

COMMITTENTE:



## COMUNE DI CASTELLAMONTE

OGGETTO:

# Realizzazione canale scolmatore del Rio San Pietro

LOCALITÀ DELL'INTERVENTO:

RIO SAN PIETRO

FASE PROGETTUALE:

## PROGETTO ESECUTIVO

7	.	.	.	.	.
6	.	.	.	.	.
5	.	.	.	.	.
4	.	.	.	.	.
3	.	.	.	.	.
2	.	.	.	.	.
1	.	.	.	.	.
0	Aprile 2022	Progetto Esecutivo	M.V.R.	M.V.R.	G.N.
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	RIESAMINATO

TITOLO:

# RELAZIONE IDROLOGICA

ARCHIVIO:

4701

FILE N°:

TESTALINI

DATA:

Loranzè, Aprile 2022



**HYDROGEOS**  
STUDIO TECNICO ASSOCIATO

TAVOLA N°

C

SCALA:

**Studio Tecnico Associato**

ing. GABRIELE  
ing. NOASCONO  
ing. ODETTO  
geol. CAMBULI  
ing. VIGNONO  
ing. ZAPPALÀ  
P.IVA 08462870018

**Sede legale**

Via Giosuè Gianavello, n. 2  
10060 Rorà (TO)  
TEL. 0121/93.36.93  
FAX 0121/95.03.78

**Sede operativa**

Strada Provinciale 222, n. 31  
10010 Loranzè (TO)  
TEL. 0125/19.70.499  
FAX 0125/56.40.14  
e-mail: [info.hydrogeos@ilquadrifoglio.to.it](mailto:info.hydrogeos@ilquadrifoglio.to.it)

PROGETTISTA:

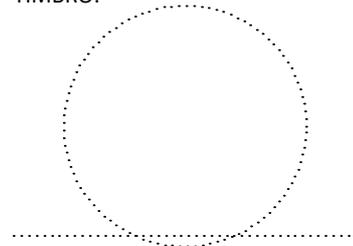
Dott. Ing. Gianluca NOASCONO  
N° 8292 Y ALBO INGEGNERI  
PROVINCIA DI TORINO

TIMBRO:



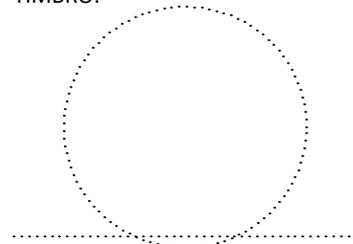
ALTRA FIGURA:

TIMBRO:



ALTRA FIGURA:

TIMBRO:







## INDICE

1	PREMESSA	3
2	IMPOSTAZIONE DELLO STUDIO	3
3	ELABORATI DI PROGETTO	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
5	LA SITUAZIONE ESISTENTE	8
5.1	Generalità sul territorio	8
5.2	Il Rio San Pietro notizie generali	8
5.3	Il Rio San Pietro, tratto urbano	9
5.4	Il Rio San Pietro, alluvioni recenti	11
5.5	Studi precedenti	11
6	STUDIO IDRAULICO DEL RIO SAN PIETRO - ANALISI SITUAZIONE ATTUALE	13
6.1	Premessa	13
6.2	Codice di calcolo HEC-RAS	13
6.3	Definizione della scabrezza	16
6.4	Condizioni al contorno	18
6.5	Portata idraulica	18
6.6	Conclusioni	19
7	IPOTESI DI PROGETTO	20
7.1	Premessa	20
7.2	Ipotesi 1	21
7.3	Ipotesi 2.1	21
7.4	Ipotesi 2.2	22
7.5	Ipotesi 2.3	22
8	IDROLOGIA DEL RIO SAN PIETRO	23
8.1	Premessa	23
8.2	Elaborazione statistiche dei dati pluviometrici	23
8.3	Analisi statistiche	24
8.4	Ragguaglio dei dati di pioggia al bacino in questione	26
8.5	Aspetti idrologici e determinazione delle portate di piena	28
8.6	Caratteristiche fisiche del bacino	28
8.7	Tempo di corrivazione	31



---

8.8	Calcolo della portata di massima piena	32
8.9	Le portate di massima piena risultanti	36
9	ANALISI DI UN CASO REALE: EVENTO DEL 13/07/2011	40
9.1	Premessa	40
9.2	Descrizione sommaria del fenomeno	40
9.3	Determinazione delle portate di piena	41
9.4	Confronto tra modello idraulico e caso reale	52
9.5	Risultati ottenuti	59

## 1 PREMESSA

La presente relazione idrologica riporta le analisi idrauliche ed i calcoli effettuati dal sottoscritto Ingegnere Gianluca Noascono dello Studio Tecnico Associato Hydrogeos, ad evasione dell'incarico ricevuto dall'Amministrazione Comunale della Città di Castellamonte, con Deliberazione G.C. n. 211 del 20.11.2011, inerente allo "Studio di massima della criticità idraulica del Rio San Pietro" al fine di valutare le possibili soluzioni per evitare future esondazioni.

Nel luglio 2011, a seguito di un evento piovoso di forte intensità, si è verificata l'esondazione del Rio San Pietro, corso d'acqua che attraversa il concentrico di Castellamonte, con allagamenti diffusi nell'area urbana che hanno arrecato svariati danni a infrastrutture pubbliche e private da cui è emersa la volontà dell'Amministrazione Comunale di incaricare un tecnico per analizzare le possibili soluzioni al problema. In precedenza l'Amministrazione aveva provveduto a stabilire contatti con le strutture tecniche regionali al fine di individuare le possibili soluzioni tecniche e di finanziamento di eventuali opere necessarie e a iniziare il percorso di approvazione di una variante al P.R.G.C. recante già sulla cartografia l'indicazione di un canale scolmatore delle portate di piena su una fascia di terreno ancora libera da costruzioni.

Con Ordinanza Commissariale n. 2DB14.00/1.2.6/3694 in data 14.02.2012, la Regione Piemonte ha provveduto a finanziare lo Studio Idrogeologico del Rio San Pietro, con la previsione di una spesa di €. 25.000,00.

## 2 IMPOSTAZIONE DELLO STUDIO

Lo scopo dello studio è quello di individuare le soluzioni tecniche di mitigazione o eliminazione delle conseguenze di future alluvioni del Rio San Pietro.

Come si vedrà, verranno individuate quattro soluzioni possibili, di cui tre raggruppabili nello schema di canale scolmatore esterno all'alveo attuale e una di sistemazione dell'alveo attuale.

La individuazione delle soluzioni possibili è stata ovviamente preceduta dall'analisi dell'alveo attuale, sul quale sono state effettuate livellazioni e rilievi di dettaglio per ricostruire le sezioni e le singolarità dovute ai ponti, e dagli studi idrologici e idraulici.

Premesso che è fondamentale la definizione del tempo di ritorno  $T_r$  di un evento espresso in anni, cioè della frequenza probabile con cui tale evento si presenta o ripresenta, va detto che purtroppo per il Rio San Pietro non sono disponibili dati storici delle portate verificatesi da cui ricavare il tempo di ritorno di un evento con valore prefissato. Per tale motivo le portate attese devono essere ricavate per via indiretta dai dati idrologici.

Con tale modo di procedere le difficoltà aumentano, in quanto le portate ricavate per via indiretta dipendono da eventi normalizzati a grande scala (a Castellamonte non c'è un pluviografo con serie storica dei dati di pioggia) e da coefficienti (di deflusso o similari) non oggettivi ma affidati in gran parte alla sensibilità del tecnico e alle indicazioni della letteratura.

In sostanza, facendo riferimento all'evento del luglio 2011, appare difficile e delicato stabilire la sua frequenza in termini di tempo di ritorno, anche se non ci si è sottratti a tale incombenza.



---

E' risultato più semplice e con minori margini di incertezza individuare la portata dell'evento del luglio 2011 a partire dall'analisi idraulica dell'alveo. A tal fine, la modellazione idraulica è stata condotta utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS in moto permanente monodimensionale: uno dei profili del pelo libero creati è risultato del tutto coerente su tutta la lunghezza d'alveo in esame con la documentazione testimoniale (fotografica e video) relativa al fenomeno alluvionale.

Riassumendo in termini più semplici, la parte idrologica-idraulica dello studio si articola come segue:

- 1) individuazione dell'andamento del pelo libero per diversi valori di portata incrementati a gradini, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS;
- 2) individuazione della portata dell'evento reale del luglio 2011 a seguito della modellazione idraulica ancora utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS;
- 3) individuazione della portata dell'evento reale del luglio 2011 a seguito della modellazione idrologica utilizzando il codice di calcolo HEC-HMS (modello afflussi-deflussi);
- 4) analisi idrologica volta a definire per quanto possibile e con i limiti che si indicheranno, i tempi di ritorno della portata individuata al punto 2.

Si ribadisce l'importanza di collegare le portate individuate ad un tempo di ritorno definito.

Tali tempi di ritorno sono in ultima analisi l'elemento principale su cui basare le scelte di intervento.

A tal fine si anticipa la seguente riflessione:

Per alcuni manufatti (ponti), la normativa impone che essi siano idonei a tempi di ritorno di almeno 100 anni, ma è generalmente richiesto un minimo di 200 anni, oltre il franco. Nulla si dice nella normativa per quanto riguarda gli argini e le sponde. Si ritiene tuttavia che per un caso come quello del Rio San Pietro (ambito urbano, ponti assai ravvicinati) sia coerente adottare lo stesso tempo di ritorno dei ponti anche per gli argini e le sponde.

### **3 ELABORATI DI PROGETTO**

Il presente studio si compone dei seguenti elaborati:

Relazione Idrologico - Idraulica;

In allegato:

All\_1 - Opere d'arte;

All\_2 - Elaborazioni idrologiche;

All\_3 - Elaborazioni idrauliche.



---

## 4 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:

- PS 45 (Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché il ripristino delle aree di esondazione), adottato con delibera dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n. 9/1995 e pubblicato nel supplemento straordinario al Bollettino della Regione Piemonte n. 32 del 9/08/1995;
- Direttiva (Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B) emessa dall'autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del "Piano stralcio delle Fasce Fluviali", approvata dal Comitato tecnico in data 27.04.1999.
- 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.
- Norme di attuazione *"DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA"*.
- Bollettino Ufficiale Regione Piemonte - Parte I e II Supplemento al numero 30 - 25 luglio 2002
- Deliberazione della Giunta Regionale 15 luglio 2002 n. 45- 6656
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po in data 26 aprile 2001, approvato con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri in data 24 maggio 2001. Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico.

allegato 1 - indirizzi per l'attuazione del PAI in materia urbanistica

allegato 2 - legenda regionale per la redazione della carta geomorfologica e del dissesto dei P.R.G.C. redatte in conformità alla circolare P.G.R. n. 7/LAP/96 e successiva N.T.E./99

allegato 3 - criteri per la valutazione della pericolosità e del rischio lungo il reticolo idrografico.

Si riportano di seguito le prescrizioni relative ai criteri di compatibilità idraulica ed i relativi indirizzi progettuali.

Criteri di compatibilità idraulica per i ponti e i rilevati di accesso in progetto

Portata di piena di progetto. Il tempo di ritorno della piena di progetto per le verifiche idrauliche del ponte deve normalmente rispettare i seguenti valori:

- per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, non inferiore a quello assunto per la delimitazione della fascia B;
- per i corsi d'acqua non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali non inferiore a 100 anni.

In casi eccezionali, quando si tratti di corsi d'acqua di piccole dimensioni e di infrastrutture di importanza molto modesta, possono essere assunti tempi di ritorno inferiori in relazione ad esigenze specifiche adeguatamente motivate; in tali situazioni è comunque necessario verificare che le opere non comportino un aggravamento delle condizioni di rischio idraulico sul territorio circostante per la piena di 200 anni e definire il comportamento dell'opera stessa in rapporto alla stessa piena.

### Franco minimo.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.



---

## 5 LA SITUAZIONE ESISTENTE

### 5.1 Generalità sul territorio

Il territorio del Comune di Castellamonte occupa una superficie di kmq 38,51 compresa l'isola costituita dalla frazione di San Giovanni.

Dal punto di vista altimetrico, il territorio può essere distinto in due parti: una pressoché pianeggiante, sulla sinistra del Torrente Orco e a cavallo del Rio San Pietro e del Torrente Malesina, con un'altitudine sul livello del mare variante da un minimo di circa 310 m nella zona sud ai 350-370 m ai piedi delle colline; l'altra, spiccatamente collinare, a settentrione della precedente, con altitudini molto variabili dai 380 m ai 942 m del Truc delle Piane all'estremo nord del Comune.

Mentre la parte pianeggiante è tutta alluvionale del 1° periodo del quaternario, la conformazione della parte collinare e montana deve molto alla variegata geologia del territorio, in quanto sono presenti formazioni di graniti rossi e grigi poveri di mica, di scisti varicolori argillosi e marnosi, di rocce serpentinosi e peridotiti, di tufi porfirici, diluvium antico con banchi sabbioso caolinici tipici della zona, morene antiche, su cui si è potuta esplicitare efficacemente l'erosione della rete idrografica.

I principali corsi d'acqua naturali che solcano il territorio comunale sono il Rio San Pietro e il Torrente Malesina, mentre il Torrente Piova, proveniente dalla Valle Sacra, ne costituisce il confine occidentale, infine l'Orco, in cui i precedenti si riversano, scorre a Sud.

Il Rio San Pietro si spinge con i suoi affluenti nel sistema di vallecicole che si insinua nei poggi collinari su cui sorgono varie borgate appartenenti alle Frazioni Spineto, Sant'Anna e Filia.

Il reticolo idrografico minore è molto fitto nella parte collinare e comprende svariati corsi d'acqua che si attivano solo in periodi di precipitazione, per lo più non iscritti negli elenchi delle acque pubbliche.

In pianura sono presenti varie rogge irrigue, le principali delle quali sono il Canale di Caluso e la Roggia dei Mulini, che derivano dal Torrente Orco in Frazione Spineto. La Roggia dei Mulini scorre in un breve tratto a fianco del Rio San Pietro.

Gli insediamenti sono raccolti nel concentrico e nelle otto frazioni, ma sono numerosissime le case, i cantoni e le cascine sparse sul territorio, sia in pianura, sia, soprattutto, nella zona collinare.

La zona di interesse per il presente progetto è quella di pianura e precollinare situata al margine ovest del territorio comunale tra il concentrico, le frazioni Spineto, Sant'Anna Boschi e Filia.

### 5.2 Il Rio San Pietro notizie generali

Il corso d'acqua oggetto del presente studio assume il nome di Rio San Pietro in prossimità del concentrico di Castellamonte.

Il nome di San Pietro si ritrova solo sulla mappa catastale, ma non sulle altre carte disponibili.

Il rio è individuabile con facilità sulla cartografia dello Stato (le tavolette in scala 1:25.000 "Pont Canavese", "Cuorgnè" e "Castellamonte") e sulle altre carte tecniche, in particolare sulle carte C.T.R. in

scala 1:10000 e C.T.P. in scala 1:5000, anche se si notano alcune discrepanze sulla denominazione dei vari affluenti.

Dal punto di vista idraulico (criterio del punto idraulicamente più lontano), il Rio San Pietro nasce sulle pendici del Bric Filia o Figlia, elevazione della zona collinare a quota di 761 m s.l.m., come Rio Valgrand o Valgrana, nome che compare però solo nel tratto di pianura.

Il Rio Valgrand con i suoi numerosi affluenti drena le acque meteoriche di un vasto territorio posto a Nord di Canton Cresto e che si spinge fino a Sant'Anna e al Bric Filia.

Il Rio Valgrand riceve poi sulla destra idrografica il Rio Ferrero che nasce in prossimità di Sant'Anna e ancora il Rio Talentino o Piantone (sulla mappa catastale) che nasce in prossimità di Canton Querio.

Ormai con il nome di Rio San Pietro, il corso d'acqua riceve ancora, questa volta sulla sinistra idrografica e ormai all'interno del concentrico, il Rio Leonatto, che drena le pendici occidentali del promontorio collinare ai cui piedi è edificato il centro storico di Castellamonte.

Dopo aver attraversato il concentrico di Castellamonte, il Rio San Pietro si riversa nel Torrente Orco in Frazione Sant'Antonio.

Il bacino di interesse del presente studio è perimetrato sulla tavola 8. Nella parte collinare i limiti di bacino sono molto evidenti in quanto tali sono le linee spartiacque, mentre nella parte di pianura occorre tener conto delle infrastrutture fognarie di drenaggio degli insediamenti urbani insediati nel tempo, che riversano le acque di pioggia nello stesso corso d'acqua.

La quota più elevata del bacino è costituita come si è visto dai 761 m s.l.m. del Bric Filia.

Il bacino sotteso dalla sezione al ponte di Via Caneva (ponte n. 8 della modellazione idraulica) risulta di 6,06 kmq.

A tale sezione la lunghezza dell'asta principale risulta di circa 5.15 km.

La quota della sezione di chiusura del bacino è pari a 341 m s.l.m.

A valle della sezione con il ponte 8, la superficie del bacino del Rio San Pietro aumenta in misura trascurabile.

Per le considerazioni sugli interventi da eseguire, sono stati individuati tre sottobacini, il primo chiuso poco a valle della confluenza del Rio Valgrand, il secondo poco a monte della stessa, mentre il terzo si riferisce al Rio Leonatto.

### **5.3 Il Rio San Pietro, tratto urbano**

Il rio San Pietro raggiunge il concentrico di Castellamonte in corrispondenza dell'ampia curva della Circonvallazione Ovest (Via Barengo, Strada Provinciale n. 59 da Castellamonte a Castelnuovo Nigra).

L'area in esame è situata nel Comune di Castellamonte, i riferimenti topografici sono contenuti nella carta tecnica regionale C.T.R. sezioni n. 114130 e 135010 in scala 1:10.000.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici.

Nell'immagine che segue si riporta una vista aerea del concentrico di Castellamonte.



La maggior parte dei ponti è costituita da solette su muri, per cui la sezione di passaggio è rettangolare, ma alcuni sono ad arco.

Il ponte di Via Caneva è l'unico molto recente, in quanto è stato ricostruito negli ultimi anni.

I ponti più importanti recano al loro interno dorsali rilevanti della rete dei vari sottoservizi (fognatura, acquedotto, gas metano, elettrodotti, etc.).

## **5.4 Il Rio San Pietro, alluvioni recenti**

Il nubifragio del 13.07.2011 ha ripresentato, aggravata, una situazione che si era già verificata più volte nell'ultimo venticinquennio.

Infatti l'edificio della Scuola Media Cresto, collocato in Via Marcello Piccoli a monte del ponte n. 10, ha subito l'allagamento dello scantinato adibito ad autorimessa e archivio già più volte negli anni passati.

Il fenomeno del luglio scorso ha superato di gran lunga l'intensità dei precedenti e gli allagamenti si sono estesi a quasi tutto l'isolato in cui si trova la Scuola Media. Inoltre è stato allagato anche il centro di Castellamonte (Piazza Martiri della Libertà) dalle acque che hanno superato il ponte di Via Caneva.

I danni pubblici e privati sono stati cospicui.

Per interventi relativi al ripristino di opere pubbliche (compresi gli impianti della Scuola Media) sono stati già stanziati a favore del Comune di Castellamonte circa €. 251.700,00 dalla Regione Piemonte, a seguito dell'Ordinanza Commissariale n. 2DB14.00/1.2.6/3694 in data 14.02.2012. La somma non comprende gli interventi immediati eseguiti dal Comune.

Per quanto riguarda i privati, l'elenco di segnalazione dei danni subiti da parte dei cittadini ammonta ad alcune centinaia di migliaia di Euro e sono tutti consultabili in Comune.

A titolo indicativo si fa presente che gli allagamenti a scantinati o a zone depresse dove si sono verificati accumuli di acqua superiori a cm 30/40 capaci di danneggiare autoveicoli, depositi o altro riguardano molte proprietà.

## **5.5 Studi precedenti**

Il ripetersi di fenomeni alluvionali che hanno interessato il concentrico di Castellamonte, forse un tempo di minore interesse in quanto l'espansione urbana non aveva raggiunto l'attuale estensione, hanno portato le varie amministrazioni a rivolgere l'attenzione alla sistemazione dei manufatti che apparivano di ostacolo al deflusso delle piene.

Nel tempo il Rio San Pietro è stato oggetto di interventi di adeguamento delle sezioni idrauliche e di arginatura.

Particolare attenzione è stata rivolta al ponte di Via Caneva (ponte n. 8), in quanto snodo importante nella viabilità cittadina e punto di riferimento per la chiusura del bacino idraulico interessante il tratto urbano del corso d'acqua.



---

Tra gli studi idraulici legati alla sistemazione di tale ponte, si sono potuti consultare quelli dell'Ingegnere Luciano Compagni di Castellamonte redatto nel 1988 e quello dell'Ingegnere Paolo Oria redatto nel 2006 per la Comunità Montana Valle Sacra, di cui si sono avvalsi lo stesso Ingegnere Compagni e l'Ingegnere Alberto Tognoli di Ivrea per progetti di rifacimento dello stesso ponte.

Come utile paragone con le elaborazioni del presente studio si riportano in sintesi le conclusioni relative al calcolo delle portate per un bacino chiuso alla sezione del ponte di Via Caneva.

Lo studio Compagni del 1988 calcolava in 42,84 mc/sec la portata con tempo di ritorno  $Tr = 100$  anni e ricordava che l'Ufficio Idrografico del Po di Torino aveva determinato la portata di massima piena alla sezione posta all'incrocio tra la strada di Circonvallazione (Via Piccoli) e la Strada del Ghiaro Inferiore (in pratica al ponte vicino alla Scuola Media) in 38 mc/sec.

Lo studio Oria del 2006 indica per la somma dei due bacini del Rio San Pietro e del Rio Leonatto, entrambi chiusi al ponte di Via San Sebastiano le seguenti portate:

TR = 20 anni:  $Q = 16,57 + 3,01 = 19,58$  mc/sec

TR = 100 anni:  $Q = 21,34 + 3,87 = 25,21$  mc/sec

TR = 200 anni:  $Q = 23,38 + 4,24 = 27,62$  mc/sec

TR = 500 anni:  $Q = 26,07 + 4,72 = 30,79$  mc/sec

Entrambi gli studi fanno riferimento alla formula del Giandotti per il calcolo del tempo di corrivazione ed entrambi adottano per il coefficiente di deflusso il valore 0,3.

La sensibile differenza nel valore calcolato dipende dai parametri pluviometrici.

Per lo studio del 1988 sono stati adottati quelli derivanti dalla elaborazione dei dati relativi alla stazione pluviometrica di Cuornè.

Invece per lo studio del 2006 sono stati adottati quelli derivanti dalla normalizzazione a scala regionale effettuata nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", contenuta nel "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PAI) dell'Autorità di bacino del fiume PO, di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

Va comunque precisato che i livelli idrici calcolati dall'Ingegnere Oria sono stati poi incrementati del 30% per tener conto del trasporto solido.

Infine occorre ricordare gli studi geoidrologici posti a corredo dei vari P.R.G.C., in particolare della variante il cui progetto preliminare è stato adottato in data 12.12.2011.

In entrambi gli elaborati sono perimetrare le aree che al momento attuale risultano esondabili da parte del Rio San Pietro e che richiedono interventi di mitigazione.

Come già anticipato, gli studi geoidrologici preliminari alla redazione del P.R.G.C. hanno portato a inserire nelle mappe di piano la previsione di uno scolmatore del Rio San Pietro in una fascia ancora libera di territorio.

## **6 STUDIO IDRAULICO DEL RIO SAN PIETRO - ANALISI SITUAZIONE ATTUALE**

### **6.1 Premessa**

Al fine di valutare i possibili interventi da realizzare per migliorare i deflussi in alveo si è provveduto a studiare il comportamento del Rio San Pietro nelle condizioni attuali in funzione di portate transitive variabili. In questo modo si sono potuti definire i tratti che man mano vanno in crisi al crescere della portata defluente.

Per ricostruire un modello tridimensionale da inserire nel codice di calcolo, avente le caratteristiche geometriche dell'alveo, è stato eseguito un rilievo topografico del Rio San Pietro a partire da Via Cesare Battisti fino alla frazione Sant'Antonio.

Tutte le infrastrutture presenti lungo l'alveo che interferiscono con il deflusso della portata sono state rilevate e i dati raccolti sono riassunti nell'allegato 1 - "Opere d'arte".

Una volta definito il tratto di torrente in esame, con le rispettive sezioni, si è provveduto a verificare le predette opere con il codice di calcolo HEC-RAS in moto permanente monodimensionale considerando un range di portate variabili.

Desunti i punti critici si sono presi in considerazione i possibili interventi progettuali andando ad analizzare i pro e i contro di ogni soluzione.

### **6.2 Codice di calcolo HEC-RAS**

Lo studio idraulico del corso d'acqua tramite il modello numerico HEC-RAS è impostato in modo da definire ed evidenziare le portate che generano criticità idraulica ai manufatti presenti in alveo precisando le quote raggiunte dal pelo libero alle varie portate analizzate.

Il presente paragrafo è pertanto strutturato in modo tale da fornire chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Opportuni grafici provvedono a fornire una visione d'insieme dei risultati cui si è pervenuti.

Il modello è strutturato per calcolare i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non-prismatici.

Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce (o mista), possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

Il presente codice di calcolo consente, integrando le equazioni di De Saint Venant, di simulare condizioni di moto vario, con geometrie e portate variabili nel tempo, ma si ritiene, per il tratto in esame, sufficiente e cautelativo (assenza di laminazione dovuta alla propagazione dell'onda di piena) utilizzare simulazioni di moto permanente (geometrie variabili, ma portate costanti nel tempo).



Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;
- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$
$$h_e = L \cdot \bar{S} f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

- $WS_1, WS_2$  = quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo
- $V_1, V_2$  = velocità media
- $\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti energetici moltiplicativi della velocità
- $G$  = accelerazione gravitazionale

- $H_e$  = perdita di carico
- $L$  = distanza fra le sezioni trasversali
- $S_f$  = pendenza media
- $C$  = coefficiente di perdita per contrazione o espansione

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

Nel canale principale di deflusso la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso.

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con l'espressione che segue.

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove:

- $K$  = capacità di deflusso per unità elementare
- $n$  = coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare
- $a$  = area di deflusso dell'unità elementare
- $R$  = raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media,  $S_f$ , e della distanza  $L$  fra due sezioni trasversali consecutive.

I dati necessari affinché il modello possa eseguire la simulazione sono:

- tipo di corrente;
- condizioni al contorno;
- valore/i di portata;
- coefficienti rappresentativi delle perdite;
- geometria delle sezioni trasversali;
- distanze (golene e alveo principale) tra le sezioni trasversali.

Determinato il tipo di corrente, la quota iniziale del pelo libero, i valori di portata per cui occorre tracciare i profili di moto permanente, è necessario definire i valori di scabrezza.



Il modello utilizzato nelle elaborazioni consente molteplici soluzioni per definire la scabrezza delle singole sezioni trasversali, la qual cosa permette di ridurre moltissimo i margini di dubbio e incertezza legati all'individuazione di questo coefficiente particolarmente importante.

Oltre alle perdite di carico valutate attraverso il coefficiente "n" di Manning (perdite per attrito), è possibile valutare le perdite di transizione per allargamento o restringimento attraverso i coefficienti di espansione o contrazione, le perdite che si originano nell'attraversamento di ponti e tombini in seguito alla forma del manufatto, alla configurazione delle pile, al tipo di moto e alle condizioni di imbocco/sbocco.

### 6.3 Definizione della scabrezza

Come accennato in precedenza, il coefficiente di scabrezza può assumere diversi valori in una singola sezione trasversale, al fine di poter rappresentare realisticamente la morfologia della stessa. Oltre a definire un valore di scabrezza per ciascuna suddivisione (golene, alveo principale) è possibile definire la scabrezza in funzione della progressiva della singola sezione trasversale o in base alla quota raggiunta dal pelo libero.

Nella determinazione dei valori del parametro scabrezza si cerca di correlare quella che è la situazione appurata in "situ" del corso d'acqua con i risultati delle esperienze condotte dai ricercatori.

In particolare:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

dove:

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n <sub>0</sub>	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n <sub>1</sub>	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n <sub>2</sub>	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010 - 0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n <sub>3</sub>	0.000
	Modesto		0.010 - 0.015
	Apprezzabile		0.020 - 0.030
	Elevato		0.040 - 0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n <sub>4</sub>	0.005 - 0.010
	Medio		0.010 - 0.025
	Alto		0.025 - 0.050
	Molto alto		0.050 - 0.100

Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	m <sub>5</sub>	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

La tabella che segue presenta i valori di riferimento per i coefficienti di scabrezza, secondo le formule di Strickler e di Manning, riferiti alle situazioni tipiche dei corsi d'acqua naturali.

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
<b>CORSI D'ACQUA MINORI</b> (Raggio idraulico ~ 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
<b>Corsi d'acqua di pianura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ alvei con fondo compatto, senza irregolarità</li> <li>▪ alvei regolari con vegetazione erbacea</li> <li>▪ alvei con ciottoli e irregolarità modeste</li> <li>▪ alvei fortemente irregolari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 45-40</li> <li>▪ 30-35</li> <li>▪ 25-30</li> <li>▪ 25-15</li> </ul>
<b>Torrenti montani</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi</li> <li>▪ alveo in roccia regolare</li> <li>▪ fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi</li> <li>▪ alveo in roccia irregolare</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 30-25</li> <li>▪ 30-25</li> <li>▪ 20-15</li> <li>▪ 20-15</li> </ul>
<b>CORSI D'ACQUA MAGGIORI</b> (Raggio idraulico ~ 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa</li> <li>▪ sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa</li> <li>▪ sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea</li> <li>▪ in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 45-40</li> <li>▪ 35</li> <li>▪ 25-30</li> <li>▪ 20-25</li> </ul>
<b>AREE GOLENALI</b> (Raggio idraulico ~ 1 m)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ a pascolo, senza vegetazione arbustiva</li> <li>▪ coltivate</li> <li>▪ con vegetazione arbustiva spontanea</li> <li>▪ con vegetazione arborea coltivata</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 40-20</li> <li>▪ 50-20</li> <li>▪ 25-10</li> <li>▪ 30-20</li> </ul>
<b>Alveo artificiale in terra</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ materiale compatto, liscio</li> <li>▪ sabbia compatta, con argilla o pietrisco</li> <li>▪ sabbia e ghiaia, scarpata lastricata</li> <li>▪ ghiaietto 10-30 mm</li> <li>▪ ghiaia media 20-60 mm</li> <li>▪ ghiaia grossa 50-150 mm</li> <li>▪ limo in zolle</li> <li>▪ grosse pietre</li> <li>▪ sabbia, limo o ghiaia, con rivestimento vegetale</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 60</li> <li>▪ 50</li> <li>▪ 50-45</li> <li>▪ 45</li> <li>▪ 40</li> <li>▪ 35</li> <li>▪ 30</li> <li>▪ 30-25</li> <li>▪ 25-20</li> </ul>



<b>Alveo artificiale in roccia</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ con lavorazione accurata</li> <li>▪ con lavorazione media</li> <li>▪ con lavorazione grossolana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 30-25</li> <li>▪ 25-20</li> <li>▪ 20-15</li> </ul>
<b>Alveo artificiale in muratura</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ muratura in pietra da taglio</li> <li>▪ muratura accurata in pietra da cava</li> <li>▪ muratura normale in pietra da cava</li> <li>▪ pietre grossolanamente squadrate</li> <li>▪ scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 80-70</li> <li>▪ 70</li> <li>▪ 60</li> <li>▪ 50</li> <li>▪ 50-45</li> </ul>
<b>Alveo artificiale in calcestruzzo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ pavimentazione in cemento</li> <li>▪ calcestruzzo con casseforme metalliche</li> <li>▪ calcestruzzo con intonaco</li> <li>▪ calcestruzzo liscio</li> <li>▪ intonaco di cemento intatto</li> <li>▪ calcestruzzo con casseforme in legno, senza intonaco</li> <li>▪ calcestruzzo costipato, superficie liscia</li> <li>▪ calcestruzzo vecchio, superficie pulita</li> <li>▪ rivestimento in calcestruzzo ruvido</li> <li>▪ superfici irregolari in calcestruzzo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 100</li> <li>▪ 100-90</li> <li>▪ 95-90</li> <li>▪ 90</li> <li>▪ 90-80</li> <li>▪ 70-65</li> <li>▪ 65-60</li> <li>▪ 60</li> <li>▪ 55</li> <li>▪ 50</li> </ul>

Si riassumono ora i valori di scabrezza ( $n$  di Manning e  $K_s$  di Strickler) utilizzati per la simulazione:

- Fondo alveo (naturale)       $n = 0,025$        $K_s = 40$
- Fondo alveo (suolatura)       $n = 0,020$        $K_s = 50$
- Fondo alveo (c.a.)       $n = 0,0166$        $K_s = 60$
- Sponde (naturali)       $n = 0,06$        $K_s = 16.67$
- Sponde (scogliera)       $n = 0,02$        $K_s = 50$
- Sponde (c.a.)       $n = 0,0166$        $K_s = 60$

## 6.4 Condizioni al contorno

- Condizione di monte:      Pendenza del fondo 0,44%;
- Condizione di valle:      Pendenza del fondo 0,46%;

## 6.5 Portata idraulica

Le portate considerate sono variabili tra 5 e 40 m<sup>3</sup>/s.

In particolare si sono condotte le simulazioni con: 5, 10, 15, 20, 22, 24, 30 e 40 m<sup>3</sup>/s.

I valori di portata assunti derivano da un procedimento iterativo dove, nelle n simulazioni condotte, si sono incrementate le portate di un determinato valore  $\Delta q$  al fine di evidenziare quali sono i tratti che man mano vanno in crisi al crescere dei deflussi.

Il  $\Delta q$  utilizzato in ogni ciclo di calcolo è dunque variabile e dettato dal fatto che, nella simulazione n+1-esima emergano i tratti che vanno in crisi rispetto alla simulazione n-esima.

## 6.6 Conclusioni

Come si vedrà meglio in seguito al capitolo 9 “Analisi di un caso reale: evento del 13/07/2011”, il modello idraulico è stato “tarato” sulla base delle testimonianze documentali dell’evento del 13.07.2011 e sono quindi da considerare attendibili i risultati ottenuti nelle simulazioni condotte con i vari valori di portata (10, 15, 20, 22, 24, 30 e 40 mc/sec).

In sintesi, risulta che nelle condizioni attuali:

- la portata massima per cui non ci sono problemi di esondazione è pari a 10 m<sup>3</sup>/s;
- che per portate fino a 22 mc/sec le criticità riguardano solo la zona di Sant’Antonio;
- che a 24 mc/sec cominciano a essere interessati da criticità alcuni ponti del concentrico, senza ancora coinvolgere le sponde con fenomeni di rigurgito (quindi il deflusso potrebbe essere ancora accettabile);
- a 30 mc/sec e oltre sono insufficienti le sezioni d’alveo di lunghi tratti del Rio San Pietro e le luci di quasi tutti i ponti.



---

## 7 IPOTESI DI PROGETTO

### 7.1 Premessa

Come anticipato nel paragrafo 1, l'Amministrazione Comunale ha dato corso all'iter di approvazione di una variante al P.R.G.C. recante già sulla cartografia l'indicazione di un canale scolmatore delle portate di piena su una fascia di terreno ancora libera da costruzioni.

Si è anticipato anche che lo studio provvederà a sviluppare in modo più approfondito l'ipotesi dello scolmatore tracciato sulle planimetrie di P.R.G.C., senza tuttavia rinunciare all'indicazione di altre soluzioni idonee.

Dal punto di vista qualitativo, si individuano le seguenti possibili ipotesi di intervento per evitare future esondazioni nel tratto urbano del Rio San Pietro:

1. adeguamento della geometria delle sezioni attuali del Rio San Pietro per aumentarne la capacità idraulica, con allargamenti, incremento delle altezze delle difese spondali, riprofilatura del fondo e ricostruzione di vari ponti;
2. costruzione di canali scolmatori per le portate che eccedono la capacità idraulica dell'alveo attuale, alleggerendo quindi il tratto urbano.

In particolare si individuano tre possibilità per l'eventuale canale scolmatore:

- 2.1. l'ipotesi di P.R.G.C., con canale scolmatore che intercetta il Rio San Pietro a valle della confluenza con il Rio Valgrand e convoglia la portata scolmata direttamente nel Torrente Orco;
- 2.2. realizzazione di un canale scolmatore che intercetta il Rio San Pietro a monte della confluenza con il Rio Valgrand e convoglia la portata scolmata direttamente nel Torrente Orco.
- 2.3. realizzazione di una condotta sotterranea a sezione rettangolare formata da elementi scatolari in c.a. che intercetta il Rio San Pietro in corrispondenza della Strada Provinciale n. 59 (Via Barengo), percorre detta via e poi Via Piccoli fino al ponte che si trova a Sud della Scuola Media Cresto;

Le soluzioni di cui ai punti 2.2 e 2.3 richiedono di estendere lo studio idrologico a due particolari sottobacini del Rio San Pietro.

Nei paragrafi che seguono le soluzioni verranno analizzate dal punto di vista qualitativo evidenziando per ognuna di esse la fattibilità, i limiti e i miglioramenti apportati alla situazione esistente.

## 7.2 Ipotesi 1

L'ipotesi 1 consiste nella sistemazione dei tratti che presentano criticità dal punto di vista idraulico, con modifica della geometria dell'alveo: pendenza, larghezza, altezza delle sponde e scabrezza al fine di migliorare la capacità di deflusso.

Questa ipotesi di intervento contiene le difficoltà tipiche dell'operare in ambito urbano e pesanti vincoli dati dalla presenza di numerosi ponti e dalla particolare conformazione della viabilità esistente che in molti casi non permette di effettuare per intero le modifiche atte a migliorare la capacità idraulica delle sezioni.

La conoscenza puntuale dei costi da sostenere, che in prima approssimazione si prevedono assai elevati, richiede indagini supplementari sulle possibilità di risolvere le interferenze con le reti dei sottoservizi (fognatura, acquedotto, gas metano, elettrodotti, canali irrigui, etc), sia per quanto riguarda i ponti che per quanto riguarda le strade che costeggiano l'alveo.

Si fa notare poi che, come è emerso dal capitolo 6 "Studio idraulico del Rio San Pietro, Analisi della situazione attuale", i tratti da sistemare per ottenere una capacità di deflusso adeguata sono molto estesi e quindi sono attesi costi elevati di intervento.

In sintesi, riassumendo l'ipotesi 1 presenta i seguenti svantaggi:

- difficoltà di gestione e costi elevati trattandosi di ambito urbano;
- vincoli nella portata di progetto che derivano dalla situazione esistente non modificabile a piacere.

## 7.3 Ipotesi 2.1

L'ipotesi 2.1 è quella prevista dal P.R.G.C. e consiste in un canale scolmatore che intercetta il Rio San Pietro a valle della confluenza con il Rio Valgrand e convoglia la portata scolmata direttamente nel Torrente Orco.

Presenta i seguenti vantaggi:

- riduce a un valore prestabilito la portata scorrente nel tratto urbano, limitando fortemente le esigenze di una sua sistemazione a pochissimi tratti o infrastrutture;
- la realizzazione dell'opera non interessa l'ambito urbano ma zone agricole libere;
- le caratteristiche del territorio non pongono vincoli di portata al dimensionamento dello scolmatore;
- il canale scolmatore intercetta il Rio San Pietro dove è massima la portata entrante nel tratto urbano, in quanto sono presenti gli apporti di tutti gli affluenti con esclusione del solo Rio Leonatto;

Gli svantaggi, mitigabili con un attenta progettazione, sono i seguenti:



- 
- vengono sottratte all'uso agricolo le aree necessarie alla realizzazione del canale;
  - si aggiunge al patrimonio pubblico un'opera che richiede interventi di manutenzione. .

Con la realizzazione di una canalizzazione interrata questi svantaggi decadono, restando quale svantaggio la sola manutenzione che sarebbe necessaria qualsiasi opera venisse realizzata.

## **7.4 Ipotesi 2.2**

L'ipotesi 2.2 consiste nella realizzazione di un canale scolmatore che intercetta il Rio San Pietro a monte della confluenza con il Rio Valgrand e convoglia la portata scolmata direttamente nel Torrente Orco.

E' alternativa all'ipotesi 2.1 di cui ricalca lo schema, contenendo gli stessi svantaggi (seppure con una lunghezza leggermente superiore) ma vantaggi meno consistenti in quanto la portata scolmabile è minore salvo che non si prosegua il canale a intercettare anche il Rio Valgrand.

## **7.5 Ipotesi 2.3**

L'ipotesi 2.3 consiste nella realizzazione di una condotta sotterranea a sezione rettangolare formata da elementi scatolari in c.a. che intercetta il Rio San Pietro in corrispondenza della Strada Provinciale n. 59 (Via Barengo) e percorre detta via e poi Via Piccoli fino al ponte che si trova a Sud della Scuola Media Cresto. Quest'ipotesi ha il vantaggio di non occupare terreni agricoli ma presenta i seguenti svantaggi:

- interviene in ambito urbano, seppure con minori vincoli che nell'ipotesi 1, ma con l'aggravamento dell'utilizzo del sedime di una strada provinciale;
- sono ancora notevoli le interferenze con i sottoservizi;
- presenta vincoli nella portata di progetto;
- trattandosi di condotta sotterranea la manutenzione sarebbe più impegnativa;
- è ridotto lo spazio per la realizzazione dei manufatti di presa e di restituzione;
- non viene migliorata la situazione nella Frazione Sant'Antonio dove resterebbero da eseguire opere di sistemazione aggiuntive non trascurabili.

## 8 IDROLOGIA DEL RIO SAN PIETRO

### 8.1 Premessa

Al fine di valutare la portata da scolare, si è studiato il bacino del Rio San Pietro considerando tre differenti sezioni di chiusura:

- Bacino chiuso al ponte 8  
(sezione baricentrica rispetto all'area oggetto di studio e localizzata esattamente a monte di via Ex Internati, tratto in cui nell'evento del 13 luglio 2011 si sono avuti i maggiori danni);
- Bacino chiuso all'imbocco del canale scolmatore tracciato A  
(ipotesi di progetto 2.1);
- Bacino chiuso all'imbocco del canale scolmatore tracciato B  
(ipotesi di progetto 2.2).

### 8.2 Elaborazione statistiche dei dati pluviometrici

L'elaborazione dei dati pluviometrici forniti da una stazione di misura delle piogge si svolge ricavando la relazione esistente tra l'altezza  $h$  delle precipitazioni e le loro durate  $t$ . Risulta però necessario, affinché le elaborazioni siano attendibili, che il periodo di osservazione sia sufficientemente ampio; perché l'elaborazione possa avere un minimo di fondamento, è consigliabile l'utilizzo di un periodo non inferiore a 40-45 anni.

I dati pluviometrici rappresentano una serie cui si può fornire un significato statistico. Una serie completa può ad esempio essere costituita da tutte le precipitazioni di durata oraria registrate in un lungo periodo.

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

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

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

Le curve che si deducono sono generalmente denominate curve di possibilità climatica o pluviometrica. Per costruire le equazioni relative ad un'assegnata stazione si utilizzano i dati che si estraggono dagli Annali idrologici.

Una serie completa relativa ad una determinata stazione è costituita, per esempio, da tutte quelle precipitazioni di durata oraria registrate in un lungo periodo.

Gli elementi raccolti vengono ordinati, per le varie durate, in senso decrescente, ottenendo una matrice con un numero di colonne pari a quello delle durate considerate ed un numero di righe uguale a quello degli anni di osservazione.



Se si rappresentano nel piano (h,t) gli elementi della prima riga della matrice, unendo i punti così definiti, si ha una linea spezzata, che si può involuppare con una curva. Detta curva involuppo fornisce, per ogni durata t, il massimo valore h assegnabile al periodo esaminato, il quale può essere ritenuto rappresentativo quando la serie di valori elaborati sia estesa a sufficienza.

La curva è matematicamente definibile a mezzo di una equazione che, scritta in forma logaritmica diventa:

$$\log h = \log a + n \log t$$

e mostra la possibilità di dare luogo, nel piano bilogaritmico, alla rappresentazione del legame funzionale secondo una retta avente coefficiente angolare n ed intercetta all'origine (dove è t = 1) pari ad a.

Bisogna notare come per un'assegnata frequenza probabile che dia la misura della rarità dell'evento, decrescendo l'intensità i della precipitazione con la durata t, n è sempre inferiore ad 1 e si ha:

$$h / t = a \cdot t^{-n}$$

### 8.3 Analisi statistiche

Le equazioni dei casi critici, pur fornendo informazioni d'interesse sul carattere degli eventi, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento col valore della sua frequenza probabile: cioè, a causa delle ridotte dimensioni dei campioni non è possibile valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi.

Quando si voglia indagare in modo più accurato intorno a questo aspetto, disponendo di una lunga serie di osservazioni, si può determinare quale sia il periodo di anni (tempo di ritorno  $T_r$ ) nel quale, mediamente, un determinato evento sia eguagliato o superato, ricordando che esso non rappresenta una scadenza fissa per il prodursi di un evento, ma solo la probabilità che esso si verifichi mediamente una volta nel periodo considerato.

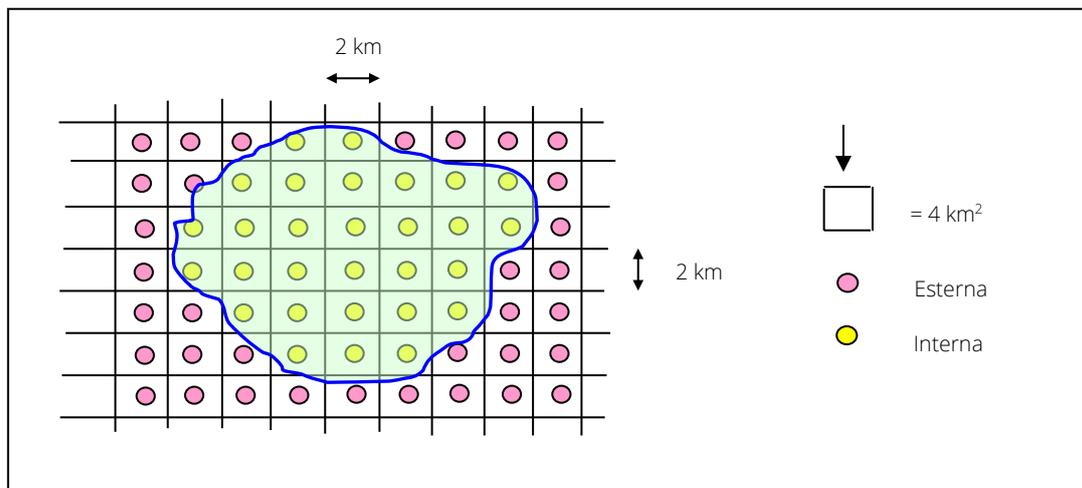
I procedimenti usati, con appropriate elaborazioni dei dati disponibili, consentono di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo d'osservazione, con un'attendibilità che però va riducendosi all'aumentare del tempo di ritorno, in rapporto specialmente all'estensione del periodo di osservazione. L'analisi viene comunemente svolta avvalendosi di metodi statistico-probabilistici, Gumbel, denominato anche EVI (Extreme Value I).

Le indagini di carattere idraulico condotte sono state effettuate con riferimento ai risultati degli studi preposti nell'ambito del PAI (Progetto di Piano stralcio per l'assetto Idrogeologico) ed in particolare nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", contenuta nel "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PAI) dell'Autorità di bacino del fiume PO, di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter, adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001. Si ritiene opportuno seguire le istruzioni particolari contenute nella citata Direttiva che recita:

"Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata condotta un'interpolazione spaziale con il metodo di kriging dei parametri  $a$  e  $n$  delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato".

Sovrapponendo la griglia con maglie quadrate di 2 km di lato al bacino digitalizzato è stato possibile risalire alle relative caratteristiche pluviometriche senza più la necessità di ragguagliare i dati di pioggia con i metodi tradizionali.

Nella figura sottostante è rappresentato lo schema utilizzato per la determinazione dei succitati parametri



Si fa presente che i bacini considerati non sono contenuti all'interno di un'unica cella di 2 km di lato bensì in più celle contigue ed in percentuale diversa. Tenuto conto di ciò si è pensato di procedere alla determinazione dei parametri  $a$  e  $n$  attraverso una media ponderata che tenga conto della percentuale di area di bacino contenuta entro tali celle.

Le relazioni utilizzate per la determinazione dei coefficienti  $a$  e  $n$  sono le seguenti :

$$a = \sum \frac{A_{\text{Cella}}}{A_{\text{Totale}}} \cdot a_{\text{Cella}} \qquad n = \sum \frac{A_{\text{Cella}}}{A_{\text{Totale}}} \cdot n_{\text{Cella}}$$

dove:

- $A_{\text{Totale}}$  area totale del bacino considerato;
- $A_{\text{Cella}}$  area del bacino contenuto nella cella di 2 km di lato considerata;
- $a_{\text{Cella}}$  altezza di pioggia per la durata di un ora della cella esima;
- $n_{\text{Cella}}$  esponente della cella esima;
- $a$  altezza di pioggia per la durata di un ora stimato per la trattazione idrologica;
- $n$  esponente considerato per la trattazione idrologica.



I bacini in esame sono contenuti nelle seguenti celle:

		Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
AW 85	a	55.71	71.89	78.8	87.92
	n	0.357	0.352	0.35	0.349
AW 86	a	55.88	72.18	79.13	88.31
	n	0.345	0.339	0.337	0.336
AR 87	a	55.74	71.98	78.92	88.07
	n	0.339	0.334	0.332	0.33
AX 85	a	54.74	70.67	77.48	86.47
	n	0.348	0.343	0.341	0.34
AX 86	a	55	71.02	77.48	86.47
	n	0.338	0.332	0.341	0.34
AX 87	a	54.94	70.94	77.77	86.79
	n	0.332	0.326	0.324	0.322

I valori ottenuti, applicando il metodo descritto in precedenza sono i seguenti:

- Bacino Ponte 8:

Parametro	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a	55.59	71.79	78.71	87.84
n	0.34	0.34	0.33	0.33

- Bacino Scolmatore A:

Parametro	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a	55.77	72.02	78.96	88.13
n	0.34	0.34	0.34	0.33

- Bacino Scolmatore B:

Parametro	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a	55.79	72.05	78.99	88.15
n	0.34	0.34	0.33	0.33

## 8.4 Raggiungimento dei dati di pioggia al bacino in questione

Allo stato attuale non esiste una trattazione rigorosa per passare dal valore di  $h$  (altezza di precipitazione ricavata dalla relazione  $h=a \cdot t^n$ ) a quello di  $h'$  (altezza di precipitazione raggiunta al bacino).

Le relazioni empiriche sono utilizzate per estendere la validità dell'equazione  $h=a \cdot t^n$  ad un'area più ampia di quella posta nell'intorno della stazione di misura utilizzata per dedurre l'equazione stessa. La

grandezza  $a$  e l'esponente  $n$  possono, infatti, assumere valori un poco diversi da quelli calcolati per porre in conto l'effetto dell'aumento della superficie scolante  $S$ .

Le relazioni empiriche seguenti, dovute a Puppini, interpretano la nota osservazione secondo la quale l'intensità media ragguagliata di una pioggia si riduce all'aumentare dell'area  $S$  del comprensorio o del bacino considerato: con la riserva ovvia che i risultati siano da utilizzare solamente come indicazioni.

$$a' = a \cdot \left[ 1 - 0,052 \frac{S}{100} + 0,002 \left( \frac{S}{100} \right)^2 \right] = a \cdot f_1(S)$$

$$n' = n + 0,0175 \frac{S}{100} = n + f_2(S)$$

Si riportano ora nella tabella seguente i diversi valori di  $[a']$  ed  $[n']$  per i vari tempi di ritorno distinguendo per i vari bacini.

- Bacino Ponte 8:

	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a Pai 2001	55.59	71.79	78.71	87.84
n Pai 2001	0.34	0.34	0.33	0.33
a'	55.42	71.57	78.46	87.56
n'	0.34	0.34	0.33	0.33

- Bacino Scolmatore A:

	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a Pai 2001	55.77	72.02	78.96	88.12
n Pai 2001	0.34	0.34	0.34	0.33
a'	54.63	71.85	78.77	87.91
n'	0.34	0.34	0.34	0.34

- Bacino Scolmatore B:

	Tr 20	Tr 100	Tr 200	Tr 500
a Pai 2001	55.79	72.05	78.99	88.15
n Pai 2001	0.34	0.34	0.33	0.33
a'	55.75	72.00	78.94	88.09
n'	0.34	0.34	0.33	0.33



## 8.5 Aspetti idrologici e determinazione delle portate di piena

Nello studio dei fenomeni connessi a eventi pluviometrici è importante la conoscenza della portata liquida dei corsi d'acqua, in particolare delle massime portate che possono verificarsi in un determinato arco di tempo pari al tempo di ritorno.

Al fine di condurre uno studio il più completo possibile è anche indispensabile una valutazione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino in esame.

Allo scopo di determinare tali parametri è necessario in primo luogo uno studio dettagliato, per quanto possibile, delle caratteristiche fisiche del bacino stesso.

## 8.6 Caratteristiche fisiche del bacino

### *Determinazione dell'area del bacino*

Il bacino idrografico o bacino tributario apparente è definito come l' entità geografica costituita dalla proiezione su un piano orizzontale della superficie scolante sottesa alla sezione trasversale fissata. Il bacino idrografico viene definito come il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore. In altri termini il bacino idrografico è l' unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali, originati dalle precipitazioni che si abbattano sul bacino stesso, che trovano recapito nel corso d' acqua naturale e nei suoi diversi affluenti. La definizione del bacino idrografico in termini di estensione areale, conseguente alla sua delimitazione, è condizionata dall' individuazione della sua sezione terminale o di chiusura. Se la sezione di chiusura coincide con la foce allo sbocco a mare, il bacino viene denominato principale. Se invece la sezione di chiusura è una qualunque sezione fluviale posta a monte della foce, il bacino ad essa sotteso viene denominato secondario o sottobacino.

Dopo aver tracciato la linea di spartiacque che delimita il bacino analizzato si è potuto rilevare il valore dell'area dei bacini analizzati.

- Bacino Ponte 8: Sup. = 6,06 km<sup>2</sup>
- Bacino Scolmatore A Sup. = 4,63 km<sup>2</sup>
- Bacino Scolmatore B: Sup. = 1,28 km<sup>2</sup>

### *Quota media del bacino e curva ipsometrica*

La quota media del bacino costituisce la media delle quote rappresentative del bacino stesso.

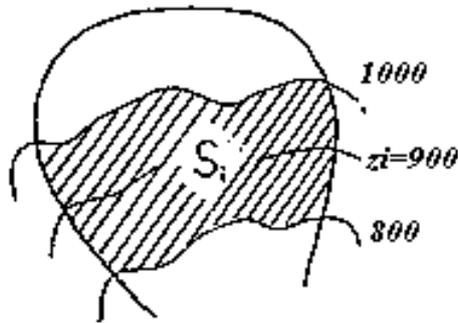
$$H_m = \frac{\sum (z_i \cdot S_i)}{S}$$

dove:

- H<sub>m</sub> quota media del bacino;
- Z<sub>i</sub> quota media di ciascuna superficie compresa tra due curve di livello, riferite al livello medio del mare;

- $S_i$  superficie compresa tra due curve di livello consecutive;
- $S$  superficie totale del bacino.

L'area  $S_i$  compresa tra due curve di livello costituisce il "peso" della quota  $z_i$  rappresentativa della superficie stessa ed è rappresentata nella figura che segue.



Per i bacini analizzati si sono rilevati i seguenti valori:

- Bacino Ponte 8: Hm = 434.5 m
- Bacino Scolmatore A Hm = 452 m
- Bacino Scolmatore B: Hm = 414 m

Al fine di mettere in evidenza il rapporto tra quota e relativa superficie, è utile costruire la curva ipsometrica che illustra l'andamento dello sviluppo superficiale rispetto alla quota.

Sull'asse delle ascisse sono riportate le superfici cumulate espresse in  $\text{km}^2$  e sulle ordinate le quote medie tra due curve di livello successive espresse in metri: ad ogni quota viene fatta corrispondere la somma delle superfici parziali che si collocano ad una quota maggiore o uguale a quella assegnata.

L'andamento di tale curva è indice dell'evoluzione del bacino, infatti una accentuata convessità rivela un bacino in uno stadio giovanile, ancora in fase di erosione, invece concavità e convessità si equivalgono in un bacino in uno stadio di equilibrio.

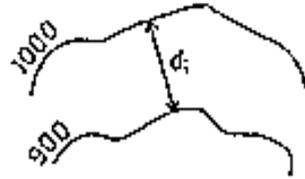
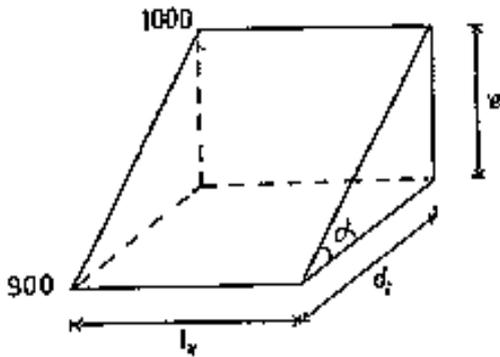
### *Pendenza media dei versanti*

Al fine di una migliore caratterizzazione dei bacini è necessaria la determinazione della pendenza media dei versanti. Poiché essa influenza notevolmente il ruscellamento superficiale, risulta essere uno dei parametri fondamentali per il calcolo del tempo di corrivazione in molte formule empiriche.

La pendenza media dei versanti ( $i_m$ ) si può considerare data dal rapporto tra le due superfici ortogonali: la prima, verticale, data dalla sommatoria delle lunghezze ( $l_k$ ) delle curve di livello per l'equidistanza ( $e$ ) tra le stesse; la seconda, orizzontale, data dalla sommatoria delle superfici comprese fra le isoipse consecutive, cioè dalla superficie planimetrica totale del bacino ( $S$ ).



$$\operatorname{tg} \alpha_m = i_m = \frac{e \cdot \Sigma l_k}{S}$$



Per i bacini analizzati si sono rilevati i seguenti valori:

- Bacino Ponte 8:  $i_m = 21,13 \%$
- Bacino Scolmatore A:  $i_m = 27,12 \%$
- Bacino Scolmatore B:  $i_m = 19,10 \%$

#### *Profilo e pendenza media dell'asta torrentizia*

Per descrivere l'andamento di un torrente valutare la variabilità della pendenza dell'asta nei vari tratti, è indispensabile tracciarne una sezione longitudinale, cioè il profilo longitudinale.

Note le pendenze dei singoli tratti è quindi possibile calcolare la pendenza media dell'asta torrentizia attraverso la formula:

$$\sqrt{i_a} = \frac{L}{\Sigma(l_k / \sqrt{i_k})}$$

dove:

- L = lunghezza totale dell'asta
- $l_k$  = lunghezza del tratto compreso tra due successive curve di livello
- $i_k$  = pendenza del tratto compreso tra due successive curve di livello .

Per i bacini analizzati si sono rilevati i seguenti valori:

- Bacino Ponte 8:  $i_m = 2,56 \%$
- Bacino Scolmatore A:  $i_m = 3,73 \%$
- Bacino Scolmatore B:  $i_m = 4,19 \%$

## 8.7 Tempo di corrivazione

Per meglio caratterizzare un bacino dal punto di vista idraulico, si definisce il tempo di corrivazione  $T_c$ . Tale parametro, che è funzione delle caratteristiche morfometriche del bacino stesso, rappresenta il tempo impiegato dalla goccia d'acqua caduta nel punto del bacino idraulicamente più distante dalla sezione di chiusura  $H_0$ , per raggiungere la sezione stessa.

I valori delle massime intensità di pioggia, come è noto decrescono al crescere della durata ( $t$ ). Ciò comporta, in un piccolo bacino, che le precipitazioni più pericolose, in termini di contributi degli eventi di piena, siano quelle la cui durata "t" sia relativamente breve, ma sufficientemente elevata da permettere il contemporaneo apporto di tutta la superficie scolante considerata, cioè le piogge di durata pari al tempo di corrivazione. E' dunque evidente l'importanza di tale parametro al fine di stabilire una correlazione tra gli eventi di piena e le precipitazioni che contribuiscono ad innescarli.

In letteratura esistono numerose formule empiriche per valutare il tempo di corrivazione. In questa sede sono state utilizzate le formule proposte da Giandotti, Pezzoli, Pugliesi, Ventura, Turazza.

Di seguito si riportano le formule utilizzate :

GIANDOTTI	$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$
PEZZOLI	$T_c = \frac{0,055 \cdot L}{\sqrt{i}}$
PUGLISI	$T_c = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{\max} - H_0)^{-1/3}$
VENTURA	$T_c = 0,1272 \cdot \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$
TURAZZA	$T_c = 1,085 \cdot \sqrt{S}$

dove:

- S = superficie totale del bacino imbrifero sotteso [km<sup>2</sup>];
- Hmax = quota massima del bacino [m s.l.m.];
- Hm = quota media del bacino [m s.l.m.];
- H0 = quota sezione di chiusura del bacino [m s.l.m.];
- L = lunghezza dell'asta principale [km];
- i = pendenza media dell'asta principale;
- iv = pendenza media dei versanti.

La formula di Giandotti risulta sicuramente quella più utilizzata ed è considerata molto valida per l'asta principale di fiumi e di torrenti, con bacini medio grandi, aventi pendenze buone, ma non elevatissime



(1,5 – 5 %): la formula di Pezzoli è adatta per valli laterali alpine piccolissime (5-50 km<sup>2</sup>), con forti pendenze (> 6 %); le formule proposte da Puglisi, Ventura e Turazza si adattano molto bene alle reti di bonifica.

Per i bacini analizzati, utilizzando tali relazioni, si sono ottenuti i valori riportati in tabella.

Tc [ore]	Ponte 8	Scolmatore A	Scolmatore B
Giandotti	2,27	1,84	1,34
Pezzoli	1,77	1,19	0,71
Puglisi	2,39	2,09	2,04
Ventura	1,96	1,42	0,70
Turazza	2,67	2,33	1,23

Da cui, essendo i valori paragonabili tra di loro si è proceduto al calcolo del valore medio.

Tc [ore]	Ponte 8	Scolmatore A	Scolmatore B
Medio	2,21	1,77	1,20

## 8.8 Calcolo della portata di massima piena

In mancanza di misurazioni dirette delle portate del torrente oggetto dello studio, dalle quali sia possibile valutare, in termini probabilistici, i massimi valori che possono verificarsi in un determinato arco di tempo, pari al tempo di ritorno  $T_r$ , si può procedere al calcolo delle portate di massima piena. Questo calcolo è stato eseguito mediante metodi indiretti che tengono conto degli elementi che influiscono sui fenomeni degli idrogrammi di piena quali la superficie del bacino, l'altezza delle precipitazioni intense registrate ai pluviografi in vicine stazioni meteorologiche, la pendenza media dei versanti, il coefficiente di corrivazione, il coefficiente di deflusso.

Il legame funzionale tra i valori della portata massima  $Q_{max}$  e  $T_r$  è rappresentato da una funzione monotona, cioè all'aumentare di  $T_r$ , aumenta  $Q_{max}$ . La circostanza che  $dQ_{max} / dT_r$  decresca all'aumentare di  $T_r$  – cioè  $Q_{max}$  cresca con minore rapidità di  $T_r$  – non accredita, però, valori di  $Q_{max}$  oltre certi limiti di natura fisica. Premesso tutto ciò i calcoli effettuati in questo studio sono stati effettuati anche per periodi di ritorno di 500 anni, solamente per tentare di dare un vago ordine di grandezza al manifestarsi di un tale evento.

Fra i metodi in uso vi sono quelli razionali e quelli empirici. I primi tengono conto di tutte le caratteristiche del bacino sopra elencate e che non sono comunque sempre di facile ed immediato utilizzo a causa della difficoltà nel ricercare alcuni coefficienti per la mancanza di dati statistici; i secondi tengono conto di uno solo o pochi elementi (es. superficie del bacino) e con i quali tuttavia, a volte, si ottengono gli stessi risultati che si raggiungono con i metodi razionali.

In questa sede è stato applicato il metodo razionale cinematico che si basa sulle seguenti ipotesi:

- la formazione della piena è dovuta unicamente a un fenomeno di trasferimento della massa liquida;
- ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui essa è caduta;
- la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse scorre indipendentemente dalle altre;
- la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura.

Il metodo cinematico calcola la portata di massima piena come:

$$Q_{\max} = C \cdot \frac{P_t \cdot S_b}{3,6 \cdot T_c}$$

dove:

- C coefficiente di deflusso;
- Pt altezza di pioggia critica di durata uguale al Tc [mm];
- Sb superficie del bacino [km<sup>2</sup>];
- Tc tempo di corrivazione [ore].

Tutte le grandezze sono espresse in unità di misura coerenti.

L'altezza di pioggia critica Pt, di durata uguale al tempo di corrivazione Tc, si ricava dalle curve di possibilità climatica, di equazioni  $h=a' \cdot t_n^{n'}$ , i cui parametri a' ed n', diversi per ogni tempo di ritorno Tr, sono stati ottenuti mediante elaborazione statistiche e ragguagliati al bacino in esame con il metodo di Puppini.

Il coefficiente di deflusso C varia in funzione della diversa copertura vegetale e della permeabilità del terreno ed in funzione diretta della pendenza media dei versanti.

Molto difficoltosa risulta la stima di tale parametro; per fare ciò si è fatto riferimento alle indicazioni riportate sul Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Norme di attuazione – adottate con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

Esso facendo riferimento ai Coefficienti di Deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, propone:



<i>Caratteristiche del bacino</i>	<i>Coeff. Deflusso</i>	
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc...)	0.70 – 0.95	
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0.05 – 0.10	
Suoli sabbiosi a media pendenza (2%-7%)	0.10 – 0.15	
Suoli sabbiosi a elevata pendenza (7%)	0.15 – 0.20	
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0.13 – 0.17	
Suoli argillosi a media pendenza (2%-7%)	0.18 – 0.22	
Suoli argillosi a elevata pendenza (7%)	0.25 – 0.35	
<i>Tipo di suolo</i>	<i>c</i>	
	<i>Uso del suolo</i>	
	<i>Coltivato</i>	<i>Bosco</i>
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

Pur essendo doveroso riferirsi alle indicazioni del PAI, si fa presente che altre formulazioni dei coefficienti di deflusso presenti nella vasta letteratura e pratica tecnica in argomento portano a considerare valori assai più elevati, addirittura prossimi all'unità (suolo totalmente impermeabile e deflusso totale della pioggia verso la rete idrografica).

Mentre le indicazioni del PAI hanno il pregio di consentire una omogeneizzazione degli interventi, senza che sia possibile sovrastimare, con le conseguenti ricadute economiche, le previsioni per ambiti limitati, nello stesso tempo appaiono avere il limite di non tenere conto di situazioni particolari come quella che forse si è verificata nel bacino in esame, dove una pioggia di forte intensità si è verificata seguendo in via ravvicinata altri eventi che hanno provveduto a imbibire il terreno e le sue coperture vegetali.

Per tale motivo si sono assunti i valori unitari più elevati tra quelli della scala proposta e con essi si è calcolata la media ponderale in base alle caratteristiche delle superfici esistenti.

Per i bacini analizzati si sono rilevati i seguenti valori:

- Bacino Ponte 8: C = 0,38
- Bacino Scolmatore A C = 0,33

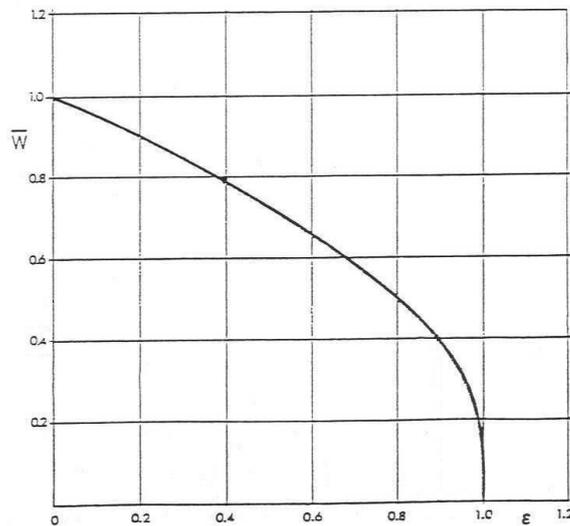
- Bacino Scolmatore B: C = 0,33

In realtà però la portata Qmax sarà più piccola a causa della laminazione esercitata dalle capacità naturali ed artificiali presenti nel bacino. Per tener conto di ciò l'espressione relativa alla determinazione di Qmax deve essere moltiplicata per un coefficiente  $\epsilon < 1$  - coefficiente di laminazione - che dipende dalle caratteristiche fisiche del bacino (superficie, pendenza dei versanti, sviluppo della rete idrografica, natura dei terreni, ecc...).

Si scriverà quindi (cfr. "Appunti di Idrologia - LE PIENE FLUVIALI di Ugo MAIONE"):

$$Q_{\max} = C \cdot \frac{P_t \cdot S_b}{3,6 \cdot T_c} \cdot \epsilon$$

il coefficiente di laminazione può essere valutato graficamente mediante il diagramma che segue.



Per quanto riguarda il calcolo del parametro  $W = [W^*/hS]$  che rappresenta il rapporto tra il volume di pioggia netta e l'invaso massimo  $W^*$  del bacino si può utilizzare l'ipotesi di Giandotti secondo cui il volume d'acqua massimo invasato risulta pari all'area triangolare rappresentativa della fase di esaurimento del fenomeno e per tanto il parametro W varrà:

$$W = [(n-1)/n]$$

con i valori n suggeriti da Giandotti e riportati nella seguente tabella con i relativi coefficienti di laminazione ottenuti.



Superficie km <sup>2</sup>	n	ε
< 300	4	0,46
300 – 500	4,5	0,41
500 – 1000	5,0	0,38
1000 – 8000	5,5	0,35
8000 – 20000	6,0	0,33

Per bacini impermeabili di estensione modeste (dell'ordine dei 100 km<sup>2</sup>) si può ammettere che le onde di piena siano simmetriche rispetto al colmo. Il parametro  $W$  sarà pertanto pari a 0,5 a cui corrisponde per  $\epsilon$  il valore di 0,8.

In questa sede, essendo i bacini imbriferi analizzati prossimi a 1,28 km<sup>2</sup>, 4,63 km<sup>2</sup>, 6,06 km<sup>2</sup> si utilizzerà un coefficiente di laminazione pari a 1.

## 8.9 Le portate di massima piena risultanti

In funzione delle considerazioni fatte nei paragrafi precedenti, nelle tabelle che seguono sono state riassunte le portate di massima piena calcolate per tempi di ritorno TR 20, TR 100, TR 200 e TR 500 utilizzando le formule ricordate.

Si sono quindi ricavate le portate per i bacini analizzati:

- Bacino ponte 8

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q [m <sup>3</sup> /s]	21,0	27,0	29,6	33,0

- Bacino scolmatore A

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q [m <sup>3</sup> /s]	16,2	20,9	22,9	25,5

- Bacino scolmatore B

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q [m <sup>3</sup> /s]	5,1	6,6	7,2	8,0

Tornando al nubifragio del 13.07.2011, va sottolineato come si sia verificato a seguito di un periodo particolarmente ricco di eventi meteorologici intensi. L'Arpa Piemonte nel "Rapporto eventi temporaleschi tra il 09 e 10 luglio 2011" analizza l'evento verificatisi 3 giorni antecedenti il nubifragio definendo che: *"Diverse celle temporalesche hanno interessato il Piemonte Occidentale nelle giornate comprese tra venerdì 08 e domenica 10 luglio 2011. In particolare due fenomeni intensi hanno interessato l'area del torinese nella serata Sabato 09 Luglio, con precipitazioni intense che hanno colpito la città, e nella giornata di Domenica la zona del Canavese con grandine diffusa ed una tromba d'aria."*

Sulla base di queste considerazioni è doveroso considerare in alveo la presenza di un deflusso idrico di base generato dagli eventi meteorologici verificatisi nelle ore antecedenti l'evento, come verrà meglio analizzato nel Capitolo 9 – Analisi di un caso reale: Evento del 13/07/2011.

In questa sede si è considerato un incremento della portata dovuto al deflusso di base pari al 30% della portata calcolata in precedenza, per cui:

- Bacino ponte 8

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q base [m <sup>3</sup> /s]	6,3	8,1	8,9	9,9

- Bacino scolmatore A

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q base [m <sup>3</sup> /s]	4,9	6,3	6,9	7,6

- Bacino scolmatore B

	TR20	TR100	TR200	TR500
Q base [m <sup>3</sup> /s]	1,5	2,0	2,2	2,4

Di conseguenza, i valori massimi si modificano come di seguito:

- Bacino ponte 8

	TR20	TR100	TR200	TR500
Qmax [m <sup>3</sup> /s]	27,3	35,1	38,4	42,9

- Bacino scolmatore A

	TR20	TR100	TR200	TR500
Qmax [m <sup>3</sup> /s]	21,1	27,1	29,7	33,1

- Bacino scolmatore B

	TR20	TR100	TR200	TR500
Qmax [m <sup>3</sup> /s]	6,6	8,5	9,3	10,4

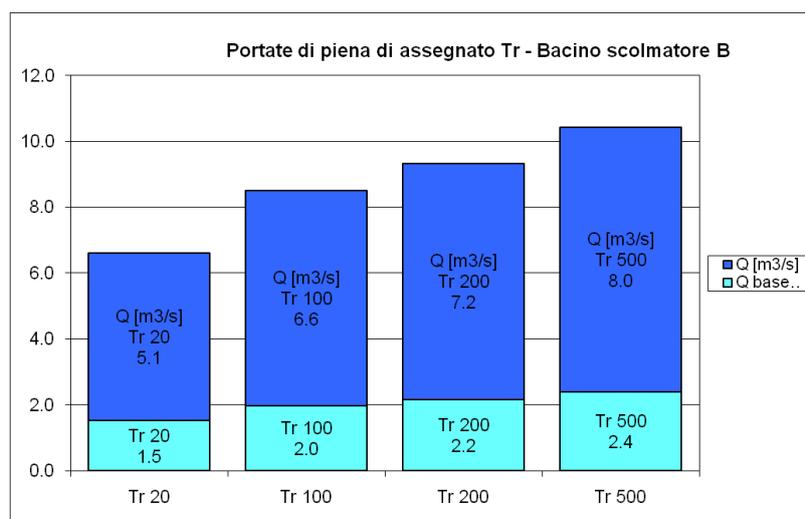
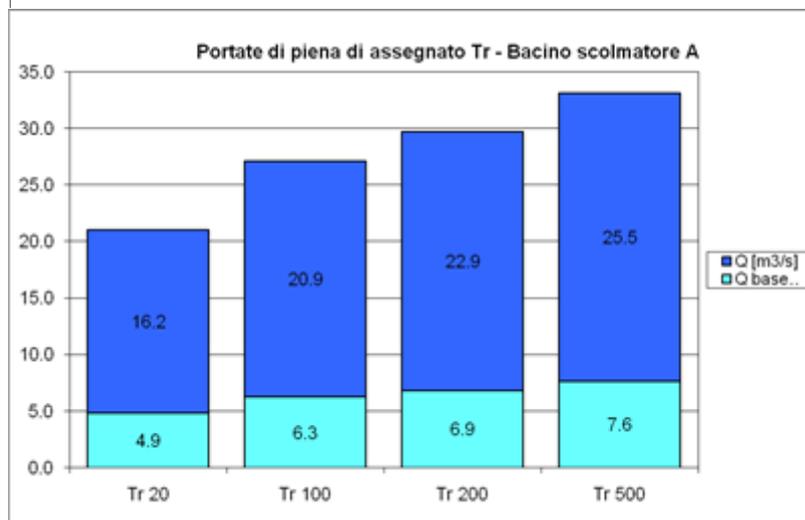
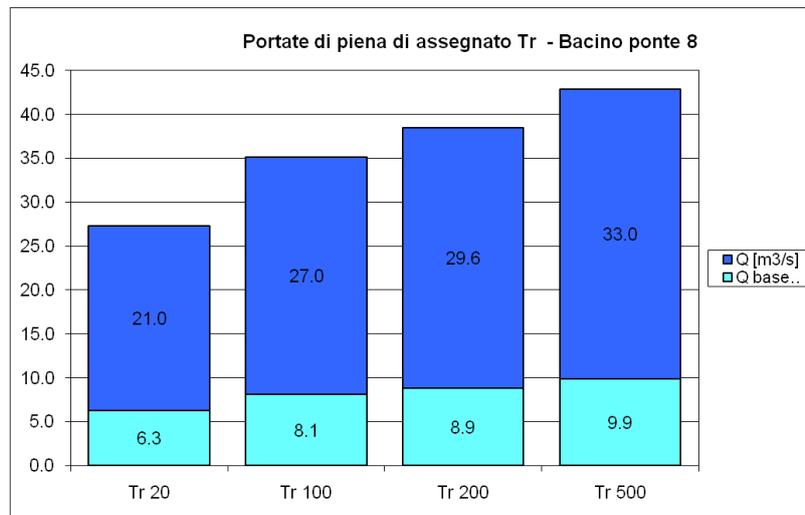


---

Nei grafici della pagina che segue si riassumono i risultati ottenuti.

Nell'allegato 2 – “Elaborazioni idrologiche” si riportano i calcoli eseguiti per le tre sezioni di chiusura considerate.

Nell'allegato 3 – “Elaborazioni idrauliche” si riportano planimetria, profili e sezioni ottenuti con la modellazione idraulica per tempi di ritorno 20, 100, 200 e 500 anni, tenendo conto che nel tratto di alveo a monte dell'immissione del Rio Leonatto la portata defluente è stata considerata pari al contributo chilometrico (mc/s km, valutato per il bacino chiuso al ponte 8) moltiplicato per la superficie di bacino contribuente (escluso quindi il Rio Leonatto e il concentrico di Castellamonte).





---

## 9 ANALISI DI UN CASO REALE: EVENTO DEL 13/07/2011

### 9.1 Premessa

Il nubifragio del 13.07.2011 ha ripresentato, aggravata, una situazione che si era già verificata più volte nell'ultimo venticinquennio, in quanto gli allagamenti, che in passato si erano limitati all'area della Scuola Media Cresto, si sono estesi a quasi tutto l'isolato circostante e inoltre è stato allagato anche il centro di Castellamonte (Piazza Martiri della Libertà).

Come si è anticipato nel capitolo 2 "Impostazione dello studio", a cui si rimanda per i dettagli, risulta di grande importanza definire il tempo di ritorno  $T_r$  dell'evento espresso in anni, cioè la frequenza probabile con cui esso si può ripresentare.

Si è detto anche della difficoltà di giungere a una precisa definizione del tempo di ritorno in assenza di dati di portata, di dati idrologici puntuali (quelli disponibili riguardano elaborazioni e normalizzazioni effettuate su grande scala) e dovendo in ogni caso ricorrere alla letteratura e alla sensibilità del tecnico per quanto riguarda la scelta di formule e coefficienti che rappresentano i deflussi.

Nello stesso tempo si è ricordata la relativa minore difficoltà di individuare la portata dell'evento del luglio 2011 a partire dall'analisi idraulica dell'alveo.

### 9.2 Descrizione sommaria del fenomeno

Le testimonianze documentali fotografiche e video disponibili per l'alluvione del 13.07.2011 sono numerose. In particolare sono assai puntuali i video amatoriali girati dal Geologo Dott. Carlo Dellarole di Castellamonte, in quanto interessano tutto il tratto da Via Caneva alla Scuola Media. Sulla base di tali testimonianze si può affermare la coerenza delle conclusioni dell'analisi idraulica effettuata.

Il livello idrico del colmo di piena ha raggiunto e superato in più punti la sommità delle sponde e l'intradosso di numerosi ponti con successiva formazione di rigurgito verso monte.

In particolare le esondazioni maggiori si sono verificate lungo Via Trabucco (proseguimento di Via Ex Internati) nell'area della Scuola Media Cresto, da cui le acque si sono poi riversate nel quartiere circostante che si trova depresso rispetto alle strade, e in Via Caneva verso Piazza Martiri della Libertà. È importante sottolineare, ai fini dello studio idrologico, che il fenomeno che ha portato alle esondazioni del 13.07.2011 si è verificato tra le ore 15 e 16,30 e si è inserito in un contesto di precipitazioni ricorrenti lungo l'arco della giornata e nei giorni precedenti, per cui ha trovato un suolo già imbibito e con scarsa attitudine all'infiltrazione e alla trattenuta superficiale della pioggia.

## 9.3 Determinazione delle portate di piena

### *Approccio metodologico.*

Uno dei metodi più utilizzati per calcolare le portate di piena relative ad una sezione di un corso d'acqua consiste nell'elaborazione statistica dei valori di portata desunti da misurazioni idrometriche dirette effettuate sul corso d'acqua nella sezione in esame o in sezioni poste sulla stessa asta principale (metodo diretto). Tale metodo, quando si basa sull'analisi di dati misurati per un periodo di anni sufficientemente lungo e soprattutto tra loro omogenei fornisce, risultati molto attendibili.

Spesso però, a causa dell'insufficienza o totale mancanza di dati idrometrici, o della non omogeneità degli stessi, occorre fare riferimento ad osservazioni su altri corsi d'acqua appartenenti a bacini con caratteristiche idrologiche e morfologiche simili.

In alternativa si può fare riferimento ai dati pluviometrici ed elaborare statisticamente gli stessi, ricavando la portata con il metodo della corrivazione o con altri metodi indiretti.

Un ulteriore metodo, utilizzato per una conoscenza dei valori massimi di portate probabili, è quello di utilizzare formule empiriche desunte da precedenti studi idrologici, eseguiti considerando bacini imbriferi con caratteristiche simili a quelli in esame.

Il presente studio è basato sull'utilizzo di dati pluviometrici e testimonianze dirette ed è stato sviluppato seguendo le ipotesi che sono alla base dei metodi indiretti.

Per il calcolo delle portate, si è utilizzato un approccio di tipo modellistico che consente, una volta assegnato lo ietogramma di progetto, di calcolare le portate defluenti alla sezione che sottende il bacino in esame mediante la simulazione dei complessi fenomeni di trasformazione afflussi – deflussi.

Il software utilizzato, derivato dal codice di calcolo americano HEC-HMS "Hydrologic Modeling System" sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers, consente, mediante un'opportuna schematizzazione del reticolo idrografico in una serie di componenti idrologicamente interconnessi tra loro ed un'attenta definizione delle caratteristiche geometriche e di permeabilità del bacino, il calcolo degli idrogrammi di deflusso che competono a particolari eventi meteorici registrati. Il modello fornisce risultati tanto più attendibili quanto più compiutamente sono definite le caratteristiche del bacino e degli ietogrammi che lo interessano.

### *Hec Hms*

HEC-HMS è un software progettato per simulare i processi relativi alla trasformazione afflussi – deflussi. L'esecuzione di una simulazione idrologica, nello specifico, richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

- Basin Model: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico;
- Meteorologic Model: dati meteorologici relativi alle precipitazioni e all'evotraspirazione;
- Control Specifications: informazioni temporali necessarie per la simulazione.

Il componente Basin Model permette di specificare:

- Elementi Idrologici:



- Metodi di calcolo delle perdite di bacino:
- Metodi di calcolo della Trasformazione afflussi – deflussi:
- Metodo di calcolo del deflusso a pelo libero nei corsi d’acqua:

Il Componente Meteorologic Model contiene l’insieme di informazioni richieste per la definizione di precipitazioni storiche o ipotetiche, che devono essere usate assieme ad un modello di bacino (Basin Model).

Il set di dati Control Specifications comprende i dati di inizio e fine di una simulazione idrologica, e l’intervallo temporale da utilizzare nei calcoli.

I risultati di una simulazione idrologica possono essere visualizzati e stampati in forma tabulare o grafica. In questa sede si è simulato il processo di trasformazione afflussi deflussi, partendo da un pluviogramma di progetto e tenendo conto delle perdite di bacino.

Per modellare le perdite per infiltrazione nel terreno si è adottato il metodo “Initial and Constant”, mentre per trasformare la precipitazione efficace in un idrogramma dei deflussi si è utilizzato il metodo del “Soil Conservation Service (SCS)”.

Le simulazioni sono state condotte nella condizione più sfavorevole CN (AMCIII), in modo da simulare il verificarsi di un evento intenso in condizioni di elevata saturazione del suolo.

### *Ietogramma di progetto*

Per la verifica idraulica di un’opera occorre necessariamente simulare gli effetti sul bacino di un evento di pioggia particolarmente gravoso preso a riferimento come pioggia di progetto.

Per pioggia di progetto corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno si intende una certa distribuzione temporale della precipitazione da utilizzare per la progettazione di specifiche opere idrauliche. Tale distribuzione può coincidere con un evento eccezionale effettivamente osservato, oppure rappresentare un evento ipotetico definito artificialmente secondo una determinata procedura. Le simulazioni sono state condotte utilizzando uno ietogramma inerente all’evento reale verificatisi il 13 luglio 2011. L’evento reale è stato ricostruito in base ad alcune considerazioni sorte con il Sig. Fulvio Fornengo, socio SMI (Società Meteorologica Italiana), il quale ci ha fornito i dati di pioggia giornalieri rilevati da un pluviografo sito in Sant’Anna Boschi (Frazione di Castellamonte). Nei giorni prossimi all’evento analizzato si sono registrati i valori di precipitazione giornaliera descritti nella seguente tabella:

Data	Precipitazione giornaliera [mm]
5/7/2011	4
7/7/2011	15
8/7/2011	14
10/7/2011	11
11/7/2011	1,5

13/7/2011	140
16/7/2011	7
17/7/2011	5
19/7/2011	18
27/7/2011	28

In data 13 Luglio si sono registrati 140 mm di pioggia nell'arco delle 24 ore, con due picchi, uno la mattina ed il più cospicuo il pomeriggio, confermati da testimonianze dirette.

### *La valutazione dell' afflusso efficace*

Il processo di infiltrazione costituisce il fenomeno di perdita di maggiore rilevanza per la stima delle portate di picco, sia come entità globale che come fattore determinante la dinamica temporale dell' evento di piena. Il metodo SCS - Curve number, è molto utilizzato negli Stati Uniti ed il suo impiego, ad oggi, appare del tutto consolidato anche nel nostro paese. Il metodo di ricondurre il calcolo dell' afflusso netto ad un parametro, il CN, che viene stimato in base alle caratteristiche litologiche, geomorfologiche e all' uso del suolo.

Il metodo Curve Number, messo a punto dal "Soil Conservation Service", si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili solo in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati. Dal punto di vista matematico, si fa ancora riferimento al calcolo del deflusso superficiale come differenza fra precipitazione e perdite, inglobando però adesso in un unico termine di perdita anche altri fattori oltre all' infiltrazione. Infatti, esso calcola istante per istante il quantitativo di pioggia che va a produrre il deflusso superficiale, in funzione del tipo di pioggia, del suo uso e del suo grado di imbibizione.

I parametri di tale modello sono infatti stati calibrati non in base a soli dati di infiltrazione, ma anche in base ai dati di precipitazione e di portata su un enorme numero di bacini di varie dimensioni negli Stati Uniti, e successivamente messi in relazione con i tipi pedologici e di uso del suolo di ciascun bacino.

Proprio la grossa mole di dati esistenti, ed in continuo aggiornamento, a supporto di tale modello, ha fatto sì che questo diventasse molto diffuso.

È dunque stata effettuata l' analisi dei principali caratteri fisici, sia relativamente ai materiali affioranti che agli assetti geo-morfologici. Lo scopo è quello di inquadrare i litotipi presenti e le coperture detritiche, nonché gli eventuali livelli pedogenizzati, in classi omogenee, in modo da definire i principali caratteri di permeabilità delle superfici. Si tratta, in effetti, di operare una classificazione nei fatti artificiosa per quanto riguarda l' infiltrazione reale nelle diverse singole aree. Tuttavia, alla scala di bacino e partendo da rappresentazioni del territorio alla scala 1:25.000 è possibile ottenere le stime, di fatto indispensabili, per la descrizione della capacità d' infiltrazione.

Lo schema di classificazione segue pertanto il metodo di Horton dove, per determinare le curve di infiltrazione, si suddivide il suolo in quattro classi definite nella tabella che segue.



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

A queste classi, per elaborare la carta delle permeabilità finalizzata alla redazione delle aree di CN (curve number) per il calcolo dell' afflusso netto, è stata aggiunta una classe intermedia in relazione alla variabilità litologica rapportata anche, in funzione dell' assetto morfologico da sub-orizzontale a mediamente acclive in terreni incoerenti, geologicamente giovani, a situazioni con suoli differenti per permeabilità.

Lo schema iniziale di lavoro ha permesso di individuare le seguenti classi generali, descritte in relazione alle formazioni geologiche della cartografia ufficiale.

Si descrivono di seguito le unità litologiche e classi di potenzialità di deflusso.

- I) Scarsa potenzialità di deflusso. Unità corrispondente a terreni calcarei, carsificati e fratturati ad elevata permeabilità (Calcere Cavernoso, Calcere Massiccio, Calcari stratificati giurassico e cretaco).
- II) Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Coperture detritiche sabbiose, ghiaioso-sabbiose, depositi alluvionali con suoli mediamente profondi; Unità Mioceniche e Plioceniche Conglomeratiche e Sabbiose. Quarzomonzonite ed unità vulcaniche fratturate.
- II-III) Potenzialità di deflusso media. Rappresenta una classe intermedia tra la II e la III, e si riferisce a unità ove si hanno notevoli variazioni litologiche, ed alla presenza – assenza di suoli che influiscono sul deflusso, in funzione anche all' assetto morfologico.
- III) Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Corrisponde a terreni impermeabili delle unità prevalentemente argillitiche strutturalmente complesse e fortemente tettonizzate (Complesso di Base, Flysch calcareo-marmosi, marne, “argilloscisti” etc.); Depositi miocenici e pliocenici prevalentemente limo-argillosi. Alluvioni di fondovalle e colmate. Rocce vulcaniche e gabbri, non fratturati.

Nella analisi delle formazioni geologiche affioranti sono stati pertanto evidenziati i caratteri litologici che permettono di esprimere delle stime sulla permeabilità, di prendere in considerazione, in relazione alla

posizione degli affioramenti, sia da un punto di vista altimetrico, che nel loro assetto morfologico, la presenza di coperture che possono far variare la capacità di infiltrazione dei suoli. Altri aspetti che, in alcuni casi, determinano l'attribuzione di un terreno ad una classe di potenzialità di deflusso-permeabilità piuttosto che a un'altra, riguardano la presenza di fasce particolarmente tettonizzate che presiedono alla intensa fatturazione dei litotipi. Infatti, in funzione di questa ultima, si possono avere significative variazioni di permeabilità, come nel caso della presenza di coperture prodotte da recenti processi geomorfologici, che possono spesso cambiare totalmente le caratteristiche del deflusso, almeno localmente. Queste elaborazioni sono state suffragate da osservazione da foto aeree e da rilievi in campagna.

L'uso del suolo è stato elaborato in base alla carta regionale riportata nel P.R.G.C del Comune di Castellamonte ed in base ad altri studi effettuati con riprese aeree più recenti. Le classi sono state semplificate rispetto ad una qualsiasi legenda di uso del suolo perché il fine è quello di individuare delle categorie omogenee per permettere la valutazione dei CN.

Dalla successiva tabella è facile osservare come le condizioni iniziali di umidità del suolo siano in grado di condizionare drasticamente la depurazione dell'afflusso efficace e, dunque, la determinazione dei coefficienti di deflusso. Il considerare condizioni iniziali molto umide porta lo stesso CN a valori dell'ordine di 91, contro un CN pari a 80 in condizioni standard. Non va tuttavia dimenticato che la stima delle portate di progetto implica l'associazione tra un modello probabilistico delle precipitazioni, dato dalle linee segnalatrici, e uno deterministico della trasformazione degli afflussi in deflussi, dato dal metodo CN per la depurazione e dalla successiva applicazione degli opportuni algoritmi per la determinazione delle portate di piena.

Con questo si è ammesso che la probabilità di una piena fosse la medesima dell'evento pluviometrico che la determina, trascurando la circostanza che molti elementi casuali intervengono nella trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi e che pertanto la probabilità della piena è generalmente minore di quella della precipitazione: invero, per il principio delle probabilità composte, tale probabilità dovrebbe essere pari a quella della precipitazione moltiplicata per quelle dei predetti elementi casuali. Il contenuto di acqua nel suolo preesistente allo scroscio, a parità di precipitazione, è dunque una circostanza casuale suscettibile di incidere fortemente sulla portata di punta. Il considerare un evento di pioggia centenaria, associato a un'umidità iniziale del suolo estremamente elevata, porterebbe dunque alla valutazione di portate di progetto con tempo di ritorno senz'altro superiore a cento anni.

Nel presente contesto si è optato per la scelta dei valori di CN tali da considerare che l'evento del luglio 2011 si è verificato a seguito di alcuni temporali di minore entità che hanno di fatto saturato il terreno rendendo minima la quantità di assorbimento di acqua.

I valori di CN riportati nella tabella che segue si riferiscono ad una condizione di umidità del terreno di II classe, infatti il metodo SCS distingue in tre classi le condizioni di umidità del suolo all'istante in cui ha inizio la pioggia, in base all'altezza complessiva di precipitazione in mm caduta nei cinque giorni precedenti la pioggia stessa.



USO DEL SUOLO	Coefficienti CN			
	A	B	C	D
<b>Terreno coltivato</b>				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
<b>Terreno da pascolo</b>				
Senza trattamenti di conservazione	68	79	86	89
Con interventi di conservazione	39	61	74	80
<b>Praterie</b>				
Buone condizioni	30	58	71	78
<b>Terreni boscosi o forestali</b>				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	63
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<b>Spazi aperti, prati rasati, parchi</b>				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura arborea	39	61	74	60
Condizioni normali con copertura arborea intorno al 50%	49	69	79	84
	89	92	94	95
<b>Aree commerciali (impermeabilità 85%)</b>				
	81	88	91	93
<b>Distretti industriali (impermeabilità 72%)</b>				
<b>Aree residenziali (impermeabilità 72%)</b>				
Estensione lotti      Impermeabilità media	77	85	90	92
1/8                      Acre 65 %	61	75	83	87
1/4                      Acre 38 %	57	72	81	86
1/3                      Acre 30 %	54	70	80	85
1/2                      Acre 25 %	51	68	79	84
1                         Acre 20 %	98	98	98	98
<b>Parcheggi impermeabilizzati, tetti, piazzali ecc.</b>				
	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
Pavimentate, con cordoli e fognature	76	85	89	91
Inghiaiate o selciate con buche	72	82	87	89
In terra battuta (non asfaltate)				

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<12,7	<35,5
II	12,7-28,0	35,5-53,3
III	>28,0	>53,3

Qualora la condizione di umidità del suolo all'inizio della pioggia appartiene a una classe diversa dalla II, il valore calcolato va modificato secondo le indicazioni riportate nella tabella che segue.

Classe AMC			Classe AMC		
I	II	III	I	II	III
100	100	100	40	60	78
87	95	98	35	55	74
78	90	96	31	50	70
70	85	94	22	40	60
63	80	91	15	30	50
57	75	88	9	20	37
51	70	85	4	10	22
45	65	82	0	0	0

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni, dove n, m e  $\delta$  sono dei coefficienti numerici noti:

$$CN(I) = \frac{n \cdot CN(II)}{\delta - 0,058 \cdot CN(II)} \qquad CN(III) = \frac{m \cdot CN(II)}{\delta + 0,013 \cdot CN(II)}$$

La tabella che segue mostra la valutazione del curve number effettuata per il bacino preso in esame.

Bacino	CN (Classe I)	CN (Classe II)	CN (Classe III)
Rio San Pietro	35	56	74,5

### Calcolo delle perdite

Il calcolo della quota parte di precipitazioni perse in depressioni superficiali, intercettazione, evapotraspirazione, infiltrazione può essere eseguito utilizzando metodi diversi che richiedono la conoscenza di vari dati di ingresso spesso di difficile definizione, quali la specificazione della percentuale d'area di sottobacino impermeabile (percent impervious area), per la quale il codice di calcolo non tiene conto di nessuna perdita, e molti altri parametri di difficile determinazione quali le perdite iniziali e a regime o l'umidità e la conduttività idraulica del terreno per citarne solo alcuni.

Il calcolo delle perdite è stato fatto il metodo Initial/Constant che quantifica le perdite per immagazzinamento nelle depressioni superficiali e per intercezione tramite una perdita iniziale. Tutte le altre perdite vengono modellate con un tasso di infiltrazione costante. In pratica non si ha precipitazione efficace finchè non sono state soddisfatte le perdite iniziali.

### Dati di input

In definitiva, i dati utilizzati per procedere con la simulazione sono:



- area del bacino:

$$A = 6,06 \text{ km}^2;$$

- Lunghezza idraulica del bacino:

$$L = 5150 \text{ m}$$

- pendenza media del bacino:

$$p = 2,56 \%$$

- curve number:

$$CN(II) = 56 \quad \rightarrow \quad CN(III) = 74,5$$

- volume che il terreno può trattenere:

$$S = 25,4 \cdot \left( \frac{1000}{CN(III)} - 10 \right) = 87 \text{ mm}$$

- perdita iniziale:

$$I_a = 0,05 S = 4,3 \text{ mm}$$

- intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo

$$t_{lag} = \frac{2,587 L^{0,8} \left( \frac{1000}{CN(III)} - 9 \right)^{0,7}}{1900 p^{0,5}} = 134,74 \text{ min}$$

I calcoli sono stati condotti trasformando il CN in condizioni AMC(III).

### *Trasformazione della precipitazione netta in deflusso*

Il modello afflussi - deflussi permette di simulare la legge di trasformazione della pioggia netta in portata defluente attraverso le sezioni del reticolo modellato e in particolare attraverso la sezione di chiusura del bacino. Le tecniche utilizzate sono basate sulla teoria dell'idrogramma unitario.

Il codice di calcolo consente la scelta tra diverse opzioni per la definizione dell'idrogramma unitario; questo, infatti, può essere fornito direttamente oppure descritto in funzione dei parametri di Clark, Snyder o dell'SCS (Soli Conservation Service). L'opzione dell'onda cinematica consente invece di schematizzare il deflusso dal sottobacino con elementi che rappresentano uno o due superfici scolanti oppure con uno o due canali collettori e un canale principale. Nel presente studio si è utilizzata la tecnica dell'S.C.S..

### *Valori di portata calcolati con il metodo numerico*

Le simulazioni sono state condotte utilizzando uno ietogramma inerente all'evento reale verificatisi il 13 luglio 2011. Lo ietogramma è stato dedotto a partire dal valore totale giornaliero misurato e dall'osservazione dei fenomeni temporali verificatisi.

---

Per valutare la variazione di portata nell'arco della giornata si sono effettuate due simulazioni, una con durata della pioggia pari a 2 ore (paragonabile al tempo di corrivazione del bacino) in cui si è considerato solamente il picco del pomeriggio ed una estesa alle 24 ore.

Il modello tarato sulle 2 ore di maggior precipitazione, considerando il picco del pomeriggio, ha registrato un valore di portata al colmo pari a 30,7mc/sec.

Si è quindi realizzato un secondo modello esteso alle 24 ore, registrando un incremento della portata al colmo, attestatosi intorno ai 38 mc/sec, questo perché nell'alveo, al momento del picco di precipitazione pomeridiana, era già presente un deflusso di base generato dalle precipitazioni verificatesi nell'arco della mattina.

Le precipitazioni precedenti al picco di pioggia, avvenuto nel pomeriggio, hanno generato un incremento della portata liquida di circa il 30%. Questo è dovuto al fatto che al momento dell'evento di maggiore intensità era già presente nell'alveo un deflusso di base.

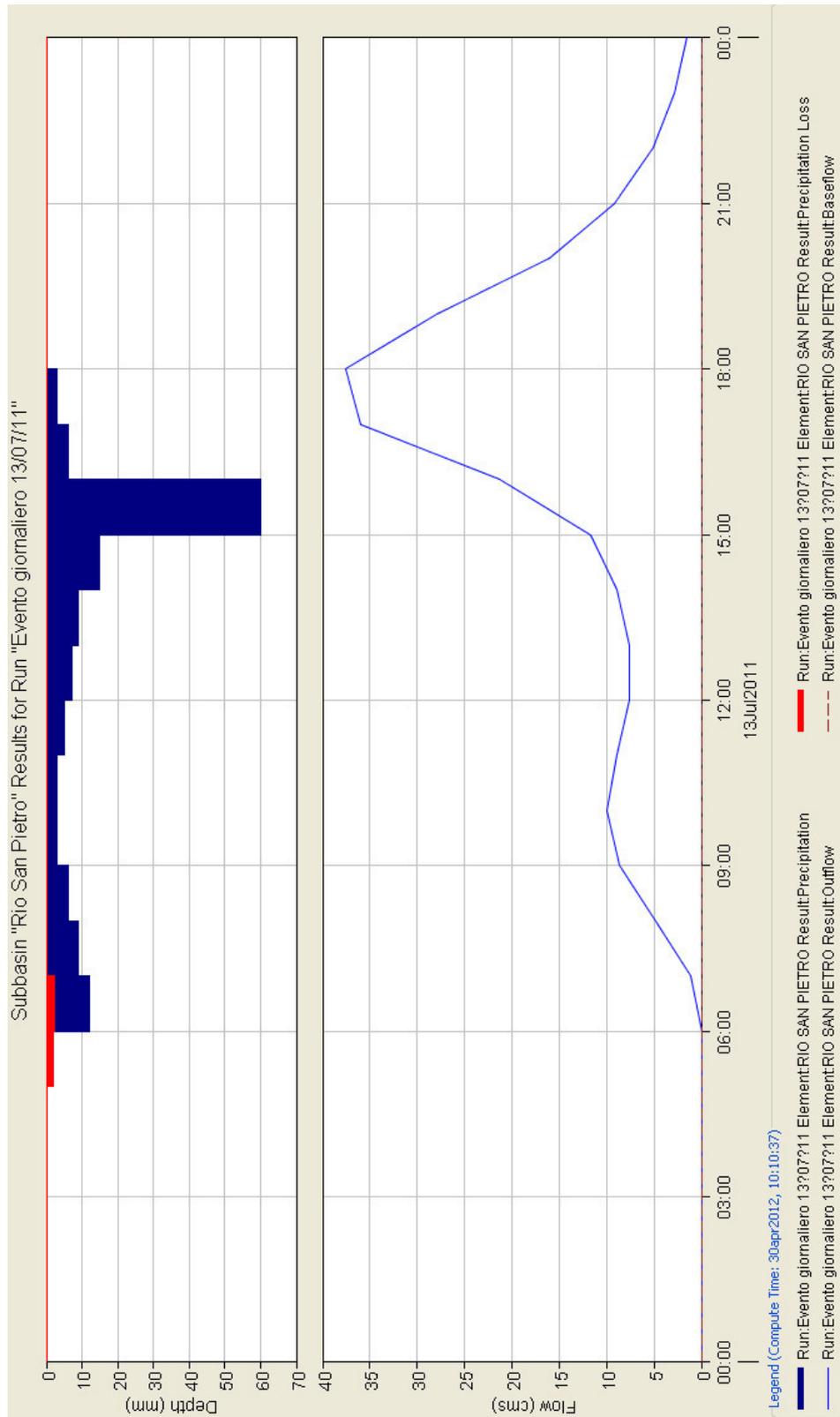
Dai calcoli eseguiti trova riscontro l'assunzione fatta nel capitolo precedente, in cui per determinare la portata massima si è incrementato del 30% il valore calcolato.



Output HEC-HMS, modello tarato sulle 2 ORE.



Output HEC-HMS, modello tarato sulle 24 ORE.





---

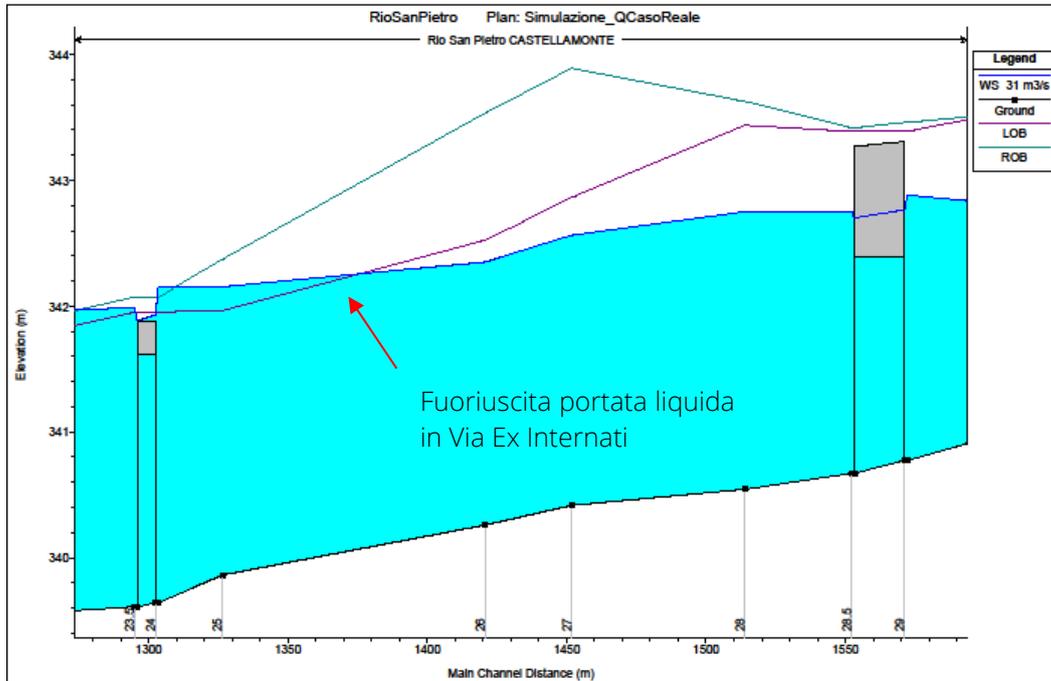
## 9.4 Confronto tra modello idraulico e caso reale

La modellazione idraulica, condotta come descritto al capitolo 6 con il codice HEC-RAS per una portata variabile tra i 31 e i 40 mc/s ha portato a ricostruire un profilo del pelo idrico di piena del tutto coerente con la documentazione testimoniale che si è potuta esaminare, su tutta la lunghezza dell'alveo in esame, sia in generale che nei dettagli.

Il risultato appare di grande importanza in quanto il modello risulta "tarato" ed è quindi possibile simulare le condizioni di deflusso con altri valori di portata considerando fortemente attendibili i risultati. Si riportano di seguito una serie di immagini di confronto tra la documentazione fotografica scattata durante l'evento e i risultati della modellazione idraulica per differenti valori di portata.

## CASTELLAMONTE ZONA VIA ROMA, PARAGONE TRA:

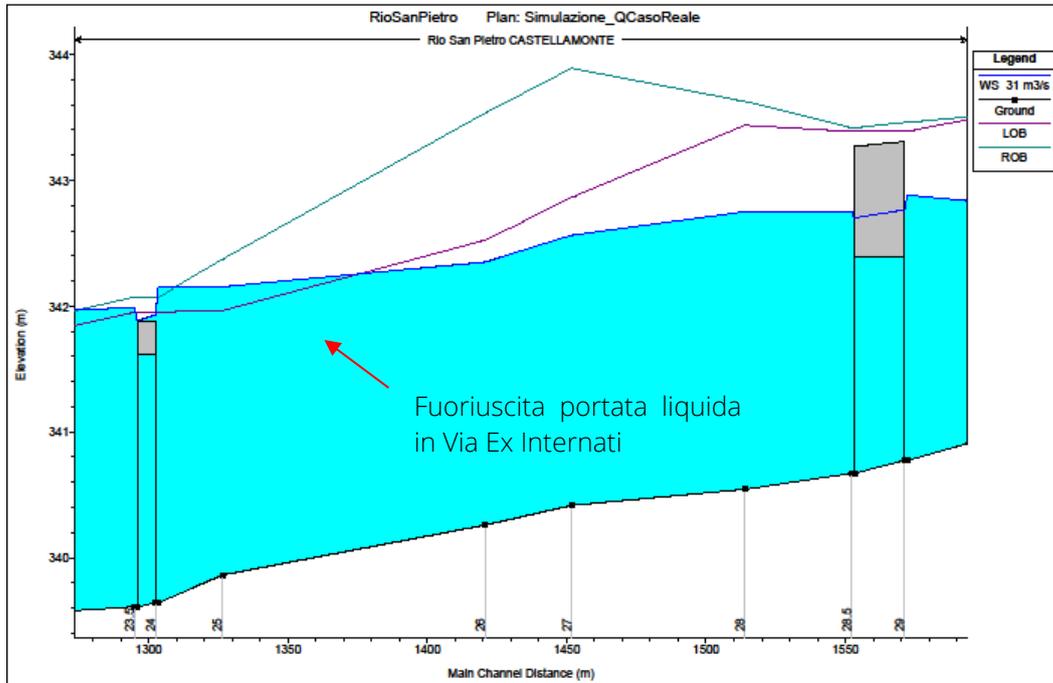
- MODELLO HEC - RAS CON PORTATA Q = 31 m<sup>3</sup>/s
- FOTOGRAFIA SCATTATA DURANTE L'EVENTO





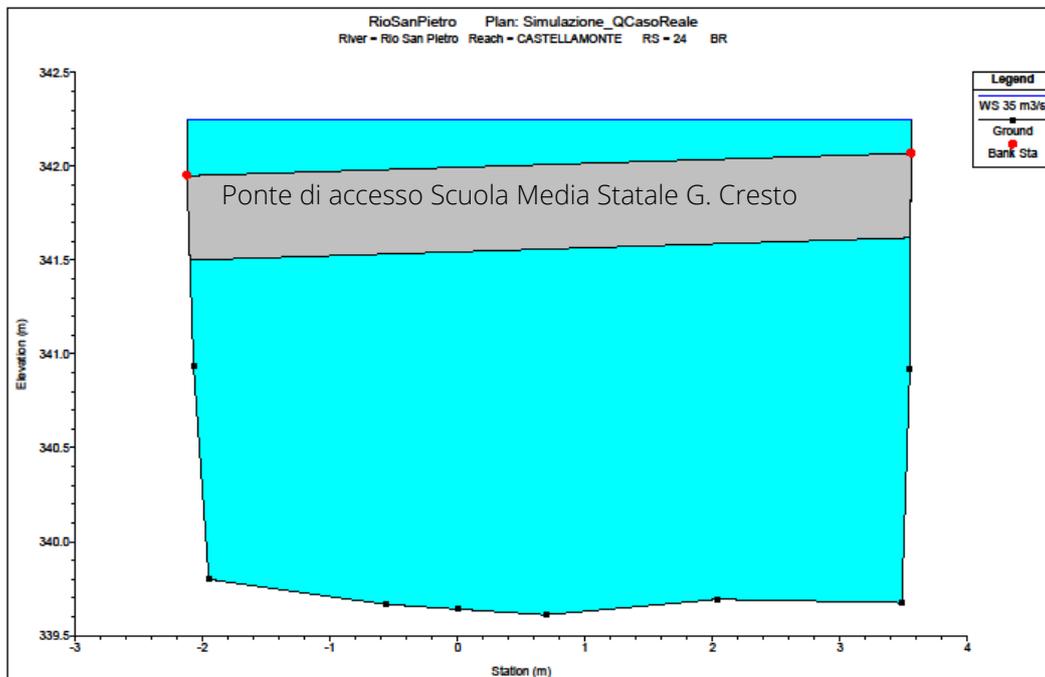
CASTELLAMONTE ZONA VIA ROMA, PARAGONE TRA:

- MODELLO HEC - RAS CON PORTATA  $Q = 31 \text{ m}^3/\text{s}$
- FOTOGRAFIA SCATTATA DURANTE L'EVENTO



## CASTELLAMONTE ZONA VIA ROMA, PARAGONE TRA:

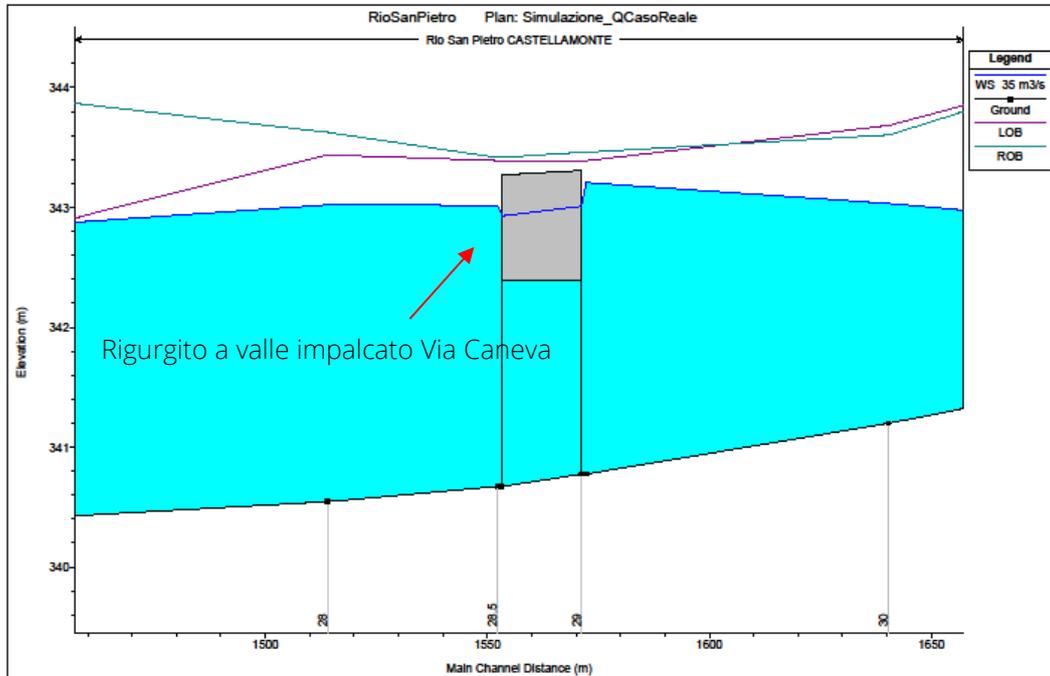
- MODELLO HEC - RAS CON PORTATA  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$
- FOTOGRAFIA SCATTATA DURANTE L'EVENTO





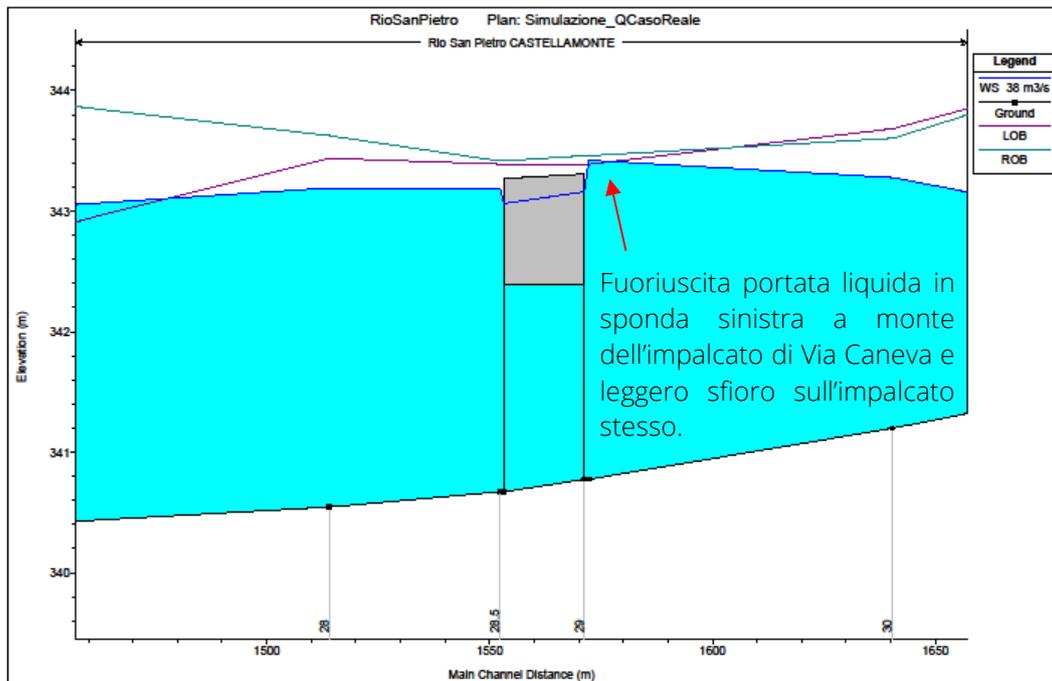
CASTELLAMONTE PONTE VIA CANEVA, PARAGONE TRA:

- MODELLO HEC – RAS CON PORTATA  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$
- FOTOGRAFIA SCATTATA DURANTE L'EVENTO



## CASTELLAMONTE PONTE VIA CANEVA, PARAGONE TRA:

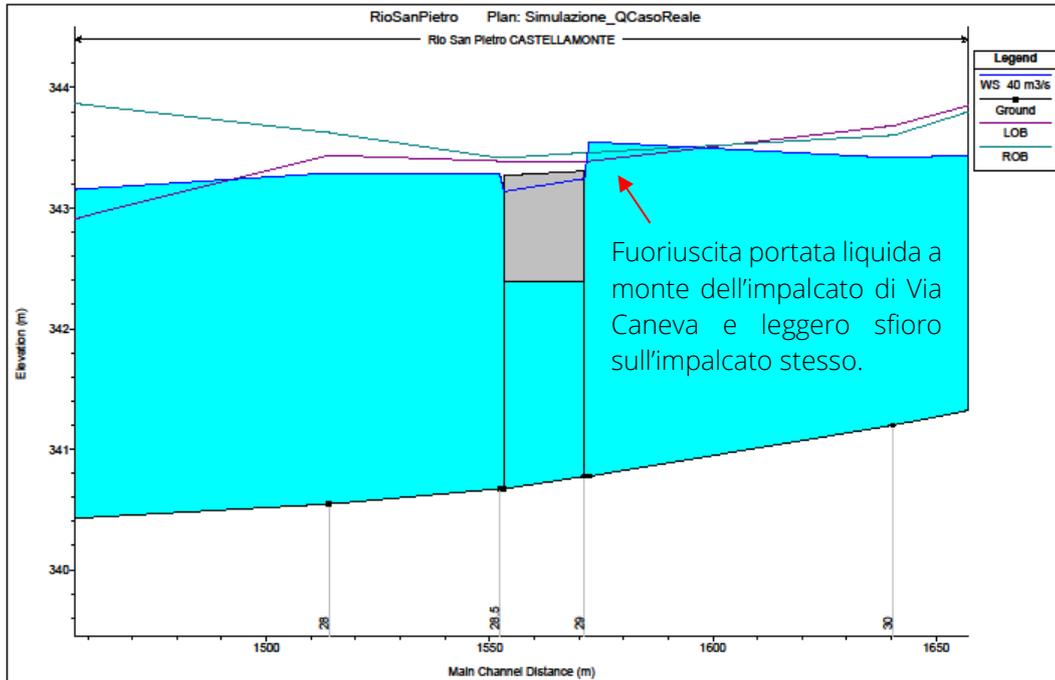
- MODELLO HEC – RAS CON PORTATA  $Q = 38 \text{ m}^3/\text{s}$
- FOTOGRAFIA CASO SCATTATA DURANTE EVENTO





CASTELLAMONTE PONTE VIA CANEVA, PARAGONE TRA:

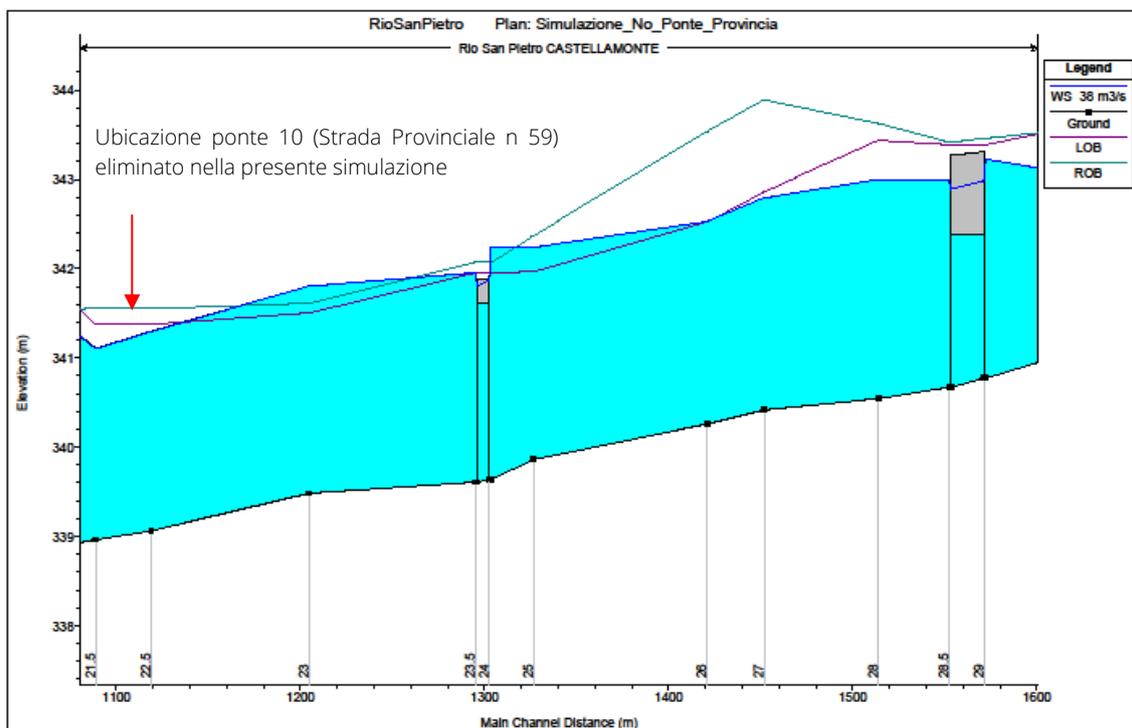
- MODELLO HEC – RAS CON PORTATA  $Q = 40 \text{ m}^3/\text{s}$
- FOTOGRAFIA CASO SCATTATA DURANTE EVENTO



Considerata la assoluta verosimiglianza dei parametri di scabrezza adottati, trattandosi di alveo ben definito geometricamente, omogeneo, con poche variazioni e con tipologia delle sponde facilmente parametrizzabile, si può affermare che la portata massima che si è verificata durante il nubifragio del 13.07.2011 risulta all'incirca di 38 mc/sec.

Il modello idraulico ha dato anche conto che le cause dell'esonazione sono da ascrivere principalmente alla geometria dell'alveo e non alle dimensioni del ponte di Via Barengo (Strada provinciale n. 59), come invece sostenuto da molti.

Infatti, come si può notare dal profilo ottenuto dal modello idraulico realizzato con il codice di calcolo Hec Ras eliminando il suddetto ponte la situazione a monte non subisce variazioni e l'esonazione in sponda sinistra si verifica ugualmente.



## 9.5 Risultati ottenuti

Come anticipato, il passaggio più difficile e delicato dello studio consiste nel raccordare il valore di portata ottenuto dall'analisi idraulica dell'alveo alle precipitazioni e alla loro probabilità.

La difficoltà consiste nella non conoscenza del coefficiente di deflusso, che può variare in dipendenza delle caratteristiche del suolo (copertura vegetale, pendenza, tipologia dei terreni, stagione, eventi piovosi precedenti, etc.) e nell'utilizzo delle formule disponibili per il calcolo del tempo di corrivazione derivanti da studi teorici su bacini del tutto differenti da quello in esame.



---

In definitiva, pur tenendo conto di tutte le incertezze di cui si è detto, la portata del Rio San Pietro verificatasi nel corso del nubifragio del 13.07.2011 nel tratto urbano a valle dell'immissione del Rio Leonatto si è attestata con alta probabilità intorno ai 38 mc/sec.

Questa affermazione deriva dalla coerenza dei calcoli eseguiti con le testimonianze documentali disponibili.

Inoltre si può affermare che attraverso i procedimenti teorici disponibili e consueti tale portata può essere classificata con una probabilità di accadimento compresa tra un Tr = 100 anni e un Tr = 200 anni. Di conseguenza le altre portate utilizzate per le simulazioni idrauliche, descritte nel capitolo 6 avrebbero la seguente probabilità di accadimento:

10 mc/sec: Tr 1  
15 mc/sec: Tr 2  
20 mc/sec: Tr 5  
22 mc/sec: da Tr 6 a Tr 9  
24 mc/sec: Tr 10  
30 mc/sec: da Tr 30 a Tr 50

E' ovvio che le elaborazioni effettuate hanno valore per la situazione attuale del territorio (ulteriori urbanizzazioni richiederebbero di tenere conto di tempi di corrivazione e coefficienti di deflusso più gravosi).

Per quanto riguarda la meteorologia, non è possibile tenere conto della evoluzione climatica verso un'estremizzazione degli eventi che alcuni studiosi indicano, se non dimensionando con criteri prudenziali le opere.

**Allegati**

# **Allegato 1**

**Opere d'arte**

# RIO SAN PIETRO - ponte n.1

## Localizzazione



Foto - sezione di monte



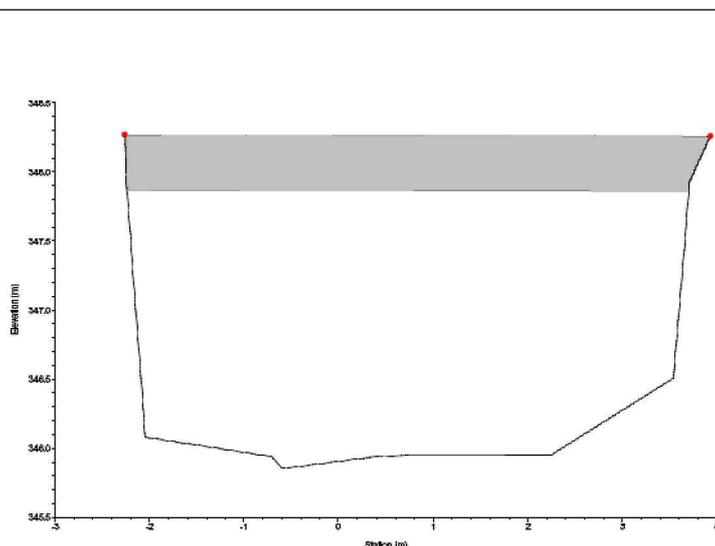
Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	6
Pendenza media (m/m)	0.0037
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	50
Portata Critica	30
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.2

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



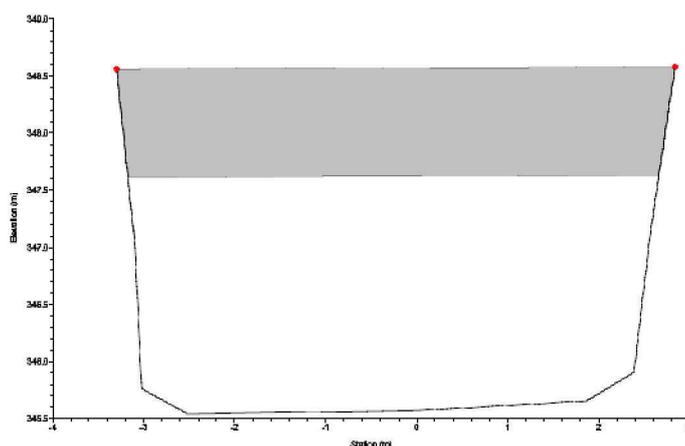
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

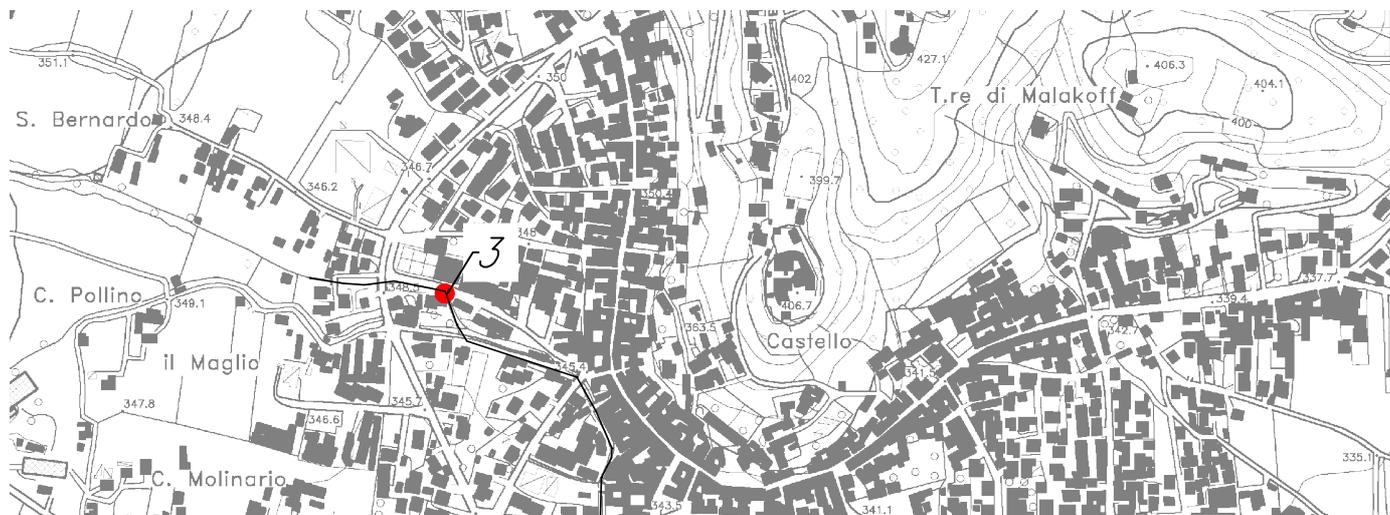
Parametro	Valore
Larghezza (m)	11
Pendenza media (m/m)	0.0085
$K_s$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	49
Portata Critica	30
Note	

## Sezione Hec - Ras

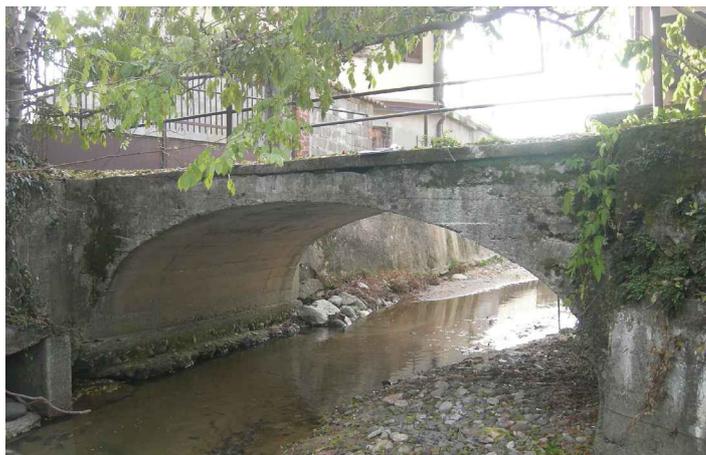


# RIO SAN PIETRO - ponte n.3

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



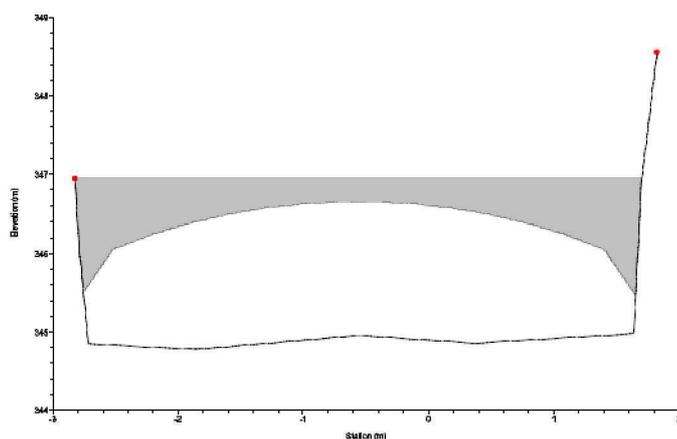
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

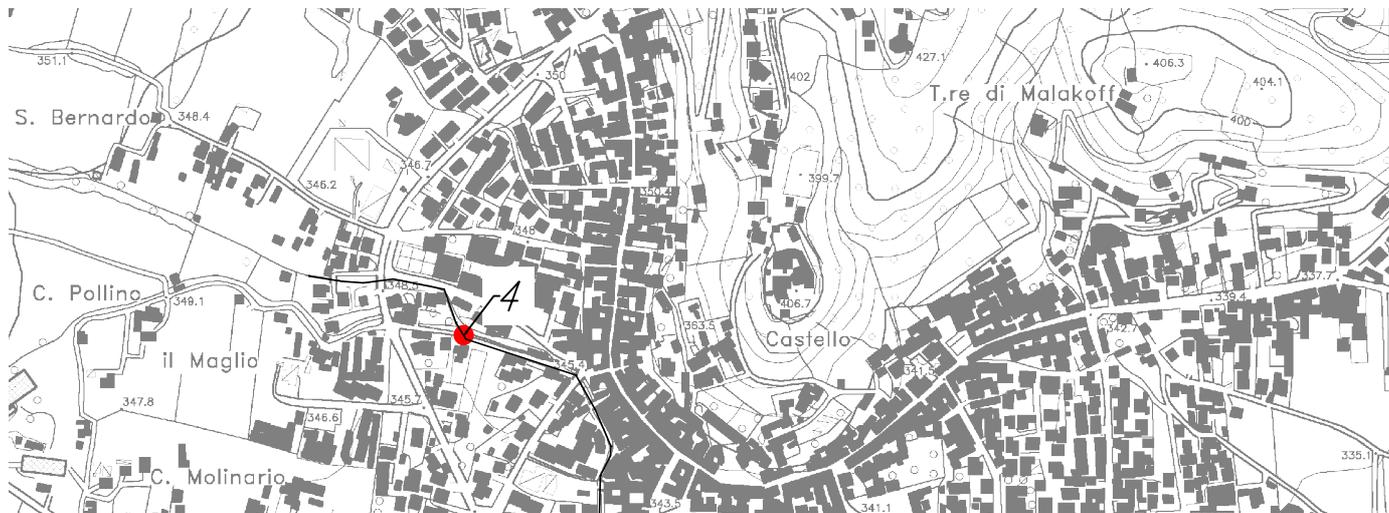
Parametro	Valore
Larghezza (m)	4.25
Pendenza media (m/m)	0.0092
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>1</sup> -1)	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	46
Portata Critica	40
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.4

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



## Foto - sezione di valle

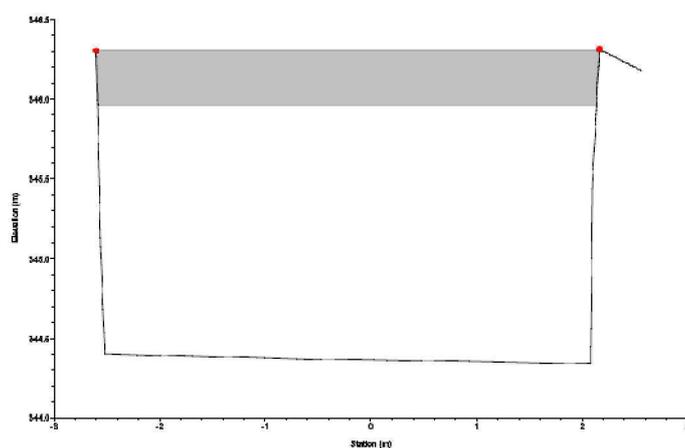


## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	8
Pendenza media (m/m)	0.0076
Ks (m <sup>1/3</sup> /3s <sup>-1</sup> )	50
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	45
Portata Critica	24

Note

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.5

## Localizzazione



### Foto - sezione di monte



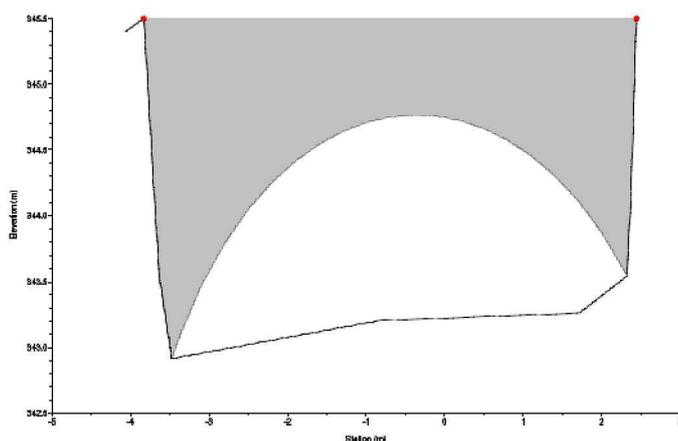
### Foto - sezione di valle



### Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	6.7
Pendenza media (m/m)	0.0421
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	37
Portata Critica	>40
Note	

### Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.6

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte

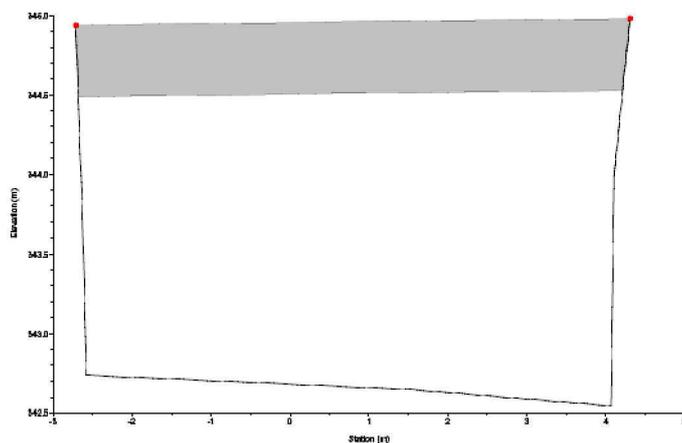


## Foto - sezione di valle



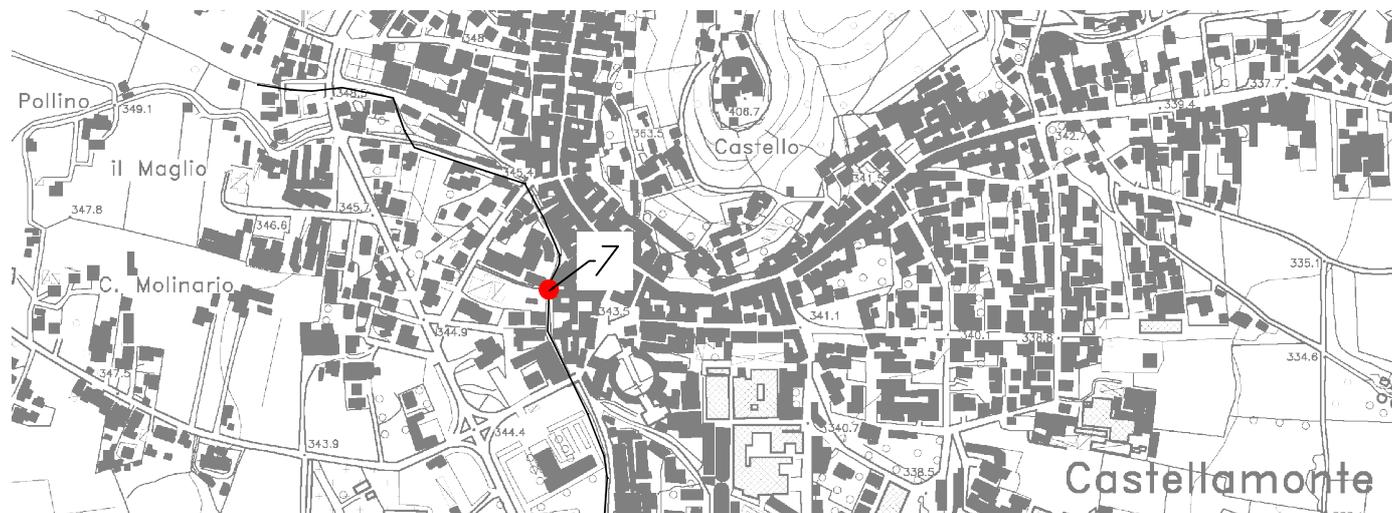
## Sezione Hec - Ras

Parametro	Valore
Larghezza (m)	4.5
Pendenza media (m/m)	0.0038
$Ks (m^{1/3}s^{-1})$	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	35
Portata Critica	40
Note	



# RIO SAN PIETRO - ponte n.7

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



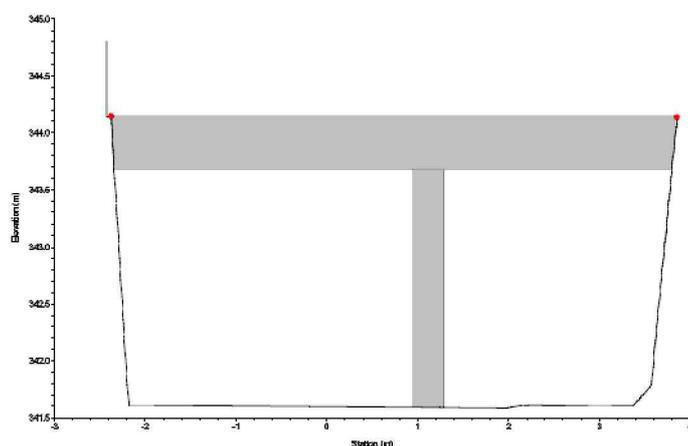
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

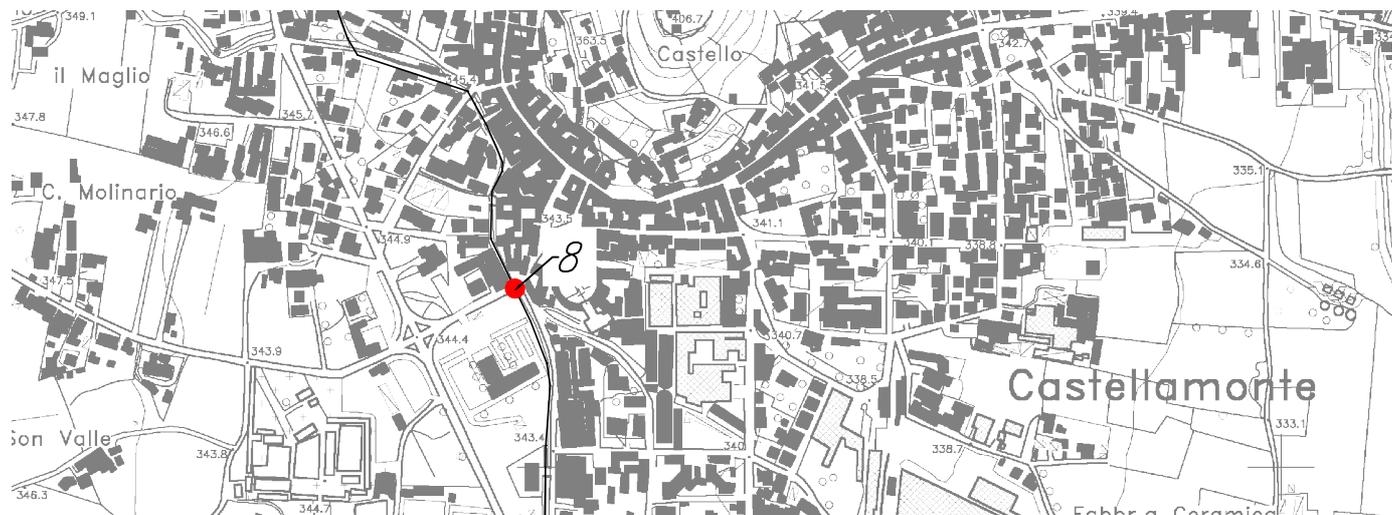
Parametro	Valore
Larghezza (m)	3
Pendenza media (m/m)	0.0106
Ks (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	31
Portata Critica	>40
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.8

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



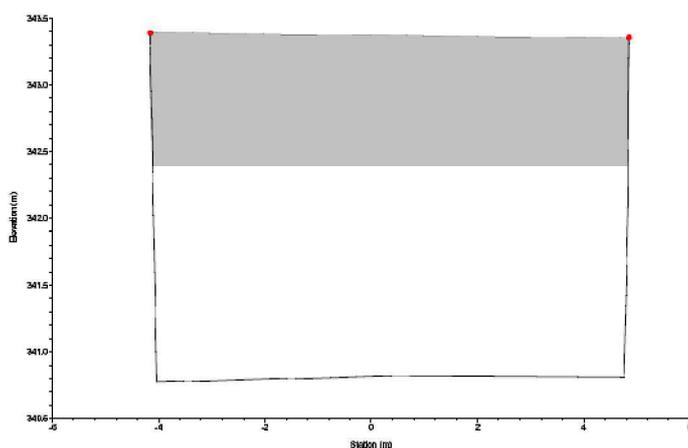
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

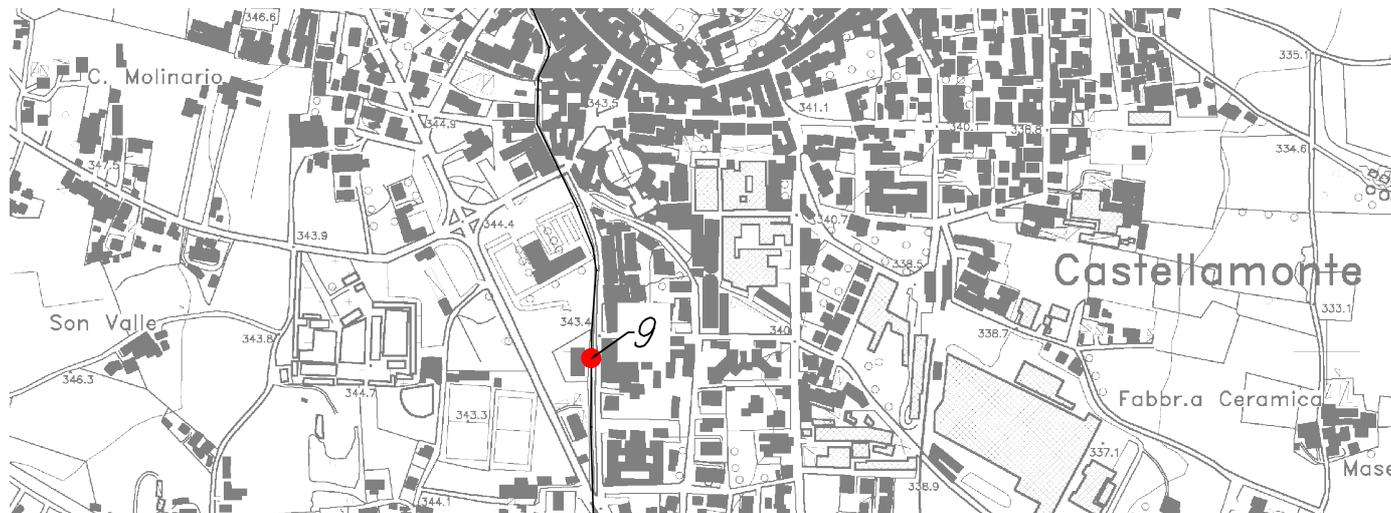
Parametro	Valore
Larghezza (m)	18
Pendenza media (m/m)	0.0052
$K_s (m^{1/3}s^{-1})$	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	29
Portata Critica	24
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.9

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



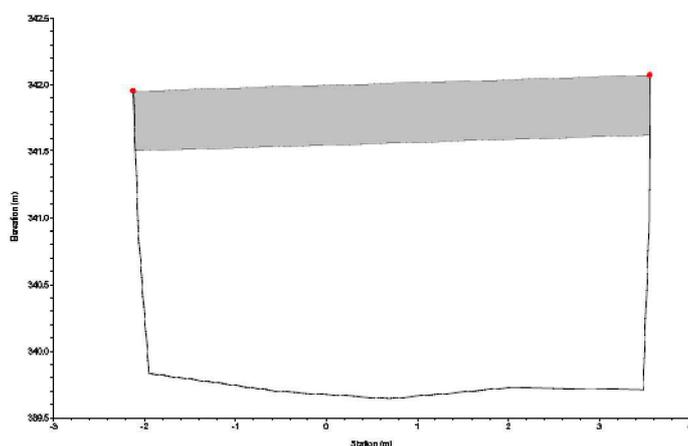
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

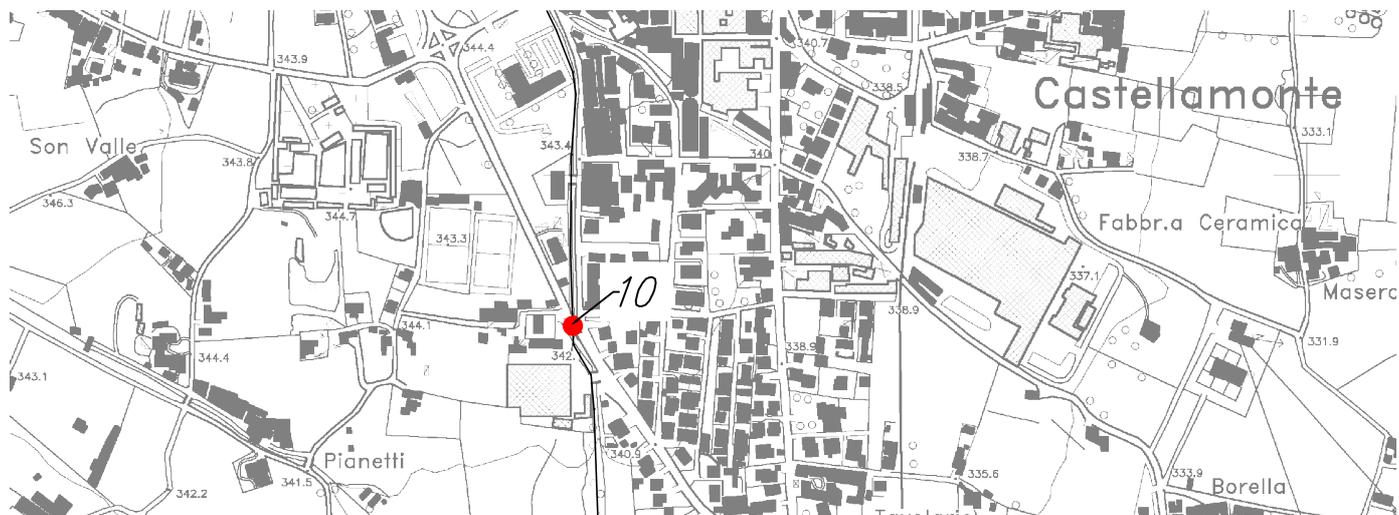
Parametro	Valore
Larghezza (m)	6.5
Pendenza media (m/m)	0.0040
Ks (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	24
Portata Critica	30
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.10

## Localizzazione



### Foto - sezione di monte



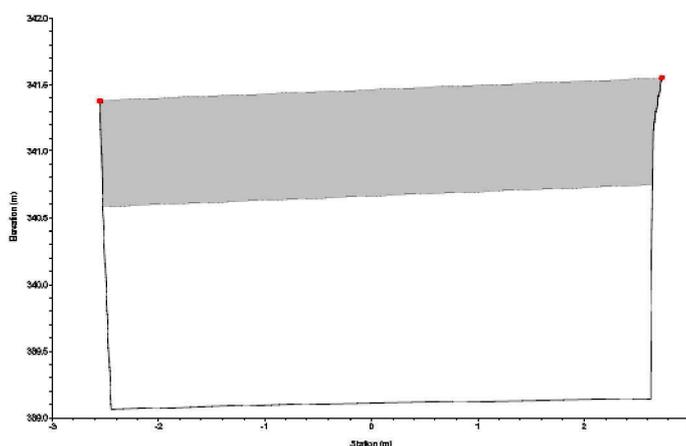
### Foto - sezione di valle



### Caratteristiche principali

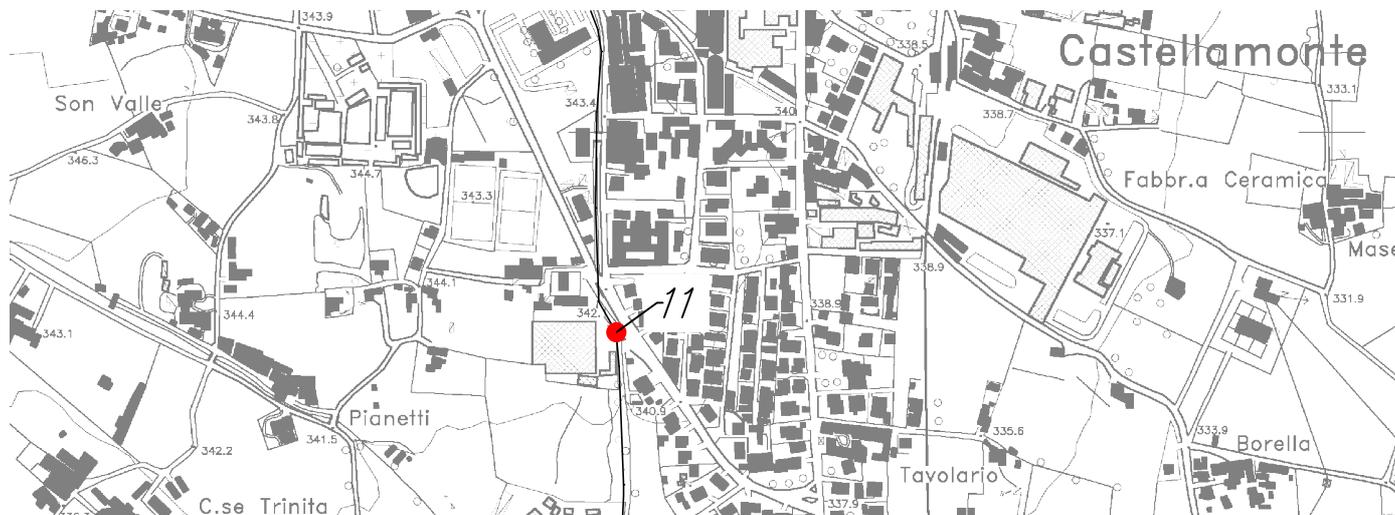
Parametro	Valore
Larghezza (m)	28
Pendenza media (m/m)	0.0033
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	22
Portata Critica	24
Note	

### Sezione Hec - Ras

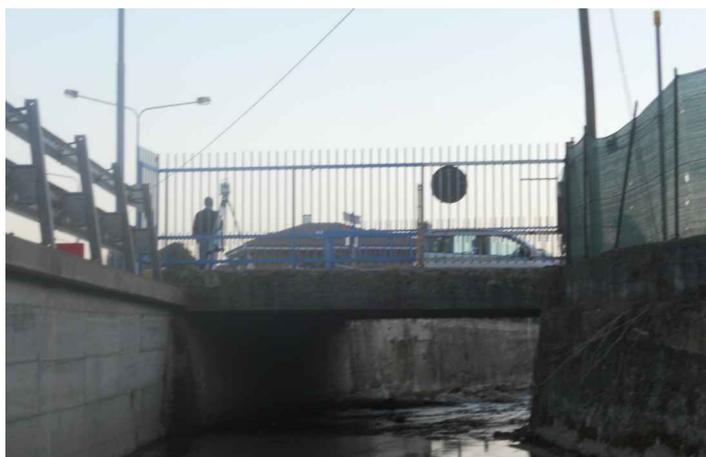


# RIO SAN PIETRO - ponte n.11

## Localizzazione



### Foto - sezione di monte



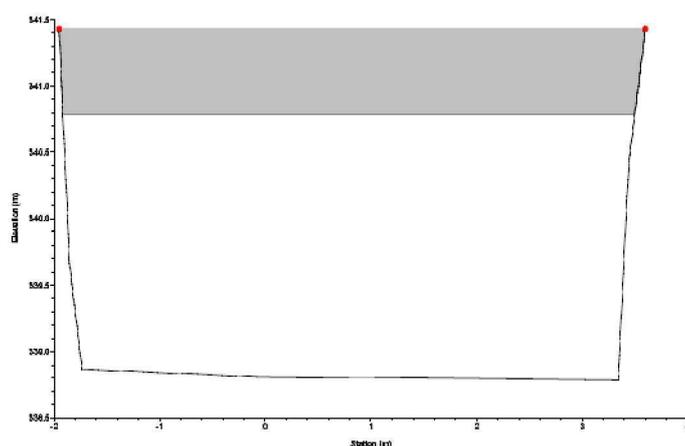
### Foto - sezione di valle



### Caratteristiche principali

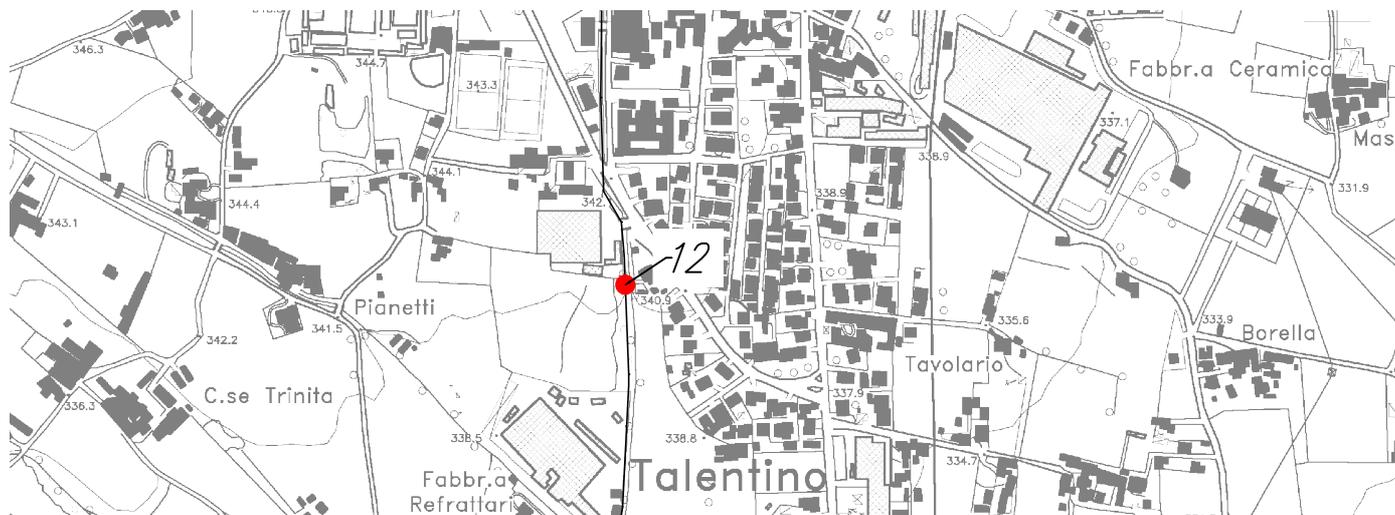
Parametro	Valore
Larghezza (m)	14
Pendenza media (m/m)	0.0084
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	60
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	20
Portata Critica	>40
Note	

### Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.12

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



## Foto - sezione di valle

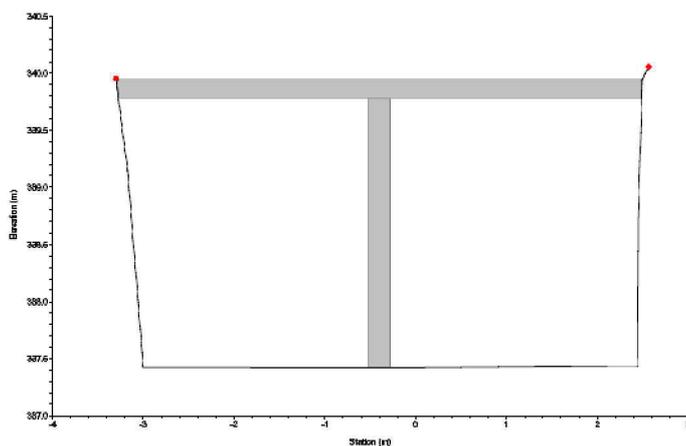


## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	2.75
Pendenza media (m/m)	0.0101
Ks (m <sup>4</sup> /3s <sup>4</sup> -1)	40
Materiale	roccia
Sezione Hec-Ras	16
Portata Critica	40

Note

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.13

## Localizzazione



### Foto - sezione di monte



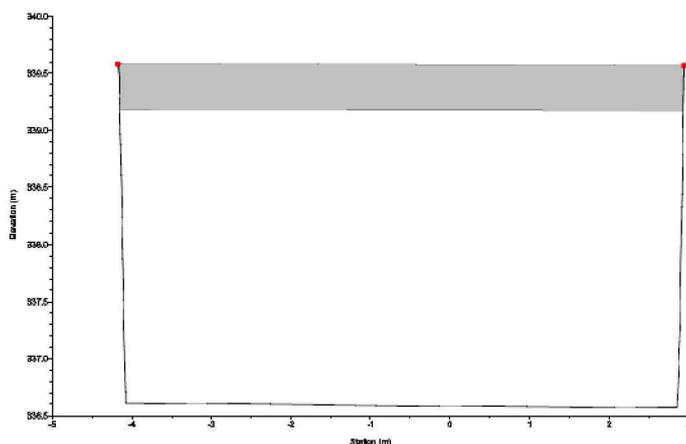
### Foto - sezione di valle



### Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	4
Pendenza media (m/m)	0.0074
$K_s$ ( $m^{1/3}s^{-1}$ )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	15
Portata Critica	40
Note	

### Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.14

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



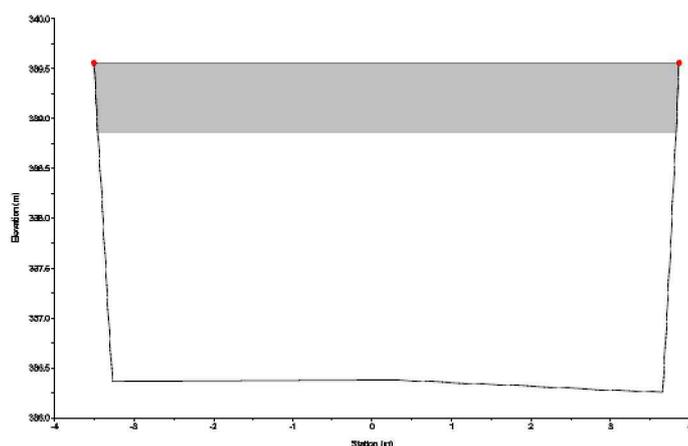
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	15
Pendenza media (m/m)	0.0038
$K_s (m^{1/3}s^{-1})$	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	14
Portata Critica	30
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.15

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



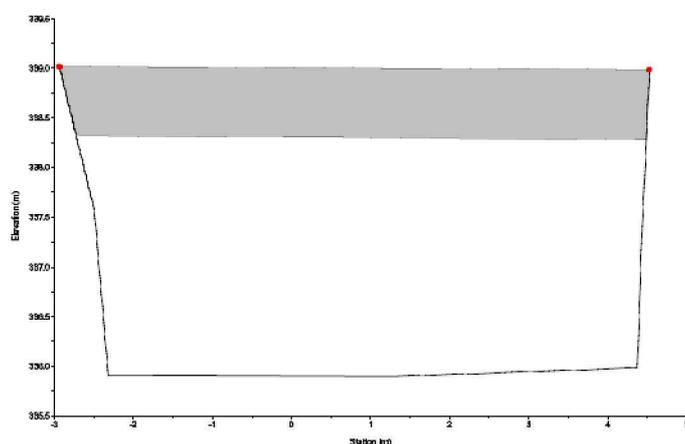
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	14.5
Pendenza media (m/m)	0.00346
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	13
Portata Critica	24
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.16

## Localizzazione



## Foto - sezione di monte



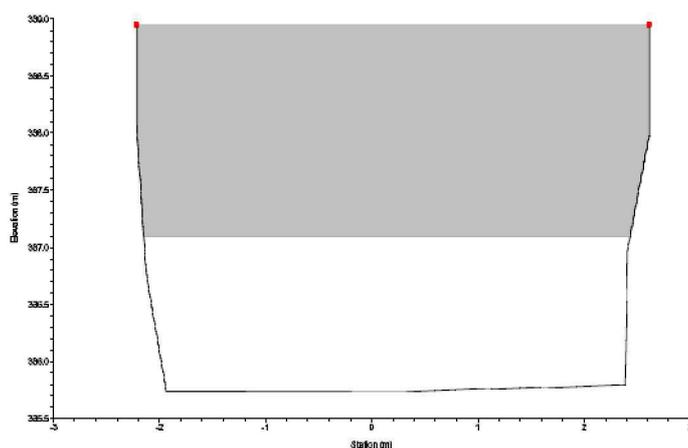
## Foto - sezione di valle



## Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	8.5
Pendenza media (m/m)	0.0033
Ks (m <sup>1</sup> /3s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	12
Portata Critica	15
Note	

## Sezione Hec - Ras



# RIO SAN PIETRO - ponte n.17

## Localizzazione



### Foto - sezione di monte



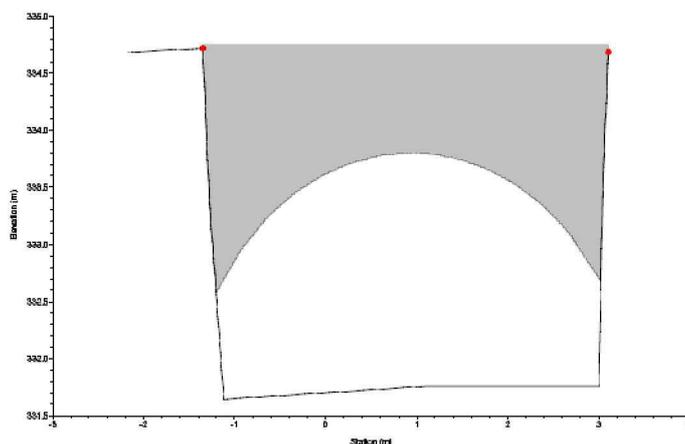
### Foto - sezione di valle



### Caratteristiche principali

Parametro	Valore
Larghezza (m)	11
Pendenza media (m/m)	0.0123
Ks (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Materiale	calcestruzzo
Sezione Hec-Ras	7
Portata Critica	>40

### Sezione Hec - Ras



#### Note

Le sezioni di monte e di valle sono differenti.

# **Allegato 2**

**Elaborazioni Idrologiche**

**Elaborazioni Idrologiche**  
**Bacino Chiuso al Ponte 8**

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DELL'ASTA**

<b><math>h_{\min}</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b><math>h_{\max}</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b><math>\Delta h</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b>Li</b> <b>[km]</b>	<b>Li</b> <b>[m]</b>	<b><math>i_i</math></b> <b>[m/m]</b>	<b>Radq i</b>	<b>Li/Radq i</b>	
341	350	9	1.176	1176.16	0.008	0.087	13445.5	
351	400	50	2.107	2106.66	0.024	0.154	13674.4	
401	450	50	0.564	563.58	0.089	0.298	1892.1	
451	500	50	0.552	551.95	0.091	0.301	1833.8	
501	550	50	0.249	248.72	0.201	0.448	554.7	
551	600	50	0.122	121.81	0.410	0.641	190.1	
601	650	50	0.148	148.31	0.337	0.581	255.4	
651	700	50	0.103	103.18	0.485	0.696	148.2	
701	750	50	0.085	85.43	0.585	0.765	111.7	
751	761	11	0.049	48.75	0.226	0.475	102.6	
$\Sigma$			5.155	5154.54	$\Sigma$			32208.6
						<b><math>i_{\text{media}}</math></b>	<b>0.026</b>	
							<b>2.56%</b>	

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI**

<b>Isoipsa - h [m s.l.m]</b>	<b>Li - Sviluppo Isoipsa [km] [m]</b>		<b>Δh [m s.l.m]</b>	<b>Li x Δh</b>
341	1.019	1019.2	9	9172.8252
350	4.409	4408.8	50	220441.8075
400	7.306	7305.5	50	365276.56
450	6.416	6415.7	50	320782.9925
500	3.695	3695.0	50	184748.3775
550	1.760	1759.7	50	87985.0725
600	0.978	978.0	50	48899.5925
650	0.591	591.2	50	29557.8675
700	0.245	245.1	50	12256.255
750	0.067	67.5	11	742.1007
Σ				1279863.45

Area tot m<sup>2</sup> 6057288.31

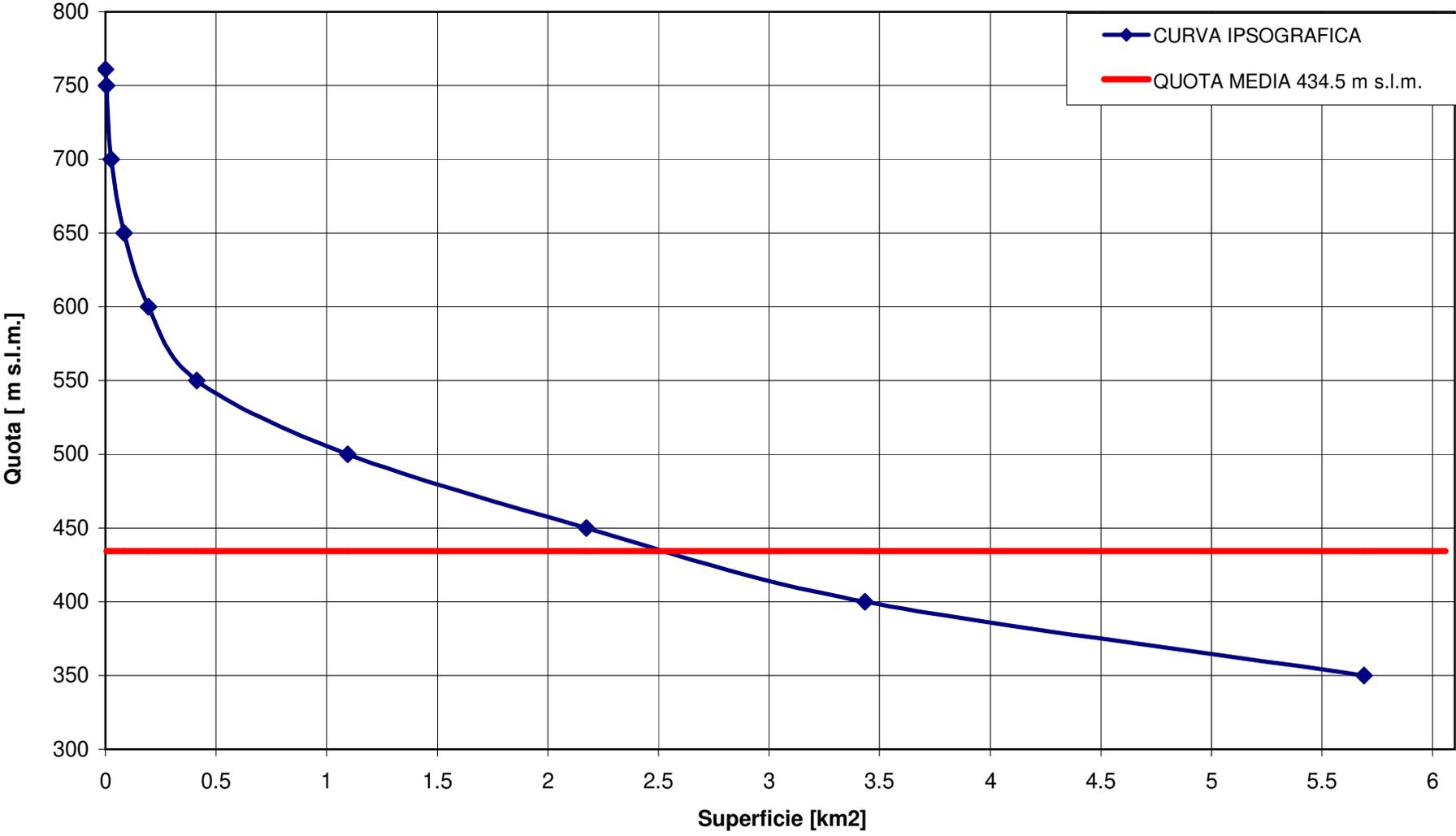
**Pendenza media versanti**

<b>im</b>	<b>21.13%</b>
-----------	---------------

**DATI E TABELLA PER LA DETERMINAZIONE DELLA CURVA IPSOGRAFICA E DELLA QUOTA MEDIA**

Intervallo tra le isoipse		Superfici parziali		Superfici progressive		Quota
hmax [m s.l.m.]	hmin [m s.l.m.]	$\Delta S$ [km <sup>2</sup> ]	$\Delta S$ [%]	S cumulata [km <sup>2</sup> ]	S cumulata [%]	media [m s.l.m.]
761	750	0.00	0.1%	0.00	0.1%	2.7
750	700	0.02	0.4%	0.03	0.4%	16.7
700	650	0.06	1.0%	0.08	1.4%	39.0
650	600	0.11	1.8%	0.19	3.2%	68.3
600	550	0.22	3.6%	0.41	6.8%	126.5
550	500	0.68	11.3%	1.10	18.1%	358.4
500	450	1.08	17.8%	2.17	35.9%	511.6
450	400	1.26	20.8%	3.43	56.7%	535.6
400	350	2.26	37.2%	5.69	93.9%	846.1
350	341	0.37	6.1%	6.06	100.0%	126.9
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>6.06</b>	<b>100.00%</b>	<b><math>\Sigma (h_{media,i} \times \Delta S)</math></b>		<b>2631.9</b>
<b>Quota media [S (h<sub>media</sub> x <math>\Delta S</math>)/S<sub>tot</sub>]</b>						<b>434.5</b>

Curva Ipsografica bacino Rio San Pietro



**Determinazione delle portate di piena di assegnato Tr****Rio San Pietro chiuso a quota 341 m s.l.m.**

L Lunghezza asta principale [km]	5.15	
i Pendenza media asta	2.56%	
Hmax Quota massima [m s.l.m.]	761	
Hm Quota media [m s.l.m.]	434.5	
Ho quota sezione di chiusura [m s.l.m.]	341	
Tempo di corrivazione [h]	2.21	Valor medio
Coefficiente di deflusso	0.38	
Coefficiente di laminazione	1.00	
Superficie bacino [km <sup>2</sup> ]	6.06	

<b>Tempo di Ritorno</b>	<b>Tr 20</b>	<b>Tr 100</b>	<b>Tr 200</b>	<b>Tr 500</b>
a (PAI) Ragguagliato al bacino	55.59	71.79	78.71	87.84
n (PAI) Ragguagliato al bacino	0.34	0.34	0.33	0.33
a'	55.42	71.57	78.46	87.56
n'	0.34	0.34	0.33	0.33
h [mm]	72.7	93.5	102.3	114.1
<b>Q [m3/s]</b>	<b>21.0</b>	<b>27.0</b>	<b>29.6</b>	<b>33.0</b>
<b>Q base [m3/s]</b>	<b>6.3</b>	<b>8.1</b>	<b>8.9</b>	<b>9.9</b>
<b>Q totale [m3/s]</b>	<b>27.3</b>	<b>35.1</b>	<b>38.4</b>	<b>42.9</b>

**Elaborazioni Idrologiche**  
**Bacino Scolmatore A**

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DELL'ASTA**

<b><math>h_{\min}</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b><math>h_{\max}</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b><math>\Delta h</math></b> <b>[m s.l.m.]</b>	<b>Li</b> <b>[km]</b>	<b>Li</b> <b>[m]</b>	<b><math>i_i</math></b> <b>[m/m]</b>	<b>Radq i</b>	<b>Li/Radq i</b>	
349	350	1	0.203	202.73	0.005	0.070	2886.5	
351	400	50	2.107	2106.66	0.024	0.154	13674.4	
401	450	50	0.564	563.58	0.089	0.298	1892.1	
451	500	50	0.552	551.95	0.091	0.301	1833.8	
501	550	50	0.249	248.72	0.201	0.448	554.7	
551	600	50	0.122	121.81	0.410	0.641	190.1	
601	650	50	0.148	148.31	0.337	0.581	255.4	
651	700	50	0.103	103.18	0.485	0.696	148.2	
701	750	50	0.085	85.43	0.585	0.765	111.7	
751	761	11	0.049	48.75	0.226	0.475	102.6	
$\Sigma$			4.181	4181.11	$\Sigma$			21649.6
						<b><math>i_{\text{media}}</math></b>	<b>0.037</b>	
							<b>3.73%</b>	

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI**

Isoipsa - h [m s.l.m]	Li - Sviluppo Isoipsa		$\Delta h$ [m s.l.m]	Li x $\Delta h$
	[km]	[m]		
349	2.467	2467.1	1	2467.09335
350	4.957	4957.4	50	247868.035
400	6.410	6410.0	50	320498.325
450	6.419	6419.5	50	320973.0575
500	3.695	3695.0	50	184748.3775
550	1.760	1759.7	50	87985.0725
600	0.978	978.0	50	48899.5925
650	0.591	591.0	50	29552.3425
700	0.245	245.0	50	12250.73
750	0.067	67.5	11	742.1007
			$\Sigma$	1255984.73

Area tot m<sup>2</sup> 4631353.34

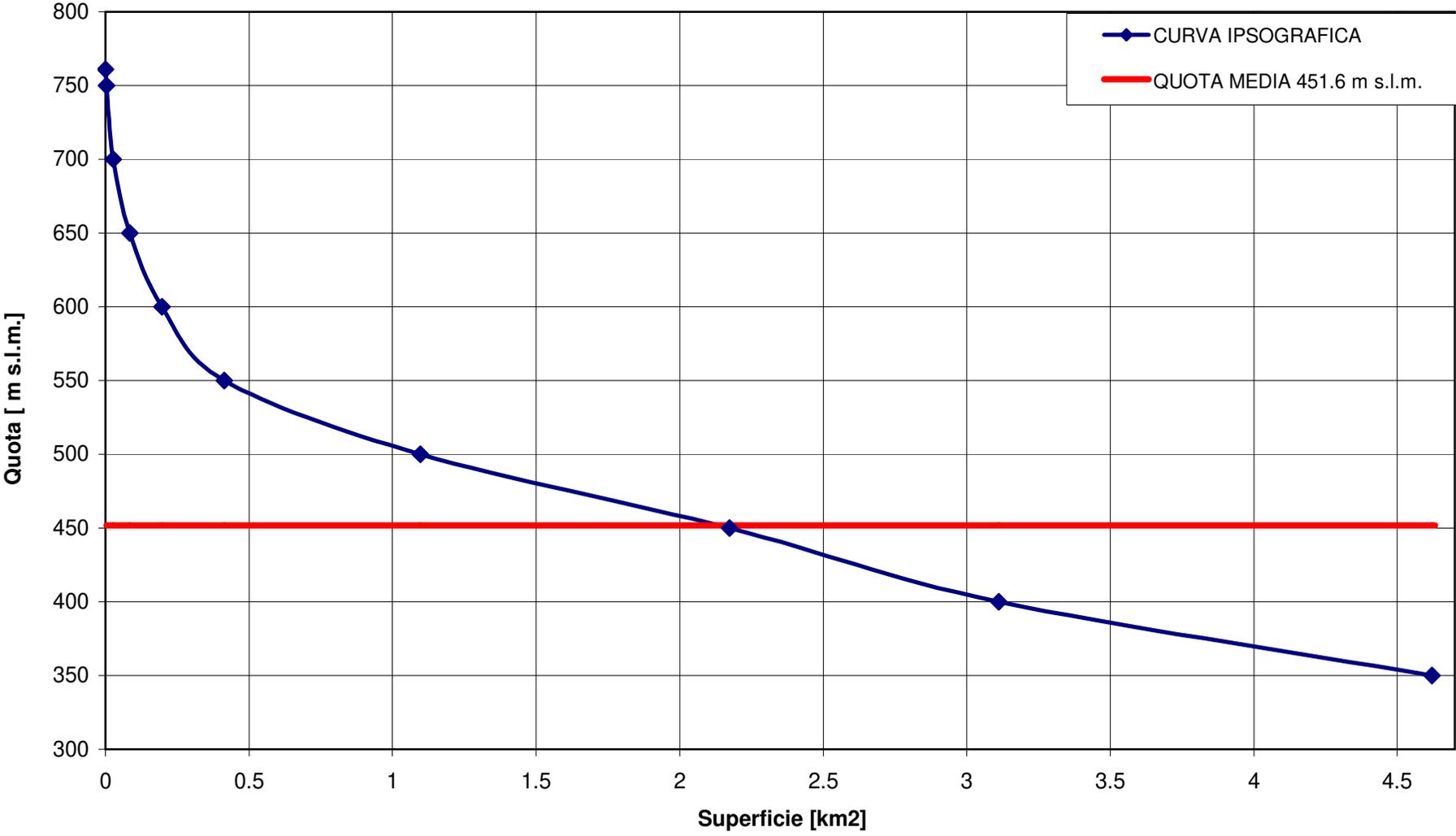
**Pendenza media versanti**

<b>im</b>	<b>27.12%</b>
-----------	---------------

**DATI E TABELLA PER LA DETERMINAZIONE DELLA CURVA IPSOGRAFICA E DELLA QUOTA MEDIA**

Intervallo tra le isoipse		Superfici parziali		Superfici progressive		Quota
hmax [m s.l.m.]	hmin [m s.l.m.]	$\Delta S$ [km <sup>2</sup> ]	$\Delta S$ [%]	S cumulata [km <sup>2</sup> ]	S cumulata [%]	media [m s.l.m.]
761	750	0.00	0.1%	0.00	0.1%	2.7
750	700	0.02	0.5%	0.03	0.6%	16.7
700	650	0.06	1.2%	0.08	1.8%	39.0
650	600	0.11	2.4%	0.20	4.3%	70.8
600	550	0.22	4.7%	0.41	8.9%	124.3
550	500	0.68	14.7%	1.10	23.7%	358.4
500	450	1.08	23.3%	2.17	46.9%	511.6
450	400	0.94	20.3%	3.11	67.2%	398.6
400	350	1.51	32.6%	4.62	99.8%	565.9
350	349	0.01	0.2%	4.63	100.0%	3.8
<b><math>\Sigma</math></b>		<b>4.63</b>	<b>100.00%</b>	<b><math>\Sigma (h_{media,i} \times \Delta S)</math></b>		<b>2091.7</b>
<b>Quota media [S (h<sub>media</sub> x <math>\Delta S</math>)/S<sub>tot</sub>]</b>						<b>451.6</b>

**Curva Ipsografica del bacino del Rio San Pietro - Scolmatore A**



**Determinazione delle portate di piena di assegnato Tr****Rio San Pietro chiuso a quota 349 m s.l.m.**

L Lunghezza asta principale [km]	4.18	
i Pendenza media asta	3.73%	
Hmax Quota massima [m s.l.m.]	761	
Hm Quota media [m s.l.m.]	452	
Ho quota sezione di chiusura [m s.l.m.]	349	
Tempo di corrivazione [h]	1.77	Valor medio
Coefficiente di deflusso	0.33	
Coefficiente di laminazione	1.00	
Superficie bacino [km <sup>2</sup> ]	4.63	

<b>Tempo di Ritorno</b>	<b>Tr 20</b>	<b>Tr 100</b>	<b>Tr 200</b>	<b>Tr 500</b>
a (PAI) Ragguagliato al bacino	55.77	72.02	78.96	88.12
n (PAI) Ragguagliato al bacino	0.34	0.34	0.34	0.33
a'	55.63	71.85	78.77	87.91
n'	0.34	0.34	0.34	0.34
h [mm]	67.8	87.2	95.5	106.5
<b>Q [m3/s]</b>	<b>16.2</b>	<b>20.9</b>	<b>22.9</b>	<b>25.5</b>
<b>Q base [m3/s]</b>	<b>4.9</b>	<b>6.3</b>	<b>6.9</b>	<b>7.6</b>
<b>Q totale [m3/s]</b>	<b>21.1</b>	<b>27.1</b>	<b>29.7</b>	<b>33.1</b>

**Elaborazioni Idrologiche**  
**Bacino Scolmatore B**

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DELL'ASTA**

$h_{\min}$ [m s.l.m.]	$h_{\max}$ [m s.l.m.]	$\Delta h$ [m s.l.m.]	Li [km]	Li [m]	$i_i$ [m/m]	Radq i	Li/Radq i
351	400	49	1.727	1727.10	0.028	0.168	10253.7
401	450	50	0.565	564.88	0.089	0.298	1898.7
451	500	50	0.180	179.87	0.278	0.527	341.2
501	529	28	0.170	169.90	0.165	0.406	418.5
$\Sigma$			2.642	2641.76		$\Sigma$	12912.0
						$i_{\text{media}}$	<b>0.042</b>
							<b>4.19%</b>

**TABELLA E DATI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PENDENZA MEDIA DEI VERSANTI**

<b>Isoipsa - h</b> <b>[m s.l.m]</b>	<b>Li - Sviluppo Isoipsa</b>		<b>Δh</b>	<b>Li x Δh</b>
	<b>[km]</b>	<b>[m]</b>	<b>[m s.l.m]</b>	
351	0.955	954.7	49	46779.97905
400	2.134	2133.8	50	106688.475
450	1.580	1580.5	50	79023.2625
500	0.401	401.4	29	11640.2868
			Σ	244132.00

Area tot m<sup>2</sup> 1277934.48

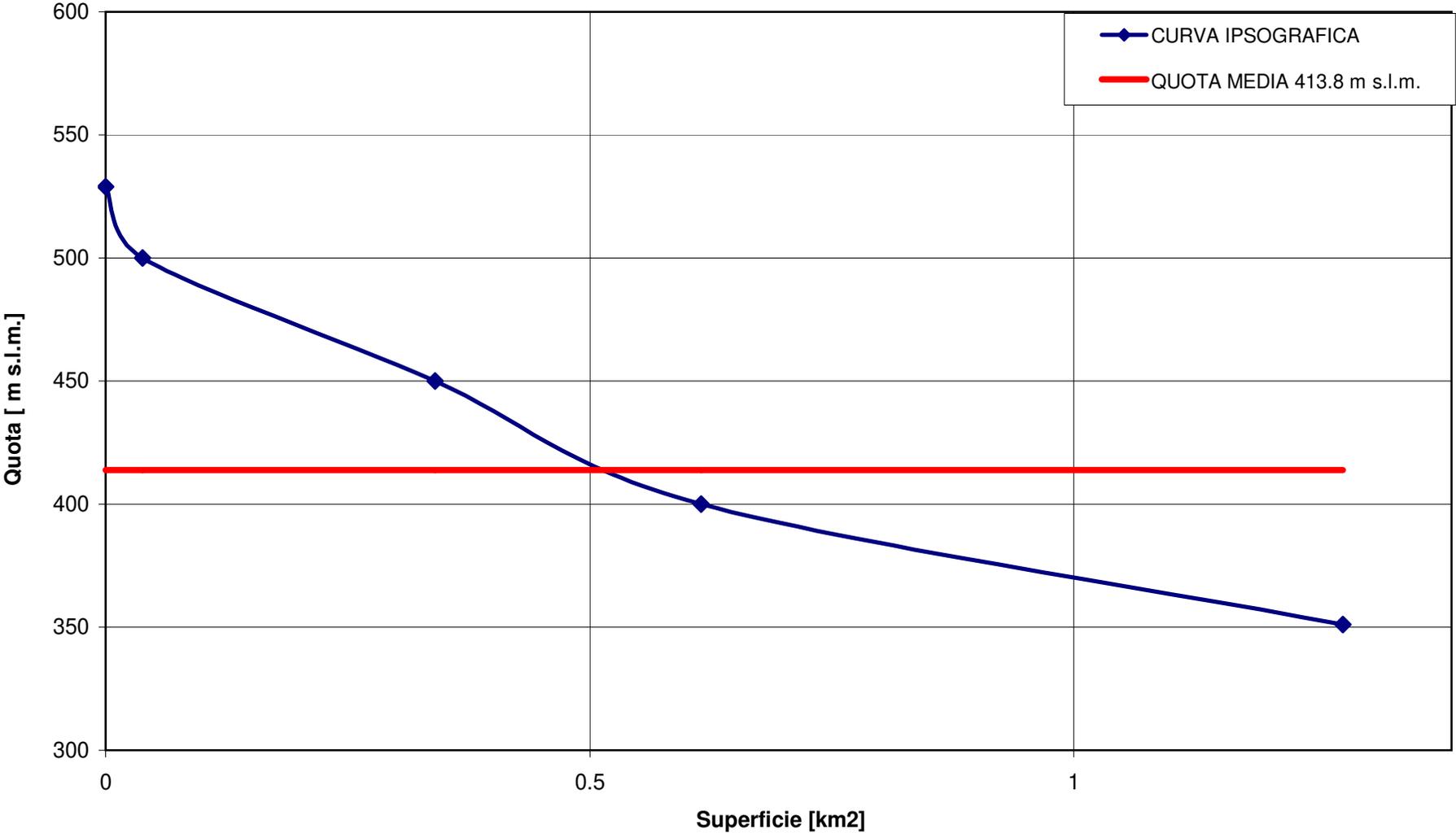
**Pendenza media versanti**

<b>im</b>	<b>19.10%</b>
-----------	---------------

**DATI E TABELLA PER LA DETERMINAZIONE DELLA CURVA IPSOGRAFICA E DELLA QUOTA MEDIA**

Intervallo tra le isoipse		Superfici parziali		Superfici progressive		Quota
hmax [m s.l.m.]	hmin [m s.l.m.]	$\Delta S$ [km <sup>2</sup> ]	$\Delta S$ [%]	S cumulata [km <sup>2</sup> ]	S cumulata [%]	media [m s.l.m.]
529	500	0.04	3.0%	0.04	3.0%	19.6
500	450	0.30	23.7%	0.34	26.6%	143.6
450	400	0.27	21.5%	0.61	48.1%	116.6
400	351	0.66	51.9%	1.28	100.0%	249.0
$\Sigma$		<b>1.28</b>	<b>100.00%</b>	$\Sigma (h_{media,i} \times \Delta S)$		<b>528.8</b>
		<b>Quota media [S (h<sub>media</sub> x <math>\Delta S</math>)/S<sub>tot</sub>]</b>				<b>413.8</b>

**Curva Ipsografica del bacino del Rio San Pietro - Scolmatore B**



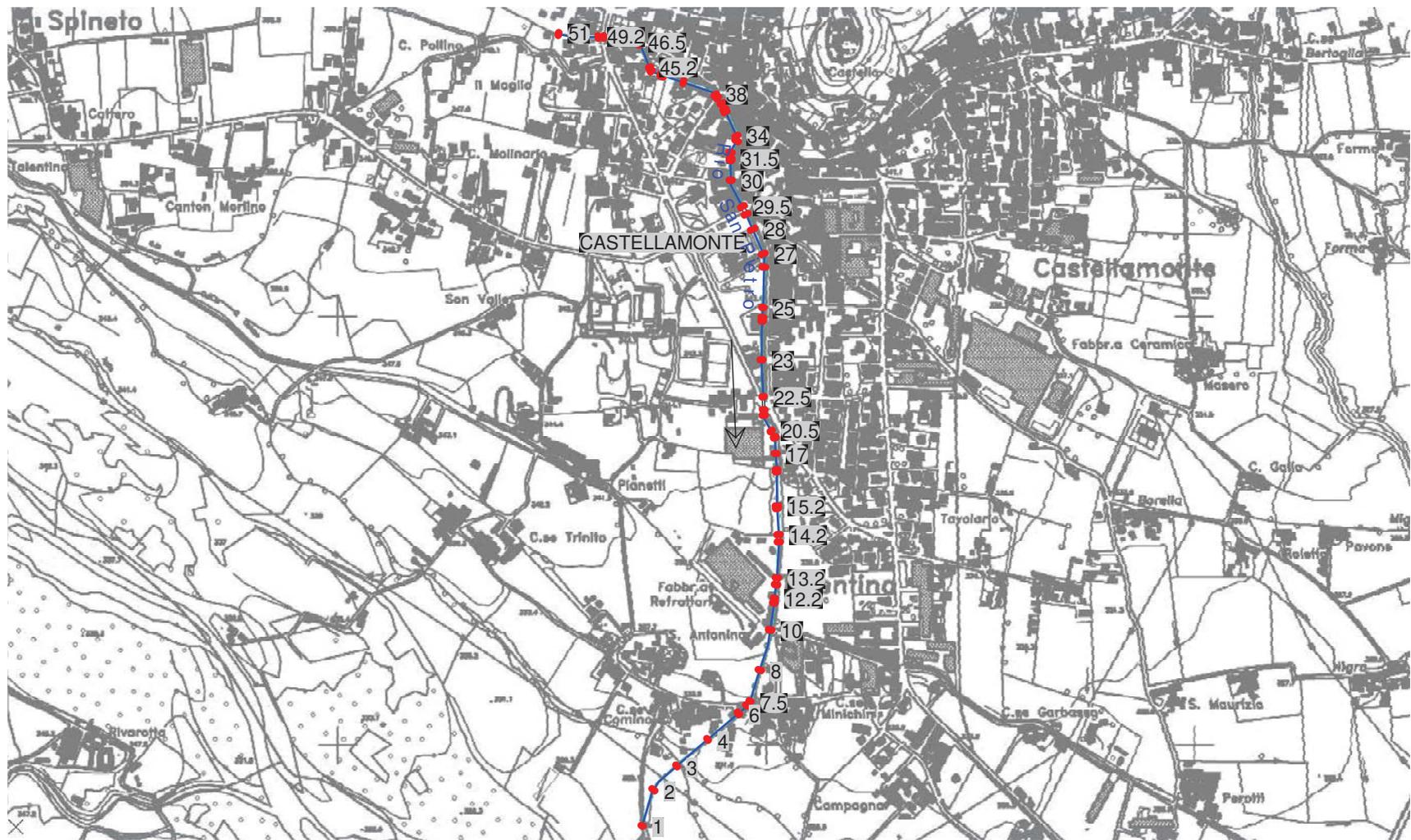
**Determinazione delle portate di piena di assegnato Tr****Rio San Pietro chiuso a quota 351 m s.l.m.**

L Lunghezza asta principale [km]	2.64	
i Pendenza media asta	4.19%	
Hmax Quota massima [m s.l.m.]	529	
Hm Quota media [m s.l.m.]	414	
Ho quota sezione di chiusura [m s.l.m.]	351	
Tempo di corrivazione [h]	1.20	Valor medio
Coefficiente di deflusso	0.29	
Coefficiente di laminazione	1.00	
Superficie bacino [km <sup>2</sup> ]	1.28	

<b>Tempo di Ritorno</b>	<b>Tr 20</b>	<b>Tr 100</b>	<b>Tr 200</b>	<b>Tr 500</b>
a (PAI) Ragguagliato al bacino	55.79	72.05	78.99	88.15
n (PAI) Ragguagliato al bacino	0.34	0.34	0.33	0.33
a'	55.75	72.00	78.94	88.09
n'	0.34	0.34	0.33	0.33
h [mm]	59.4	76.6	84.0	93.7
<b>Q [m3/s]</b>	<b>5.1</b>	<b>6.6</b>	<b>7.2</b>	<b>8.0</b>
<b>Q base [m3/s]</b>	<b>1.5</b>	<b>2.0</b>	<b>2.2</b>	<b>2.4</b>
<b>Q totale [m3/s]</b>	<b>6.6</b>	<b>8.5</b>	<b>9.3</b>	<b>10.4</b>

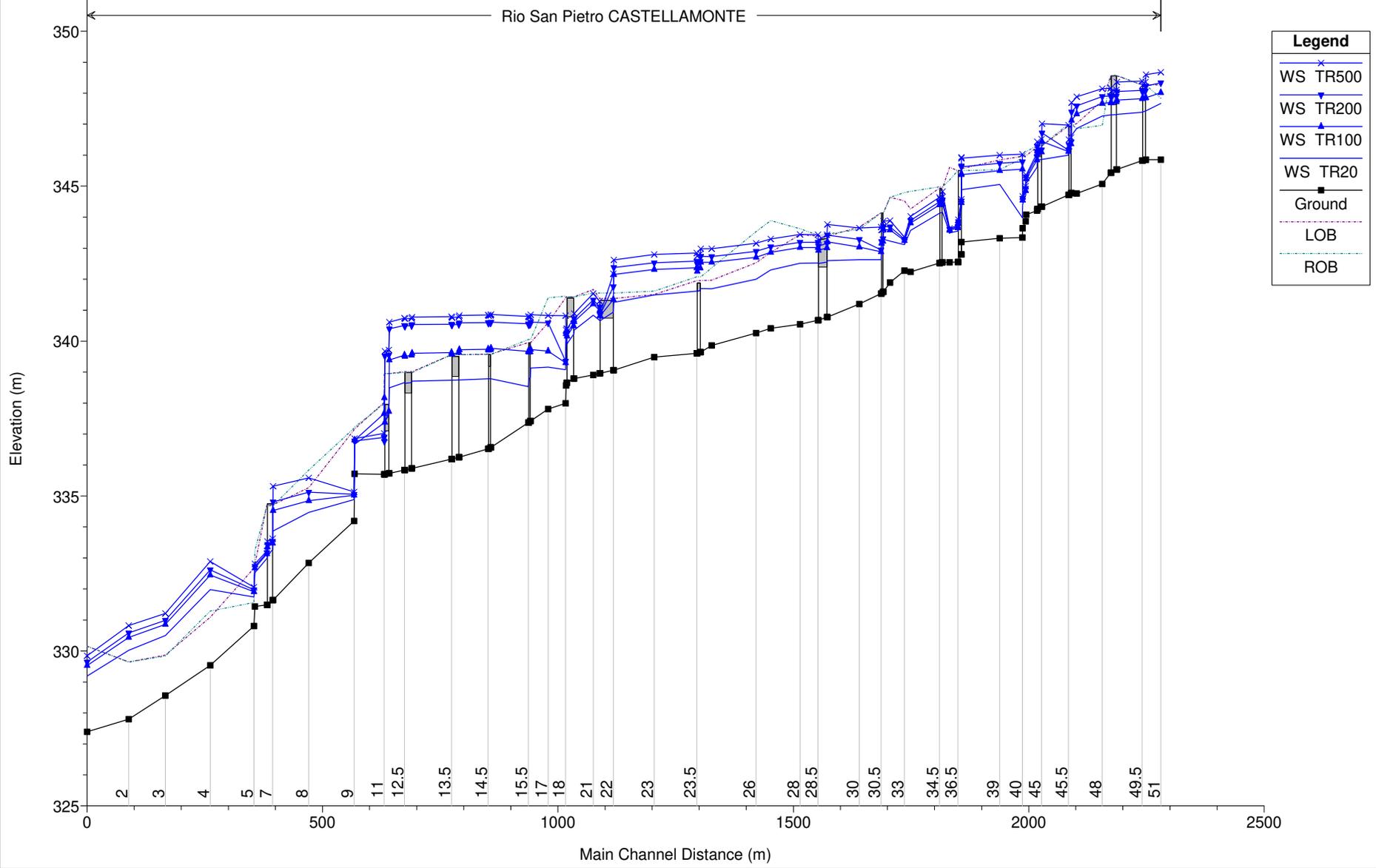
# **Allegato 3**

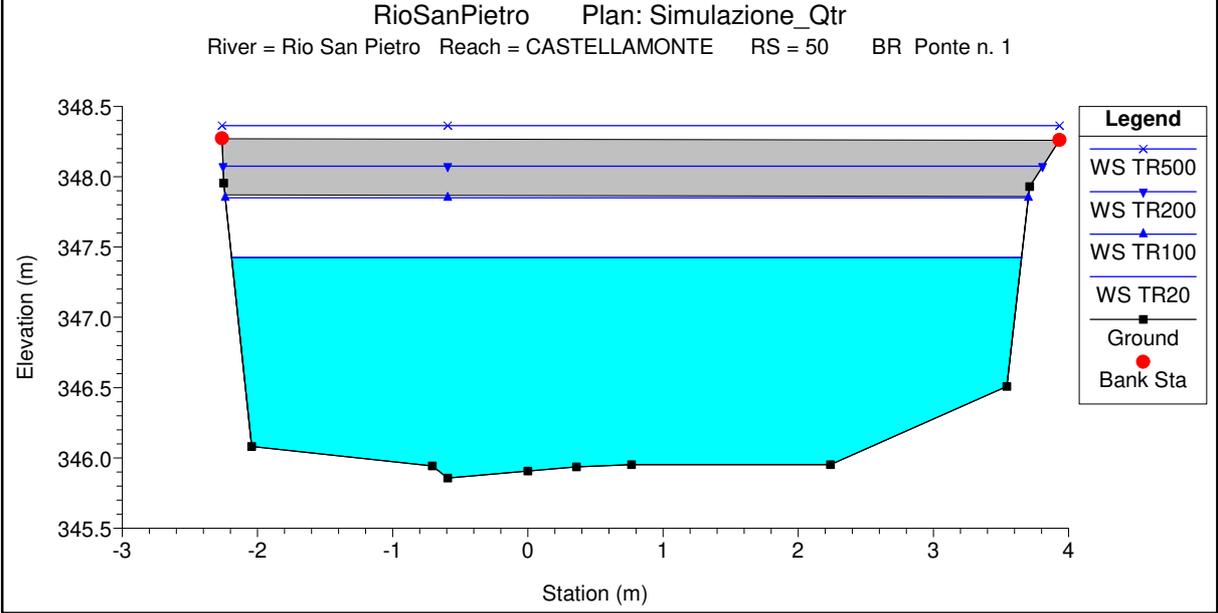
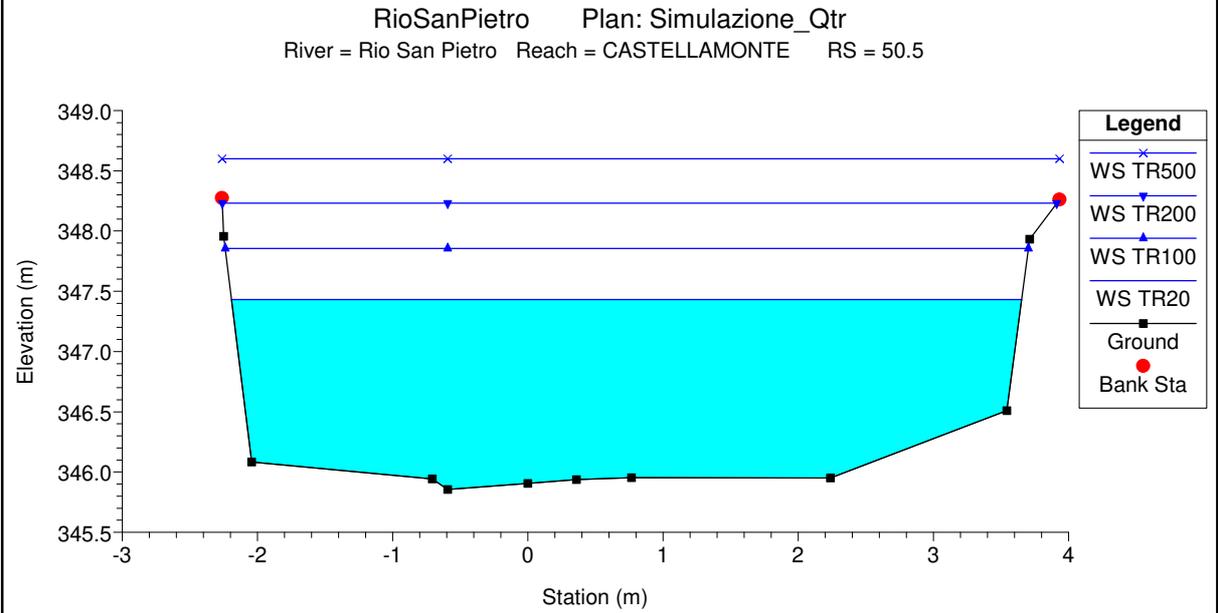
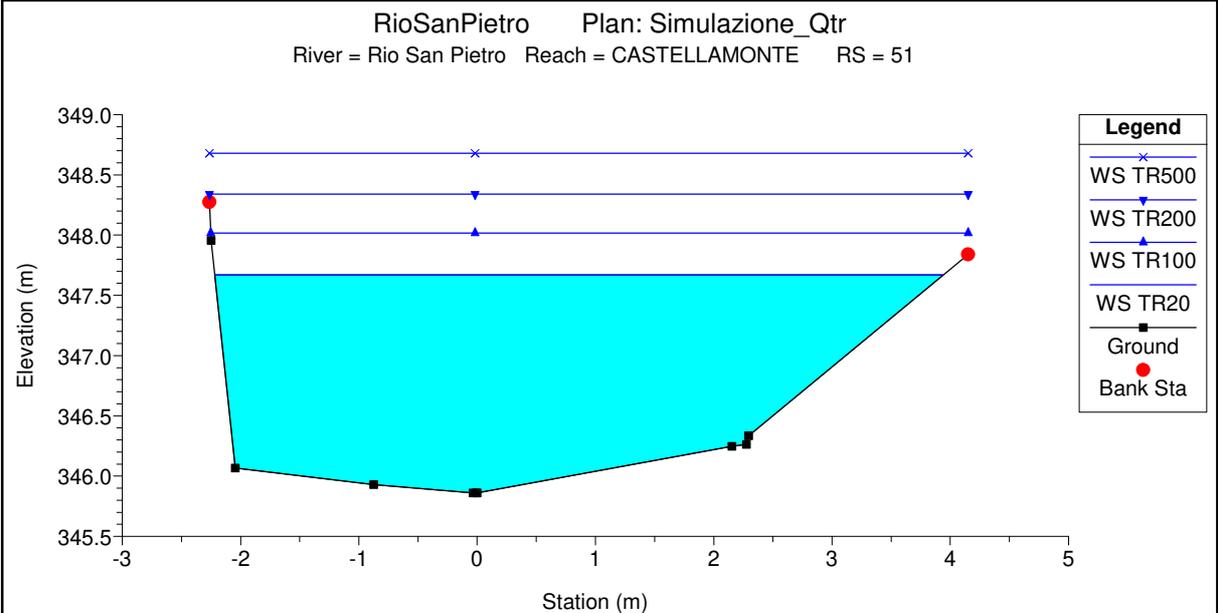
**Elaborazioni Idrauliche**

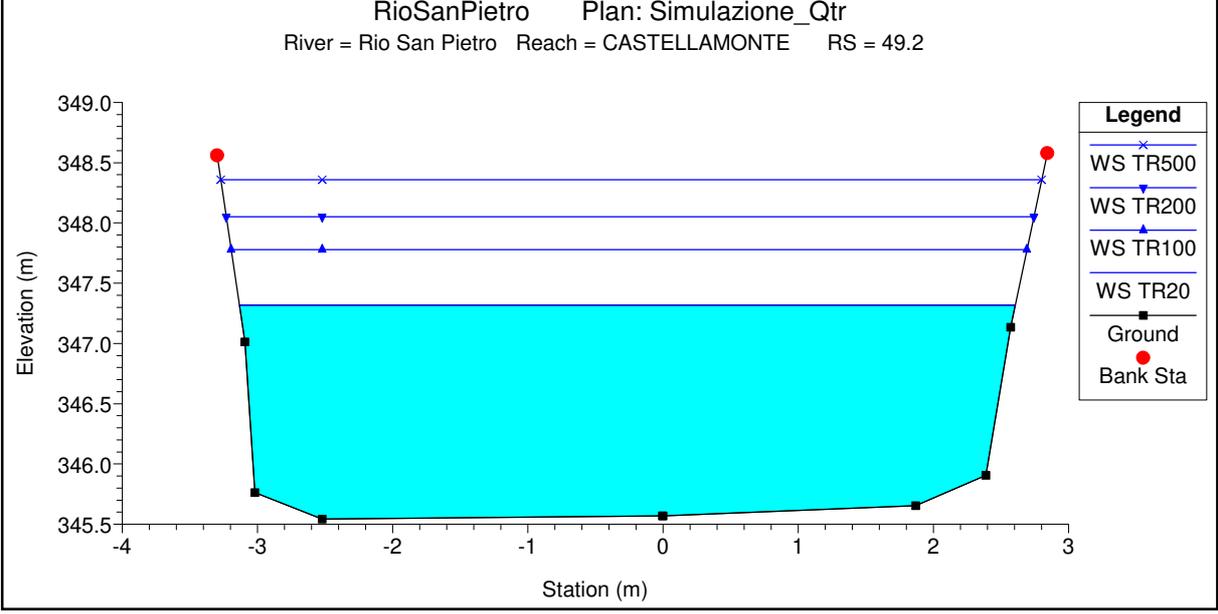
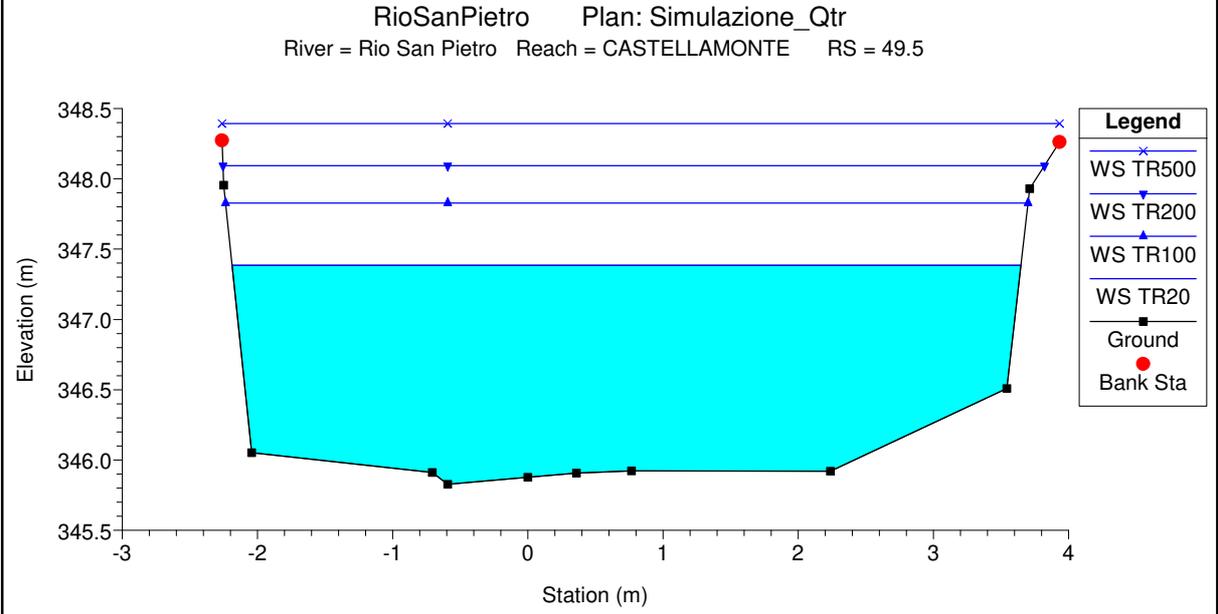
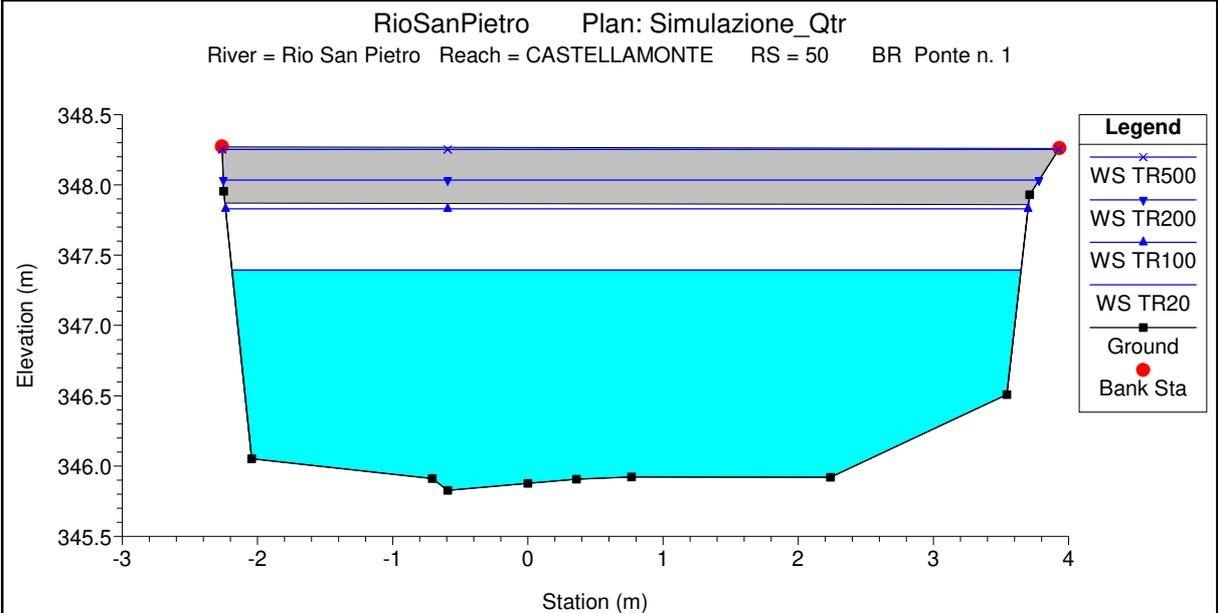


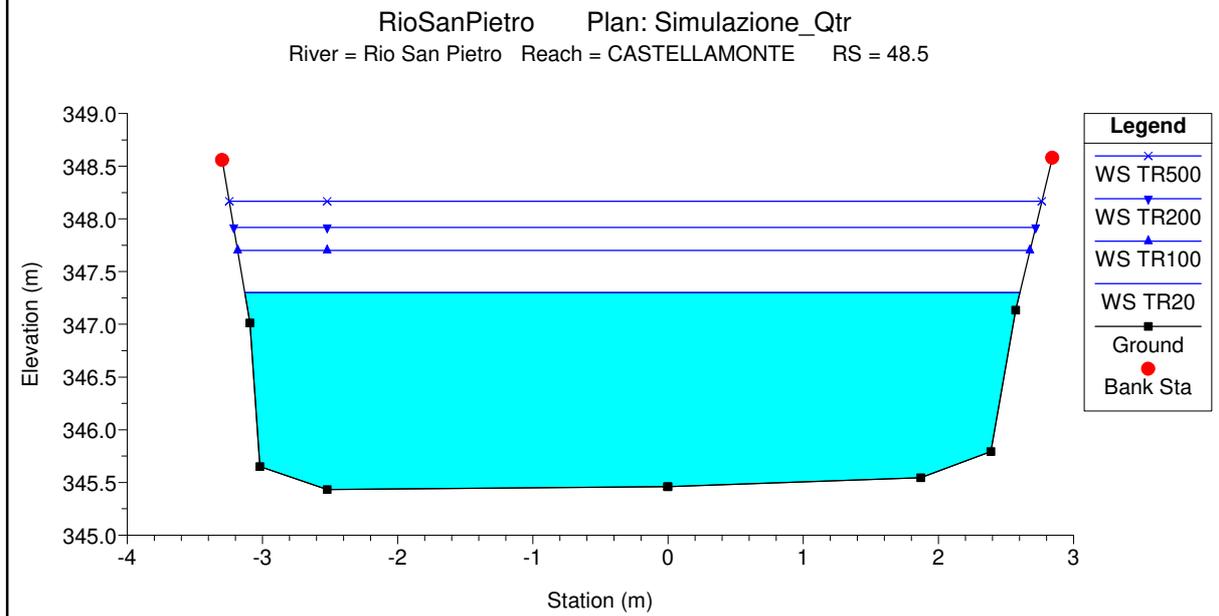
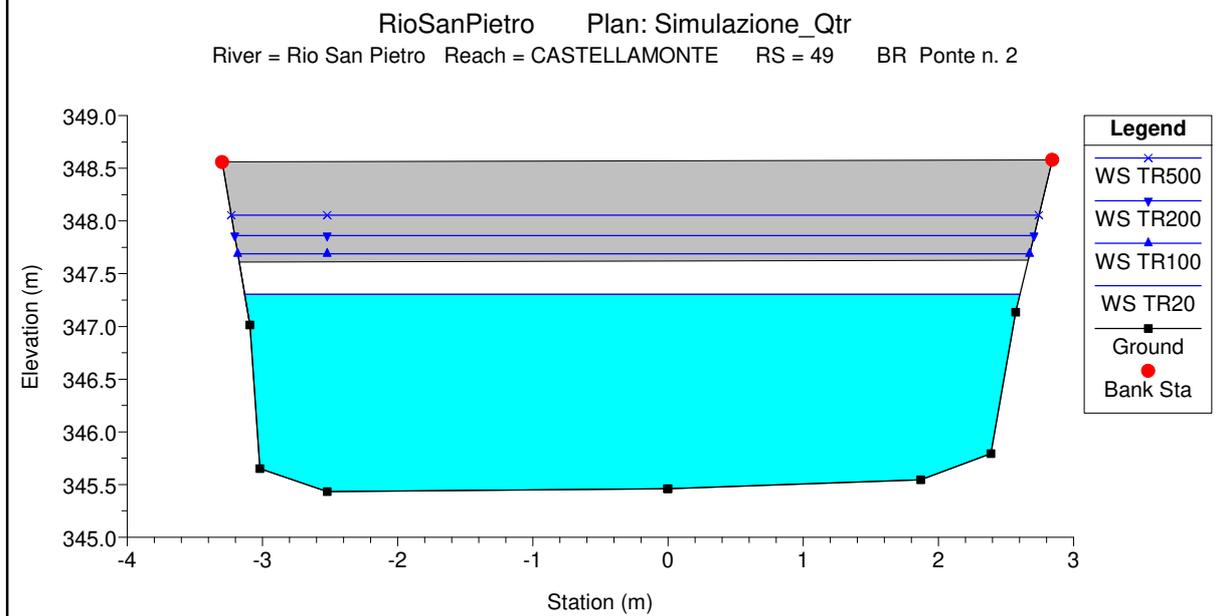
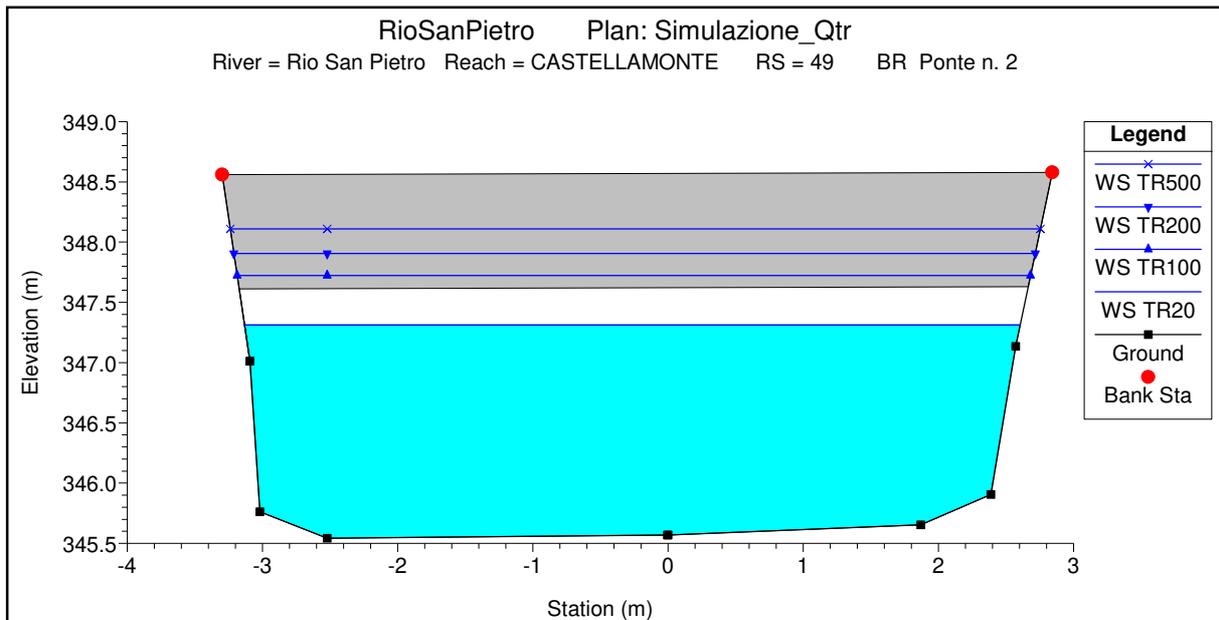
RioSanPietro Plan: Simulazione\_Qtr

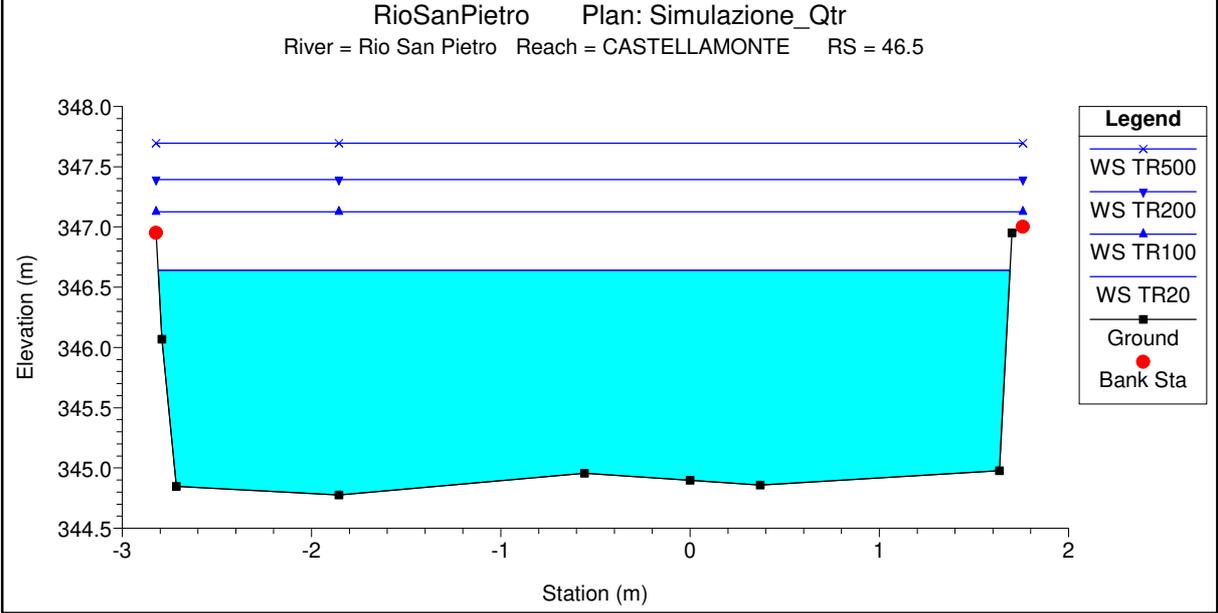
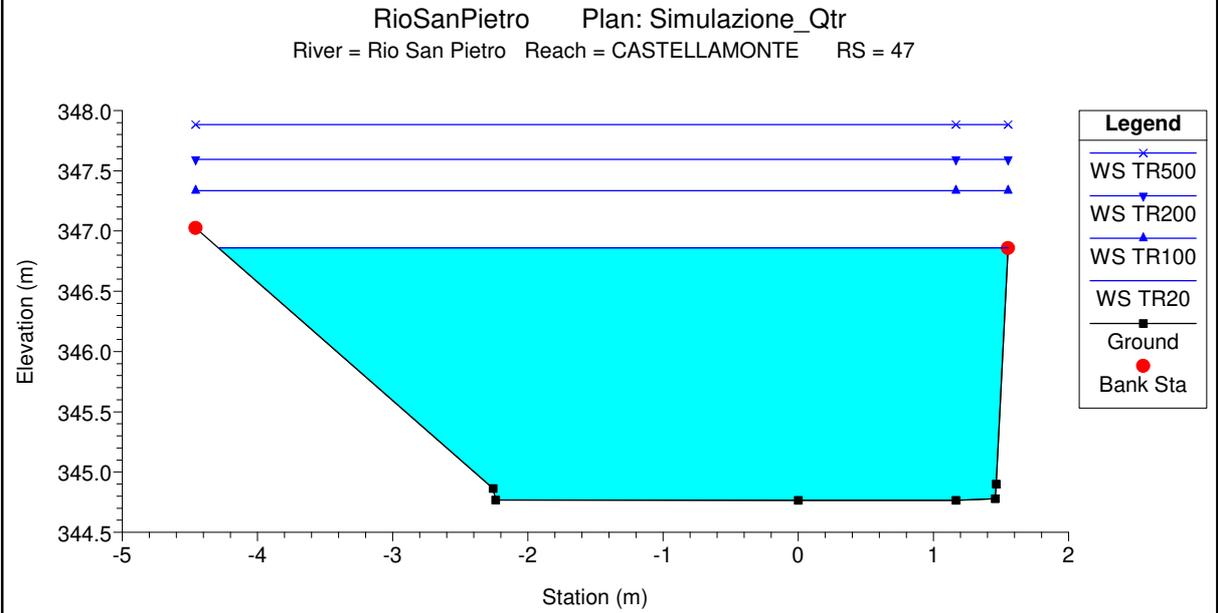
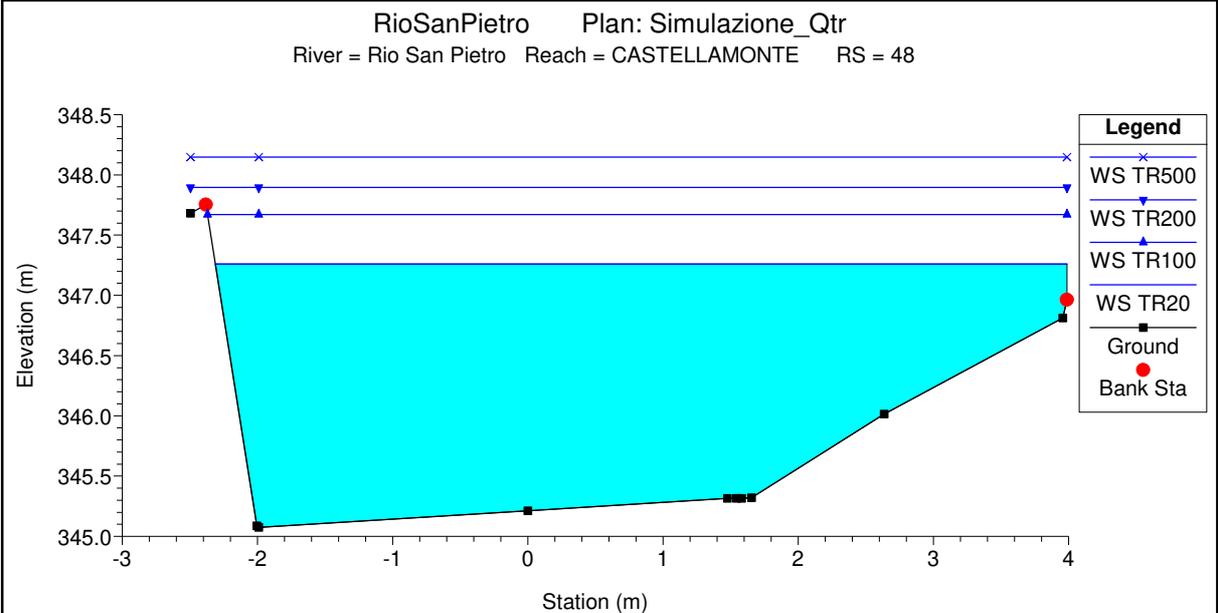
Rio San Pietro CASTELLAMONTE

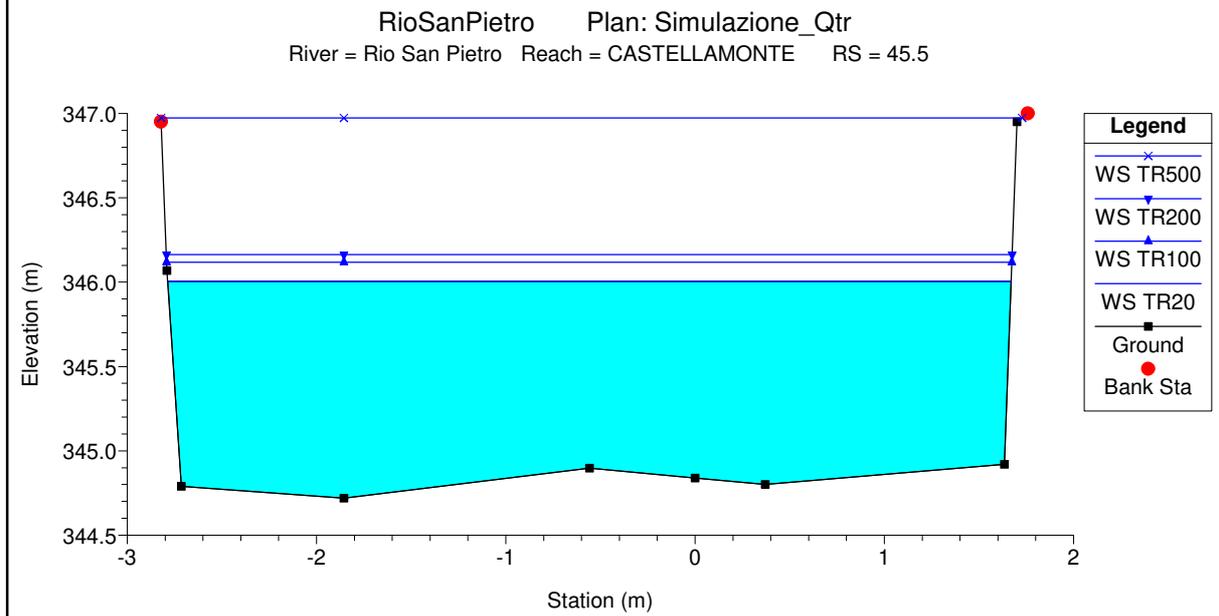
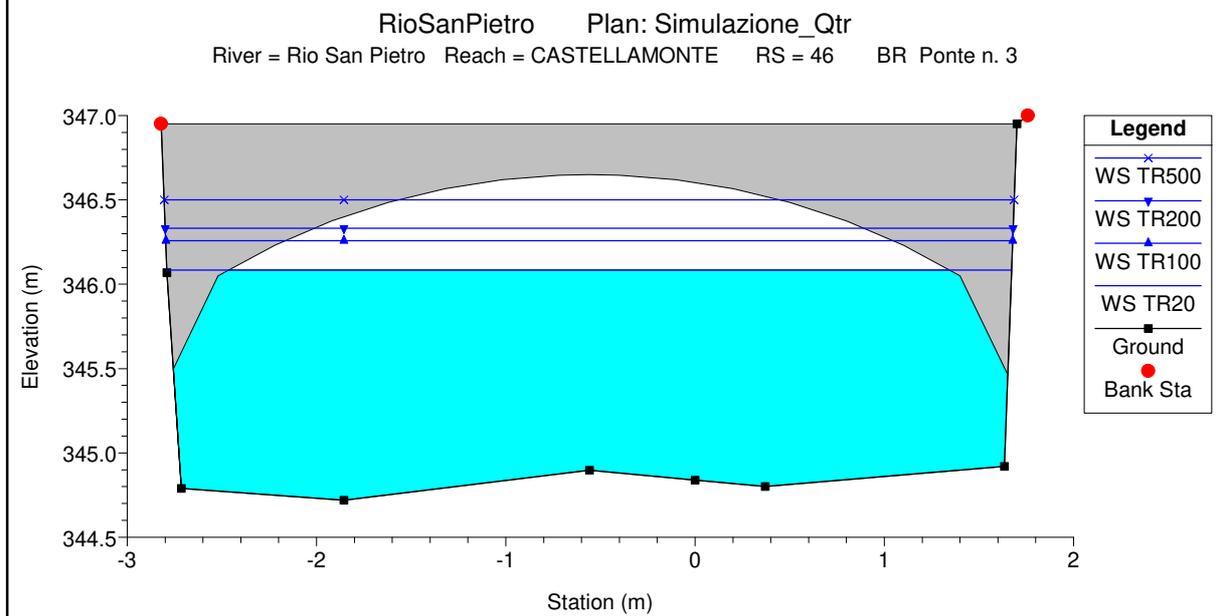
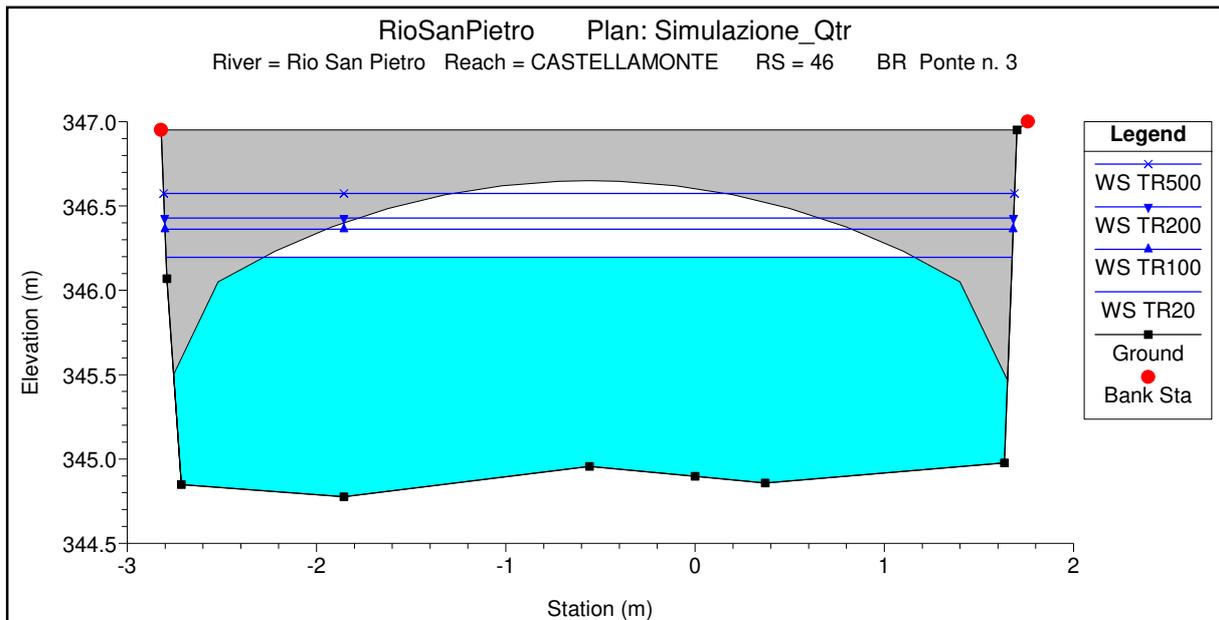


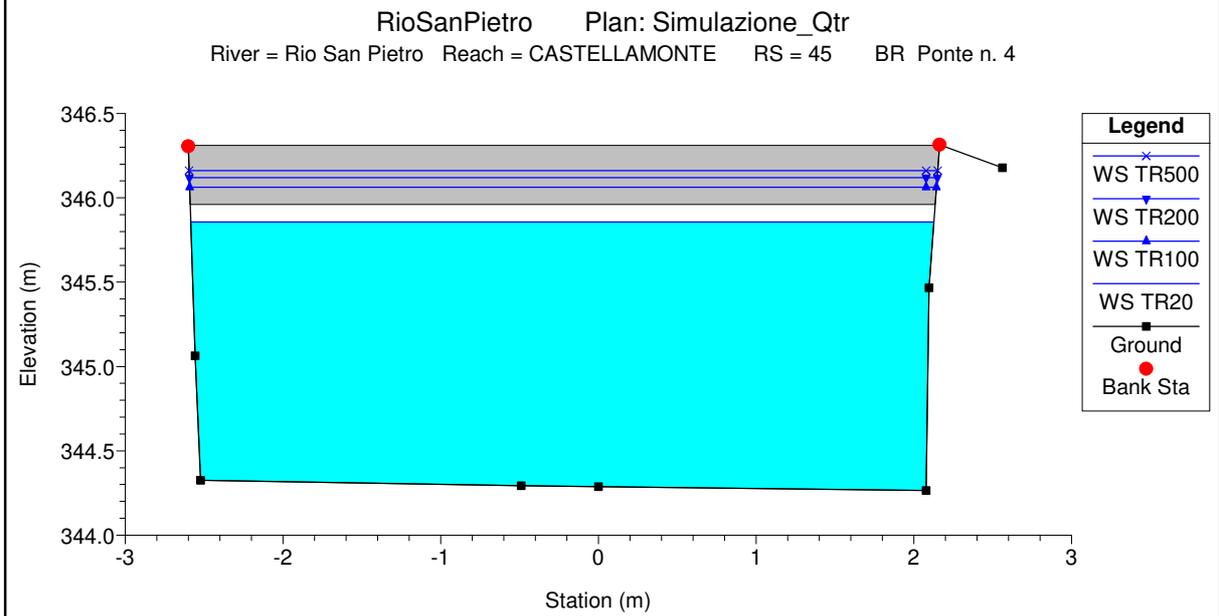
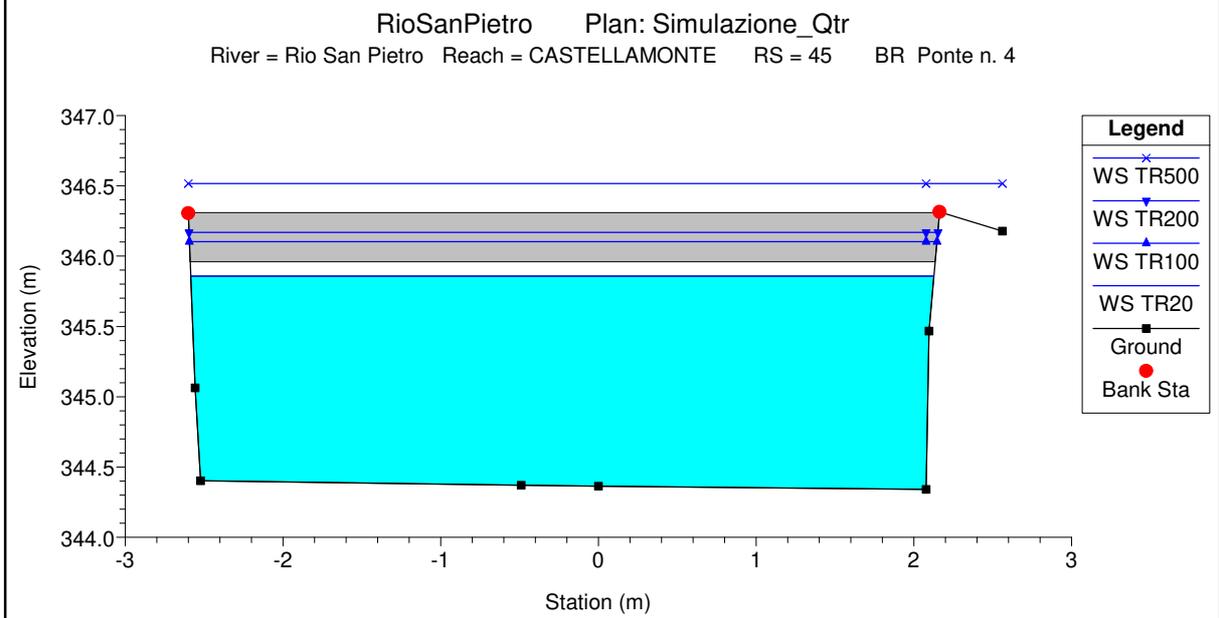
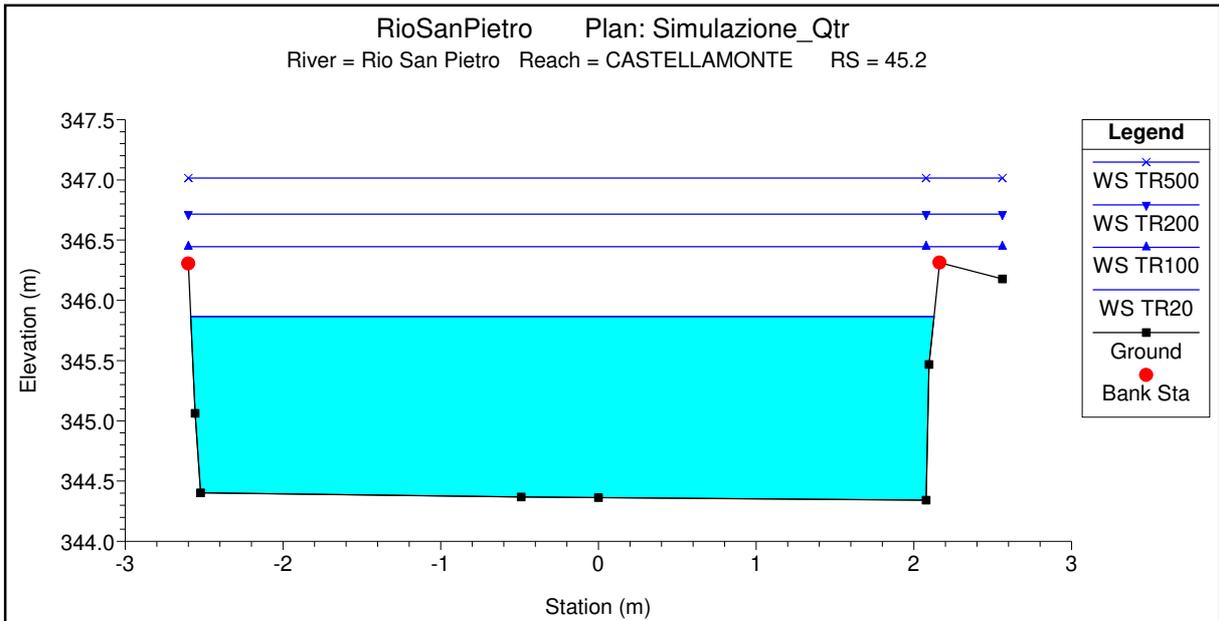


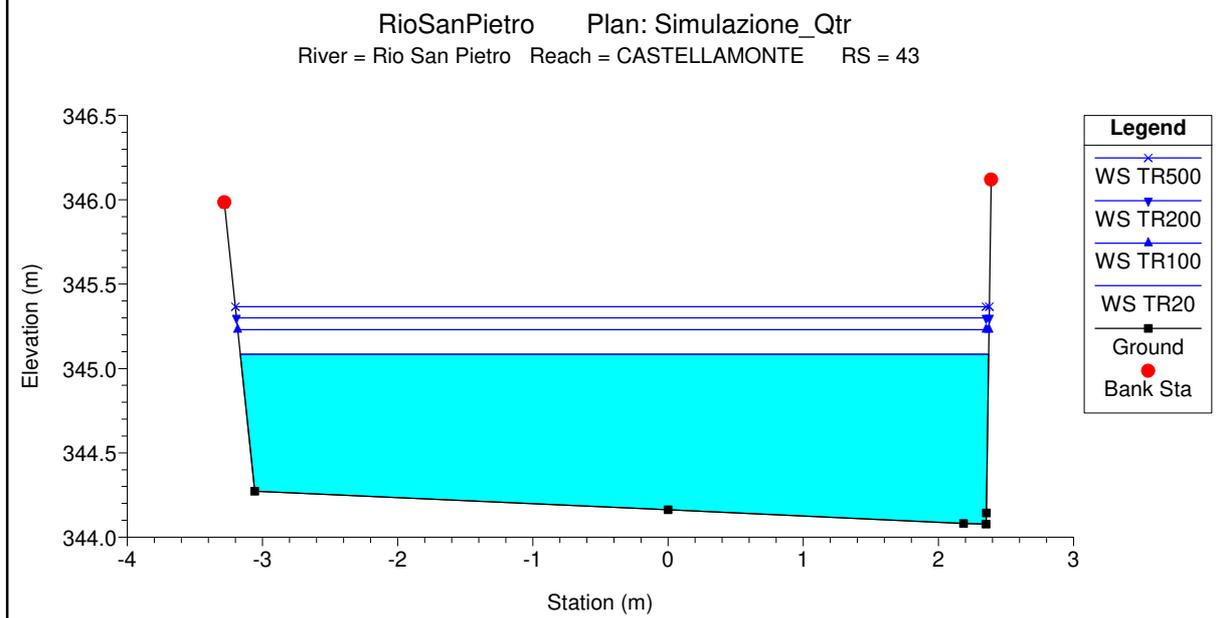
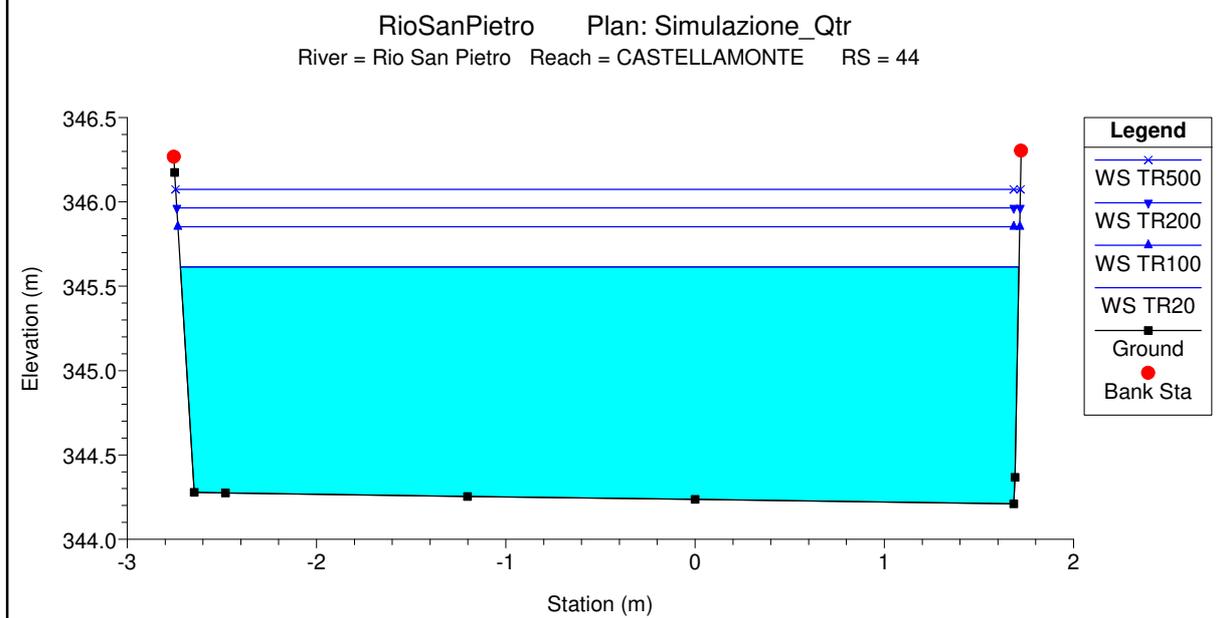
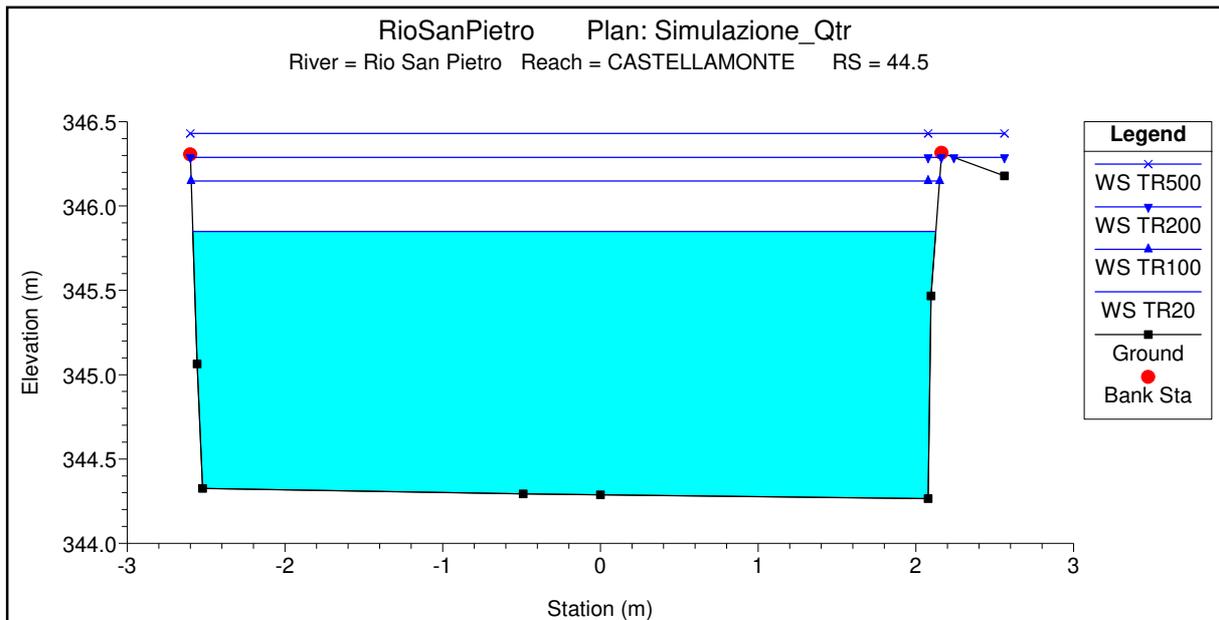


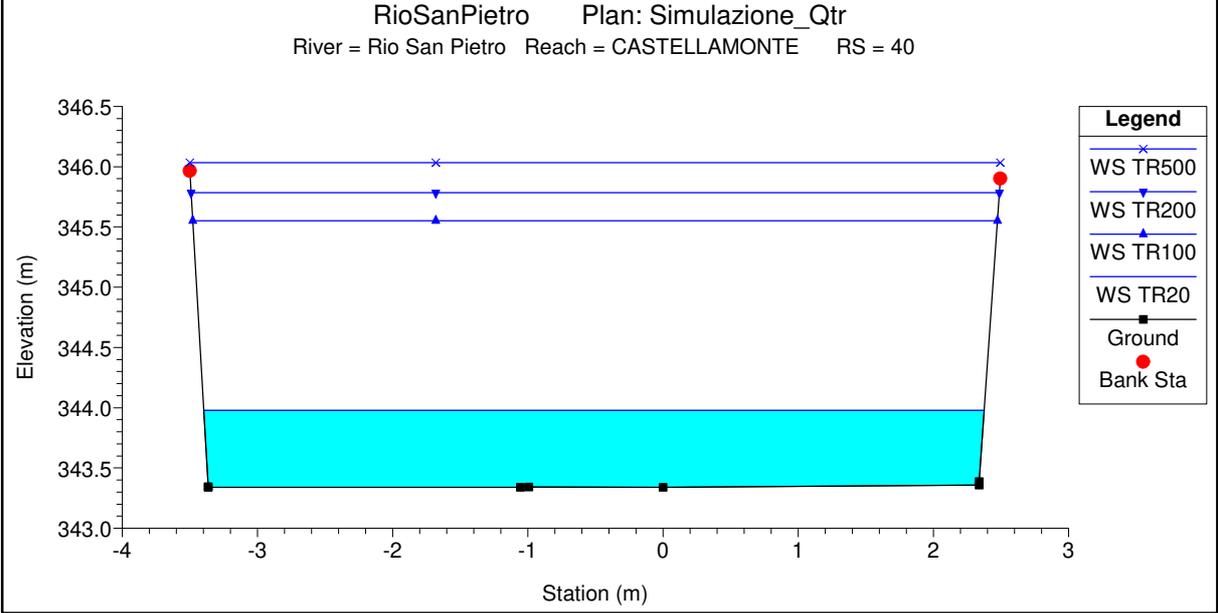
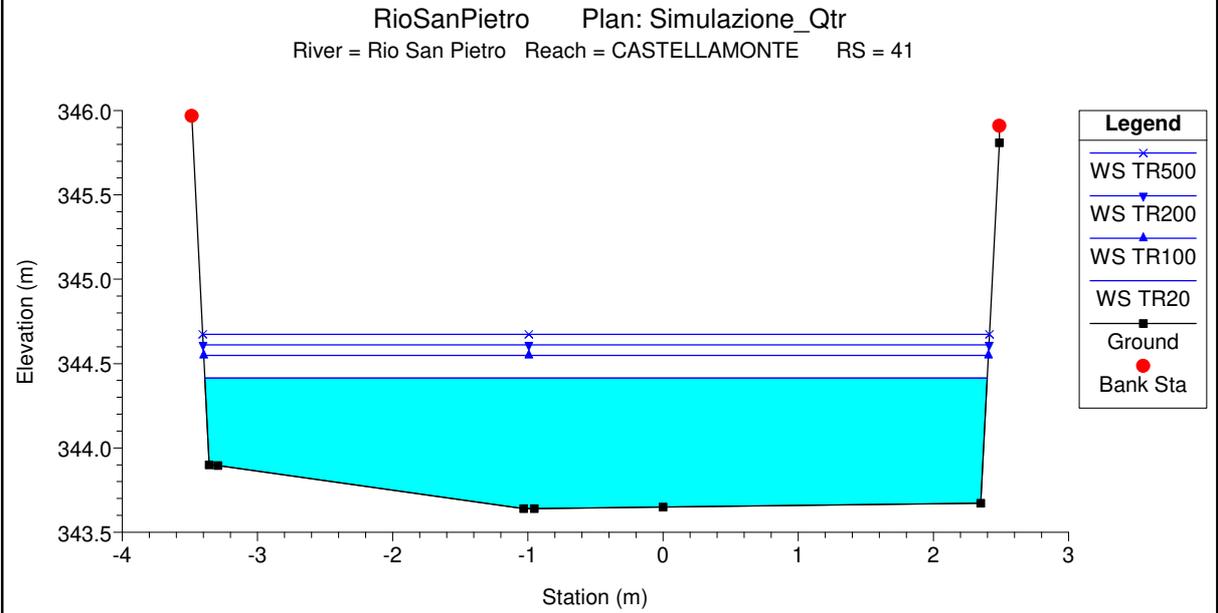
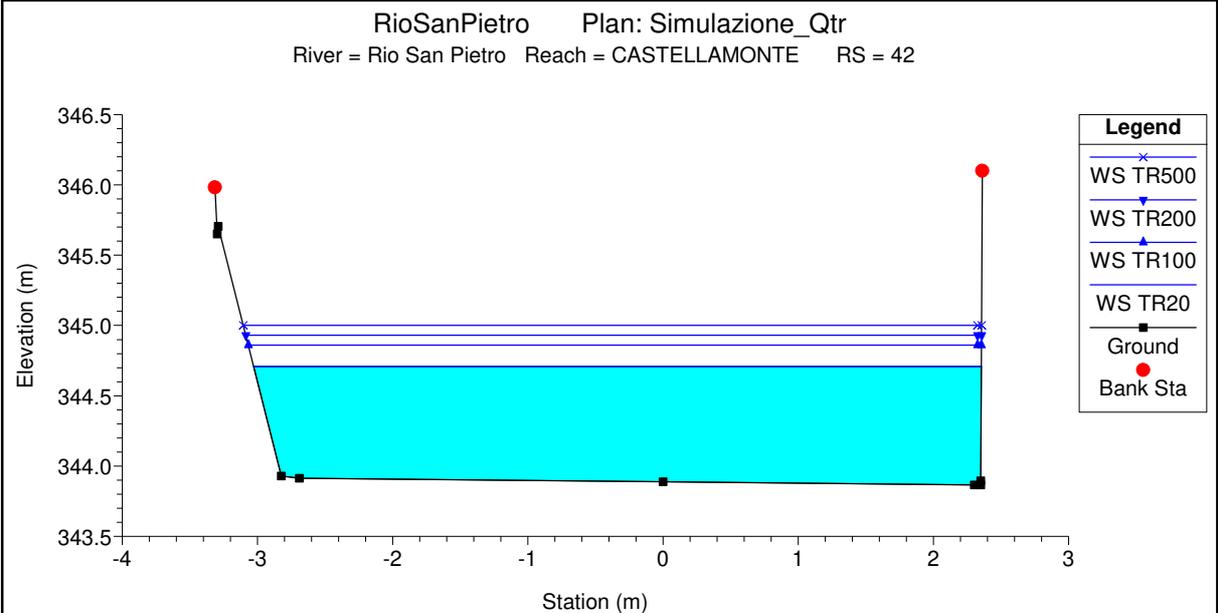


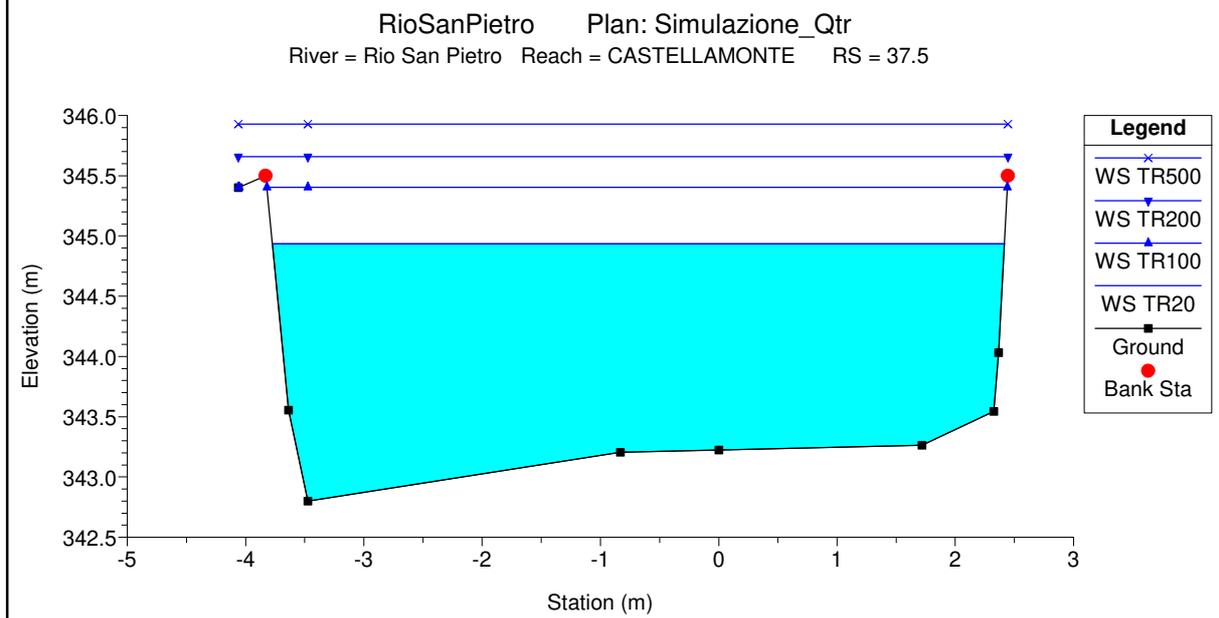
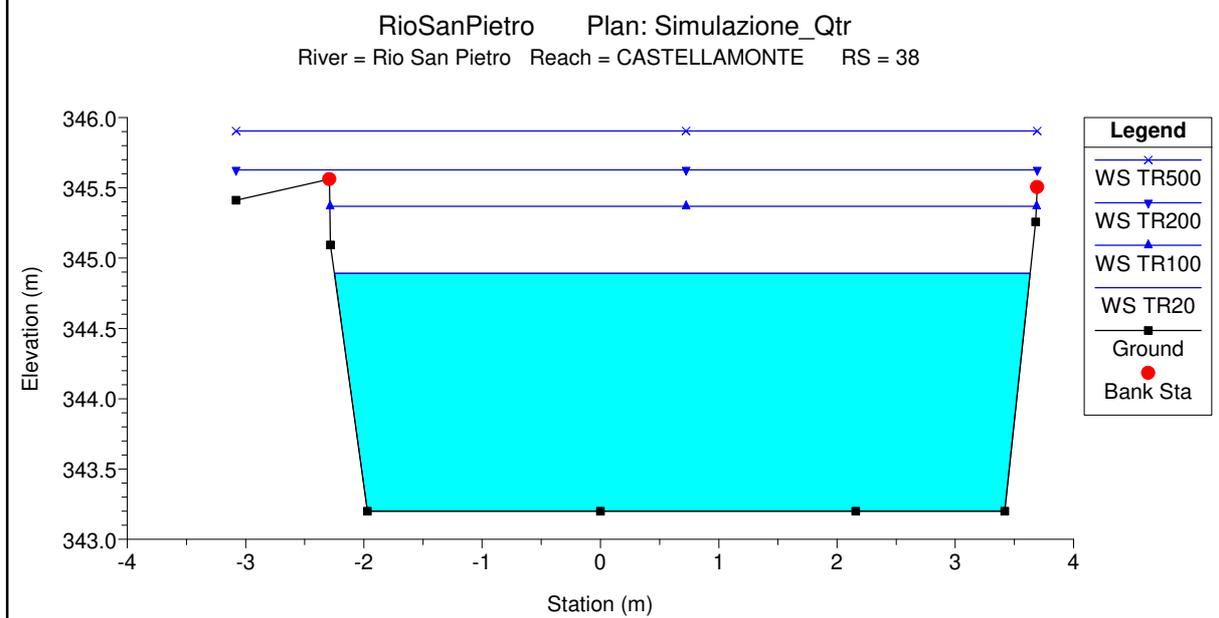
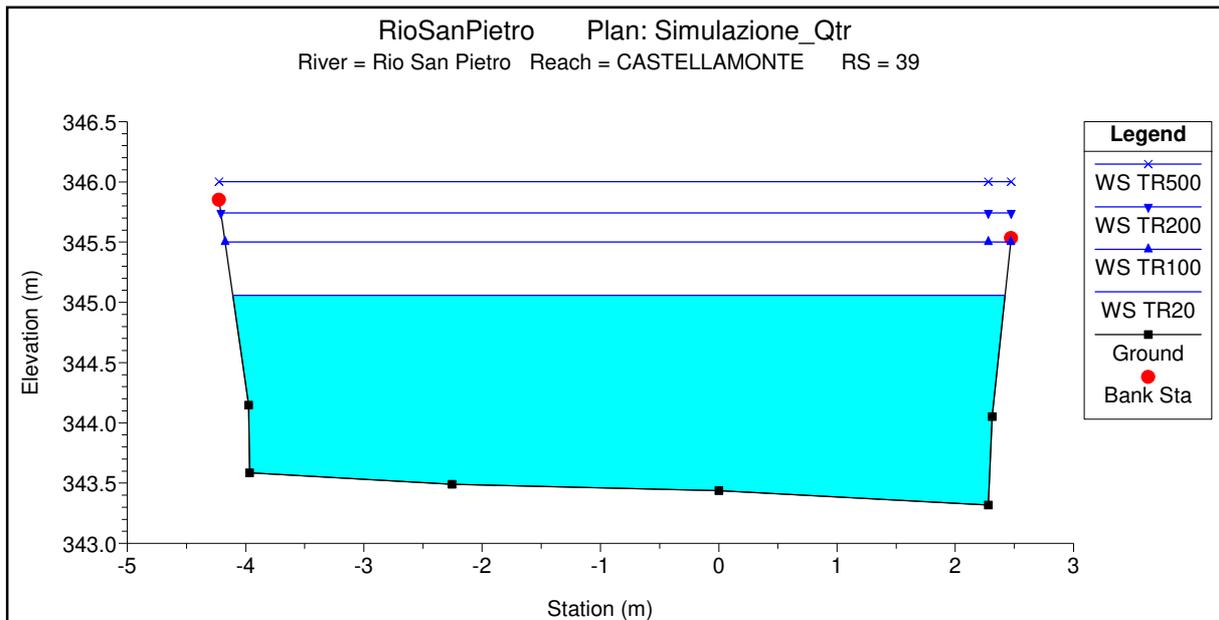


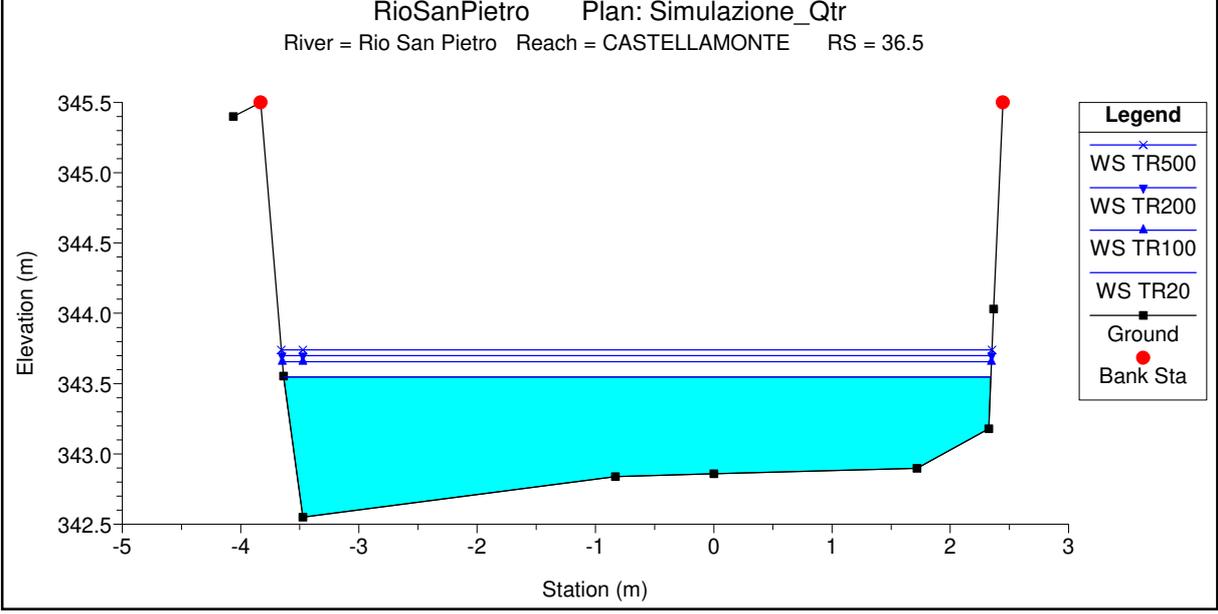
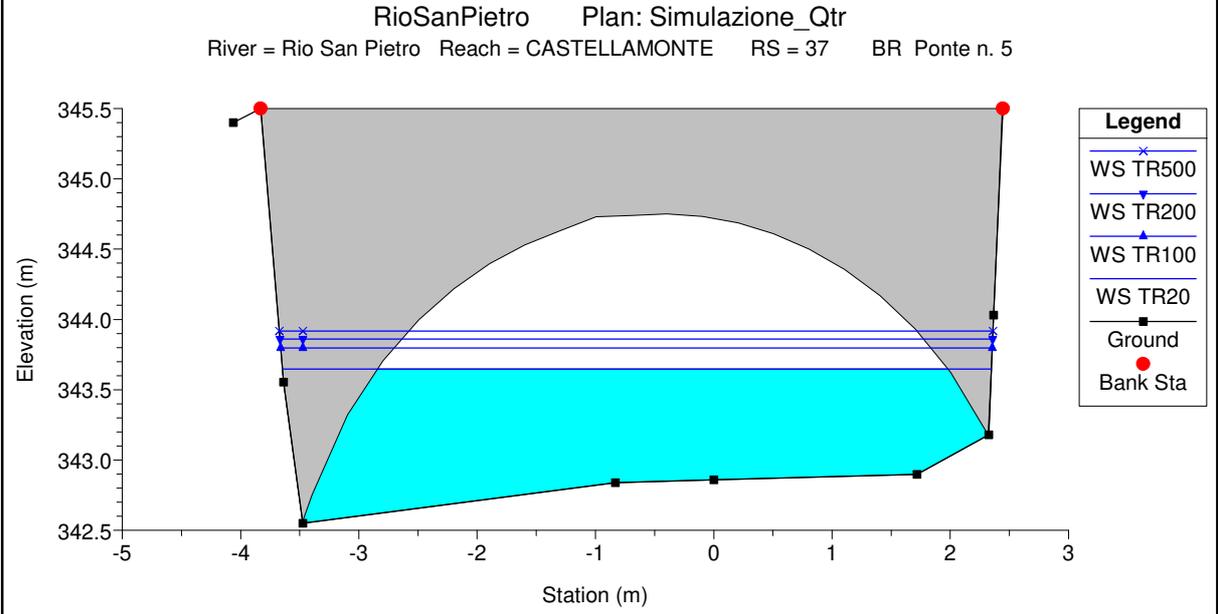
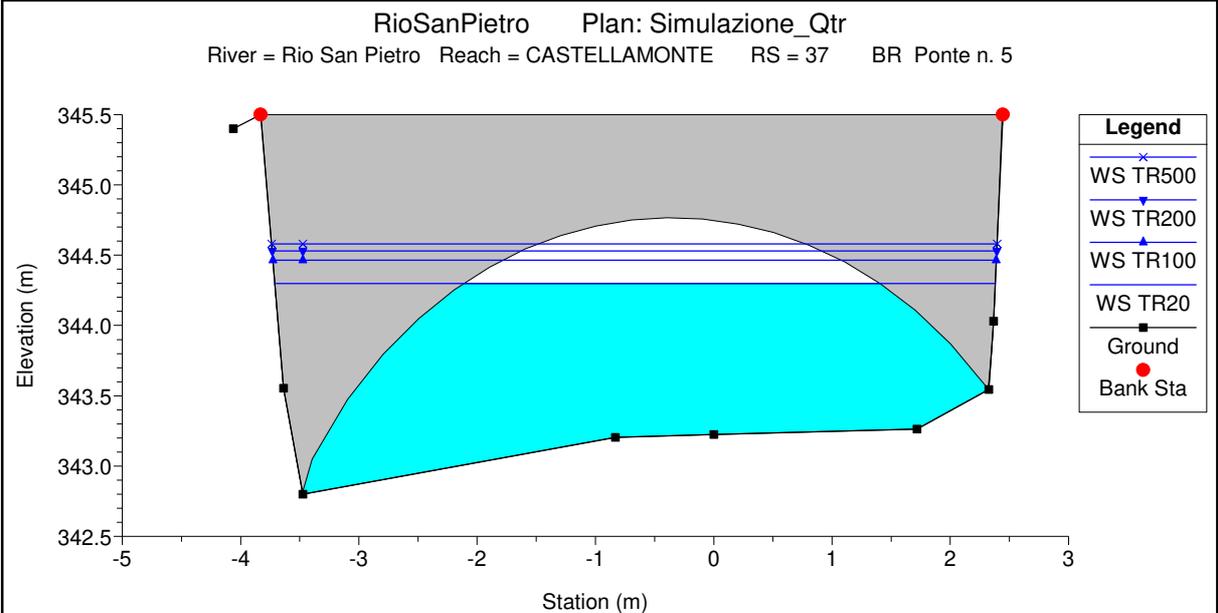


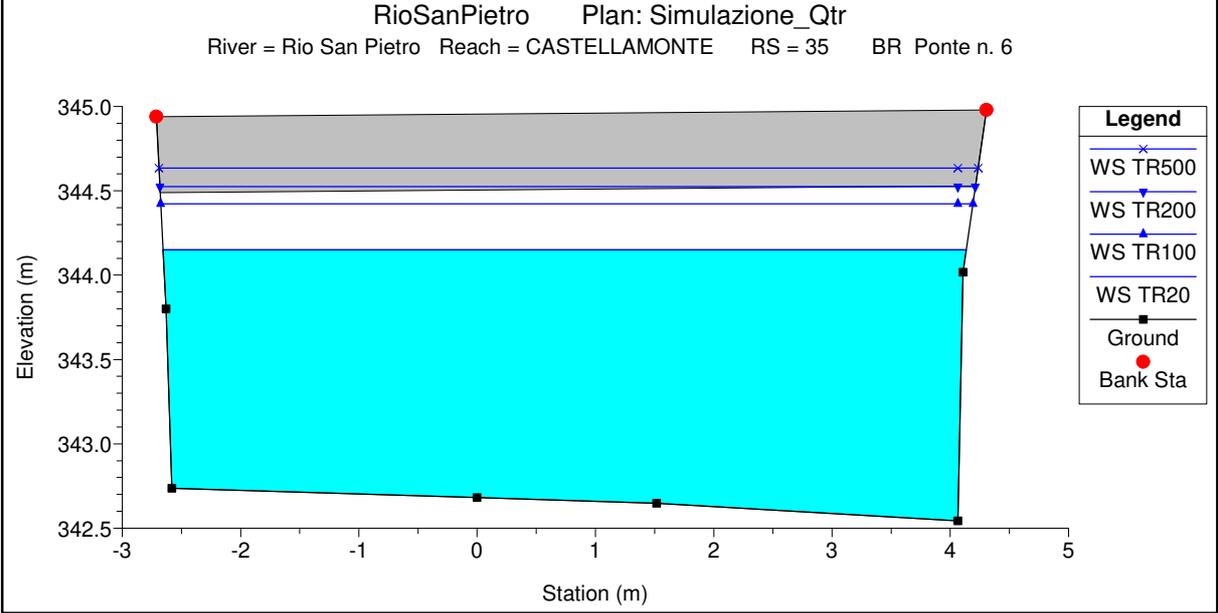
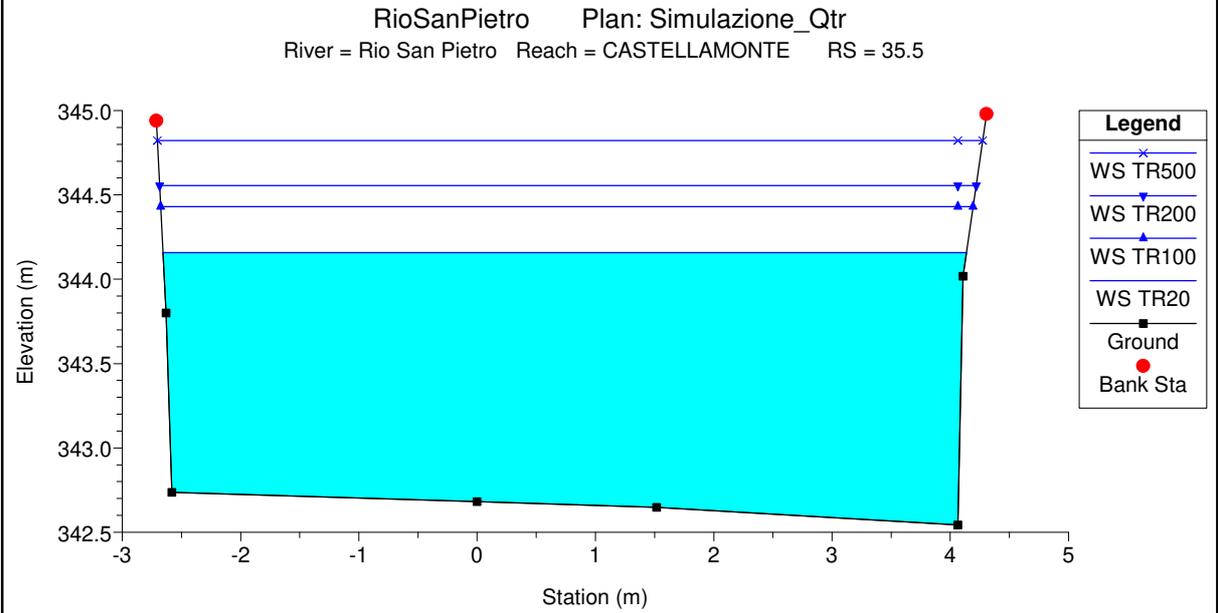
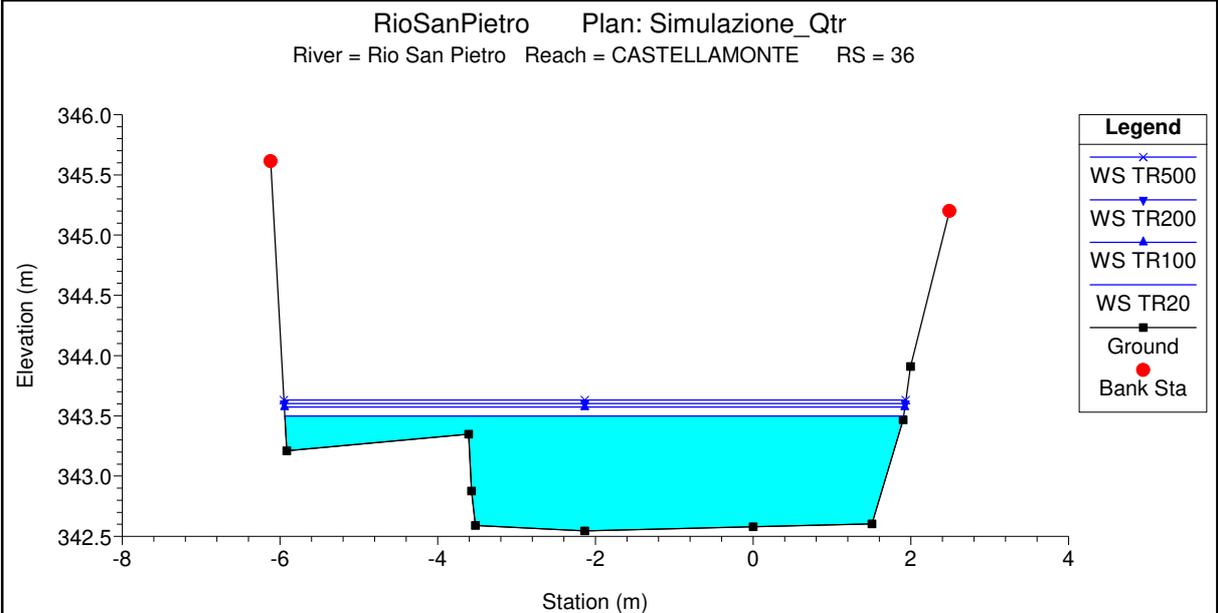


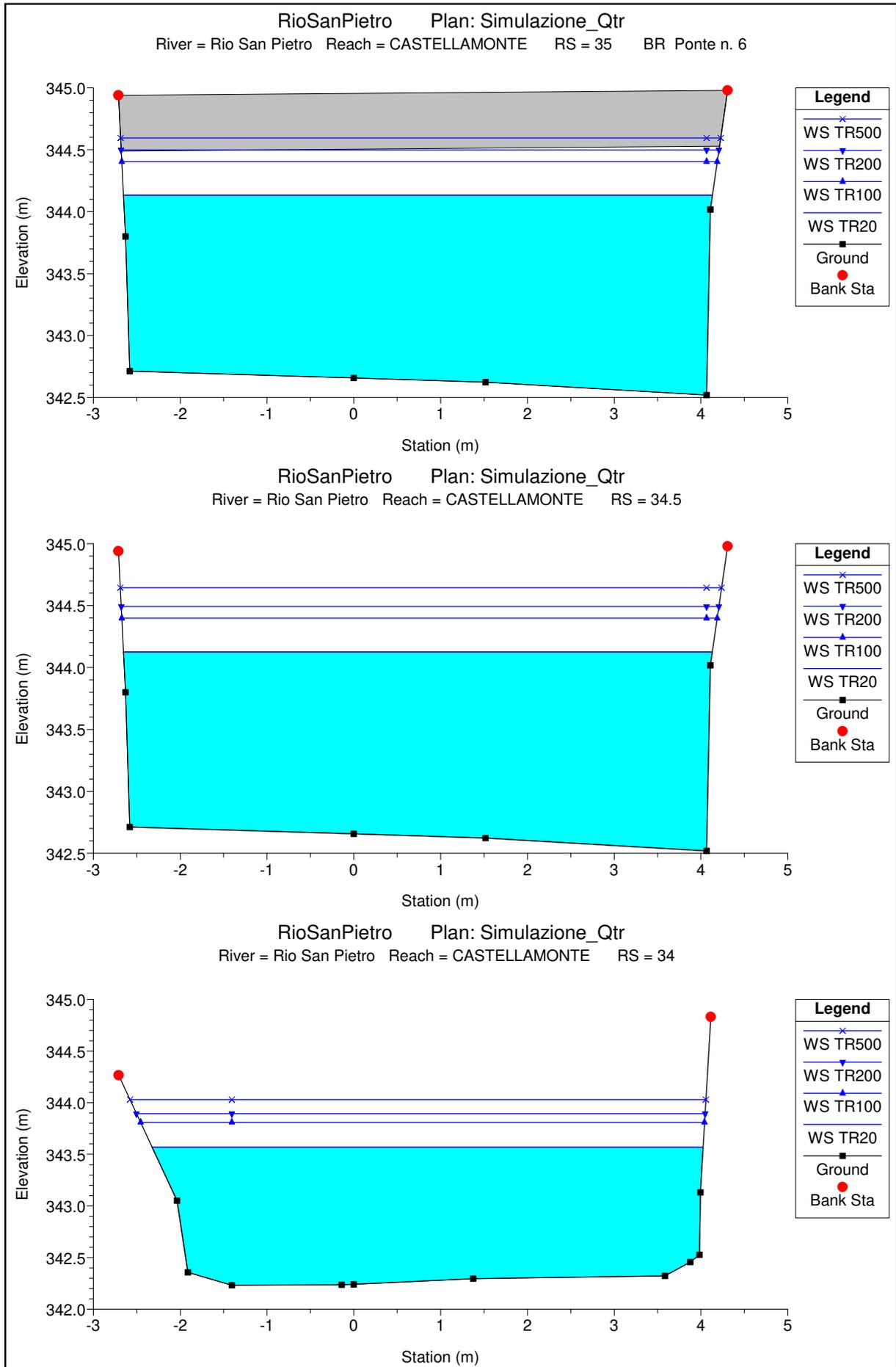


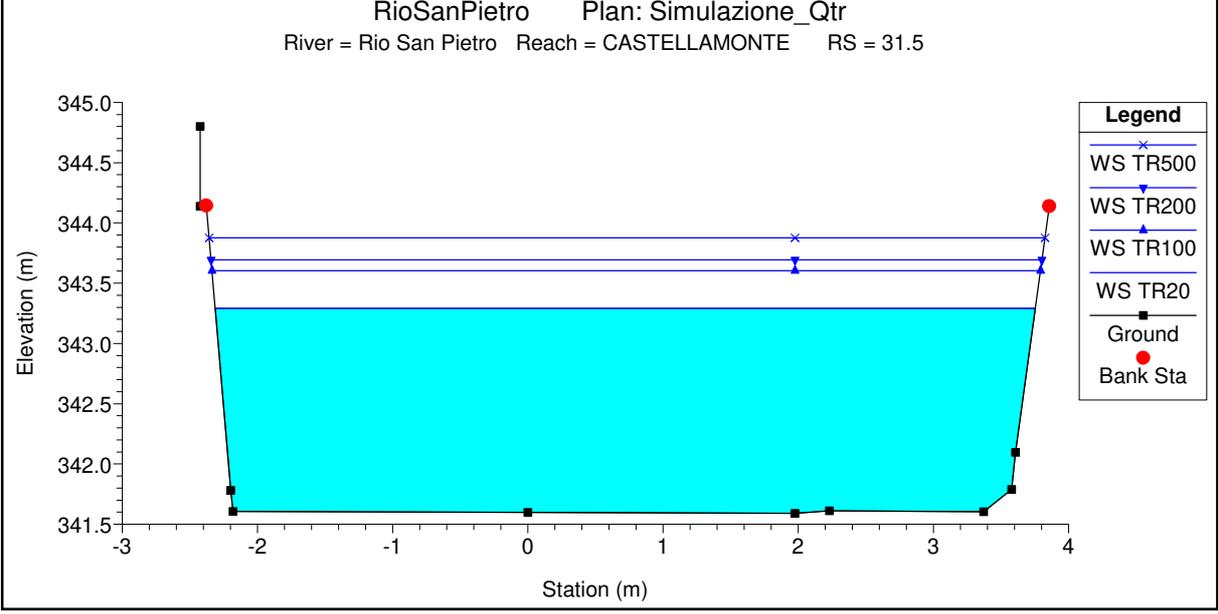
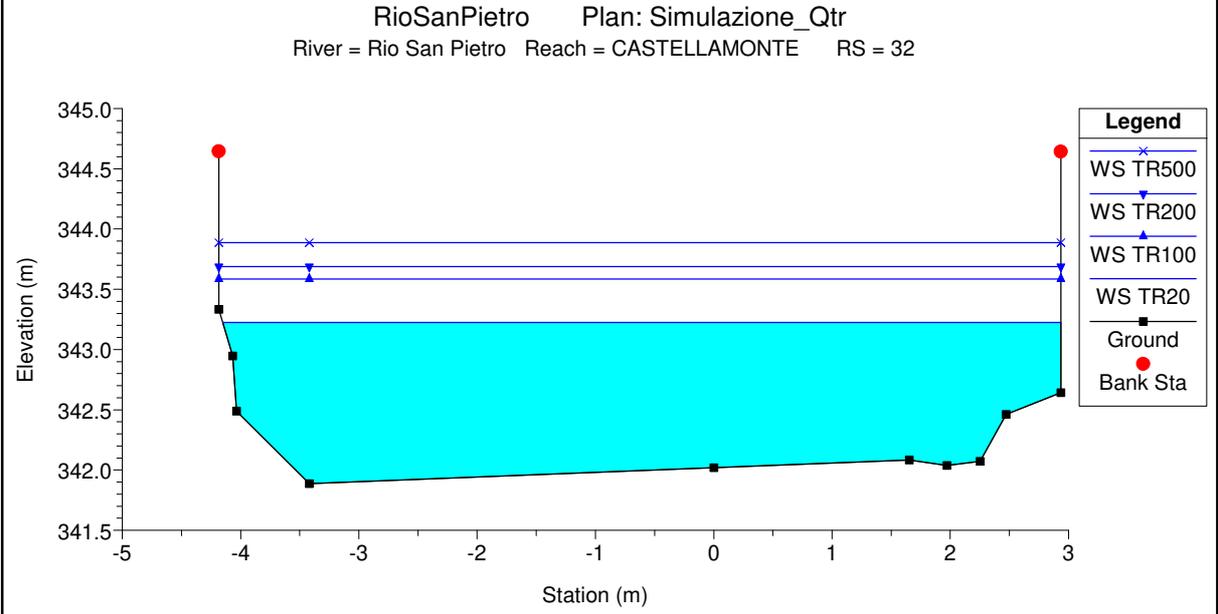
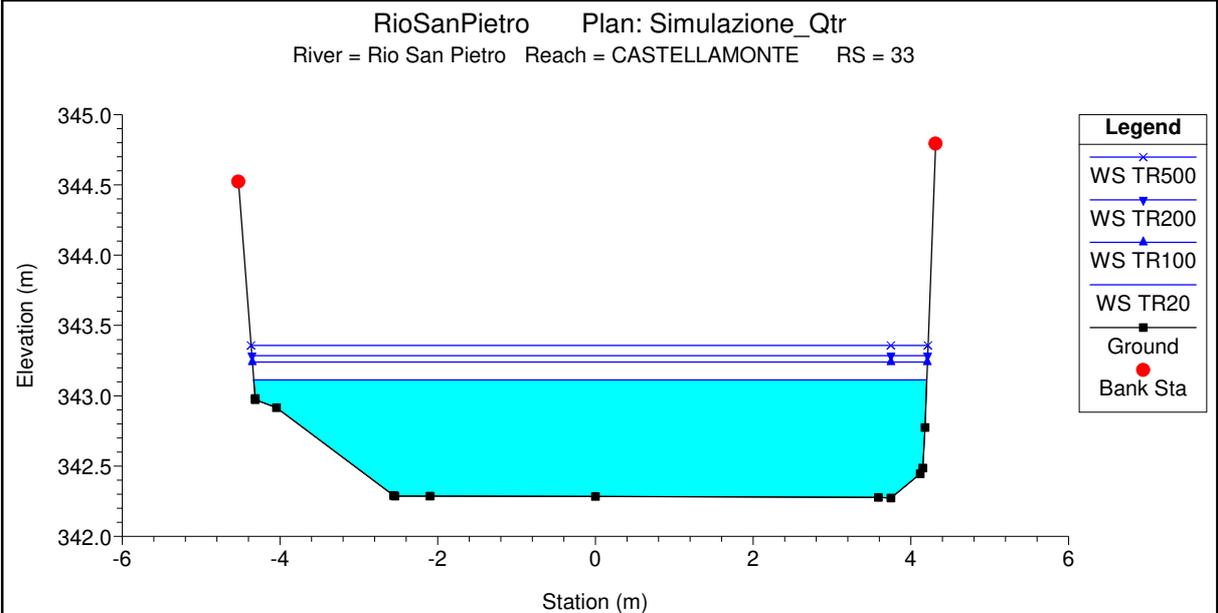


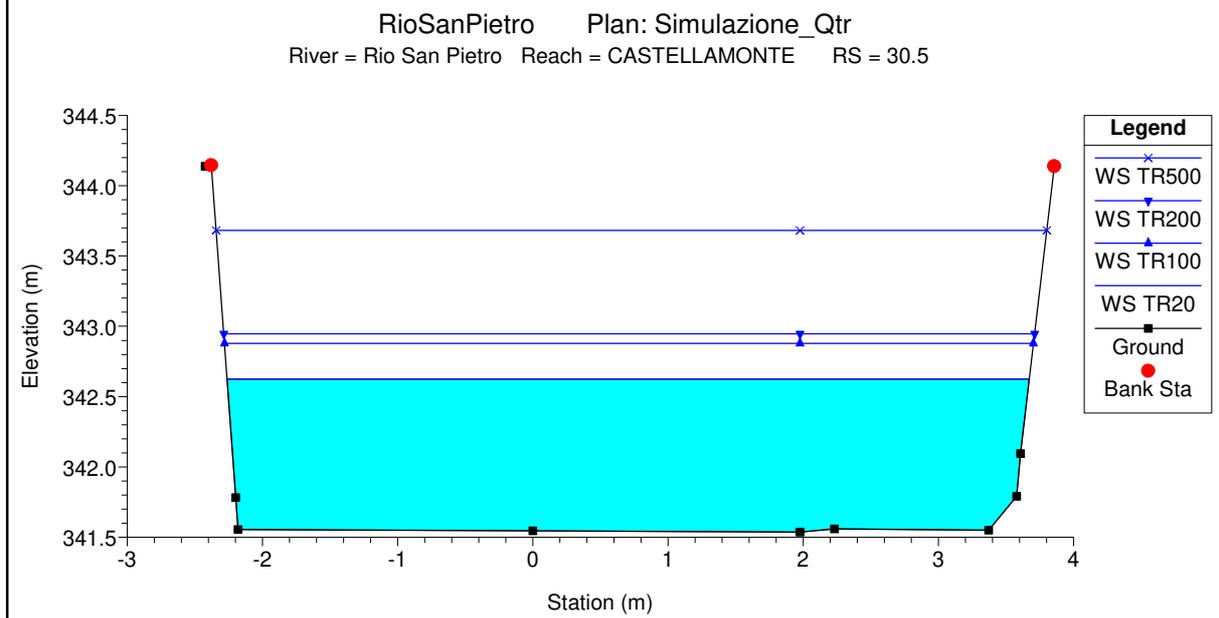
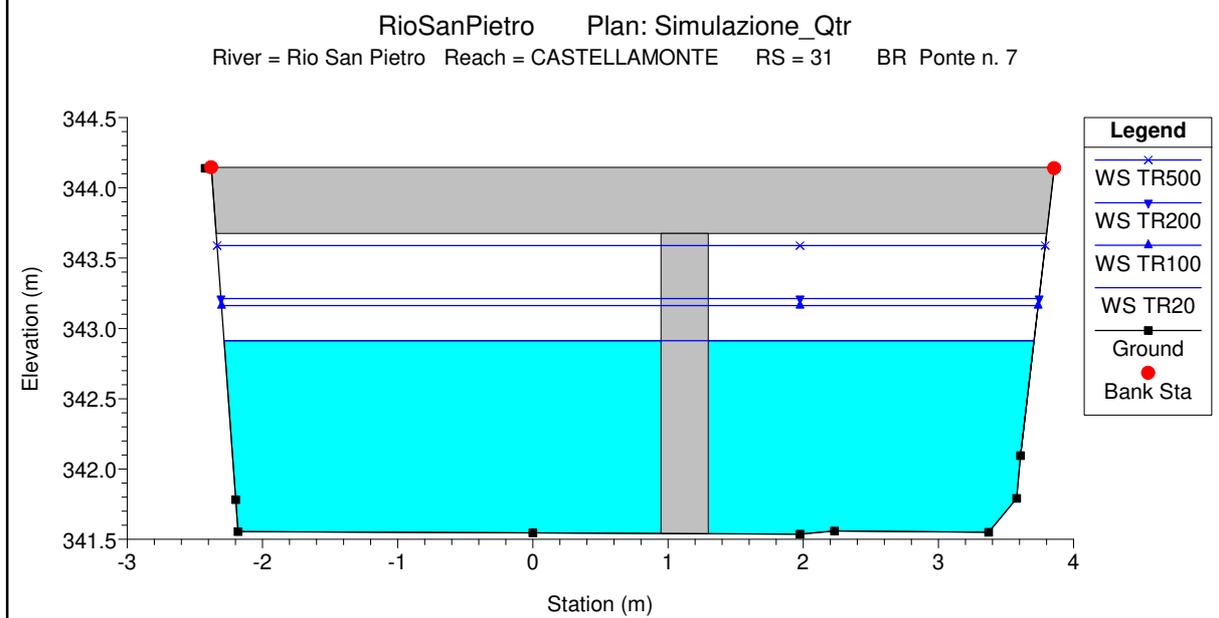
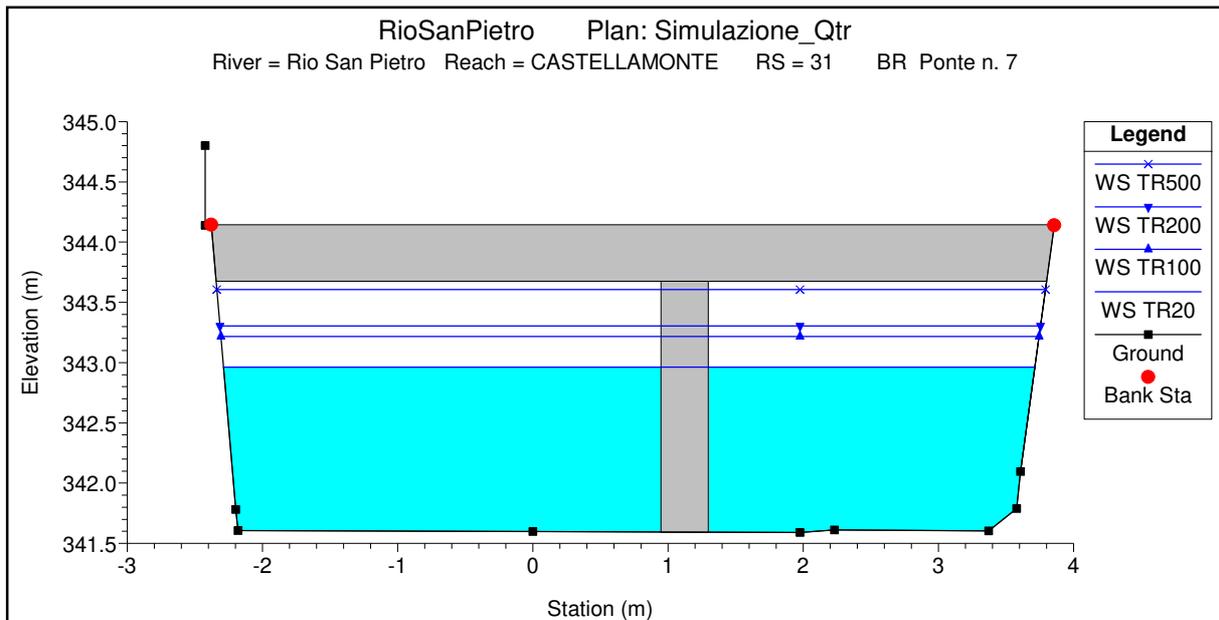


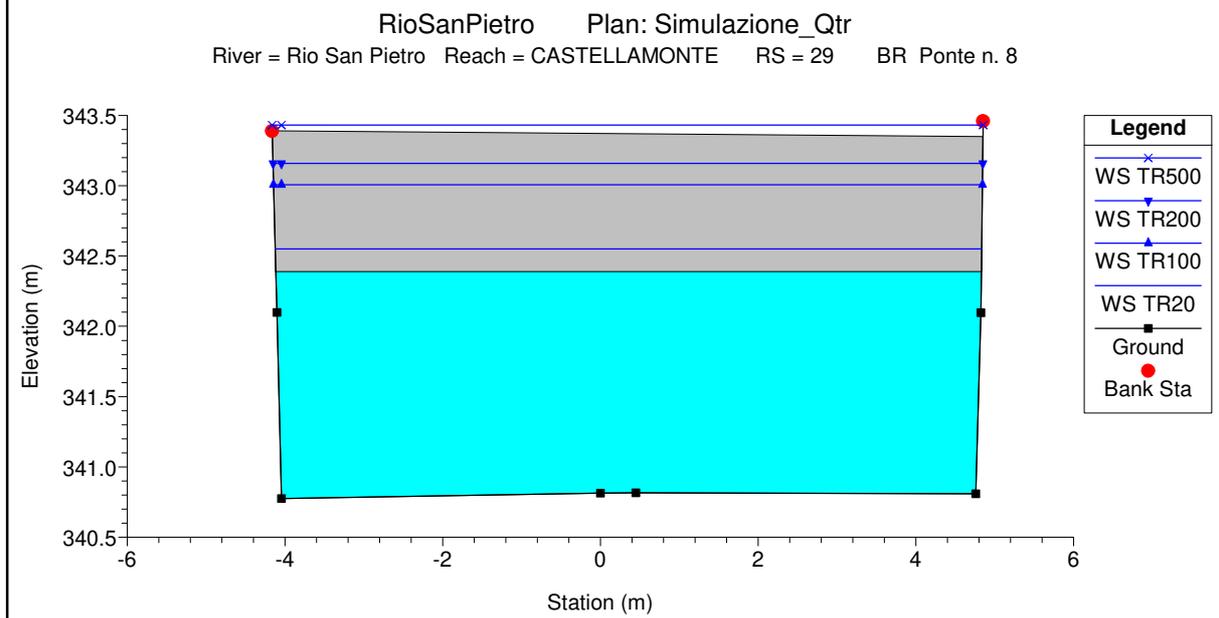
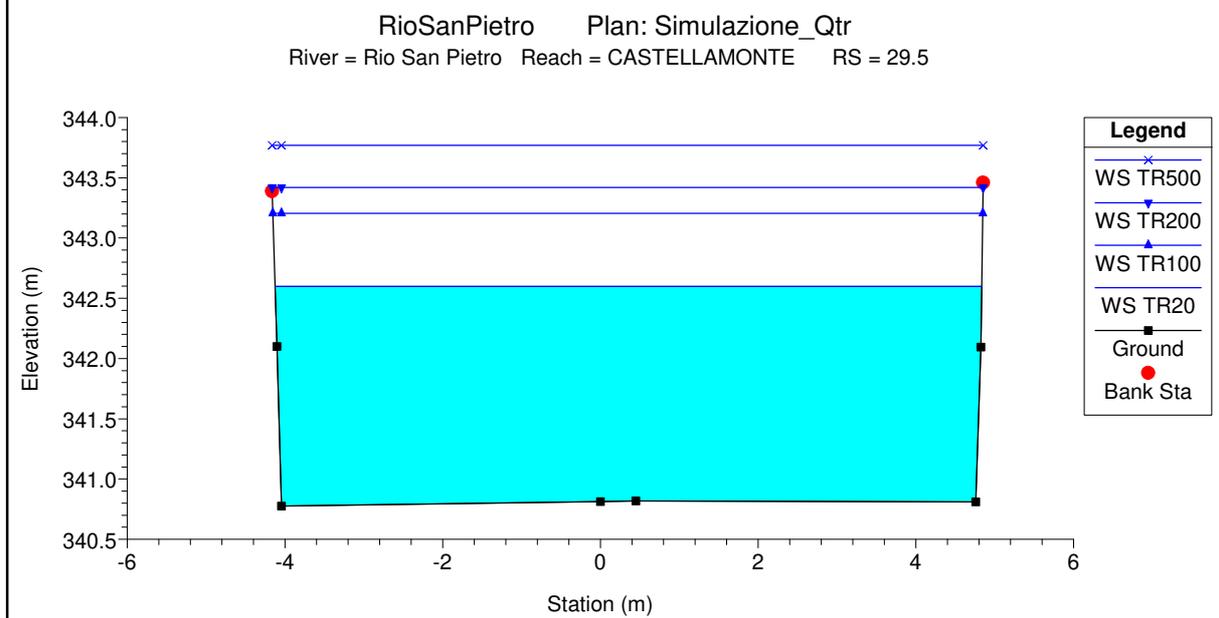
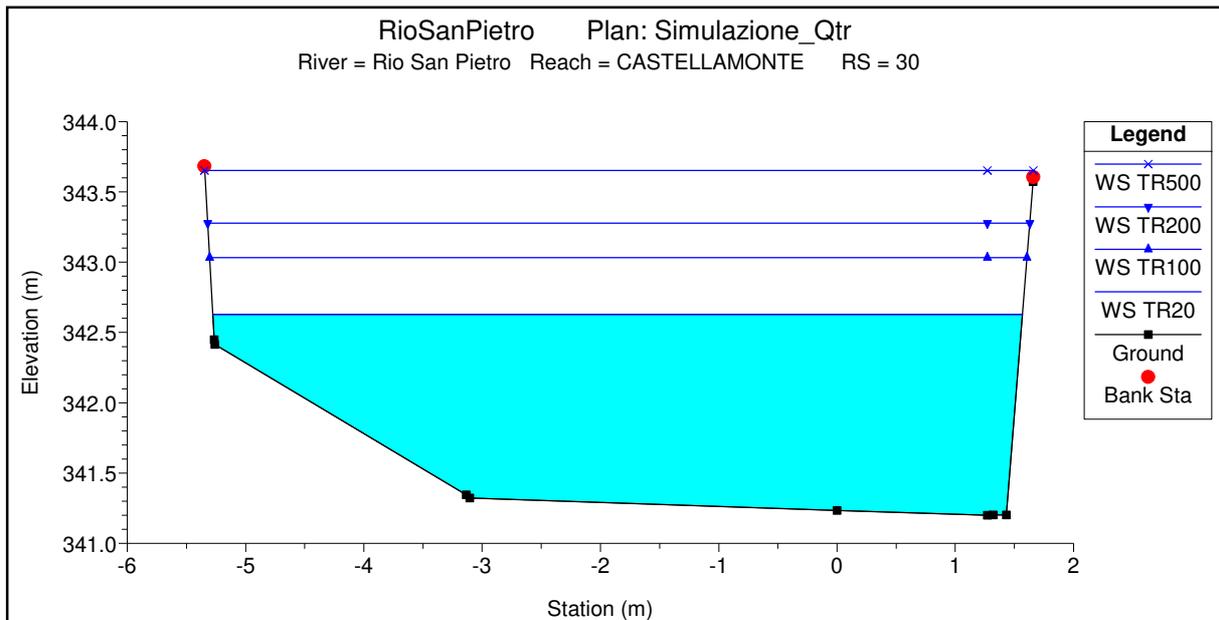


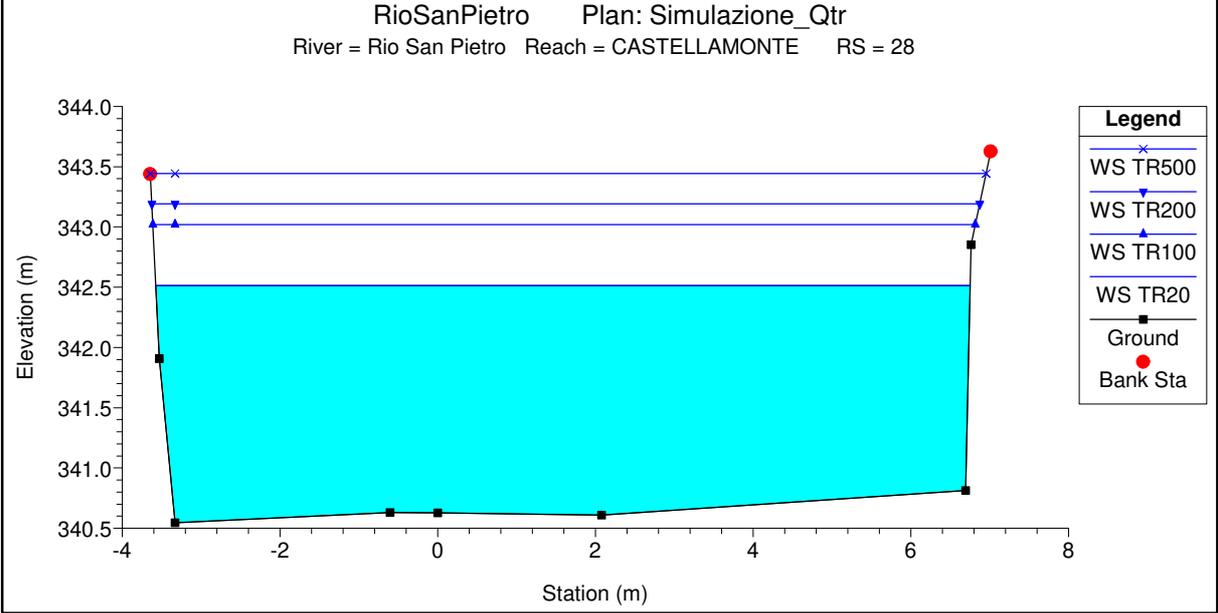
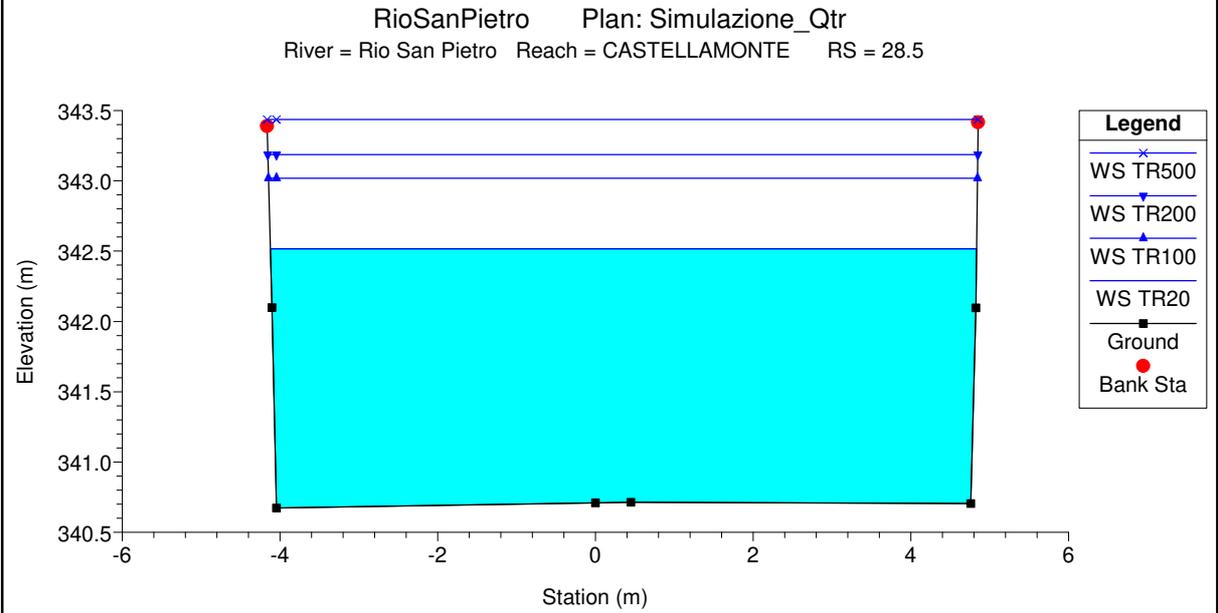
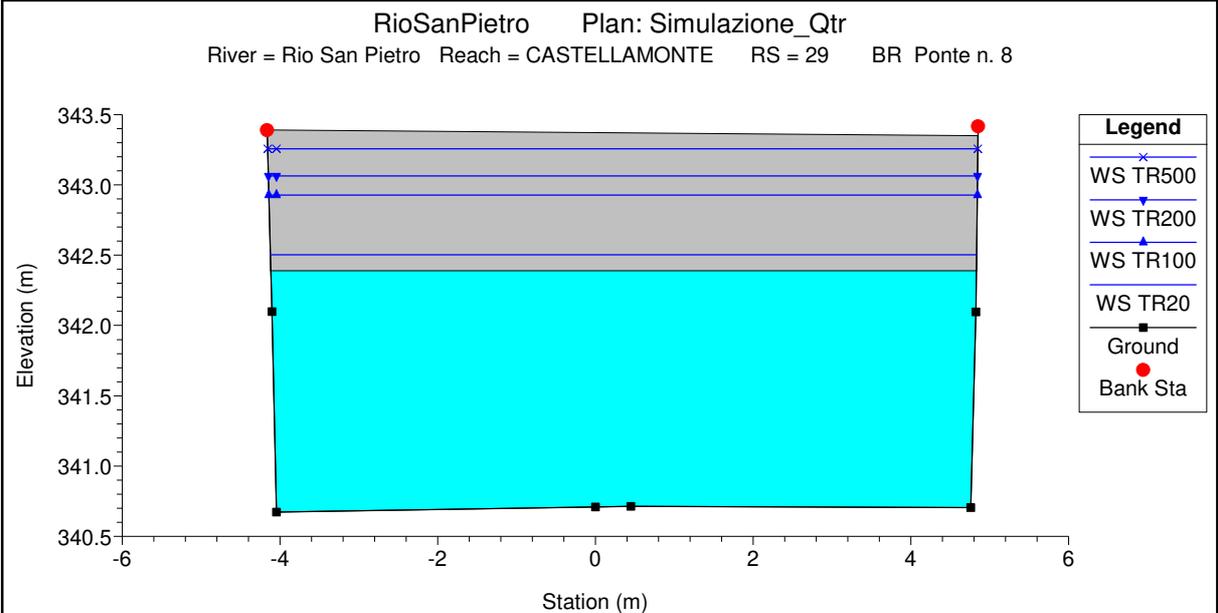


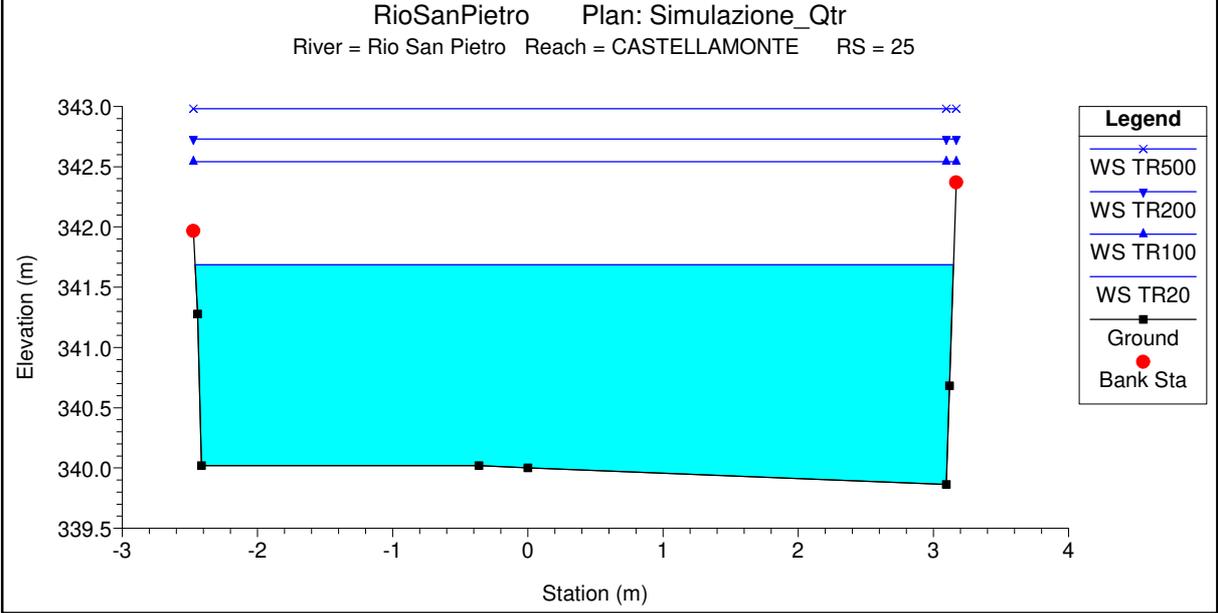
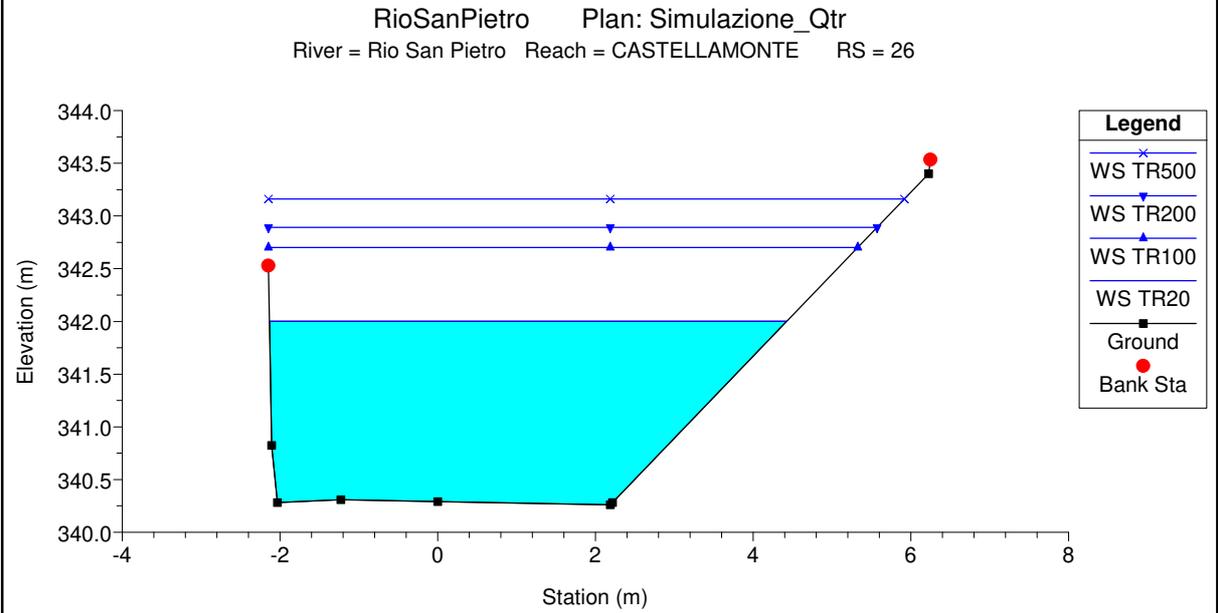
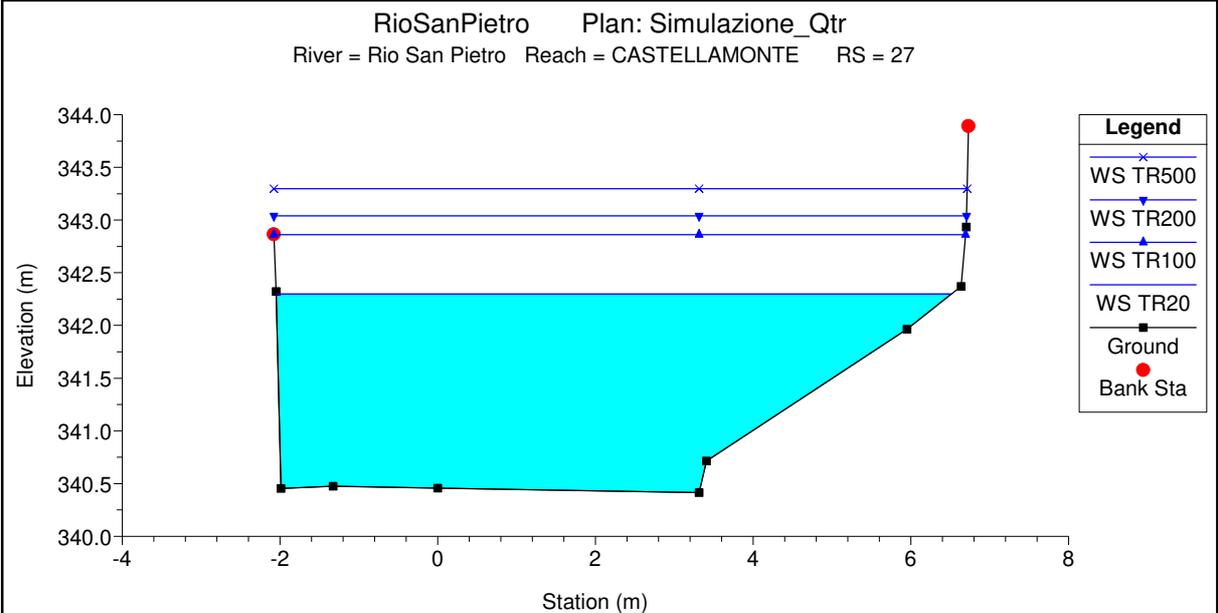


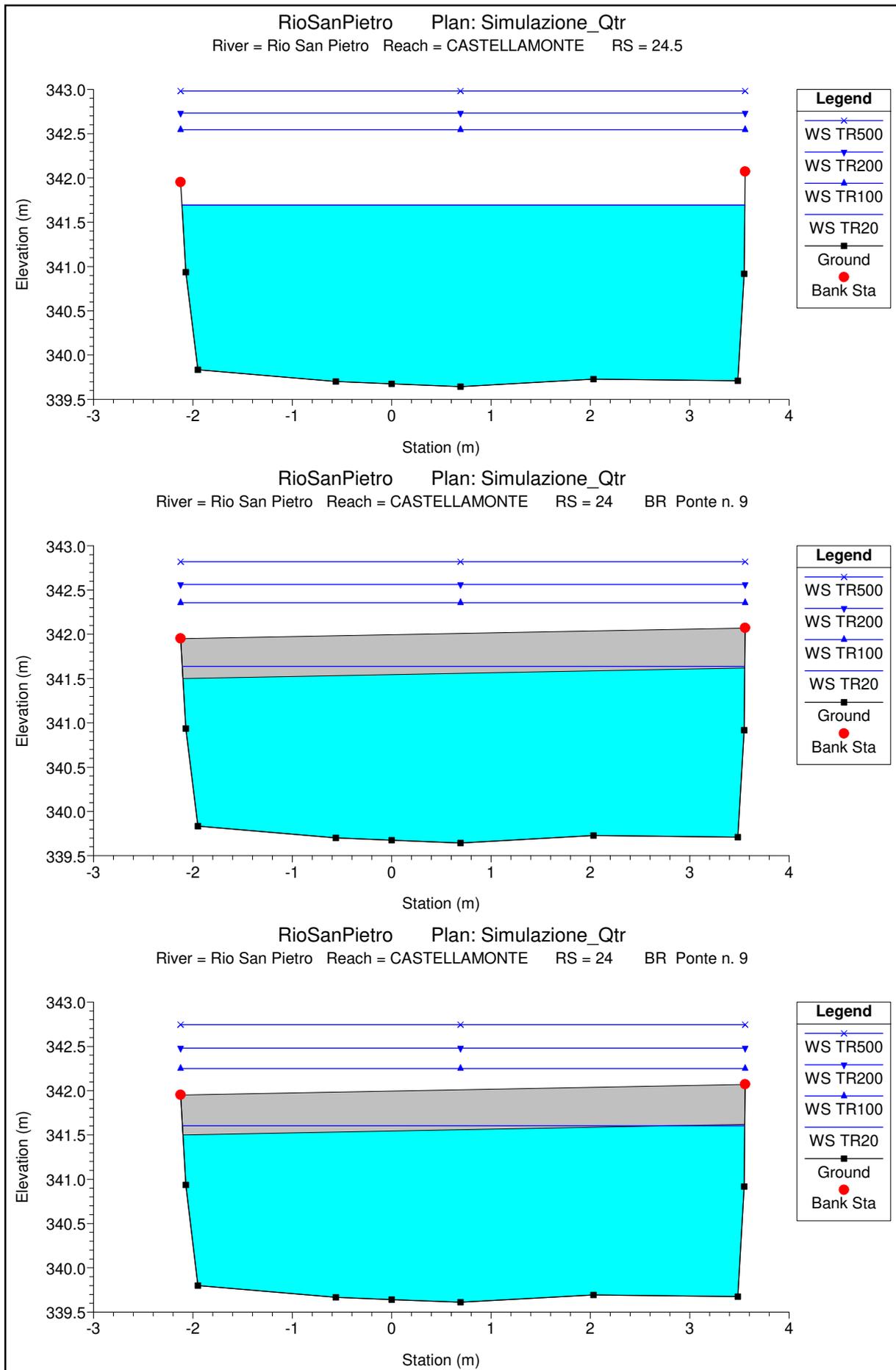


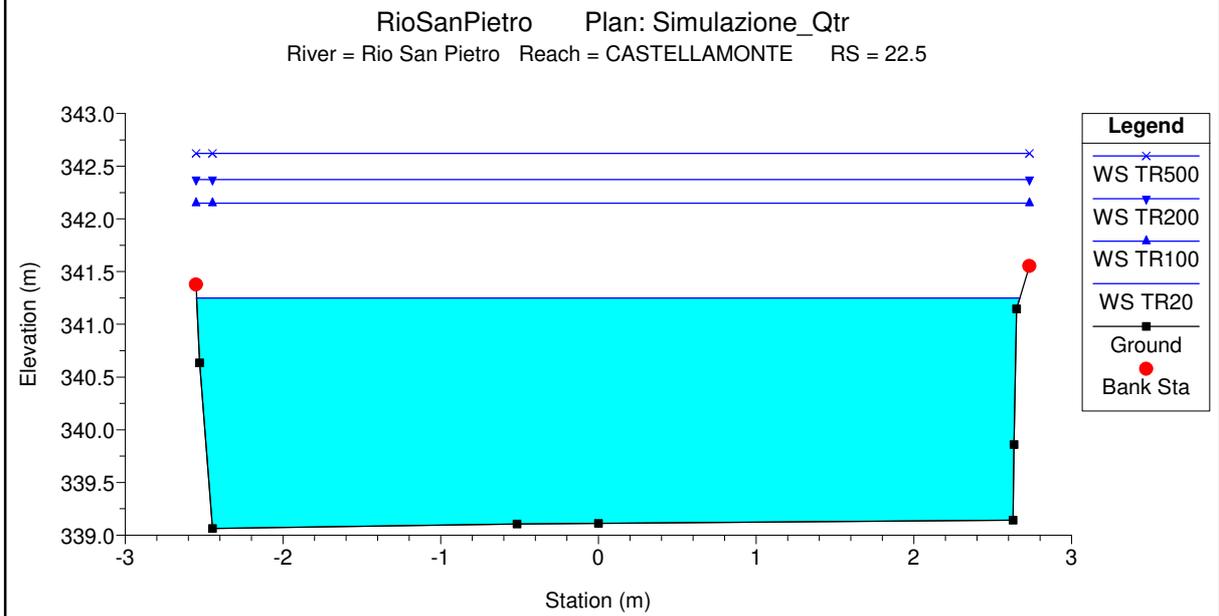
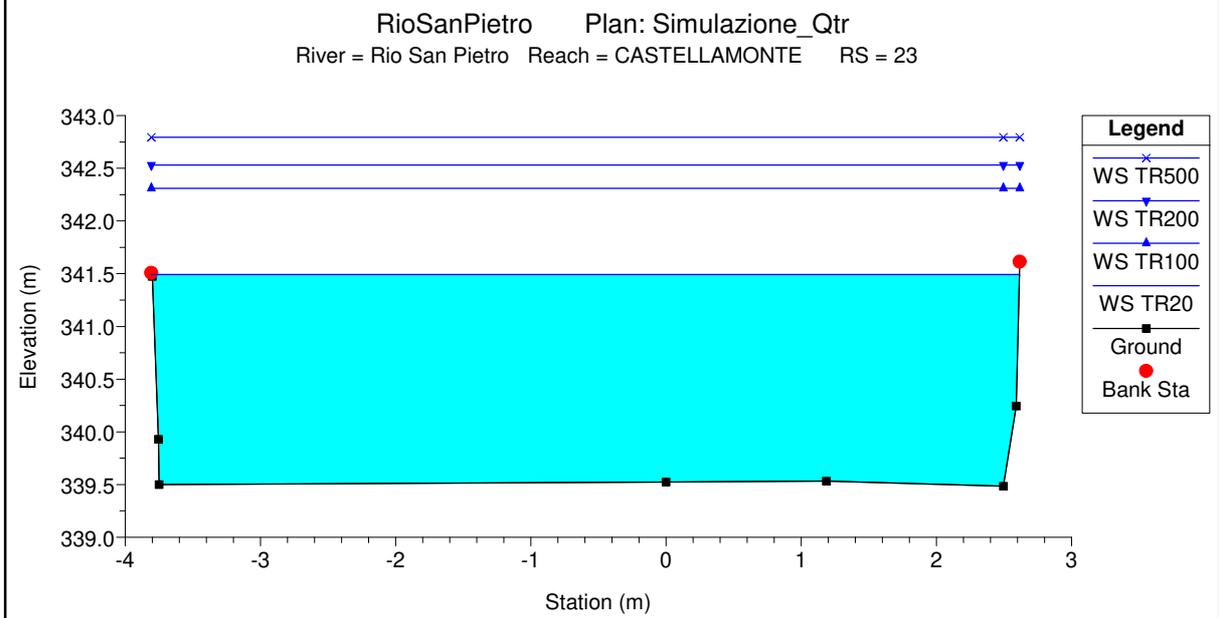
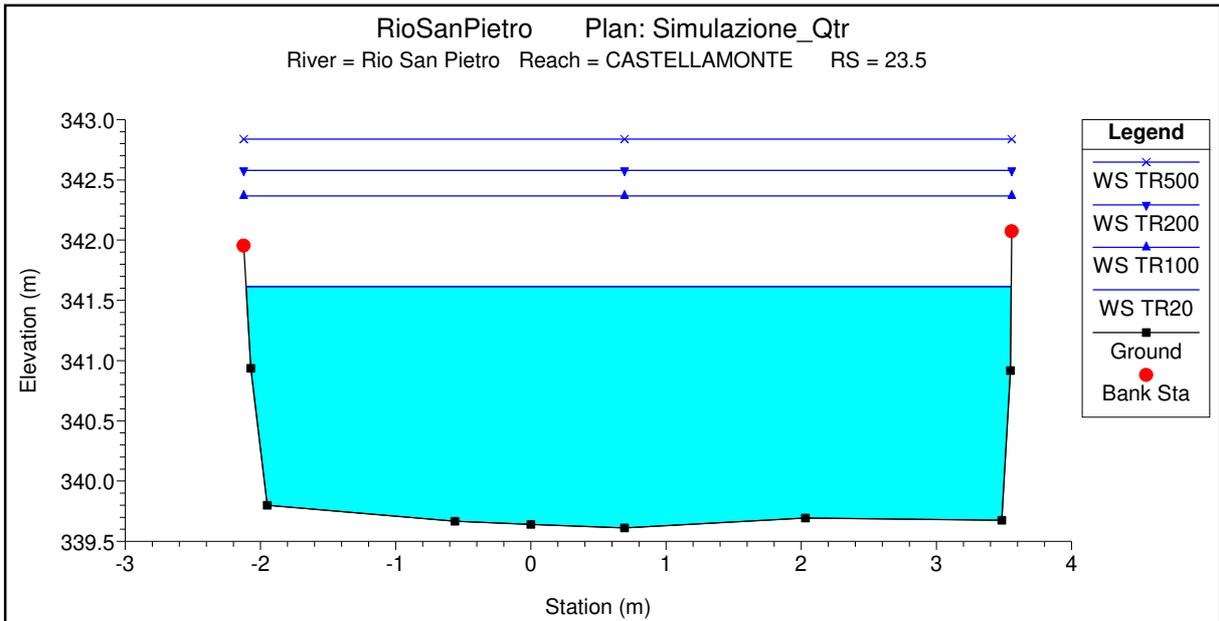


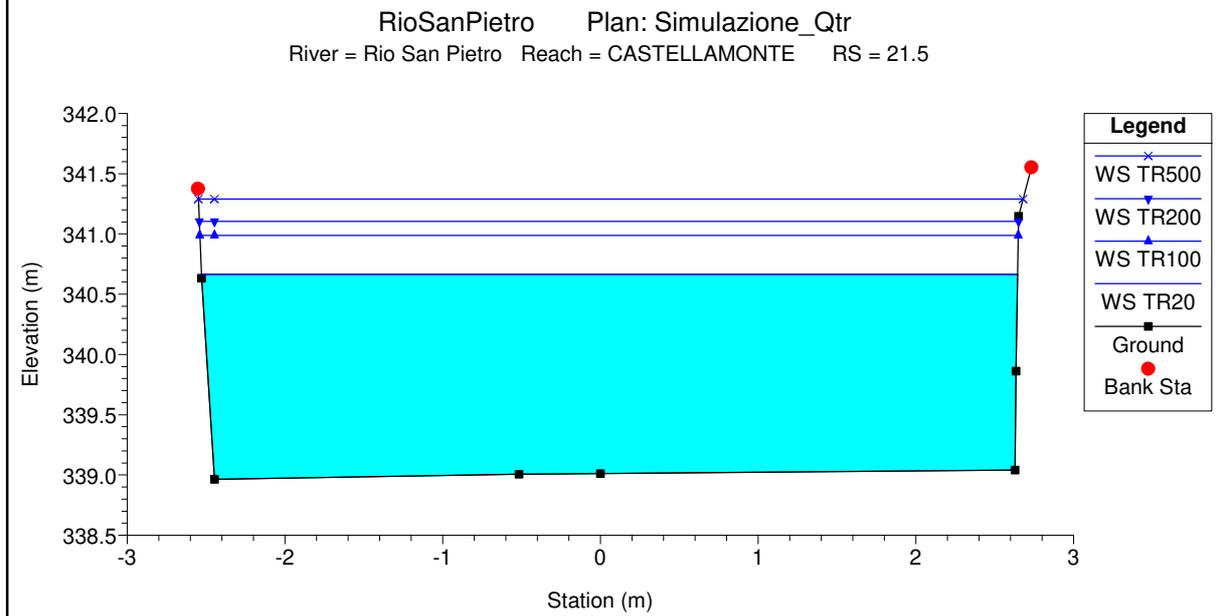
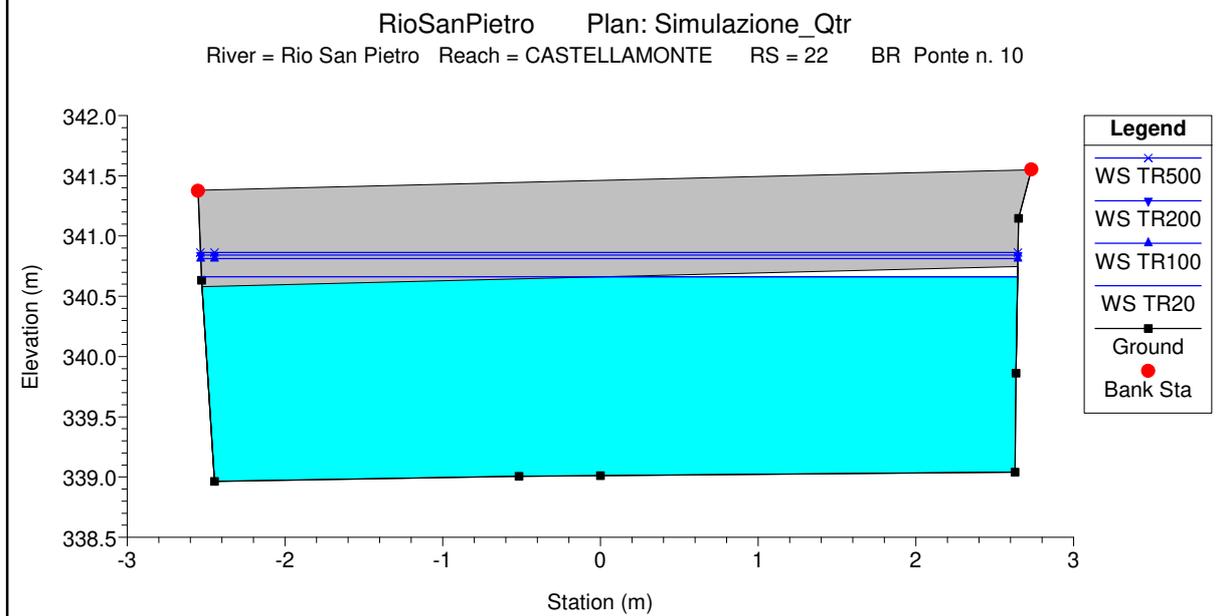
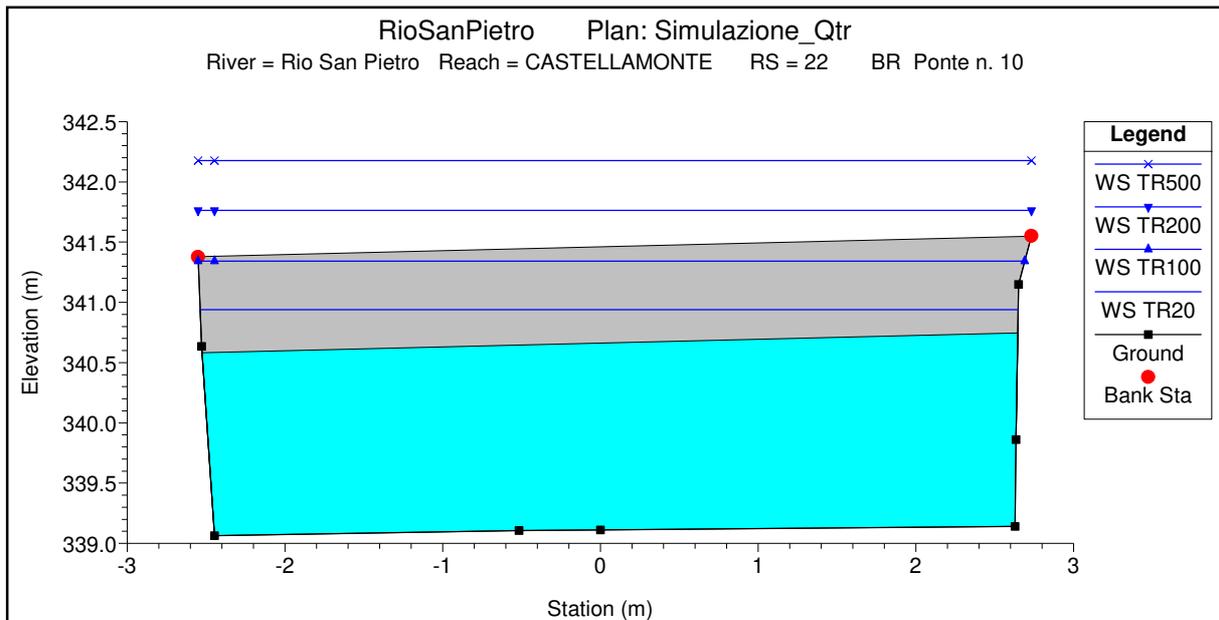


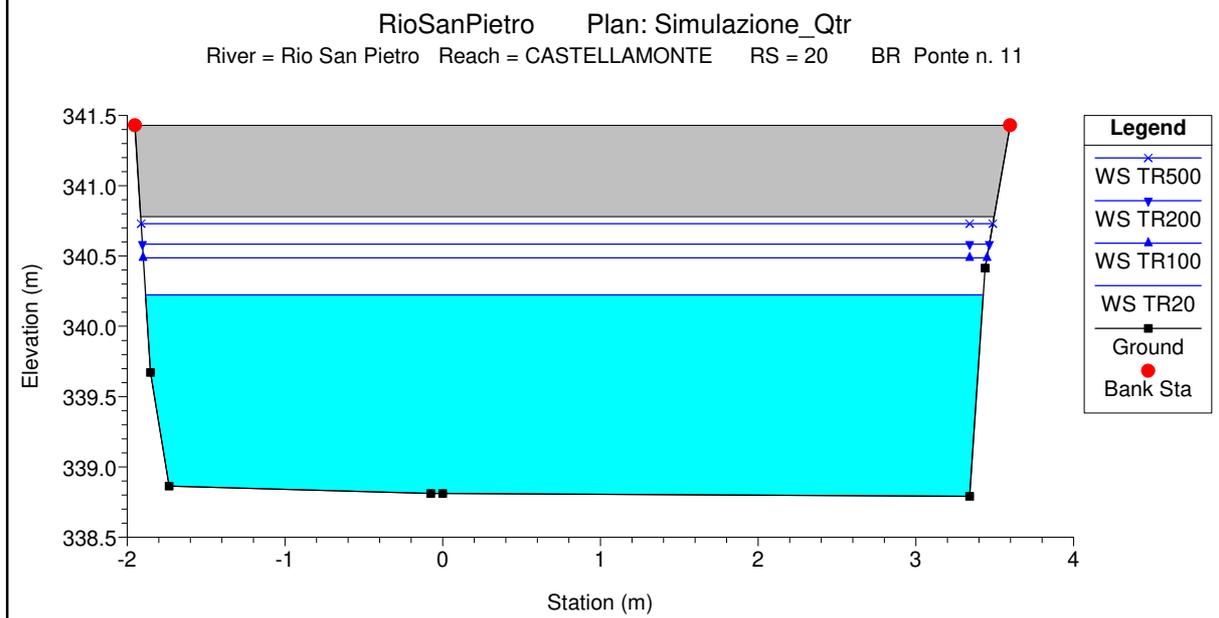
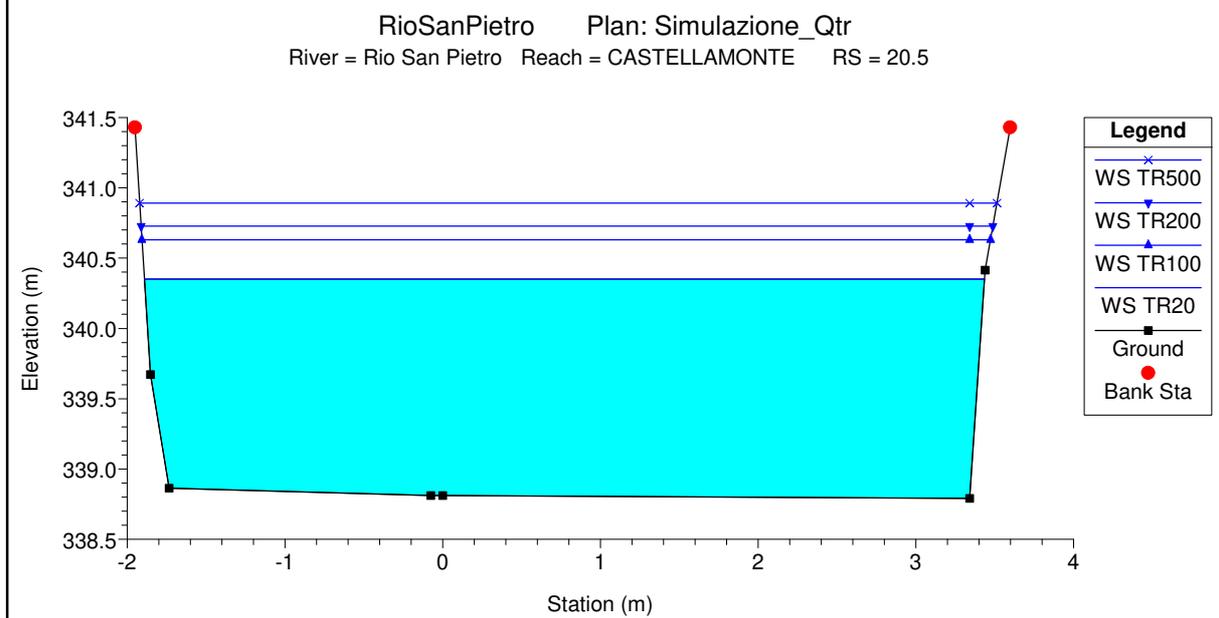
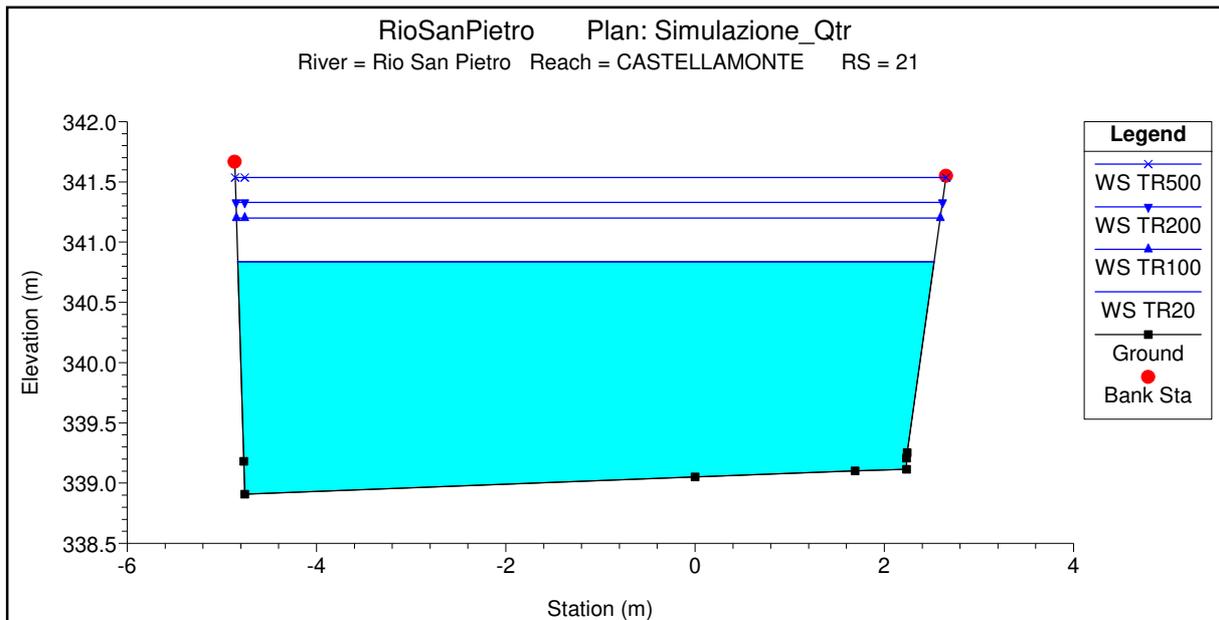


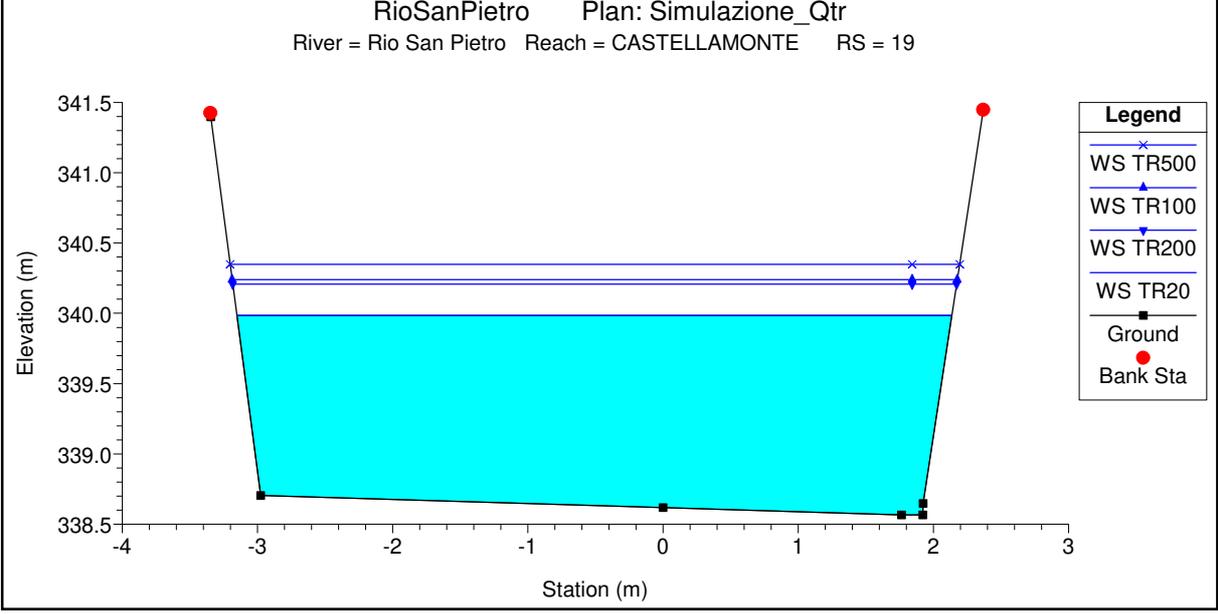
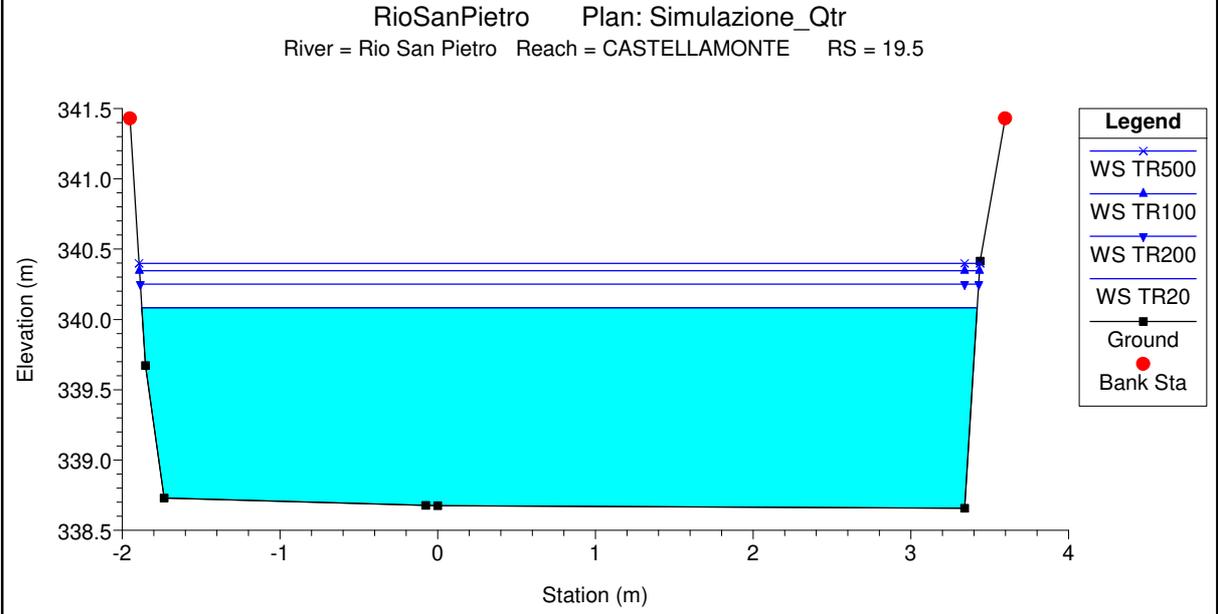
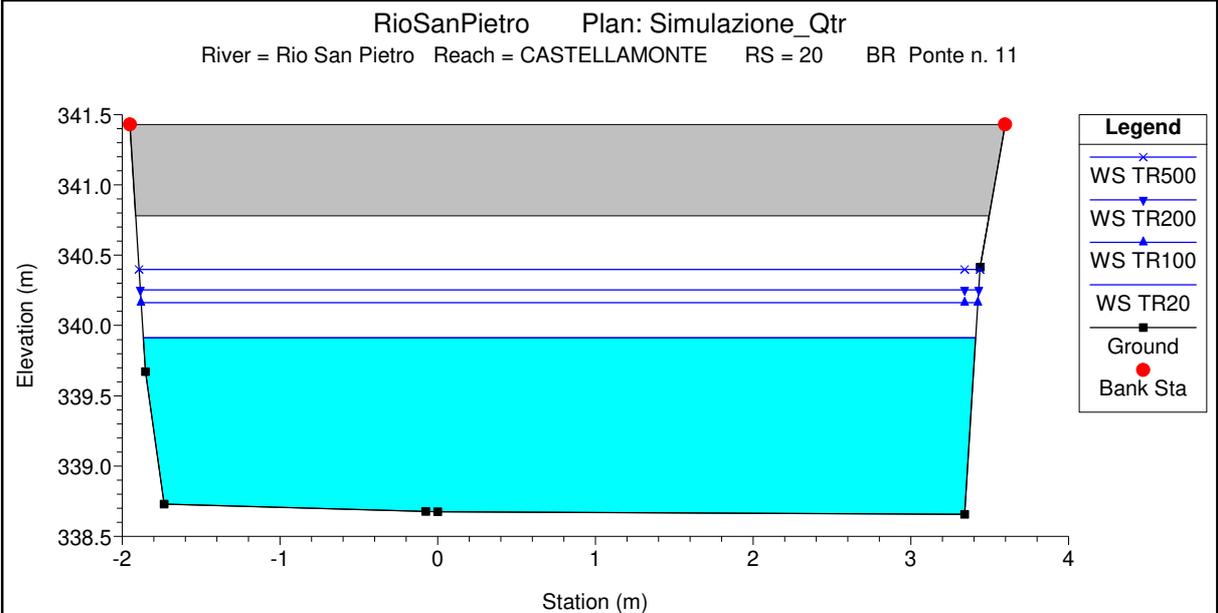


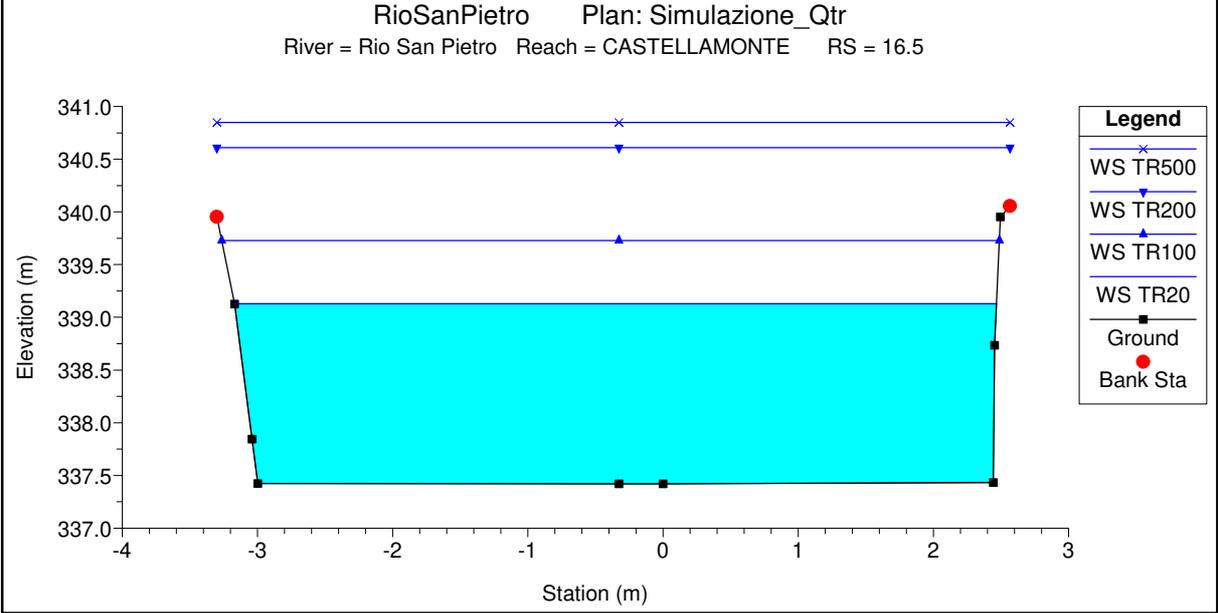
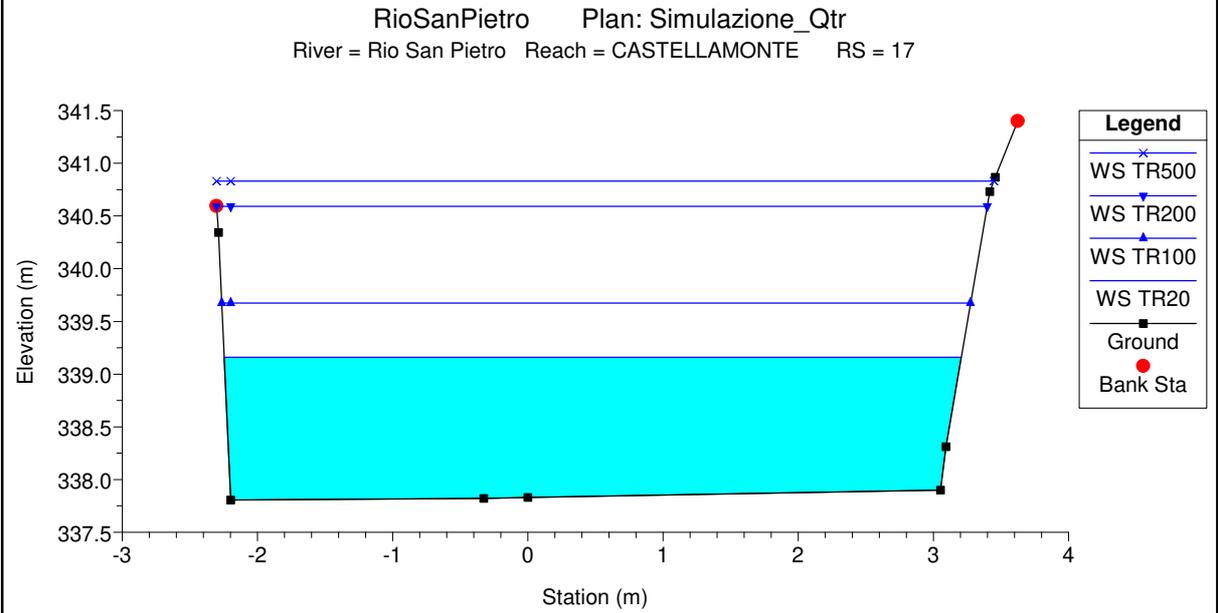
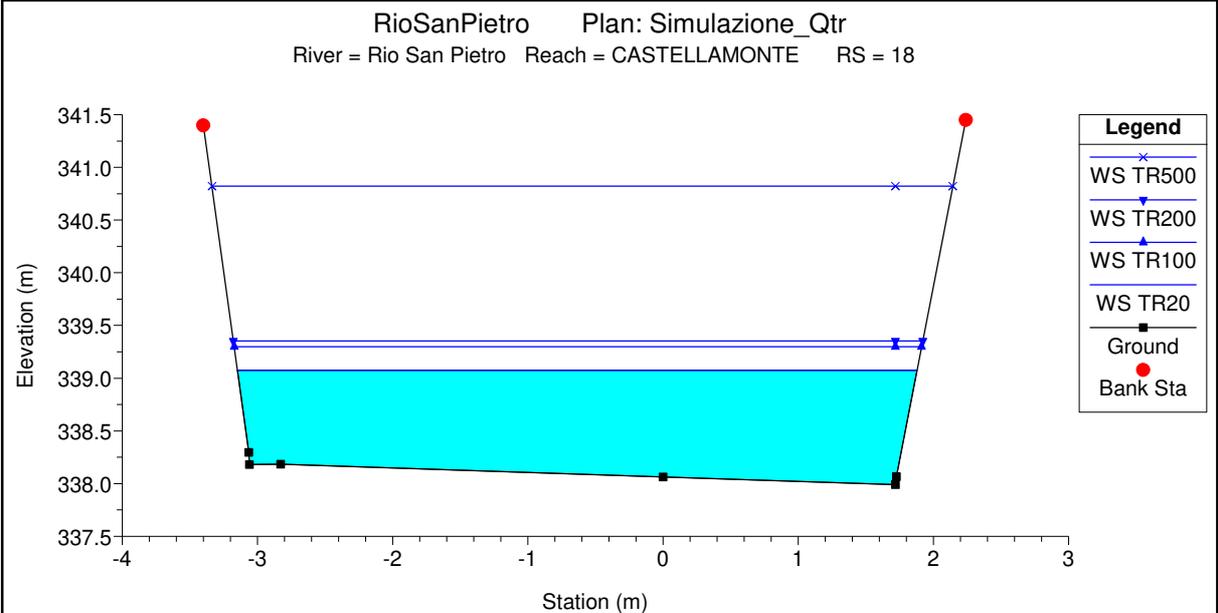


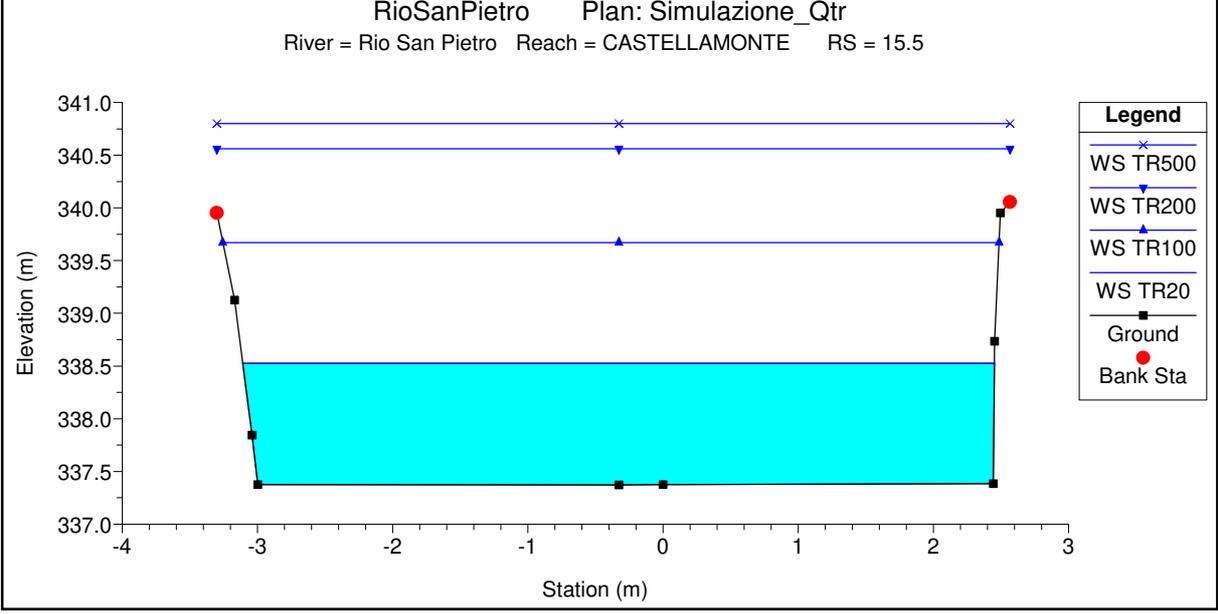
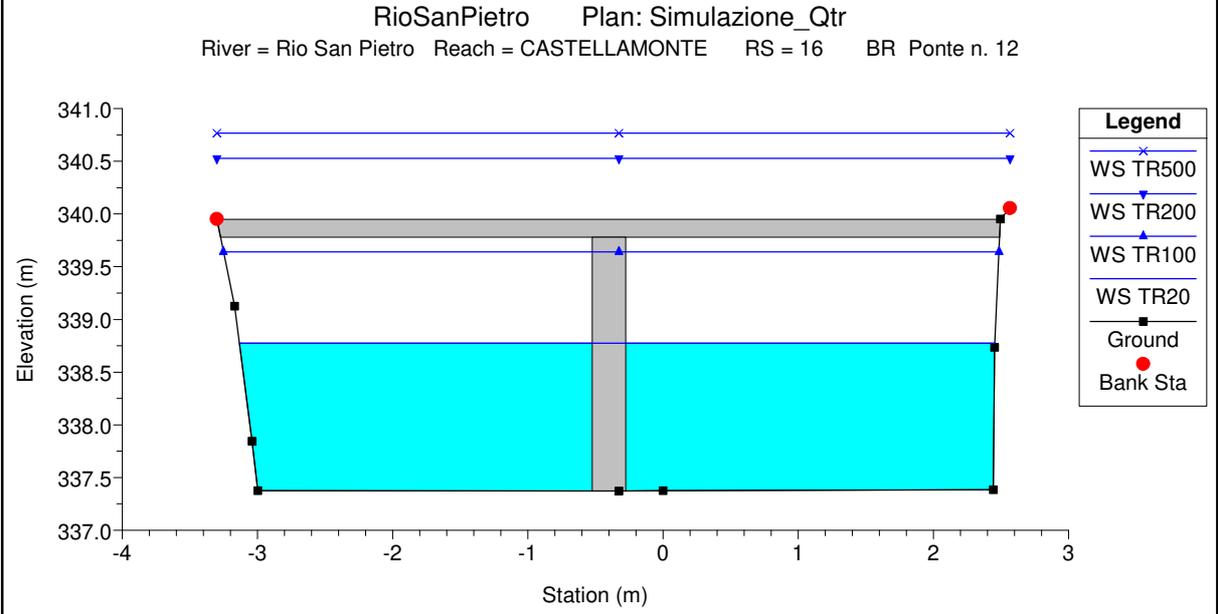
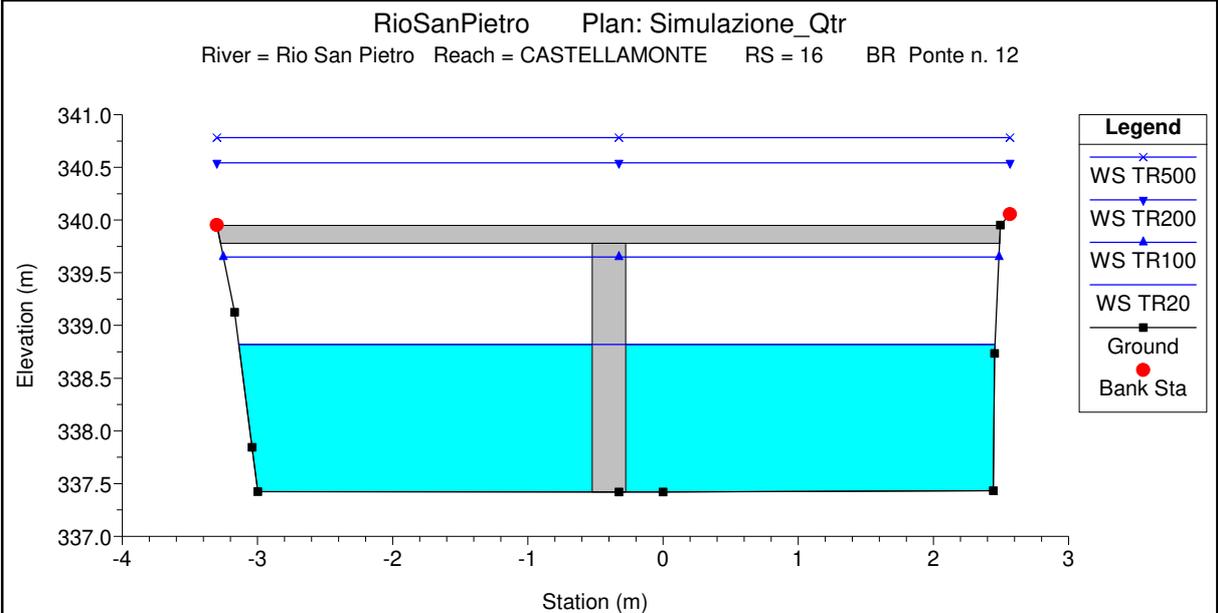


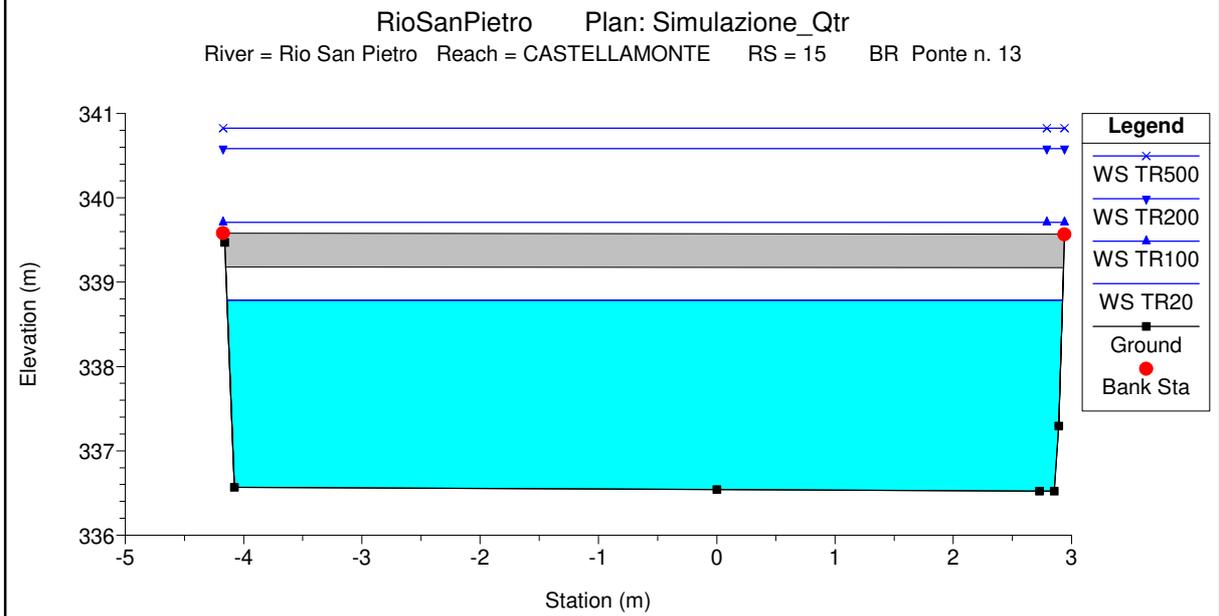
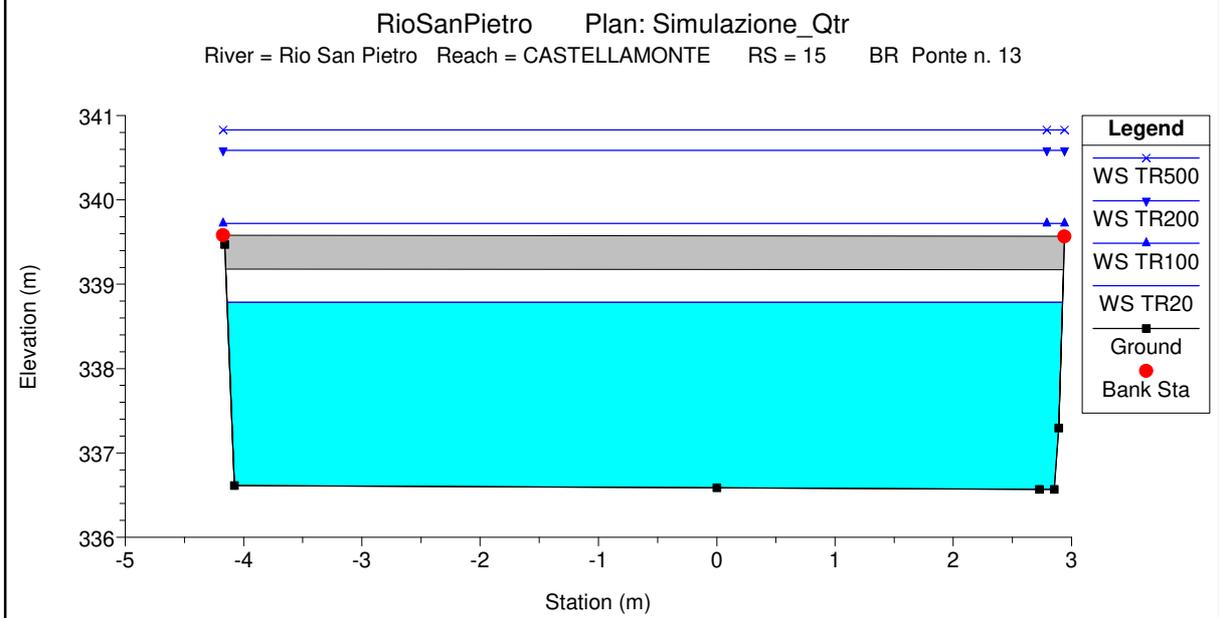
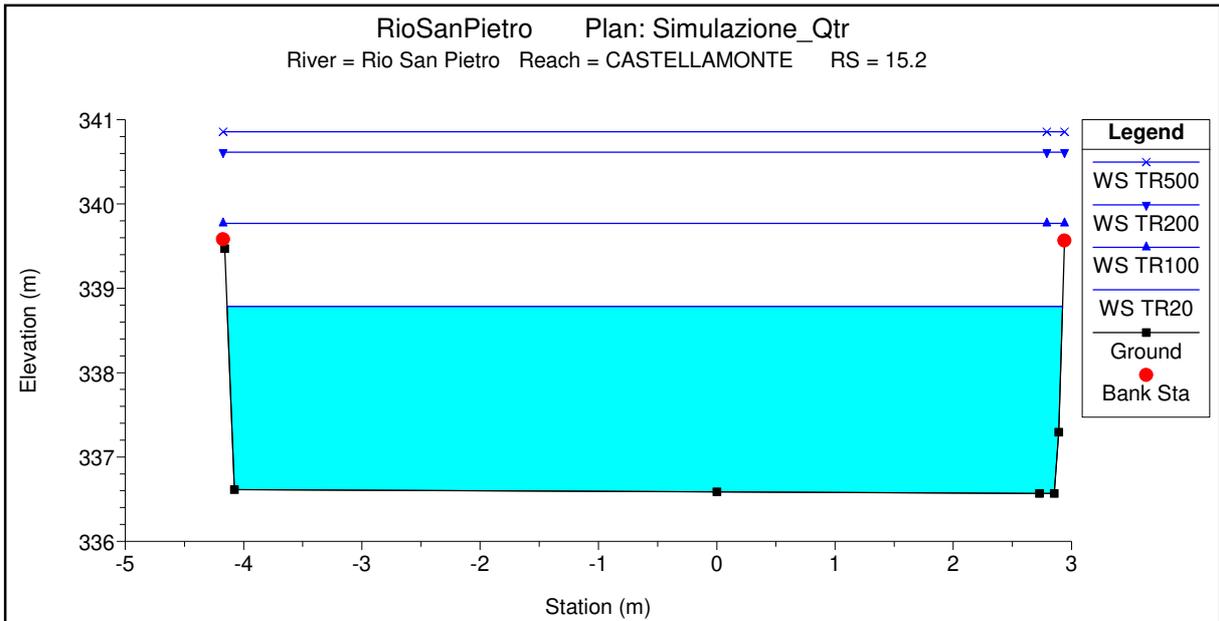


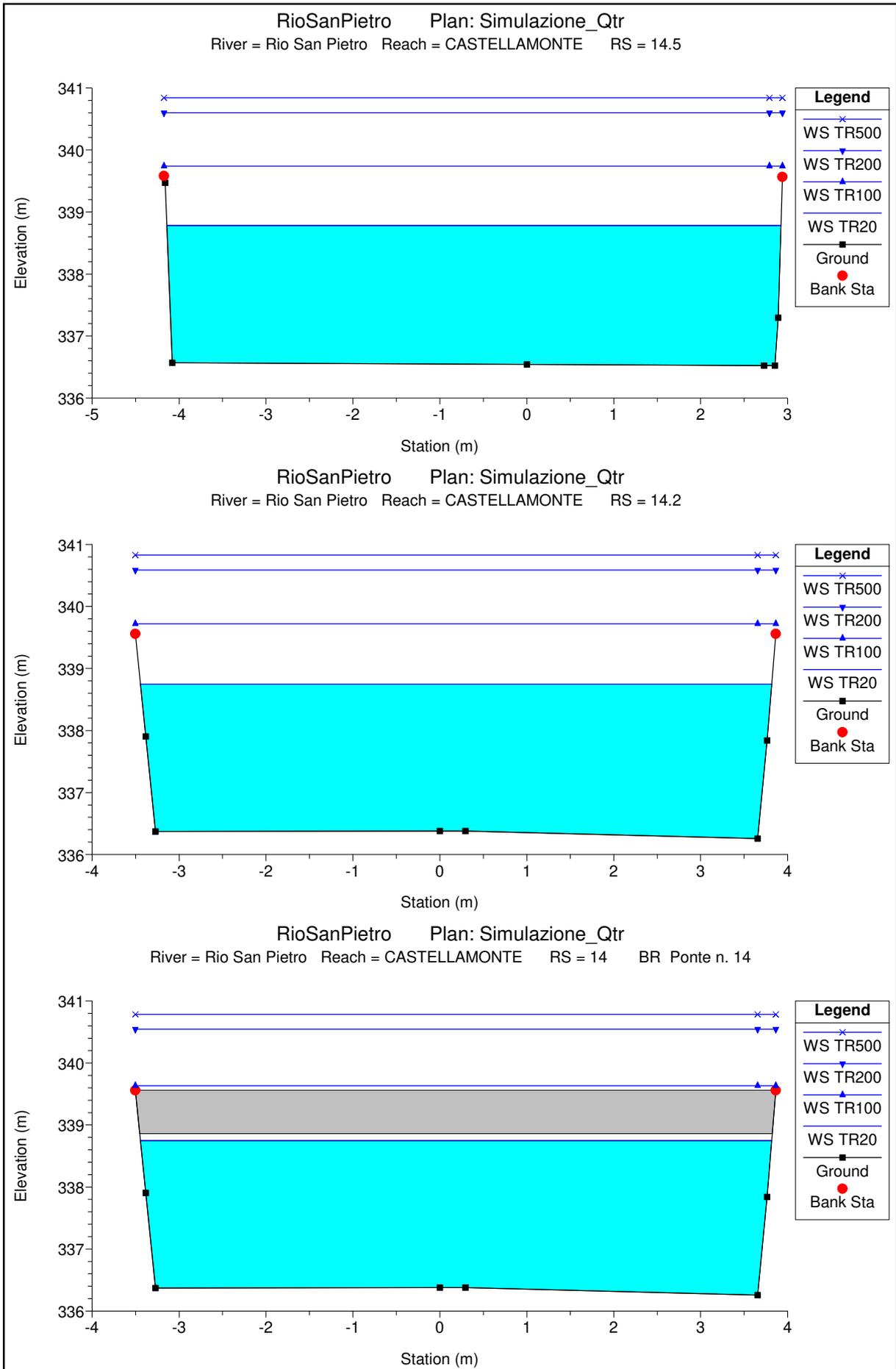


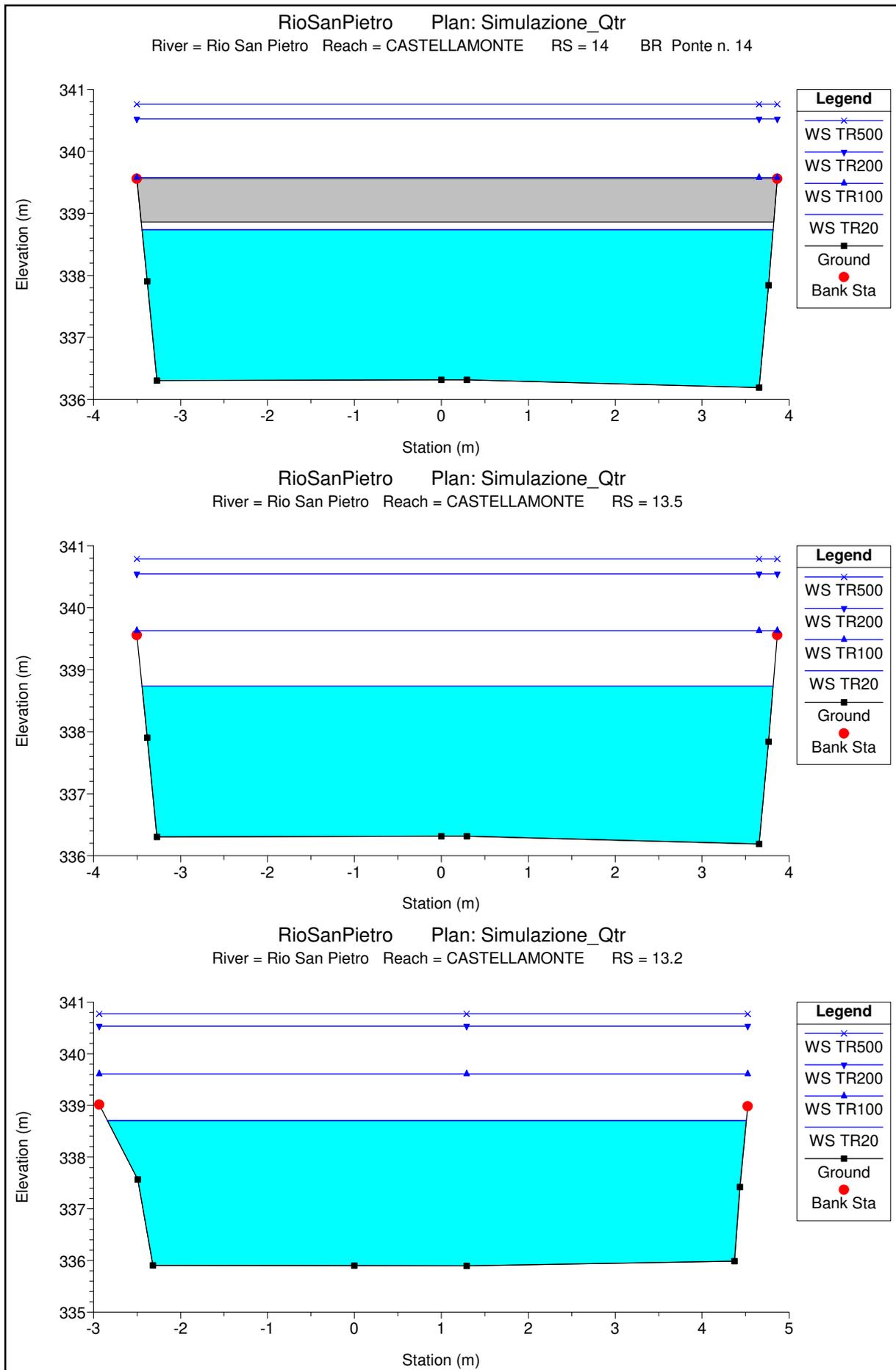


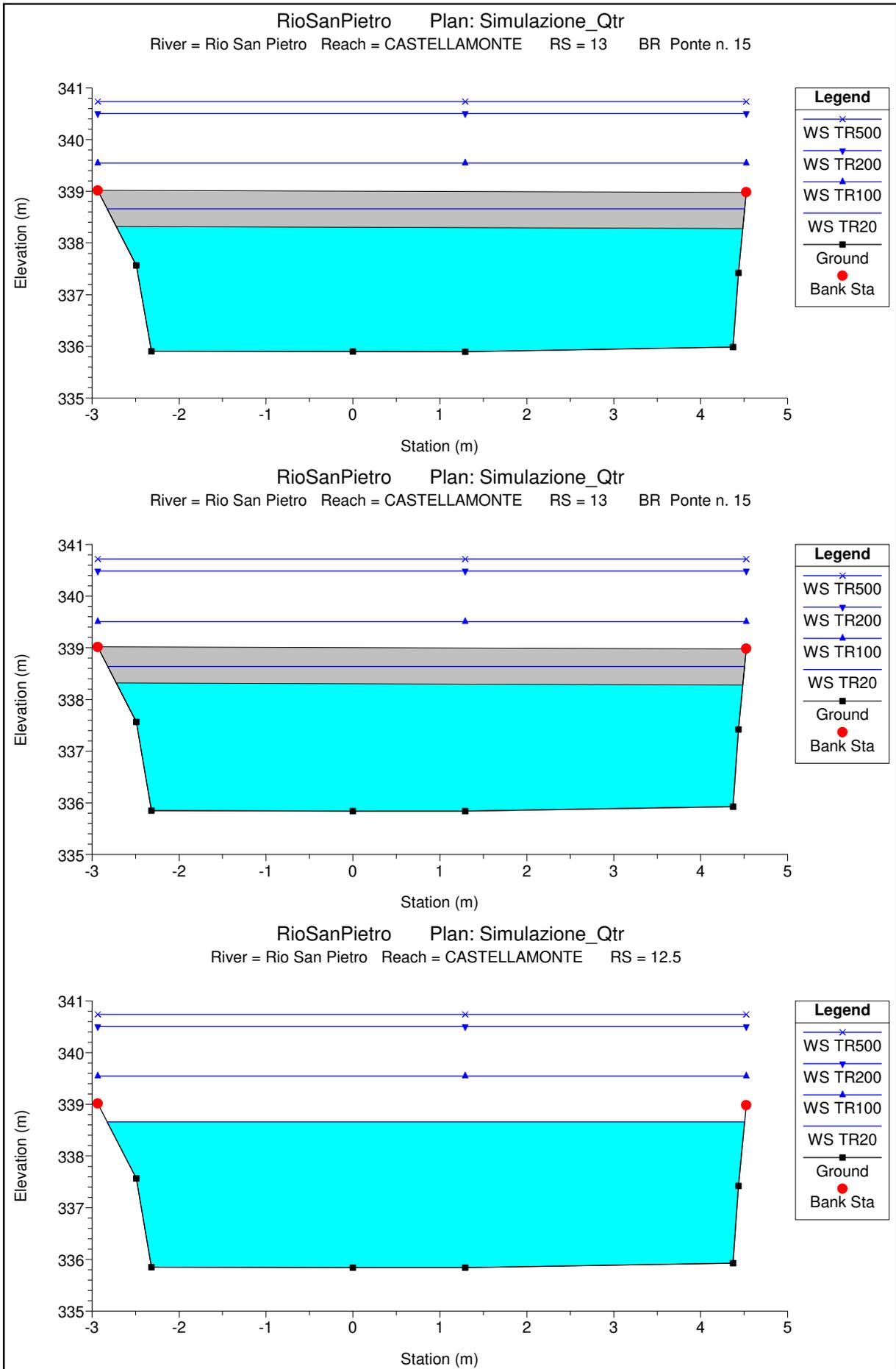


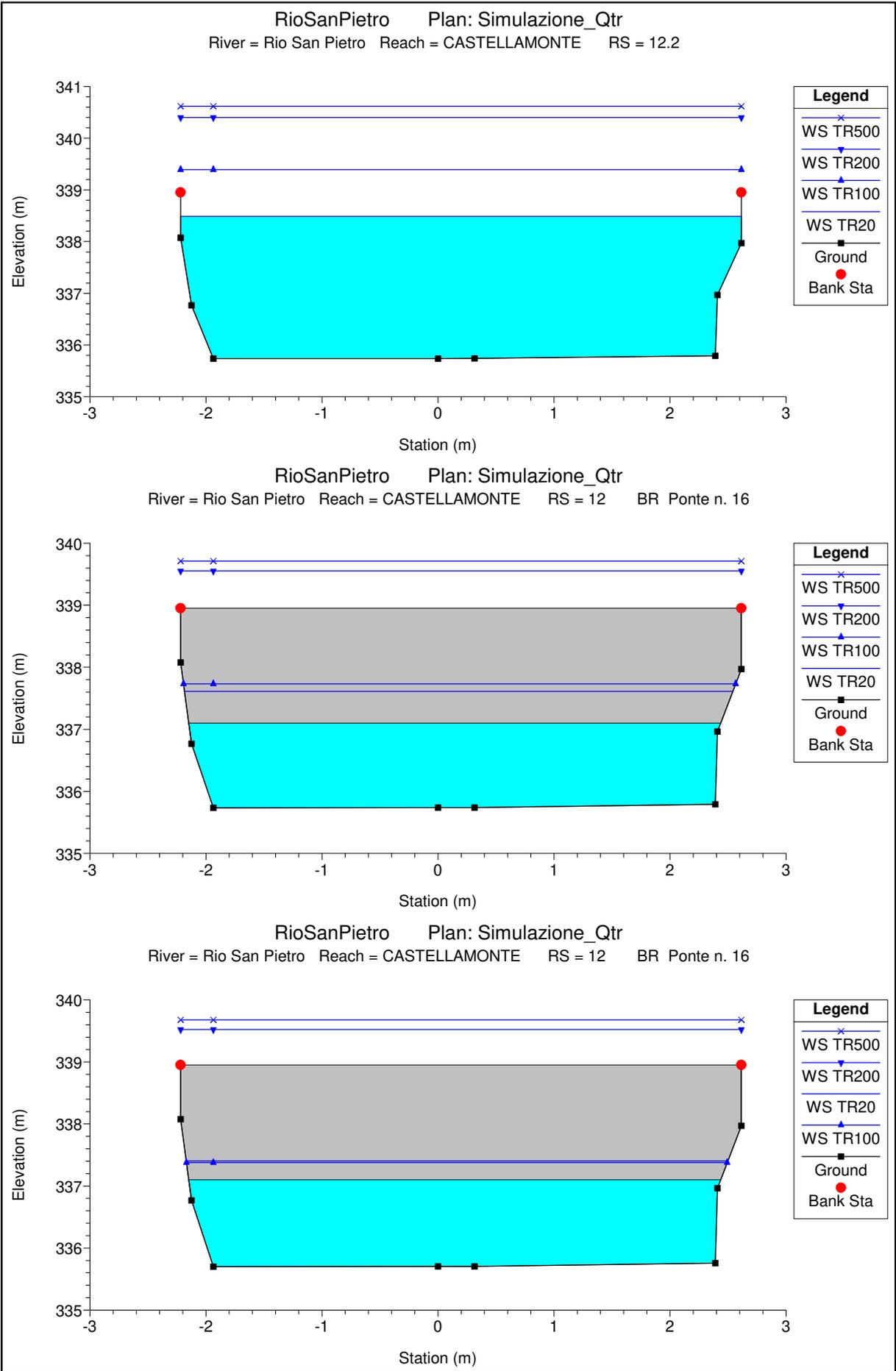


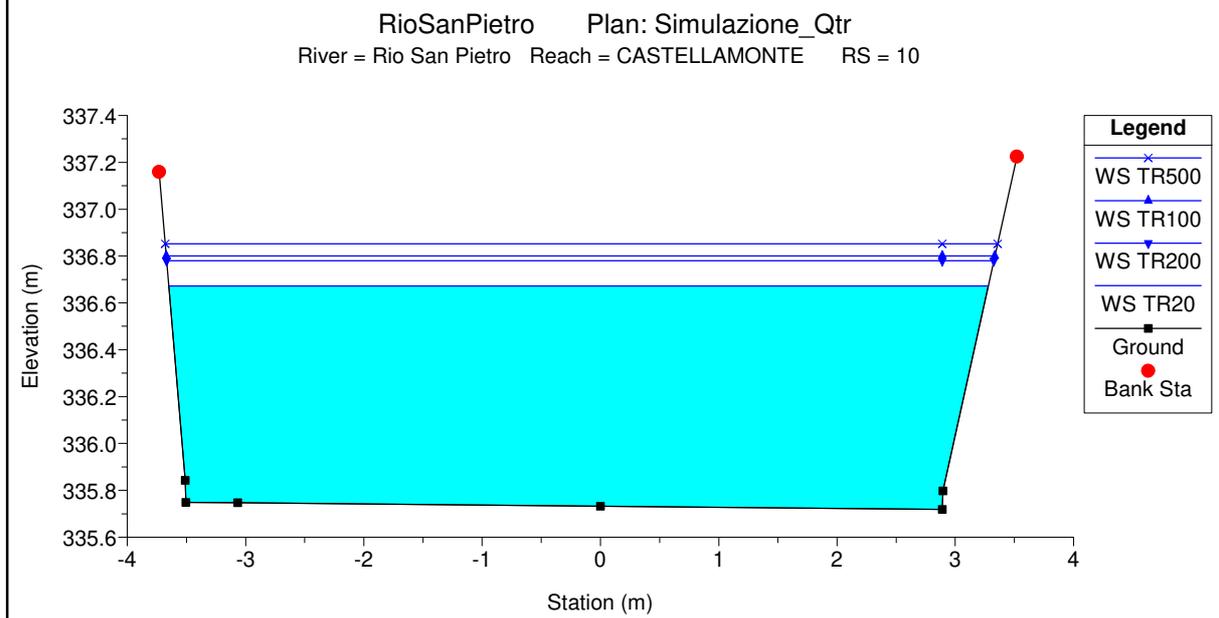
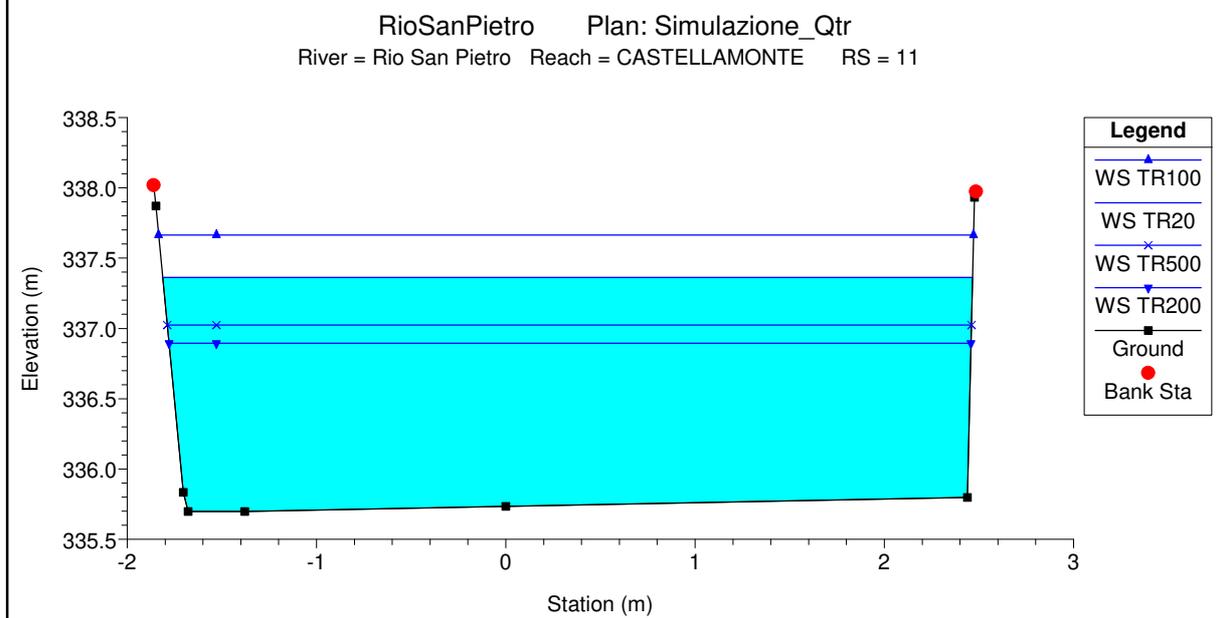
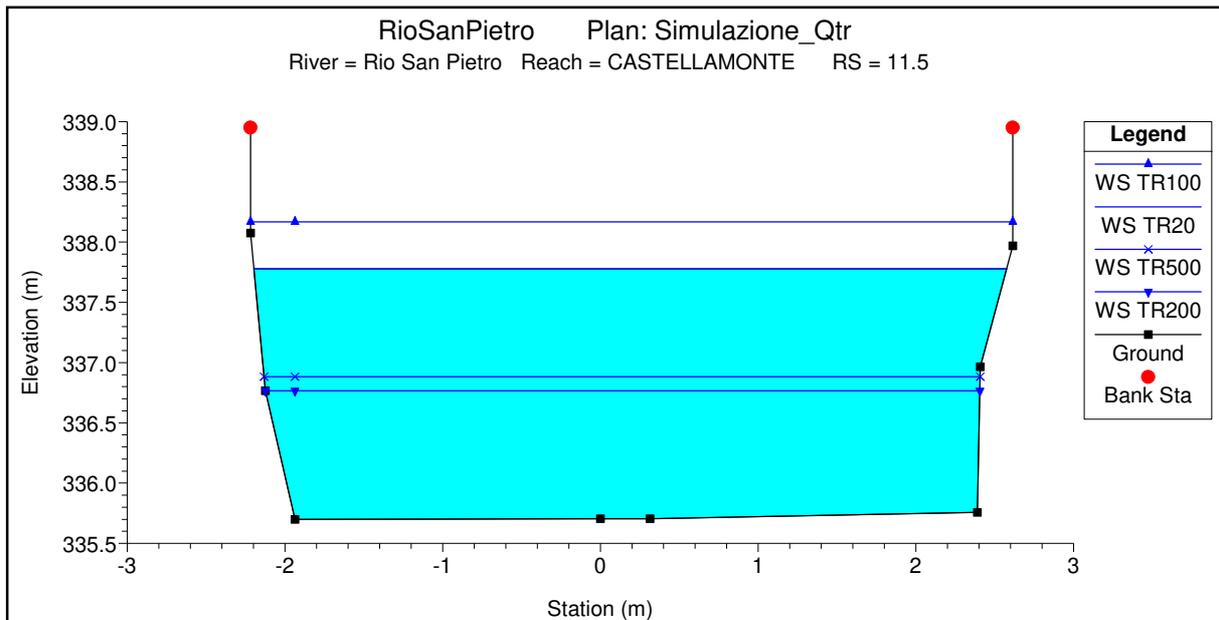


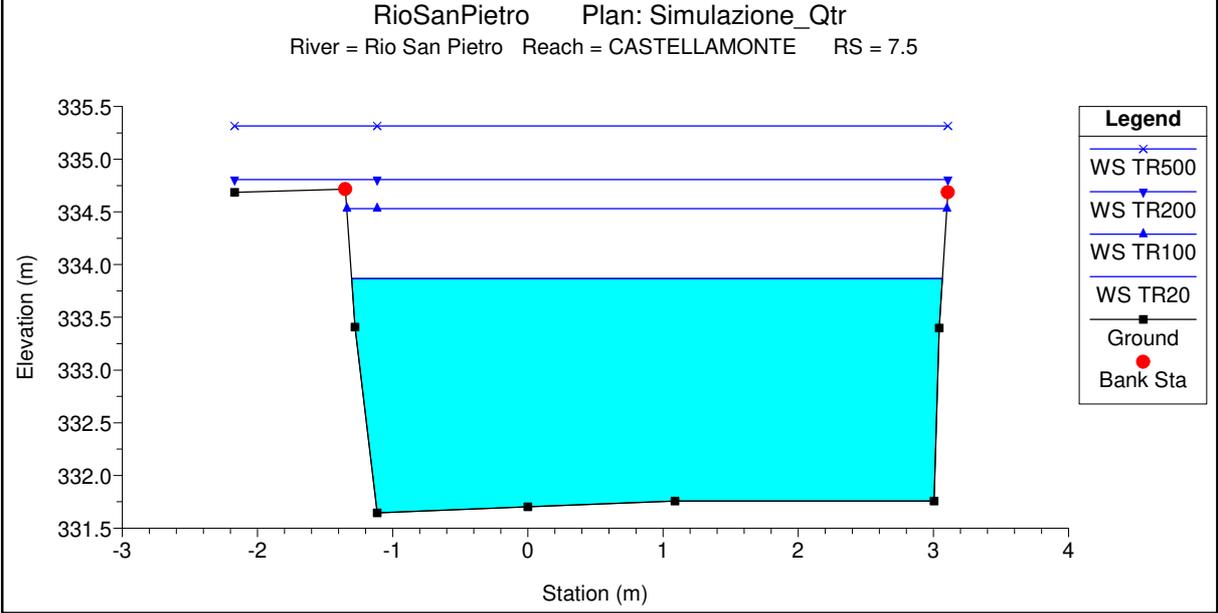
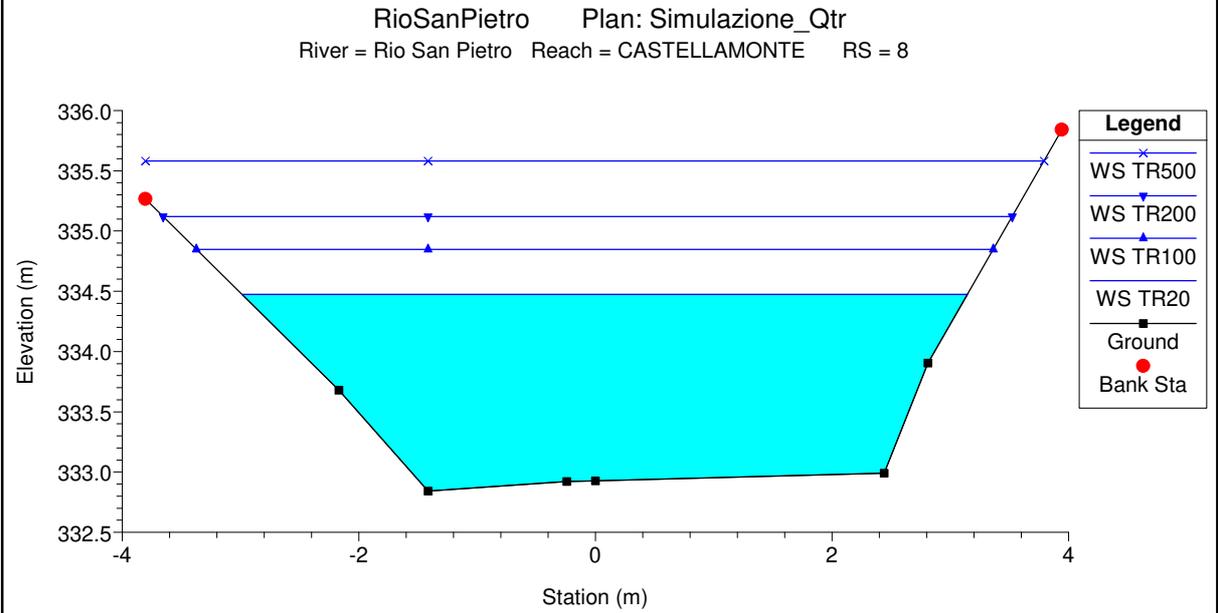
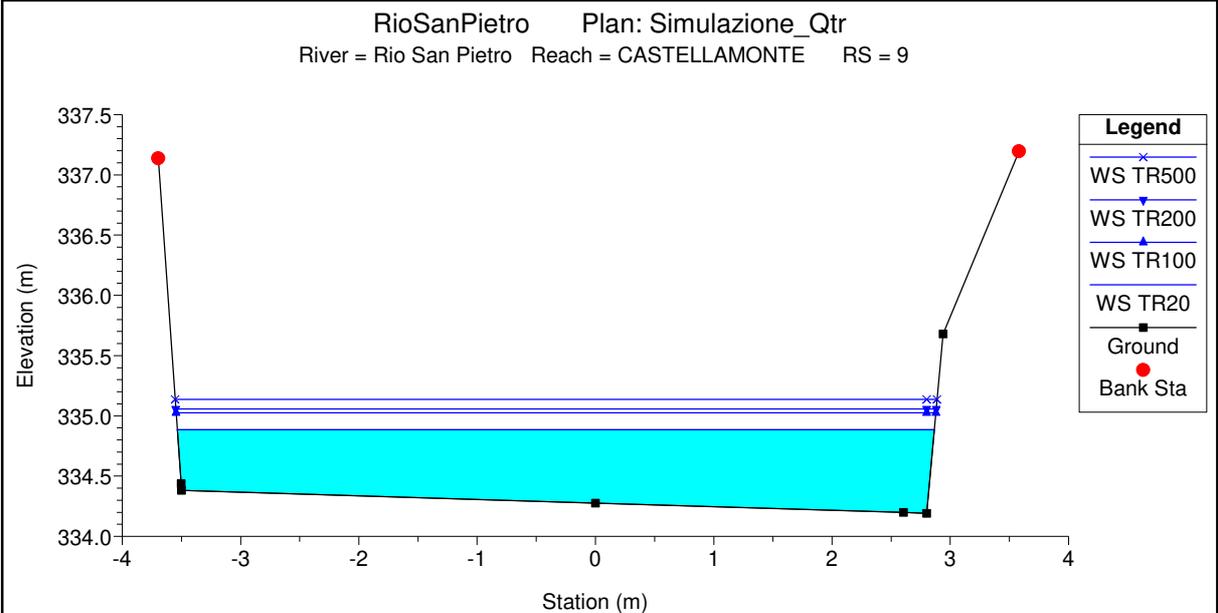




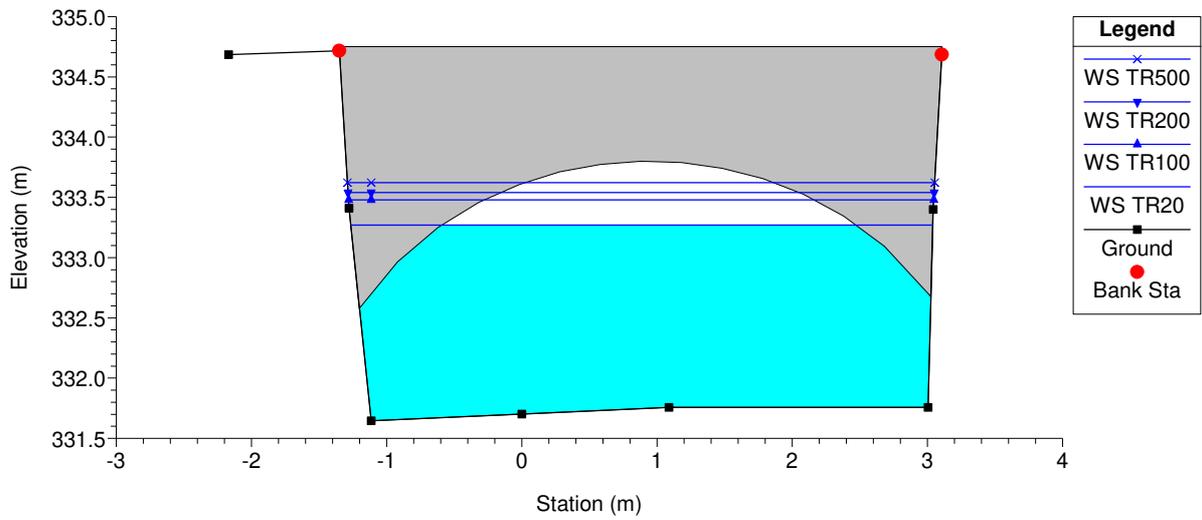




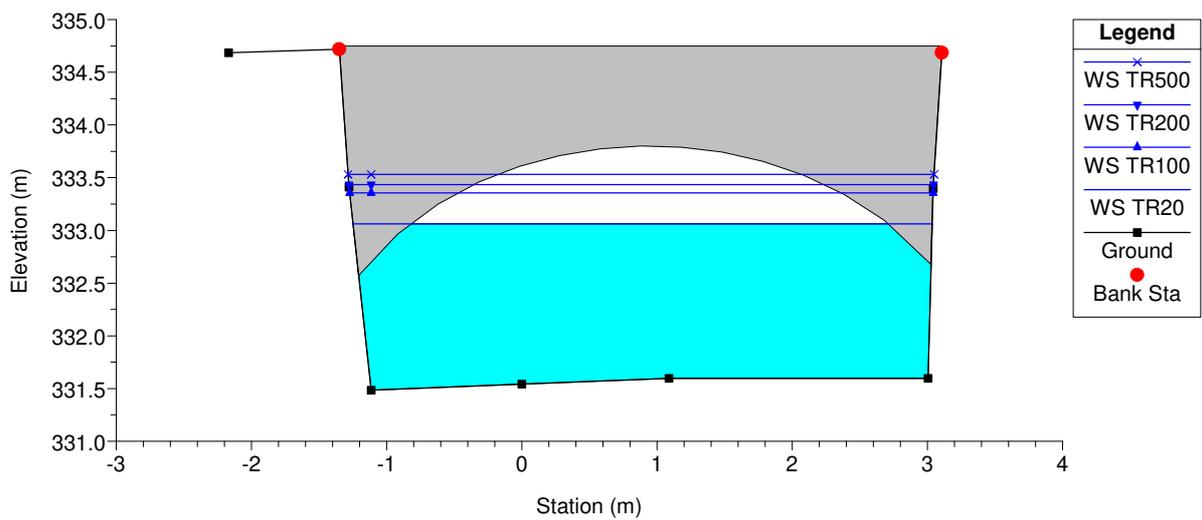




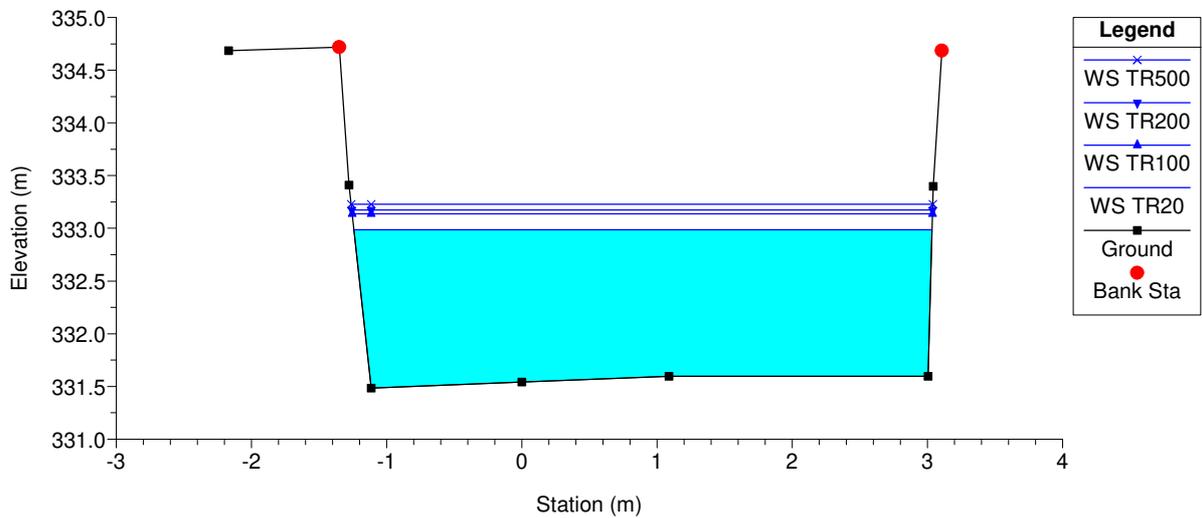
RioSanPietro Plan: Simulazione\_Qtr  
 River = Rio San Pietro Reach = CASTELLAMONTE RS = 7 BR Ponte n. 17

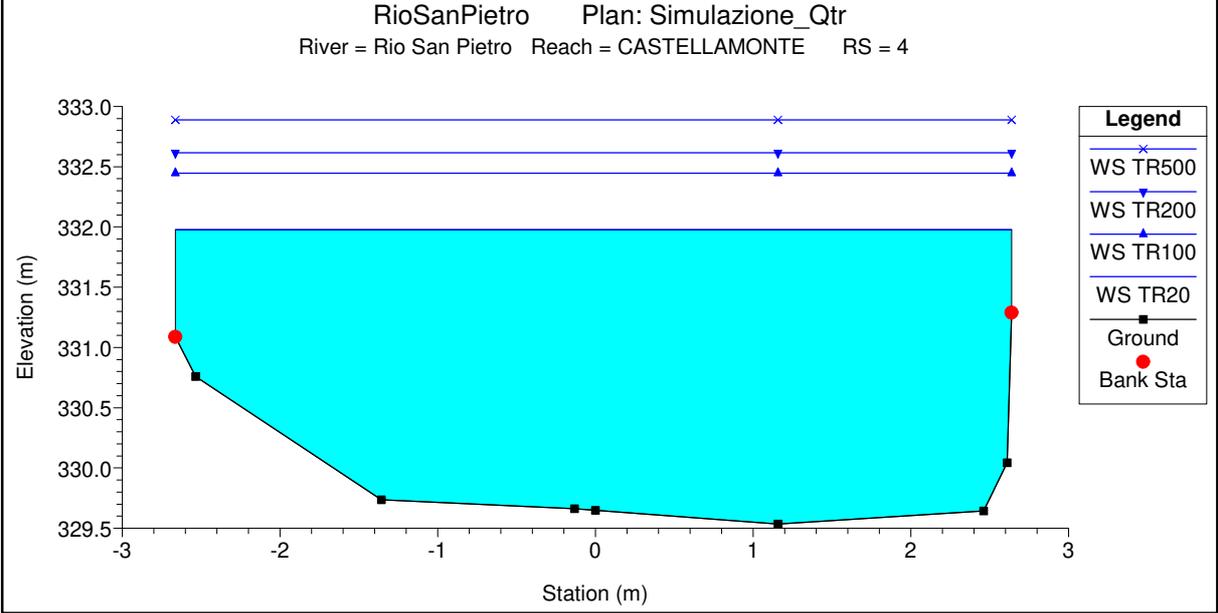
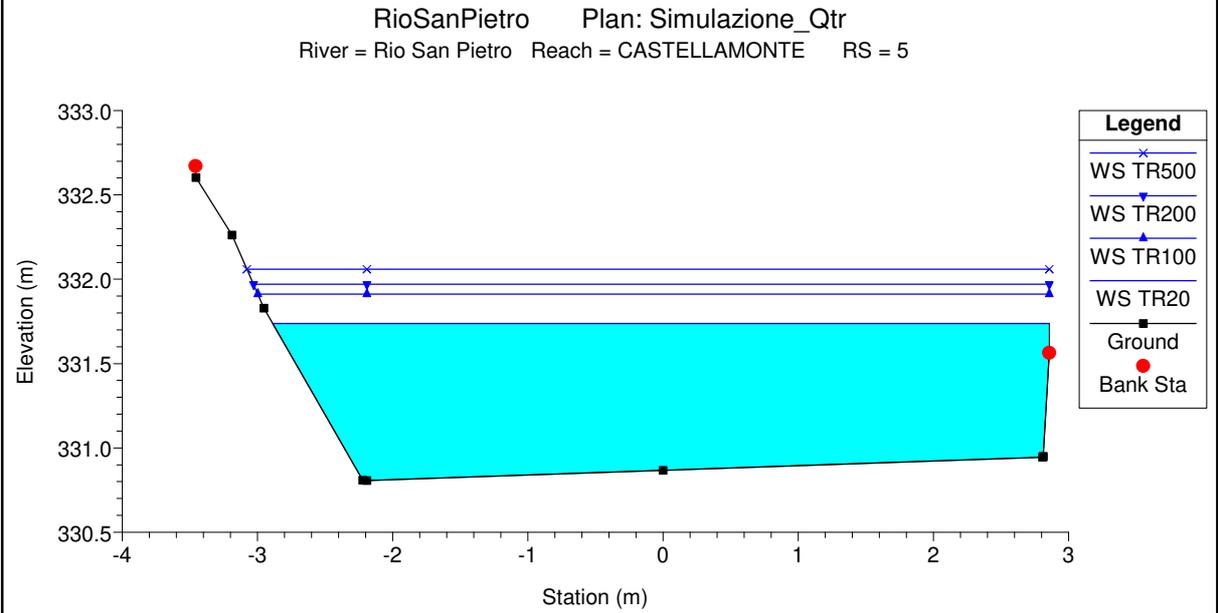
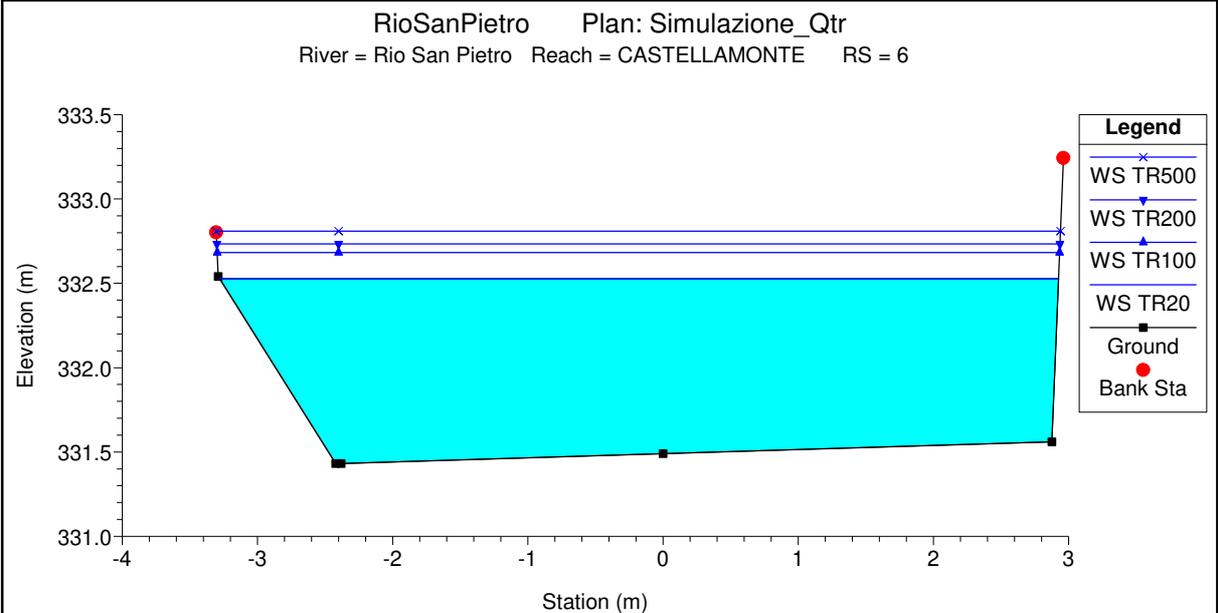


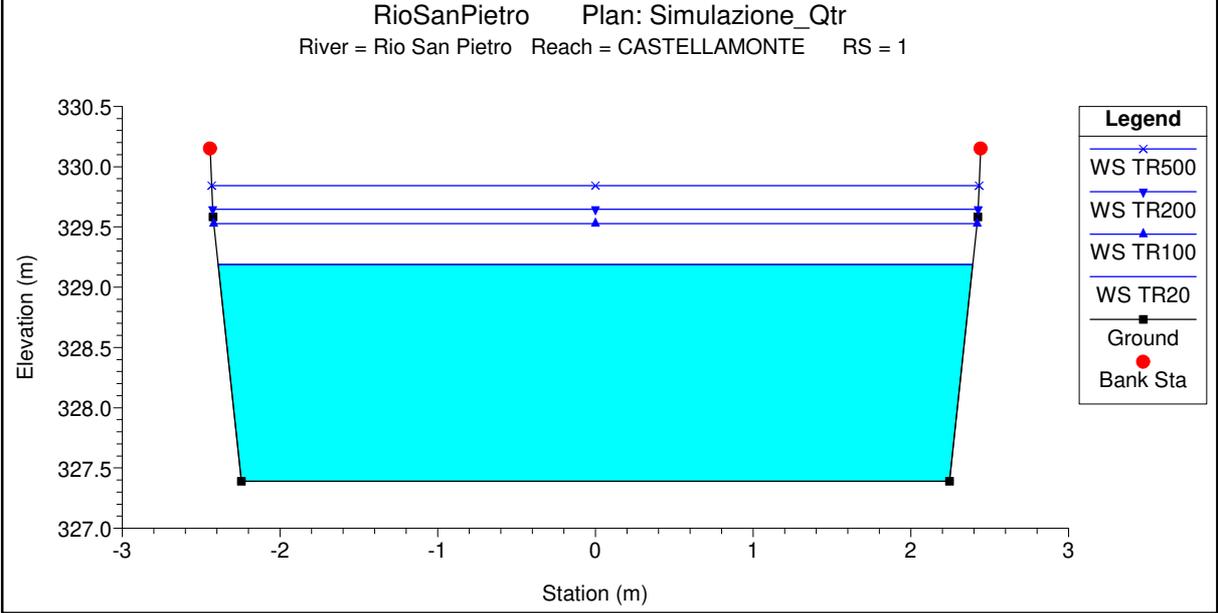
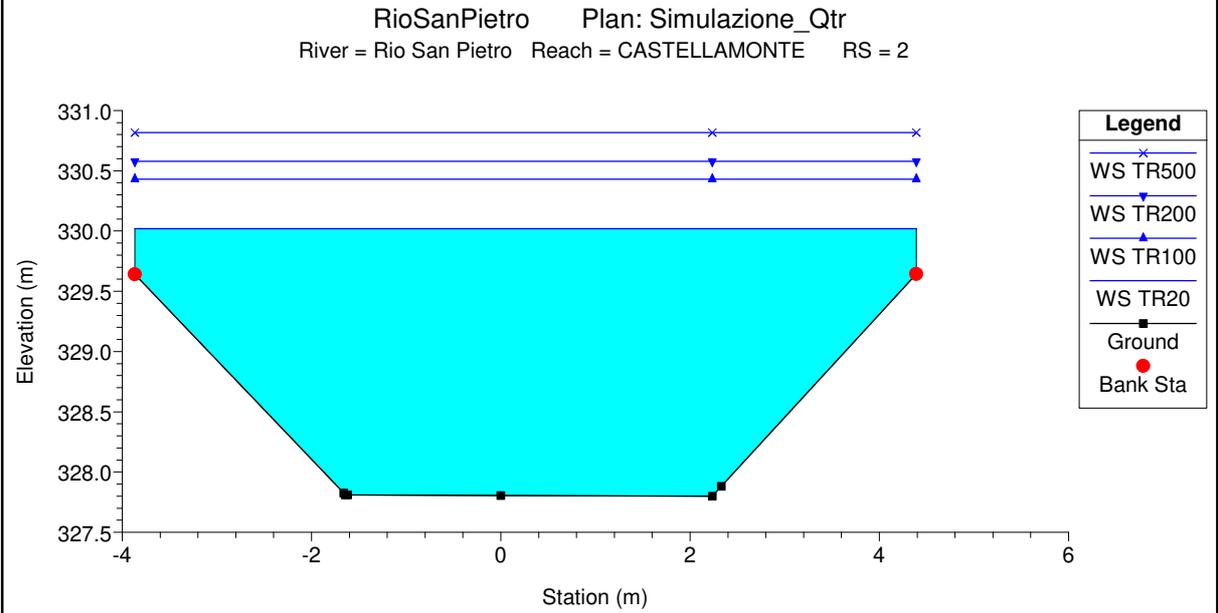
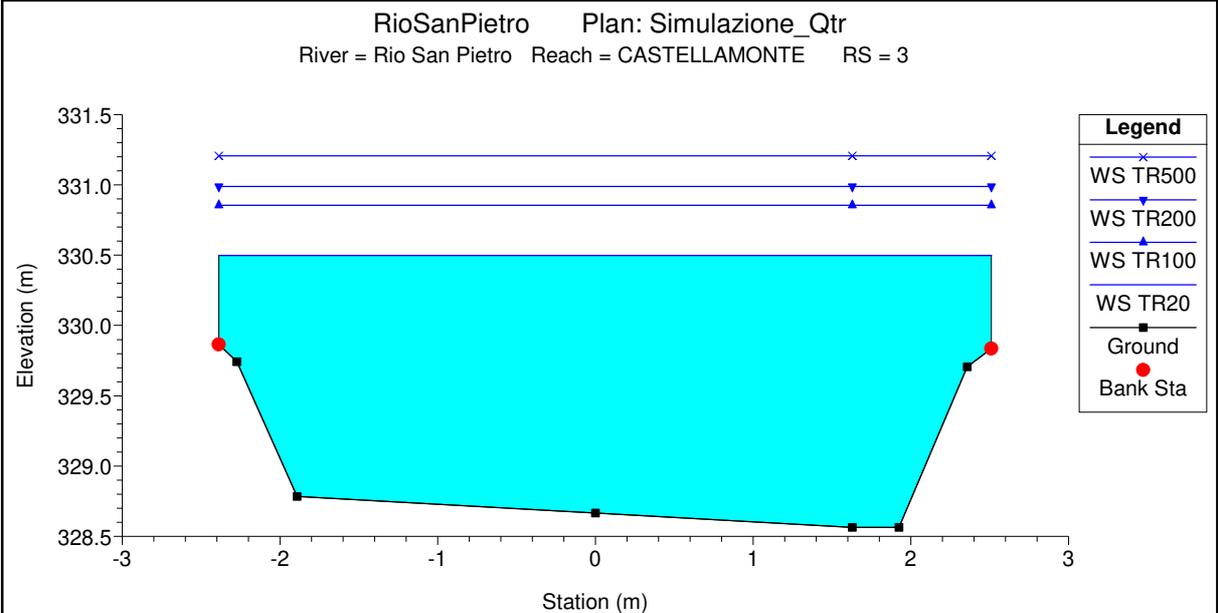
RioSanPietro Plan: Simulazione\_Qtr  
 River = Rio San Pietro Reach = CASTELLAMONTE RS = 7 BR Ponte n. 17



RioSanPietro Plan: Simulazione\_Qtr  
 River = Rio San Pietro Reach = CASTELLAMONTE RS = 6.5







HEC-RAS Plan: Qtr River: Rio San Pietro Reach: CASTELLAMONTE

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CASTELLAMONTE	51	TR20	22.00	345.86	347.67	347.35	348.02	0.012159	2.61	8.43	6.16	0.71
CASTELLAMONTE	51	TR100	28.00	345.86	348.02	347.57	348.37	0.011066	2.63	10.63	6.40	0.65
CASTELLAMONTE	51	TR200	31.00	345.86	348.34	347.67	348.64	0.008653	2.44	12.69	6.41	0.55
CASTELLAMONTE	51	TR500	34.00	345.86	348.68	347.77	348.95	0.007018	2.29	14.87	6.41	0.48
CASTELLAMONTE	50.5	TR20	22.00	345.86	347.43	347.18	347.81	0.003884	2.74	8.04	5.84	0.74
CASTELLAMONTE	50.5	TR100	28.00	345.86	347.86	347.38	348.22	0.002781	2.66	10.54	5.94	0.64
CASTELLAMONTE	50.5	TR200	31.00	345.86	348.23	347.47	348.53	0.001924	2.42	12.80	6.17	0.54
CASTELLAMONTE	50.5	TR500	34.00	345.86	348.60	347.56	348.86	0.001432	2.25	15.08	6.20	0.46
CASTELLAMONTE	50		Bridge									
CASTELLAMONTE	49.5	TR20	22.00	345.83	347.39		347.78	0.004066	2.78	7.92	5.83	0.76
CASTELLAMONTE	49.5	TR100	28.00	345.83	347.83		348.19	0.002799	2.66	10.51	5.93	0.64
CASTELLAMONTE	49.5	TR200	31.00	345.83	348.09		348.43	0.002261	2.56	12.11	6.08	0.58
CASTELLAMONTE	49.5	TR500	34.00	345.83	348.39		348.70	0.001795	2.44	13.96	6.20	0.52
CASTELLAMONTE	49.2	TR20	22.00	345.54	347.32	346.79	347.59	0.002092	2.32	9.48	5.74	0.58
CASTELLAMONTE	49.2	TR100	28.00	345.54	347.78	346.99	348.05	0.001629	2.30	12.16	5.89	0.51
CASTELLAMONTE	49.2	TR200	31.00	345.54	348.05	347.09	348.31	0.001389	2.25	13.79	5.97	0.47
CASTELLAMONTE	49.2	TR500	34.00	345.54	348.36	347.19	348.60	0.001165	2.17	15.64	6.07	0.43
CASTELLAMONTE	49		Bridge									
CASTELLAMONTE	48.5	TR20	22.00	345.43	347.30		347.55	0.001785	2.20	10.00	5.73	0.53
CASTELLAMONTE	48.5	TR100	28.00	345.43	347.70		347.96	0.001570	2.27	12.32	5.86	0.50
CASTELLAMONTE	48.5	TR200	31.00	345.43	347.92		348.18	0.001445	2.28	13.60	5.93	0.48
CASTELLAMONTE	48.5	TR500	34.00	345.43	348.17		348.43	0.001294	2.25	15.08	6.01	0.45
CASTELLAMONTE	48	TR20	22.00	345.07	347.26		347.48	0.007969	2.08	10.56	6.30	0.51
CASTELLAMONTE	48	TR100	28.00	345.07	347.67		347.90	0.007284	2.13	13.17	6.36	0.47
CASTELLAMONTE	48	TR200	31.00	345.07	347.89		348.12	0.006705	2.12	14.61	6.48	0.45
CASTELLAMONTE	48	TR500	34.00	345.07	348.15		348.37	0.005945	2.10	16.25	6.48	0.42
CASTELLAMONTE	47	TR20	22.00	344.77	346.86		347.11	0.005737	2.22	9.91	5.84	0.54
CASTELLAMONTE	47	TR100	28.00	344.77	347.34		347.58	0.004802	2.20	12.75	6.01	0.48
CASTELLAMONTE	47	TR200	31.00	344.77	347.59		347.83	0.004347	2.17	14.30	6.01	0.45
CASTELLAMONTE	47	TR500	34.00	344.77	347.88		348.11	0.003871	2.12	16.04	6.01	0.41
CASTELLAMONTE	46.5	TR20	22.00	344.78	346.64	346.24	347.05	0.003701	2.82	7.80	4.50	0.68
CASTELLAMONTE	46.5	TR100	28.00	344.78	347.13	346.48	347.53	0.002929	2.80	10.00	4.58	0.60
CASTELLAMONTE	46.5	TR200	31.00	344.78	347.39	346.60	347.78	0.002585	2.76	11.22	4.58	0.56
CASTELLAMONTE	46.5	TR500	34.00	344.78	347.70	346.71	348.07	0.002239	2.70	12.61	4.58	0.52
CASTELLAMONTE	46		Bridge									
CASTELLAMONTE	45.5	TR20	22.00	344.72	346.01	346.19	346.91	0.012361	4.22	5.21	4.46	1.25
CASTELLAMONTE	45.5	TR100	28.00	344.72	346.12	346.42	347.34	0.015159	4.90	5.71	4.47	1.38
CASTELLAMONTE	45.5	TR200	31.00	344.72	346.16	346.53	347.56	0.016713	5.24	5.92	4.47	1.45
CASTELLAMONTE	45.5	TR500	34.00	344.72	346.97		347.62	0.004916	3.56	9.56	4.55	0.78
CASTELLAMONTE	45.2	TR20	22.00	344.34	345.87	345.69	346.37	0.003927	3.16	6.96	4.71	0.83
CASTELLAMONTE	45.2	TR100	28.00	344.34	346.44	345.92	346.87	0.002416	2.88	9.79	5.16	0.64
CASTELLAMONTE	45.2	TR200	31.00	344.34	346.72	346.03	347.11	0.002006	2.80	11.19	5.16	0.59
CASTELLAMONTE	45.2	TR500	34.00	344.34	347.01	346.13	347.39	0.001663	2.71	12.73	5.16	0.54
CASTELLAMONTE	45		Bridge									
CASTELLAMONTE	44.5	TR20	22.00	344.26	345.85	345.61	346.32	0.003513	3.04	7.24	4.71	0.78
CASTELLAMONTE	44.5	TR100	28.00	344.26	346.15	345.84	346.68	0.003421	3.24	8.65	4.75	0.77
CASTELLAMONTE	44.5	TR200	31.00	344.26	346.29	345.95	346.85	0.003399	3.33	9.33	5.08	0.76
CASTELLAMONTE	44.5	TR500	34.00	344.26	346.43	346.05	347.02	0.003299	3.40	10.06	5.16	0.75
CASTELLAMONTE	44	TR20	22.00	344.21	345.61	345.61	346.30	0.005867	3.66	6.00	4.43	1.00
CASTELLAMONTE	44	TR100	28.00	344.21	345.85	345.85	346.65	0.005954	3.96	7.06	4.45	1.00
CASTELLAMONTE	44	TR200	31.00	344.21	345.97	345.97	346.82	0.005999	4.10	7.57	4.46	1.00
CASTELLAMONTE	44	TR500	34.00	344.21	346.07	346.07	346.98	0.006053	4.22	8.05	4.46	1.00
CASTELLAMONTE	43	TR20	22.00	344.08	345.08	345.36	346.08	0.011868	4.42	4.98	5.54	1.49
CASTELLAMONTE	43	TR100	28.00	344.08	345.23	345.56	346.42	0.012155	4.84	5.78	5.56	1.52
CASTELLAMONTE	43	TR200	31.00	344.08	345.30	345.66	346.59	0.012251	5.02	6.17	5.57	1.52
CASTELLAMONTE	43	TR500	34.00	344.08	345.37	345.75	346.74	0.012356	5.20	6.54	5.58	1.53
CASTELLAMONTE	42	TR20	22.00	343.87	344.71	345.10	346.03	0.017615	5.10	4.32	5.38	1.82
CASTELLAMONTE	42	TR100	28.00	343.87	344.86	345.31	346.38	0.016817	5.46	5.13	5.42	1.79
CASTELLAMONTE	42	TR200	31.00	343.87	344.93	345.41	346.54	0.016525	5.61	5.52	5.44	1.78
CASTELLAMONTE	42	TR500	34.00	343.87	345.00	345.50	346.69	0.016308	5.77	5.90	5.46	1.77
CASTELLAMONTE	41	TR20	22.00	343.64	344.41	344.84	345.89	0.022259	5.38	4.09	5.79	2.05
CASTELLAMONTE	41	TR100	28.00	343.64	344.55	345.04	346.24	0.021015	5.76	4.86	5.80	2.01
CASTELLAMONTE	41	TR200	31.00	343.64	344.61	345.13	346.40	0.020588	5.93	5.23	5.81	1.99
CASTELLAMONTE	41	TR500	34.00	343.64	344.67	345.23	346.56	0.020229	6.08	5.59	5.82	1.98
CASTELLAMONTE	40	TR20	22.00	343.34	343.98	344.48	345.84	0.032612	6.04	3.64	5.77	2.43
CASTELLAMONTE	40	TR100	28.00	343.34	345.55	344.68	345.79	0.001187	2.18	12.87	5.95	0.47
CASTELLAMONTE	40	TR200	31.00	343.34	345.78	344.78	346.02	0.001089	2.18	14.25	5.98	0.45
CASTELLAMONTE	40	TR500	34.00	343.34	346.03	344.87	346.27	0.000991	2.16	15.74	6.00	0.43
CASTELLAMONTE	39	TR20	22.00	343.32	345.06	344.53	345.30	0.001509	2.16	10.20	6.53	0.55
CASTELLAMONTE	39	TR100	28.00	343.32	345.50		345.73	0.001168	2.14	13.11	6.64	0.49
CASTELLAMONTE	39	TR200	31.00	343.32	345.74		345.97	0.001023	2.10	14.73	6.68	0.45

HEC-RAS Plan: Qtr River: Rio San Pietro Reach: CASTELLAMONTE (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CASTELLAMONTE	39	TR500	34.00	343.32	346.00		346.22	0.000896	2.07	16.46	6.70	0.42
CASTELLAMONTE	38	TR20	22.00	343.20	344.89		345.16	0.001687	2.31	9.53	5.88	0.58
CASTELLAMONTE	38	TR100	28.00	343.20	345.37		345.63	0.001286	2.26	12.37	5.97	0.50
CASTELLAMONTE	38	TR200	31.00	343.20	345.63		345.88	0.001117	2.22	14.03	6.77	0.47
CASTELLAMONTE	38	TR500	34.00	343.20	345.90		346.14	0.000942	2.17	15.90	6.77	0.43
CASTELLAMONTE	37.5	TR20	22.00	342.80	344.93	344.26	345.14	0.001594	2.03	10.81	6.19	0.49
CASTELLAMONTE	37.5	TR100	28.00	342.80	345.40	344.46	345.62	0.001269	2.04	13.74	6.27	0.44
CASTELLAMONTE	37.5	TR200	31.00	342.80	345.66	344.55	345.87	0.001111	2.02	15.38	6.51	0.41
CASTELLAMONTE	37.5	TR500	34.00	342.80	345.93	344.64	346.13	0.000962	1.99	17.15	6.51	0.39
CASTELLAMONTE	37		Bridge									
CASTELLAMONTE	36.5	TR20	22.00	342.55	343.55	343.93	344.83	0.025740	5.02	4.38	5.98	1.87
CASTELLAMONTE	36.5	TR100	28.00	342.55	343.66	344.12	345.24	0.027023	5.57	5.02	5.99	1.94
CASTELLAMONTE	36.5	TR200	31.00	342.55	343.70	344.22	345.45	0.028119	5.86	5.29	6.00	1.99
CASTELLAMONTE	36.5	TR500	34.00	342.55	343.74	344.31	345.66	0.029485	6.15	5.53	6.01	2.04
CASTELLAMONTE	36	TR20	27.00	342.54	343.50	343.87	344.77	0.023740	5.00	5.40	7.85	1.92
CASTELLAMONTE	36	TR100	35.00	342.54	343.57	344.07	345.32	0.028825	5.85	5.98	7.87	2.14
CASTELLAMONTE	36	TR200	38.00	342.54	343.60	344.15	345.50	0.029991	6.11	6.22	7.88	2.19
CASTELLAMONTE	36	TR500	43.00	342.54	343.63	344.26	345.89	0.034098	6.66	6.46	7.89	2.35
CASTELLAMONTE	35.5	TR20	27.00	342.54	344.16	343.84	344.52	0.003480	2.68	10.06	6.79	0.70
CASTELLAMONTE	35.5	TR100	35.00	342.54	344.43	344.06	344.87	0.003479	2.93	11.93	6.87	0.71
CASTELLAMONTE	35.5	TR200	38.00	342.54	344.56	344.15	345.01	0.003316	2.97	12.80	6.90	0.70
CASTELLAMONTE	35.5	TR500	43.00	342.54	344.82	344.27	345.26	0.002827	2.94	14.65	6.98	0.65
CASTELLAMONTE	35		Bridge									
CASTELLAMONTE	34.5	TR20	27.00	342.52	344.13	343.81	344.50	0.003529	2.70	10.02	6.78	0.71
CASTELLAMONTE	34.5	TR100	35.00	342.52	344.40	344.04	344.84	0.003528	2.95	11.87	6.86	0.72
CASTELLAMONTE	34.5	TR200	38.00	342.52	344.49	344.12	344.96	0.003536	3.03	12.53	6.89	0.72
CASTELLAMONTE	34.5	TR500	43.00	342.52	344.64	344.25	345.16	0.003554	3.17	13.57	6.93	0.72
CASTELLAMONTE	34	TR20	27.00	342.23	343.57	343.57	344.19	0.006348	3.48	7.76	6.35	1.01
CASTELLAMONTE	34	TR100	35.00	342.23	343.81	343.81	344.53	0.006167	3.77	9.29	6.50	1.01
CASTELLAMONTE	34	TR200	38.00	342.23	343.89	343.89	344.65	0.006108	3.86	9.84	6.55	1.01
CASTELLAMONTE	34	TR500	43.00	342.23	344.03	344.03	344.85	0.006027	4.00	10.74	6.63	1.00
CASTELLAMONTE	33	TR20	27.00	342.27	343.11	343.37	344.03	0.017461	4.24	6.37	8.53	1.57
CASTELLAMONTE	33	TR100	35.00	342.27	343.24	343.57	344.37	0.017788	4.70	7.45	8.56	1.61
CASTELLAMONTE	33	TR200	38.00	342.27	343.29	343.63	344.48	0.017817	4.85	7.84	8.57	1.62
CASTELLAMONTE	33	TR500	43.00	342.27	343.36	343.74	344.67	0.017808	5.08	8.47	8.59	1.63
CASTELLAMONTE	32	TR20	27.00	341.89	343.22	343.21	343.78	0.006397	3.31	8.17	7.09	0.98
CASTELLAMONTE	32	TR100	35.00	341.89	343.59	343.43	344.13	0.004610	3.26	10.74	7.12	0.85
CASTELLAMONTE	32	TR200	38.00	341.89	343.69	343.50	344.25	0.004448	3.31	11.47	7.12	0.83
CASTELLAMONTE	32	TR500	43.00	341.89	343.89	343.62	344.45	0.004001	3.34	12.88	7.12	0.79
CASTELLAMONTE	31.5	TR20	27.00	341.59	343.29	342.90	343.67	0.003120	2.71	9.96	6.07	0.68
CASTELLAMONTE	31.5	TR100	35.00	341.59	343.60	343.15	344.05	0.003110	2.95	11.86	6.13	0.68
CASTELLAMONTE	31.5	TR200	38.00	341.59	343.69	343.23	344.17	0.003194	3.06	12.42	6.15	0.69
CASTELLAMONTE	31.5	TR500	43.00	341.59	343.88	343.37	344.39	0.003171	3.18	13.54	6.18	0.68
CASTELLAMONTE	31		Bridge									
CASTELLAMONTE	30.5	TR20	27.00	341.54	342.62	342.85	343.57	0.012916	4.31	6.26	5.93	1.34
CASTELLAMONTE	30.5	TR100	35.00	341.54	342.88	343.09	343.91	0.011102	4.50	7.78	5.98	1.26
CASTELLAMONTE	30.5	TR200	38.00	341.54	342.95	343.18	344.05	0.011219	4.65	8.18	6.00	1.27
CASTELLAMONTE	30.5	TR500	43.00	341.54	343.68		344.27	0.003874	3.40	12.65	6.14	0.76
CASTELLAMONTE	30	TR20	27.00	341.20	342.63	342.63	343.22	0.007422	3.40	7.94	6.84	1.01
CASTELLAMONTE	30	TR100	35.00	341.20	343.03	342.85	343.58	0.005029	3.26	10.72	6.91	0.84
CASTELLAMONTE	30	TR200	38.00	341.20	343.28	342.93	343.75	0.003824	3.06	12.42	6.95	0.73
CASTELLAMONTE	30	TR500	43.00	341.20	343.65		344.07	0.002804	2.86	15.03	7.01	0.62
CASTELLAMONTE	29.5	TR20	27.00	340.78	342.60	341.78	342.74	0.001144	1.69	15.95	8.96	0.41
CASTELLAMONTE	29.5	TR100	35.00	340.78	343.21	341.97	343.34	0.000794	1.63	21.41	9.00	0.34
CASTELLAMONTE	29.5	TR200	38.00	340.78	343.42	342.04	343.56	0.000726	1.63	23.34	9.02	0.32
CASTELLAMONTE	29.5	TR500	43.00	340.78	343.77	342.14	343.90	0.000643	1.62	26.48	9.02	0.30
CASTELLAMONTE	29		Bridge									
CASTELLAMONTE	28.5	TR20	27.00	340.67	342.52		342.66	0.001023	1.67	16.14	8.96	0.40
CASTELLAMONTE	28.5	TR100	35.00	340.67	343.02		343.16	0.000810	1.70	20.63	8.99	0.36
CASTELLAMONTE	28.5	TR200	38.00	340.67	343.19		343.34	0.000770	1.72	22.15	9.00	0.35
CASTELLAMONTE	28.5	TR500	43.00	340.67	343.44		343.59	0.000736	1.76	24.41	9.02	0.34
CASTELLAMONTE	28	TR20	27.00	340.55	342.51		342.62	0.000691	1.42	18.96	10.33	0.34
CASTELLAMONTE	28	TR100	35.00	340.55	343.02		343.13	0.000545	1.44	24.22	10.43	0.30
CASTELLAMONTE	28	TR200	38.00	340.55	343.19		343.30	0.000517	1.46	26.02	10.50	0.30
CASTELLAMONTE	28	TR500	43.00	340.55	343.44		343.56	0.000492	1.50	28.68	10.60	0.29
CASTELLAMONTE	27	TR20	27.00	340.42	342.30		342.53	0.002167	2.15	12.55	8.56	0.57
CASTELLAMONTE	27	TR100	35.00	340.42	342.86		343.07	0.001324	2.00	17.48	8.77	0.45
CASTELLAMONTE	27	TR200	38.00	340.42	343.04		343.24	0.001199	1.99	19.05	8.78	0.43
CASTELLAMONTE	27	TR500	43.00	340.42	343.30		343.51	0.001093	2.02	21.31	8.79	0.41
CASTELLAMONTE	26	TR20	27.00	340.26	342.00		342.43	0.003413	2.90	9.30	6.56	0.78

HEC-RAS Plan: Qtr River: Rio San Pietro Reach: CASTELLAMONTE (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CASTELLAMONTE	26	TR100	35.00	340.26	342.70		343.01	0.001678	2.46	14.22	7.47	0.57
CASTELLAMONTE	26	TR200	38.00	340.26	342.89		343.19	0.001499	2.43	15.67	7.72	0.54
CASTELLAMONTE	26	TR500	43.00	340.26	343.16		343.46	0.001338	2.42	17.79	8.06	0.52
CASTELLAMONTE	25	TR20	27.00	339.86	341.69		342.09	0.003577	2.83	9.54	5.61	0.69
CASTELLAMONTE	25	TR100	35.00	339.86	342.54		342.84	0.001801	2.44	14.36	5.64	0.49
CASTELLAMONTE	25	TR200	38.00	339.86	342.73		343.04	0.001728	2.46	15.43	5.64	0.48
CASTELLAMONTE	25	TR500	43.00	339.86	342.98		343.31	0.001724	2.55	16.83	5.64	0.47
CASTELLAMONTE	24.5	TR20	27.00	339.64	341.69	341.06	342.00	0.002256	2.45	11.03	5.66	0.56
CASTELLAMONTE	24.5	TR100	35.00	339.64	342.54	341.32	342.79	0.001318	2.21	15.86	5.68	0.42
CASTELLAMONTE	24.5	TR200	38.00	339.64	342.73	341.41	342.99	0.001290	2.24	16.94	5.68	0.41
CASTELLAMONTE	24.5	TR500	43.00	339.64	342.98	341.55	343.26	0.001317	2.34	18.35	5.68	0.42
CASTELLAMONTE	24		Bridge									
CASTELLAMONTE	23.5	TR20	27.00	339.61	341.61		341.93	0.002420	2.51	10.77	5.66	0.58
CASTELLAMONTE	23.5	TR100	35.00	339.61	342.37		342.64	0.001536	2.33	15.04	5.68	0.46
CASTELLAMONTE	23.5	TR200	38.00	339.61	342.58		342.86	0.001450	2.34	16.25	5.68	0.44
CASTELLAMONTE	23.5	TR500	43.00	339.61	342.84		343.14	0.001452	2.43	17.73	5.68	0.44
CASTELLAMONTE	23	TR20	27.00	339.48	341.49		341.73	0.001690	2.15	12.58	6.42	0.49
CASTELLAMONTE	23	TR100	35.00	339.48	342.31		342.51	0.001015	1.96	17.83	6.42	0.38
CASTELLAMONTE	23	TR200	38.00	339.48	342.53		342.73	0.000960	1.98	19.24	6.42	0.36
CASTELLAMONTE	23	TR500	43.00	339.48	342.79		343.01	0.000966	2.05	20.93	6.42	0.36
CASTELLAMONTE	22.5	TR20	27.00	339.06	341.25	340.52	341.56	0.002222	2.45	11.01	5.22	0.54
CASTELLAMONTE	22.5	TR100	35.00	339.06	342.15	340.79	342.40	0.001331	2.22	15.76	5.28	0.41
CASTELLAMONTE	22.5	TR200	38.00	339.06	342.37	340.88	342.63	0.001284	2.24	16.93	5.28	0.40
CASTELLAMONTE	22.5	TR500	43.00	339.06	342.62	341.03	342.90	0.001334	2.36	18.25	5.28	0.40
CASTELLAMONTE	22		Bridge									
CASTELLAMONTE	21.5	TR20	27.00	338.96	340.66		341.18	0.004792	3.18	8.48	5.17	0.79
CASTELLAMONTE	21.5	TR100	35.00	338.96	340.99		341.59	0.004704	3.44	10.17	5.19	0.78
CASTELLAMONTE	21.5	TR200	38.00	338.96	341.10		341.74	0.004692	3.53	10.77	5.19	0.78
CASTELLAMONTE	21.5	TR500	43.00	338.96	341.29		341.97	0.004679	3.66	11.73	5.23	0.78
CASTELLAMONTE	21	TR20	27.00	338.91	340.84		341.05	0.001636	2.07	13.06	7.36	0.50
CASTELLAMONTE	21	TR100	35.00	338.91	341.20		341.45	0.001558	2.22	15.75	7.44	0.49
CASTELLAMONTE	21	TR200	38.00	338.91	341.33		341.59	0.001538	2.27	16.71	7.47	0.49
CASTELLAMONTE	21	TR500	43.00	338.91	341.54		341.82	0.001511	2.35	18.27	7.51	0.48
CASTELLAMONTE	20.5	TR20	27.00	338.79	340.35	340.22	340.93	0.003213	3.37	8.02	5.33	0.88
CASTELLAMONTE	20.5	TR100	35.00	338.79	340.63	340.48	341.32	0.003331	3.68	9.52	5.38	0.88
CASTELLAMONTE	20.5	TR200	38.00	338.79	340.73	340.57	341.46	0.003379	3.78	10.05	5.40	0.89
CASTELLAMONTE	20.5	TR500	43.00	338.79	340.89	340.72	341.68	0.003429	3.93	10.93	5.44	0.89
CASTELLAMONTE	20		Bridge									
CASTELLAMONTE	19.5	TR20	27.00	338.66	340.08	340.08	340.78	0.004197	3.70	7.30	5.30	1.01
CASTELLAMONTE	19.5	TR100	35.00	338.66	340.35	340.35	341.17	0.004295	4.02	8.70	5.33	1.01
CASTELLAMONTE	19.5	TR200	38.00	338.66	340.25	340.45	341.35	0.005998	4.64	8.19	5.32	1.19
CASTELLAMONTE	19.5	TR500	43.00	338.66	340.40	340.60	341.57	0.005929	4.79	8.98	5.33	1.18
CASTELLAMONTE	19	TR20	27.00	338.57	339.99	340.07	340.77	0.004900	3.92	6.88	5.29	1.10
CASTELLAMONTE	19	TR100	35.00	338.57	340.24	340.34	341.16	0.004946	4.25	8.23	5.36	1.10
CASTELLAMONTE	19	TR200	38.00	338.57	340.21	340.43	341.34	0.006181	4.71	8.07	5.35	1.23
CASTELLAMONTE	19	TR500	43.00	338.57	340.35	340.58	341.56	0.006131	4.87	8.83	5.40	1.22
CASTELLAMONTE	18	TR20	27.00	337.99	339.08	339.55	340.67	0.025508	5.60	4.82	5.03	1.83
CASTELLAMONTE	18	TR100	35.00	337.99	339.30	339.83	341.06	0.022498	5.89	5.94	5.08	1.74
CASTELLAMONTE	18	TR200	38.00	337.99	339.35	339.92	341.25	0.022968	6.10	6.23	5.10	1.76
CASTELLAMONTE	18	TR500	43.00	337.99	340.82	340.08	341.30	0.002699	3.07	13.99	5.48	0.61
CASTELLAMONTE	17	TR20	27.00	337.81	339.16	339.22	339.91	0.008634	3.84	7.02	5.45	1.08
CASTELLAMONTE	17	TR100	35.00	337.81	339.67	339.49	340.32	0.005231	3.55	9.85	5.54	0.85
CASTELLAMONTE	17	TR200	38.00	337.81	340.59	339.58	340.92	0.001798	2.53	15.02	5.70	0.50
CASTELLAMONTE	17	TR500	43.00	337.81	340.83		341.18	0.001796	2.62	16.39	5.75	0.50
CASTELLAMONTE	16.5	TR20	27.00	337.42	339.13	338.77	339.55	0.003642	2.86	9.43	5.64	0.71
CASTELLAMONTE	16.5	TR100	35.00	337.42	339.73	339.03	340.11	0.002452	2.73	12.84	5.75	0.58
CASTELLAMONTE	16.5	TR200	38.00	337.42	340.61	339.12	340.84	0.001094	2.11	18.00	5.87	0.38
CASTELLAMONTE	16.5	TR500	43.00	337.42	340.85	339.26	341.10	0.001134	2.22	19.40	5.87	0.39
CASTELLAMONTE	16		Bridge									
CASTELLAMONTE	15.5	TR20	27.00	337.37	338.53	338.73	339.46	0.012287	4.27	6.32	5.56	1.28
CASTELLAMONTE	15.5	TR100	35.00	337.37	339.67		340.05	0.002485	2.74	12.78	5.74	0.59
CASTELLAMONTE	15.5	TR200	38.00	337.37	340.56		340.79	0.001098	2.11	17.98	5.87	0.39
CASTELLAMONTE	15.5	TR500	43.00	337.37	340.80		341.05	0.001137	2.22	19.38	5.87	0.39
CASTELLAMONTE	15.2	TR20	27.00	336.57	338.79	337.74	338.94	0.000988	1.76	15.38	7.06	0.38
CASTELLAMONTE	15.2	TR100	35.00	336.57	339.77	337.96	339.90	0.000552	1.57	22.36	7.11	0.28
CASTELLAMONTE	15.2	TR200	38.00	336.57	340.61	338.03	340.71	0.000330	1.34	28.36	7.11	0.21
CASTELLAMONTE	15.2	TR500	43.00	336.57	340.86	338.16	340.96	0.000357	1.43	30.09	7.11	0.22
CASTELLAMONTE	15		Bridge									
CASTELLAMONTE	14.5	TR20	27.00	336.52	338.78		338.93	0.000934	1.72	15.67	7.06	0.37
CASTELLAMONTE	14.5	TR100	35.00	336.52	339.74		339.86	0.000546	1.56	22.44	7.11	0.28

HEC-RAS Plan: Qtr River: Rio San Pietro Reach: CASTELLAMONTE (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CASTELLAMONTE	14.5	TR200	38.00	336.52	340.60		340.69	0.000323	1.33	28.56	7.11	0.21
CASTELLAMONTE	14.5	TR500	43.00	336.52	340.84		340.94	0.000351	1.42	30.28	7.11	0.22
CASTELLAMONTE	14.2	TR20	27.00	336.26	338.75	337.50	338.88	0.000727	1.58	17.05	7.26	0.33
CASTELLAMONTE	14.2	TR100	35.00	336.26	339.72	337.71	339.83	0.000440	1.45	24.16	7.37	0.26
CASTELLAMONTE	14.2	TR200	38.00	336.26	340.59	337.79	340.67	0.000265	1.24	30.56	7.37	0.19
CASTELLAMONTE	14.2	TR500	43.00	336.26	340.83	337.91	340.92	0.000290	1.33	32.34	7.37	0.20
CASTELLAMONTE	14		Bridge									
CASTELLAMONTE	13.5	TR20	27.00	336.19	338.74		338.86	0.000682	1.55	17.42	7.26	0.32
CASTELLAMONTE	13.5	TR100	35.00	336.19	339.63		339.74	0.000451	1.46	23.95	7.37	0.26
CASTELLAMONTE	13.5	TR200	38.00	336.19	340.55		340.63	0.000262	1.24	30.71	7.37	0.19
CASTELLAMONTE	13.5	TR500	43.00	336.19	340.79		340.88	0.000287	1.32	32.48	7.37	0.20
CASTELLAMONTE	13.2	TR20	27.00	335.90	338.71	337.09	338.80	0.000486	1.40	19.35	7.35	0.27
CASTELLAMONTE	13.2	TR100	35.00	335.90	339.61	337.32	339.70	0.000345	1.34	26.07	7.46	0.23
CASTELLAMONTE	13.2	TR200	38.00	335.90	340.54	337.39	340.60	0.000209	1.15	32.98	7.46	0.17
CASTELLAMONTE	13.2	TR500	43.00	335.90	340.77	337.52	340.85	0.000231	1.24	34.76	7.46	0.18
CASTELLAMONTE	13		Bridge									
CASTELLAMONTE	12.5	TR20	27.00	335.84	338.66		338.76	0.000482	1.39	19.41	7.33	0.27
CASTELLAMONTE	12.5	TR100	35.00	335.84	339.55		339.64	0.000348	1.35	25.99	7.46	0.23
CASTELLAMONTE	12.5	TR200	38.00	335.84	340.50		340.57	0.000206	1.15	33.15	7.46	0.17
CASTELLAMONTE	12.5	TR500	43.00	335.84	340.74		340.82	0.000229	1.23	34.91	7.46	0.18
CASTELLAMONTE	12.2	TR20	27.00	335.73	338.49	337.31	338.72	0.001384	2.14	12.62	4.83	0.42
CASTELLAMONTE	12.2	TR100	35.00	335.73	339.39	337.61	339.61	0.001022	2.06	16.98	4.83	0.35
CASTELLAMONTE	12.2	TR200	38.00	335.73	340.40	337.71	340.55	0.000614	1.74	21.85	4.83	0.26
CASTELLAMONTE	12.2	TR500	43.00	335.73	340.62	337.87	340.80	0.000694	1.88	22.90	4.83	0.28
CASTELLAMONTE	12		Bridge									
CASTELLAMONTE	11.5	TR20	27.00	335.70	337.78		338.20	0.003258	2.89	9.35	4.77	0.66
CASTELLAMONTE	11.5	TR100	35.00	335.70	338.17		338.66	0.003247	3.12	11.22	4.83	0.65
CASTELLAMONTE	11.5	TR200	38.00	335.70	336.77	337.67	340.16	0.051422	8.15	4.66	4.53	2.57
CASTELLAMONTE	11.5	TR500	43.00	335.70	336.88	337.84	340.39	0.047651	8.30	5.18	4.54	2.48
CASTELLAMONTE	11	TR20	27.00	335.70	337.36	337.36	338.16	0.008625	3.97	6.81	4.28	1.00
CASTELLAMONTE	11	TR100	35.00	335.70	337.66	337.66	338.61	0.008764	4.32	8.11	4.31	1.00
CASTELLAMONTE	11	TR200	38.00	335.70	336.89	337.78	340.07	0.047329	7.89	4.82	4.24	2.36
CASTELLAMONTE	11	TR500	43.00	335.70	337.02	337.95	340.30	0.044009	8.02	5.36	4.25	2.28
CASTELLAMONTE	10	TR20	27.00	335.72	336.67	336.93	337.63	0.008043	4.33	6.24	6.93	1.45
CASTELLAMONTE	10	TR100	35.00	335.72	336.80	337.15	338.03	0.009101	4.91	7.13	7.00	1.55
CASTELLAMONTE	10	TR200	38.00	335.72	336.78	337.24	338.29	0.011368	5.44	6.99	6.99	1.74
CASTELLAMONTE	10	TR500	43.00	335.72	336.85	337.36	338.53	0.011861	5.74	7.49	7.04	1.78
CASTELLAMONTE	9	TR20	27.00	334.19	334.89	335.51	337.45	0.071418	7.09	3.81	6.40	2.94
CASTELLAMONTE	9	TR100	35.00	334.19	335.03	335.74	337.85	0.061471	7.45	4.70	6.42	2.78
CASTELLAMONTE	9	TR200	38.00	334.19	335.06	335.82	338.11	0.063047	7.74	4.91	6.43	2.83
CASTELLAMONTE	9	TR500	43.00	334.19	335.14	335.96	338.36	0.059575	7.95	5.41	6.44	2.77
CASTELLAMONTE	8	TR20	27.00	332.84	334.47	334.48	335.11	0.024999	3.52	7.66	6.13	1.01
CASTELLAMONTE	8	TR100	35.00	332.84	334.85	334.74	335.46	0.021444	3.48	10.07	6.74	0.91
CASTELLAMONTE	8	TR200	38.00	332.84	335.12	334.83	335.63	0.016521	3.18	11.97	7.18	0.78
CASTELLAMONTE	8	TR500	43.00	332.84	335.58	334.97	335.98	0.011124	2.79	15.40	7.60	0.63
CASTELLAMONTE	7.5	TR20	27.00	331.65	333.87	333.35	334.32	0.003505	2.97	9.10	4.37	0.66
CASTELLAMONTE	7.5	TR100	35.00	331.65	334.53	333.65	334.96	0.002681	2.91	12.02	4.44	0.56
CASTELLAMONTE	7.5	TR200	38.00	331.65	334.81	333.76	335.23	0.002385	2.86	13.34	5.28	0.53
CASTELLAMONTE	7.5	TR500	43.00	331.65	335.31	333.93	335.69	0.001846	2.73	16.01	5.28	0.47
CASTELLAMONTE	7		Bridge									
CASTELLAMONTE	6.5	TR20	27.00	331.48	332.99	333.19	334.03	0.012094	4.53	5.96	4.28	1.23
CASTELLAMONTE	6.5	TR100	35.00	331.48	333.14	333.49	334.57	0.014980	5.30	6.60	4.29	1.36
CASTELLAMONTE	6.5	TR200	38.00	331.48	333.17	333.60	334.78	0.016439	5.62	6.77	4.30	1.43
CASTELLAMONTE	6.5	TR500	43.00	331.48	333.23	333.77	335.15	0.019033	6.14	7.00	4.30	1.54
CASTELLAMONTE	6	TR20	27.00	331.43	332.53	332.81	333.57	0.029422	4.53	5.96	6.20	1.47
CASTELLAMONTE	6	TR100	35.00	331.43	332.68	333.04	333.98	0.032514	5.06	6.92	6.23	1.53
CASTELLAMONTE	6	TR200	38.00	331.43	332.73	333.13	334.14	0.033758	5.25	7.24	6.24	1.55
CASTELLAMONTE	6	TR500	43.00	331.43	332.81	333.27	334.39	0.036323	5.58	7.71	6.24	1.60
CASTELLAMONTE	5	TR20	27.00	330.81	331.74	332.24	333.44	0.055910	5.77	4.68	5.74	2.04
CASTELLAMONTE	5	TR100	35.00	330.81	331.91	332.49	333.85	0.055004	6.16	5.68	5.85	2.00
CASTELLAMONTE	5	TR200	38.00	330.81	331.97	332.58	334.00	0.055103	6.31	6.02	5.89	1.99
CASTELLAMONTE	5	TR500	43.00	330.81	332.06	332.72	334.25	0.056025	6.56	6.56	5.93	1.99
CASTELLAMONTE	4	TR20	27.00	329.53	331.98	331.19	332.26	0.008697	2.35	11.50	5.30	0.51
CASTELLAMONTE	4	TR100	35.00	329.53	332.45	331.46	332.77	0.009180	2.50	13.99	5.30	0.49
CASTELLAMONTE	4	TR200	38.00	329.53	332.61	331.55	332.95	0.009366	2.55	14.88	5.30	0.49
CASTELLAMONTE	4	TR500	43.00	329.53	332.89	331.70	333.24	0.009672	2.63	16.33	5.30	0.48
CASTELLAMONTE	3	TR20	27.00	328.56	330.50		331.04	0.019469	3.27	8.25	4.90	0.80
CASTELLAMONTE	3	TR100	35.00	328.56	330.86		331.48	0.020640	3.50	10.00	4.90	0.78
CASTELLAMONTE	3	TR200	38.00	328.56	330.99		331.64	0.020965	3.57	10.65	4.90	0.77
CASTELLAMONTE	3	TR500	43.00	328.56	331.21		331.89	0.021432	3.67	11.73	4.90	0.76

HEC-RAS Plan: Qtr River: Rio San Pietro Reach: CASTELLAMONTE (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CASTELLAMONTE	2	TR20	27.00	327.80	330.02		330.20	0.005499	1.89	14.27	8.26	0.46
CASTELLAMONTE	2	TR100	35.00	327.80	330.43		330.63	0.005211	1.98	17.66	8.26	0.43
CASTELLAMONTE	2	TR200	38.00	327.80	330.58		330.78	0.005154	2.01	18.88	8.26	0.43
CASTELLAMONTE	2	TR500	43.00	327.80	330.82		331.03	0.005095	2.06	20.84	8.26	0.41
CASTELLAMONTE	1	TR20	27.00	327.39	329.19	328.92	329.72	0.004654	3.24	8.34	4.79	0.78
CASTELLAMONTE	1	TR100	35.00	327.39	329.53	329.20	330.15	0.004651	3.51	9.97	4.84	0.78
CASTELLAMONTE	1	TR200	38.00	327.39	329.65	329.30	330.31	0.004650	3.60	10.55	4.85	0.78
CASTELLAMONTE	1	TR500	43.00	327.39	329.84	329.47	330.55	0.004654	3.74	11.50	4.87	0.78