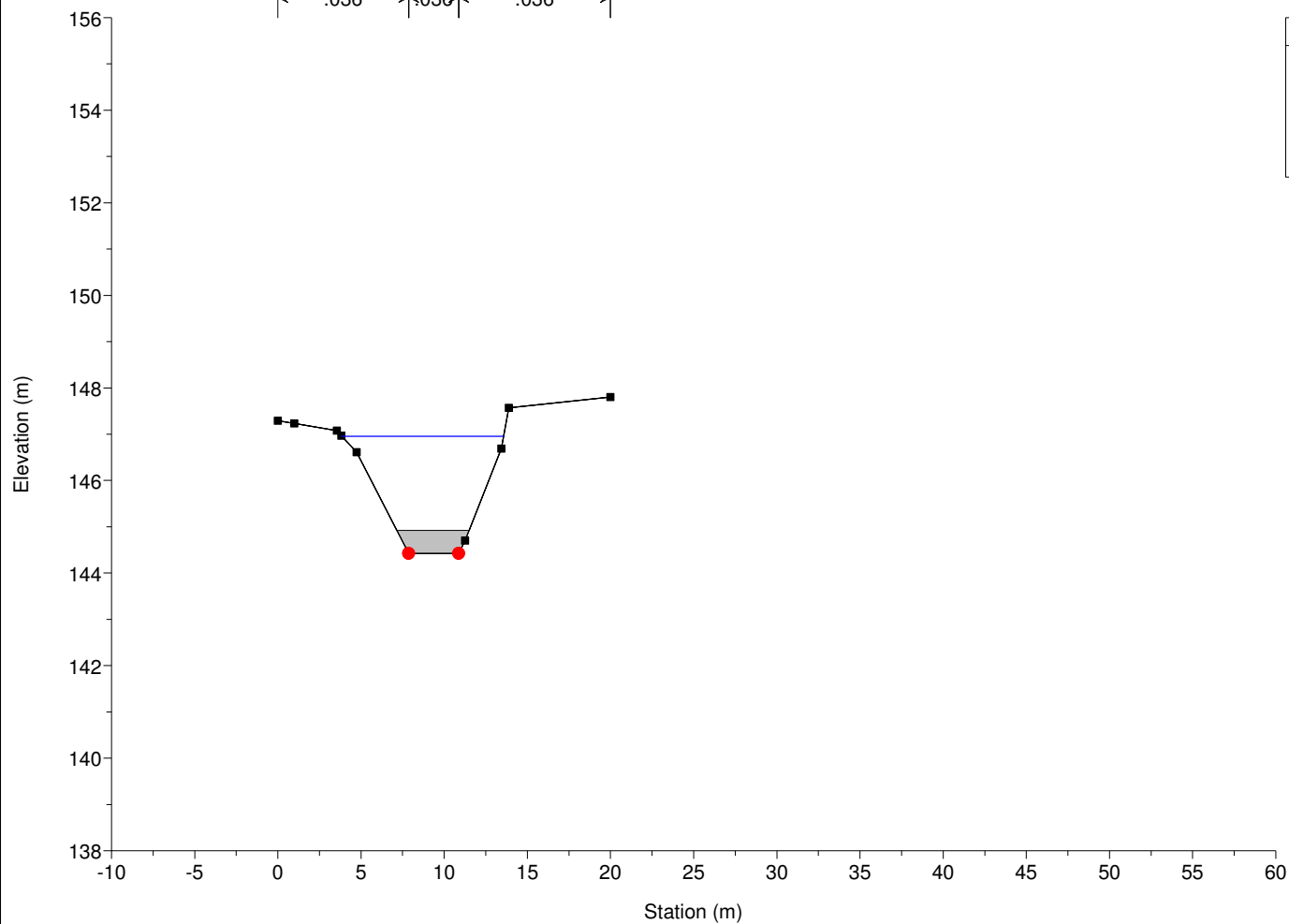






progetto_libero_rev
River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23.5 IS briglia esistente settore A (monte sezione 6A)

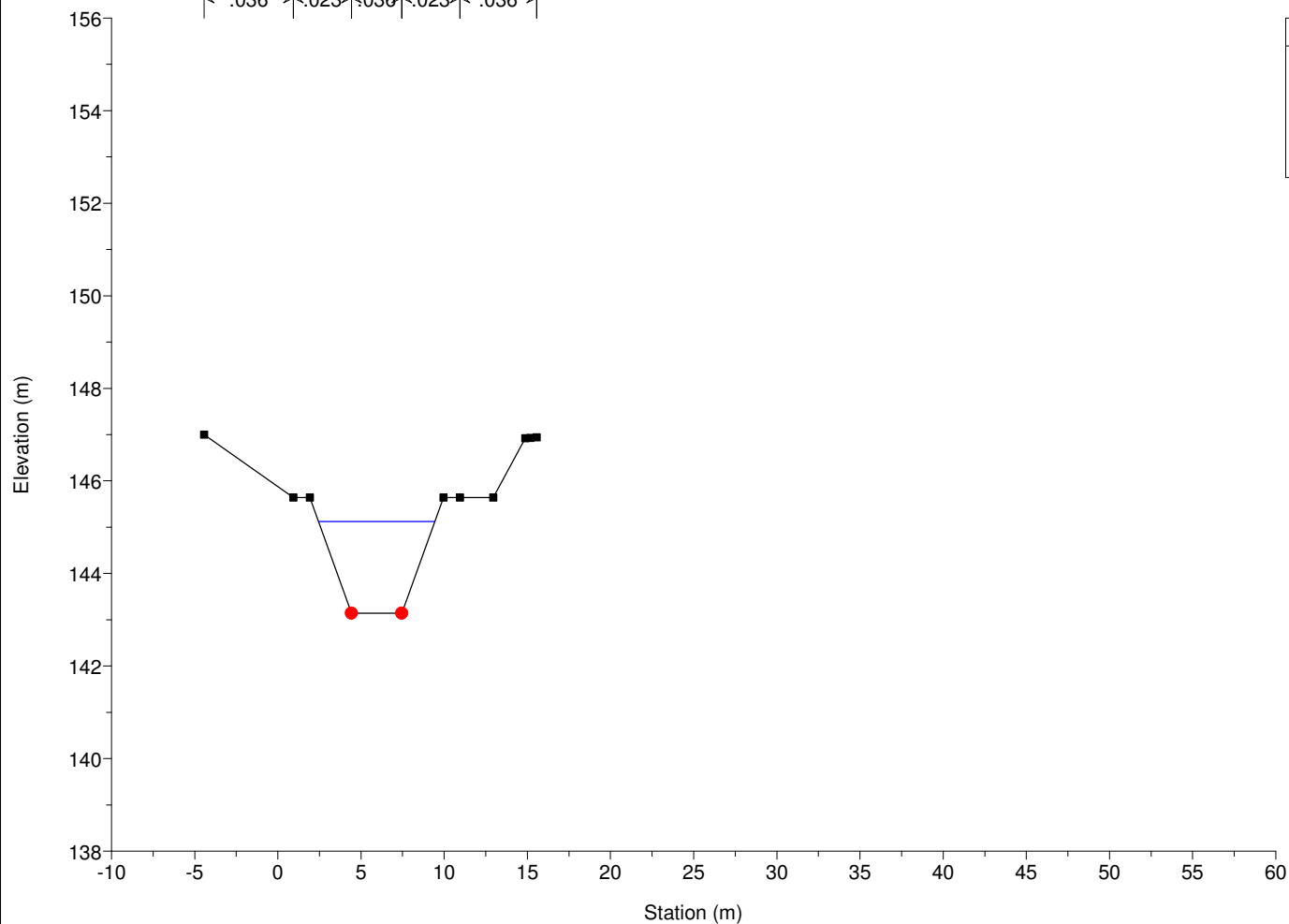
← .036 → .036 → .036 →



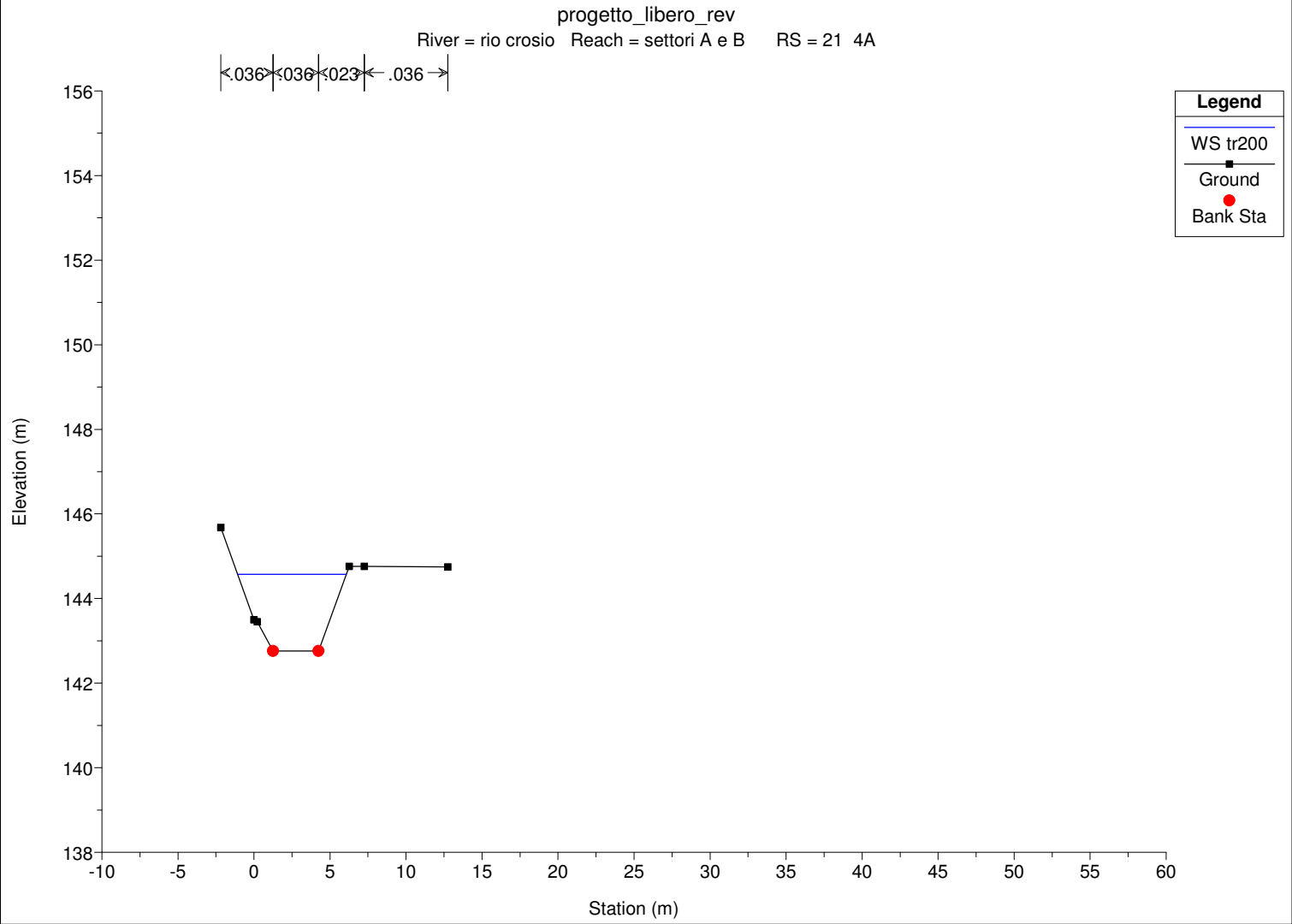
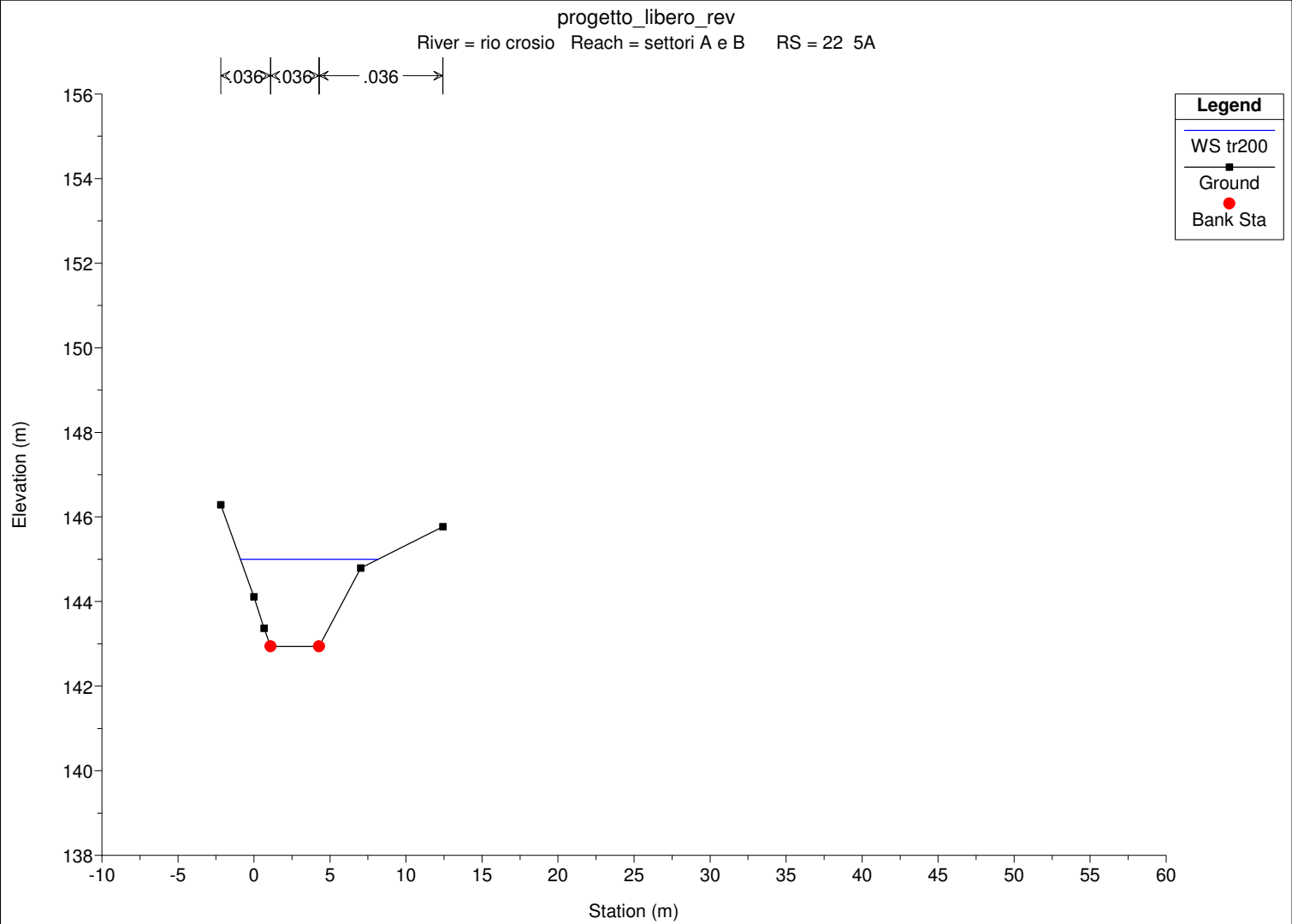
Legend
WS tr200
Ground
Bank Sta

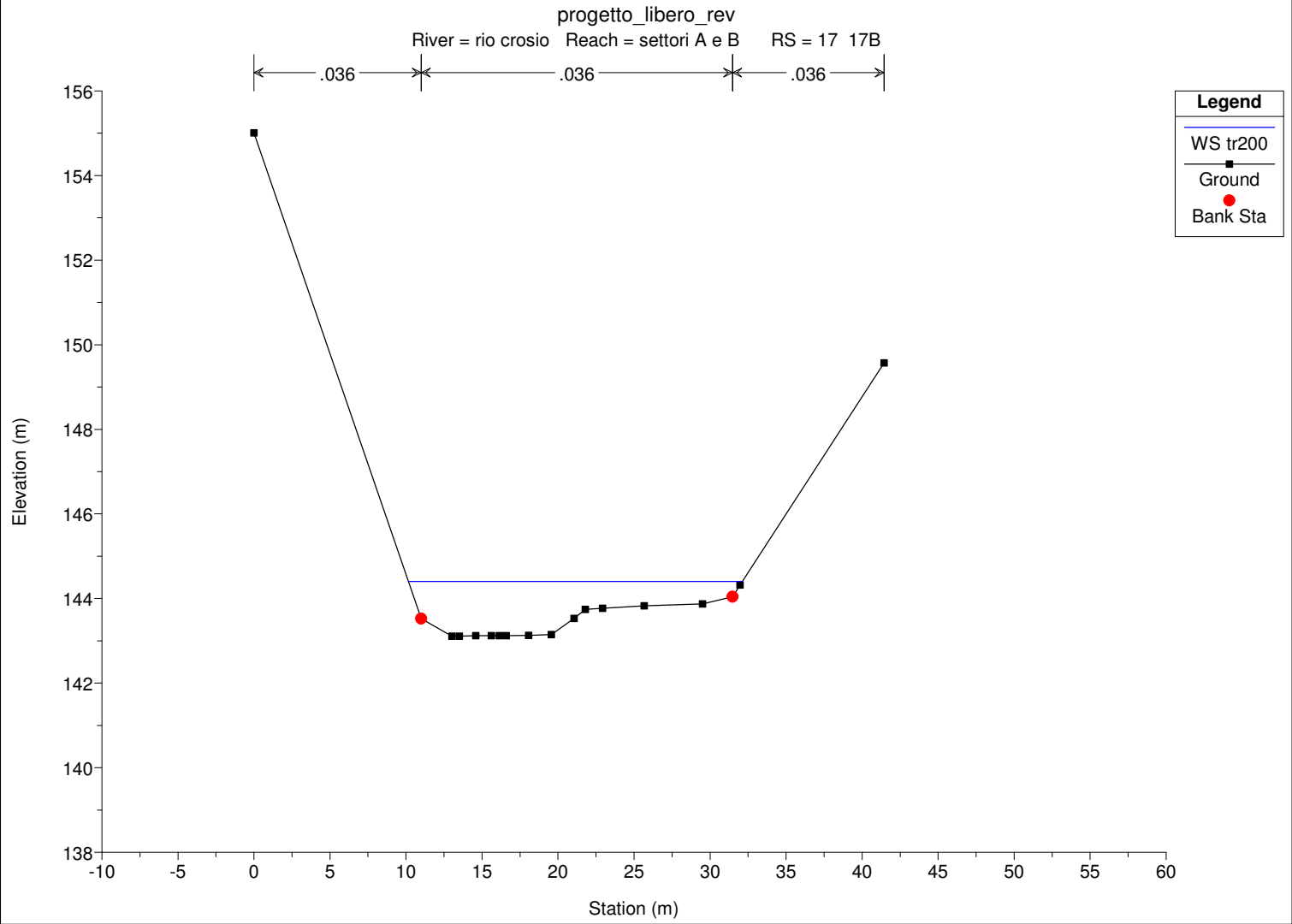
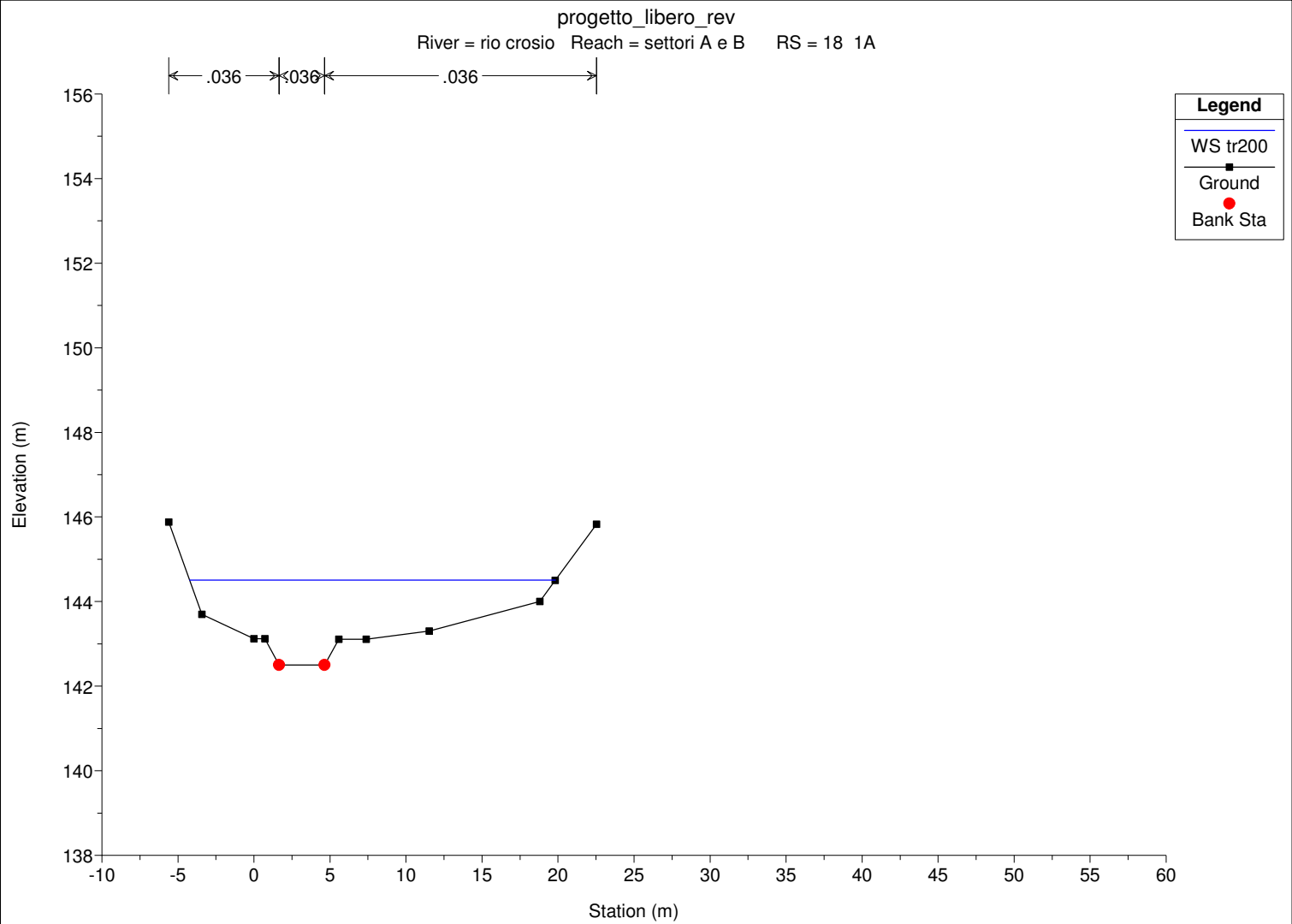
progetto_libero_rev
River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23 6A

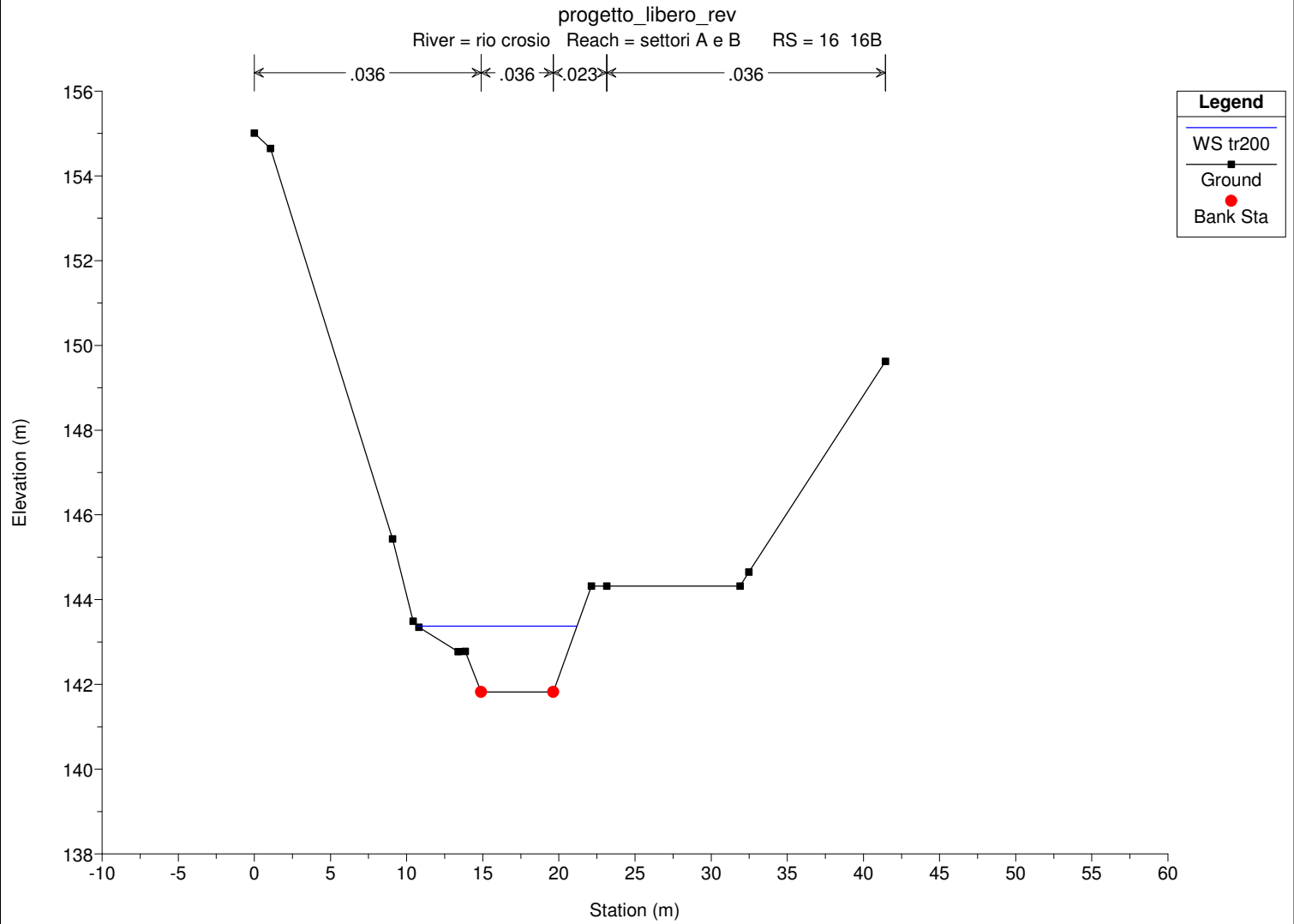
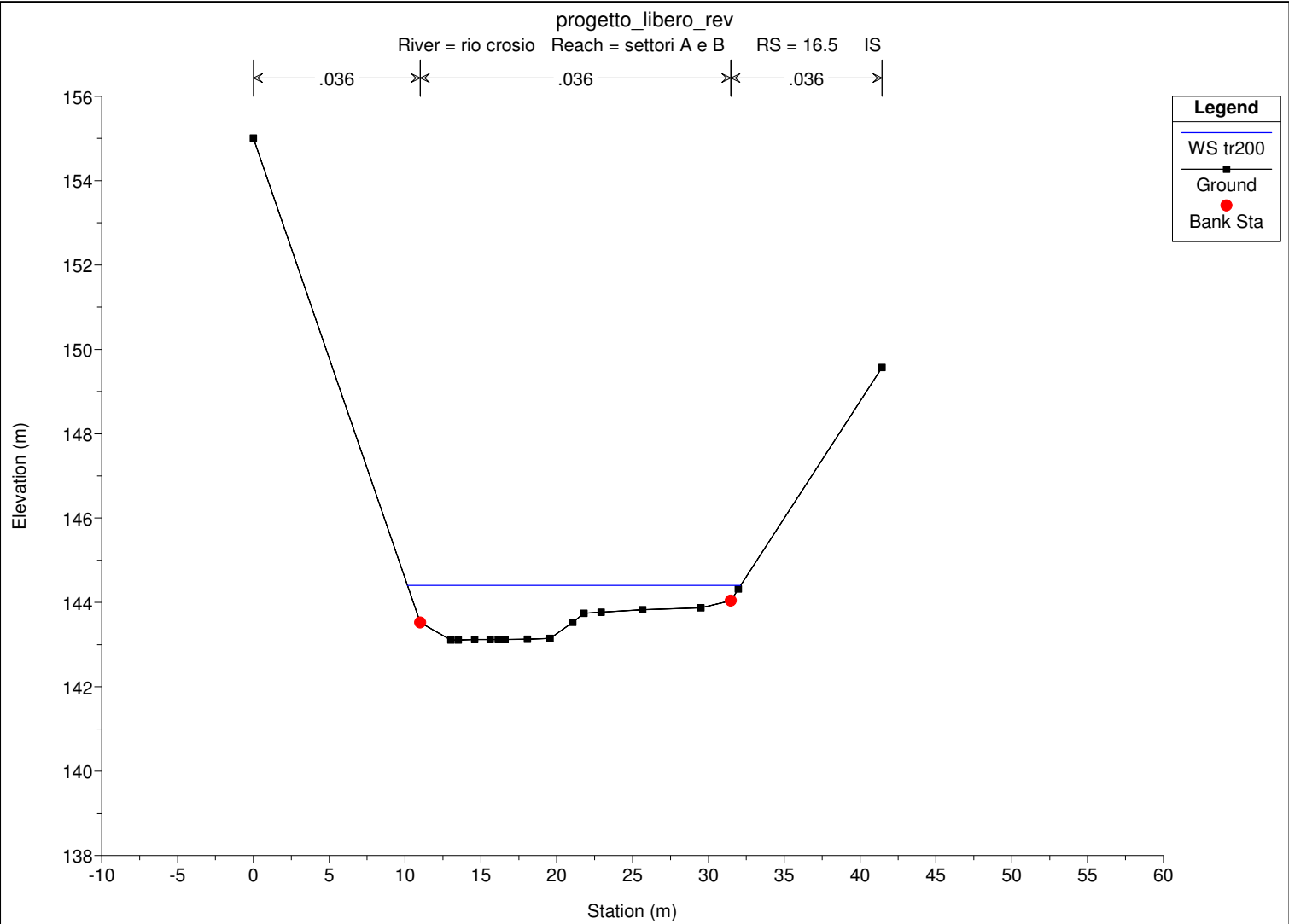
← .036 → .023 → .036 → .023 → .036 →

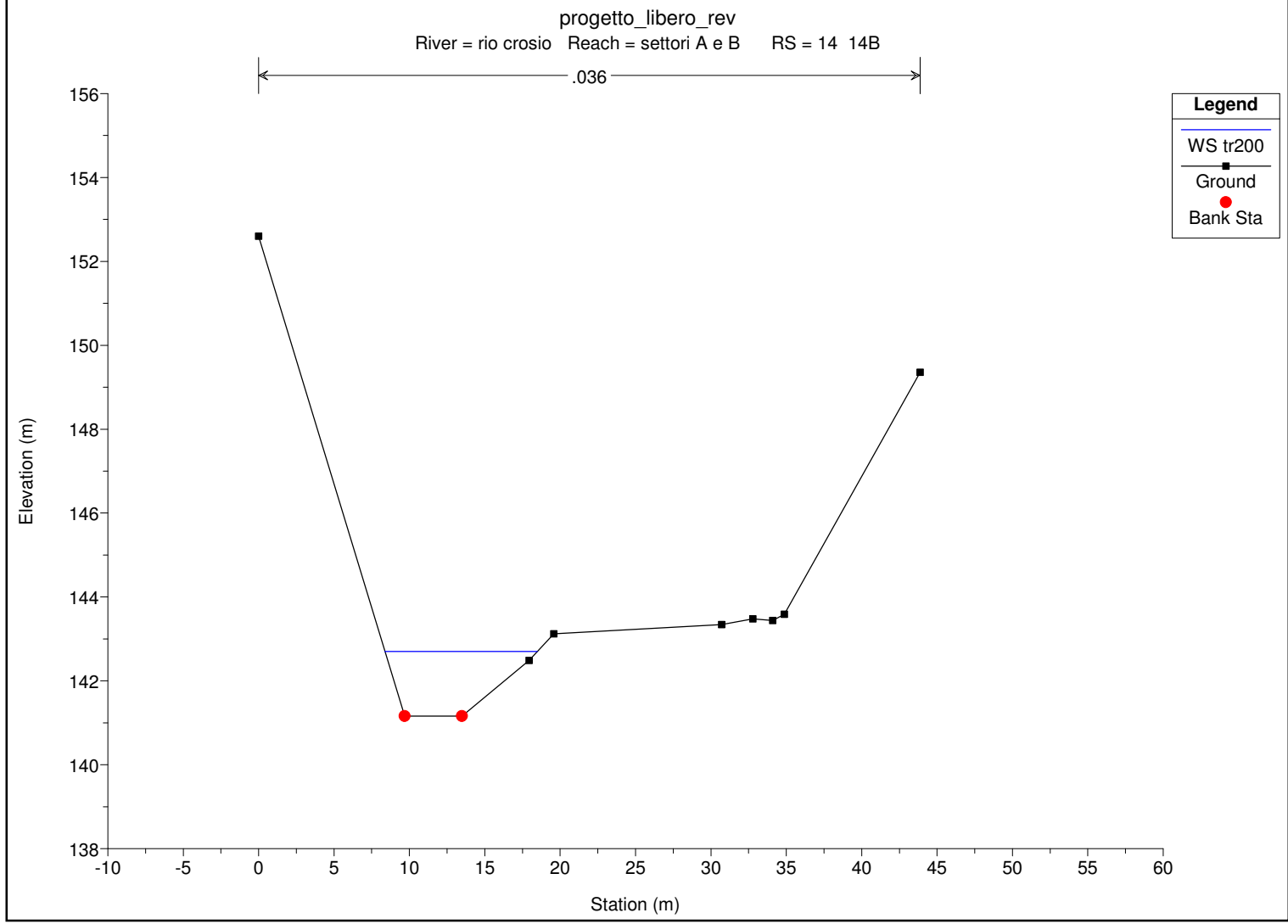
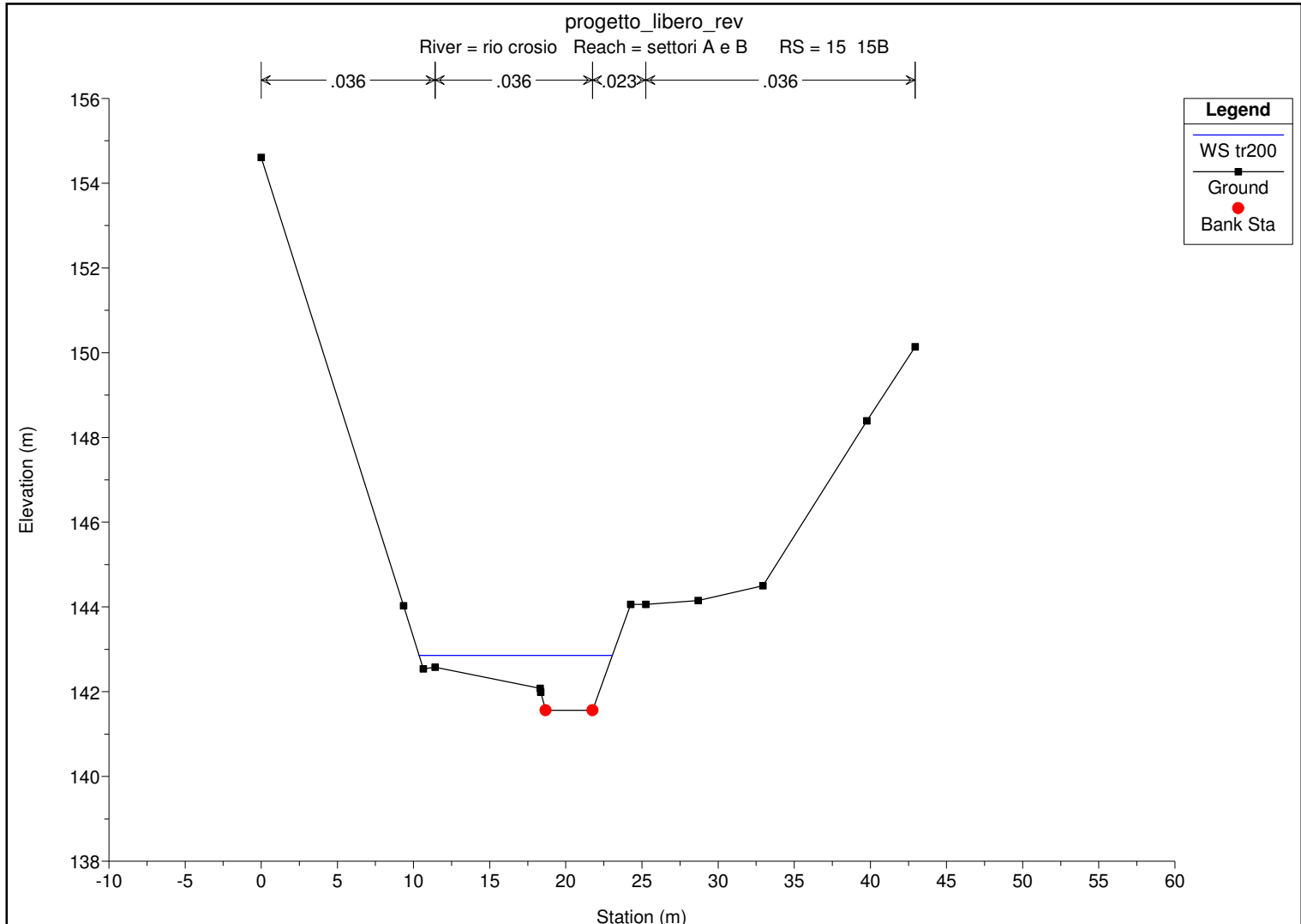


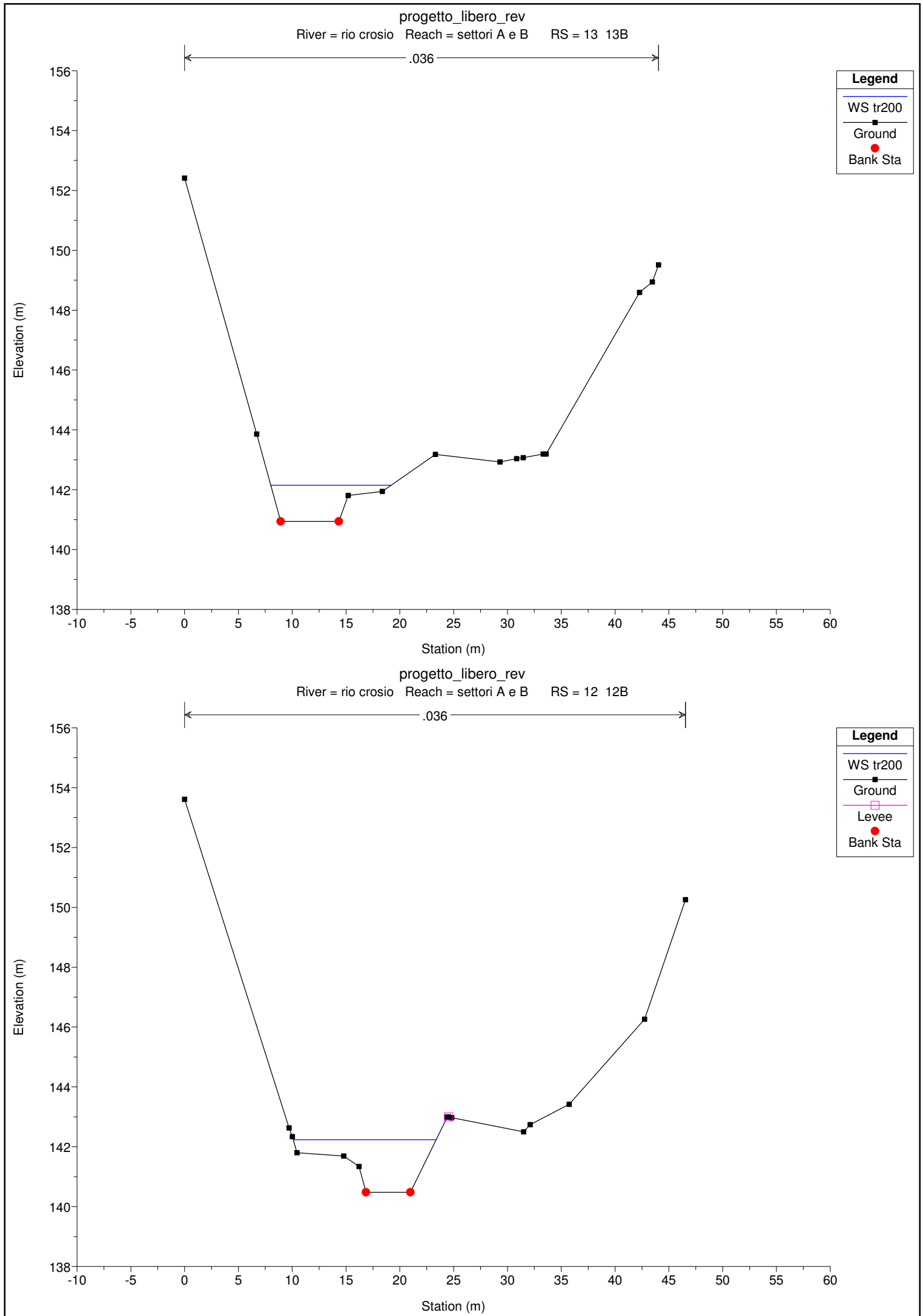
Legend
WS tr200
Ground
Bank Sta

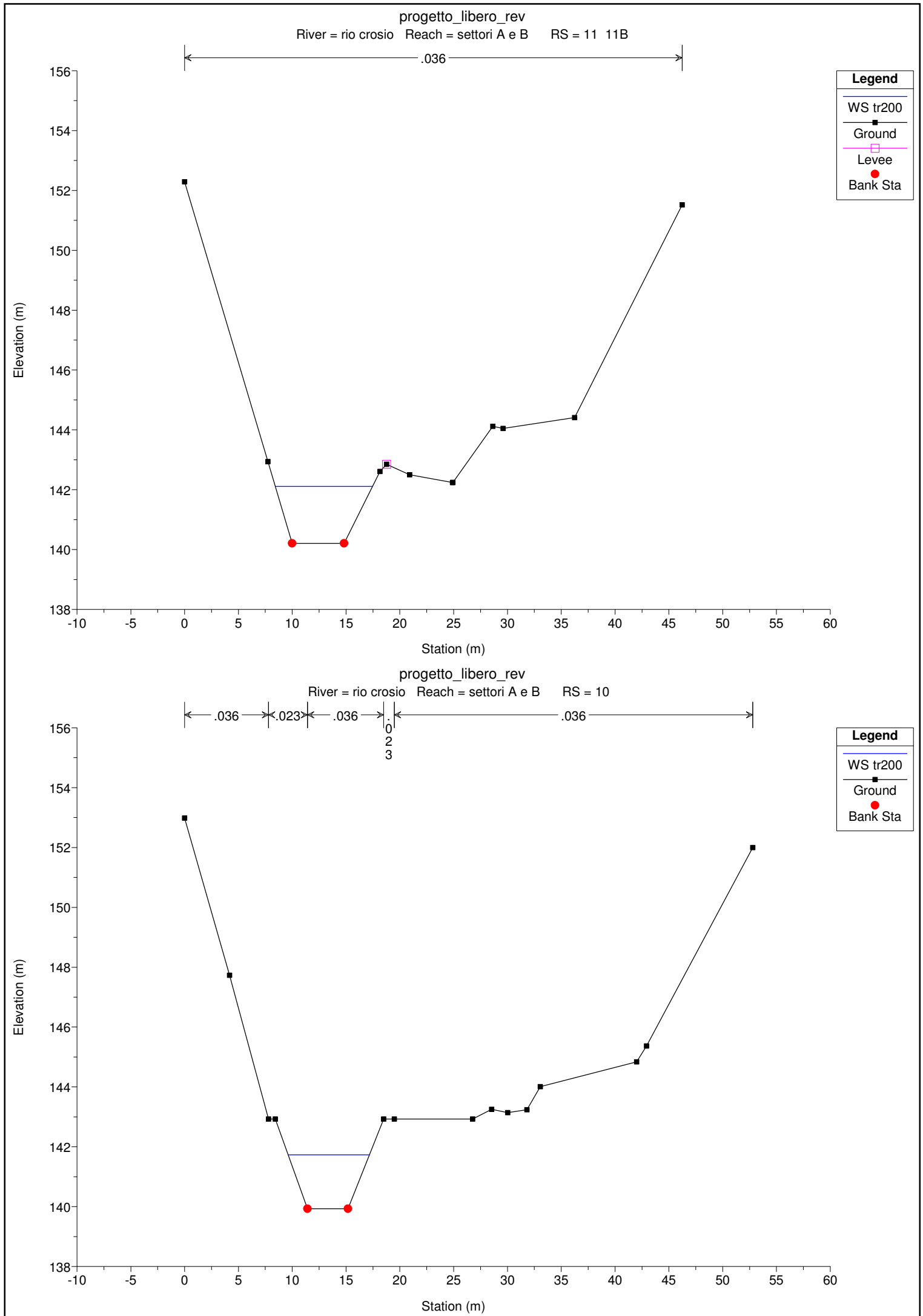


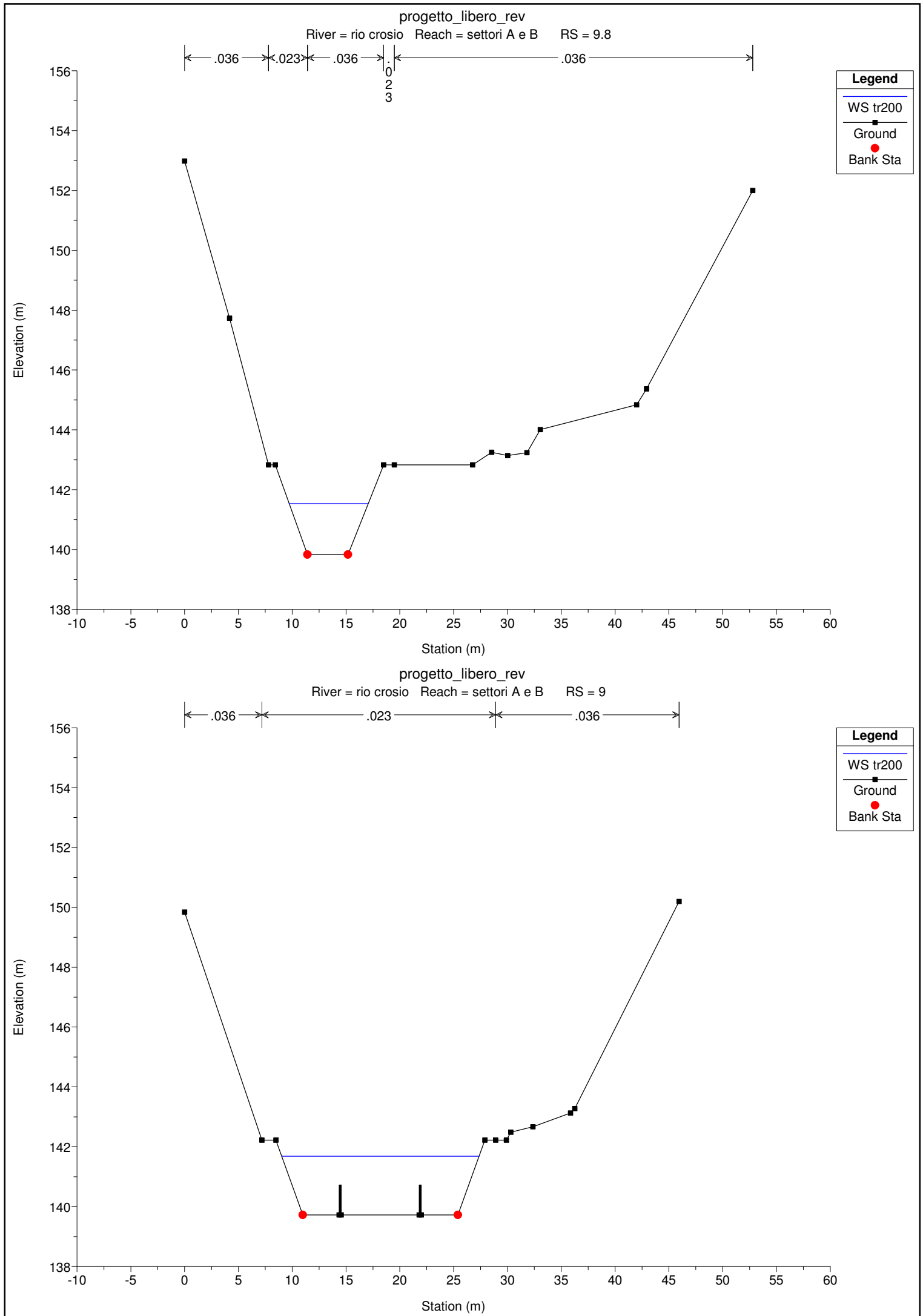


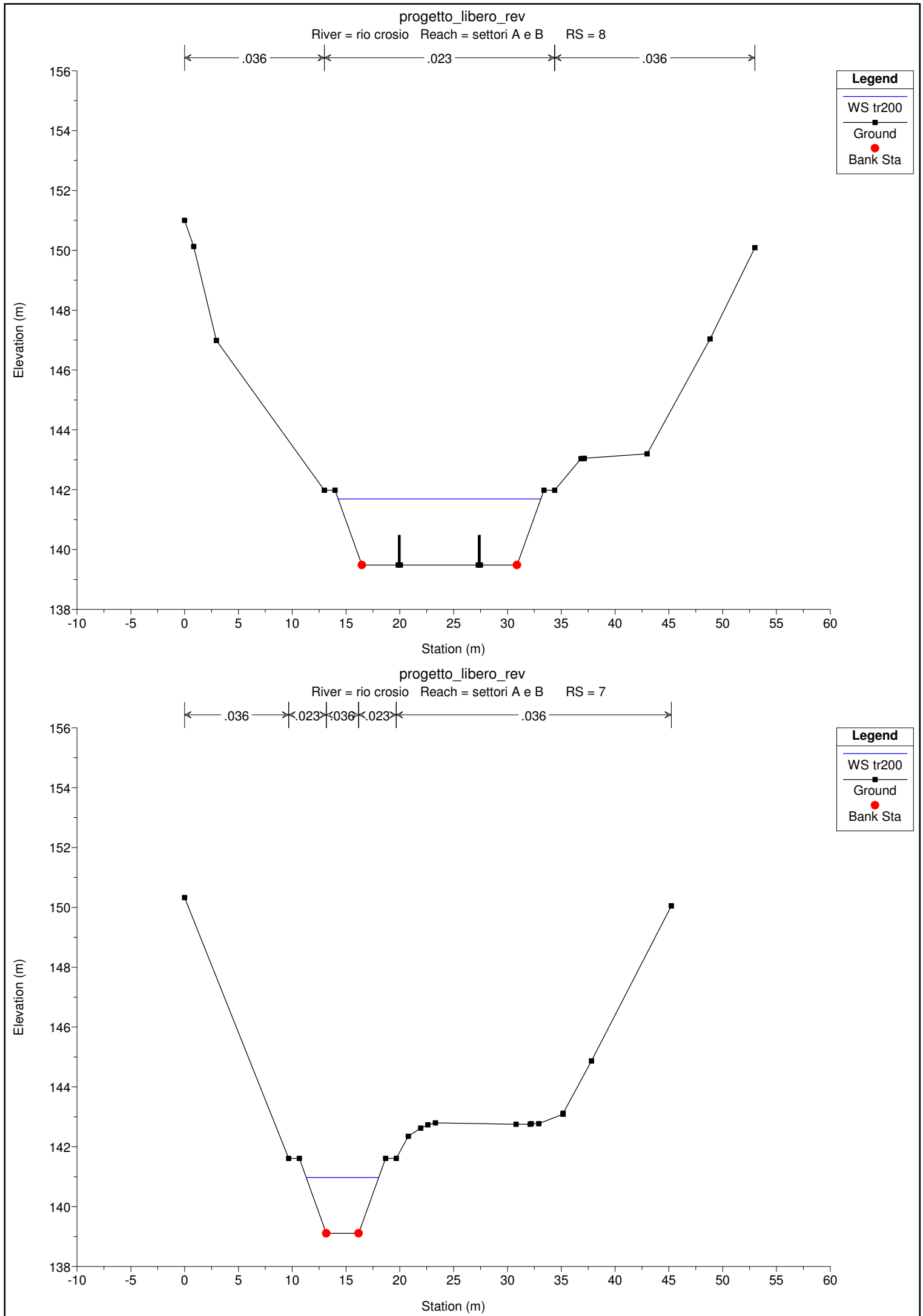


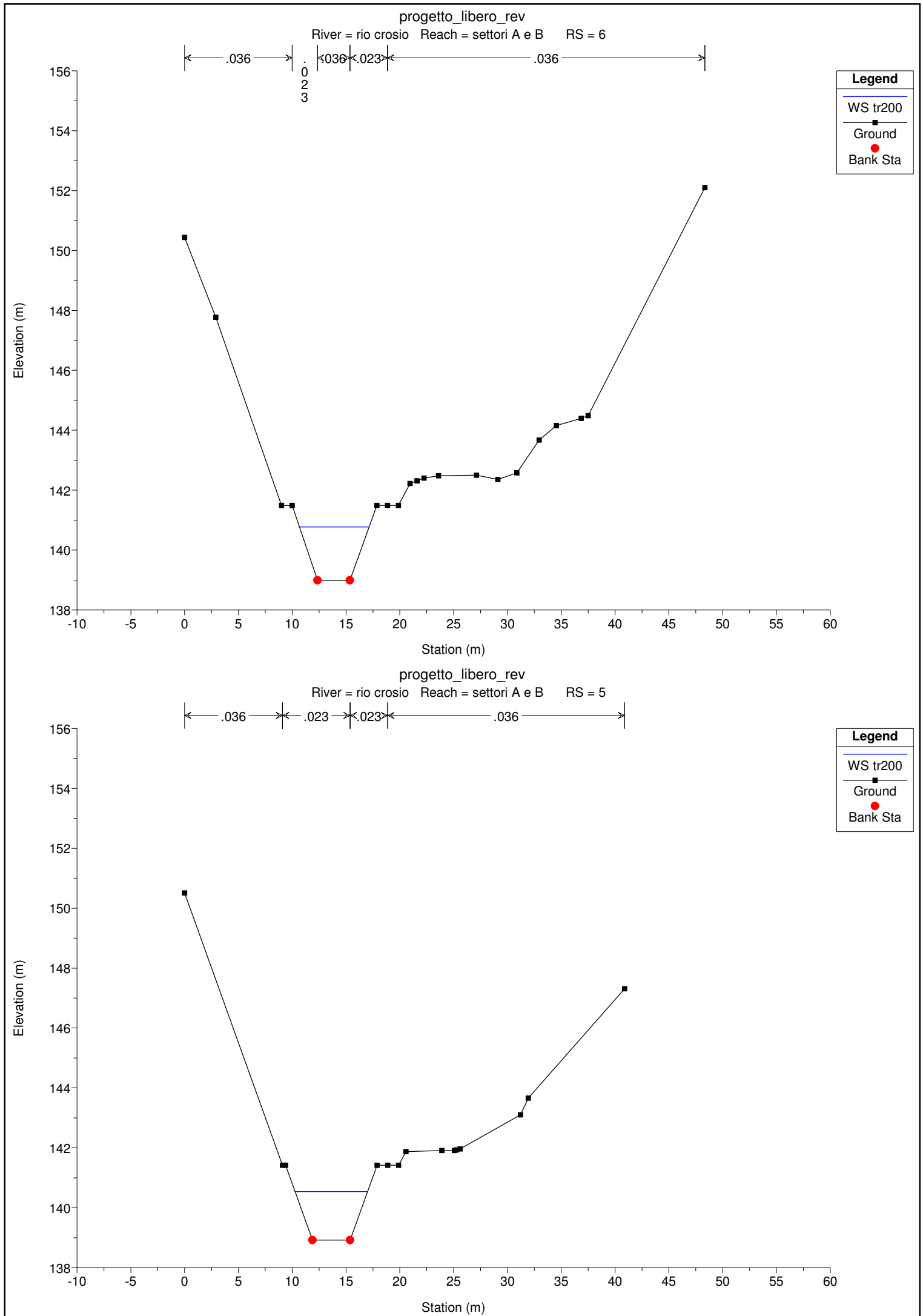


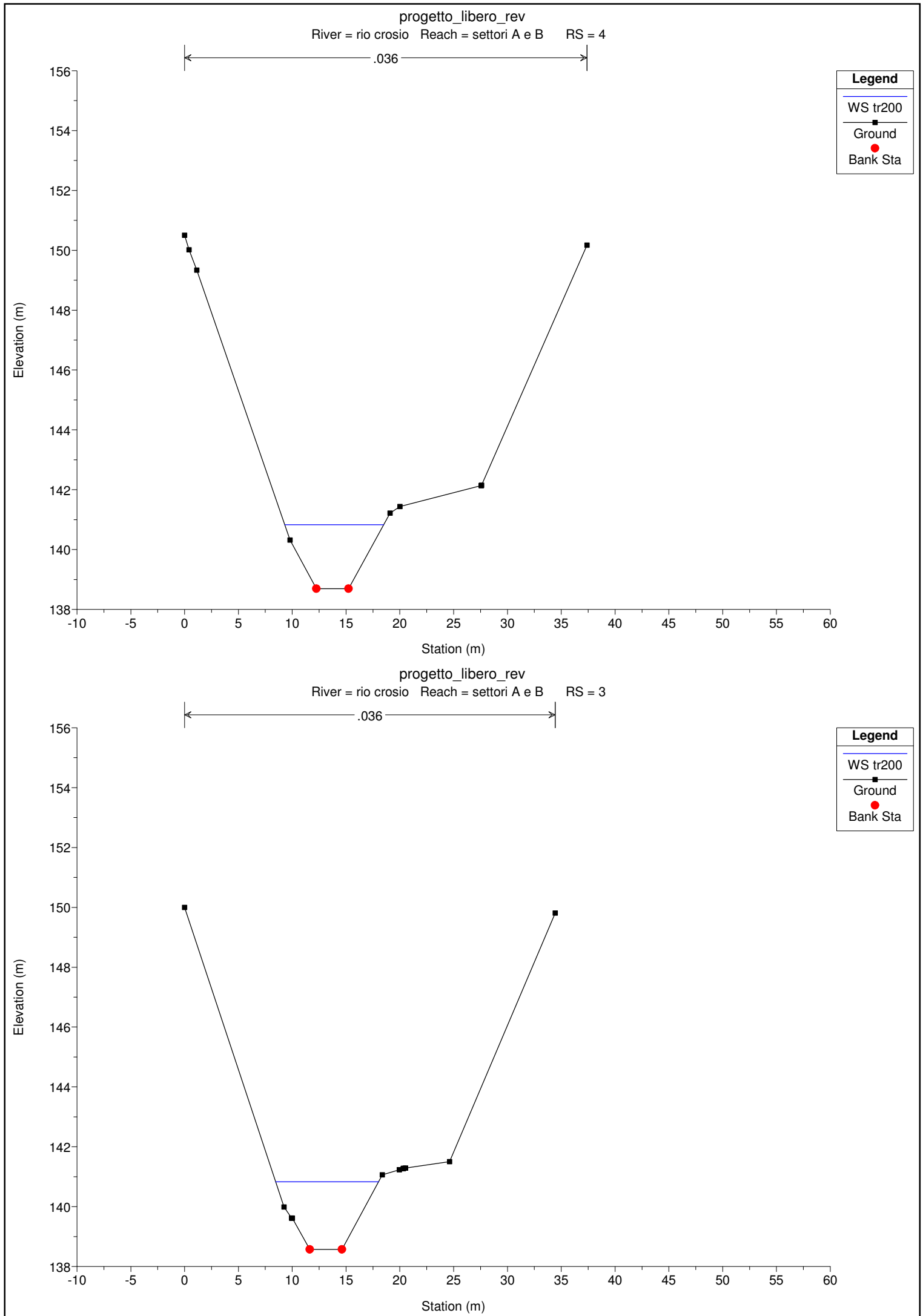


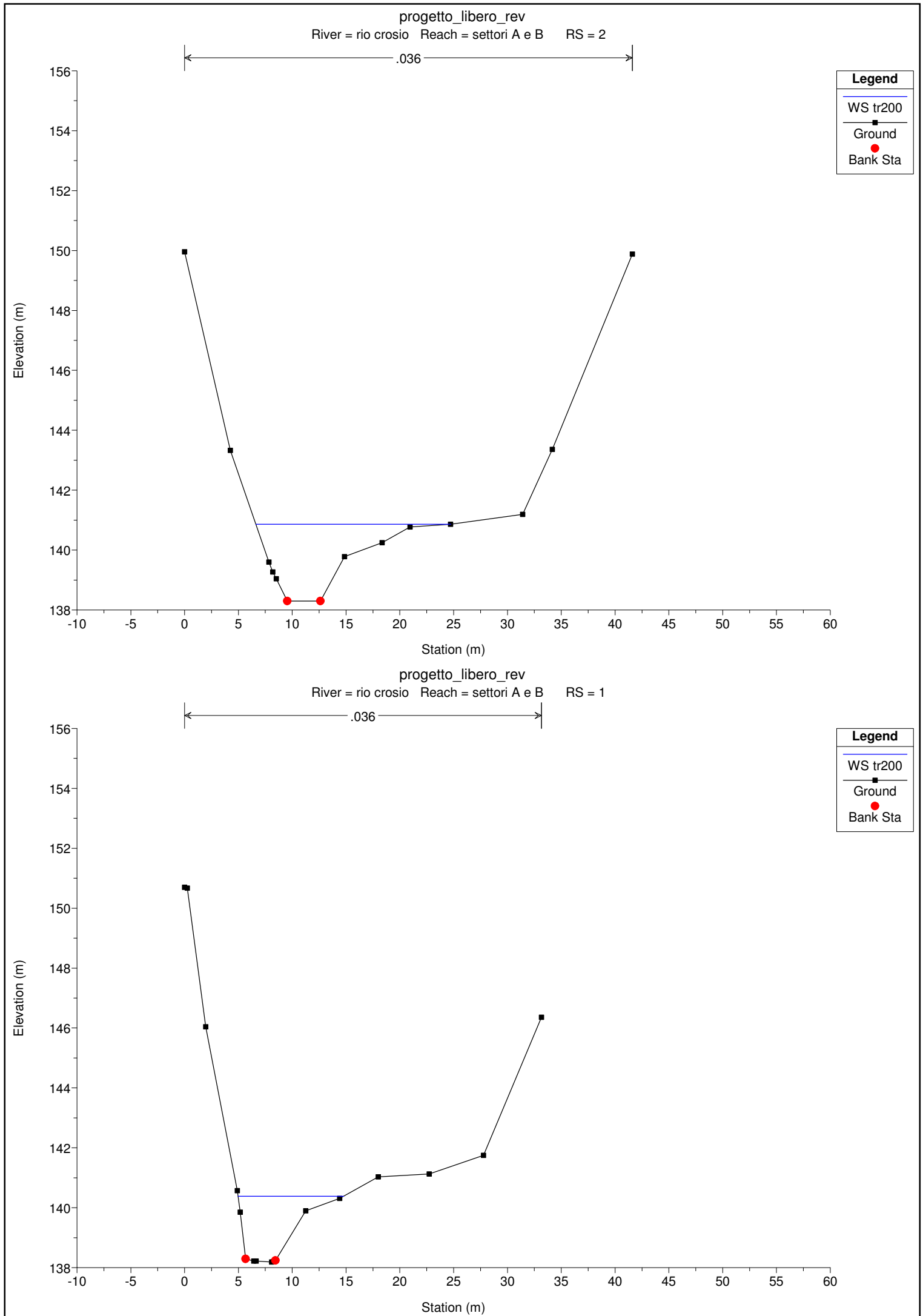






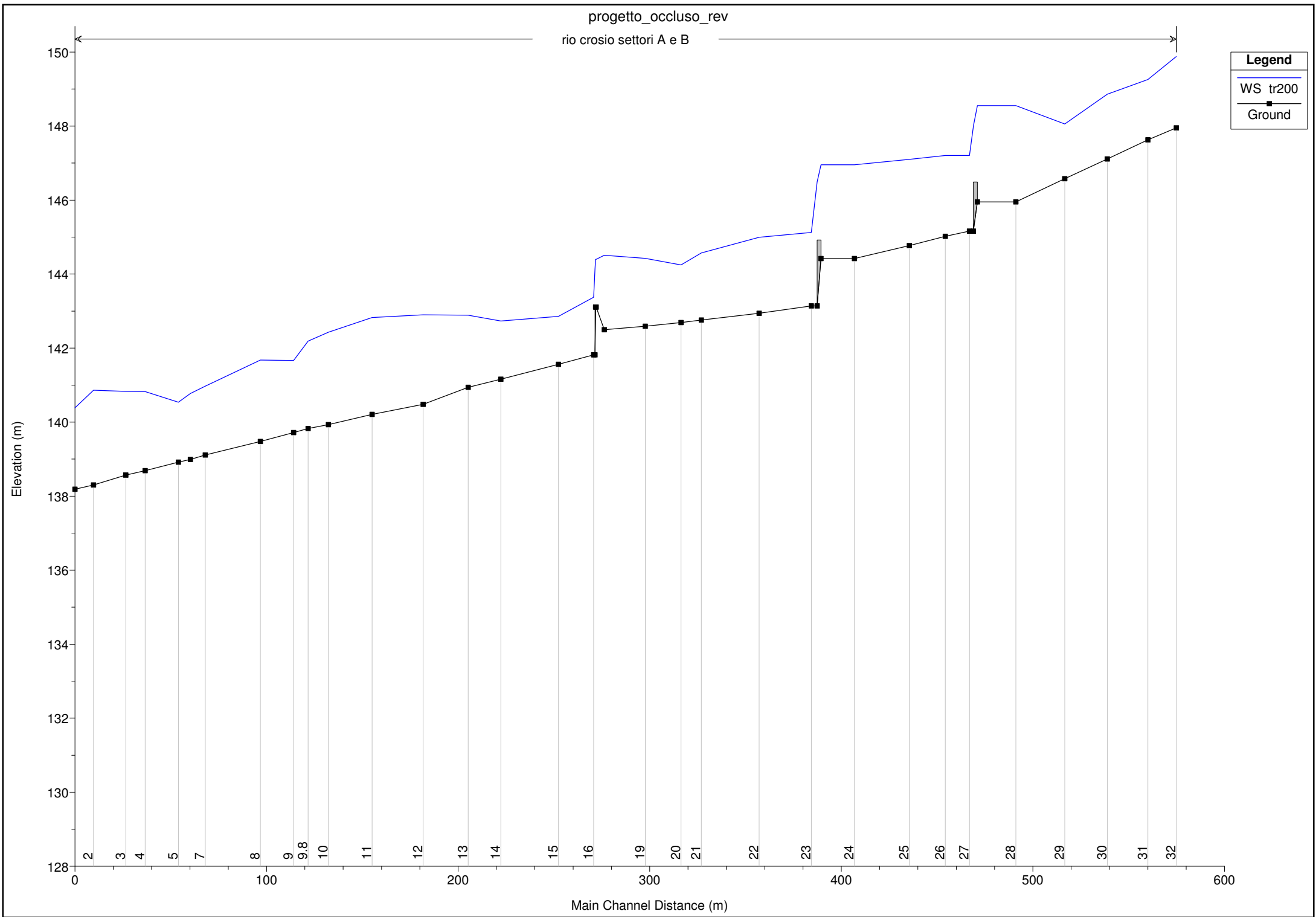


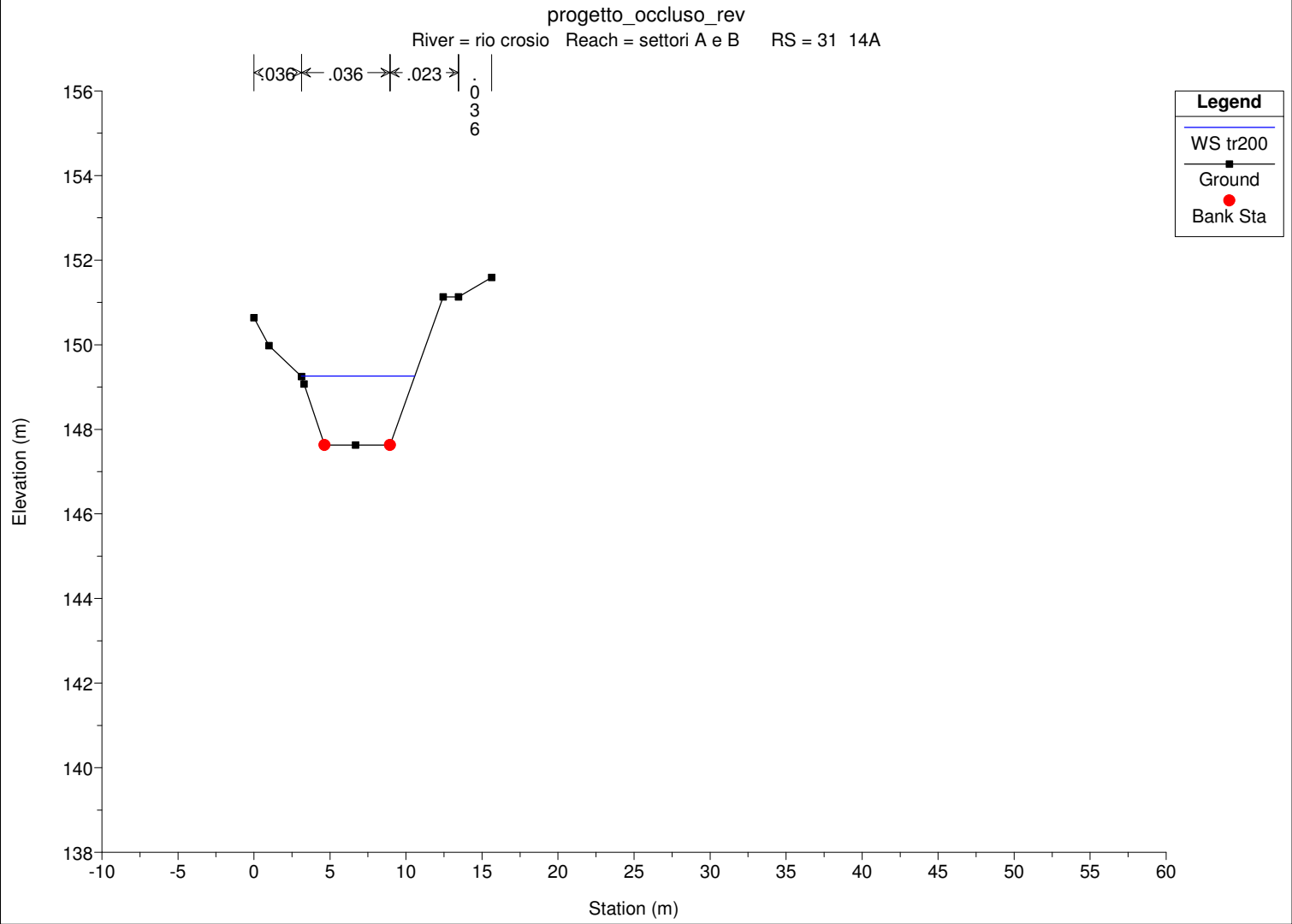
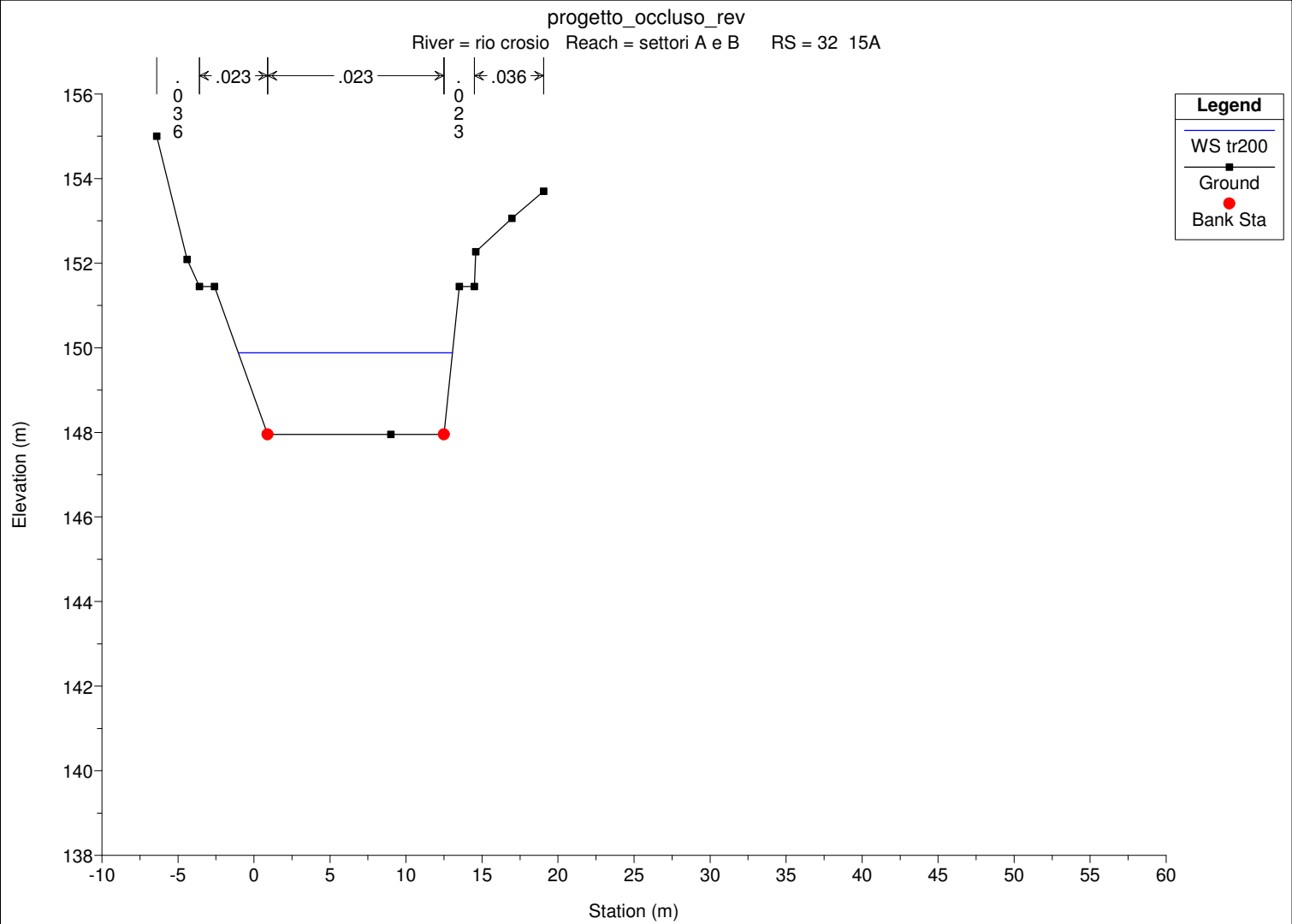


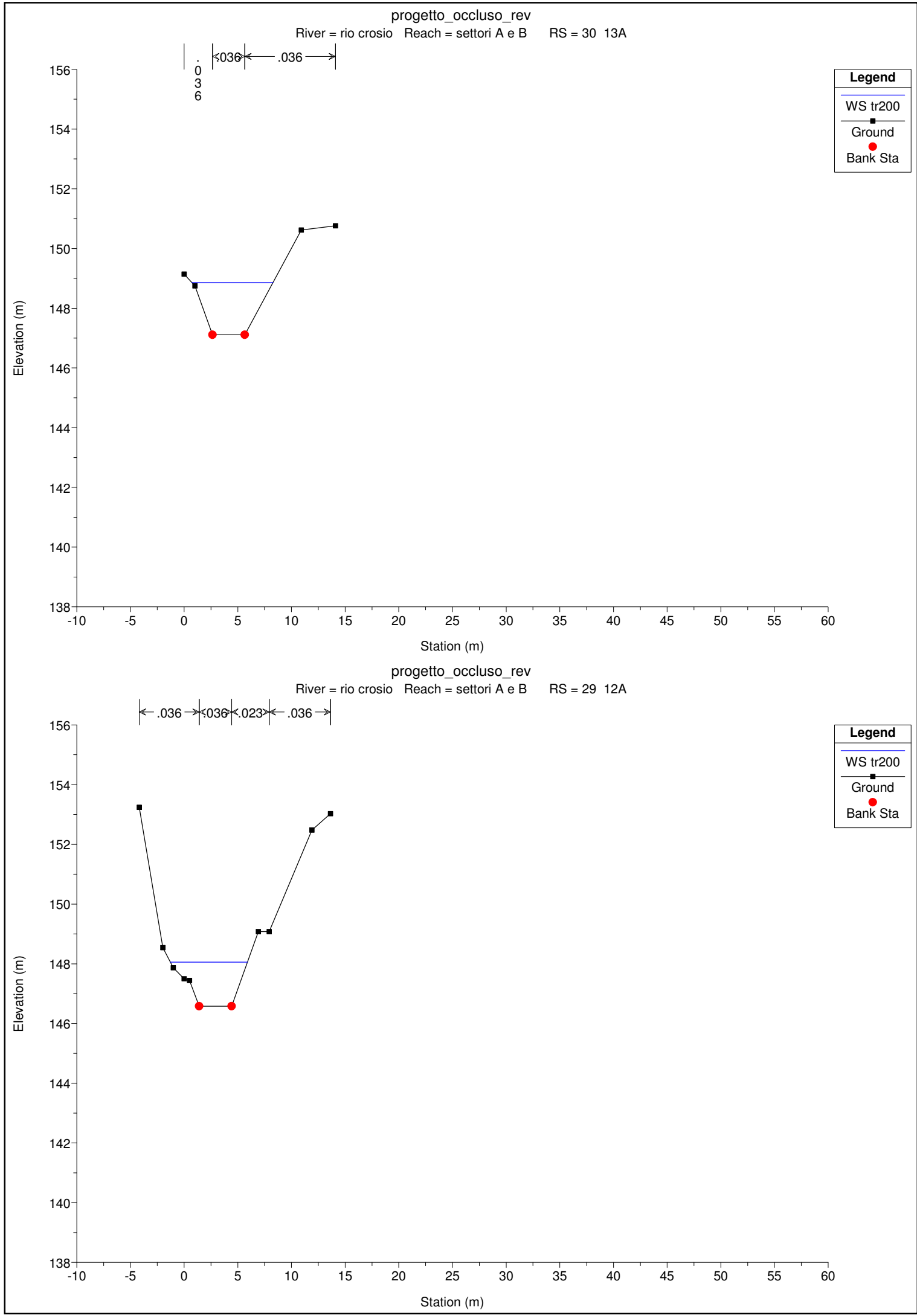


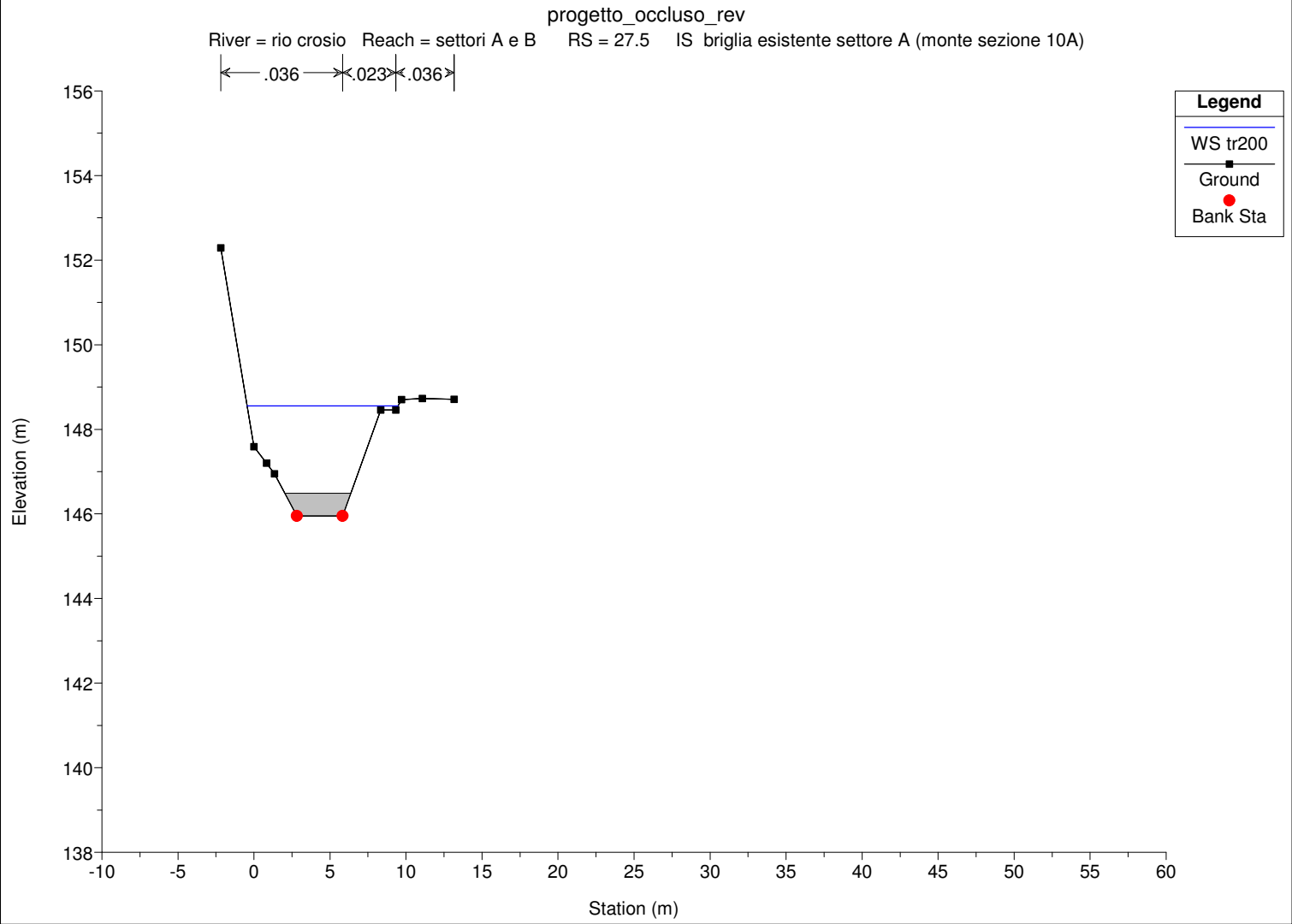
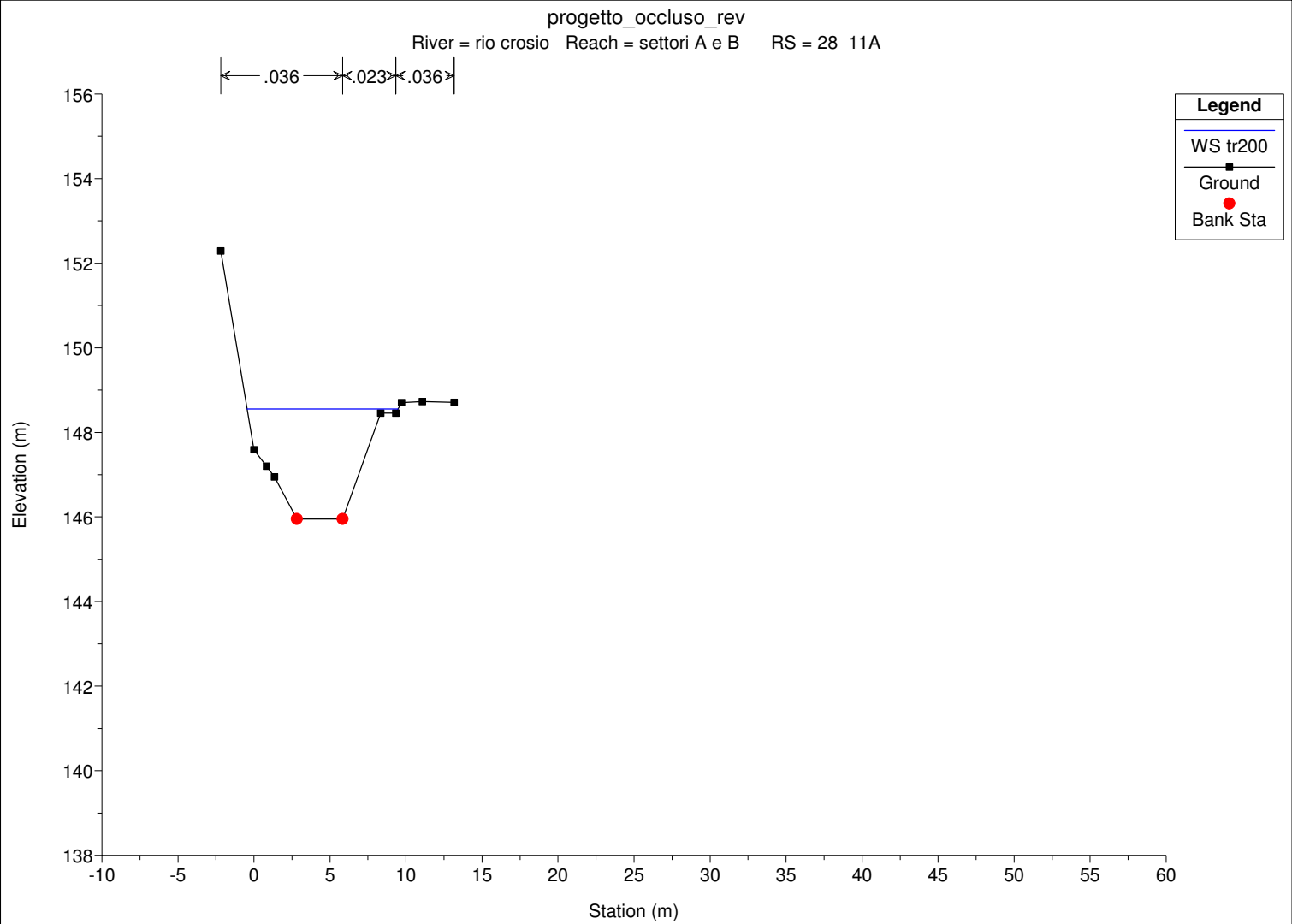
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
settori A e B	32	tr200	32.43	147.95	149.88	148.86	149.97	0.000421	1.38	24.77	14.08	0.32
settori A e B	31	tr200	32.43	147.63	149.26	149.26	149.90	0.009464	3.74	9.58	7.47	0.94
settori A e B	30	tr200	32.43	147.11	148.86	148.98	149.67	0.012203	4.46	9.09	7.56	1.08
settori A e B	29	tr200	32.43	146.58	148.05	148.43	149.27	0.021766	5.31	7.17	7.17	1.40
settori A e B	28	tr200	32.43	145.95	148.56	147.79	148.79	0.002189	2.46	16.36	9.93	0.49
settori A e B	27.5		Inl Struct									
settori A e B	27	tr200	32.43	145.16	147.21		147.37	0.000949	2.16	19.24	14.34	0.48
settori A e B	26	tr200	32.43	145.02	147.20		147.35	0.001893	2.03	21.32	20.19	0.44
settori A e B	25	tr200	32.43	144.77	147.10		147.30	0.002181	2.28	17.74	13.68	0.48
settori A e B	24	tr200	32.43	144.42	146.95	146.26	147.23	0.002719	2.69	15.96	9.72	0.54
settori A e B	23.5		Inl Struct									
settori A e B	23	tr200	32.43	143.14	145.12	145.00	145.69	0.006647	3.58	9.93	6.99	0.81
settori A e B	22	tr200	32.43	142.94	145.00	144.74	145.50	0.006203	3.54	11.82	9.06	0.79
settori A e B	21	tr200	32.43	142.76	144.57	144.57	145.25	0.009478	4.02	9.42	7.15	0.95
settori A e B	20	tr200	32.43	142.69	144.25	144.45	145.11	0.015031	4.58	8.51	8.19	1.17
settori A e B	19	tr200	32.43	142.59	144.42	144.06	144.68	0.003751	2.55	16.09	14.52	0.60
settori A e B	18	tr200	32.43	142.50	144.51		144.58	0.001266	1.57	28.73	24.06	0.35
settori A e B	17	tr200	32.43	143.11	144.40	144.15	144.56	0.004836	1.77	18.58	21.96	0.60
settori A e B	16.5		Inl Struct									
settori A e B	16	tr200	32.43	141.82	143.38	143.38	143.91	0.008666	3.47	10.80	10.46	0.89
settori A e B	15	tr200	32.43	141.56	142.86	143.09	143.66	0.019710	4.64	9.16	12.70	1.30
settori A e B	14	tr200	32.43	141.16	142.70	142.70	143.24	0.009855	3.68	10.84	10.11	0.95
settori A e B	13	tr200	32.43	140.94	142.15	142.41	143.02	0.019095	4.36	8.72	11.21	1.26
settori A e B	12	tr200	32.43	140.48	142.23	142.17	142.63	0.006132	3.16	13.40	13.28	0.76
settori A e B	11	tr200	32.43	140.21	142.11	141.73	142.48	0.004585	2.89	13.17	9.03	0.67
settori A e B	10	tr200	32.43	139.93	141.73	141.64	142.31	0.007762	3.62	10.17	7.55	0.86
settori A e B	9.8	tr200	32.43	139.83	141.54	141.54	142.20	0.009519	3.87	9.48	7.35	0.95
settori A e B	9	tr200	32.43	139.72	141.69	140.52	141.74	0.000349	1.07	31.82	18.35	0.25
settori A e B	8	tr200	32.43	139.48	141.69		141.73	0.000231	0.94	36.34	18.83	0.20
settori A e B	7	tr200	32.43	139.11	140.97	140.97	141.65	0.008633	3.91	9.06	6.72	0.91
settori A e B	6	tr200	32.43	138.99	140.77	140.86	141.56	0.010545	4.19	8.43	6.46	1.00
settori A e B	5	tr200	32.43	138.92	140.54	140.73	141.48	0.006007	4.65	8.29	6.74	1.17
settori A e B	4	tr200	32.43	138.69	140.83	140.48	141.20	0.004692	3.16	13.25	9.20	0.69
settori A e B	3	tr200	32.43	138.57	140.83		141.14	0.003648	2.89	14.57	9.56	0.61
settori A e B	2	tr200	32.43	138.30	140.86		141.07	0.002182	2.43	20.07	18.12	0.48
settori A e B	1	tr200	32.43	138.19	140.39	140.39	140.99	0.007070	3.90	11.31	9.81	0.85

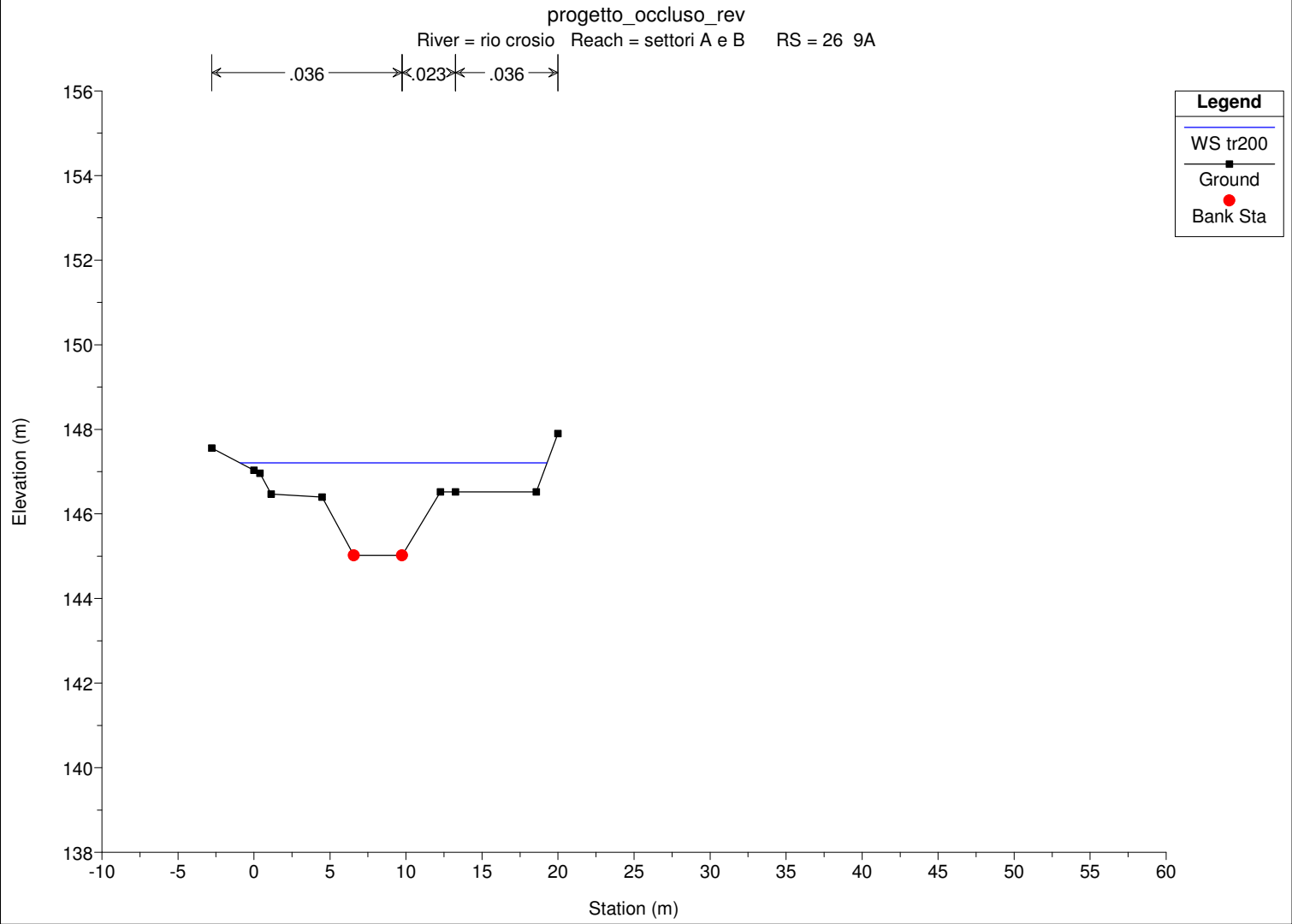
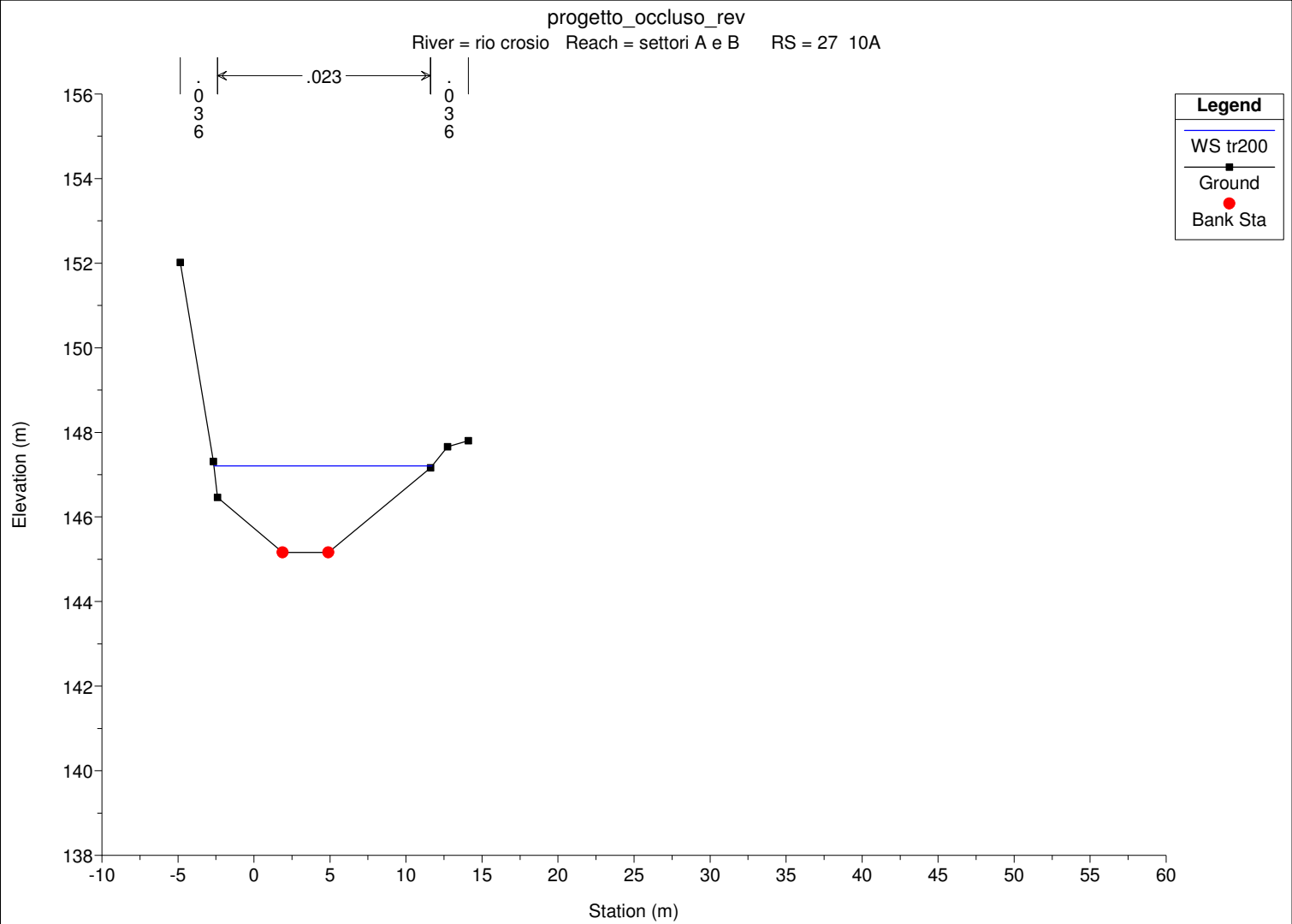
**STATO DI PROGETTO – BRIGLIA DI TRATTENUTA OCCLUSA: PROFILO,
SEZIONI E RISULTATI**

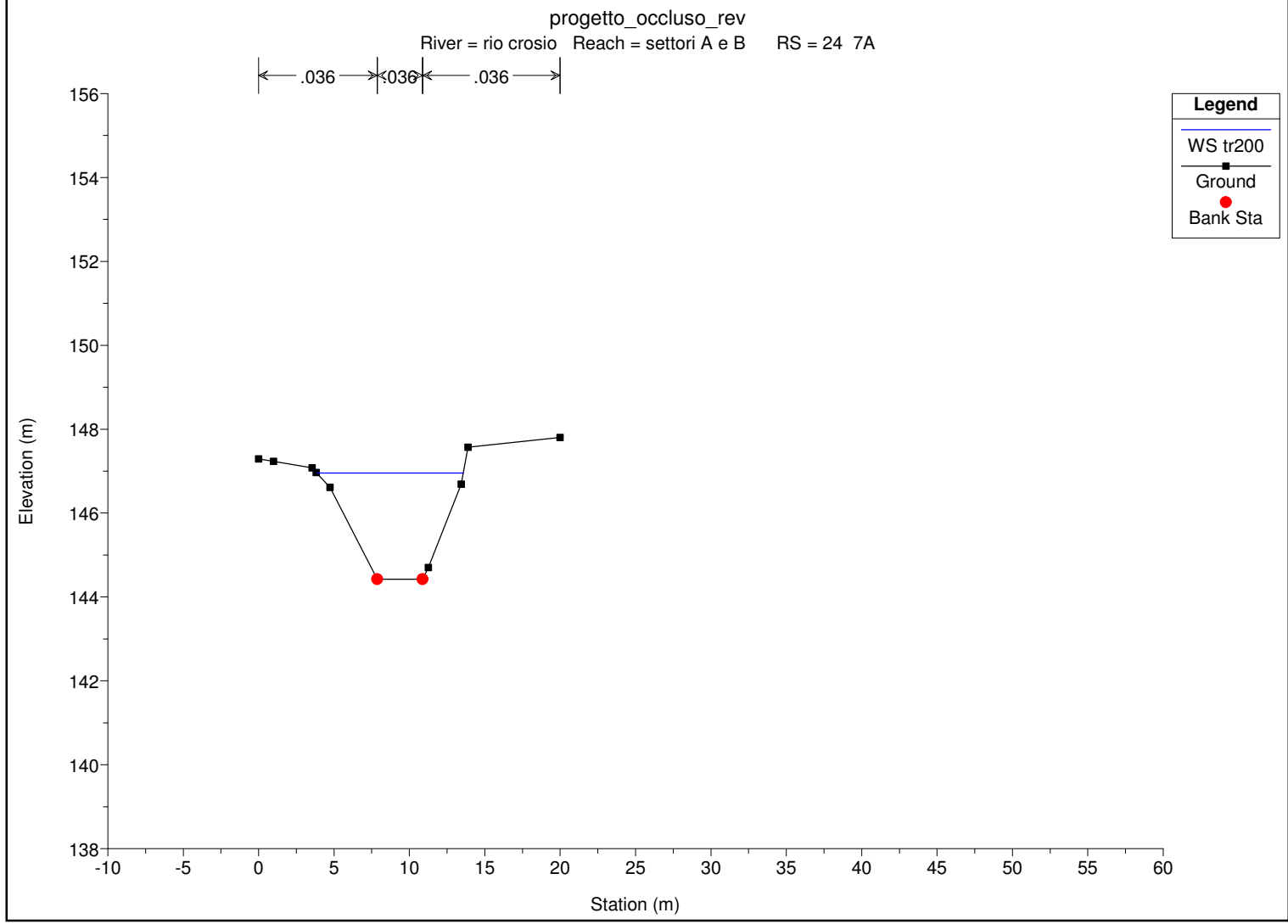
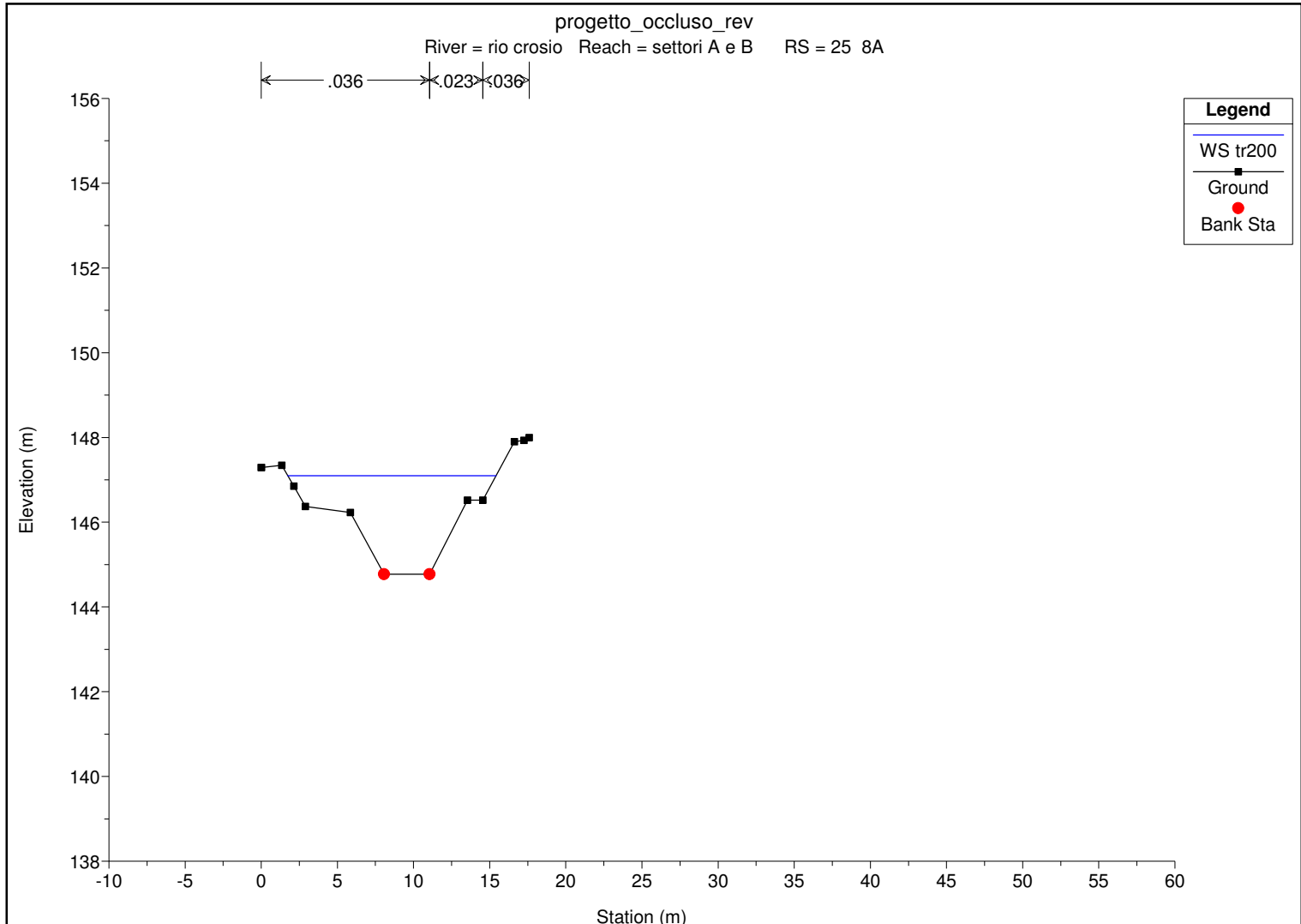






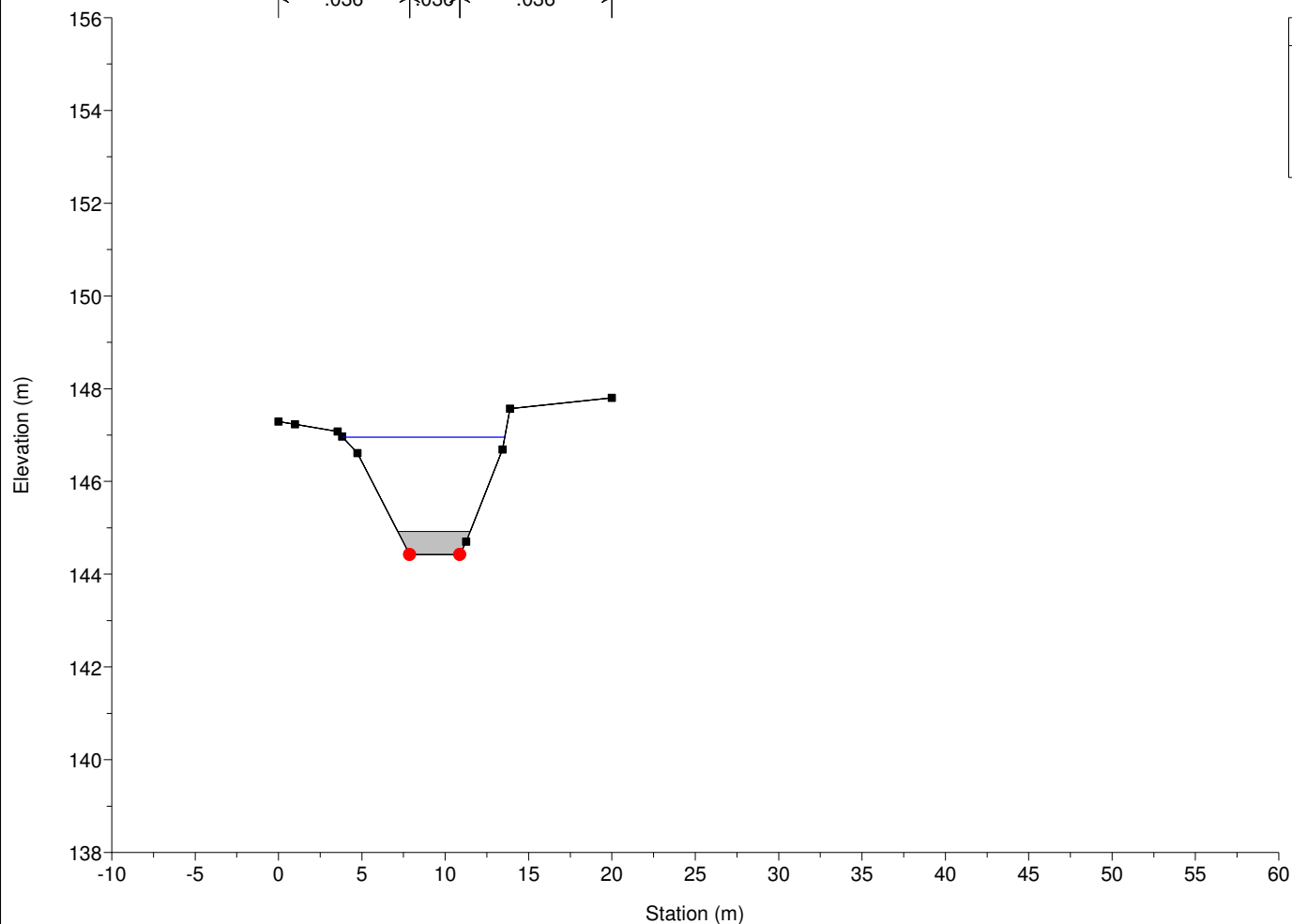






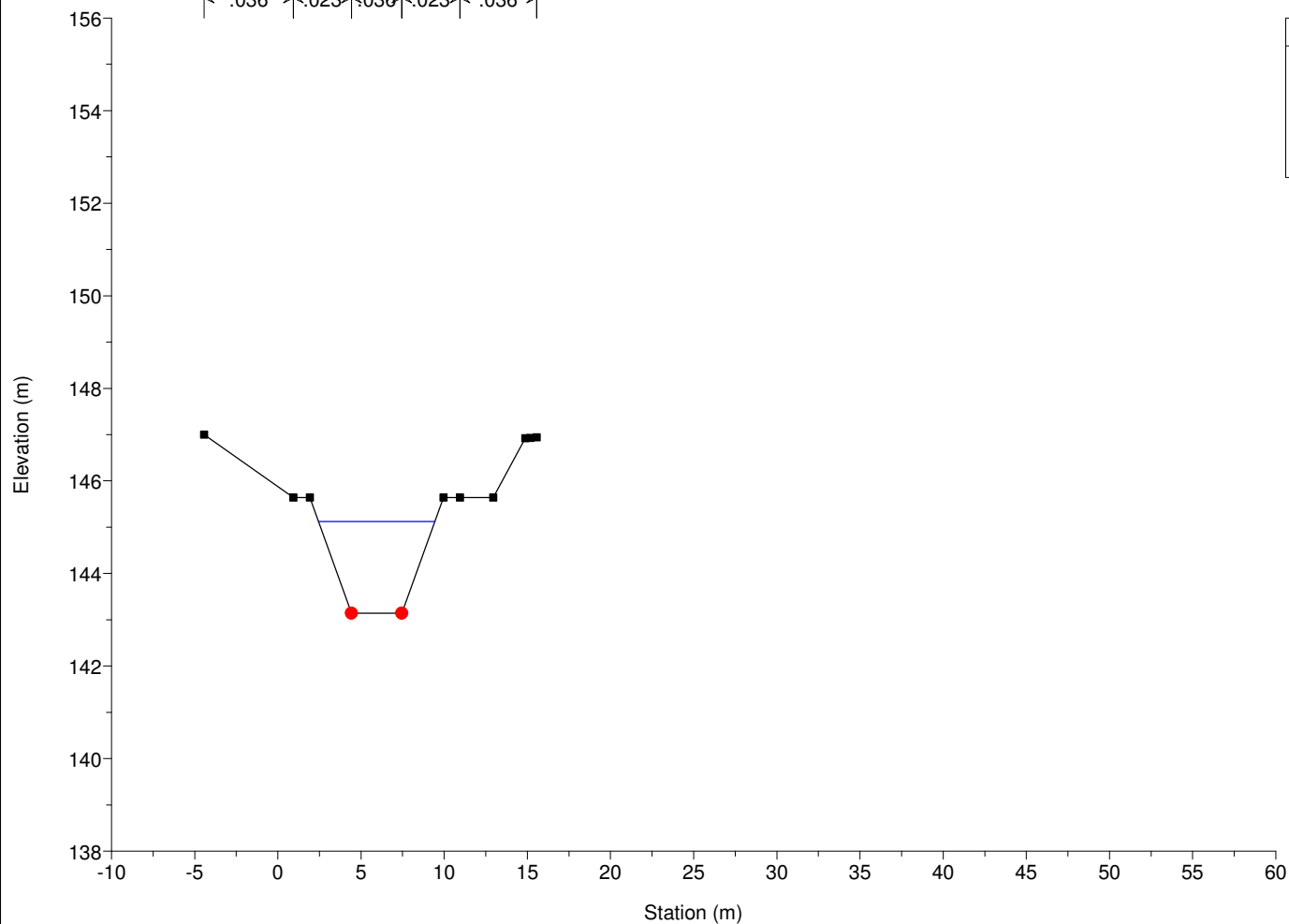
progetto_occluso_rev
 River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23.5 IS briglia esistente settore A (monte sezione 6A)

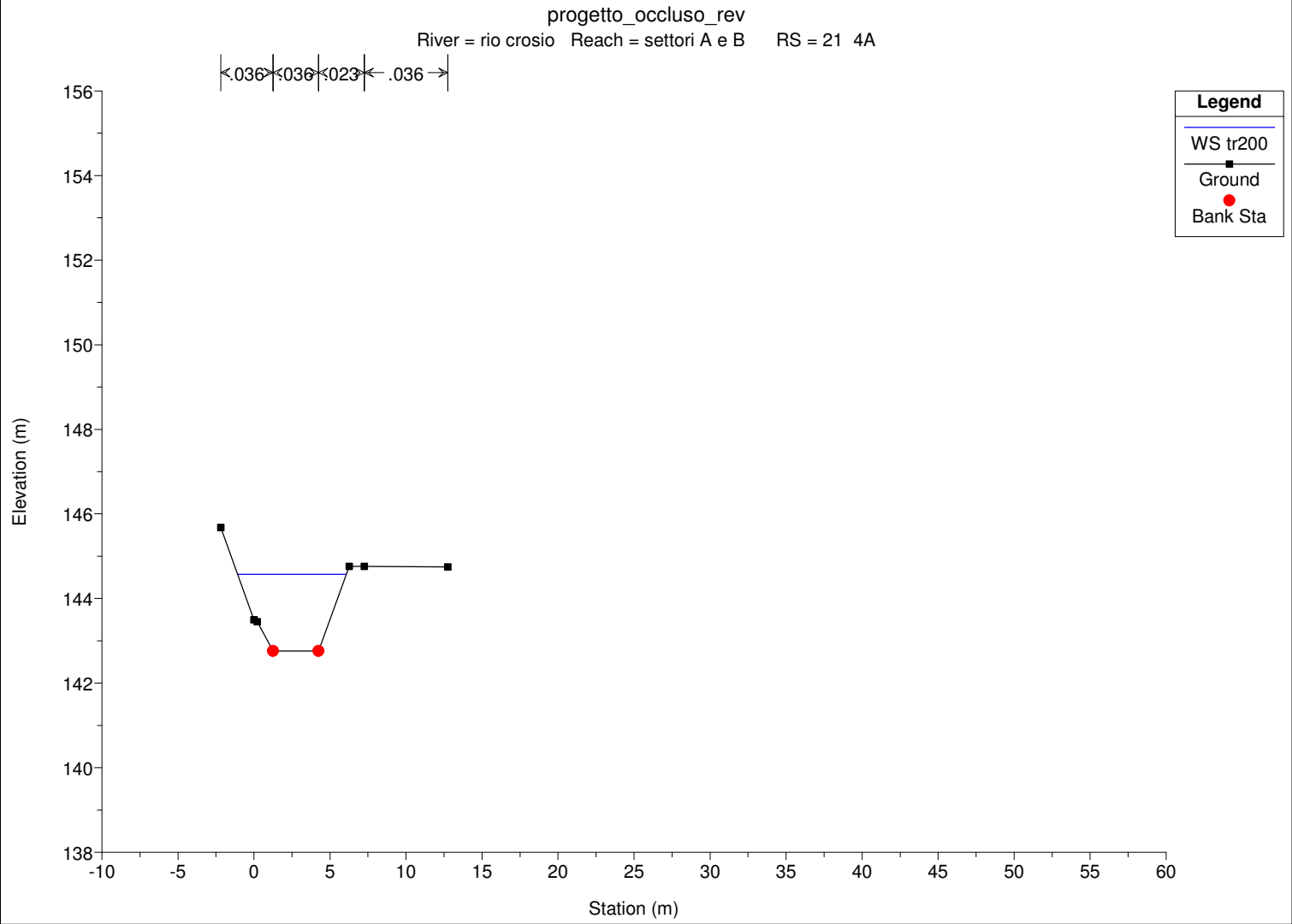
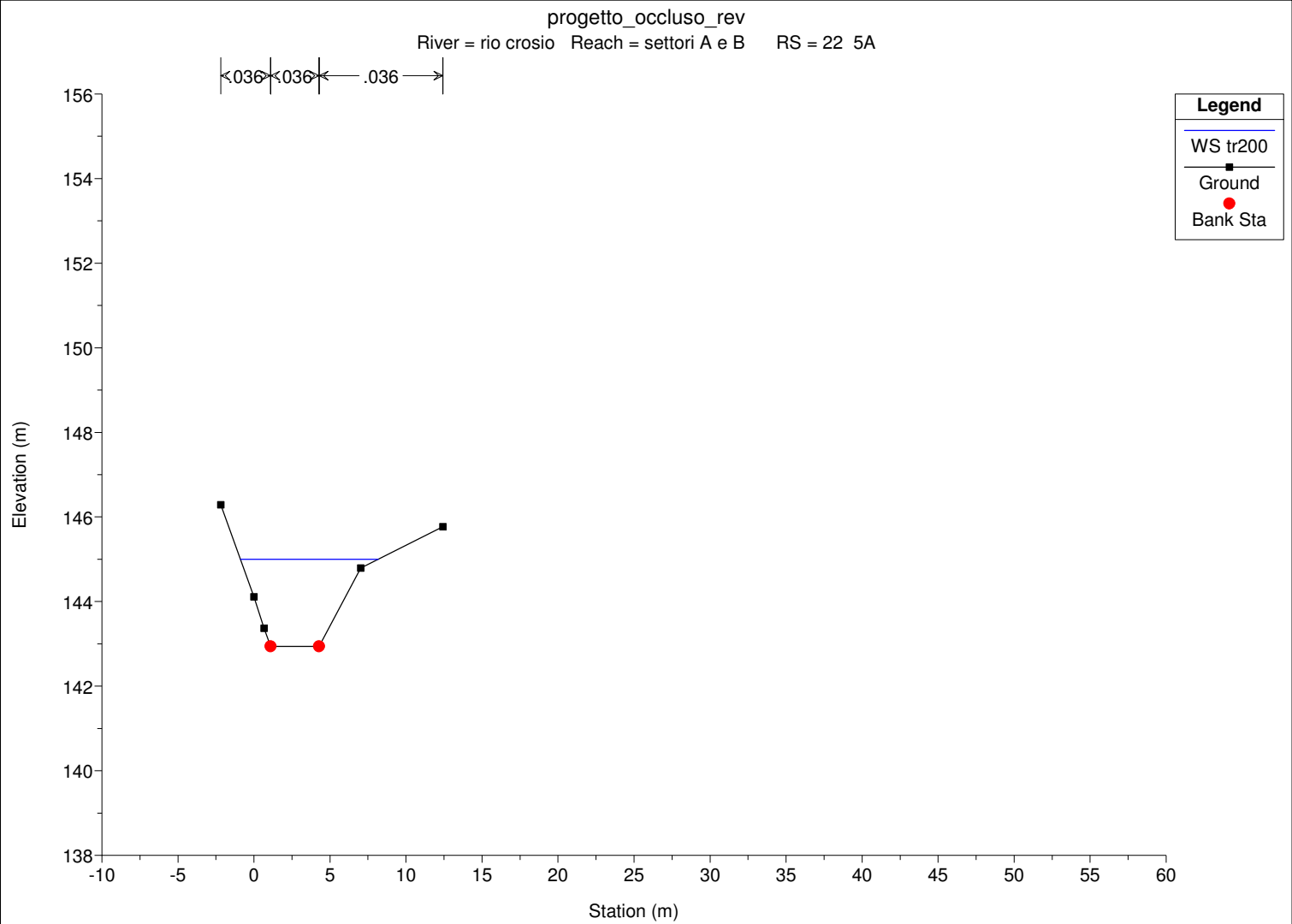
← .036 → .036 → .036 →

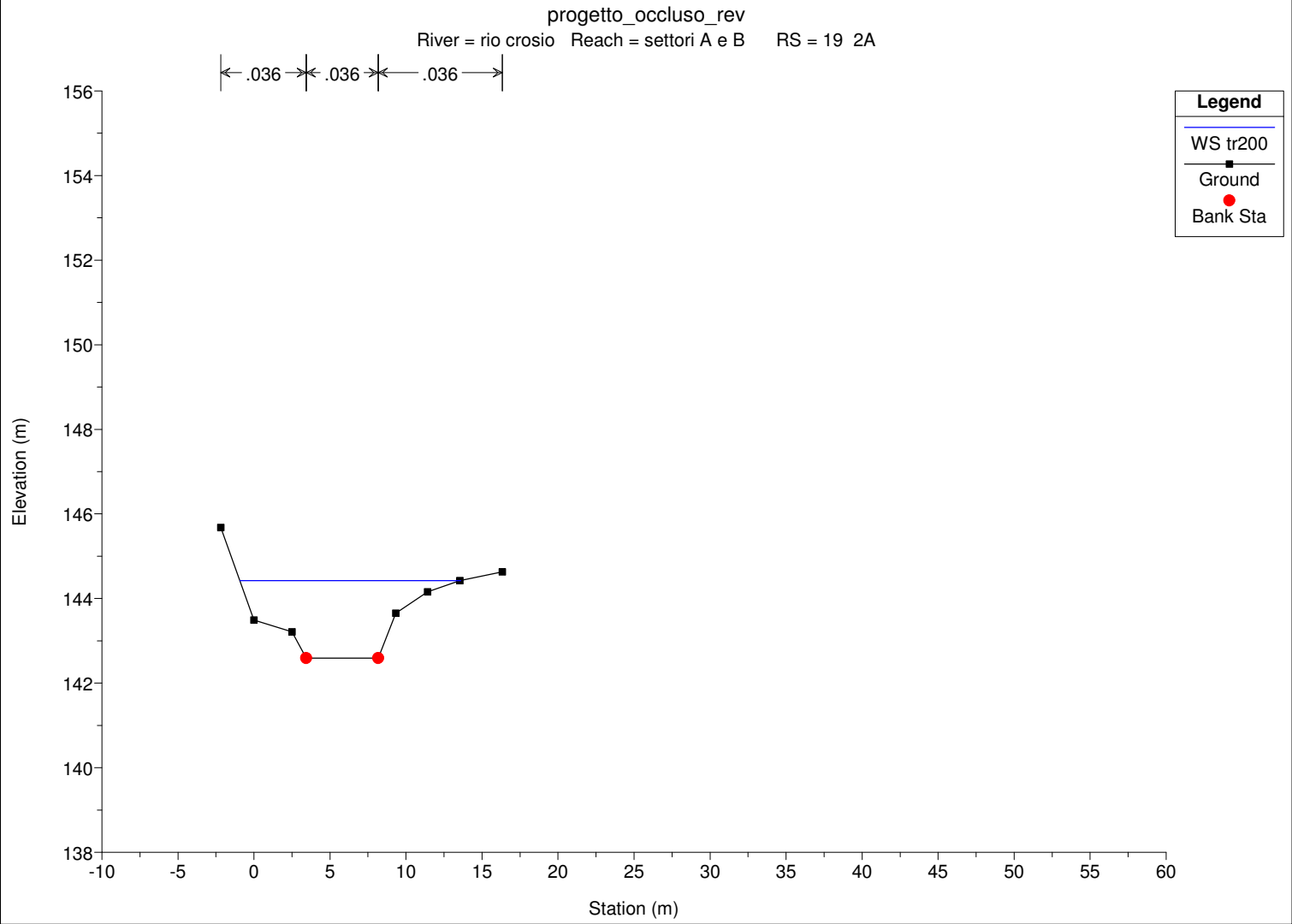
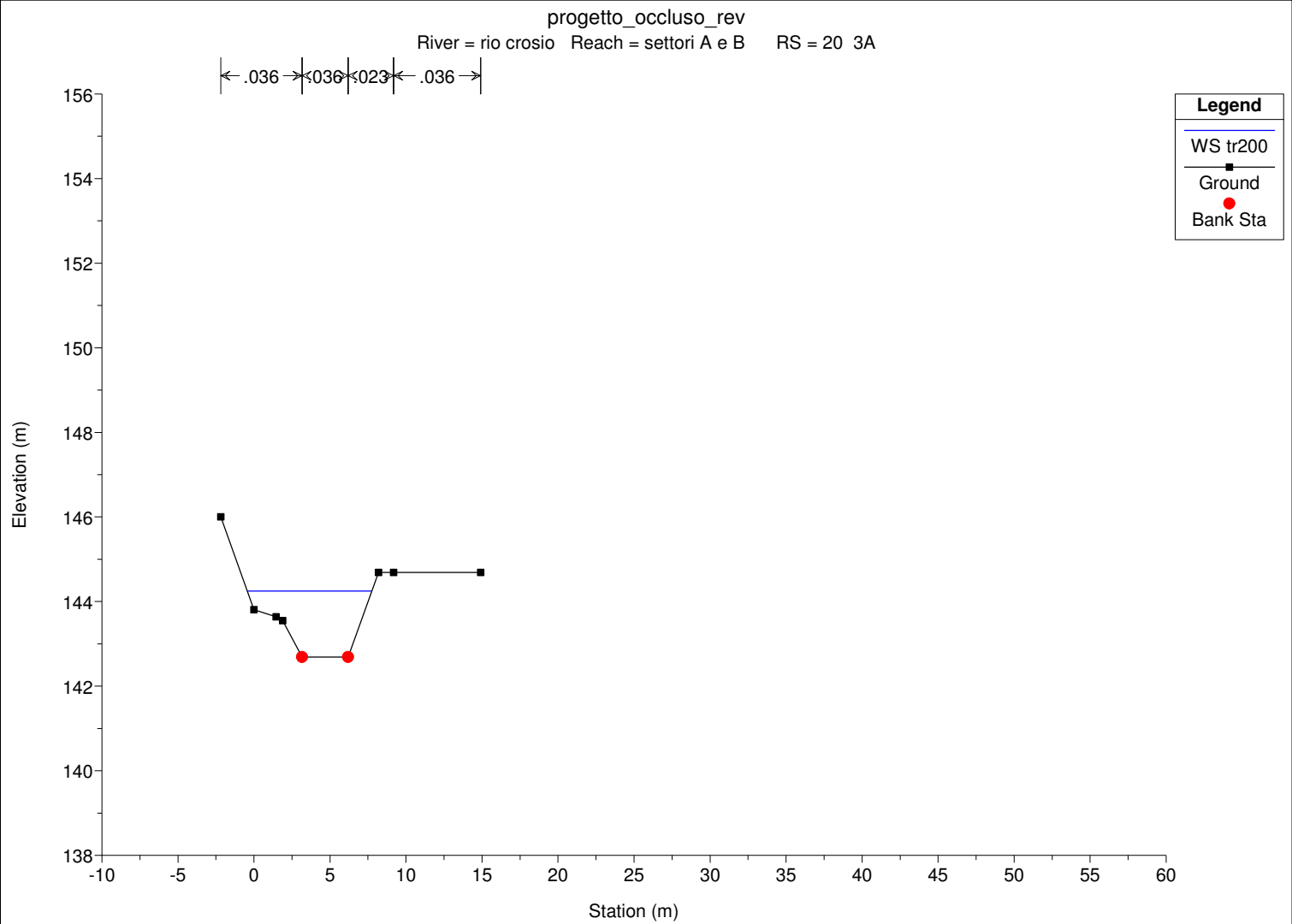


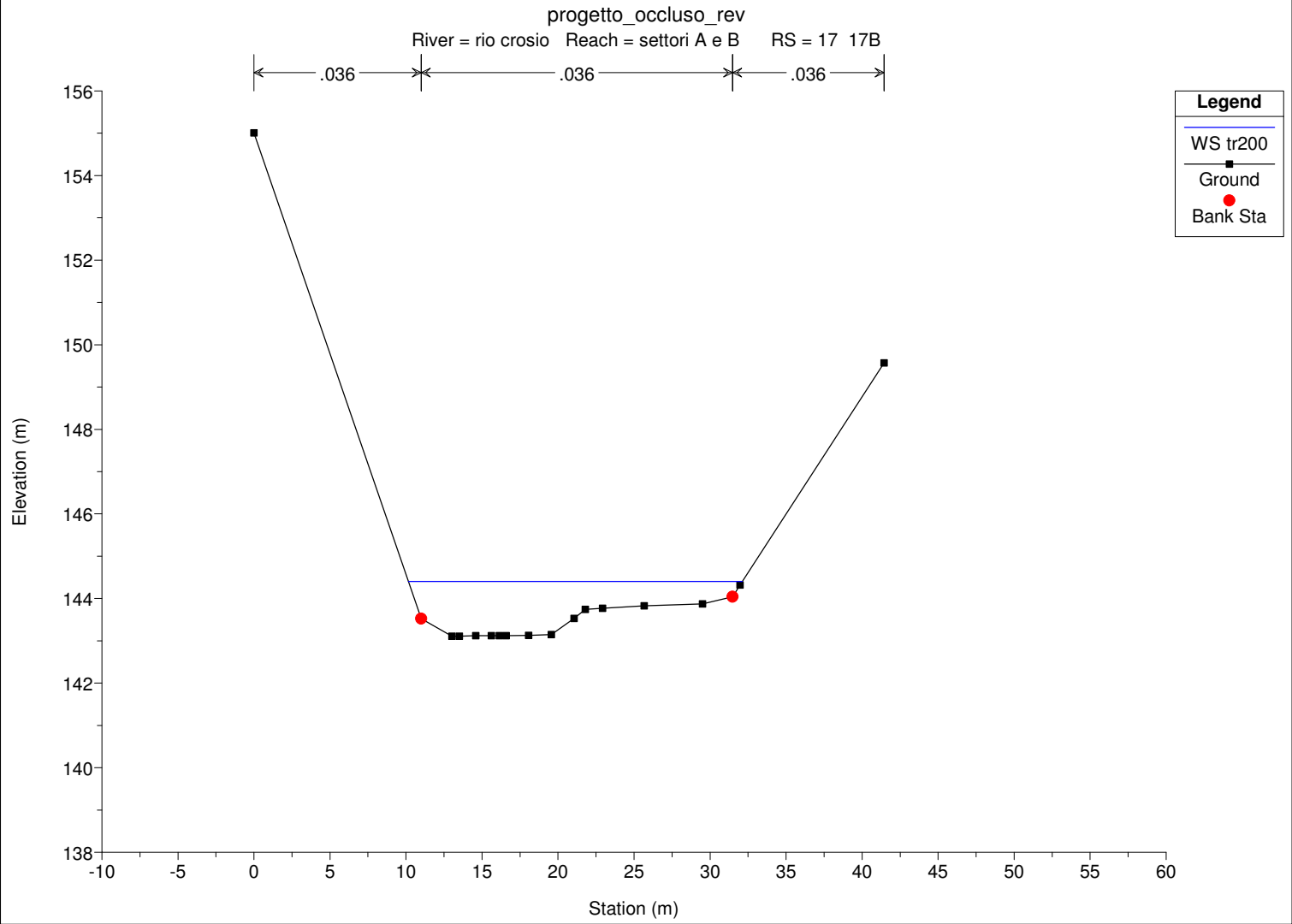
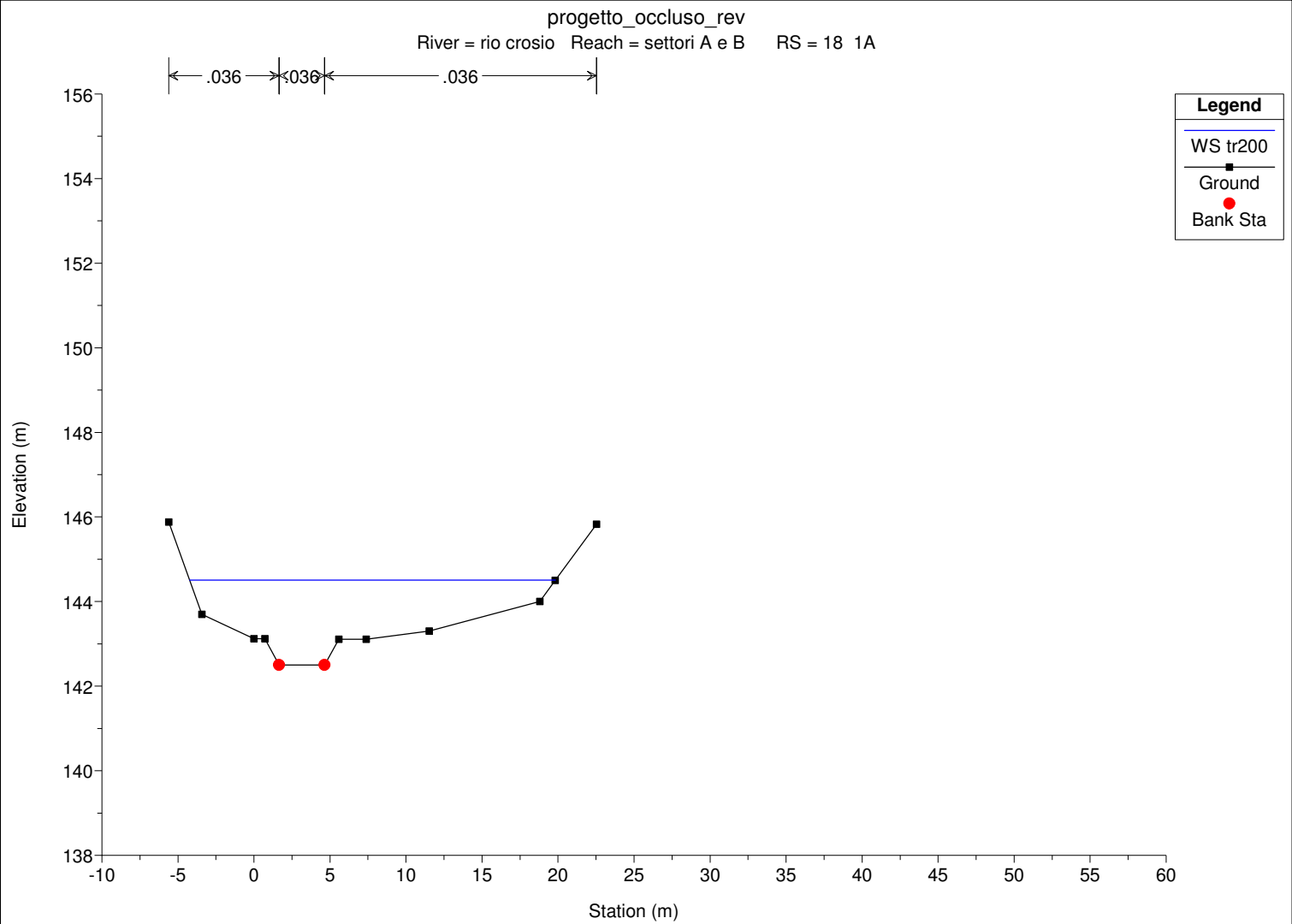
progetto_occluso_rev
 River = rio crosio Reach = settori A e B RS = 23 6A

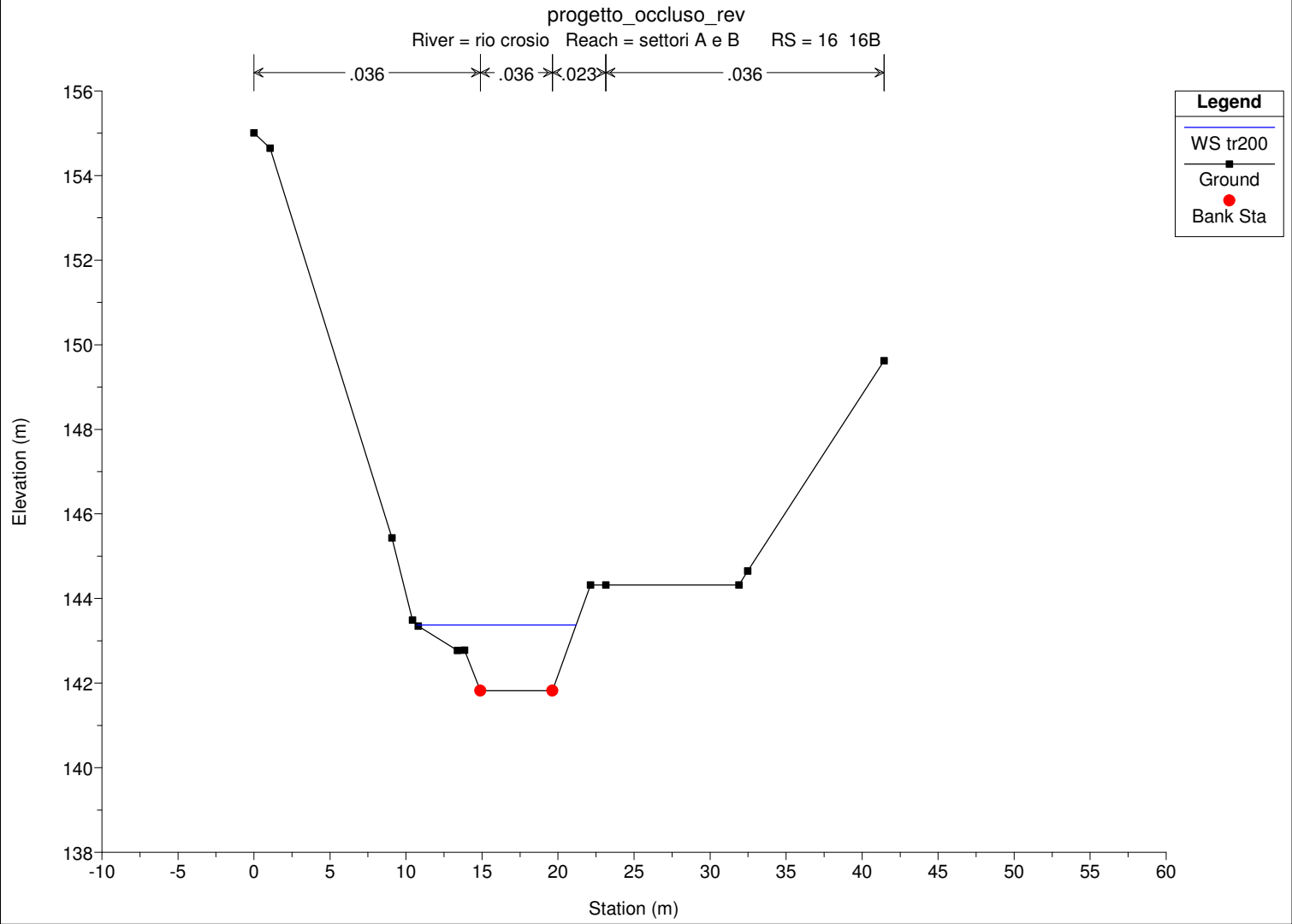
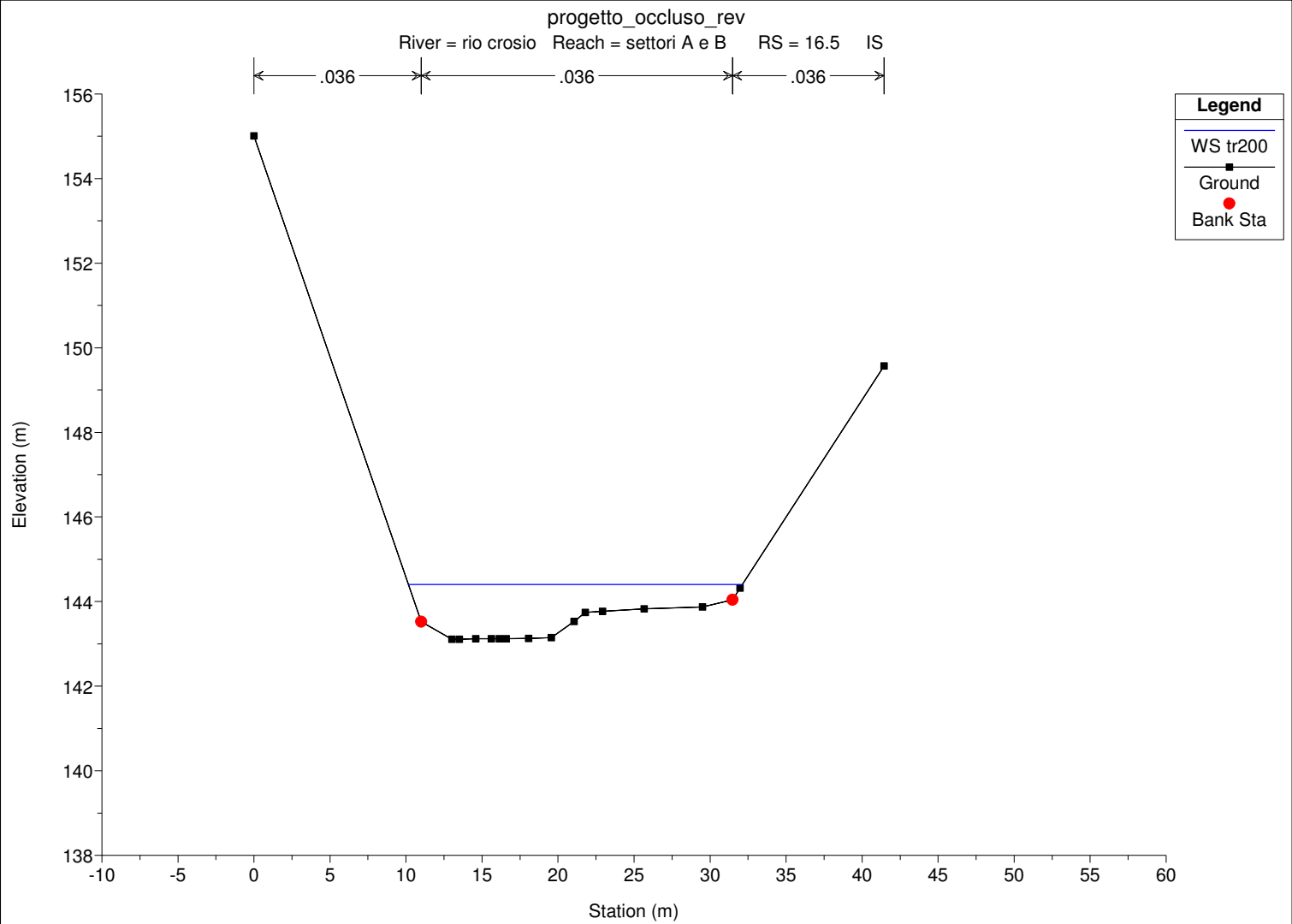
← .036 → .023 → .036 → .023 → .036 →

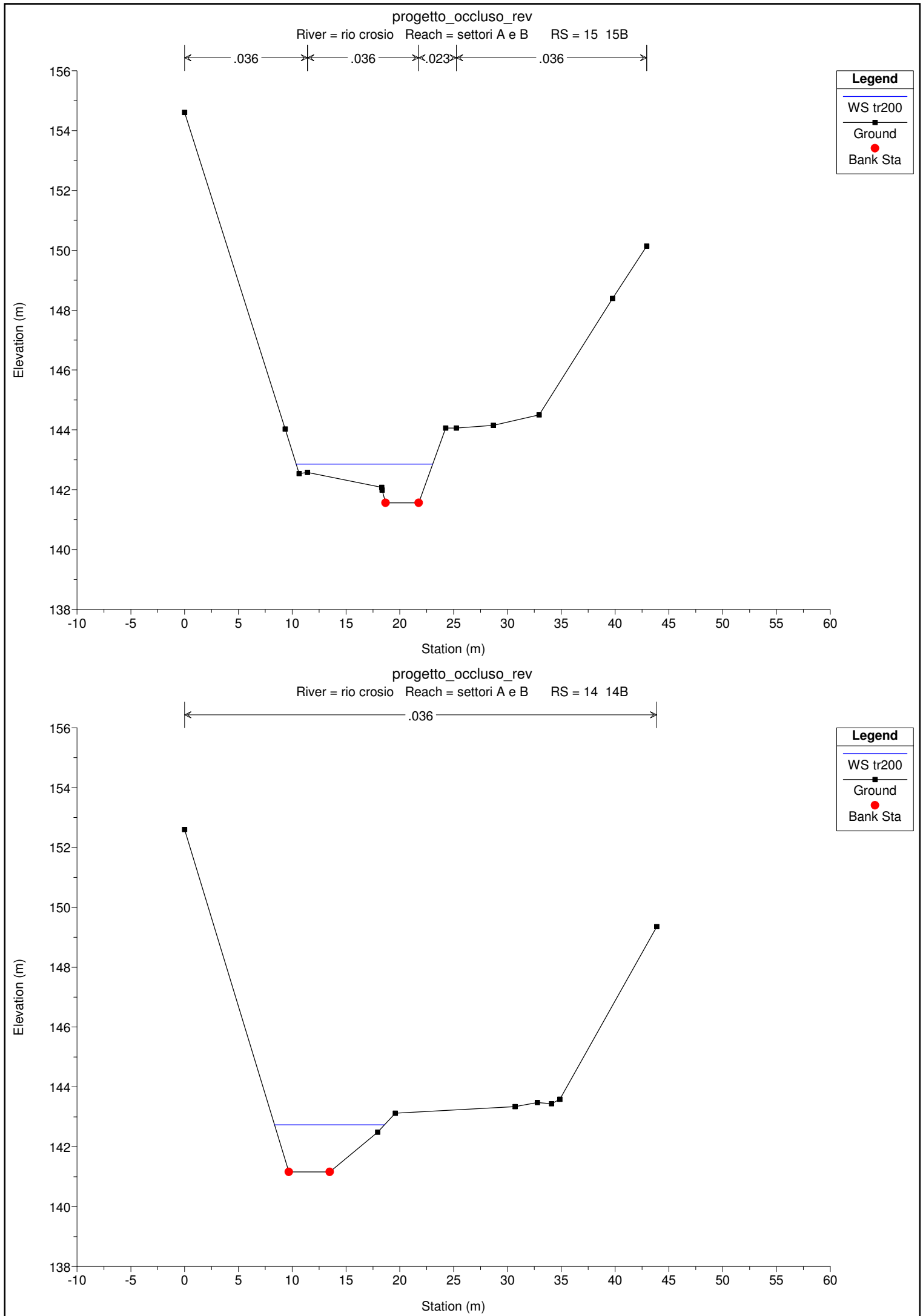


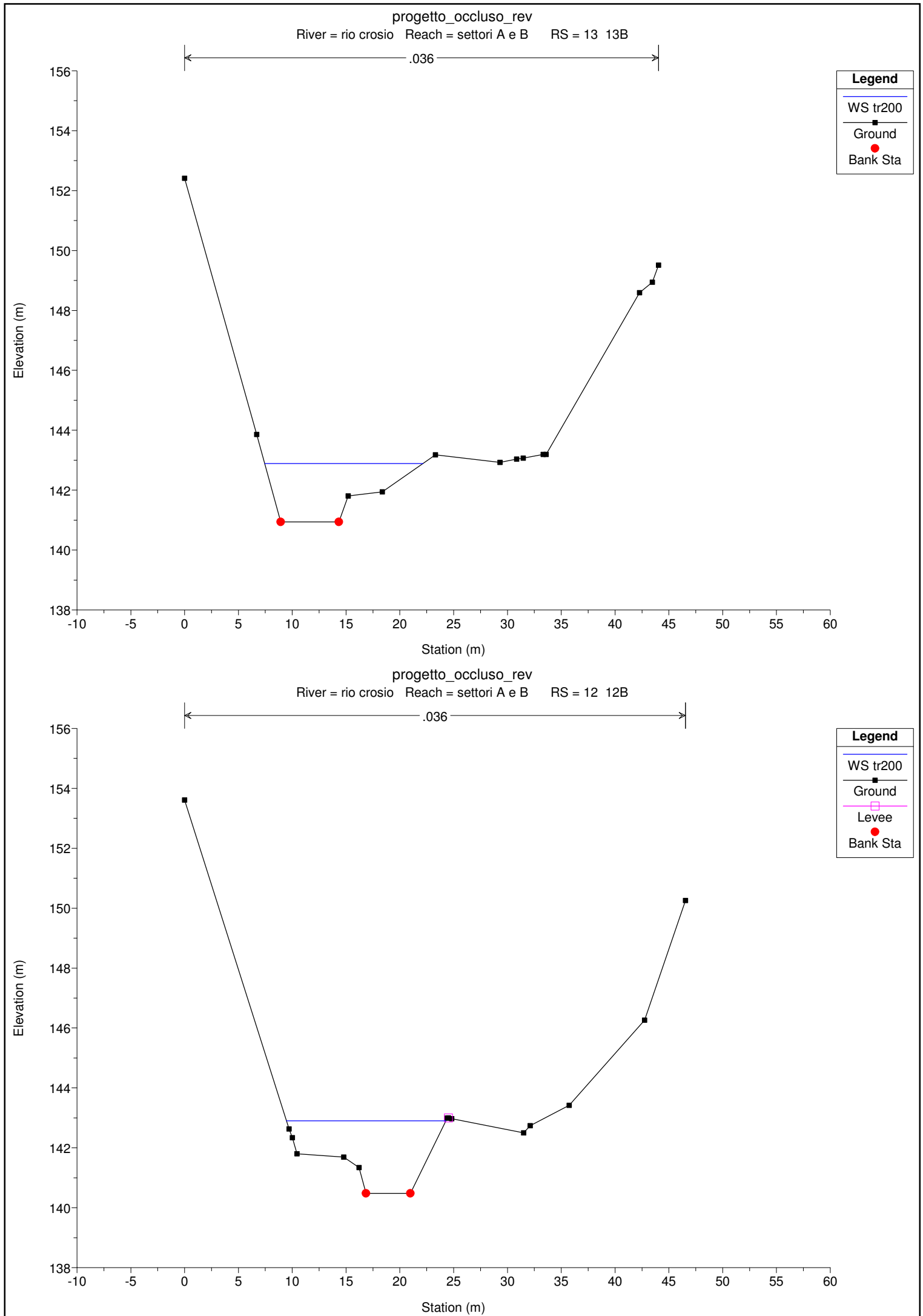


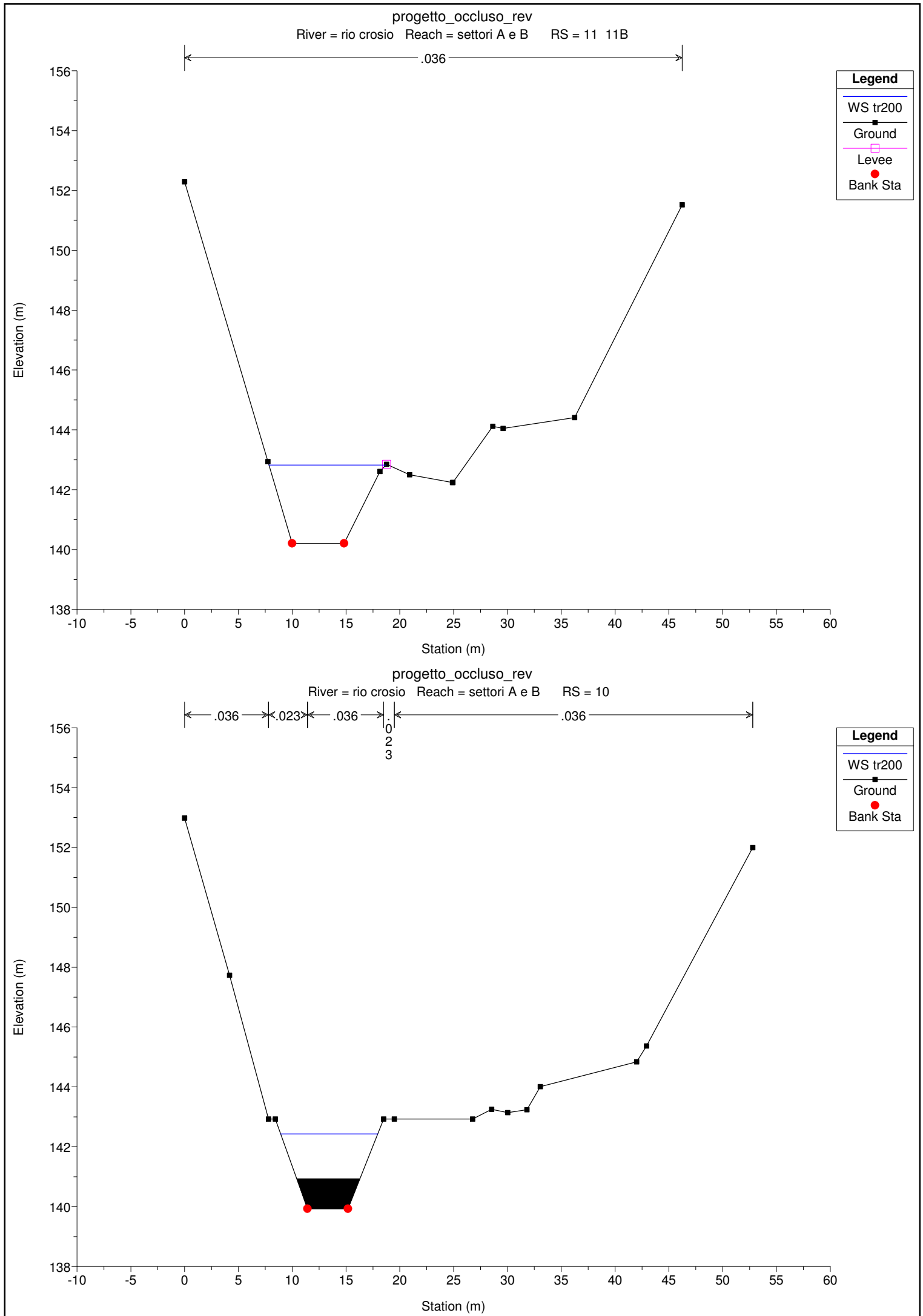


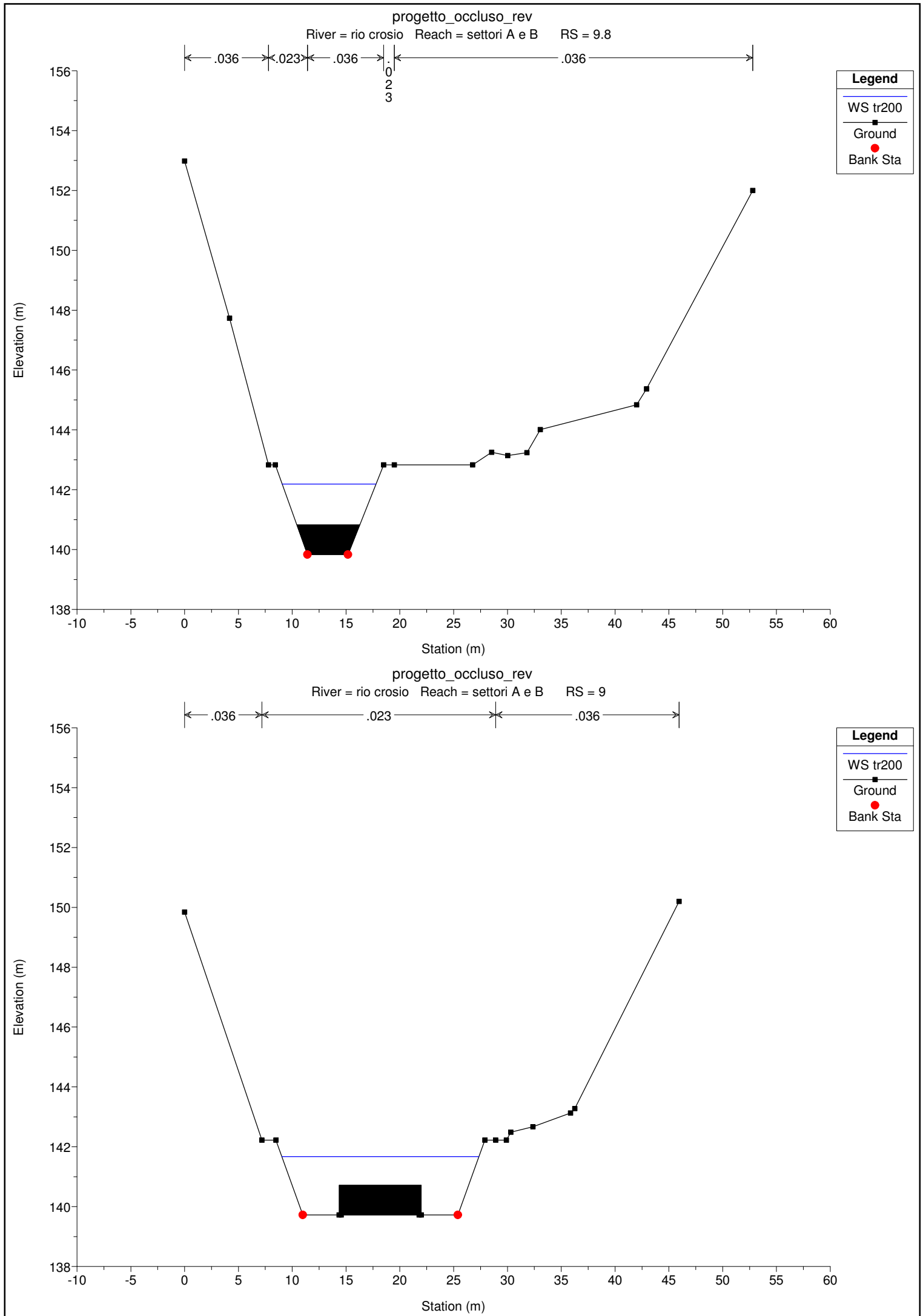


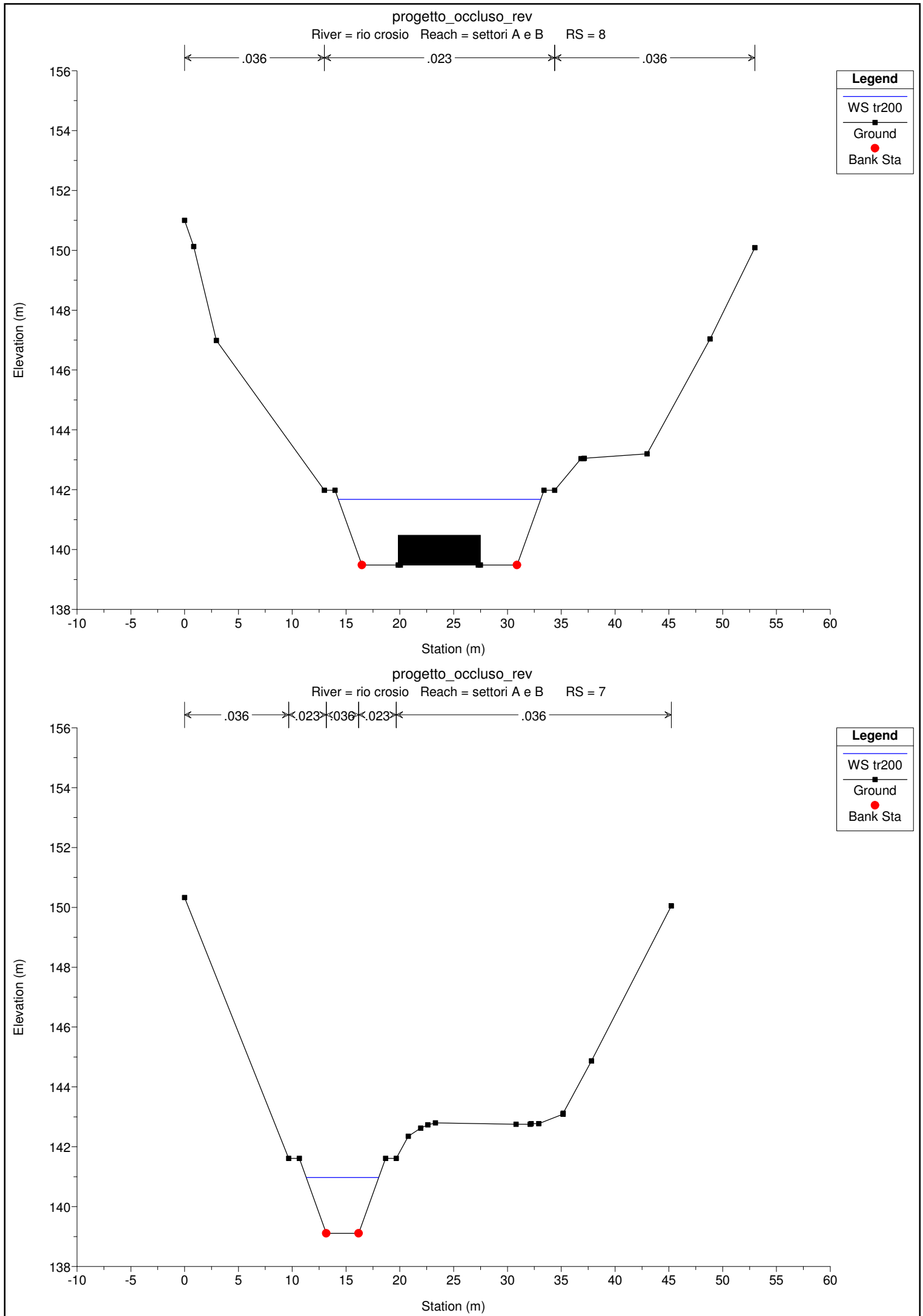


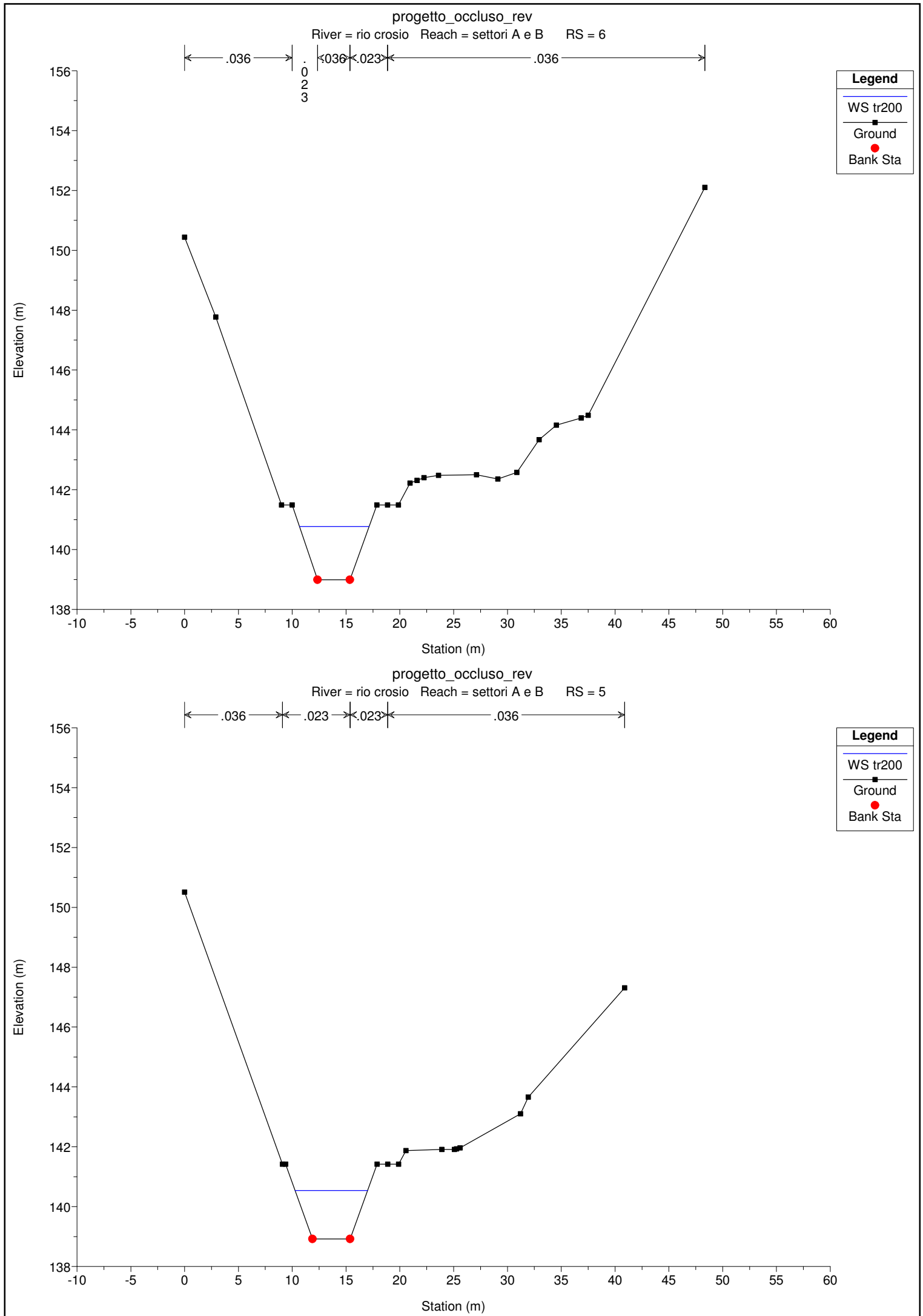


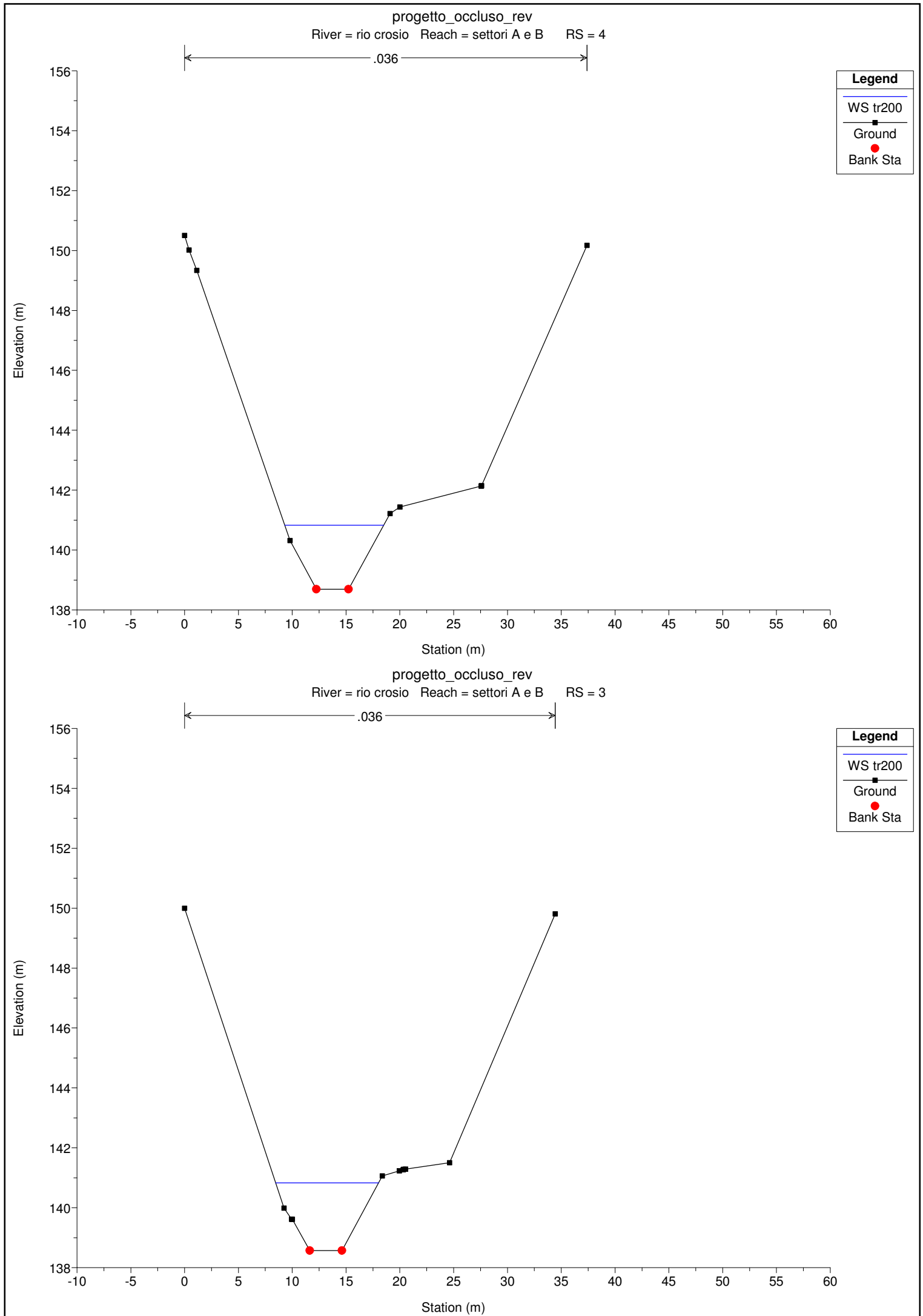


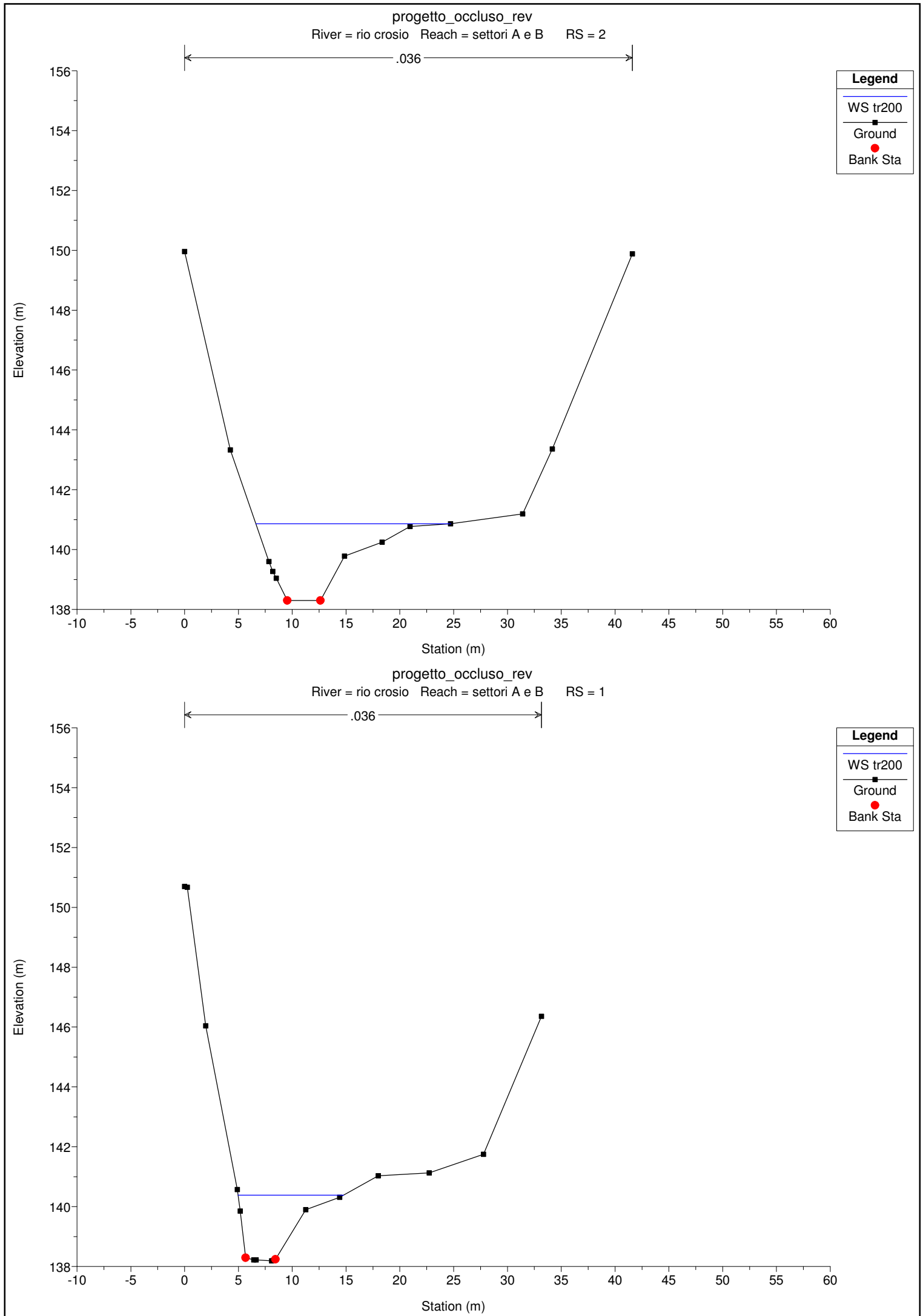








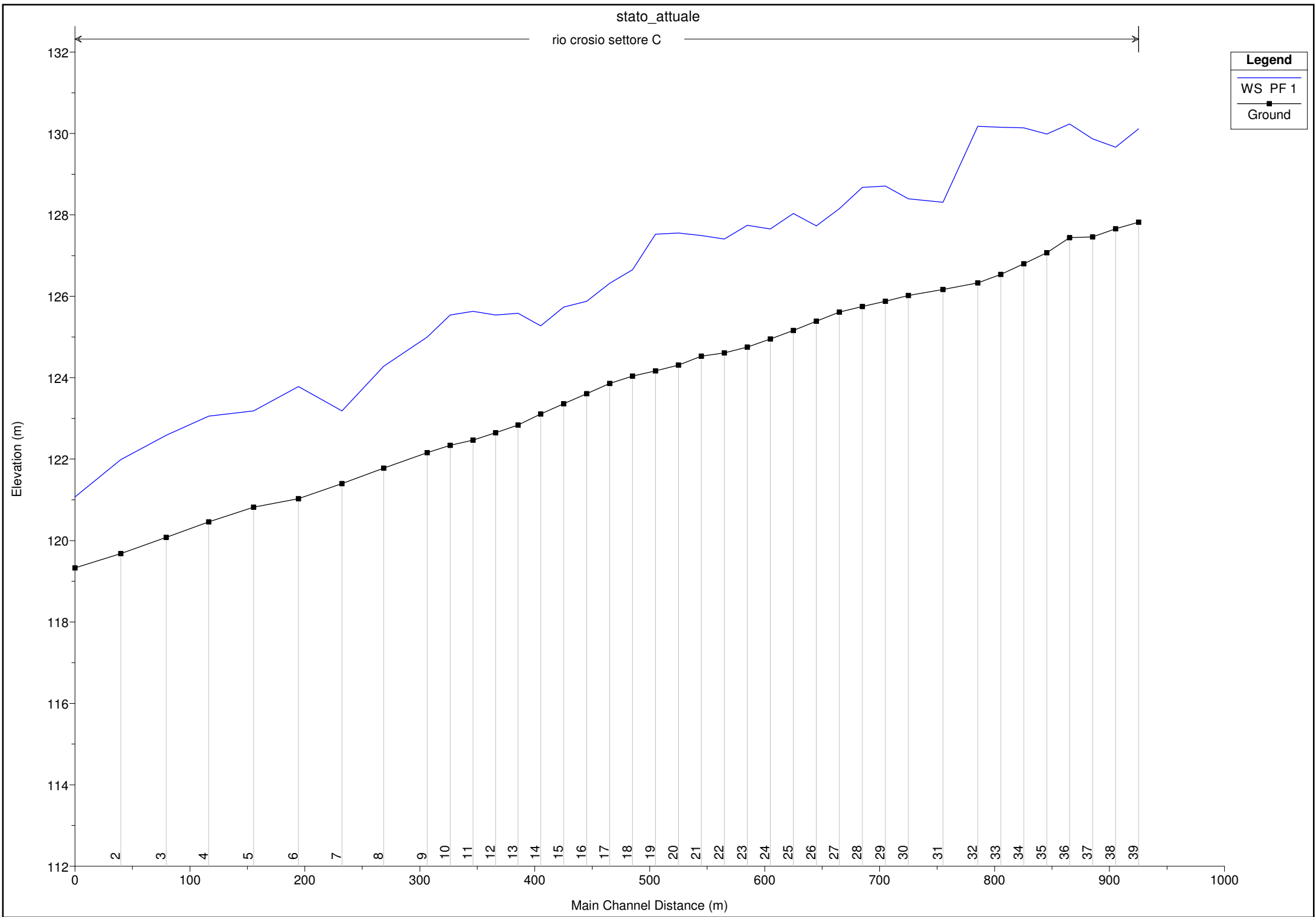




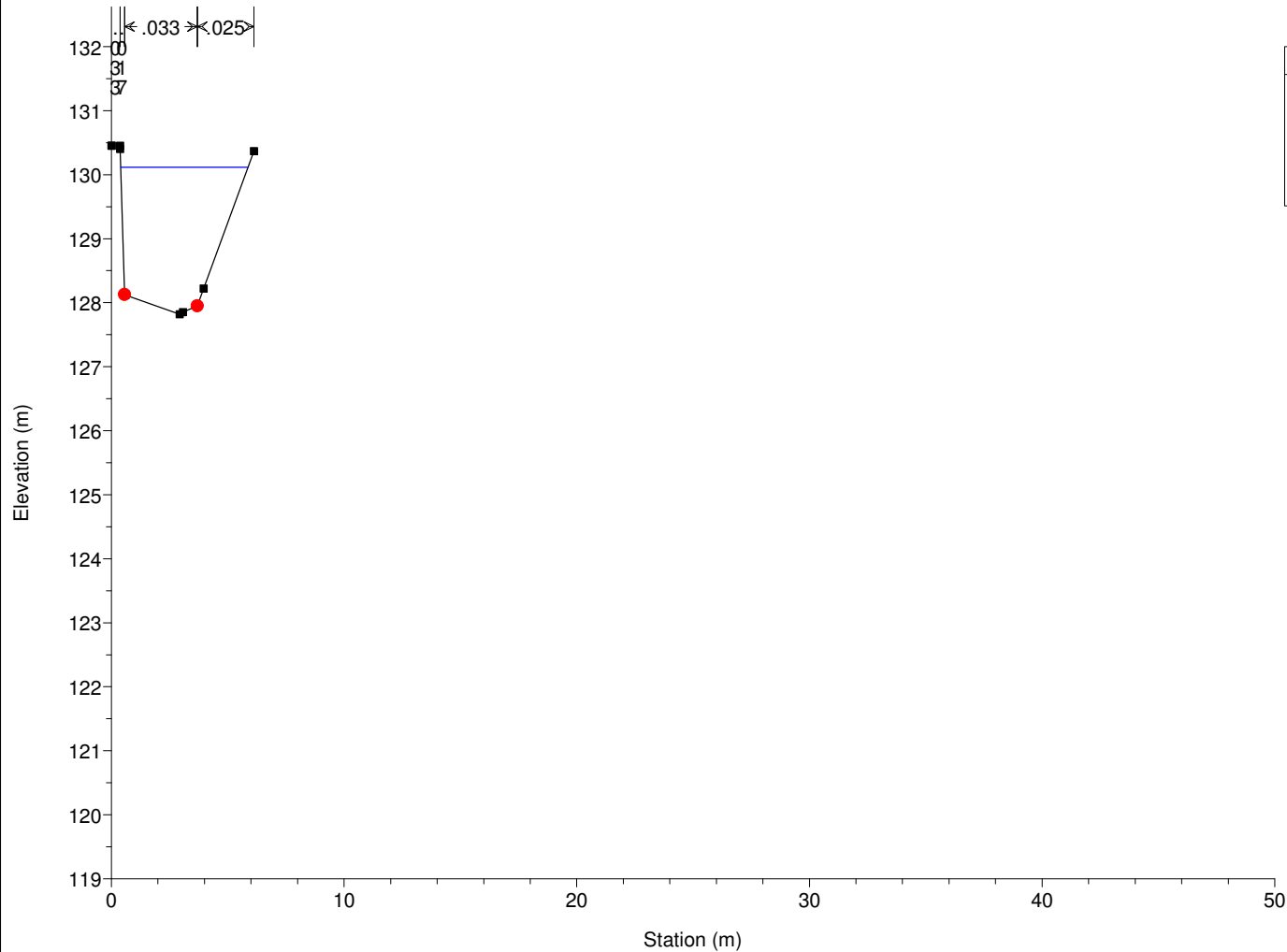
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
settori A e B	32	tr200	32.43	147.95	149.88	148.86	149.97	0.000421	1.38	24.77	14.08	0.32
settori A e B	31	tr200	32.43	147.63	149.26	149.26	149.90	0.009464	3.74	9.58	7.47	0.94
settori A e B	30	tr200	32.43	147.11	148.86	148.98	149.67	0.012203	4.46	9.09	7.56	1.08
settori A e B	29	tr200	32.43	146.58	148.05	148.43	149.27	0.021766	5.31	7.17	7.17	1.40
settori A e B	28	tr200	32.43	145.95	148.56	147.79	148.79	0.002189	2.46	16.36	9.93	0.49
settori A e B	27.5		Inl Struct									
settori A e B	27	tr200	32.43	145.16	147.21		147.37	0.000949	2.16	19.24	14.34	0.48
settori A e B	26	tr200	32.43	145.02	147.20		147.35	0.001893	2.03	21.32	20.19	0.44
settori A e B	25	tr200	32.43	144.77	147.10		147.30	0.002181	2.28	17.74	13.68	0.48
settori A e B	24	tr200	32.43	144.42	146.95	146.26	147.23	0.002719	2.69	15.96	9.72	0.54
settori A e B	23.5		Inl Struct									
settori A e B	23	tr200	32.43	143.14	145.12	145.00	145.69	0.006647	3.58	9.93	6.99	0.81
settori A e B	22	tr200	32.43	142.94	145.00	144.74	145.50	0.006203	3.54	11.82	9.06	0.79
settori A e B	21	tr200	32.43	142.76	144.57	144.57	145.25	0.009478	4.02	9.42	7.15	0.95
settori A e B	20	tr200	32.43	142.69	144.25	144.45	145.11	0.015031	4.58	8.51	8.19	1.17
settori A e B	19	tr200	32.43	142.59	144.42	144.06	144.68	0.003751	2.55	16.09	14.52	0.60
settori A e B	18	tr200	32.43	142.50	144.51		144.58	0.001266	1.57	28.73	24.06	0.35
settori A e B	17	tr200	32.43	143.11	144.40	144.15	144.56	0.004836	1.77	18.58	21.96	0.60
settori A e B	16.5		Inl Struct									
settori A e B	16	tr200	32.43	141.82	143.38	143.38	143.91	0.008666	3.47	10.80	10.46	0.89
settori A e B	15	tr200	32.43	141.56	142.86	143.09	143.66	0.019710	4.64	9.16	12.70	1.30
settori A e B	14	tr200	32.43	141.16	142.73	142.70	143.25	0.009138	3.59	11.14	10.21	0.91
settori A e B	13	tr200	32.43	140.94	142.89		143.09	0.002627	2.22	18.34	14.72	0.51
settori A e B	12	tr200	32.43	140.48	142.90	142.17	143.03	0.001415	1.88	22.78	14.82	0.39
settori A e B	11	tr200	32.43	140.21	142.82	141.73	142.99	0.001394	1.97	20.21	10.86	0.39
settori A e B	10	tr200	32.43	140.93	142.43	142.29	142.89	0.007311	3.11	11.14	9.01	0.81
settori A e B	9.8	tr200	32.43	140.83	142.19	142.19	142.77	0.010337	3.47	9.91	8.72	0.95
settori A e B	9	tr200	32.43	139.72	141.67	140.98	141.76	0.000784	1.41	24.24	18.32	0.38
settori A e B	8	tr200	32.43	139.48	141.68		141.74	0.000453	1.19	28.84	18.80	0.29
settori A e B	7	tr200	32.43	139.11	140.97	140.97	141.65	0.008633	3.91	9.06	6.72	0.91
settori A e B	6	tr200	32.43	138.99	140.77	140.86	141.56	0.010545	4.19	8.43	6.46	1.00
settori A e B	5	tr200	32.43	138.92	140.54	140.73	141.48	0.006007	4.65	8.29	6.74	1.17
settori A e B	4	tr200	32.43	138.69	140.83	140.48	141.20	0.004692	3.16	13.25	9.20	0.69
settori A e B	3	tr200	32.43	138.57	140.83		141.14	0.003648	2.89	14.57	9.56	0.61
settori A e B	2	tr200	32.43	138.30	140.86		141.07	0.002182	2.43	20.07	18.12	0.48
settori A e B	1	tr200	32.43	138.19	140.39	140.39	140.99	0.007070	3.90	11.31	9.81	0.85

SETTORE C

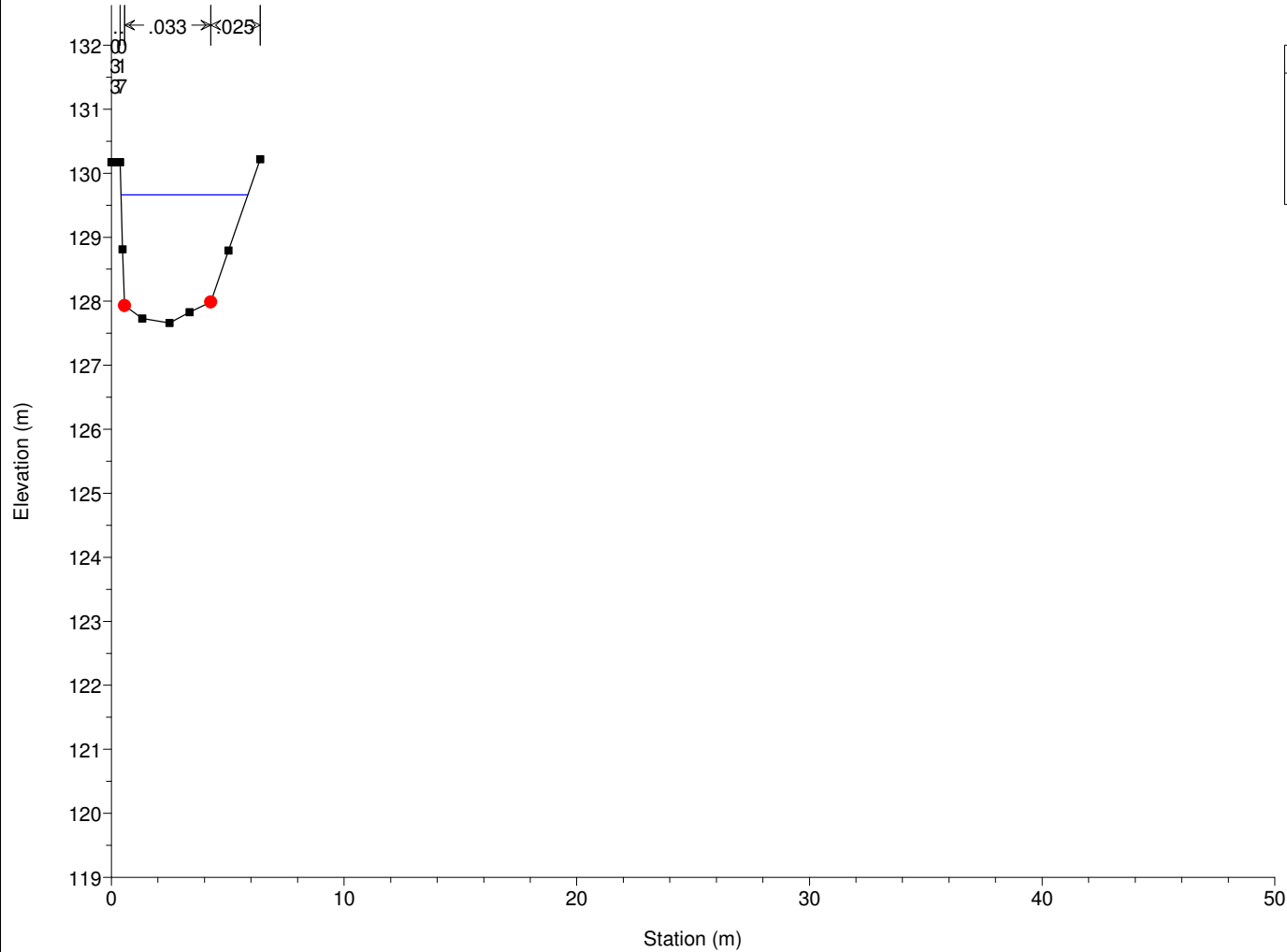
STATO DI FATTO: PROFILO, SEZIONI E RISULTATI

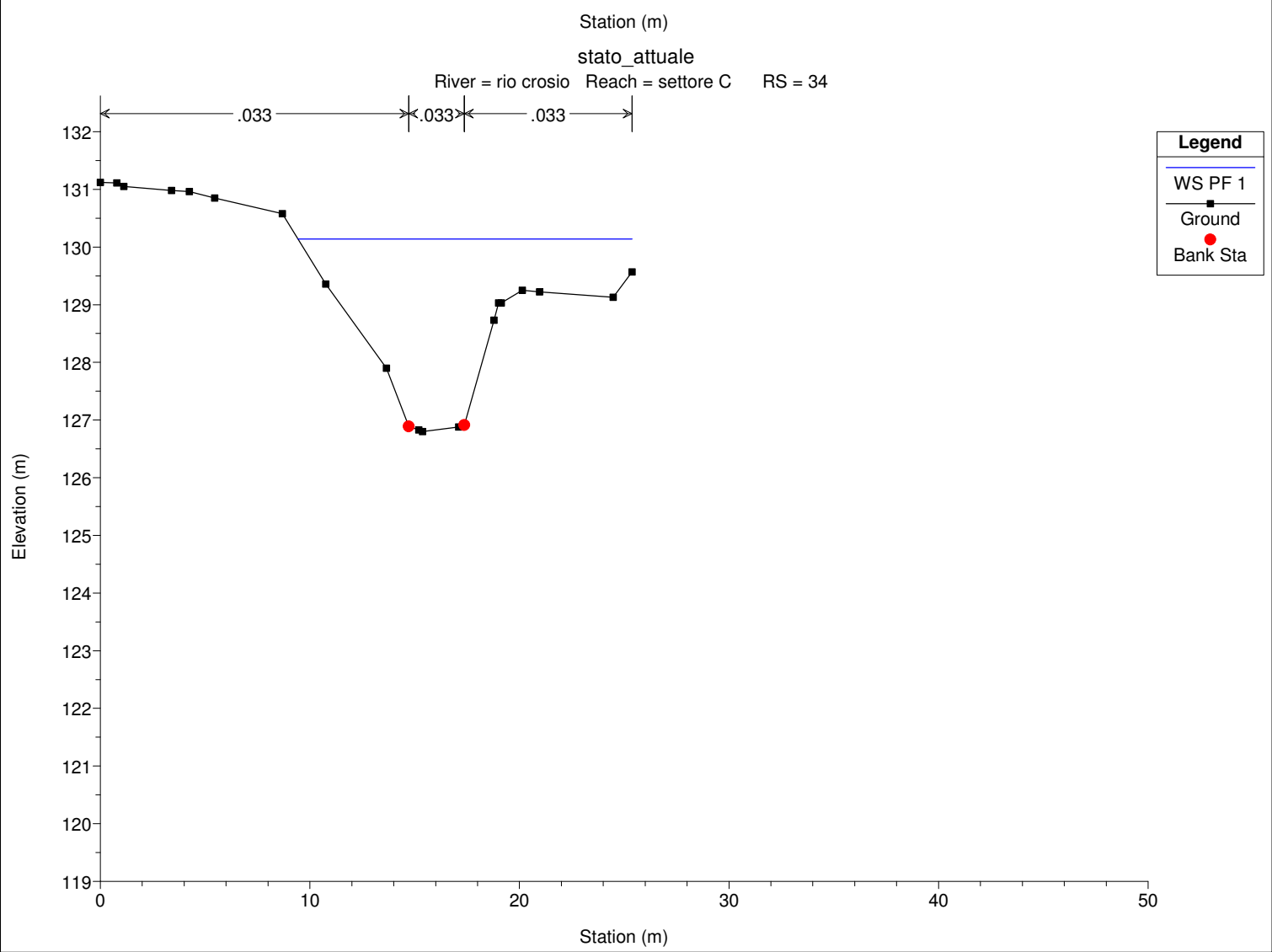
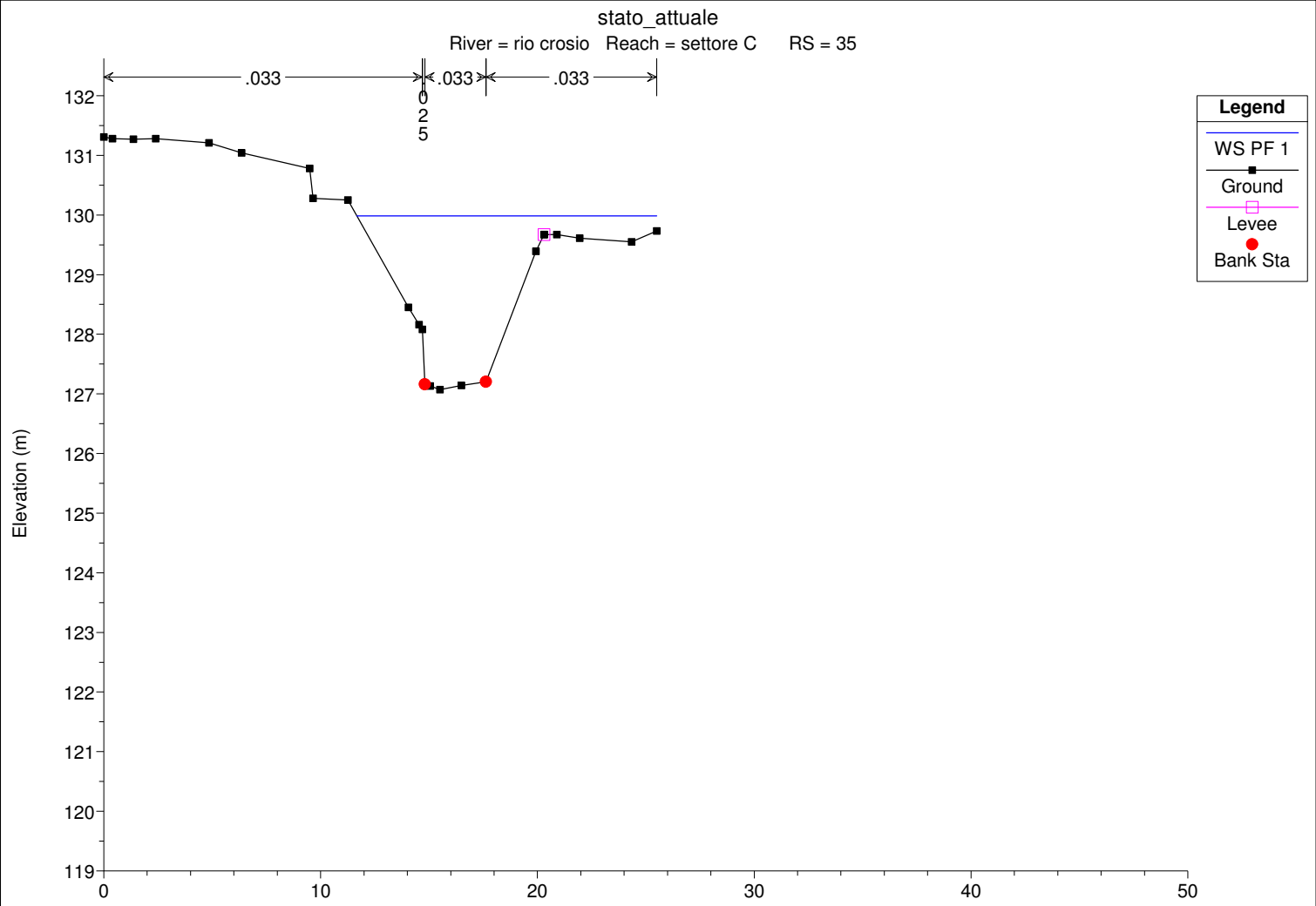


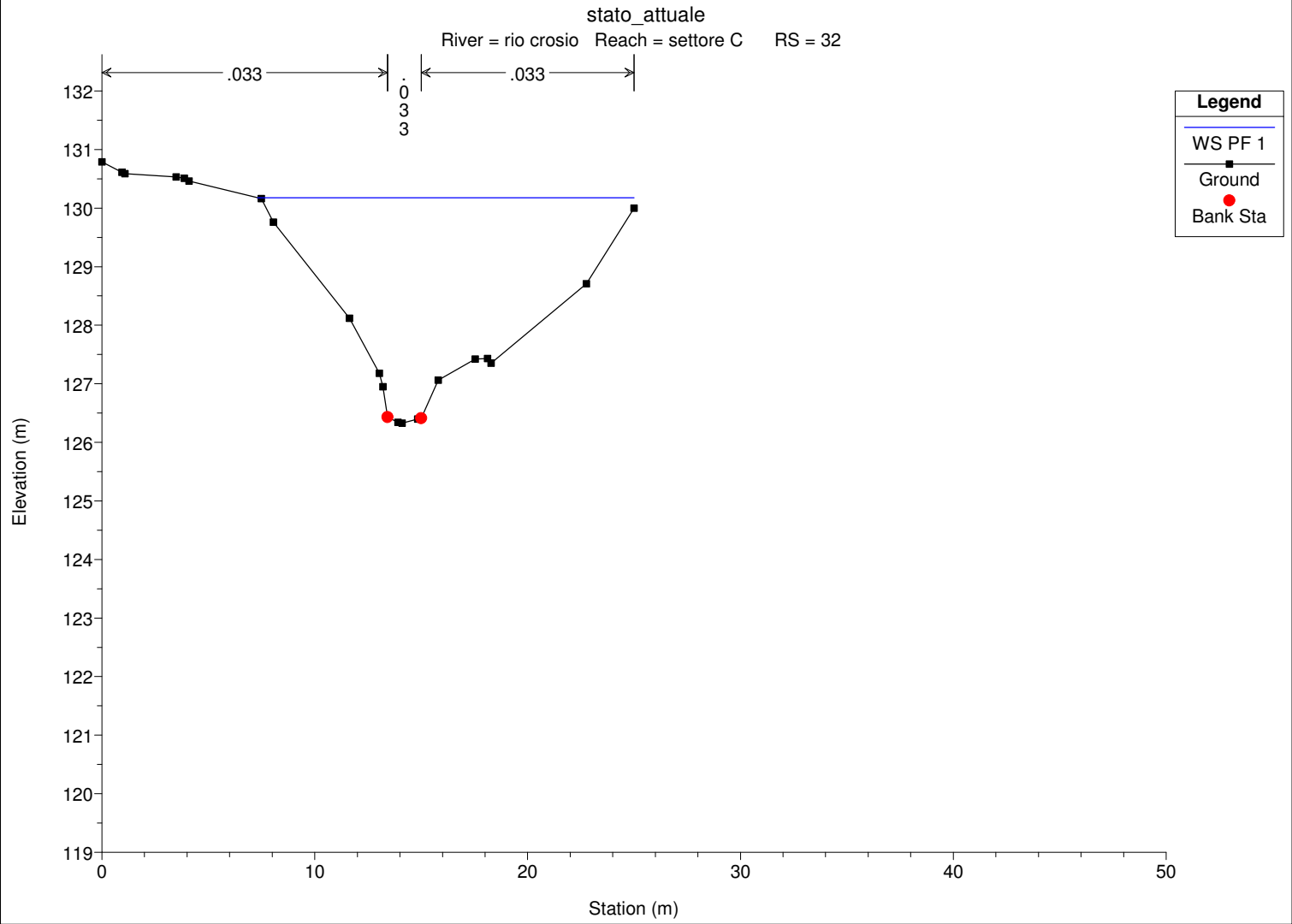
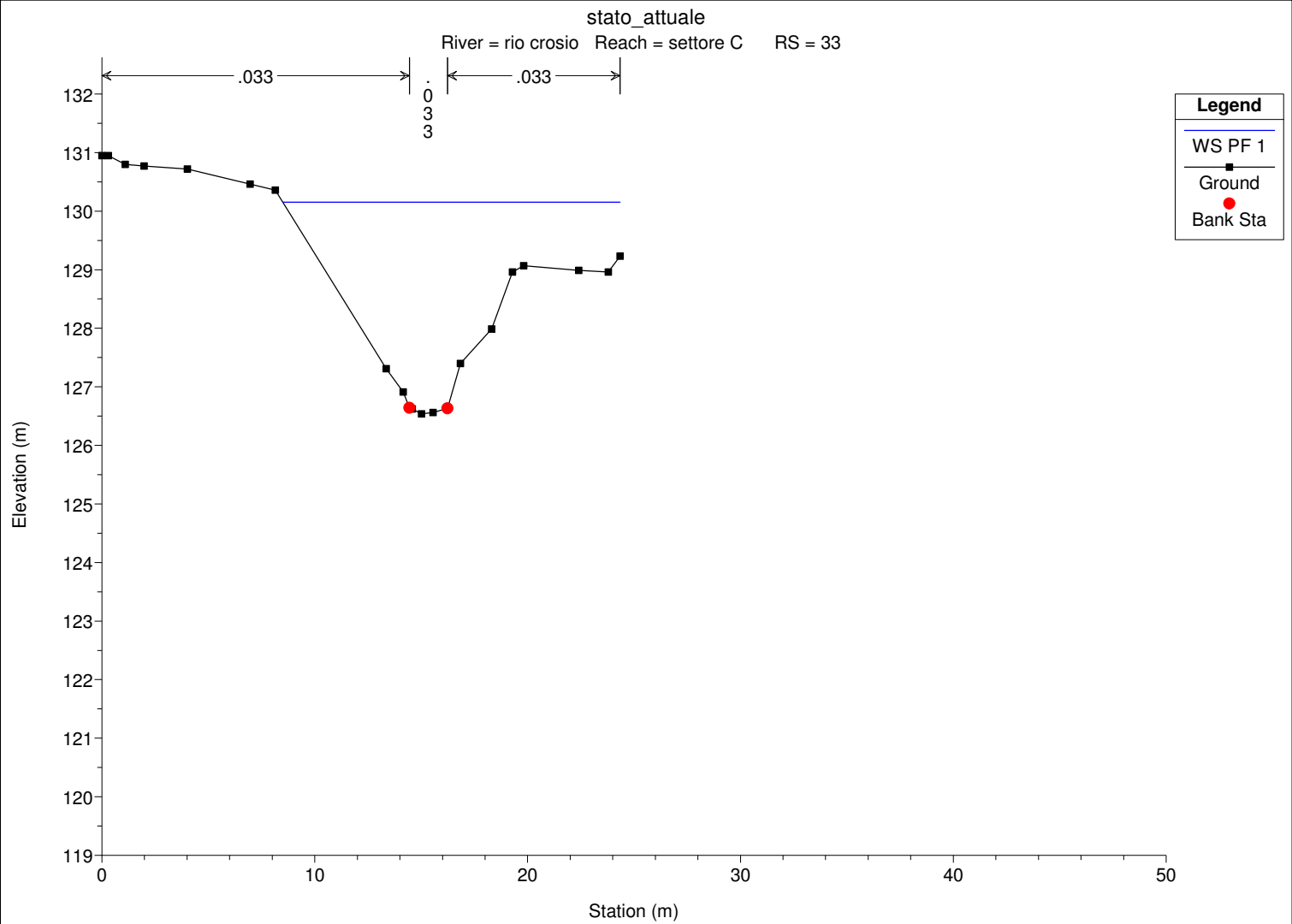
stato_attuale
River = rio crosio Reach = settore C RS = 39

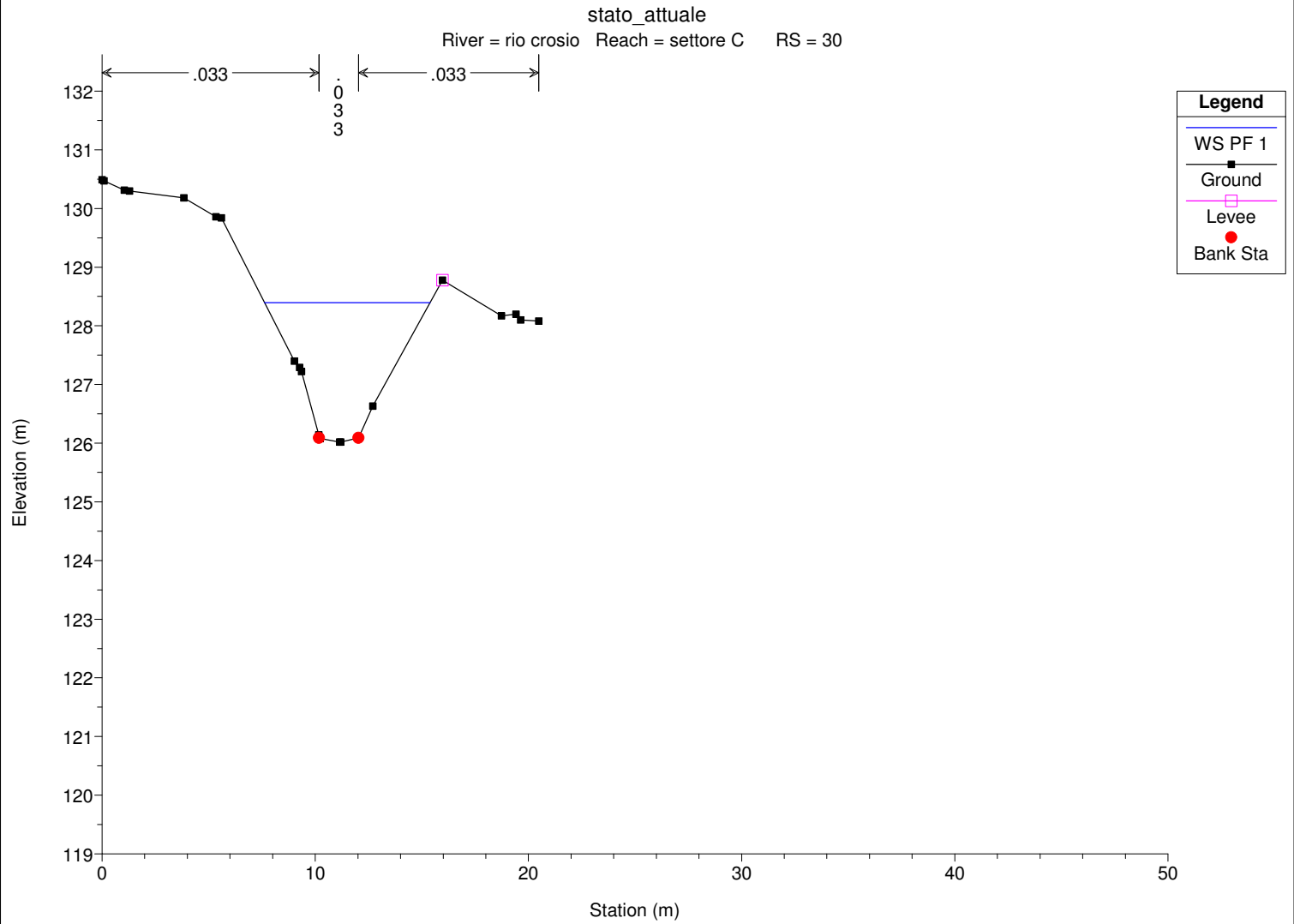
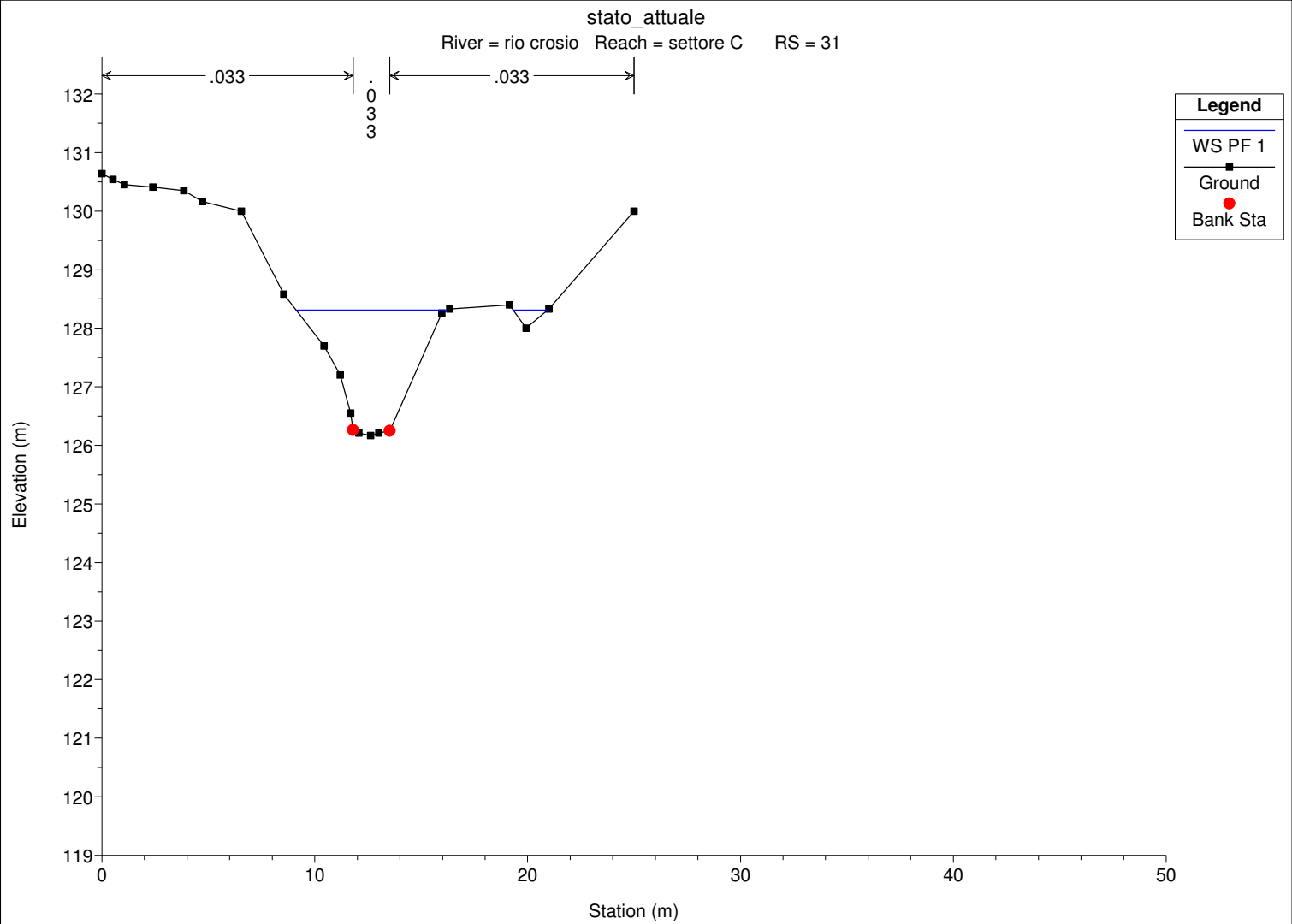


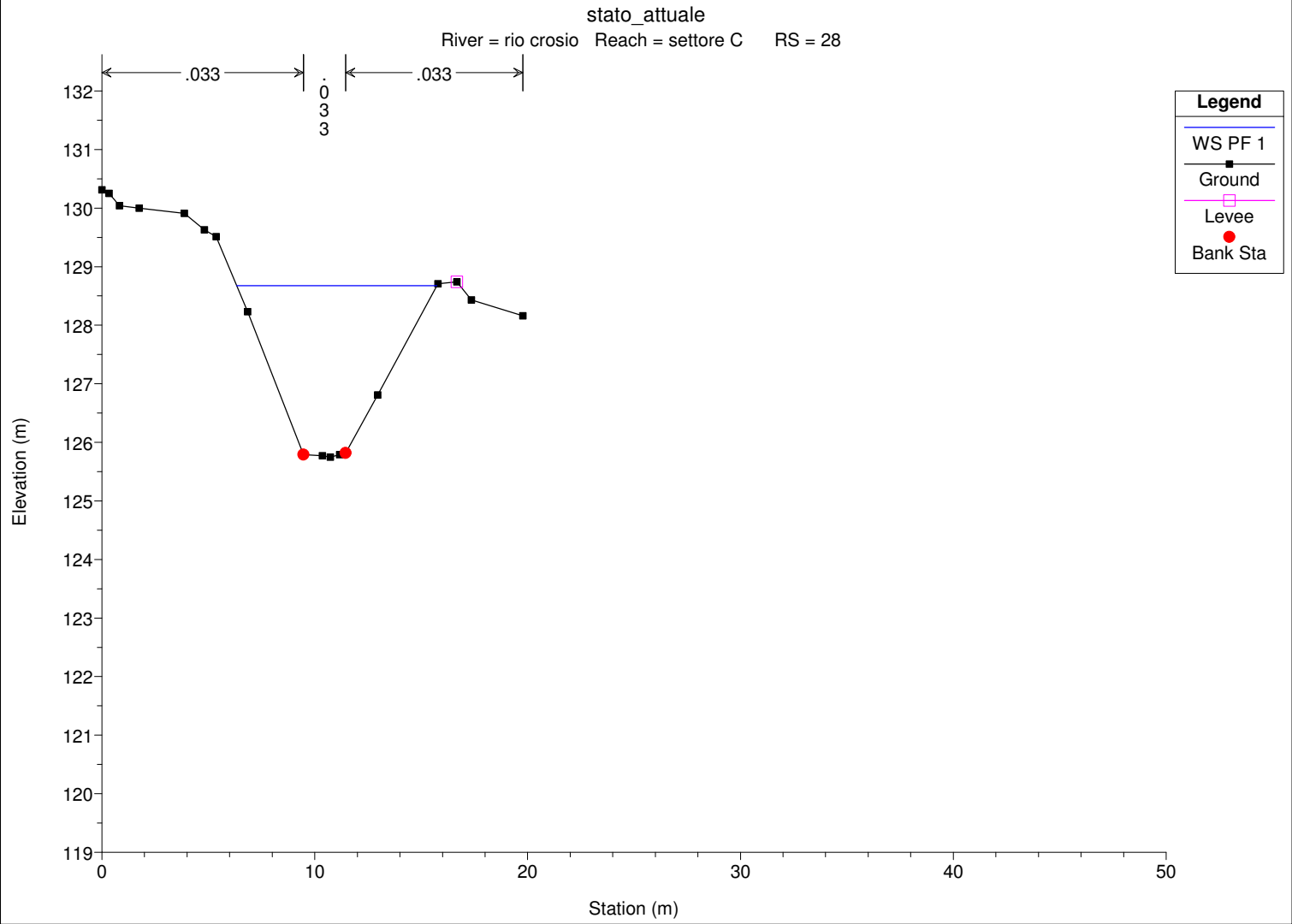
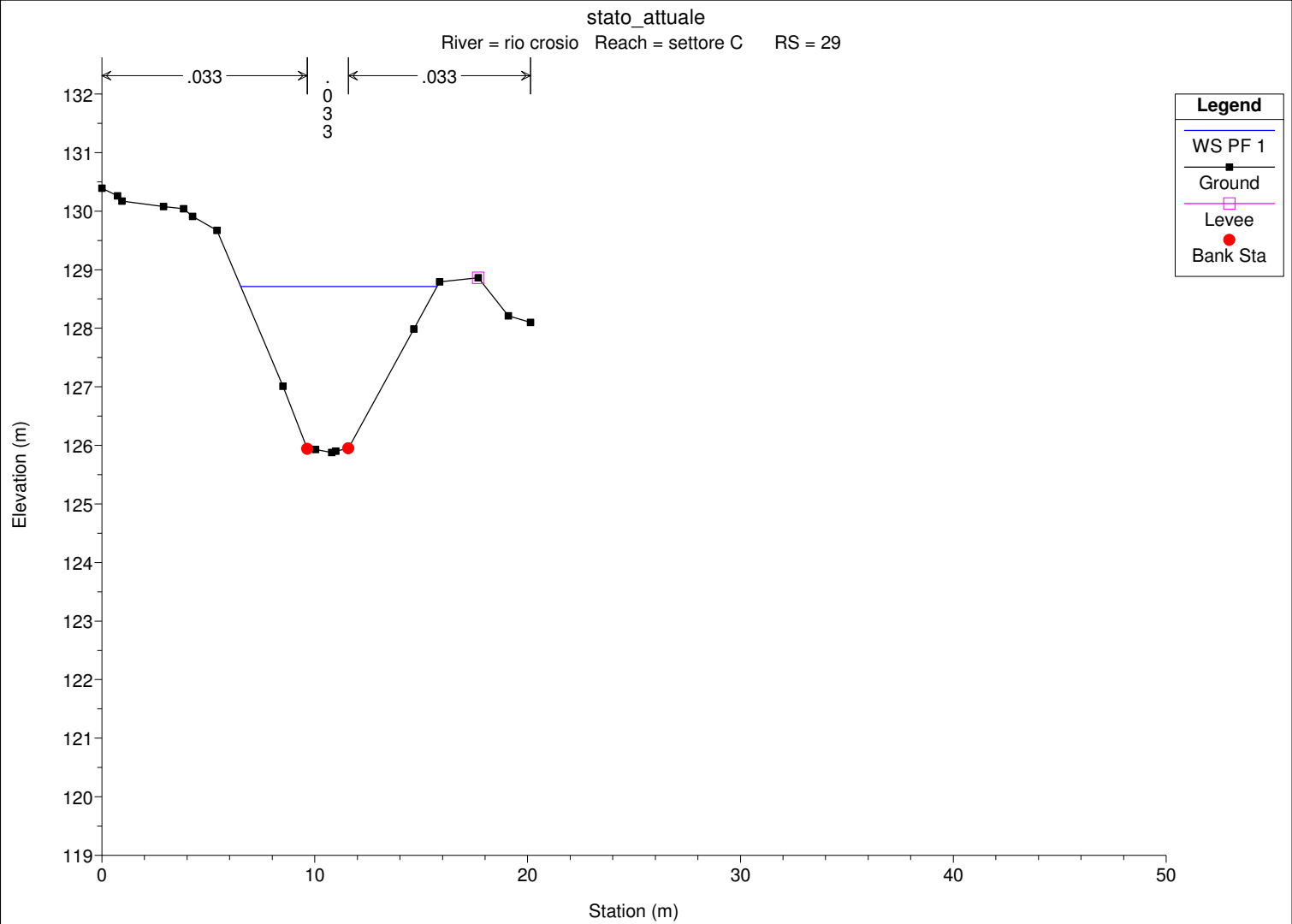
stato_attuale
River = rio crosio Reach = settore C RS = 38

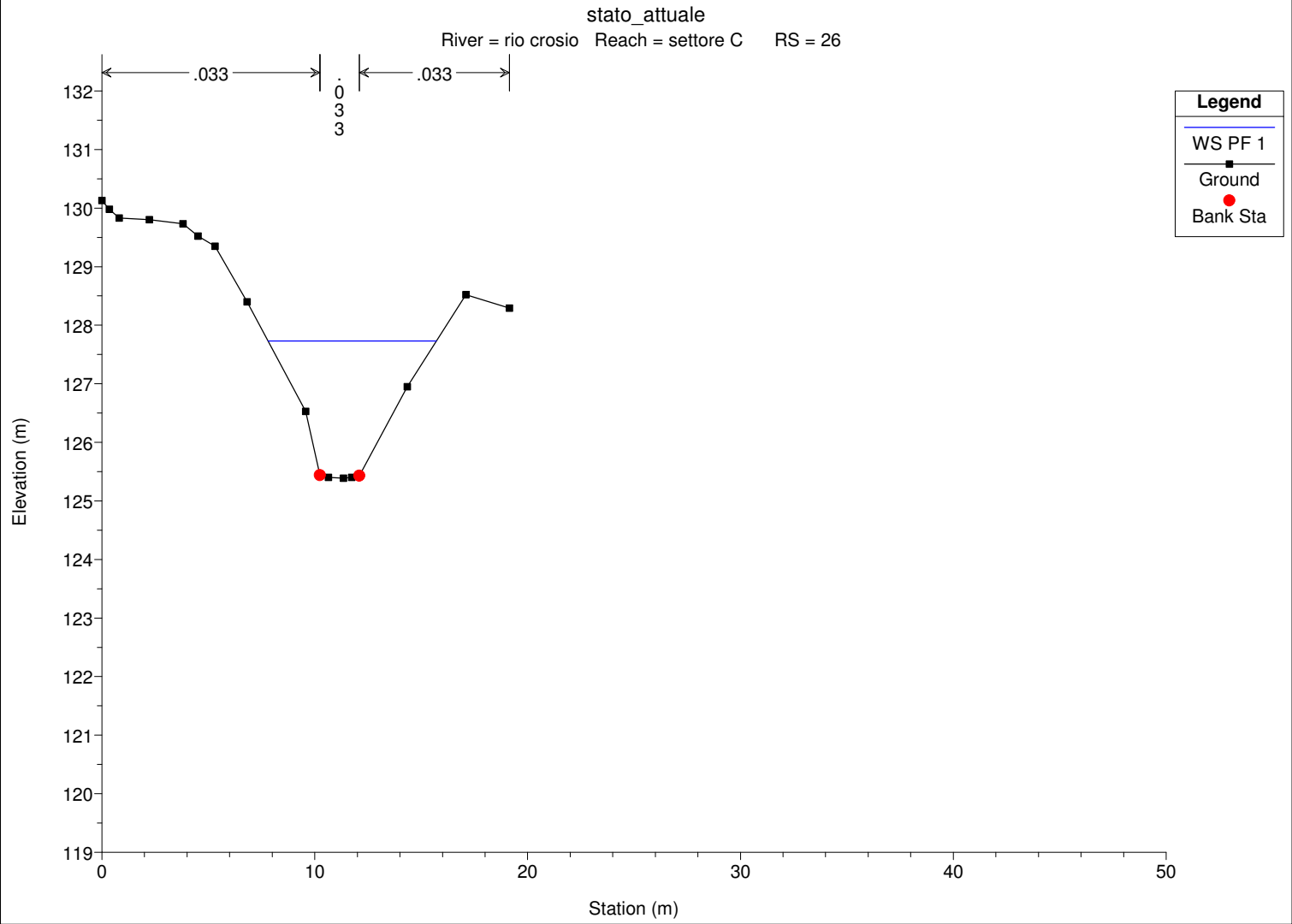
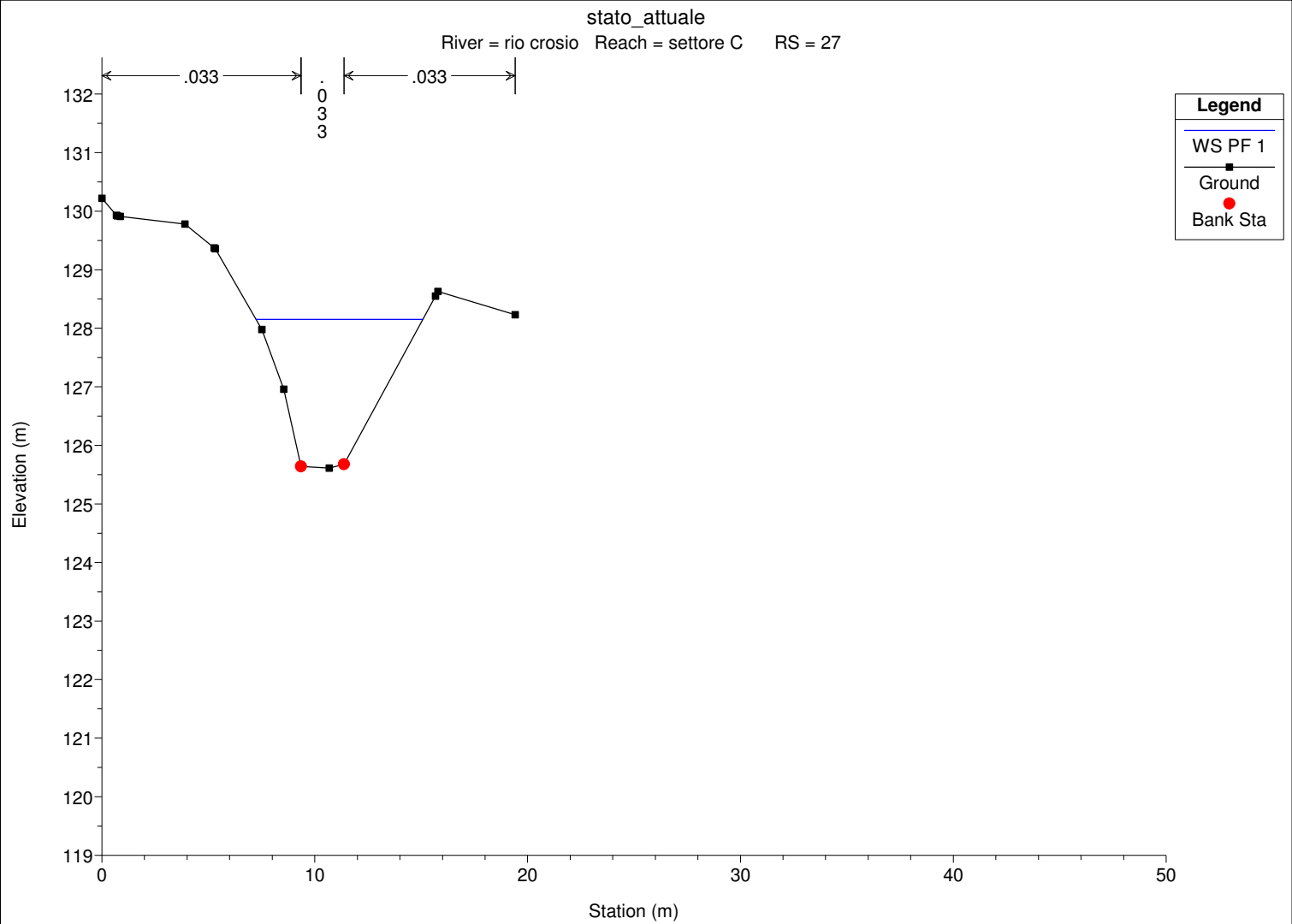


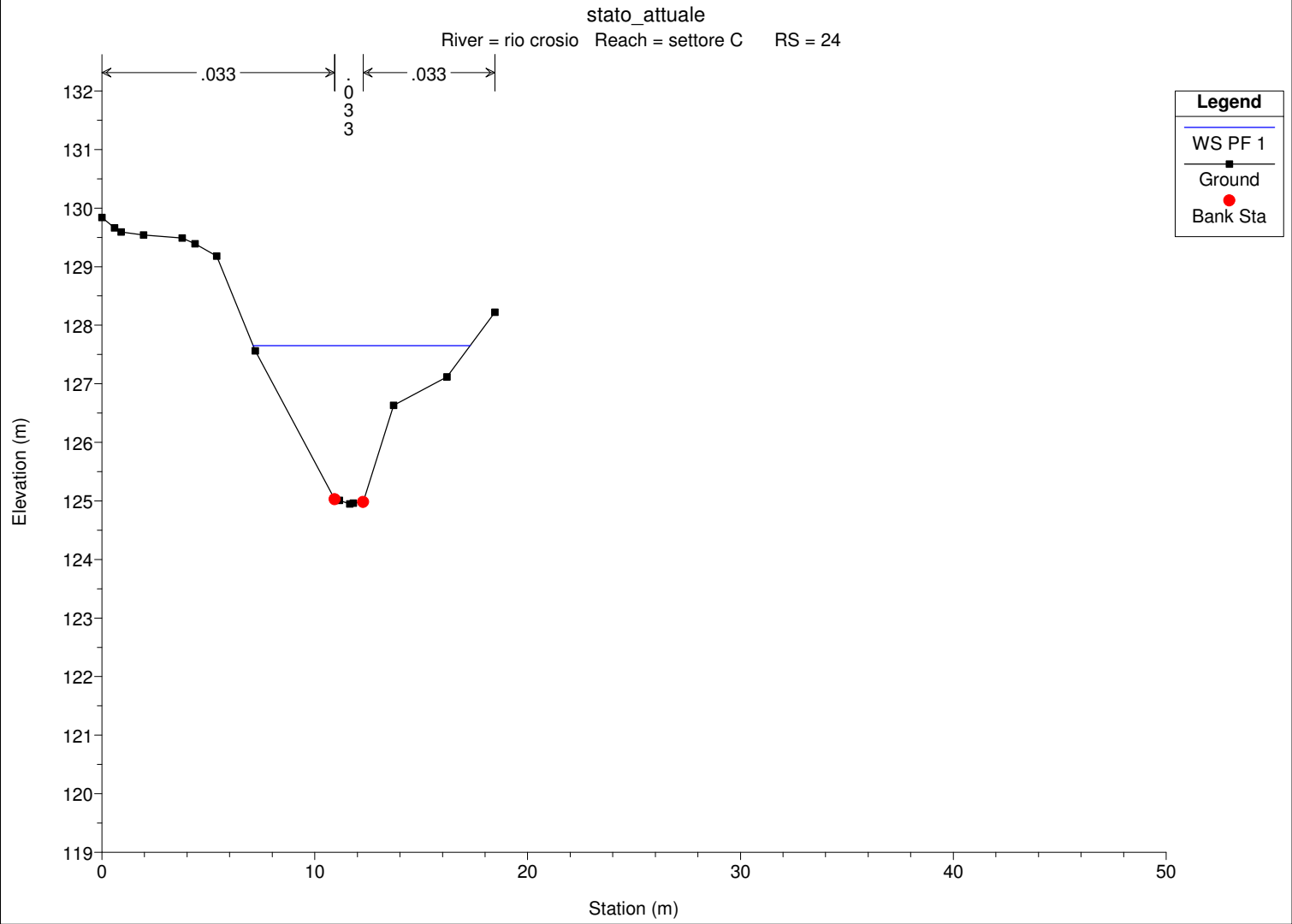
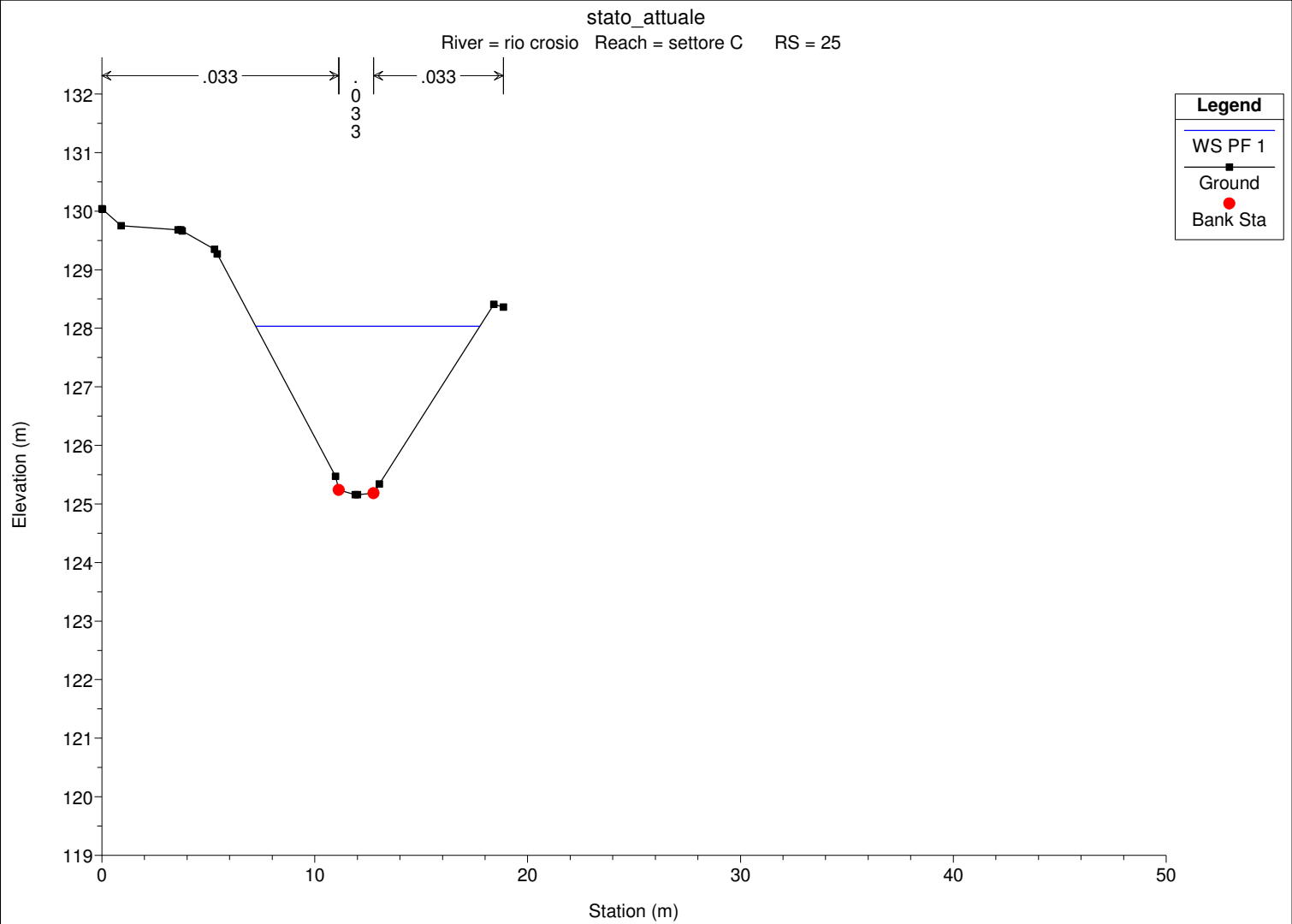


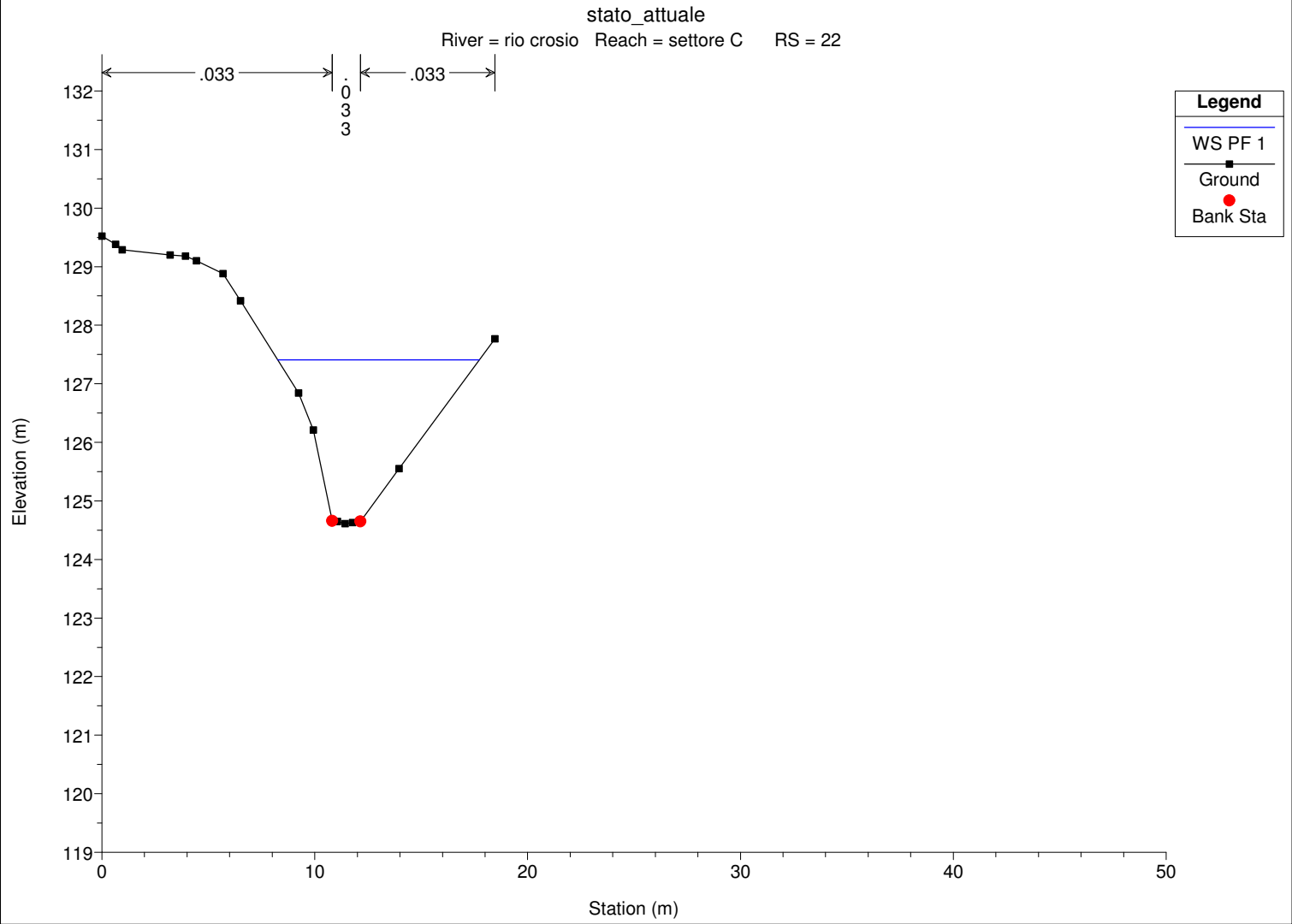
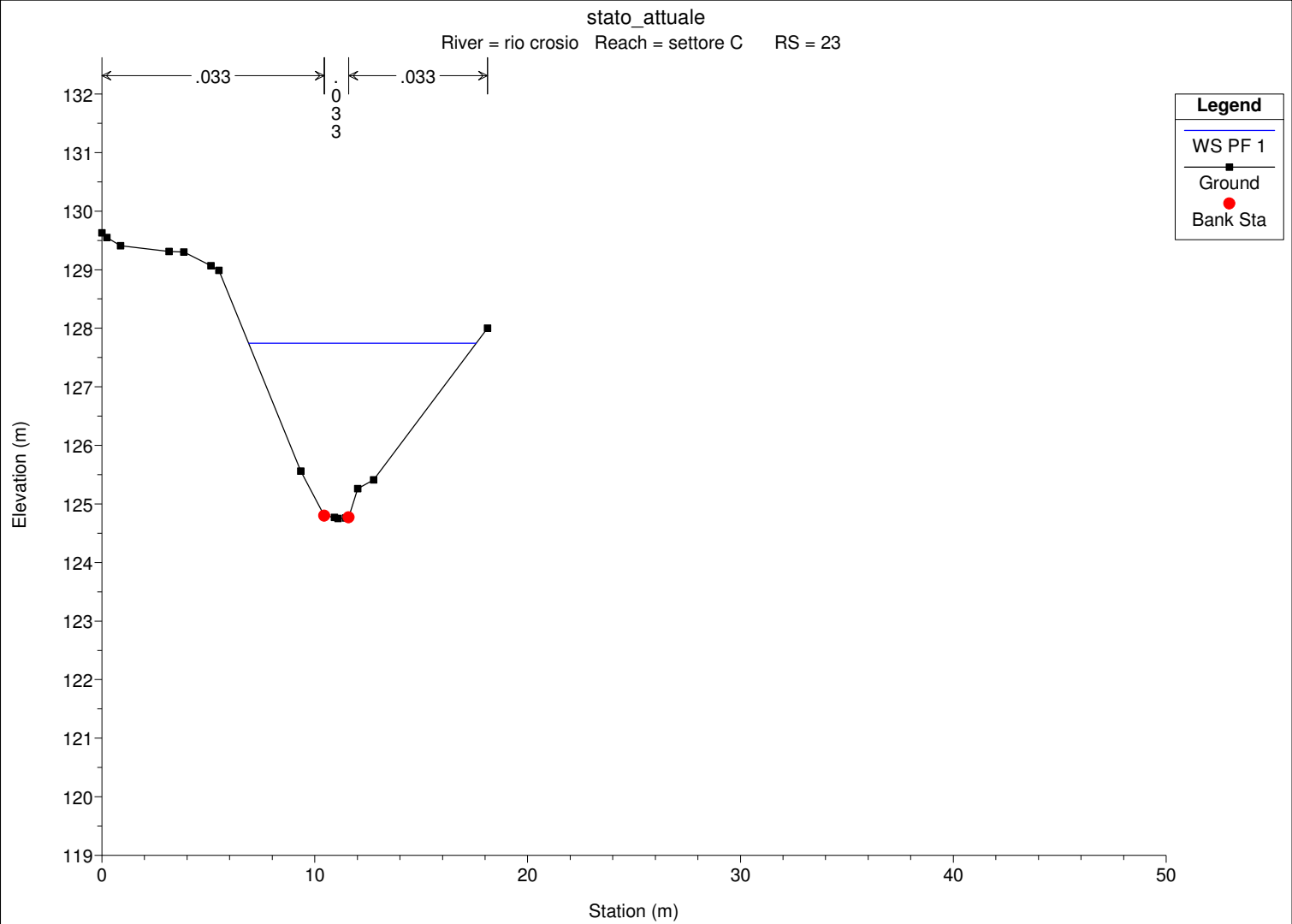


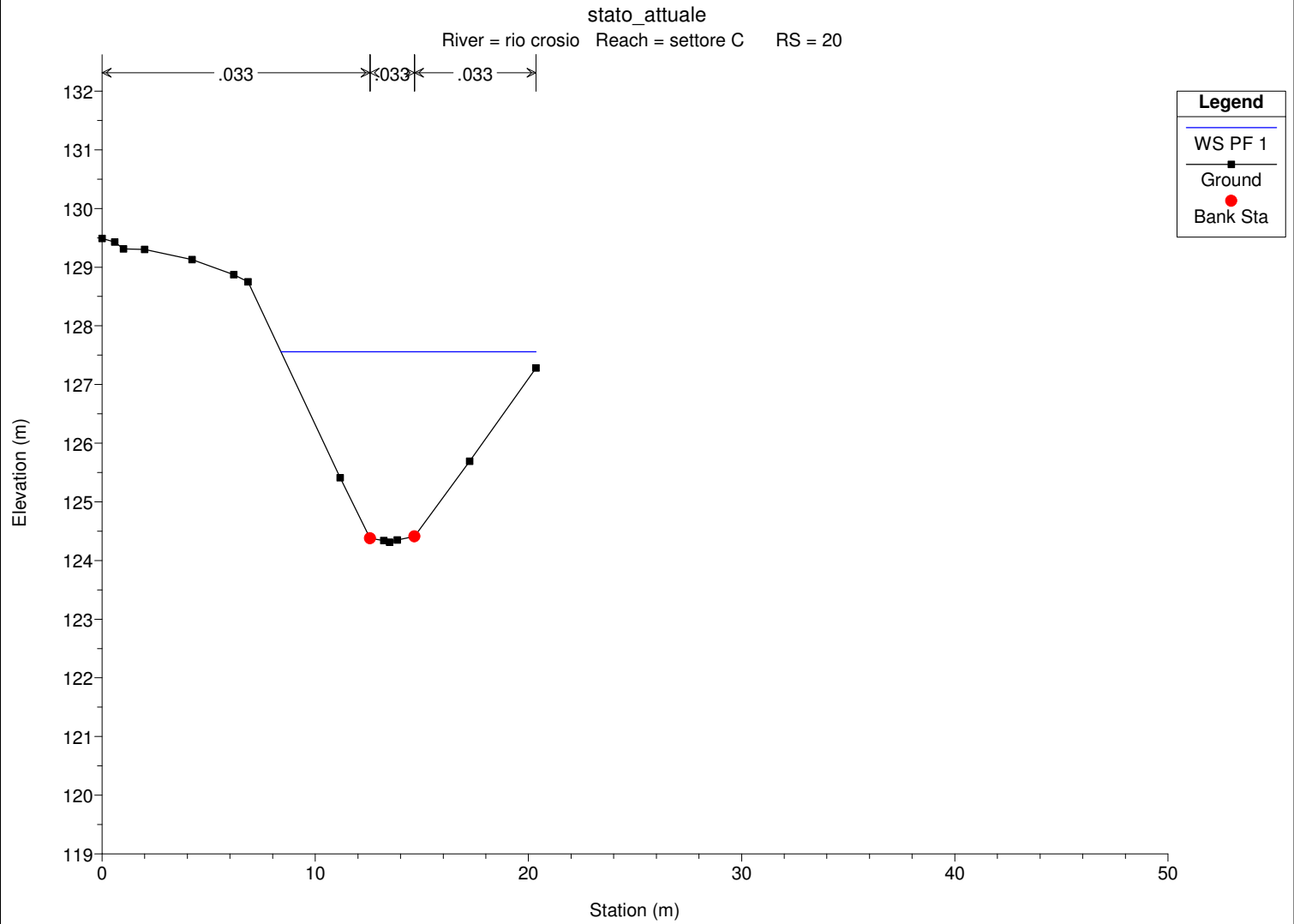
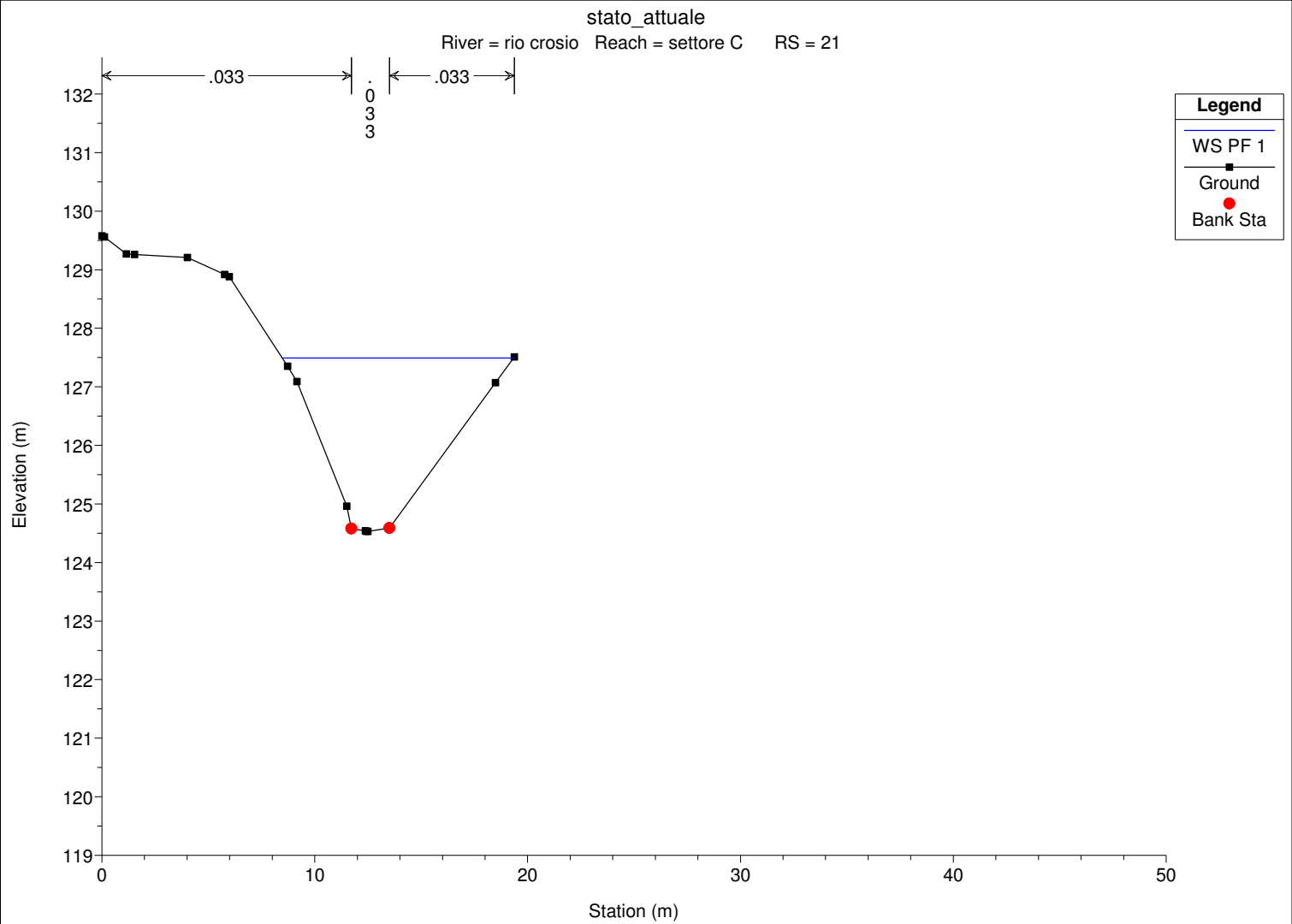


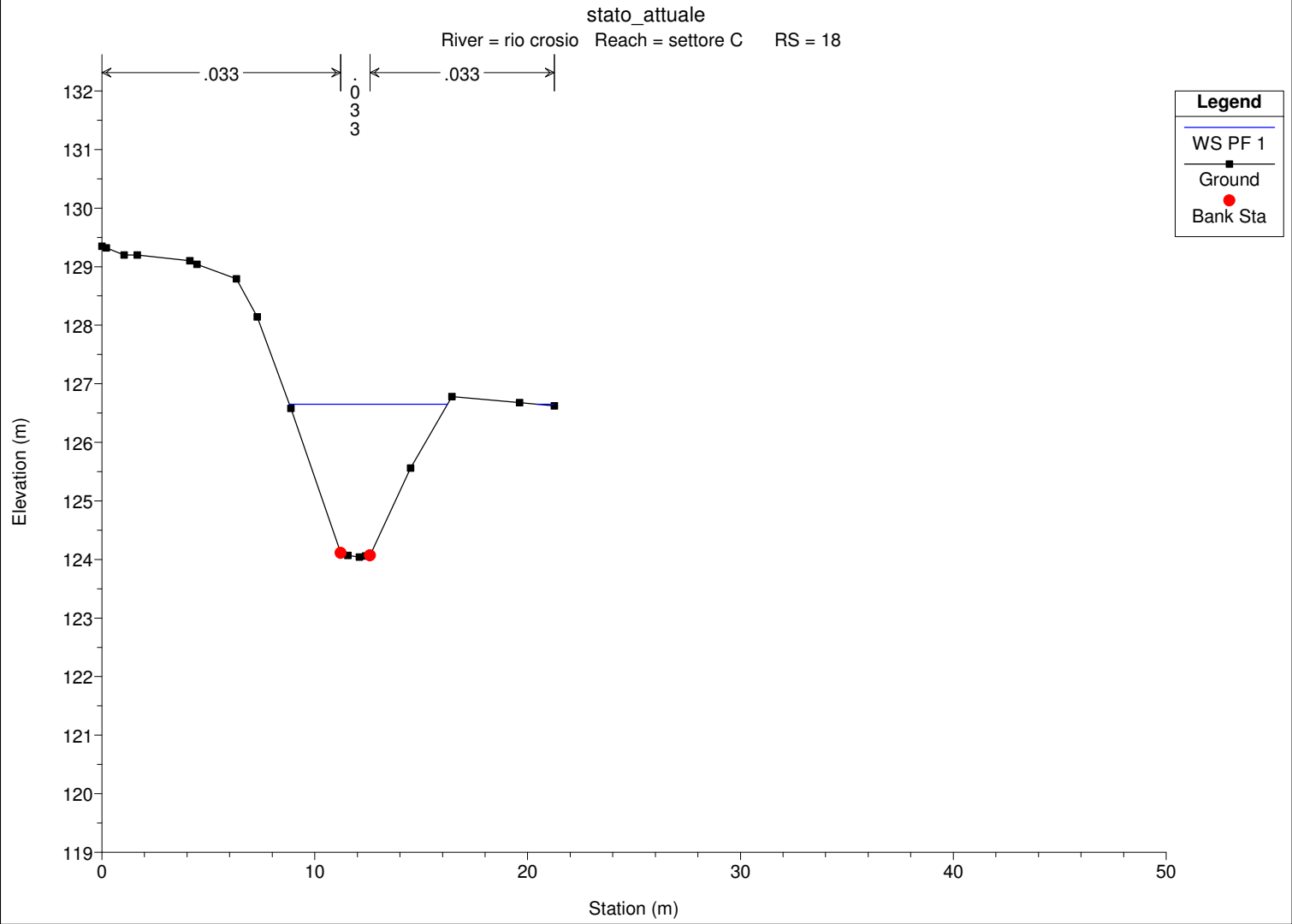
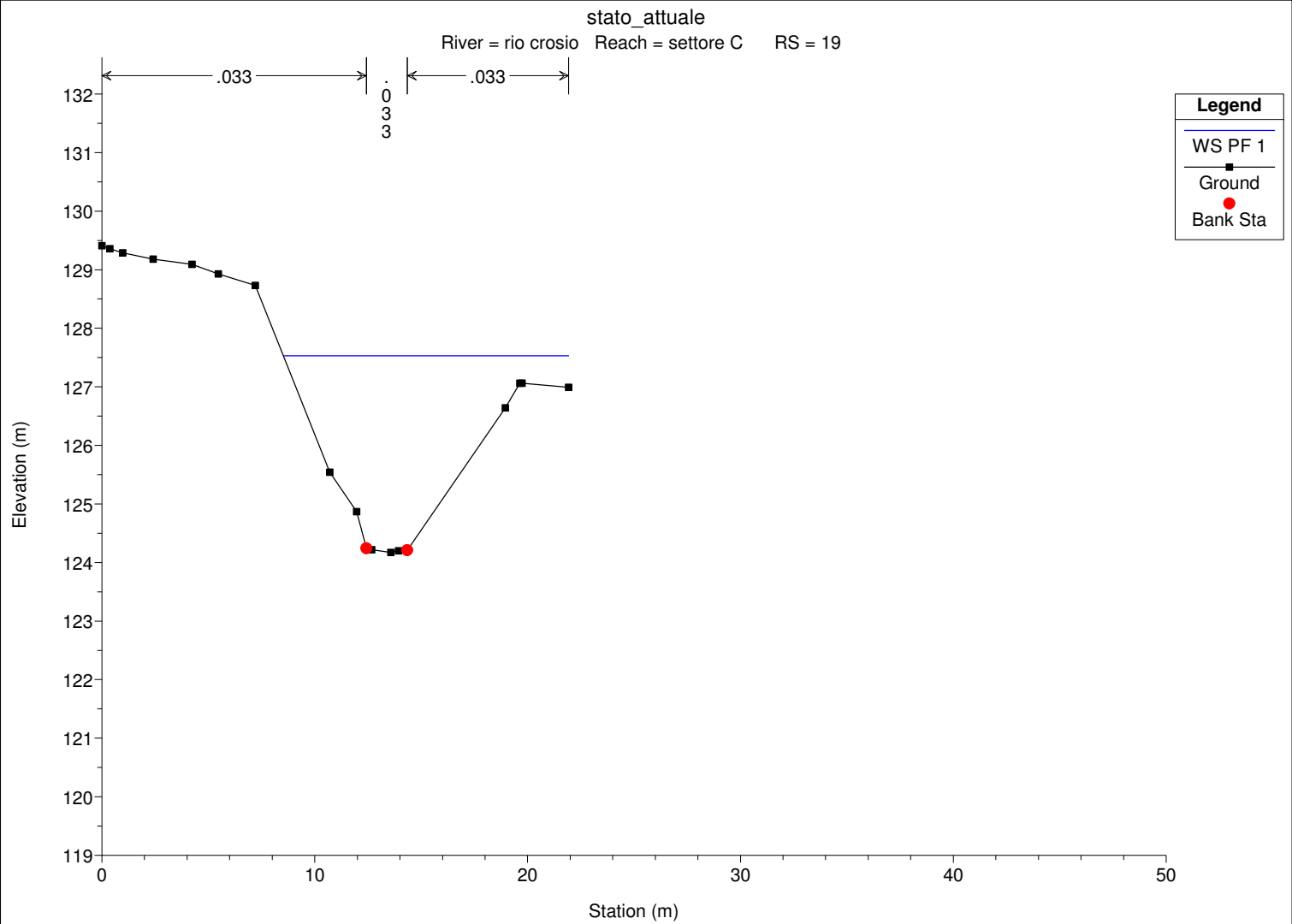


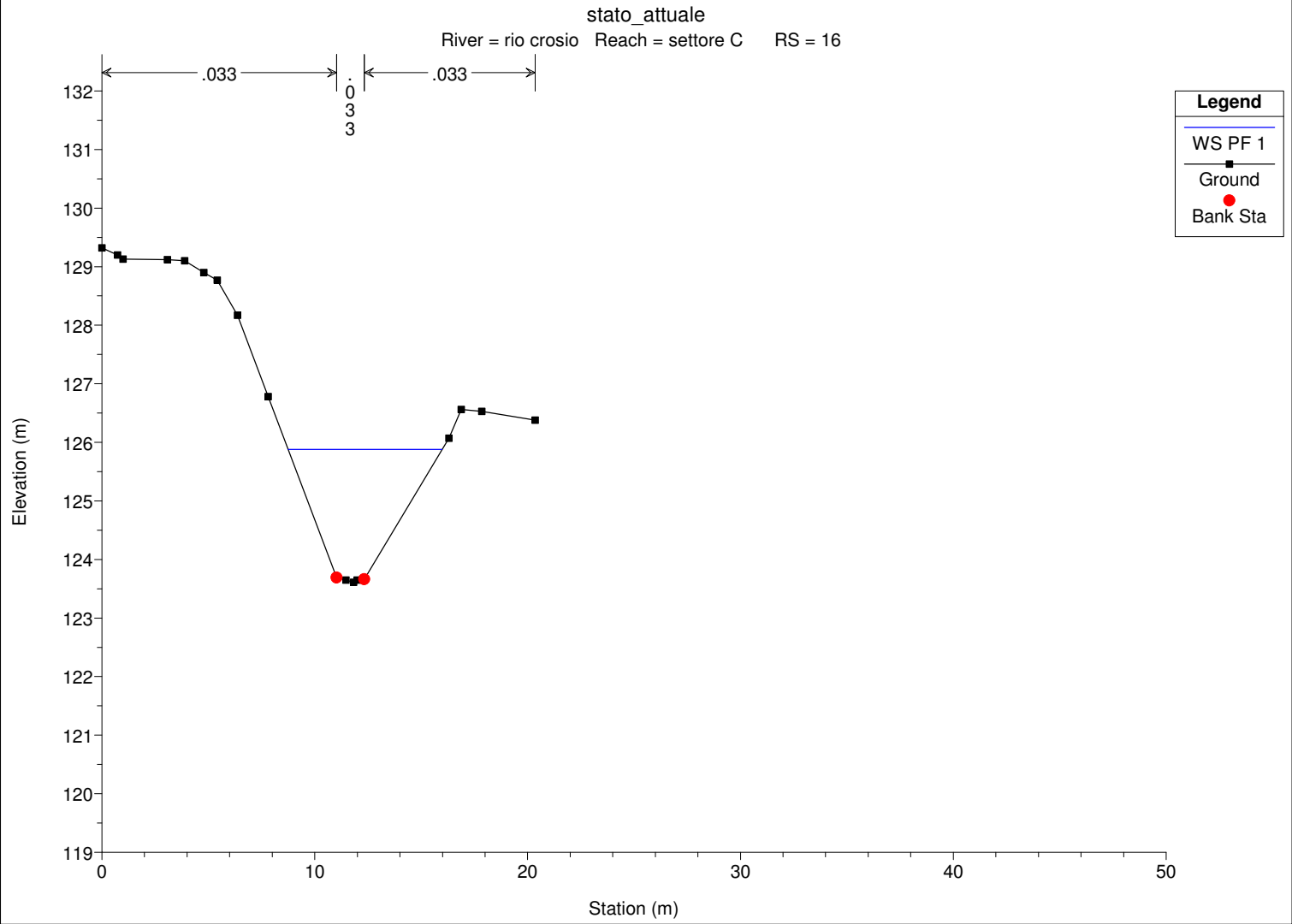
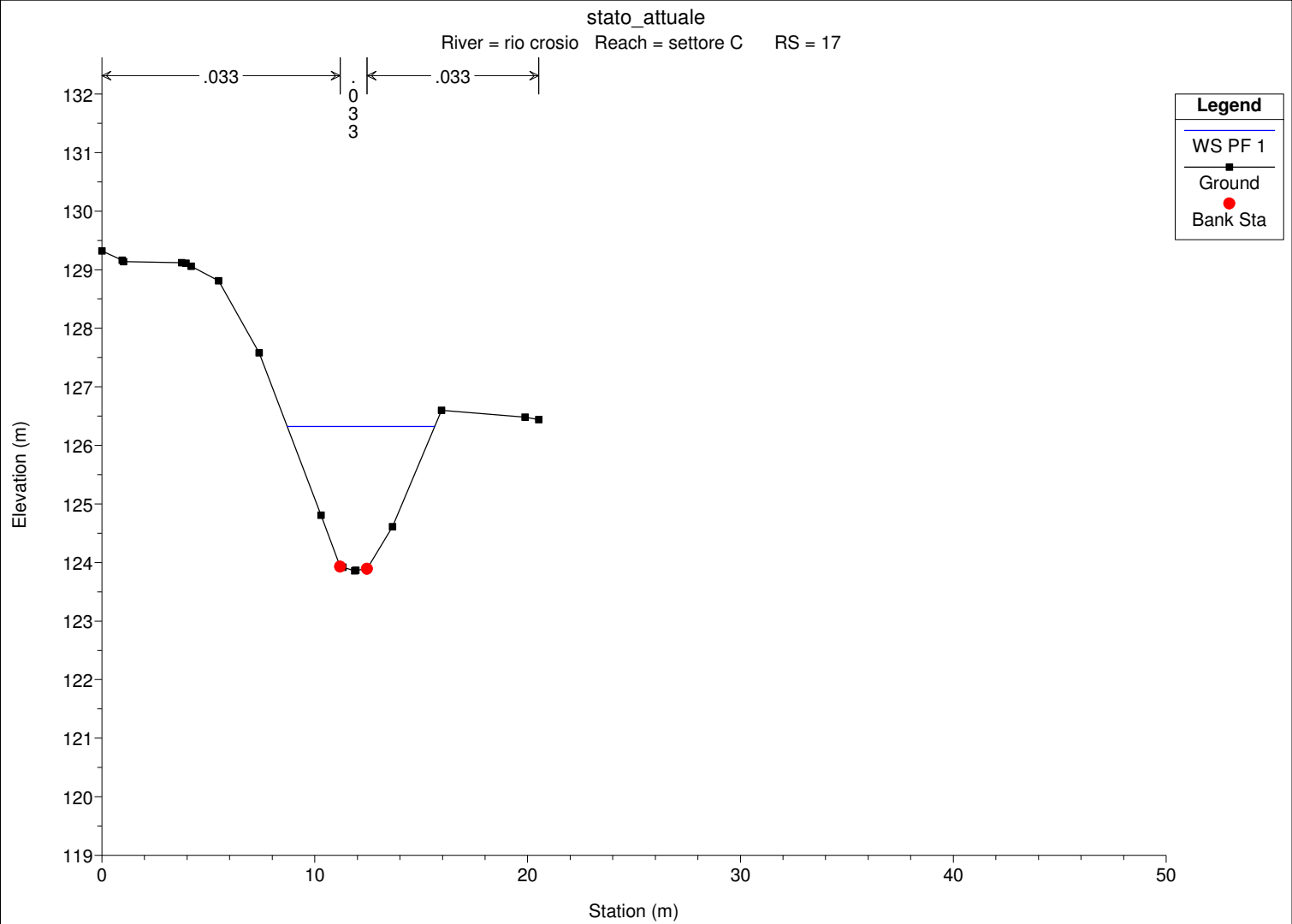


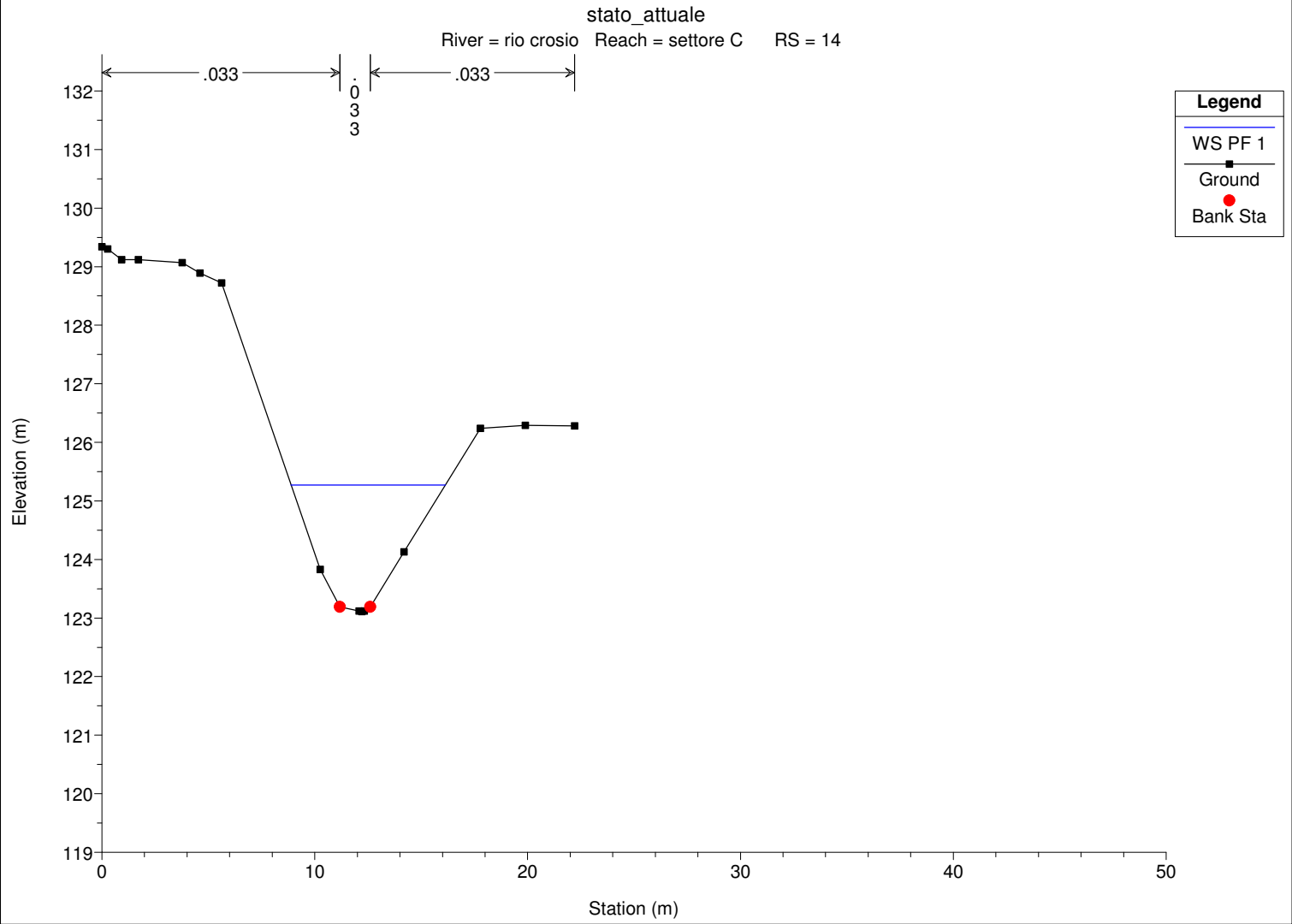
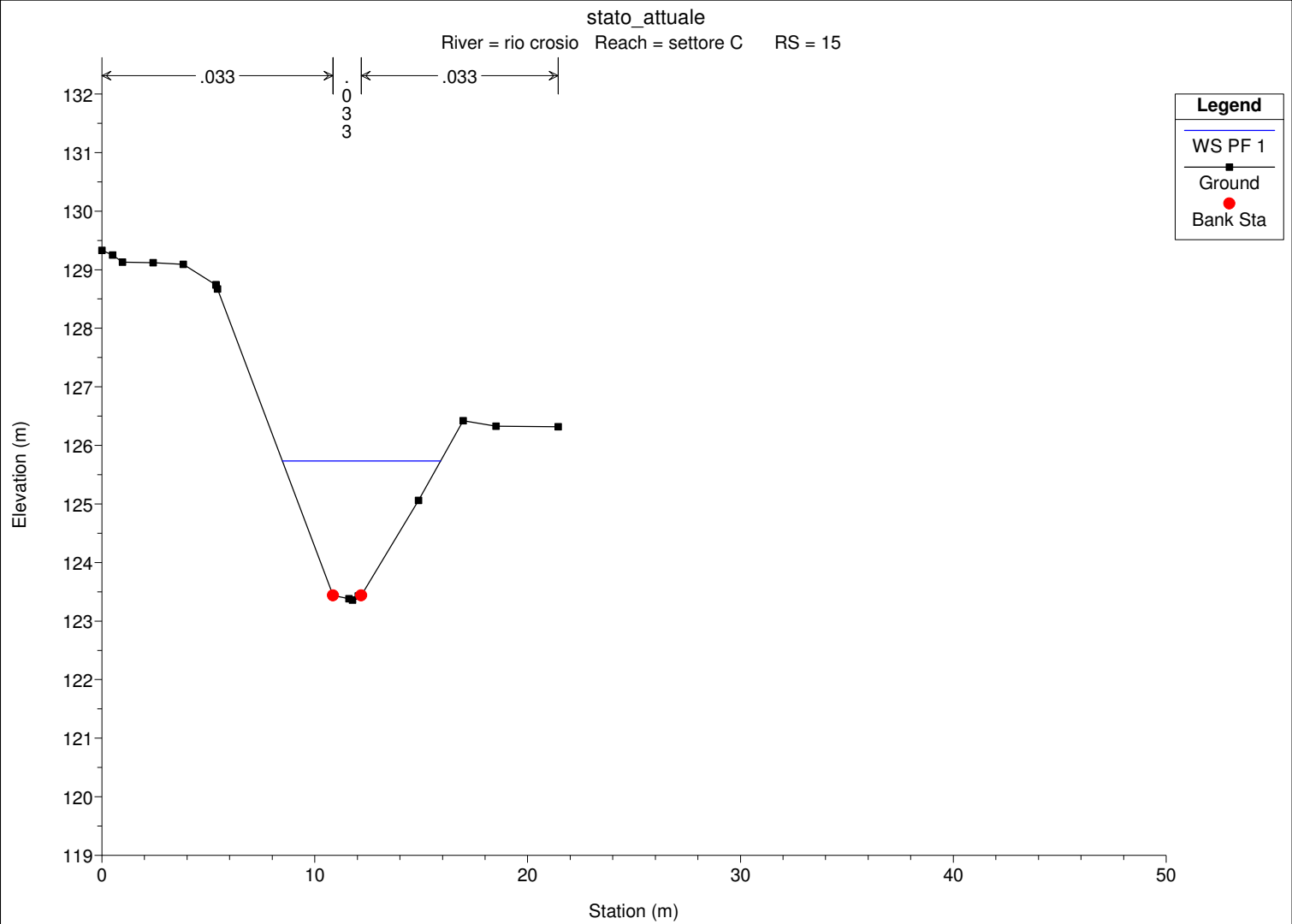


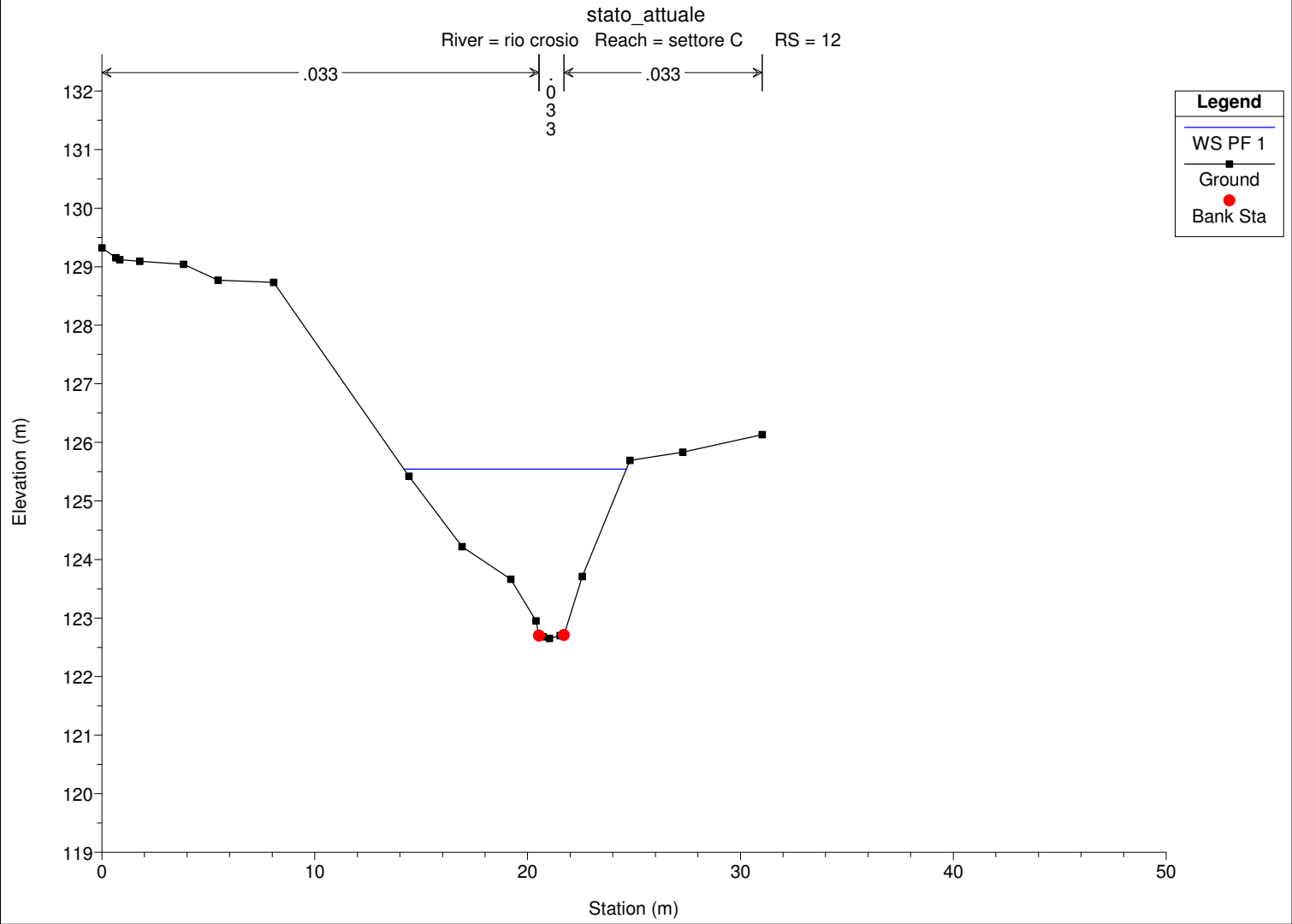
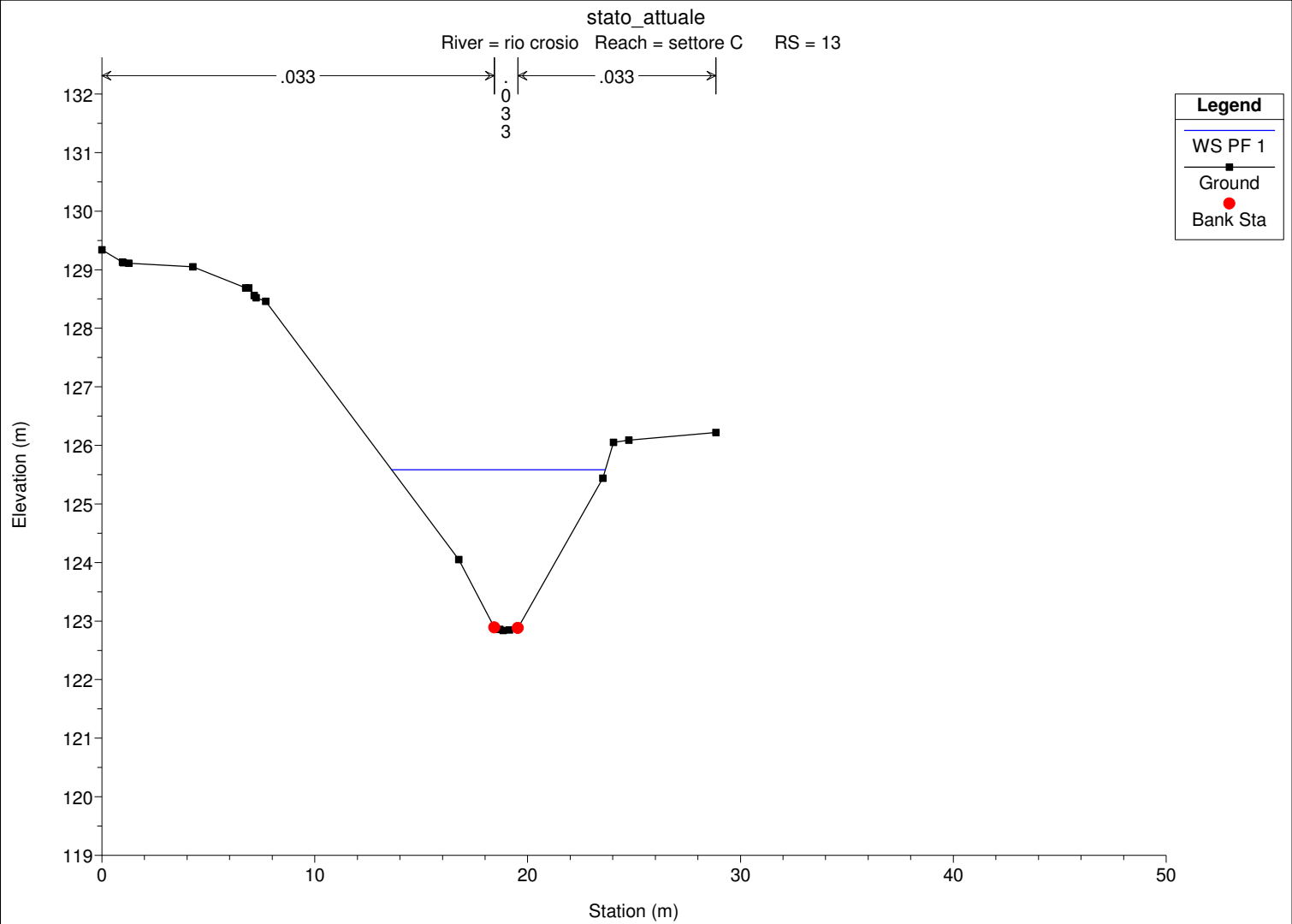


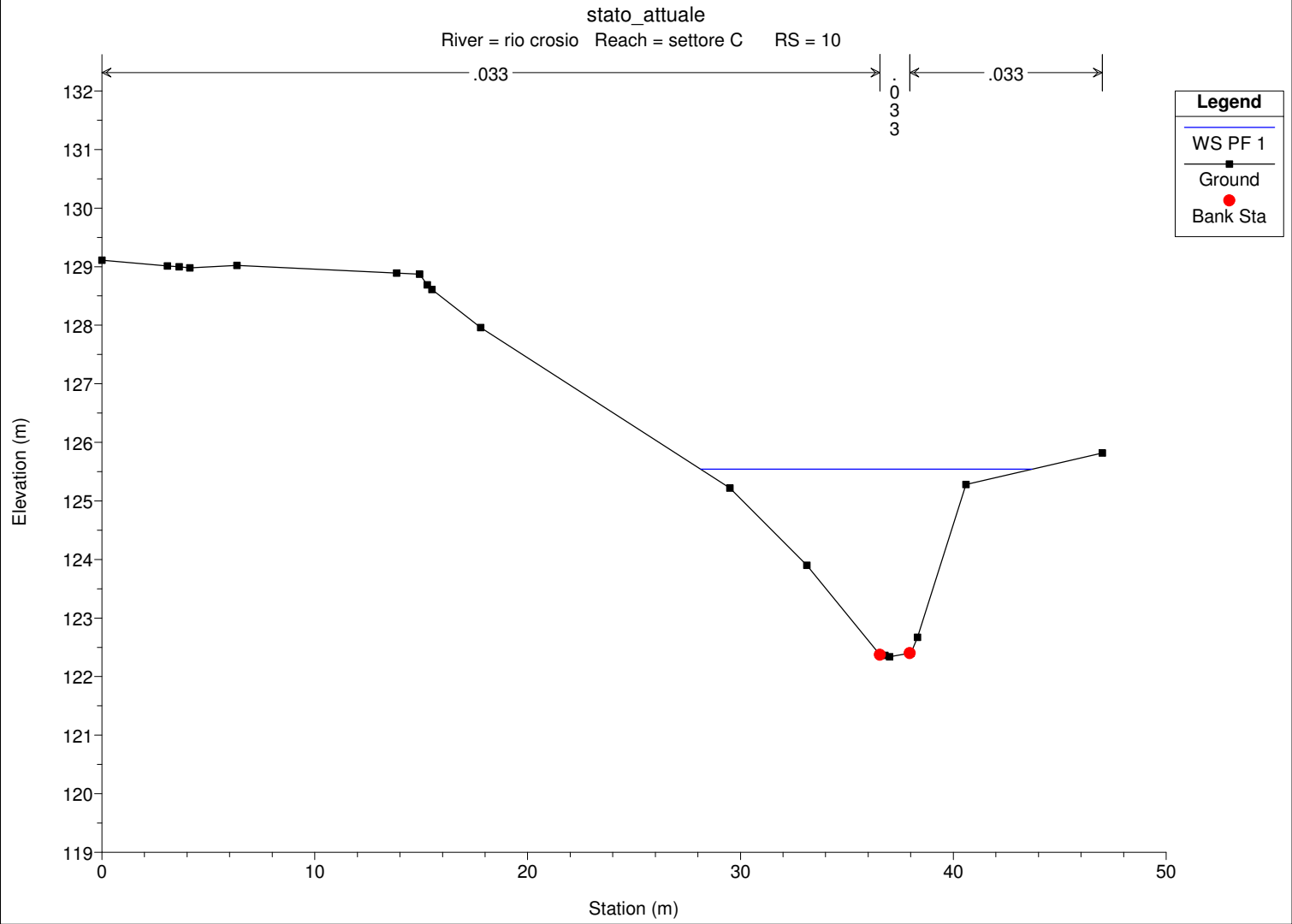
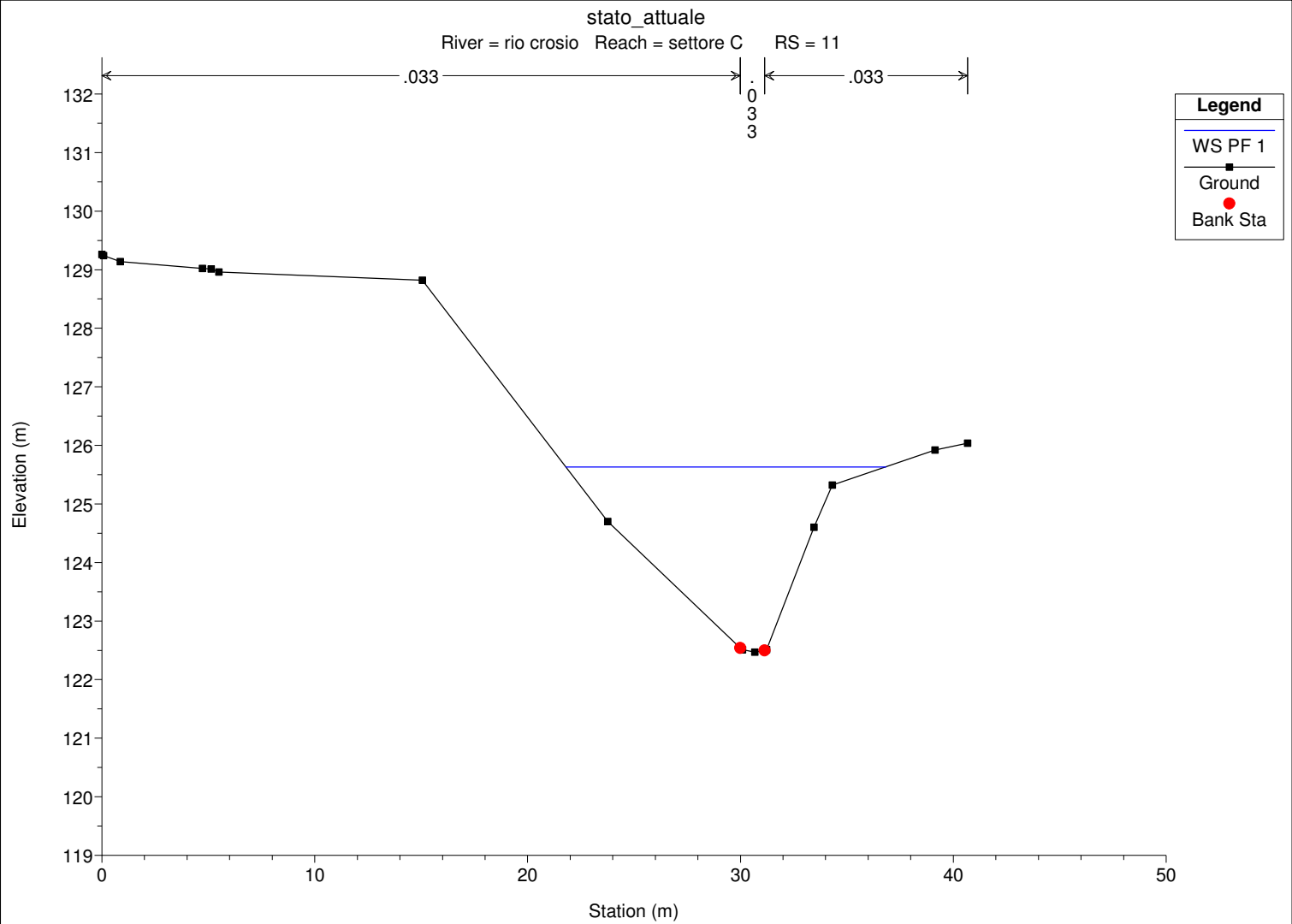


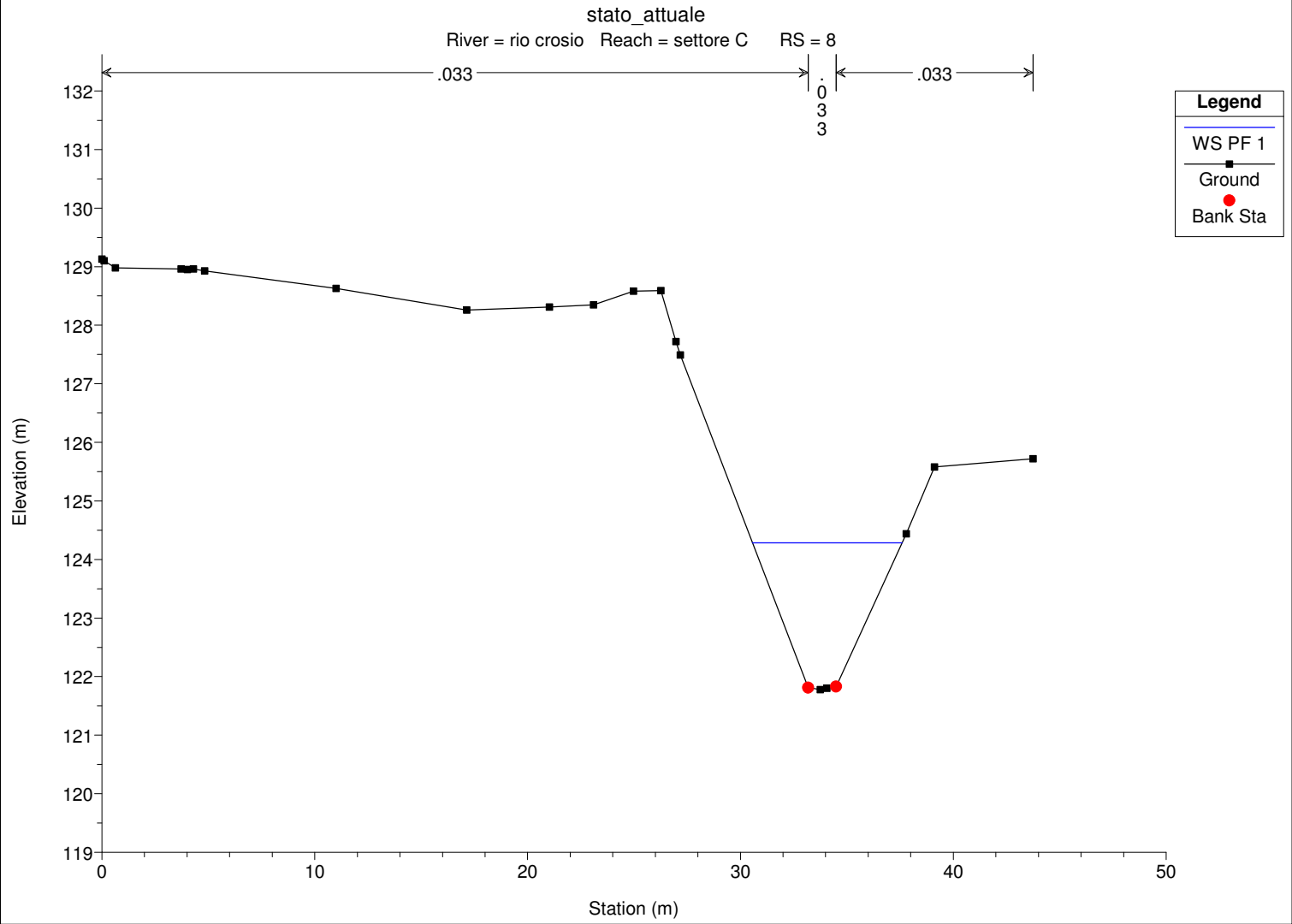
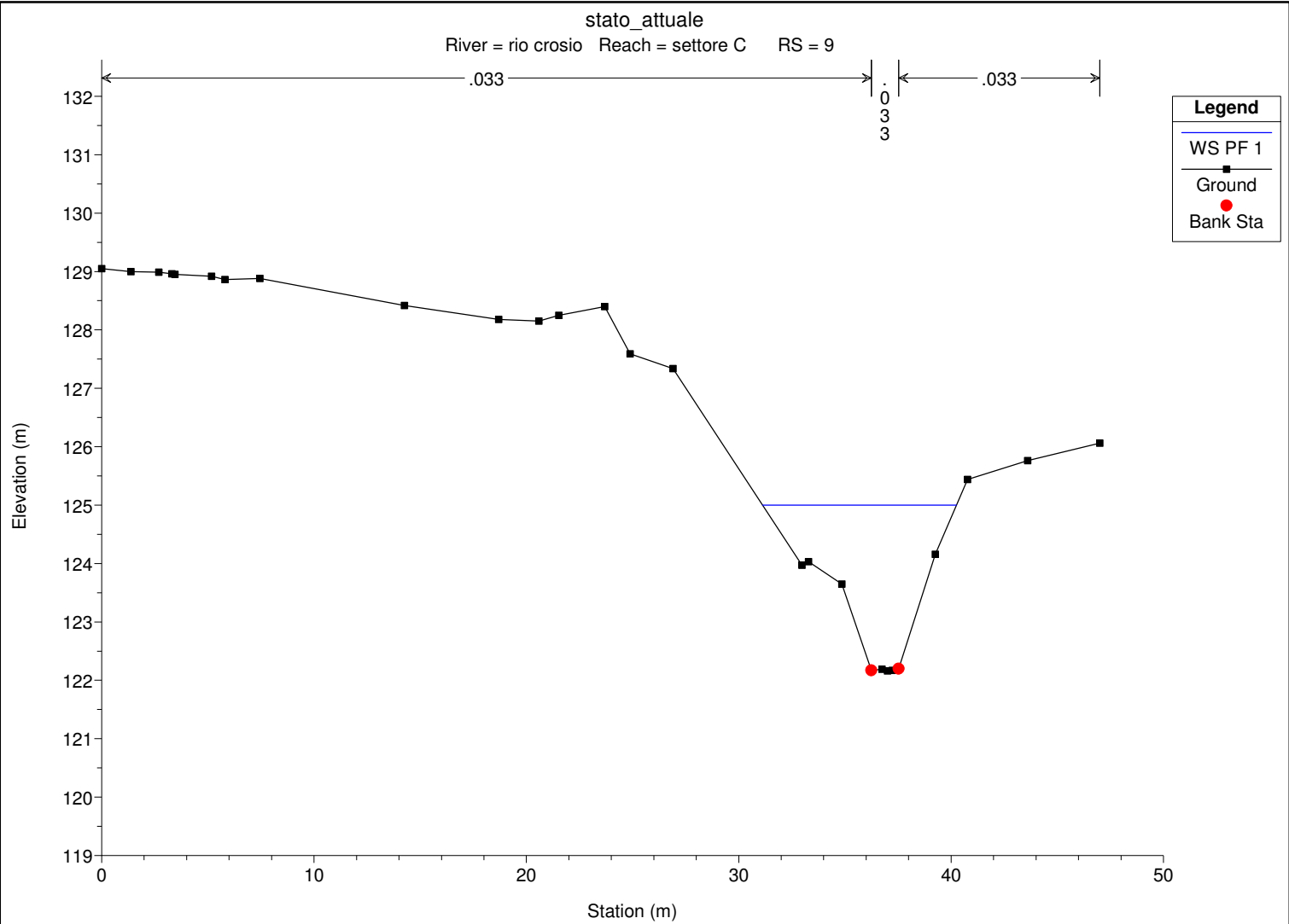


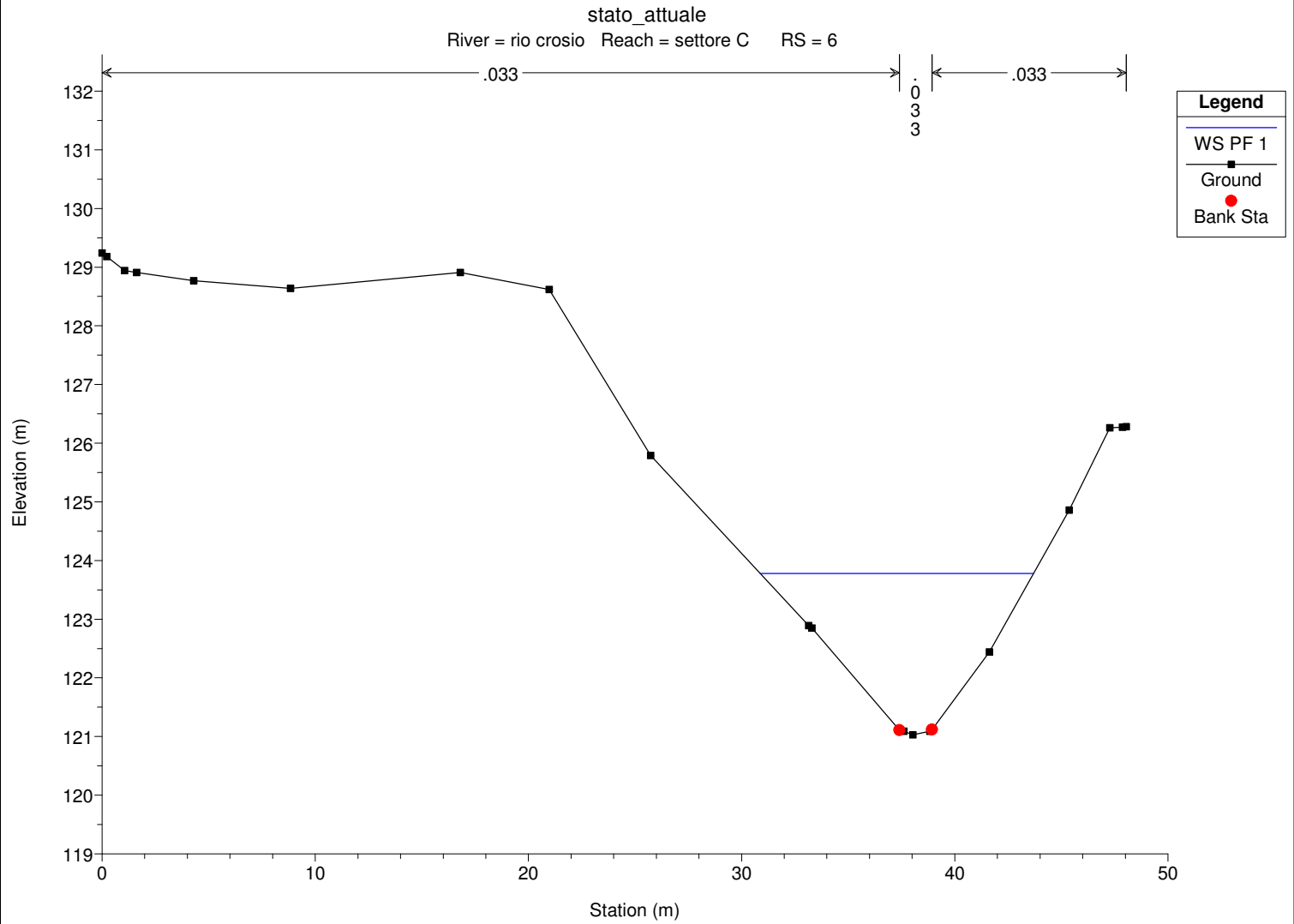
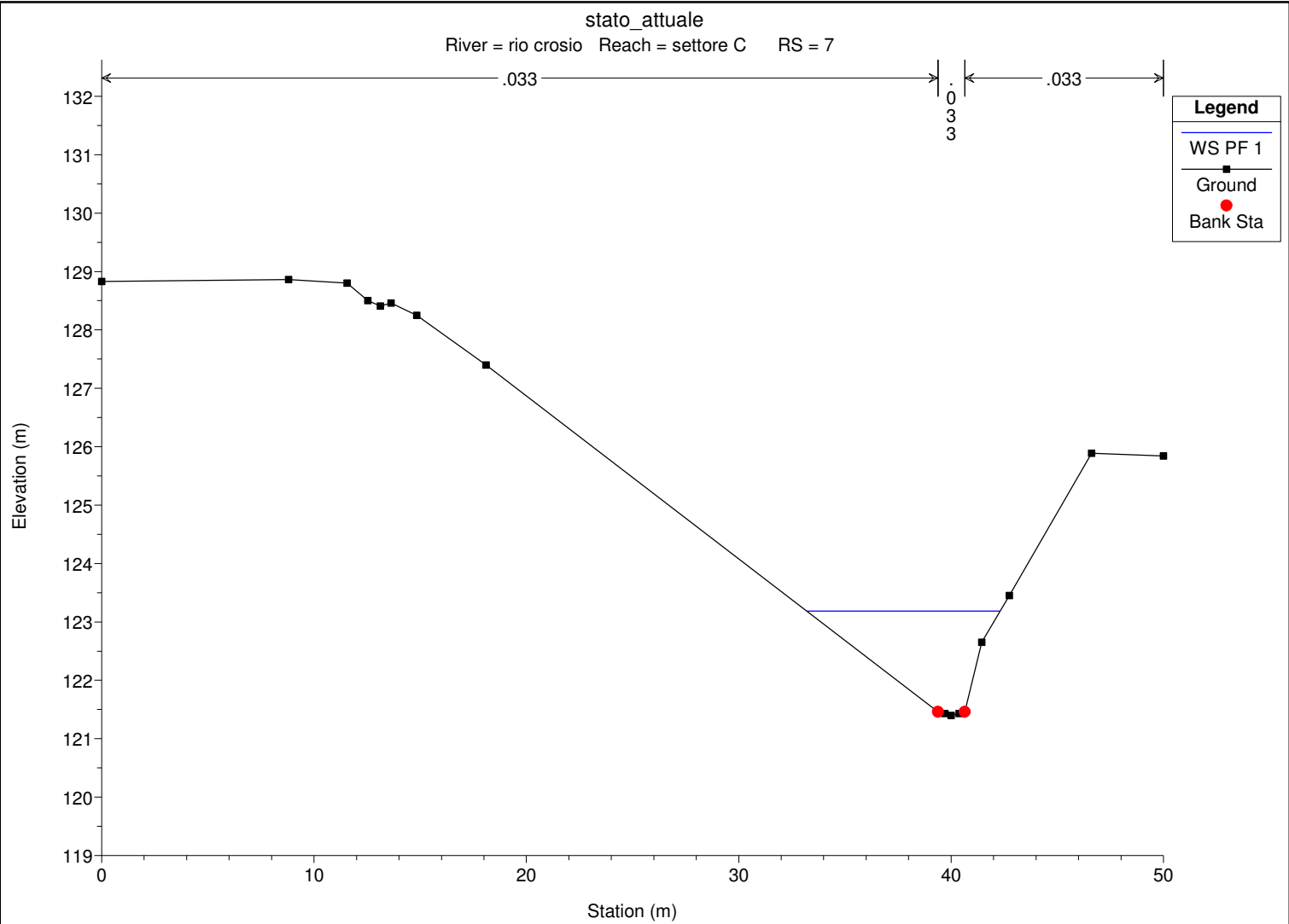


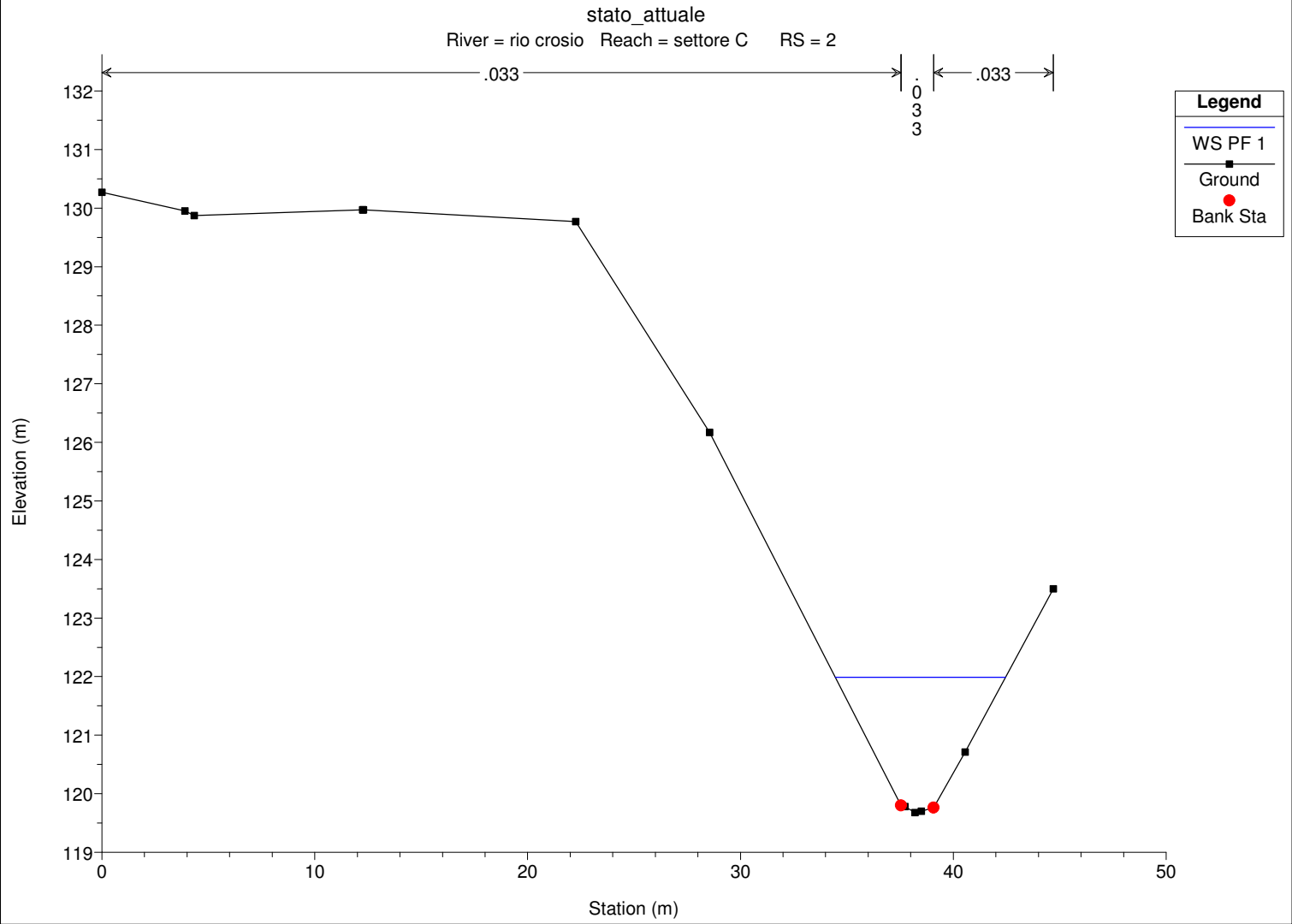
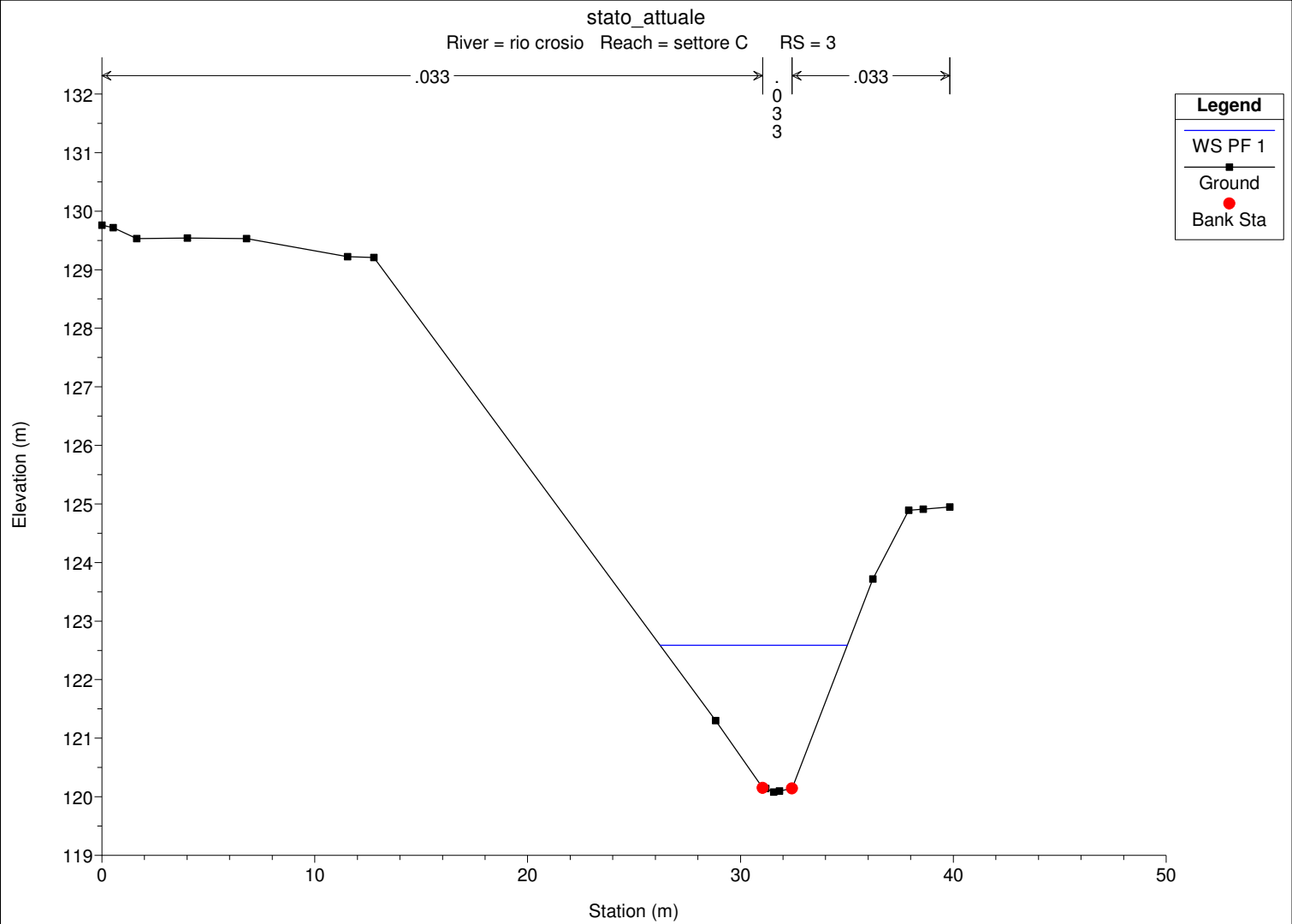






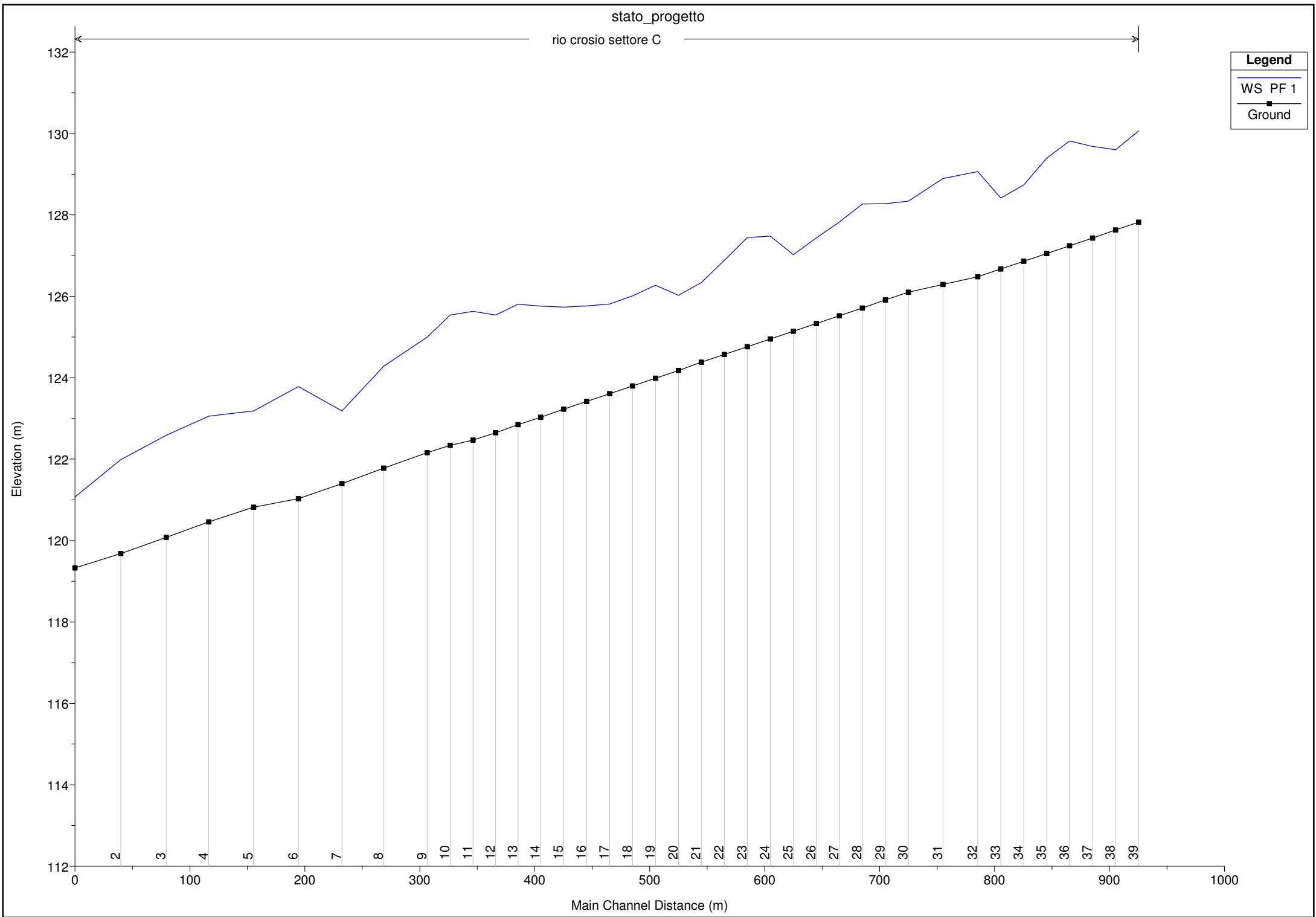




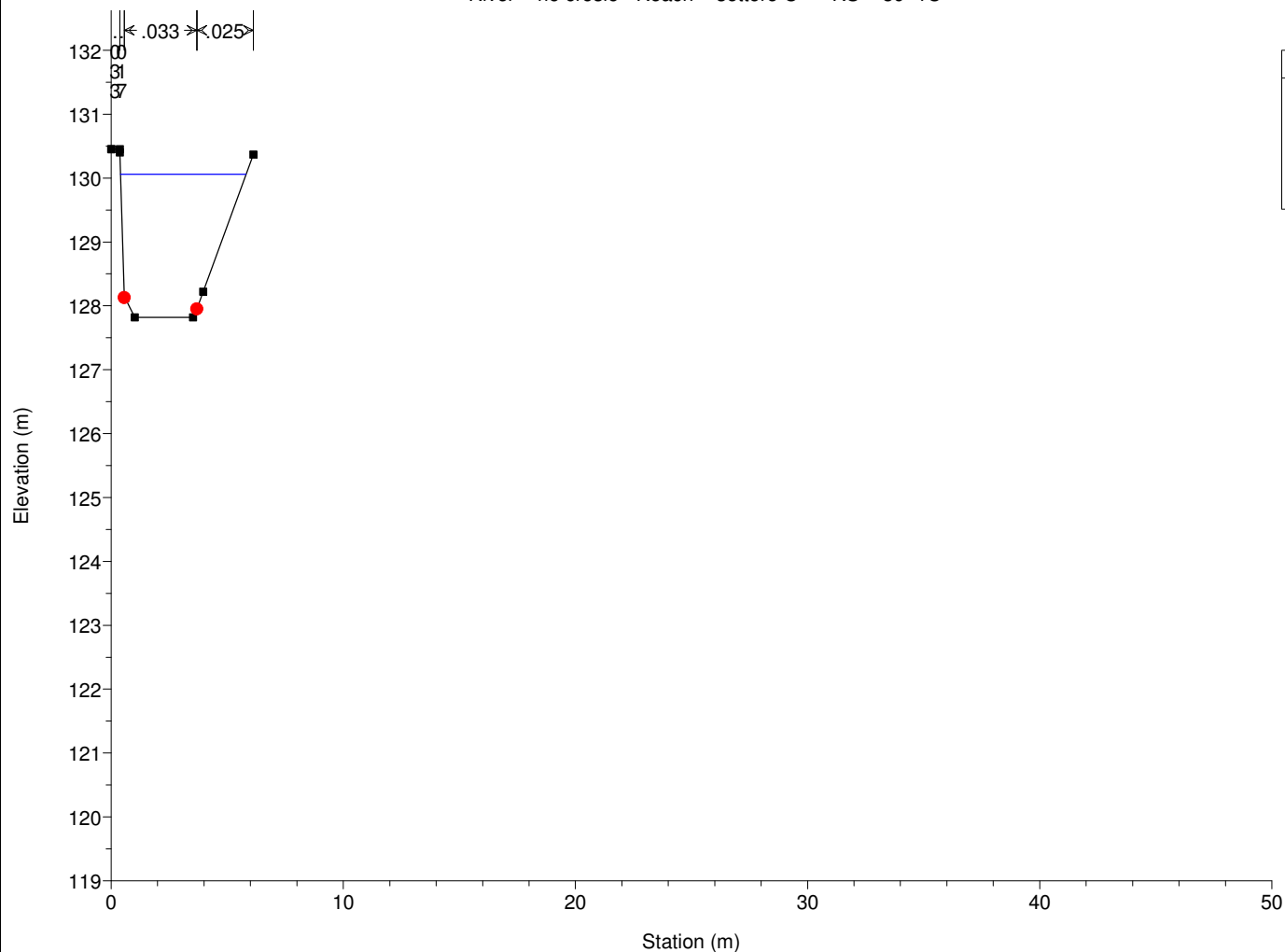


Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
settore C	39	PF 1	40.33	127.82	130.11	130.24	131.17	0.009206	4.83	9.27	5.47	1.05
settore C	38	PF 1	40.33	127.66	129.66	129.95	130.93	0.012876	5.18	8.42	5.46	1.21
settore C	37	PF 1	40.33	127.46	129.87	129.79	130.75	0.007040	4.20	10.20	5.80	0.90
settore C	36	PF 1	40.33	127.44	130.23		130.50	0.001830	2.51	18.76	8.94	0.49
settore C	35	PF 1	40.33	127.07	129.99	129.57	130.44	0.003238	3.46	17.24	13.83	0.65
settore C	34	PF 1	40.33	126.80	130.14		130.32	0.001245	2.36	26.07	15.94	0.42
settore C	33	PF 1	40.33	126.54	130.15		130.28	0.000932	2.15	29.59	15.84	0.36
settore C	32	PF 1	40.33	126.33	130.18	128.69	130.25	0.000512	1.66	36.73	17.69	0.27
settore C	31	PF 1	40.33	126.17	128.31	128.31	130.04	0.019775	6.96	8.42	8.70	1.53
settore C	30	PF 1	40.33	126.02	128.40	128.63	129.42	0.010251	5.40	10.56	7.76	1.13
settore C	29	PF 1	40.33	125.88	128.71	128.33	129.17	0.003899	3.75	15.40	9.22	0.72
settore C	28	PF 1	40.33	125.75	128.68	128.18	129.09	0.003282	3.52	16.39	9.41	0.66
settore C	27	PF 1	40.33	125.61	128.15	128.15	128.95	0.007091	4.72	11.91	7.83	0.95
settore C	26	PF 1	40.33	125.39	127.73	127.97	128.76	0.010400	5.42	10.54	7.91	1.13
settore C	25	PF 1	40.33	125.16	128.04	127.58	128.41	0.003332	3.51	16.99	10.53	0.66
settore C	24	PF 1	40.33	124.95	127.65	127.65	128.29	0.006498	4.69	13.53	10.21	0.92
settore C	23	PF 1	40.33	124.75	127.74	127.23	128.08	0.003262	3.57	17.51	10.70	0.66
settore C	22	PF 1	40.33	124.61	127.41	127.24	127.98	0.005365	4.37	14.02	9.48	0.84
settore C	21	PF 1	40.33	124.53	127.49		127.83	0.002880	3.33	17.86	10.87	0.62
settore C	20	PF 1	40.33	124.31	127.56		127.75	0.001443	2.49	23.19	11.97	0.44
settore C	19	PF 1	40.33	124.17	127.53		127.72	0.001444	2.56	24.15	13.40	0.45
settore C	18	PF 1	40.33	124.04	126.65	126.65	127.58	0.009146	5.45	11.07	8.25	1.08
settore C	17	PF 1	40.33	123.86	126.32	126.59	127.37	0.011320	5.82	10.21	6.93	1.19
settore C	16	PF 1	40.33	123.61	125.88	126.22	127.10	0.014733	6.25	9.45	7.24	1.34
settore C	15	PF 1	40.33	123.36	125.73	125.97	126.78	0.012033	5.80	10.17	7.44	1.21
settore C	14	PF 1	40.33	123.11	125.27	125.62	126.50	0.015382	6.18	9.32	7.25	1.35
settore C	13	PF 1	40.33	122.84	125.58	125.38	126.07	0.005248	4.27	14.66	10.04	0.83
settore C	12	PF 1	40.33	122.65	125.54		125.98	0.004335	4.01	15.79	10.46	0.76
settore C	11	PF 1	40.33	122.47	125.63		125.83	0.001850	2.78	22.94	15.04	0.50
settore C	10	PF 1	40.33	122.34	125.54		125.79	0.002212	3.07	21.57	15.57	0.55
settore C	9	PF 1	40.33	122.16	125.00	125.00	125.69	0.006516	4.87	13.16	9.12	0.93
settore C	8	PF 1	40.33	121.78	124.28	124.50	125.35	0.011032	5.83	10.29	7.03	1.18
settore C	7	PF 1	40.33	121.40	123.18	123.65	124.58	0.024055	6.81	8.66	9.10	1.64
settore C	6	PF 1	40.33	121.03	123.78	123.22	124.04	0.002703	3.05	19.49	12.84	0.59
settore C	5	PF 1	40.33	120.82	123.19	123.19	123.82	0.007565	4.57	12.85	9.76	0.96
settore C	4	PF 1	40.33	120.46	123.06	122.84	123.59	0.005167	4.06	14.24	9.32	0.81
settore C	3	PF 1	40.33	120.08	122.58	122.58	123.29	0.007650	4.83	12.38	8.79	0.98
settore C	2	PF 1	40.33	119.68	121.99	122.18	122.93	0.010970	5.43	10.65	8.00	1.15
settore C	1	PF 1	40.33	119.33	121.07	121.40	122.28	0.019149	5.94	9.07	7.75	1.46

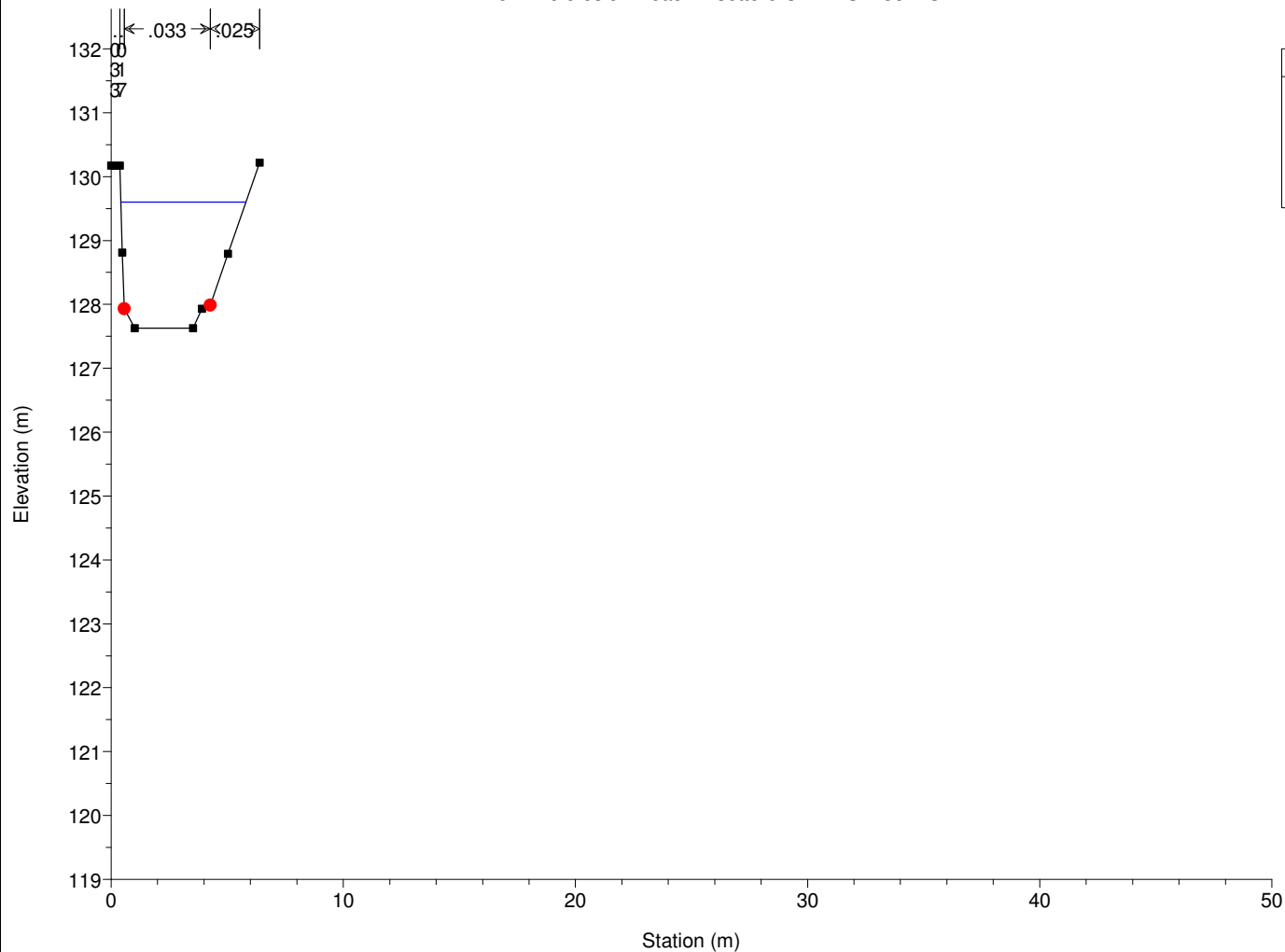
STATO DI PROGETTO: PROFILO, SEZIONI E RISULTATI

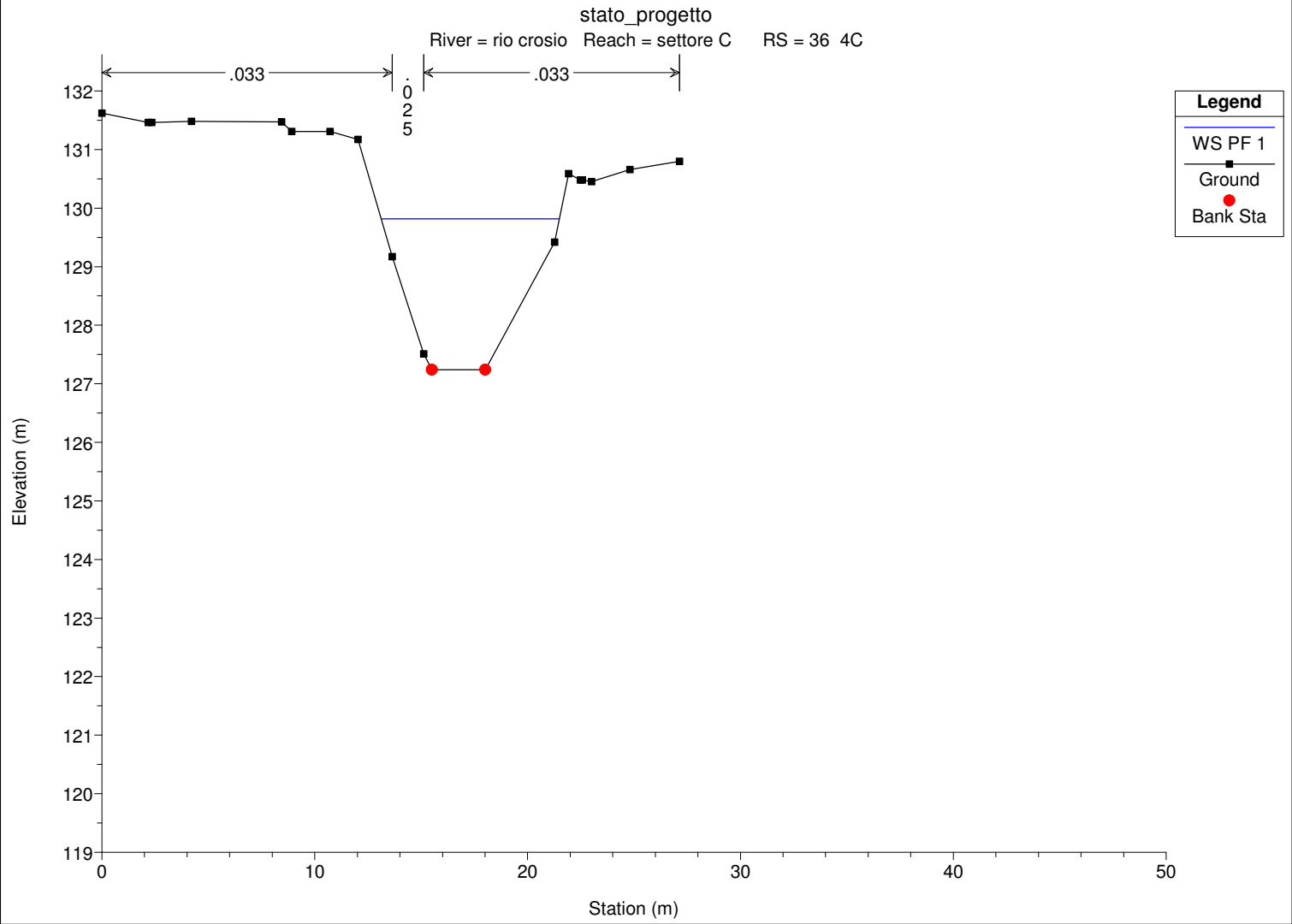
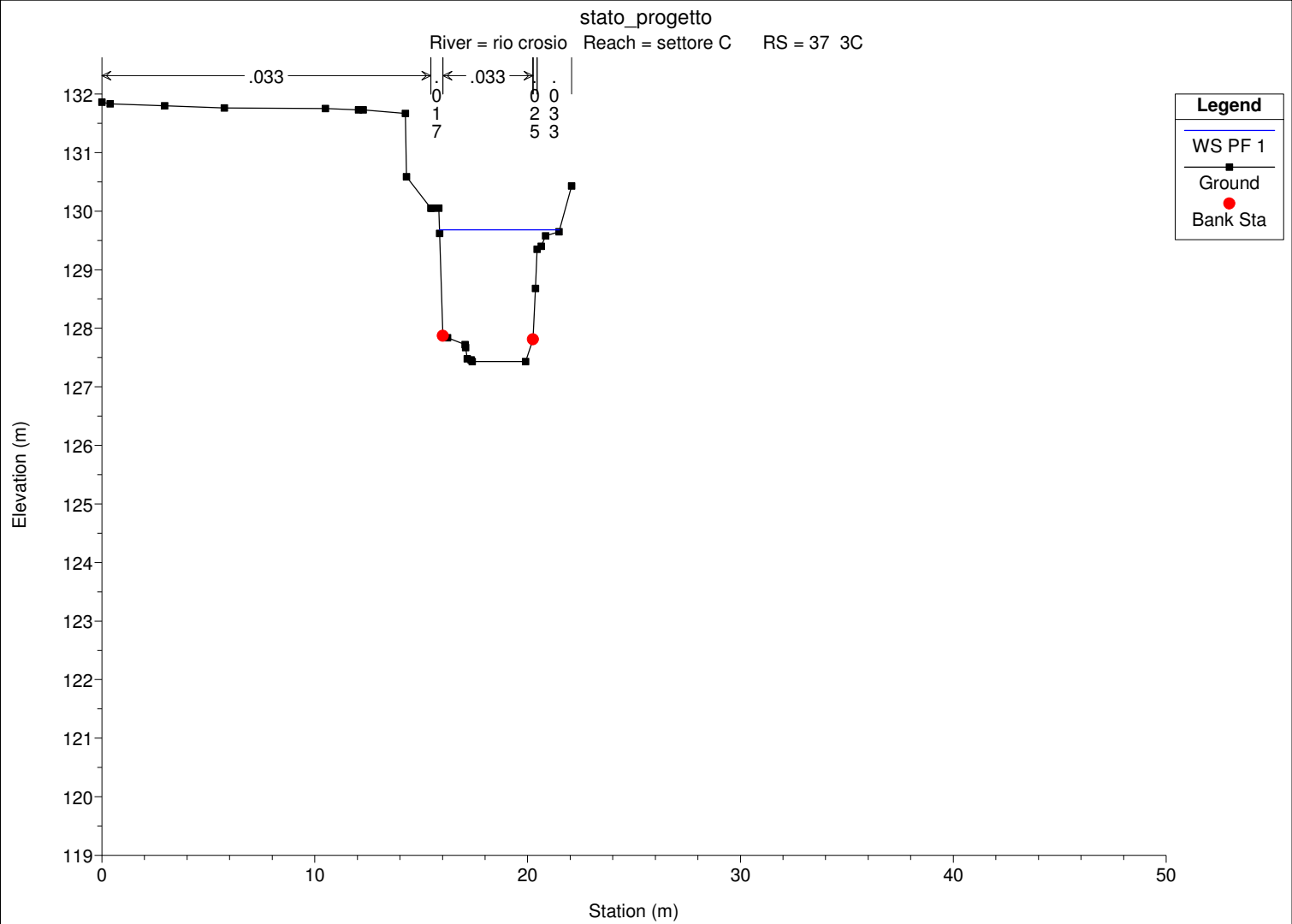


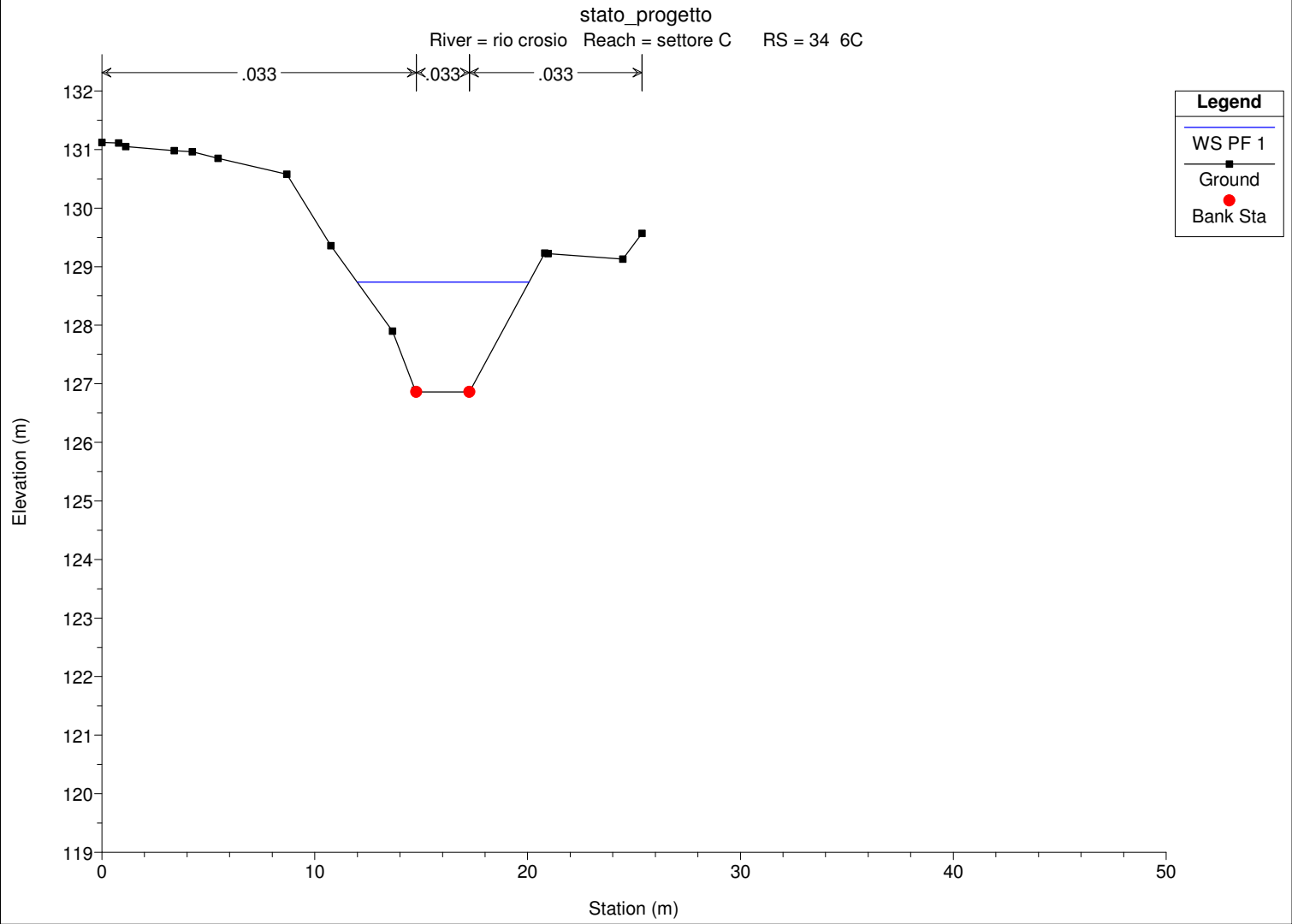
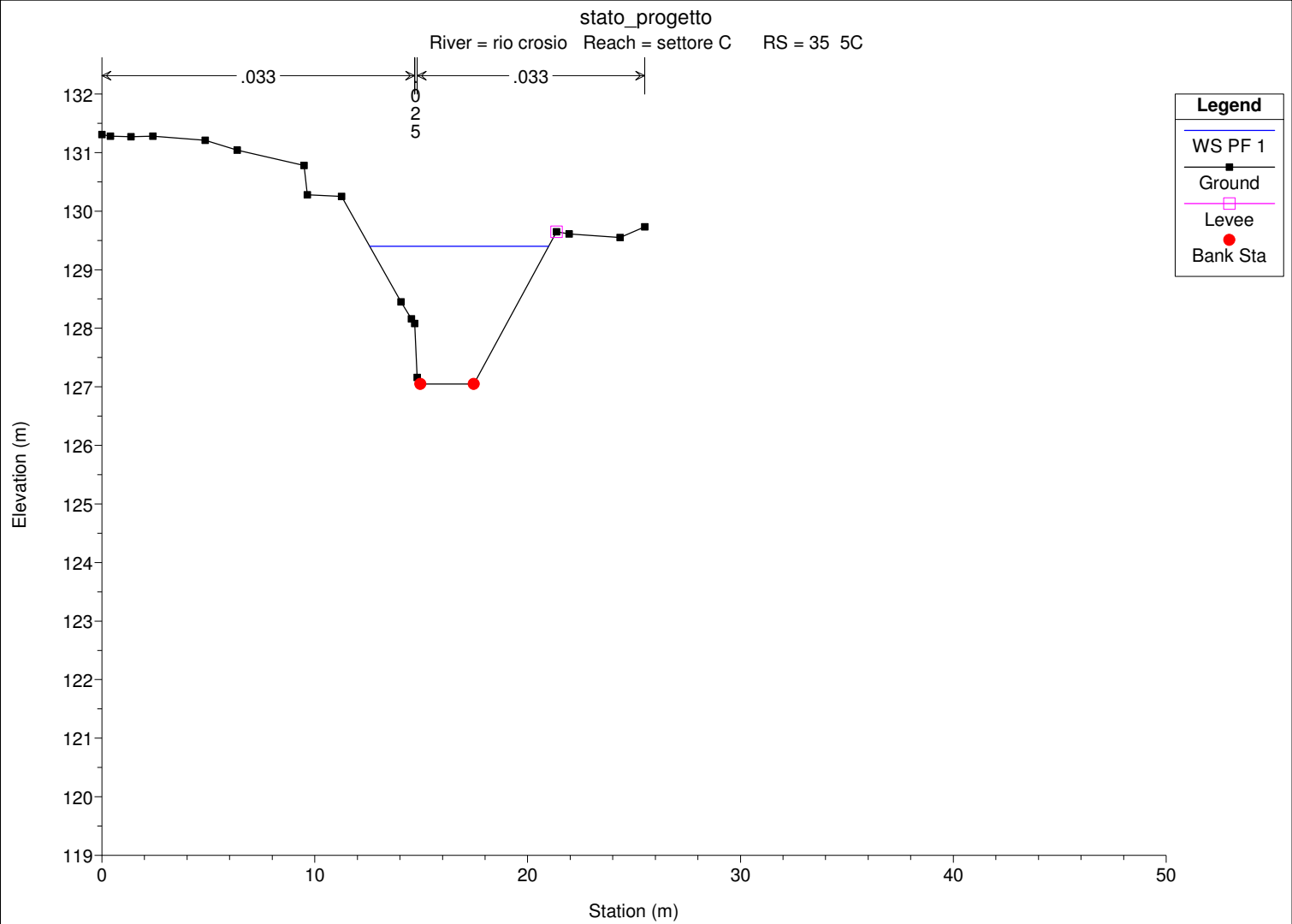
stato_progetto
River = rio crosio Reach = settore C RS = 39 1C

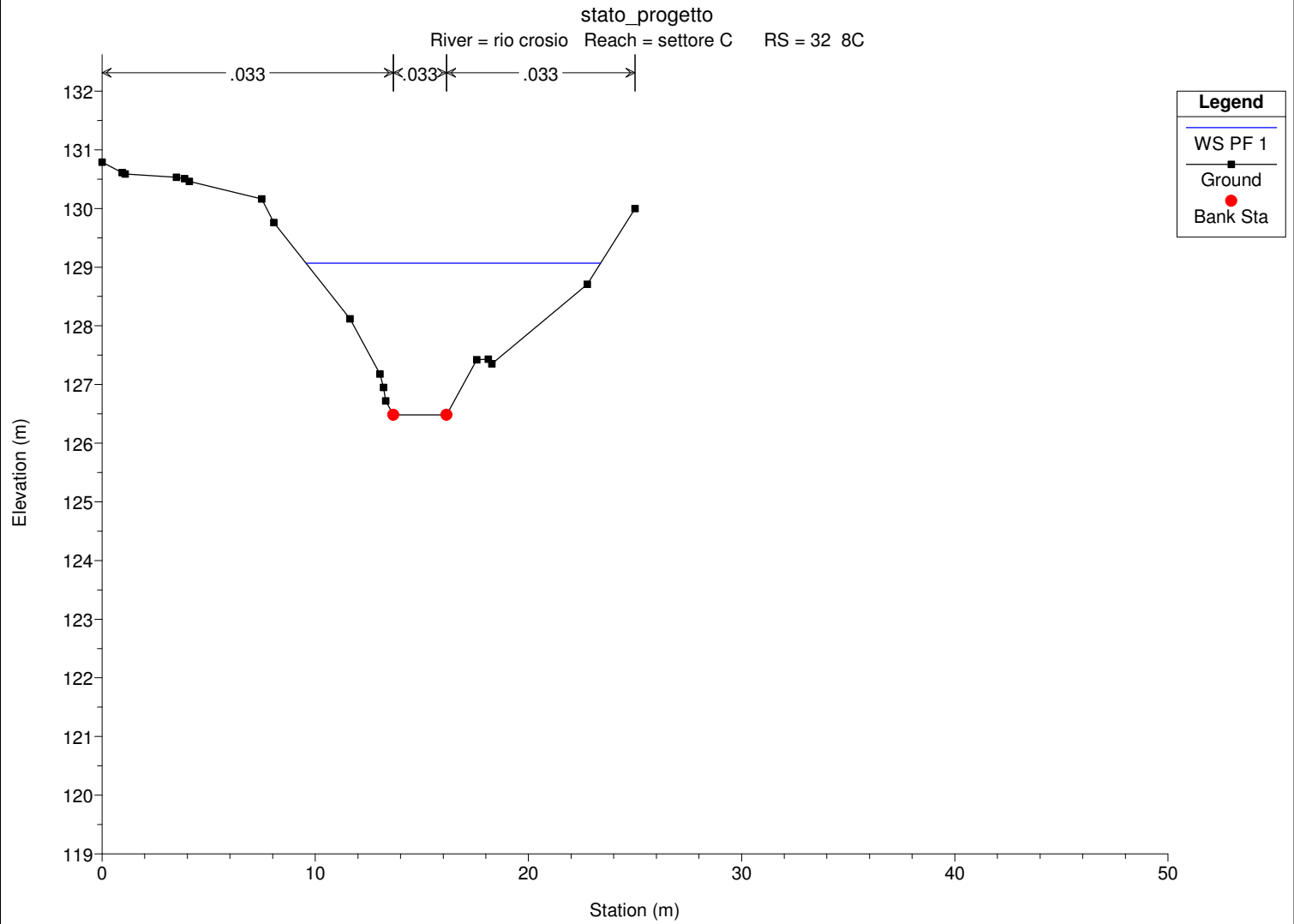
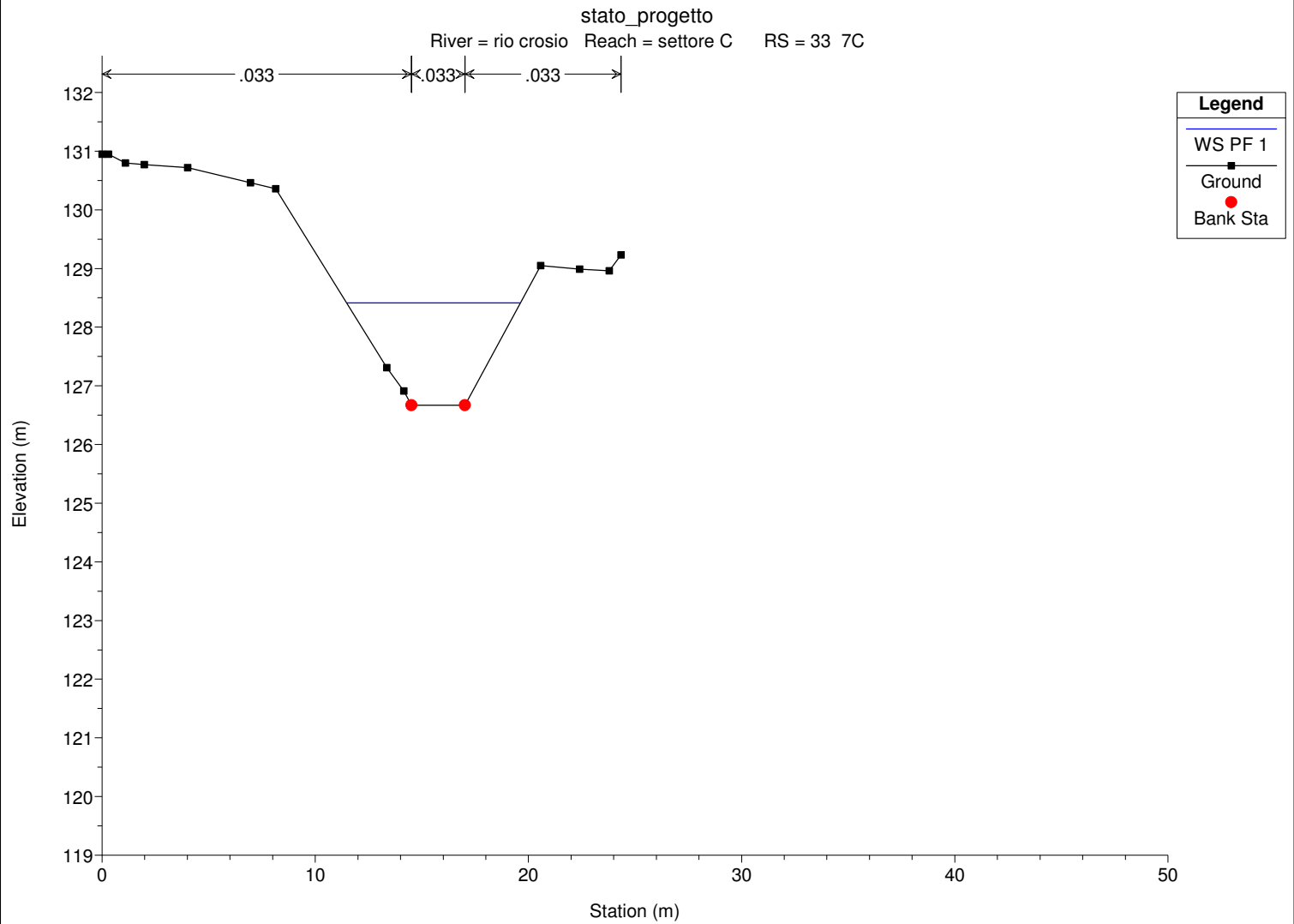


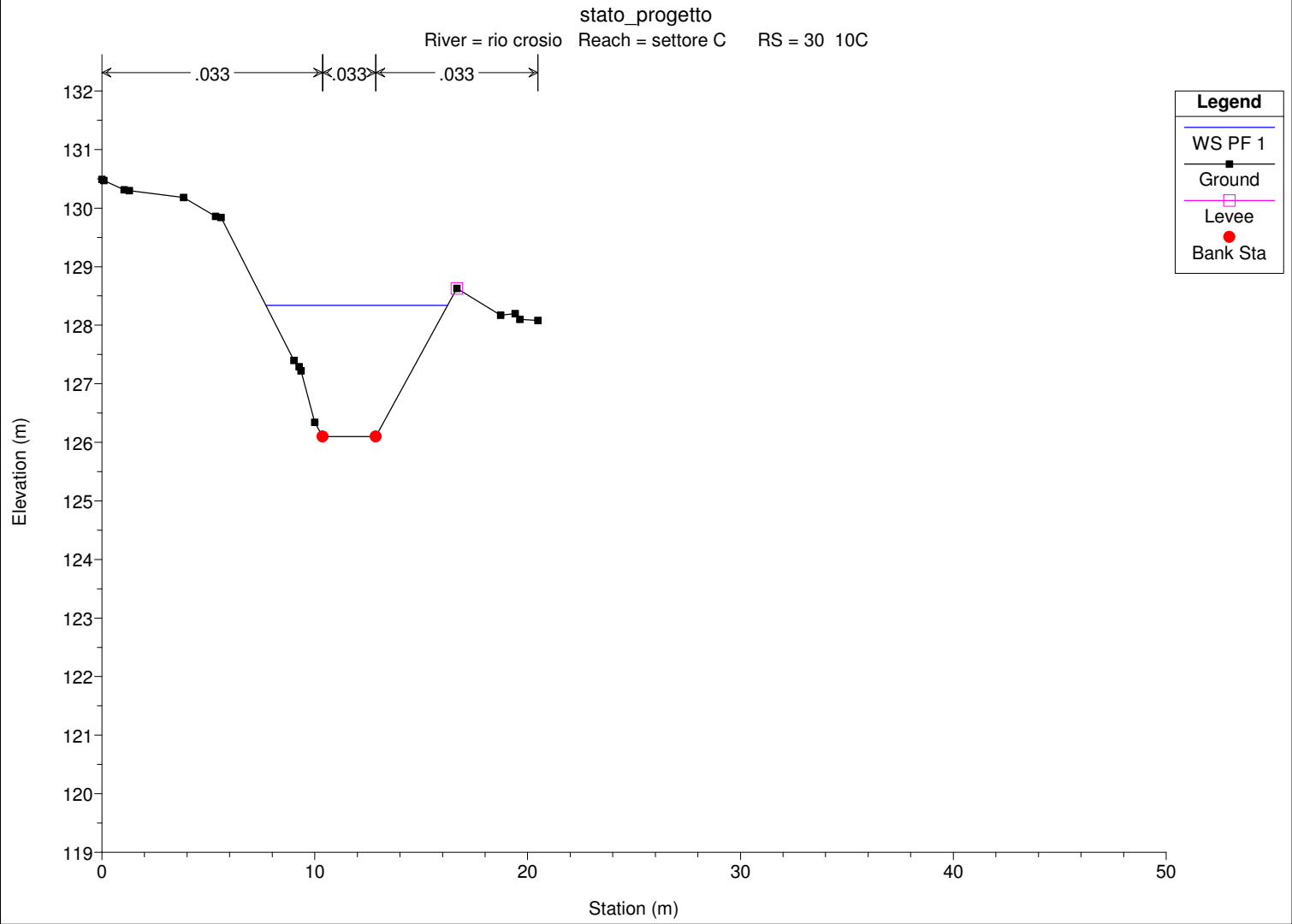
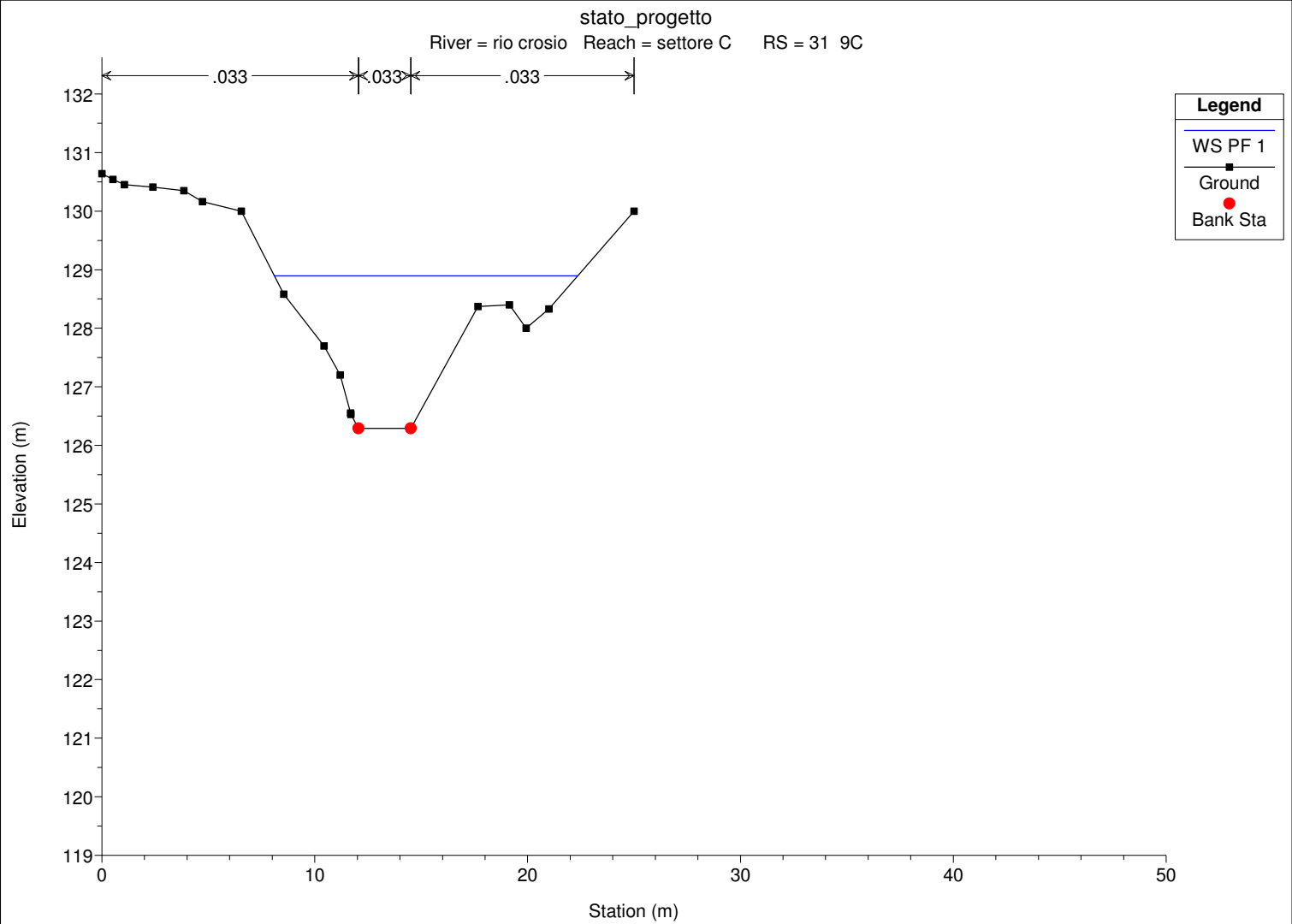
stato_progetto
River = rio crosio Reach = settore C RS = 38 2C

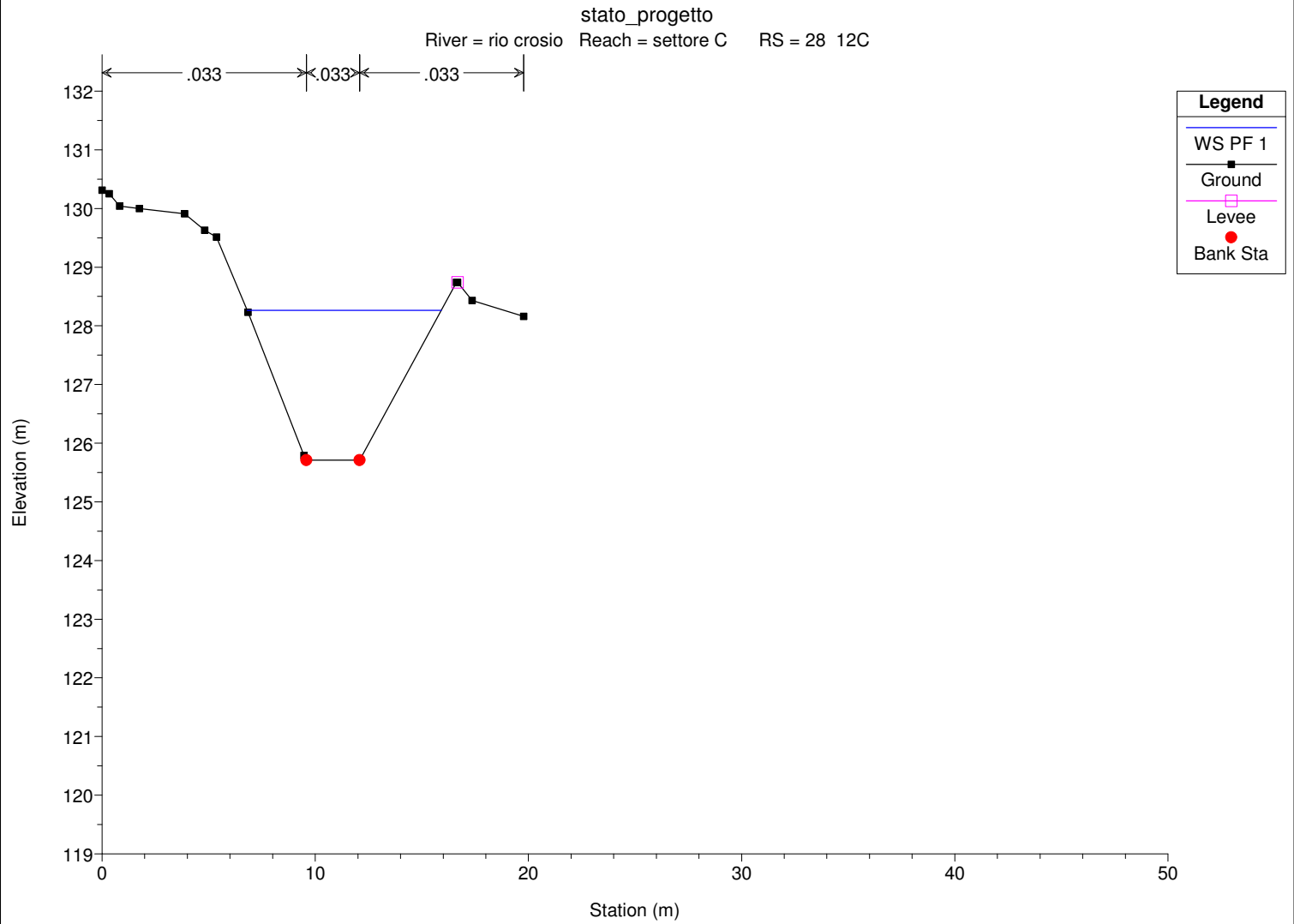
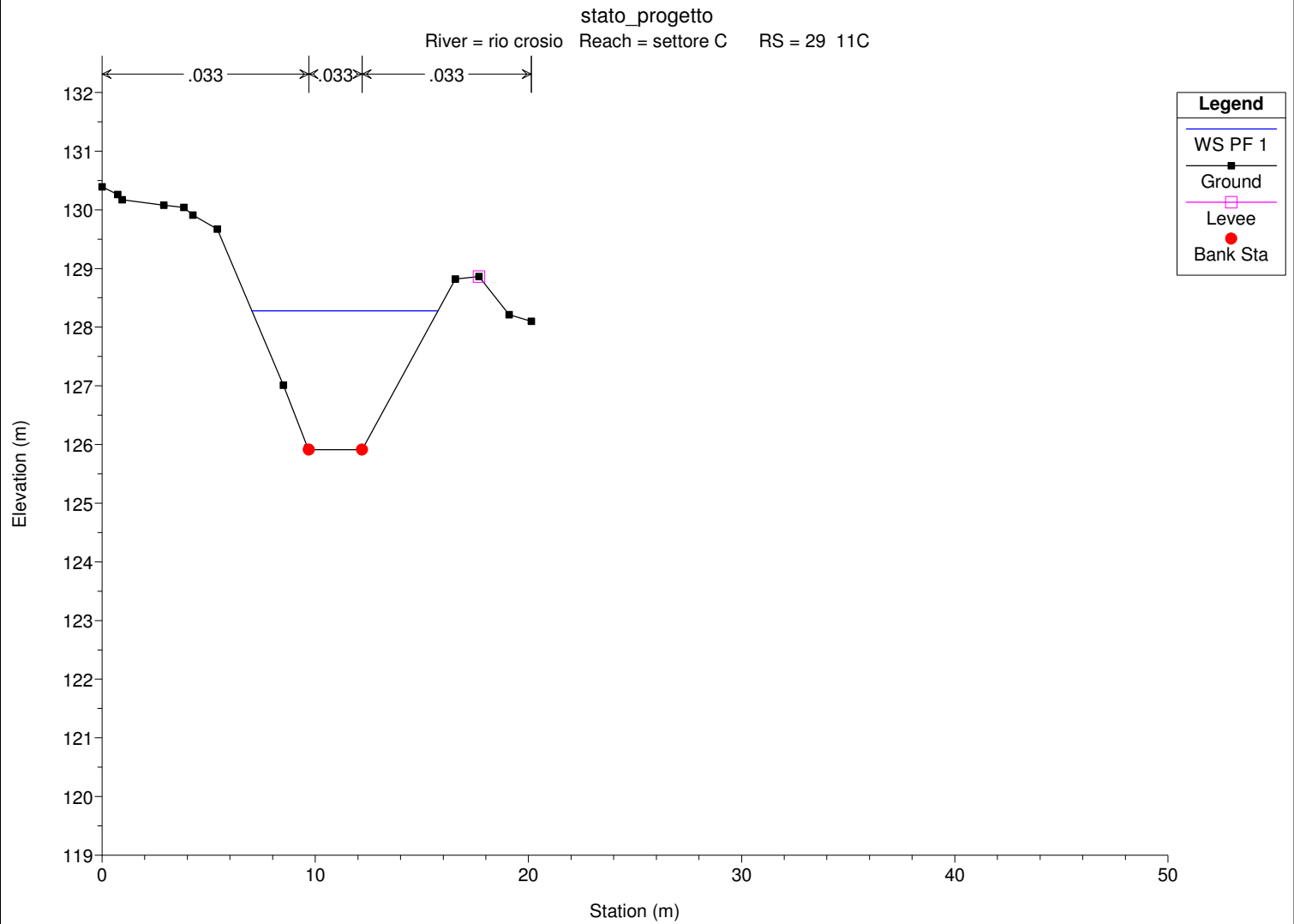


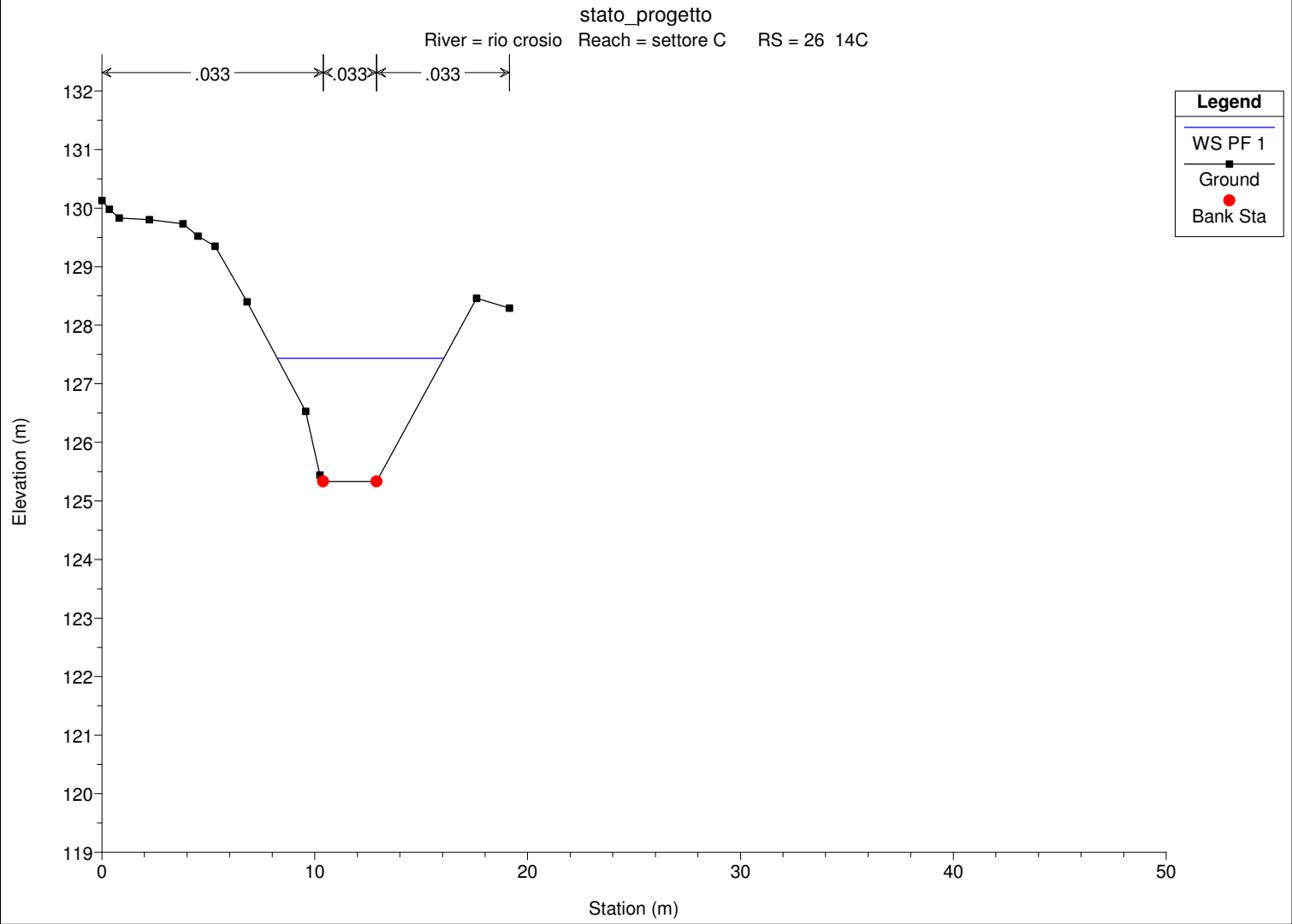
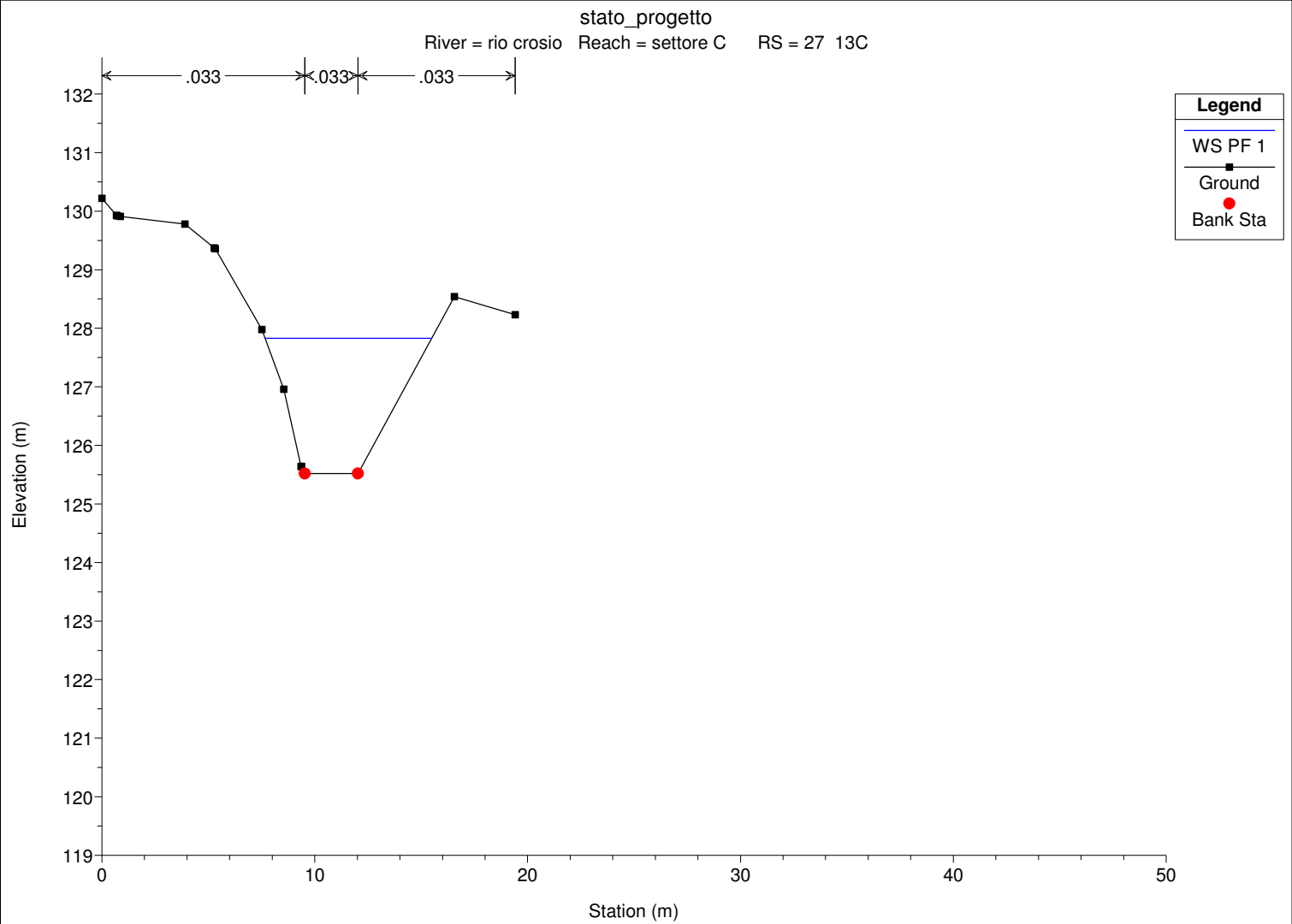


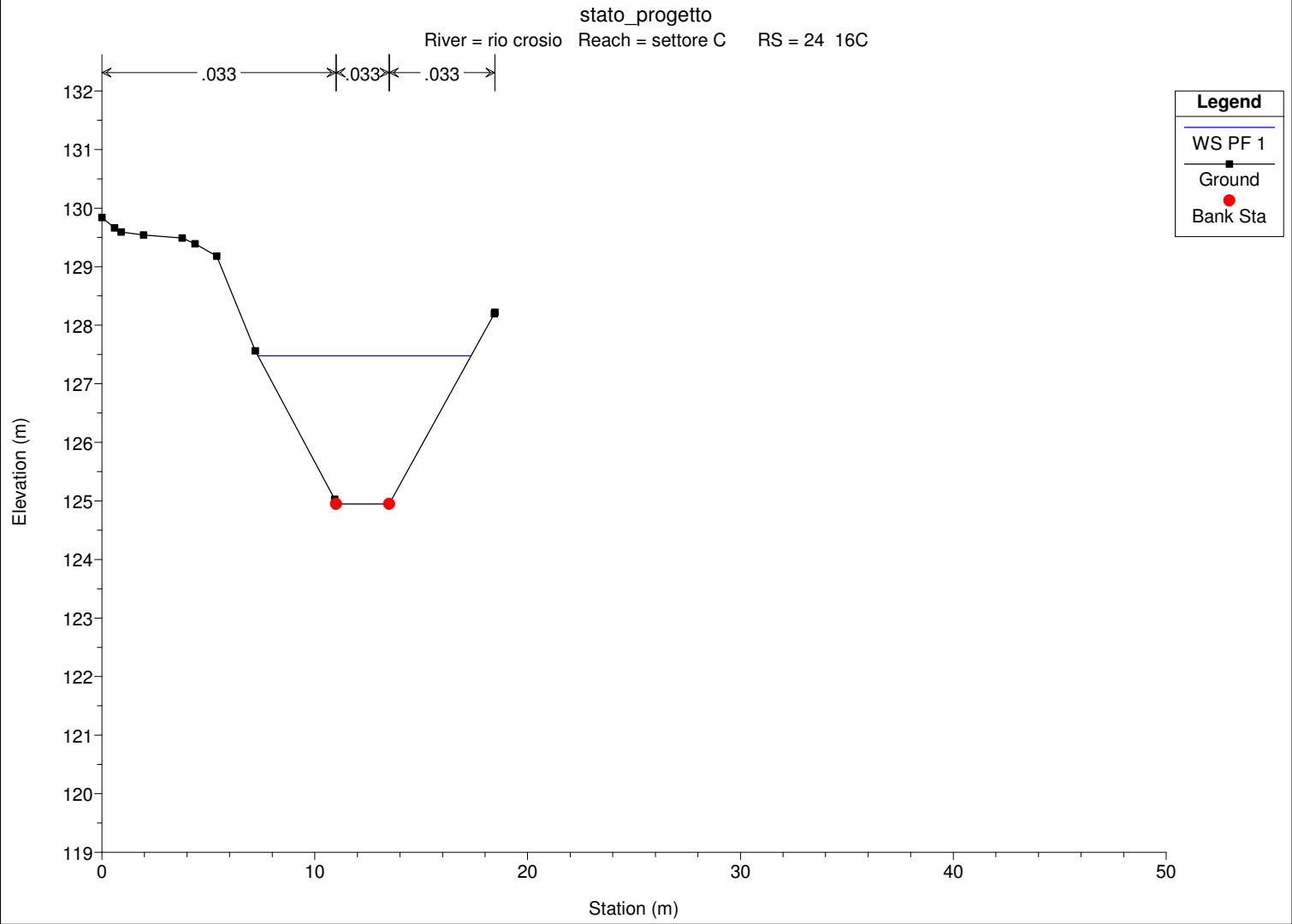
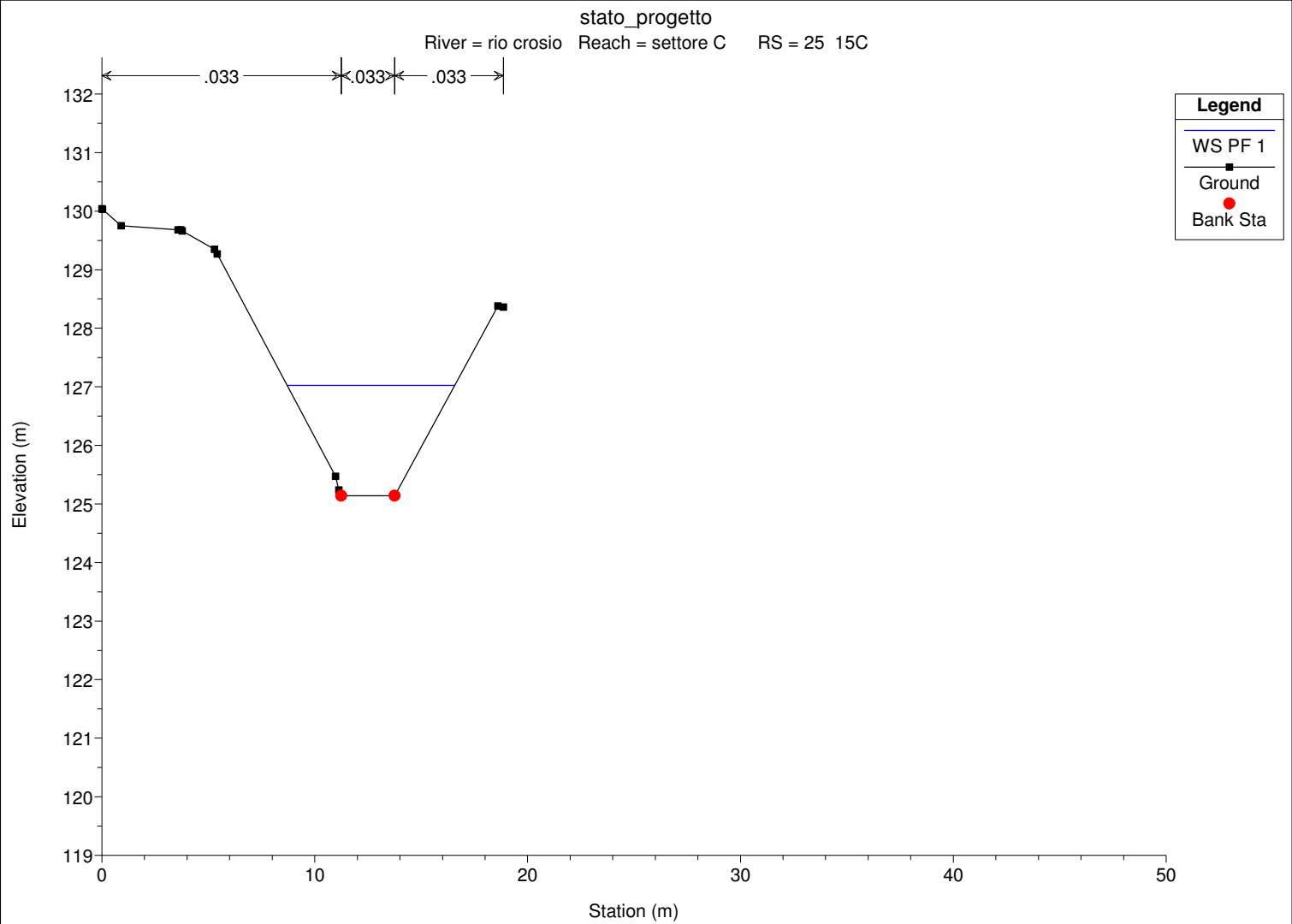


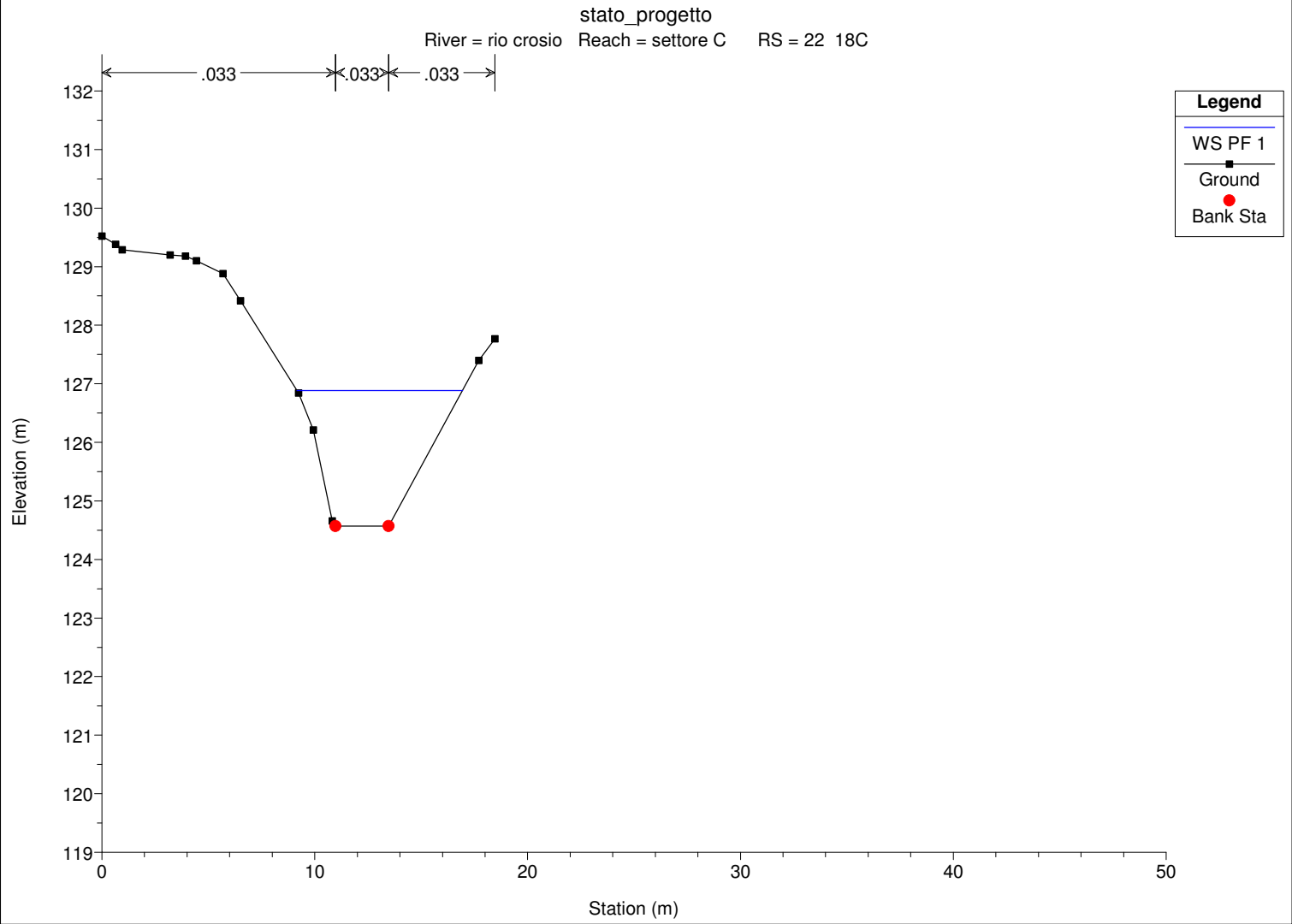
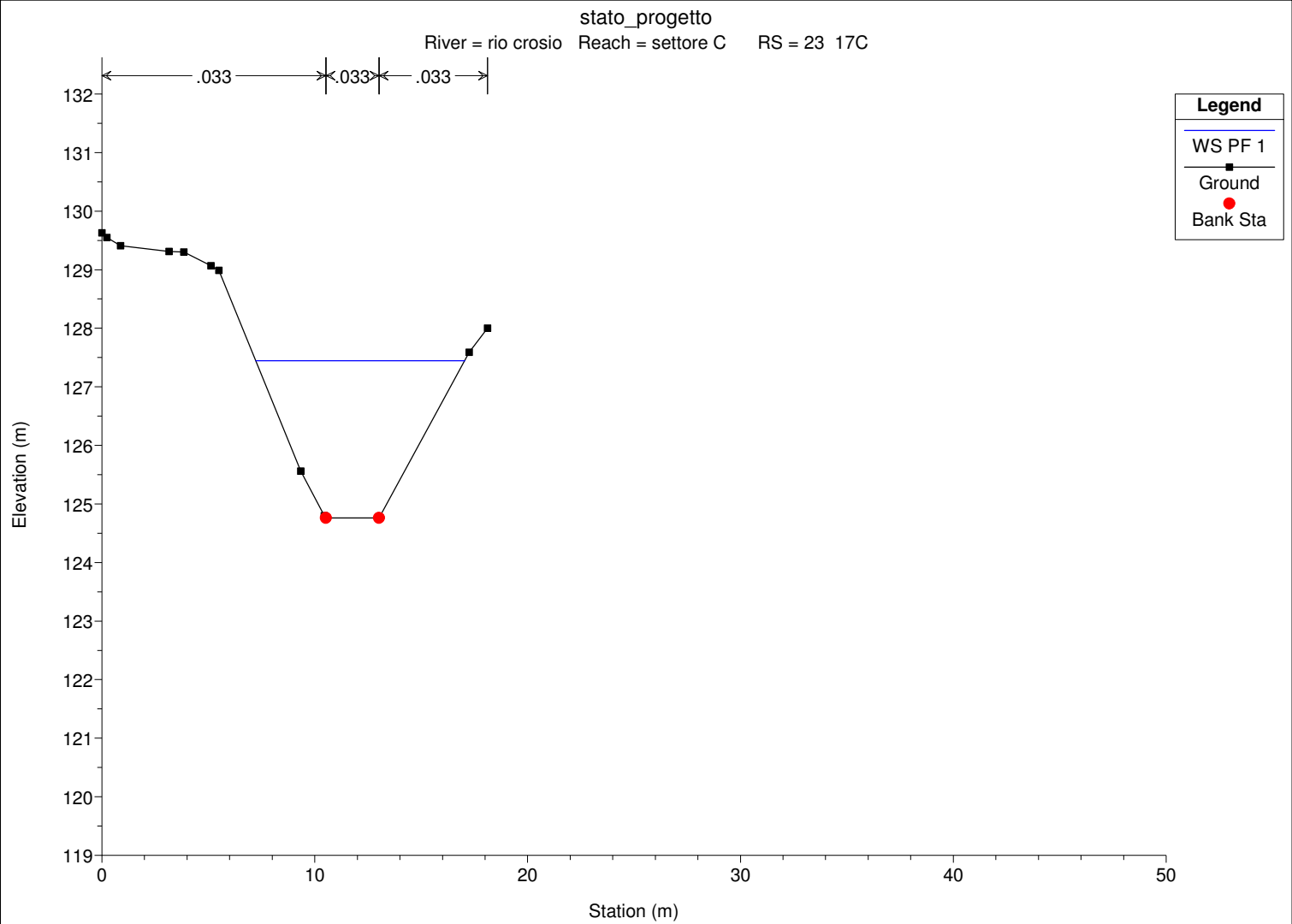


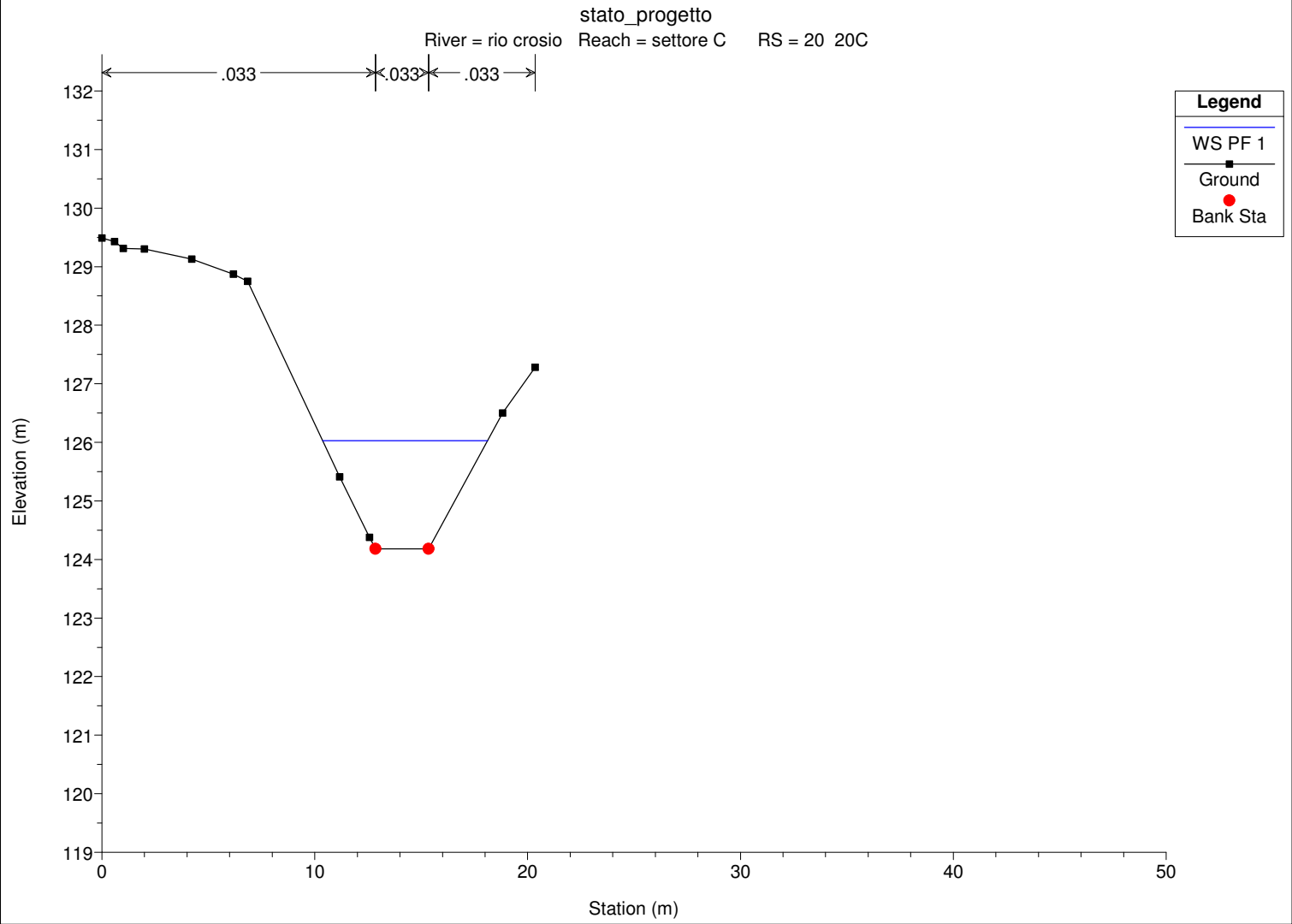
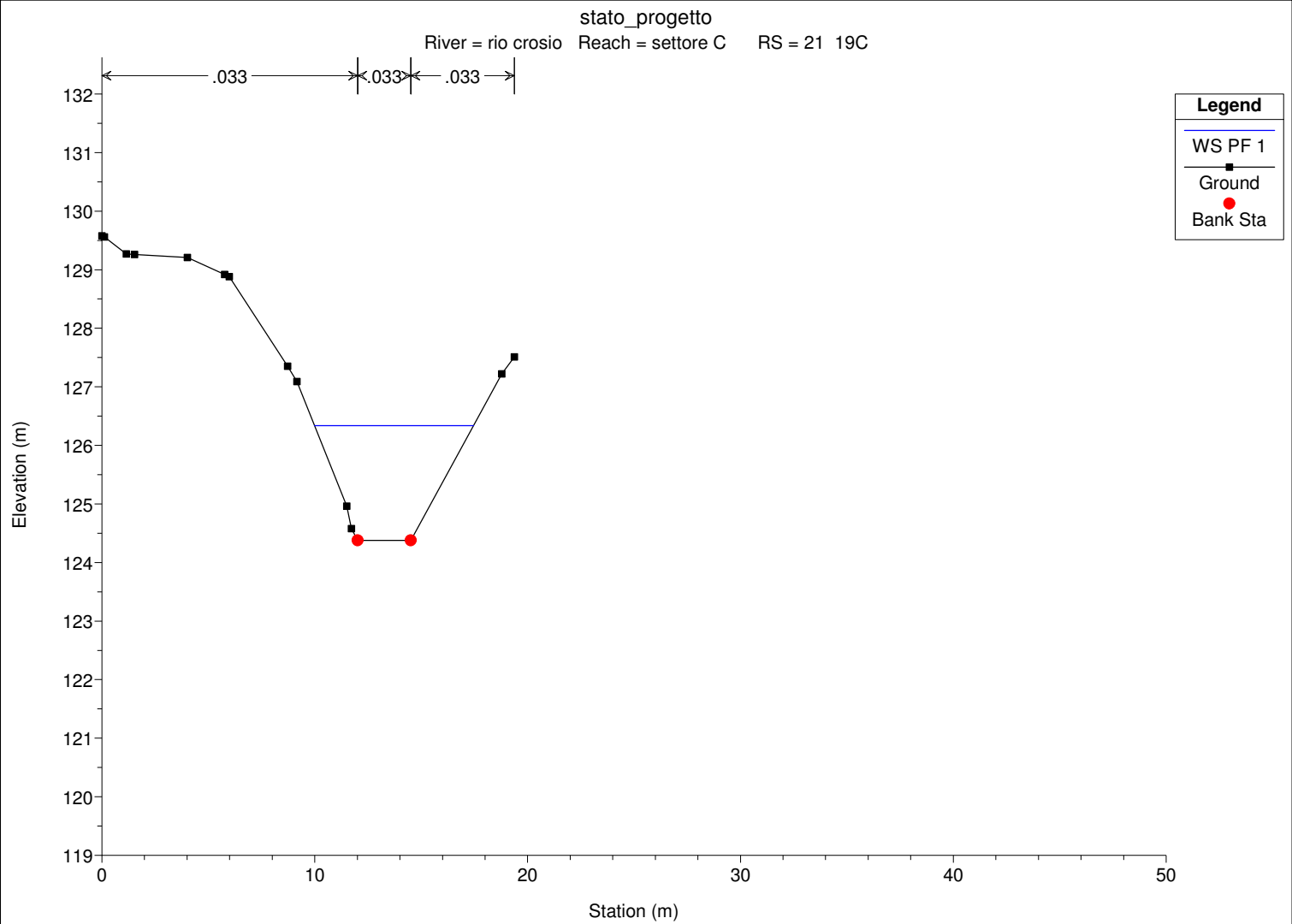


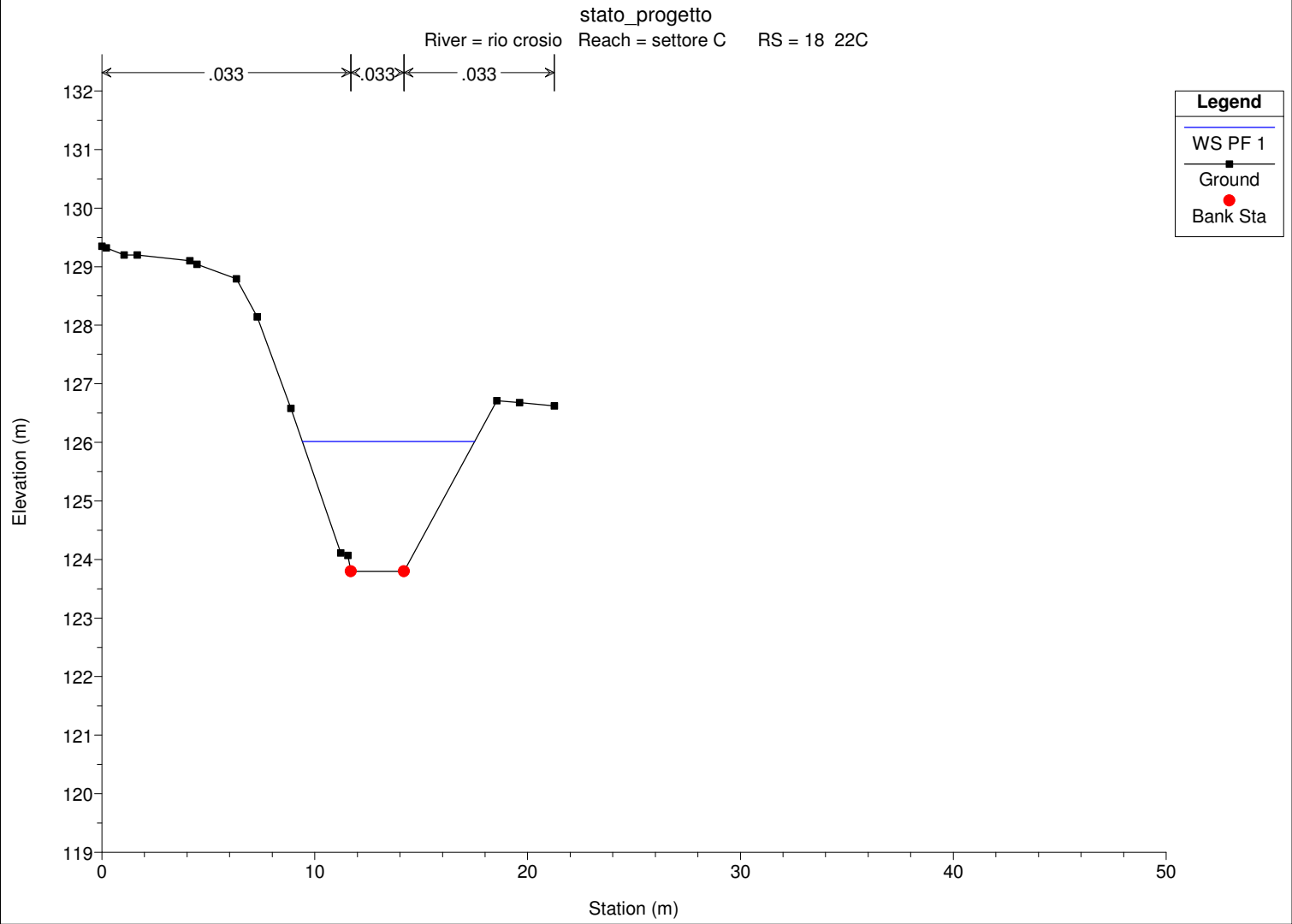
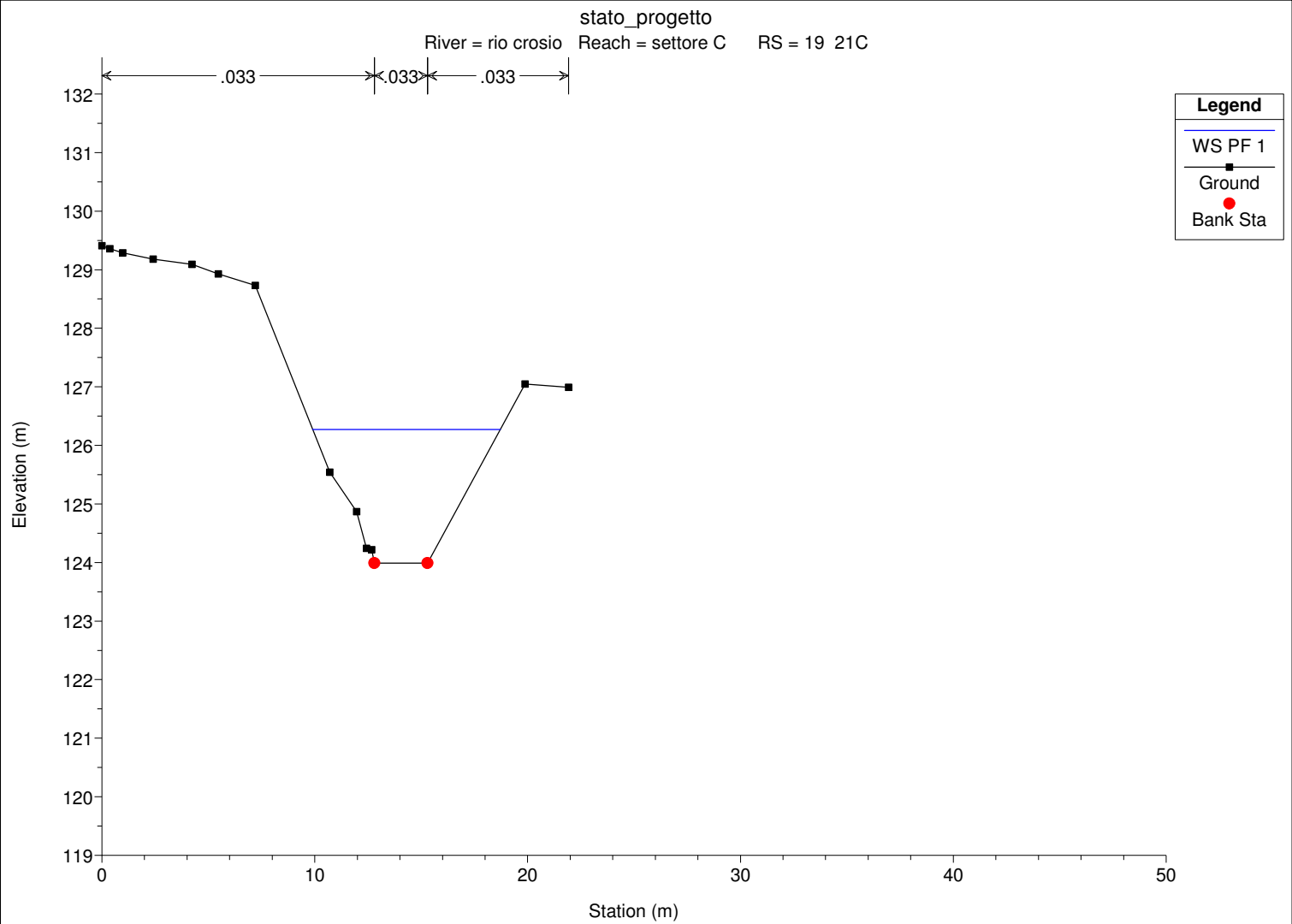


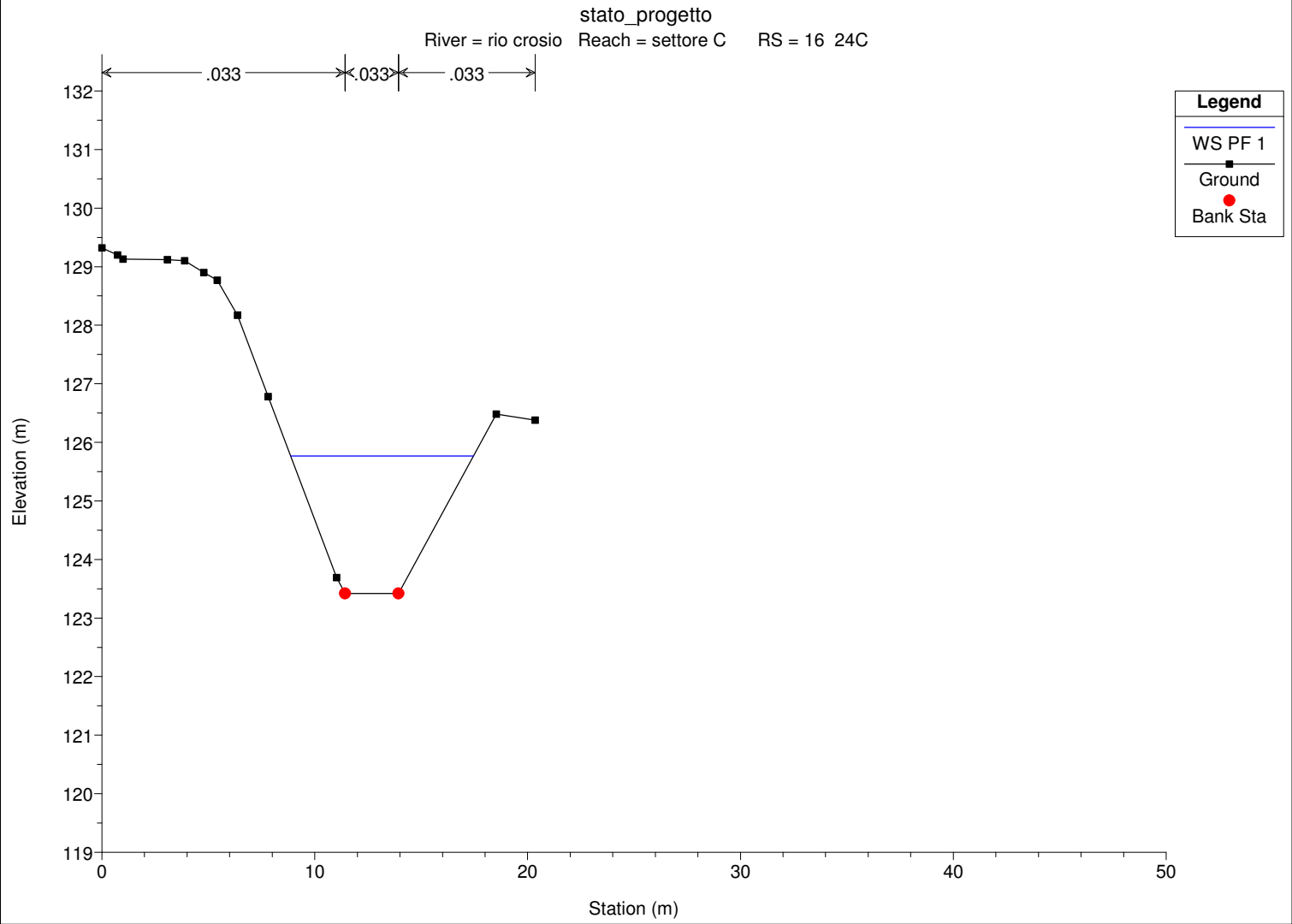
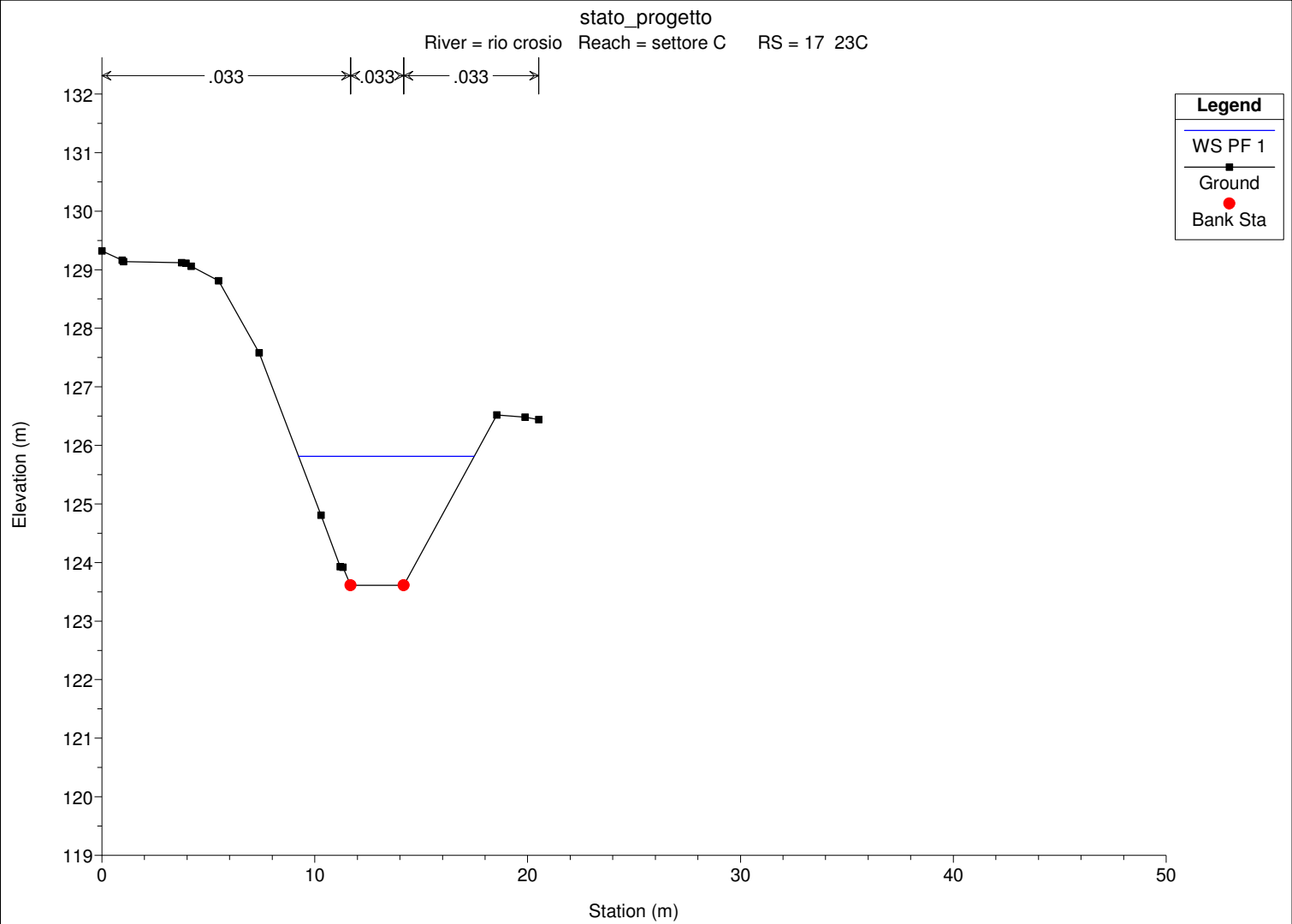


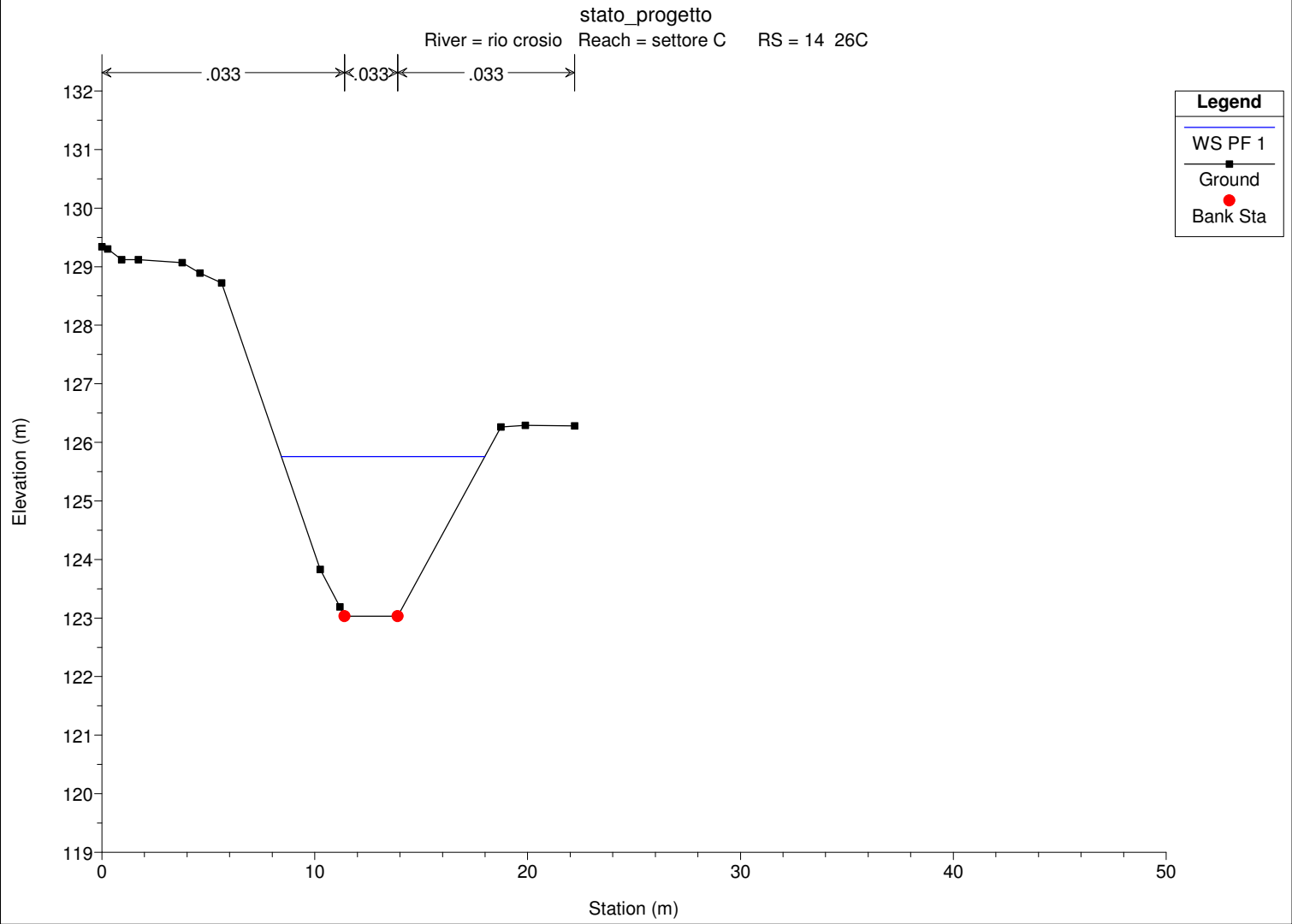
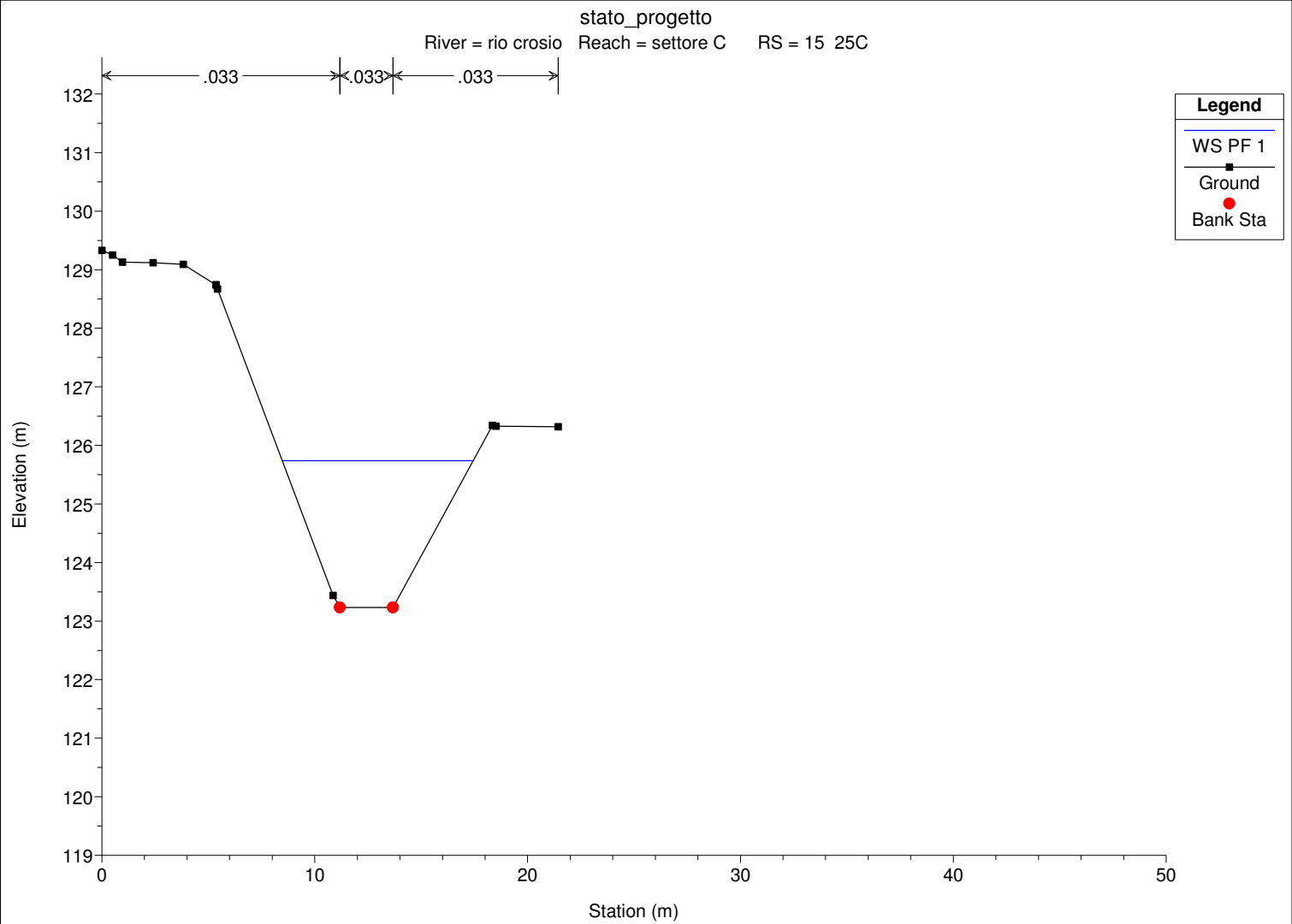


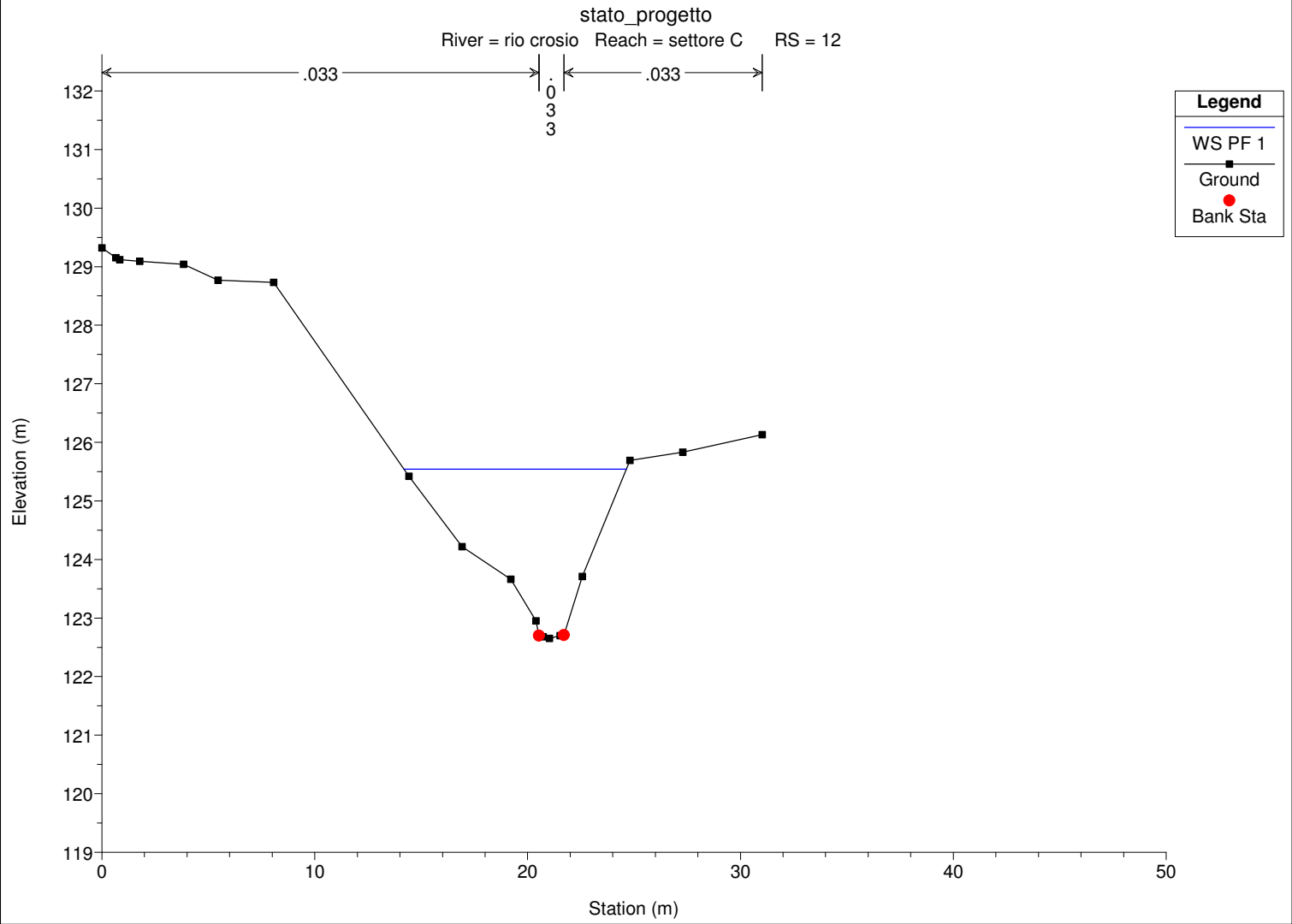
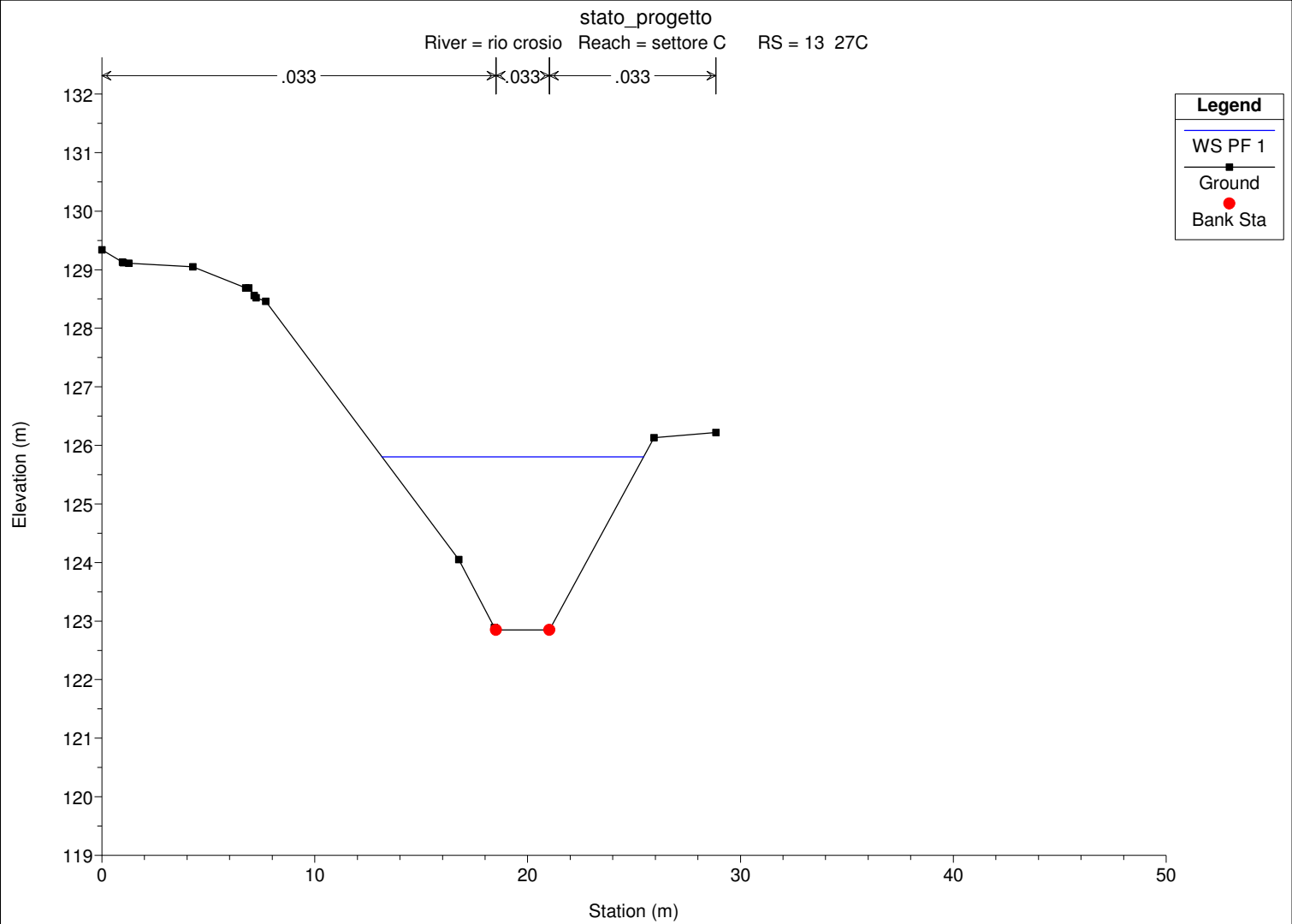


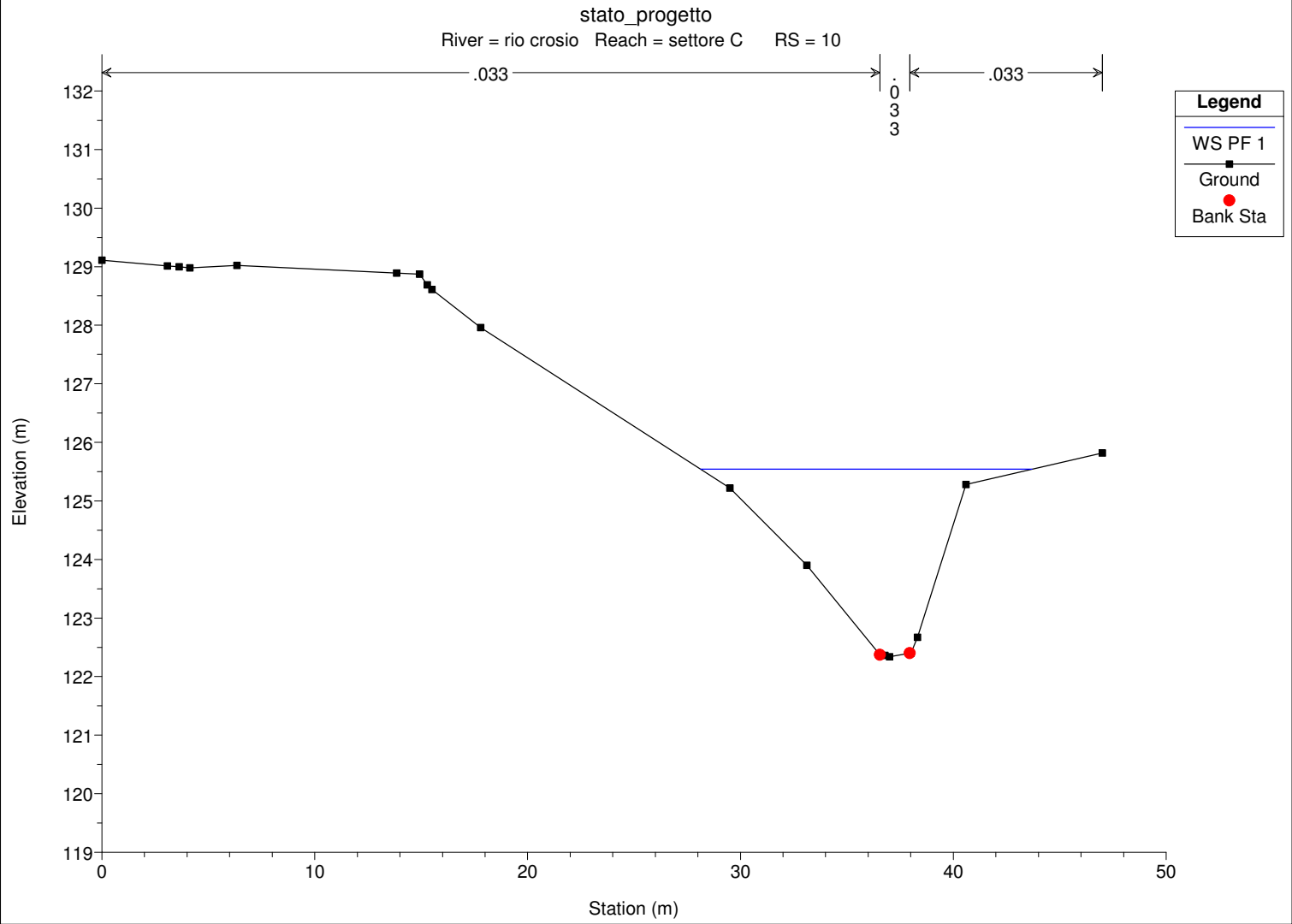
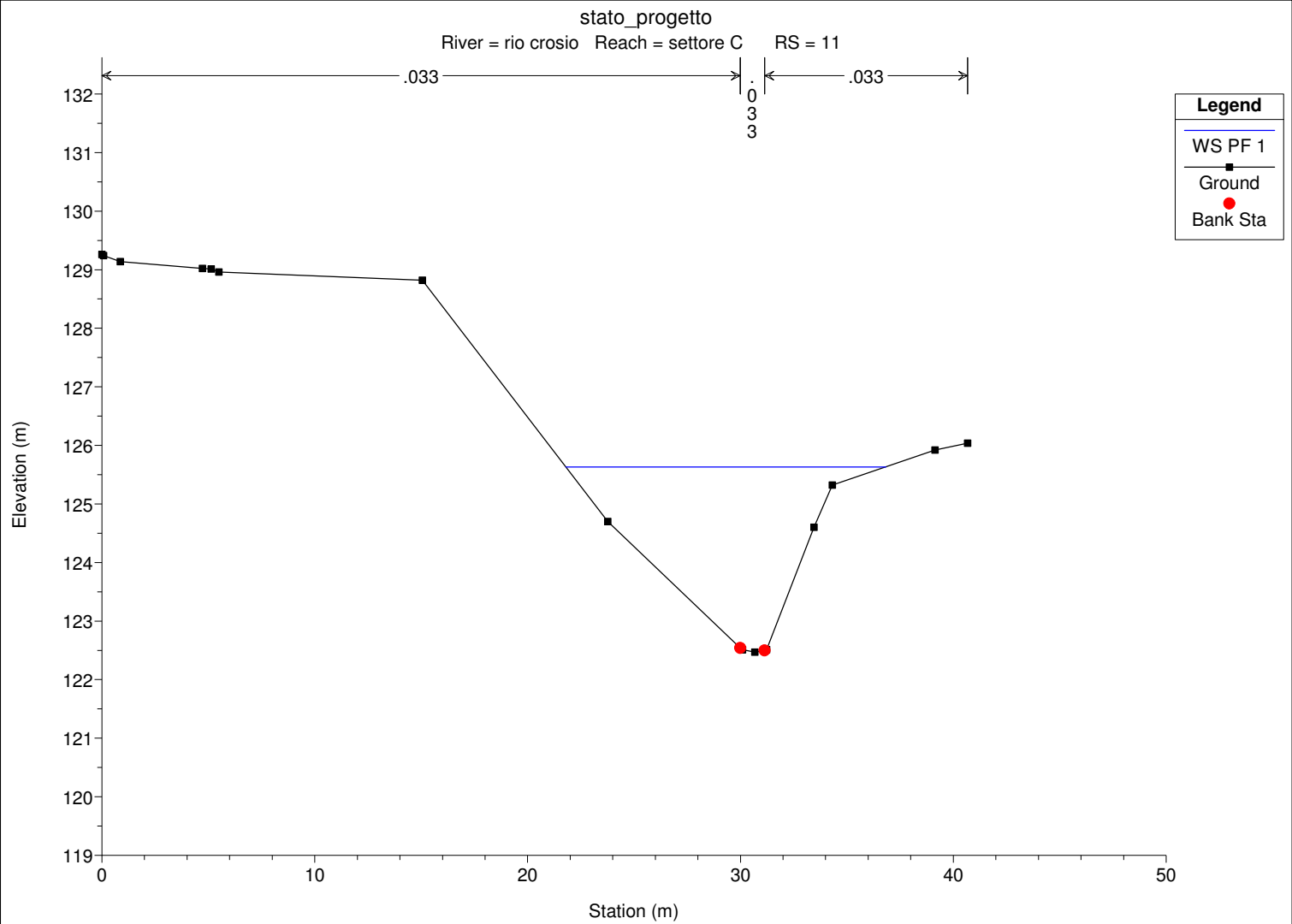


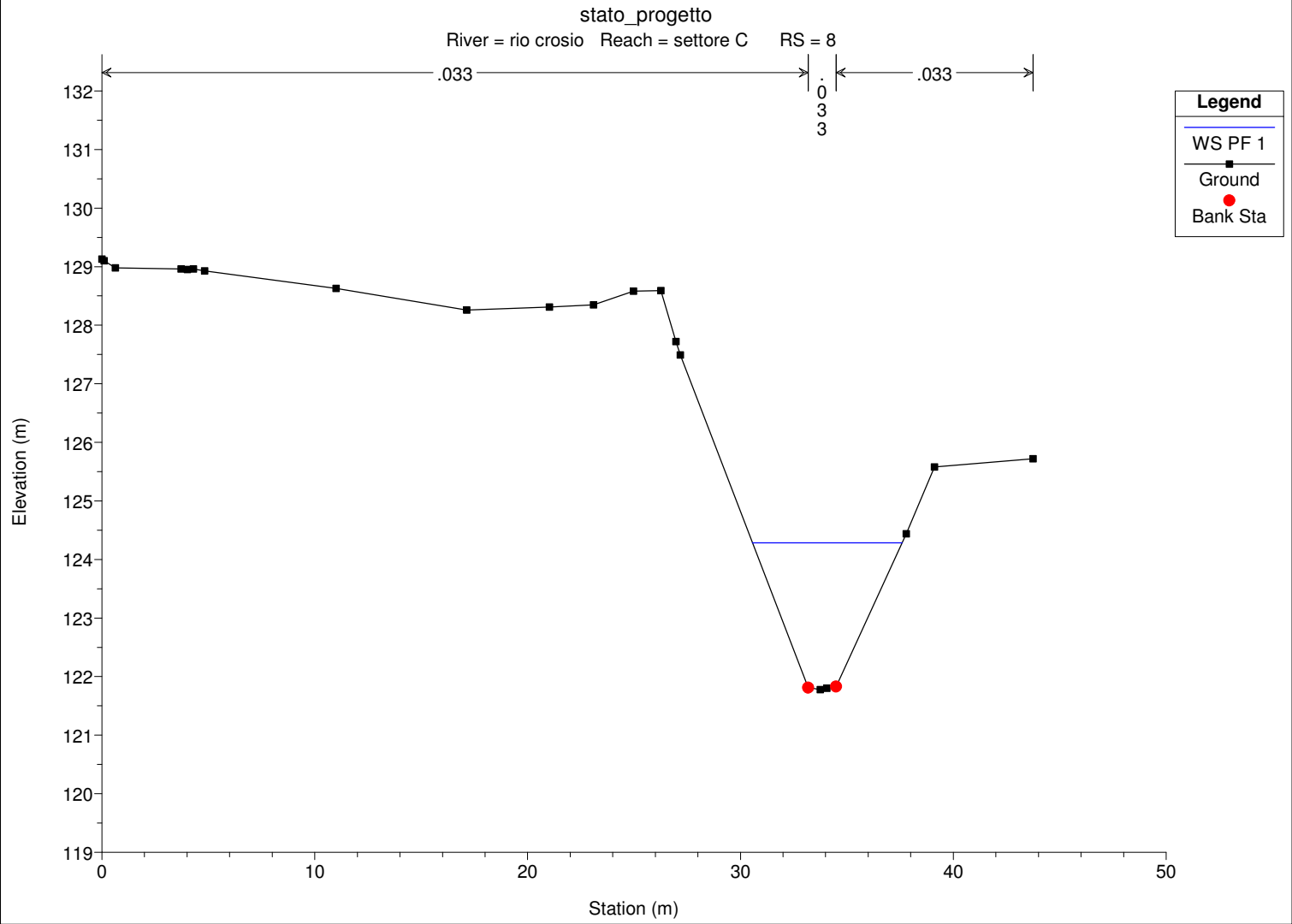
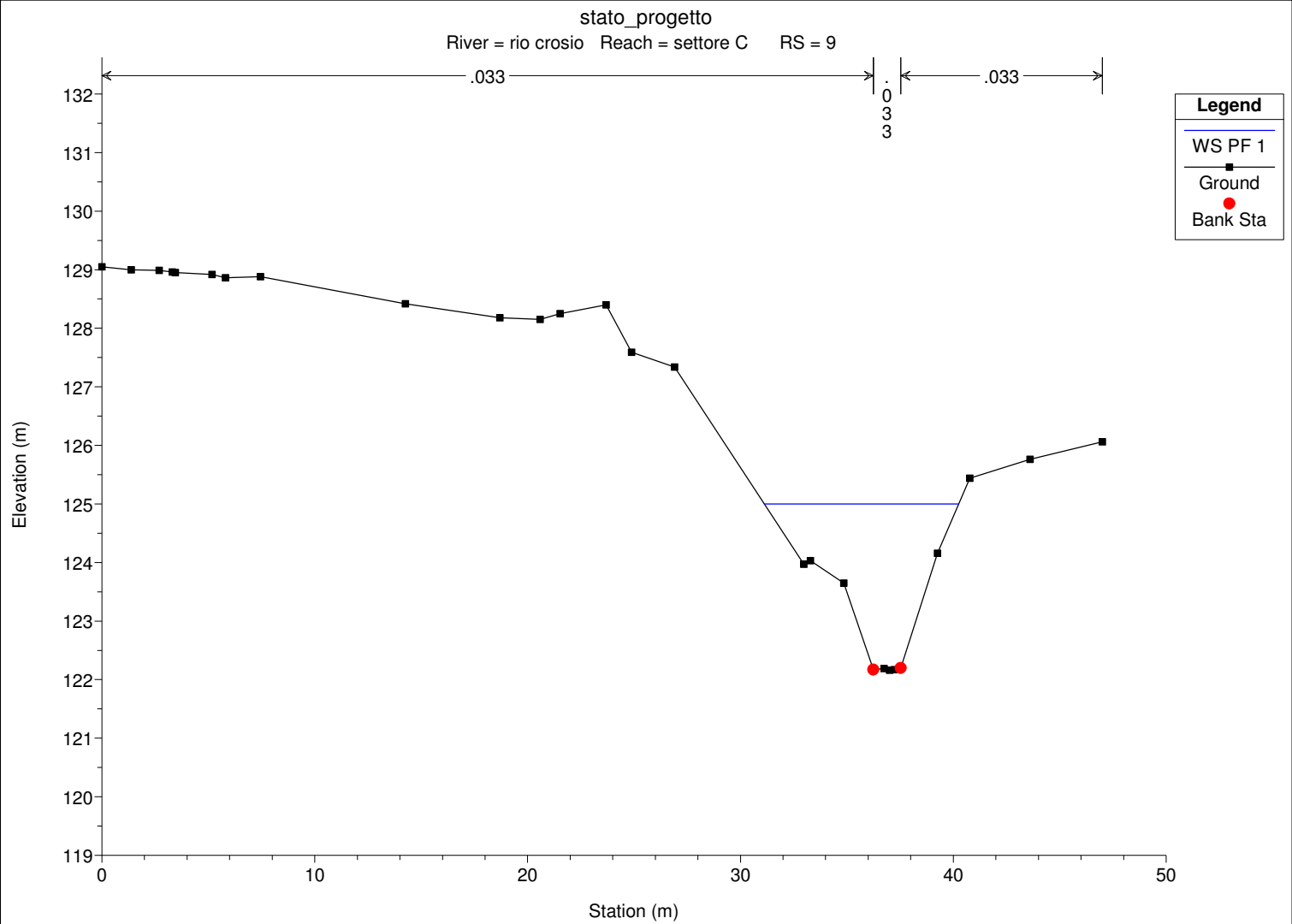


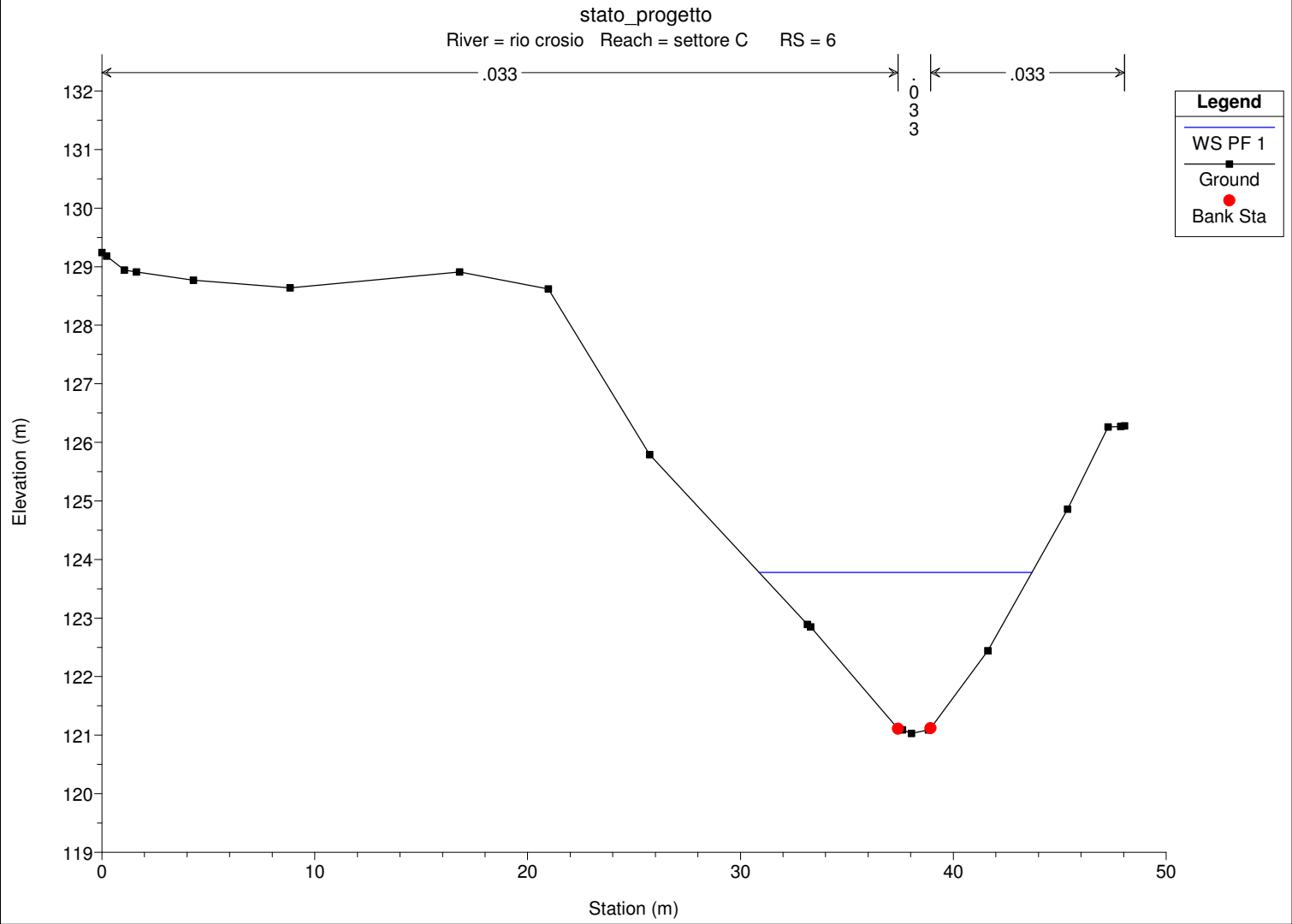
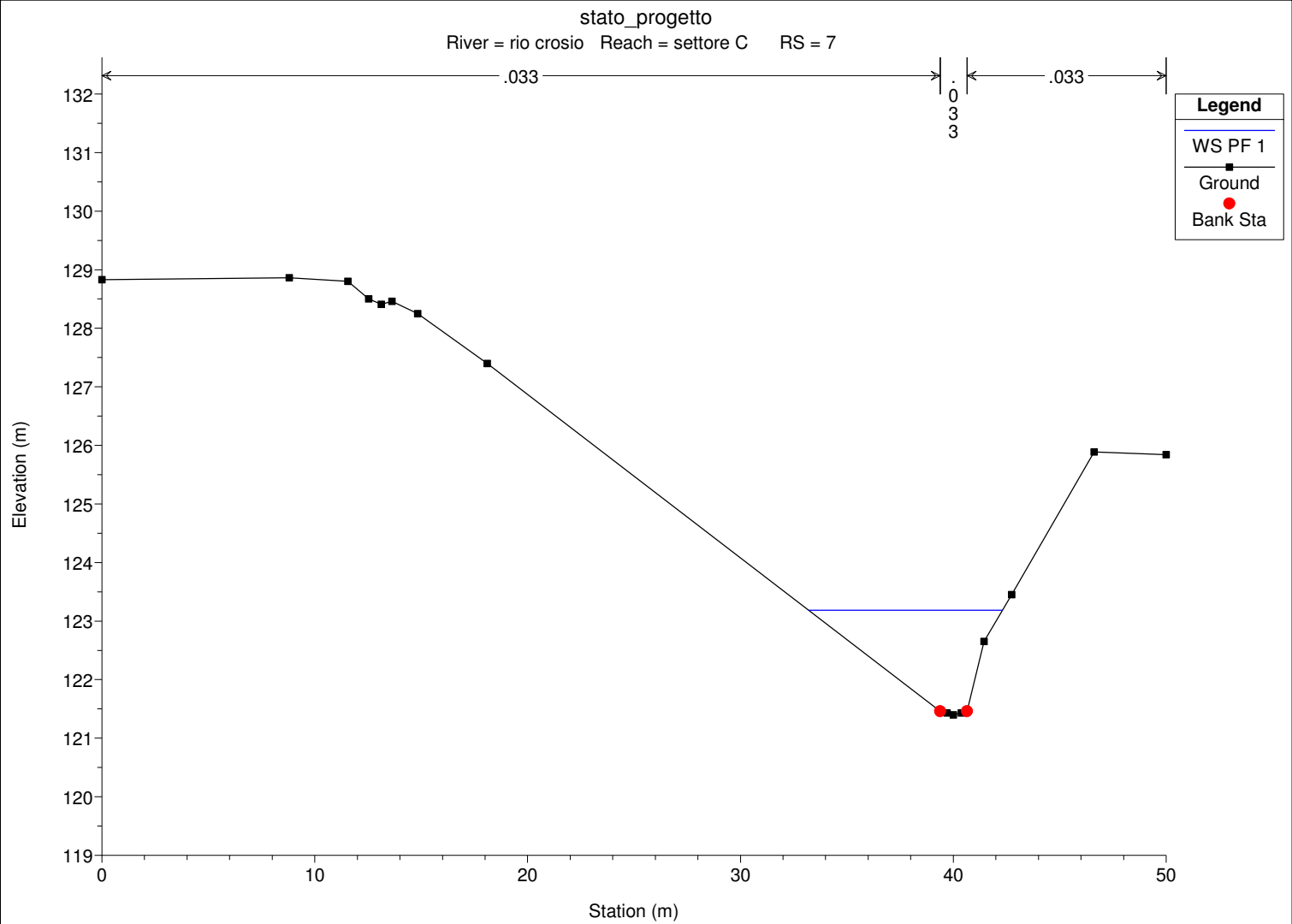


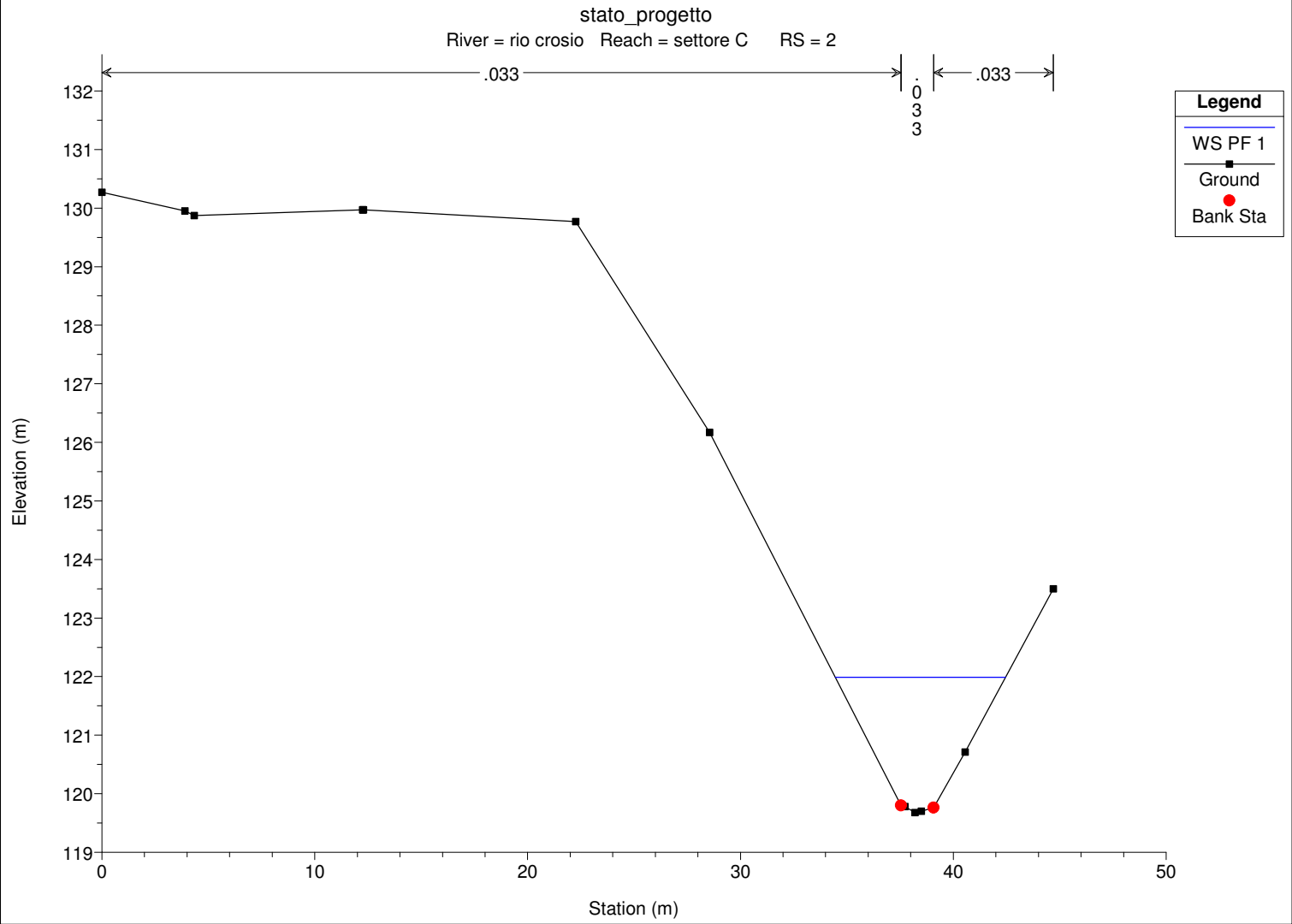
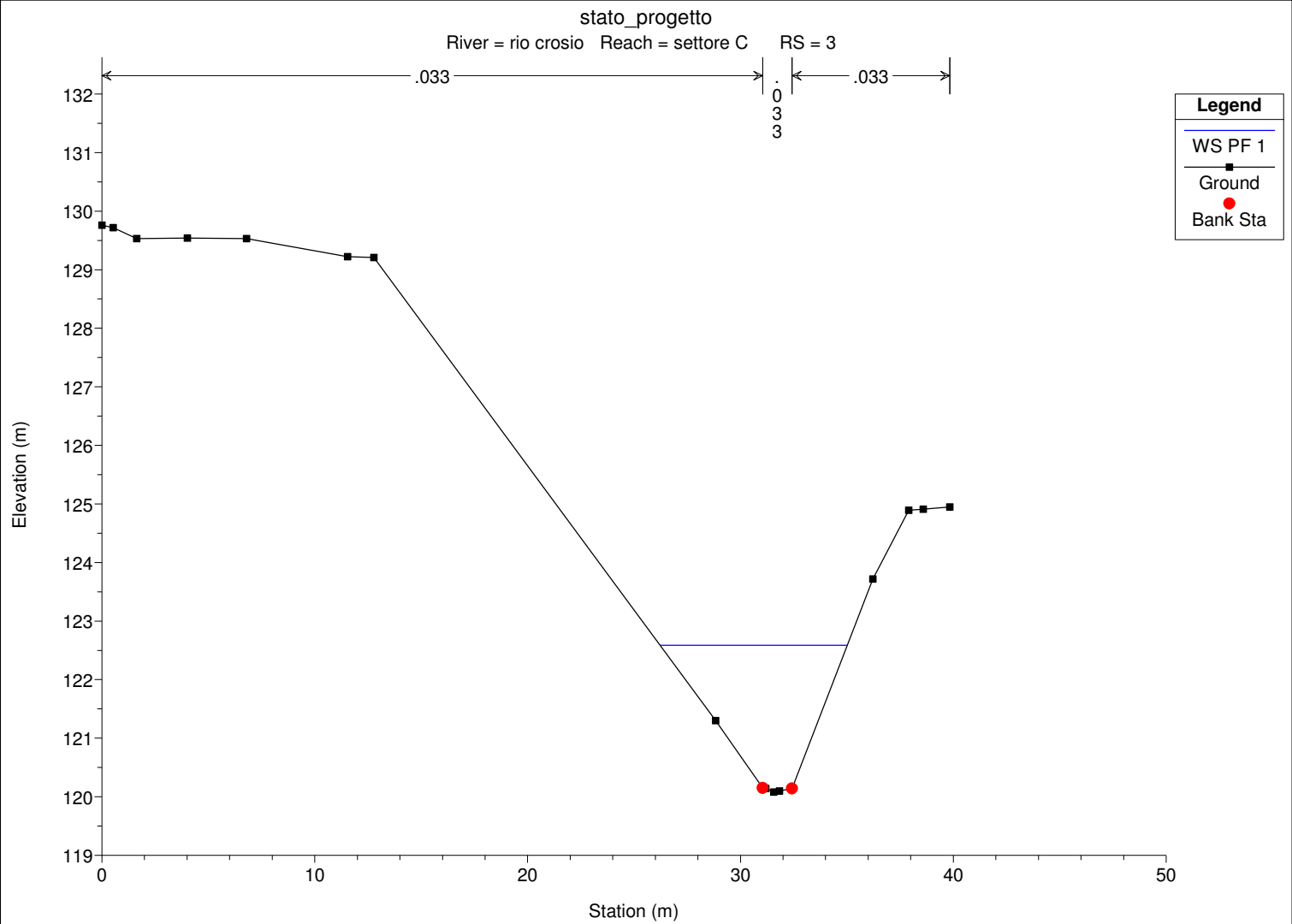












Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
settore C	39	PF 1	40.33	127.82	130.06	130.17	131.11	0.009204	4.79	9.30	5.41	1.03
settore C	38	PF 1	40.33	127.63	129.60	129.88	130.87	0.013158	5.16	8.42	5.39	1.19
settore C	37	PF 1	40.33	127.43	129.68	129.68	130.66	0.008485	4.40	9.57	5.64	0.96
settore C	36	PF 1	40.33	127.24	129.82	129.44	130.27	0.003722	3.48	14.65	8.37	0.69
settore C	35	PF 1	40.33	127.05	129.40	129.40	130.14	0.006851	4.43	12.00	8.40	0.92
settore C	34	PF 1	40.33	126.86	128.74	129.08	129.91	0.014486	5.55	9.55	8.08	1.29
settore C	33	PF 1	40.33	126.67	128.41	128.76	129.60	0.016497	5.64	9.29	8.15	1.36
settore C	32	PF 1	40.33	126.48	129.07	128.60	129.34	0.002623	2.92	19.78	13.81	0.58
settore C	31	PF 1	40.33	126.29	128.89	128.67	129.25	0.003326	3.31	18.31	14.25	0.65
settore C	30	PF 1	40.33	126.10	128.34	128.34	129.07	0.007356	4.45	12.12	8.53	0.95
settore C	29	PF 1	40.33	125.91	128.28	128.14	128.89	0.005762	4.09	13.25	8.73	0.85
settore C	28	PF 1	40.33	125.71	128.26	127.93	128.75	0.004225	3.68	14.85	9.11	0.74
settore C	27	PF 1	40.33	125.52	127.83	127.83	128.61	0.007371	4.54	11.77	7.82	0.95
settore C	26	PF 1	40.33	125.33	127.44	127.63	128.42	0.010343	5.06	10.50	7.83	1.11
settore C	25	PF 1	40.33	125.14	127.02	127.34	128.17	0.014070	5.48	9.61	7.87	1.28
settore C	24	PF 1	40.33	124.95	127.48	127.10	127.91	0.003854	3.49	15.77	10.02	0.70
settore C	23	PF 1	40.33	124.76	127.45		127.82	0.003124	3.27	16.82	9.82	0.64
settore C	22	PF 1	40.33	124.57	126.89	126.89	127.69	0.007437	4.57	11.69	7.78	0.96
settore C	21	PF 1	40.33	124.38	126.34	126.62	127.46	0.012969	5.40	9.72	7.48	1.23
settore C	20	PF 1	40.33	124.18	126.03	126.34	127.18	0.014609	5.51	9.50	7.75	1.29
settore C	19	PF 1	40.33	123.99	126.27	126.20	126.92	0.006487	4.23	12.82	8.82	0.89
settore C	18	PF 1	40.33	123.80	126.01	126.01	126.77	0.007708	4.52	11.84	8.09	0.97
settore C	17	PF 1	40.33	123.61	125.81	125.80	126.55	0.007596	4.47	11.96	8.25	0.96
settore C	16	PF 1	40.33	123.42	125.77	125.61	126.38	0.005888	4.11	13.13	8.59	0.86
settore C	15	PF 1	40.33	123.23	125.74		126.25	0.004512	3.76	14.50	8.97	0.76
settore C	14	PF 1	40.33	123.03	125.76		126.13	0.003054	3.27	16.83	9.57	0.63
settore C	13	PF 1	40.33	122.85	125.81		126.04	0.001844	2.68	21.28	12.31	0.50
settore C	12	PF 1	40.33	122.65	125.54		125.98	0.004335	4.01	15.79	10.46	0.76
settore C	11	PF 1	40.33	122.47	125.63		125.83	0.001850	2.78	22.94	15.04	0.50
settore C	10	PF 1	40.33	122.34	125.54		125.79	0.002212	3.07	21.57	15.57	0.55
settore C	9	PF 1	40.33	122.16	125.00	125.00	125.69	0.006516	4.87	13.16	9.12	0.93
settore C	8	PF 1	40.33	121.78	124.28	124.50	125.35	0.011032	5.83	10.29	7.03	1.18
settore C	7	PF 1	40.33	121.40	123.18	123.65	124.58	0.024055	6.81	8.66	9.10	1.64
settore C	6	PF 1	40.33	121.03	123.78	123.22	124.04	0.002703	3.05	19.49	12.84	0.59
settore C	5	PF 1	40.33	120.82	123.19	123.19	123.82	0.007565	4.57	12.85	9.76	0.96
settore C	4	PF 1	40.33	120.46	123.06	122.84	123.59	0.005167	4.06	14.24	9.32	0.81
settore C	3	PF 1	40.33	120.08	122.58	122.58	123.29	0.007650	4.83	12.38	8.79	0.98
settore C	2	PF 1	40.33	119.68	121.99	122.18	122.93	0.010970	5.43	10.65	8.00	1.15
settore C	1	PF 1	40.33	119.33	121.07	121.40	122.28	0.019149	5.94	9.07	7.75	1.46