REGIONE PIEMONTE

COMUNE DI CASTAGNOLE MONFERRATO

PROVINCIA DI ASTI

STUDIO IDRAULICO DI UN TRATTO DEL RIO QUARTO IN FRAZIONE VALENZANI

VOLTO A DEFINIRE LOCALMENTE LE CONDIZIONI DI PERICOLOSITA' E DI RISCHIO E GLI ACCORGIMENTI TECNICI DI MITIGAZIONE

RELAZIONE IDRAULICA

Pinerolo, 20/01/2011

Il Committente

COMUNE DI CASTAGNOLE

MONFERRATO _____

Il Tecnico

Ing. Dario Ughetto _____

INDICE

1. PREMESSA 1

2. ANALISI IDROLOGICA CON STIMA DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA 2

2.1. CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO DALLA SEZIONE DI PRESA2

2.2. METODOLOGIA DI CALCOLO 2

2.2.1. Tempo di corrivazione 3

2.2.2. Coefficiente di deflusso 4

2.2.3. Intensità di pioggia 5

2.3. CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA 5

2.3.1. Calcolo del tempo di corrivazione 5

2.3.2. Calcolo dell'intesità media della pioggia critica ic_t 6

2.3.3. Scelta del coefficiente di deflusso 7

2.3.4. Calcolo delle portate di piena al colmo 8

3. REDAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO DEL TRATTO CONSIDERATO 9

3.1. METODOLOGIA DI CALCOLO 10

3.1.1. Equazioni di base e schema risolutivo 10

3.1.2. Perdite di carico dovute a contrazione/espansione della corrente 12

3.1.3. Procedura di calcolo 12

3.1.4. Equazione di conservazione della quantità di moto 13

3.1.5. Valutazione degli effetti dei ponti 14

3.2. CONDIZIONI AL CONTORNO 15

4. VERIFICHE IDRAULICHE 17

4.1. MODELLAZIONE IDRODINAMICA IN MOTO VARIO FINALIZZATA ALLA VALUTAZIONE DELLA LAMINAZIONE DELL'ONDA DI PIENA 17

4.1.1. Definizione degli idrogrammi di piena 17

4.1.2. Condizioni al contorno della simulazione 18

4.1.3. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA 18

4.2. MODELLAZIONE IDRAULICA IN MOTO PERMANENTE RELATIVA AL TRATTO DI INCIDENZA DEGLI INTERVENTI 21

4.2.1. CONDIZIONI AL CONTORNO 21

4.2.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLO STATO ATTUALE 21

5. ANALISI DEI POSSIBILI ACCORGIMENTI DA ADOTTARE PER L'EDIFICAZIONE .. 24

6. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI DA ADOTTARE PER L'EDIFICAZIONE 27

ALLEGATO 1A – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO VARIO PER LA Q50

ALLEGATO 1B – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO VARIO PER LA Q200

ALLEGATO 2 – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE PER LO STATO ATTUALE CON PORTATE Q50 E Q200

ALLEGATO 3 – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE CON PORTATE Q50 E Q200 NELLA CONFIGURAZIONE DI ALLARGAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

ALLEGATO 4A – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE CON PORTATA Q50 CONFRONTANDO LA SITUAZIONE ATTUALE CON QUELLA CHE SI DETERMINA A SEGUITO DELLA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO MANTENENDO INVARIATO L'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

ALLEGATO 4B – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE CON PORTATA Q200 CONFRONTANDO LA SITUAZIONE ATTUALE CON QUELLA CHE SI DETERMINA A SEGUITO DELLA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO MANTENENDO INVARIATO L'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

1. PREMESSA

Il presente studio idraulico di un tratto del Rio Quarto in frazione Valenzani è stato redatto su incarico ricevuto dall'amministrazione comunale di Castagnole Monferrato per definire localmente le condizioni di pericolosità e di rischio riferibile ad alcuni mappali ubicati in sponda sinistra del Rio Quarto individuati dal PRGC come aree produttive D2 e D3. Su tali aree è prevista la possibilità di edificazione di fabbricati industriali-artigianali previa la realizzazione di studi idraulici di approfondimento. Infatti tali zone sono classificate dal quadro del dissesto allegato al PRGC come zone a pericolosità media moderata e quindi aree sulle quali per attuare un intervento di tipo edificatorio è necessario effettuare degli studi idraulici di approfondimento.

Pertanto il presente studio andrà ad eseguire gli approfondimenti richiesti, analizzando in dettaglio nelle aree oggetto di esame le condizioni di pericolosità e di rischio indotte dalla presenza del Rio Quarto ed indicando quali prescrizioni e accorgimenti di mitigazione dovranno essere adottati per poter effettuare su tali aree interventi di edificazione.

Lo studio sarà articolato nei seguenti punti:

- analisi idrologica finalizzata a definire le portate di piena con tempo di ritorno di 50, 100 e 200 anni del rio Quarto con riferimento alla sezione di chiusura del bacino in Frazione Valenzani;
- redazione del modello idraulico con il programma HEC-RAS del tratto di interesse del Rio Quarto sulla base del rilievo topografico;
- modellazione idrodinamica in moto vario finalizzata alla valutazione della laminazione dell'onda di piena nel tratto a monte dell'area oggetto di intervento prima dell'attraversamento della strada Provinciale;
- esecuzione delle verifiche idrauliche in moto permanente con il programma HEC- RAS relative al deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno di 50 e 200 anni con la portata di piena ottenuta dopo la laminazione;
- rappresentazione della situazione attuale riportando in specifici elaborati grafici i livelli idrometrici di piena riscontrati nelle verifiche e le aree di espansione della piena tenendo conto della laminazione della piena nell'area a monte dell'attraversamento della strada provinciale;
- individuzione delle indicazioni progettuali e degli interventi tecnici di mitigazione da attuare per l'edificazione delle aree oggetto di indagine.

2. ANALISI IDROLOGICA CON STIMA DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

2.1. CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO DALLA SEZIONE DI PRESA

La determinazione della portata di massima piena di progetto viene eseguita a partire dal bacino idrografico individuato in corrispondenza della sezione di chiusura a quota 145,0 m s.l.m. sul rio Quarto nel territorio comunale di Castagnole Monferrato.

Il rio Quarto ha origine nel territorio del comune di Castagnole Monferrato ad una quota di 263 m s.l.m. circa e nella sezione di indagine in Fraz. Valenzani a quota di 145 m s.l.m. presenta un bacino idrografico avente una superficie di 6,1 km^2.

Le caratteristiche principali del bacino idrografico del rio Quarto rilevate dalla cartografia C.T.R. in scala 1:10.000 risultano le seguenti :

Quota massima (H_{max})	*262,7 m s.l.m.*	
Quota minima (H_{min})	*145,0 m s.l.m.*	*(Sez. di chiusura)*
Quota media (H_{med})	*190,7 m s.l.m.*	*$(0,9xH_{max}+H_{min})/2$*
Superficie bacino	*6,1 km^2*	
Asta principale	*4,9 km*	
Pendenza media	*1,2 %*	

2.2. METODOLOGIA DI CALCOLO

La portata di massima piena è determinata secondo le indicazioni fornite dall'Autorità di Bacino del Fiume Po attraverso la "Direttiva sulla piena da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" contenuta nel "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico".

La procedura scelta per il calcolo della portata di massima piena è quella del Metodo Razionale, che consiste nell'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e nel successivo impiego di un modello afflussi-deflussi per la trasformazione in portate al colmo.

La formula del Metodo Razionale si scrive:

$$Q_c = 0,28 \cdot c \cdot Ic_T \cdot A$$

dove:

- Q_c = portata al colmo (m^3/s),
- c = coefficiente di deflusso,
- Ic_T = intensità media della pioggia critica (mm/h),
- A = superficie del bacino (km^2).

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

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino,

- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia,
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione,
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione t_c.

Il tempo di corrivazione è definito in via teorica come il tempo che impiega la precipitazione che cade nella parte più distante del bacino a raggiungere la sezione terminale; una definizione forse migliore è che esso rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale.

Il coefficiente di deflusso tiene conto di tre fattori:

- il fattore di ragguaglio c_r della precipitazione alla superficie del bacino idrografico considerato,
- il fattore di trattenuta del terreno c_d, funzione della capacità di assorbimento del terreno (rapporto tra l'altezza di pioggia netta h_e e l'altezza di pioggia totale h),
- il fattore di laminazione c_l, che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

2.2.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Tra le numerose espressioni consigliate dalla "Direttiva sulla Piena di Progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica " per il calcolo del tempo di corrivazione t_c, si ritiene corretto, in considerazione della limitata estensione del bacino idrografico di interesse, fare riferimento alla formula di

Pezzoli (1970)

$$t_c = 0{,}055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (t_c \text{ in ore})$$

dove:

- L = lunghezza del collettore (km),
- i_a = pendenza media dell'asta principale (m/m).

Si ricorre inoltre all'utilizzo, compatibilmente con il relativo campo di applicabilità, della formulazione proposta da Ferro tarata su bacini di piccola estensione:

Ferro (2002)

$$tc = 0{,}02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0{,}8} \quad (t_c \text{ in minuti})$$

in cui:

- L = lunghezza dell'asta principale (m),
- ia = pendenza media dell'asta principale (m/m).

Il tempo di corrivazione relativo al bacino idrografico in oggetto verrà calcolato nei paragrafi successivi come media aritmetica dei valori ottenuti con le formule empiriche suddette.

2.2.2. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di *c* in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di *c* cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita nella letteratura scientifica come riportato in Tabella 2.1 e Tabella 2.2.

Caratteristiche del bacino	**c**
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

Tabella 2.1- Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente ai bacini urbani

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 2.2 - Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

2.2.3. INTENSITÀ DI PIOGGIA

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Si ricorda che con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

in cui i parametri *a* e *n* dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

La Direttiva, al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette, contiene un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri *a* e *n* delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato.

I risultati sono rappresentati nell'Allegato 3 della Direttiva; gli elaborati consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, identificando la localizzazione sulla corografia e, in dettaglio, sulla cartografia in scala 1:250.000.

L'intensità di pioggia è determinata come rapporto tra l'altezza della stessa e la durata:

$$i = \frac{h(t)}{t}$$

Siccome il "Metodo Razionale" si basa sull'ipotesi che l'intensità di pioggia abbia una durata pari a quella del tempo di corrivazione, la relazione diventa:

$$Ic_T = \frac{h(t_c)}{t_c} = \frac{a \cdot t_c^{\,n}}{t_c}$$

2.3. CALCOLO DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

2.3.1. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione nella sezione di presa in progetto per il bacino idrografico in studio viene calcolato come media aritmetica tra i valori ottenuti con le formule di Pezzoli e Ferro riportate in precedenza.

Determinazione del tempo di corrivazione t_c		
Pezzoli	Ferro	*Media dei valori*
2,46 h	1,95 h	*2,21 h*

Tabella 2.3 – Tempi di corrivazione relativi al bacino del T. Negrone

Il valore del tempo di corrivazione adottato risulta quindi:

$$t_c = 2{,}21 \text{ h } (133')$$

2.3.2. CALCOLO DELL'INTESITÀ MEDIA DELLA PIOGGIA CRITICA Ic_T

Per le finalità di questo studio, la curva di possibilità pluviometrica specifica di ogni bacino idrografico è stata determinata attraverso il reticolo di 2 km di lato fornito dalla *"Direttiva sulla Piena di Progetto" dell'Autorità di Bacino del fiume Po"* nel quale mediante un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging sono stati assegnati per i vari tempi di ritorno a tutto il territorio (anche in quei bacini dove non vi sono misurazioni dirette di precipitazioni intese), i parametri *a* e *n* delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.

In base al reticolo chilometrico di riferimento in scala 1:250.000 *(Allegato n.3 "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense" della Direttiva sulla Piena di Progetto – TAVOLA 12)* sono state individuate le porzioni di celle occupate dal bacino idrografico di interesse in corrispondenza della sezione in esame, riportate nella seguente Tabella 2.4.

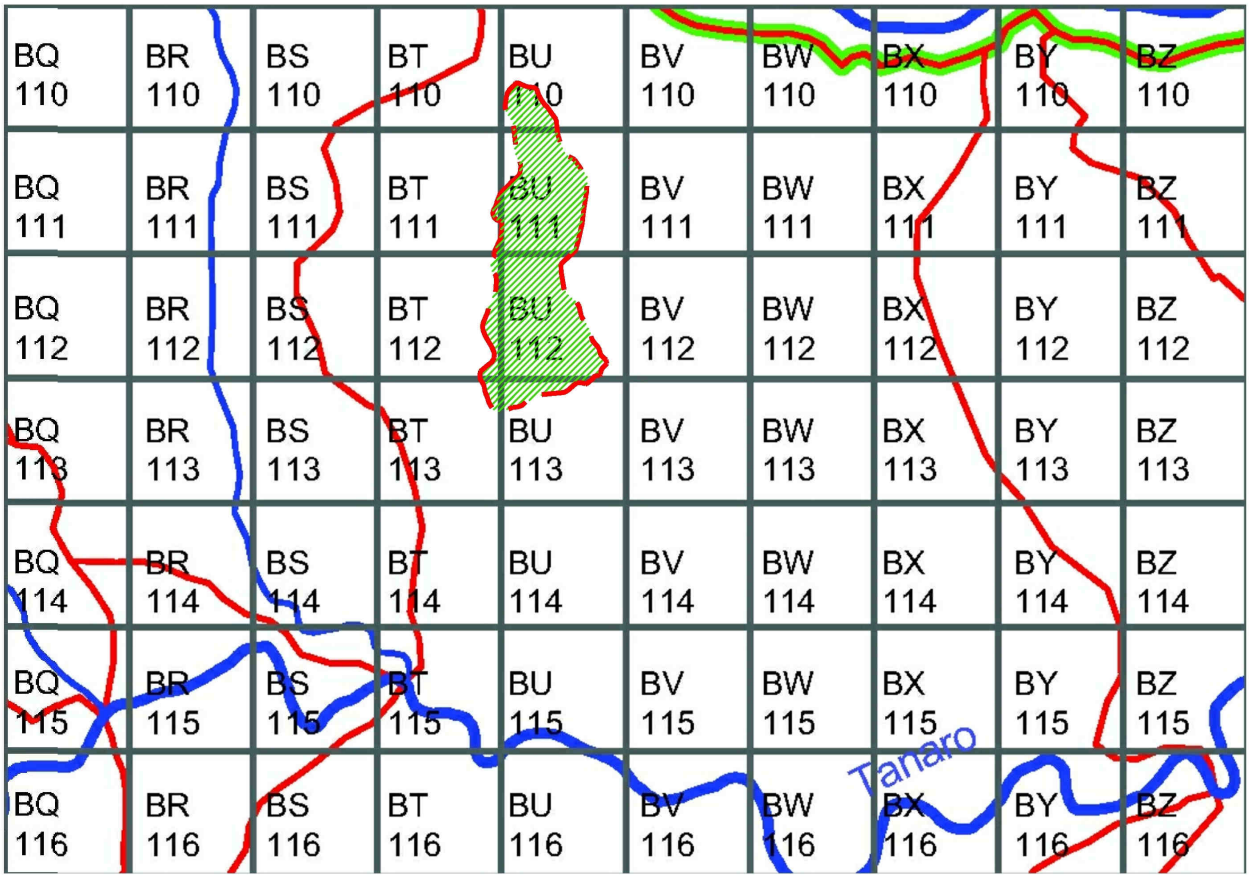


Figura 2.1 - Celle sottese dal bacino idrografico del rio Quarto alla sezione di chiusura

Cella	Area S (km^2)	TR 50		TR 100		TR 200	
		Coeff. a	Coeff. n	Coeff. a	Coeff. n	Coeff. a	Coeff. n
BU110	0,44	43,76	0,328	46,79	0,322	51,62	0,319
BU111	2,23	43,52	0,321	46,47	0,315	51,27	0,311
BU112	2,64	43,11	0,316	46,07	0,309	50,82	0,305
BU113	0,40	42,79	0,315	45,65	0,307	50,34	0,302
BT113	0,10	43,31	0,308	46,36	0,299	51,16	0,294
BT112	0,33	43,72	0,312	46,74	0,304	51,60	0,299
Area Totale	**6,13**						

Tabella 2.4 - Celle interessate dal bacino idrografico del rio Quarto alla sezione chiusura in esame e relativi coefficienti pluviometrici

Definiti a_i ed n_i come i coefficienti relativi alla superficie S_i, il valore medio dei coefficienti relativi all'area totale sottesa dal bacino idrografico si ottiene con un media ponderale:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

ottenendo i risultati riportati in Tabella 2.5.

Sezione di chiusura	TR 50		TR 100		TR200	
	Coeff. a	Coeff. n	Coeff. a	Coeff. n	Coeff. a	Coeff. n
Loc. Chiusini (145 m s.m.)	43,32	0,318	46,28	0,312	51,06	0,307

Tabella 2.5 – Curve di possibilità pluviometrica per il bacino idrografico in esame (TR 50,100, 200 anni)

I valori di Ic_T che si ottengono utilizzando i tempi di corrivazione dedotti precedentemente sono riportati nella seguente Tabella 2.6.

Sezione di chiusura	t_c	Ic_T		
		TR50	TR100	TR200
Loc. Chiusini (145 m s.m.)	2,21	25,22	26,82	29,47

Tabella 2.6 - Intensità medie Ic_T in mm/h per il calcolo delle portate al colmo

2.3.3. SCELTA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso è stato stimato in base al tipo di copertura vegetazionale ed alla destinazione d'uso del suolo che caratterizzano il bacino idrografico di interesse.

Mediante la Carta dell'uso del suolo sono state definite porzioni di territorio omogenee cui è stato attribuito un coefficiente di deflusso costante secondo le precedenti Tabella 2.1 e Tabella 2.2.

Detto c_i il coefficiente di deflusso relativo alla superficie S_i , il valore medio del coefficiente relativo ad aree caratterizzate da differenti valori di c si ottiene come media ponderale:

$$\bar{c} = \frac{\sum c_i \cdot S_i}{\sum S_i}$$

ottenendo i risultati riportati in Tabella 2.7.

Tipologia di suolo		Coefficiente di deflusso	Area (kmq)	Coefficiente pesato
Aree urbanizzate		0,8	0,30	0,04
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	Coltivato	0,5	4,58	0,4
	Bosco	0,4	1,25	0,1
		Σ	**6,13**	**0,5**

Tabella 2.7 – Calcolo del coefficiente di deflusso.

Per il calcolo della portata di piena al colmo verrà dunque adottato un coefficiente di deflusso **c=0,5.**

2.3.4. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA AL COLMO

Le portate al colmo duecentennali in corrispondenza della sezione di interesse ricavate secondo la formula del Metodo Razionale:

$$Q_c = 0{,}28 \cdot c \cdot Ic_T \cdot A$$

sono indicate nella seguente Tabella 2.8, in cui si riportano inoltre i relativi coefficienti udometrici.

	Q_c (m^3/s)	q_c ($m^3/s\ km^2$)
TR 50	22	3,6
TR 100	23	3,8
TR 200	25	4,1

Tabella 2.8 - Portate al colmo e relativi coefficienti udometrici

3. REDAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO DEL TRATTO CONSIDERATO

Lo studio idraulico si compone di una fase preliminare finalizzata a valutare l'effetto di laminazione dell'onda di piena in corrispondenza dell'area di naturale espansione individuabile a monte dell'attraversamento della S.P. 14. Data la presenza di un'area pianeggiante idonea all'invaso dei volumi di piena e la presenza del restringimento dell'alveo del Rio Quarto in corrispondenza dell'attraversamento della provinciale risulta infatti ipotizzabile un effetto di riduzione della portata al colmo transitante a valle che è stato valutato mediante l'esecuzione di una simulazione in moto vario sul tratto d'asta specifico.

Il valore di portata al colmo relativo all'idrogramma di piena laminato restituito dalla simulazione in moto vario è stato in seguito assunto come riferimento per la definizione dei livelli idrometrici lungo il tratto oggetto di intervento. In questo caso le simulazioni sono state condotte per lo stato attuale e di progetto, in condizioni di moto stazionario, ovvero trascurando eventuali fenomeni aggiuntivi di laminazione. Si osserva che l'impostazione con il moto stazionario è cautelativa relativamente ai livelli calcolati, in quanto si ipotizza una condizione idrodinamica di moto permanente a portata massima.

Le simulazioni idrauliche in condizioni di moto vario e di moto permanente sono state svolte mediante l'utilizzo del codice *HEC-RAS* (v. 4.1, sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers), per il calcolo dei profili delle correnti a pelo libero. Il suddetto programma di calcolo esegue le verifiche idrauliche elaborando i dati in input quali:

- geometria delle sezioni considerate;
- caratteristiche fisico-morfologiche del corso d'acqua (coefficiente di scabrezza di *Manning* e pendenza media del fondo alveo) nonché condizioni idrometriche al contorno;
- portata effluente.

Prima di effettuare le verifiche idrauliche si è provveduto alla messa a punto dei modelli geomorfologici dei tratti d'asta di interesse inserendo la geometria del corso d'acqua come è stata restituita dal rilievo topografico effettuato dallo Studio Tecnico Associato Geom. Raviola Fabio – Geom. Maccagno Massimo.

I dati di output restituiti dalla simulazione in moto vario finalizzata a valutare la laminazione dell'onda di piena sono costituiti dagli idrogrammi in uscita per le singole sezioni e vengono riportati in allegato alla presente relazione.

Le quote idrometriche di output relative alle verifiche in moto permanente vengono visualizzate sulle sezioni trasversali e longitudinali, e tabulate in apposite tabelle recanti tutti i parametri idraulici (altezza critica, velocità, numero di Froude, etc.) che caratterizzano il deflusso della portata considerata.

Le elaborazioni svolte sono riportate in allegato al termine della presente relazione; si riporta di seguito la legenda dei termini che compaiono nei tabulati di output:

- *River Sta* — codice della sezione di elaborazione
- *Qtotal* — portata di calcolo
- *Min Ch El* — quota di fondo alveo
- *W.S. Elev.* — altezza idrometrica
- *Crit. W.S.* — altezza critica

- *E.G. Elev* quota linea dei carichi totali
- *E.G. Slope* pendenza motrice
- *Vel Chnl* velocità della corrente
- *Flow Area* area della sezione liquida
- *Top Width* estensione pelo libero
- *Froude # Chl* numero di Froude della corrente

3.1. METODOLOGIA DI CALCOLO

Si riporta nei paragrafi seguenti una descrizione di base del metodo risolutivo adottato dal codice Hec-Ras nell'ambito delle simulazioni in moto stazionario.

3.1.1. EQUAZIONI DI BASE E SCHEMA RISOLUTIVO

La teoria del moto permanente considera portate liquide costanti, mentre è consentita una variazione graduale della geometria lungo il tratto di corso d'acqua considerato.

Le equazioni che regolano il moto permanente sono l'equazione di continuità:

$$\partial(\rho Q)/\partial s = 0$$

che in caso di densità costante si riduce alla:

$$Q = \Omega \cdot U = cost$$

e l'equazione dinamica:

$$d/ds(z+p/\gamma+U^2/2g) = -j$$

dove:

Q = portata liquida

s = ascissa curvilinea

Ω = area di deflusso

U = velocità media

z = quota fondo alveo

p/γ = pressione idrostatica

j = perdita di carico distribuita

La cadente j del carico effettivo si valuta con le espressioni consigliate per il calcolo della perdita di carico nel moto uniforme, assumendo che gli sforzi tangenziali sul contorno dipendano solo dalle condizioni alla parete, dalla forma della sezione e dalla velocità media.

In caso di corsi d'acqua naturali, o comunque per canali di sezioni complesse, il problema del tracciamento della superficie libera in moto permanente con una determinata portata Q si risolve con procedimenti di calcolo numerico, con i quali vengono discretizzate ad intervalli più o meno piccoli le grandezze infinitesimali di cui sopra.

Il corso d'acqua deve essere suddiviso in tronchi Δs più o meno brevi, ma tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo; occorre quindi un rilievo topografico dettagliato.

Successivamente si applica il metodo alle differenze finite nella variabile indipendente Δs e nella variabile dipendente ΔH (carico totale). Eventuali variazioni rapide di forma vanno valutate a parte in quanto le perdite devono tenere conto anche degli eventi vorticosi localizzati. Il procedimento di calcolo è inoltre valido solo nell'ambito di variazioni graduali della corrente, nelle quali cioè il comportamento nei confronti della situazione di criticità è univocamente definito alla sezione iniziale e non può più cambiare, a meno di spezzettare il calcolo in tratti omogenei.

Il codice HEC-RAS utilizza un procedimento iterativo passo a passo basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico tra sezioni successive.

$$WS_2 + (\alpha_1 \cdot V_2^2)/2g = WS_1 + (\alpha_2 \cdot V_1^2)/2g + h_e$$

dove:

WS1 = livello idrico sezione di valle;
WS2 = livello idrico sezione di monte;
V1 = velocità media sezione di valle;
V2 = velocità media sezione di monte;
$\alpha 1$ $\alpha 2$ = coefficienti numerici di velocità;
g = accelerazione di gravità;
he = perdita di carico;

La perdita di carico tra due sezioni comprende una quota dovuta alla scabrezza del fondo ed una dovuta alla variazione della sezione trasversale di deflusso (contrazione/espansione), l'espressione che ne consente il calcolo risulta:

$$h_e = LI_f + C \cdot [(\alpha_2 \cdot V_2^2)/2g - (\alpha_1 \cdot V_1^2)/2g]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione/espansione;
If = gradiente idraulico tra le sezioni;
If = (Q1 + Q2)/(K1 +K2)
Q1, Q2 portate
K1, K2 conducibilità idraulica totale
L = media pesata della distanza tra le sezioni;

$$L = (L_{lob} \cdot QM_{lob} + L_{ch} \cdot QM_{ch} + L_{rob} \cdot QM_{rob})/(QM_{lob} + QM_{ch} + QM_{rob})$$

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} distanza tra le due sezioni rispettivamente in golena sinistra, alveo e golena destra

QM_{lob}, QM_{ch}, QM_{rob} media aritmetica delle portate defluite nelle due sezioni in golena sinistra, alveo e golena destra.

Il coefficiente di velocità α viene calcolato, sulla base del valore di conducibilità relativo a ciascuna delle componenti di portata in cui è suddivisa una sezione (golena sinistra, alveo, golena destra), mediante la seguente equazione:

$$\alpha = \{(A_t)^2 \cdot [(K_{lob})^3/(A_{lob})^2 + (K_{ch})^3/(A_{ch})^2 + (K_{rob})^3/(A_{rob})^2]\}/(K_t)^3$$

dove:

At: area di deflusso totale della sezione;

Alob Ach Arob: area di deflusso in golena sinistra, alveo e golena destra;

Kt: conducibilità idraulica totale della sezione

Klob Kch Krob:componente di conducibilità idraulica in golena sinistra, alveo e golena destra.

3.1.2. PERDITE DI CARICO DOVUTE A CONTRAZIONE/ESPANSIONE DELLA CORRENTE

Le perdite di carico dovute alle variazioni di velocità della corrente, conseguenti a restringimenti o allargamenti delle sezioni trasversali lungo l'asta, vengono valutate secondo la formula:

$$h_0 = C \cdot [(\alpha_2 \cdot V_2^2)/2g - (\alpha_1 \cdot V_1^2)/2g]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione/espansione

Hec-Ras assume come C il coefficiente di contrazione quando il carico cinetico della sezione di valle è superiore a quello della sezione di monte, il coefficiente di espansione in caso opposto.

Il coefficiente C, che rappresenta la quota di carico cinetico dissipata nel passaggio della corrente tra due sezione, assume i seguenti valori:

	Contrazione	**Espansione**
Nessuna variazione di sezione	0.0	0.0
Variazioni graduali	0.1	0.3
Restringimento dovuto ad un ponte	0.3	0.5
Brusche variazioni di sezione	0.6	0.8

3.1.3. PROCEDURA DI CALCOLO

Per il calcolo del profilo di piena in moto stazionario il codice Hec-Ras utilizza un procedimento di tipo iterativo che, nel caso di due generiche sezioni, può essere riassunto secondo i seguenti passi:

1. assunzione di un valore di altezza d'acqua nella sezione a monte o in quella a valle, a seconda che si tratti di un profilo di corrente lenta o veloce;
2. calcolo dei corrispondenti valori di carico cinematico e conveyance totale;
3. determinazione del gradiente idraulico If e delle perdite di carico totali he tra le due sezioni;
4. risoluzione dell'equazione di bilancio energetico, calcolo del valore WS2;
5. confronto del valore WS2 calcolato con quello assunto al primo passo; ripetizione della sequenza di operazioni sino a quando l'errore rientra nel limite di tolleranza definito (0.003 m).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di un valore di altezza d'acqua di tentativo varia nelle successive iterazioni. Nella prima iterazione viene assunto il valore definito per la sezione precedente, nella seconda il valore calcolato, corretto in funzione dell'errore riscontrato:

$$WS_{nuovo} = WS_{assunto} + 0.70 \cdot (WS_{calcolato} - WS_{assunto})$$

Nelle successive iterazioni viene applicato il metodo della secante:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} \cdot Err_{ass} / Err_{diff}$$

dove:

WSI nuovo valore del livello idrico;

WSI-1 valore di livello idrico assunto nell'iterazione precedente;

WSI-2 valore di livello idrico assunto nella penultima iterazione;

ErrI-2 differenza tra il livello idrico calcolato e quello assunto nell'iterazione I-2;

Errass differenza tra i livelli idrici assunti nelle due iterazioni precedenti = WSI-2 - WSI-1

Errdiff differenza tra il livello idrico assunto e quello calcolato nell'iterazione precedente, più l'errore definito nella penultima iterazione = WSI-1 - WSCalcI-1 + ErrI-2

3.1.4. EQUAZIONE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO

L'equazione di bilancio energetico vale soltanto quando si hanno variazioni graduali di corrente, in particolare, quando il profilo idraulico presenta una sezione caratterizzata da una profondità di corrente pari all'altezza critica, l'equazione di bilancio energetico non è più applicabile.

La presenza di una sezione con altezza critica d'acqua evidenzia una variazione rapida del moto, con passaggio da corrente lenta a veloce viceversa. Ciò può verificarsi in numerose situazioni: a seguito di un cambiamento della pendenza di fondo alveo, per la presenza di un restringimento in corrispondenza di un ponte, a causa della presenza di salti di fondo, o in corrispondenza di una confluenza tra due corsi d'acqua.

L'equazione di conservazione della quantità di moto ha la seguente espressione generale:

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

dove:

P = forze dovute alla pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;

Wx = forza peso nella direzione x

Ff = forza di attrito tra le sezioni 1 e 2;

Q = portata;

ρ = densità dell'acqua;

ΔVx = variazione di velocità tra le sezioni 1 e 2, nella direzione x

essendo:

$P = \gamma A\hat{Y}\cos\theta$

γ = peso specifico dell'acqua;

A = area di deflusso;

$\hat{Y}$ = profondità della corrente.

$Wx = \gamma \cdot [(A1 + A2)/2 \cdot L \cdot \sin\theta$

L = distanza tra le due sezioni successive;

zi = quota fondo della sezione i-esima

$\sin\theta = (z1 - z2)/L$

$Ff = \tau \cdot Pm \cdot L$

$\tau = \gamma \cdot R \cdot Sf$ tensione superficiale d'attrito;

Pm = sviluppo medio del contorno bagnato nelle sezioni 1 e 2;

R = raggio idraulico;

Sf = gradiente idraulico

3.1.5. VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI PONTI

Per la valutazione degli effetti di rigurgito dovuti alla presenza di ostacoli quali pile, ponti o una qualunque altra struttura in alveo, è possibile far riferimento all'approccio basato sul principio delle quantità di moto totali (equazione globale dell'equilibrio dinamico).

Ciascuna struttura viene modellata attraverso la definizione di 4 sezioni:

- una sul corso d'acqua immediatamente a monte del ponte (*m*);
- una seconda sulla struttura sul lato di monte (*bm*);
- una terza sulla struttura sul lato di valle (b_v);
- una sul corso d'acqua immediatamente a valle del ponte (*v*).

L'applicazione di tale principio è effettuata in tre passi successivi, che, nel caso di corrente supercritica, diventano:

1. bilancio di quantità di moto tra la sezione di monte del corso d'acqua e quella di monte del ponte (indicata con b_m) per il calcolo di h_{bm} nota che sia h_m;
2. bilancio di quantità di moto tra la sezione di monte del ponte e quella di valle (indicate rispettivamente con i pedici *bm* e *bv*) per il calcolo di h_{bv} nota h_{bm};
3. bilancio di quantità di moto tra la sezione del corso d'acqua a valle (indicata con il pedice *v*) e la sezione di valle del ponte (indicata con il pedice *bv*) per il calcolo di h_v nota la h_{bv}.

Nel caso di correnti subcritiche, la sequenza sopra indicata è invertita.

Il punto 1 fornisce l'espressione:

$$\rho Q V_m + \gamma A_m y_m - \rho Q V_{bm} - \gamma A_{bm} y_{bm} = \gamma A_{pm} y_{pm} + \gamma \frac{C_D}{2}\left(\frac{A_{pm}}{A_m}\right)\left(\frac{Q^2}{g A_m}\right)$$

dove:

Q: portata liquida;

Vi: velocità della corrente nella sezione;

Ai: area bagnata della sezione;

y_i: affondamento del baricentro nella sezione;

γ : peso specifico dell'acqua;

ρ : densità dell'acqua;

A_{pm}: proiezione dell'area dell'elemento del ponte che ostacola il deflusso su una superficie ortogonale alla direzione della corrente, corrispondente al tirante idrico h_m;

y_{pm}: affondamento del baricentro di A_{pm};

C_D: coefficiente di attrito.

Nell'equazione precedente si è assunto, implicitamente, che le forze di attrito sul contorno siano trascurabili rispetto alle altre.

Il secondo membro della esprime la spinta totale esercitata dal pilone sulla corrente. Tale spinta è pari alla somma di due termini: il primo relativo alla spinta di carattere statico, il secondo relativo ad una spinta di carattere dinamico.

Il punto 2 fornisce l'espressione:

$$\rho Q V_{bm} + \gamma A_{bm} y_{bm} - \rho Q V_{bv} - \gamma A_{bv} y_{bv} = 0$$

Il punto 3 fornisce, infine, l'espressione:

$$\rho Q V_v + \gamma A_v y_v - \rho Q V_{bv} - \gamma A_{bv} y_{bv} = \gamma A_{pv} y_{pv}$$

dove:

A_{pv}: proiezione dell'area del pilone su una superficie ortogonale alla direzione della corrente, corrispondente al tirante idraulico h_v;

y_{pv}: affondamento del baricentro di A_{pv}.

Si osservi che, nella equazione relativa al punto 1 è stata considerata la sola azione statica esercitata sulla corrente.

Per correnti lente ritardate è utilizzabile la relazione di Yarnell, che fornisce direttamente il dislivello idrico tra monte e valle del ponte:

$$h_m = h_v + 2K\left(K + \frac{10}{h_v}\frac{V_v^2}{2g} - 0.6\right)\left[\frac{A_{pv}}{A_v} + 15\left(\frac{A_{pv}}{A_v}\right)^4\right]\frac{V_v^2}{2g}$$

con K parametro empirico funzione della forma della pila.

3.2. CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire un livello idrico noto da cui far procedere il calcolo dei livelli incogniti (partendo da valle se la corrente è subcritica o, viceversa, da monte se la corrente è supercritica). A seconda del regime di moto della corrente è necessario definire le condizioni al contorno unicamente per la sezione di monte o di valle, tuttavia poiché raramente è possibile stabilire a priori il regime con cui si svolge il moto, soprattutto in corsi d'acqua naturali dove per la estrema irregolarità della geometria si possono verificare vari cambiamenti di regime, è necessario assegnare sempre entrambe le condizioni al

contorno, a monte e a valle, e verificare a posteriori se la condizione assegnata ha avuto o meno influenza sul profilo di corrente.

Le possibili condizioni da assegnare sono distinguibili in 4 tipologie:

- un livello idrico noto, assegnabile quando il corso d'acqua in esame è collegato (a monte o a valle) ad un recipiente idrico (artificiale o naturale) il cui livello possa ritenersi costante, oppure in caso di valori noti derivanti da misurazioni in sito;
- il livello di stato critico, automaticamente calcolato dal programma, per la portata assegnata in corrispondenza di una sezione di controllo;
- la pendenza della linea dell'energia (pendenza motrice) in base alla quale verrà ricavato il livello idrico al contorno in regime di moto uniforme. In generale, in tratti uniformi non interessati da singolarità, la pendenza motrice può essere assimilata con buona approssimazione alla pendenza media del fondo alveo (valore generalmente noto dal rilievo topografico).
- scala delle portate, dalla quale mediante interpolazione il software ricava il livello idrico al contorno per la portata assegnata.

4. VERIFICHE IDRAULICHE

4.1. MODELLAZIONE IDRODINAMICA IN MOTO VARIO FINALIZZATA ALLA VALUTAZIONE DELLA LAMINAZIONE DELL'ONDA DI PIENA

4.1.1. DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

Al fine di valutare l'effetto di laminazione dovuto all'espansione della piena nell'area golenale individuabile a monte dell'attraversamento della S.P. 14, si è reso necessario ricostruire gli idrogrammi di piena significativi per i tempi di ritorno di riferimento, pari a 50 e 200 anni.

In considerazione delle modeste dimensioni del bacino idrografico sotteso e quindi delle brevi durate delle portate al colmo e dei rapidi aumenti e decrementi delle stesse, sono stati stimati un idrogrammi di piena secondo le ipotesi seguenti:

- pioggia costante per la durata dell'evento;
- fase ascendente e discendente di durata pari al tempo di corrivazione medio (2,2 ore);
- portata al colmo calcolata mediante la formula razionale assumendo una intensità di pioggia oraria pari a quella media sulla durata dell'evento.

Tali ipotesi per l'evento di durata pari al tempo di corrivazione di 2,2 ore conducono ad idrogrammi con picco pari alla portata massima precedentemente calcolata con la formula razionale (Cap. 2) e durata di 4,4 ore.

Nelle figure seguenti si riportano gli idrogrammi relativi ai tempi di ritorno di 50 e 200 anni.

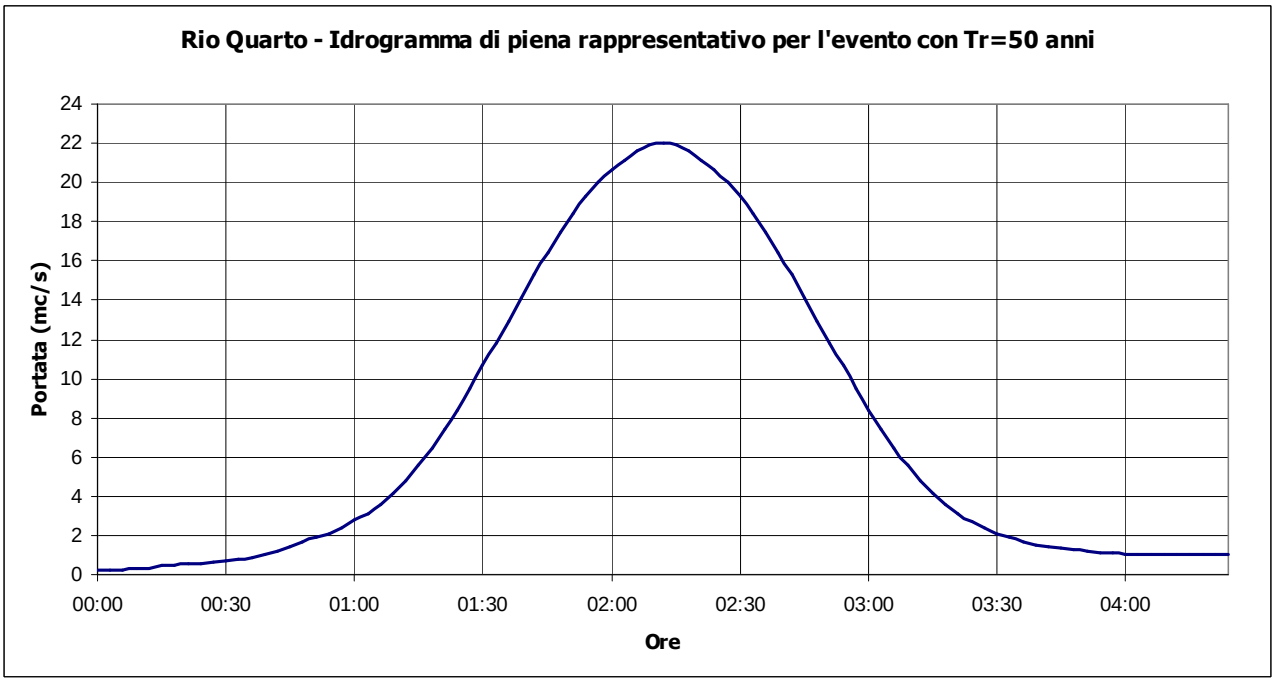


Figura 4.1 – Idrogramma di piena rappresentativo per l'evento con Tr=50 anni

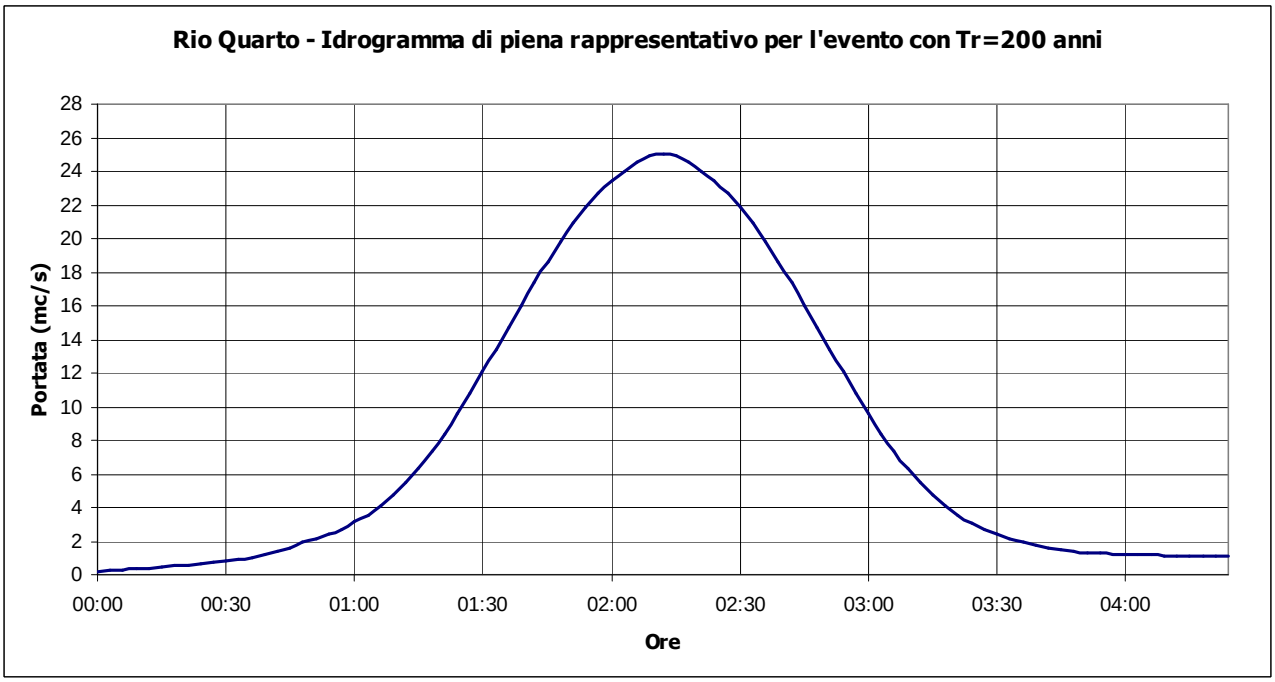


Figura 4.2 - Idrogramma di piena rappresentativo per l'evento con Tr=200 anni

4.1.2. CONDIZIONI AL CONTORNO DELLA SIMULAZIONE

I parametri idraulici e geometrici necessari a definire le condizioni al contorno della simulazione sono i seguenti:

- coefficiente di scabrezza n di Manning, assunto pari a 0,03 $s/m^{1/3}$ sia in alveo che per le zone golenali in base a valori di riferimento reperibili in letteratura (Chow V. T.,1959)
- condizioni di monte/valle: come condizione di monte è stato inserito l'idrogramma relativo al tempo di ritorno considerato, la condizione di valle è stata assegnata in termini di livello idrometrico imponendo l'altezza di moto uniforme considerando che l'alveo nel tratto di indagine presenta una pendenza media pari allo all'1% circa;
- data e ora di inizio/fine: poiché la simulazione avviene in regime di moto vario è necessario impostare una data di inizio/fine e la durata temporale dell'evento. La definizione della durata riveste particolare importanza in quanto deve consentire la simulazione dell'evento in tutta la sua interezza. Nel caso in esame è stato impostato un intervallo complessivo di 12 ore all'interno del quale ricade il transito dell'onda di piena con durata di 4,4 h.

4.1.3. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA

I risultati della modellazione numerica condotta vengono riportati integralmente in allegato alla presente e sono resi in termini di idrogrammi in uscita e valori tabulati di portata al colmo per tutte le sezioni comprese nel modello idraulico, di cui si riporta la localizzazione planimetrica in Figura 4.3.

Figura 4.3 – Planimetria sezioni idrauliche relative al modello di studio della laminazione dell'onda di piena

I risultati riportati in allegato mostrano come in concomitanza degli eventi di piena, il sottopasso localizzato in corrispondenza della sezione n. 15 abbia inizialmente un funzionamento a pelo libero per poi essere rigurgitato con l'aumentare della portata in arrivo. Le acque rigurgitate vengono quindi invasate all'interno dell'area golenale presente a monte dell'attraversamento, con una contemporanea riduzione della portata al colmo transitante a valle.

Le seguenti figure riproducono il confronto tra l'idrogramma in ingresso e l'idrogramma laminato in uscita per la sezione n. 13, coincidente con la sezione estrema di monte del modello idraulico messo a punto per le verifiche in moto stazionario dell'area oggetto di intervento riportate nei successivi paragrafi.

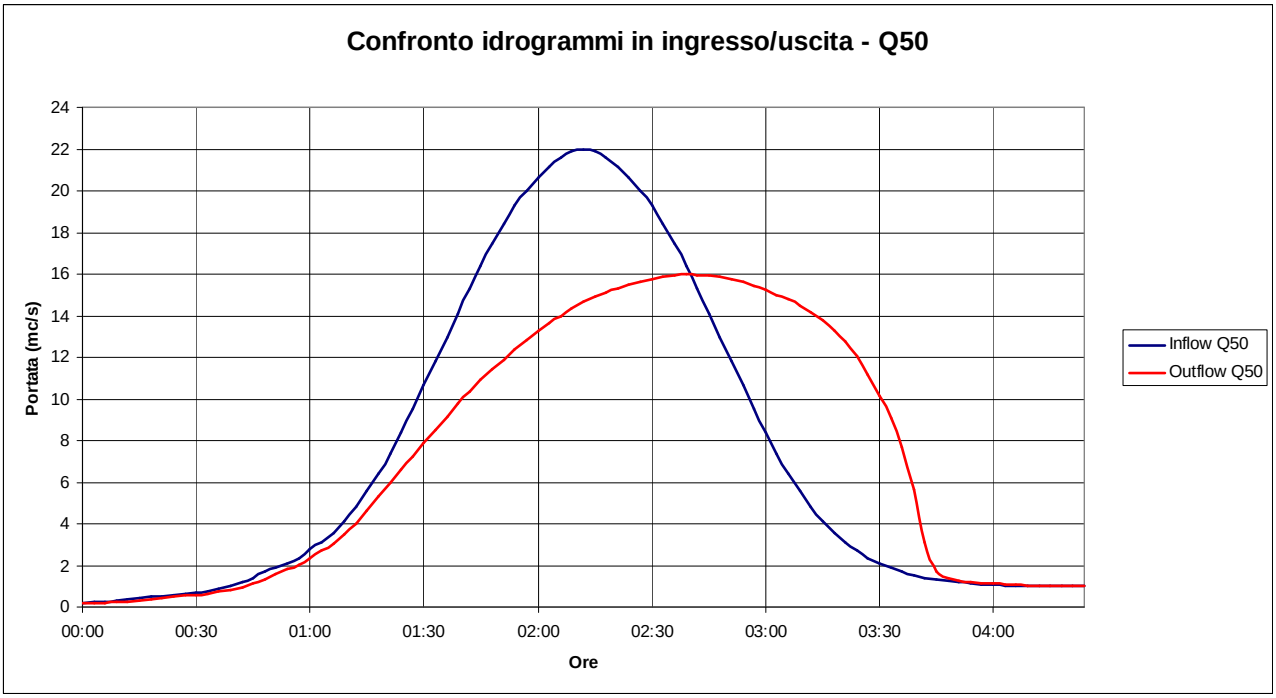


Figura 4.4 - Idrogrammi in ingresso e uscita per la portata cinquantennale in corrispondenza della sezione n. 13

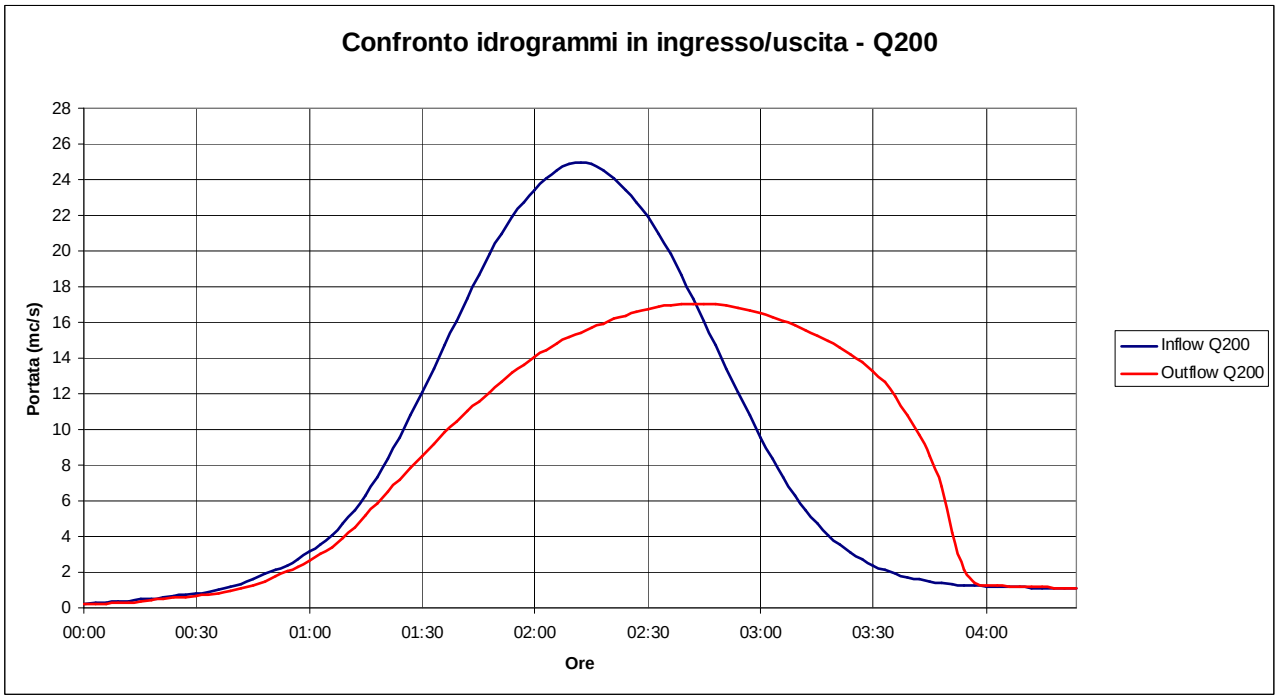


Figura 4.5 - Idrogrammi in ingresso e uscita per la portata duecentennale in corrispondenza della sezione n. 13

Si osserva che l'effetto di laminazione riduce sensibilmente i valori di portata al colmo per l'onda di piena, che passano da 22 m^3/s a 16 m^3/s per la portata cinquantennale e da 25 m^3/s a 17 m^3/s per la portata duecentennale.

Pertanto, per le verifiche in moto stazionario del tratto oggetto di intervento verranno assunte come portate di riferimento con tempo di ritorno di 50 e 200 anni rispettivamente i valori di 16 m^3/s e 17 m^3/s.

4.2. MODELLAZIONE IDRAULICA IN MOTO PERMANENTE RELATIVA AL TRATTO DI INCIDENZA DEGLI INTERVENTI

4.2.1. CONDIZIONI AL CONTORNO

Le simulazioni sono state condotte per lo stato attuale e lo stato di progetto in condizioni di moto stazionario, ovvero ipotizzando una condizione idrodinamica di moto permanente a portata massima pari ai valori ricavati in precedenza, 16 m^3/s per la Q50 e 17 m^3/s per la Q200.

Nel caso in esame, non avendo a disposizione sezioni di controllo del moto (ovvero sezioni in cui sia possibile imporre come condizione al contorno un livello idrometrico noto), sono stati imposti come livelli idrici al contorno quelli corrispondenti al deflusso in moto uniforme.

Le condizioni di monte e valle sono state assegnate in termini di livello idrometrico imponendo l'altezza di moto uniforme considerando che l'alveo nel tratto di indagine presenta una pendenza media pari allo all'1% circa.

Il coefficiente di scabrezza di Manning n è stato assunto pari a 0,03 $s/m^{1/3}$ sia in alveo che per le zone golenali in base a valori di riferimento reperibili in letteratura (Chow V. T.,1959).

4.2.2. RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLO STATO ATTUALE

Il tratto oggetto di indagine si estende per circa 350 m e precisamente dal ponte sulla S.P. 14 in località Mostifò fino alla zona a valle del tratto intubato prospiciente la proprietà Roberto Gervasio. I risultati della simulazione idrodinamica vengono riportati in forma integrale in Allegato 2 alla presente.

Di seguito si riporta una rappresentazione planimetrica su base ortofotografica del tratto di rio Quarto oggetto del presente studio idraulico con indicazione delle sezioni idrauliche significative.

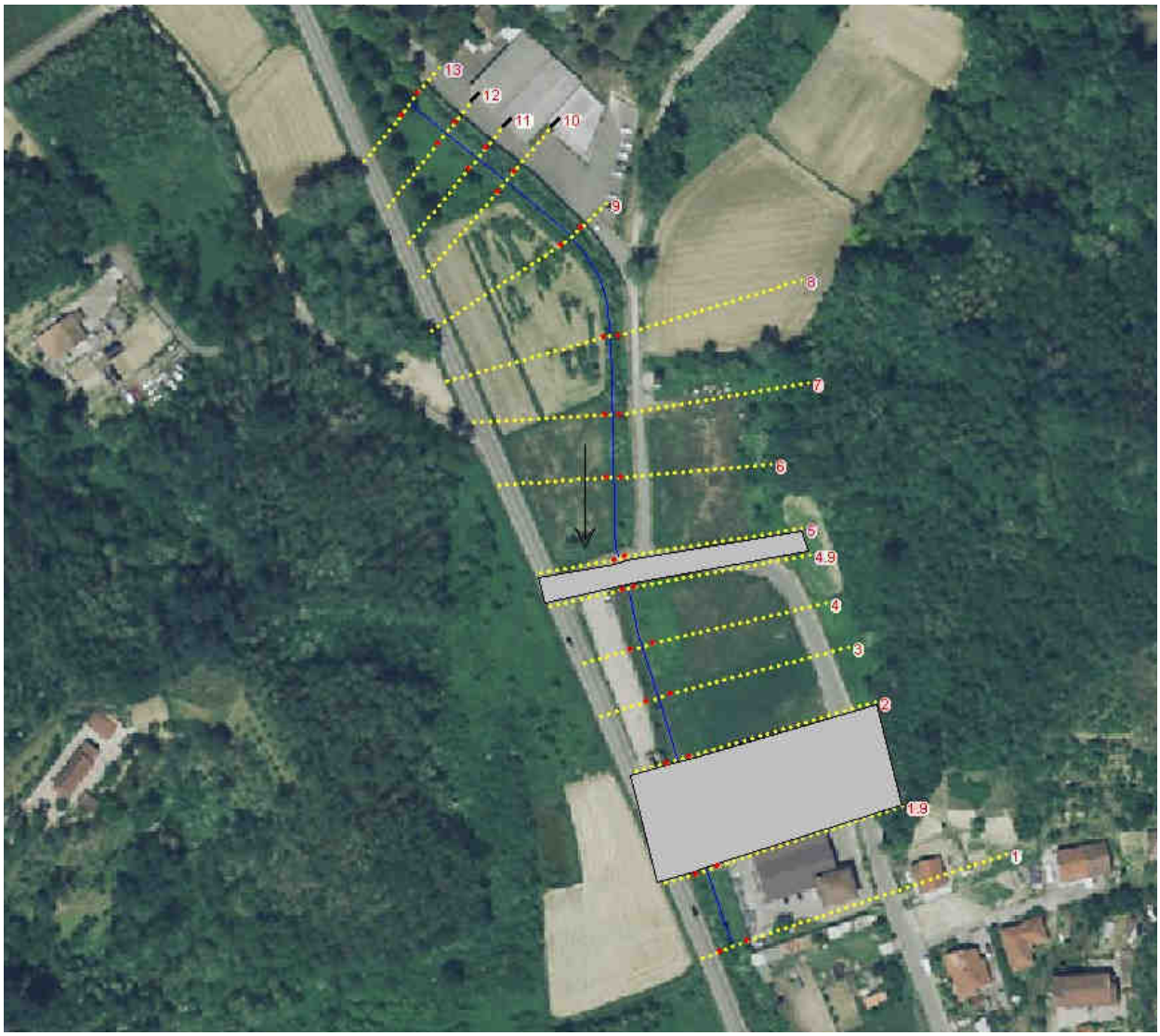


Figura 4.6 – Planimetria sezioni idrauliche implementate nel modello HEC-RAS

I risultati delle simulazioni mostrano che nel tratto potenzialmente interessato dagli interventi di edificazione, compreso tra le sez. 7 e 2, la sezione attuale dell'alveo disponibile al deflusso non è sufficiente al transito delle portate di piena considerate. In particolare il deflusso è fortemente condizionato dalla presenza dell'attraversamento della S.C. Calcini, dove il restringimento di sezione induce un rigurgito di corrente lenta in alveo a forte pendenza che si propaga verso monte sino a raccordarsi con il profilo di corrente veloce nella sezione 12. La sezione sottesa dal tubo Ø 2500 mm risulta inadatta a smaltire la portata in alveo e pertanto il deflusso interessa il piano stradale della S.C. Calcini.

Si osserva inoltre che i livelli idrici in corrispondenza dell'attraversamento e nel tratto immediatamente a valle tra le sezioni n°2 e n° 4 risultano a loro volta influenzati dal sopralzo indotto dall'ulteriore tratto intubato in corrispondenza degli insediamenti produttivi «MGA» e «Gervasio». In questo caso si rileva che tuttavia la tubazione Ø 4000 mm presenta un diametro sufficiente a garantire il transito delle portate di piena per i vari tempi di ritorno assegnati.

L'insufficienza delle sezioni di deflusso a smaltire le portate di piena determina quindi un innalzamento dei livelli idrometrici nel tratto compreso tra le sezioni n. 8 e n. 2 che supera la quota attuale delle sponde e

pertanto, per i vari tempi di ritorno analizzati, si verifica l'esondazione della piena che interessa le aree golenali in destra e sinistra idrografica così come riportato su planimetria catastale nella tavola grafica n. 4 allegata.

Si rileva che i fenomeni esondativi non interessano la sede stradale della S.P. Asti-Casale, rispetto alla quale le quote idrometriche di piena mantengono, nel tratto sotteso dagli interventi, un franco medio pari o superiore ad 1 m.

Inoltre si osserva che gli edifici attualmente esistenti in zona, ovvero i capannoni delle ditte Gervasio e MGA non sono interessati da fenomeni di esondazione in quanto il livello di piena si mantiene abbondantemente al di sotto del piano di edificazione di tali edifici. Infatti a fronte di un livello raggiunto dalla piena nella sezione n 2 pari a 144,17 m s.l.m. per la piena cinquantennale e 144,37 m s.l.m. per la piena duecentennale la quota del piano di calpestio del capannone è impostato a quota 146,70 m s.l.m. Quindi il franco del piano di imposta degli attuali insediamenti rispetto ai livelli idrometrici raggiunti dalla piena è pari a 2,53 m rispetto alla piena cinquantennale e 2,33 m rispetto alla piena duecentennale.

5. ANALISI DEI POSSIBILI ACCORGIMENTI DA ADOTTARE PER L'EDIFICAZIONE

Dalle verifiche idrauliche svolte sono emerse alcune criticità nel tratto di alveo del rio Quarto esaminato, criticità che implicano che i livelli idrici che si determinano per eventi di piena con tempi di ritorno T50 e T200, sono superiori al piano di campagna delle aree oggetto di esame.

Dall'analisi di questi elementi di criticità si andranno ad individuare quali accorgimenti e prescrizioni si dovranno adottare per l'attività edificatoria delle aree oggetto di studio.

Le criticità emerse dalle verifiche idrauliche sono le seguenti:

- il piano di campagna della zona che si intende edificare non è uniforme ed è poco rialzato rispetto al fondo dell'alveo del Rio Quarto;
- l'attraversamento della S.C. Calcini del Rio Quarto che avviene con un tubo Ø 2500 mm è insufficiente a smaltire la portata di piena e quindi provoca un innalzamento a monte dei livelli, inoltre si rileva che tale tubo attualmente è anche parzialmente ostruito da detriti che si sono depositati al suo interno;
- l'intubamento del tratto di Rio Quarto davanti ai capannoni Gervasio e MGA, che pur essendo realizzato con un tubo di sezione maggiore (Ø 4000 mm che è sufficiente al passaggio dell'intera portata), provoca durante le piene un rigurgito a monte determinando l'innalzamento dei livelli idrici;
- le sezioni dell'alveo del Rio Quarto nel tratto a monte dell'attraversamento della S.C. Calcini nella zona adiacente ai mappali 347, 460, 461 del fg. 18 risultano molto ristrette e molto più ridotte di quelle presenti nel tratto a valle della S.C. Calcini.

Partendo dall'esame degli elementi di criticità sopra riportati si sono vagliate le possibili soluzioni da attuare per permettere l'edificazione in sicurezza delle aree in analisi.

Le ipotesi individuate sono state verificate attraverso delle simulazioni idrauliche riportate negli Allegati 3, 4A e 4B in modo da controllare l'efficacia della loro attuazione.

La prima soluzione ipotizzata è stata quella di allargare l'attraversamento del Rio Quarto in corrispondenza della strada comunale Calcini di una quantità sufficiente a fare in modo che il deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni avvenga senza superare l'intradosso della soletta del ponte.

Si è quindi eseguita una simulazione idraulica ipotizzando di sostituire il tubo a sezione circolare Ø 2500 attualmente esistente, che provoca rigurgito, con un attraversamento a geometria rettangolare di sezione molto più ampia. Si è ipotizzato un ponticello con larghezza 5,5 m e altezza 3 m, sufficiente a fare in modo che il passaggio delle portate della piena duecentennale avvenga con un livello che rimanga all'interno dell'intradosso del ponte.

Inoltre si è provveduto a risagomare le sezioni dell'alveo del Rio Quarto nel tratto a monte della S.C. Calcini nel tratto tra le sezioni n 5 e n 8 portandole ad una larghezza simile a quella delle sezioni attualmente esistenti a valle.

Quindi modificando la geometria del modello idraulico inserito all'interno del programma Hec-Ras con i dati precedentemente descritti si provveduto a fare la simulazione del deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno 50 e 200 anni.

Dai risultati delle simulazioni riportati nell'allegato 3 e sulla tavola grafica n. 6 si è visto che:

- come ci si attendeva a monte dell'attraversamento della S.C. Calcini i livelli di piena si riducono di 0,7÷0,9 m circa e conseguentemente i terreni dei mappali 460, 461 del fg 18 risultano al di fuori dalla fascia di esondazione delle piene con tempo di ritorno T50 e T200;
- a valle dell'attraversamento invece sostanzialmente la situazione rimane immutata in quanto il livello idrico è determinato dal restringimento rappresentato dal tratto intubato davanti ai mappali 814 e 816 del Fg. 18.

Tuttavia la soluzione dell'allargamento dell'attraversamento della S.C. Calcini esaminata e simulata con il modello idraulico, sebbene migliorativa per il tratto a monte adiacente al mappale 460 del fg 18, non è sufficiente a garantire un franco di sicurezza adeguato rispetto al piano campagna in sinistra idrografica individuata come sede degli interventi di edificazione. Si osserva infatti che per le sezioni n. 6 e n. 5 il franco dei livelli di piena duecentennale rispetto al ciglio della sponda sinistra risultano inferiori a 0,3 m.

Inoltre come detto in precedenza nel tratto a valle non vi sono miglioramenti in quanto il livello è determinato dal rigurgito provocato dal tratto intubato avente uno sviluppo di circa 42 m davanti ai capannoni esistenti. Quindi questa ipotesi sebbene migliorativa non risulta sufficiente per ritenere le aree oggetto di studio al sicuro dal rischio di esondazione.

E' stata pertanto vagliata una seconda ipotisi progettuale prevedendo la sopraelevazione dei terreni oggetto di verifica mediante la realizzazione di un rilevato con sommità alla quota necessaria per mantenere un adeguato franco di sicurezza rispetto ai livelli di piena.

Partendo dall'osservazione che la quota di edificazione dei capannoni delle ditte Gervasio e MGA attualmente esistenti nella zona appena a valle a quella oggetto di studio presenta un franco rispetto ai livelli idrometrici raggiunti dal Rio Quarto durante gli eventi di piena di tutta sicurezza, si è ipotizzato di imporre anche per i terreni di monte la stessa quota per l'edificazione al fine di garantire anche per queste aree una condizione di sicurezza rispetto alle portate di piena. Per verificare se questa soluzione fosse attuabile si è provveduto a mettere a punto il modello idraulico e a simulare il deflusso delle portate di piena con i tempi di ritorno di 50 e 200 anni ipotizzando la presenza di un rilevato sui terreni oggetto di indagine (mappali 460, 812, 845, 846, 847, 848) che innalzi la quota di tali terreni a 146,70 m s.l.m. ovvero alla quota a cui attualmente sono edificati i capannoni delle ditte Gervasio e MGA. Ovviamente nel rispetto di quanto previsto dal R.D. 523 del 1904 il rilevato è stato tenuto ad una distanza di 10 m dalla sommità della sponda. Allo stesso modo si è provveduto con il rilevato in progetto a stare al di fuori dalle aree individuate come Ea (Aree potenzialmente inondabili con intensità del processo molto elevata) dalla variante strutturale al P.R.G.C. con modifica al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)".

I risultati delle simulazioni idrauliche riportati negli allegati 4A e 4B sono riferiti alla configurazione precedentemente descritta ipotizzando di non intervenire sull'attraversamento della S.C. Calcini mantenendolo nelle condizioni attuali. Contestualmente alla realizzazione del rilevato, si è previsto di

risagomare le sezioni dell'alveo del Rio Quarto nel tratto a monte della S.C. Calcini nel tratto tra le sezioni n 6 e n 8 portandole ad una larghezza simile a quella delle sezioni attualmente esistenti a valle.

Le verifiche sono state condotte considerando il deflusso delle portate con tempi di ritorno di 50 e 200 anni; per ciascuna portata con assegnato tempo di ritorno sono riportati i layout indicativi delle modificazioni indotte sulla dinamica fluviogolenale in termini di differenze tra lo stato attuale e lo stato successivo alla realizzazione del rilevato in modo da evidenziare le aree soggette a variazioni.

Tali risultati per una loro miglior evidenziazione sono riportati anche sulle tavole grafiche 5A e 5B.

I risultati riportati negli allegati 4A e 4B mostrano un leggero innalzamento dei livelli idrometrici nel tratto compreso tra le sezioni n. 8 e n. 2, dovuto alla riduzione di capacità di invaso nell'area golenale sinistra a seguito degli interventi previsti. Tuttavia gli innalzamenti massimi riscontrati rimangono comunque contenuti entro i 0,2 m circa e risultano quindi essere di lieve entità, in particolare non viene compromesso significativamente il franco rispetto al piano stradale della S.P. 14 in nessuna delle sezioni idrauliche considerate.

Risulta altresì verificata la compatibilità idraulica del rilevato previsto con sommità a quota 146,70 m, rispetto al livello idrometrico raggiunto dalla piena duecentennale che defluisce con un franco di sicurezza minimo superiore ad 1,3 metri.

Si evidenzia inoltre che il leggero innalzamento dell'acqua determinato dalla presenza del rilevato che andrebbe a limitare la possibilità di espansione della piena dal lato della sponda sinistra comporta unicamente un minimo allargamento dell'area di espansione della piena in sponda destra, ma solamente sui mappali 272, 273, 274 che già attualmente sono classificati come aree di classe IIIa4 (aree potenzialmente inondabili), mentre per la zona in sponda destra classificata attualmente come classe IIb non vi è nessuna variazione.

In definitiva si ritiene, in base alle considerazioni svolte, che la realizzazione del rilevato nell'area golenale in sinistra idrografica sia compatibile con l'assetto idrodinamico del rio Quarto, in quanto gli innalzamenti idrometrici indotti dall'opera modificano in lieve misura il profilo di piena senza compromettere le attuali condizioni di sicurezza rispetto ai livelli di piena sia della strada Provinciale che dei capannoni già esistenti a valle della sezione 2. Inoltre la maggior espansione della piena dal lato della sponda destra non modifica in alcun modo le classi di pericolosità geomorfologica previste attualmente dal piano regolatore.

Il rilevato previsto risulta altresì verificato con un franco minimo di sicurezza > 1 m rispetto alla piena duecentennale e pertanto si ritiene soddisfatta la compatibilità idraulica delle attività edificatorie sui terreni in esame se il piano di calpestio del piano terra verrà impostato ad una quota pari o superiore a 146,70 m s.l.m.

Mentre si è constatato che l'allargamento dell'attraversamento seppure migliorativo della funzionalità idraulica del Rio Quarto non è determinante per l'edificazione delle aree in quanto non è sufficiente a garantire con i dovuti margini di sicurezza che le stesse non vengano esondate durante gli eventi di piena. Infatti come si vede nella simulazione riportata nell'allegato 3 nelle sezioni 5 e 6 i livelli di piena sono praticamente pari al ciglio della sponda. Inoltre ovviamente nelle sezioni a valle di Via Calcini permane l'esondazione in sponda sinistra in quanto non influenzata dall'allargamento dell'attraversamento.

6. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI DA ADOTTARE PER L'EDIFICAZIONE

Lo studio idraulico di approfondimento svolto la cui finalità principale è quella di definire accorgimenti e prescrizioni da adottare per attuare l'edificazione delle aree ubicate in frazione Valenzani sulla sponda destra del Rio Quarto individuate dai mappali 460, 812, 845, 846, 847, 848, 849 del fg. 18, individuate dal PRGC come aree IIIb2 (aree a pericolosità geomorfologica medio-moderata) ha evidenziato che nella situazione attuale parte di tali aree verrebbero interessate dall'esondazione delle portate di piena con tempo di ritorno di 50 anni e 200 anni.

I risultati della simulazione di deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno di 50 anni e 200 anni nella configurazione attuale sono riportati nell'allegato 2. Sulla tavola grafica allegata n°3 sono riportate in planimetria le fasce di espansione delle piene con tempo di ritorno 50 anni e 200 anni per la configurazione attuale e sulle sezioni sono riportati i livelli idrometrici raggiunti dalle portate di piena. Sulla stessa tavola su base catastale sono riportate le classificazioni della Tavola 1bis "Variante strutturale al P.R.G.C. con modifica al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)".

Dal vaglio delle varie ipotesi di possibili interventi da attuare per poter edificare in sicurezza le aree oggetto di studio si è visto che l'ipotesi dell'allargamento dell'attraversamento della S.C. Calcini, sostituendo l'attuale tubo Ø 2500 mm con un condotto a sezione rettangolare avente luce 5,5 m e altezza 3 m, pur facendo registrare un miglioramento nel deflusso delle piene con riduzione dei tiranti idrici a monte dell'attraversamento non garantisce un adeguato franco di sicurezza rispetto ai terreni oggetto di studio. Inoltre per quanto riguarda i terreni posizionati tra le sezioni 2-2 e le sezioni 4-4 non vi è miglioramento in quanto il livello idrometrico raggiunto dalle piene in tali sezioni è condizionato dal rigurgito provocato dal tratto intubato prospiciente i capannoni esistenti (cfr. risultati della simulazione idraulica riportati nell'allegato 3).

Partendo dall'osservazione che la quota a cui sono edificati i capannoni delle ditte Gervasio e MGA ubicate sui mappali 814 e 815 è di tutta sicurezza rispetto alle piene, infatti a fronte di un livello raggiunto nella sezione n° 2 pari a 144,17 m s.l.m. per la piena cinquantennale e 144,37 m s.l.m. per la piena duecentennale la quota del piano terreno dei capannoni esistenti è pari a 146,70 m s.l.m., si è ipotizzato di imporre la stessa quota di edificazione per i terreni a monte.

I risultati delle verifiche confermano che imponendo come quota di edificazione per il piano terra dei fabbricati la quota del piano di edificazione dei capannoni esistenti a valle, il franco che si avrebbe rispetto ai livelli idrometrici raggiunti dal Rio Quarto anche per le portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni sono maggiori di 1 m e quindi di tutta sicurezza pur senza apportare modifiche all'attraversamento della S.C. Calcini.

Dalle simulazioni idrauliche effettuate ipotizzando la realizzazione di un rilevato riportato negli allegati 4a e 4b si constata che la limitazione dell'area di espansione della piena dal lato della sponda sinistra prodotta dal rilevato comporta solamente un minimo allargamento dell'area di espansione i destra, ma solamente sui mappali che già attualmente sono classificati come aree di classe IIIa4 (aree potenzialmente inondabili), mentre per la zona in sponda destra classificata attualmente come classe IIb non vi è nessuna variazione.

Pertanto dopo le indagini svolte e le modellazioni idrauliche eseguite, i cui risultati sono illustrati nei precedenti paragrafi e sulle tavole grafiche, le prescrizioni da adottare per l'edificazione delle aree indagate sono le seguenti:

- **l'edificazione dei terreni individuati con i mappali 460, 812, 845, 846, 847, 848, 849 del fg 18 potrà essere realizzata a condizione che non vengano costruiti interrati e la quota del piano di calpestio del piano più basso degli edifici sia impostato ad una quota pari o superiore a 146,70 m s.l.m. ovvero della quota del piano terra dei capannoni esistenti delle ditte Gervasio e MGA;**
- **la sponda dei rilevati su cui saranno costruiti gli edifici artigianali , dal lato verso il Rio Quarto dovranno essere realizzati con caratteristiche tali da resistere all'azione della corrente idrica che in caso di esondazione potrebbe lambirli ed essere impermeabili all'acqua;**
- **si effettui una risagomatura delle sezioni dell'alveo del Rio Quarto nel tratto a monte dell'attraversamento della S.C. Calcini portandole alla stessa dimensione di quelle a valle e si effettui regolarmente il taglio delle piante sulle sponde del Rio Quarto;**
- **si effettui la manutenzione dell'attraversamento della S.C. Calcini asportando il materiale che si è depositato all'interno del tubo che ne ostruisce parzialmente la sezione. Si precisa che la sezione del tubo di attraversamento dovrà essere costantemente mantenuta pulita e sgombra da materiale;**
- **si mantenga pulito l'alveo e le sponde della roggia che costeggia il lato Nord del mappale 460 del Fg. 18 e venga effettuata regolarmente la pulizia del tubo in cemento di attraversamento della strada.**

Si precisa che per quanto riguarda la realizzazione dei rilevati necessari per l'edificazione dei mappali 460, 812, 845, 846, 847, 848, 849 del fg 18 questa potrà avvenire anche in due lotti distinti: un lotto che interesserà i terreni a monte di via Calcini (mappale n 460) e un altro lotto che intersserà i mappali 812, 845, 846, 847, 848, 849 ubicati nella zona a valle di via Calcini. Siccome la realizzazione del rilevato previsto in ciascun lotto non ha interfernza con l'altro si specifica che ognuno dei due interventi potrà essere realizzato in maniera del tutto indipendente quindi anche con tempistiche diverse. Eventualmente sarà possibile anche la realizzazione di uno solo dei due lotti.

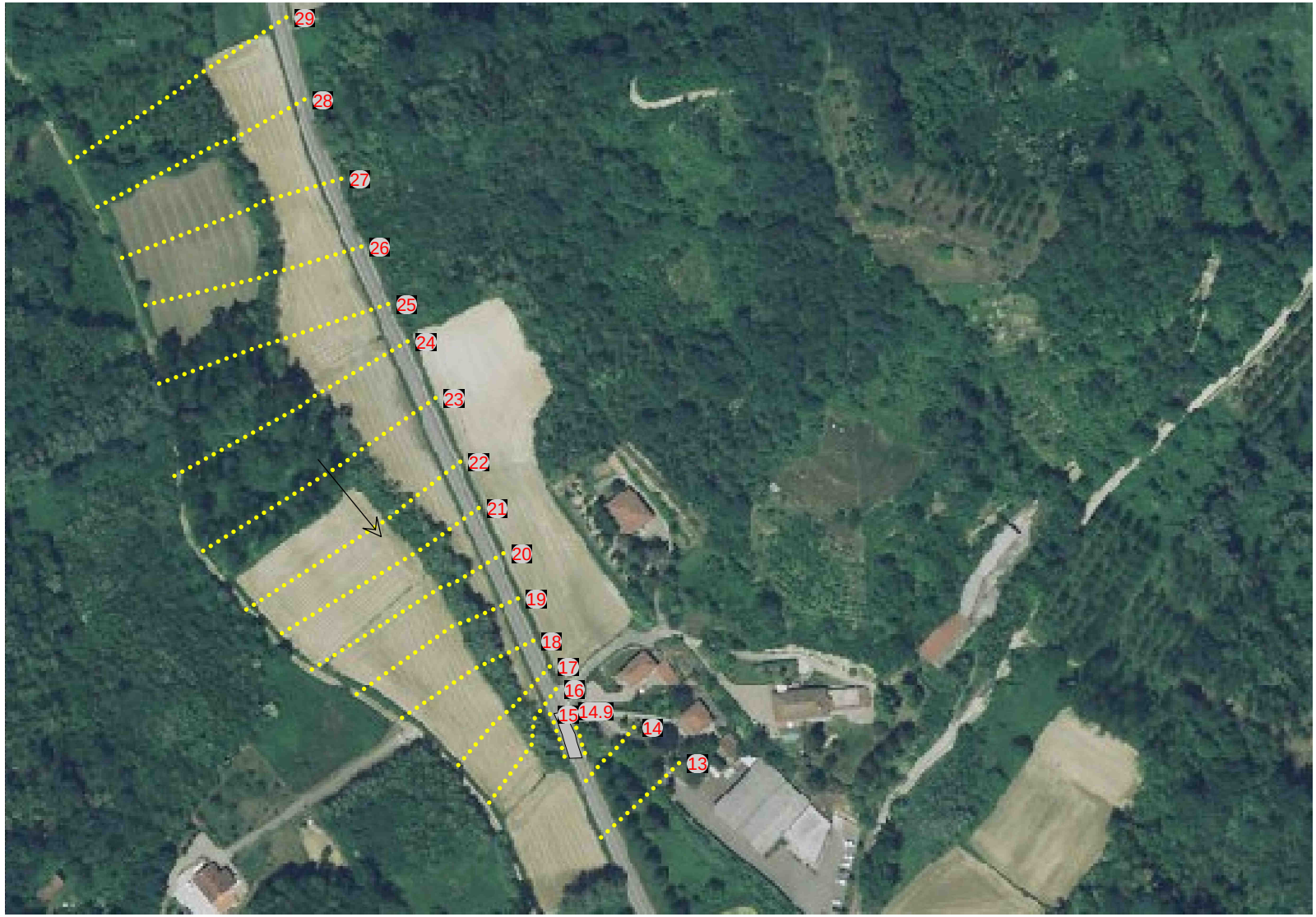
Per quanto riguarda l'esecuzione di ampliamenti dei fabbricati esistenti sul mappale 814 nella zona in cui lo stesso è classificato come IIIB2, poiché il piano attuale del terreno in tale zona è già sufficiemente rialzato rispetto al livello di piena del Rio Quarto si ritiene che l'unico pericolo per tale zona possa essere rappresentato dall'eventuale ostruzione del tratto in cui il Rio Quarto è intubato che è proprio il tratto adiacente al mappale 814. Pertanto le prescrizioni che andranno adottate nel caso di ampliamenti dei fabbricati esistenti in tali porzioni di terreno sono le seguenti:

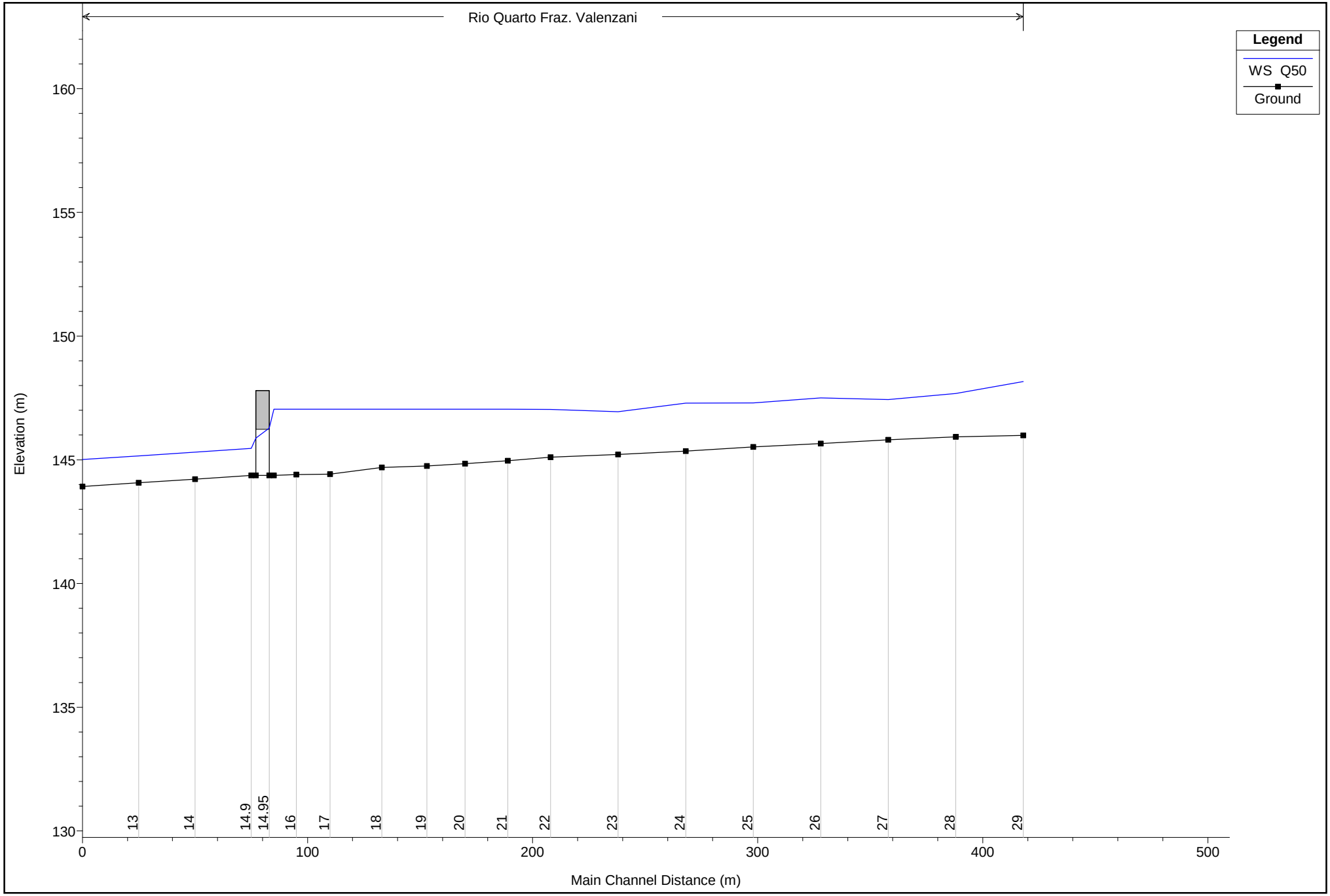
- **impegnarsi a mantenere l'imbocco del tubo libero da detriti o da vegetazione che possa in qualche modo ridurre la sezione di passaggio dell'acqua o favorire in qualche modo l'ostruzione anche parziale del tubo durante le piene;**
- **effettuare almeno annualmente o comunque dopo ogni piena importante una ricognizione all'interno del tubo e provvedere a rimuovere il materiali che si fossero depositati all'interno di esso.**

Inoltre come ulteriore intervento di mitigazione per migliorare la funzionalità idraulica del Rio Quarto nel tratto esaminato, anche se non strettamente indispensabile per l'edificazione delle aree, si consiglia di sostituire l'attuale attraversamento della S.C. Calcini con uno avente una sezione idonea al deflusso delle portate di piena con tempo di ritorno duecentennale.

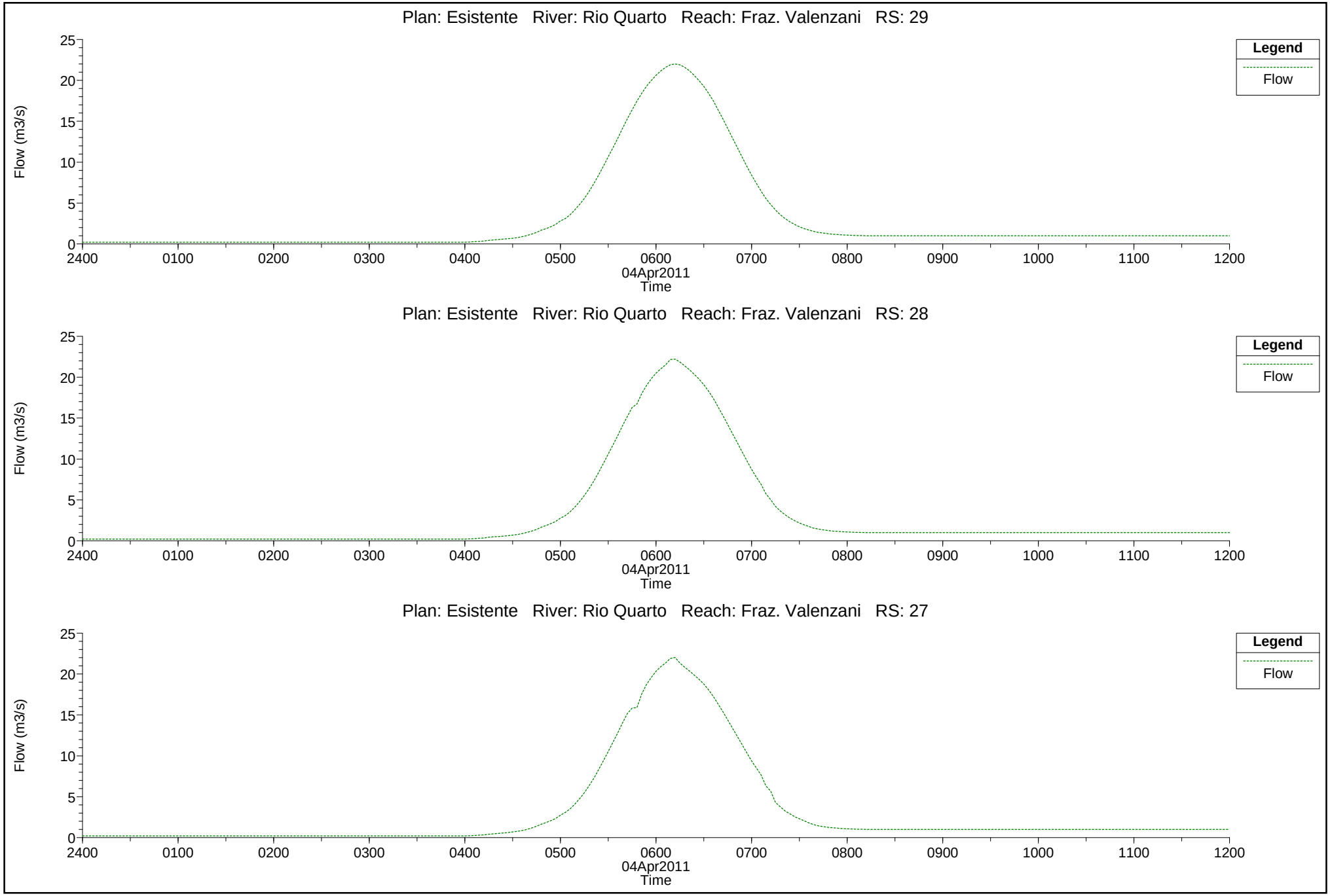
ALLEGATO 1A

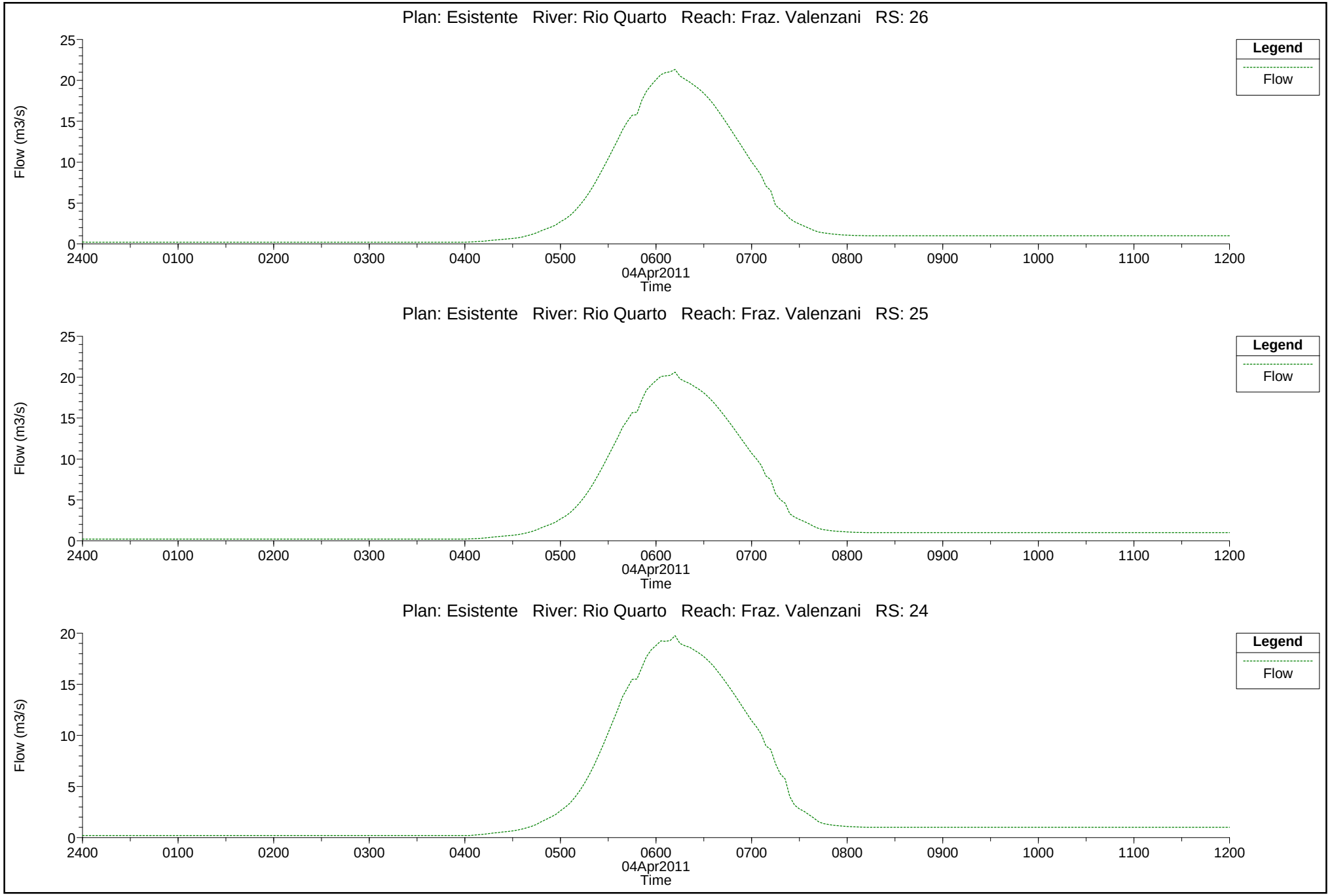
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO VARIO PER LA Q50

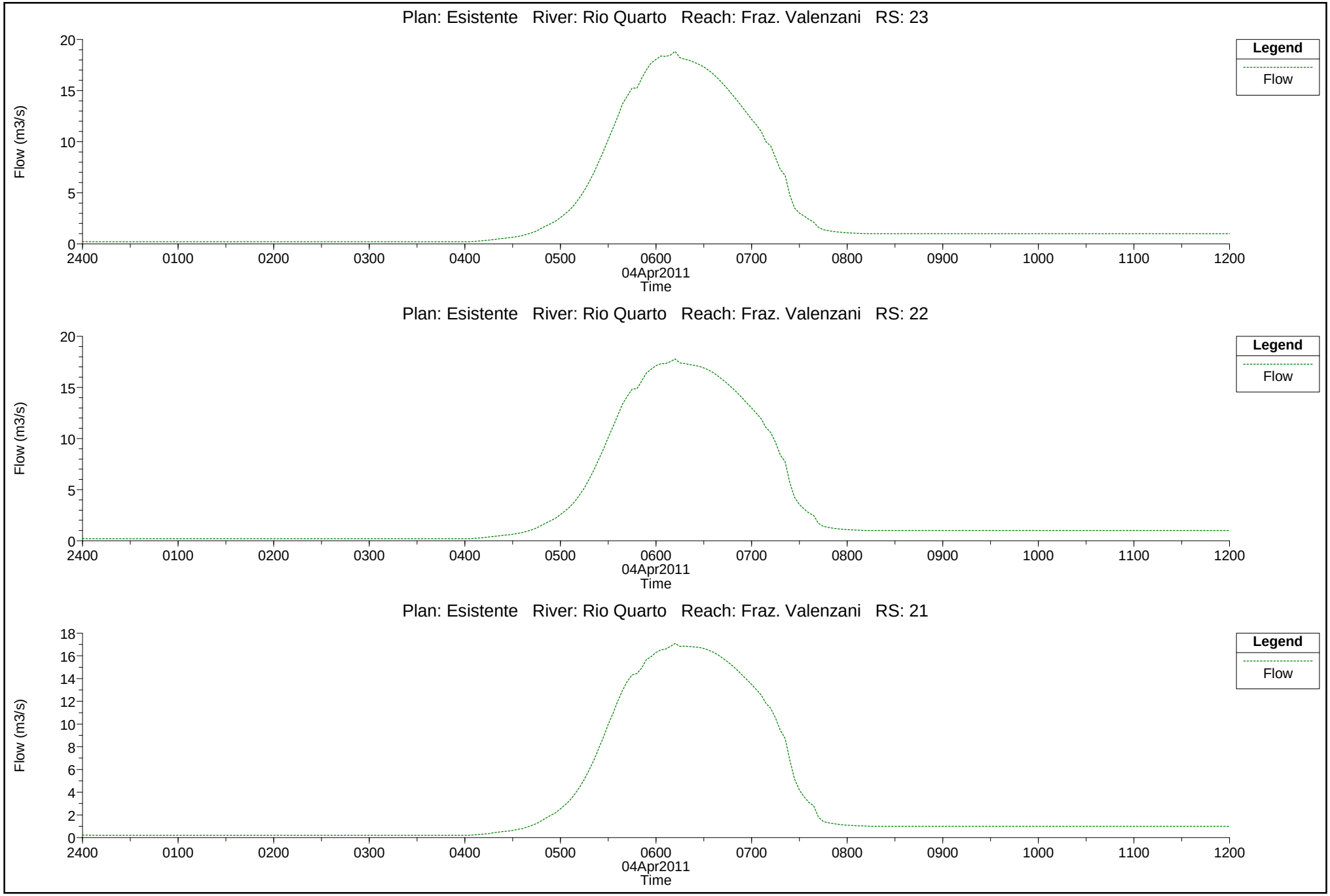

29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14.9
14
13

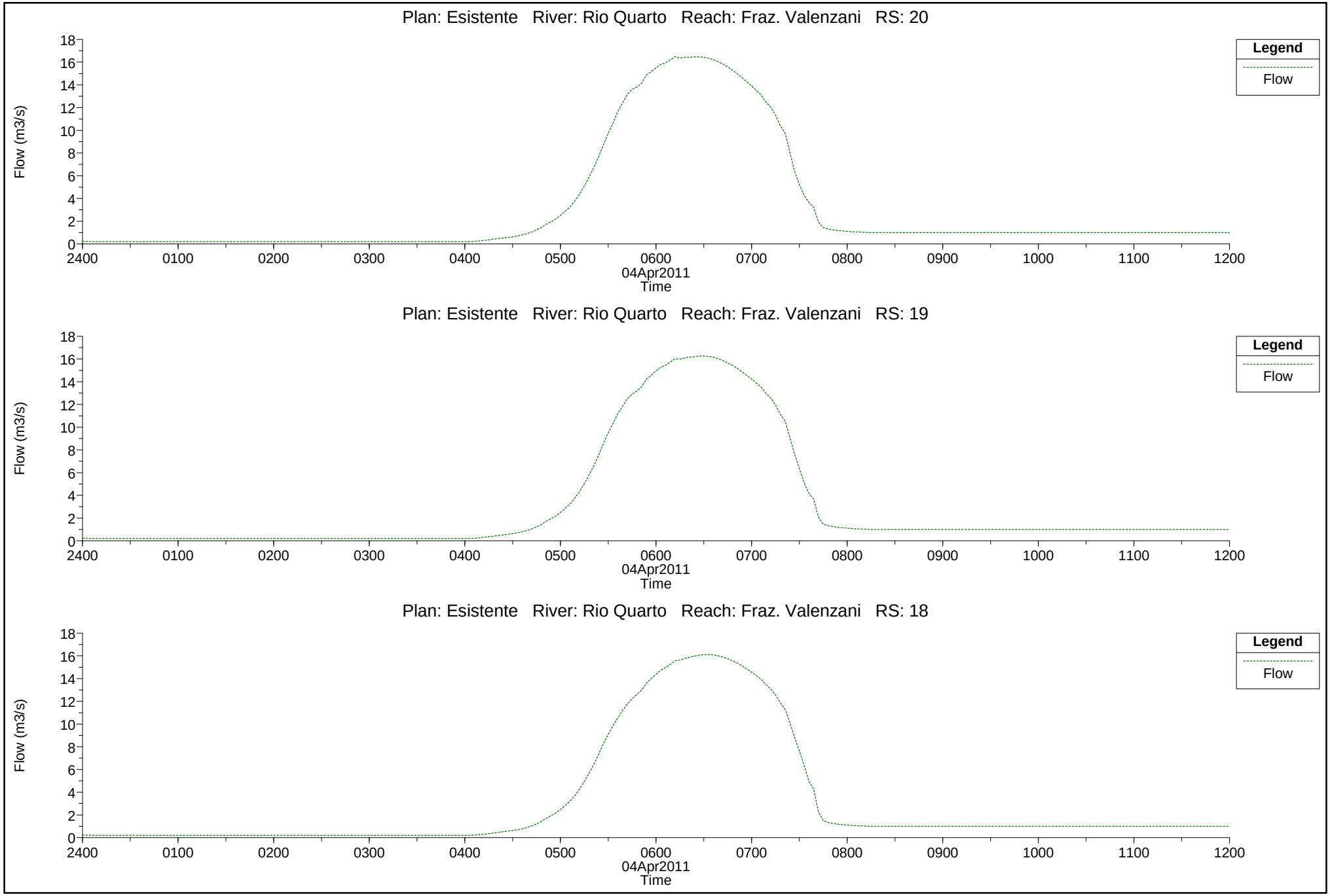


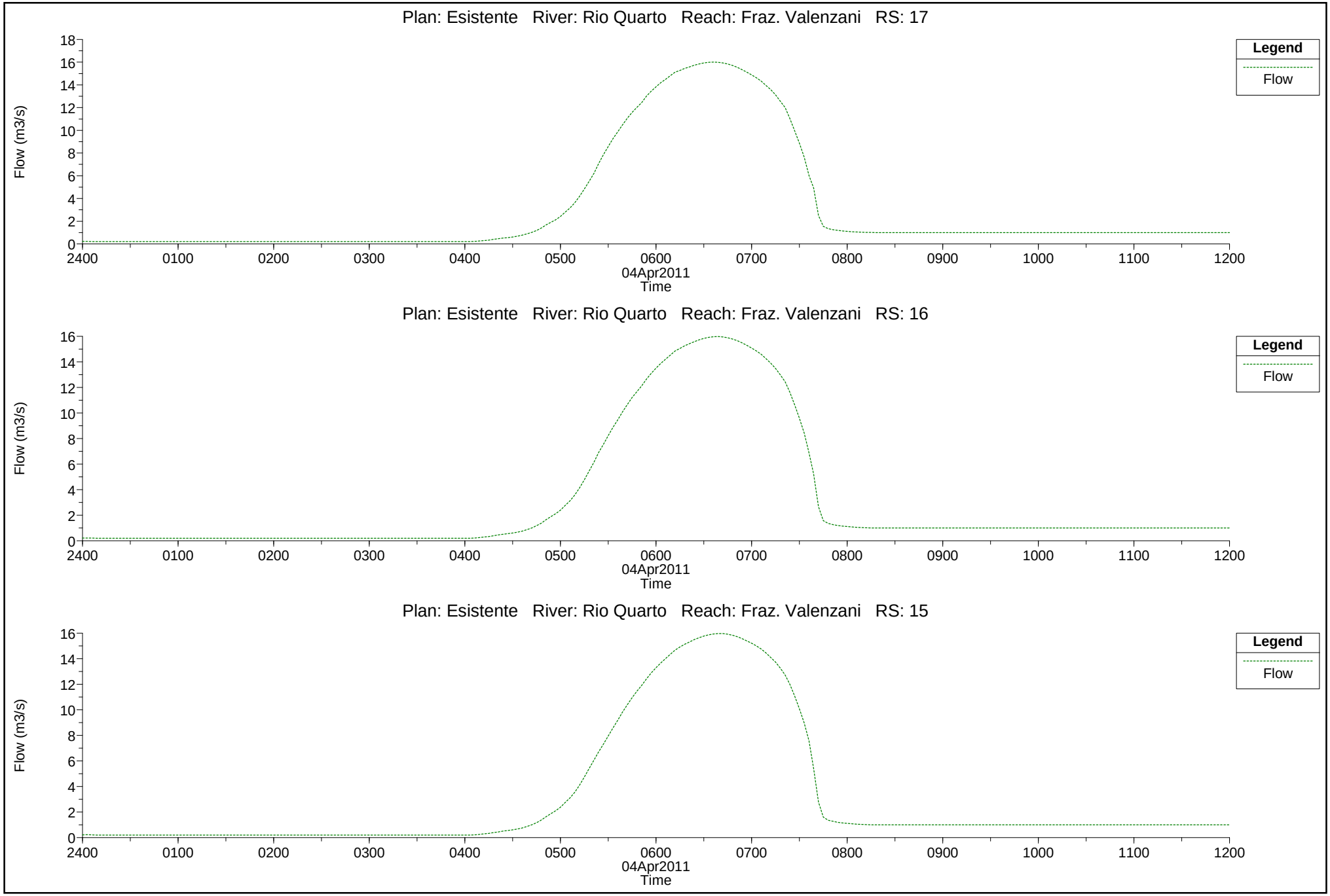
1 cm Horiz. = 22 m 1 cm Vert. = 2 m

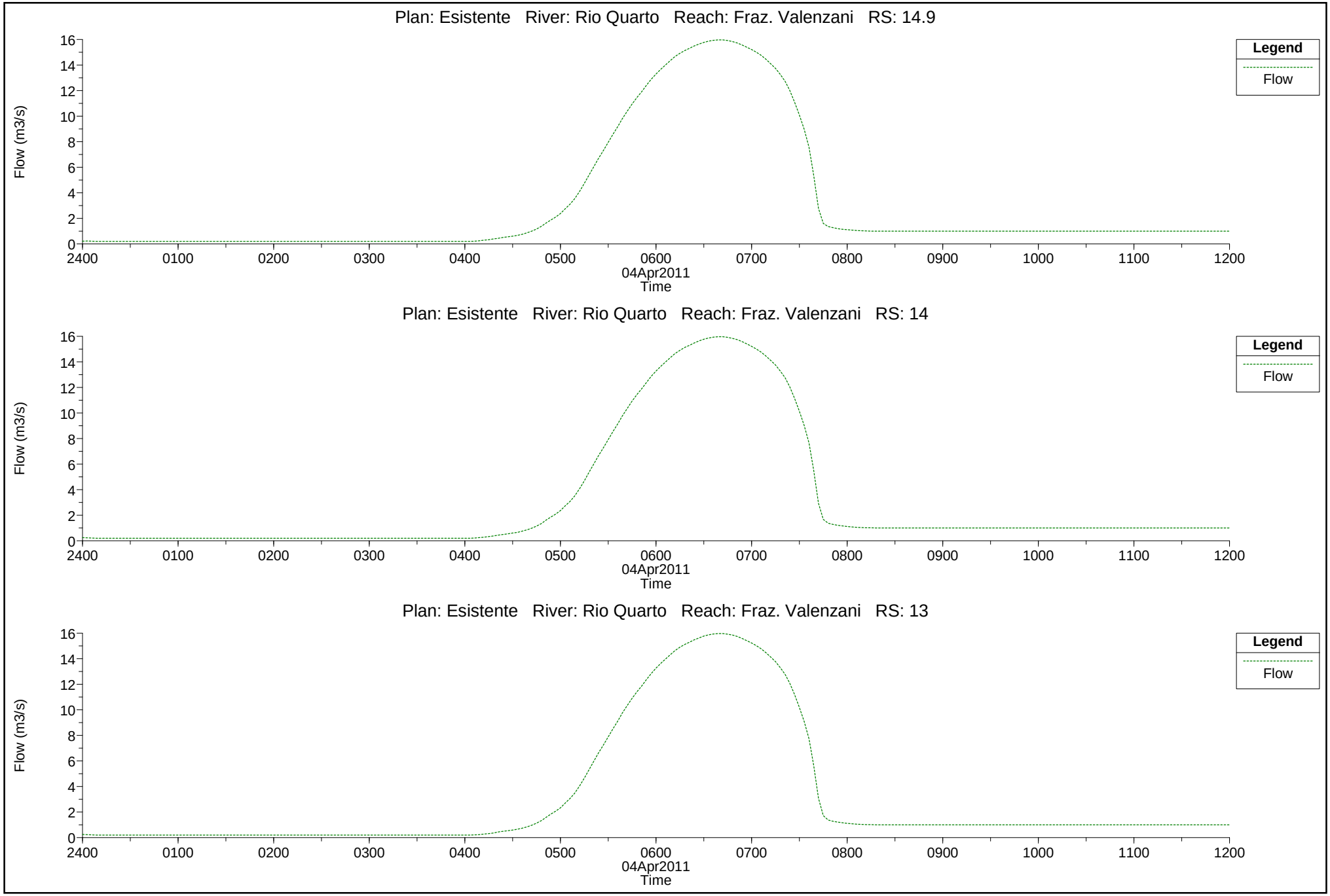

Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 29
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 28
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 27
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 26
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 25
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 24
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 23
Flow (m3/s)
20
15
10
5
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 22
Flow (m3/s)
20
15
10
5
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 21
Flow (m3/s)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow


Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 20
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 19
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 18
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 17
Flow (m3/s)
Legend
Flow
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 16
Flow (m3/s)
Legend
Flow
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 15
Flow (m3/s)
Legend
Flow
04Apr2011
Time

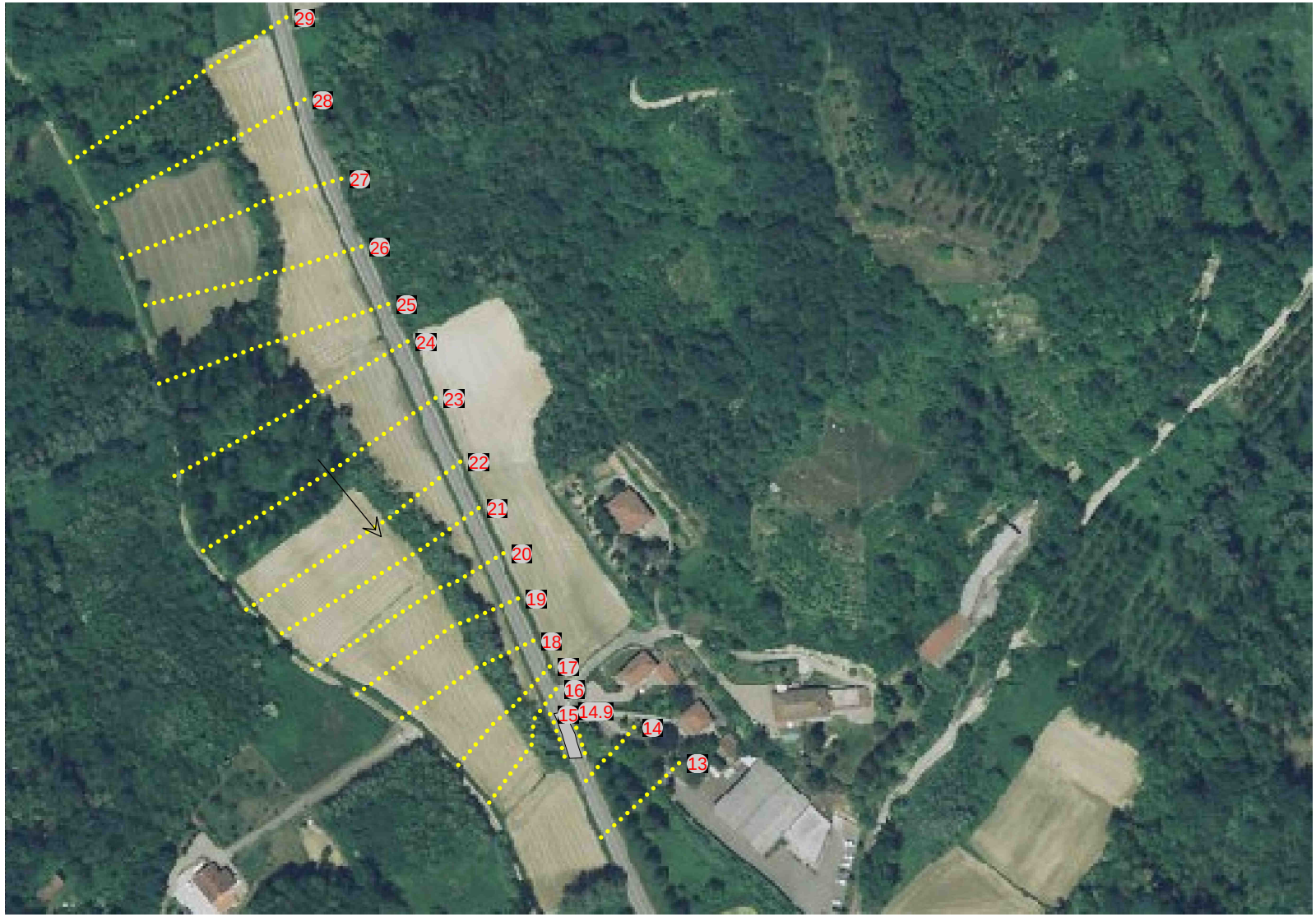

Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 14.9
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 14
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 13
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time

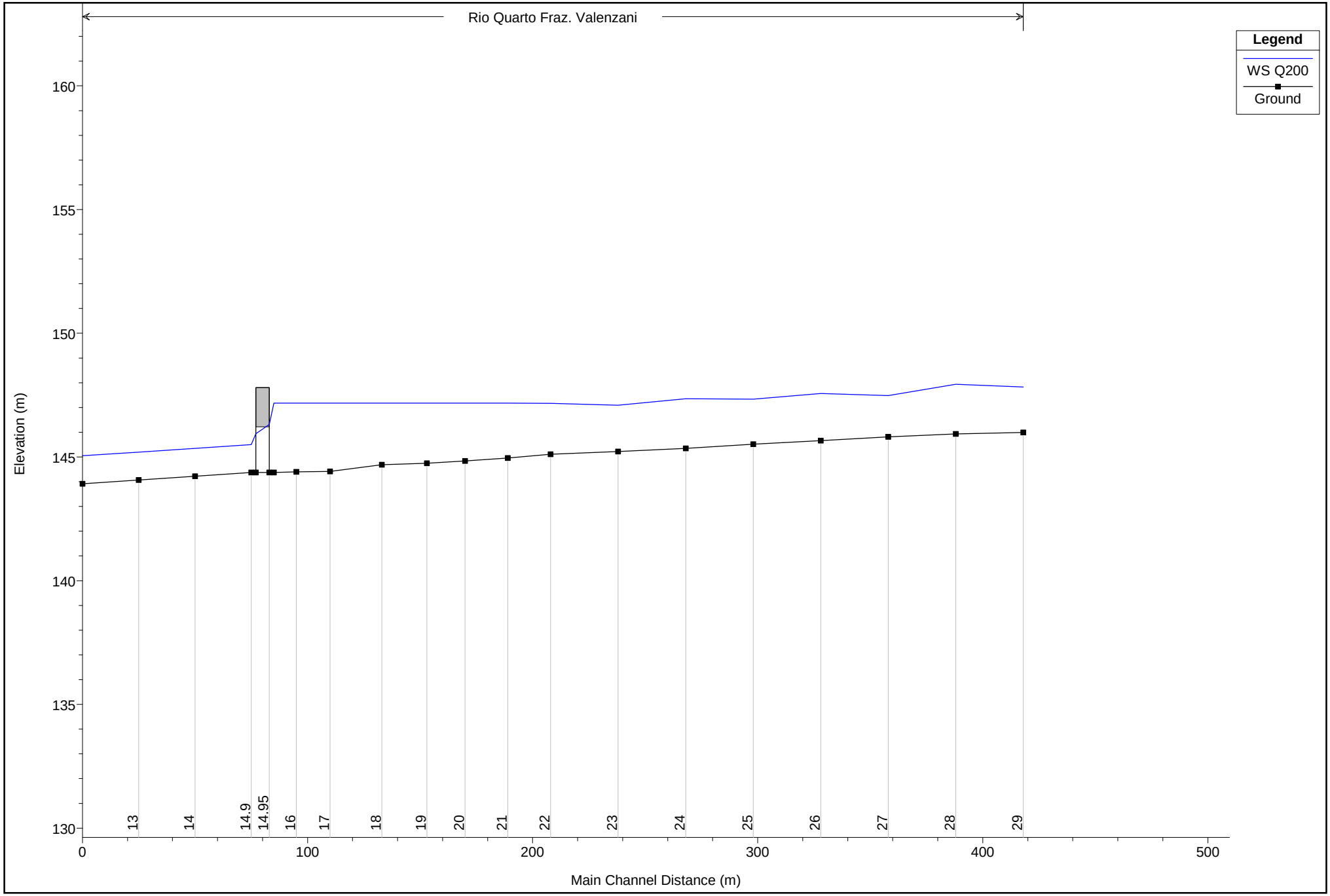
VALORI DI PORTATA CINQUANTENNALE AL COLMO	
Sezione	Portata (mc/s)
29	22.00
28	21.75
27	21.51
26	21.33
25	20.62
24	19.18
23	18.84
22	19.79
21	17.10
20	16.48
19	16.27
18	16.11
17	16.01
16	15.98
15	15.97
14.9	15.97
14	15.97
13	15.97

PLANIMETRIA VOLUMI DI INVASO PER LA PORTATA DI PIENA CINQUANTENNNALE

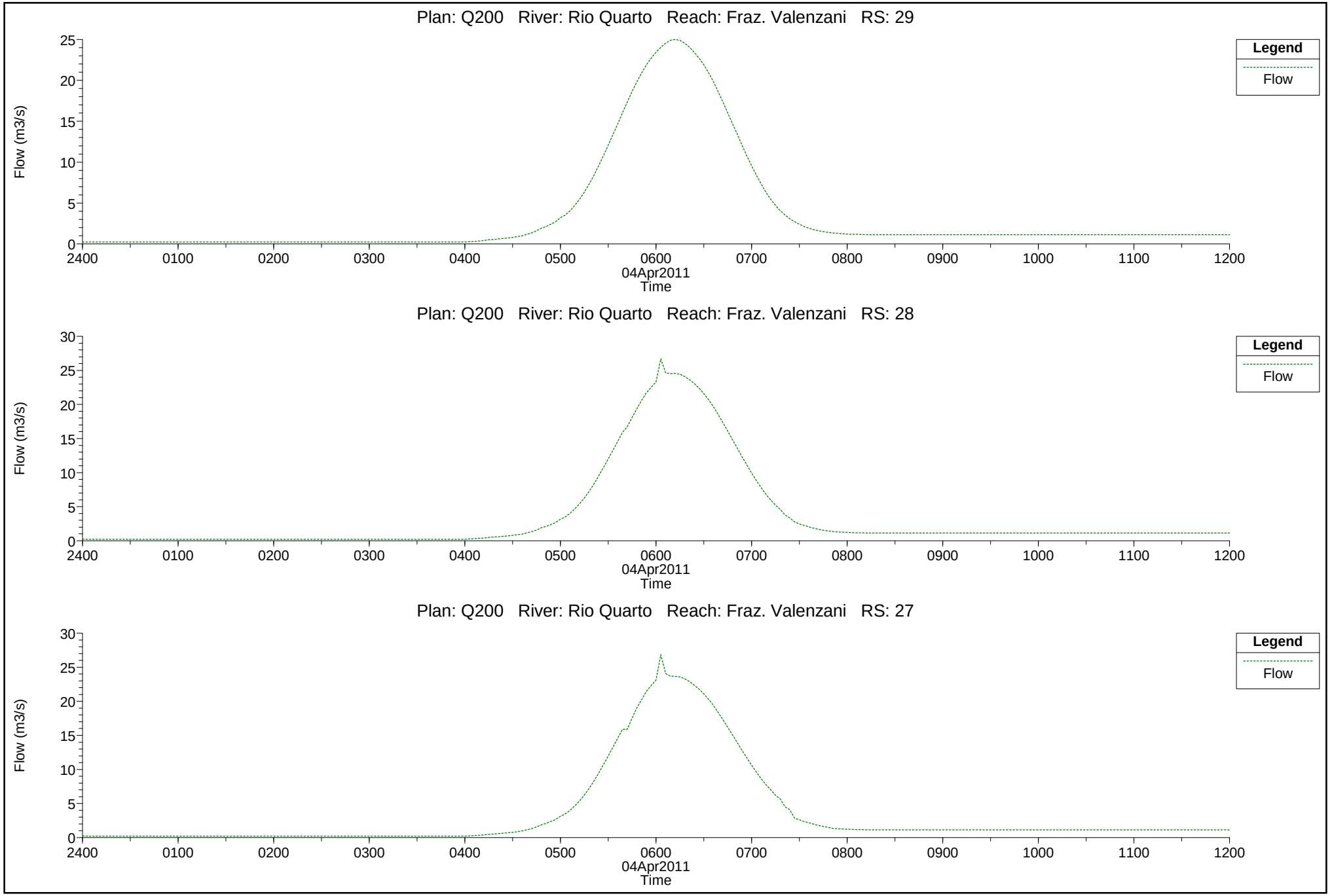
ALLEGATO 1B

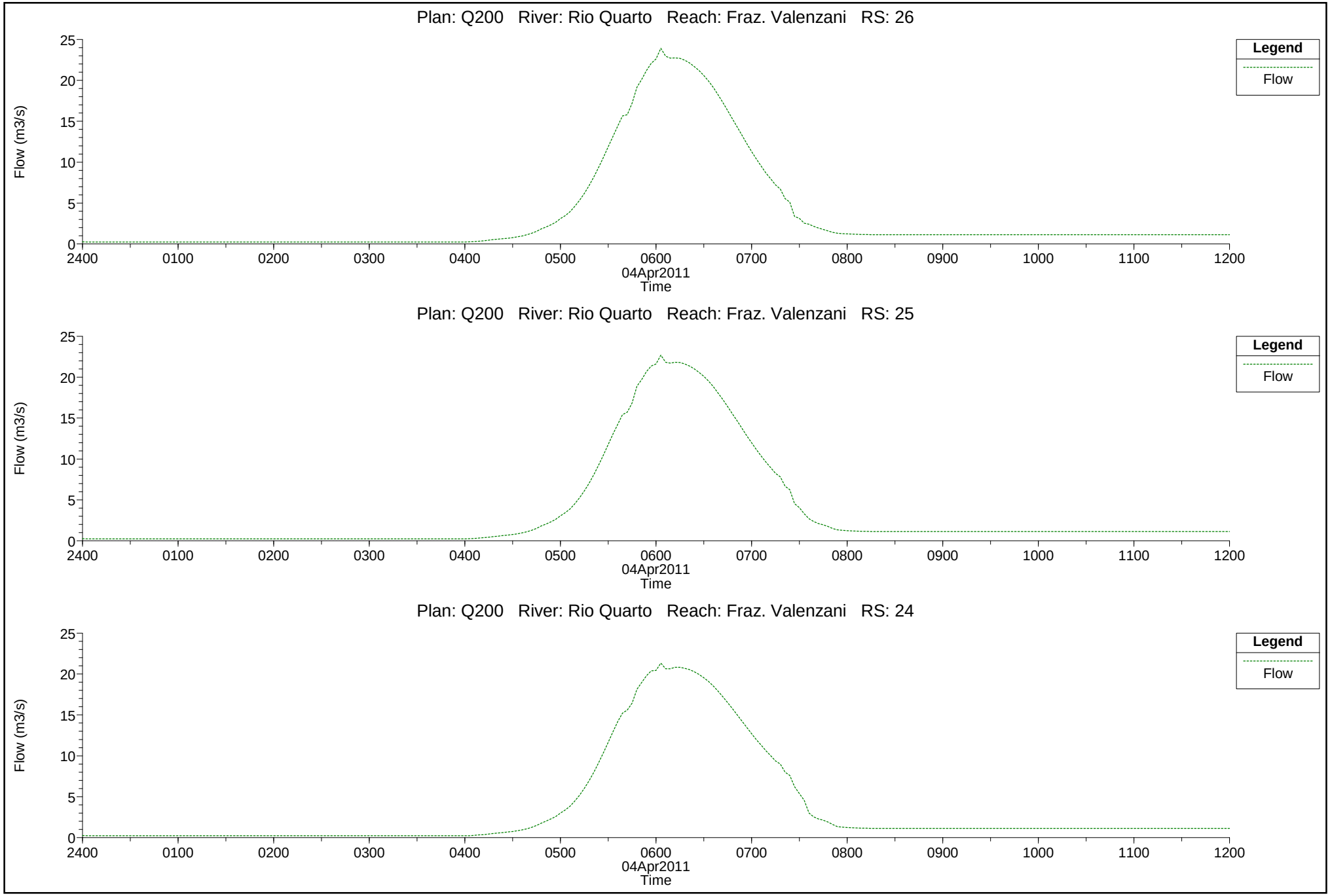
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO VARIO PER LA Q200

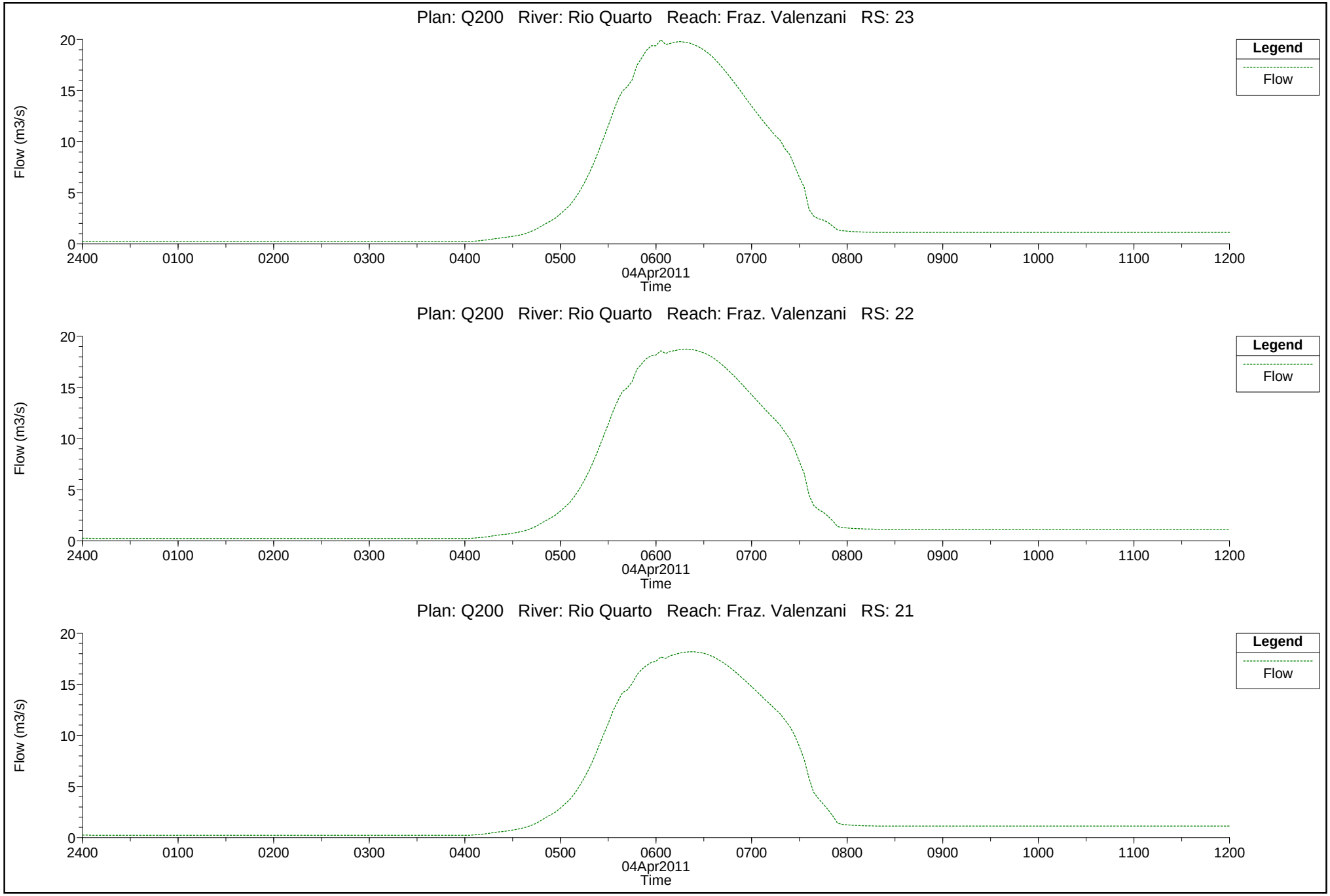

29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14.9
14
13

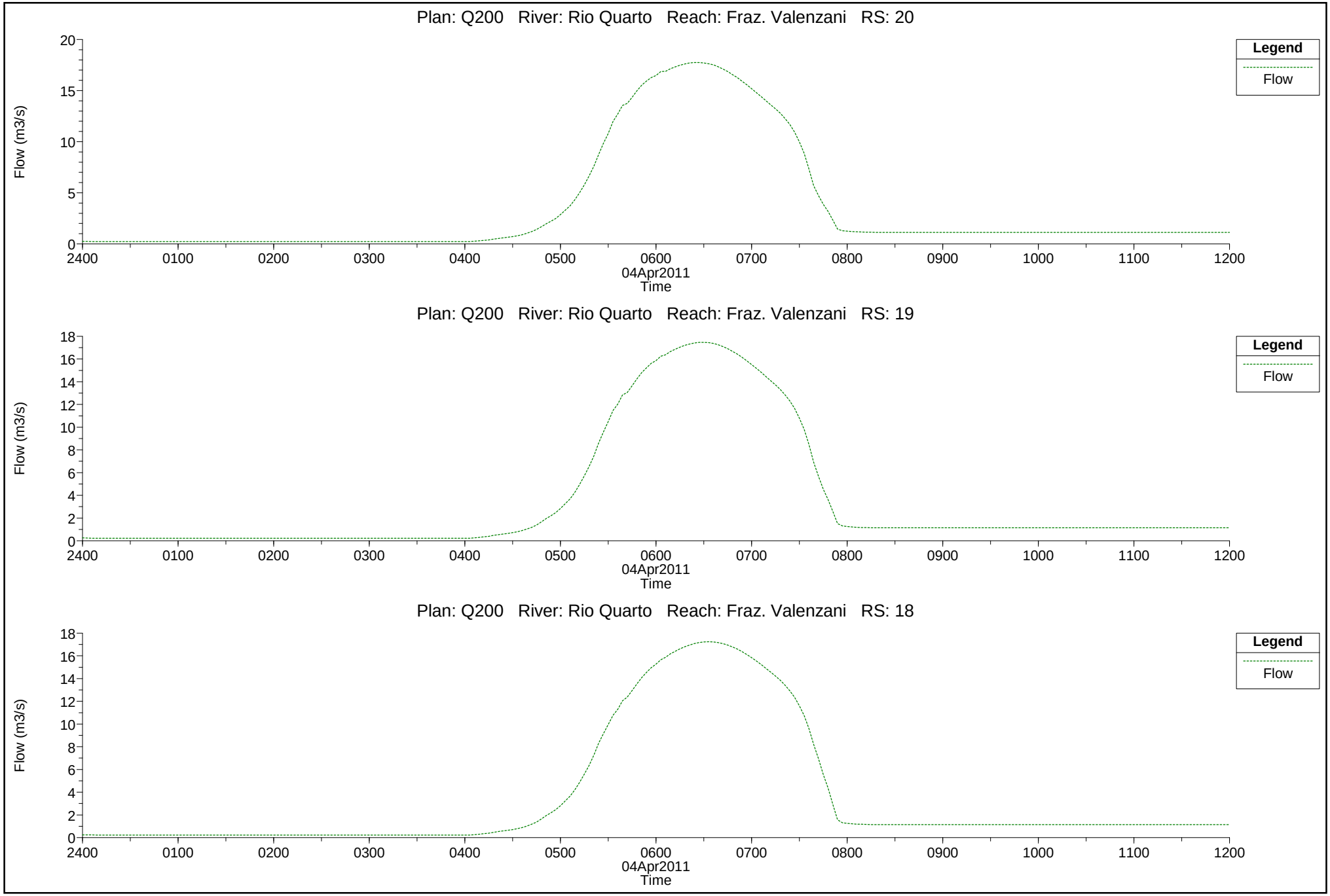


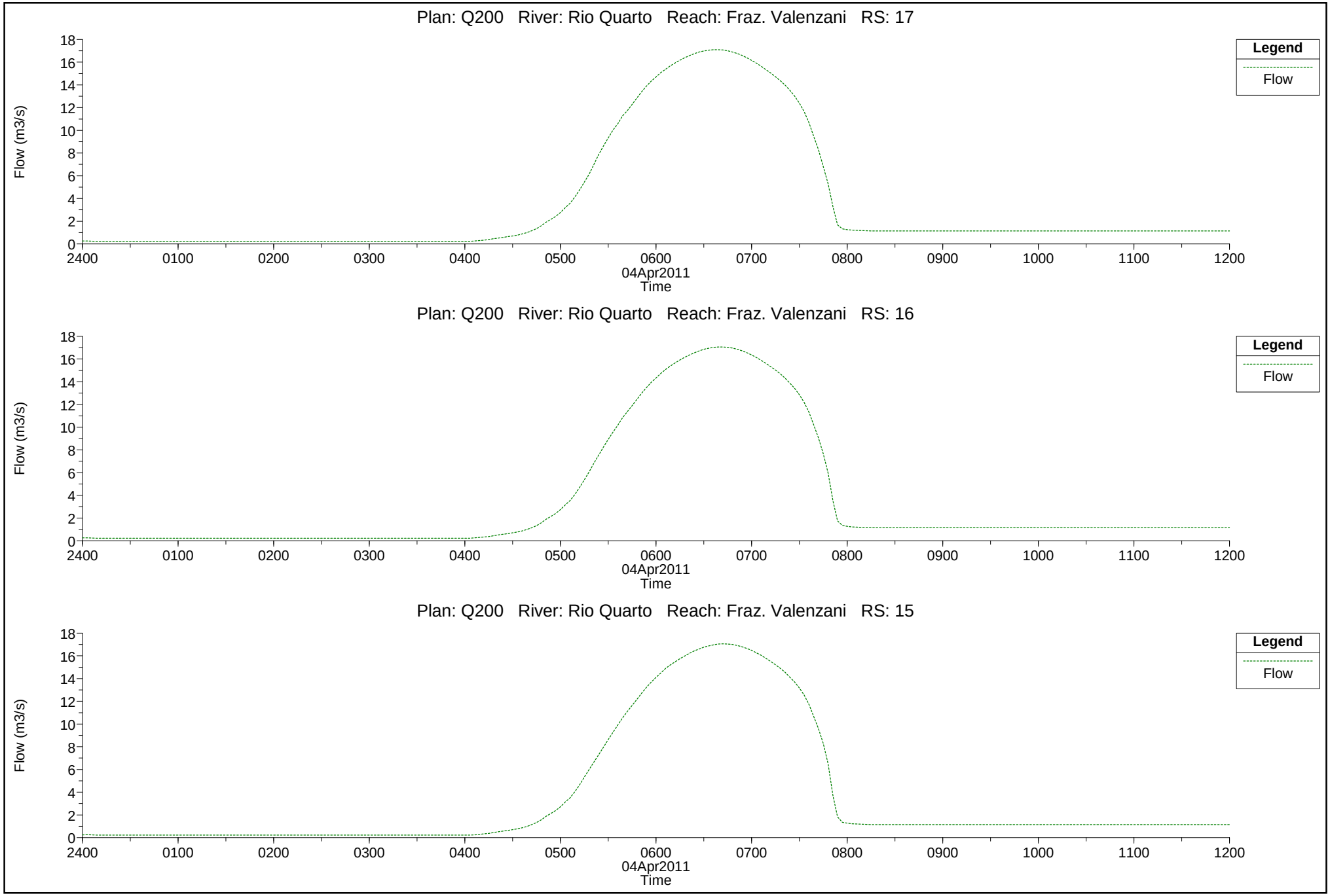
1 cm Horiz. = 22 m 1 cm Vert. = 2 m

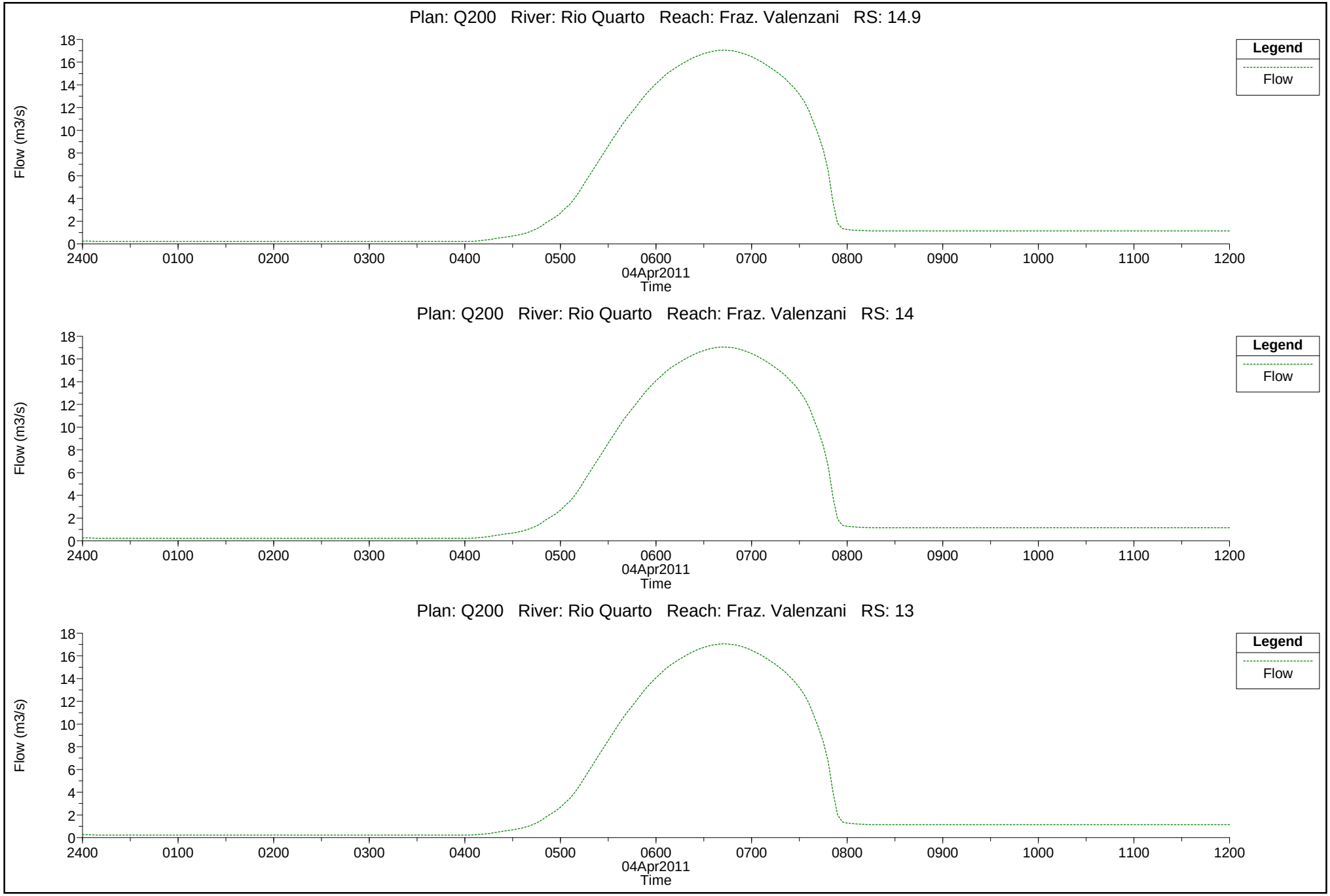

Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 29
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 28
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
30
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 27
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
30
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 26
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 25
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 24
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
25
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 23
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 22
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 21
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
5
10
15
20
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time


Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 20
Flow (m3/s)
20
15
10
5
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 19
Flow (m3/s)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 18
Flow (m3/s)
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Legend
Flow


Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 17
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 16
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 15
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time

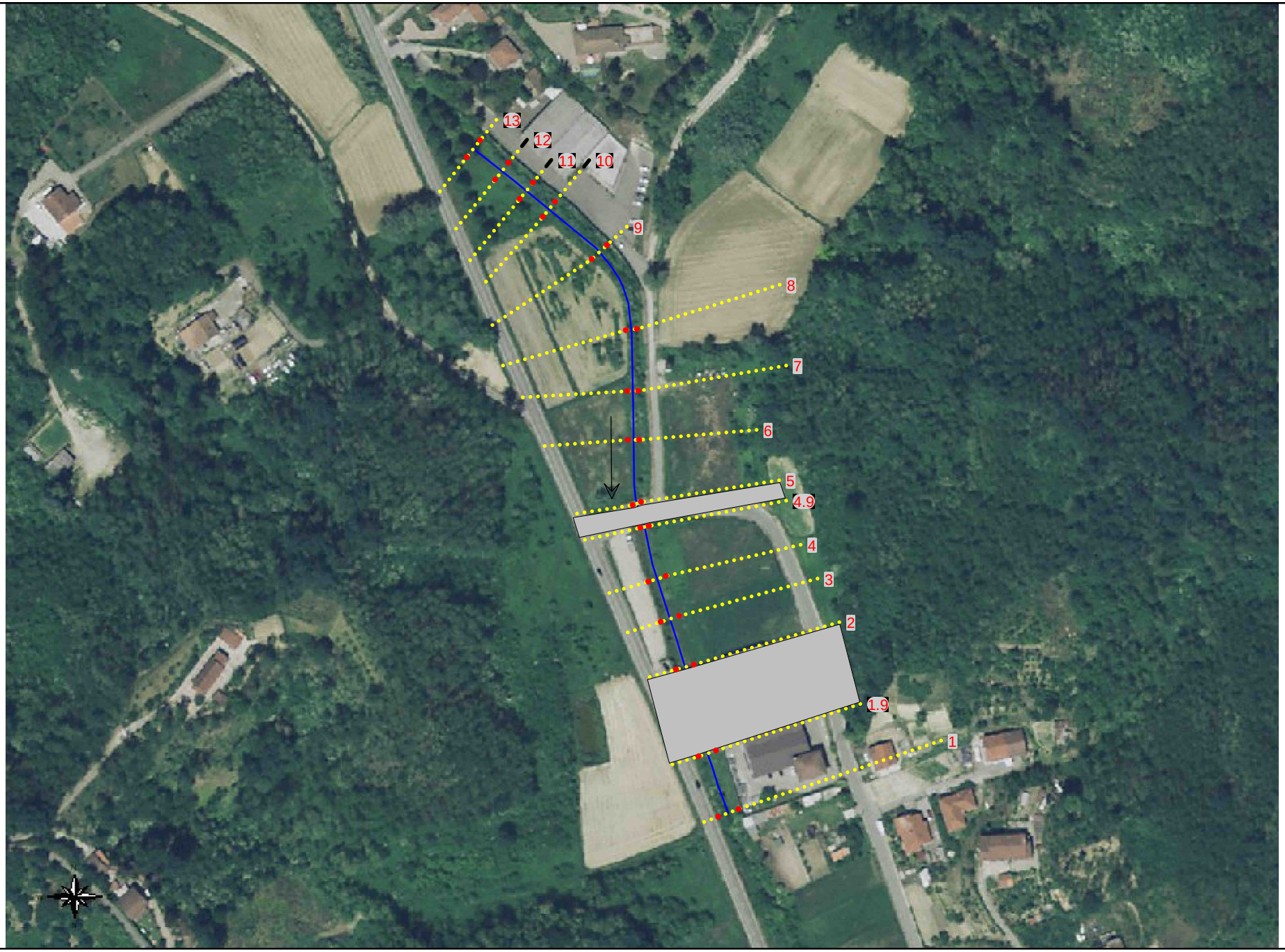

Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 14.9
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 14
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time
Plan: Q200 River: Rio Quarto Reach: Fraz. Valenzani RS: 13
Legend
Flow
Flow (m3/s)
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
2400
0100
0200
0300
0400
0500
0600
0700
0800
0900
1000
1100
1200
04Apr2011
Time

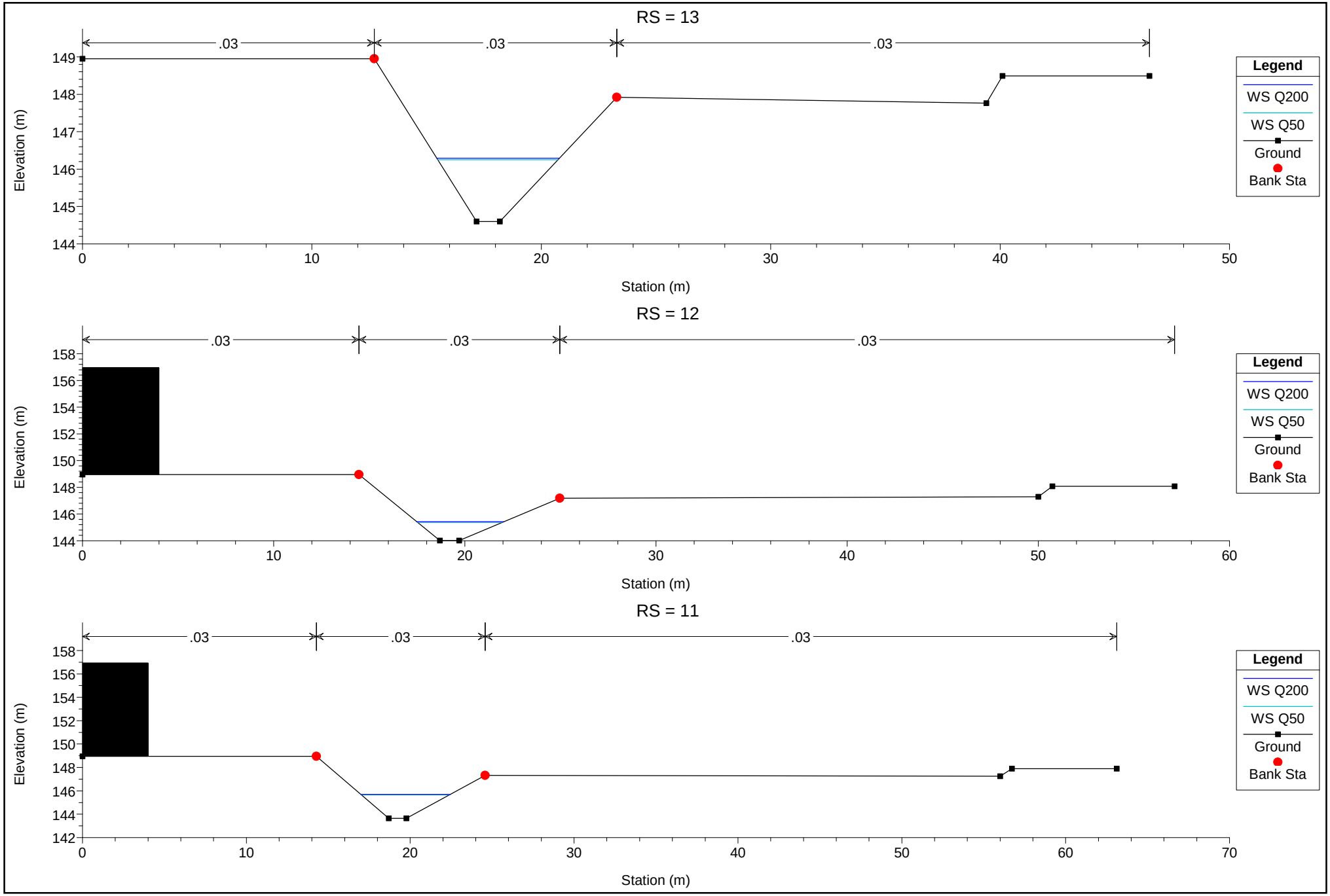
VALORI DI PORTATA DUECENTENNALE AL COLMO	
Sezione	Portata (mc/s)
29	25.00
28	24.61
27	24.08
26	22.94
25	21.73
24	20.82
23	19.79
22	18.72
21	18.18
20	17.75
19	17.47
18	17.25
17	17.11
16	17.06
15	17.06
14.9	17.06
14	17.06
13	17.06

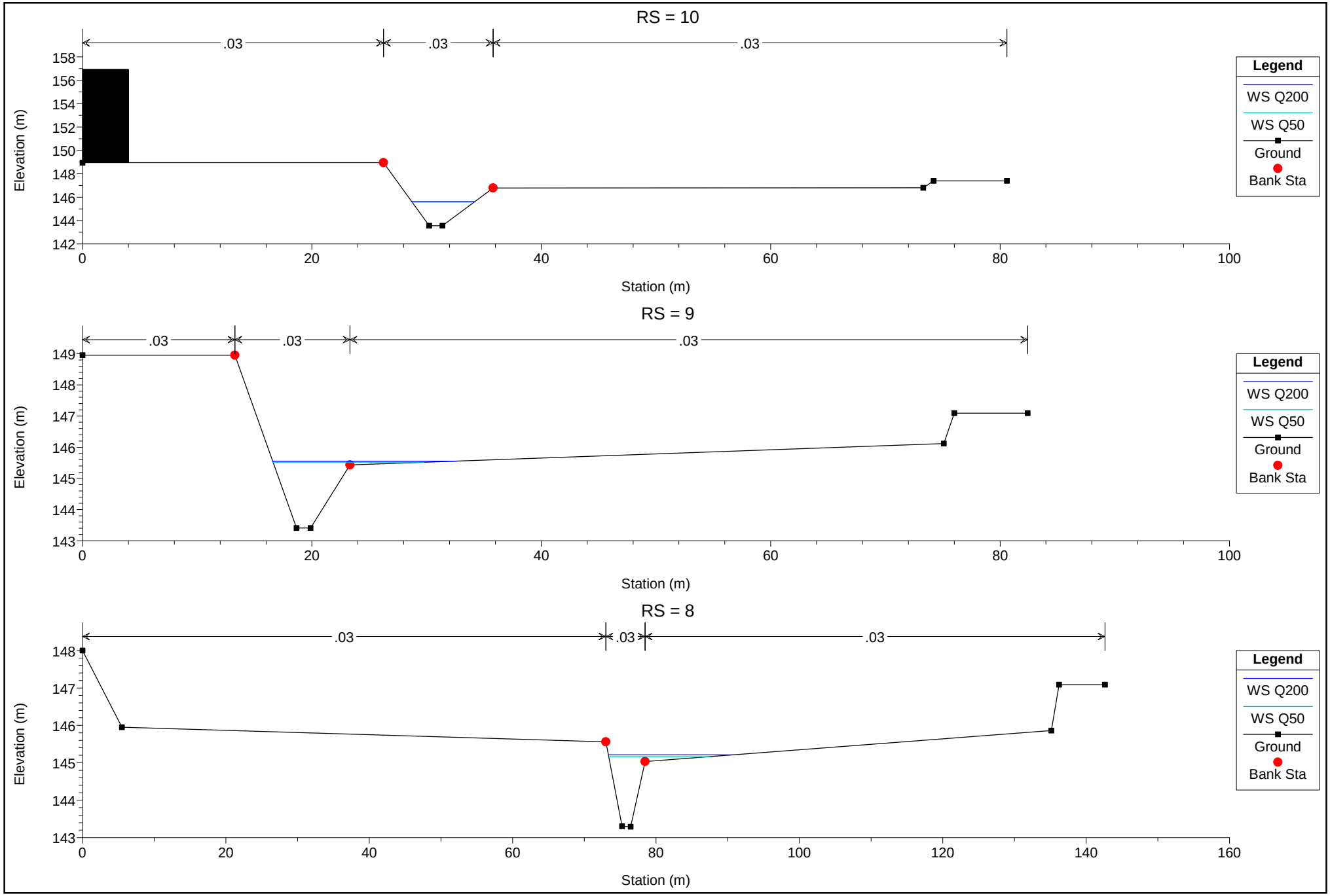
PLANIMETRIA VOLUMI DI INVASO PER LA PORTATA DI PIENA DUECENTENNNALE

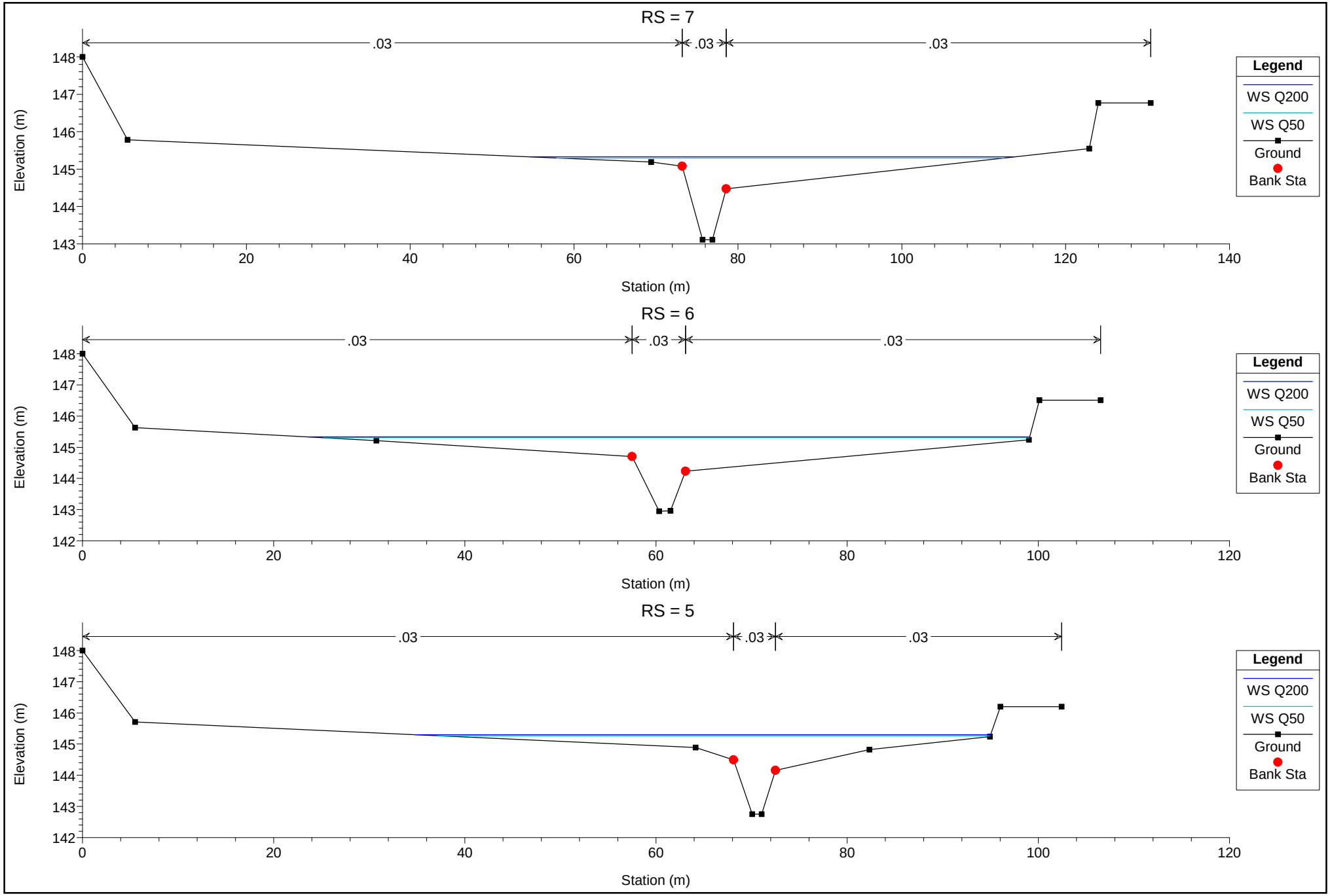
ALLEGATO 2

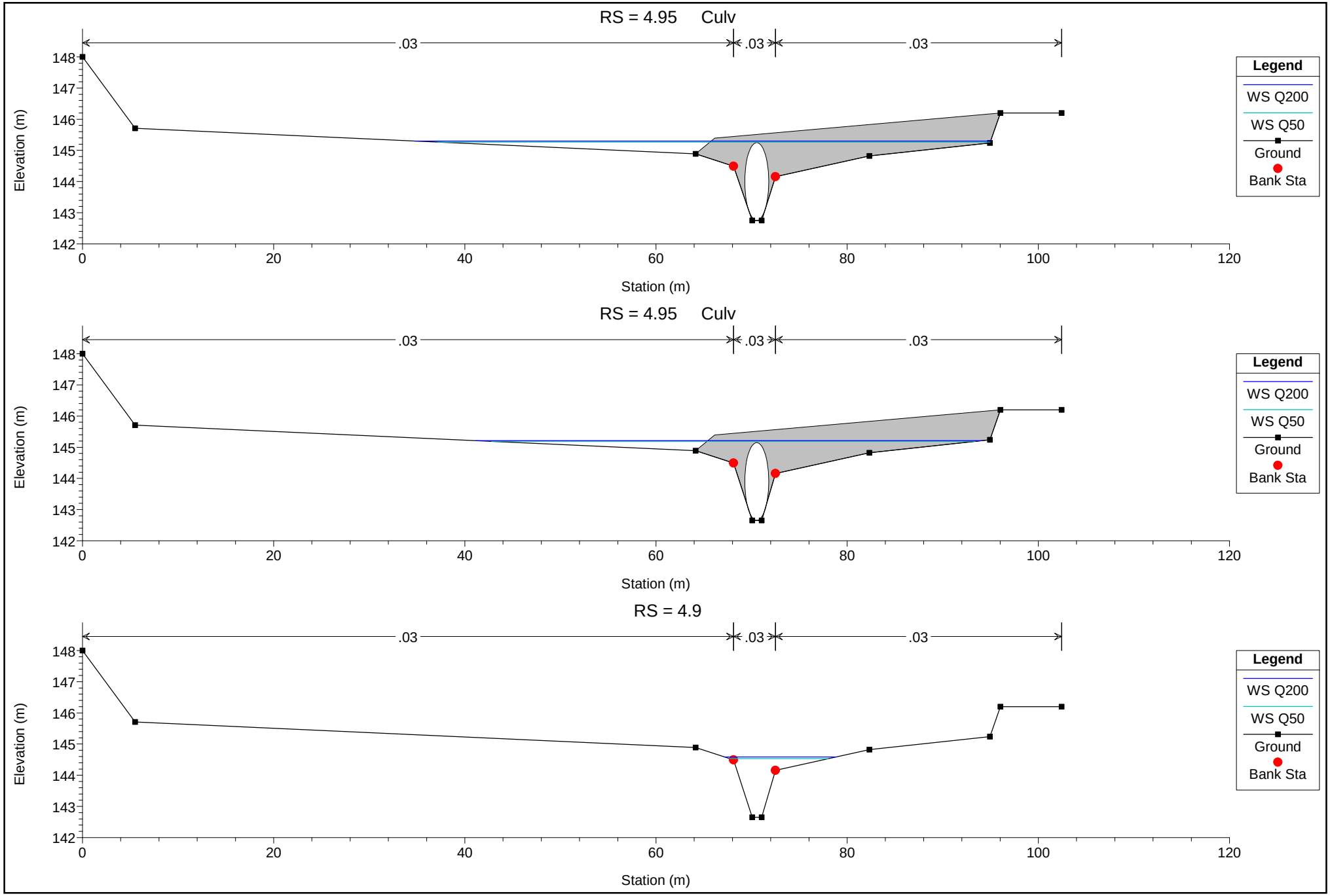
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE PER LO STATO ATTUALE CON PORTATE Q50 E Q200

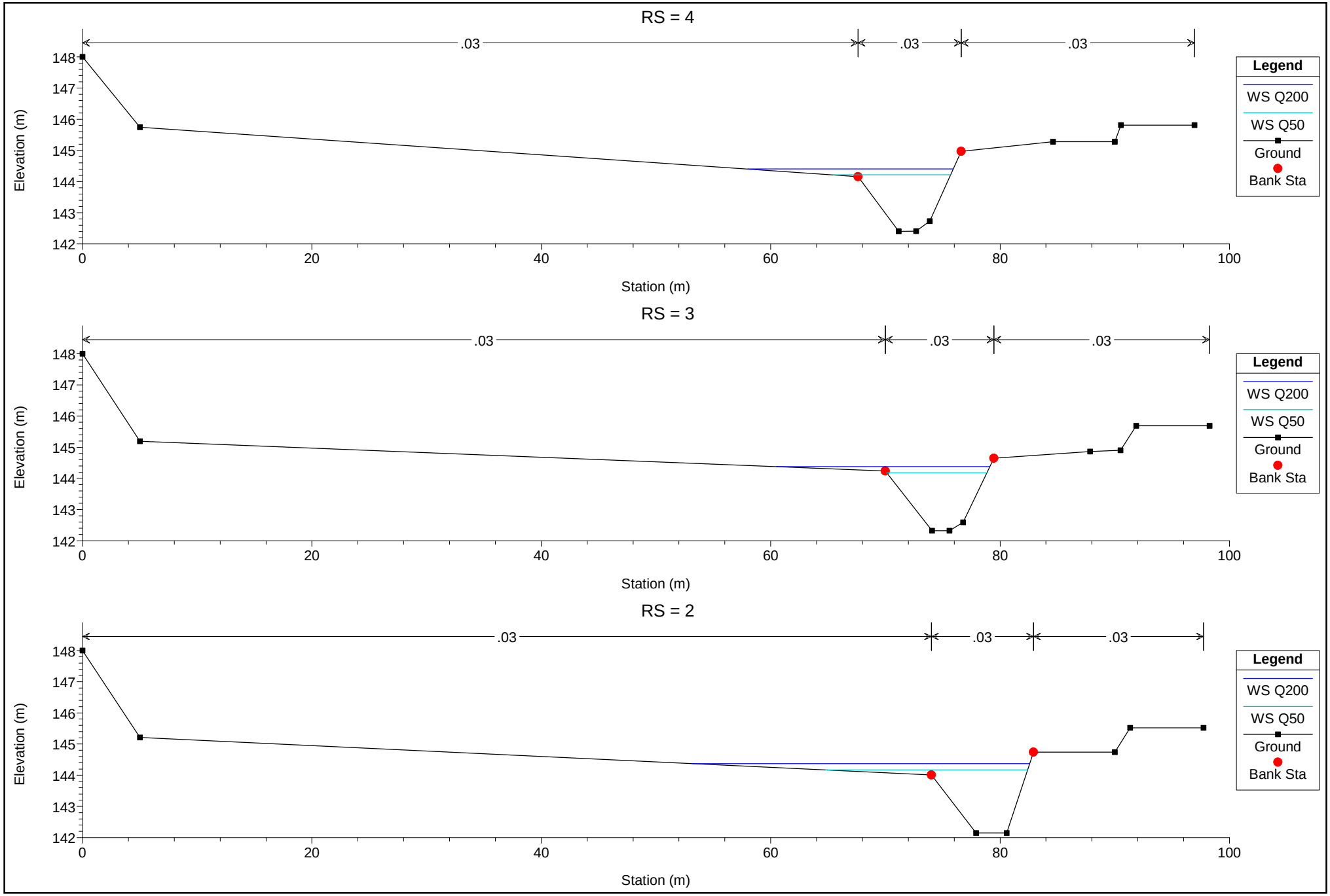

13
12
11
10
9
8
7
6
5
4.9
4
3
2
1.9
1

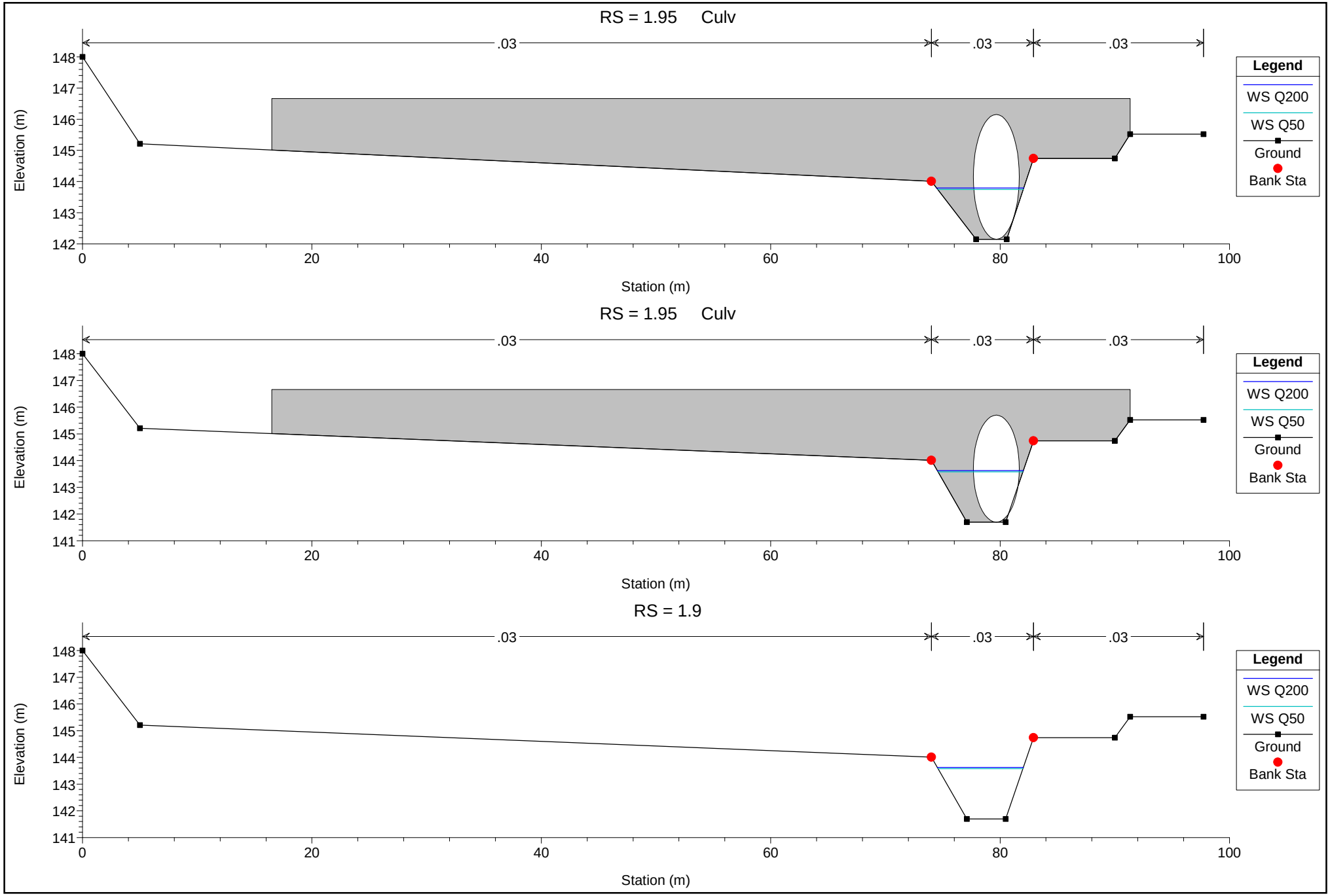

RS = 13
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 12
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 11
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta

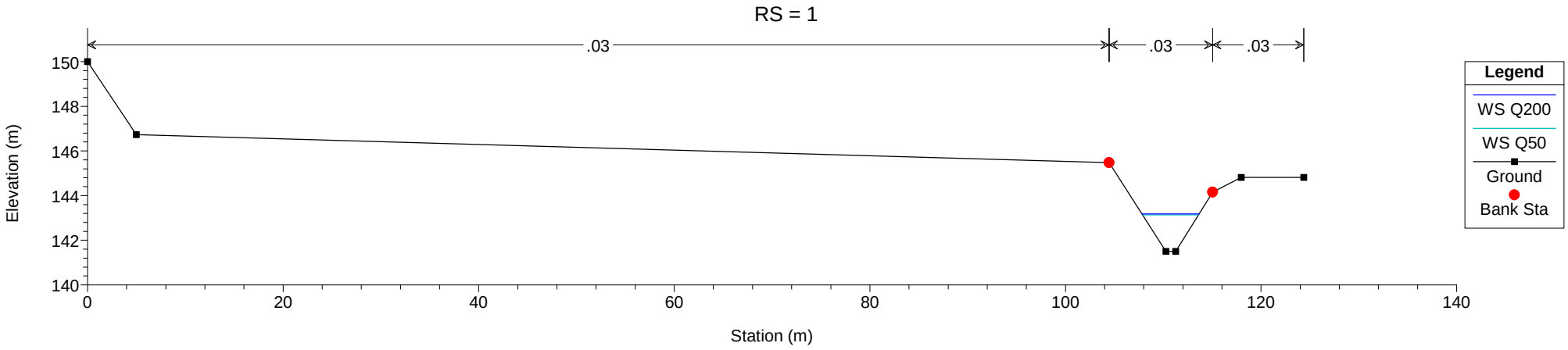

RS = 10
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 8
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta

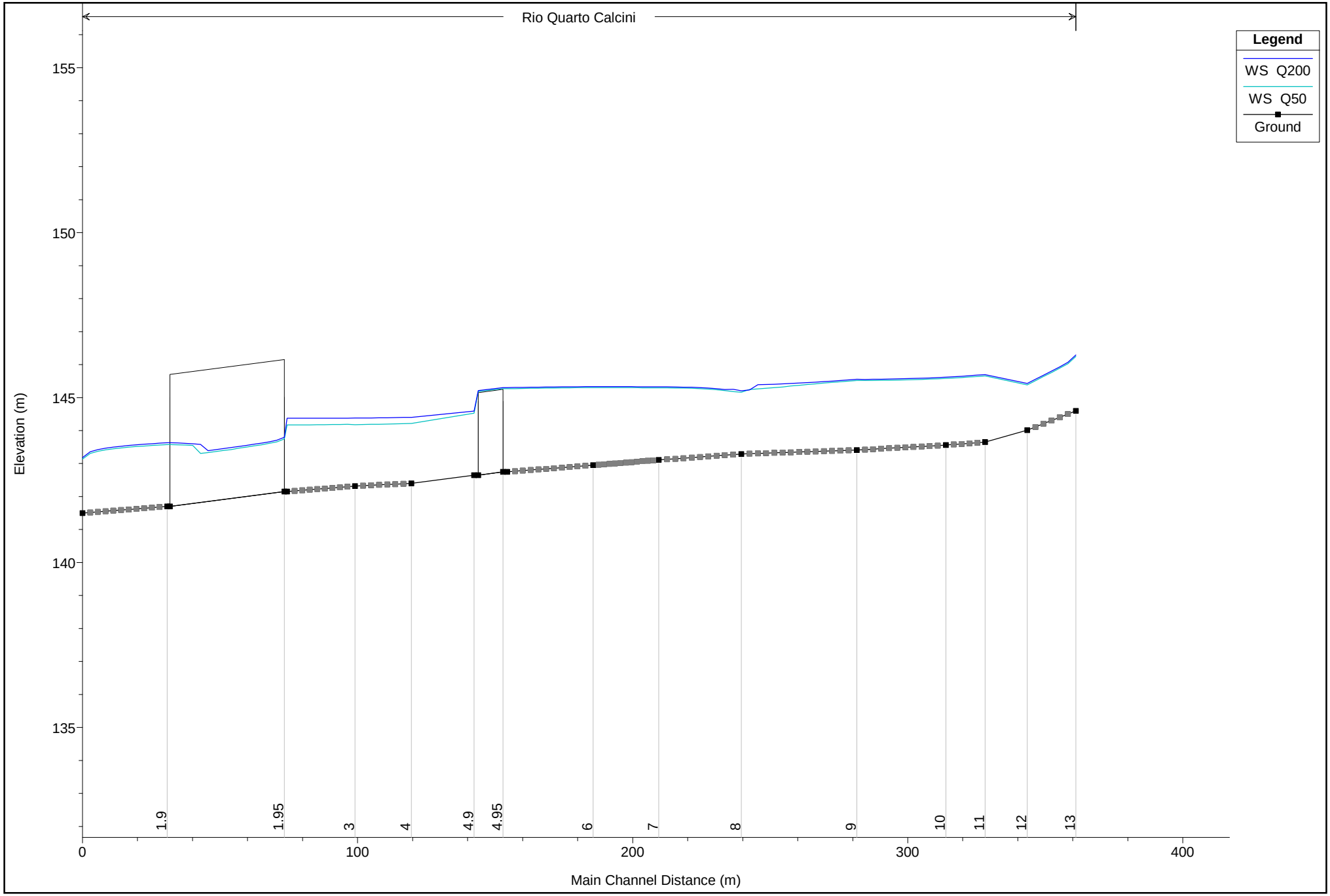

RS = 7
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 6
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 5
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 4.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 4.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 4.9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 4
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 3
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 2
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 1.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 1.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 1.9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 1
.03
.03
.03
Elevation (m)
150
148
146
144
142
140
0
20
40
60
80
100
120
140
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta



1 cm Horiz. = 18 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Calcini

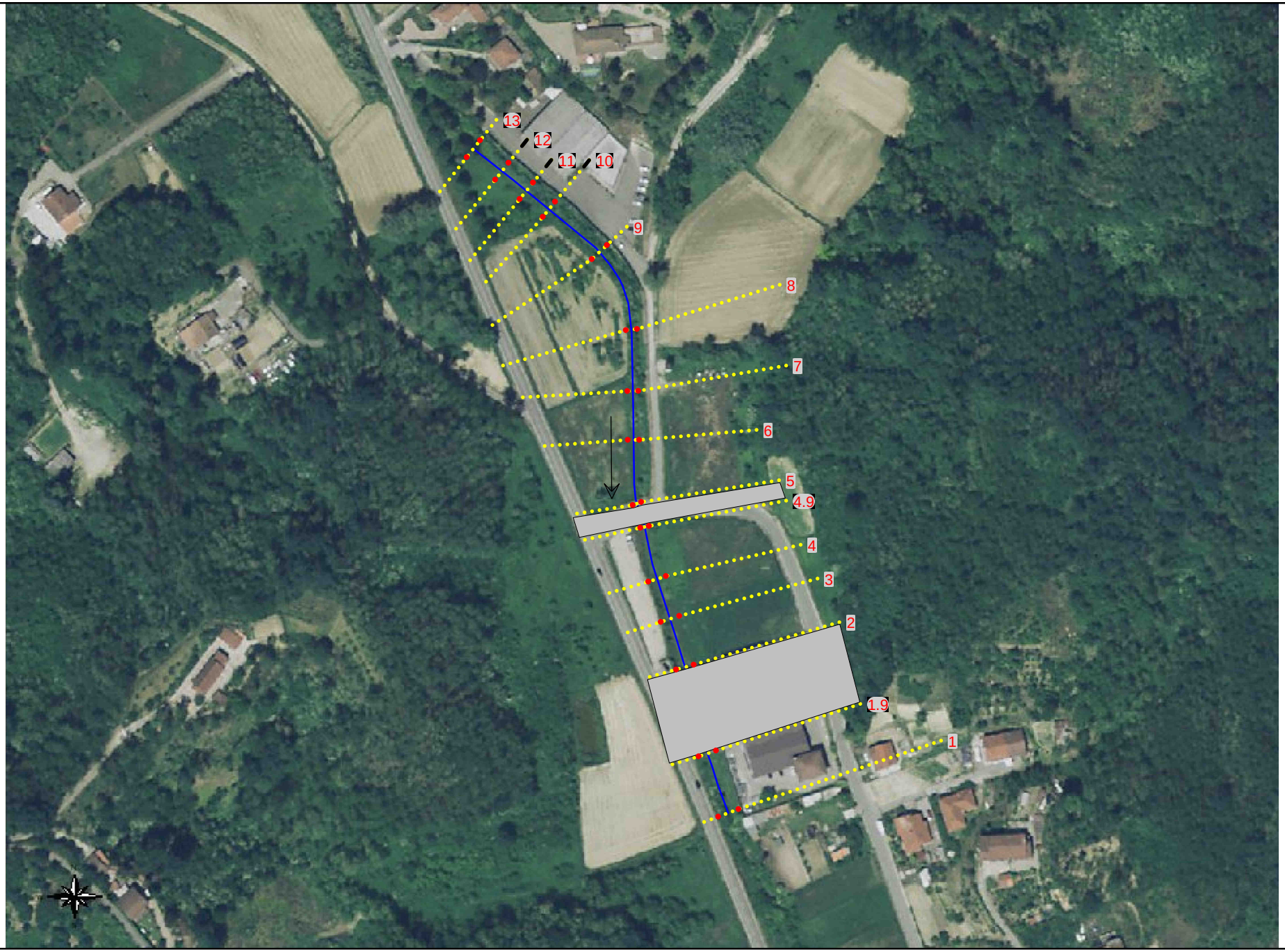
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	13	Q50	16.00	144.60	146.25	146.25	146.74	0.011591	3.11	5.15	5.24	1.00
Calcini	13	Q200	17.00	144.60	146.29	146.29	146.80	0.011720	3.17	5.37	5.34	1.01
Calcini	12	Q50	16.00	144.01	145.38	145.67	146.32	0.027308	4.28	3.74	4.46	1.49
Calcini	12	Q200	17.00	144.01	145.43	145.72	146.38	0.027026	4.33	3.93	4.56	1.49
Calcini	11	Q50	16.00	143.65	145.66	145.36	145.97	0.006126	2.48	6.46	5.37	0.72
Calcini	11	Q200	17.00	143.65	145.70	145.41	146.03	0.006331	2.54	6.68	5.46	0.73
Calcini	10	Q50	16.00	143.56	145.58		145.88	0.005713	2.41	6.64	5.41	0.69
Calcini	10	Q200	17.00	143.56	145.62		145.93	0.005961	2.49	6.84	5.49	0.71
Calcini	9	Q50	16.00	143.41	145.52		145.69	0.002980	1.87	8.79	13.19	0.53
Calcini	9	Q200	17.00	143.41	145.55		145.74	0.003045	1.92	9.33	16.02	0.54
Calcini	8	Q50	16.00	143.29	145.16	144.96	145.51	0.006919	2.63	6.59	14.14	0.77
Calcini	8	Q200	17.00	143.29	145.21	145.01	145.55	0.006704	2.64	7.32	17.35	0.76
Calcini	7	Q50	16.00	143.11	145.30		145.33	0.000757	1.06	23.39	54.61	0.28
Calcini	7	Q200	17.00	143.11	145.33		145.36	0.000743	1.07	25.17	59.28	0.27
Calcini	6	Q50	16.00	142.95	145.30		145.32	0.000244	0.68	39.61	73.87	0.16
Calcini	6	Q200	17.00	142.95	145.33		145.35	0.000238	0.68	41.95	75.77	0.16
Calcini	5	Q50	16.00	142.75	145.27	144.59	145.30	0.000568	1.03	26.37	57.84	0.24
Calcini	5	Q200	17.00	142.75	145.30	144.64	145.33	0.000551	1.03	28.30	60.21	0.24
Calcini	4.95		Culvert									
Calcini	4.9	Q50	16.00	142.65	144.53	144.53	144.91	0.007768	2.80	6.39	10.29	0.81
Calcini	4.9	Q200	17.00	142.65	144.59	144.59	144.95	0.007162	2.77	7.04	11.74	0.78
Calcini	4	Q50	16.00	142.40	144.21	143.69	144.36	0.002503	1.71	9.43	10.25	0.51
Calcini	4	Q200	17.00	142.40	144.40	143.73	144.52	0.001699	1.52	12.08	17.92	0.42
Calcini	3	Q50	16.00	142.32	144.18		144.31	0.002086	1.57	10.18	8.72	0.46
Calcini	3	Q200	17.00	142.32	144.38		144.48	0.001440	1.41	12.62	18.61	0.39
Calcini	2	Q50	16.00	142.15	144.17		144.27	0.001363	1.38	12.23	17.60	0.38
Calcini	2	Q200	17.00	142.15	144.37	143.40	144.44	0.000885	1.20	17.00	29.43	0.31

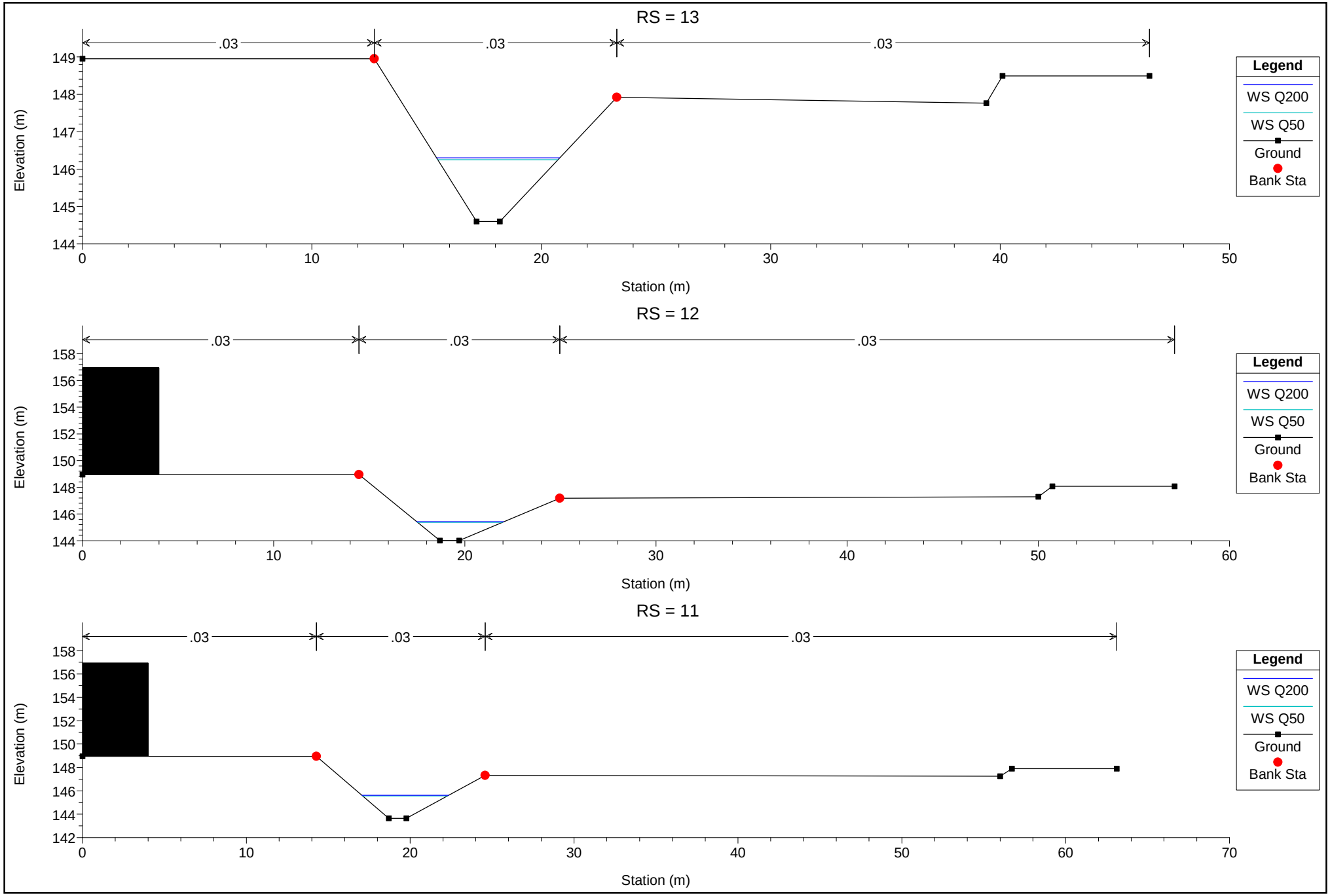
HEC-RAS Plan: Esistente River: Rio Quarto Reach: Calcini (Continued)

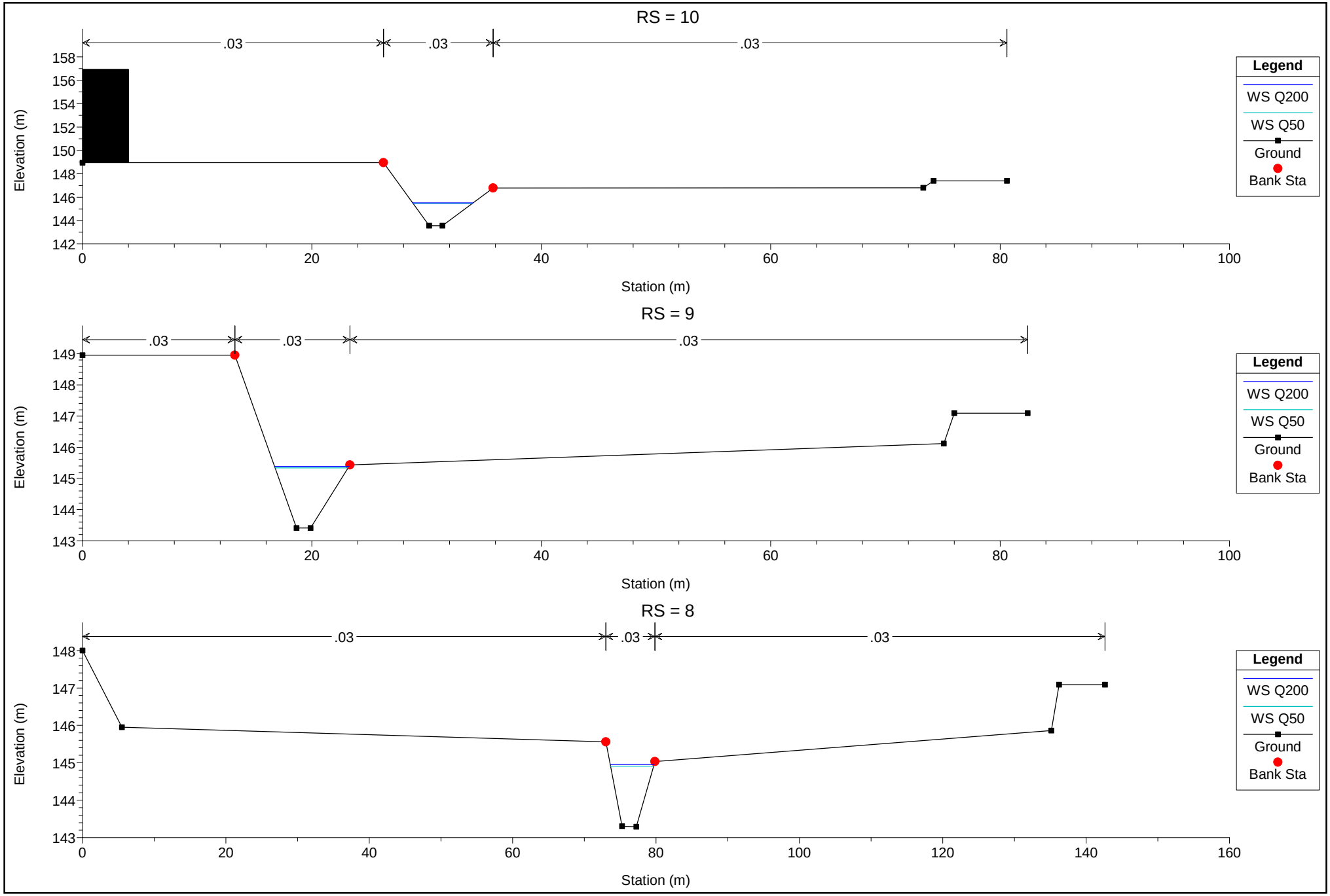
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	1.95		Culvert									
Calcini	1.9	Q50	16.00	141.70	143.58		143.70	0.001902	1.58	10.12	7.40	0.43
Calcini	1.9	Q200	17.00	141.70	143.63		143.76	0.001932	1.62	10.52	7.51	0.44
Calcini	1	Q50	16.00	141.50	143.13	143.09	143.57	0.010006	2.91	5.50	5.72	0.95
Calcini	1	Q200	17.00	141.50	143.18	143.14	143.62	0.010005	2.95	5.75	5.85	0.95

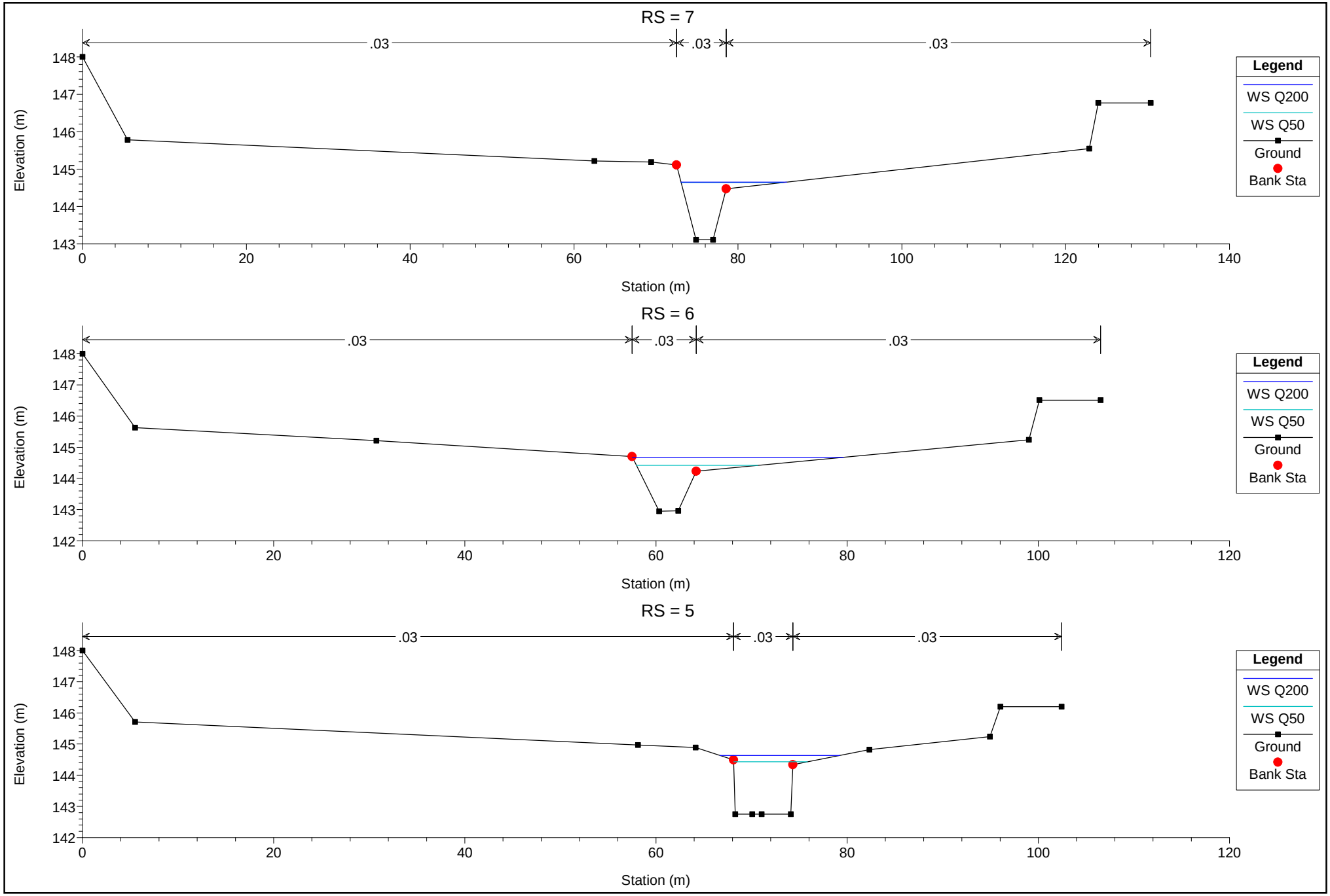
ALLEGATO 3

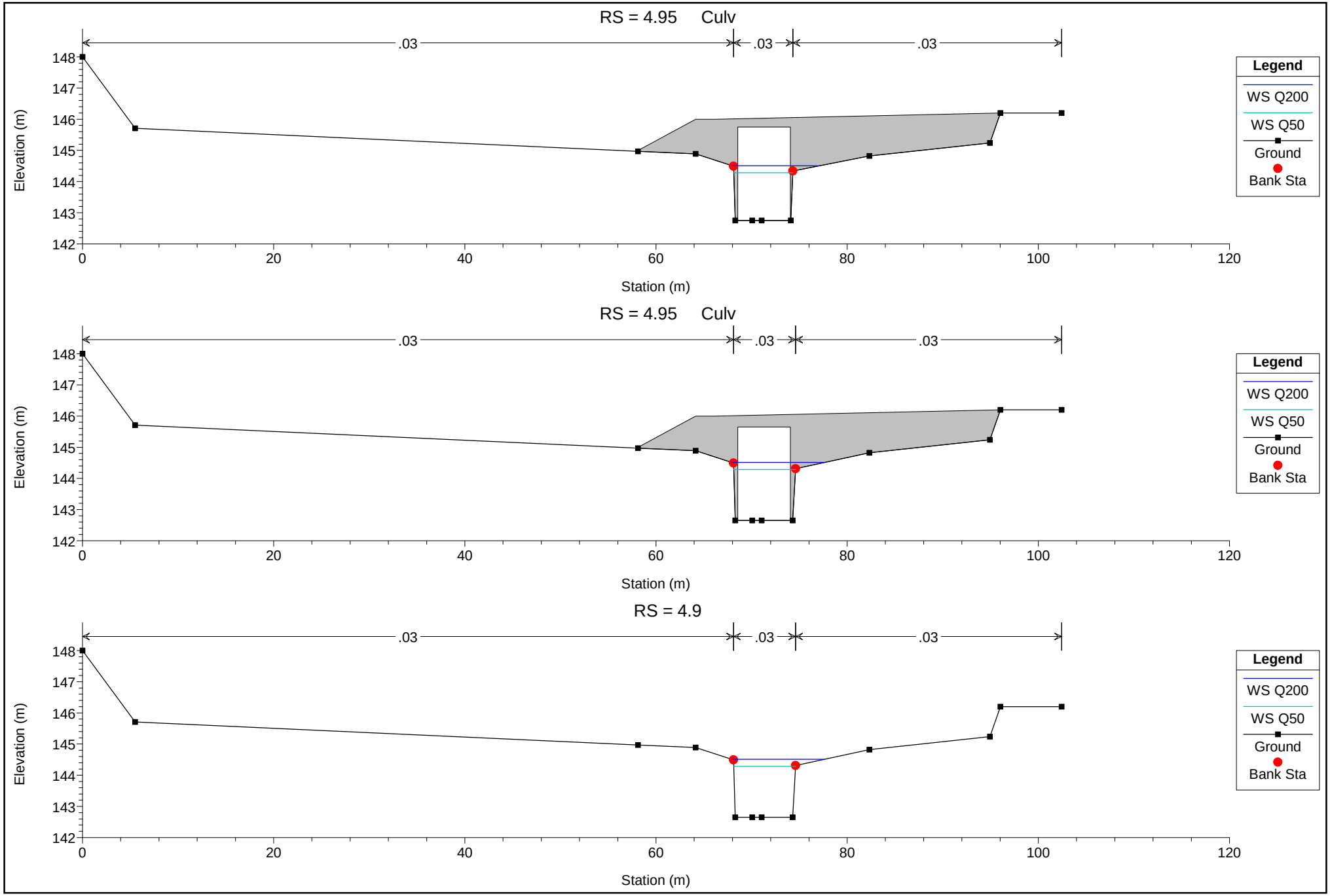
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE CON PORTATE Q50 E Q200 NELLA CONFIGURAZIONE DI ALLARGAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

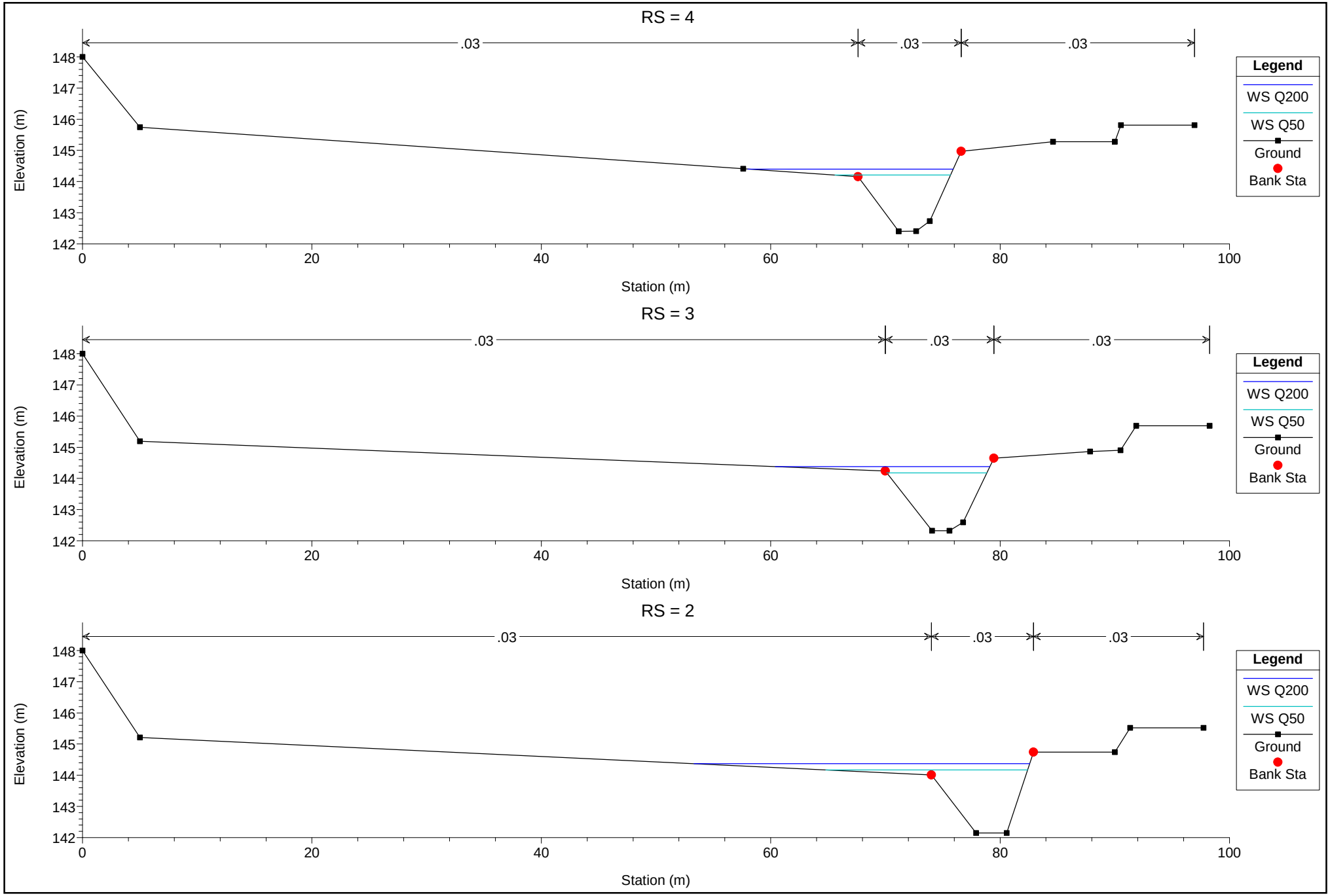

13
12
11
10
9
8
7
6
5
4.9
4
3
2
1.9
1

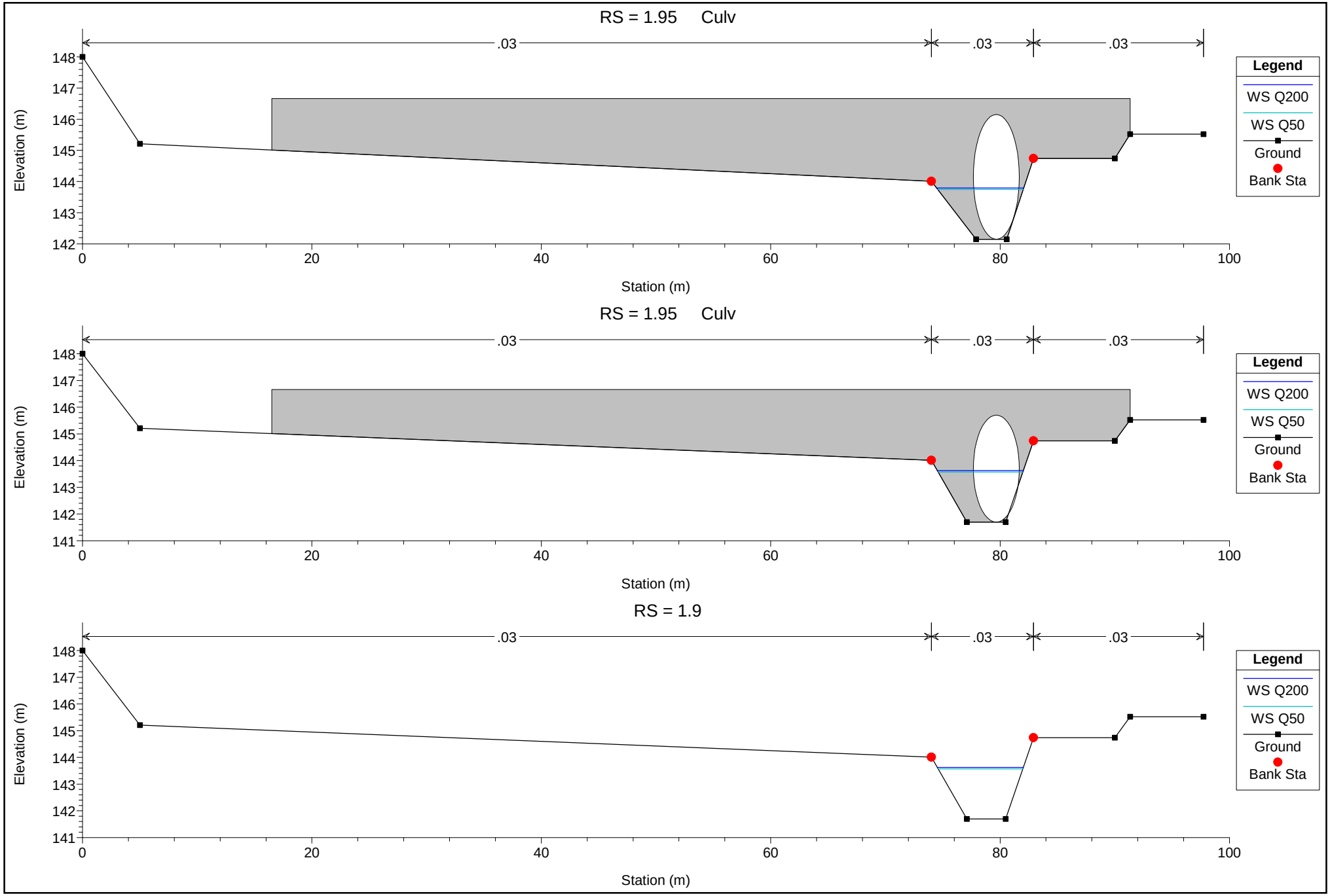

RS = 13
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 12
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 11
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta

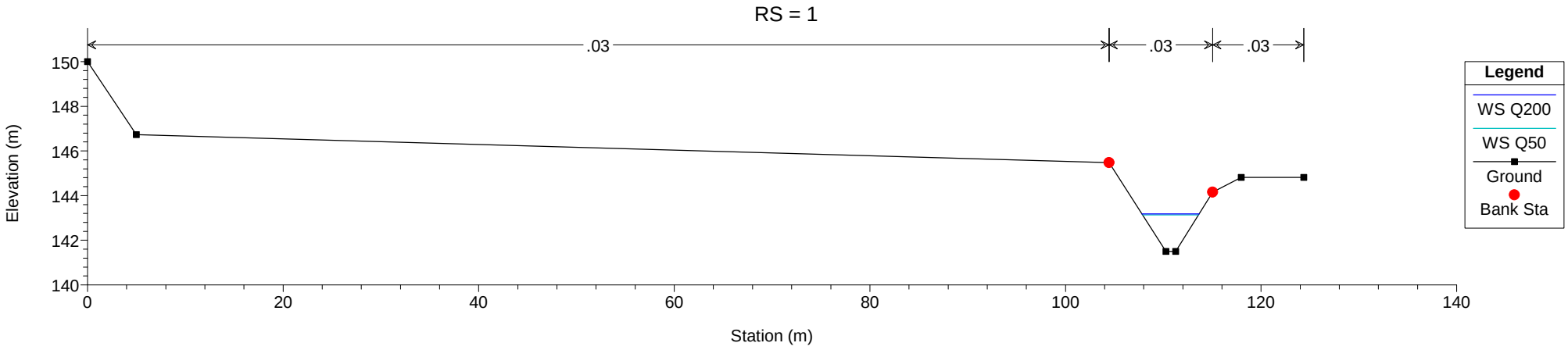

RS = 10
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 8
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta

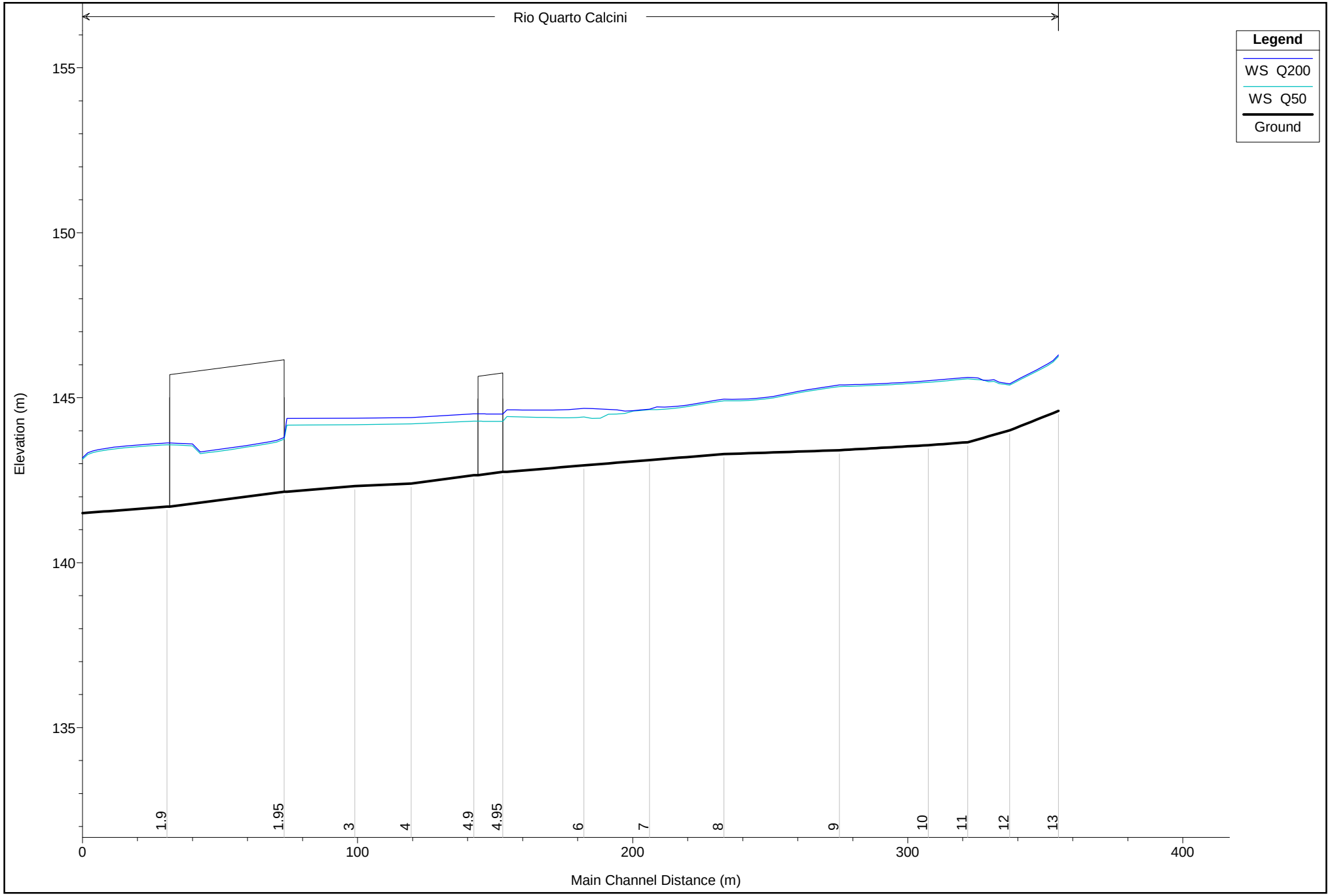

RS = 7
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 6
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 5
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 4.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 4.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 4.9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 4
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 3
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 2
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 1.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 1.95 Culv
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta
RS = 1.9
.03
.03
.03
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta


RS = 1
.03
.03
.03
Elevation (m)
150
148
146
144
142
140
0
20
40
60
80
100
120
140
Station (m)
Legend
WS Q200
WS Q50
Ground
Bank Sta



1 cm Horiz. = 18 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS Plan: Esistente+scat. River: Rio Quarto Reach: Calcini

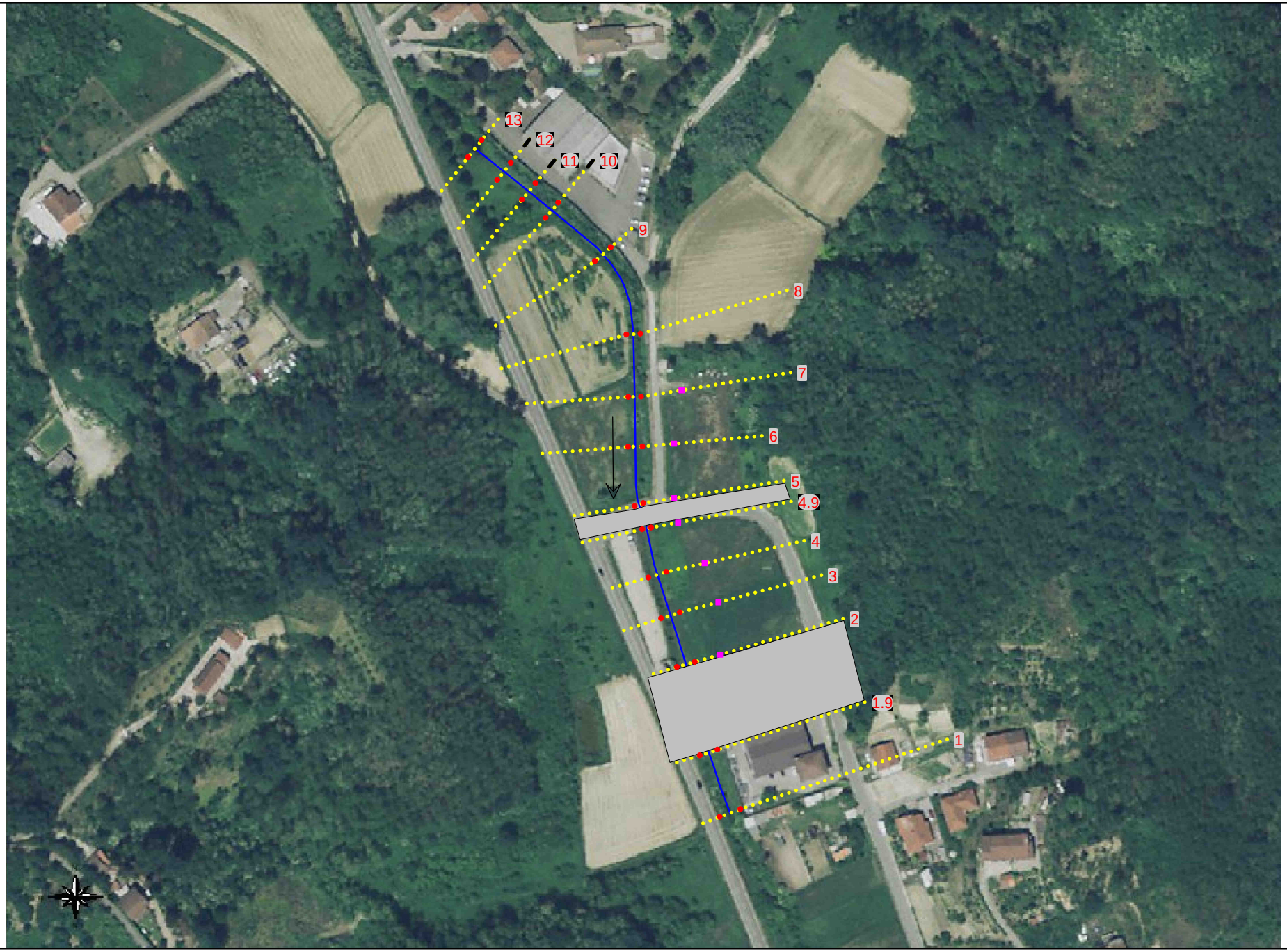
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	13	Q50	16.00	144.60	146.25	146.25	146.74	0.011545	3.10	5.16	5.24	1.00
Calcini	13	Q200	17.00	144.60	146.30	146.30	146.80	0.011474	3.14	5.41	5.36	1.00
Calcini	12	Q50	16.00	144.01	145.38	145.68	146.32	0.027704	4.30	3.72	4.44	1.50
Calcini	12	Q200	17.00	144.01	145.42	145.72	146.39	0.027371	4.35	3.91	4.55	1.50
Calcini	11	Q50	16.00	143.65	145.57		145.93	0.007436	2.66	6.01	5.19	0.79
Calcini	11	Q200	17.00	143.65	145.62		146.00	0.007514	2.71	6.26	5.29	0.80
Calcini	10	Q50	16.00	143.56	145.47		145.82	0.007345	2.65	6.04	5.17	0.78
Calcini	10	Q200	17.00	143.56	145.51		145.89	0.007466	2.71	6.28	5.27	0.79
Calcini	9	Q50	16.00	143.41	145.34		145.58	0.004586	2.18	7.33	6.38	0.65
Calcini	9	Q200	17.00	143.41	145.39		145.64	0.004638	2.22	7.64	6.51	0.66
Calcini	8	Q50	16.00	143.29	144.91		145.22	0.006388	2.48	6.44	5.99	0.76
Calcini	8	Q200	17.00	143.29	144.95		145.28	0.006416	2.53	6.73	6.11	0.77
Calcini	7	Q50	16.00	143.11	144.64	144.55	144.99	0.007227	2.65	6.50	12.41	0.81
Calcini	7	Q200	17.00	143.11	144.65		145.03	0.007849	2.77	6.65	12.90	0.85
Calcini	6	Q50	16.00	142.95	144.42	144.33	144.73	0.006761	2.52	6.82	12.70	0.81
Calcini	6	Q200	17.00	142.95	144.68		144.83	0.002942	1.86	11.34	22.06	0.55
Calcini	5	Q50	16.00	142.75	144.43	143.66	144.56	0.001966	1.58	10.16	7.70	0.40
Calcini	5	Q200	17.00	142.75	144.63	143.70	144.74	0.001461	1.47	12.19	12.55	0.35
Calcini	4.95		Culvert									
Calcini	4.9	Q50	16.00	142.65	144.29		144.41	0.001957	1.57	10.21	6.47	0.40
Calcini	4.9	Q200	17.00	142.65	144.51		144.62	0.001454	1.45	11.95	9.71	0.35
Calcini	4	Q50	16.00	142.40	144.21		144.36	0.002534	1.71	9.39	10.08	0.51
Calcini	4	Q200	17.00	142.40	144.40		144.52	0.001710	1.53	12.04	17.90	0.43
Calcini	3	Q50	16.00	142.32	144.18		144.31	0.002086	1.57	10.18	8.72	0.46
Calcini	3	Q200	17.00	142.32	144.38		144.48	0.001435	1.41	12.65	18.70	0.39
Calcini	2	Q50	16.00	142.15	144.17		144.27	0.001363	1.38	12.23	17.60	0.38
Calcini	2	Q200	17.00	142.15	144.37		144.44	0.000892	1.20	16.92	29.28	0.31

HEC-RAS Plan: Esistente+scat. River: Rio Quarto Reach: Calcini (Continued)

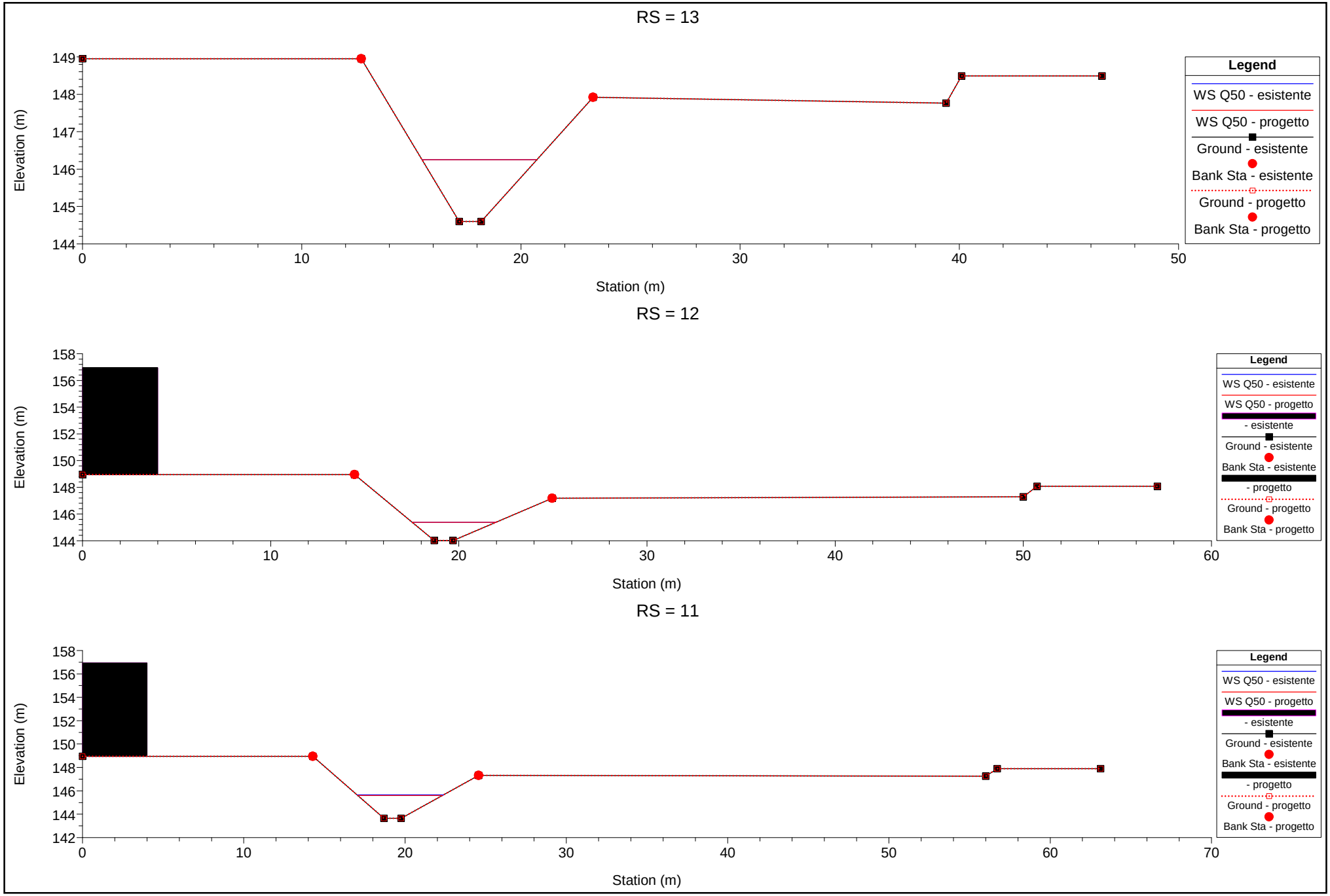
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	1.95		Culvert									
Calcini	1.9	Q50	16.00	141.70	143.57		143.70	0.001912	1.58	10.10	7.39	0.43
Calcini	1.9	Q200	17.00	141.70	143.63		143.76	0.001944	1.62	10.50	7.51	0.44
Calcini	1	Q50	16.00	141.50	143.13	143.09	143.57	0.010006	2.91	5.50	5.72	0.95
Calcini	1	Q200	17.00	141.50	143.18	143.14	143.62	0.010005	2.95	5.75	5.85	0.95

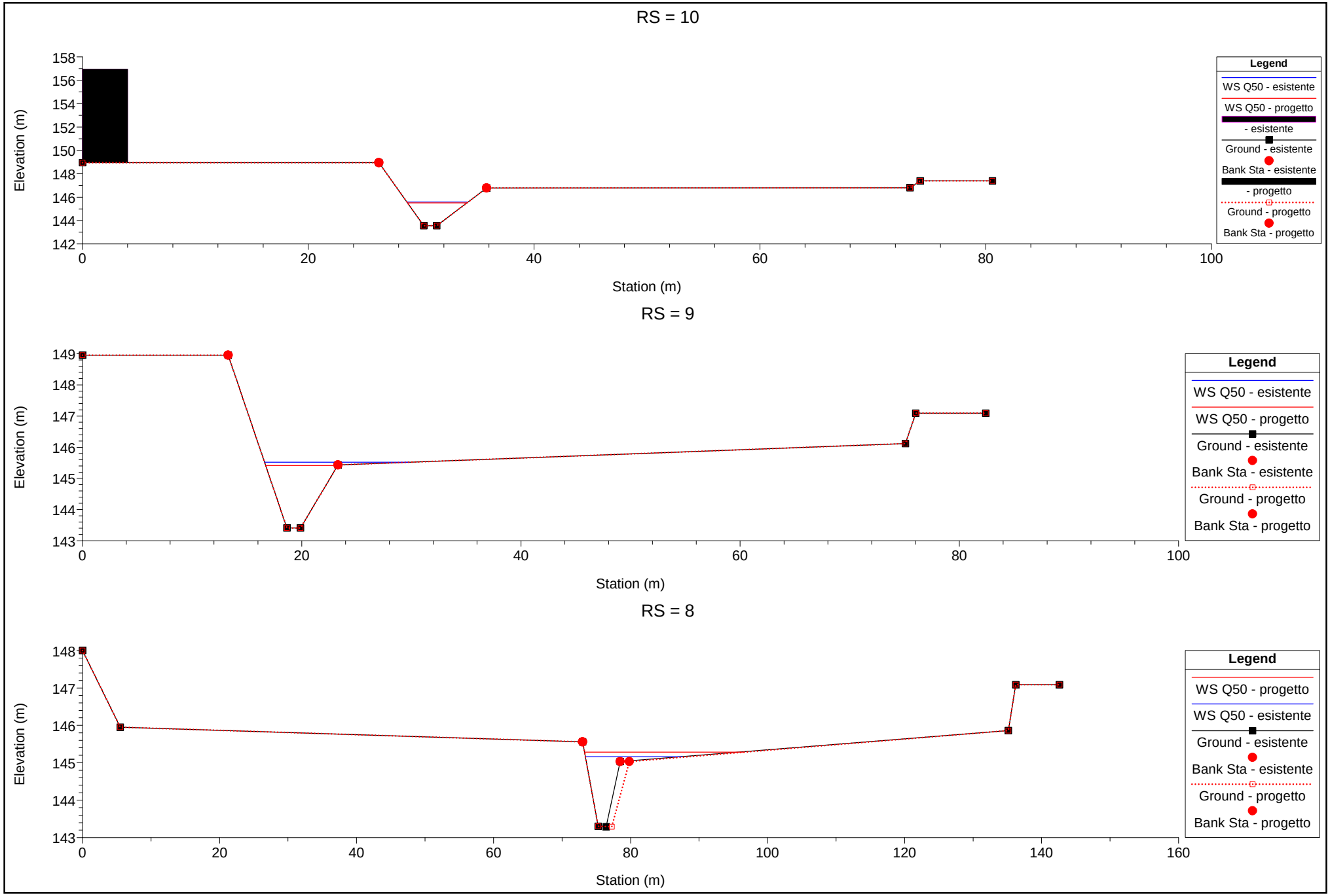
ALLEGATO 4A

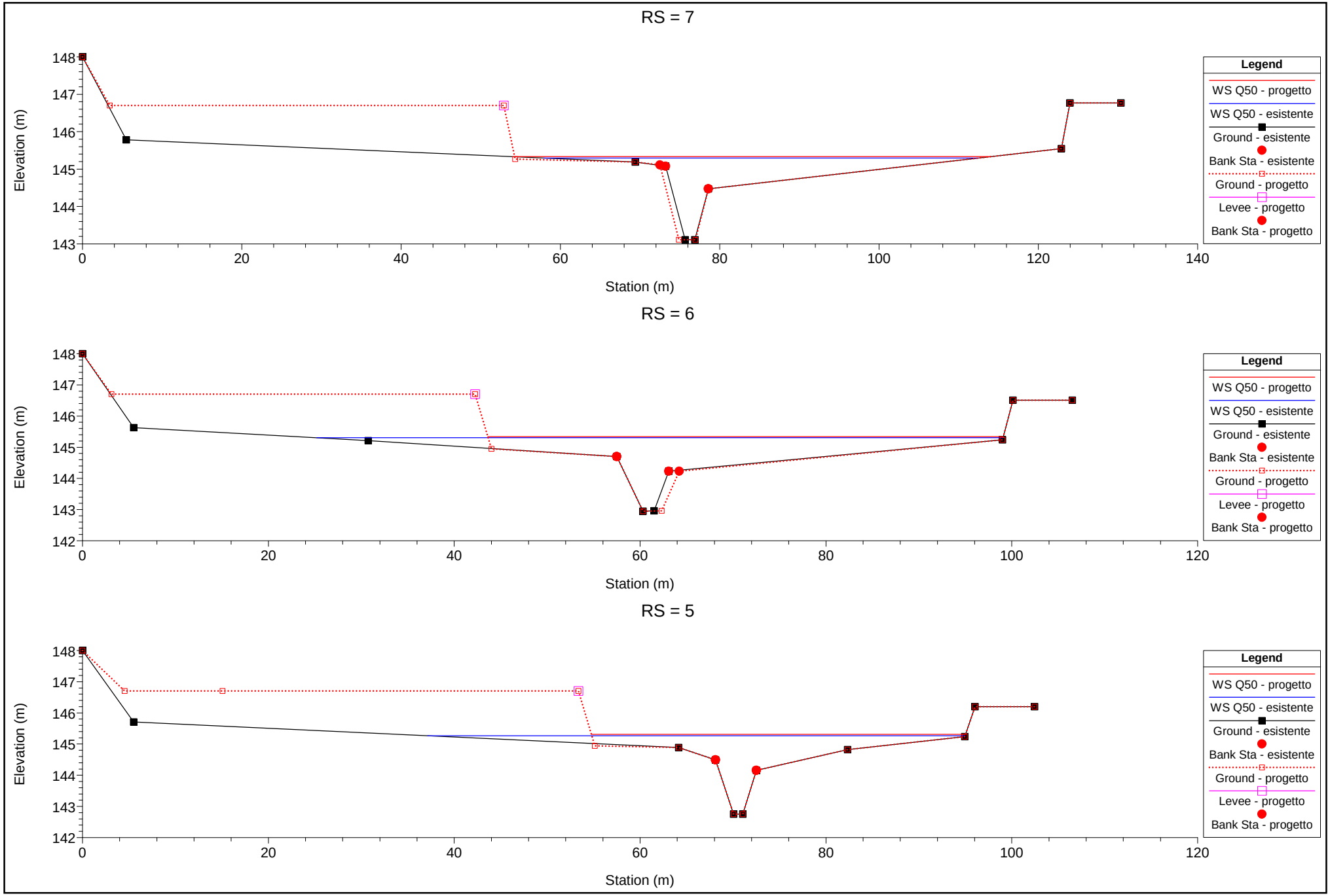
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE CON PORTATA Q50 CONFRONTANDO LA SITUAZIONE ATTUALE CON QUELLA CHE SI DETERMINA A SEGUITO DELLA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO MANTENENDO INVARIATO L'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

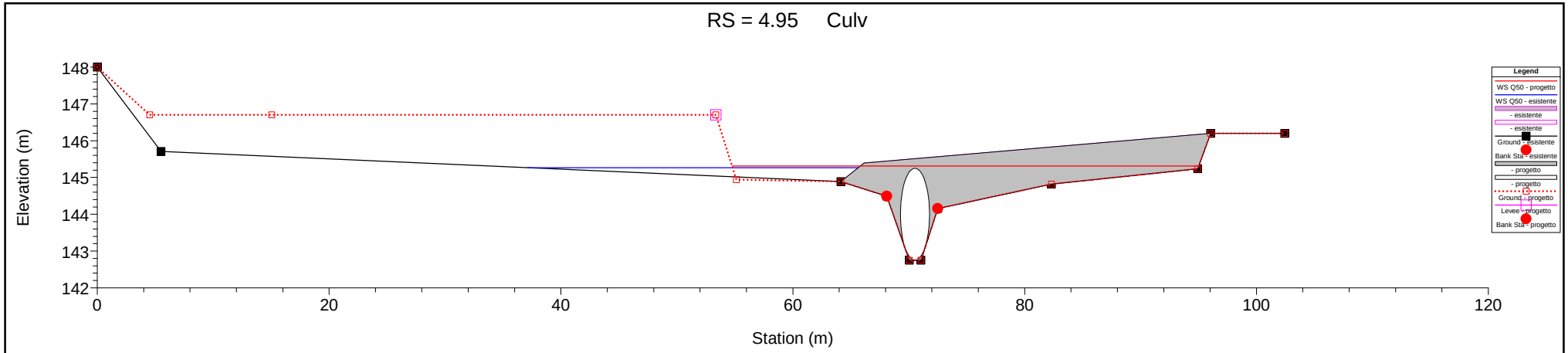


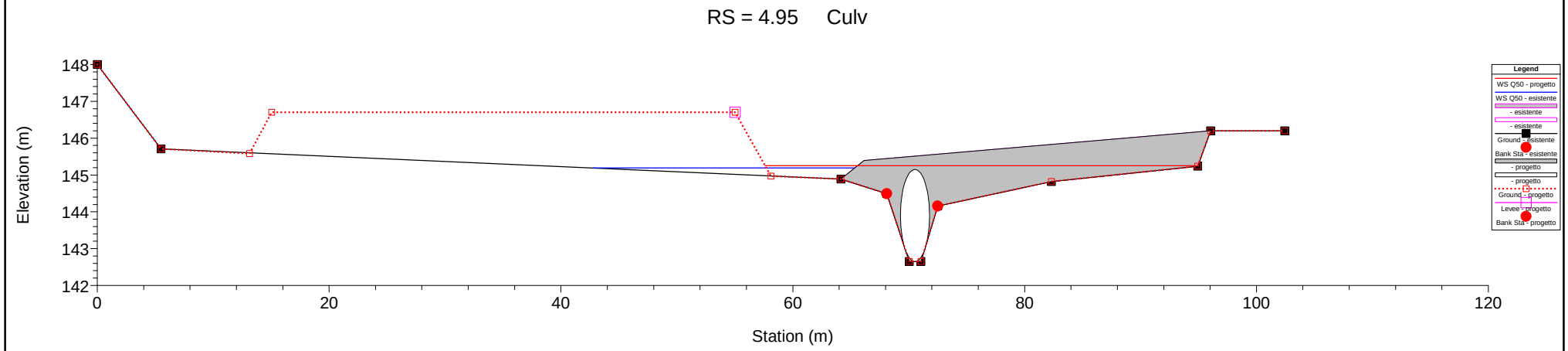
1 cm Horiz. = 38 m 1 cm Vert. = 38 m

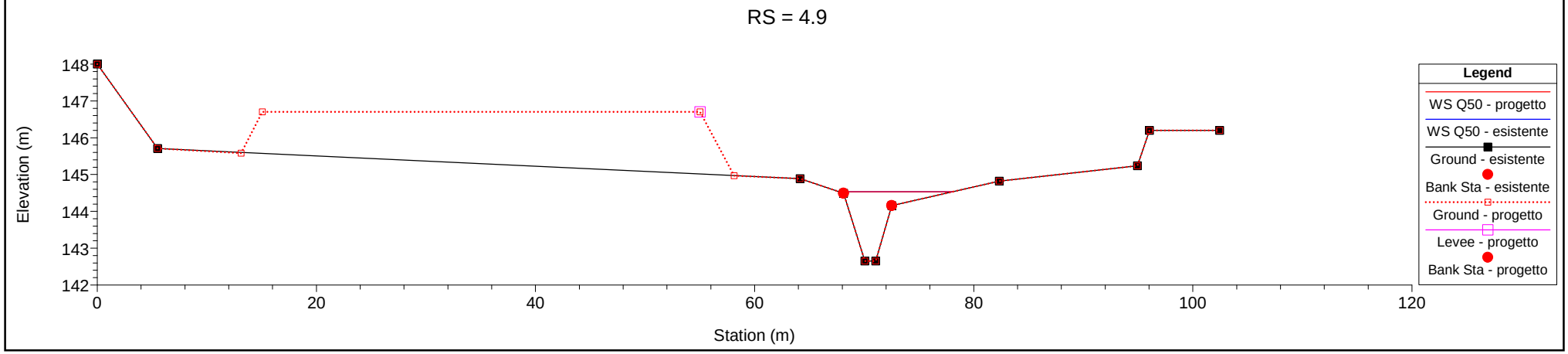

RS = 13
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 12
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
- esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
- progetto
Ground - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 11
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
- esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
- progetto
Ground - progetto
Bank Sta - progetto

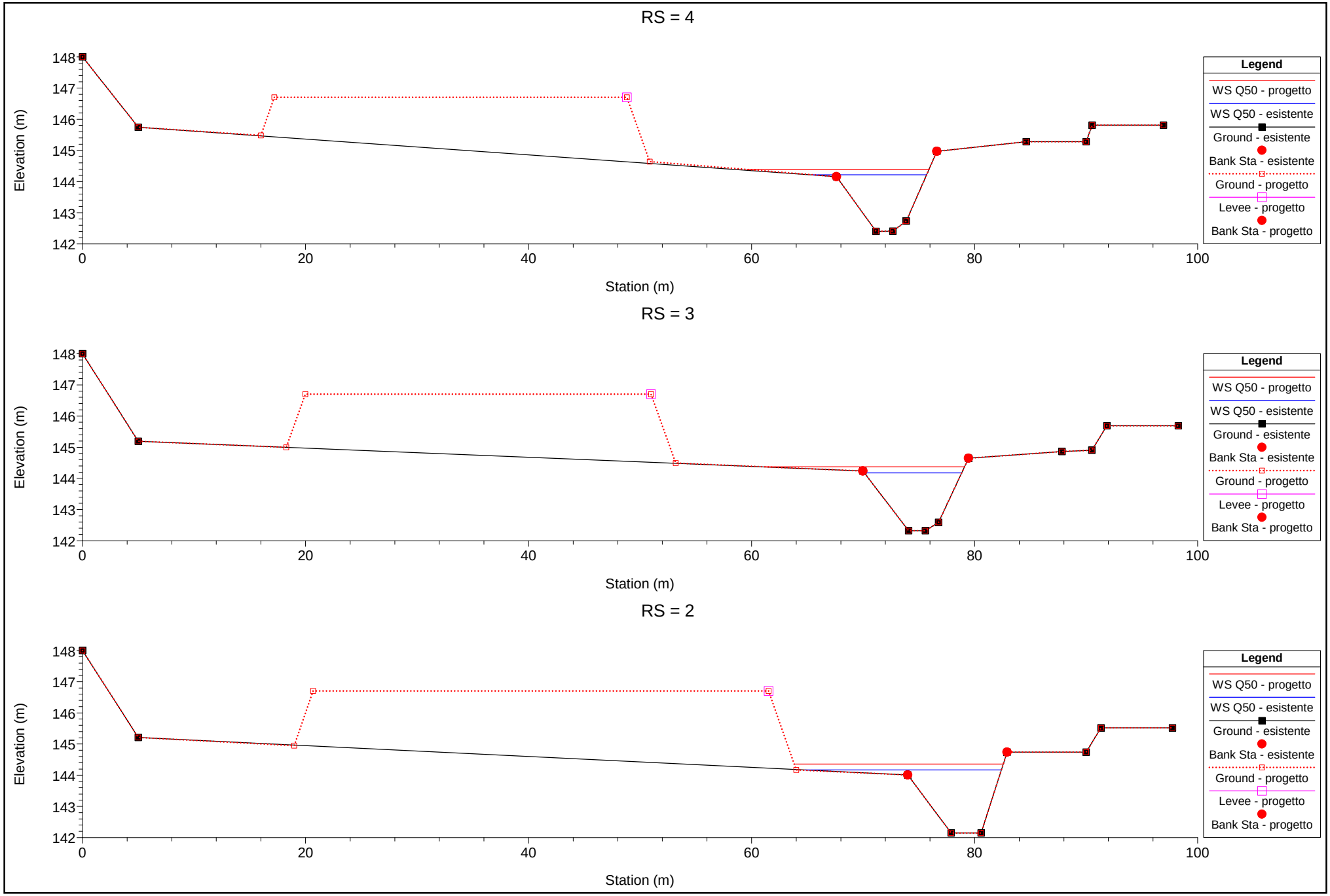

RS = 10
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
- esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
- progetto
Ground - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 9
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 8
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Bank Sta - progetto


RS = 7
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 6
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 5
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto

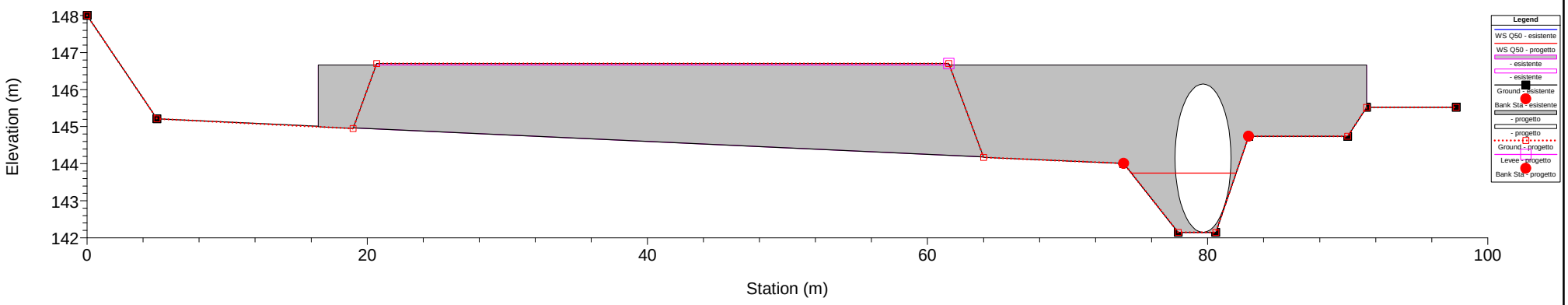

RS = 4.95 Culv
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
120
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
- esistente
- esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
- progetto
- progetto
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto


RS = 4.95 Culv
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
120
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
- esistente
- esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
- progetto
- progetto
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto

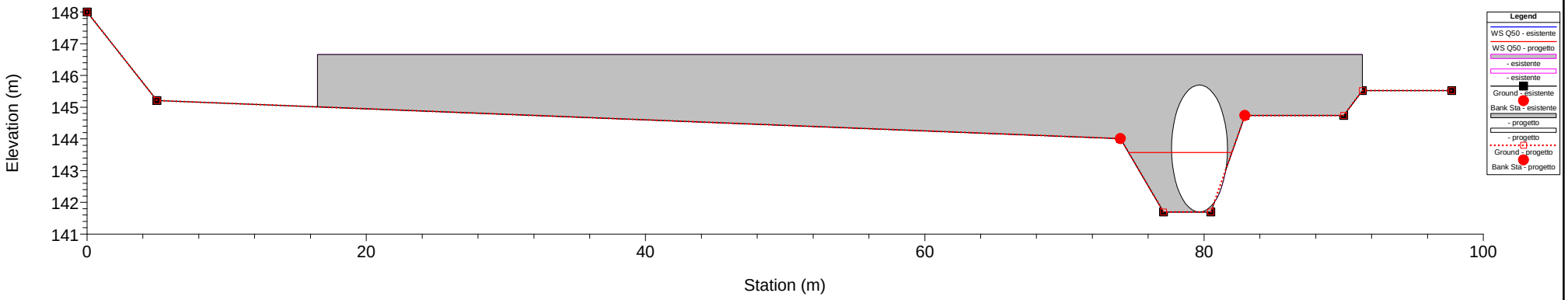

RS = 4.9
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
120
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto


RS = 4
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 3
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto
RS = 2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q50 - progetto
WS Q50 - esistente
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Levee - progetto
Bank Sta - progetto

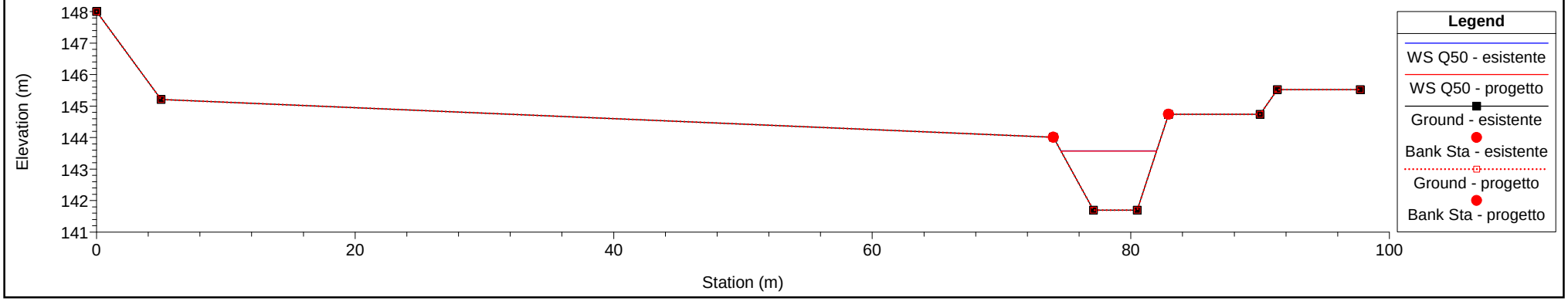
RS = 1.95 Culv

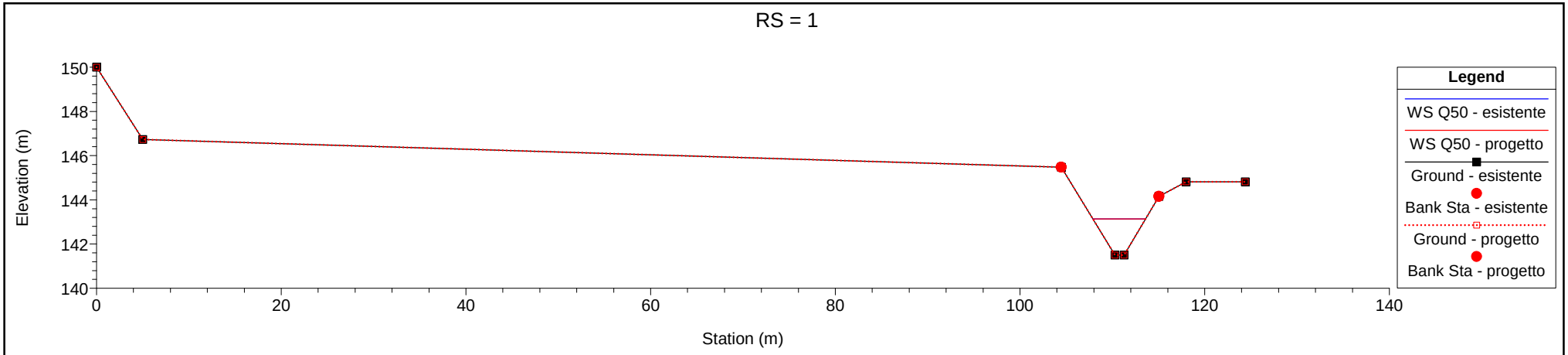


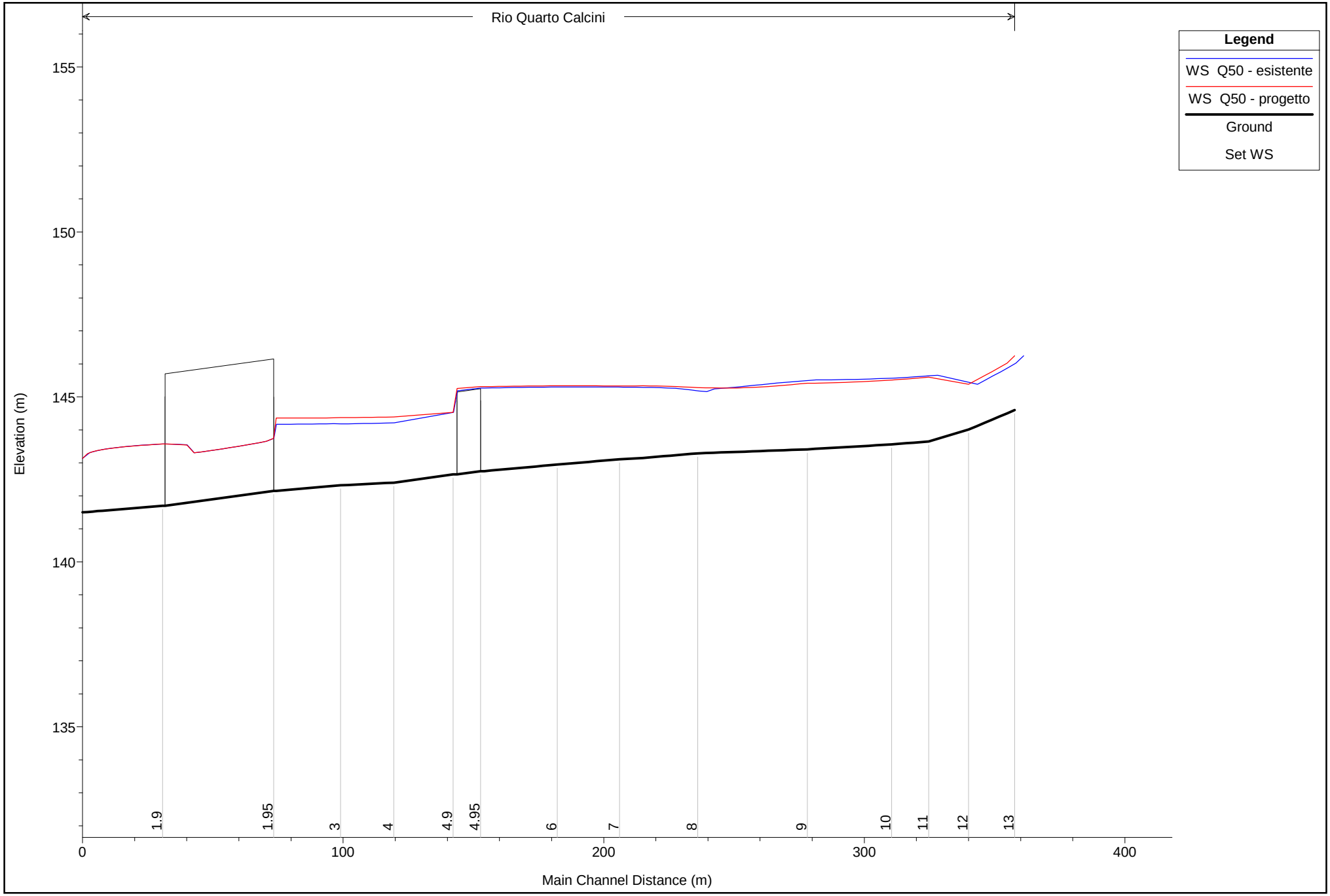
RS = 1.95 Culv



RS = 1.9




RS = 1
Elevation (m)
150
148
146
144
142
140
0
20
40
60
80
100
120
140
Station (m)
Legend
WS Q50 - esistente
WS Q50 - progetto
Ground - esistente
Bank Sta - esistente
Ground - progetto
Bank Sta - progetto



1 cm Horiz. = 19 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS River: Rio Quarto Reach: Calcini Profile: Q50

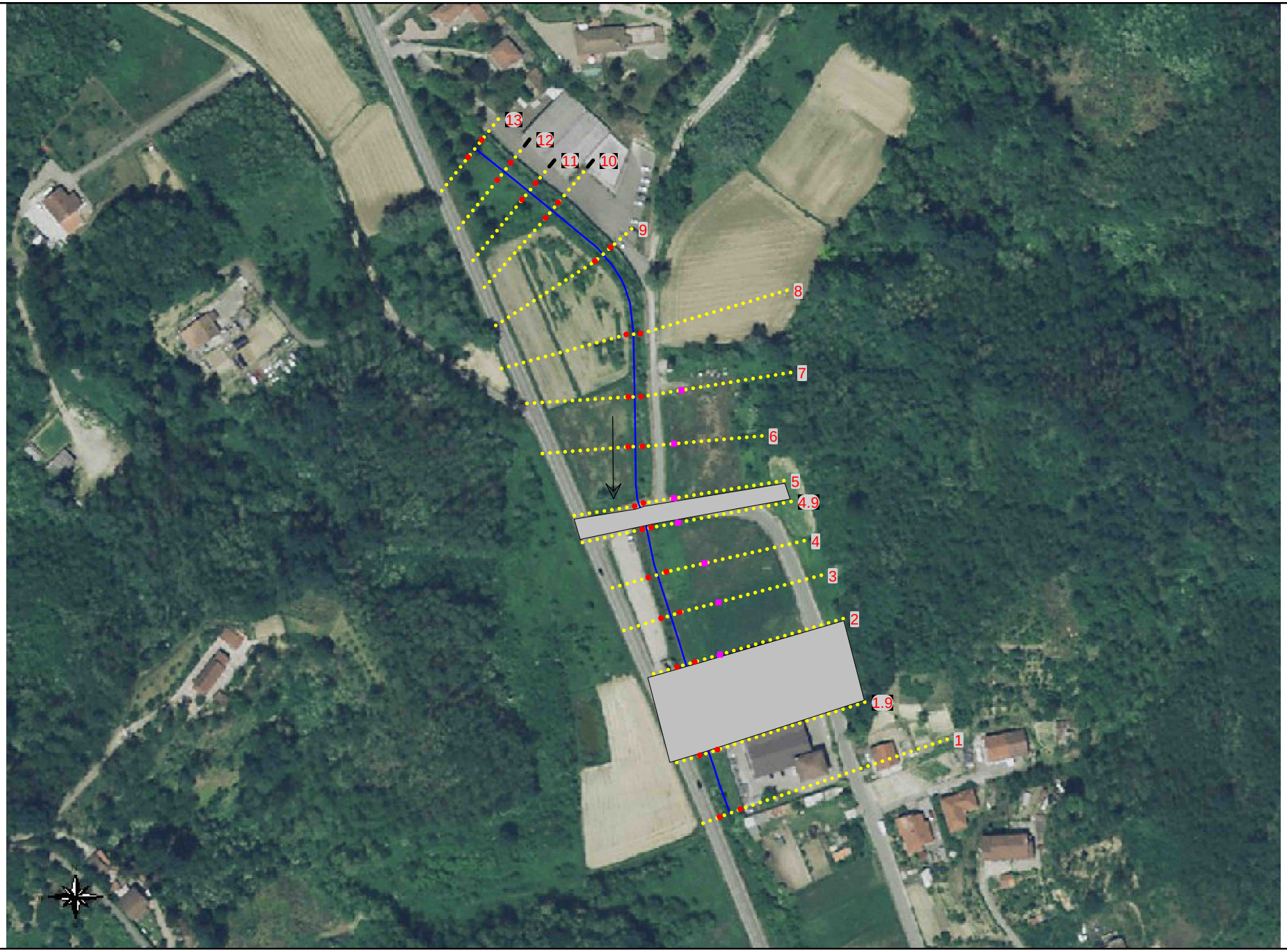
Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	13	Q50	esistente	16.00	144.60	146.25	146.25	146.74	0.011591	3.11	5.15	5.24	1.00
Calcini	13	Q50	progetto	16.00	144.60	146.25	146.25	146.74	0.011591	3.11	5.15	5.24	1.00
Calcini	12	Q50	esistente	16.00	144.01	145.38	145.67	146.32	0.027308	4.28	3.74	4.46	1.49
Calcini	12	Q50	progetto	16.00	144.01	145.38	145.67	146.32	0.027308	4.28	3.74	4.46	1.49
Calcini	11	Q50	esistente	16.00	143.65	145.66	145.36	145.97	0.006126	2.48	6.46	5.37	0.72
Calcini	11	Q50	progetto	16.00	143.65	145.60	145.36	145.94	0.006950	2.60	6.16	5.25	0.76
Calcini	10	Q50	esistente	16.00	143.56	145.58		145.88	0.005713	2.41	6.64	5.41	0.69
Calcini	10	Q50	progetto	16.00	143.56	145.51		145.84	0.006689	2.56	6.25	5.26	0.75
Calcini	9	Q50	esistente	16.00	143.41	145.52		145.69	0.002980	1.87	8.79	13.19	0.53
Calcini	9	Q50	progetto	16.00	143.41	145.41		145.63	0.003853	2.04	7.83	6.58	0.60
Calcini	8	Q50	esistente	16.00	143.29	145.16	144.96	145.51	0.006919	2.63	6.59	14.14	0.77
Calcini	8	Q50	progetto	16.00	143.29	145.28		145.43	0.002297	1.72	10.94	23.35	0.47
Calcini	7	Q50	esistente	16.00	143.11	145.30		145.33	0.000757	1.06	23.39	54.61	0.28
Calcini	7	Q50	progetto	16.00	143.11	145.33	144.55	145.36	0.000494	0.92	27.42	59.74	0.23
Calcini	6	Q50	esistente	16.00	142.95	145.30		145.32	0.000244	0.68	39.61	73.87	0.16
Calcini	6	Q50	progetto	16.00	142.95	145.34	144.33	145.35	0.000174	0.61	40.32	55.48	0.14
Calcini	5	Q50	esistente	16.00	142.75	145.27	144.59	145.30	0.000568	1.03	26.37	57.84	0.24
Calcini	5	Q50	progetto	16.00	142.75	145.31	144.60	145.34	0.000464	0.95	26.24	40.26	0.22
Calcini	4.95			Culvert									
Calcini	4.9	Q50	esistente	16.00	142.65	144.53	144.53	144.91	0.007768	2.80	6.39	10.29	0.81
Calcini	4.9	Q50	progetto	16.00	142.65	144.53	144.53	144.91	0.007687	2.79	6.42	10.36	0.80
Calcini	4	Q50	esistente	16.00	142.40	144.21	143.69	144.36	0.002503	1.71	9.43	10.25	0.51
Calcini	4	Q50	progetto	16.00	142.40	144.39	143.69	144.50	0.001565	1.45	11.73	16.32	0.41
Calcini	3	Q50	esistente	16.00	142.32	144.18		144.31	0.002086	1.57	10.18	8.72	0.46
Calcini	3	Q50	progetto	16.00	142.32	144.37		144.46	0.001306	1.34	12.45	17.83	0.37
Calcini	2	Q50	esistente	16.00	142.15	144.17		144.27	0.001363	1.38	12.23	17.60	0.38
Calcini	2	Q50	progetto	16.00	142.15	144.36		144.42	0.000811	1.14	15.83	18.75	0.29

HEC-RAS River: Rio Quarto Reach: Calcini Profile: Q50 (Continued)

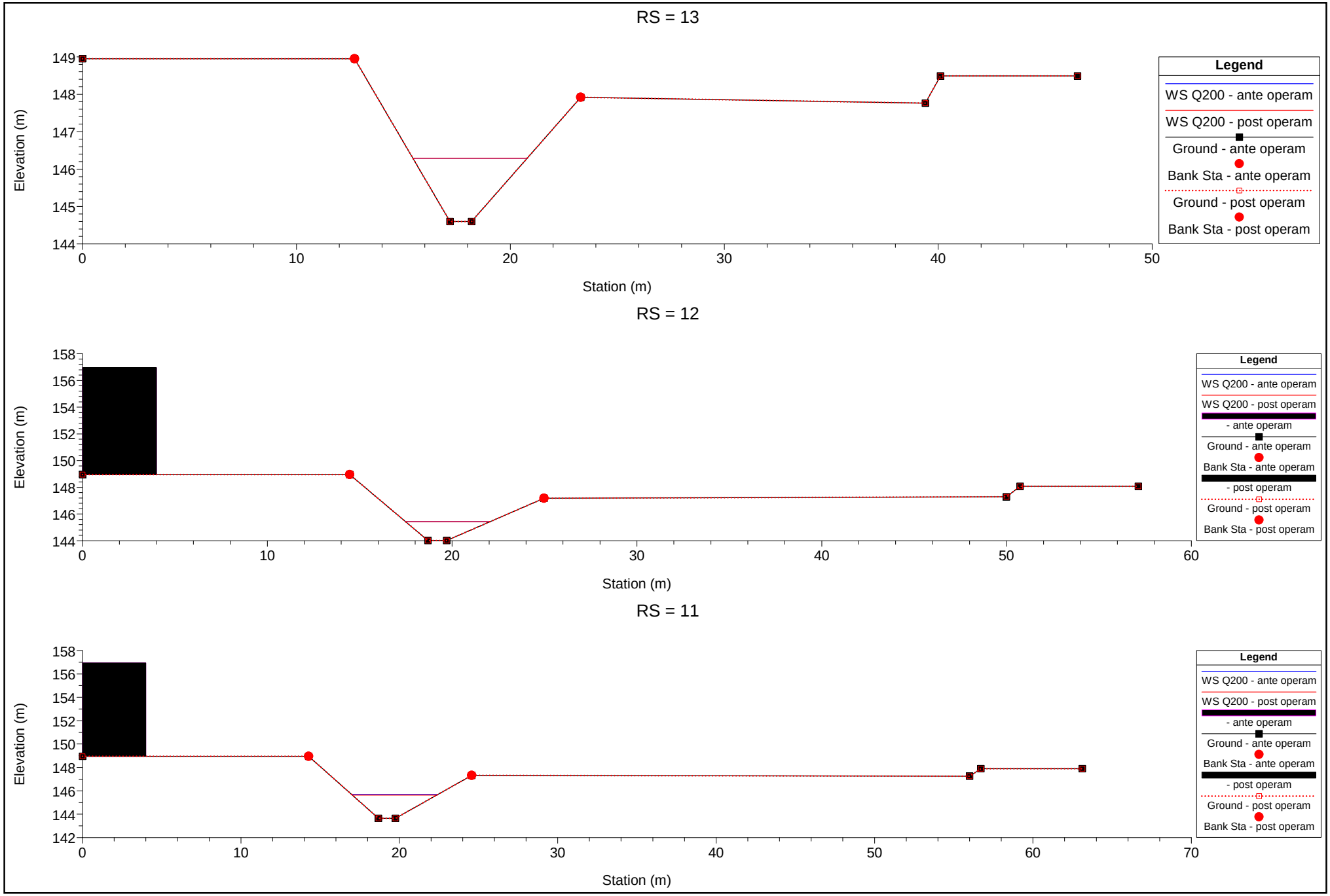
Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Calcini	1.95			Culvert									
Calcini	1.9	Q50	esistente	16.00	141.70	143.58		143.70	0.001902	1.58	10.12	7.40	0.43
Calcini	1.9	Q50	progetto	16.00	141.70	143.57		143.70	0.001912	1.58	10.10	7.39	0.43
Calcini	1	Q50	esistente	16.00	141.50	143.13	143.09	143.57	0.010006	2.91	5.50	5.72	0.95
Calcini	1	Q50	progetto	16.00	141.50	143.13	143.09	143.57	0.010006	2.91	5.50	5.72	0.95

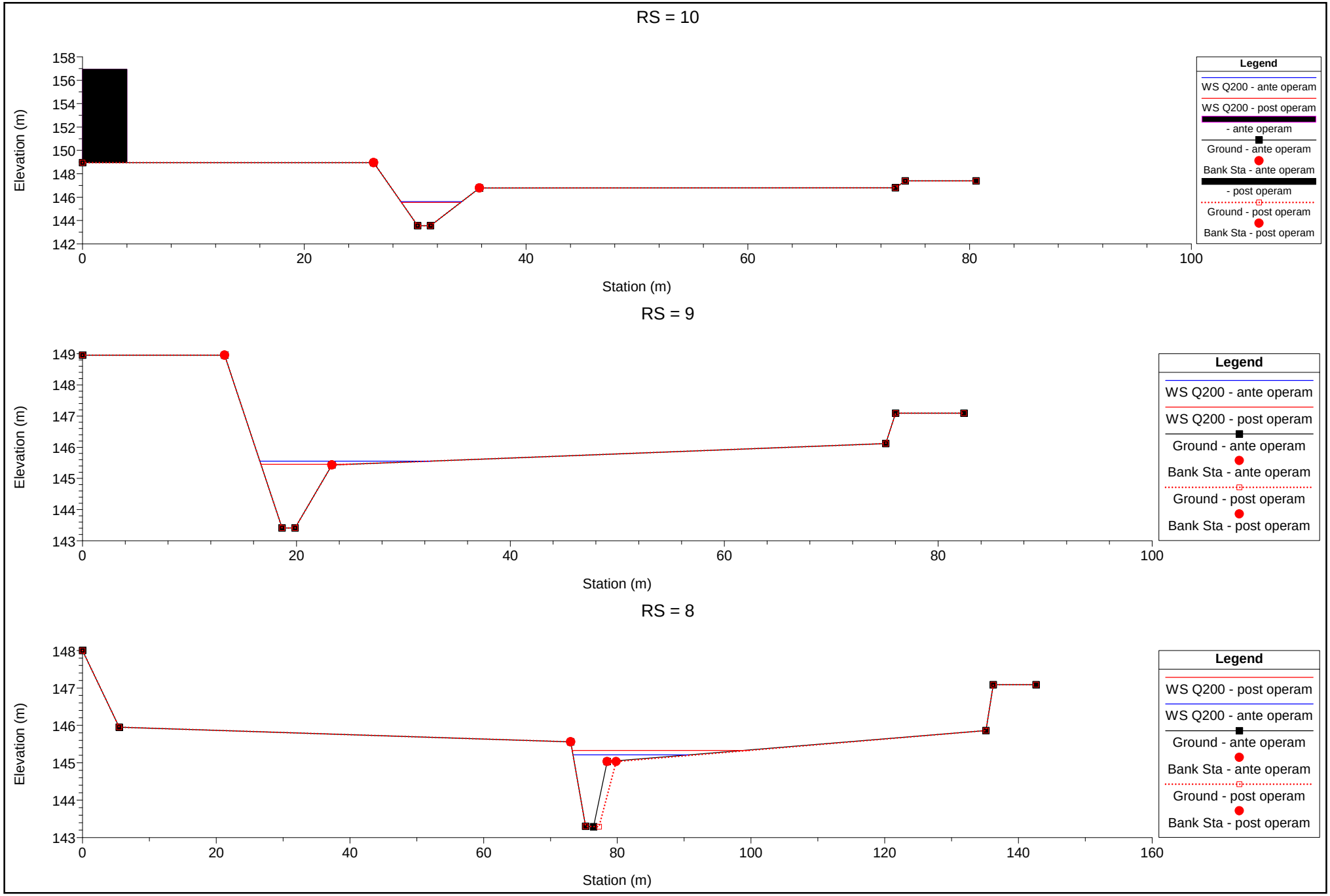
ALLEGATO 4B

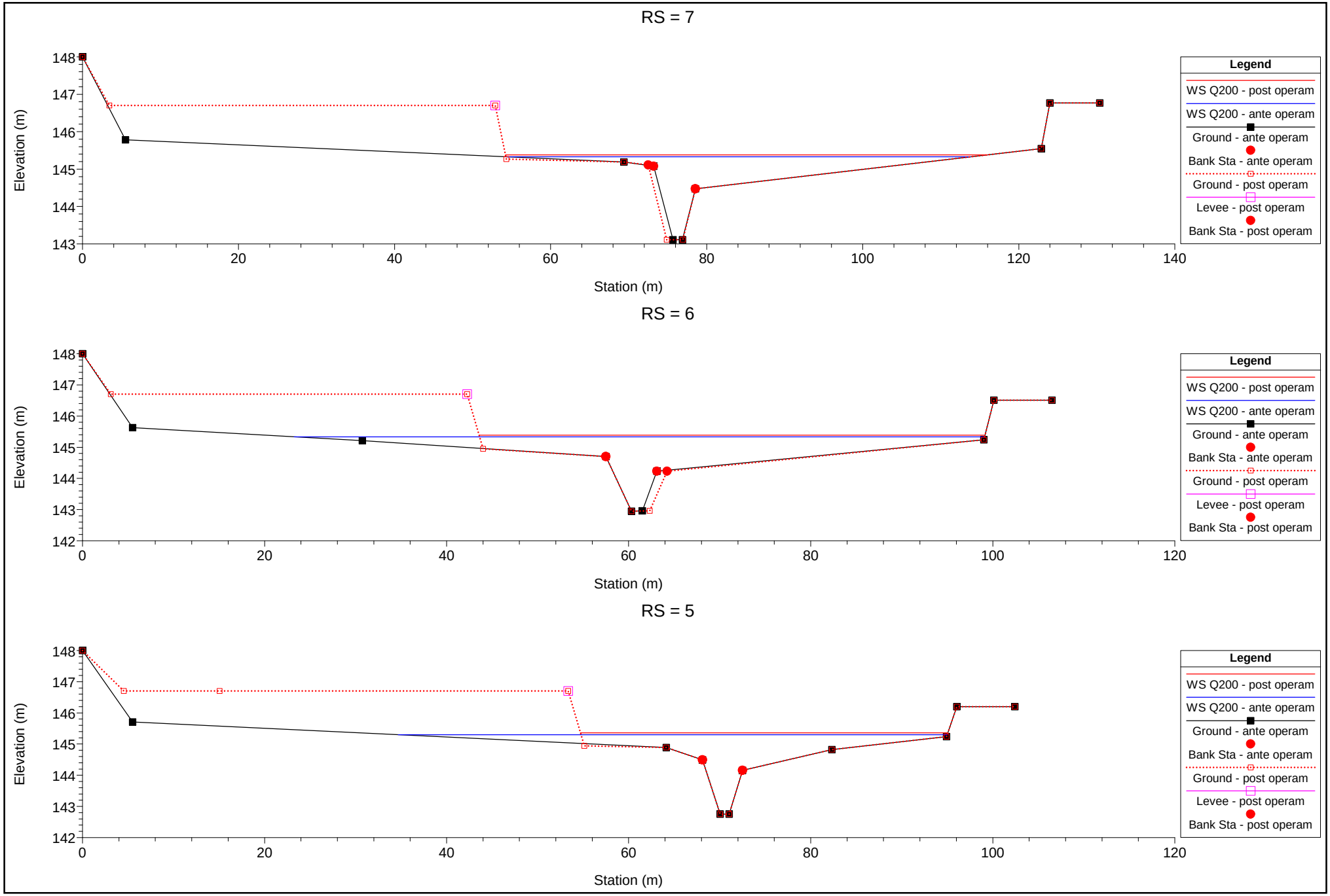
RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE CON PORTATA Q200 CONFRONTANDO LA SITUAZIONE ATTUALE CON QUELLA CHE SI DETERMINA A SEGUITO DELLA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO MANTENENDO INVARIATO L'ATTRAVERSAMENTO ESISTENTE

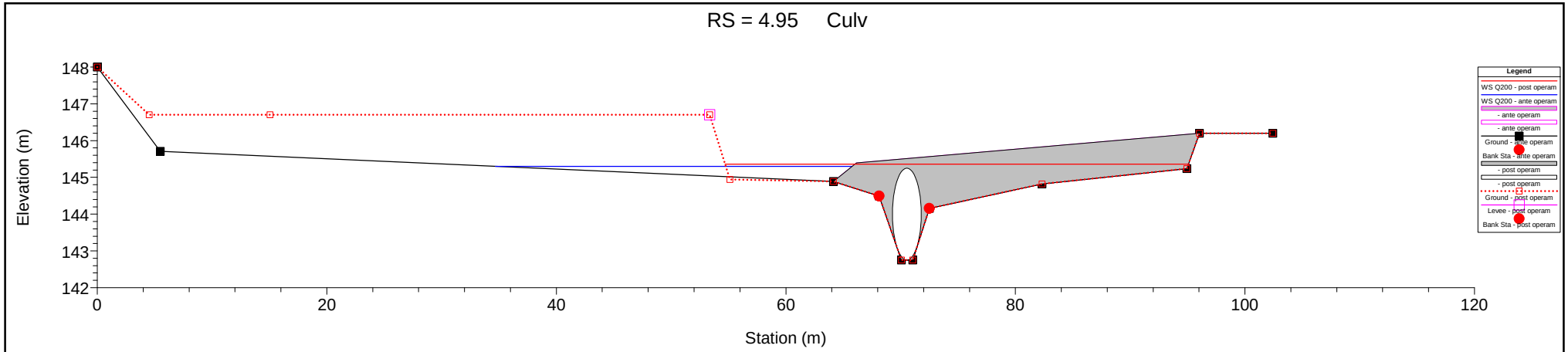


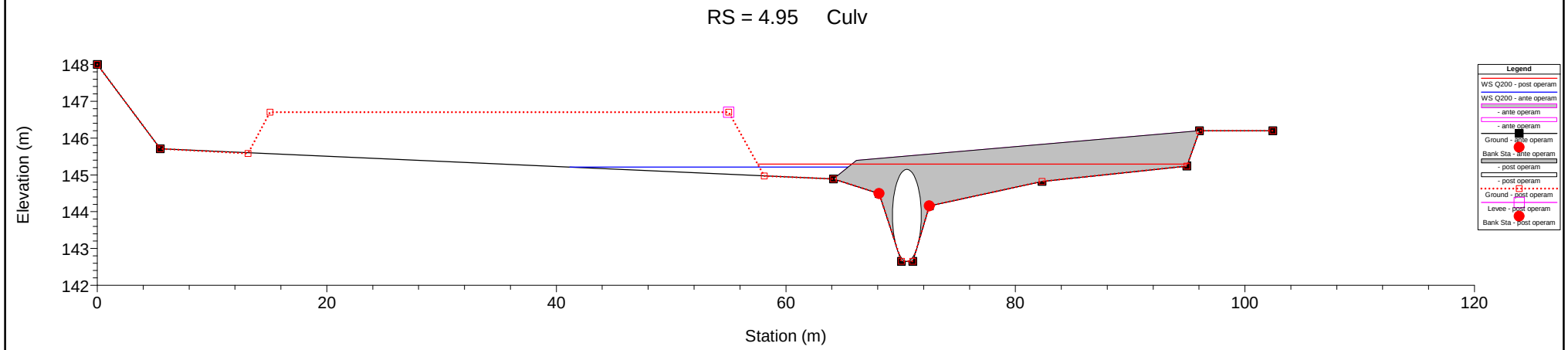
1 cm Horiz. = 38 m 1 cm Vert. = 38 m

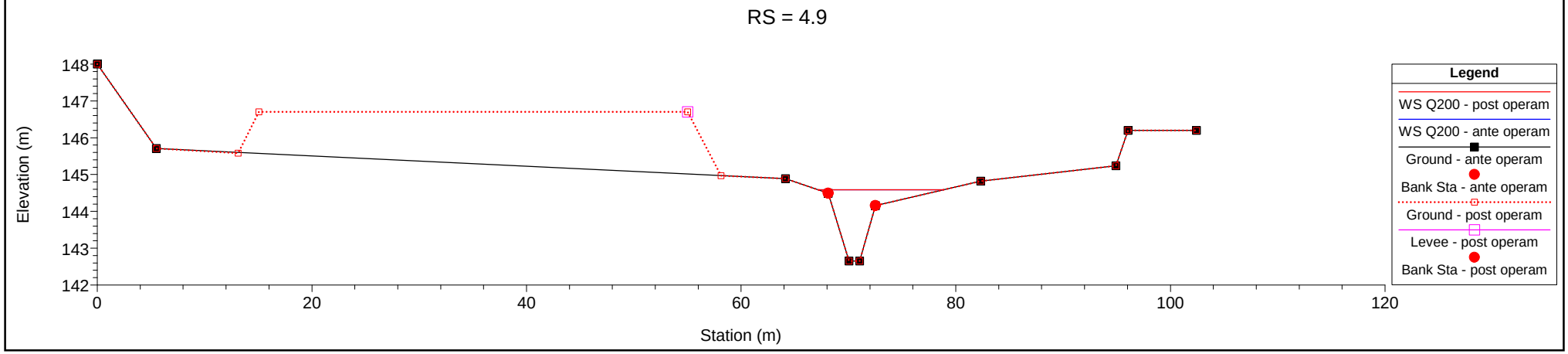

RS = 13
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 12
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
- ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
- post operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 11
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
- ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
- post operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam

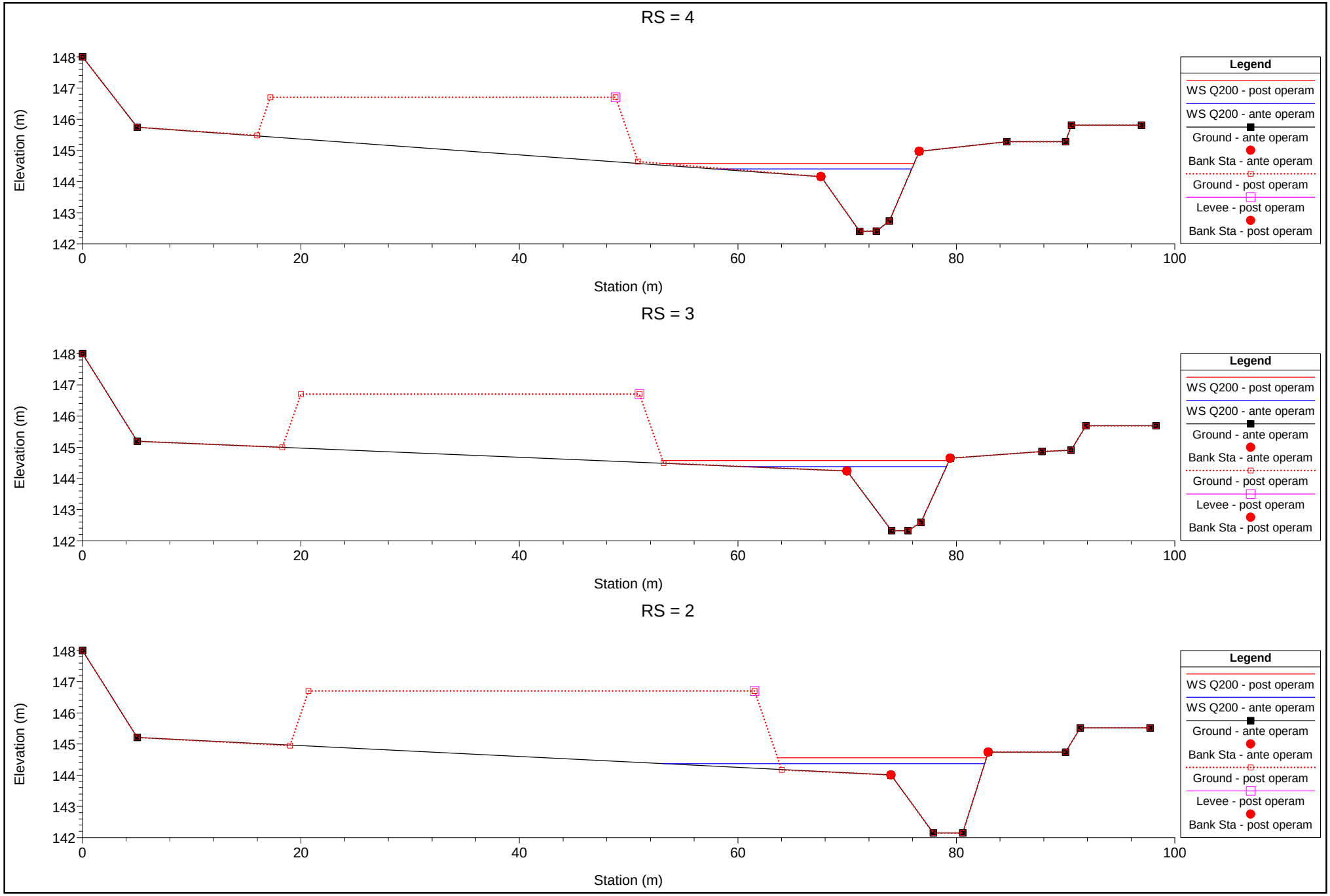

RS = 10
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
- ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
- post operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 9
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 8
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam


RS = 7
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
0
20
40
60
80
100
120
140
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 6
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
120
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 5
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
120
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam

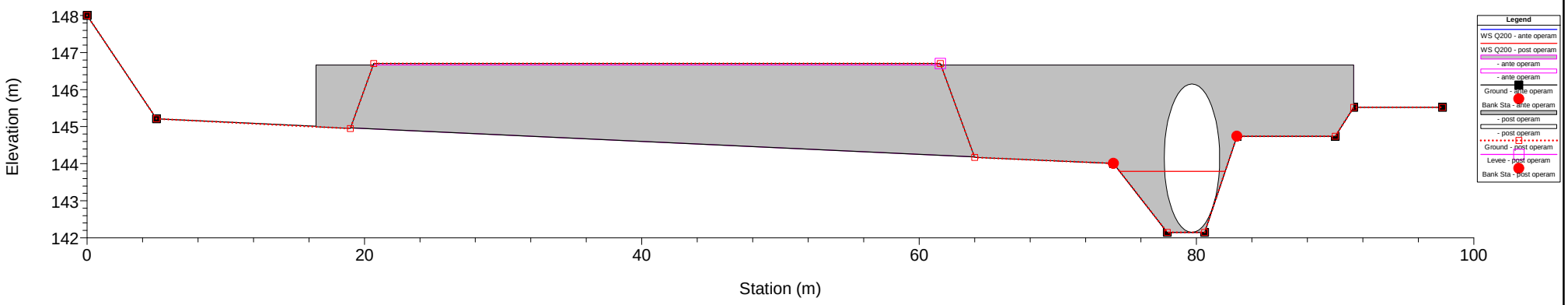

RS = 4.95 Culv
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
- ante operam
- ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
- post operam
- post operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam


RS = 4.95 Culv
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
- ante operam
- ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
- post operam
- post operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam

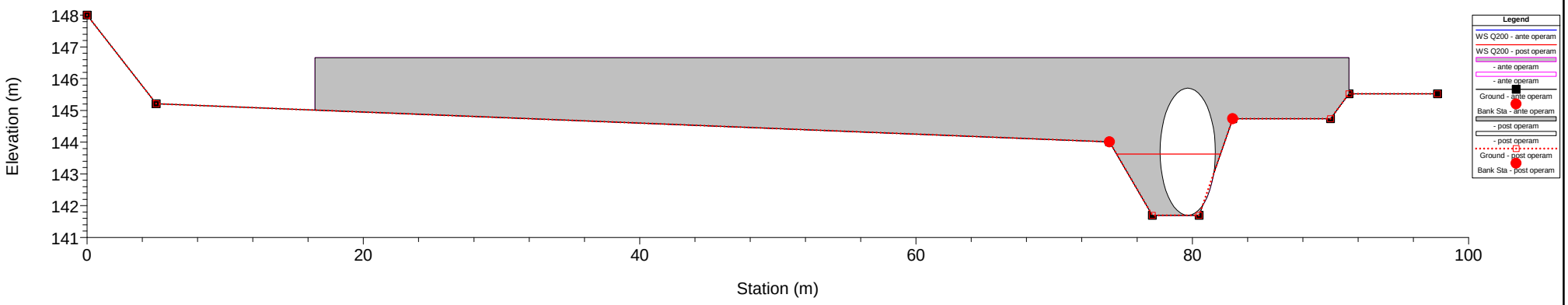

RS = 4.9
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam


RS = 4
Elevation (m)
Station (m)
148
147
146
145
144
143
142
0
20
40
60
80
100
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 3
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam
RS = 2
Elevation (m)
Station (m)
Legend
WS Q200 - post operam
WS Q200 - ante operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Levee - post operam
Bank Sta - post operam

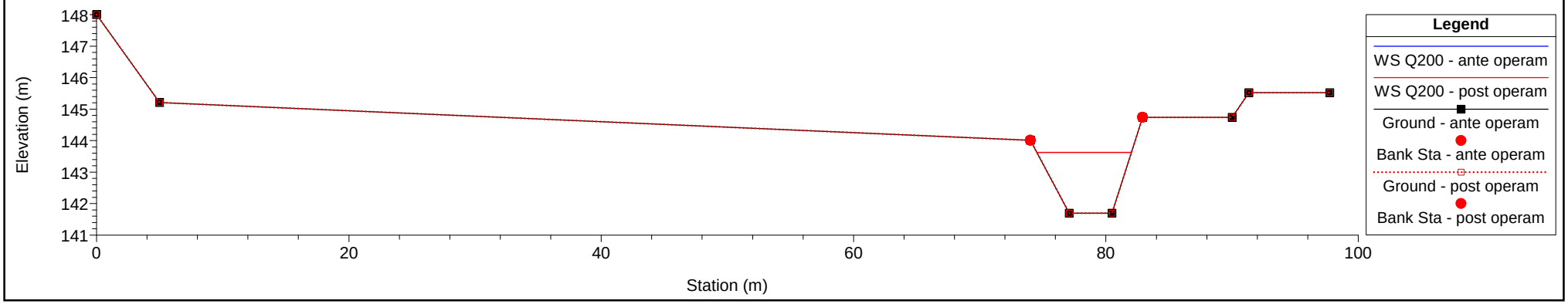
RS = 1.95 Culv

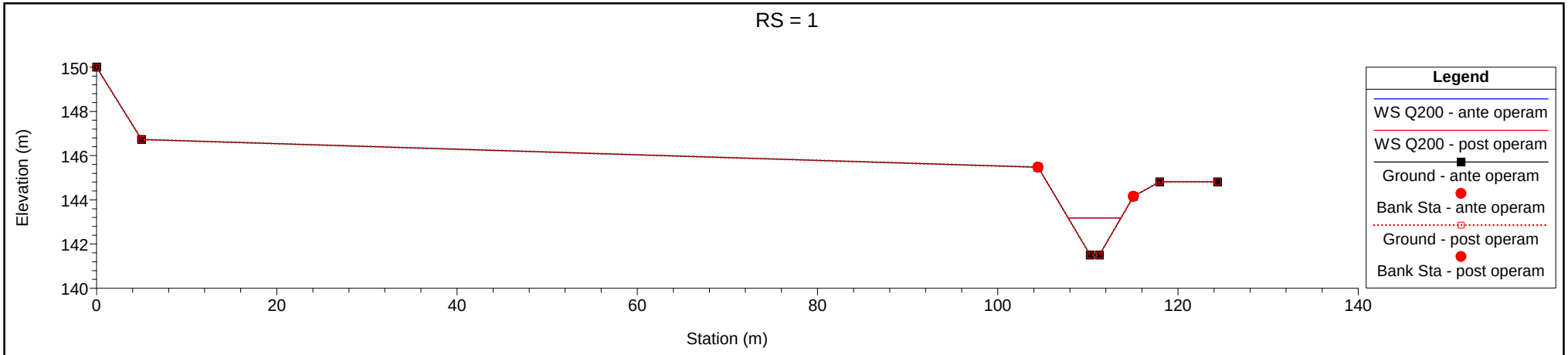


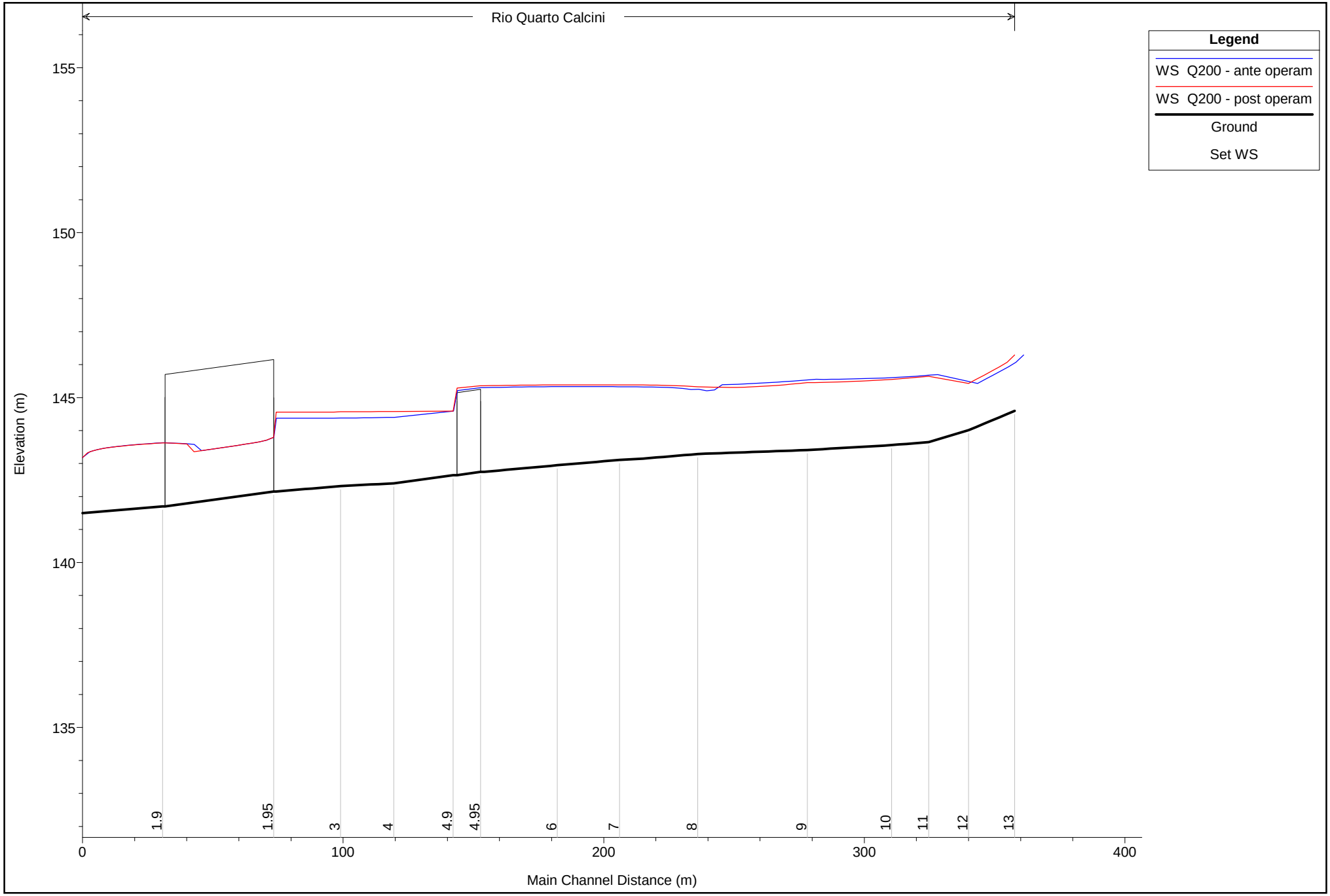
RS = 1.95 Culv



RS = 1.9




RS = 1
Elevation (m)
150
148
146
144
142
140
0
20
40
60
80
100
120
140
Station (m)
Legend
WS Q200 - ante operam
WS Q200 - post operam
Ground - ante operam
Bank Sta - ante operam
Ground - post operam
Bank Sta - post operam



1 cm Horiz. = 19 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS River: Rio Quarto Reach: Calcini Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Plan	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)	
Calcini	13	Q200	ante operam	17.00	144.60	146.29	146.29	146.80	0.011720	3.17	5.37	5.34	1.01
Calcini	13	Q200	post operam	17.00	144.60	146.29	146.29	146.80	0.011720	3.17	5.37	5.34	1.01
Calcini	12	Q200	ante operam	17.00	144.01	145.43	145.72	146.38	0.027026	4.33	3.93	4.56	1.49
Calcini	12	Q200	post operam	17.00	144.01	145.43	145.73	146.38	0.027026	4.33	3.93	4.56	1.49
Calcini	11	Q200	ante operam	17.00	143.65	145.70	145.41	146.03	0.006331	2.54	6.68	5.46	0.73
Calcini	11	Q200	post operam	17.00	143.65	145.65	145.41	146.00	0.007100	2.66	6.40	5.34	0.78
Calcini	10	Q200	ante operam	17.00	143.56	145.62		145.93	0.005961	2.49	6.84	5.49	0.71
Calcini	10	Q200	post operam	17.00	143.56	145.55		145.90	0.006896	2.63	6.47	5.35	0.76
Calcini	9	Q200	ante operam	17.00	143.41	145.55		145.74	0.003045	1.92	9.33	16.02	0.54
Calcini	9	Q200	post operam	17.00	143.41	145.45		145.68	0.003962	2.10	8.11	8.37	0.61
Calcini	8	Q200	ante operam	17.00	143.29	145.21	145.01	145.55	0.006704	2.64	7.32	17.35	0.76
Calcini	8	Q200	post operam	17.00	143.29	145.33		145.47	0.002217	1.72	12.11	26.54	0.47
Calcini	7	Q200	ante operam	17.00	143.11	145.33		145.37	0.000739	1.06	25.25	59.47	0.27
Calcini	7	Q200	post operam	17.00	143.11	145.38	144.70	145.41	0.000453	0.89	30.35	61.77	0.22
Calcini	6	Q200	ante operam	17.00	142.95	145.34		145.35	0.000237	0.67	42.05	75.85	0.16
Calcini	6	Q200	post operam	17.00	142.95	145.39	144.42	145.40	0.000164	0.60	42.95	55.57	0.14
Calcini	5	Q200	ante operam	17.00	142.75	145.30	144.64	145.33	0.000547	1.03	28.39	60.32	0.24
Calcini	5	Q200	post operam	17.00	142.75	145.36	144.65	145.39	0.000428	0.93	28.23	40.37	0.21
Calcini	4.95			Culvert									
Calcini	4.9	Q200	ante operam	17.00	142.65	144.59	144.59	144.95	0.007165	2.78	7.04	11.74	0.78
Calcini	4.9	Q200	post operam	17.00	142.65	144.59	144.59	144.95	0.007159	2.77	7.04	11.75	0.78
Calcini	4	Q200	ante operam	17.00	142.40	144.40	143.73	144.52	0.001699	1.52	12.08	17.92	0.42
Calcini	4	Q200	post operam	17.00	142.40	144.58	143.73	144.66	0.001048	1.28	15.47	23.16	0.34
Calcini	3	Q200	ante operam	17.00	142.32	144.38		144.48	0.001440	1.41	12.62	18.61	0.39
Calcini	3	Q200	post operam	17.00	142.32	144.57		144.63	0.000838	1.15	17.18	26.24	0.30
Calcini	2	Q200	ante operam	17.00	142.15	144.37	143.41	144.44	0.000885	1.20	17.00	29.43	0.31
Calcini	2	Q200	post operam	17.00	142.15	144.56		144.61	0.000546	1.00	19.61	19.13	0.24

HEC-RAS River: Rio Quarto Reach: Calcini Profile: Q200 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Plan	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)	
Calcini	1.95			Culvert									
Calcini	1.9	Q200	ante operam	17.00	141.70	143.63		143.76	0.001933	1.62	10.52	7.51	0.44
Calcini	1.9	Q200	post operam	17.00	141.70	143.63		143.76	0.001946	1.62	10.49	7.51	0.44
Calcini	1	Q200	ante operam	17.00	141.50	143.18	143.13	143.62	0.010006	2.95	5.75	5.85	0.95
Calcini	1	Q200	post operam	17.00	141.50	143.18	143.13	143.62	0.010006	2.95	5.75	5.85	0.95