

# COMUNE DI TORRE PELLICE

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

## EVENTO ALLUVIONALE NOVEMBRE 2016 - DANNI AD OPERE ED INFRASTRUTTURE PUBBLICHE DI COMPETENZA REGIONALE E COMUNALE SISTEMAZIONE DEL TORRENTE ANGROGNA A MONTE E A VALLE DEL PONTE FERROVIARIO

Codice generale	Codice dell' opera	Lotto	Livello di progettazione	Area di progettazione	Numero elaborato	Tipo documento	Versione
Atop	003	0	E	G	003	rel idro	0-19

IL SINDACO :

Marco Cogno

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO :

Arch. Valeria Rota

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Valter Ripamonti



Studio Tecnico Dott. Ing. Valter Ripamonti - Via Tessore n° 25 - 10064 Pinerolo - (TO)

Tel 0121/77445 - Fax 0121/375733 - E-Mail :tecnico@ripamontistudio.com, segreteria@ripamontistudio.com

## PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

### RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

VERS.	MODIFICHE	DATA	REDATTORE	SCALA
0	1ª EMISSIONE	Agosto 2019	GG	
1				
2				
3				
4				
5				

## **COMUNE DI TORRE PELLICE**

(Città Metropolitana di Torino)

### **EVENTO ALLUVIONALE NOVEMBRE 2016 - DANNI AD OPERE ED INFRASTRUTTURE PUBBLICHE DI COMPETENZA REGIONALE E COMUNALE SISTEMAZIONE DEL TORRENTE ANGROGNA A MONTE E A VALLE DEL PONTE FERROVIARIO PROGETTO ESECUTIVO**

## **RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**

### **Premessa**

La presente relazione idraulica ha per oggetto un tratto del Torrente Angrogna nel Comune di Torre Pellice, nel tratto a monte e valle del ponte ferroviario, che sarà interessato dalla realizzazione di opere di ripristino e rinforzo di difese spondali esistenti con funzioni antiersive, danneggiate nel corso dell'evento alluvionale del novembre 2016 e di successivi eventi di piena.

Al fine di ripristinare tali difese spondali e garantire il corretto deflusso delle acque si sono individuati 2 interventi distinti lungo l'alveo del Torrente Angrogna.

L'intervento 1 prevede la ricostruzione di un tratto di scogliera in sponda destra a valle del ponte ferroviario, in corrispondenza della fine del muro d'ala in c.a. esistente.

Tale scogliera sarà realizzata con massi ciclopici per una lunghezza di mt. 20,00 ed altezza complessiva di mt. 6,50 di cui 5,00 fuori terra, con successivo riempimento a tergo.

Al fine di migliorarne la resistenza si prevede di intasare in cls la parte di fondazione e la prima parte in elevazione.

L'intervento 2 prevede il rinforzo al piede di una scogliera esistente parzialmente scalzata in corrispondenza delle fondazioni, ubicata in sponda destra a monte del ponte, mediante la posa di massi cementati per una lunghezza di circa m. 50,00.

Si prevedono inoltre opere di disalveo nella zona del ponte ferroviario per un volume complessivo di materiale movimentato di circa 700 mc, con l'asportazione dalla zona centrale dell'alveo ed il suo riutilizzo ad imbottimento della sponda destra e sinistra nel tratto a monte e valle del ponte.

Le indagini di carattere idraulico condotte sono state effettuate con riferimento ai risultati degli studi predisposti nell'ambito del PAI (Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) – Interventi sulla rete idrografica e sui versanti, Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17 comma 6 ter adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

In particolare l'Autorità di bacino definisce attraverso la Direttiva del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI):

- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino del Po;
- i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d'acqua;
- i tempi di ritorno delle portate di piena per il dimensionamento o la verifica delle diverse opere;
- i franchi da assumere per i rilevati arginali e per le opere di contenimento e di attraversamento.

Secondo quanto la Direttiva prescrive, nella progettazione delle opere di difesa idraulica, delle opere di consolidamento dei versanti e delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, le Amministrazioni competenti sono tenute a rispettare le indicazioni di cui sopra. Le stesse Amministrazioni possono applicare deroghe, in relazione a particolari situazioni collegate sia a specifiche modalità di uso del territorio e ai relativi insediamenti, sia alle caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua, esplicitando le motivazioni delle scelte compiute e indicando gli effetti sulle opere progettate e sul livello di rischio per il territorio.

Il presente studio idrologico e idraulico si propone di stimare i valori delle portate di piena, con tempi di ritorno prefissati di 20, 100 e 200 anni, relativi alle sezioni di interesse localizzate sull'asta del torrente Angrogna.

Nella presente relazione sono riportate rispettivamente la modalità di analisi seguita, i dati di ingresso ed i risultati ottenuti, che sono stati confrontati con quelli prescritti dalla Direttiva sopra citata.

### **Normativa di riferimento**

Per la definizione dei criteri di valutazione delle portate di progetto si è fatto riferimento alle indicazioni fornite dalle seguenti disposizioni normative:

- P.A.I. (Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) – Interventi sulla rete idrografica e sui versanti. Legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17 comma 6 ter. Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.
7. Norme di attuazione - direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.
- Circolare P.G.R. 8 luglio 1999 n. 8/PET, relativa all'adeguamento degli strumenti urbanistici comunali al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.
  - D.G.R. n.31-3749 del 6 agosto 2001 in riferimento alle aree inserite, ai sensi della C.P.G.R. n. 7/LAP/96, in classe IIIb ed ubicate all'interno delle fasce del P.S.F.F.

### **Inquadramento geografico e morfologico**

Il bacino del torrente Angrogna, affluente di sinistra del T. Pellice, si estende nel settore Sud occidentale dell'arco alpino.

Il torrente si origina dall'unione di alcuni rami sorgentizi che scorrono sul versante orientale del monte Freidou; il bacino presenta una quota massima di 2709 m s.l.m. (Punta Pilone), e presenta un'estensione a monte dell'opera di presa di circa 42.34 km<sup>2</sup>.

### **Rilievo topografico**

In fase preliminare del presente studio è stato condotto un rilievo topografico di dettaglio, che ha premesso di ricostruire il profilo di fondo nel tratto oggetto di studio e le sezioni idrauliche nello stato attuale, dati essenziali per la corretta realizzazione di una dettagliata analisi idraulica.

Le sezioni ed i punti di rilievo sono riportati negli elaborati di progetto.

Nella descrizione geometrica dei corsi d'acqua particolare attenzione è stata posta nell'individuazione delle singolarità presenti in alveo che potenzialmente possono influire sulla definizione dei livelli idrici e delle velocità della corrente all'interno dell'alveo inciso.

Sono state pertanto complessivamente rilevate 9 sezioni d'alveo in corrispondenza delle aree di intervento.

Il profilo di piena è stato così analizzato per un tratto della lunghezza di circa 280 m.

### **Analisi bacino imbrifero**

Il bacino del Torrente Angrogna determinato alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'area di intervento ha carattere prevalentemente montano, presenta un'estensione di circa 42.34 kmq e la quota massima si trova in corrispondenza di Punta Pilone ad una quota pari a circa 2709 m s.l.m.

Il Torrente Angrogna si sviluppa poi per una lunghezza pari a circa 12.97 km fino alla sezione di chiusura considerata.

L'individuazione del bacino idrografico precedentemente descritto e l'andamento del corso d'acqua è riportato nell'apposita corografia allegata.

### **Studio idrologico**

I dati pluviometrici utilizzati per la definizione dell'evento pluviometrico di progetto sono quelli forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del PAI.

Il Piano oltre ad avere calcolato le curve di possibilità pluviometrica nelle stazioni di misura, tramite elaborazione probabilistica dei dati osservati secondo la distribuzione EV-1, per Tr = 20-100-200-500 anni, per l'analisi delle piogge intense nei punti privi di misure dirette ha condotto

un'interpolazione spaziale dei parametri "a" ed "n" delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato. I risultati sono riportati nell'Allegato 3 al Piano.

Le relazioni relative all' altezza di precipitazione  $h = h(t)$  sono generalmente fornite nella seguente forma:

$$h = a t^n$$

dove:

**h** = altezza di pioggia (mm)

**t** = tempo di pioggia (ore)

nella quale le costanti **a** ed **n** (entrambe funzione del periodo di ritorno  $Tr$ ) sono determinate caso per caso.

Le curve che si deducono sono generalmente denominate curve di possibilità climatica o pluviometrica.

I valori dei parametri a ed n utilizzati nel presente studio, relativi alle principali celle individuate sulla base della localizzazione geografica del bacino, sono i seguenti:

<b>Dati pluviometrici</b>						
<b>Tr = 20 anni</b>		<b>Tr = 100 anni</b>		<b>Tr = 200 anni</b>		
<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	
36,56	0,483	47,06	0,483	51,68	0,483	Z116
37,36	0,473	48,25	0,471	52,99	0,470	AA114
38,39	0,473	49,61	0,471	54,50	0,470	AA115
38,97	0,474	50,34	0,472	55,32	0,471	AA116
41,44	0,457	53,77	0,452	59,13	0,451	AB115
41,84	0,462	54,23	0,458	59,61	0,457	AB116
41,54	0,469	53,70	0,466	59,00	0,465	AB117
44,94	0,437	58,57	0,430	64,47	0,428	AC115
44,84	0,446	58,32	0,440	64,16	0,438	AC116
43,82	0,459	56,74	0,455	62,34	0,454	AC117
49,25	0,412	64,53	0,402	71,10	0,399	AD115
47,92	0,429	62,52	0,421	68,79	0,419	AD116
45,82	0,451	59,36	0,446	65,18	0,445	AD117
43,83	0,472	56,39	0,470	61,79	0,470	AD118
49,97	0,415	65,22	0,406	71,70	0,404	AE116
47,25	0,441	61,19	0,436	67,11	0,435	AE117
43,36	0,45	56,24	0,45	61,80	0,45	Media

Per la determinazione delle portate si è fatto inoltre riferimento al tempo di corrivazione del corso d'acqua valutato per le caratteristiche morfologiche del bacino in esame con la formula del Giandotti:

$$T_c = \frac{(4 \sqrt{S}) + (1,50 L)}{0,80 * \sqrt{(H_m - h)}}$$

dove:

- T<sub>c</sub>** = tempo di corrivazione (ore)  
**S** = superficie del bacino (Km<sup>2</sup>)  
**L** = lunghezza dell'asta principale (Km.)  
**H<sub>m</sub>** = altitudine media del bacino (m.s.l.m.)  
**h** = quota di chiusura del bacino (m.s.l.m.)

L'altitudine media dei bacini, in particolare quelli collinari e montani, risulta determinata secondo la seguente espressione:

$$H_m = 0,50 * [(H_{max} * 0,9) + h]$$

nella quale:

- H<sub>m</sub>** = altitudine media del bacino in esame  
**H<sub>max</sub>** = altezza massima del bacino (m.s.l.m.)  
**h** = quota di chiusura del bacino (m.s.l.m.)

Introducendo i valori del tempo di corrivazione T<sub>c</sub> così ottenuti nella relazione  $h = a t^n$ , si ottengono l'altezza critica "h<sub>c</sub>" e l'intensità critica "i<sub>c</sub>" per il tempo di ritorno prefissato:

$$h_c = a \times T_c^n$$

$$i_c = h_c / T_c$$

dove:

**Tc** = tempo di corrivazione (ora)

**hc** = altezza critica (mm)

**ic** = intensità critica di pioggia per un tempo  $t = Tc$

I valori dei coefficienti ricavati per il corso d'acqua in esame sono raccolti nelle seguenti tabelle:

<i>Tabella 1 – caratteristiche geometriche</i>					
<i>Corso d'acqua</i>	<i>Superficie bacino S (kmq)</i>	<i>Lunghezza dell'asta principale L (km)</i>	<i>Quota di chiusura del bacino h (m s.l.m.)</i>	<i>Altezza massima del bacino Hmax (m s.l.m.)</i>	<i>Altitudine media del bacino Hm (m s.l.m.)</i>
T. Angrogna	42.34	12.97	502	2709	1470.00

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Tempo di corrivazione Tc (ore)</i>	<i>Intensità critica ic (mm/ora) Tr = 20 anni</i>	<i>Intensità critica ic (mm/ora) Tr = 100 anni</i>	<i>Intensità critica ic (mm/ora) Tr = 200 anni</i>
T. Angrogna	1.83	31.19	40.34	44.29

### **Determinazione delle portate di massima piena**

Nota l'andamento delle massime precipitazioni presenti sui bacini in esame si ricava la portata di massima piena con il metodo cinematico.

La formula adottata è la seguente:

$$Q_{max} = \frac{ic \times S \times \varphi}{3,6}$$

**Qmax** = portata di massima piena in mc/sec.

**ic** = **hc** / **Tc** = intensità di pioggia per un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione (mm/ora)

**hc** = altezza di precipitazioni in mm. per un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione (mm)

**Tc** = tempo di corrivazione (ore)  
**S** = superficie del bacino (Kmq.)  
**φ** = coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso è valutato in funzione di molti fattori difficilmente quantificabili quali: la copertura vegetale, la permeabilità del suolo, l'acclività dei versanti, l'estensione della rete idrografica superficiale.

Analizzando attentamente il bacino in esame a tale coefficiente è stato attribuito il seguente valore, secondo quanto raccomandato da "Handbook of Applied Hydrology", Ven Te Chow, 1964 (valori riportati dalla Direttiva sulla Piena di Progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica):

- **φ = 0,40** per i bacini montani (valore caratteristico di suoli con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile)

Sostituendo i valori prima elencati nella formula citata si ottengono le portate di massima piena per assegnati tempi di ritorno riportate nella tabella seguente:

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Coefficiente di deflusso φ</i>	<i>Portata Q Tr = 20 anni (mc/s)</i>	<i>Portata Q Tr = 100 anni (mc/s)</i>	<i>Portata Q Tr = 200 anni (mc/s)</i>
T. Angrogna	0.4	146.71	189.76	208.38

Prima di ottenere le portate di verifica tali valori sono stati incrementati al fine di considerare il contributo del trasporto solido.

In corsi d'acqua montani il trasporto solido fornisce un grosso contributo ai volumi liquidi transitanti durante un evento di piena, influenzando quindi notevolmente i livelli idrici.

Il trasporto solido, in condizioni di saturazione della corrente, viene normalmente calcolato con formulazioni di carattere empirico che si basano sui principi dell'equilibrio dinamico.

E' evidente che i meccanismi che innescano i processi di trasporto sono piuttosto complessi e richiederebbero degli approfondimenti che esulano dagli obiettivi del presente studio. Per tale motivo per la stima del contributo del trasporto solido vengono usate le formulazioni semplificate qui di seguito riportate, funzione delle pendenze del fondo if:



AUTORE	Portata Solida
Smart & Jaegge	$Q_s = 2,55 * Q_{liq.} * i f^{1,6}$
Richenmann	$Q_s = 5,83 * Q_{liq.} * i f^2$
Mizuyama e Shimohigashi	$Q_s = 8,36 * Q_{liq.} * i f^2$
Mizuyama	$Q_s = 5,5 * Q_{liq.} * i f^2$

Lo studio condotto sul corso d'acqua in esame, facendo riferimento alla pendenza media del corso d'acqua a monte dell'area di intervento, conduce ad incrementi della portata liquida pari a circa il 25%.

In particolare si prende in esame per ciascun corso d'acqua il valore massimo ottenuto dalle formulazioni sopra riportate, come risulta dalla seguente tabella:

<b>Valutazione della portata di massima piena</b>					
<b>Tr = 20 anni</b>		<b>Tr = 100 anni</b>		<b>Tr = 200 anni</b>	
<i>hc (mm)</i>	<i>ic</i>	<i>hc (mm)</i>	<i>ic</i>	<i>hc (mm)</i>	<i>ic</i>
56,98	31,19	73,70	40,34	80,94	44,29
<i>Qmax (mc/s)</i>		<i>Qmax (mc/s)</i>		<i>Qmax (mc/s)</i>	
<b>146,71</b>		<b>189,76</b>		<b>208,38</b>	
<b>Valutazione trasporto solido</b>					
<b>Tr = 20 anni</b>		<b>Tr = 100 anni</b>		<b>Tr = 200 anni</b>	
<i>i f</i>		0,17			
<i>Qtrasp. (mc/s)</i>		<i>Qtrasp. (mc/s)</i>		<i>Qtrasp. (mc/s)</i>	
Smart & Jaeggi					
22,00		28,45		31,25	
Richenmann					
24,77		32,03		35,18	
Mizuyama & Shimonigashi					
35,51		45,93		50,44	
Mizuyama					
23,36		30,22		33,19	
<b>Valutazione della portata di verifica</b>					
<b>Tr = 20 anni</b>		<b>Tr = 100 anni</b>		<b>Tr = 200 anni</b>	
<i>Qtot (mc/s)</i>		<i>Qtot (mc/s)</i>		<i>Qtot (mc/s)</i>	
<b>182,22</b>		<b>235,69</b>		<b>258,83</b>	

La tabella seguente riassume le portate complessive utilizzate per le verifiche idrauliche.

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Portata Q</i> <i>Tr = 20 anni</i> <i>(mc/s)</i>	<i>Portata Q</i> <i>Tr = 100 anni</i> <i>(mc/s)</i>	<i>Portata Q</i> <i>Tr = 200 anni</i> <i>(mc/s)</i>
T. Angrogna	<b>182.22</b>	<b>235.69</b>	<b>258.83</b>

### Verifica idraulica in moto permanente

Per le verifiche idrauliche è stato utilizzato il codice di calcolo “Hec Ras” del U.S. Army Corps of Engineers.

Il modello integra l'equazione della corrente a pelo libero in moto stazionario gradualmente variato, definisce in modo automatico i tratti di corrente lenta e veloce e la posizione dei risalti (HEC-2 water Surface Profile Program).

Il fenomeno idraulico fuori e dentro l'alveo è stato simulato considerando l'alveo trasversalmente come una sezione unica (piano golenale + alveo inciso), dal momento che tale ipotesi è l'unica ipotesi valida nel contesto della modellistica fluviale quando si ricorre alla simulazione degli alvei composti tramite i modelli monodimensionali (pelo libero orizzontale e linea dell'energia parallela al pelo libero).

L'equazione del moto utilizzata è la seguente:

$$\frac{d}{ds} \left( Y_m + \frac{Q^2}{2gA^2} \right) = -J - E_B \quad (1)$$

Le grandezze considerate sono:

$A$  = area bagnata (m<sup>2</sup>);

$Q$  = portata (m<sup>3</sup>/s);

$s$  = coordinata lungo l'asse dell'alveo (m);

$Y_m$  = quota media del pelo libero nella sezione (m s.m.);

$J$  = cadente;

$g$  = accelerazione di gravità: 9.81 m/s<sup>2</sup>;

Le perdite di carico considerate sono:

a) perdita di carico continua espressa

$$J = \frac{Q^2}{K^2} \quad (2)$$

ove la conduttanza idraulica vale, per sezione semplice,

$$K = \frac{AR^{2/3}}{n}; \quad (2a)$$

$n$  è il coefficiente di Manning e  $R$  è il raggio idraulico.

Per sezione composta da  $N$  parti e munita di variazioni di scabrezza lungo il perimetro bagnato si ha:

$$K = \sum_{i=1,N} \frac{A_i R_i^{2/3}}{n_i} \quad (2b)$$

b) perdite di carico concentrate sul tronco elementare  $\Delta S$  che vale:

$$E_B = \frac{C}{\Delta s} \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (3)$$

ove

$C$  = coefficiente tipo Borda (allargamento e restringimento brusco o graduale)

$V$  = velocità della corrente nell' $i$ -esima sezione;

$d$  = coefficiente di ragguglio di Coriolis.

Le perdite di carico complessive sono ottenute

$$h_{f_{1-2}} = \bar{L}J + C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right| \quad (4)$$

dove

$$\bar{L} = \frac{L_1 Q_1 + L_2 Q_2 + L_3 Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

$\bar{L}$  = distanza pesata nelle portate tra due sezioni, consecutive,  $i-i+1$ , che caratterizzano l'alveo;

$L_{i=1,3}$  = distanza parziale tra le sezioni  $i-i+1$  nei tronchi di corrente contenuti tra le golene e gli alvei di magra;

$Q_{i=1,3}$  = portata transitante nei tronchi di corrente contenuti tra le golene e gli alvei di magra delle sezioni consecutive  $i$  ed  $i+1$ .

Il sistema di equazioni (1), (2) e (3) è integrato alle differenze finite col metodo standard step. La risoluzione del sistema richiede la conoscenza di opportune condizioni al contorno: il valore della portata  $Q$  e il valore del tirante  $h$  nella sezione di monte e di valle del tratto in esame se la corrente è veloce o lenta rispettivamente.

Il tracciato dei profili di corrente viene effettuato da parte del codice tra le sezioni rilevate e le sezioni fittizie o intermedie. Tali sezioni sono distribuite spazialmente, tra le sezioni rilevate, ad una distanza parziale assegnata dall'utente. Le grandezze geometriche ed idrauliche delle sezioni intermedie vengono calcolate interpolando lungo l'ascissa i valori di tali grandezze nelle sezioni rilevate o topograficamente note localizzate negli estremi del tronco in esame.

I ponti sono trattati come singolarità all'interno del codice.

Il calcolo considera l'effetto che i ponti esercitano sul libero deflusso della corrente; sono simulabili le diverse condizioni del funzionamento:

1. Funzionamento a pelo libero:
  - 1<sup>a</sup> - con transizione attraverso lo stato critico;
  - 1<sup>b</sup> - con transizione in corrente lenta attraverso il restringimento.
2. Funzionamento in pressione:
  - 2<sup>a</sup> - chiusura delle luci;
  - 2<sup>b</sup> - chiusura delle luci con sormonto dell'impalcato del ponte.

Dal punto di vista della modellistica matematica, il problema viene affrontato da parte del codice facendo ricorso all'equazione globale della quantità di moto (basata sul principio proposto da Koch e Carstanjen) nel caso di funzionamento a pelo libero.

Sono affrontate ambedue le situazioni esistenti, cioè quella relativa alla transizione attraverso lo stato critico e quella relativa alla transizione in corrente lenta attraverso il restringimento.

Nel caso la corrente sia lenta attraverso il restringimento, il codice di calcolo presenta altre alternative:

- La formula di Yarnell

$$\frac{\Delta h}{h_3} = KF_{r3}^2 (K + 5F_{r3}^2 - 0.6) (\alpha + 15\alpha^4)$$

ove

$\Delta h$  = il rigurgito in funzione delle condizioni della corrente di valle:  $h_1-h_3$ ;

$h_1, h_3$  = tiranti idrici a monte e valle della singolarità;

$F_{r3}$  = numero di Froude della corrente a valle;

$\alpha = 1 - \frac{b}{B}$  = rapporto di restringimento;

$B(h_3)$  = larghezza di superficie a valle del restringimento;

$b$  = larghezza nella sezione ristretta;

$K$  = costante determinata in base alla forma delle pile

- Perdita di carico concentrata

$$E_B = C \left| \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right|$$
$$C = 0.1-0.5$$

Nel caso di funzionamento in pressione con o senza tracimazione dell'impalcato, il codice ricorre alle leggi della foronomia. In questo caso parte dall'individuazione della curva  $Q=Q(h)$ , somma dei contributi di portata di tutte le luci a battente e di quelle a stramazzo con funzionamento rigurgitato o non rigurgitato da valle. Da tale curva si legge il valore di altezza corrispondente alla portata transitante e si determina il valore di energia specifica corrispondente alla sezione di monte, in base alla quale viene ricavata la relativa altezza.

Le verifiche sono state effettuate in condizioni di moto stazionario monodimensionale, per cui è stato utilizzato un valore della portata costante con geometria dell'alveo variabile (questo tipo di moto rappresenta con buona approssimazione quello che si manifesta negli alvei naturali dei corsi d'acqua durante gli eventi di piena).

Tale metodologia permette, pertanto, una valutazione dei livelli di piena nelle sezioni del corso d'acqua più raffinata di quanto non lo consenta la schematizzazione del moto uniforme nelle singole sezioni dell'alveo. Con essa, infatti, è possibile calcolare i livelli idrici considerando l'influenza della variazione della geometria e delle singolarità idrauliche presenti nel tratto d'asta del corso d'acqua analizzato.

Il problema del tracciamento del profilo di superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente con una data portata  $Q$  si risolve con procedimenti di calcolo numerico.

L'operazione richiede la suddivisione del corso d'acqua in tronchi di lunghezza  $\Delta s$ , tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo. La natura dell'alveo deve conservarsi, entro certi limiti, in ciascun tronco.

Siano  $i$  e  $i + 1$  due sezioni consecutive, distanti  $\Delta x$  in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche.

La variazione di carico idraulico  $\Delta H$  tra le due sezioni si può calcolare mediante la seguente relazione alle differenze finite:

$$\Delta H = -[j]_i \cdot \Delta x$$

Si può ottenere così il carico totale  $H_{i+1}$  della sezione  $i + 1$  e conseguentemente il carico piezometrico  $h_{i+1}$ , che rappresenta la quota del pelo libero rispetto ad un piano di riferimento orizzontale, risolvendo l'equazione:

$$H_{i+1} = h_{i+1} + \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega_{i+1}^2}$$

È possibile in questo modo ricavare il carico piezometrico della corrente nelle sezioni di rilievo e da questo calcolare le caratteristiche idrauliche che il torrente presenta nel tratto in esame.

Per lo sviluppo delle verifiche idrauliche in questione è stato necessario determinare le seguenti condizioni al contorno e dati di base:

- geometria dell'alveo come definita con l'apposita campagna di rilievo precedentemente descritta;
- scabrezza e portate;
- altezza del pelo libero ad una delle estremità o ad entrambe, in funzione del tipo di corrente (lenta o veloce) che si viene ad instaurare sul corso d'acqua.

#### *Condizioni al contorno*

Le portate utilizzate nelle simulazioni idrauliche derivano dallo studio idrologico effettuato in precedenza.

Nello studio idrologico sono state considerate le portate di massima piena in relazione a tempi di ritorno pari a 20, 100 e 200 anni.

Le scabrezze dell'alveo utilizzate sono state dedotte dall'analisi della tipologia di materiale presente in alveo, dal tipo di terreno e di vegetazione presente nelle aree golenali e dal materiale costituente le pareti e la volta dei tratti coperti, confrontandoli con i valori riportati in letteratura (Hec Ras Hydraulic reference manual). In generale vengono utilizzati per ciascuna sezione due valori diversi di scabrezza: uno per l'alveo inciso ed uno per le aree golenali.

Il coefficiente di scabrezza è stato determinato secondo Manning confrontando le caratteristiche dell'alveo oggetto di studio con le relative tabelle di riferimento (Chow, 1959). In particolare, per l'alveo naturale si è adottato un valore di  $0,045 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$  per tutti i tratti, vista la presenza diffusa di massi e la geometria irregolare delle sezioni, mentre per le aree golenali si è utilizzato un coefficiente di scabrezza pari a  $0,06 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$ , in accordo con i valori già utilizzati nell'ambito di precedenti studi su corsi d'acqua limitrofi di caratteristiche similari.

### *Simulazioni effettuate*

Le verifiche idrauliche sono state condotte considerando come dati di input della simulazione la situazione geometrica dell'alveo nel tratto di intervento allo stato attuale ed in progetto, considerando valori di portata relativi a tempi di ritorno pari a 20, 100 e 200 anni.

Si considera in ogni caso cautelativamente come portata di riferimento quella con tempo di ritorno  $Tr = 200$  anni, viste le caratteristiche del corso d'acqua, pur non essendo interessato nel tratto in esame dalla delimitazione delle fasce fluviali; i relativi tiranti idrici sono indicati sulle sezioni di rilievo riportate nelle tavole allegate.

I risultati delle simulazioni sopra descritte sono allegati di seguito.

### **Conclusioni**

Dall'esame dei risultati di calcolo sono emerse alcune criticità idrauliche lungo il tratto di corso d'acqua analizzato principalmente legate alla presenza del restringimento della sezione idraulica in corrispondenza dell'intervento n. 2, dove la piena di progetto per  $Tr = 200$  anni risulta contenuta all'interno dell'alveo con franco idraulico pressoché nullo in alcuni punti.

Le condizioni di deflusso sono invece migliori in corrispondenza del ponte più a valle, dove l'asportazione del materiale in alveo prevista dal progetto, come evidenziato dalle verifiche, determina un significativo abbassamento dei livelli di piena.

In ogni caso le verifiche effettuate consentono di affermare che gli interventi in esame non modificano le condizioni di deflusso della piena, mentre permettono di consolidare o prolungare le difese esistenti con funzioni antiersive nel tratto di alveo preso in esame.

**ALLEGATO A**

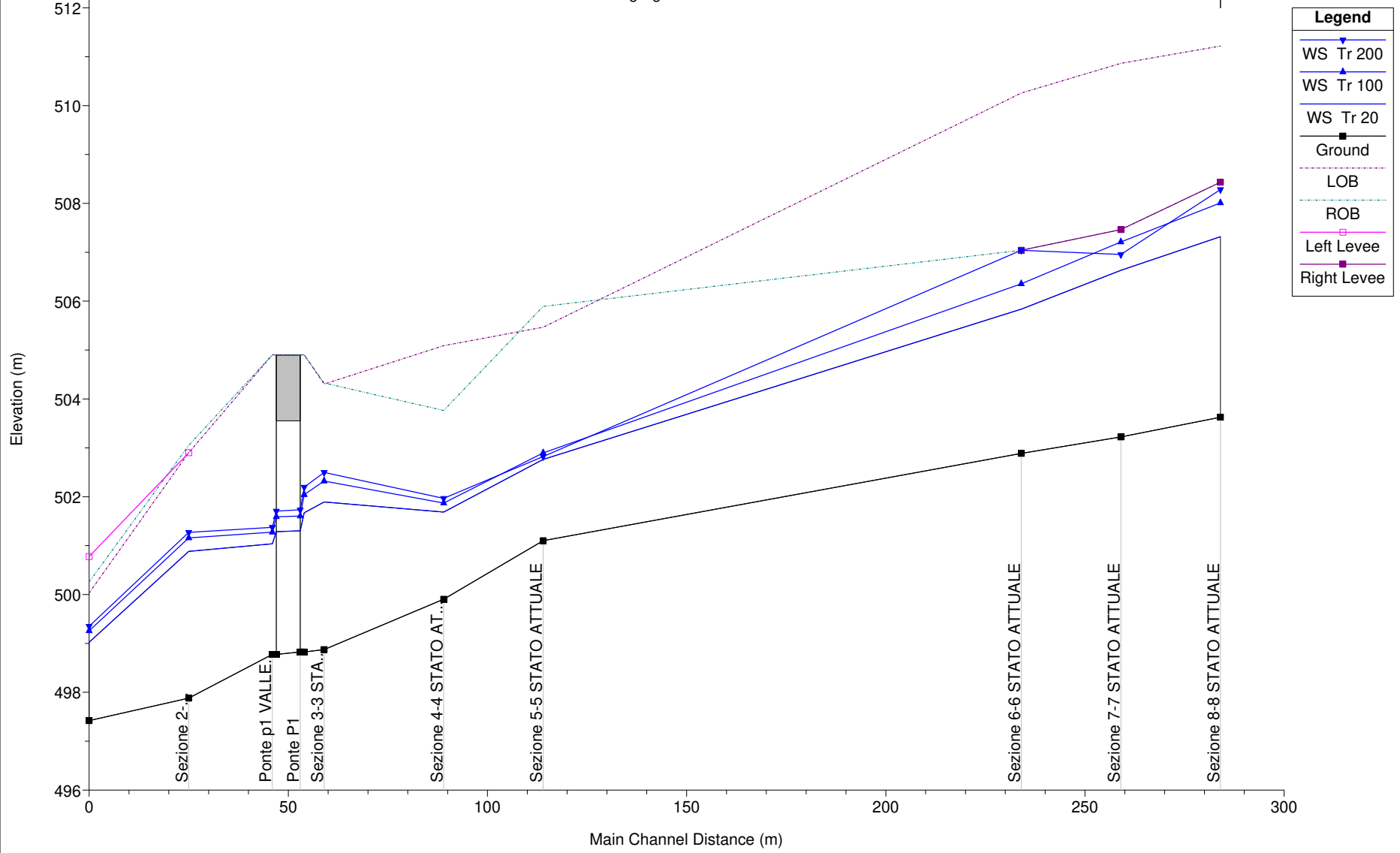
**VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE**

**T. ANGROGNA – STATO ATTUALE**



Torrente Angrogn - Stato attuale Plan: Torrente Angrogn 11/06/2019

Torrente Angrogn Torre Pellice

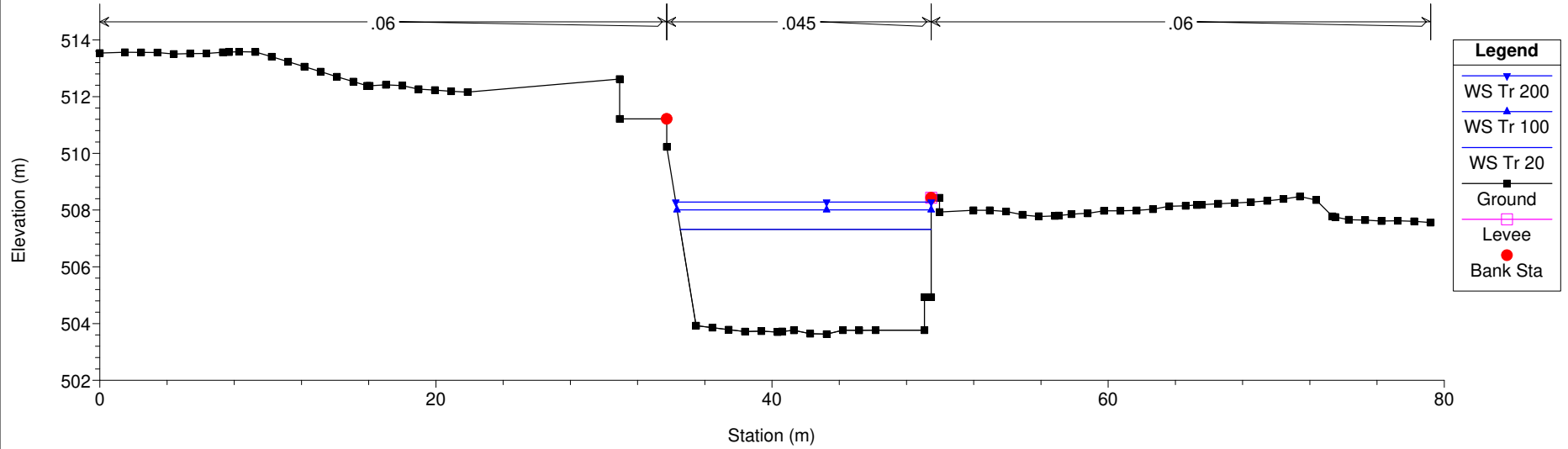


HEC-RAS Plan: Torrente Ang River: Torrente Angrogn Reach: Torre Pellice

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Torre Pellice	8	Tr 20	182.22	503.63	507.32	506.35	511.22	508.43	507.97	0.007919	3.57	51.10	14.93	0.62
Torre Pellice	8	Tr 100	235.69	503.63	508.01	506.83	511.22	508.43	508.76	0.007802	3.84	61.46	15.12	0.61
Torre Pellice	8	Tr 200	258.83	503.63	508.28	507.03	511.22	508.43	509.08	0.007826	3.95	65.58	15.20	0.61
Torre Pellice	7	Tr 20	182.22	503.22	506.63	506.21	510.86	507.46	507.67	0.014464	4.51	40.37	12.78	0.81
Torre Pellice	7	Tr 100	235.69	503.22	507.21	506.74	510.86	507.46	508.45	0.014929	4.93	47.84	12.92	0.82
Torre Pellice	7	Tr 200	258.83	503.22	506.95	506.95	510.86	507.46	508.68	0.022049	5.81	44.53	12.86	1.00
Torre Pellice	6	Tr 20	182.22	502.89	505.84	505.84	510.26	507.04	507.20	0.021789	5.17	35.26	12.85	1.00
Torre Pellice	6	Tr 100	235.69	502.89	506.35	506.35	510.26	507.04	507.96	0.022038	5.62	41.96	12.99	1.00
Torre Pellice	6	Tr 200	258.83	502.89	507.04	507.04	510.26	507.04	507.87	0.013313	4.32	75.17	39.91	0.70
Torre Pellice	5	Tr 20	182.22	501.10	502.76	503.04	505.47	505.89	503.84	0.035024	4.60	39.60	33.42	1.35
Torre Pellice	5	Tr 100	235.69	501.10	502.90	503.31	505.47	505.89	504.35	0.042192	5.35	44.07	34.09	1.50
Torre Pellice	5	Tr 200	258.83	501.10	502.82	503.43	505.47	505.89	504.79	0.060591	6.22	41.63	33.72	1.79
Torre Pellice	4	Tr 20	182.22	499.90	501.69	502.01	505.09	503.76	502.83	0.046568	4.74	38.44	38.42	1.51
Torre Pellice	4	Tr 100	235.69	499.90	501.87	502.26	505.09	503.76	503.23	0.045093	5.16	45.64	39.05	1.52
Torre Pellice	4	Tr 200	258.83	499.90	501.97	502.36	505.09	503.76	503.37	0.042283	5.24	49.41	39.38	1.49
Torre Pellice	3	Tr 20	182.22	498.88	501.89	501.23	504.30	504.33	502.22	0.005685	2.52	72.45	37.07	0.57
Torre Pellice	3	Tr 100	235.69	498.88	502.32	501.50	504.30	504.33	502.68	0.005158	2.66	88.62	38.64	0.56
Torre Pellice	3	Tr 200	258.83	498.88	502.50	501.62	504.30	504.33	502.87	0.004984	2.71	95.47	39.39	0.56
Torre Pellice	2.8	Tr 20	182.22	498.83	501.67	501.25	504.90	504.90	502.16	0.009704	3.10	58.70	29.68	0.70
Torre Pellice	2.8	Tr 100	235.69	498.83	502.04	501.54	504.90	504.90	502.62	0.009411	3.38	69.72	29.68	0.70
Torre Pellice	2.8	Tr 200	258.83	498.83	502.19	501.66	504.90	504.90	502.81	0.009314	3.49	74.24	29.68	0.70
Torre Pellice	2.5	Bridge												
Torre Pellice	2.3	Tr 20	182.22	498.78	501.04	501.24	504.90	504.90	502.07	0.032164	4.51	40.42	29.68	1.23
Torre Pellice	2.3	Tr 100	235.69	498.78	501.28	501.53	504.90	504.90	502.53	0.031993	4.96	47.51	29.68	1.25
Torre Pellice	2.3	Tr 200	258.83	498.78	501.37	501.65	504.90	504.90	502.72	0.031853	5.13	50.43	29.68	1.26
Torre Pellice	2	Tr 20	182.22	497.88	500.88	500.88	502.90	503.05	501.61	0.018434	3.77	48.37	33.20	1.00
Torre Pellice	2	Tr 100	235.69	497.88	501.16	501.16	502.90	503.05	502.01	0.017809	4.10	57.51	33.56	1.00
Torre Pellice	2	Tr 200	258.83	497.88	501.27	501.27	502.90	503.05	502.18	0.017538	4.22	61.32	33.70	1.00
Torre Pellice	1	Tr 20	182.22	497.42	499.02	499.55	500.03	500.26	500.73	0.063122	5.79	31.49	29.28	1.78
Torre Pellice	1	Tr 100	235.69	497.42	499.26	499.83	500.03	500.26	501.17	0.056769	6.13	38.42	30.13	1.73
Torre Pellice	1	Tr 200	258.83	497.42	499.35	499.96	500.03	500.26	501.35	0.054637	6.27	41.30	30.43	1.72

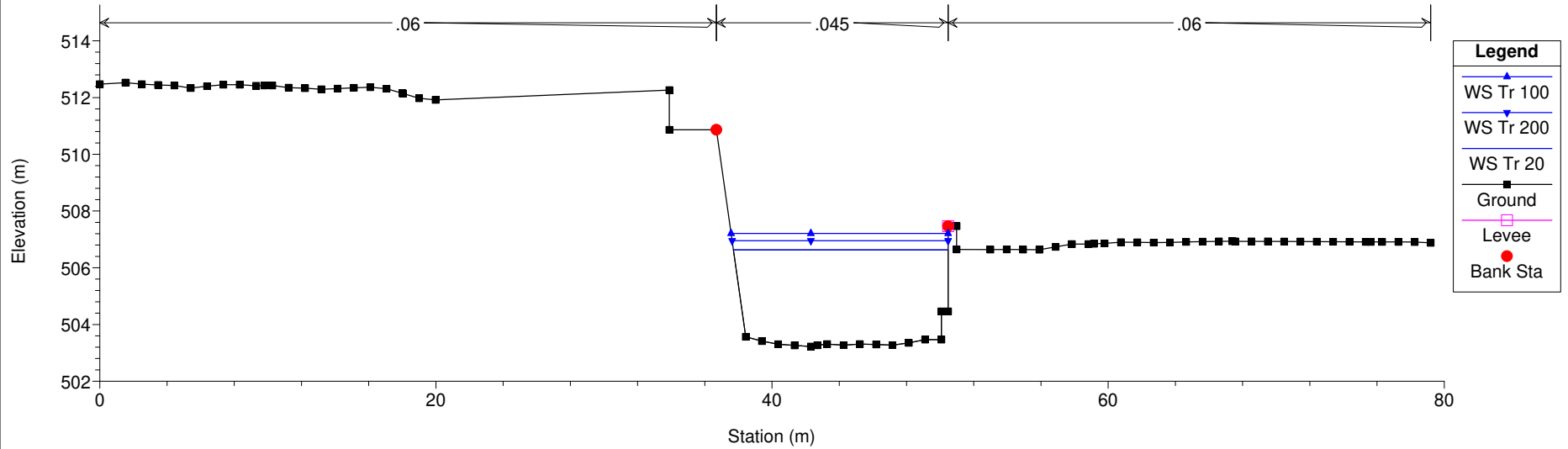
Torrente Angrognna - Stato attuale Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019

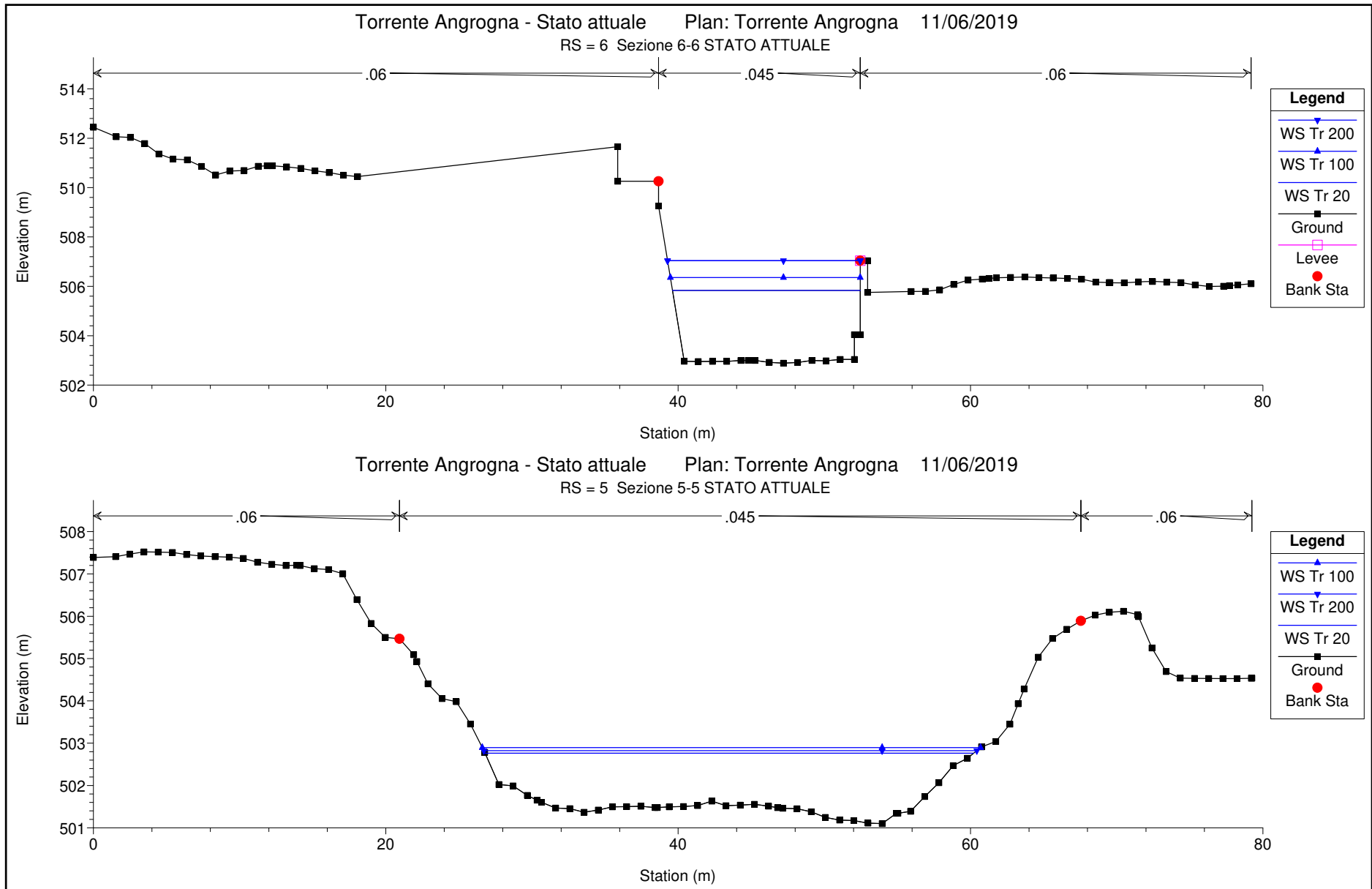
RS = 8 Sezione 8-8 STATO ATTUALE



Torrente Angrognna - Stato attuale Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019

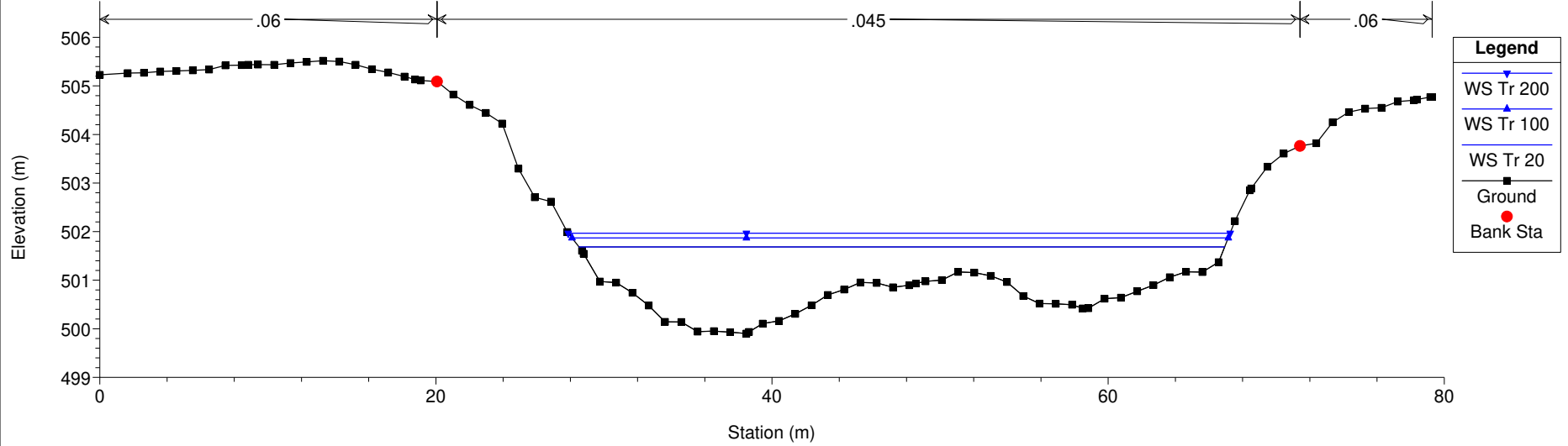
RS = 7 Sezione 7-7 STATO ATTUALE





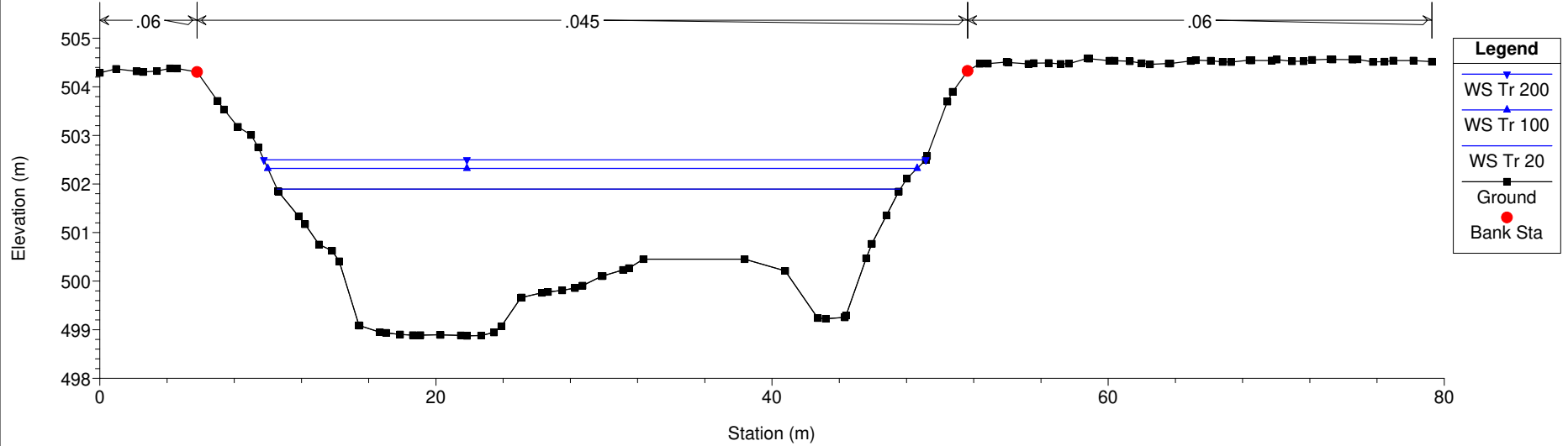
Torrente Angrognna - Stato attuale Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019

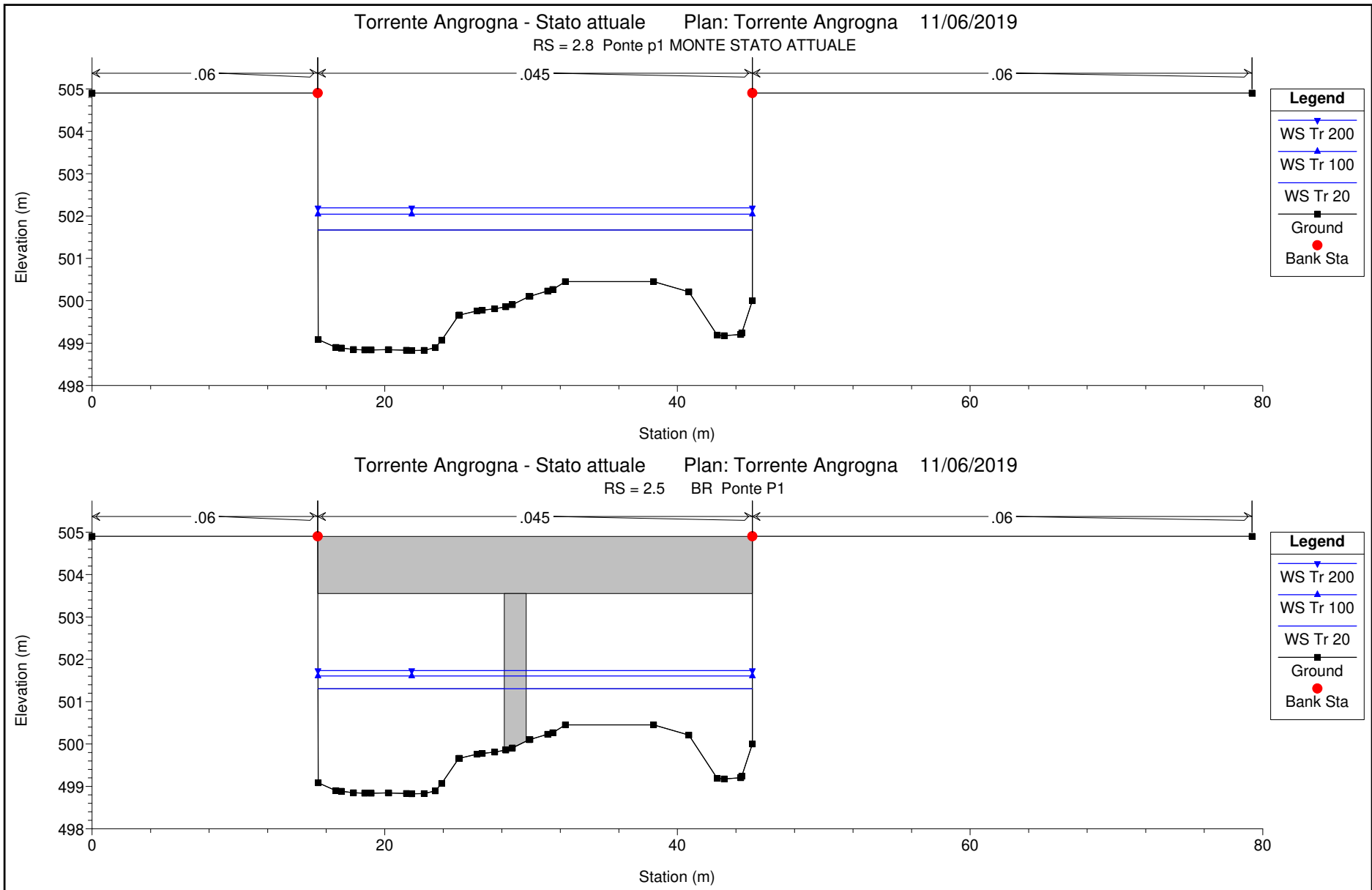
RS = 4 Sezione 4-4 STATO ATTUALE

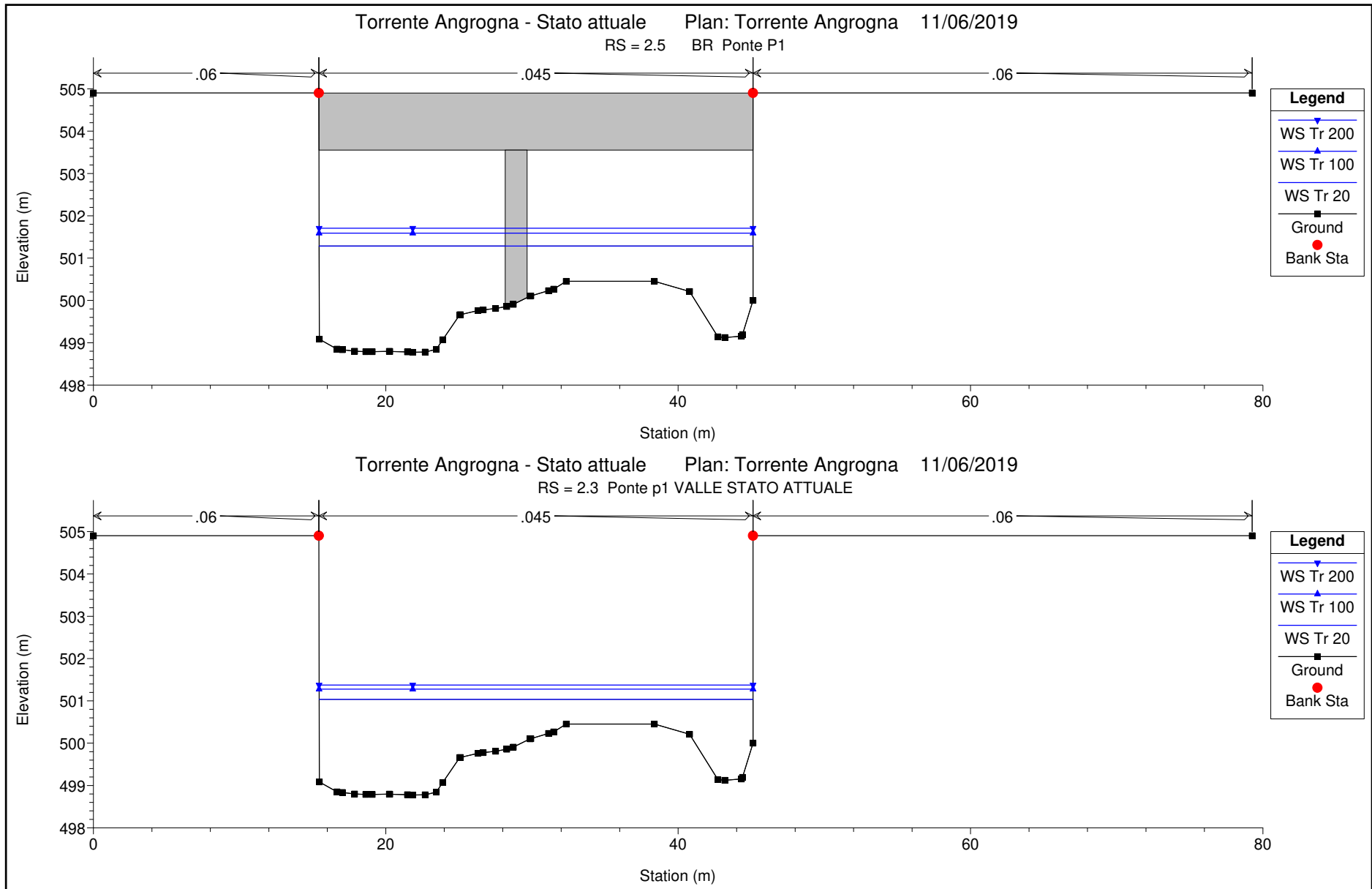


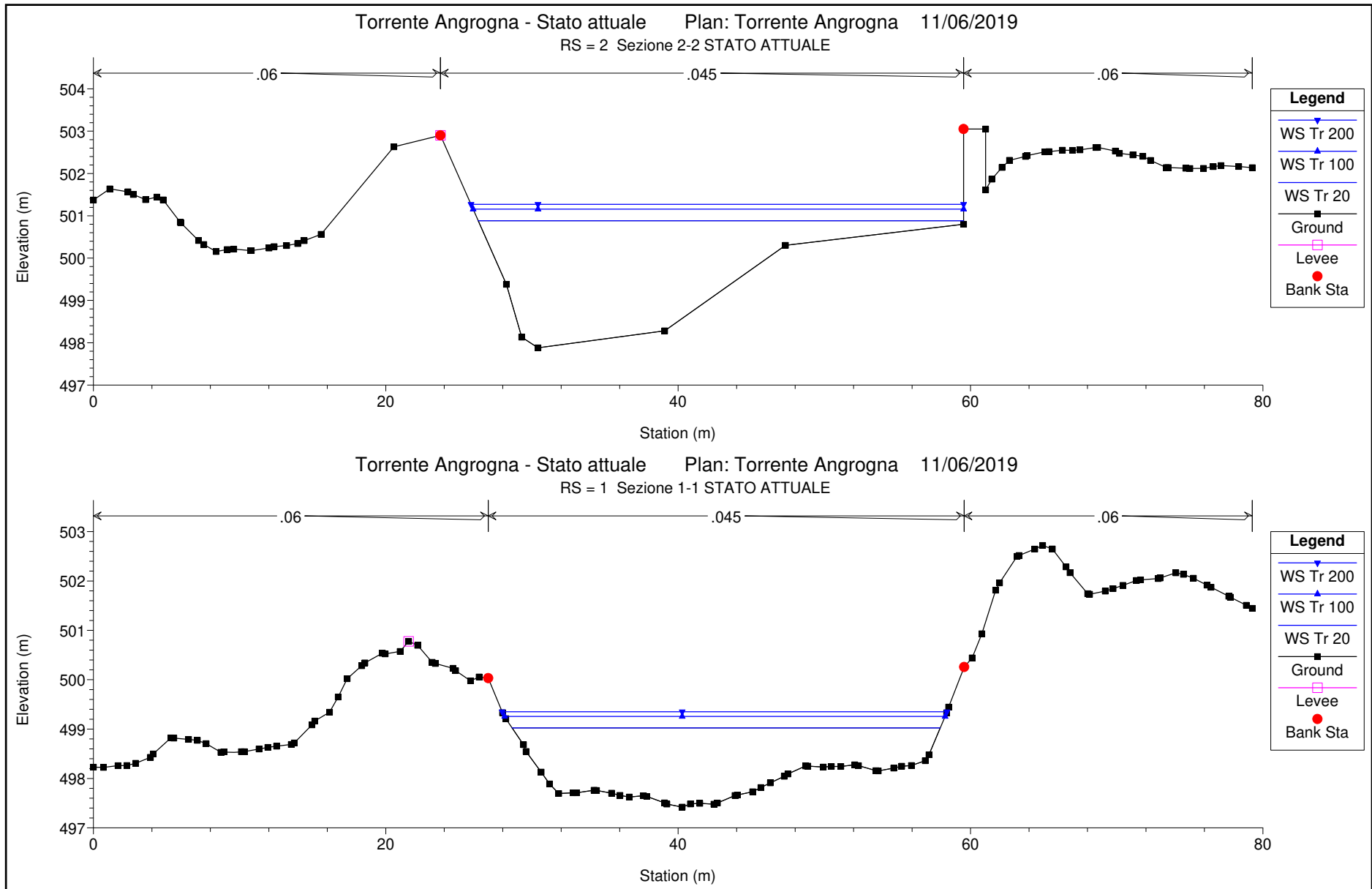
Torrente Angrognna - Stato attuale Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019

RS = 3 Sezione 3-3 STATO ATTUALE











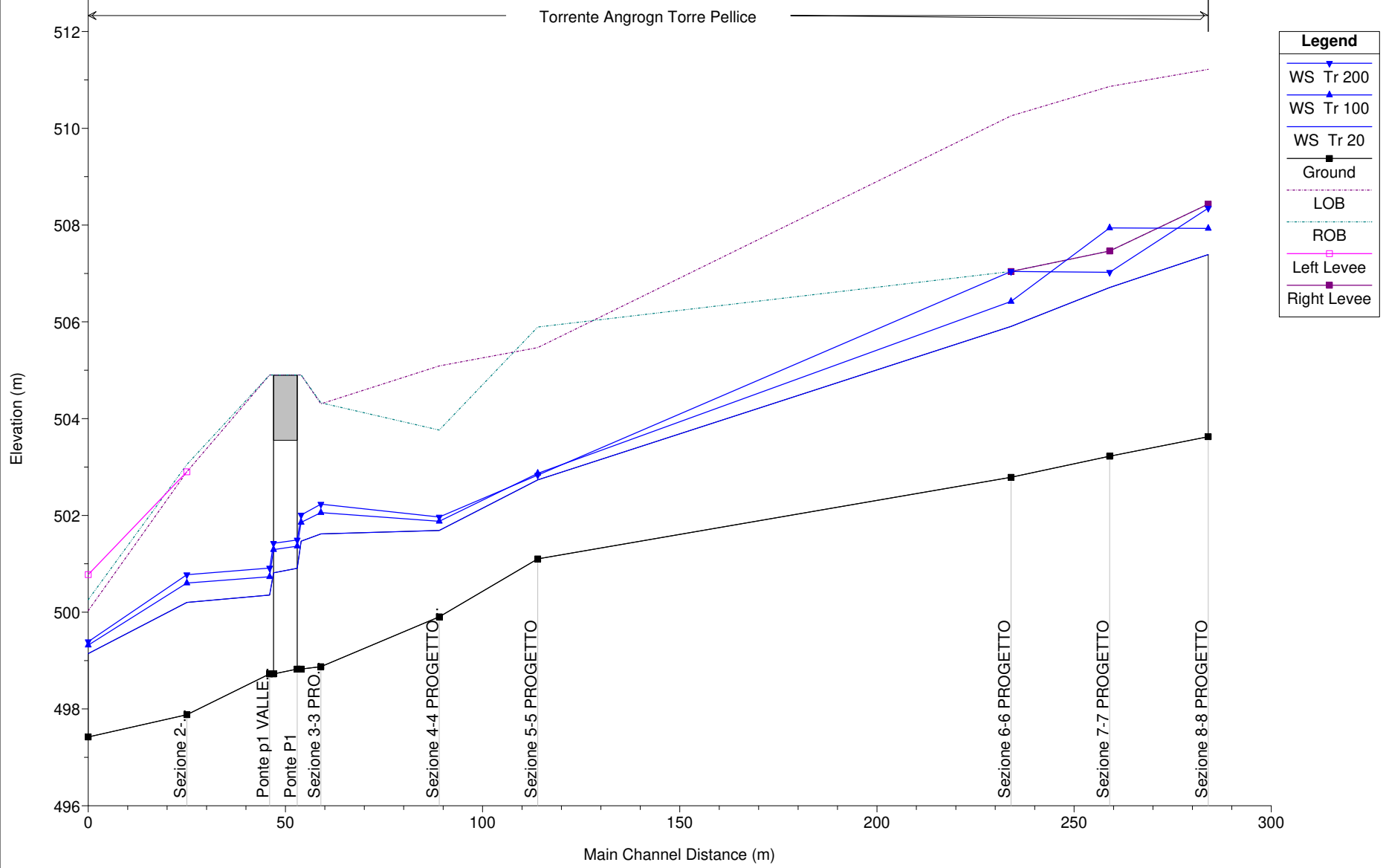
**ALLEGATO B**

**VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE**

**T. ANGROGNA – IN PROGETTO**

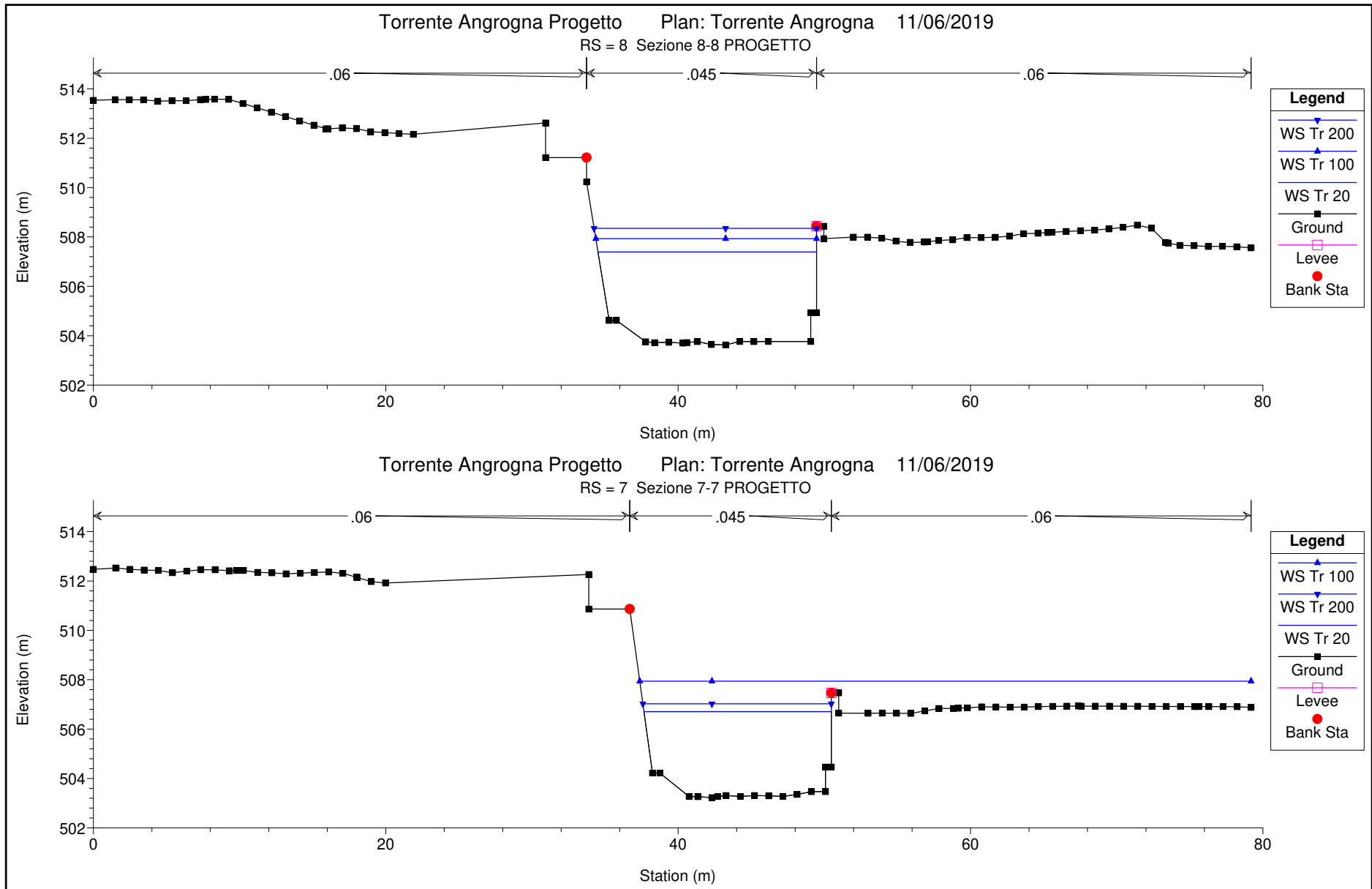
Torrente Angrogn Progetto Plan: Torrente Angrogn 11/06/2019

Torrente Angrogn Torre Pellice

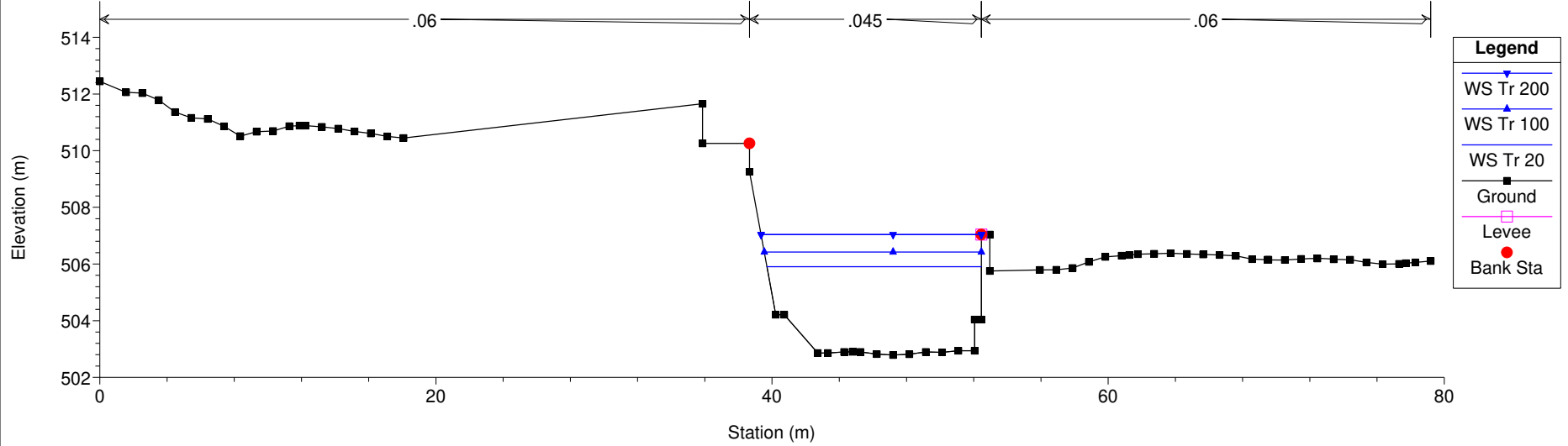


HEC-RAS Plan: Torrente Ang River: Torrente Angrogn Reach: Torre Pellice

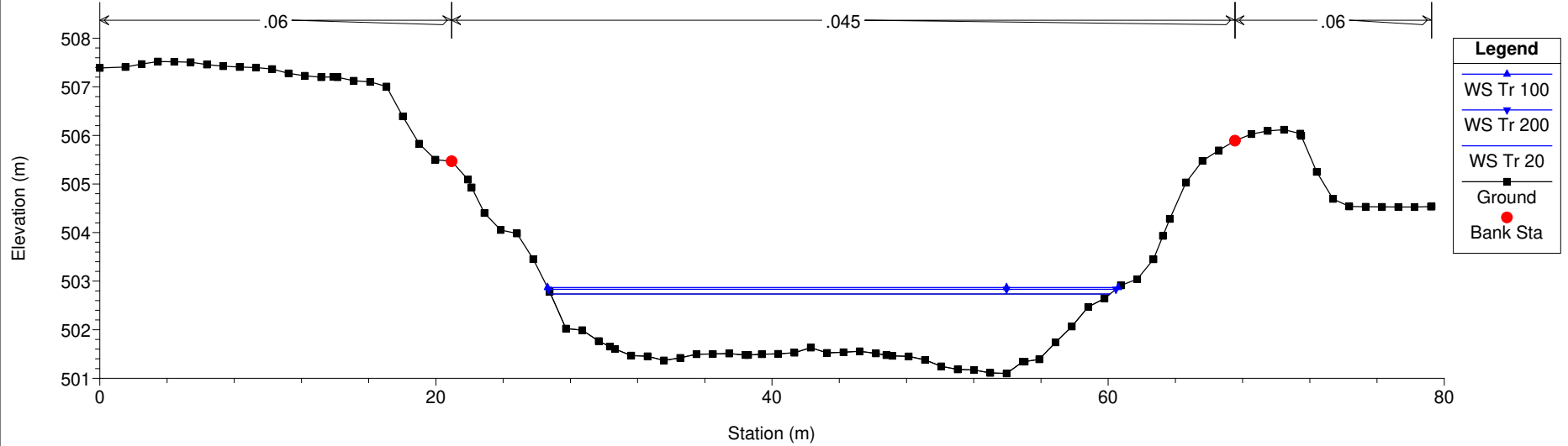
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Torre Pellice	8	Tr 20	182.22	503.63	507.39	506.42	511.22	508.43	508.04	0.007775	3.56	51.18	14.95	0.61
Torre Pellice	8	Tr 100	235.69	503.63	507.93	506.90	511.22	508.43	508.74	0.008528	3.98	59.29	15.10	0.64
Torre Pellice	8	Tr 200	258.83	503.63	508.35	507.09	511.22	508.43	509.14	0.007712	3.94	65.63	15.22	0.61
Torre Pellice	7	Tr 20	182.22	503.22	506.71	506.28	510.86	507.46	507.74	0.014202	4.50	40.48	12.82	0.81
Torre Pellice	7	Tr 100	235.69	503.22	507.94	506.80	510.86	507.46	508.45	0.007317	3.43	87.53	41.82	0.53
Torre Pellice	7	Tr 200	258.83	503.22	507.02	507.02	510.86	507.46	508.75	0.021820	5.81	44.54	12.89	1.00
Torre Pellice	6	Tr 20	182.22	502.79	505.91	505.91	510.26	507.04	507.28	0.021347	5.19	35.13	12.76	1.00
Torre Pellice	6	Tr 100	235.69	502.79	506.42	506.42	510.26	507.04	508.05	0.021738	5.65	41.75	12.92	1.00
Torre Pellice	6	Tr 200	258.83	502.79	507.04	507.04	510.26	507.04	507.90	0.013804	4.41	74.03	39.84	0.72
Torre Pellice	5	Tr 20	182.22	501.10	502.73	503.04	505.47	505.89	503.87	0.037709	4.71	38.66	33.28	1.40
Torre Pellice	5	Tr 100	235.69	501.10	502.87	503.31	505.47	505.89	504.39	0.044883	5.46	43.19	33.96	1.54
Torre Pellice	5	Tr 200	258.83	501.10	502.83	503.43	505.47	505.89	504.78	0.059374	6.18	41.90	33.76	1.77
Torre Pellice	4	Tr 20	182.22	499.90	501.69	502.01	505.09	503.76	502.83	0.046019	4.72	38.59	38.43	1.50
Torre Pellice	4	Tr 100	235.69	499.90	501.88	502.26	505.09	503.76	503.22	0.044206	5.13	45.93	39.08	1.51
Torre Pellice	4	Tr 200	258.83	499.90	501.97	502.36	505.09	503.76	503.37	0.042358	5.24	49.38	39.38	1.49
Torre Pellice	3	Tr 20	182.22	498.88	501.62	500.99	504.30	504.33	501.97	0.006103	2.61	69.76	36.05	0.60
Torre Pellice	3	Tr 100	235.69	498.88	502.06	501.29	504.30	504.33	502.44	0.005423	2.74	85.91	37.58	0.58
Torre Pellice	3	Tr 200	258.83	498.88	502.23	501.40	504.30	504.33	502.63	0.005236	2.80	92.55	38.27	0.57
Torre Pellice	2.8	Tr 20	182.22	498.83	501.47	500.81	504.90	504.90	501.92	0.008010	2.98	61.10	29.68	0.66
Torre Pellice	2.8	Tr 100	235.69	498.83	501.86	501.26	504.90	504.90	502.39	0.007773	3.25	72.61	29.68	0.66
Torre Pellice	2.8	Tr 200	258.83	498.83	502.01	501.38	504.90	504.90	502.58	0.007758	3.36	77.13	29.68	0.66
Torre Pellice	2.5	Bridge												
Torre Pellice	2.3	Tr 20	182.22	498.73	500.35	500.71	504.90	504.90	501.77	0.035439	5.28	34.52	22.48	1.36
Torre Pellice	2.3	Tr 100	235.69	498.73	500.73	501.19	504.90	504.90	502.26	0.029784	5.47	43.11	22.95	1.27
Torre Pellice	2.3	Tr 200	258.83	498.73	500.91	501.31	504.90	504.90	502.44	0.027118	5.48	47.25	23.18	1.22
Torre Pellice	2	Tr 20	182.22	497.88	500.20	500.20	502.90	503.05	501.23	0.017828	4.49	40.60	19.70	1.00
Torre Pellice	2	Tr 100	235.69	497.88	500.60	500.60	502.90	503.05	501.80	0.017501	4.85	48.61	20.30	1.00
Torre Pellice	2	Tr 200	258.83	497.88	500.77	500.77	502.90	503.05	502.03	0.017197	4.97	52.12	20.55	1.00
Torre Pellice	1	Tr 20	182.22	497.42	499.14	499.55	500.03	500.26	500.52	0.045140	5.20	35.06	29.73	1.53
Torre Pellice	1	Tr 100	235.69	497.42	499.32	499.83	500.03	500.26	501.06	0.048869	5.85	40.32	30.34	1.62
Torre Pellice	1	Tr 200	258.83	497.42	499.39	499.96	500.03	500.26	501.28	0.050090	6.10	42.46	30.53	1.65



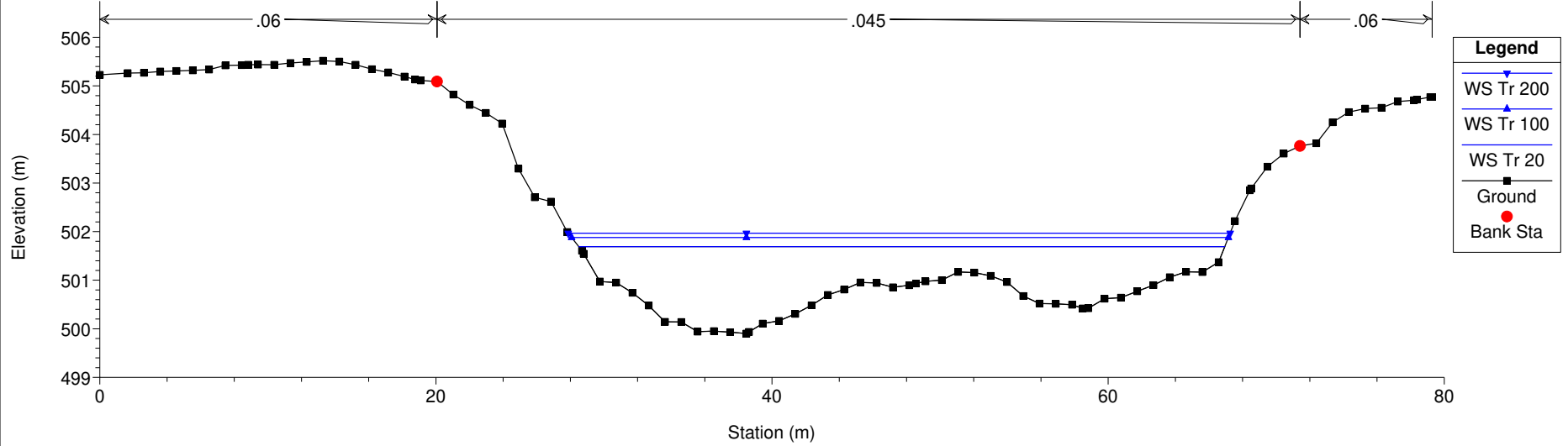
Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 6 Sezione 6-6 PROGETTO



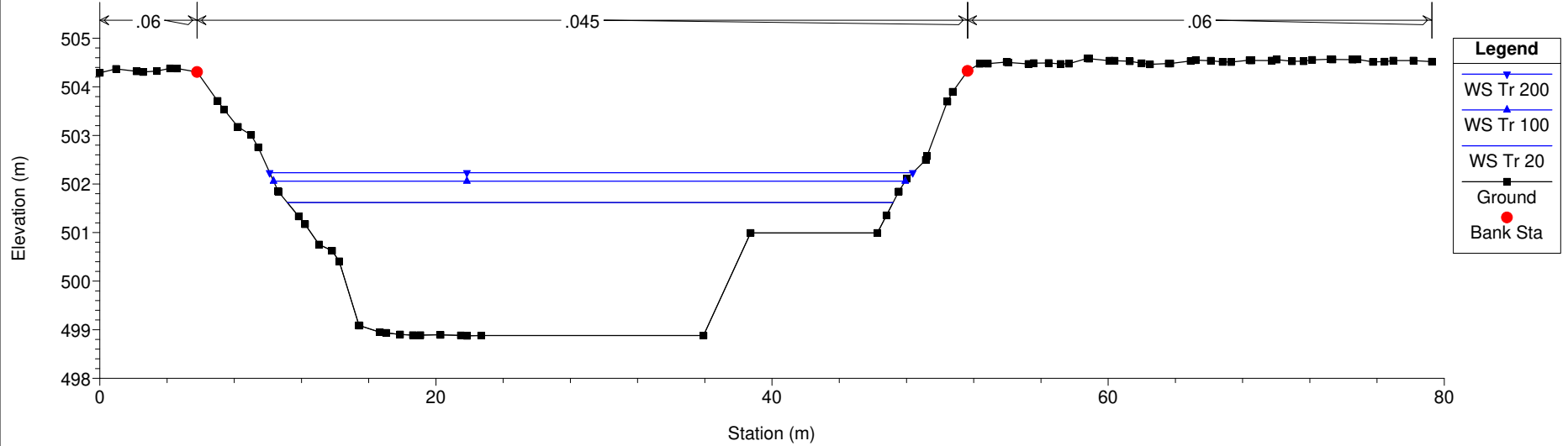
Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 5 Sezione 5-5 PROGETTO



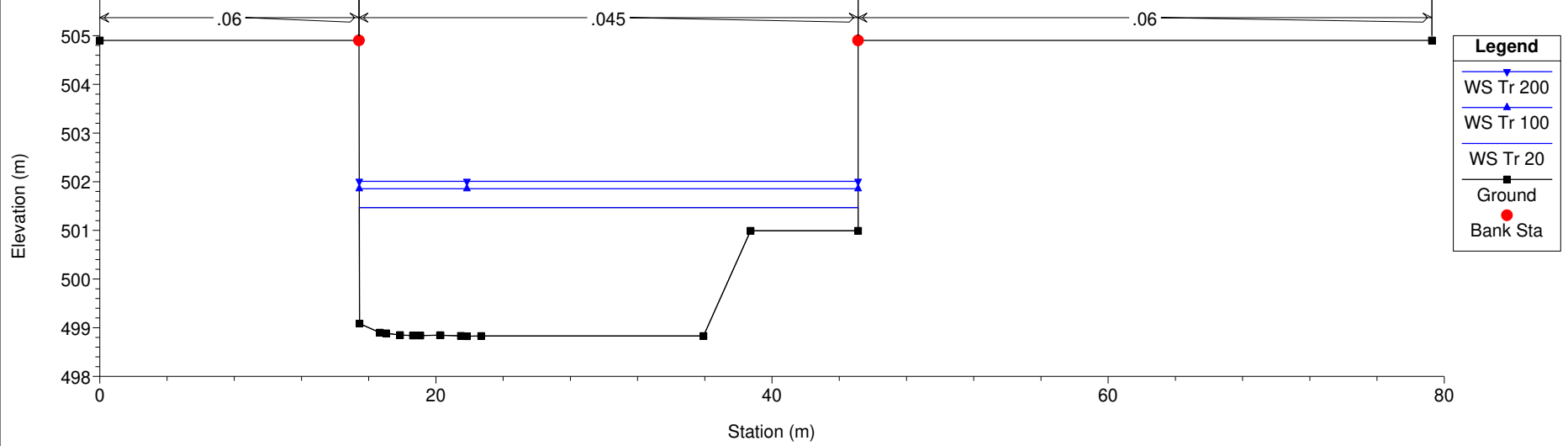
Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 4 Sezione 4-4 PROGETTO



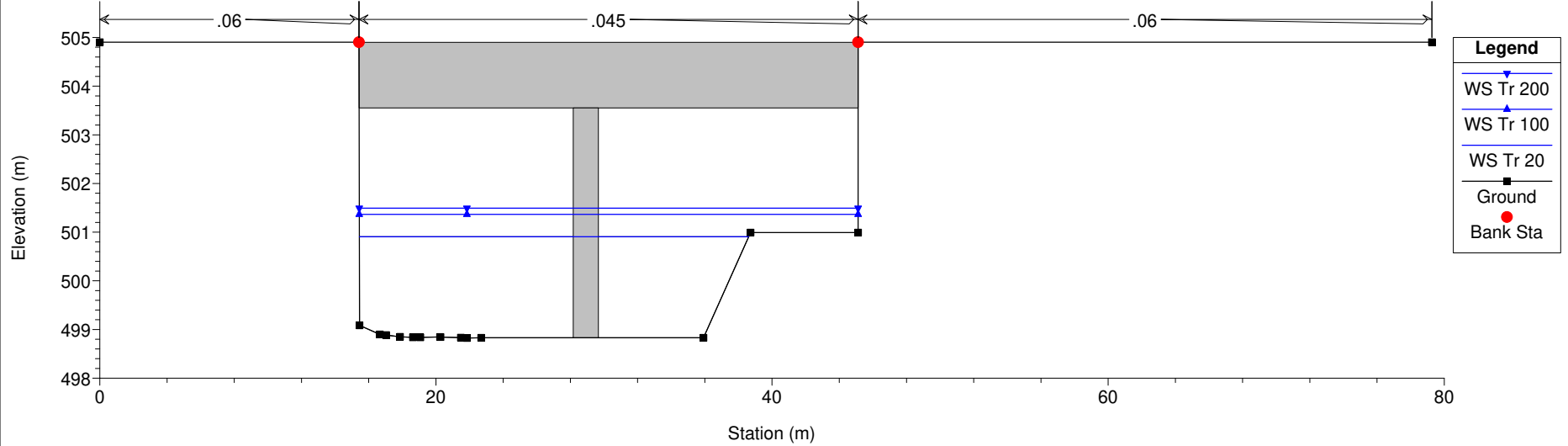
Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 3 Sezione 3-3 PROGETTO



Torrente Angrogna Progetto Plan: Torrente Angrogna 11/06/2019  
 RS = 2.8 Ponte p1 MONTE PROGETTO

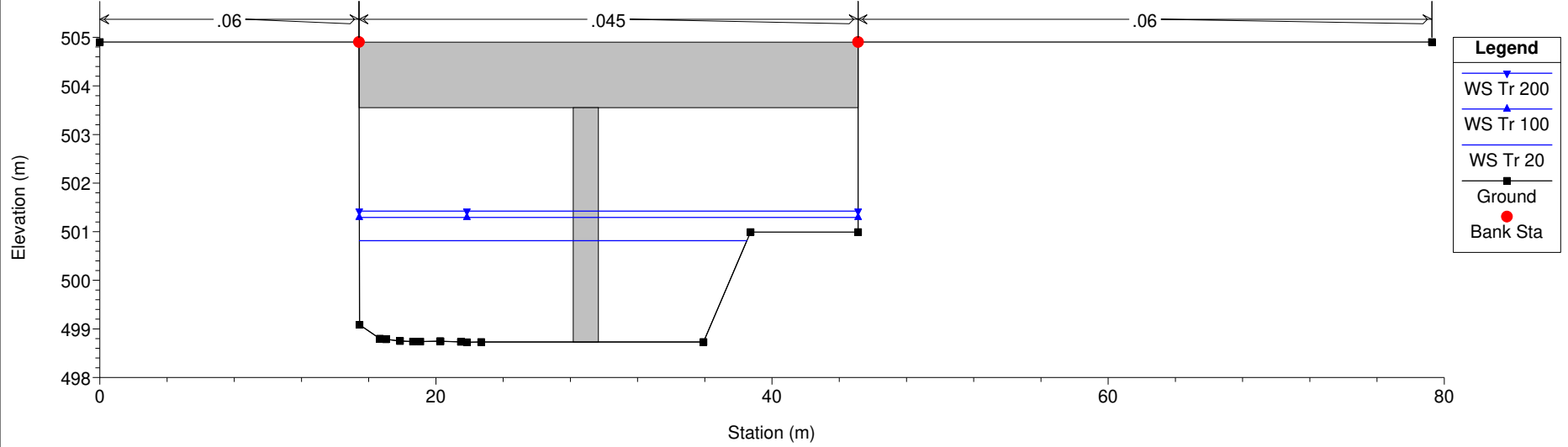


Torrente Angrogna Progetto Plan: Torrente Angrogna 11/06/2019  
 RS = 2.5 BR Ponte P1



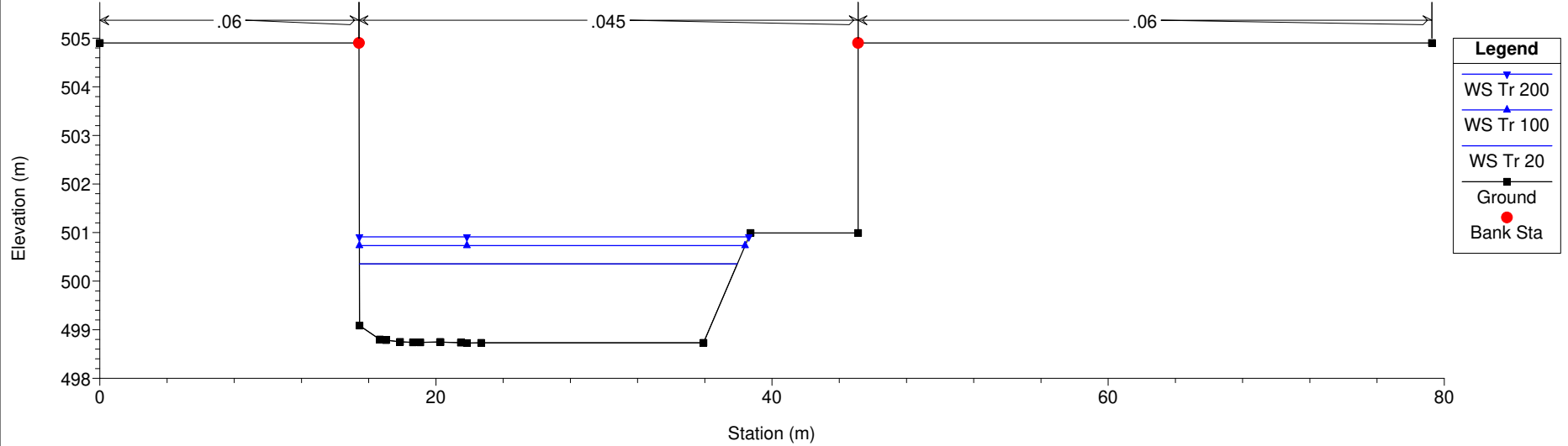
Torrente Angrogna Progetto Plan: Torrente Angrogna 11/06/2019

RS = 2.5 BR Ponte P1



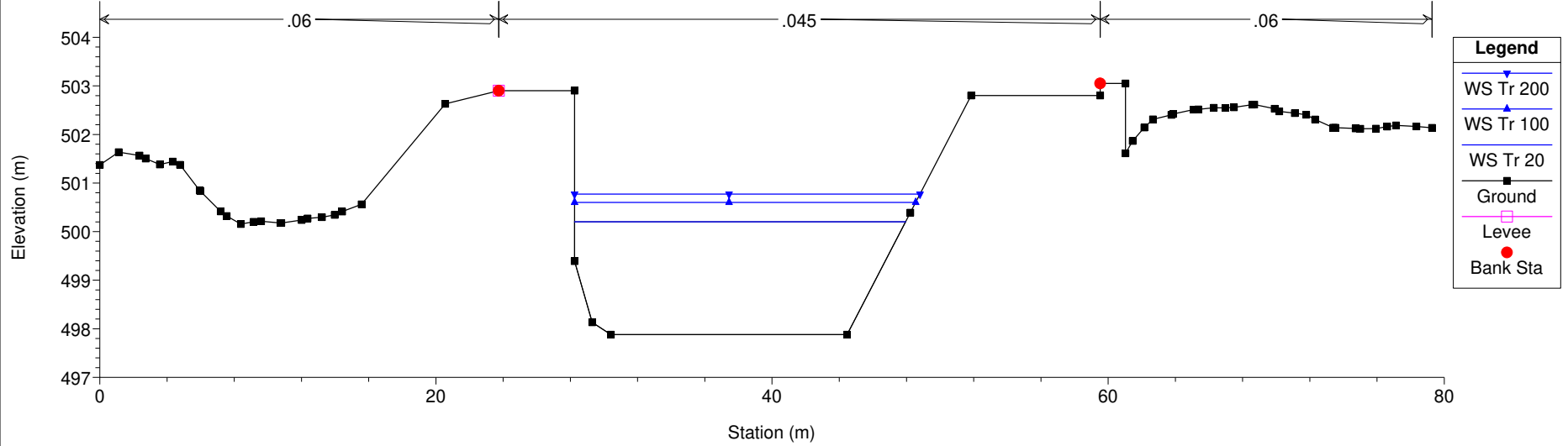
Torrente Angrogna Progetto Plan: Torrente Angrogna 11/06/2019

RS = 2.3 Ponte p1 VALLE PROGETTO





Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 2 Sezione 2-2 PROGETTO



Torrente Angrognna Progetto Plan: Torrente Angrognna 11/06/2019  
RS = 1 Sezione 1-1 PROGETTO

