



**Regione Lombardia**

**PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

# **COMUNE DI DOMASO PROVINCIA DI COMO**

## **Analisi della pericolosità del conoide del T.Livo**

### **STUDIO IDRAULICO DEL T.LIVO NEL TRATTO DI CONOIDE**

#### **IL TECNICO INCARICATO:**

**STUDIO DI GEOLOGIA  
TECNICA ED AMBIENTALE**

**dott. geol. Claudio Depoli  
dott. geol. Cristian Adamoli**

Via Villatico 11  
23823 Colico (Lc)  
tel\_fax: 0341.933011  
e\_mail: tecnico@studiogeoteam.com



#### **CONSULENZA SPECIALISTICA:**

**dott. ing. Claudia Anselmini**

Via Martiri 33  
23824 Dervio (Lc)  
tel\_fax: 0341.851176  
e\_mail: anselminiclaudia@tin.it

**DATA:**

Settembre 2009

**SCALA:**

///

**ALL.:**

**C**

**ELAB.:**

**C.3**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE LIVO E CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE.....</b>	<b>3</b>
2.1	<i>CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IDROGRAFICO.....</i>	5
<b>3</b>	<b>STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE LIVO.....</b>	<b>7</b>
3.1	<i>DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA PUNTUALE (O DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA).....</i>	8
3.2	<i>DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....</i>	12
3.3	<i>CALCOLO DELLA PORTATA DI PROGETTO.....</i>	12
<b>4</b>	<b>DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA DEL LAGO DI COMO – STAZIONE DI MALGRATE.....</b>	<b>15</b>
<b>5</b>	<b>ELABORAZIONI IDRAULICHE.....</b>	<b>19</b>
5.1	<i>GEOMETRIA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'ALVEO.....</i>	19
5.1.1	<i>Schematizzazione delle soglie.....</i>	21
5.2	<i>COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....</i>	24
5.3	<i>INDIVIDUAZIONE CARATTERISTICHE DEL MOTO.....</i>	25
5.4	<i>DETERMINAZIONE DEL PROFILO IDRAULICO.....</i>	27
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>28</b>

ALLEGATO 1: documentazione fotografica

ALLEGATO 2: risultati verifica idraulica per portata di piena liquida centenaria

ALLEGATO 3: risultati verifica idraulica per portata di piena solida centenaria

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione idraulica riguarda lo studio della dinamica idraulica del torrente Livo e della sua interazione con il Lago di Como in situazioni di piena, al fine di fornire una serie di informazioni utili alla delimitazione della pericolosità del conoide nell'ambito più generale dell'analisi della componente geologica del Piano di Governo del Territorio del comune di Domaso (CO).

Lo studio idraulico è stato redatto secondo le indicazioni riportate nella "*Direttiva sulle piene di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*" in attuazione dell'art. 10 del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

La verifica è stata eseguita in riferimento alla portata di piena del corso d'acqua stimata per un tempo di ritorno pari a 100 anni e mediante il tracciamento del profilo idrico in condizioni di moto stazionario monodimensionale.

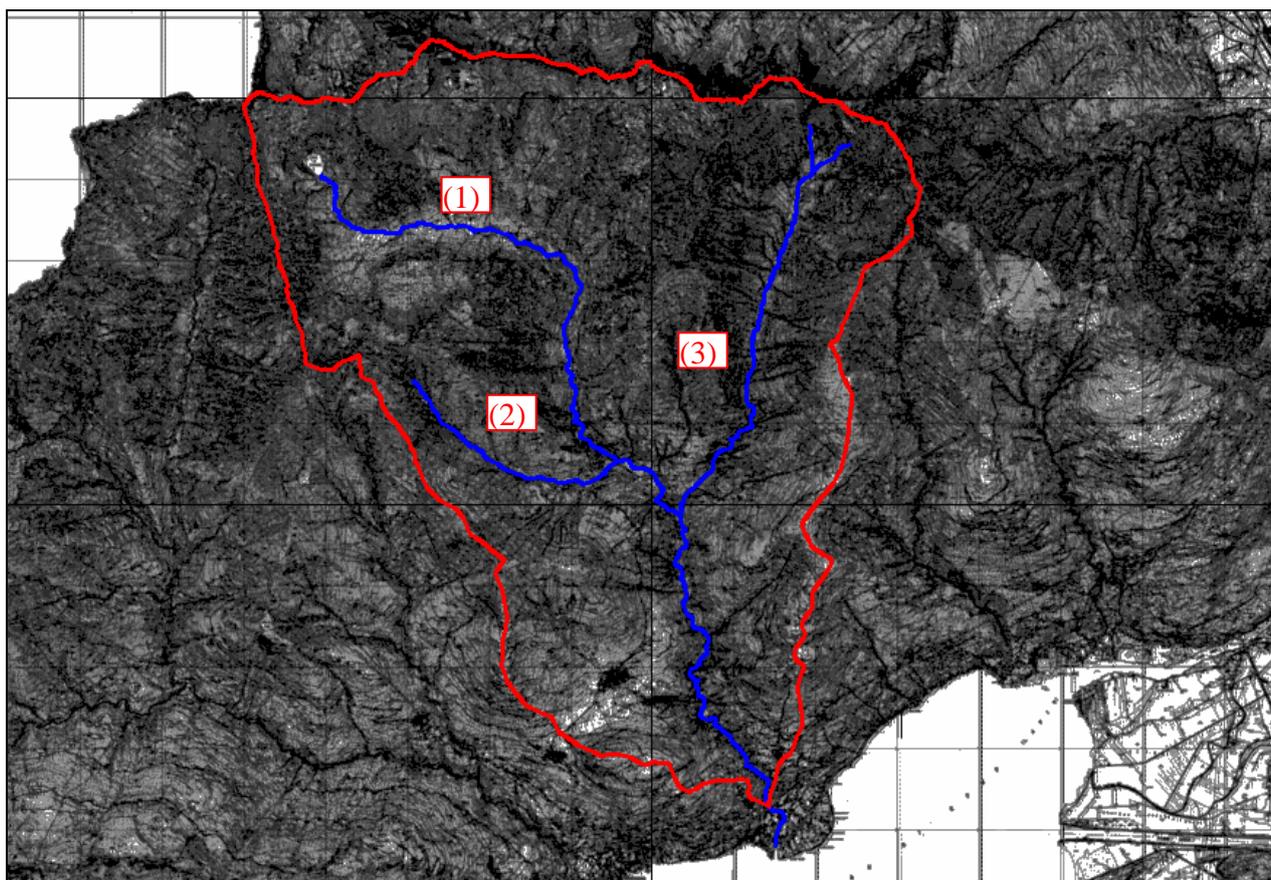
Il tratto di corso d'acqua oggetto della verifica è quello compreso tra il ponte ad arco a monte dell'abitato di Domaso, situato nella zona apicale del conoide, e la foce nel Lago di Como.

La geometria del sistema, considerato ai fini della verifica idraulica, è stata definita mediante rilievo topografico e di terreno.

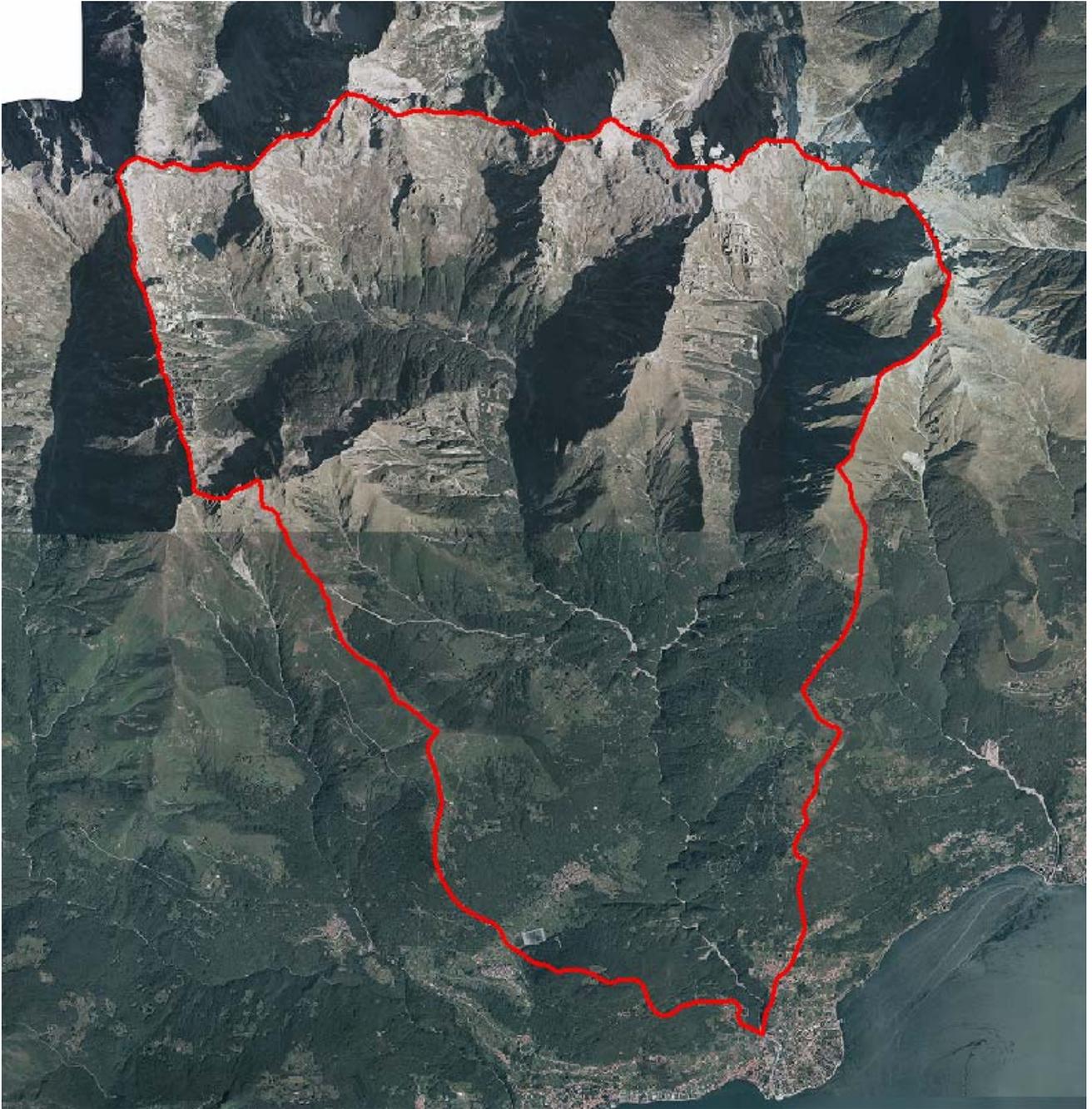
## 2 INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE LIVO E CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE

Il torrente Livo ha origine in prossimità del lago di Darenzo a quota 1781 m s.l.m.; l'asta principale del corso d'acqua si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 13 km. Il suo bacino si estende a monte dell'abitato di Domaso comprendendo porzioni di territorio dei comuni di Domaso, Vercana e Livo. La rete idrografica del torrente Livo risulta essere estremamente ramificata. La valle principale, la valle di Darenzo, ha un andamento prevalente NNW-SSE e su di essa si innestano un gran numero di valli minori, tra cui le più importanti sono la Valle di Bares in sinistra idrografica con andamento circa N-S e la Val Piana in destra con decorso NW-SE; tali valli si innestano lungo i principali lineamenti tettonici regionali.

La prima confluenza tra la Valle Darenzo e la Val Piana è situata alla quota di circa 600 m s.l.m. mentre la seconda, con la Valle di Bares, a circa 500-550 m s.l.m.; a partire da questa seconda confluenza si origina la cosiddetta Valle di Livo che prosegue verso valle sfociando nel Lago di Como in territorio di Domaso alla quota di circa 199 m s.l.m..



Estratto Carta Tecnica Regionale con l'ubicazione del bacino idrografico del torrente Livo e la rete idrografica principale: Valle di Darenzo (1), Val Piana (2), Valle di Bares (3))



Ortofoto con delimitazione del bacino idrografico del Torrente Livo sotteso alla sezione di chiusura in corrispondenza del ponte ad arco in prossimità dell'apice del conoide

## 2.1 CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del torrente Livo, sotteso dalla sezione di chiusura individuata in corrispondenza del ponte ad arco nella zona apicale del conoide su cui sorge una parte dell'abitato di Domaso, si sviluppa su una superficie complessiva di 47,25 km<sup>2</sup> compresa tra 2520,70 m s.l.m. (Pizzo Cavregasco) e 206 m s.l.m..

L'altitudine media del bacino idrografico in oggetto è stata calcolata suddividendo l'area del bacino in fasce ad intervallo altimetrico costante ed effettuando una media pesata dell'altitudine media di ciascuna fascia rispetto alla superficie corrispondente alla relativa fascia altimetrica, ovvero applicando la seguente relazione:

$$H_{media} = \frac{\sum_i H_i \cdot S_i}{S} \quad [\text{m s.l.m.}]$$

dove:

Hi altitudine media della fascia altimetrica i-esima

Si superficie della porzione di bacino idrografico compresa nella fascia altimetrica i-esima

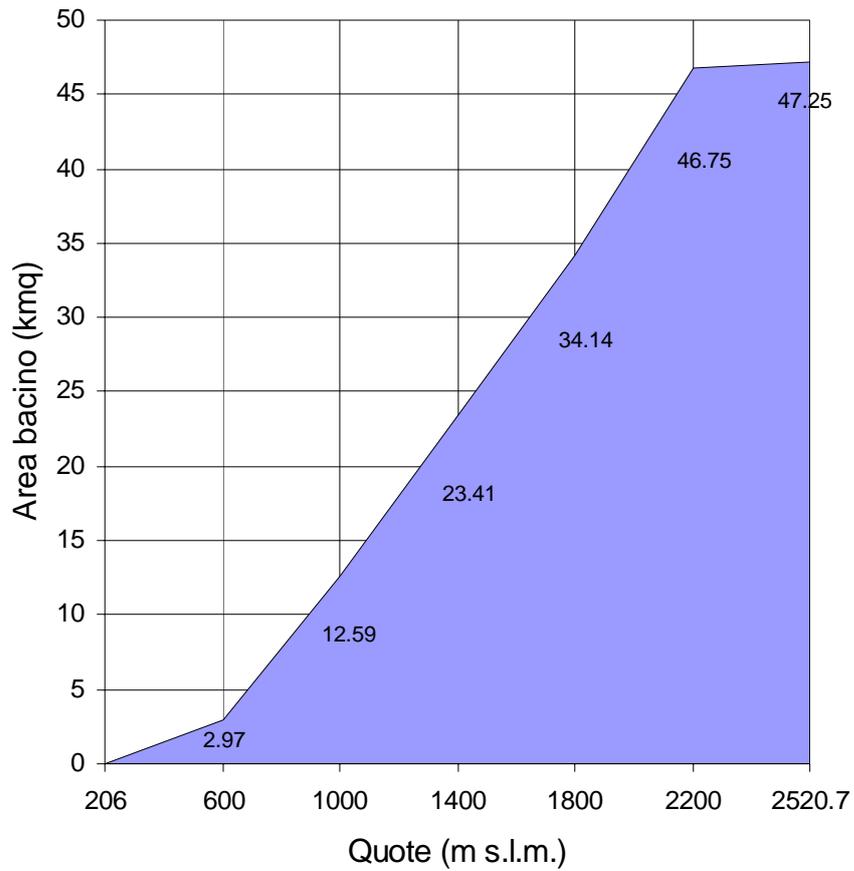
S superficie complessiva del bacino idrografico

Applicando tale espressione si ottiene un'altitudine media del bacino idrografico del torrente Livo, chiuso alla sezione considerata, pari a 1385,08 m s.l.m..

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche fisiche del bacino idrografico del torrente Livo, utili ai fini della stima della portata di piena del corso d'acqua:

- SUPERFICIE BACINO	47,25 km <sup>2</sup>
- QUOTA MASSIMA	2520,70 m s.l.m.
- QUOTA MINIMA	206,00 m s.l.m.
- QUOTA MEDIA	1385,08 m s.l.m.
- LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE	12,87 km

Nella figura seguente si riporta la curva ipsometrica del bacino idrografico del torrente Livo.



*Curva ipsometrica del bacino idrografico del torrente Livo*

### 3 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE LIVO

Non disponendo delle necessarie osservazioni di portata e per superare le difficoltà riscontrate dalla scarsità di dati idrologici di base reperibili, l'analisi è stata condotta utilizzando modelli di trasformazione degli afflussi meteorici (precipitazioni atmosferiche di prefissate caratteristiche) in deflussi alla sezione di chiusura del bacino.

I fondamenti delle procedure utilizzate per la redazione del presente studio sono stati tratti dalla bibliografia, nonché dalle direttive del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) sulle piene di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica recanti le indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni.

Per la determinazione delle portate di progetto si è fatto ricorso all'utilizzo dei metodi di analisi dei deflussi superficiali di tipo approssimato e indiretto.

In mancanza di misure dirette dei valori di portata risulta importante l'utilizzo delle comuni formule per la definizione del valore di massima piena. In questo specifico caso si è utilizzata la FORMULA DEL METODO RAZIONALE.

$$Q = 0,28 \cdot c \cdot i \cdot A$$

In cui  $c$  è il coefficiente d'afflusso caratteristico del bacino idrografico,  $i$  è l'intensità della pioggia corrispondente alla durata critica, ovvero alla durata che dà luogo al massimo valore della portata al colmo (mm/h),  $A$  è la superficie complessiva del bacino idrografico (km<sup>2</sup>).

Per l'applicazione di tale metodo si è considerato il bacino del torrente come una singola unità basandosi sulle seguenti ipotesi:

- ◆ Distribuzione uniforme della precipitazione su tutto il bacino
- ◆ Linearità del modello A-F impiegato (ingressi e uscite di uguale rarità)
- ◆ Tempo di formazione del colmo di piena pari a quello della fase di riduzione
- ◆ Tempo di ritorno  $T$  della portata stimata uguale a quello dell'intensità di pioggia
- ◆ Durata dell'intensità di pioggia uguale al tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino

### **3.1 DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA PUNTUALE (O DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA)**

La curva di possibilità climatica, che rappresenta il legame tra l'altezza di pioggia che può cadere con un assegnato tempo di ritorno T per un'assegnata durata d e la durata d, è rappresentata dall'equazione:

$$h(d,T) = a \cdot d^n$$

dove si assume che la durata sia quella che dà luogo al massimo valore della portata al colmo (durata critica).

Data la scarsa disponibilità di dati pluviometrici e la mancanza di serie storiche di dati di pioggia relativi al bacino in esame che possano giustificare un accurato studio statistico dei dati pluviometrici per ottenere una stima dei parametri il più possibile corretta, il valore di a ed n è stato desunto direttamente da valori stimati dall'Autorità di Bacino ed in particolare dall'allegato 3 alla sopraccitata direttiva: *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni relative alle celle del reticolo chilometrico.*

L'individuazione della cella del reticolo chilometrico è stata desunta dallo stesso allegato, di cui di seguito se ne riportano alcuni stralci.

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO  
COMUNE DI DOMASO (CO)

AdbPo - PAI - Direttiva 2 Allegato 1 - Tavola 04

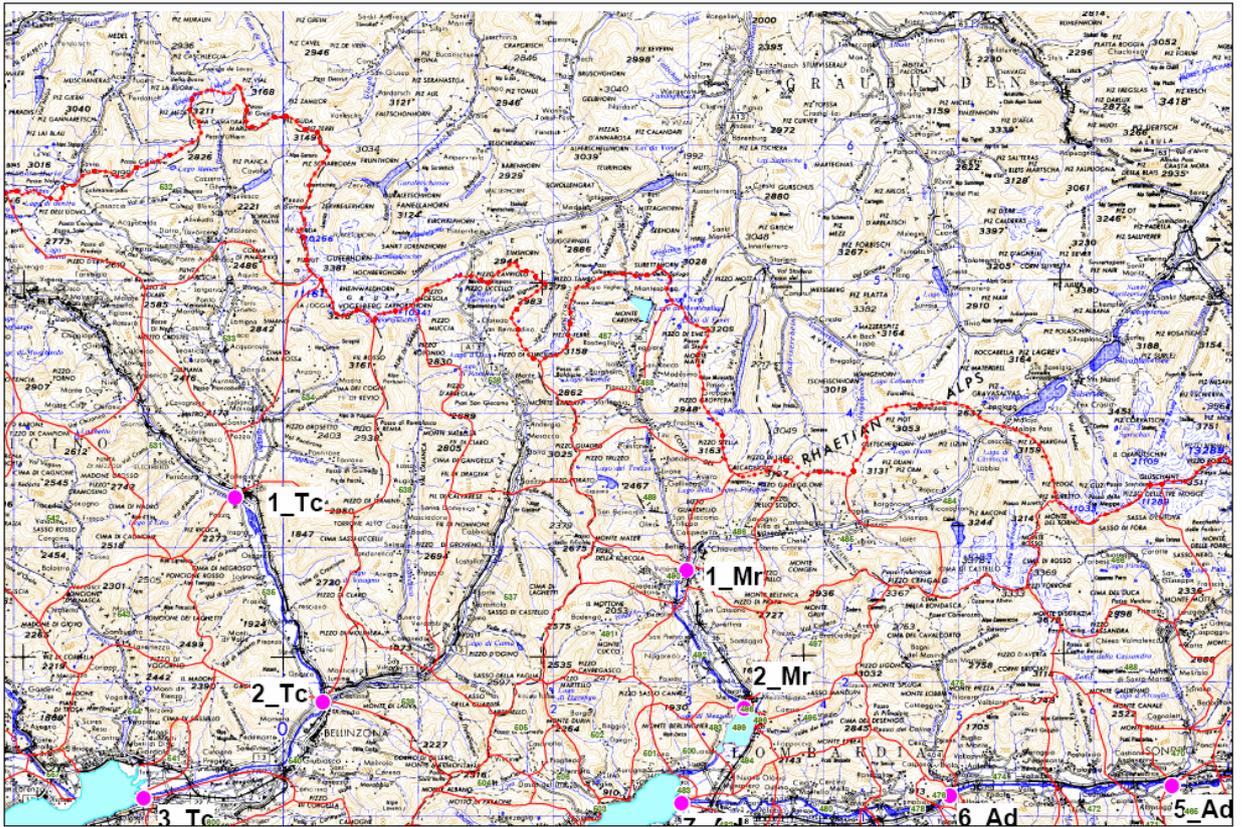
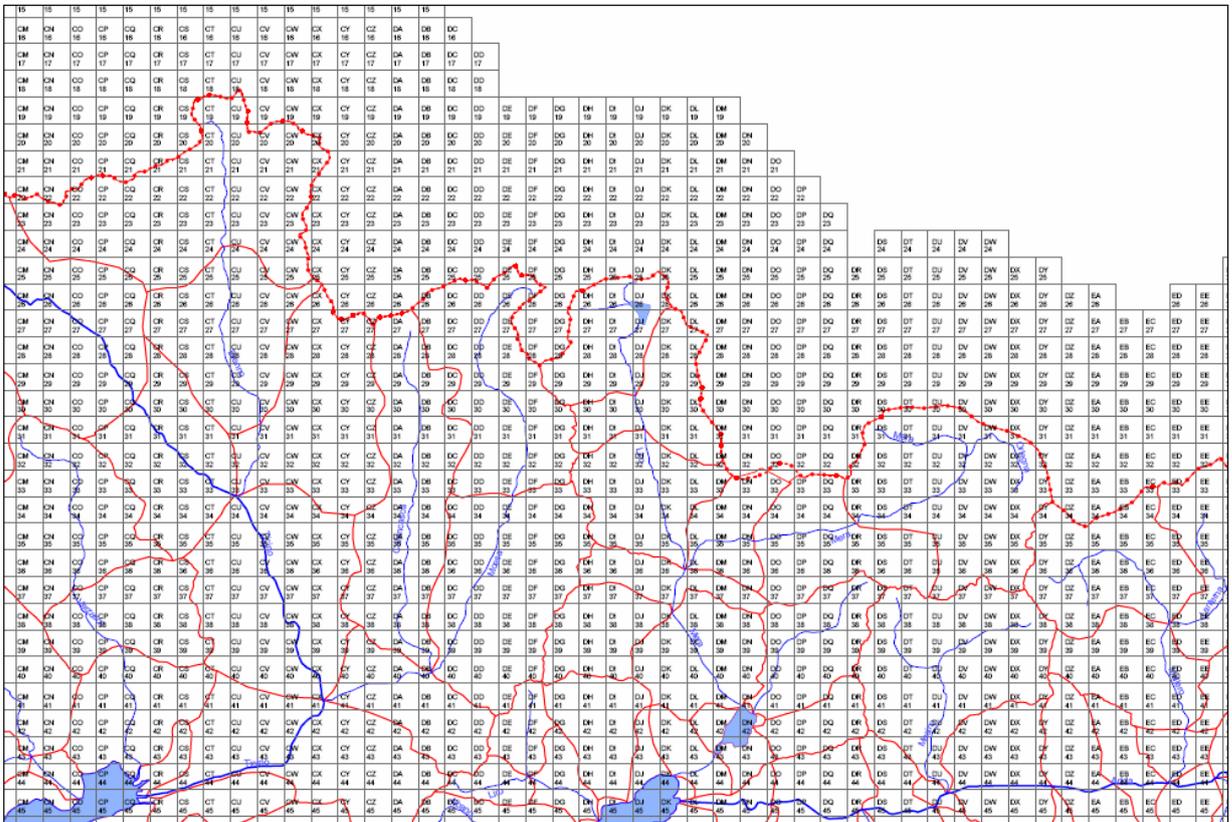
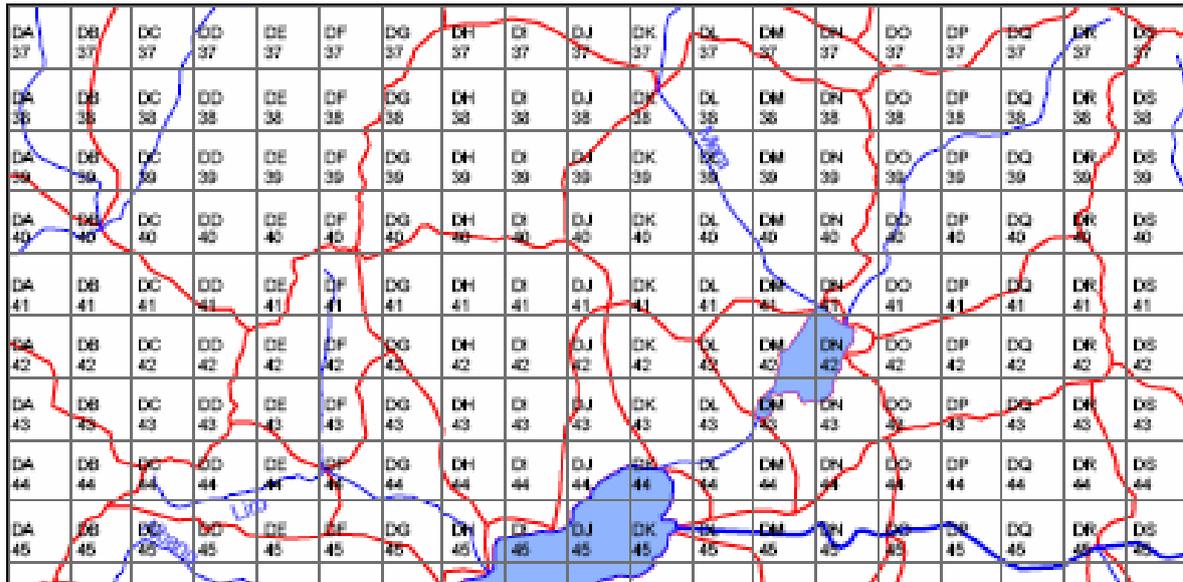


Tavola 04



PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO  
COMUNE DI DOMASO (CO)



*Estratto della Tavola 04 del reticolo definito dal PAI in corrispondenza del bacino idrografico*

Considerando i valori delle celle del reticolo che risultano, per la maggior parte, comprese all'interno del bacino idrografico del torrente Livo e che sono riportate nella tabella seguente, si sono stimati i valori medi dei parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità pluviometrica, e successivamente impiegati nella stima della portata di piena centenaria del torrente.

Cella PAI	Tr = 20 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a	n	a	n	a	n	a	n
<b>DG41</b>	44.93	0.381	57.07	0.379	62.25	0.378	69.08	0.377
<b>DG42</b>	45.86	0.376	58.31	0.374	63.63	0.373	70.64	0.372
<b>DH41</b>	44.42	0.373	56.45	0.370	61.59	0.369	68.36	0.368
<b>DH42</b>	45.38	0.369	57.73	0.365	63.01	0.364	69.97	0.363
<b>DH43</b>	46.16	0.367	58.79	0.363	64.18	0.362	71.29	0.361
<b>DH44</b>	47.31	0.362	60.33	0.359	65.90	0.357	73.23	0.356
<b>DI41</b>	43.57	0.370	55.32	0.366	60.34	0.365	66.95	0.364
<b>DI42</b>	44.58	0.365	56.67	0.362	61.84	0.361	68.25	0.359
<b>DI43</b>	45.51	0.363	57.94	0.359	63.25	0.358	70.25	0.356
<b>DI44</b>	46.64	0.359	59.48	0.355	64.96	0.353	72.19	0.352
<b>DJ41</b>	42.79	0.367	54.30	0.363	59.21	0.362	65.69	0.360

*Parametri  $a$  ed  $n$  caratteristici delle celle del reticolo definito dal PAI*

I parametri  $a$  ed  $n$  medi ottenuti ed utilizzati nelle successive elaborazioni sono pertanto i seguenti:

TEMPO DI RITORNO(anni)	$a$	$n$
20	45.20	0.368
100	57.49	0.365
200	62.74	0.364
500	69.63	0.363

Dal rapporto tra la curva di possibilità climatica e la durata dell'evento di pioggia, è possibile ricavare il valore dell'INTENSITA' MEDIA DELLA PRECIPITAZIONE:

$$i(d,T) = a \cdot d^{n-1}$$

Noti i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  è possibile ricavare i valori di intensità delle precipitazioni relative a diverse durate; inserendo in un modello afflussi-deflussi tali valori è possibile determinare, oltre che gli idrogrammi di piena, anche le portate di colmo per assegnati tempi di ritorno.

La durata dell'evento da considerare è quella cosiddetta critica, cioè quella che è causa di una portata pari a quella del colmo di piena.

Poiché il tempo di corrivazione del bacino  $t_c$ , oltre che il tempo che impiega la precipitazione dalla parte più distante del bacino a raggiungere la sua sezione di chiusura, rappresenta il tempo dall'inizio della precipitazione oltre il quale tutta la precipitazione caduta sul bacino contribuisce alla formazione del deflusso, la formazione del deflusso dipende dal tempo di corrivazione di ciascun bacino. La durata critica dell'evento meteorico è pertanto assunta pari al tempo di corrivazione  $t_c$  del bacino.

### **3.2 DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE**

Il calcolo del tempo di corrivazione è stato effettuato utilizzando la formula di Giandotti la quale si ritiene meglio si adatti alla valutazione relativa ai bacini montani:

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

$A$  superficie bacino (km<sup>2</sup>)

$L$  lunghezza asta principale (km)

$H_m$  altitudine media bacino (m s.l.m.)

$H_0$  altitudine minima bacino ( m s.l.m.)

Il tempo di ritorno così calcolato è risultato essere pari a **1,70 ore**.

### **3.3 CALCOLO DELLA PORTATA DI PROGETTO**

L'analisi qui esposta ha permesso di determinare la trasformazione dell'evento meteorico in afflusso alla sezione di chiusura del bacino attraverso l'applicazione della formula razionale  $Q = 0,28 \cdot c \cdot i \cdot A$ , dove  $c$  rappresenta il coefficiente di deflusso, ovvero il rapporto tra gli afflussi meteorici ed i corrispondenti deflussi superficiali.

La determinazione di tale coefficiente ha tenuto conto in modo implicito di tutti gli elementi che possono determinare la relazione tra portata al colmo e intensità di pioggia.

Esso dipende dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino nonché dalla sua copertura vegetale e la sua determinazione, tra l'altro di difficile stima, è possibile solamente quando si disponga sia di serie storiche di pioggia, ma anche di portata.

La poca disponibilità di dati in tal senso ha reso obbligatoria la determinazione di tale valore facendo riferimento alla bibliografia.

I coefficienti di deflusso sono assegnati a seconda dell'uso del suolo e delle sue caratteristiche geomorfologiche.

Di seguito si riporta la tabella di riferimento tratta da "Handbook of Applied Hydrology", (Ven Te Chow, 1964) che assegna valori di coefficienti di deflusso a seconda dell'uso del suolo utilizzata.

*Coefficienti di deflusso c*

TIPO DI SUOLO	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

In questo caso, considerando le caratteristiche del bacino idrografico in oggetto, si stima cautelativamente un valore intermedio tra i due indicati, a seconda dell'uso del suolo, per la categoria di suoli caratterizzati da una **bassa infiltrazione**, ovvero 0,45. Tale valore risulta, inoltre, in linea con il valore del coefficiente d'afflusso indicato, specificatamente per il bacino in oggetto, nel database del "Sistema Informativo Bacini e Corsi d'Acqua" (SIBCA) della Regione Lombardia.

Assegnando pertanto un valore del coefficiente d'afflusso medio pari a  $c = 0,45$  la portata di progetto stimata per i diversi tempi di ritorno risulta essere:

Tempo di ritorno	Portata Q
20 anni	190,8 mc/s
100 anni	243,6 mc/s
200 anni	264,2 mc/s
500 anni	293,1 mc/s

A seguire si riporta copia delle elaborazioni effettuate per la stima della portata di piena per differenti tempi di ritorno dell'evento.

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO  
COMUNE DI DOMASO (CO)

**STIMA DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA**

Direttiva n. 2 Autorità di Bacino del Fiume PO - P.A.I.

"Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"

**Descrizione :** Torrente Livo

**Punto di sezione :** ponte ad arco a monte dell'abitato di Domaso

**TEMPO DI CORRIVAZIONE (Giandotti)**

DATI MORFOMETRICI BACINO IDROGRAFICO	DATI RISULTANTI
<b>S</b> ⇒ <b>47.250</b> [Km <sup>2</sup> ] Superficie Bacino	Tempo di Corrivazione  $T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \Rightarrow 1.70$ [ore]
<b>L</b> ⇒ <b>12.871</b> [Km] Lunghezza asta principale	
<b>Hm</b> ⇒ <b>1385.08</b> [m] Altezza media del Bacino s.l.m.m.	
<b>Ho</b> ⇒ <b>206.00</b> [m] Quota della sez. di chiusura s.l.m.m.	

**PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE**

FORMULA	$h_{(t)} = at^n$	h <sub>(t)</sub> = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione a = fattore della curva relativo ad un determinato Tr n = esponente della curva relativo ad un determinato Tr Tr = tempo di ritorno (20-100-200 anni)								
Curva di probabilità pluviometrica										
DATI CELLA DELLA GRIGLIA DI DISCRETIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE (Cfr. Allegato n.3 della Direttiva n.2 PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume PO)										
Cella	Coord. Est UTM	Coord. Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
<b>media</b>			<b>45.2</b>	<b>0.368</b>	<b>57.81</b>	<b>0.365</b>	<b>62.74</b>	<b>0.364</b>	<b>69.63</b>	<b>0.363</b>
MASSIMA PRECIPITAZIONE PROBABILE										
<b>Tr</b>	<b>h(t)</b>									
<b>20</b>	⇒ <b>54.99</b>	h <sub>(t)</sub> = massima precipitazione in mm al tempo t t = tempo di progetto (ore) = tempo di corrivazione [ore] <b>1.70</b> Tr = tempo di ritorno								
<b>100</b>	⇒ <b>70.22</b>									
<b>200</b>	⇒ <b>76.17</b>									
<b>500</b>	⇒ <b>84.49</b>									

**PORTATE DI MASSIMA PIENA**

FORMULA del METODO RAZIONALE		
$Q_c = 0.278 \frac{ch_{(t)}S}{T_c}$	dove $Q_c$ ⇒ <b>0.45</b> portata al colmo $c$ ⇒ <b>0.45</b> coefficiente di deflusso $h_{(t)}$ ⇒ massima precipitazione in mm al tempo t (vedi punto prec.) $S$ ⇒ <b>47.25</b> [Km <sup>2</sup> ] Superficie Bacino $T_c$ ⇒ <b>1.70</b> [ore] Tempo di corrivazione	
Tempo di ritorno (anni)	Portate al colmo = Q <sub>c</sub> [mc/sec]	
<b>20</b>	⇒	<b>190.788</b>
<b>100</b>	⇒	<b>243.625</b>
<b>200</b>	⇒	<b>264.260</b>
<b>500</b>	⇒	<b>293.125</b>

## 4 DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA DEL LAGO DI COMO – STAZIONE DI MALGRATE

Per la determinazione dei possibili livelli di esondazione, si è provveduto ad effettuare una analisi della frequenza dei livelli del bacino lariano.

Si è proceduto alla determinazione del livello idrometrico del Lago in caso di una sua piena con assegnati tempi di ritorno mediante l'analisi dei dati utili esistenti.

Sono stati considerati i dati registrati dal Consorzio dell'Adda alla stazione idrometrica di Malgrate e le massime altezze annue dal 1946 al 2005. ( I dati antecedenti a tale periodo non hanno significato ai fini della presente analisi in quanto anteriori alla gestione regolata dell'invaso. Per tale motivo non possono essere considerati omogenei e quindi appartenenti allo stesso campione).

Dopo l'entrata in funzione della diga, l'oscillazione massima del lago è stata registrata nel 1987, con un +2,64 m rispetto allo zero idrometrico che per questa stazione è uguale a 197,37 m s.m.; mentre il livello massimo più basso è stato registrato durante lo scorso anno (2005) ed è stato pari a 50 cm sopra lo zero idrometrico.

Dall'analisi dei dati è interessante notare come proprio nell'ultimo quinquennio sono stati raccolti livelli massimi di piena tra loro decisamente contrastanti: per ben due anni (anno 2000 e 2002) tale valore ha superato i 200 cm oltre lo zero idrometrico; di contro per gli ultimi tre anni (2003, 2004 e 2005) i livelli massimi registrati sono stati i più bassi dell'intera serie storica.

Per valutare il livello idrometrico del Lago per un tempo di ritorno prefissato (T=50,100, 200, 500, etc. anni) è stato eseguito uno studio statistico sul campione di dati a disposizione che riguardano il livello massimo del Lago registrato annualmente.

L'elaborazione statistica è stata condotta con la legge di Gumbel che lega la variabile casuale h (altezza idrometrica) al tempo di ritorno T secondo la relazione:

$$h = u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left( \ln \frac{T}{T-1} \right)$$

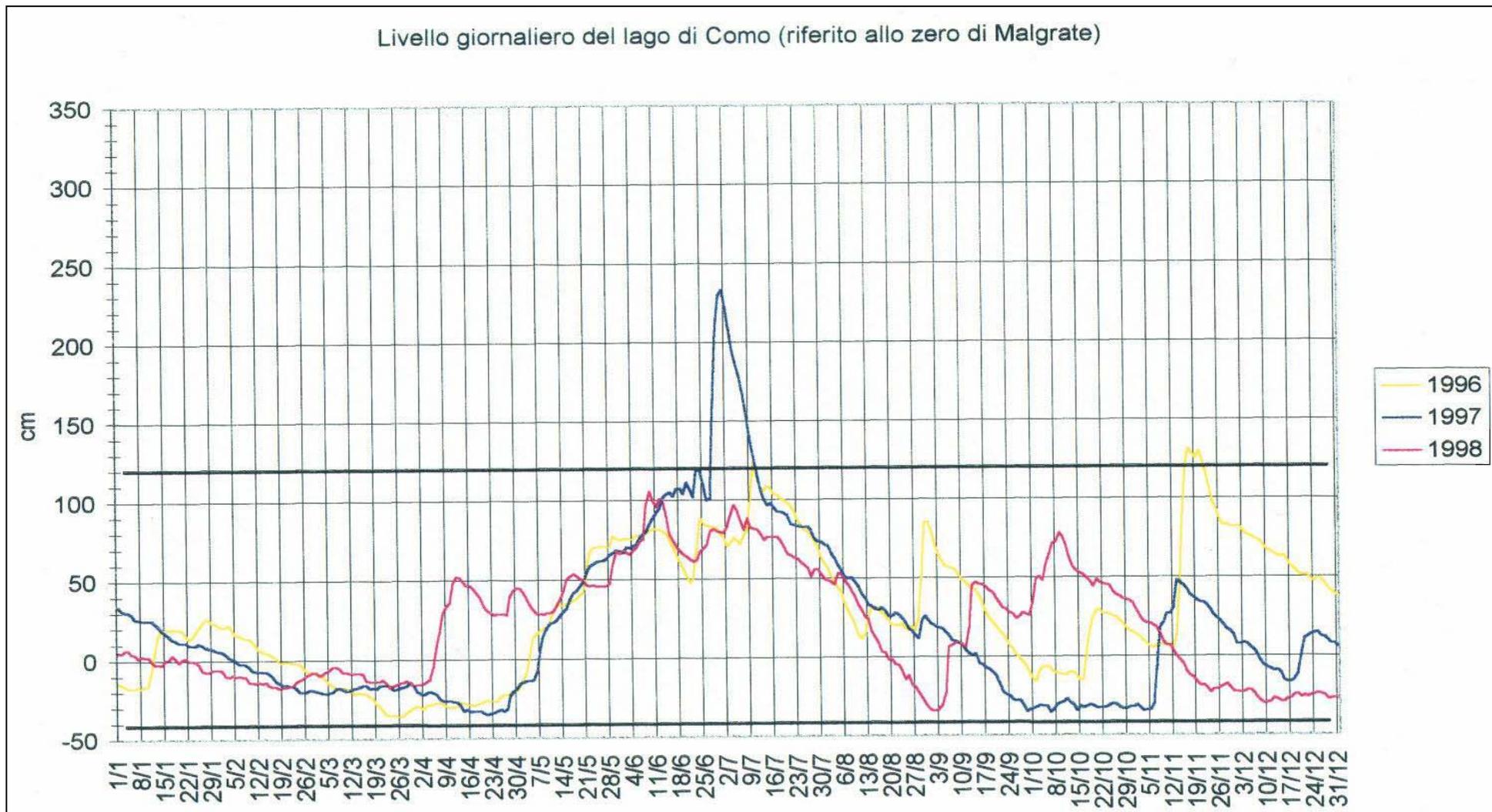
dove  $\alpha$  ed  $u$  sono parametri in funzione della media e dello scarto quadratico medio della distribuzione.

Di seguito si allega un grafico nel quale sono riportate e confrontate tra loro, le letture giornaliere riferite agli anni 1996, 1997 e 1998, in cui è possibile vedere le principali oscillazioni e l'andamento stagionale del livello dell'invaso.

**ALTEZZE MASSIME ANNUE REGISTRATE ALLA STAZIONE IDROMETRICA DI  
MALGRATE ANNI 1946-2005**

**zero idrometrico 197,37 m s.m.**

<b>N</b>	<b>ANNO</b>	<b>h MASSIMA (cm)</b>	<b>N</b>	<b>ANNO</b>	<b>h MASSIMA (cm)</b>
1	1946	199	31	1976	259.5
2	1947	141	32	1977	192.5
3	1948	205	33	1978	144.5
4	1949	136	34	1979	261.5
5	1950	143	35	1980	197.5
6	1951	208.5	36	1981	172.5
7	1952	167	37	1982	140.5
8	1953	203	38	1983	210
9	1954	153	39	1984	117.5
10	1955	155.5	40	1985	122
11	1956	178	41	1986	137.5
12	1957	200	42	1987	264
13	1958	159	43	1988	140
14	1959	139	44	1989	117.5
15	1960	241	45	1990	134
16	1961	158.5	46	1991	138
17	1962	136	47	1992	117
18	1963	232	48	1993	264
19	1964	142.5	49	1994	116
20	1965	216.5	50	1995	114
21	1966	170	51	1996	131
22	1967	146	52	1997	233.5
23	1968	181	53	1998	106
24	1969	157	54	1999	142.5
25	1970	135.5	55	2000	209
26	1971	146	56	2001	149.5
27	1972	148	57	2002	261.5
28	1973	168	58	2003	68.5
29	1974	121	59	2004	92.5
30	1975	131	60	2005	50.0



### legge di GUMBEL

$$h = u - 1/a * \ln(\ln T/T - 1)$$

$$\alpha = 1,238/\delta$$

media

$$\mu = 1/N * \sum hi$$

$$u = \mu - 0,45 \delta$$

sqm

$$\delta = \text{rad}(\sqrt{\sum (hi - \mu)^2}) / \text{rad}(N)$$

$$N = 60.00$$

$$\text{media} = 163.68$$

$$\text{sqm} = 48.45$$

$$\alpha = \mathbf{0.0256}$$

$$\sum hi = 9821.00$$

$$\mu = 163.68$$

$$u = \mathbf{141.88}$$

Le elaborazioni di calcolo eseguite e riportate in precedenza, forniscono i risultati trascritti nella seguente tabella in cui sono visibili le altezze massime raggiungibili e le relative quote assolute sul mare del livello dell'invaso per assegnati tempi di ritorno.

Per eventi con tempi di ritorno centenari, il livello di piena stimato è risultato essere pari a 200.59 m s.m.

TEMPO DI RITORNO (anni)	h (cm)	h (m)	quota (m s.l.m.)
2	156.22	1.56	198.93
5	200.58	2.01	199.38
10	229.95	2.30	199.67
50	294.58	2.95	200.32
<b>100</b>	<b>321.90</b>	<b>3.22</b>	<b>200.59</b>
<b>200</b>	<b>349.13</b>	<b>3.49</b>	<b>200.86</b>
500	385.04	3.85	201.22
1000	412.19	4.12	201.49

*Livelli di piena del Lago di Como per differenti tempi di ritorno*

## 5 ELABORAZIONI IDRAULICHE

La determinazione delle grandezze idrometriche è stata effettuata con l'ausilio del codice di calcolo **HEC- RAS 4.0 - Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (US Army Corps of Engineers)** che risolve le equazioni caratteristiche del moto permanente permettendone il tracciamento del profilo longitudinale.

Il sistema è costituito da moduli di analisi idraulica monodimensionale. Nell'ambito dell'analisi in condizioni di moto permanente il software consente di simulare il profilo del moto all'interno di un'intera rete di canali, di un sistema ad albero o di un singolo ramo e di modellizzare il moto permanente in regime di corrente lenta, di corrente veloce o misto.

La procedura alla base del calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia che tiene conto delle perdite di carico intese come sommatoria tra quelle dovute all'attrito (calcolate con l'equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione/espansione delle sezioni (calcolate attraverso un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto viene utilizzata nei punti in cui il profilo della corrente subisce brusche variazioni, ovvero, in condizione di regime misto, nei punti di passaggio da corrente veloce a corrente lenta o in corrispondenza di ponti o confluenze di più rami di una rete.

Per un dato valore di portata il modello consente infatti di effettuare delle valutazioni in merito alla definizione delle aree esondabili tenendo conto delle possibili situazioni di interferenza al moto quali: variazioni di pendenza, cambiamenti di sezione, presenza ponti o tombature, presenza di sistemazioni idrauliche, arginature, analisi delle confluenze, etc.

Di seguito si riportano le elaborazioni idrauliche eseguite ed i risultati ottenuti nel caso in oggetto considerando due valori della portata di progetto con tempo di ritorno 100 anni:

- la sola portata di piena liquida corrispondente a 243,6 m<sup>3</sup>/s (cfr. par.3.3 della presente relazione)
- la portata solida corrispondente a 317,60 m<sup>3</sup>/s che tiene conto del contributo dovuto alla presenza della frazione solida nella corrente oltre alla portata liquida (cfr. Relazione geologica).

### 5.1 GEOMETRIA DEL CORSO D'ACQUA E DELL'ALVEO

Lo studio idraulico è stato eseguito sulla base del rilievo topografico effettuato all'interno del tratto del torrente Livo compreso tra la sua foce nel Lago di Como in corrispondenza della soglia

presente ed il ponte ad arco ubicato in prossimità dell'apice del conoide. In alcuni settori del corso d'acqua, a causa della presenza di una fitta vegetazione, non è stato possibile effettuare un rilievo di dettaglio delle arginature; le sezioni in corrispondenza di tali tratti sono quindi state ricostruite sulla base di quelle rilevate nei tratti precedenti.

Il tratto di corso d'acqua rilevato si sviluppa su una lunghezza totale di circa 700 metri ed è interessato dal ponte d'attraversamento della Statale Regina e da una serie di soglie di fondo (n.5 nel tratto a monte del ponte e n.1 in corrispondenza della foce del torrente nel lago di Como).

Lungo il tratto di corso d'acqua considerato sono state elaborate complessivamente 47 sezioni trasversali numerate in ordine crescente a partire da valle (sez.0.0 - soglia in corrispondenza della foce a lago) verso monte (sez.29.0 posta circa 30 m a valle del ponte ad arco). Il rilievo delle sezioni è stato limitato all'alveo del torrente fino alla sommità delle arginature presenti lungo entrambe le sponde.

La scelta localizzativa delle sezioni è dovuta principalmente a quelli che si ritiene possano essere i punti più critici per il deflusso. In particolare le sezioni trasversali sono state elaborate in corrispondenza delle soglie, del ponte, dei cambi significativi sia di direzione del corso d'acqua che della geometria delle sezioni, delle improvvise variazioni di altezza degli argini e delle discontinuità relativamente alla scabrezza del fondo dell'alveo (fondo naturale in terra, con depositi di materiale ghiaioso, o rivestito mediante selciato).

La geometria delle sezioni si presenta pressoché regolare vista la presenza dei muri d'argine in muratura subverticali lungo quasi tutto il tratto considerato, ad eccezione del settore in corrispondenza delle curva dove si osserva un allargamento della sezione lungo la sponda sinistra, che si presenta con un'inclinazione di circa 30°, anziché subverticale.

L'alveo del tratto del torrente Livo presenta una larghezza variabile da 20 a 40 m, crescente procedendo verso valle.

Nella tabella seguente si riportano, in ordine da monte verso valle, le corrispondenze tra la numerazione delle sezioni e le opere trasversali presenti sul tratto di corso d'acqua in oggetto.

<b>CODICE IDENTIFICATIVO DELLA SEZIONE</b>	<b>OPERA</b>
26.1	SOGLIA n.5
23.1	SOGLIA n.4
18.1	SOGLIA n.3
17.1	SOGLIA n.2
14.1	SOGLIA n.1
10.5	PONTE S.S.Regina
0.0	SOGLIA a lago

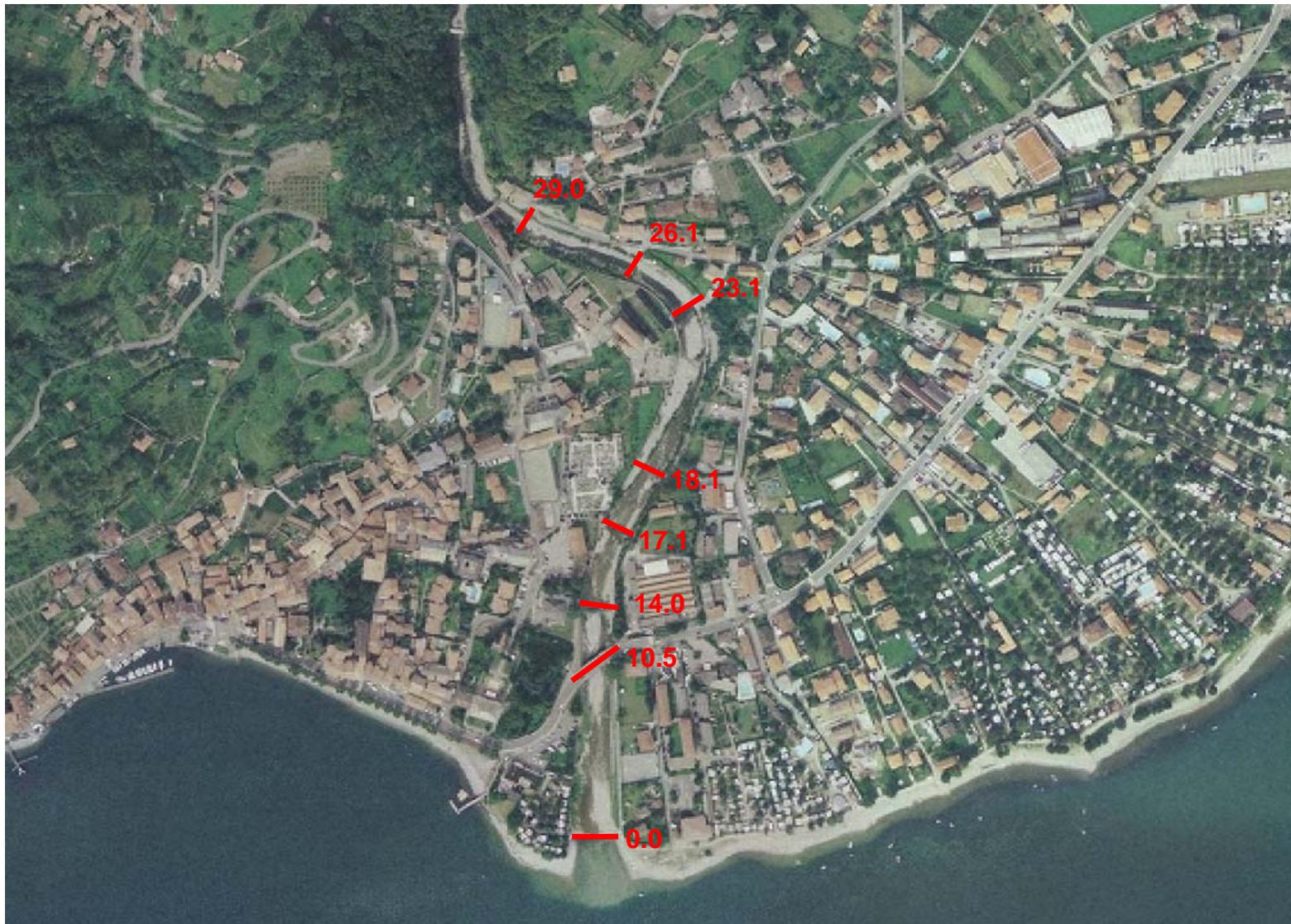
### **5.1.1 Schematizzazione delle soglie**

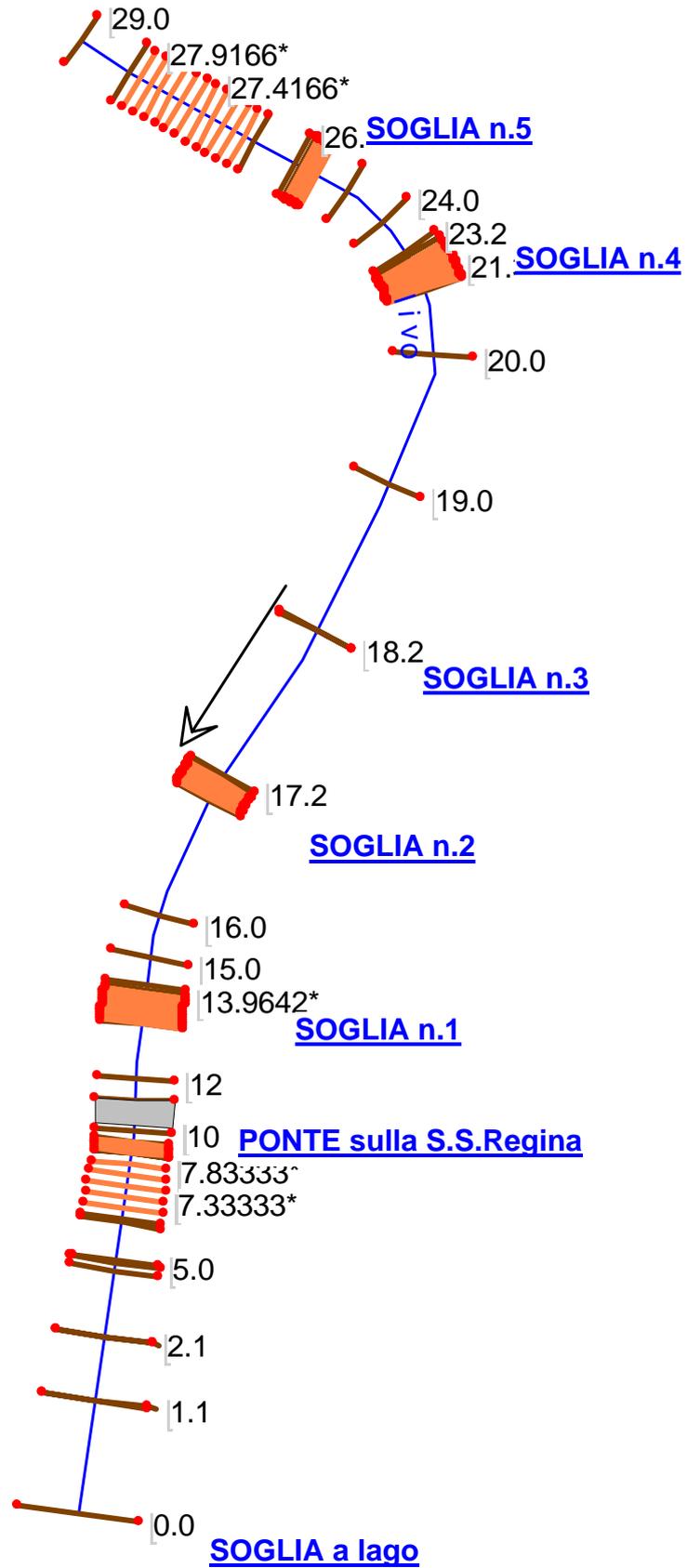
Per ciascuna delle soglie di fondo presenti nel tratto di corso d'acqua a monte del ponte di attraversamento della Statale Regina sono state identificate n.3 sezioni al fine di permettere al codice di calcolo, impiegato per la simulazione della propagazione dell'onda di piena, di considerare sia la larghezza (0.6 - 2.7 m) della soglia che la sua diversità di scabrezza rispetto a quella del fondo dell'alveo, oltre che la brusca variazione della quota di fondo in funzione dell'altezza della soglia.

In particolare si sono considerate: la sezione in corrispondenza del lato di monte della soglia (identificata con il numero x.2, dove x è il numero progressivo delle sezioni), la sezione in corrispondenza del lato di valle della soglia (identificata con il numero x.1, dove x è il numero progressivo delle sezioni) ed una sezione immediatamente a valle della soglia (identificata con il numero x.0, dove x è il numero progressivo delle sezioni) al fine di considerare l'altezza della soglia, ovvero la brusca variazione della quota di fondo dell'alveo.

L'elaborazione di quest'ultima sezione si è basata su una semplificazione dato che non sono stati considerati i solchi, dovuti all'erosione del fondo da parte della corrente, presenti immediatamente a valle della soglia; di conseguenza non è quindi stata considerata l'altezza effettiva delle soglie quanto piuttosto il dislivello tra la gaveta della soglia ed il fondo dell'alveo ristabilito a valle dell'area escavata dall'erosione.

Nelle due immagini riportate a seguire è rappresentata la geometria del corso d'acqua con la localizzazione delle sezioni. Nella prima immagine sono indicate le tracce delle sezioni corrispondenti alle principali opere trasversali presenti lungo il tratto considerato; nella seconda l'intera geometria.





Schematizzazione del corso d'acqua con ubicazione delle sezioni (estratto geometria inserita nel software HEC-RAS impiegato per la simulazione della propagazione dell'onda di piena)

## **5.2 COEFFICIENTI DI SCABREZZA**

Nella modellazione effettuata, per la valutazione della perdita di carico continua, si è utilizzato il coefficiente di scabrezza  $n$  di Manning.

Tale coefficiente, misura globale di resistenza al moto, è stato scelto a seguito di un'accurata ricognizione dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo, le opere trasversali presenti in alveo ed i materiali che rivestono le arginature presenti lungo entrambe le sponde.

Il corso d'acqua, nel tratto considerato, risulta completamente arginato artificialmente mediante argini in muratura in pietra da taglio sia nella parte a monte che a valle del ponte sulla S.S.Regina. Gli argini sono, per tutta la lunghezza considerata, costituiti da muri di altezza variabile pressoché verticali e realizzati in pietrame e cls.

Le sezioni lungo il tratto di corso d'acqua analizzato si presentano abbastanza omogenee, un'unica distinzione è da farsi tra la parte a monte del ponte e a valle dello stesso.

Nella parte a monte l'alveo risulta essere infatti caratterizzato dalla presenza di materiale sovralluvionato costituito da ghiaia con massi e tratti da una forte presenza di vegetazione, soprattutto in prossimità dell'argine destro; nel primo tratto si osserva inoltre, in prossimità dell'argine destro, l'affioramento in modo regolare del substrato roccioso. In questo tratto si rileva inoltre la presenza di n.5 soglie caratterizzate da una copertura in masselli e cls. Nel tratto di alveo compreso tra la sezione più a monte e la soglia n.5, in sponda idrografica sinistra, al di sopra dell'argine in muratura è presente una scarpata in terra caratterizzata dalla presenza di vegetazione.

Nella parte a valle del ponte l'alveo risulta privo di materiale sovralluvionato (ciò è presumibilmente dovuto a periodiche operazioni di pulizia dell'alveo) e costruito da terra con ghiaia grossolana e ciottoli. In corrispondenza della foce a lago è presente una soglia con copertura in masselli.

Nel tratto in corrispondenza del ponte il fondo dell'alveo è rivestito mediante selciato il quale si presenta, in numerosi punti, ammalorato, soprattutto nella parte centrale dell'alveo dove risulta addirittura assente proprio nel tratto in corrispondenza del ponte.

In base alle caratteristiche dei materiali che costituiscono il rivestimento delle sezioni del corso d'acqua nel tratto di alveo considerato, i coefficienti di scabrezza utilizzati sono stati i seguenti:

- <i>alvei in roccia regolare</i>	<i>n = 0.033</i>
- <i>fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi</i>	<i>n = 0.04</i>
- <i>arginature artificiali in muratura in pietra da taglio</i>	<i>n = 0.014</i>
- <i>copertura soglie in masselli e cls</i>	<i>n = 0.016</i>
- <i>scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea</i>	<i>n = 0.05</i>
- <i>alveo in terra con ghiaia grossa 50-150 mm</i>	<i>n = 0.033</i>
- <i>alveo artificiale con pietre grossolanamente squadrate</i>	<i>n = 0.02</i>

Tali coefficienti sono stati applicati sulle sezioni suddividendo ciascuna di esse in tratti omogenei ed assegnando a ciascun tratto il coefficiente specifico.

### **5.3 INDIVIDUAZIONE CARATTERISTICHE DEL MOTO**

A questo punto, definite le principali caratteristiche geometriche dell'alveo, è possibile determinare le principali grandezze idrauliche che caratterizzano il deflusso della portata calcolata precedentemente, nonché tracciare il profilo idrico per la lunghezza del tratto in esame.

Ponendo come condizioni al contorno l'altezza di moto uniforme a monte e l'altezza corrispondente al livello di piena centenario del Lago di Como (pari a 200,59 m s.l.m.) a valle del tratto in esame, si è proceduto ad elaborare dapprima un primo profilo supponendo il transito della portata in regime di corrente lenta (subcritica) e dunque influenzata dalla condizione al contorno di valle, con il tracciamento del profilo a partire da valle.

Questa prima analisi in regime di corrente lenta ha evidenziato anomalie e difficoltà nella determinazione dell'altezza idrica nei tratti in corrispondenza delle soglie. In corrispondenza di una soglia è infatti ragionevole ipotizzare che la corrente debba passare attraverso lo stato critico e quindi passare, anche se per un breve tratto, ad un regime di corrente veloce, per tendere nuovamente al regime di corrente lenta a valle della soglia, ad una distanza tale per cui il moto non è più influenzato dalla presenza della soglia stessa.

Durante le iterazioni standard in regime di corrente lenta il profilo della corrente si mantiene sempre al di sopra dello stato critico nonostante, in corrispondenza delle soglie, la corrente raggiunga comunque l'altezza critica. Questo indica che l'assunzione di una corrente subcritica non è valida per la modellazione del comportamento della corrente nei tratti in corrispondenza ed in prossimità delle soglie.

Pertanto, vista la presenza di numerose soglie lungo il tratto di corso d'acqua considerato, si è proceduto con una simulazione di propagazione dell'onda di piena in ipotesi di corrente mista (mixed).

Questa seconda simulazione evidenzia come in corrispondenza delle soglie, in particolare in quelle caratterizzate da una maggiore altezza, la corrente passi, attraverso lo stato critico, da corrente lenta a corrente veloce e si mantenga in corrente veloce per un breve tratto, per poi riportarsi nuovamente in regime di corrente lenta. Ciò significa che per visualizzare correttamente in comportamento della corrente in corrispondenza delle soglie è necessario effettuare la simulazione in regime di corrente mista.

Si è inoltre osservato che, a valle delle soglie, il passaggio da corrente veloce a lenta avviene in modo brusco, pertanto si è ritenuto di procedere con l'aggiunta di sezioni ulteriori in questi tratti sfruttando la capacità del software, impiegato per la simulazione, di generare automaticamente una serie di sezioni interpolate tra due sezioni fissate.

Nella tabella seguente si riportano i riferimenti per individuare i tratti interessati dall'interpolazione delle sezioni; si precisa che nei risultati allegati a fine testo (sezioni e tabelle), per una più semplice visualizzazione dei risultati, sono state omesse le sezioni interpolate.

<b>CODICI IDENTIFICATIVI DELLE SEZIONI</b>	<b>INTERASSE (m)</b>
28.0 – 27.0	5.0
26.0 – 25.5	0.5
22.0 – 21.0	2.0
17.0 – 16.5	0.5
14.0 – 13.0	0.5
8.1 – 9.0	1.0
7.0 – 8.0	5.0

Per quanto riguarda le altre sezioni il numero di Froude assume valori sia superiori che inferiori ad 1 indicando che vi è passaggio da una condizione di moto in corrente lenta ad una in corrente lenta o viceversa.

Il tracciamento del profilo in corrente mista richiede la determinazione di due condizioni al contorno, una di valle ed una di monte, essendo il moto influenzato da entrambe.

Per la scelta della condizione da adottare a monte, dapprima si è utilizzato il valore della altezza critica stimato alla sezione di monte, poi quello dell'altezza stimata con l'equazione di Manning a partire dalla pendenza media del tratto di monte.

L'utilizzo delle due differenti condizioni al contorno ha portato ad ottenere i medesimi valori di altezza idraulica per tutte le sezioni considerate, indice che l'utilizzo delle due condizioni è equivalente.

La condizione al contorno di valle utilizzata è quella del livello centenario stimato del Lago di Como, già illustrato nei paragrafi precedenti.

Per quanto riguarda i coefficienti di espansione e contrazione del flusso, non essendo presenti brusche variazioni al moto, ma gradualmente, sono stati utilizzati i valori rispettivamente pari a 0.1 e 0.3 per tutte le sezioni geometriche considerate, così come desunti dalla bibliografia.

Le simulazioni di propagazione dell'onda di piena, nel tratto di corso d'acqua in corrispondenza del ponte non evidenziano fenomeni di turbolenza dovuti alla presenza dello stesso, indice che la geometria del ponte non influenza il passaggio della corrente.

La propagazione dell'onda di piena, considerando i due valori di portata precedentemente indicati (portata liquida e portata solida), avviene in modo analogo, l'unica differenza consiste nel valore delle grandezze idrauliche in quanto, ovviamente, ad una portata maggiore corrisponde un'altezza idrica superiore.

#### **5.4 DETERMINAZIONE DEL PROFILO IDRAULICO**

Si è dunque proceduto alle elaborazioni per la determinazione del profilo idraulico considerando i valori di portata centennale precedentemente determinati e calcolati i principali parametri idraulici che si riportano negli allegati a fine testo.

La lettura del profilo evidenzia come la computazione in regime misto abbia dato i risultati ipotizzati e cioè che il valore dell'altezza idrica è ovunque superiore a quello dell'altezza idrica, ad eccezione dei tratti in corrispondenza delle soglie dove la corrente passa, attraverso lo stato critico, a corrente veloce.

Negli allegati si riportano le verifiche per ciascuna sezione idraulica considerata, la tabella con le principali grandezze idrauliche ottenute ed il tracciamento del profilo idraulico lungo il corso d'acqua. Tutte le sezioni appaiono dunque verificate per entrambi i valori di portata considerati.

## 6 CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalle elaborazioni idrauliche evidenziano come la piena del Torrente Livo, anche in caso di un evento centenario, è sempre contenuta all'interno degli argini, sia in termini di portata liquida che di portata solida.

A conclusione si precisa che le grandezze idrauliche qui determinate potrebbero ovviamente variare in funzione dello stato di manutenzione dell'alveo del Torrente.

*Le elaborazioni fanno comunque riferimento ad uno stato di fatto attuale che deve essere mantenuto tale affinché simili condizioni restino verificate; la presenza in alveo di vegetazione o di materiali durante i fenomeni di piena può ridurre le capacità di deflusso alle sezioni.*

Dervio (Lc), agosto 2009

Dott. Ing. Claudia Anselmini

Dott. Geol. Cristian Adamoli

Dott. Geol. Claudio Depoli

## **ALLEGATO 1**

### **Documentazione fotografica**



*Foto 1 - Foce del Torrente Livo nel Lago di Como (vista verso valle dal ponte della S.S.Regina)*



*Foto 2 – Ponte della S.S.Regina (vista da valle verso monte)*



*Foto 3 – Ponte della S.S.Regina (vista da monte verso valle)*



*Foto 4 – Alveo a monte del ponte della S.S.Regina - soglie n.1 e n.2 (vista da valle verso monte)*



*Foto 5 – Soglie n.2 e n.3 (vista da valle verso monte)*



*Foto 6 – Soglia n.4 (vista da valle verso monte)*



*Foto 7 – Soglia n.4 (vista da monte verso valle)*



*Foto 8 – Soglia n.5 (vista da valle verso monte)*



Foto 9 – Corso d'acqua (visto verso valle dal ponte ad arco)



Foto 10 – Ponte ad arco

## ALLEGATO 2

**Risultati verifica idraulica per portata di piena liquida centenaria**

$$Q_{100} = 243,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

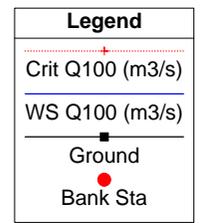
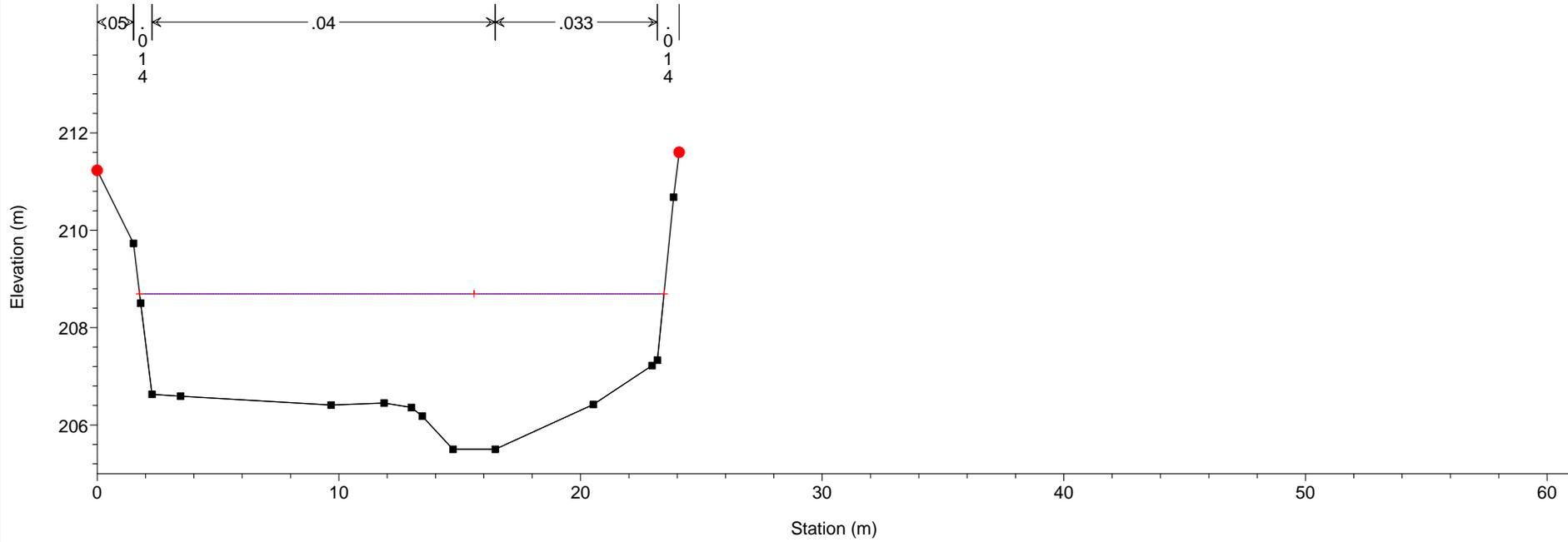
**Sezioni di verifica idraulica**

**Tabella grandezze idrauliche**

**Profilo idrico della corrente**

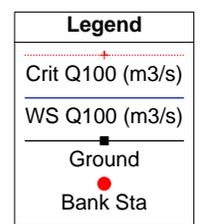
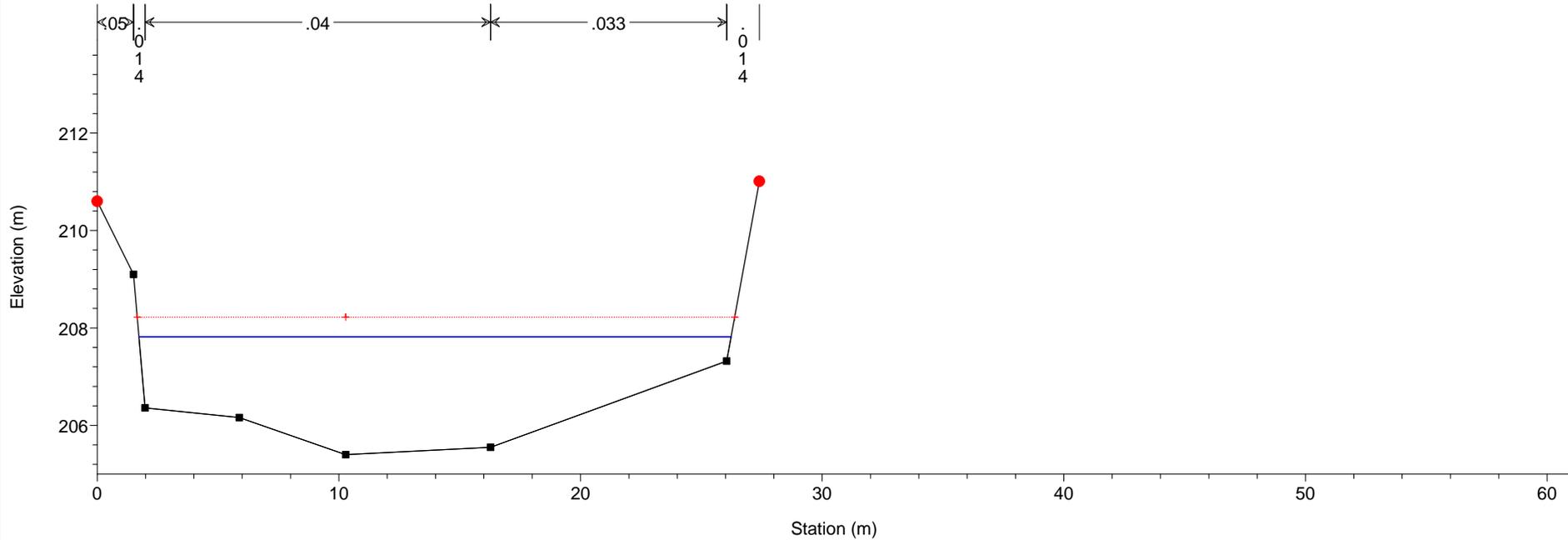
Livo\_tratto conoide

RS = 29.0

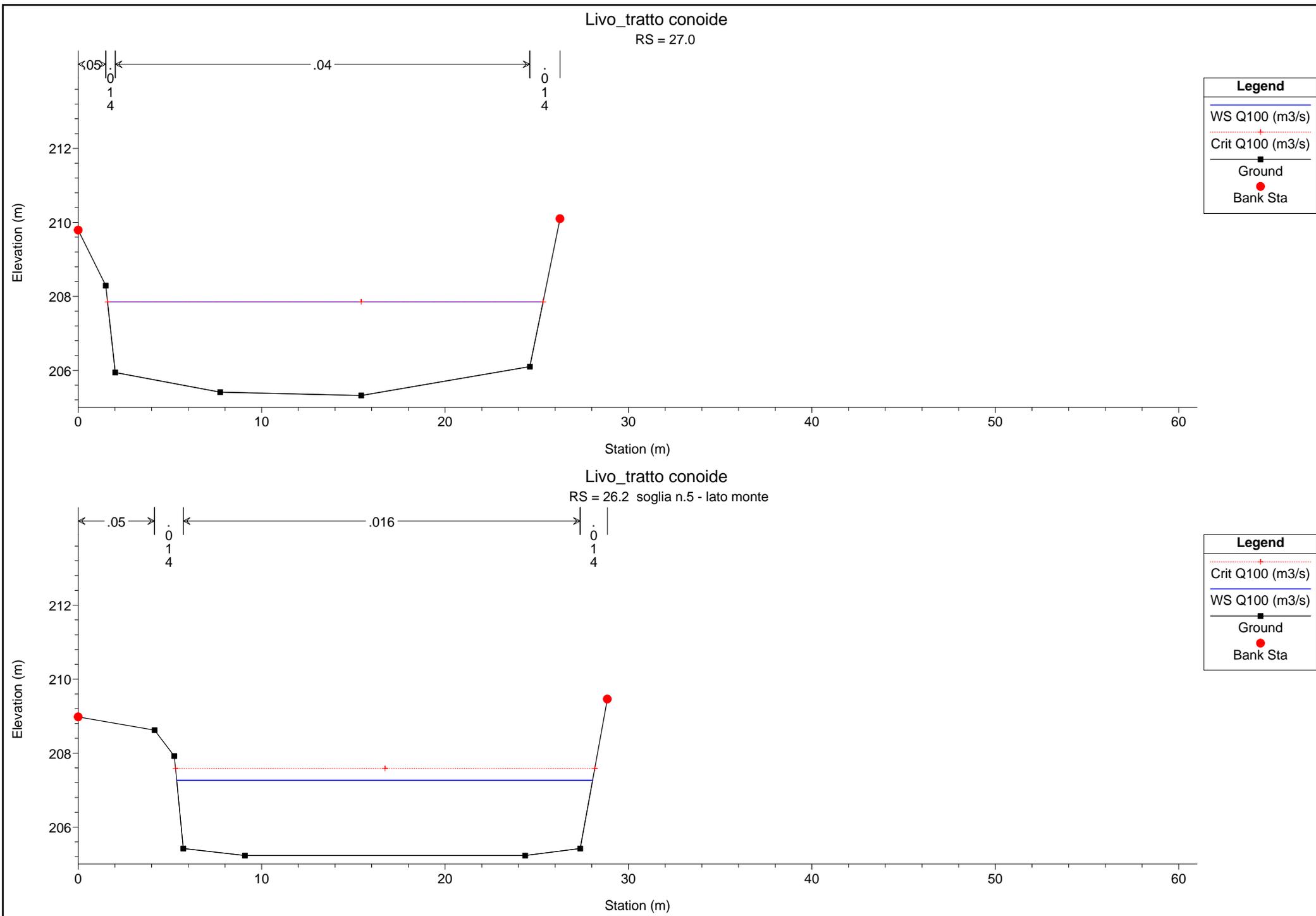


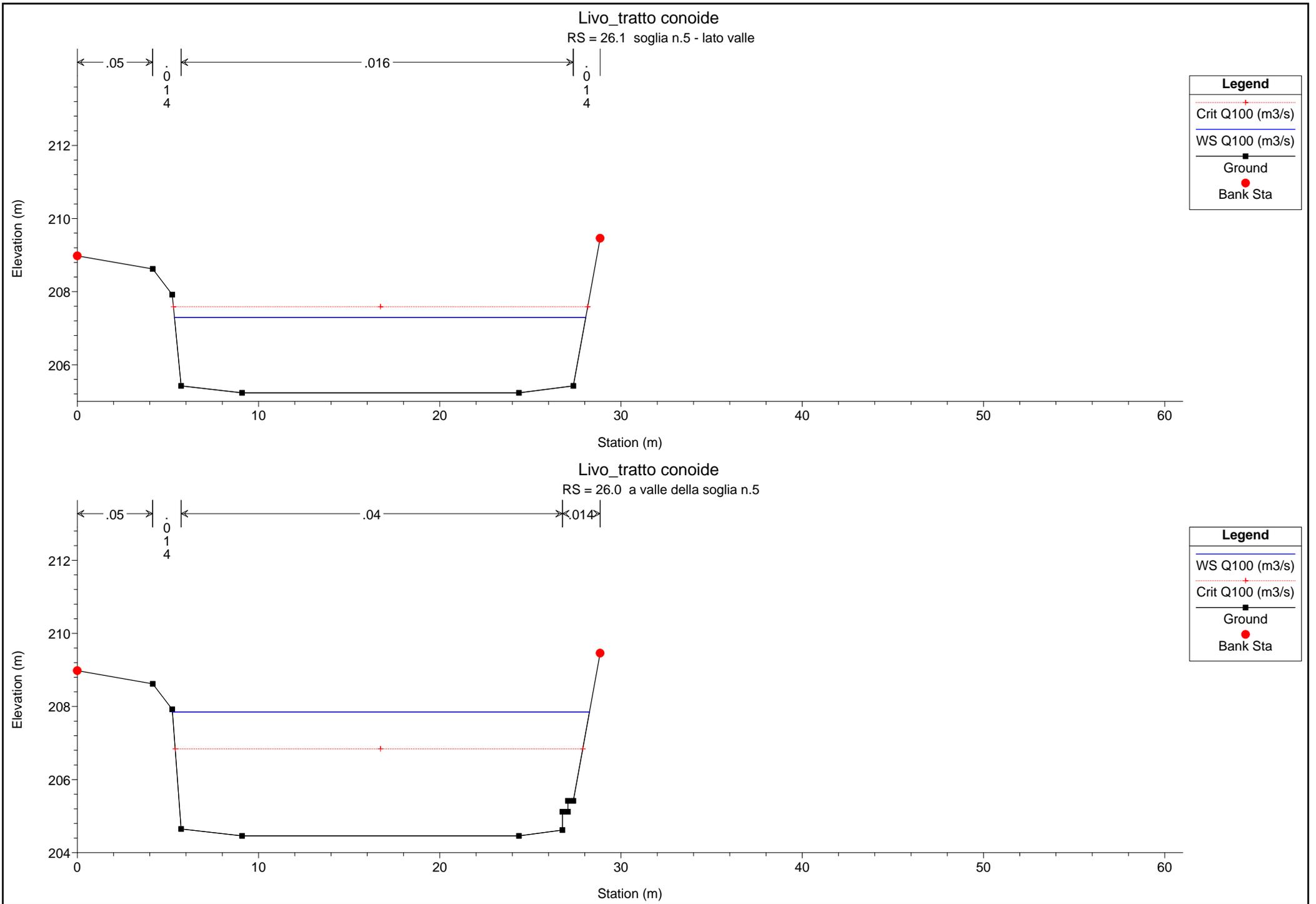
Livo\_tratto conoide

RS = 28.0

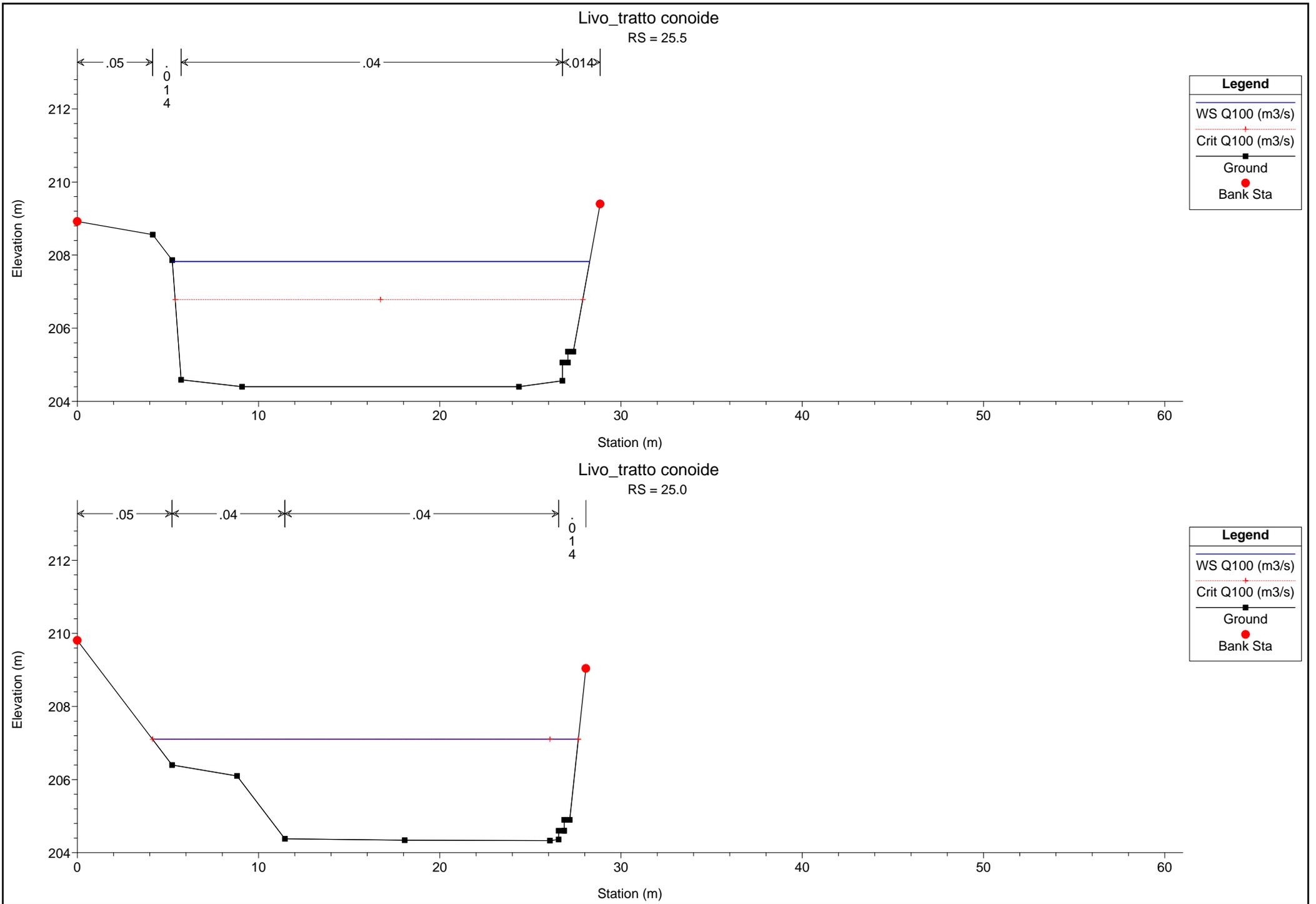


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

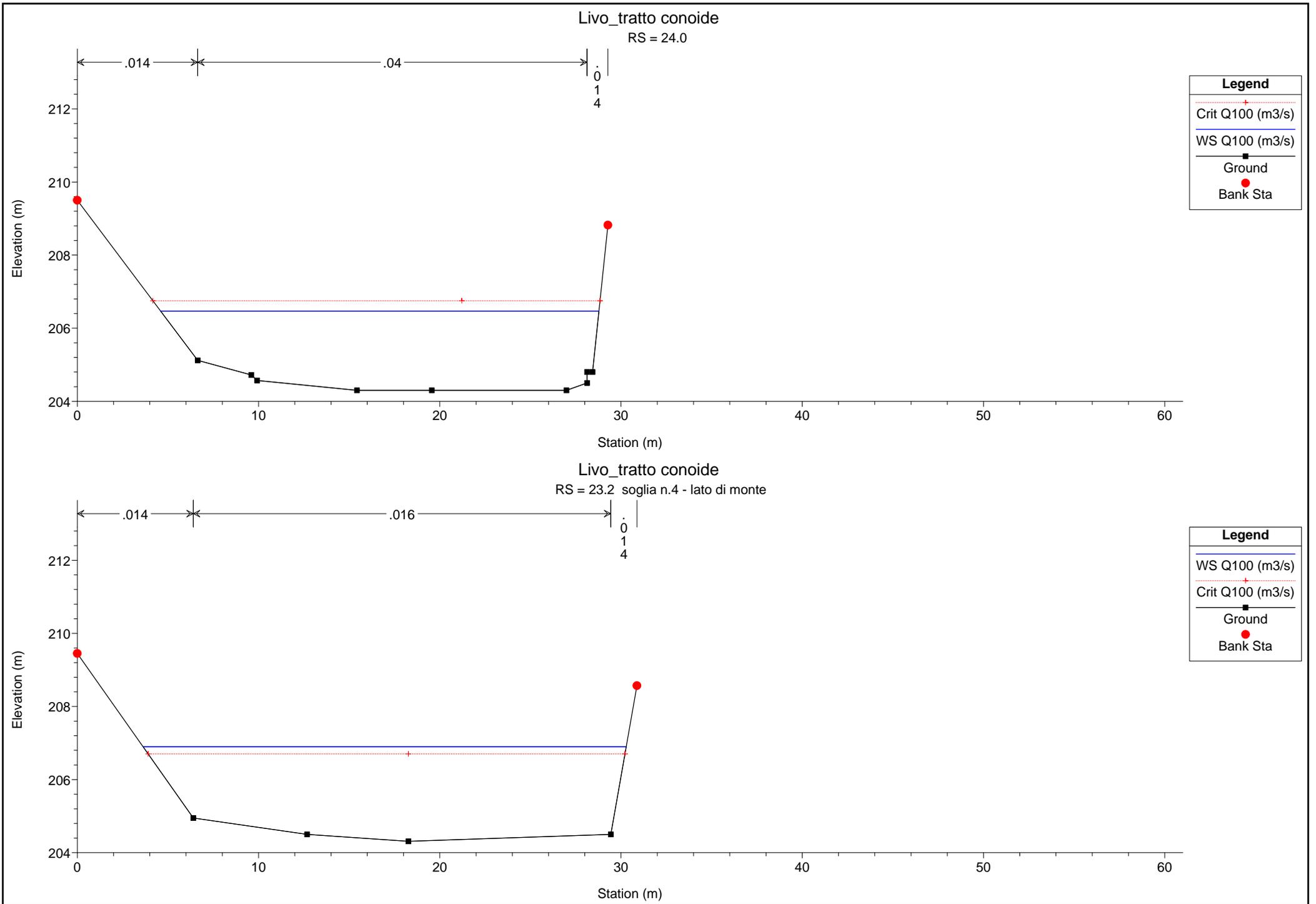


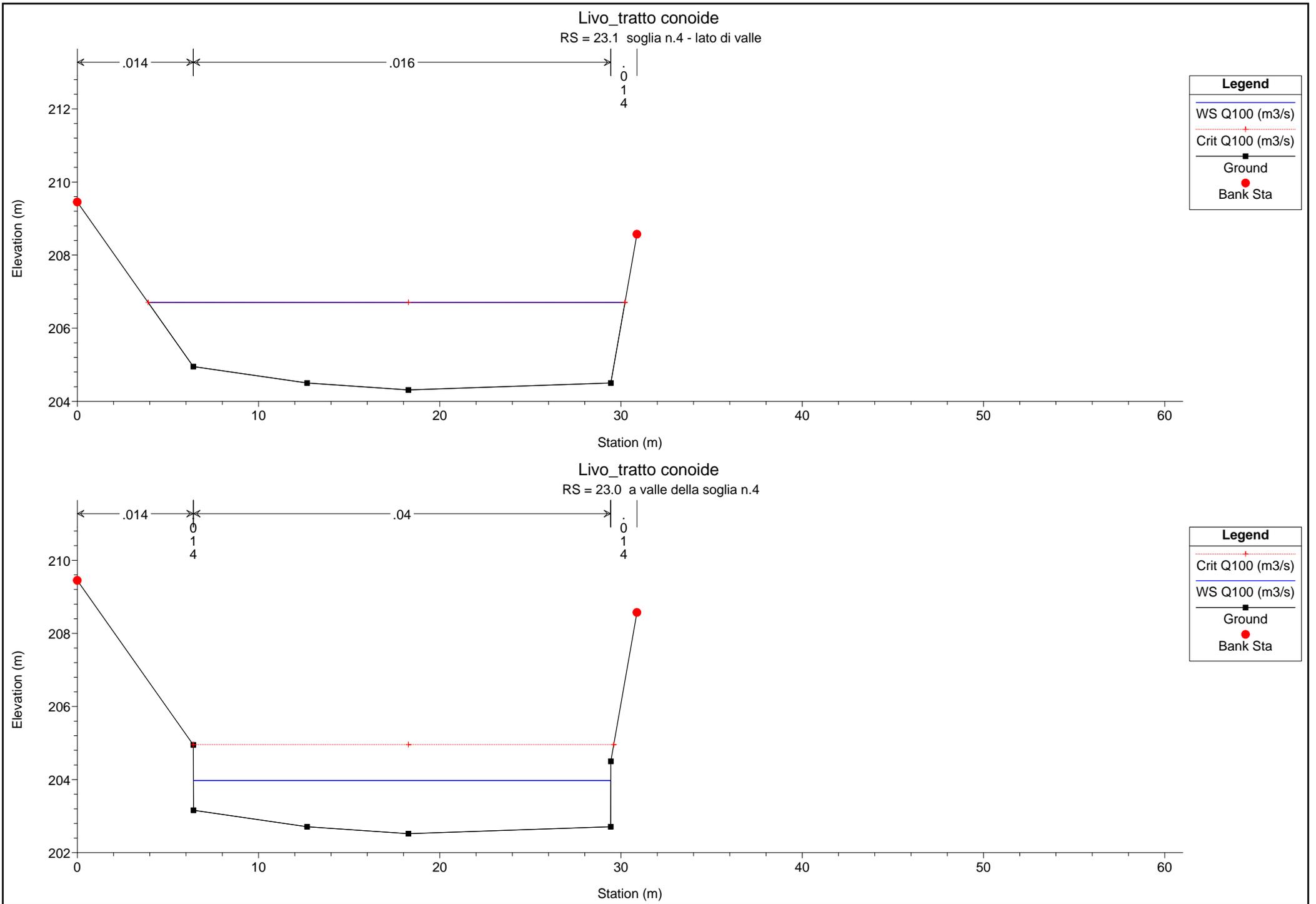


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

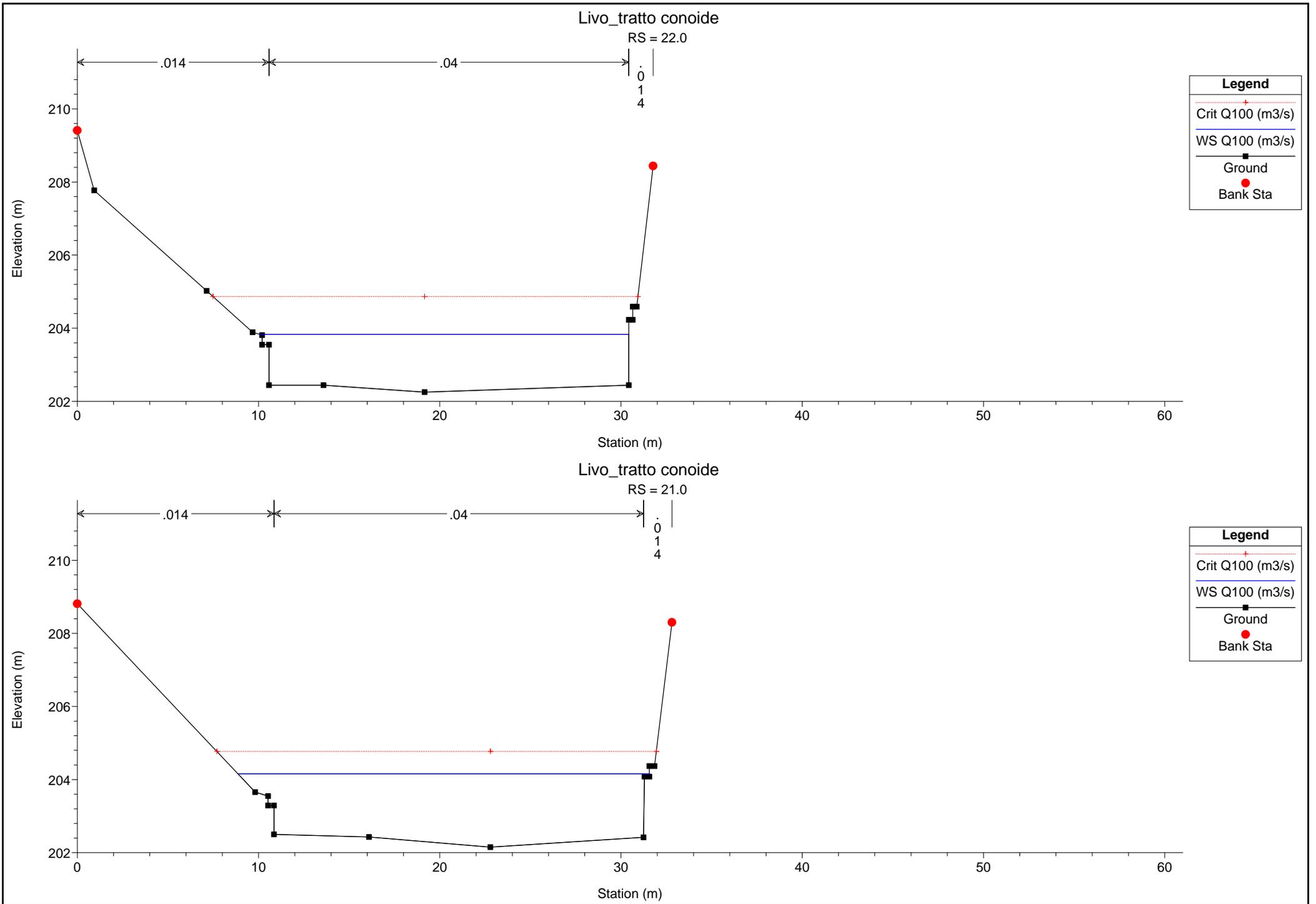


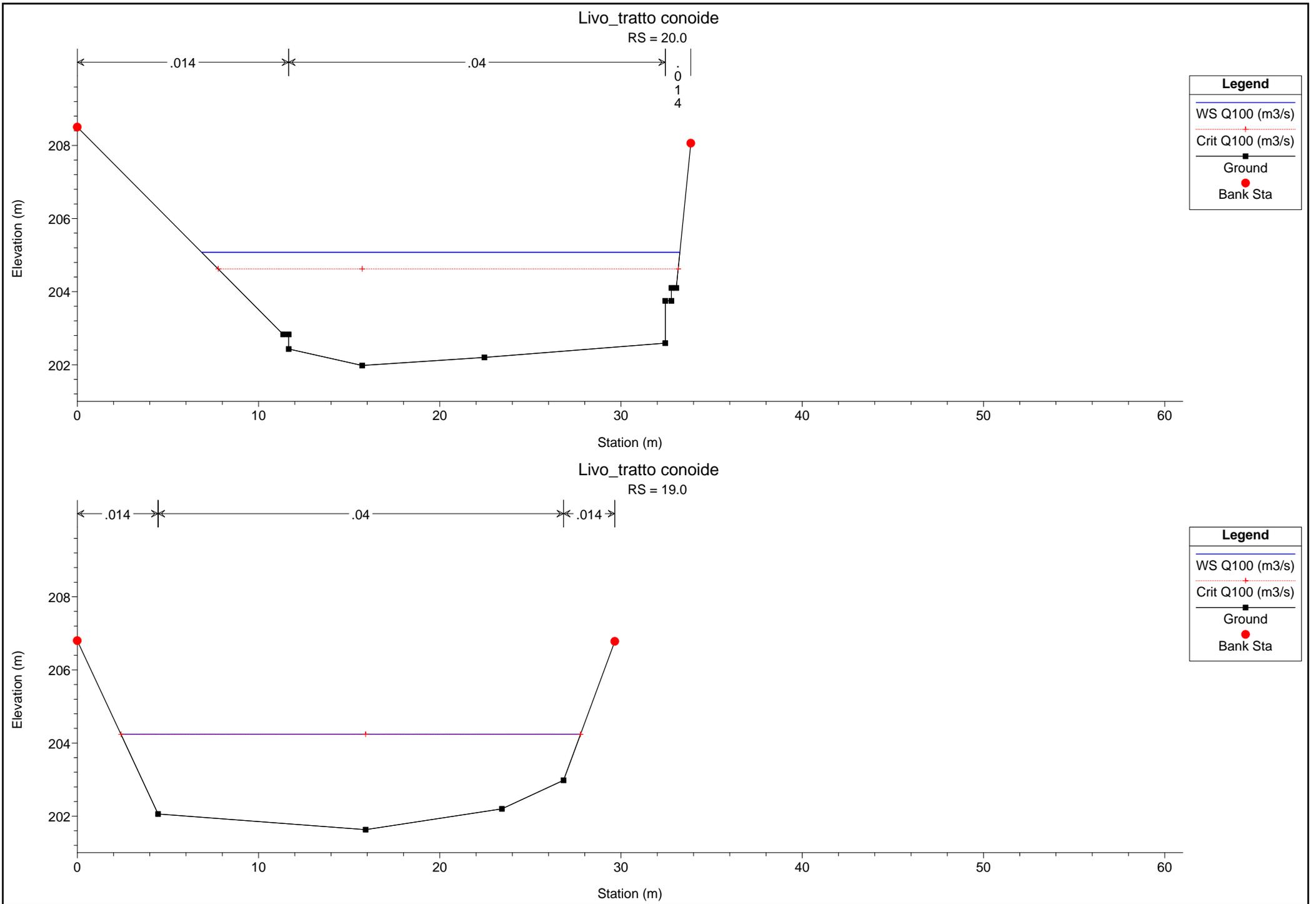
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



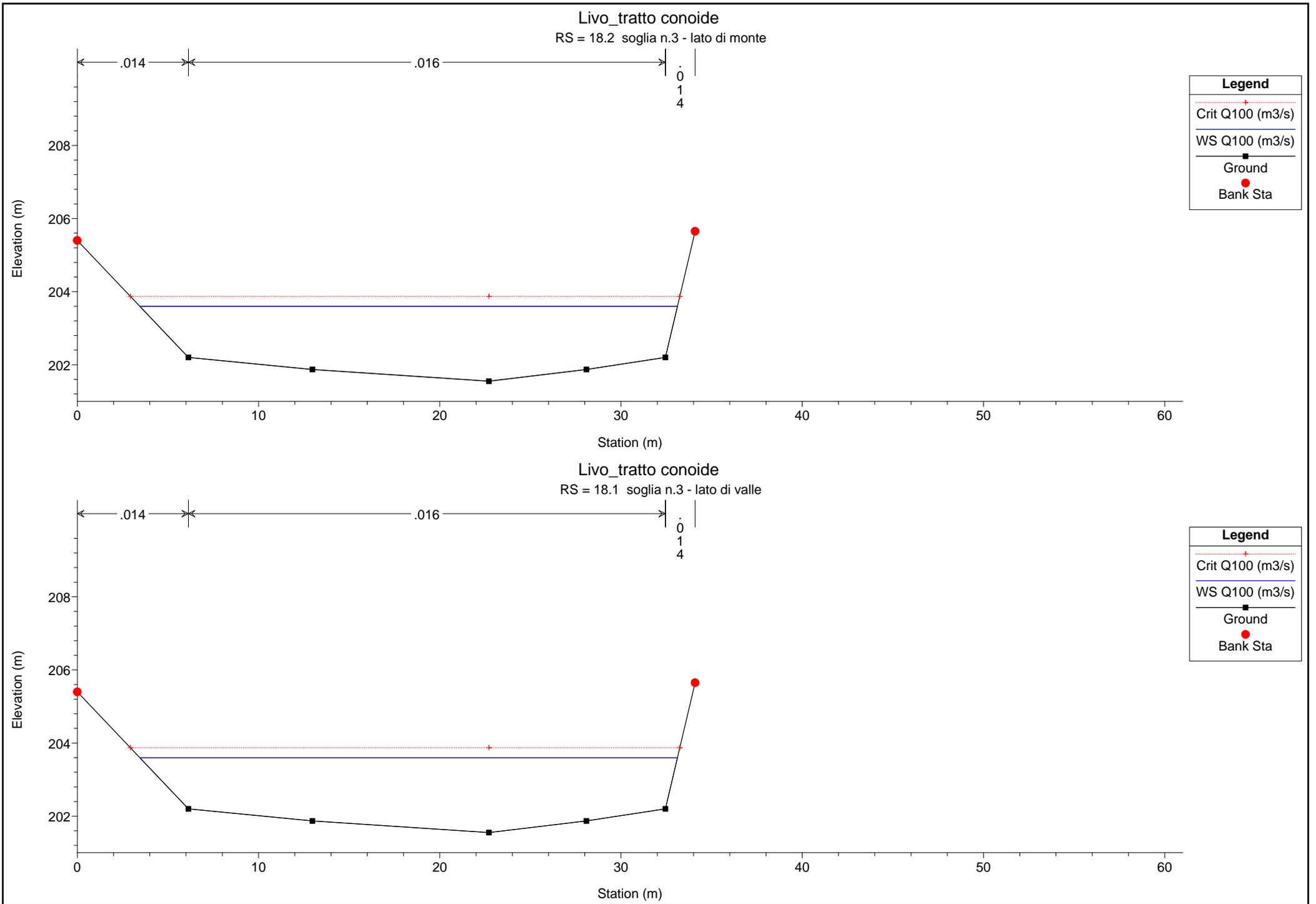


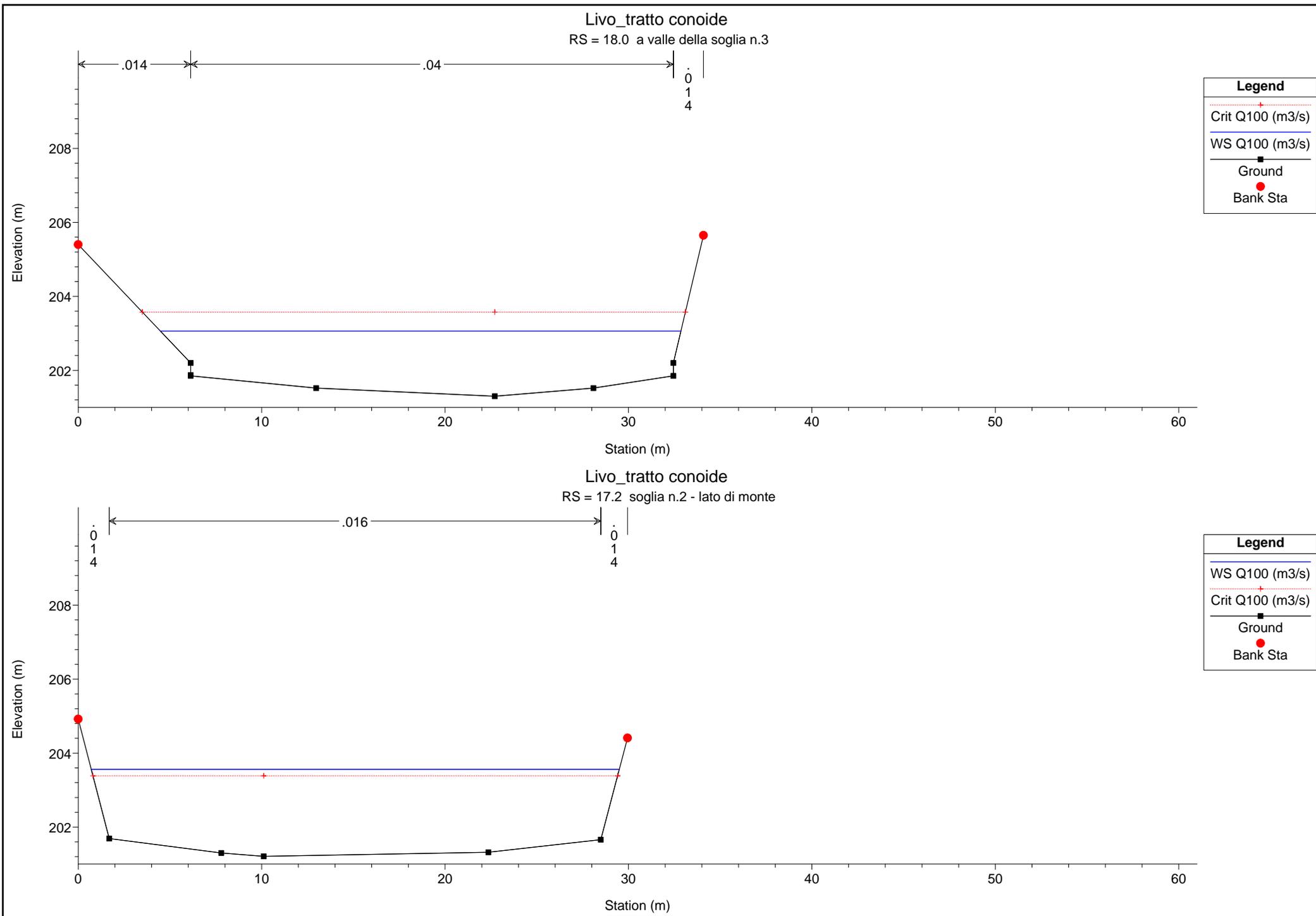
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



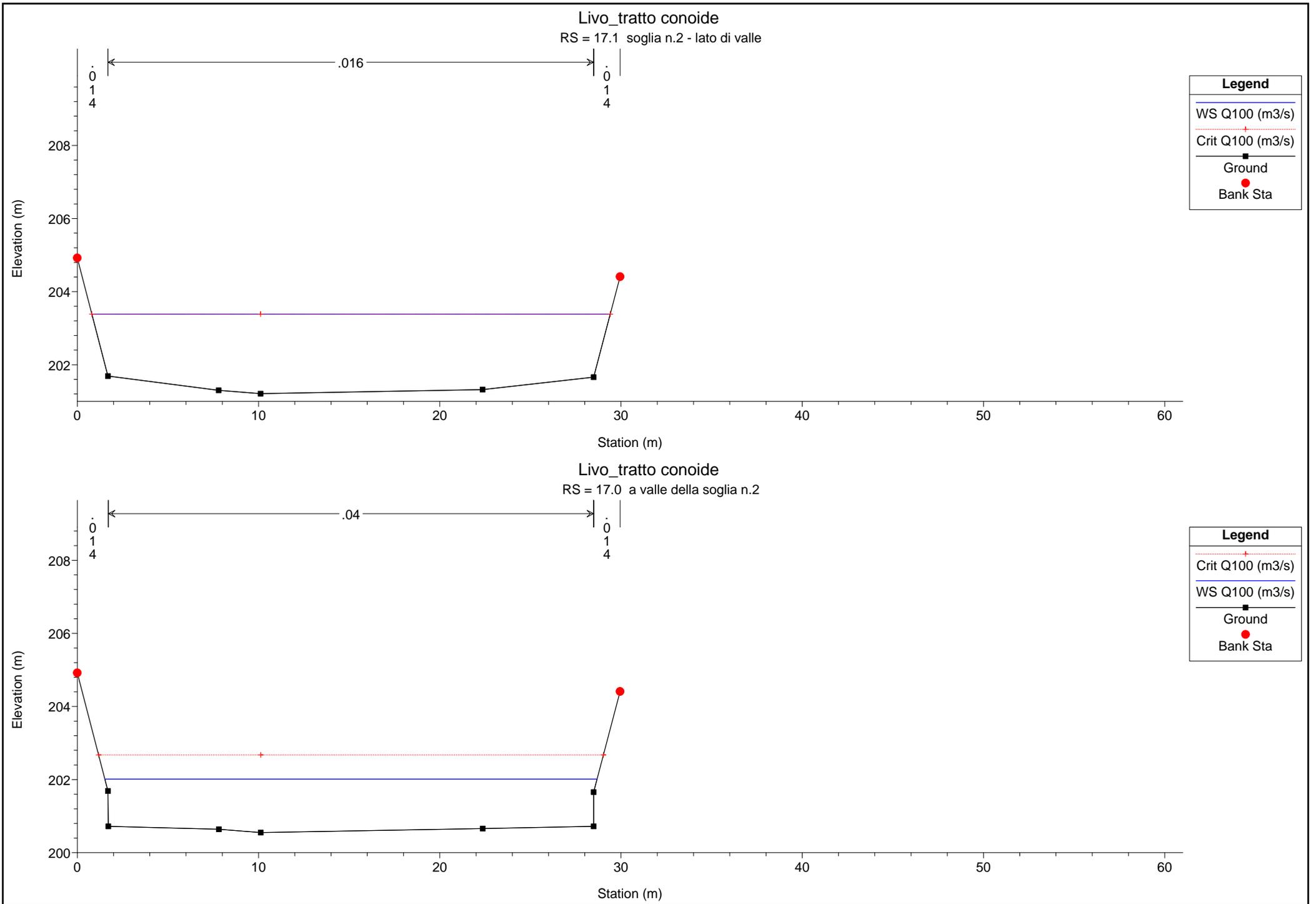


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

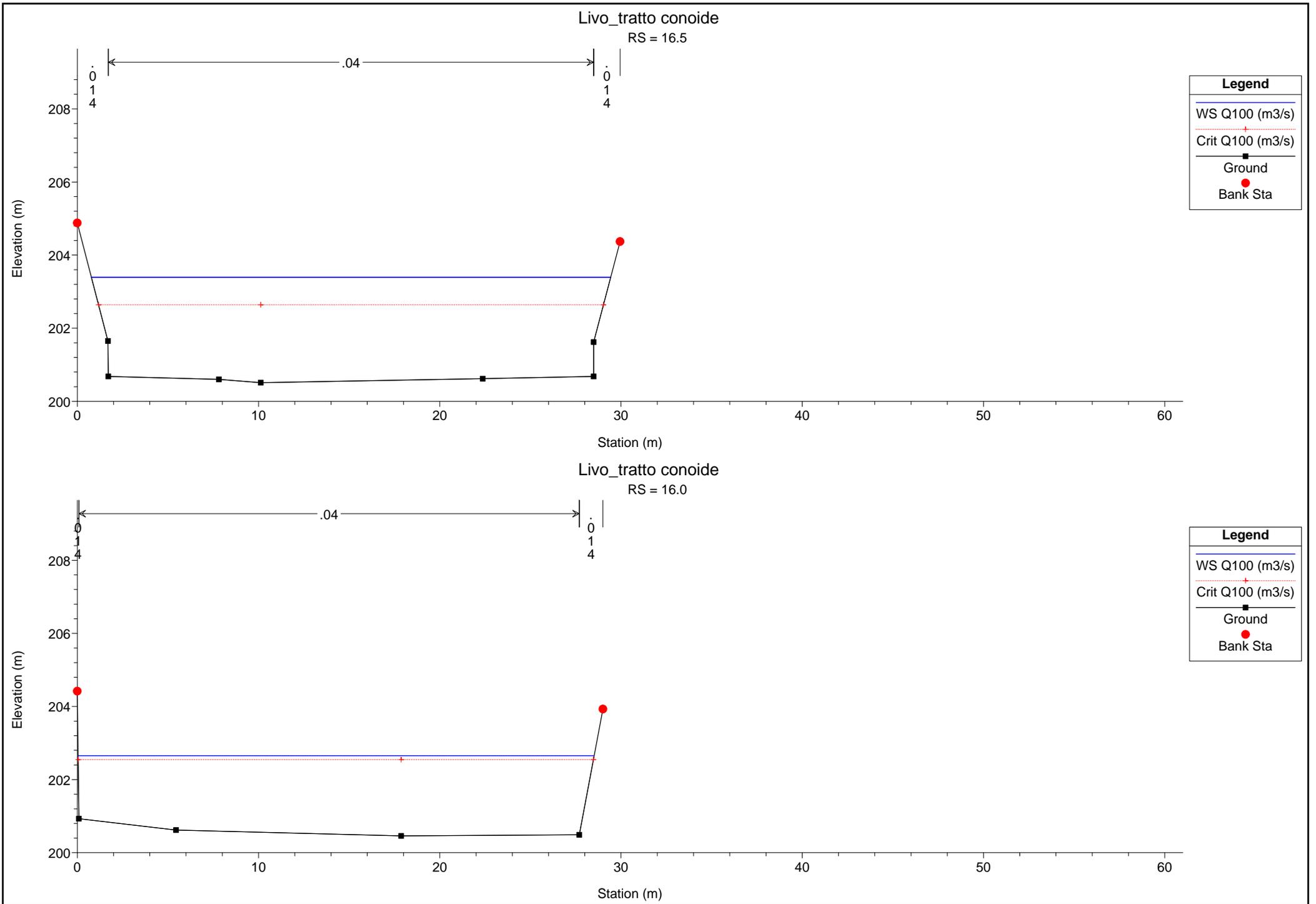




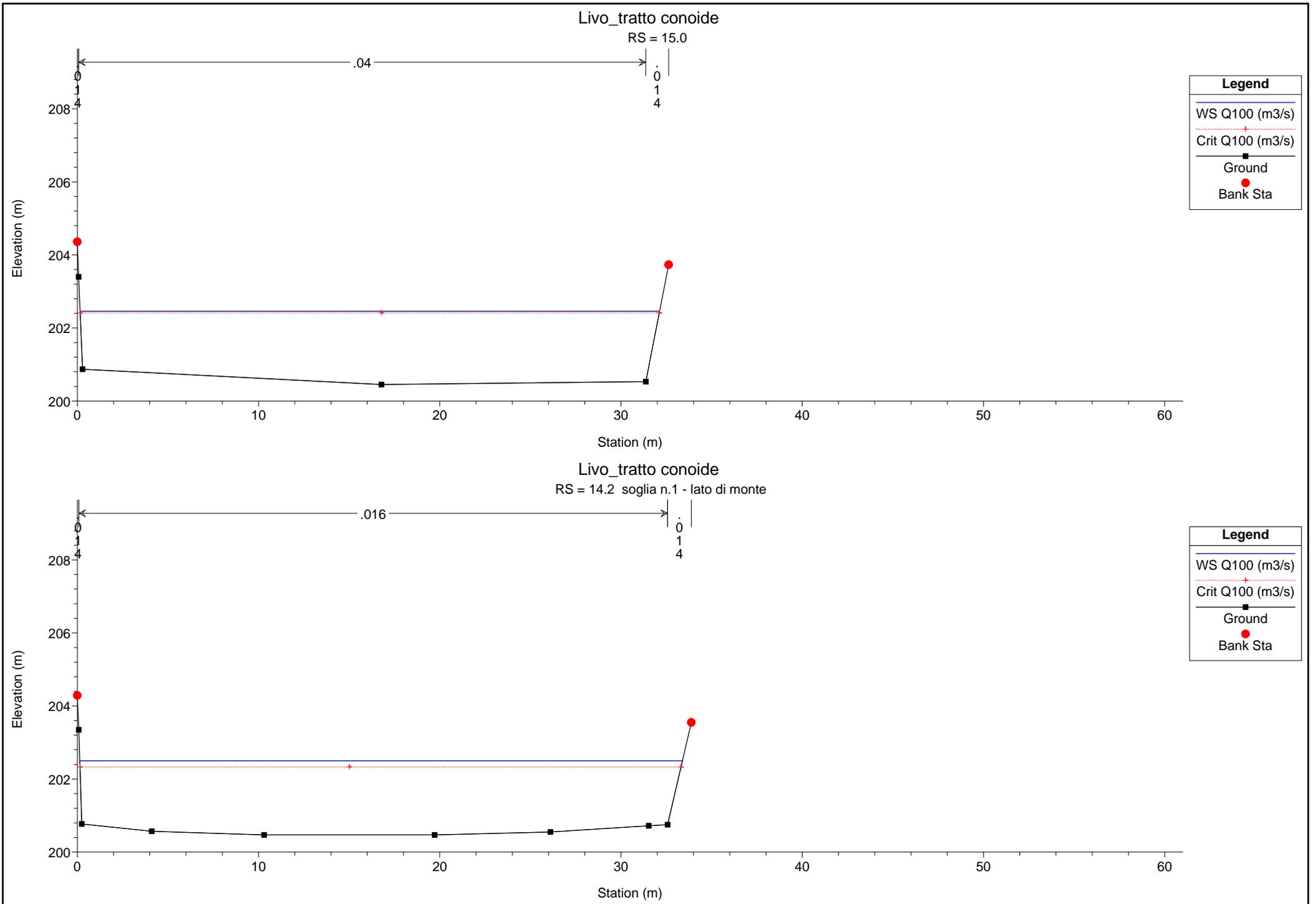
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



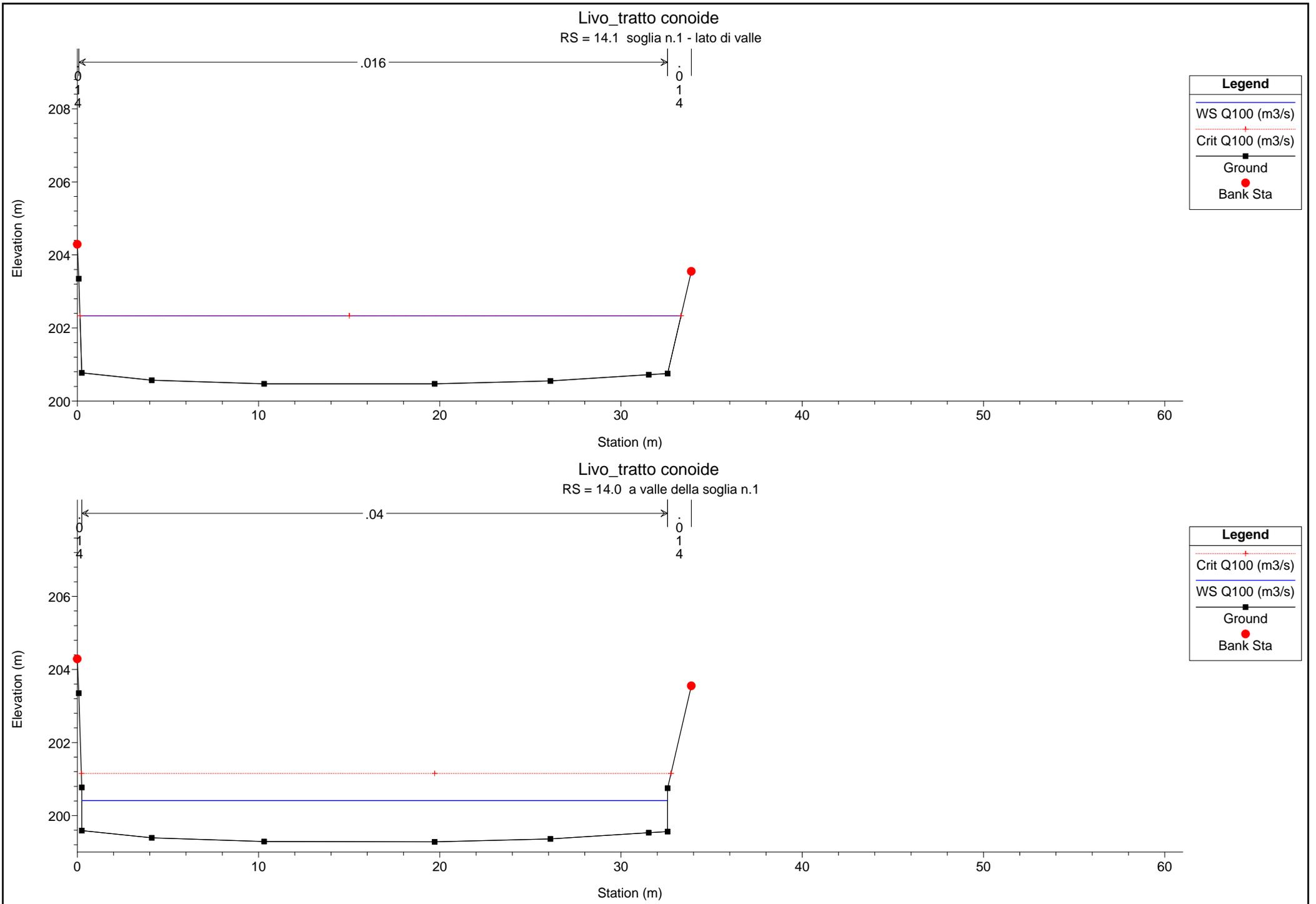
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



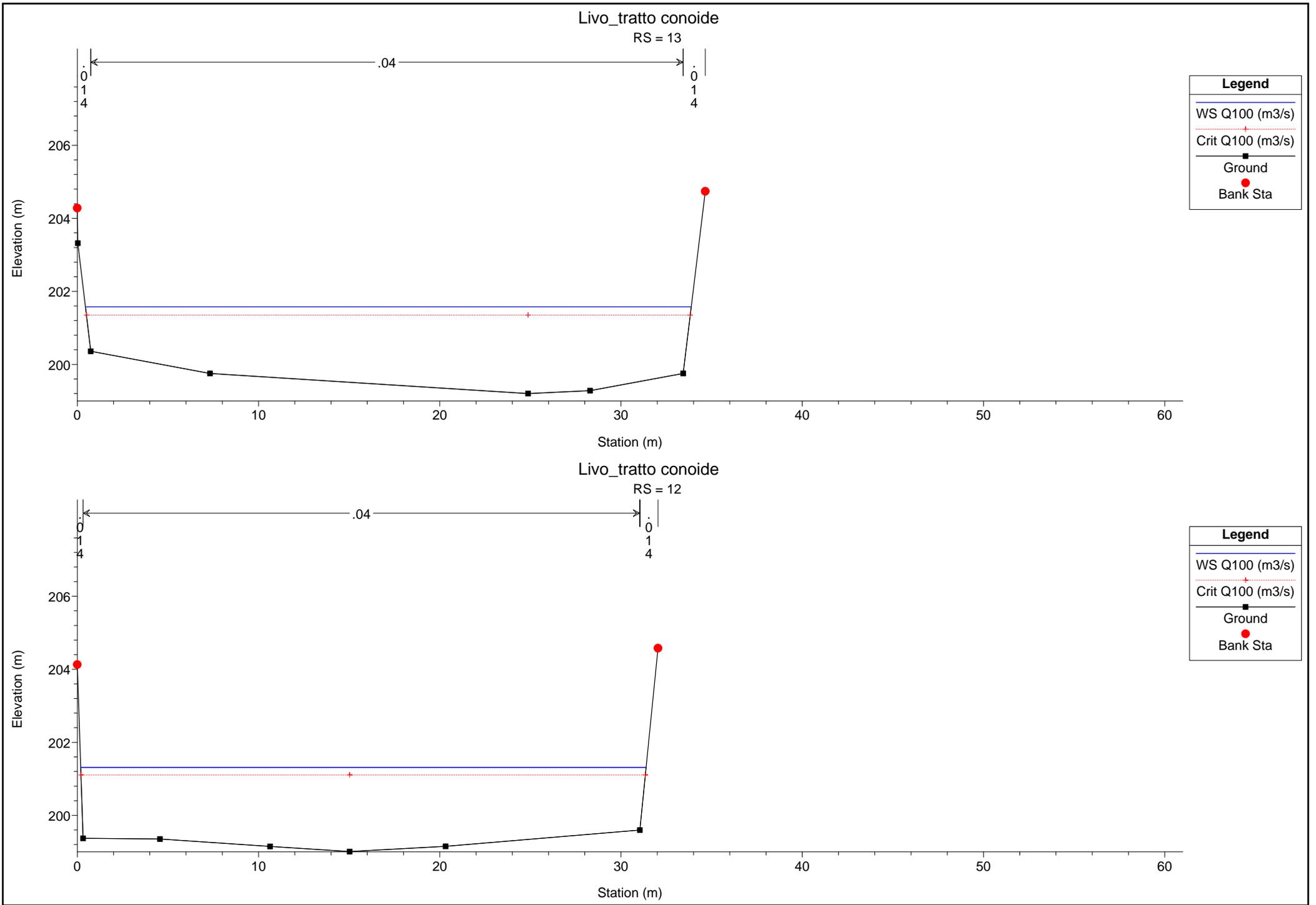
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



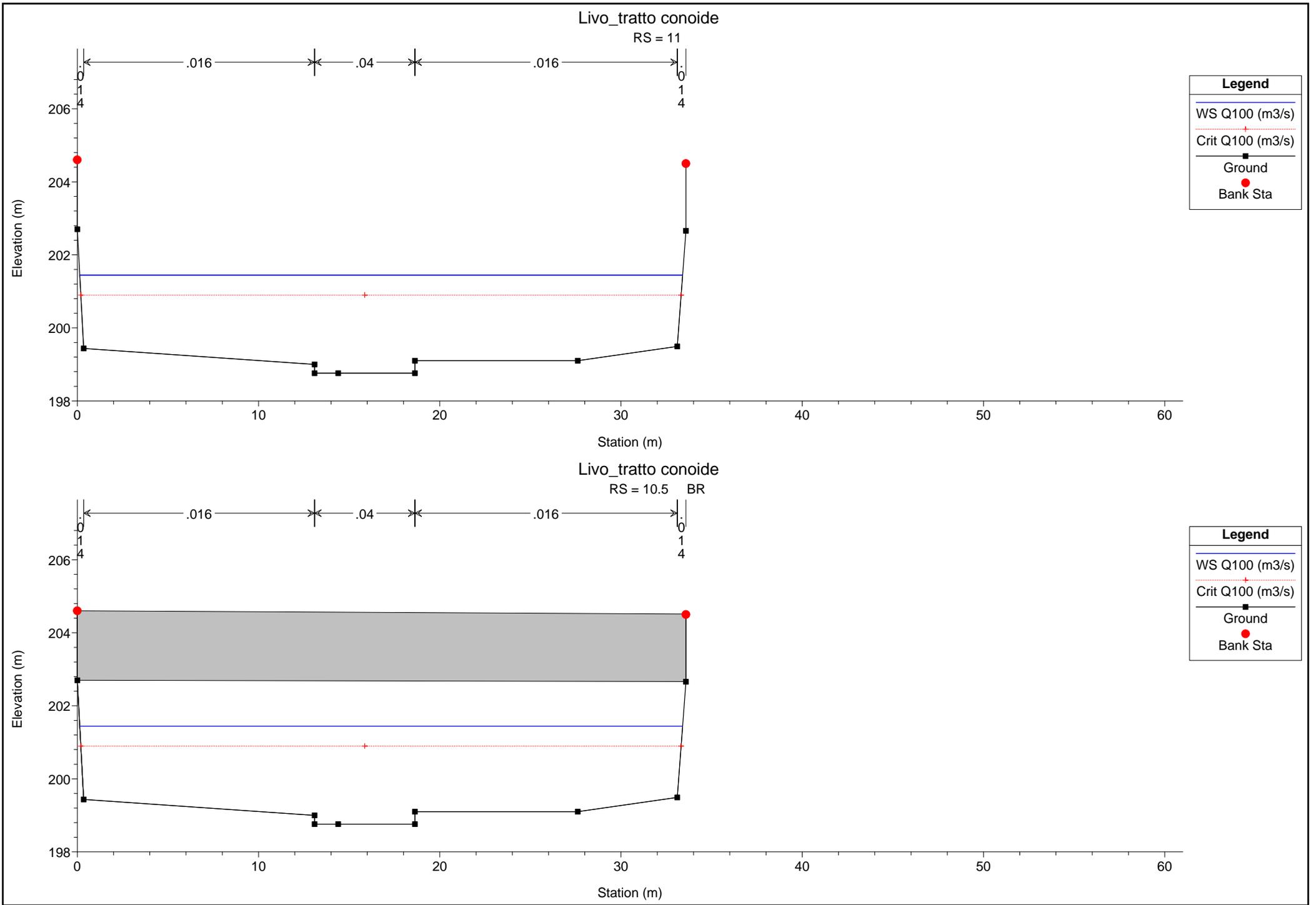
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



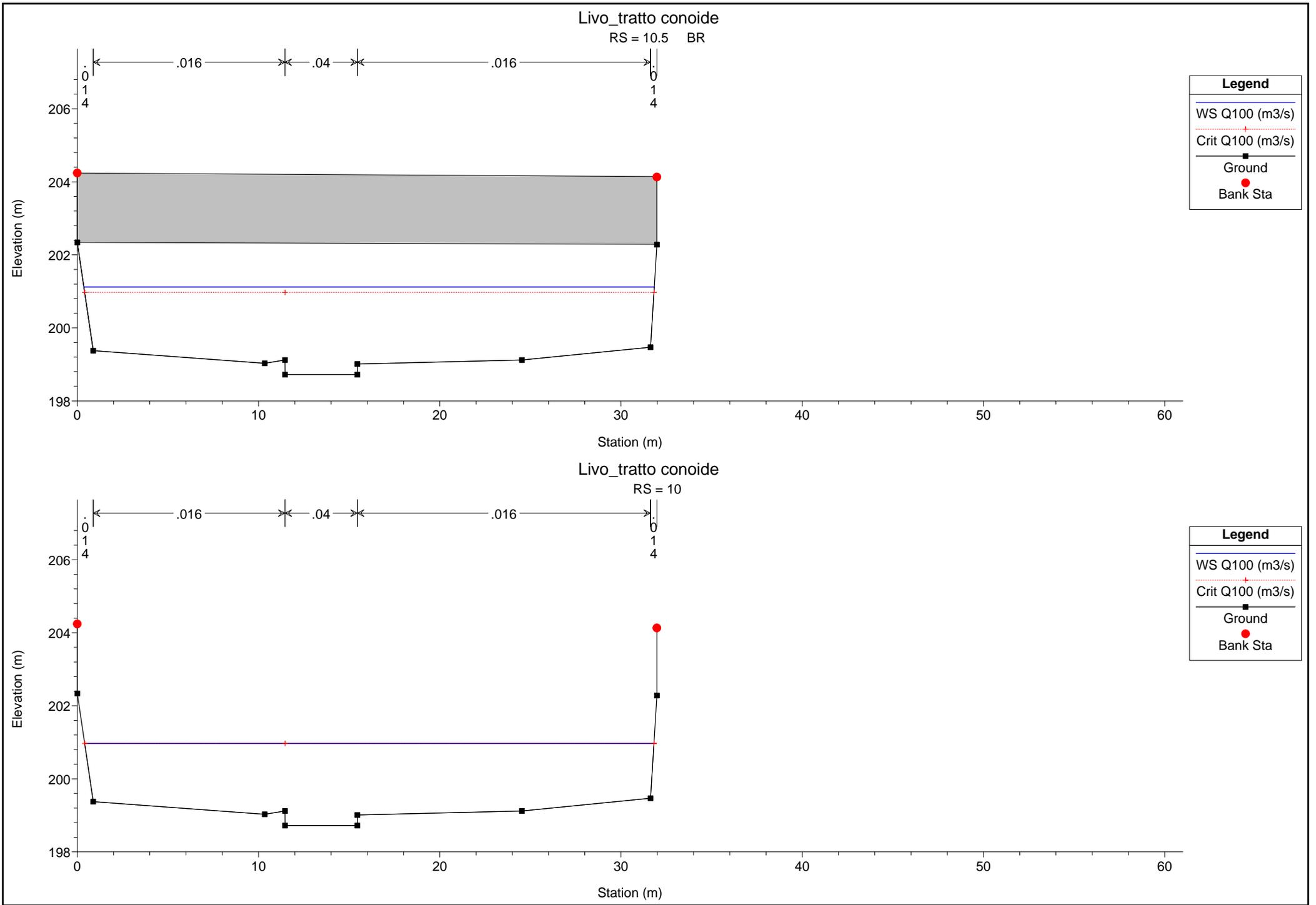
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

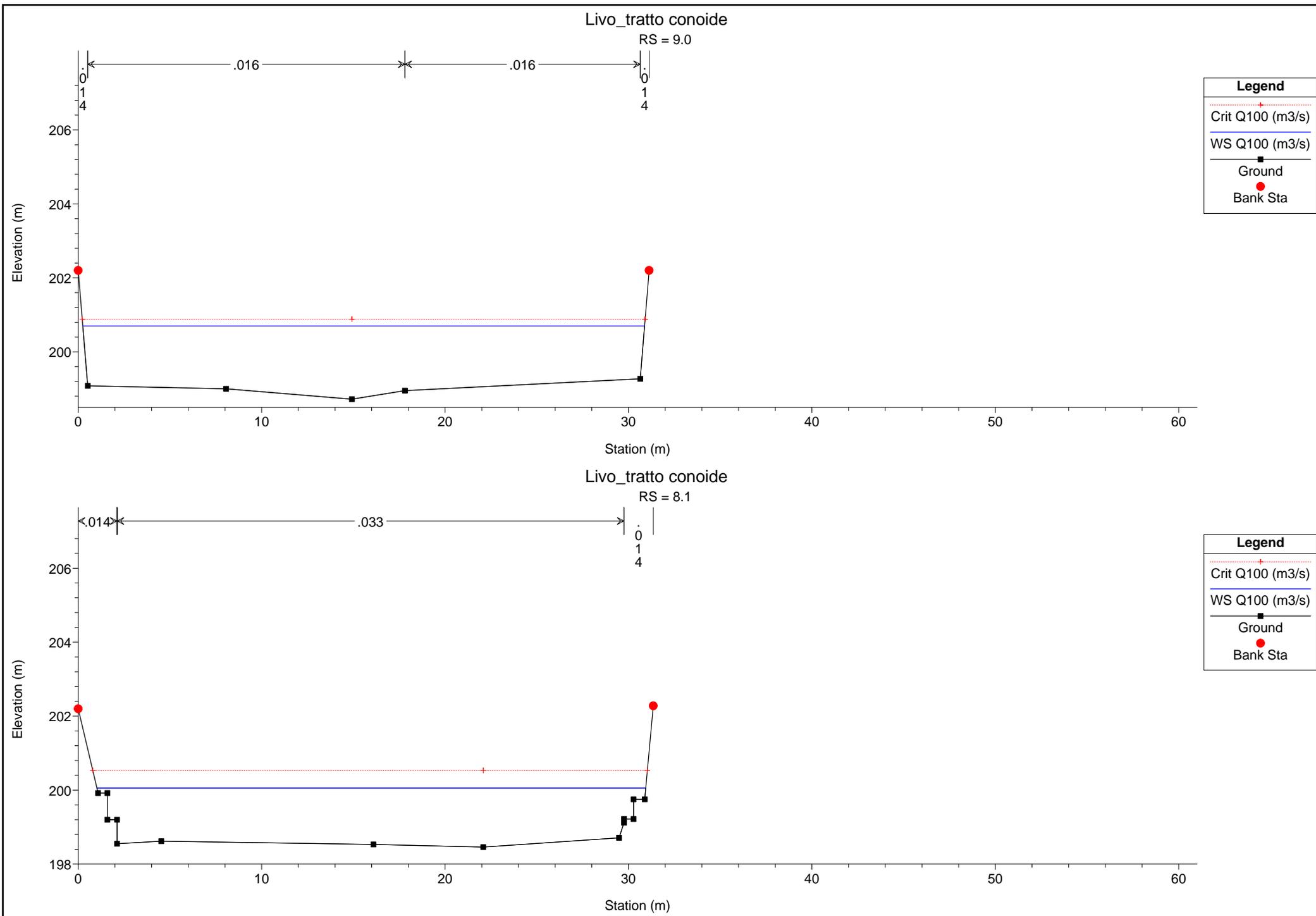


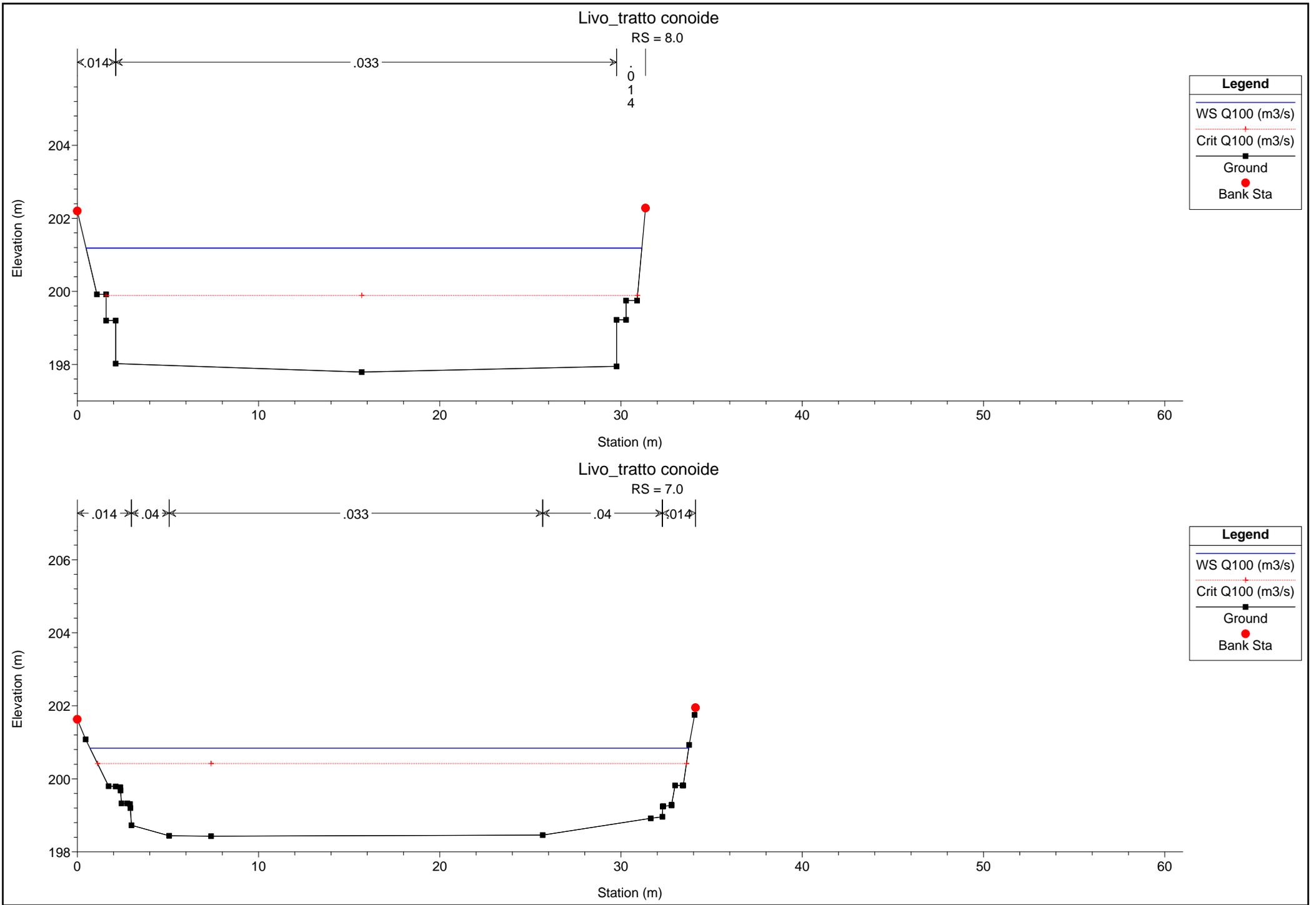
1 cm Horiz. = 2.6 m    1 cm Vert. = 1.3 m



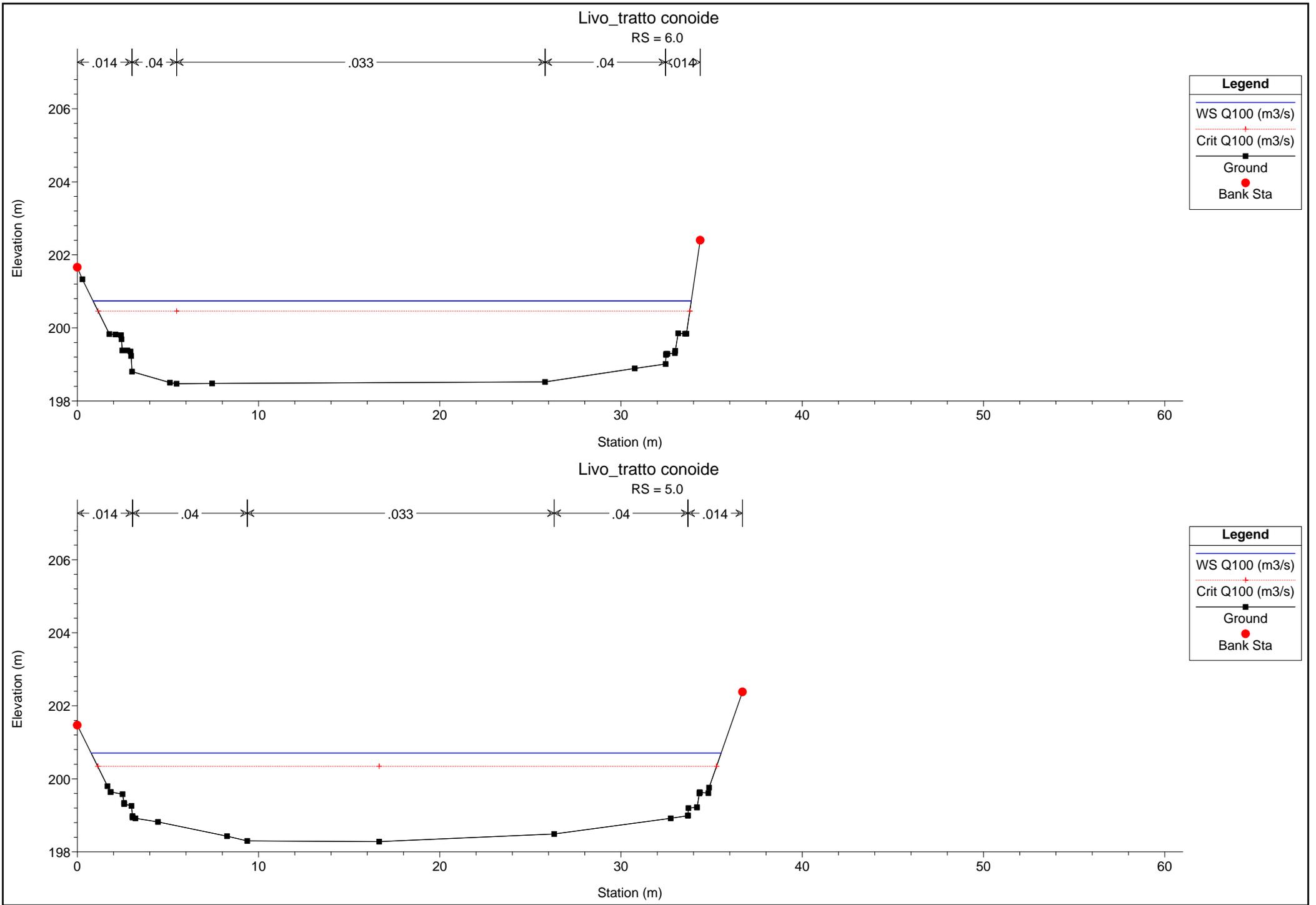
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m





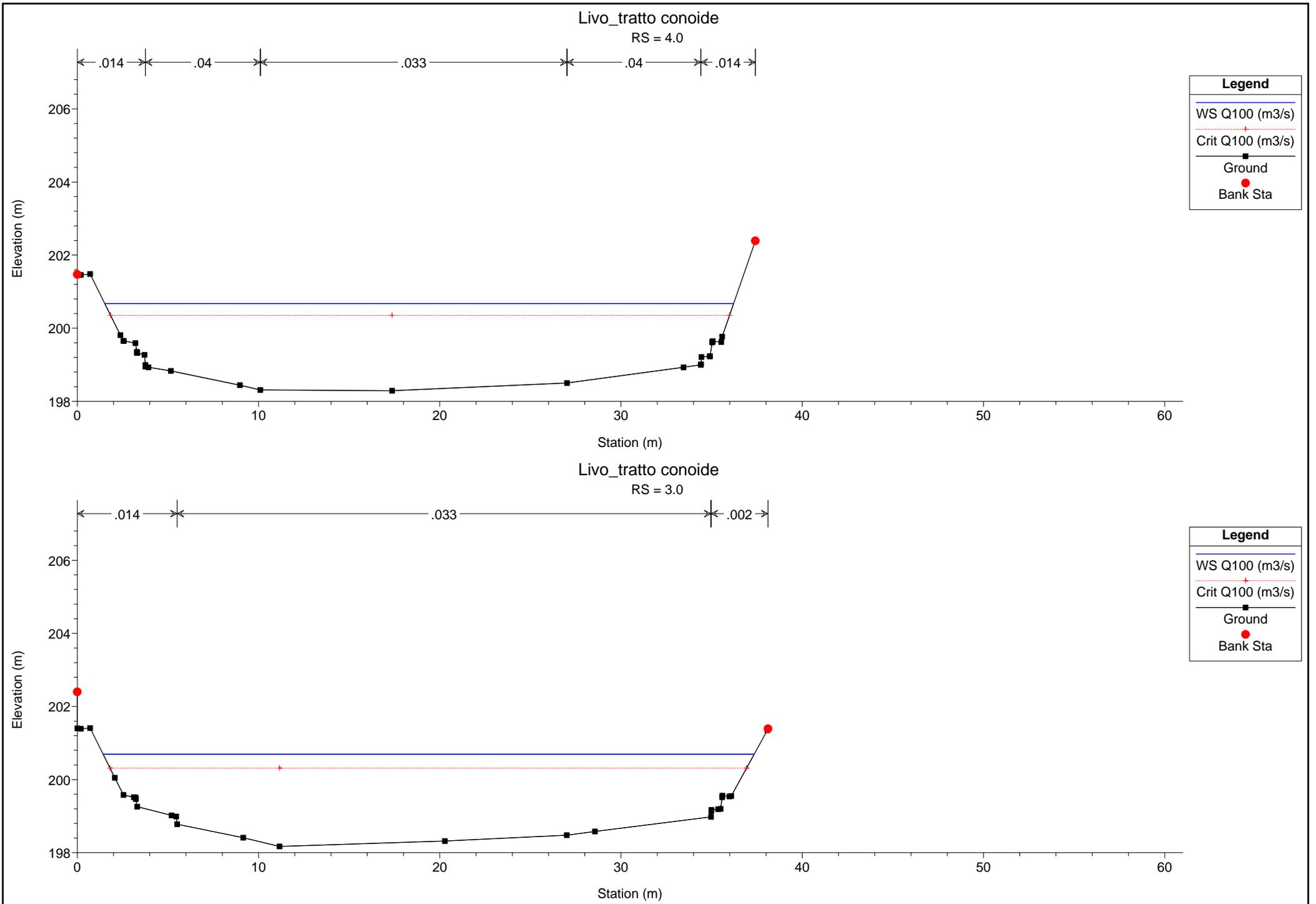


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

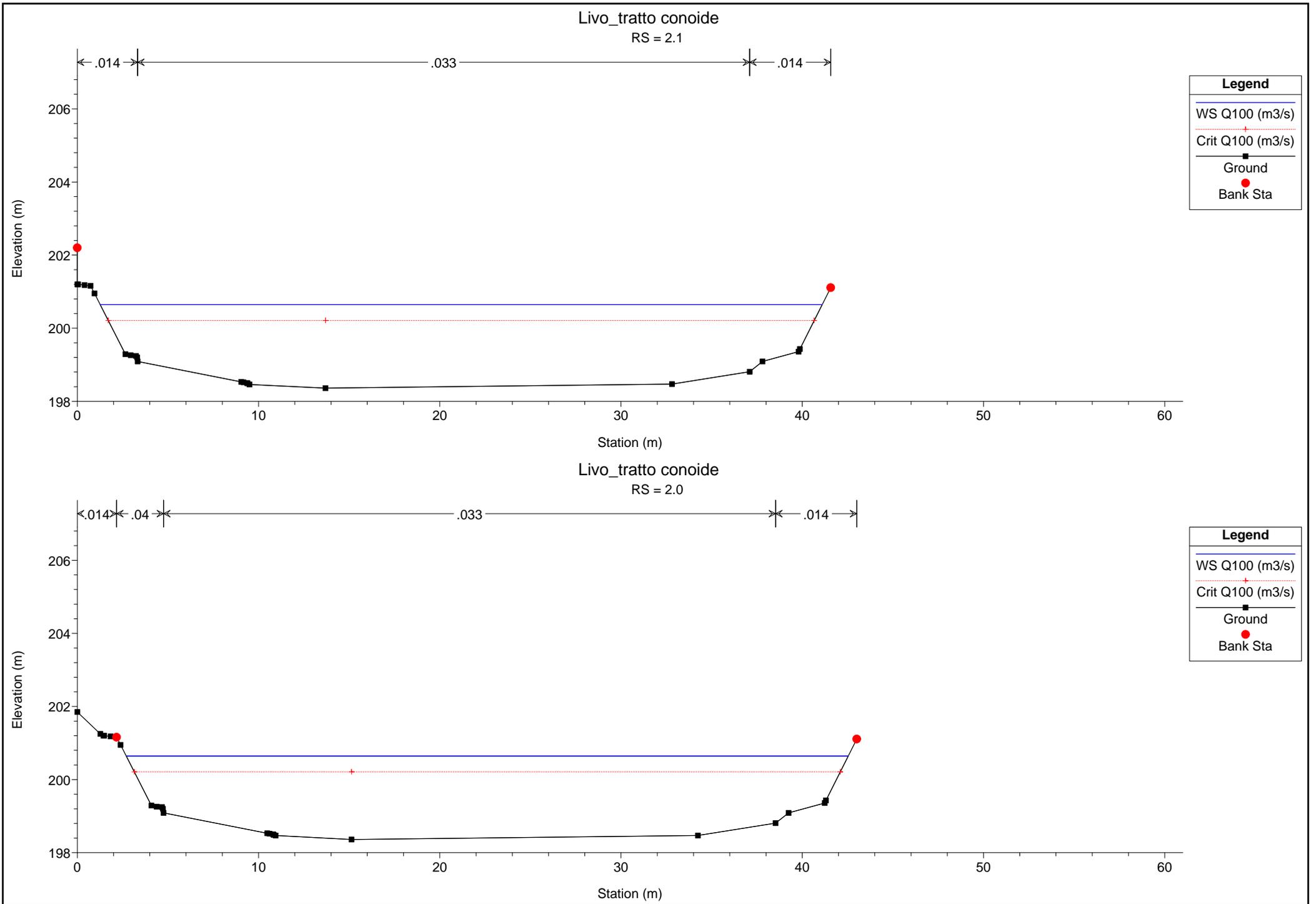


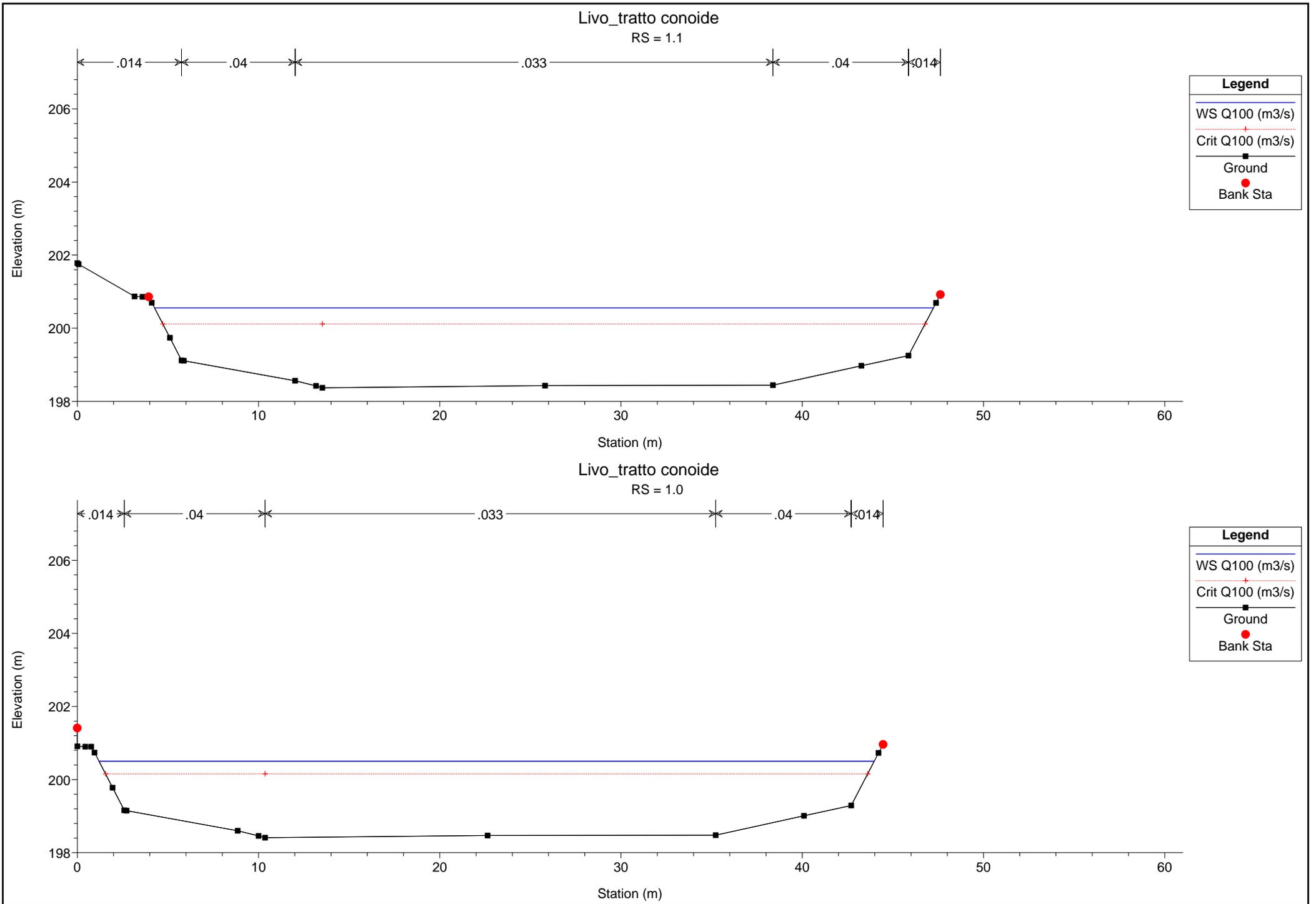
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

20



1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

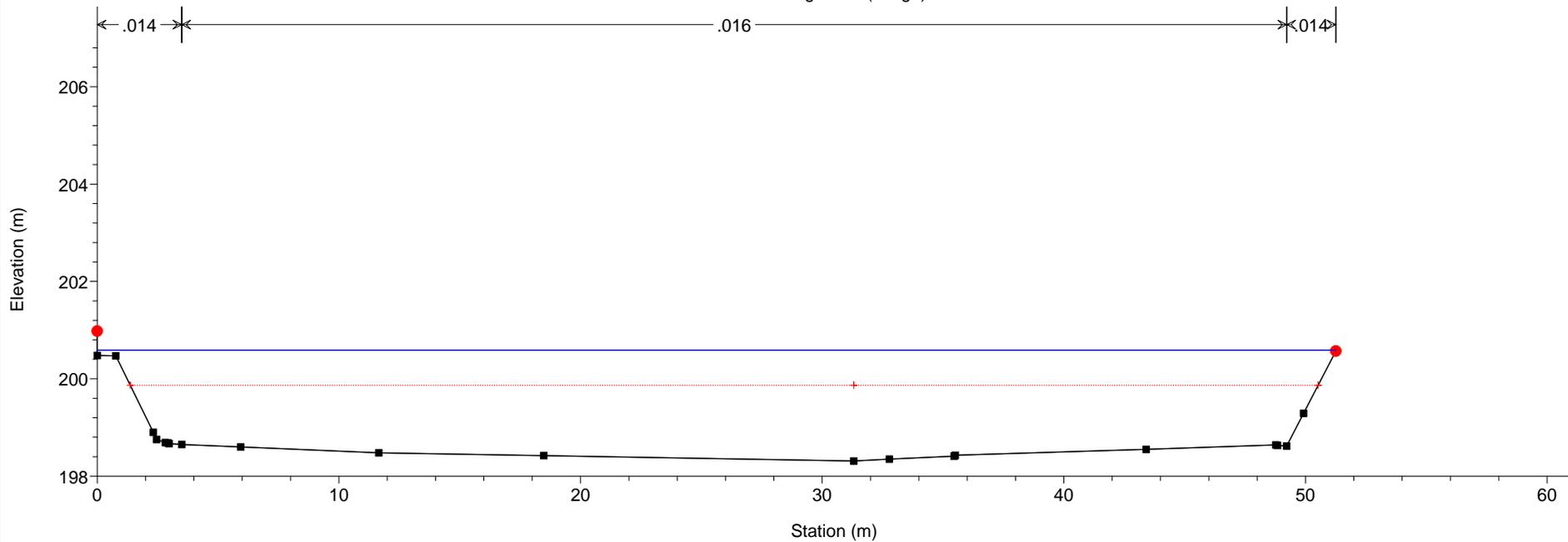




1 cm Horiz. = 2.6 m    1 cm Vert. = 1.3 m

### Livo\_tratto conoide

RS = 0.0 soglia n.0 (a lago) - lato di monte



Legend	
WS Q100 (m3/s)	
Crit Q100 (m3/s)	
Ground	
Bank Sta	

1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

**TABELLA GRANDEZZE IDRULICHE DELLA CORRENTE**

River Station	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Hydr Radius	Crit W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	
29	243.6	205.5	208.69	2.03	208.69	209.87	4.81	50.65	1
28	243.6	205.4	207.82	1.63	208.22	209.47	5.69	42.81	1.37
27	243.6	205.32	207.85	1.97	207.85	208.96	4.66	52.3	1
26.2	243.6	205.23	207.26	1.74	207.59	208.8	5.49	44.36	1.25
26.1	243.6	205.23	207.3	1.76	207.59	208.78	5.4	45.09	1.22
26	243.6	204.46	207.85	2.62	206.84	208.4	3.28	74.2	0.58
25.5	243.6	204.4	207.83	2.65	206.78	208.36	3.25	75.03	0.57
25	243.6	204.33	207.1	1.96	207.1	208.22	4.69	51.96	1.01
24	243.6	204.3	206.47	1.74	206.75	207.9	5.3	45.93	1.23
23.2	243.6	204.31	206.9	2.04	206.7	207.76	4.12	59.12	0.88
23.1	243.6	204.31	206.7	1.9	206.7	207.74	4.51	53.99	1.01
23	243.6	202.52	203.98	1.17	204.95	207.49	8.31	29.32	2.35
22	243.6	202.25	203.83	1.27	204.87	207.35	8.3	29.33	2.21
21	243.6	202.15	204.16	1.49	204.77	206.23	6.38	38.19	1.57
20	243.6	201.98	205.08	2.19	204.62	205.79	3.74	65.08	0.76
19	243.6	201.63	204.24	1.97	204.24	205.3	4.57	53.3	1.01
18.2	243.6	201.55	203.6	1.56	203.87	204.89	5.04	48.37	1.26
18.1	243.6	201.55	203.6	1.56	203.87	204.89	5.04	48.37	1.26
18	243.6	201.3	203.06	1.38	203.57	204.84	5.91	41.23	1.56
17.2	243.6	201.21	203.56	1.95	203.39	204.38	4.02	60.65	0.88
17.1	243.6	201.21	203.39	1.81	203.39	204.36	4.38	55.65	1
17	243.6	200.55	202.01	1.25	202.68	204.24	6.61	36.85	1.81
16.5	243.6	200.51	203.39	2.34	202.64	203.91	3.19	76.44	0.62
16	243.6	200.46	202.65	1.85	202.55	203.53	4.15	58.64	0.92
15	243.6	200.45	202.46	1.7	202.41	203.32	4.11	59.2	0.97
14.2	243.6	200.47	202.5	1.77	202.33	203.24	3.81	63.89	0.88
14.1	243.6	200.47	202.33	1.64	202.33	203.22	4.17	58.38	1
14	243.6	199.28	200.41	1	201.15	203.05	7.19	33.87	2.24
13	243.6	199.2	201.58	1.84	201.35	202.27	3.69	66.05	0.84
12	243.6	199.01	201.31	1.85	201.11	202.06	3.83	63.59	0.86
11	243.6	198.76	201.44	2.05	200.9	201.96	3.18	76.57	0.67
10.5 BRU	243.6	198.76	201.44	2.05	200.9	201.96	3.18	76.56	0.67
10.5 BRD	243.6	198.72	201.12	1.78	200.97	201.9	3.91	62.28	0.89
10	243.6	198.72	200.97	1.66	200.97	201.88	4.24	57.46	1
9	243.6	198.72	200.7	1.54	200.88	201.85	4.75	51.26	1.17
8.1	243.6	198.46	200.06	1.3	200.53	201.74	5.75	42.35	1.54
8	243.6	197.79	201.18	2.62	199.89	201.52	2.56	95.28	0.46
7	243.6	198.43	200.84	2.01	200.42	201.42	3.39	71.89	0.73
6	243.6	198.47	200.74	1.89	200.46	201.41	3.63	67.12	0.81
5	243.6	198.28	200.7	1.94	200.34	201.3	3.41	71.46	0.76
4	243.6	198.29	200.68	1.91	200.35	201.29	3.47	70.14	0.78
3	243.6	198.17	200.69	1.94	200.31	201.26	3.34	73.04	0.75
2.1	243.6	198.36	200.65	1.92	200.21	201.13	3.09	78.83	0.7
2	243.6	198.36	200.64	1.91	200.21	201.13	3.09	78.76	0.7
1.1	243.6	198.37	200.56	1.85	200.12	201.01	2.98	81.79	0.69
1	243.6	198.41	200.5	1.77	200.16	201	3.13	77.78	0.74
0	243.6	198.31	200.59	1.95	199.87	200.88	2.37	102.94	0.53

RIVER STATION: SEZIONE

Q TOTAL: PORTATA DEFLUENTE

MIN CH EL: QUOTA MINIMA DELL'ALVEO

W.S. ELEV: QUOTA IDRICA STIMATA

HYDR RADIUS: RAGGIO IDRAULICO

CRIT W.S.: QUOTA ALTEZZA CRITICA

E.G. ELEV: ENERGIA

VEL CHNL: VELOCITA' MEDIA DELLA CORRENTE IN ALVEO

FLOW AREA: AREA TOTALE DELLA SEZIONE INTERESSATA DAL DEFLUSSO

FROUDE # CHL:: NUMERO DI FROUDE

## **ALLEGATO 3**

**Risultati verifica idraulica per portata di piena solida centenaria**

$$Q_{s100} = 317,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

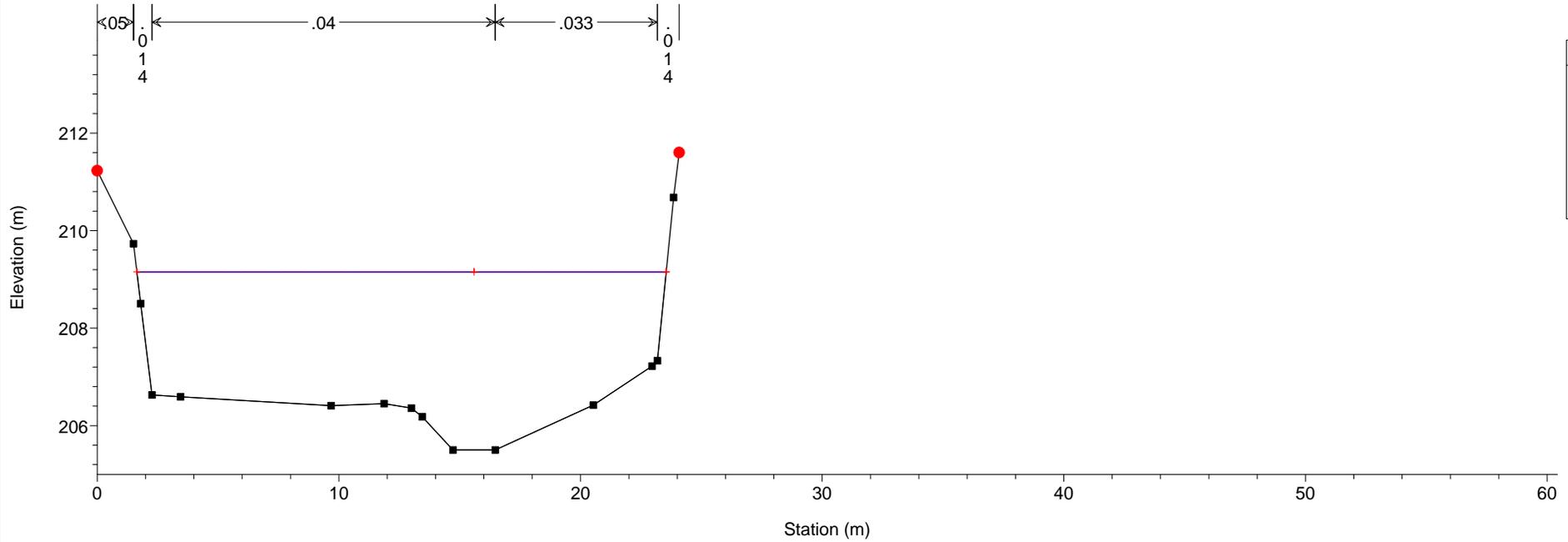
**Sezioni di verifica idraulica**

**Tabella grandezze idrauliche**

**Profilo idrico della corrente**

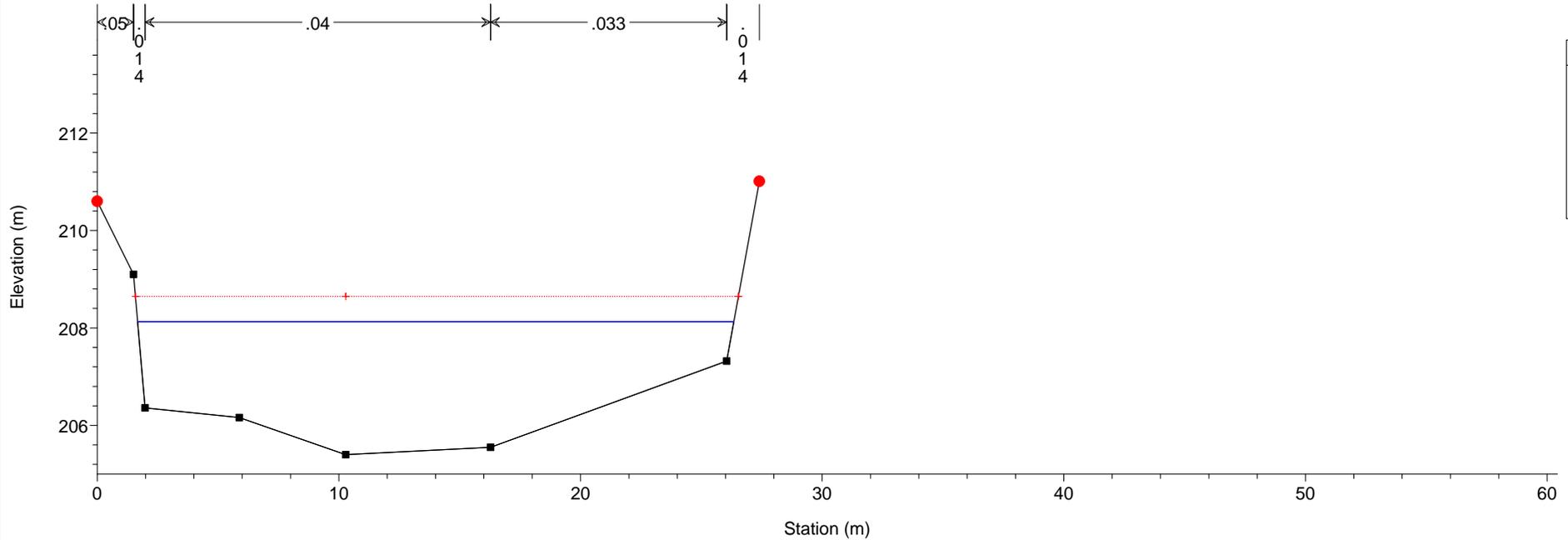
Livo\_tratto conoide

RS = 29.0

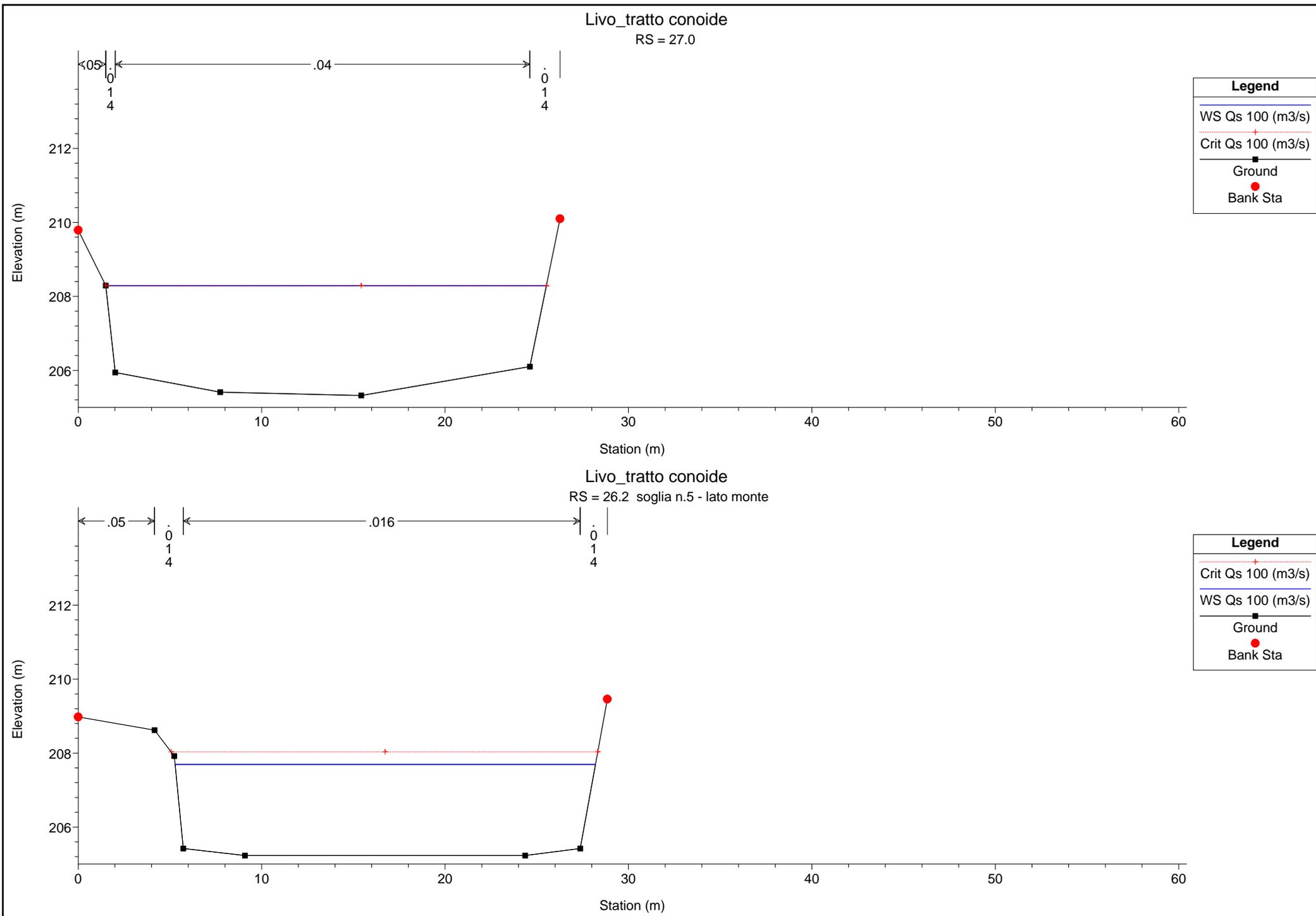


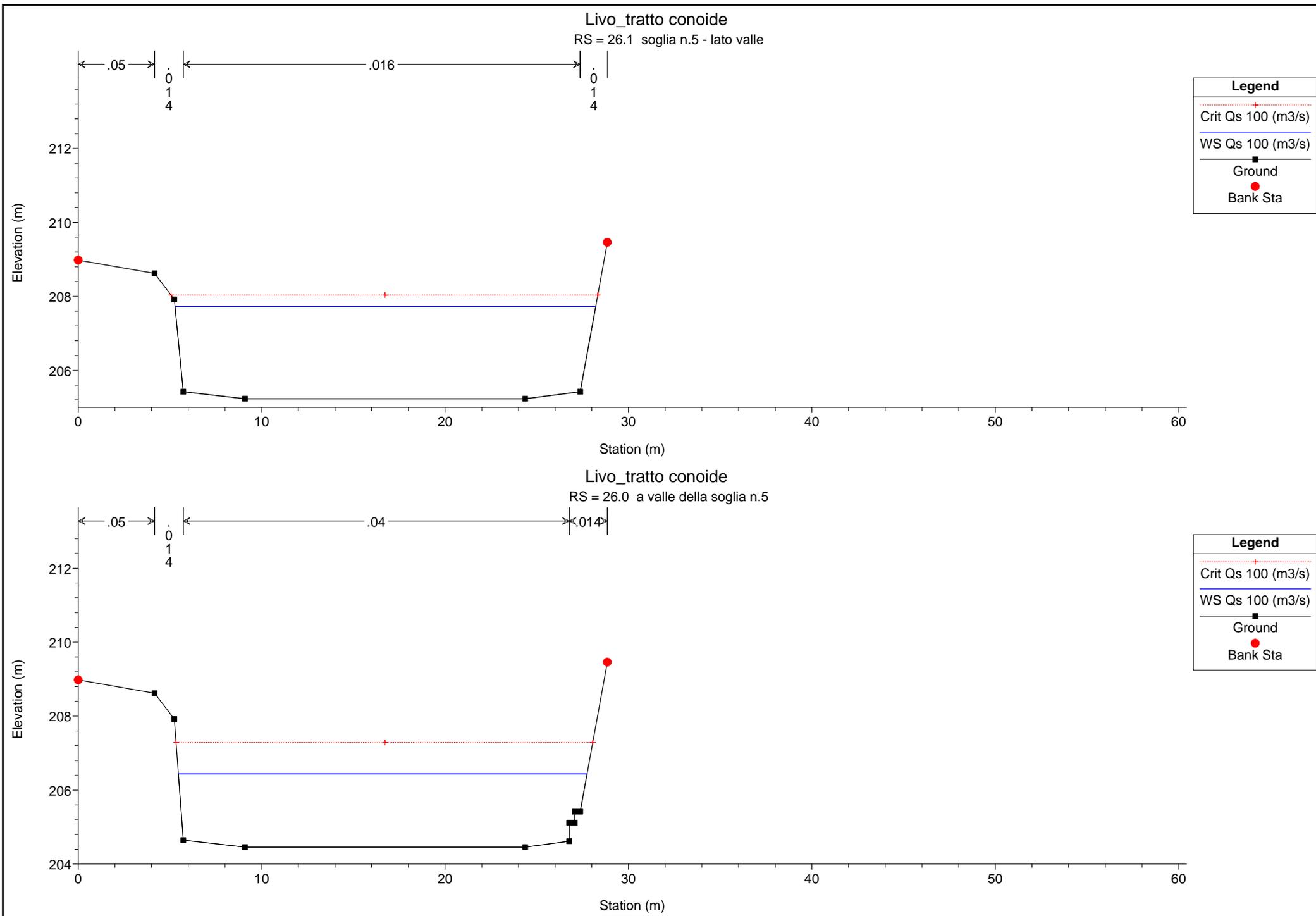
Livo\_tratto conoide

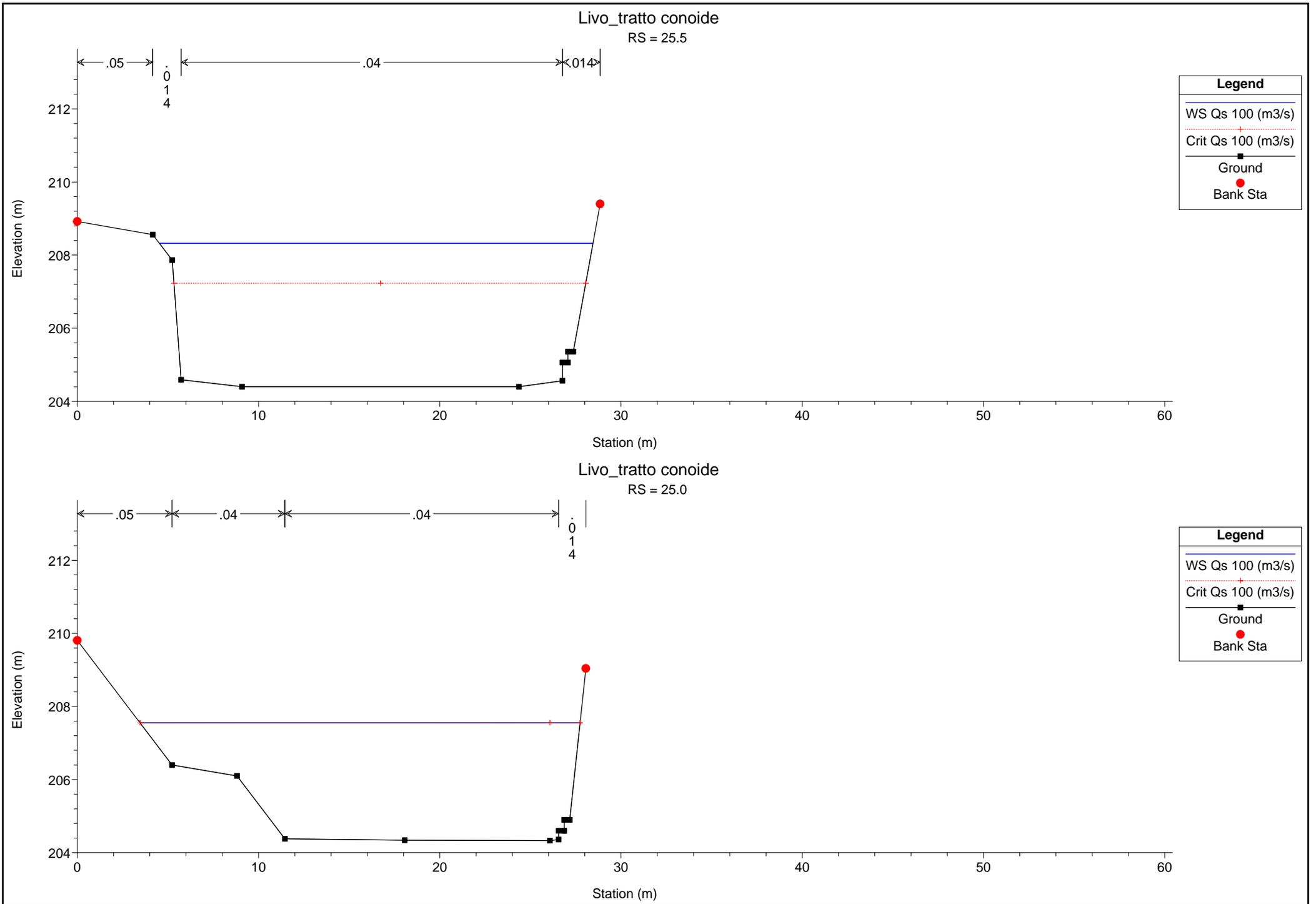
RS = 28.0



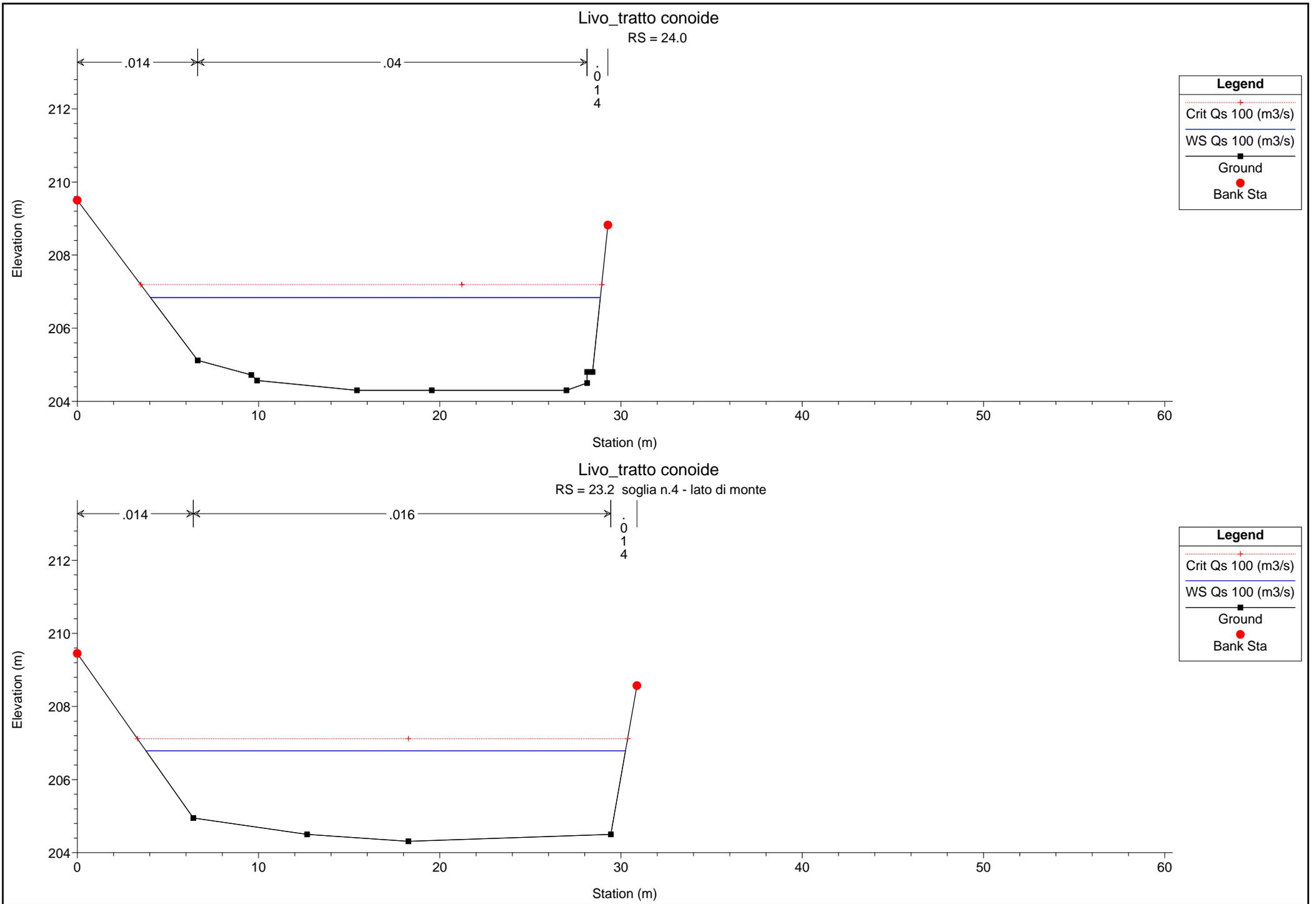
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

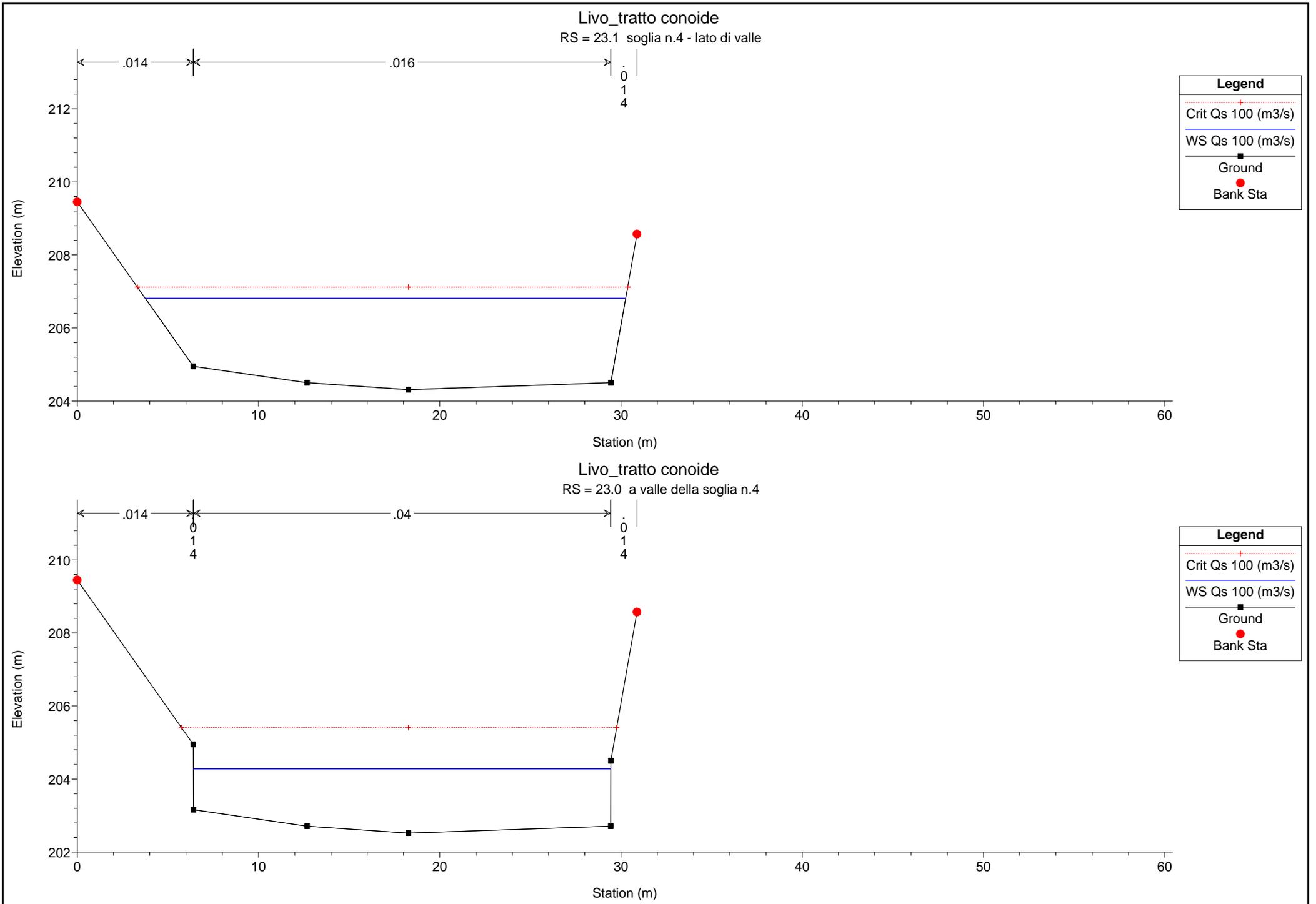




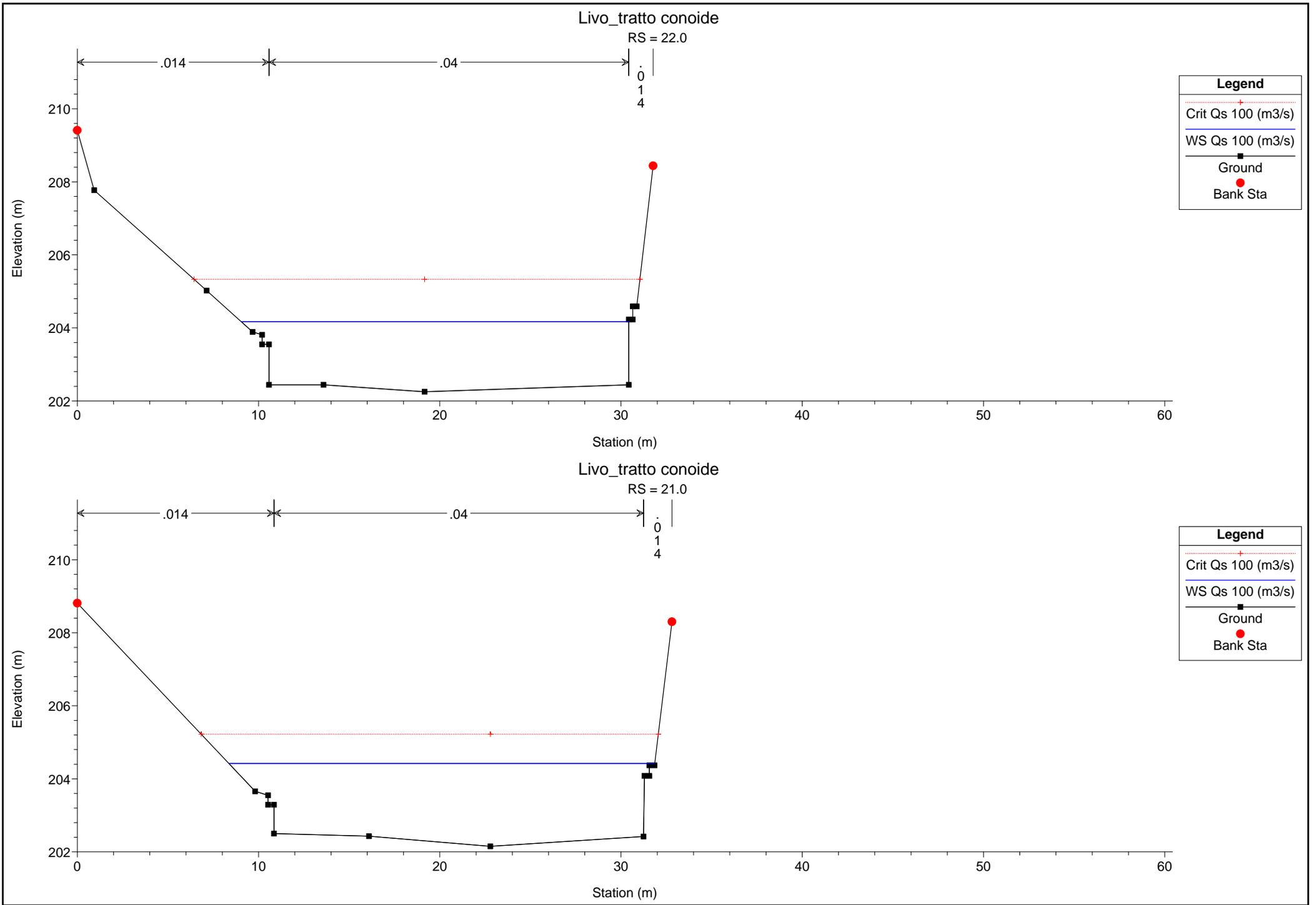


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

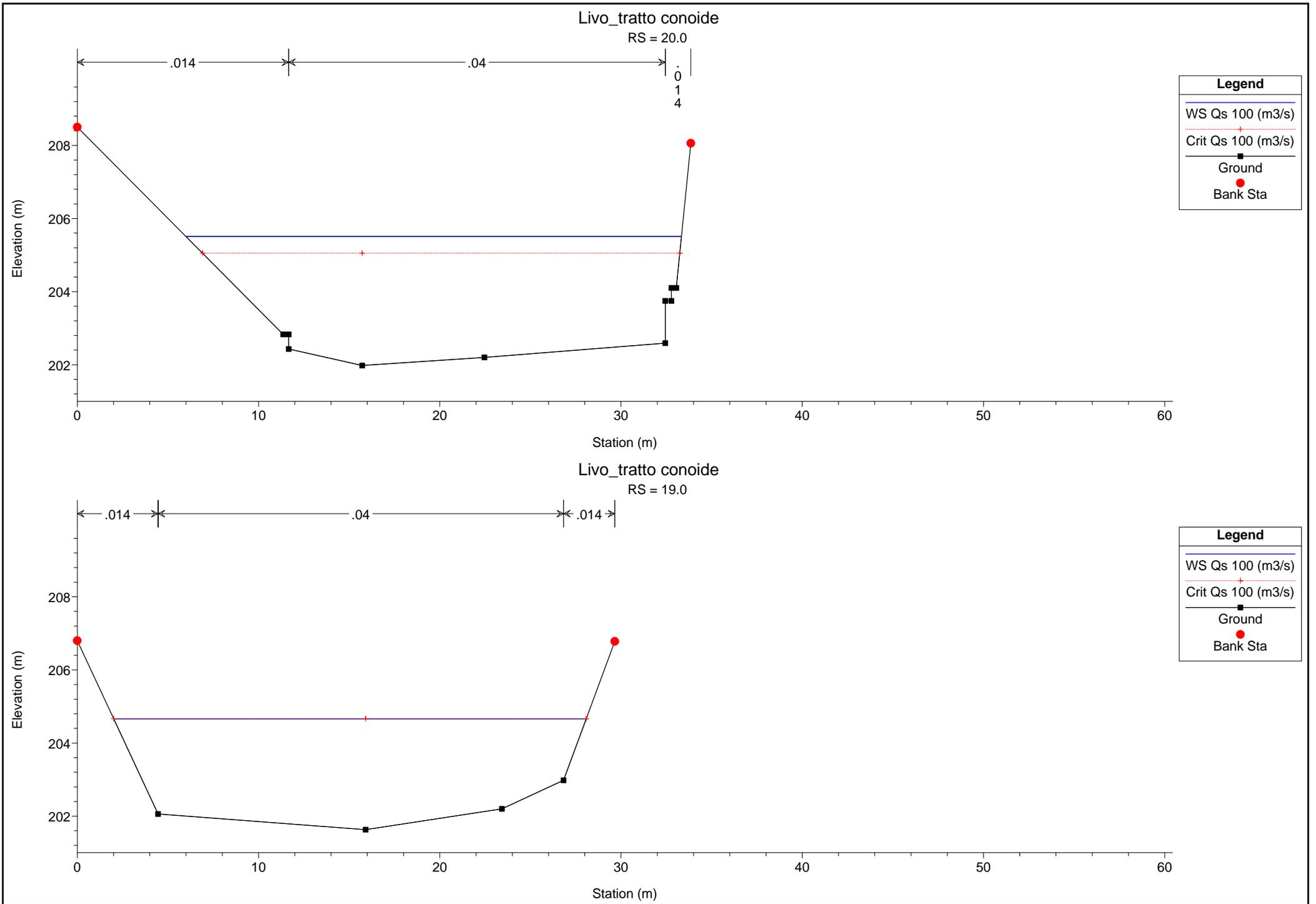




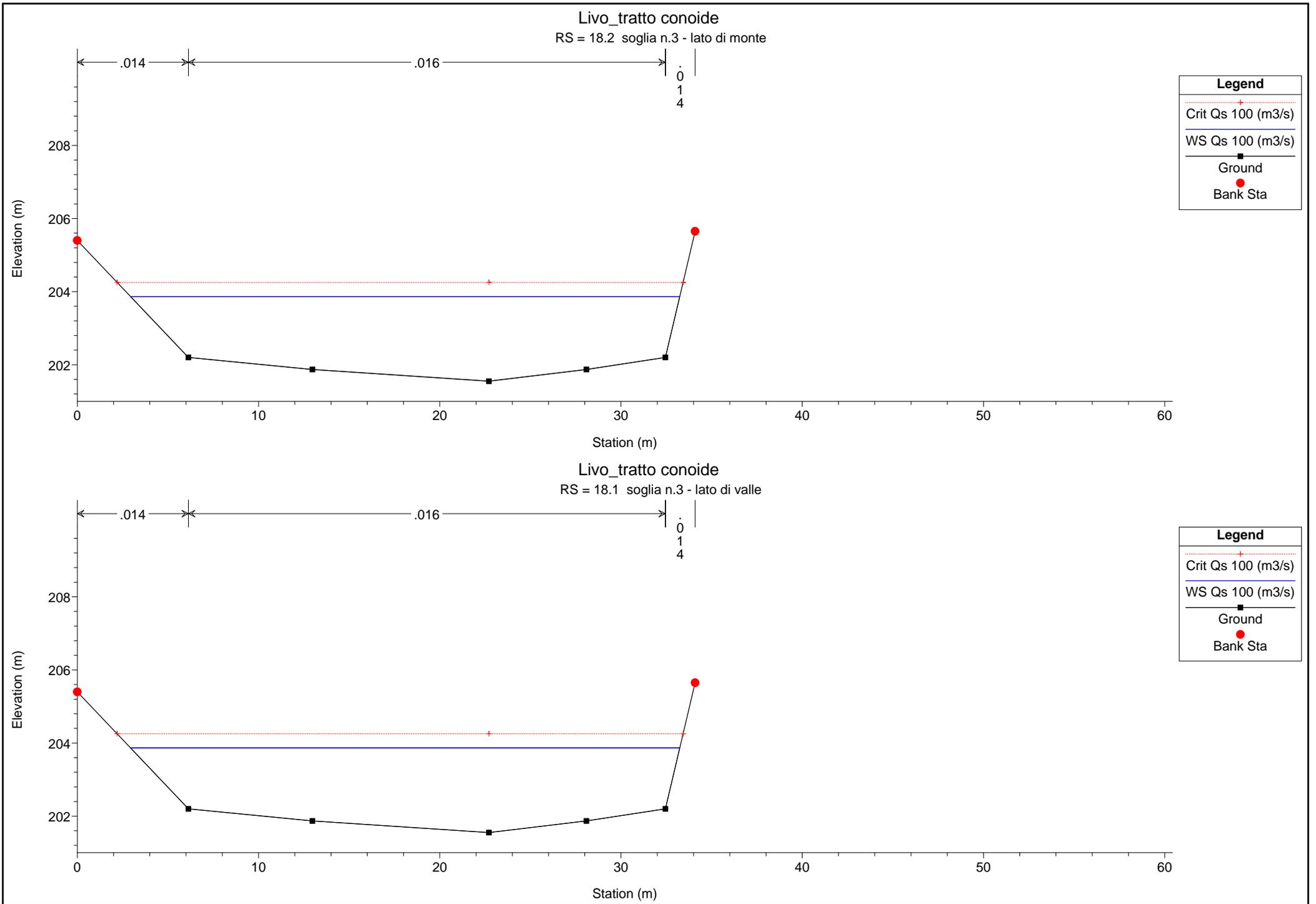
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

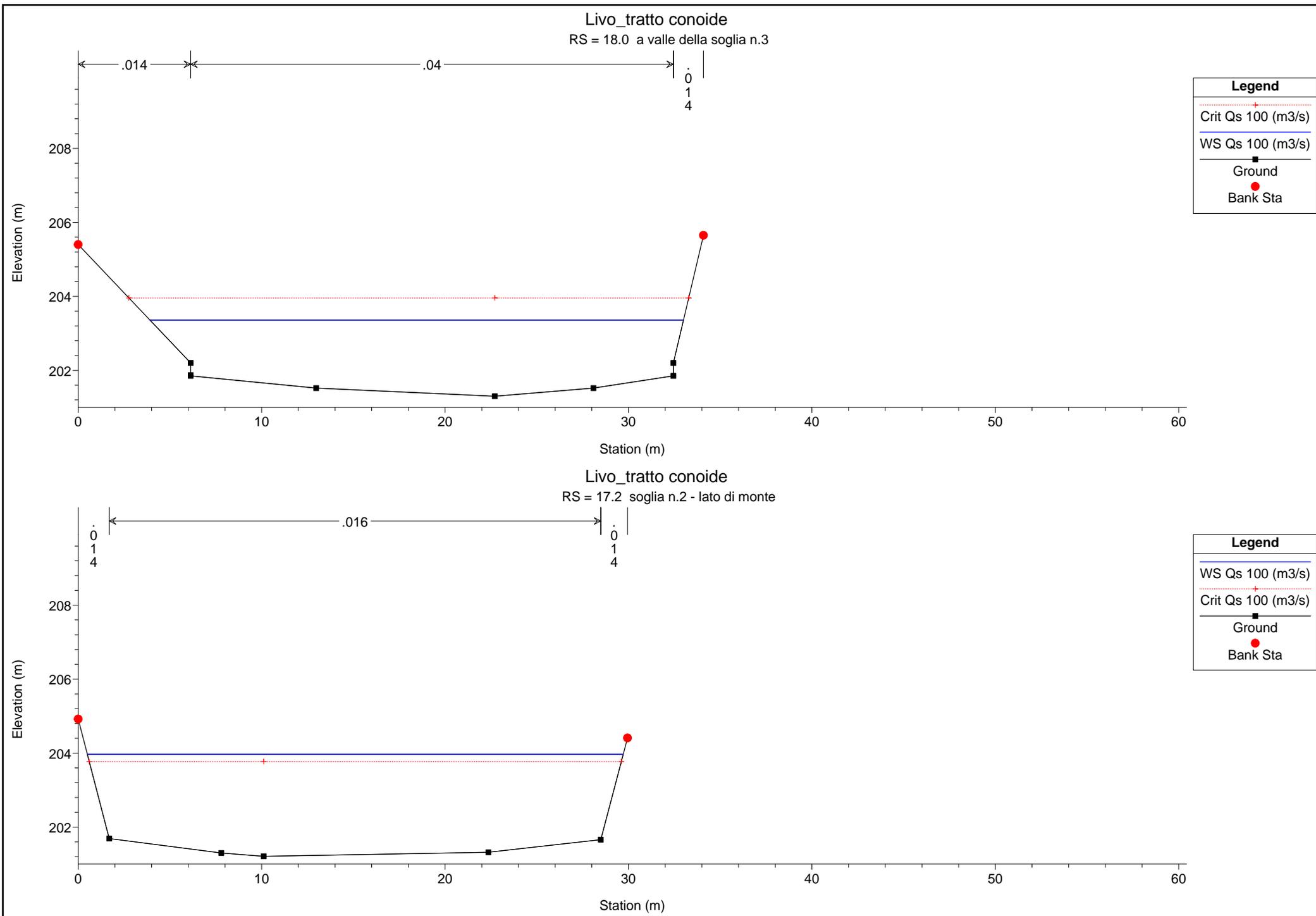


1 cm Horiz. = 2.6 m    1 cm Vert. = 1.3 m



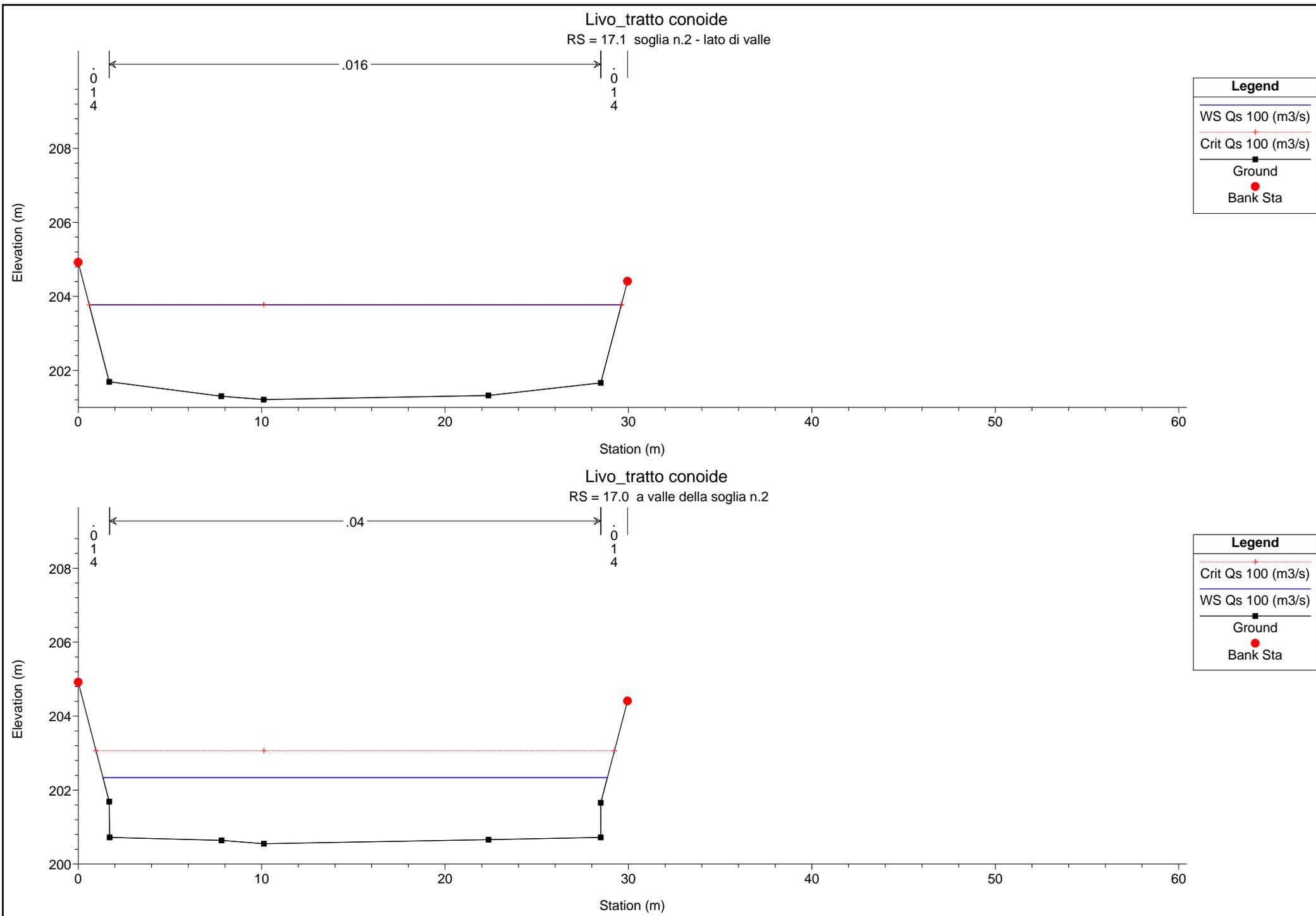
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



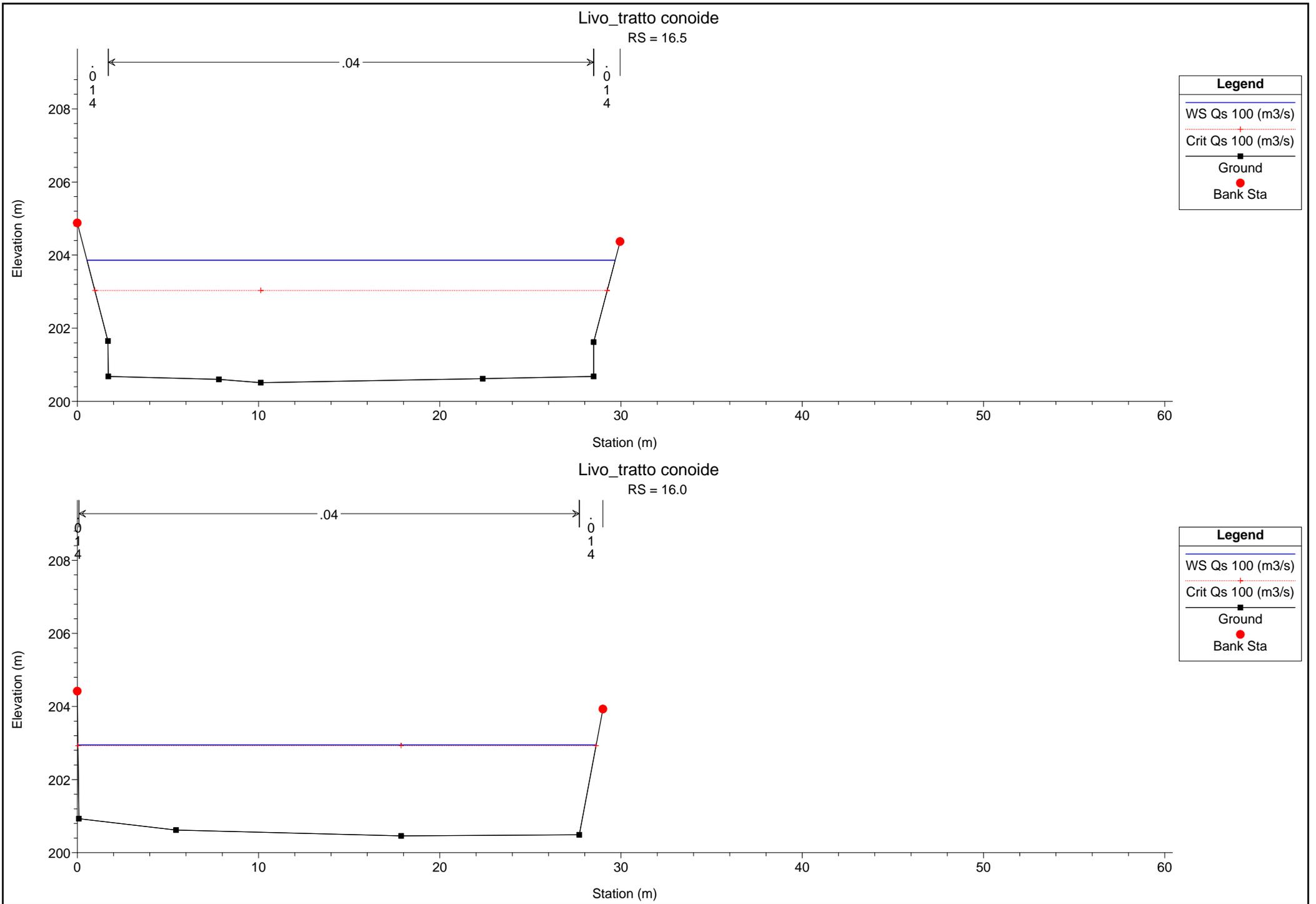


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

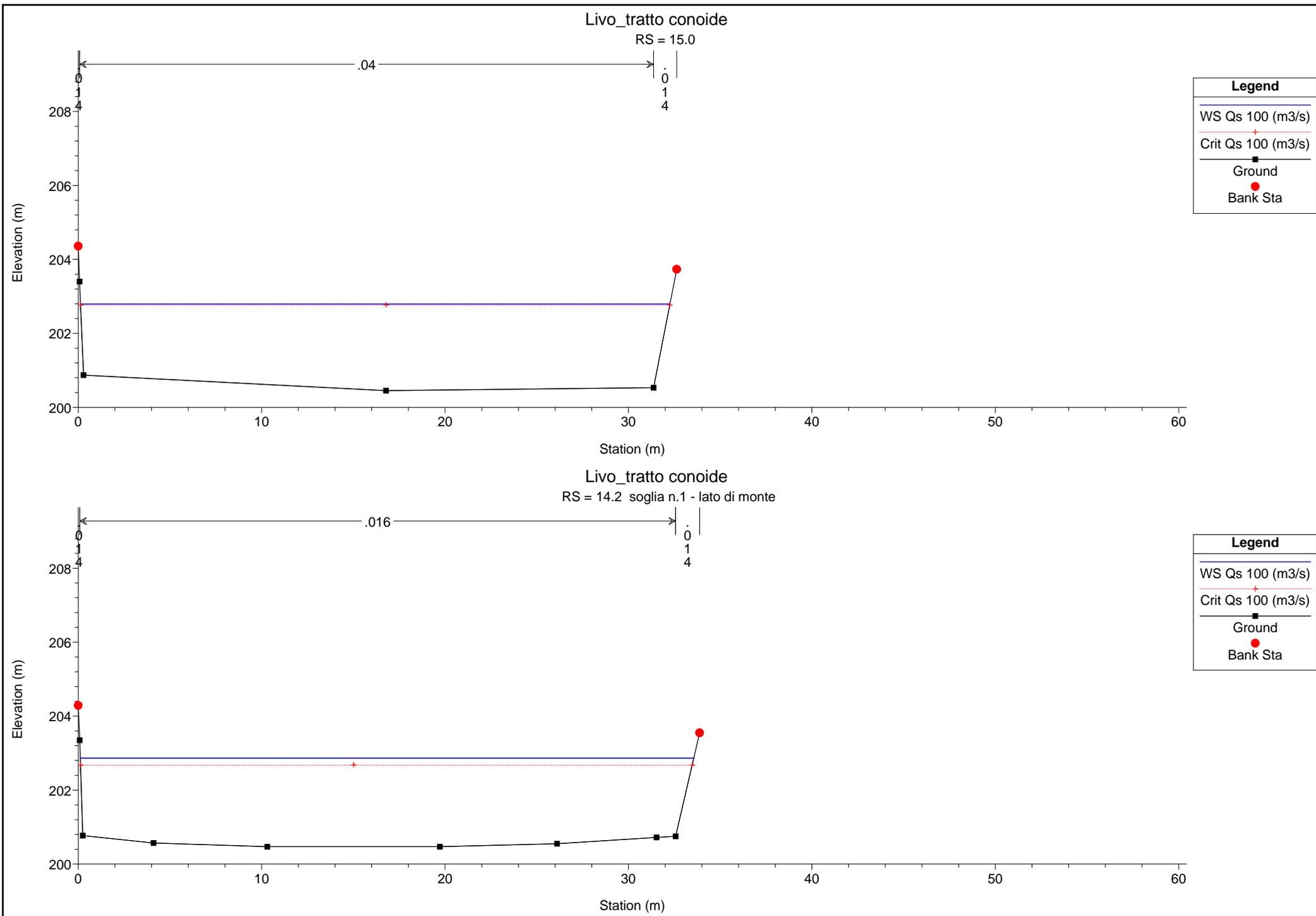
10



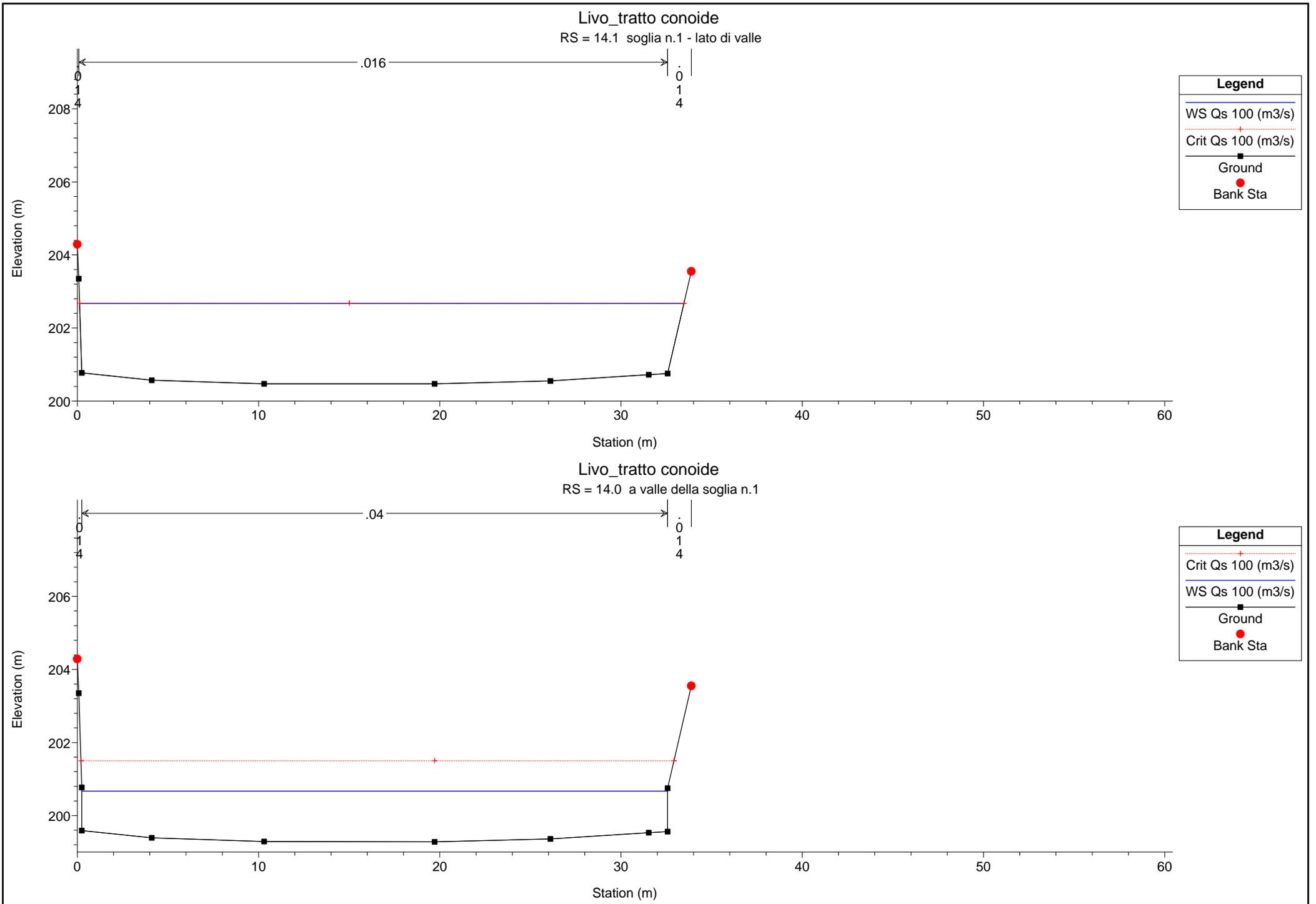
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



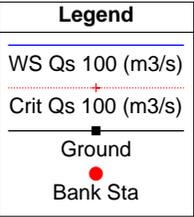
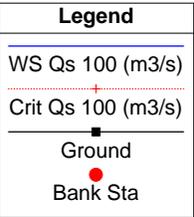
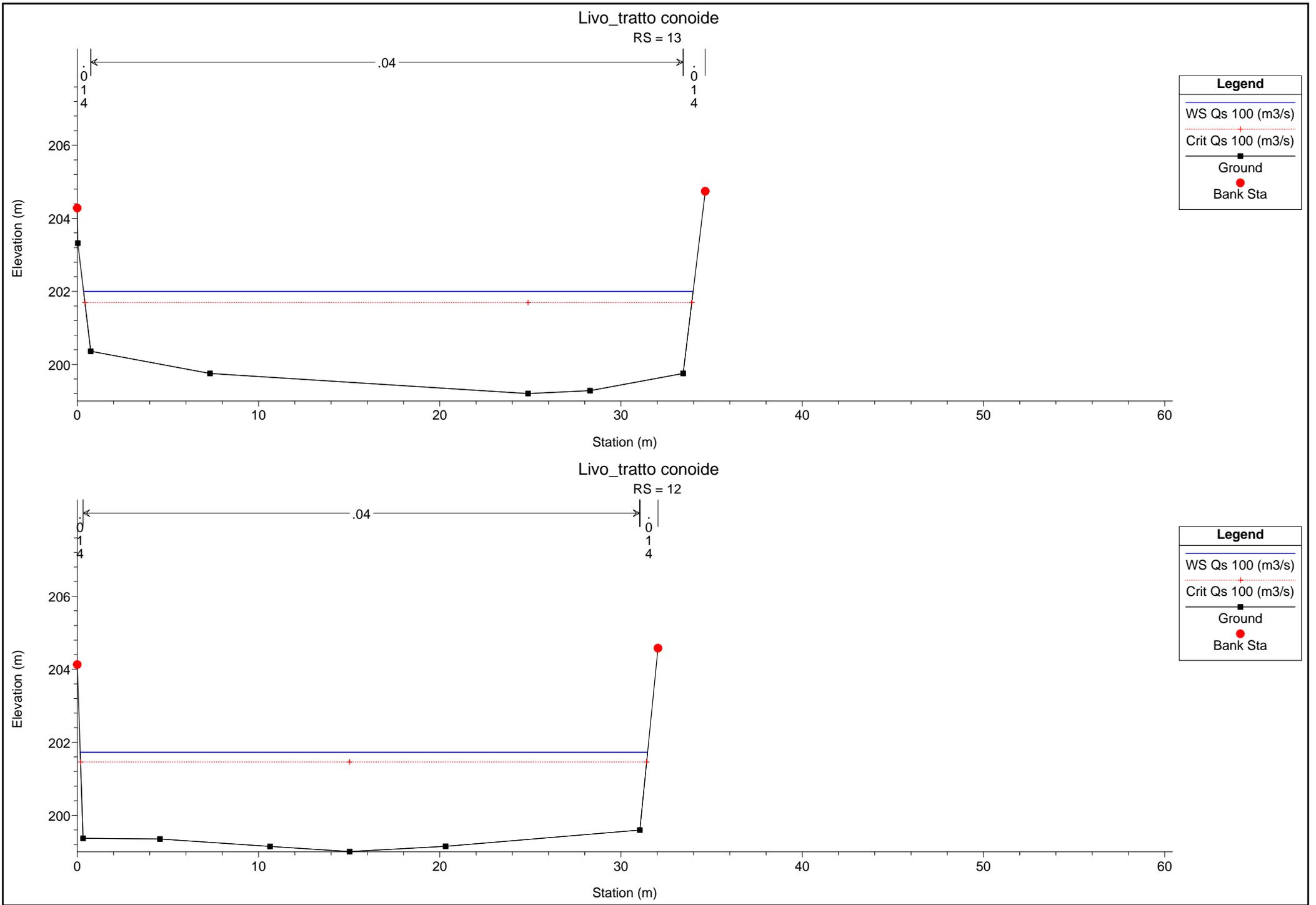
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

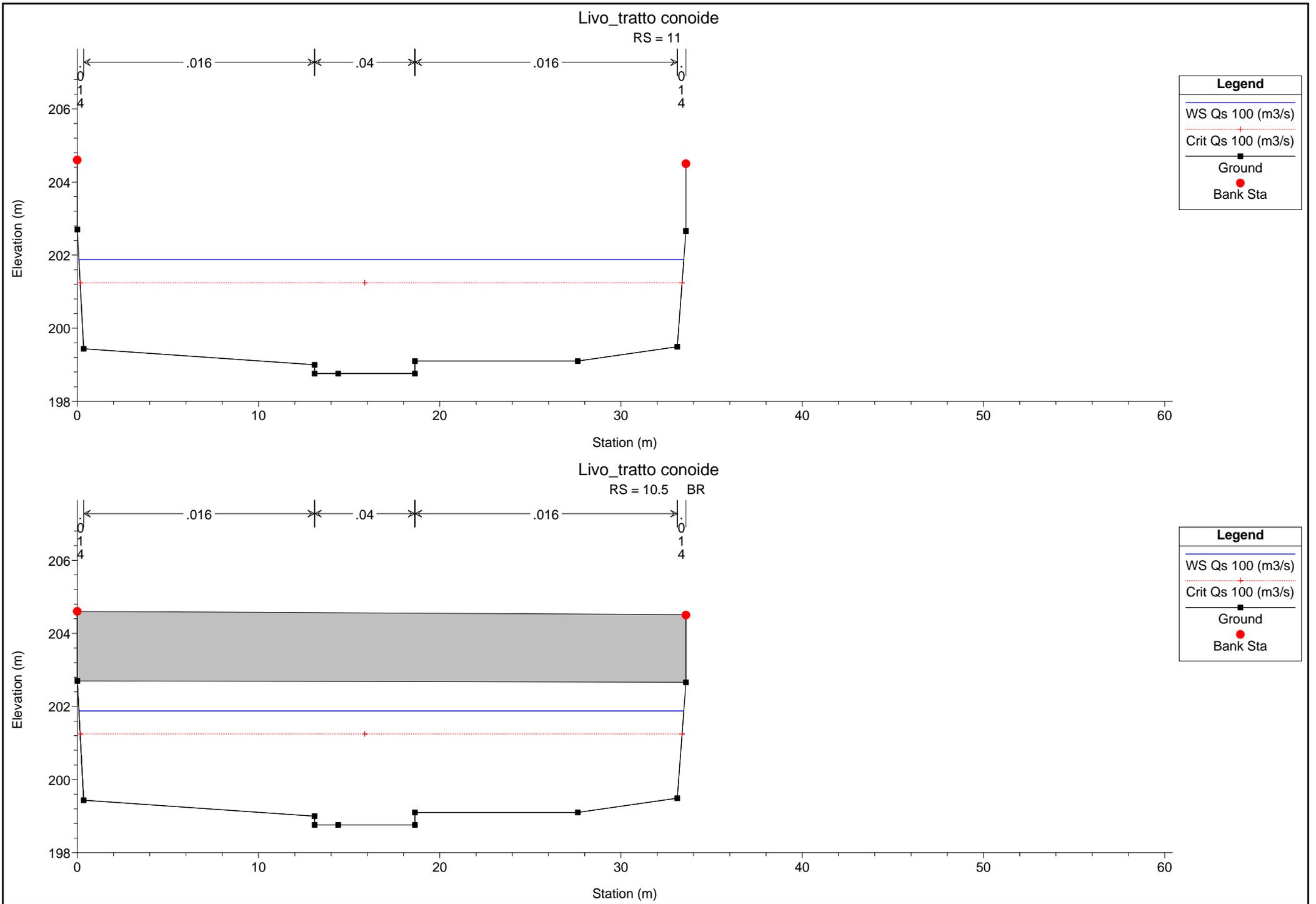


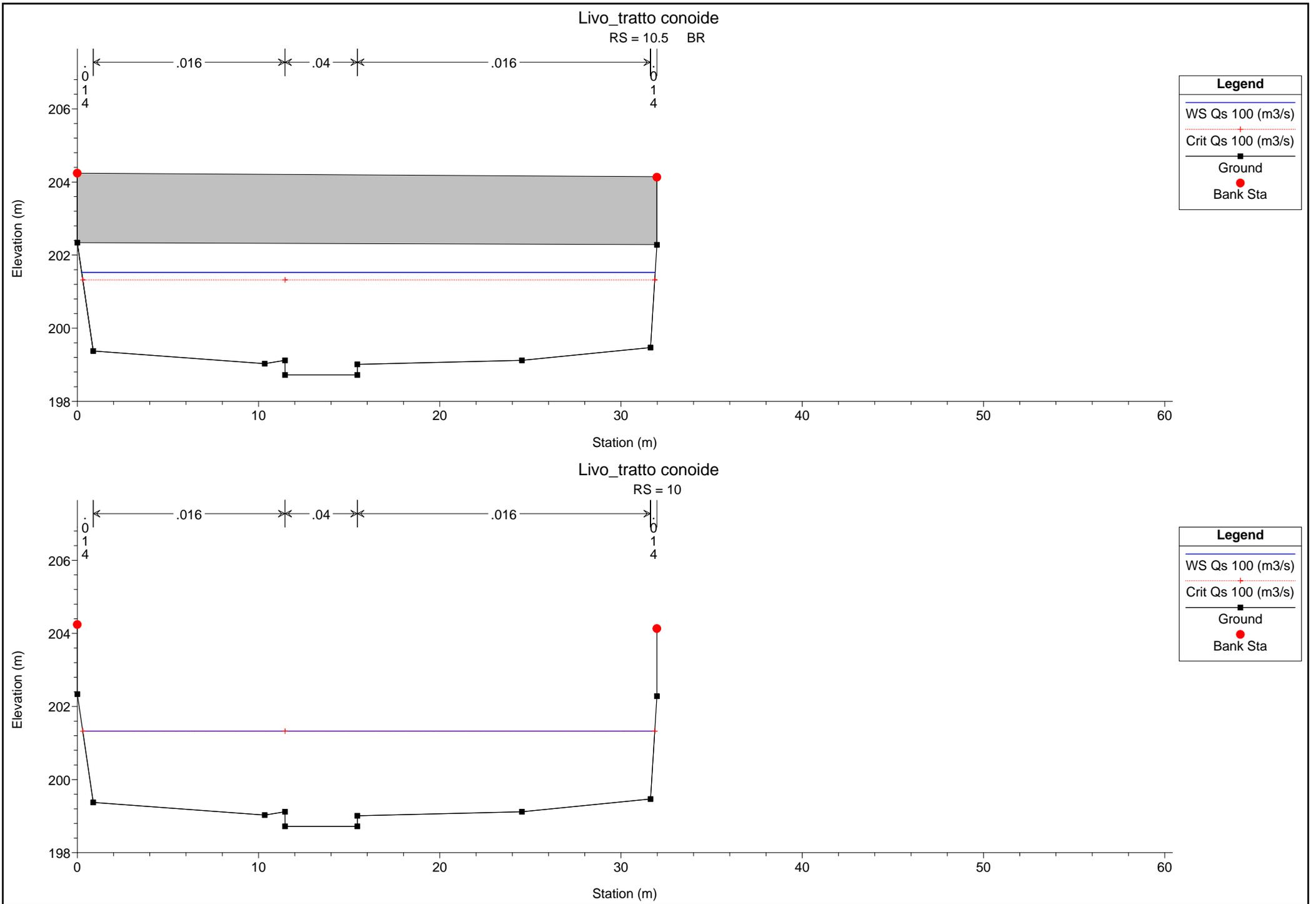
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

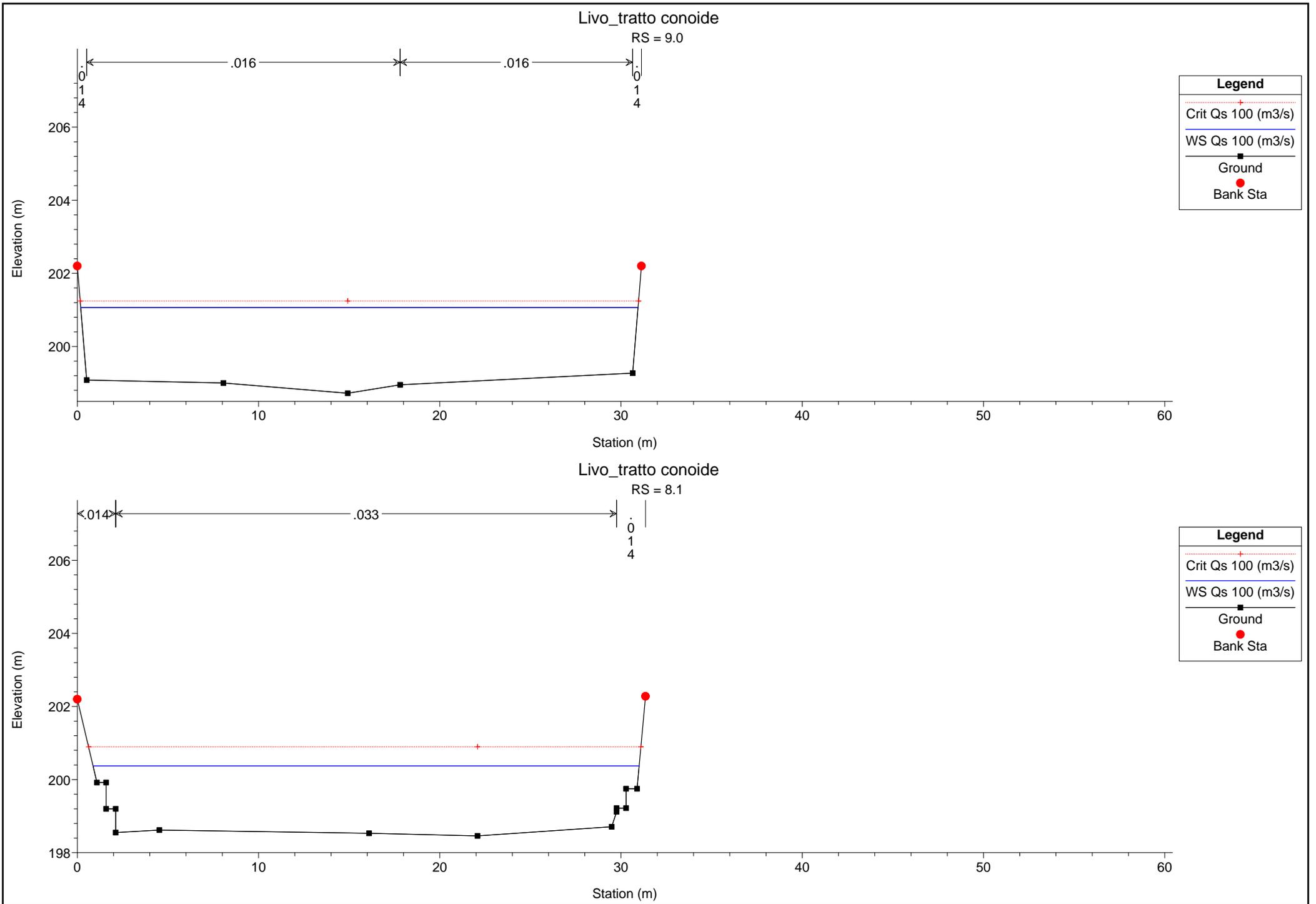


1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

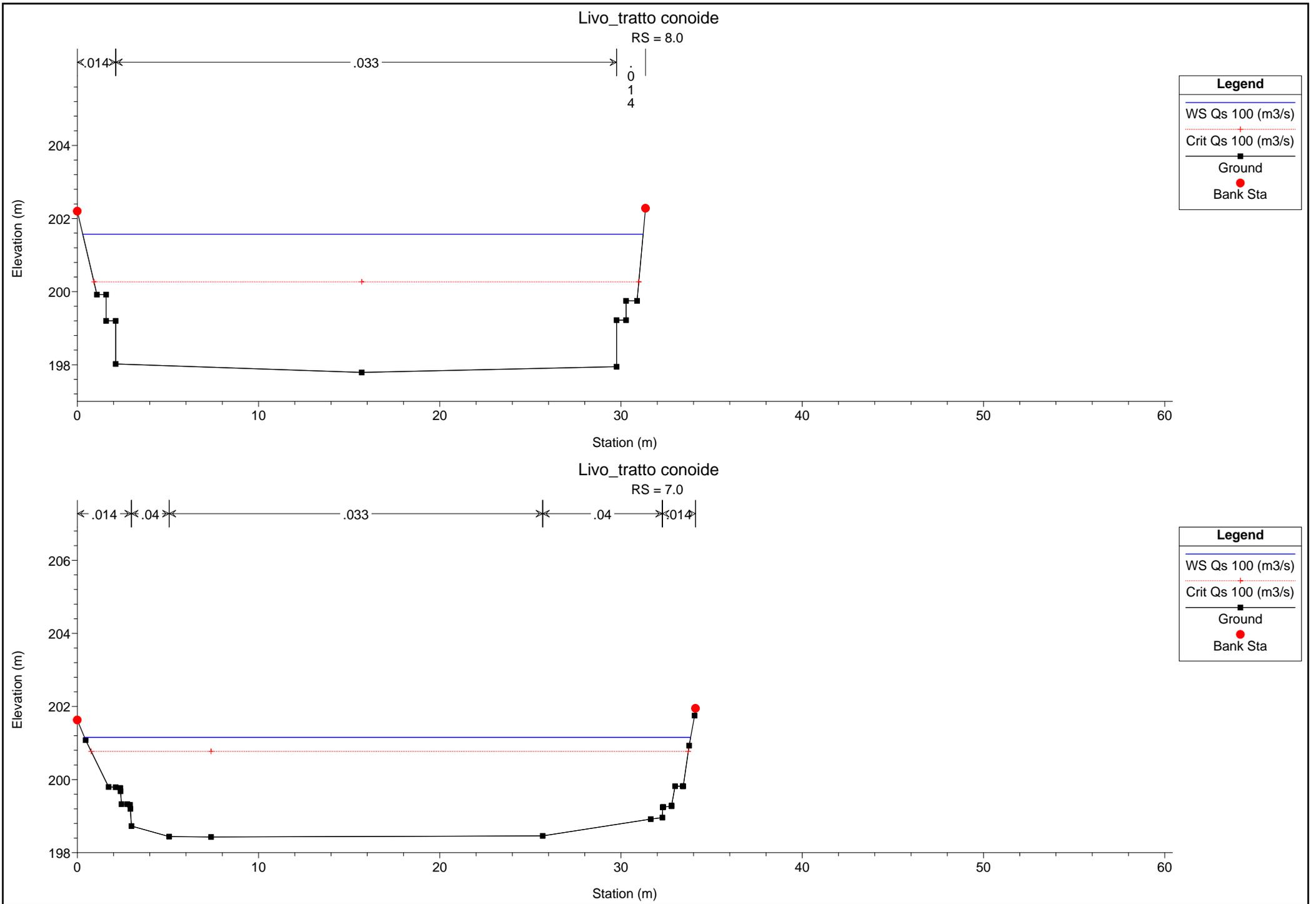


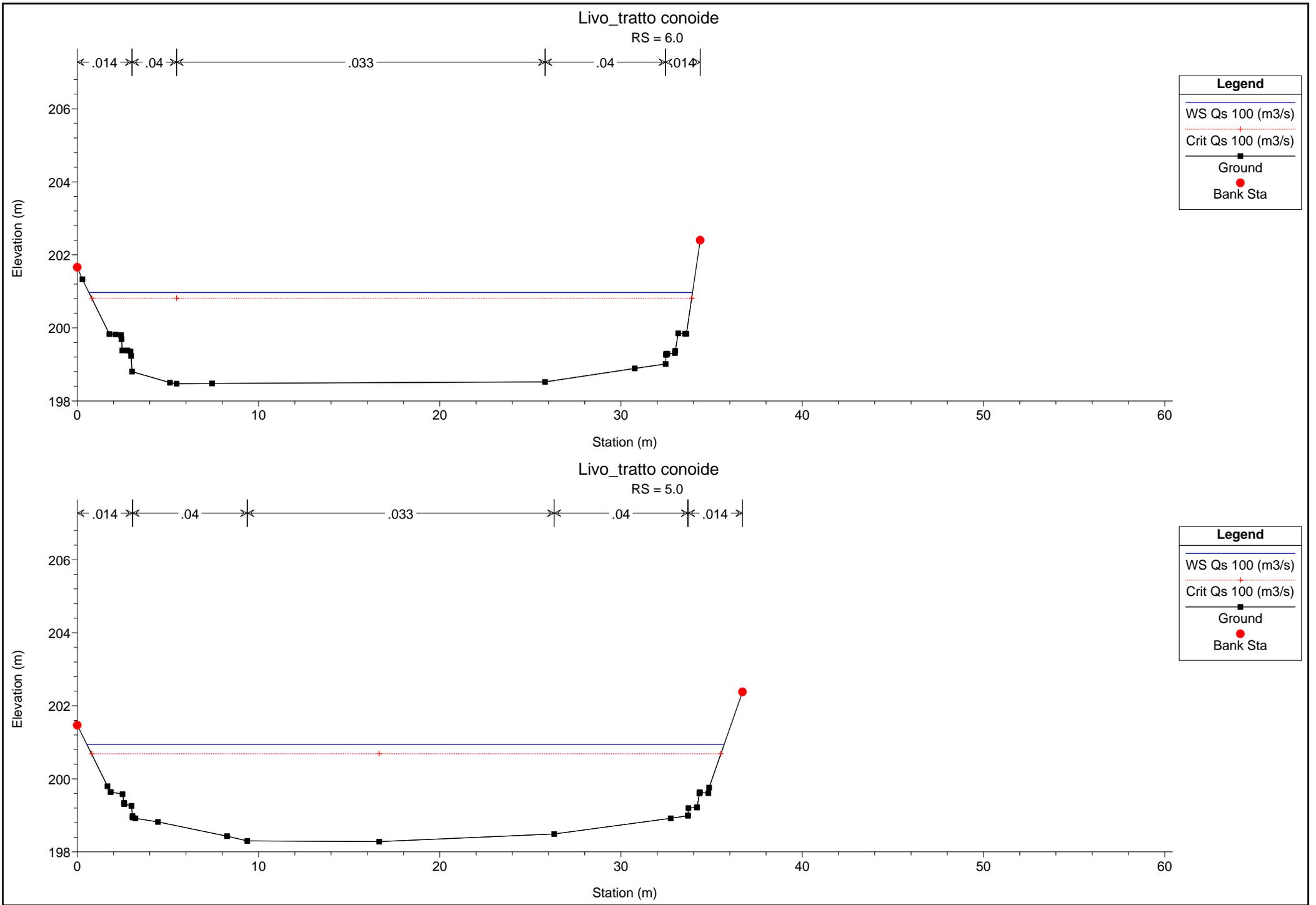






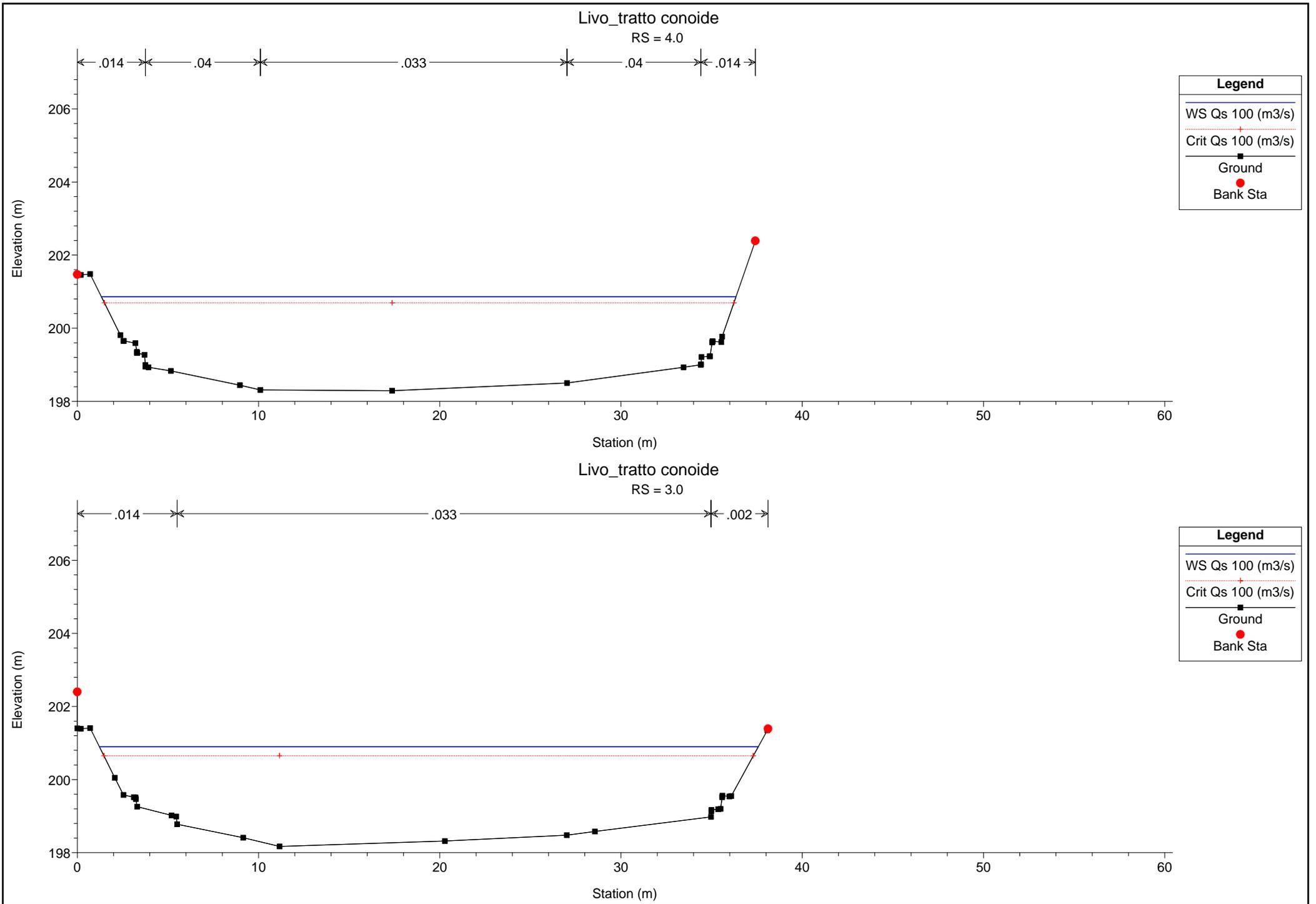
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m



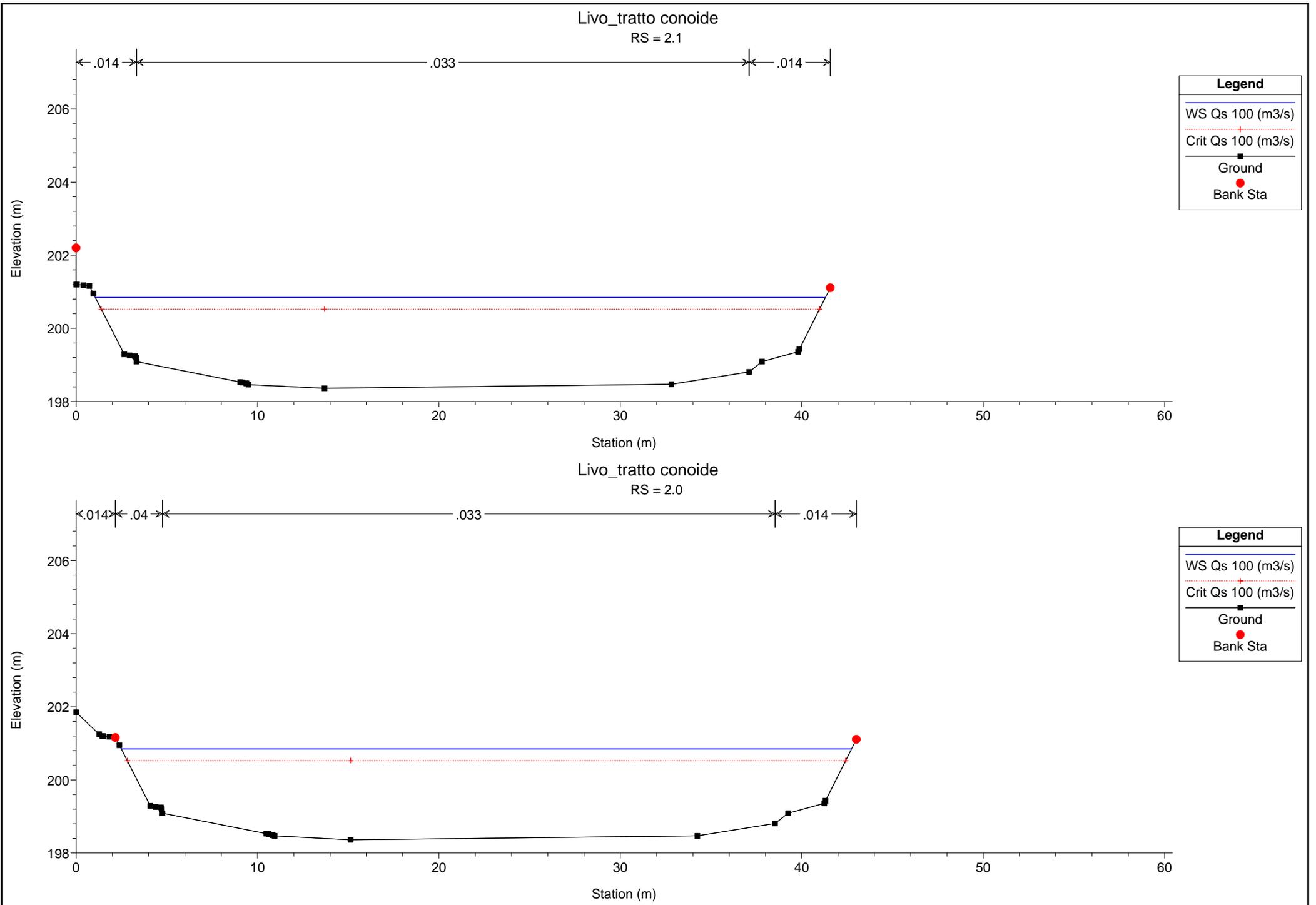


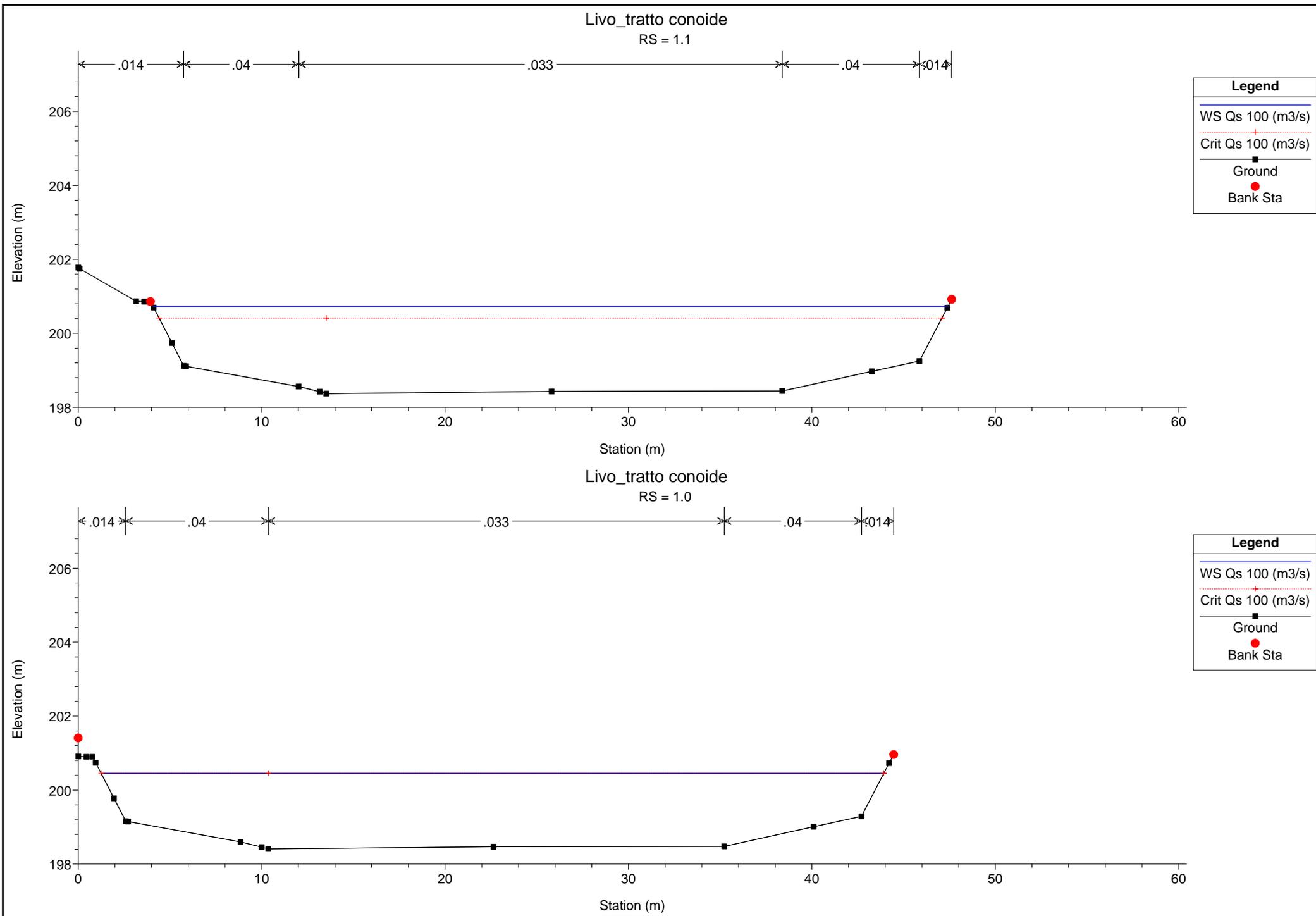
1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m

20



1 cm Horiz. = 2.6 m 1 cm Vert. = 1.3 m





### Livo\_tratto conoide

RS = 0.0 soglia n.0 (a lago) - lato di monte

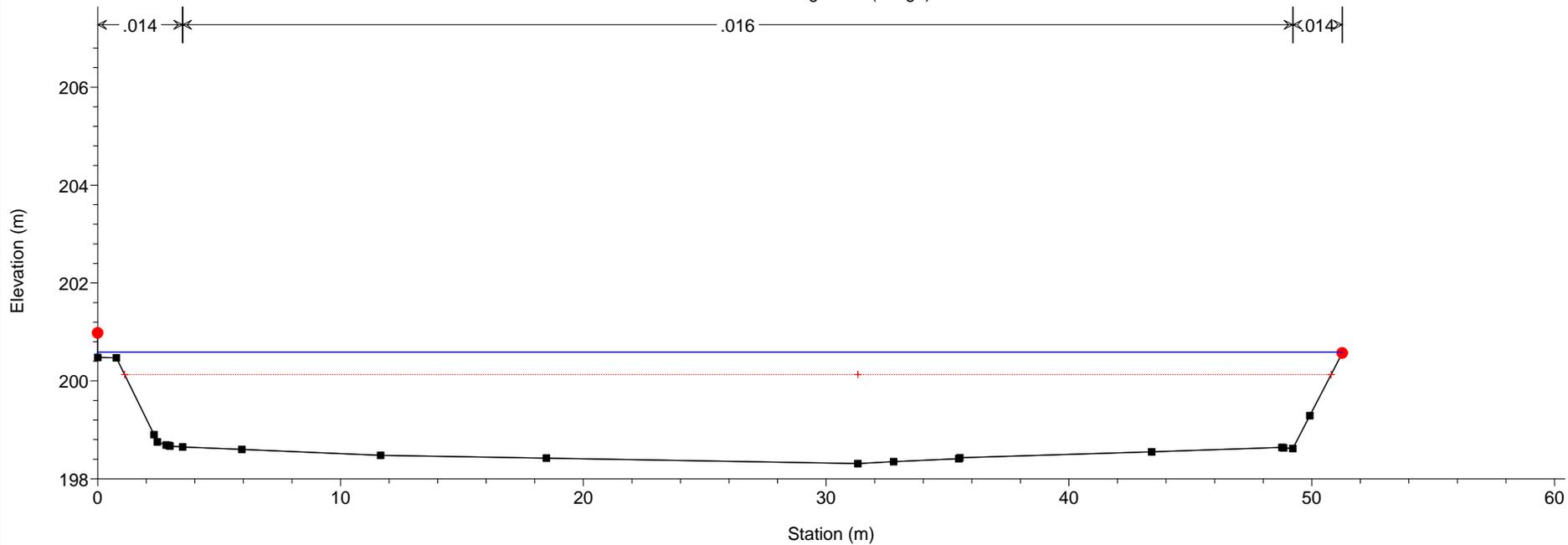


TABELLA GRANDEZZE IDRAULICHE DELLA CORRENTE

River Station	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Hydr Radius	Crit W.S.	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	
29	317.6	205.5	209.15	2.35	209.15	210.55	5.24	60.64	1
28	317.6	205.4	208.13	1.87	208.64	210.14	6.29	50.49	1.4
27	317.6	205.32	208.29	2.29	208.29	209.59	5.06	62.73	1
26.2	317.6	205.23	207.7	2.05	208.03	209.44	5.86	54.19	1.22
26.1	317.6	205.23	207.72	2.07	208.03	209.43	5.8	54.79	1.2
26	317.6	204.46	206.44	1.67	207.29	209.32	7.51	42.27	1.74
25.5	317.6	204.4	208.32	2.91	207.23	209.01	3.66	86.68	0.61
25	317.6	204.33	207.55	2.25	207.55	208.86	5.06	62.71	1.01
24	317.6	204.3	206.84	2.01	207.19	208.54	5.78	54.97	1.24
23.2	317.6	204.31	206.79	1.96	207.12	208.41	5.65	56.18	1.24
23.1	317.6	204.31	206.81	1.98	207.12	208.4	5.58	56.92	1.22
23	317.6	202.52	204.28	1.41	205.41	208.17	8.74	36.34	2.22
22	317.6	202.25	204.17	1.48	205.33	208.05	8.73	36.4	2.13
21	317.6	202.15	204.42	1.66	205.22	207.05	7.18	44.23	1.67
20	317.6	201.98	205.51	2.47	205.05	206.38	4.14	76.76	0.79
19	317.6	201.63	204.66	2.28	204.66	205.91	4.95	64.21	1.01
18.2	317.6	201.55	203.87	1.77	204.25	205.48	5.63	56.41	1.32
18.1	317.6	201.55	203.87	1.78	204.25	205.48	5.62	56.48	1.31
18	317.6	201.3	203.36	1.61	203.96	205.43	6.38	49.76	1.56
17.2	317.6	201.21	203.97	2.26	203.77	204.95	4.38	72.45	0.89
17.1	317.6	201.21	203.77	2.11	203.77	204.93	4.76	66.69	1
17	317.6	200.55	202.34	1.51	203.07	204.8	6.95	45.73	1.72
16.5	317.6	200.51	203.86	2.67	203.03	204.5	3.53	89.95	0.64
16	317.6	200.46	202.95	2.08	202.93	204.09	4.74	66.99	0.99
15	317.6	200.45	202.8	1.98	202.77	203.84	4.53	70.07	0.98
14.2	317.6	200.47	202.86	2.07	202.68	203.75	4.18	76.05	0.88
14.1	317.6	200.47	202.68	1.92	202.68	203.73	4.55	69.77	1
14	317.6	199.28	200.67	1.22	201.5	203.55	7.52	42.25	2.1
13	317.6	199.2	202	2.18	201.69	202.8	3.96	80.2	0.82
12	317.6	199.01	201.73	2.17	201.46	202.6	4.15	76.61	0.85
11	317.6	198.76	201.88	2.38	201.24	202.5	3.49	91.06	0.67
10.5 BRU	317.6	198.76	201.88	2.38	201.25	202.5	3.49	91.04	0.67
10.5 BR D	317.6	198.72	201.52	2.1	201.32	202.44	4.23	75	0.88
10	317.6	198.72	201.32	1.94	201.32	202.41	4.62	68.67	1
9	317.6	198.72	201.06	1.84	201.24	202.38	5.08	62.49	1.14
8.1	317.6	198.46	200.38	1.57	200.9	202.28	6.11	51.98	1.49
8	317.6	197.79	201.57	2.88	200.27	202.02	2.96	107.17	0.51
7	317.6	198.43	201.15	2.25	200.77	201.91	3.86	82.36	0.78
6	317.6	198.47	200.97	2.07	200.81	201.89	4.24	74.82	0.9
5	317.6	198.28	200.94	2.13	200.69	201.75	3.98	79.84	0.84
4	317.6	198.29	200.86	2.06	200.69	201.74	4.15	76.59	0.9
3	317.6	198.17	200.9	2.1	200.65	201.69	3.95	80.4	0.85
2.1	317.6	198.36	200.85	2.09	200.53	201.53	3.65	87	0.79
2	317.6	198.36	200.85	2.08	200.53	201.53	3.65	86.91	0.79
1.1	317.6	198.37	200.73	2	200.41	201.37	3.55	89.38	0.79
1	317.6	198.41	200.45	1.73	200.45	201.35	4.2	75.7	1.01
0	317.6	198.31	200.59	1.95	200.13	201.08	3.09	102.94	0.69

RIVER STATION: SEZIONE

Q TOTAL: PORTATA DEFLUENTE

MIN CH EL: QUOTA MINIMA DELL'ALVEO

W.S. ELEV: QUOTA IDRICA STIMATA

HYDR RADIUS: RAGGIO IDRAULICO

CRIT W.S.: QUOTA ALTEZZA CRITICA

E.G. ELEV: ENERGIA

VEL CHNL: VELOCITA' MEDIA DELLA CORRENTE IN ALVEO

FLOW AREA: AREA TOTALE DELLA SEZIONE INTERESSATA DAL DEFLUSSO

FROUDE # CHL:: NUMERO DI FROUDE