

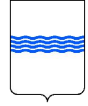
REGIONE  
PUGLIA



COMUNE DI SPINAZZOLA (BAT)

Località "Masseria Capo Posto"

REGIONE  
BASILICATA



Provincia  
B.A.T.



COMUNE DI MONTEMILONE (PZ)

Località "La Sterpara"

Provincia  
Potenza



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN  
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 11 AEROGENERATORI E  
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA E  
IDROLOGICA

ELABORATO

PR16

PROPONENTE:



ITW  
Spinazzola1

**ITW SPINAZZOLA 1 S.R.L.**

Sede Legale Via Del Gallitello, 89

85100 Potenza (PZ)

P.IVA 02054880766

CONSULENZA:

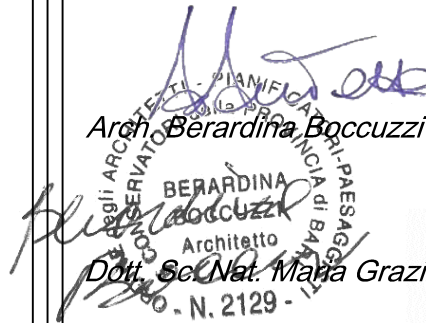


Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari tel. 080 3219948 fax. 080 2020986

Dott. Ing. Alessandro Antezza



Arch. Berardina Boccuzzi



Dott. Sc. Nat. Maria Grazia Fracalvieri

II DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Orazio Tricarico



1	DIC 2019	B.B. - M.G.F.	A.A.	O.T.	Progetto definitivo
EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE

<b>1.PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.DESCRIZIONE DELLE INTERFERENZE .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1. INTERSEZIONI CAVIDOTTO-RETICOLI IDROGRAFICI .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1 AREE SOGGETTE A TUTELA DA PARTE DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA. ....</b>	<b>20</b>
<b>3.DESCRIZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 CARTA USO DEL SUOLO .....</b>	<b>31</b>
<b>4.INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO .....</b>	<b>32</b>
<b>5.ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1. CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA .....</b>	<b>39</b>
<b>6.ANALISI IDRAULICA .....</b>	<b>48</b>
<b>6.1. VALUTAZIONE PORTATE DI PIENA .....</b>	<b>48</b>
<b>6.2. CONSIDERAZIONI FINALI SULLA PORTATA DI PIENA .....</b>	<b>62</b>
<b>7.MODELLAZIONE IDRAULICA .....</b>	<b>65</b>
<b>8.CONCLUSIONI .....</b>	<b>84</b>
<b>9.ALLEGATI .....</b>	<b>85</b>



## **1. PREMESSA**

La presente relazione riporta i risultati dello **Studio di Compatibilità Idrologica – Idraulica**, di un progetto per la **realizzazione di un impianto eolico costituito da 11 turbine e relative opere di connessione alla RTN, aventi potenza complessiva pari a 75 MW**, da ubicare nel **Comune di Spinazzola, in provincia di BAT**, in località extraurbana denominata *“Santa Lucia”*.

La società proponente è la **ITW SPINAZZOLA 1 srl**, con sede in Via del Gallitello 89 in Potenza (PZ), P. IVA 02054880766.

Tale opera si inserisce nel quadro istituzionale di cui al *D.Lgs 29 dicembre 2003, n. 387 “Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell’energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell’elettricità”* le cui finalità sono:

- promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;
- promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali;
- concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;
- favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.

Il layout dell’impianto è costituito da **11 turbine eoliche** ciascuna avente **diametro rotore fino a 170 m e altezza al mozzo fino a 115 metri**, ciascuna aventi **potenza massima pari a 6,8 MW**.

L’energia prodotta dagli aerogeneratori sarà raccolta dalla cabina di consegna d’impianto, dotata di trasformatore MT/AT, da realizzarsi in adiacenza alla stazione di consegna Terna ubicata nel territorio del comune di Montemilone in *località “La Sterpara”*.

Nella immagine seguente è rappresentata la ubicazione delle torri e della sottostazione di collegamento alla rete elettrica.



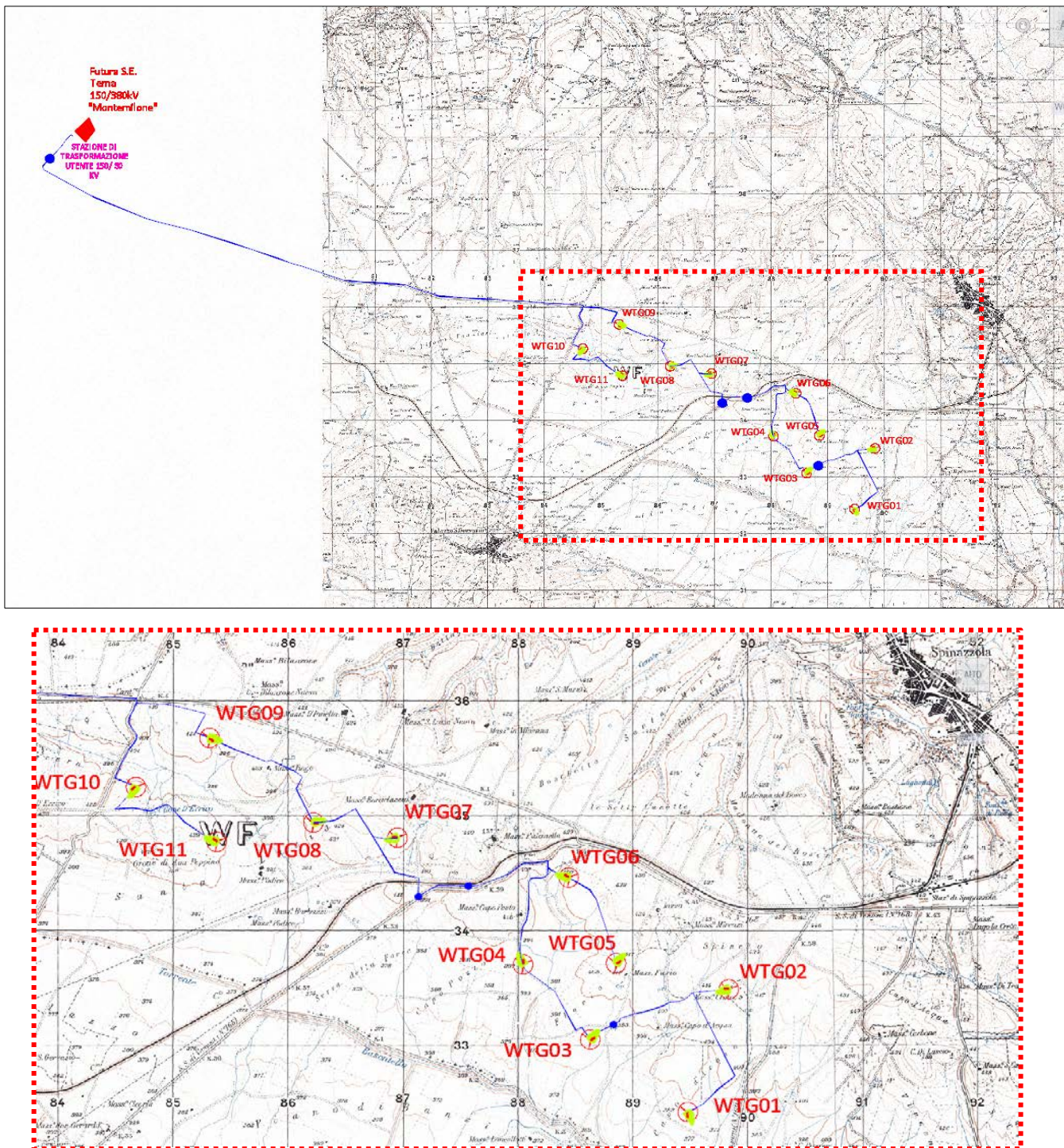
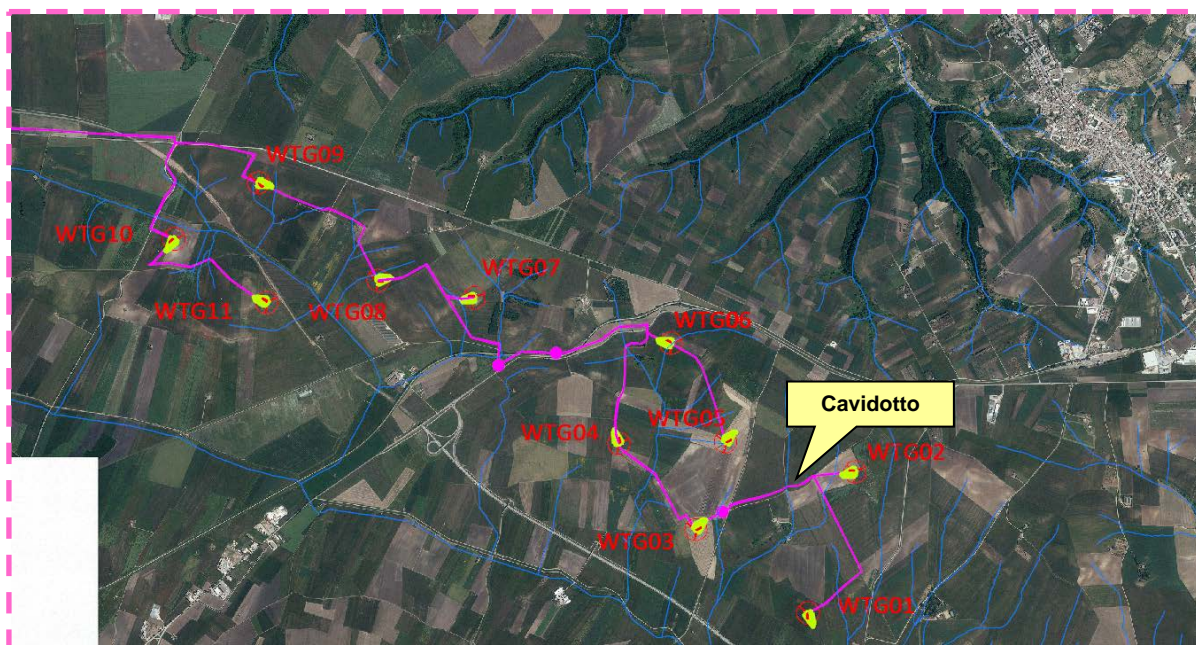
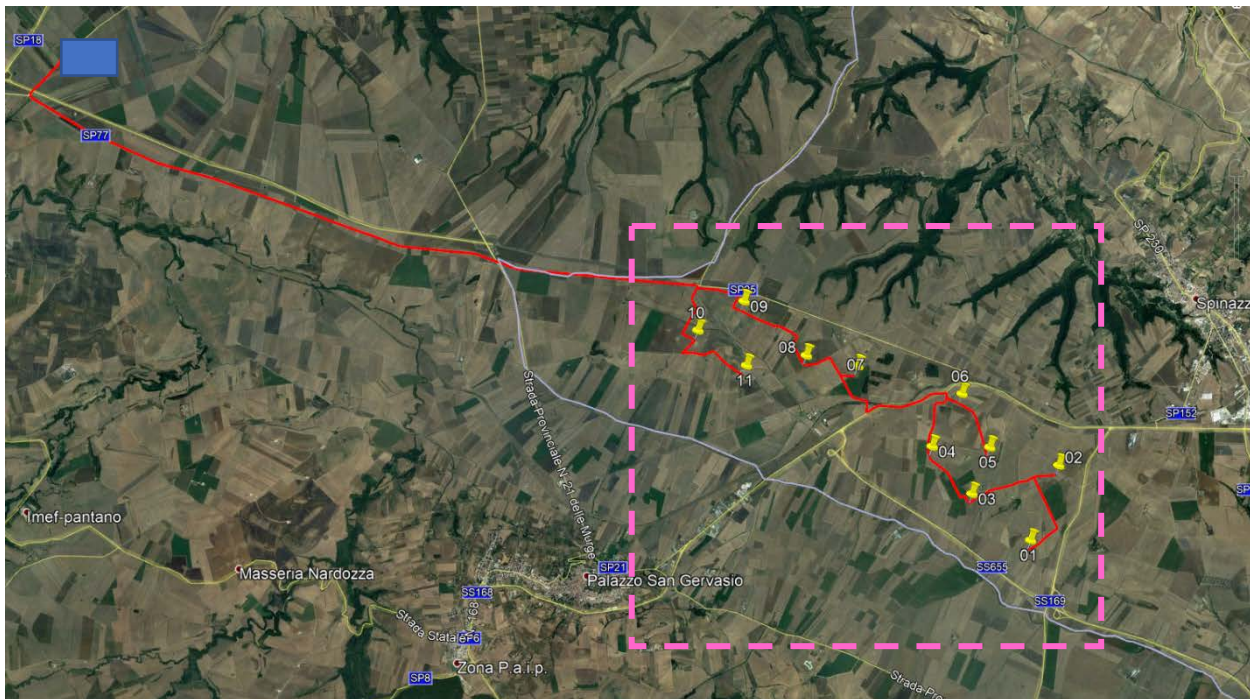


Figure 1-Planimetria di progetto su base IGM 1:25.000



L'area di intervento è interessata dal tracciato di un reticolo idrografico presente sia sulla carta IGM 1:25.000 che sulla carta idrogeomorfologica redatta dalla AdB Puglia (cfr. immagine seguente).



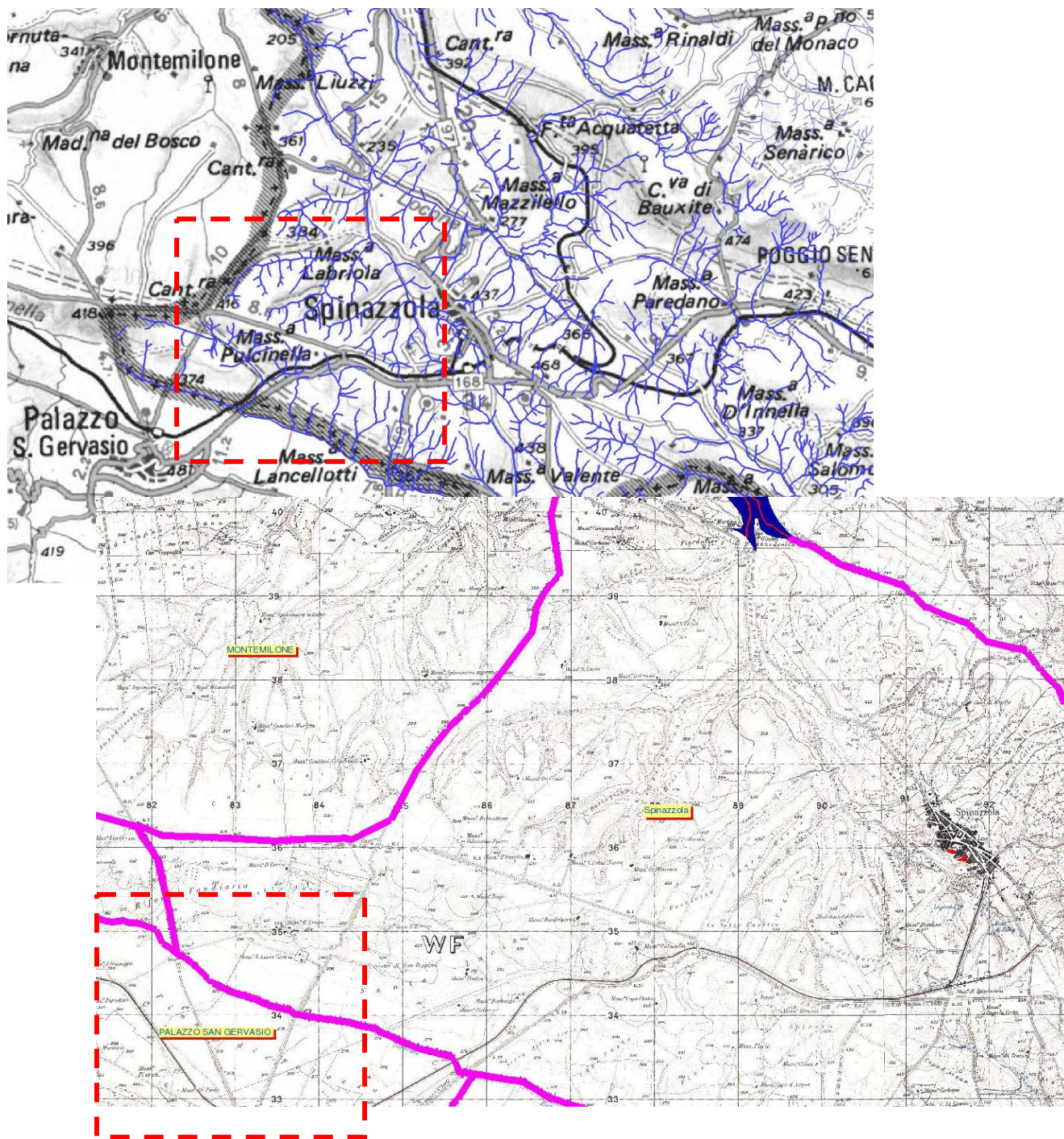
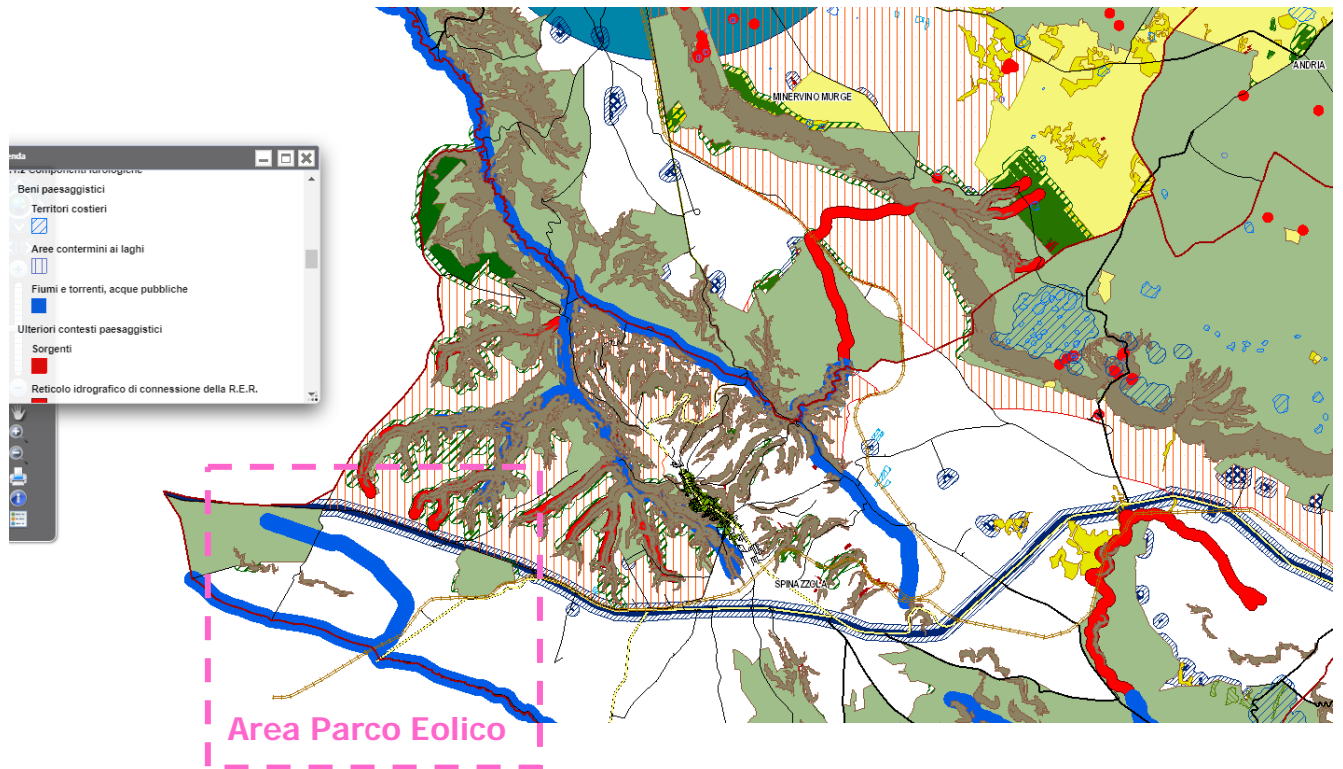


Figure 2-Inquadramento dell'area di intervento su Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia redatta dall'AdB



Tuttavia, come si evince dalla cartografia del Piano di Bacino stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), approvato dalla Autorità di Bacino della Regione Puglia (AdB), **l'area agricola interessata dall'intervento non è soggetta né a vincolo per pericolosità idraulica, né a vincolo per pericolosità geomorfologica.**



**Figure 3-Inquadramento dell'impianto rispetto alle aree perimetrate dal PAI**

Pertanto, è stato redatto il presente Studio, conformemente al dettato normativo delle NTA del PAI, finalizzato alla determinazione delle aree inondabili, con tempo di ritorno di 200 anni, per i bacini idrografici con sezioni di chiusura situate a valle delle aree di interesse dell'impianto.

C'è da rilevare, comunque, che gli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, tra cui sono compresi i parchi eolici, sono **opere di pubblica utilità** ai sensi del Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 (*Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia*



elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità) e, pertanto, sono consentiti anche in aree classificate come *Alvei fluviali in modellamento attivo ed aree golenali*, ai sensi dell'art. 6 delle NTA del PAI, purché coerenti con gli obiettivi del Piano stesso.

Pertanto, in ogni caso, l'impianto in oggetto è compatibile con le prescrizioni e le finalità del PAI.

Lo studio idrologico-idraulico è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi alle aree di intervento;
- studio idrologico dei bacini di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico delle aree;
- studio idraulico delle aste fluviali di interesse e determinazione dei livelli idrici e delle aree inondabili al variare del tempo di ritorno;
- analisi e valutazione della compatibilità idraulica delle opere oggetto di autorizzazione.

**Per lo studio delle portate di piena sono stati reperiti i dati di pioggia della stazione pluviometrica di Spinazzola e per la simulazione delle piene è stato utilizzato un software che opera in moto permanente (HEC-RAS 3.1.3).**

**Inoltre, sono state effettuate elaborazioni cartografiche prodotte mediante un Sistema Informativo Territoriale in ambiente GIS, coadiuvato da elaborazioni in ambiente CAD, sulla base di cartografie tecniche e tematiche georeferenziate.**





## 2. Descrizione delle interferenze

Dalla sovrapposizione del layout di impianto con il reticolo idrografico, emerge che gli elementi che interferiscono con il suddetto reticolo sono sia i cavidotti che alcuni aereogeneratori, **in quanto gli aereogeneratori risultano posizionati in alcuni casi a meno di 150 m dalle aste idrometriche.**

Nello specifico gli aereogeneratori interessati dalla presenza a meno di 150 m delle aste idrometriche sono i seguenti: **WTG02-WTG03-WTG05- WTG06- WTG07- WTG08- WTG09.**

Come si evince dall'immagine seguente, sussiste un'altra intersezione tra cavidotto e reticolo idrografico, nei pressi della stazione di trasformazione utente. Ai fini del calcolo idraulico, questa intersezione può essere considerata trascurabile.

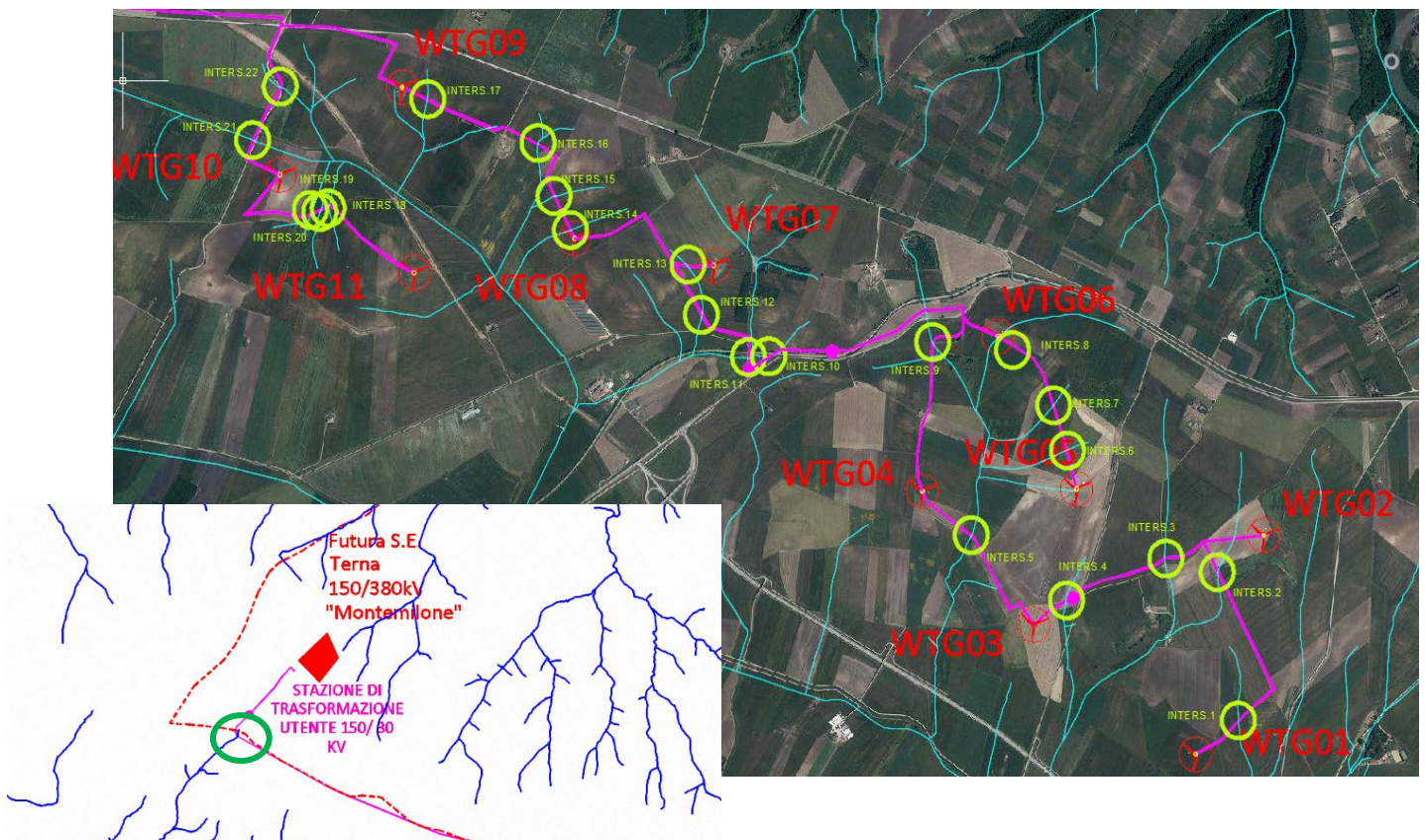
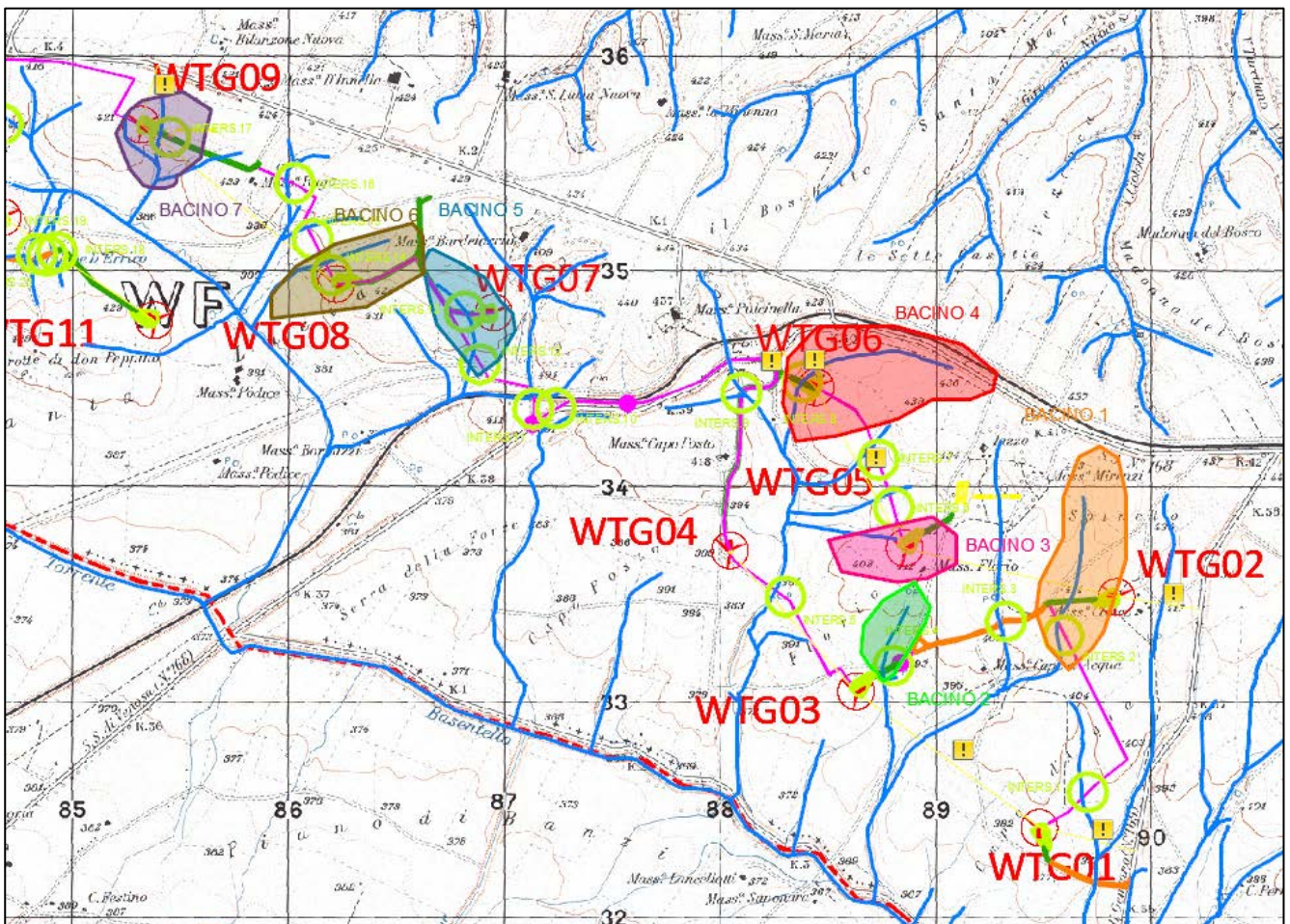


Figure 4-Inquadramento delle interferenze tra cavidotto e reticolo idrografico



I bacini idrografici di interesse sono diversi, e ricadono tutti all'interno del comune di Spinazzola.

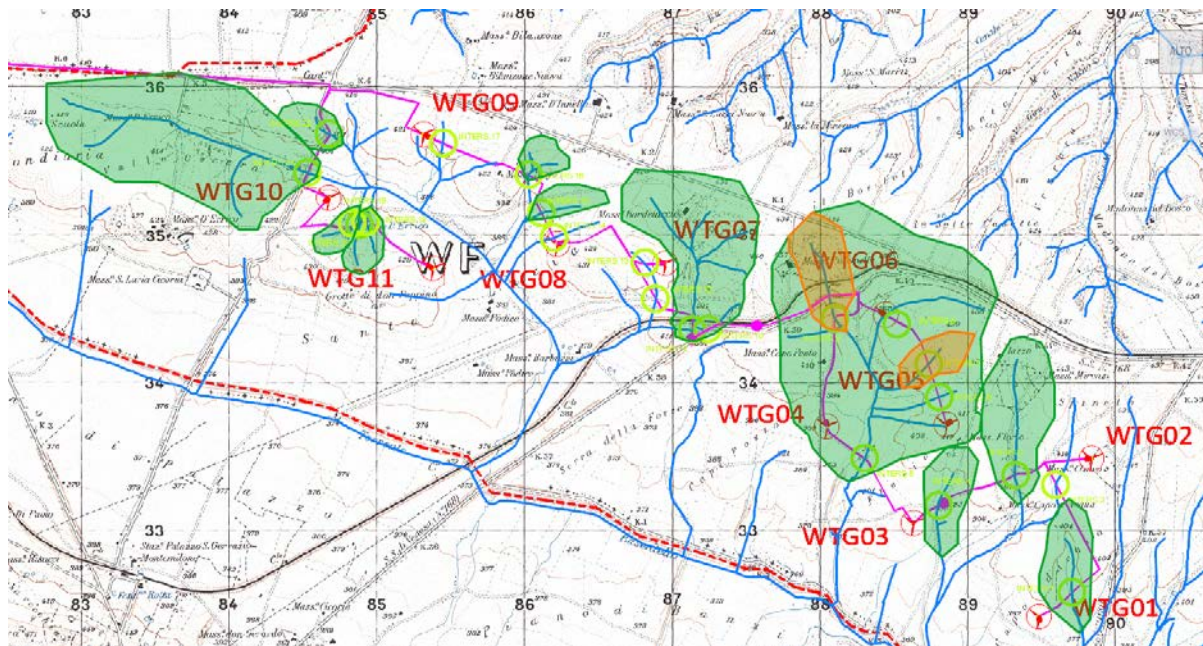
**Quelli evidenziati nell'immagine sotto riportata sono 7 bacini che interessano un'area che dista meno di 150 m da una delle pale eoliche presenti in progetto.**



**Figure 5.1-Inquadramento dei bacini idrografici in prossimità delle pale eoliche su IGM 1: 25.000**

**Oltre ai bacini evidenziati sopra, le interferenze del cavidotto con il reticolo idrografico, hanno determinato l'individuazione di altri bacini di cui alcuni casi risultano essere dei sottobacini di uno più grande.**







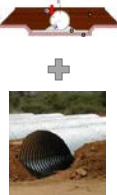





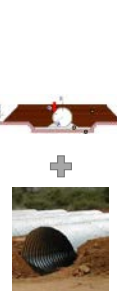






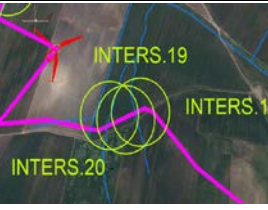


In questa sede però verranno studiati soltanto i 7 bacini, che interessano le intersezioni tra cavidotto e reticolo e distano meno di 150 m dagli aerogeneratori.

Di seguito si descrivono le 22 intersezioni presenti tra il cavidotto e il reticolo idrografico:






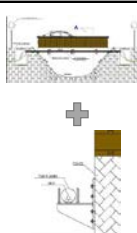
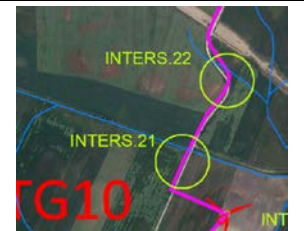




N°	NOME	PLANIMETRIA	FOTO	TIPOLOGIA ATTRAVERSAMENTO
1	Attraversamento corso d'acqua principale con strada in pietrame			SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO 
2-3	Attraversamento corso d'acqua principale con strada in pietrame			SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO 
4-5	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame			SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO 
6-7	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame			SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO 
8-9	Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame			SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO 
10	Attraversamento corso d'acqua principale con ponticello			STAFFAGGIO SU PONTE 



<p><b>11</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>12-13</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>14-15-16</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>17</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>18</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>19</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua principale con ponticello</p>			<p>STAFFAGGIO SU PONTE</p>	



<p><b>20</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada in pietrame</p>			<p>SCAVO + TOMBINO TIPO ARMCO</p>	
<p><b>21</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua principale con ponticello</p>			<p>STAFFAGGIO SU PONTE</p>	
<p><b>22</b></p>	<p>Attraversamento corso d'acqua secondario con strada asfaltata</p>			<p>TOC + TOMBINO IN CEMENTO ARMATO</p>	

### 2.1. Intersezioni cavidotto-reticoli idrografici

La parte di cavidotto oggetto del presente è studio è quella evidenziata nella immagine seguente in azzurro. Per la restante parte di cavidotto, comune con la società Eolica Pugliese è stato già effettuato uno studio idraulico approvato con determina dirigenziale n°316 del 18/04/2019 della Provincia di BAT.

Sulla base delle informazioni rilevate su ortofoto, è stato possibile classificare le caratteristiche degli attraversamenti, su strade asfaltate o in pietrame o su terreno agricolo, presenti lungo l'alveo dei corsi d'acqua, principali e secondari, interferenti con il cavidotto. Sono stati individuati **n.22 attraversamenti**, che si suddivideranno in tre macro tipologie di intervento:

1. Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) e tombino in cemento armato
2. Scavo e tombino del tipo Armco
3. Staffaggio sull'impalcato di un ponte stradale (lato valle rispetto al deflusso del corso d'acqua).



Tali scelte progettuali garantiscono che, nella sezione di attraversamento:

- non venga alterata la conformazione fisica e geologica del canale;
- non venga ristretta la sezione libera del canale;
- non venga alterato in alcun modo il naturale deflusso delle acque, anche in regime di piena.

Nella tabella seguente, i vari **attraversamenti** del cavidotto, con corsi d'acqua principali e secondari, sono numerati e raggruppati in funzione della metodologia di attraversamento scelta (Staffaggio su ponte in giallo, TOC in arancio, scavo e tombino Armco in magenta):

Per i tratti di cavidotto su strada esistente asfaltata, per i quali non esiste attualmente alcun manufatto di attraversamento, il passaggio sarà effettuato attraverso la tecnica della **trivellazione orizzontale controllata** (TOC o Directional Drilling).

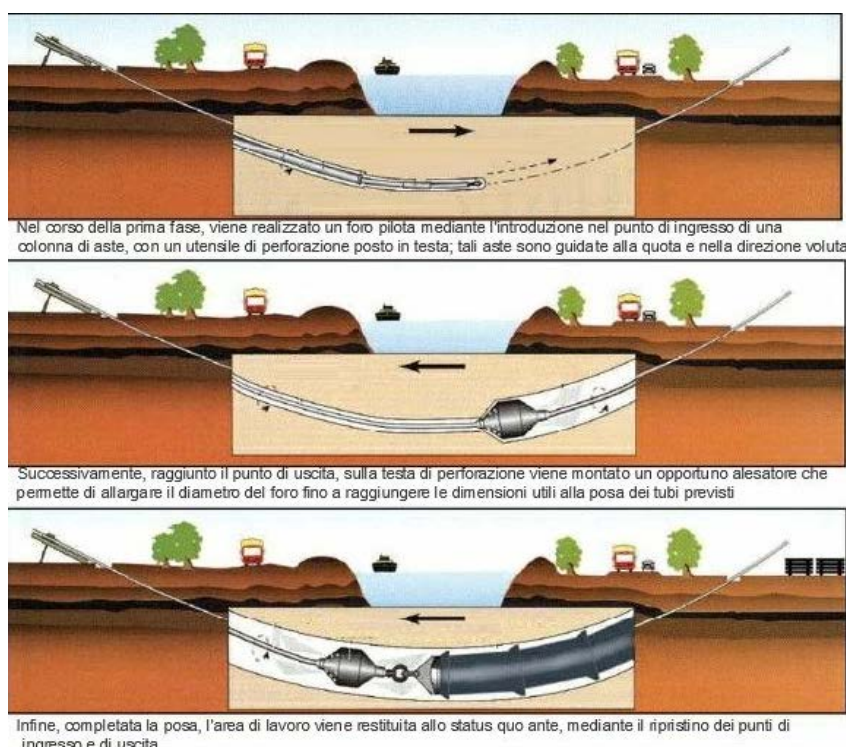
La tecnica TOC verrà effettuata secondo i seguenti step:

- 1) scavo per l'esecuzione delle buche di partenza e arrivo necessarie,
- 2) esecuzione del foro pilota,
- 3) alesatura del foro fino al raggiungimento del diametro utile alla posa,
- 4) fornitura e posa dei tubi previsti ed esecuzione giunzione dei tubi,
- 5) riempimento della parte eccedente dei fori con sabbia,
- 6) posa di filo di tiro,
- 7) posa delle linee elettriche ed in fibra ottica,



8) esecuzione delle necessarie giunzioni di raccordo alle linee cavi interrati, rinterro e ripristino delle buche.

Il cavidotto verrà posato ad una profondità pari ad almeno 1,5 m rispetto alla quota del fondo dell'alveo. L'intervento verrà eseguito rigorosamente in sicurezza idraulica al fine di avere il cavidotto in posizione di tutta sicurezza rispetto alle possibili ondate di piena.

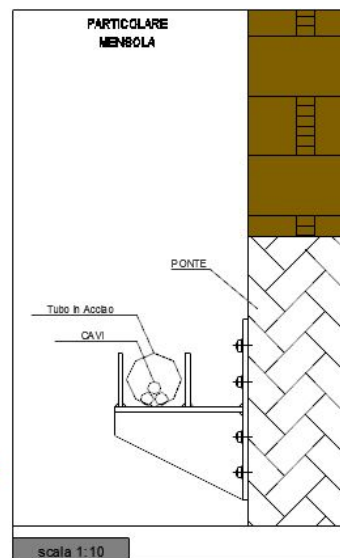
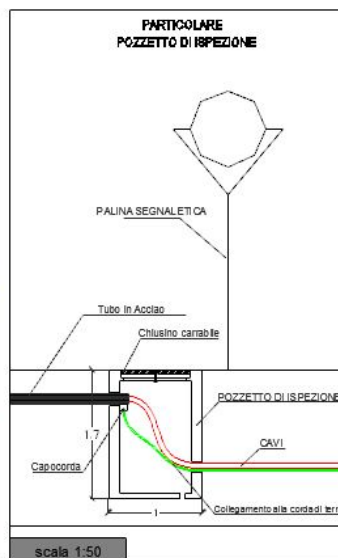
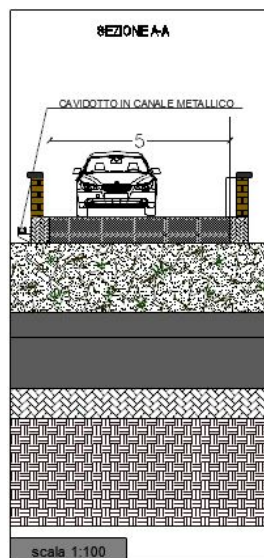
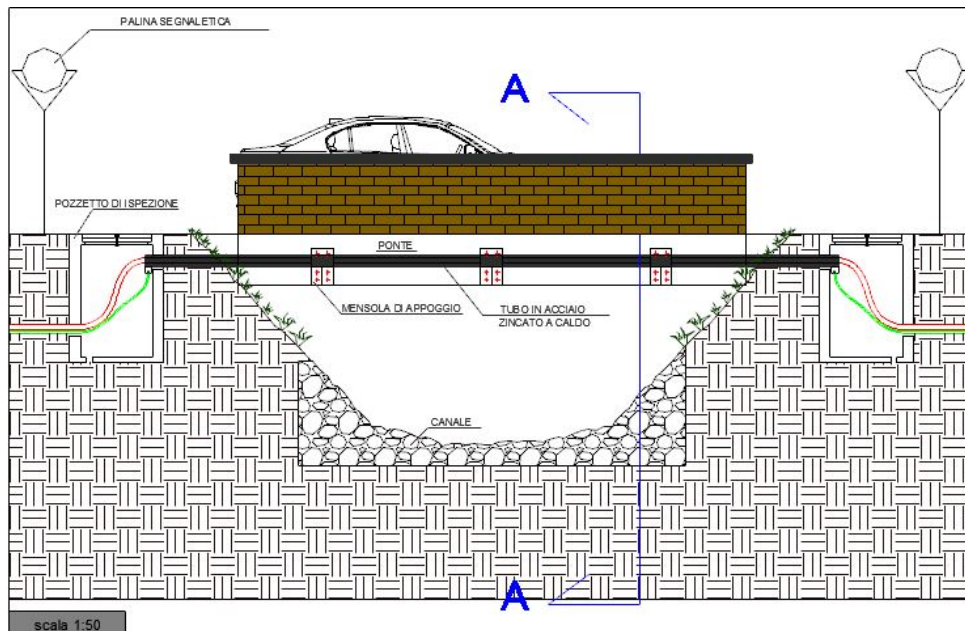


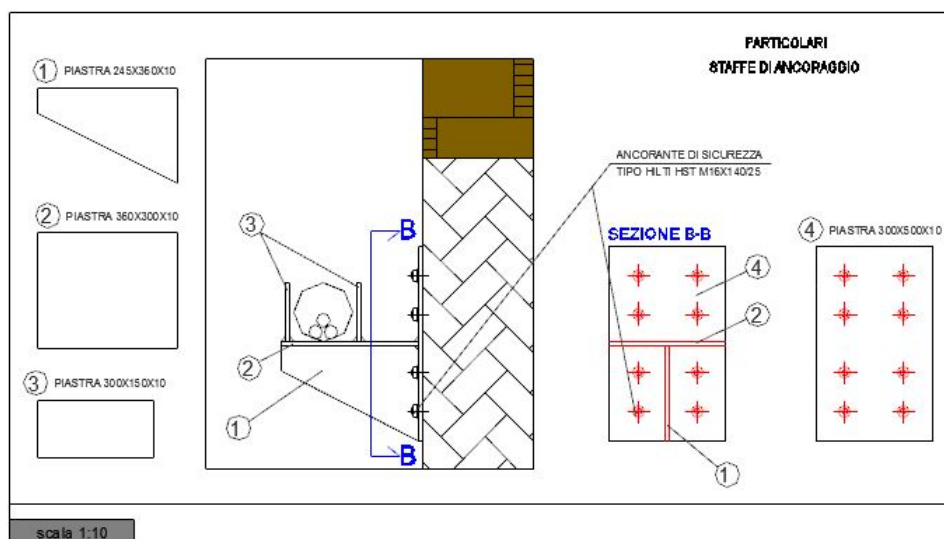
**Figura 5- Fasi di lavorazione tecnica TOC.**



La posa in opera del cavidotto mediante **staffaggio** riguarda, invece, soltanto i tratti di cavidotto scelti in modo da attraversare i corsi d'acqua su ponticelli e cunicoli già esistenti. Lo staffaggio non richiede cambiamenti di sezione sia dell'alveo naturale che dell'attraversamento, per cui questo intervento implica un impatto nullo sull'ambiente idrico, in quanto non verrà alterato il deflusso delle acque. Il cavidotto viene, appunto, staffato, in tubo camicia, all'impalcato del ponte sul lato di valle, in maniera da non subire alcuna influenza anche durante la eventuale piena duecentennale e senza alterare minimamente le caratteristiche fisiche e strutturali del ponticello, oltre che le condizioni di deflusso in alveo.

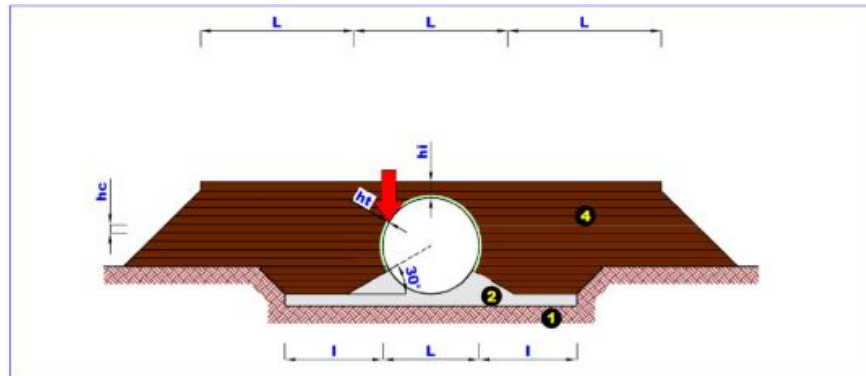






**Figura 6 - Rappresentazione grafica dello staffaggio su ponte**

Inoltre per ciò che concerne le intersezioni del reticolo idrografico con la viabilità da realizzare o da adeguare, qualora non fossero già previste opere idrauliche, verranno posizionati appositi tombini in cemento armato DN1000 per gli attraversamenti con tecnologia TOC e del tipo Armco, in lamiera ondulata, circolare DN 1000 per gli attraversamenti su strada di campagna e/o da realizzarsi effettuati con scavo (cfr. figure seguenti):



- 1 sterro generale (livello da determinare in funzione della portanza dei terreni in loco, a cura del cliente)
- 2 fondazione artificiale e letto di posa
- 4 rilevato laterale di tenuta
- l  $\geq 1.00$  m. su un buon terreno - L negli altri casi
- L luce condotta
- ht 20 cm. sabbia  $\varnothing$  max. 5 mm.
- hc 20 ÷ 30 cm. max. altezza dello strato
- hi altezza di rilevato minima, atta a permettere la circolazione dei mezzi di cantiere



**Figura 7 - Rappresentazione grafica del tombino con tubazione circolare Armco**



**Figura 8 - Rappresentazione grafica del tombino circolare in cemento armato**

### **2.1.1 Aree soggette a tutela da parte dell'autorità di bacino della puglia**

Come precedentemente sottolineato, il parco eolico non ricade in aree soggette a Pericolosità Idraulica pertanto non è subordinato all'acquisizione del parere dell'Autorità di Bacino della Puglia.

Per verificare, invece, le interferenze tra gli aerogeneratori e le relative infrastrutture con il reticolo idrografico, si sono valutate le distanze di ciascuna di esse dai corsi d'acqua presenti sulla carta Idrogeomorfologica redatta dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

Tuttavia, gli impianti di produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, tra cui è compreso un impianto eolico, sono **opere di pubblica utilità** ai sensi del Decreto Legislativo 29 Dicembre 2003, n.387 (Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità), e pertanto sono consentite anche in aree classificate come Alvei fluviali in modellamento attivo e Aree golenali, ai sensi dell'art. 6 e 10 delle NTA del PAI, purché coerenti con gli obiettivi del Piano stesso.

Ai sensi del comma 4 dell'**art.6 delle NTA del PAI**, nelle porzioni di terreno di alvei fluviali in modellamento attivo ed aree golenali possono essere consentiti gli *“interventi di ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi*



*manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell’Autorità di Bacino”.*

Ai sensi del comma 2 dell’**art.10** delle **NTA del PAI**, nelle fasce di pertinenza fluviale, che si estendono per 150 metri a destra e sinistra idraulica rispetto all’alveo, possono essere consentiti *“tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all’art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell’Autorità di Bacino”.*

Pertanto, in ogni caso, **l’intervento oggetto di studio è compatibile con le prescrizioni e le finalità del PAI**, previa redazione di uno Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica.

Lo studio idrologico-idraulico è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi alle aree di intervento;
- studio idrologico dei bacini di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico delle aree;
- studio idraulico delle aste fluviali di interesse e determinazione dei livelli idrici e delle aree inondabili al variare del tempo di ritorno;
- analisi e valutazione della compatibilità idraulica delle opere oggetto di autorizzazione.

**Gli unici aerogeneratori del parco eolico in progetto rientrante nelle aree golenali, poiché sito a poco meno di 150 metri dal reticolo idrografico, risultano essere i WTG02-WTG03-WTG05- WTG06-WTG07- WTG08- WTG09.**



Tutti gli altri aerogeneratori e le relative opere annesse risultano invece ad una distanza maggiore di 150 m dal reticolo idrografico.

### **3. Descrizione del bacino idrografico**

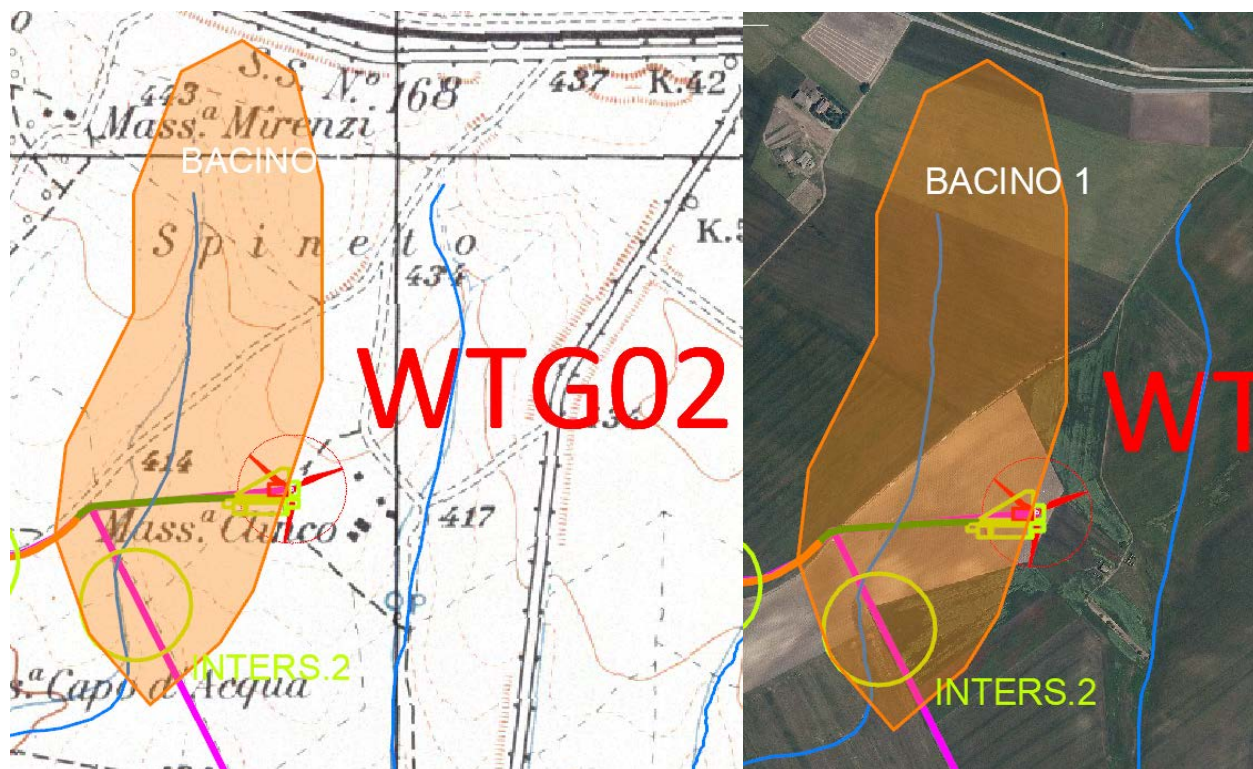
Dall'analisi delle interferenze effettuata al capitolo precedente, emerge che le interferenze, determinata dalla mutazione dello stato dei luoghi per la realizzazione di una nuova viabilità, sono rappresentate dalle intersezioni seguenti:

- Inters. 2
- Inters. 4
- Inters. 6
- Inters. 8
- Inters. 13
- Inters. 14
- Inters. 17

Nel caso dell'intersezione numero 19, come si evince dalla tabella sopra riportata, è già presente un ponticello, per cui l'inserimento del cavidotto non presenta mutazioni dello stato dei luoghi.

Le aste imputate raccolgono le acque afferenti a 7 bacini aventi le seguenti caratteristiche:

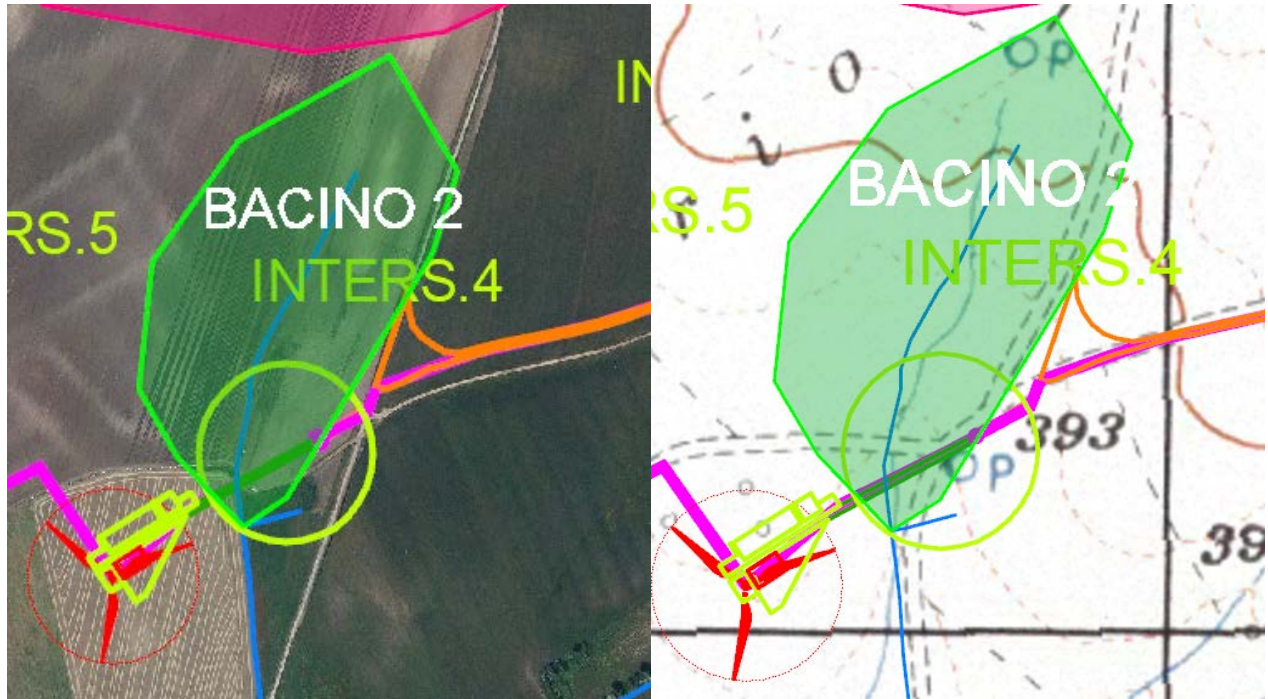




Bacino 1		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	788
H massima del bacino	[m]	445
H sezione chiusura	[m]	412
Superficie del Bacino	[mq]	279221







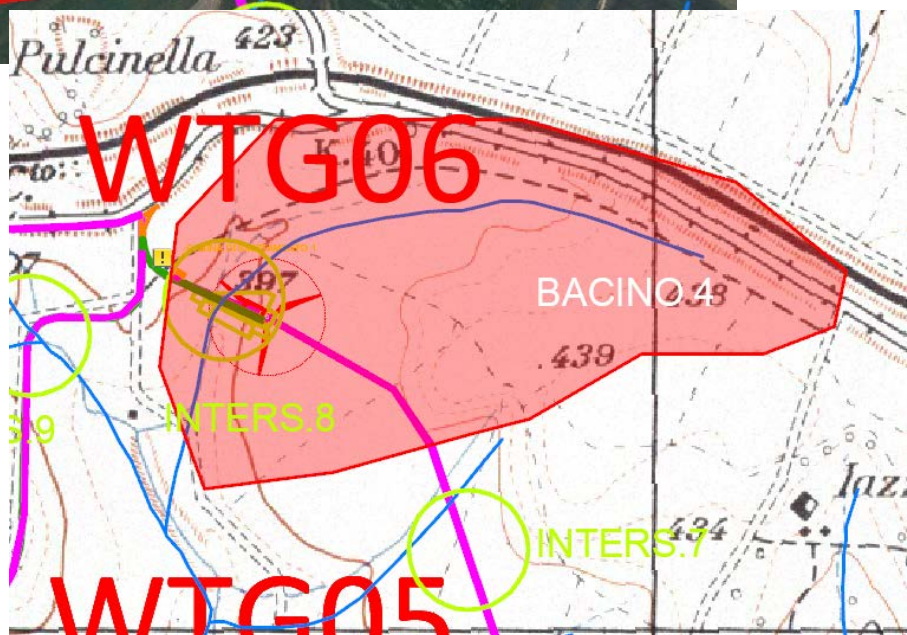
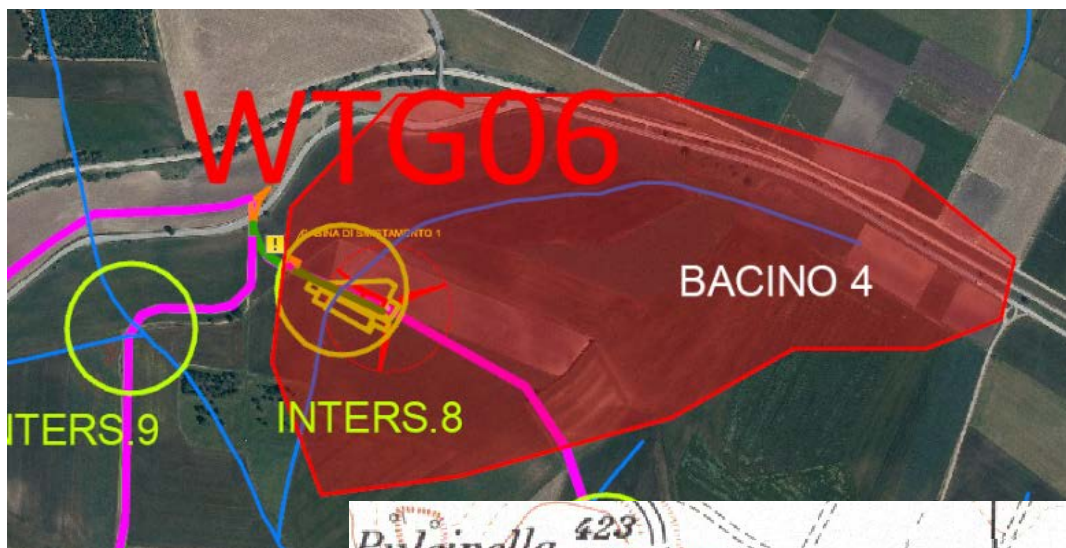
<b>Bacino 2</b>		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[m]</i>	371
<i>H massima del bacino</i>	<i>[m]</i>	408
<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	393
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[mq]</i>	83801





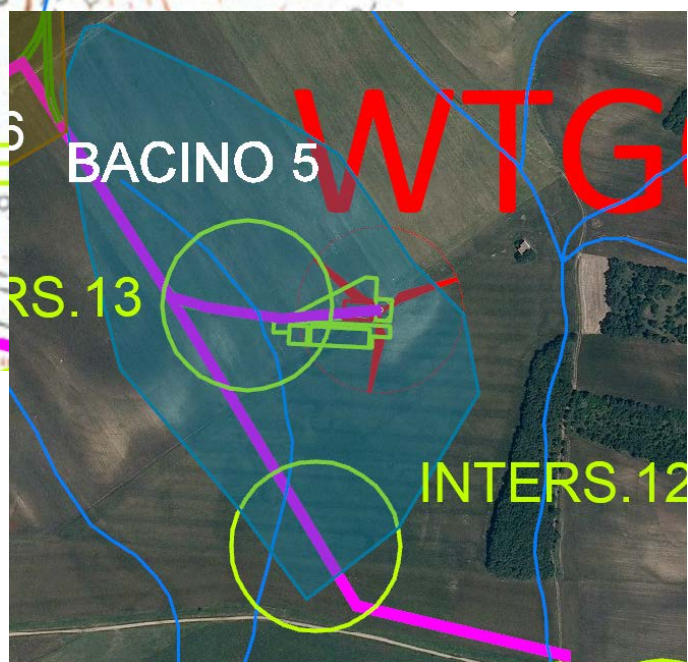
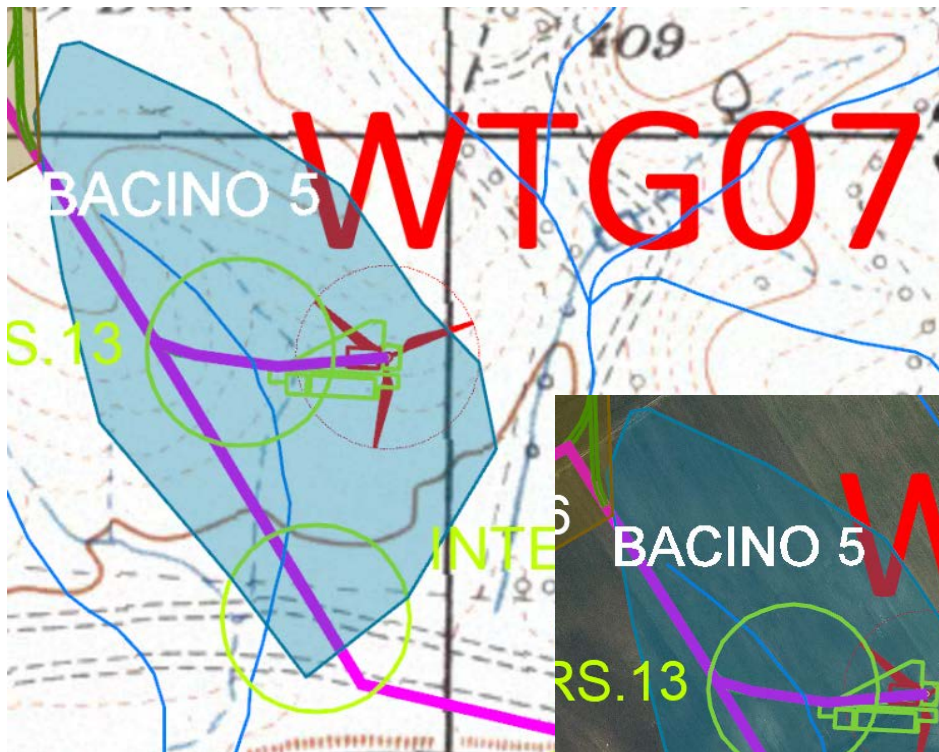
Bacino 3		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	515
H massima del bacino	[m]	417
H sezione chiusura	[m]	400
Superficie del Bacino	[mq]	109263.82





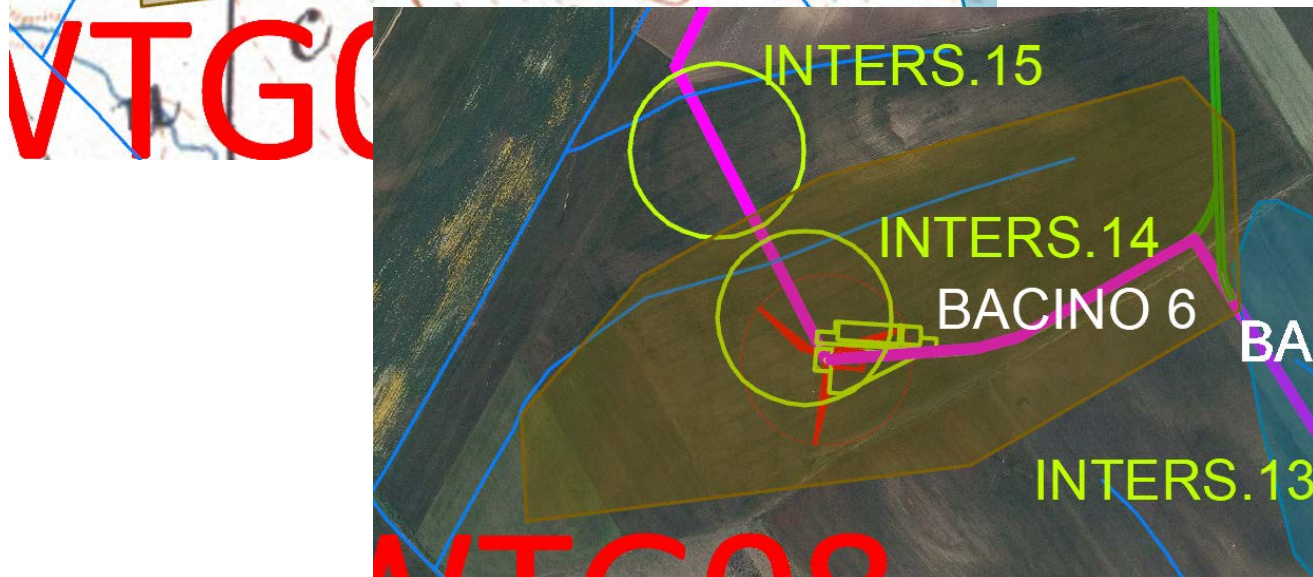
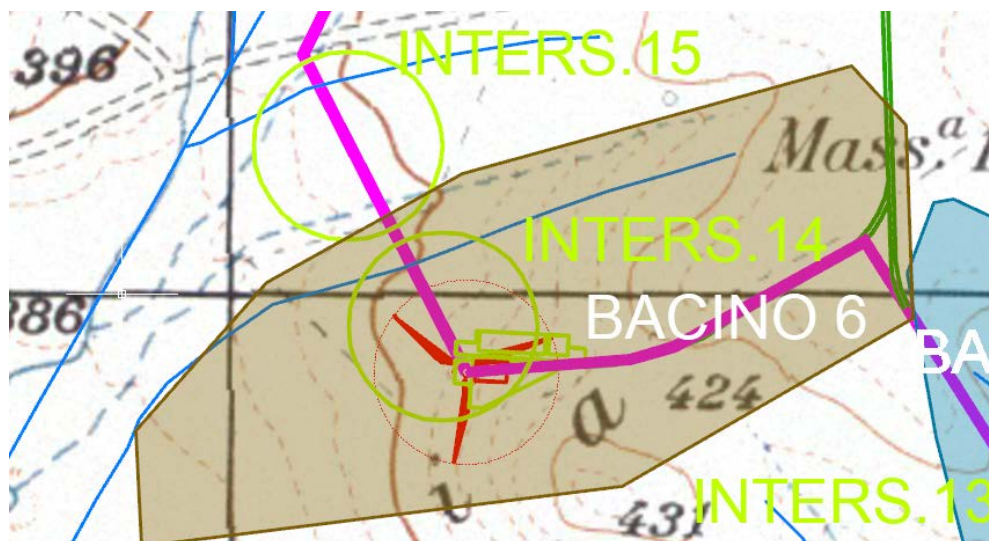
Bacino 4		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	1095
H massima del bacino	[m]	439
H sezione chiusura	[m]	407
Superficie del Bacino	[mq]	364386.17





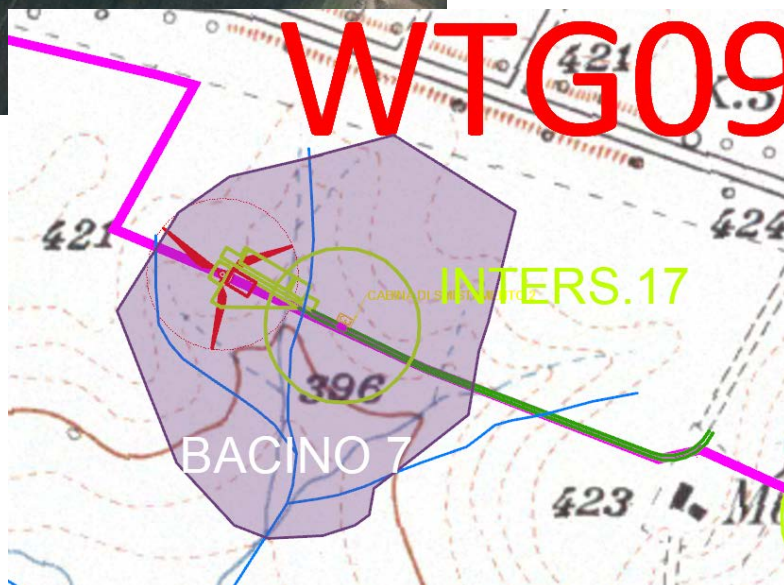
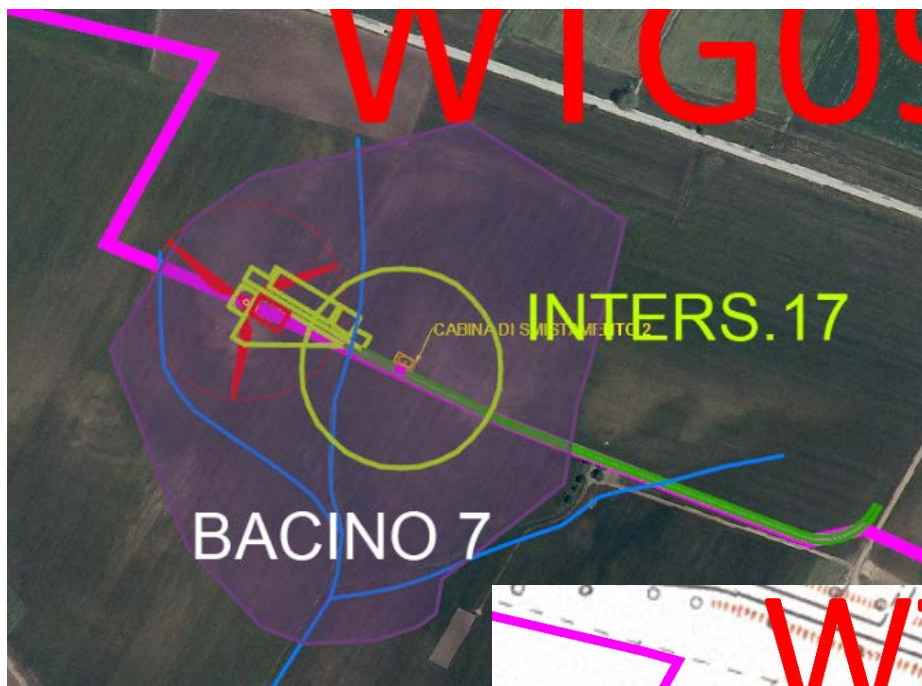
Bacino 5		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	600
H massima del bacino	[m]	425
H sezione chiusura	[m]	400
Superficie del Bacino	[mq]	141155.27





Bacino 6		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	797
H massima del bacino	[m]	424
H sezione chiusura	[m]	385
Superficie del Bacino	[mq]	188302.5

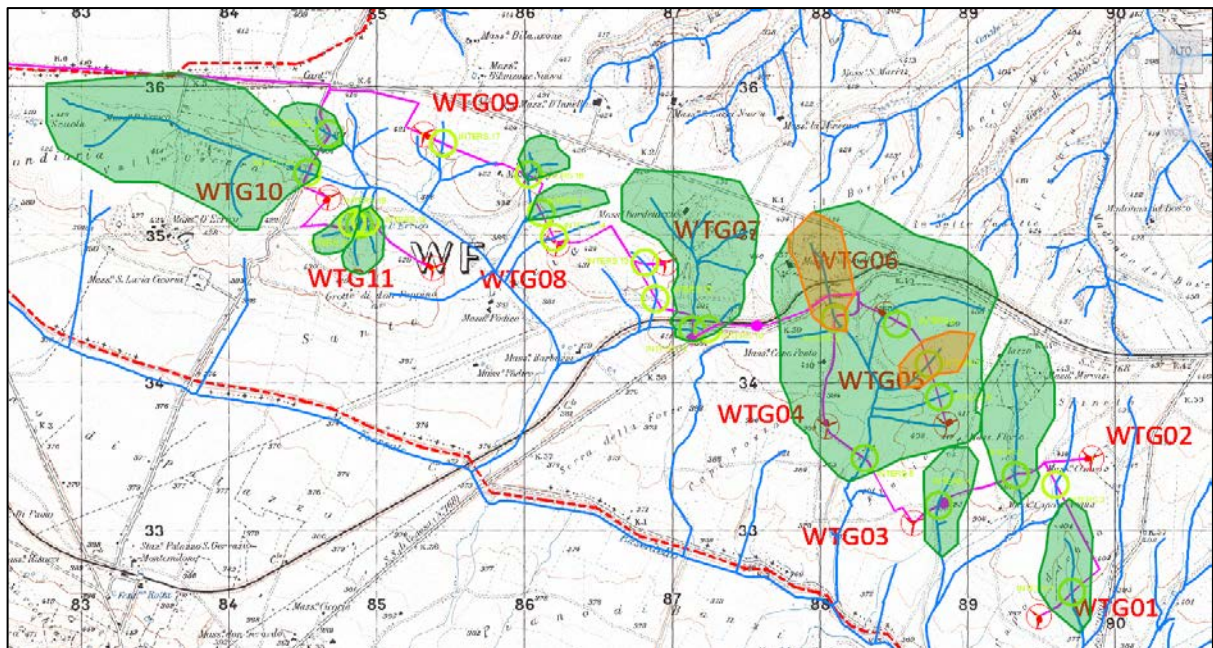




Bacino 7		
Lungh. dell'asta princ.	[m]	345
H massima del bacino	[m]	420
H sezione chiusura	[m]	390
Superficie del Bacino	[mq]	137874.95



Come sopra anticipato, le 22 intersezioni tra reticolo idrografico e cavidotto generano una serie di bacini idrografici, caratterizzati da alcune condizioni a contorno (esplicitate nel capitolo precedente), tali da reputarle trascurabili.

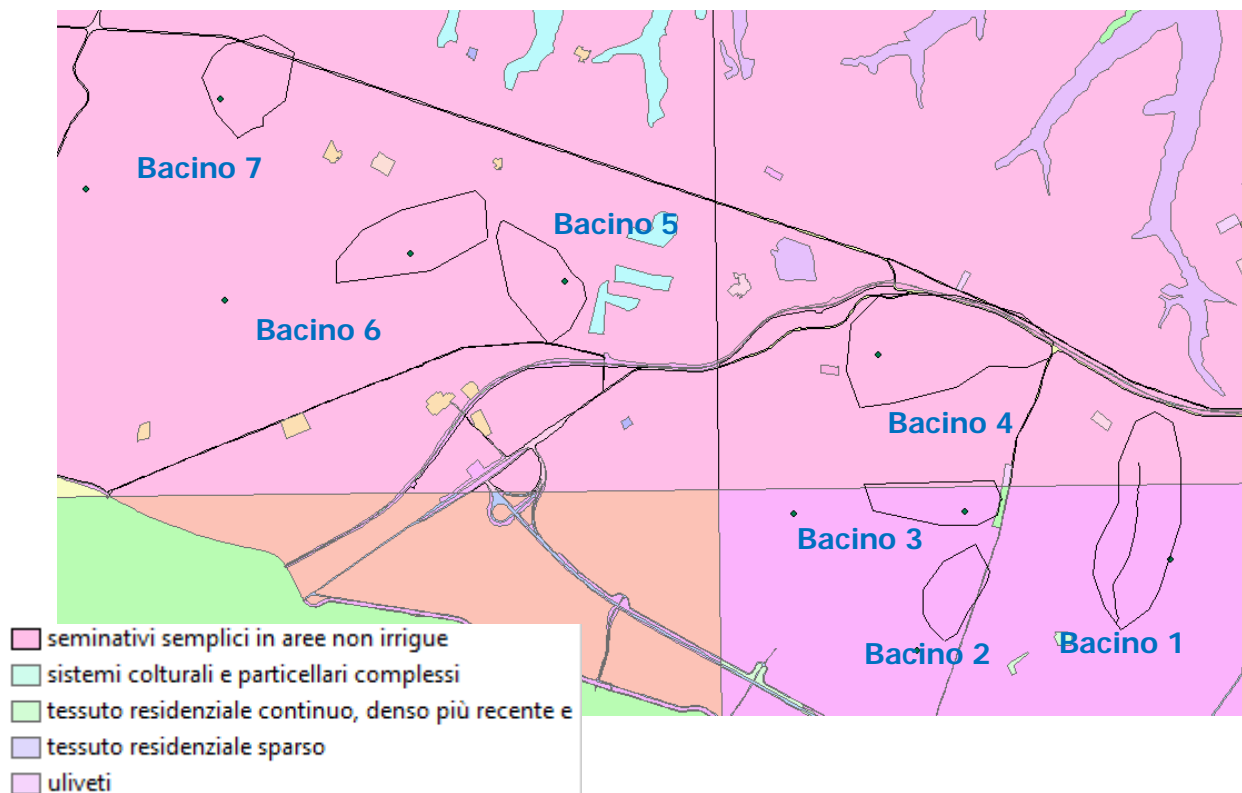


Tutti i bacini evidenziati rientrano all'interno della Regione Puglia e nello specifico del Comune di Spinazzola.



### 3.1 CARTA USO DEL SUOLO

Per quanto riguarda l'uso del suolo, i 7 bacini idrografici, considerati sono caratterizzati al 100% dalla presenza di seminativi semplici in aree irrigue (cfr. immagine seguente: elaborazione dell'uso del suolo nella sola area di bacino, fonte Sit Puglia – Carta uso del suolo agg.to 2011).



**Figura 9 - Carta uso del suolo agg.to 2011**



#### 4. Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio

L'area interessata dai bacini di interesse, compreso quello scelto per la successiva modellazione idraulica, ricade nel foglio 188 della Carta Geologica d'Italia (Gravina in Puglia), scala 1:100.000.

Dal punto di vista geologico, in relazione a quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia, il territorio in cui si estende il bacino idrografico oggetto del presente studio, è interessato dalle seguenti formazioni geologiche:

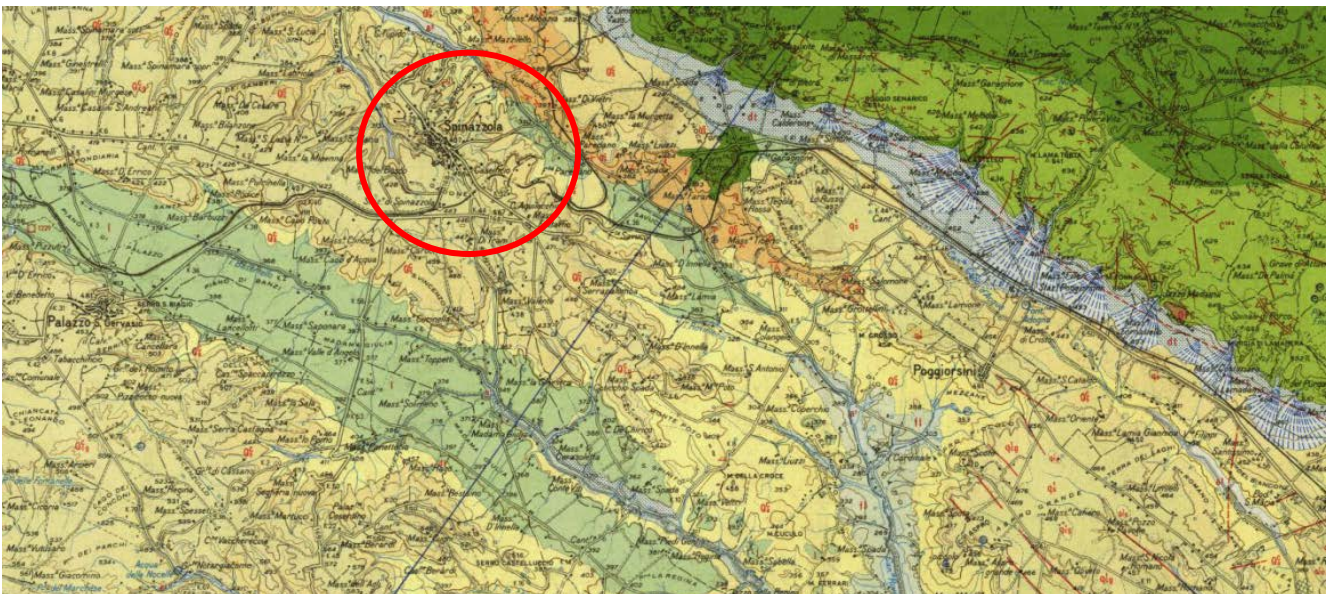
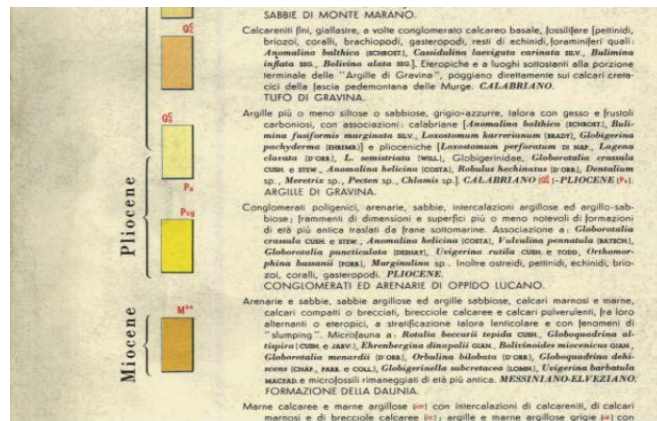


Figure 10: Stralcio della carta geologica d'Italia (F.188, scala 1:100.000).

## **5. ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE IN PUGLIA**

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come "analisi regionale".

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.



In seguito, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-meridionale, territorio nel quale ricade il bacino oggetto di studio.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del compartimento di Bari del S.I.I., le cui stazioni formano la rete di misura delle precipitazioni su tutto il territorio regionale con un'elevata densità territoriale.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson. Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria, quindi risultano costanti i due parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di



informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 66 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di  $\Lambda_1$ . Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione.

Nel riquadro a seguire si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio.

	$\theta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$
<b>Puglia centro meridionale</b>	2.121	0.353	17.55

**Tabella 1- Parametri d'interesse.**

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_d, TR$  viene espressa in funzione di una quantità KTR, detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno TR e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno TR ed è definito dal rapporto seguente:



$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T_R})}$$

essendo  $X_{d,TR}$  il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della  $X_{d,TR}$ . Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno  $T_R$  ed il fattore di crescita  $K_{TR}$ , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. Infatti, calcolando, nelle stazioni disponibili, le medie pesate dei coefficienti di asimmetria e dei coefficienti di variazione alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di  $K_{TR}$  autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Sulla scorta dei valori regionali dei parametri  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Phi_1$ , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro – meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di  $T_R$  attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

$$K_{TR} = a + b * \ln(T_R)$$

in cui i parametri  $a$  e  $b$  sono esprimibili in funzione dei valori regionali di  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Phi_1$ .

Per la Puglia settentrionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, quindi, la seguente:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R \quad (1)$$

Per la Puglia centro-meridionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, invece, la seguente:



$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R \quad (2)$$

anche se va rimarcato come l'utilizzo di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per T<50 anni e superiori al 5% per T<100 anni.

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_t)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica.

Per l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu(X_g)$  e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori  $\mu(X_g)$  e le quote sul mare h:

<b>ZONA 1-3</b>	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln\alpha - \ln a)/\ln 24}$
<b>ZONA 2-4</b>	$\mu(h,t) = at^n$

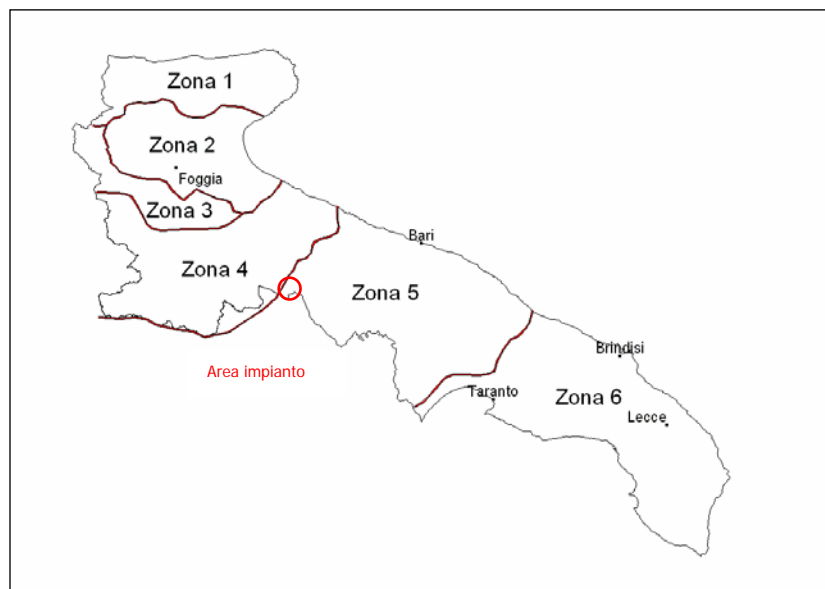
**Tabella 2- Correlazione tra  $\mu(X_g)$  e la durata di precipitazione.**

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;



- nell'area centro-meridionale della Puglia, il VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione.

Il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale.



**Figure 6.1 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.**

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per le due aree in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = a d^{(Ch+D+\ln\alpha-\ln a)/\ln 24} \quad (3)$$

in cui  $a$  è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di  $\bar{X}(X_d)$  relativi alle serie con  $N \geq 10$  anni ricadenti in ciascuna zona omogenea e  $\alpha = xg/x_{24}$  è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.



Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro a seguire (cfr. Tabella 3).

Zona	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$N$
1	0,89	28,66	0,00503	3,959	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	3,811	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	4,0837	-
6	0,89	33,7	0,0022	4,1223	-

**Tabella 3 - Coefficienti del 3° livello di regionalizzazione.**

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita ( $K_T$ ) per la precipitazione media:

$$h = K_T \cdot \mu(X_d) \quad (4)$$

### 5.1. Curve di possibilità climatica

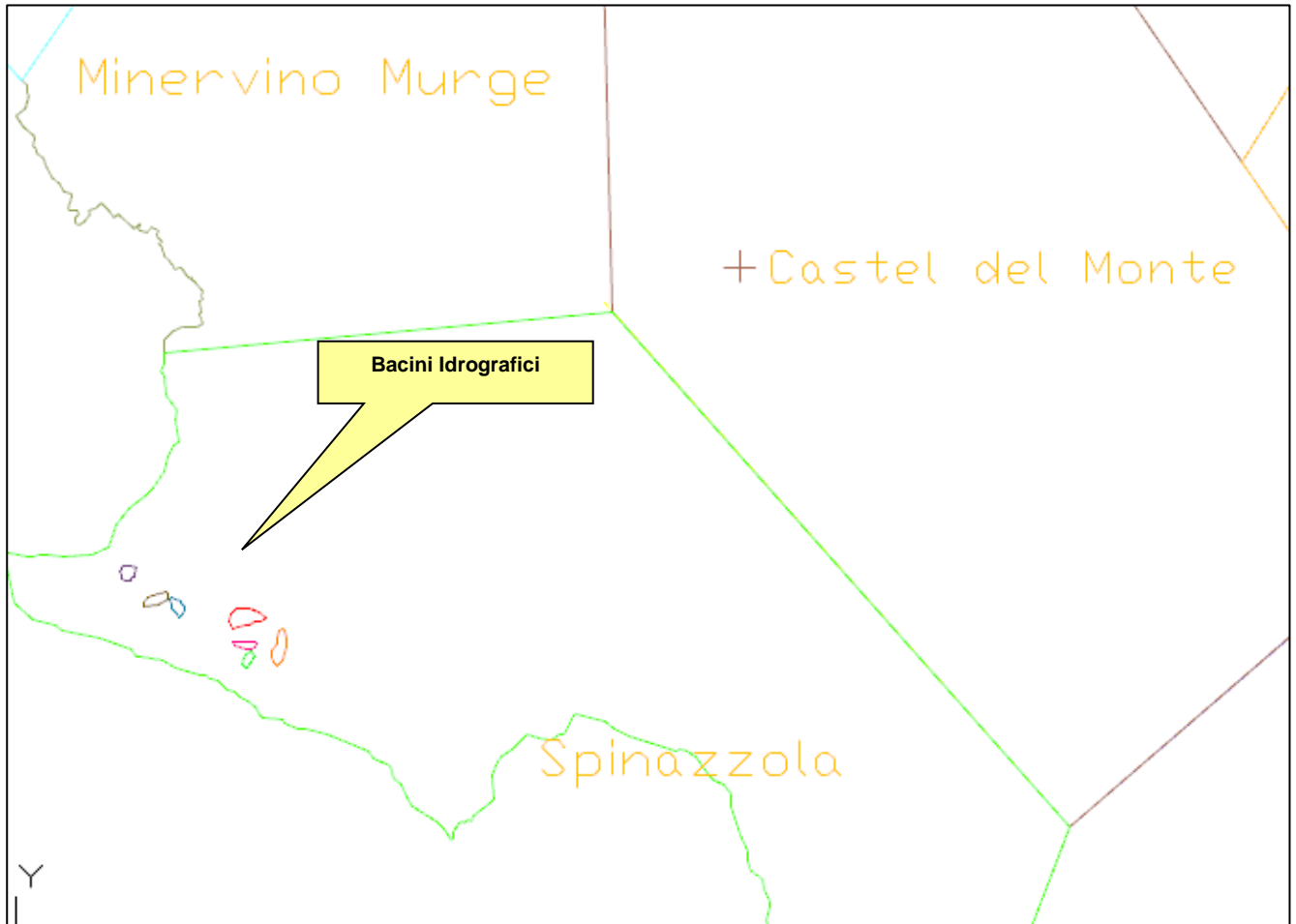
Lo studio idrologico condotto ha, quindi, consentito la determinazione delle curve di possibilità climatiche a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni) in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino oggetto del presente studio.

Per la determinazione delle curve di possibilità climatiche con il metodo di Gumbel si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica che interessa il bacino idrografico di interesse, la stazione pluviometrica di **Spinazzola**, che interessa interamente il bacino idrografico di interesse e di cui si





riporta l'annale idrologico.



**Figure 7 – Inquadramento del bacino idrografico nel poligono di Thiessen di Spinazzola.**

Stazione di:	SPINAZZOLA				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1936	26.0	28.0	28.2	29.4	35.8
1937	12.4	19.4	26.8	33.2	36.0
1938	12.0	13.2	18.2	25.2	35.0
1942	27.6	35.4	35.4	35.4	48.4
1951	25.4	29.8	29.8	39.2	60.8
1952	18.6	21.0	27.8	46.6	64.6
1953	17.2	29.2	35.8	52.0	57.4
1954	15.4	29.2	43.0	58.4	84.8
1955	40.0	42.4	42.4	58.2	85.4
1956	17.6	28.2	30.6	44.0	60.0
1957	18.2	29.2	47.4	58.0	94.8
1958	24.4	35.2	42.8	48.2	53.2
1962	25.0	37.6	38.8	42.8	44.0
1963	37.4	37.4	51.2	51.2	51.2
1964	33.8	36.2	37.4	37.6	50.0
1966	23.0	39.8	39.8	41.2	61.4
1967	30.0	35.6	35.8	35.8	46.2
1968	27.8	28.4	36.4	41.2	43.4
1969	29.0	31.8	31.8	34.4	36.0
1970	19.8	42.8	54.0	71.4	102.6
1972	42.8	59.0	63.0	69.0	108.6
1973	29.2	64.8	72.0	75.8	78.0
1974	33.6	34.0	34.0	47.0	48.8

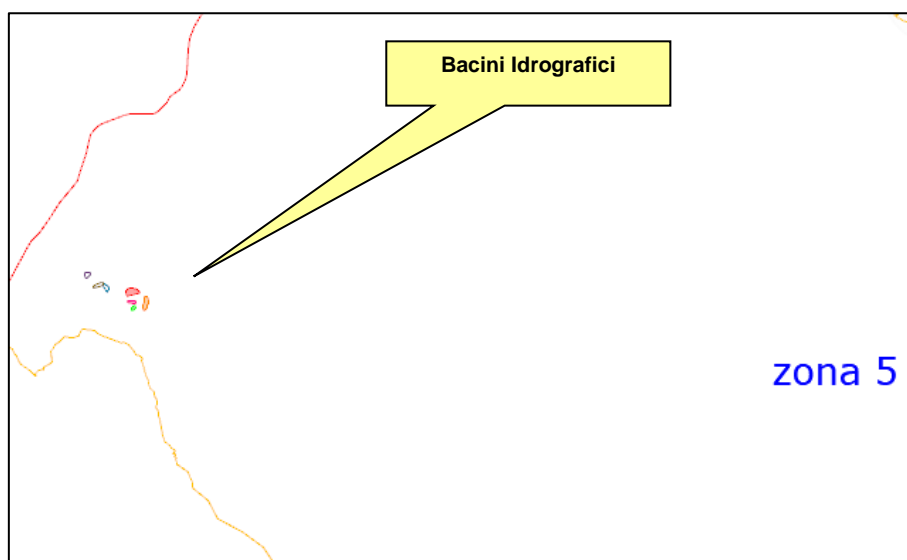


1975	25.8	25.8	33.8	35.6	45.8
1976	24.0	42.8	54.0	75.2	110.2
1977	20.2	20.8	22.8	26.6	33.0
1978	19.8	22.6	24.2	30.2	32.6
1979	16.6	21.8	34.0	36.8	47.2
1980	15.8	16.8	26.8	37.8	46.0
1981	22.6	25.6	39.0	39.0	40.0
1982	38.6	46.6	49.6	49.6	49.6
1984	26.0	31.4	40.2	40.6	43.2
1985	15.6	19.8	24.6	32.4	42.4
1986	25.8	28.8	31.6	32.0	53.8
1988	23.4	30.6	40.8	45.0	56.2
1989	26.4	31.8	35.8	36.0	36.0
1990	19.6	24.2	36.4	65.0	79.2
1991	>>	>>	>>	>>	>>
1992	>>	>>	>>	>>	>>
1993	32.6	36.4	38.6	38.8	38.8
1994	67.4	73.8	74.4	74.4	74.4
1995	>>	>>	>>	>>	>>
1996	23.2	24.4	35.4	47.6	54.6
1998	19.0	22.4	25.4	30.8	53.4
1999	33.8	36.0	36.2	36.2	36.2
2000	13.8	20.6	36.0	22.6	30.8
2001	25.4	30.6	31.0	31.0	35.4
2002	27.4	29.0	29.0	31.8	41.2
2003	23.6	31.8	36.0	41.6	70.8



2004	51.8	53.2	53.2	60.4	64.8
2005	18.6	26.4	26.4	33.4	33.4
2006	11.0	14.0	18.2	30.0	53.8
2007	21.6	26.6	29.8	37.8	43.6
2008	>>	>>	>>	>>	>>
2009	26.8	27.8	30.8	35.4	41.2
2010	36.2	36.2	59.8	89.8	114.2
2011	23.0	28.6	48.6	66.2	78.2
2012	19.0	22.4	28.0	38.0	48.2

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometriche con il metodo VAPI si è verificato che l'area d'intervento si trova nella **zona 5** (cfr. immagine seguente). Pertanto, si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della Tabella 3 relativi alla zona 5.



**Figure 8 – Zona VAPI di interesse del bacino idrografico.**

Quindi, per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si utilizza la seguente relazione:

Zona 1:  $x(t,z) = 26.8 t^{(0.720+0.00503 z)/3.178}$

Zona 2:  $x(t) = 22.23 t^{0.247}$

Zona 3:  $x(t,z) = 25.325 t^{(0.0696+0.00531 z)/3.178}$

Zona 4:  $x(t) = 24.70 t^{0.256}$

Zona 5:  $x(t,z) = 28.2 t^{(0.628+0.0002 z)/3.178}$

Zona 6:  $x(t,z) = 33.7 t^{(0.488+0.0022 z)/3.178}$

L'elaborazione dei dati pluviometrici ha condotto alla determinazione delle curve di possibilità climatica per i differenti tempi di ritorno.

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive relative alle altezze di pioggia ricavate utilizzando la metodologia VAPI e quella della distribuzione probabilistica di Gumbel (cfr. tabelle seguenti):

Tr = 30 – Stazione di Spinazzola					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	47.490	57.191	63.995	77.287	102.690
VAPI	54.058	67.165	77.025	88.332	101.299

**Tabella 4 – Tr = 30 anni - Altezze di pioggia (mm).**

Tr = 200 – Stazione di Spinazzola					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62.417	74.480	81.937	99.614	134.600
VAPI	81.696	101.504	116.404	133.492	153.088

**Tabella 5 – Tr = 200 anni - Altezze di pioggia (mm).**



<b>Tr = 500 – Stazione di Spinazzola</b>					
<b>Distribuzioni probabilistiche</b>	<b>DURATE</b>				
	<b>1 h</b>	<b>3 h</b>	<b>6 h</b>	<b>12 h</b>	<b>24 h</b>
<b>GUMBEL</b>	69.584	82.781	90.552	110.334	149.921
<b>VAPI</b>	95.044	118.089	135.424	155.304	178.102

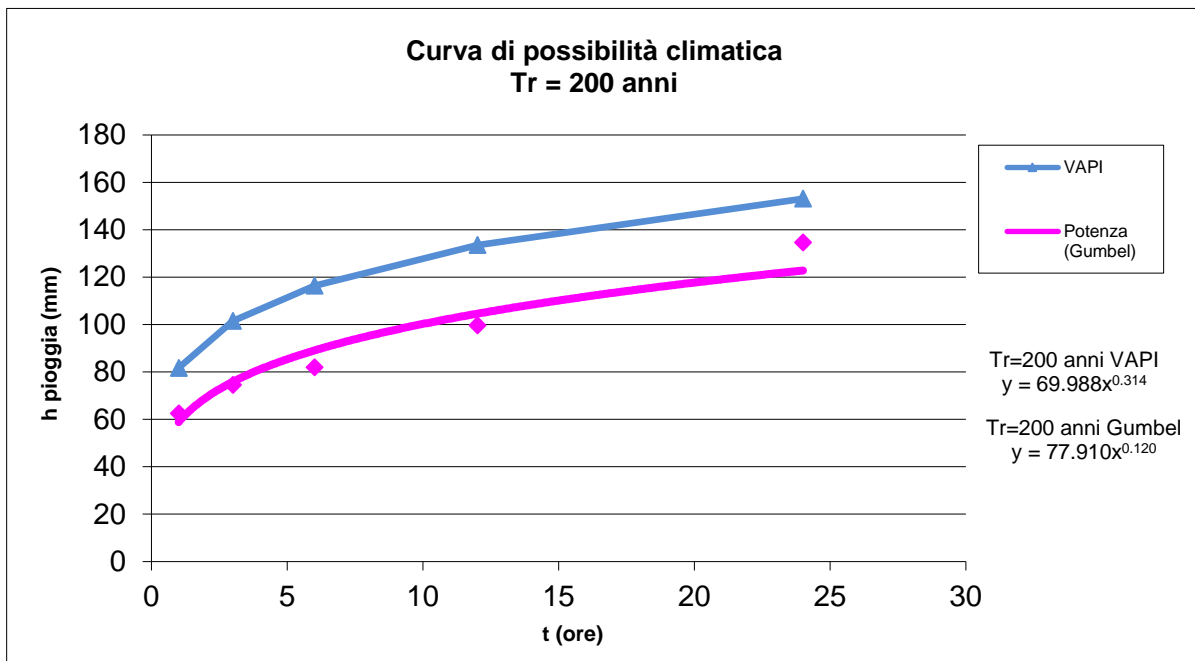
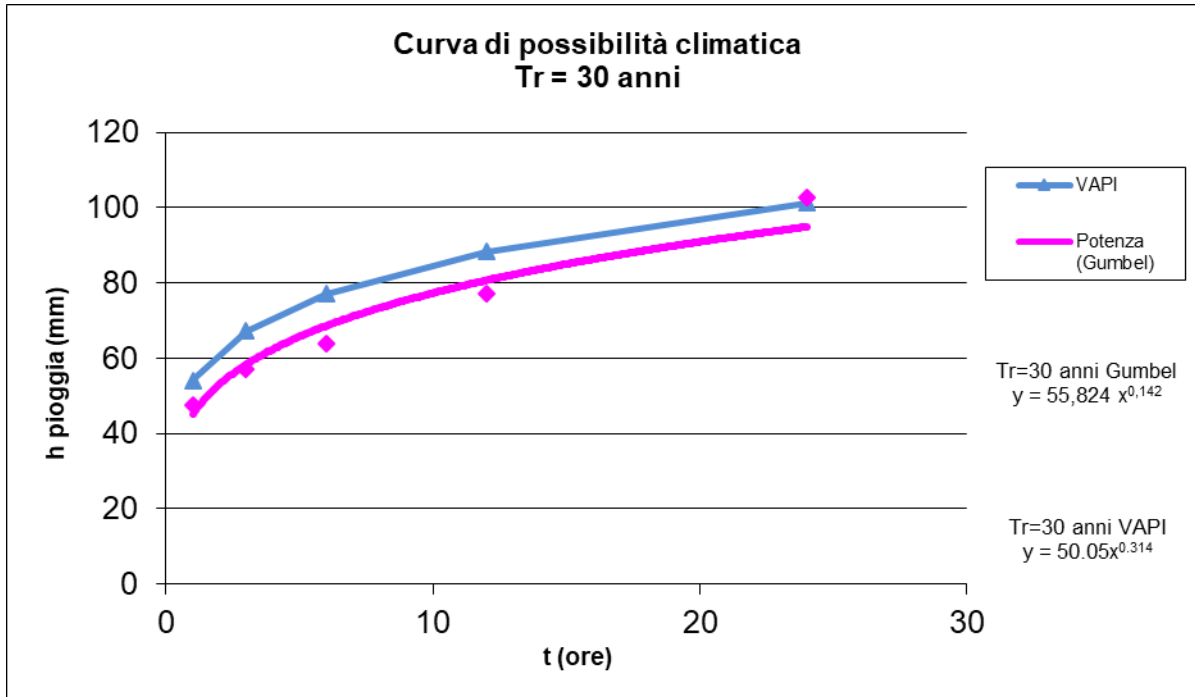
**Tabella 6 – Tr = 500 anni - Altezze di pioggia (mm).**

Confrontando le due metodologie adottate si evince che le altezze di pioggia determinate utilizzando il metodo VAPI siano quasi sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo della metodologia GUMBEL, soprattutto per alti tempi di ritorno.

**Pertanto, nel presente studio è utilizzata la curva di possibilità climatica determinata dall'applicazione del metodo VAPI che ha fornito i valori più elevati delle altezze di pioggia.**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.





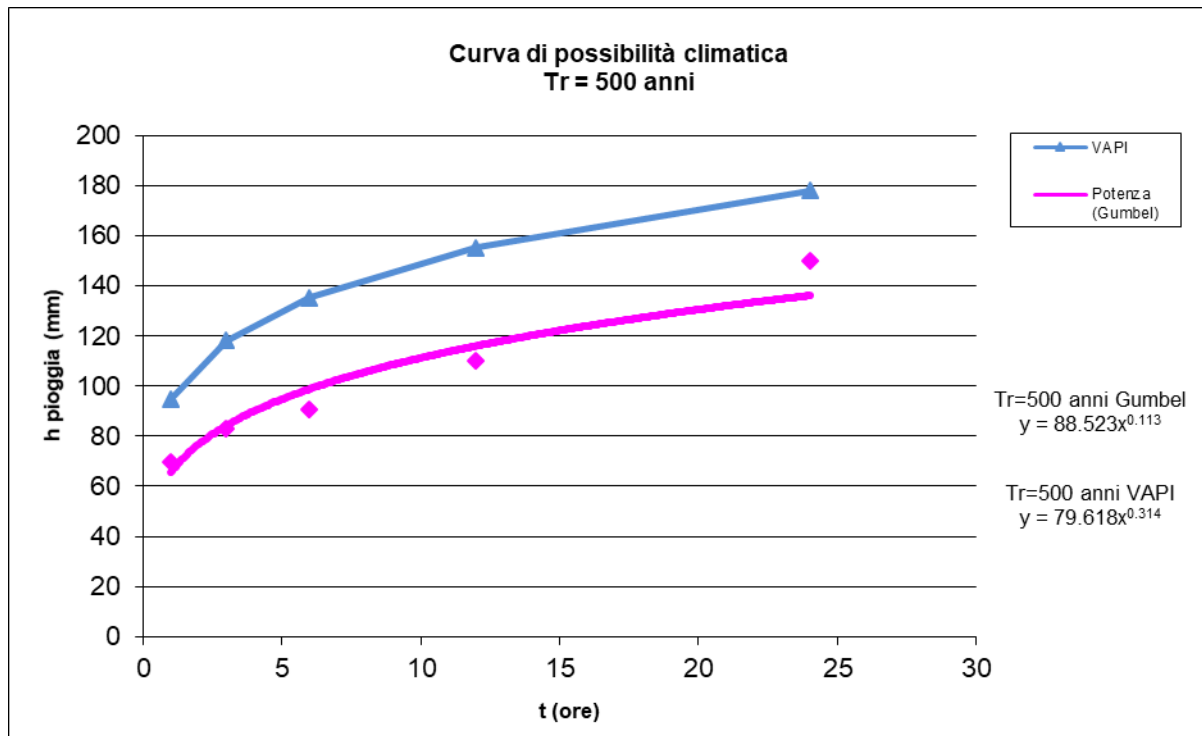


Figure 9 –Curve di possibilità climatica ai diversi tempi di ritorno





## 6. ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena per i bacini individuati nell'area in questione, può essere condotta secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:

- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici (utilizzati nel presente studio), che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa, può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

### 6.1. Valutazione portate di piena

La stima delle portate di piena è stata effettuata applicando metodi analitici di tipo semplificato, in grado di definire, su base geomorfologica, un parametro chiave nel processo di generazione dei deflussi di piena, quale il tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ ).

In particolare, è stato applicato, a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), il metodo di razionale e il metodo del Curve Number (CN).



## Metodo Razionale

Per la determinazione della massima piena temibile è stato utilizzato il metodo razionale, che rappresenta un metodo indiretto basato sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari ha:

$$Q = \frac{c * h * A * k}{t_c}$$

Q = portata di piena [m<sup>3</sup>/sec]

c = coefficiente di deflusso

h = pioggia netta [mm]

A = area del bacino [km<sup>2</sup>]

t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione [ore]

k = 0.2777 (fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura).

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t<sub>c</sub>: infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t<sub>c</sub> solo una parte del bacino A contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

Il tempo di corrivazione, che è un parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.



Il tempo di corrivazione di un bacino è generalmente definito come il tempo necessario alla goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacini idrografici aventi superficie (A) variabile tra 170 e 70000 km<sup>2</sup>, che si esplicita nella seguente relazione:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (6)$$

nella quale  $t_c$  è espresso in ore, A in km<sup>2</sup> mentre L, la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua a partire dallo spartiacque, è espressa in km e  $H_m$ , altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, in metri sul livello del mare.

Pezzoli (1970), analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, invece, una diversa espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (7)$$

nella quale  $t_c$  è espresso in ore e L in km. Il parametro  $i_a$  rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacini americani, nel 1940, aveva proposto una correlazione grafica tra il tempo di corrivazione e il rapporto  $\frac{L}{\sqrt{i_a}}$ . Tale grafico, successivamente integrato dal contributo di altri dati sperimentali, ha condotto alla formulazione della seguente equazione, comunemente nota con il nome di equazione di Kirpich.

$$t_c = 0.00325 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (10)$$



Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left( \frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (11)$$

nella quale  $t_c$  è espresso in minuti e L in metri.

In questo caso specifico verrà adottata la formula di Kirpich, poiché l'Area del bacino in esame è di 0.28 kmq e la succitata formula viene utilizzata per bacini con area compresa tra 0.0051 e 0.433 kmq.

<b>TEMPO DI CORRIVAZIONE</b>		
	<b>Kirpich</b>	<b>Kiprich-Pezzoli-Watt_Chow</b>
<b>BACINO 1</b>	0.192	0.28
<b>BACINO 2</b>	0.106	0.142
<b>BACINO 3</b>	0.155	0.225
<b>BACINO 4</b>	0.227	0.411
<b>BACINO 5</b>	0.191	0.278
<b>BACINO 6</b>	0.182	0.265
<b>BACINO 7</b>	0.075	0.105

**Tabella 7 – Tempo di corrivazione.**



Per ciò che concerne il coefficiente di deflusso  $\phi$ , esso è stato stimato effettuando una media pesata dei valori stimati per le differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di tipo di terreno, dal punto di vista della geologia e dell'uso del suolo, sulla base dei valori consigliati in letteratura; i pesi sono stati calcolati in funzione delle sotto aree sull'area totale del bacino individuato.

Tra le numerose indicazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica per la valutazione del coefficiente di deflusso, sono stati utilizzati i valori indicati dal Manuale di Ingegneria Civile riportati nella tabella seguente:

<b>Tipo di terreno</b>	<b>Coltivato</b>	<b>Pascolo</b>	<b>Bosco</b>
Molto permeabile: sabbia o ghiaia	0.20	0.15	0.30
Permeabile: limo	0.40	0.35	0.30
Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40
<b>Tipologia urbanistica</b>		<b><math>\phi</math></b>	
Costruzioni dense		0.80	
Costruzioni Spaziate		0.60	
Aree con ampi cortili e giardini		0.50	
Zone a villini sparsi		0.30-0.40	
Giardini, prati e zone non edificabili né destinate a strade		0.20	
Parchi e boschi		0.05-0.10	

Effettuando una media pesata per i bacini di interesse si ottiene un **coefficiente di deflusso pari a 0,400**.



Applicando i valori precedenti nella formula razionale sono stati ottenuti i seguenti valori per le portate di piena:

### Bacino 1

$T_r$	$a$	$n$	$t_c$ [h]	$h$ [mm]	$i_c$ [mm]	$Q$ [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.192	30.628	159.557	4.950
200 anni	58.828	0.232	0.192	40.140	209.114	6.488
500 anni	65.428	0.231	0.192	44.707	232.905	7.226
10 anni	36.919	0.237	0.192	24.984	130.154	4.038

### Bacino 2

$T_r$	$a$	$n$	$t_c$ [h]	$h$ [mm]	$i_c$ [mm]	$Q$ [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.106	26.672	250.806	2.335
200 anni	58.828	0.232	0.106	35.009	329.205	3.065
500 anni	65.428	0.231	0.106	39.012	366.845	3.416
10 anni	36.919	0.237	0.106	21.726	204.294	1.902

### Bacino 3

$T_r$	$a$	$n$	$t_c$ [h]	$h$ [mm]	$i_c$ [mm]	$Q$ [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.155	29.146	187.651	2.278
200 anni	58.828	0.232	0.155	38.219	246.068	2.987
500 anni	65.428	0.231	0.155	42.575	274.113	3.328
10 anni	36.919	0.237	0.155	23.763	152.992	1.857

### Bacino 4

$T_r$	$a$	$n$	$t_c$ [h]	$h$ [mm]	$i_c$ [mm]	$Q$ [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.277	33.382	120.391	4.874
200 anni	58.828	0.232	0.277	43.709	157.633	6.382
500 anni	65.428	0.231	0.277	48.666	175.512	7.106
10 anni	36.919	0.237	0.277	27.255	98.293	3.980



**Bacino 5**

$T_r$	a	n	$t_c$ [h]	h [mm]	$i_c$ [mm]	Q [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.190	30.565	160.632	2.519
200 anni	58.828	0.232	0.190	40.059	210.527	3.302
500 anni	65.428	0.231	0.190	44.617	234.481	3.678
10 anni	36.919	0.237	0.190	24.932	131.028	2.055

**Bacino 6**

$T_r$	a	n	$t_c$ [h]	h [mm]	$i_c$ [mm]	Q [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.182	30.236	166.422	3.482
200 anni	58.828	0.232	0.182	39.632	218.141	4.564
500 anni	65.428	0.231	0.182	44.143	242.971	5.084
10 anni	36.919	0.237	0.182	24.661	135.735	2.840

**Bacino 7**

$T_r$	a	n	$t_c$ [h]	h [mm]	$i_c$ [mm]	Q [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.075	24.569	328.100	7.214
200 anni	58.828	0.232	0.075	32.278	431.050	9.477
500 anni	65.428	0.231	0.075	35.979	480.479	10.564
10 anni	36.919	0.237	0.075	19.995	267.027	5.871

Tabella 8 – Valori delle portate di piena con il metodo razionale del Bacino di interesse

**Metodo del Curve Number**

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal Soil Conservation Service (1972). Il metodo, detto Metodo Curve Number (“Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method”, detto comunemente Curve Number), si basa sulla assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace)  $P_{net}$  risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda  $P$  (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:



$$P_{\text{net}} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

nella quale  $S$  è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed  $I_a$  è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro  $S$  corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha  $P > I_a$ ; fino all'istante in cui non si ha  $P > I_a$  il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

In realtà con l'introduzione della perdita iniziale  $I_a$  si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di  $I_a$  si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 S$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di  $S$  può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

$$S = S_0 \cdot \left( \frac{100}{\text{CN}} - 1 \right)$$

$S_0$  è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm.

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):





- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.
- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

Tipo di copertura	A	B	C	D
Aree agricole con presenza di spazi naturali	62	71	78	81
Aree Urbane	98	98	98	98
Area residenziale	77	85	90	92
Cava	60	60	60	60
Distretti industriali	81	88	91	93
Bacini di acqua	100	100	100	100
Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile	72	81	88	91
Colture orticole a ciclo primaverile-estivo	72	81	88	91
Colture temporanee associate a colture permanente	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori non irrigui	62	71	78	81
Frutteti e frutti minori irrigui	72	81	88	91
Oliveti irrigui	72	81	88	91
Oliveti non irrigui	62	71	78	81
Prati stabili non irrigui	30	58	71	78
Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81
Sistemi colturali e particellari complessi	72	81	88	91
Vigneti irrigui	72	81	88	91
Vigneti non irrigui	62	71	78	81
Zone boscate	45	66	77	83

**Tabella 9 – Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.**



<b>Classe AMC</b>	<b>Precipitazioni nei dieci giorni precedenti (mm)</b>
<b>I</b> (Terreno secco)	0 < P < 50
<b>II</b> (Umidità media)	50 < P < 110
<b>III</b> (Terreno da mediamente umido a saturo)	P > 110

**Tabella 10 – Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l’evento (AMC).**

I valori del CN riportati nella tabella 3 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all’inizio dell’evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).

Per condizioni iniziali differenti, vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore CN (II), relativo a AMC I, CN (I), ed in quello relativo a AMC III, CN (III).

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}} \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$$

Nella fattispecie, considerata l’entità degli interventi e l’importanza degli stessi, **si è preferito, a vantaggio di sicurezza, adottare un valore di Curve Number pari al CN(III)**, in quanto trattasi di aree non completamente urbanizzate.

Nel caso in esame, quindi, sono stati sovrapposti i bacini idrografici sulla carta di uso del suolo e sulla carta geologica e ricavate le superfici specifiche in base alla qualità colturale e tipo di suolo.

Il valore del CN è stato stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di uso del suolo e di tipo di suolo; i pesi sono stati calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull’area totale del bacino individuato.



Per quanto riguarda la tipologia di terreno, è stato utilizzato, a vantaggio di sicurezza, il GRUPPO C (**Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione**).

Dalla media pesata in funzione della superficie sono stati ricavati i valori relativi al CN, riportati nella tabella seguente:

	CN <sub>II</sub>	CN <sub>III</sub>
<b>BACINO 1</b>	78	89.18
<b>BACINO 2</b>	78	89.18
<b>BACINO 3</b>	78	89.18
<b>BACINO 4</b>	78	89.18
<b>BACINO 5</b>	78	89.18
<b>BACINO 6</b>	78	89.18
<b>BACINO 7</b>	78	89.18

**Tabella 11 – Calcolo del Curve Number per il bacino di interesse**

Risulta evidente che i valori di CN risultino gli stessi per tutti i bacini, poiché come si può notare dalla carta di uso del suolo, tutti i bacini nella totalità della loro superficie, sono costituiti dallo stesso tipo di coltura.

Tale procedimento ha reso possibile la stima dei due parametri  $S$  ed  $I_a$  a partire dalle caratteristiche litologiche e di uso del suolo del bacino e quindi la valutazione della pioggia netta.

Altro “tempo caratteristico” di un bacino è il “tempo di ritardo”  $t_L$  (lag time), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell’idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d’acqua anche in assenza dell’evento di piena, e il baricentro del pluvigramma netto.

Il Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto  $t_L/t_C$  è pari a 0.6 (rapporto tra tempo di ritardo e tempo di corrivazione).

Per la stima del tempo di ritardo del bacino, nel caso in esame, si è utilizzata la formula di Mockus:



$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui  $s$  è la pendenza del bacino espressa in %,  $L$  la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in Km.

Per il calcolo della portata al colmo  $Q_p$  ( $m^3/s$ ) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

avendo indicato con  $t_b$  la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale  $V$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2.67 t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso  $V$  in  $mm$ , il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $Km^2$ , si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$  e indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo, come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_L$$



È stato scelto come evento che massimizza il calcolo della portata di piena un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino, utilizzando come “ $t_c$ ” i risultati ottenuti in base al calcolo effettuato al paragrafo precedente (cioè tempo di corrivazione calcolato con il metodo Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich P-C-W-K, in quanto tale relazione è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio).

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

### Bacino 1

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	37.315	15.665	0.241	15.665	0.337	2.701
200 anni	56.393	31.136	0.241	31.136	0.337	5.369
500 anni	65.607	39.155	0.241	39.155	0.337	6.752
10 anni	26.267	7.940	0.241	7.940	0.337	1.369

### Bacino 2

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	32.810	12.360	0.134	12.360	0.187	1.150
200 anni	49.584	25.402	0.134	25.402	0.187	2.364
500 anni	57.685	32.245	0.134	32.245	0.187	3.000
10 anni	23.096	6.007	0.134	6.007	0.187	0.559

### Bacino 3

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	35.666	14.434	0.193	14.434	0.271	1.212
200 anni	53.900	29.015	0.193	29.015	0.271	2.436
500 anni	62.707	36.603	0.193	36.603	0.271	3.073
10 anni	25.106	7.214	0.193	7.214	0.271	0.606



### Bacino 4

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	40.546	18.136	0.375	18.136	0.514	2.676
200 anni	61.275	35.354	0.375	35.354	0.514	5.216
500 anni	71.288	44.213	0.375	44.213	0.514	6.523
10 anni	28.542	9.418	0.375	9.418	0.514	1.389

### Bacino 5

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	37.304	15.656	0.194	15.656	0.289	1.589
200 anni	56.376	31.122	0.194	31.122	0.289	3.159
500 anni	65.587	39.138	0.194	39.138	0.289	3.972
10 anni	26.260	7.935	0.194	7.935	0.289	0.805

### Bacino 6

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	36.952	15.392	0.225	15.392	0.316	1.910
200 anni	55.844	30.667	0.225	30.667	0.316	3.805
500 anni	64.969	38.592	0.225	38.592	0.316	4.788
10 anni	26.012	7.779	0.225	7.779	0.316	0.965

### Bacino 7

$T_R$	P [mm]	$P_{net}$	$T_L$ [h]	V [mm]	$t_a$ [h]	$Q_p$ [mc/s]
30 anni	30.321	10.619	0.088	10.619	0.125	2.429
200 anni	45.822	22.322	0.088	22.322	0.125	5.105
500 anni	53.309	28.516	0.088	28.516	0.125	6.522
10 anni	21.344	5.012	0.088	5.012	0.125	1.146

**Tabella 12 – Valori delle portate di piena con il metodo del CN del Bacino di interesse.**



**6.2. Considerazioni finali sulla portata di piena**

Il confronto tra le due metodologie adottate ha evidenziato come le portate derivate utilizzando il metodo Curve Number (CN), per il bacino idrografico di interesse siano risultate, al variare del tempo di ritorno, quasi sempre minori di quelle derivate dall'utilizzo del metodo Razionale.

Si è scelto, pertanto, di utilizzare i valori derivanti dal presente studio idraulico con il metodo che fornisce i valori più alti di portata, per essere nelle condizioni a vantaggio di sicurezza per la portata duecentennale, indicata nella tabella seguente unitamente alle portate con  $Tr = 30$  e 500 anni:

	Q	Media Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica
	(m <sup>3</sup> /sec)	Tr= 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
<b>BACINO 1</b>	METODO RAZIONALE	4.95	6.48	7.23
	METODO CN	2.7	5.37	6.75
<b>BACINO 2</b>	METODO RAZIONALE	2.33	3.06	3.41
	METODO CN	1.15	2.36	3
<b>BACINO 3</b>	METODO RAZIONALE	2.27	2.98	3.33
	METODO CN	1.21	2.43	3.07
<b>BACINO 4</b>	METODO RAZIONALE	4.87	6.38	7.1
	METODO CN	2.67	5.21	6.52
<b>BACINO 5</b>	METODO RAZIONALE	2.52	3.3	3.67
	METODO CN	1.59	3.16	9.97
<b>BACINO 6</b>	METODO RAZIONALE	3.48	4.56	5.08
	METODO CN	1.91	3.8	4.77
<b>BACINO 7</b>	METODO RAZIONALE	5.02	6.6	7.36
	METODO CN	2.43	5.1	6.5

**Tabella 13 – Portate finali di calcolo dei bacini in esame**



Per quanto concerne i restanti bacini, che interessano le intersezioni tra il reticolo idrografico e il cavidotto, è stata effettuata una verifica, considerando la portata determinata sulla base di un coefficiente udometrico pari 0,0000193 determinato sulla base delle caratteristiche geomorfologiche e idrauliche effettive ricavate dai bacini studiati in precedenza.

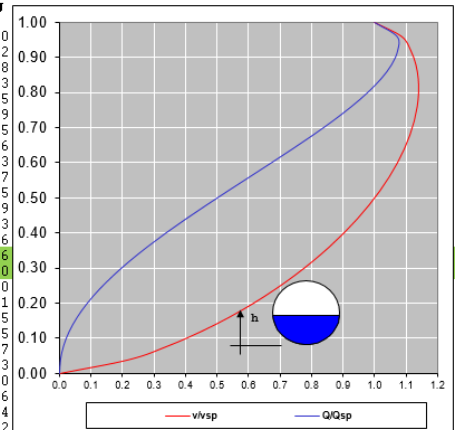
Tale metodologia basata sull'utilizzo del coefficiente udometrico non è stata applicata per il solo bacino che sottende l'intersezione numero 5, per il quale è stato condotto uno studio idrologico sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino stesso.

**DN 1000**

Manning **DN = 1000**  $\frac{mm}{m}$   
**n = 0.011**  $\frac{s/m^{1/3}}{m/m}$   $\gamma = 0.10287$   
**i = 0.05**  $\frac{m/m}{m/m}$   
**5**  $\frac{er\ cento}{er\ mille}$   
**50.00**

**Vsp Qsp**  
**[cm/s] [l/s]**  
**806.7 6335.91**

h/D	h	$\alpha$	$\Omega$	P	R	v/vsp	Q/Qsp	v	Q	Q	Q
	mm	rad	m <sup>2</sup>	m	m			cm/s	l/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /gg
0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
0.04	40.00	0.40	0.011	0.40	0.03	0.22	0.00	179.17	18.88	0.0189	1631.2
0.08	80.00	0.57	0.029	0.57	0.05	0.35	0.01	280.74	82.64	0.0826	7139.8
0.12	120.00	0.71	0.053	0.71	0.08	0.45	0.03	362.99	193.78	0.1938	16743
0.16	160.00	0.82	0.081	0.82	0.10	0.54	0.06	433.72	351.80	0.3518	30395
0.20	200.00	0.93	0.112	0.93	0.12	0.62	0.09	496.18	554.84	0.5548	47939
0.24	240.00	1.02	0.145	1.02	0.14	0.68	0.13	552.13	800.29	0.8003	69145
0.28	280.00	1.12	0.180	1.12	0.16	0.75	0.17	602.66	1084.90	1.0849	93736
0.32	320.00	1.20	0.217	1.20	0.18	0.80	0.22	648.47	1405.02	1.405	121393
0.36	360.00	1.29	0.255	1.29	0.20	0.86	0.28	690.06	1756.56	1.7566	151767
0.40	400.00	1.37	0.293	1.37	0.21	0.90	0.34	727.79	2135.12	2.1351	184475
0.44	440.00	1.45	0.333	1.45	0.23	0.94	0.40	761.91	2535.98	2.536	219109
0.48	480.00	1.53	0.373	1.53	0.24	0.98	0.47	792.61	2954.09	2.9541	255233
0.52	520.00	1.61	0.413	1.61	0.26	1.02	0.53	820.00	3384.10	3.3841	292386
0.56	560.00	1.69	0.453	1.69	0.27	1.05	0.60	844.17	3820.33	3.8203	330076
0.60	600.00	1.77	0.492	1.77	0.28	1.07	0.67	865.14	4256.72	4.2567	367780
0.64	640.00	1.85	0.531	1.85	0.29	1.09	0.74	882.89	4686.80	4.6868	404940
0.68	680.00	1.94	0.569	1.94	0.29	1.11	0.81	897.37	5103.60	5.1036	440951
0.72	720.00	2.03	0.605	2.03	0.30	1.13	0.87	908.44	5499.48	5.4995	475155
0.76	760.00	2.12	0.640	2.12	0.30	1.14	0.93	915.90	5865.92	5.8659	506815
0.80	800.00	2.21	0.674	2.21	0.30	1.14	0.98	919.44	6193.14	6.1931	535087
0.84	840.00	2.32	0.704	2.32	0.30	1.14	1.02	918.57	6469.37	6.4694	558953
0.88	880.00	2.43	0.732	2.43	0.30	1.13	1.05	912.45	6679.29	6.6793	577090
0.92	920.00	2.57	0.756	2.57	0.29	1.12	1.07	899.54	6800.19	6.8002	587536
0.96	960.00	2.74	0.775	2.74	0.28	1.09	1.07	876.04	6788.12	6.7881	586494
1.00	#####	3.14	0.785	3.14	0.25	1.00	1.00	806.71	6335.91	6.3359	547422



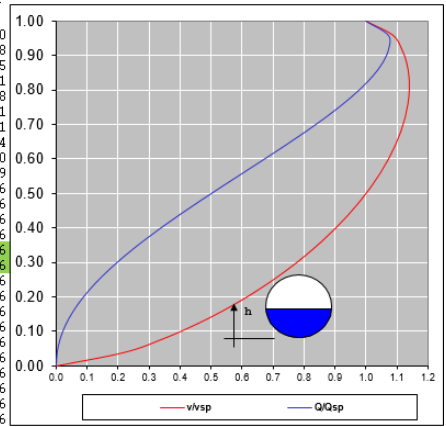


**DN 2000**

Manning  $n = 0.011$   $\gamma = 0.05246$   $V_{sp} = 1280.58$   $Q_{sp} = 40230.5$

5 *er cento*  
50.00 *er mille*

h/D	h	$\alpha$	$\Omega$	P	R	v/vsp	Q/Qsp	v	Q	Q	Q
	mm	rad	mq	m	m			ca/s	l/s	m3/s	m3/gg
0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0
0.04	80.00	0.40	0.042	0.81	0.05	0.22	0.00	284.41	119.88	0.1199	10358
0.08	160.00	0.57	0.118	1.15	0.10	0.35	0.01	445.65	524.71	0.5247	45335
0.12	240.00	0.71	0.214	1.41	0.15	0.45	0.03	576.21	1230.46	1.2305	106311
0.16	320.00	0.82	0.324	1.65	0.20	0.54	0.06	688.48	2233.77	2.2338	192998
0.20	400.00	0.93	0.447	1.85	0.24	0.62	0.09	787.63	3523.04	3.523	304391
0.24	480.00	1.02	0.580	2.05	0.28	0.68	0.13	876.45	5081.50	5.0815	439041
0.28	560.00	1.12	0.720	2.23	0.32	0.75	0.17	956.66	6888.71	6.8887	595184
0.32	640.00	1.20	0.867	2.41	0.36	0.80	0.22	1029.38	8921.30	8.9213	770800
0.36	720.00	1.29	1.018	2.57	0.40	0.86	0.28	1095.41	11153.46	11.153	963659
0.40	800.00	1.37	1.173	2.74	0.43	0.90	0.34	1155.30	13557.19	13.557	1E+06
0.44	880.00	1.45	1.331	2.90	0.46	0.94	0.40	1209.46	16102.47	16.102	1E+06
0.48	960.00	1.53	1.491	3.06	0.49	0.98	0.47	1258.19	18757.30	18.757	2E+06
0.52	1040.00	1.61	1.651	3.22	0.51	1.02	0.53	1301.67	21487.69	21.488	2E+06
0.56	1120.00	1.69	1.810	3.38	0.54	1.05	0.60	1340.03	24257.56	24.258	2E+06
0.60	1200.00	1.77	1.968	3.54	0.56	1.07	0.67	1373.32	27028.47	27.028	2E+06
0.64	1280.00	1.85	2.123	3.71	0.57	1.09	0.74	1401.50	29759.35	29.759	3E+06
0.68	1360.00	1.94	2.275	3.88	0.59	1.11	0.81	1424.48	32405.84	32.406	3E+06
0.72	1440.00	2.03	2.422	4.05	0.60	1.13	0.87	1442.05	34919.49	34.919	3E+06
0.76	1520.00	2.12	2.562	4.24	0.60	1.14	0.93	1453.90	37246.24	37.246	3E+06
0.80	1600.00	2.21	2.694	4.43	0.61	1.14	0.98	1459.53	39323.99	39.324	3E+06
0.84	1680.00	2.32	2.817	4.64	0.61	1.14	1.02	1458.14	41077.92	41.078	4E+06
0.88	1760.00	2.43	2.928	4.87	0.60	1.13	1.05	1448.43	42410.82	42.411	4E+06
0.92	1840.00	2.57	3.024	5.14	0.59	1.12	1.07	1427.93	43178.50	43.179	4E+06
0.96	1920.00	2.74	3.099	5.48	0.57	1.09	1.07	1390.63	43101.90	43.102	4E+06
1.00	2000.00	3.14	3.142	6.28	0.50	1.00	1.00	1280.58	40230.51	40.231	3E+06



INTERSEZIONE	Vicinanza Aerogeneratori	Area Bacino		Pendenza %	Q/mq	Q (Tr=200 anni)	DN Tombino
		mq	kmq		m/s	m3/s	
1		237910.65	0.238	0.03	1.93395E-05	4.601	1000
2	BACINO 1	279221.00	0.279	0.04	1.93395E-05	5.400	2000
3		404277.96	0.404	0.03	1.93395E-05	7.819	2000
4	BACINO 2	186449.19	0.186	0.04	1.93395E-05	3.606	1000
5		2135178.02	2.135	0.03	1.93395E-05	41.293	2000
6	BACINO 3	109263.92	0.109	0.02	1.93395E-05	2.113	1000
7		115986.57	0.116	0.03	1.93395E-05	2.243	1000
8	BACINO 4	364386.16	0.364	0.03	1.93395E-05	7.047	2000
9		232473.45	0.232	0.05	1.93395E-05	4.496	2000
10		/	/		1.93395E-05	/	
11		/	/		1.93395E-05	/	
12		683949.30	0.684	0.06	1.93395E-05	13.227	2000
13	BACINO 5	141155.27	0.141	0.05	1.93395E-05	2.730	1000
14	BACINO 6	188302.50	0.188	0.03	1.93395E-05	3.642	1000
15		82507.23	0.083	0.07	1.93395E-05	1.596	1000
16		71449.70	0.071	0.01	1.93395E-05	1.382	1000
17	BACINO 7	137874.95	0.138	0.11	1.93395E-05	2.666	1000
18		86180.39	0.086	0.04	1.93395E-05	1.667	1000
19		86180.39	0.086	0.03	1.93395E-05	1.667	1000
20		59254.78	0.059	0.06	1.93395E-05	1.146	1000
21		1230962.03	1.231	0.01	1.93395E-05	23.806	2000
22		95627.47	0.096	0.01	1.93395E-05	1.849	1000

**Tabella 13.1 – Tabella riassuntiva con indicazione della Q calcolata sulla base del coefficiente udometrico**



## **7. MODELLAZIONE IDRAULICA**

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 3.1.3, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Questo software consente la simulazione di flussi idrici, nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente, sia in moto permanente che in moto vario.

Il sistema comprende una interfaccia grafica, componenti separate per le analisi idrauliche dei due diversi tipi di moto, possibilità di analisi e memorizzazione dati, possibilità di esportazione e graficizzazione dei risultati.

Elemento chiave è che entrambi i tipi di simulazione citati usano una comune rappresentazione geometrica dei dati (l'alveo e le sue caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche) e una comune routine di calcolo geometrico ed idraulico preliminare.

HEC-RAS è progettato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per una rete completa di canali naturali ed artificiali.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili di correnti lente, veloci ed anche miste quando richiesto o ritenuto opportuno automaticamente dal programma.

Il calcolo è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando valori delle portate di piena, riportati in precedenza, corrispondenti a tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni, come richiesto dall'Autorità di Bacino della Puglia per l'identificazione delle aree caratterizzate rispettivamente da alta (AP), media (MP) e bassa (BP) pericolosità idraulica.

### **Scabrezza di manning**

Le simulazioni sono state condotte utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza  $n$  secondo Manning che è pari a 0.033 sulle sponde dell'alveo e per il letto dell'alveo.



### **Condizioni al contorno e condizioni iniziali**

Le condizioni al contorno si distinguono in condizioni al contorno di tipo esterno e condizioni al contorno di tipo interno, ove per condizioni esterne si intendono le altezze idriche da assegnare nella sezione di calcolo posta a valle e in tutte le sezioni iniziali poste a monte del reticolo idrografico, mentre per condizioni interne sono intese quelle relative alle sezioni di confluenza di due o più rami dello stesso reticolo.

**Per le sezioni di monte e di valle dei tratti studiati si è fissata l'altezza di moto uniforme.**

### **Sezioni di calcolo e profilo longitudinale**

La realizzazione dei modelli degli affluenti in esame è stata effettuata avendo come base cartografica il **DTM della Regione Puglia**.

Sulla base delle informazioni piano altimetriche disponibili è stato ricavato un **modello geometrico per ogni bacino**, come base di input per il software HEC-RAS, costituito da un alveo, formato da un numero di sezioni compreso tra 7 e 10 (numerata progressivamente da monte verso valle).

Tutte le sezioni sono poste a distanza di 50 m, a seconda del diverso assetto morfologico dell'alveo. Definito il **modello geometrico dello stato di fatto**, si è provveduto ad effettuare l'ipotesi di calcolo.

### **Risultati delle simulazioni**

Nel seguito, si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico, effettuato in condizioni di moto permanente, in riferimento all'asta modellata.

In particolare, sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate dal tempo di ritorno di 200 anni.

Tali verifiche hanno consentito, grazie all'ausilio del software HEC-RAS, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni sezione, oltre che la



pendenza della linea dell'energia, la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..

Tutte queste informazioni sono indicate sotto forma numerica nelle tabelle riassuntive seguenti, nelle quali, al variare del tempo di ritorno e per ognuna delle sezioni, sono riportati i **dati relativi ai principali parametri idraulici desunti dal calcolo al passaggio dell'onda di piena.**

Le sigle riportate sono relative a:

- a) **Q total= Portata totale espressa in m<sup>3</sup>/s;**
- b) **Min Ch El = Quote del fondo dell'alveo;**
- c) **W.S. Elev = Quota del pelo libero;**
- d) **Crit W.S. = Quota critica del pelo libero;**
- e) **E.G. Elev = Quota della linea dell'energia;**
- f) **E.G. Slope = Pendenza della linea dell'energia;**
- g) **Vel Chnl = Velocità media della corrente nell'alveo;**
- h) **Flow area = Area totale della sezione liquida effettiva;**
- i) **Top Width = Larghezza superficiale della sezione liquida;**
- j) **Froude = Numero di Froude dell'alveo.**

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti (cfr. tabelle seguenti).



## Bacino 1

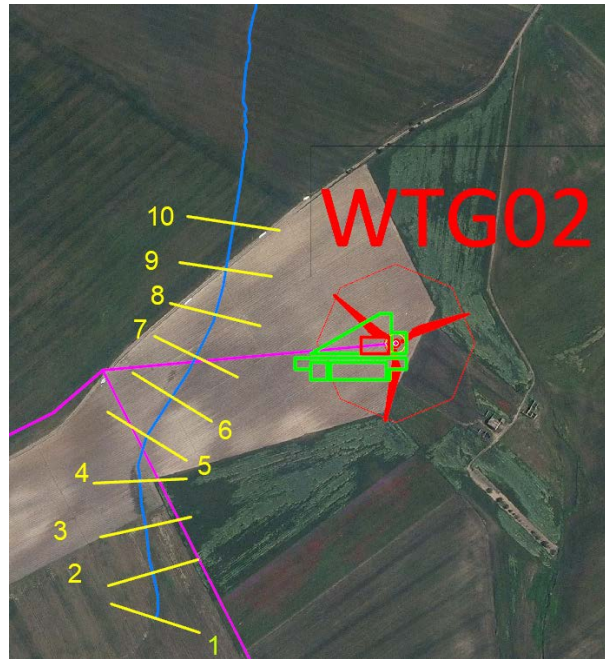
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Affl. Basentello	10	TR=30nni	4.95	417.00	417.04	417.06	417.14	0.340367	1.41	3.51	98.18	2.38
Affl. Basentello	10	TR=200anni	6.48	417.00	417.04	417.08	417.17	0.339943	1.56	4.14	98.67	2.44
Affl. Basentello	10	TR=500anni	7.23	417.00	417.05	417.08	417.18	0.340506	1.63	4.42	98.88	2.47
Affl. Basentello	9	TR=30nni	4.95	415.00	415.22	415.20	415.29	0.029197	1.17	4.25	24.97	0.90
Affl. Basentello	9	TR=200anni	6.48	415.00	415.25	415.24	415.33	0.030801	1.29	5.02	26.31	0.94
Affl. Basentello	9	TR=500anni	7.23	415.00	415.26	415.25	415.35	0.031395	1.35	5.37	26.90	0.96
Affl. Basentello	8	TR=30nni	4.95	413.18	413.54	413.54	413.63	0.037965	1.30	3.80	22.97	1.02
Affl. Basentello	8	TR=200anni	6.48	413.18	413.58	413.58	413.67	0.035816	1.40	4.64	24.22	1.02
Affl. Basentello	8	TR=500anni	7.23	413.18	413.59	413.59	413.70	0.035002	1.44	5.04	24.78	1.02
Affl. Basentello	7	TR=30nni	4.95	412.00	412.42	412.28	412.45	0.007017	0.82	6.04	20.66	0.48
Affl. Basentello	7	TR=200anni	6.48	412.00	412.48	412.33	412.52	0.007079	0.89	7.29	22.22	0.50
Affl. Basentello	7	TR=500anni	7.23	412.00	412.50	412.35	412.55	0.007049	0.92	7.90	22.93	0.50
Affl. Basentello	6	TR=30nni	4.95	411.22	411.67	411.67	411.79	0.033366	1.53	3.24	14.04	1.01
Affl. Basentello	6	TR=200anni	6.48	411.22	411.72	411.72	411.85	0.032044	1.61	4.02	15.51	1.01
Affl. Basentello	6	TR=500anni	7.23	411.22	411.74	411.74	411.88	0.031779	1.65	4.37	16.14	1.02
Affl. Basentello	5	TR=30nni	4.95	409.00	409.32	409.37	409.48	0.067453	1.79	2.77	16.10	1.37
Affl. Basentello	5	TR=200anni	6.48	409.00	409.35	409.41	409.55	0.071553	1.95	3.32	17.61	1.44
Affl. Basentello	5	TR=500anni	7.23	409.00	409.37	409.43	409.58	0.072489	2.02	3.59	18.32	1.45
Affl. Basentello	4	TR=30nni	4.95	408.00	408.13	408.08	408.15	0.008390	0.52	9.52	73.70	0.46
Affl. Basentello	4	TR=200anni	6.48	408.00	408.16	408.10	408.17	0.008308	0.58	11.26	74.37	0.47
Affl. Basentello	4	TR=500anni	7.23	408.00	408.17	408.10	408.19	0.008233	0.60	12.08	74.69	0.48
Affl. Basentello	3	TR=30nni	4.95	407.09	407.29	407.29	407.37	0.037774	1.24	4.01	26.16	1.01
Affl. Basentello	3	TR=200anni	6.48	407.09	407.32	407.32	407.41	0.035738	1.34	4.84	26.85	1.01
Affl. Basentello	3	TR=500anni	7.23	407.09	407.33	407.33	407.43	0.034774	1.38	5.23	27.17	1.00
Affl. Basentello	2	TR=30nni	4.95	405.00	405.13	405.14	405.20	0.050232	1.16	4.27	37.98	1.10
Affl. Basentello	2	TR=200anni	6.48	405.00	405.15	405.16	405.23	0.054262	1.31	4.95	39.00	1.17
Affl. Basentello	2	TR=500anni	7.23	405.00	405.15	405.17	405.25	0.056340	1.38	5.25	39.43	1.20
Affl. Basentello	1	TR=30nni	4.95	403.00	403.17	403.17	403.25	0.038323	1.21	4.08	27.70	1.01
Affl. Basentello	1	TR=200anni	6.48	403.00	403.20	403.20	403.29	0.036285	1.31	4.95	28.72	1.01
Affl. Basentello	1	TR=500anni	7.23	403.00	403.22	403.22	403.31	0.035280	1.35	5.36	29.20	1.00

### Parametri idraulici del calcolo in moto permanente

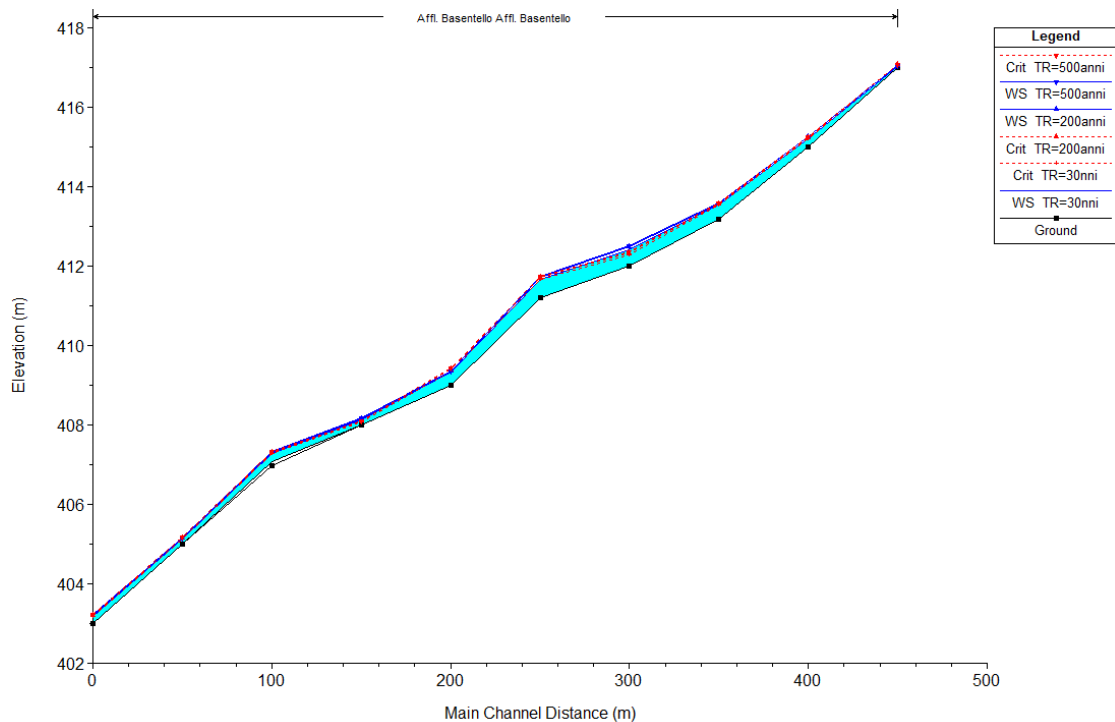
Si specifica che le sezioni sono numerate in modo decrescente da monte verso valle, mentre le distanze progressive in modo crescente da valle verso monte.

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) sono riportati la planimetria con le sezioni trasversali, il profilo longitudinale al passaggio dell'onda di piena due centennale.





**Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras.**

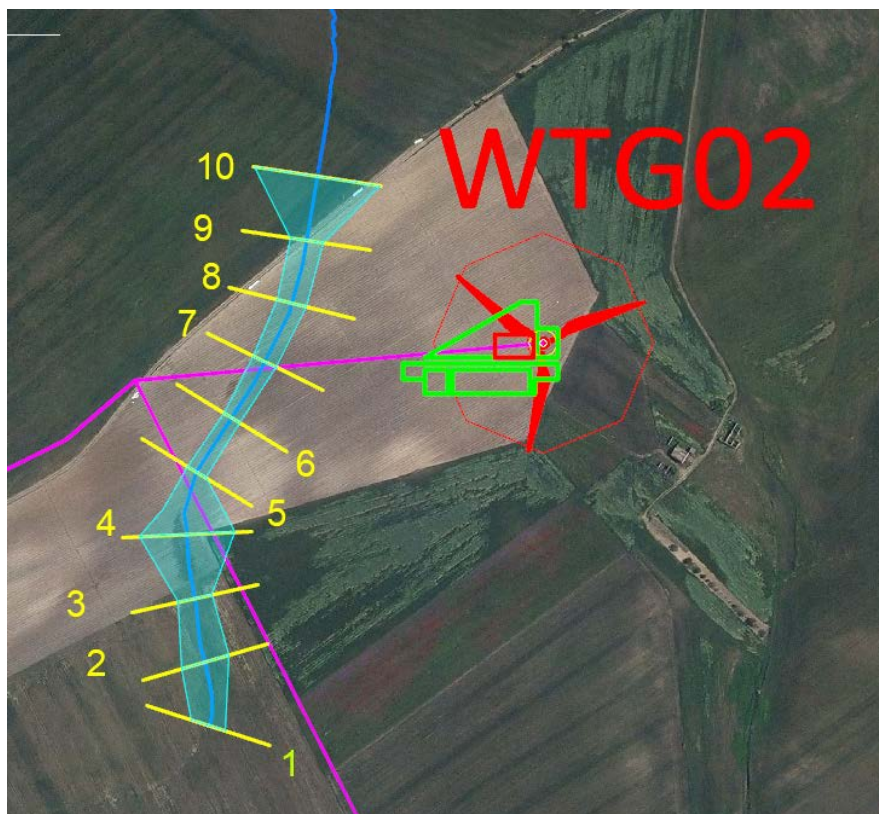


**Profilo longitudinale di moto permanente**

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $Tr= 200$  anni)



Osservando gli output di HEC-RAS si evince come **il corso d'acqua in esame sia sufficiente a contenere la portata di piena bi-centenaria, quasi sempre contenuta in alveo o nelle sue aree golenali.**



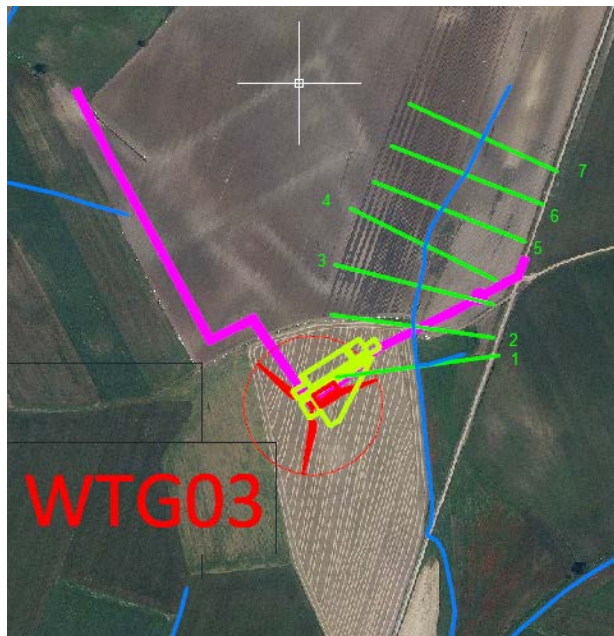
**Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali.**

Tale risultato è possibile desumerlo anche dalla consultazione delle sezioni trasversali, dalle quali sono evidenti i livelli idrici di piena per ogni sezione.

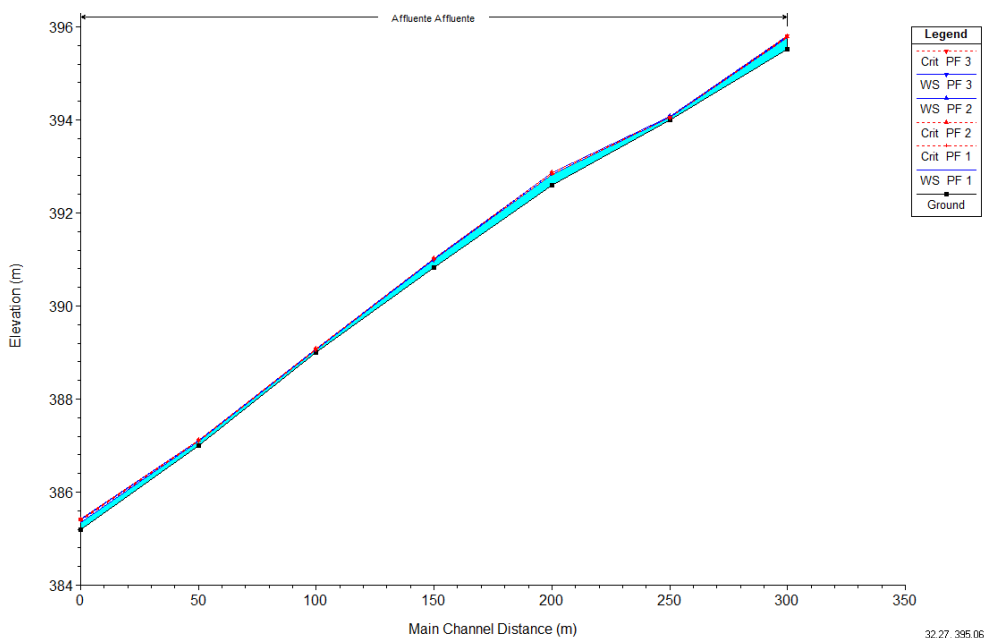
Si riporta, di seguito per tutti e sette i bacini studiati, la tabella dei risultati ottenuti, e il profilo longitudinale. In allegato sono invece inserite tutte le sezioni. Per tutti i bacini studiati si può notare che **gli interventi di progetto risultano essere compatibili con le finalità e le prescrizioni del PAI.**



## Bacino 2



**Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras**



**Profilo longitudinale di moto permanente**

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r = 200$  anni)





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
Affluente	7	PF 1	2.30	395.53	395.76	395.76	395.83	0.031700	1.15	1.99	15.09	1.01
Affluente	7	PF 2	3.07	395.53	395.79	395.79	395.87	0.030309	1.23	2.49	16.49	1.01
Affluente	7	PF 3	3.40	395.53	395.81	395.81	395.89	0.030053	1.26	2.69	17.03	1.02
Affluente	6	PF 1	2.30	394.00	394.06	394.05	394.08	0.022059	0.56	4.10	69.64	0.74
Affluente	6	PF 2	3.07	394.00	394.08	394.06	394.10	0.018725	0.59	5.16	71.34	0.70
Affluente	6	PF 3	3.40	394.00	394.08	394.06	394.10	0.018745	0.62	5.51	71.88	0.71
Affluente	5	PF 1	2.30	392.60	392.84	392.83	392.89	0.025518	1.04	2.22	16.81	0.91
Affluente	5	PF 2	3.07	392.60	392.86	392.86	392.93	0.029582	1.18	2.59	17.97	0.99
Affluente	5	PF 3	3.40	392.60	392.87	392.87	392.94	0.029102	1.21	2.81	18.62	0.99
Affluente	4	PF 1	2.30	390.82	391.01	391.01	391.02	0.058985	0.55	4.16	151.81	1.06
Affluente	4	PF 2	3.07	390.82	391.02	391.02	391.03	0.039664	0.55	5.59	152.81	0.92
Affluente	4	PF 3	3.40	390.82	391.00	391.02	391.07	0.080331	1.21	2.81	39.64	1.45
Affluente	3	PF 1	2.30	389.00	389.06	389.06	389.09	0.043170	0.74	3.10	57.55	1.02
Affluente	3	PF 2	3.07	389.00	389.07	389.07	389.10	0.037528	0.78	3.91	59.92	0.98
Affluente	3	PF 3	3.40	389.00	389.08	389.08	389.11	0.040364	0.83	4.08	60.43	1.02
Affluente	2	PF 1	2.30	387.00	387.10	387.10	387.13	0.038333	0.83	2.79	40.20	1.00
Affluente	2	PF 2	3.07	387.00	387.11	387.11	387.15	0.040623	0.94	3.27	40.60	1.06
Affluente	2	PF 3	3.40	387.00	387.11	387.12	387.16	0.037648	0.95	3.56	40.84	1.03
Affluente	1	PF 1	2.30	385.19	385.35	385.38	385.46	0.050091	1.41	1.63	12.84	1.27
Affluente	1	PF 2	3.07	385.19	385.41	385.41	385.49	0.028994	1.28	2.40	14.59	1.01
Affluente	1	PF 3	3.40	385.19	385.42	385.42	385.51	0.029055	1.32	2.58	14.97	1.01

**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**



### Bacino 3

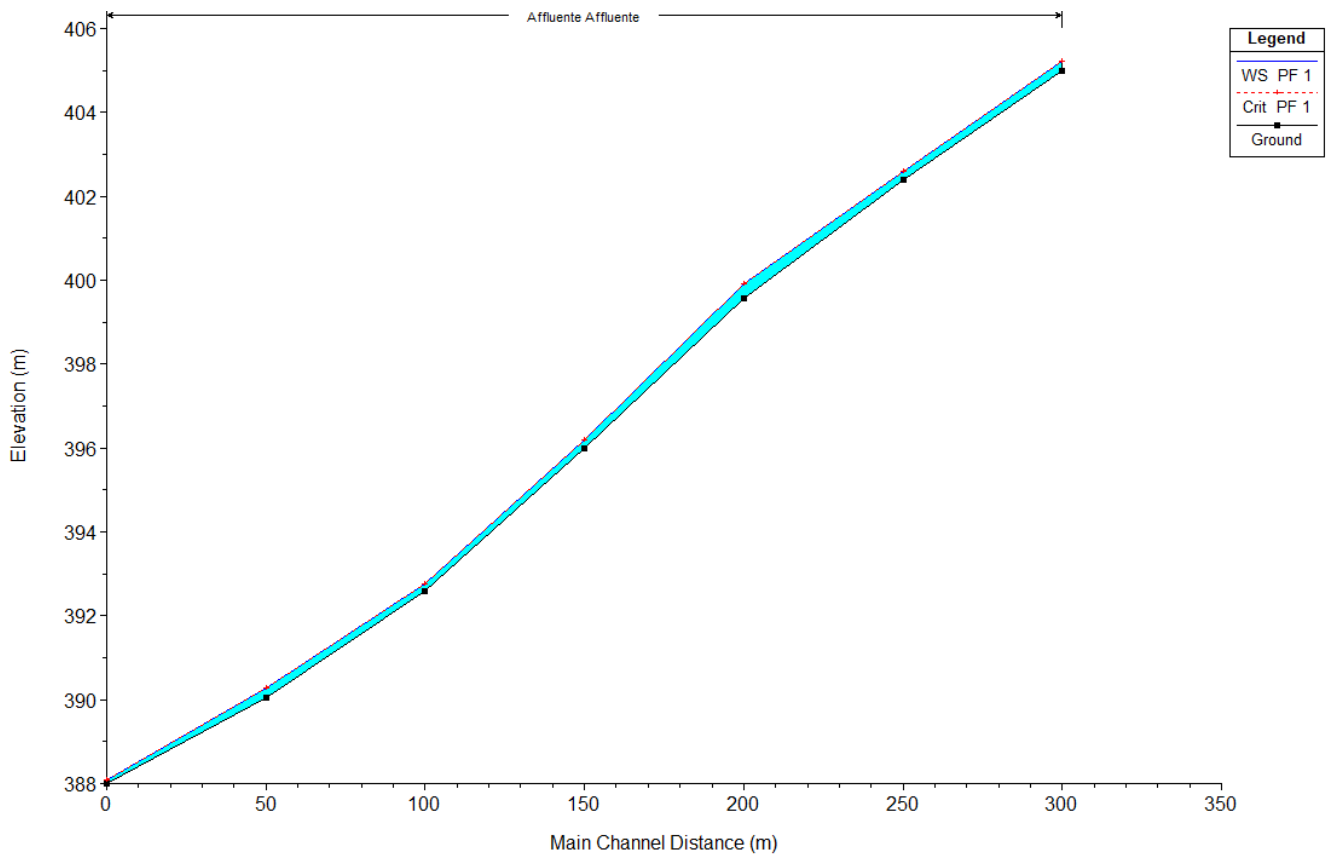


Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras.

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
Affluente	7	PF 1	2.27	405.00	405.21	405.21	405.29	0.030376	1.19	1.90	13.23	1.01
Affluente	7	PF 2	2.98	405.00	405.24	405.24	405.33	0.029167	1.28	2.33	14.14	1.01
Affluente	7	PF 3	3.33	405.00	405.26	405.26	405.35	0.028743	1.32	2.53	14.54	1.01
Affluente	6	PF 1	2.27	402.40	402.61	402.61	402.67	0.032168	1.09	2.08	17.22	1.01
Affluente	6	PF 2	2.98	402.40	402.63	402.63	402.70	0.031392	1.17	2.55	18.85	1.01
Affluente	6	PF 3	3.33	402.40	402.64	402.64	402.72	0.030669	1.19	2.79	19.61	1.01
Affluente	5	PF 1	2.27	399.57	399.93	399.93	399.98	0.033390	1.05	2.16	19.61	1.01
Affluente	5	PF 2	2.98	399.57	399.95	399.95	400.01	0.030647	1.09	2.73	21.96	0.99
Affluente	5	PF 3	3.33	399.57	399.96	399.96	400.03	0.031255	1.13	2.95	22.78	1.00
Affluente	4	PF 1	2.27	396.00	396.21	396.21	396.27	0.031112	1.08	2.10	17.27	0.99
Affluente	4	PF 2	2.98	396.00	396.23	396.23	396.30	0.029693	1.15	2.60	18.94	0.99
Affluente	4	PF 3	3.33	396.00	396.24	396.24	396.32	0.029933	1.18	2.81	19.61	1.00
Affluente	3	PF 1	2.27	392.58	392.76	392.76	392.81	0.033289	1.04	2.18	20.04	1.01
Affluente	3	PF 2	2.98	392.58	392.78	392.78	392.84	0.031382	1.11	2.68	21.26	1.00
Affluente	3	PF 3	3.33	392.58	392.79	392.79	392.86	0.031431	1.15	2.89	21.76	1.01
Affluente	2	PF 1	2.27	390.05	390.29	390.29	390.35	0.031993	1.11	2.04	16.46	1.01
Affluente	2	PF 2	2.98	390.05	390.31	390.31	390.38	0.031191	1.18	2.52	18.21	1.01
Affluente	2	PF 3	3.33	390.05	390.33	390.33	390.40	0.030526	1.21	2.76	19.02	1.01
Affluente	1	PF 1	2.27	388.00	388.09	388.09	388.13	0.036287	0.89	2.55	31.66	1.00
Affluente	1	PF 2	2.98	388.00	388.11	388.11	388.16	0.034493	0.96	3.11	33.15	1.00
Affluente	1	PF 3	3.33	388.00	388.12	388.12	388.17	0.033729	0.99	3.37	33.84	1.00

**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**





**Profilo longitudinale di moto permanente**

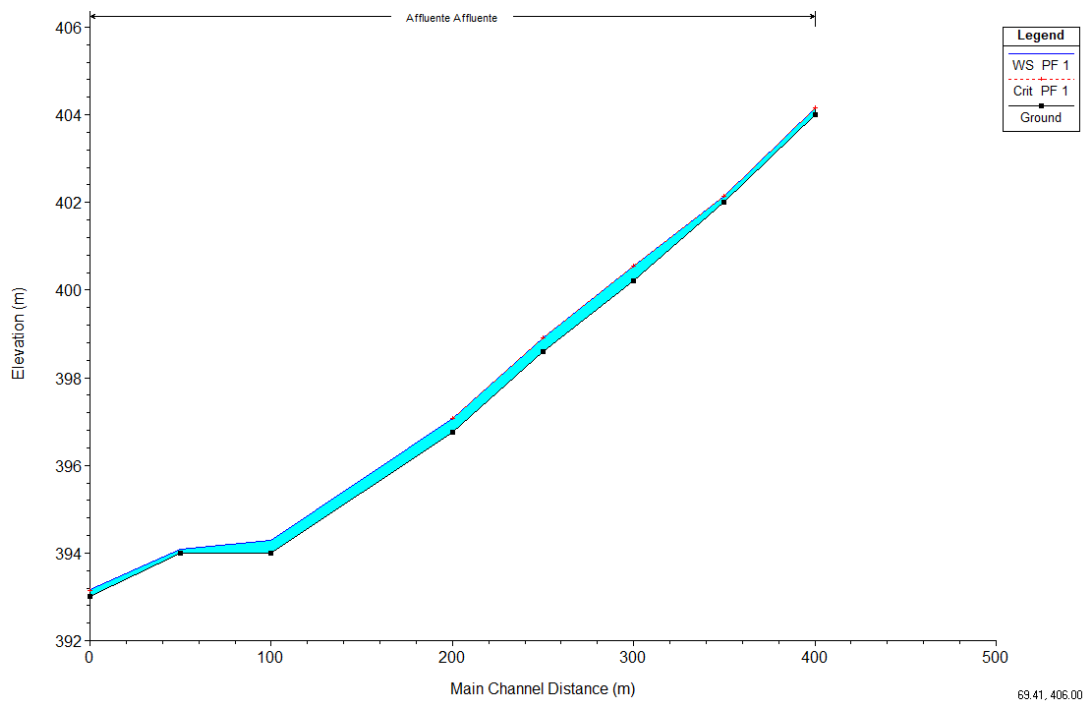
(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r = 200$  anni)



## Bacino 4



Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras



Profilo longitudinale di moto permanente

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r = 200$  anni)

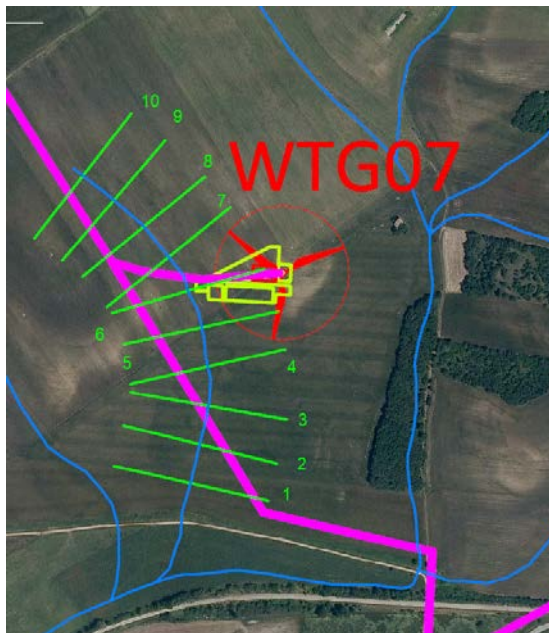


Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Affluente	9	PF 1	4.87	404.00	404.17	404.17	404.24	0.030873	1.17	4.15	30.06	1.01
Affluente	9	PF 2	6.38	404.00	404.20	404.20	404.28	0.029199	1.26	5.05	31.46	1.01
Affluente	9	PF 3	7.10	404.00	404.21	404.21	404.30	0.028426	1.30	5.48	32.10	1.00
Affluente	8	PF 1	4.87	402.00	402.15	402.15	402.21	0.031836	1.08	4.51	37.90	1.00
Affluente	8	PF 2	6.38	402.00	402.17	402.17	402.24	0.030257	1.17	5.47	39.31	1.00
Affluente	8	PF 3	7.10	402.00	402.18	402.18	402.26	0.030304	1.21	5.86	39.81	1.01
Affluente	7	PF 1	4.87	400.22	400.54	400.54	400.63	0.028275	1.33	3.67	20.69	1.01
Affluente	7	PF 2	6.38	400.22	400.58	400.58	400.68	0.028005	1.38	4.64	24.57	1.01
Affluente	7	PF 3	7.10	400.22	400.60	400.60	400.70	0.027705	1.40	5.09	26.18	1.01
Affluente	6	PF 1	4.87	398.59	398.91	398.91	398.98	0.032930	1.15	4.24	33.23	1.03
Affluente	6	PF 2	6.38	398.59	398.94	398.94	399.01	0.031250	1.23	5.17	35.00	1.03
Affluente	6	PF 3	7.10	398.59	398.95	398.95	399.03	0.030362	1.27	5.61	35.80	1.02
Affluente	5	PF 1	4.87	396.75	397.08	397.08	397.12	0.038824	0.88	5.54	73.64	1.02
Affluente	5	PF 2	6.38	396.75	397.09	397.09	397.14	0.035547	0.95	6.71	74.05	1.01
Affluente	5	PF 3	7.10	396.75	397.10	397.10	397.15	0.037143	1.00	7.07	74.17	1.04
Affluente	3	PF 1	4.87	394.00	394.29		394.29	0.001587	0.36	13.67	63.93	0.25
Affluente	3	PF 2	6.38	394.00	394.32		394.33	0.001799	0.40	15.81	67.33	0.27
Affluente	3	PF 3	7.10	394.00	394.33		394.34	0.001874	0.42	16.71	67.85	0.27
Affluente	2	PF 1	4.87	394.00	394.09		394.11	0.016752	0.61	7.93	96.02	0.68
Affluente	2	PF 2	6.38	394.00	394.10		394.13	0.016386	0.67	9.45	97.62	0.69
Affluente	2	PF 3	7.10	394.00	394.11	394.09	394.13	0.016397	0.70	10.11	98.30	0.70
Affluente	1	PF 1	4.87	393.00	393.16	393.13	393.19	0.020018	0.83	5.90	52.29	0.78
Affluente	1	PF 2	6.38	393.00	393.18	393.16	393.22	0.020023	0.89	7.16	56.59	0.80
Affluente	1	PF 3	7.10	393.00	393.19	393.17	393.23	0.020024	0.92	7.73	58.36	0.81

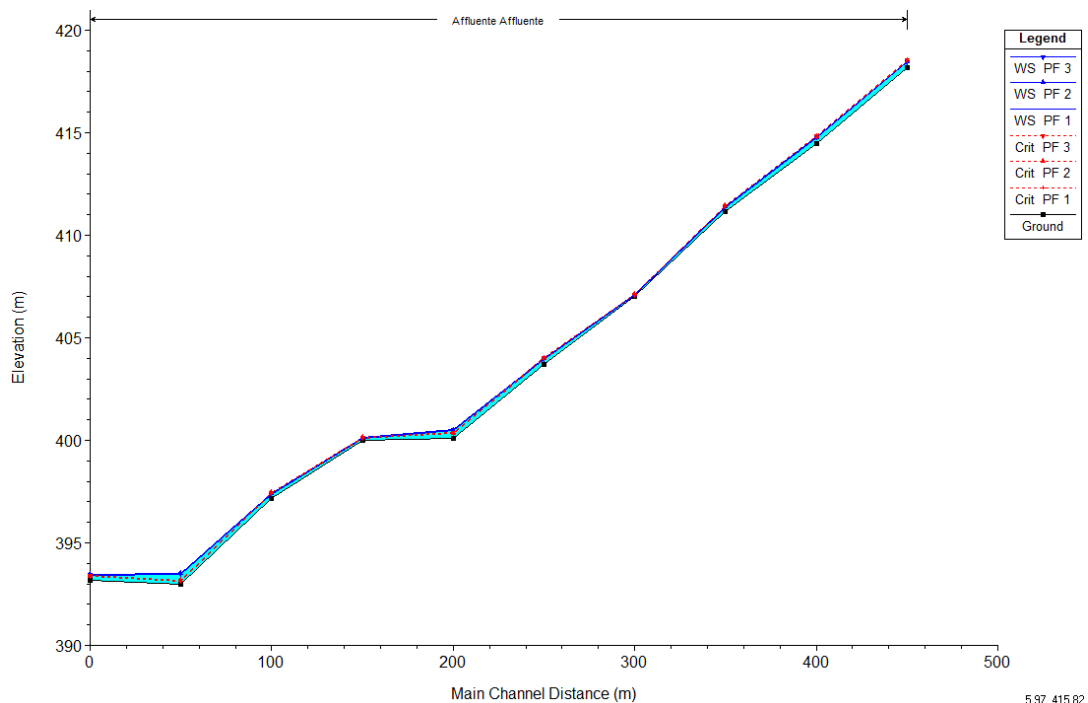
**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**



### Bacino 5



**Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras**



**Profilo longitudinale di moto permanente**

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r = 200$  anni)



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
Affluente	10	PF 1	2.50	418.18	418.44	418.48	418.59	0.070076	1.70	1.47	11.29	1.50
Affluente	10	PF 2	3.30	418.18	418.47	418.52	418.64	0.070071	1.86	1.78	11.91	1.54
Affluente	10	PF 3	3.97	418.18	418.49	418.54	418.68	0.070061	1.97	2.01	12.38	1.56
Affluente	9	PF 1	2.50	414.49	414.75	414.79	414.90	0.077507	1.76	1.42	11.20	1.57
Affluente	9	PF 2	3.30	414.49	414.77	414.83	414.95	0.077685	1.89	1.74	12.32	1.60
Affluente	9	PF 3	3.97	414.49	414.79	414.85	415.00	0.077617	2.01	1.97	12.72	1.63
Affluente	8	PF 1	2.50	411.14	411.36	411.40	411.49	0.060147	1.60	1.56	11.65	1.40
Affluente	8	PF 2	3.30	411.14	411.39	411.43	411.55	0.060037	1.75	1.89	12.33	1.43
Affluente	8	PF 3	3.97	411.14	411.41	411.46	411.59	0.060105	1.86	2.14	12.83	1.45
Affluente	7	PF 1	2.50	407.00	407.08	407.10	407.16	0.134182	1.30	1.92	35.86	1.79
Affluente	7	PF 2	3.30	407.00	407.09	407.12	407.19	0.136041	1.45	2.28	36.52	1.85
Affluente	7	PF 3	3.97	407.00	407.10	407.13	407.22	0.137112	1.56	2.55	37.03	1.89
Affluente	6	PF 1	2.50	403.69	403.95	403.95	404.02	0.036323	1.16	2.16	17.98	1.07
Affluente	6	PF 2	3.30	403.69	403.97	403.98	404.05	0.035913	1.22	2.70	20.58	1.08
Affluente	6	PF 3	3.97	403.69	403.99	404.02	404.08	0.035673	1.27	3.13	22.42	1.09
Affluente	5	PF 1	2.50	400.08	400.46	400.32	400.47	0.002646	0.48	5.24	23.18	0.32
Affluente	5	PF 2	3.30	400.08	400.50	400.34	400.52	0.002873	0.53	6.20	24.72	0.34
Affluente	5	PF 3	3.97	400.08	400.53	400.37	400.55	0.003037	0.57	6.93	25.85	0.35
Affluente	4	PF 1	2.50	400.00	400.11	400.11	400.14	0.037751	0.86	2.93	39.84	1.01
Affluente	4	PF 2	3.30	400.00	400.12	400.12	400.16	0.036150	0.93	3.57	41.66	1.01
Affluente	4	PF 3	3.97	400.00	400.13	400.13	400.18	0.034640	0.98	4.07	42.63	1.01
Affluente	3	PF 1	2.50	397.14	397.37	397.42	397.52	0.079150	1.67	1.50	12.98	1.57
Affluente	3	PF 2	3.30	397.14	397.40	397.45	397.56	0.080660	1.80	1.83	14.35	1.61
Affluente	3	PF 3	3.97	397.14	397.41	397.47	397.60	0.086758	1.94	2.05	15.18	1.68
Affluente	2	PF 1	2.50	393.00	393.45	393.14	393.45	0.000059	0.09	27.22	81.76	0.05
Affluente	2	PF 2	3.30	393.00	393.49	393.17	393.49	0.000070	0.11	30.57	82.09	0.06
Affluente	2	PF 3	3.97	393.00	393.52	393.18	393.52	0.000079	0.12	33.09	82.34	0.06
Affluente	1	PF 1	2.50	393.17	393.41	393.35	393.44	0.010000	0.75	3.33	20.23	0.59
Affluente	1	PF 2	3.30	393.17	393.44	393.38	393.48	0.010016	0.81	4.07	22.06	0.60
Affluente	1	PF 3	3.97	393.17	393.47	393.40	393.51	0.010004	0.85	4.66	23.41	0.61

**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**

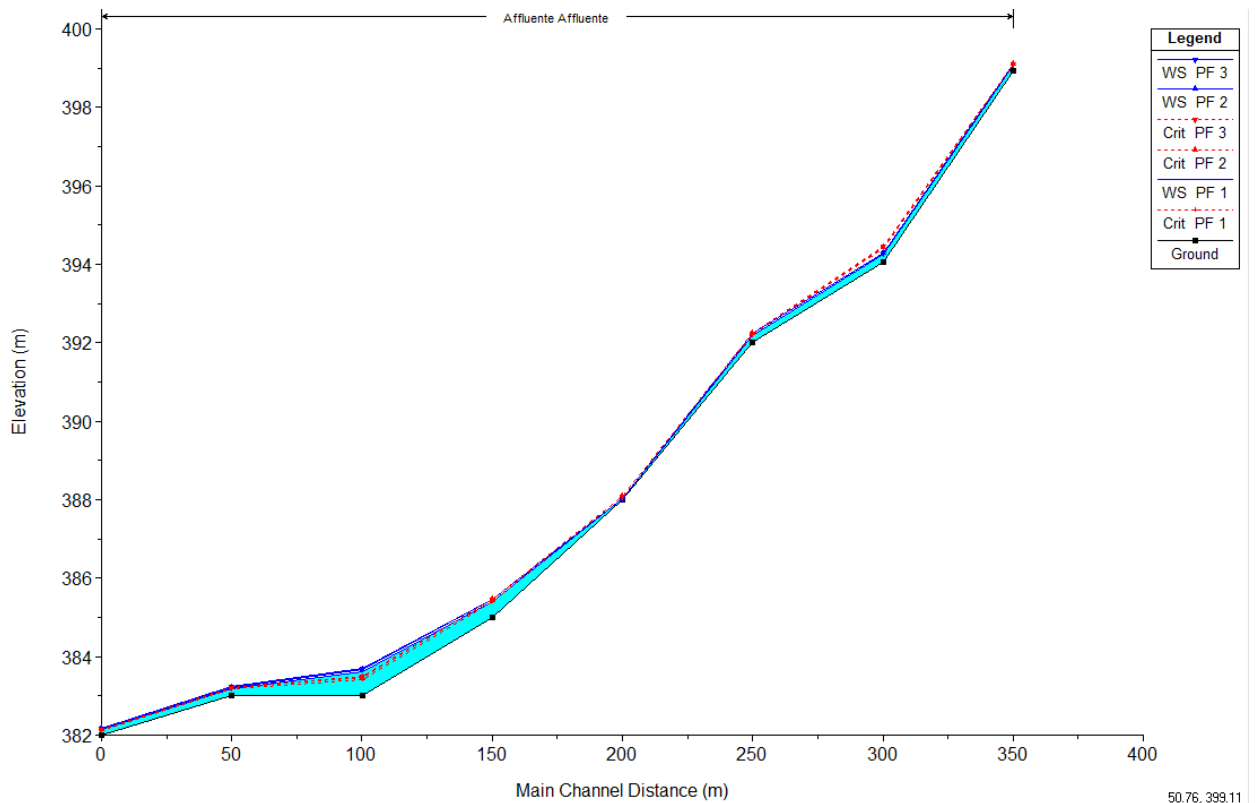




### Bacino 6



Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras



Profilo longitudinale di moto permanente



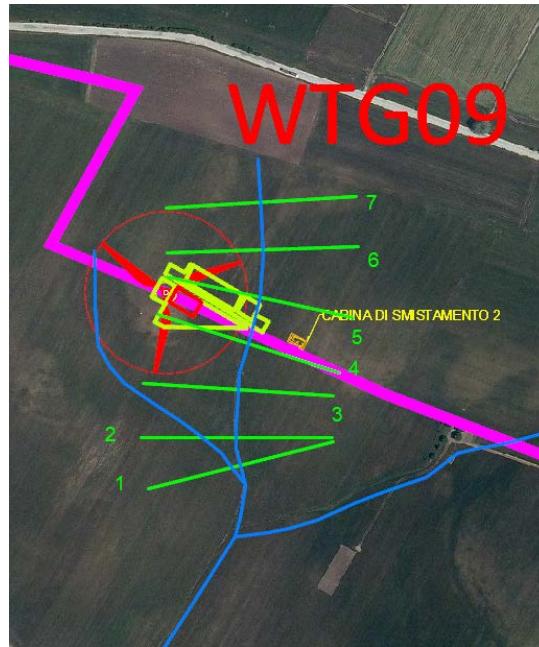
(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con Tr= 200 anni)

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
Affluente	8	PF 1	5.02	398.94	399.09	399.09	399.14	0.035036	0.98	5.15	54.05	1.01
Affluente	8	PF 2	6.60	398.94	399.11	399.11	399.17	0.033200	1.05	6.26	56.13	1.01
Affluente	8	PF 3	7.30	398.94	399.12	399.12	399.18	0.032504	1.08	6.73	56.99	1.01
Affluente	7	PF 1	5.02	394.06	394.26	394.40	394.89	0.403398	3.50	1.43	14.00	3.49
Affluente	7	PF 2	6.60	394.06	394.28	394.44	395.04	0.430644	3.84	1.72	15.16	3.64
Affluente	7	PF 3	7.30	394.06	394.29	394.46	395.12	0.453204	4.04	1.81	15.49	3.78
Affluente	6	PF 1	5.02	392.00	392.20	392.20	392.26	0.031180	1.12	4.48	36.06	1.00
Affluente	6	PF 2	6.60	392.00	392.23	392.23	392.30	0.029459	1.19	5.61	40.53	0.99
Affluente	6	PF 3	7.30	392.00	392.24	392.24	392.31	0.028759	1.21	6.10	42.34	0.99
Affluente	5	PF 1	5.02	388.00	388.03	388.07	388.22	0.539868	1.90	2.64	78.96	3.33
Affluente	5	PF 2	6.60	388.00	388.04	388.09	388.30	0.659785	2.25	2.93	79.11	3.74
Affluente	5	PF 3	7.30	388.00	388.04	388.10	388.33	0.686217	2.37	3.07	79.18	3.85
Affluente	4	PF 1	5.02	385.00	385.40	385.40	385.52	0.026690	1.50	3.34	14.96	1.01
Affluente	4	PF 2	6.60	385.00	385.46	385.46	385.59	0.025401	1.60	4.14	16.29	1.01
Affluente	4	PF 3	7.30	385.00	385.48	385.48	385.61	0.025067	1.63	4.47	16.82	1.01
Affluente	3	PF 1	5.02	383.00	383.61	383.42	383.65	0.004154	0.80	6.30	18.07	0.43
Affluente	3	PF 2	6.60	383.00	383.67	383.48	383.71	0.004571	0.89	7.42	19.39	0.46
Affluente	3	PF 3	7.30	383.00	383.70	383.50	383.74	0.004786	0.93	7.85	19.87	0.47
Affluente	2	PF 1	5.02	383.00	383.19	383.18	383.24	0.022630	0.96	5.21	40.21	0.85
Affluente	2	PF 2	6.60	383.00	383.22	383.21	383.27	0.022777	1.04	6.36	44.16	0.87
Affluente	2	PF 3	7.30	383.00	383.23	383.22	383.29	0.022623	1.07	6.85	45.37	0.88
Affluente	1	PF 1	5.02	382.00	382.14	382.12	382.18	0.019997	0.89	5.65	44.77	0.80
Affluente	1	PF 2	6.60	382.00	382.16	382.14	382.21	0.020040	0.98	6.71	45.81	0.82
Affluente	1	PF 3	7.30	382.00	382.17	382.15	382.22	0.020039	1.02	7.16	46.24	0.83

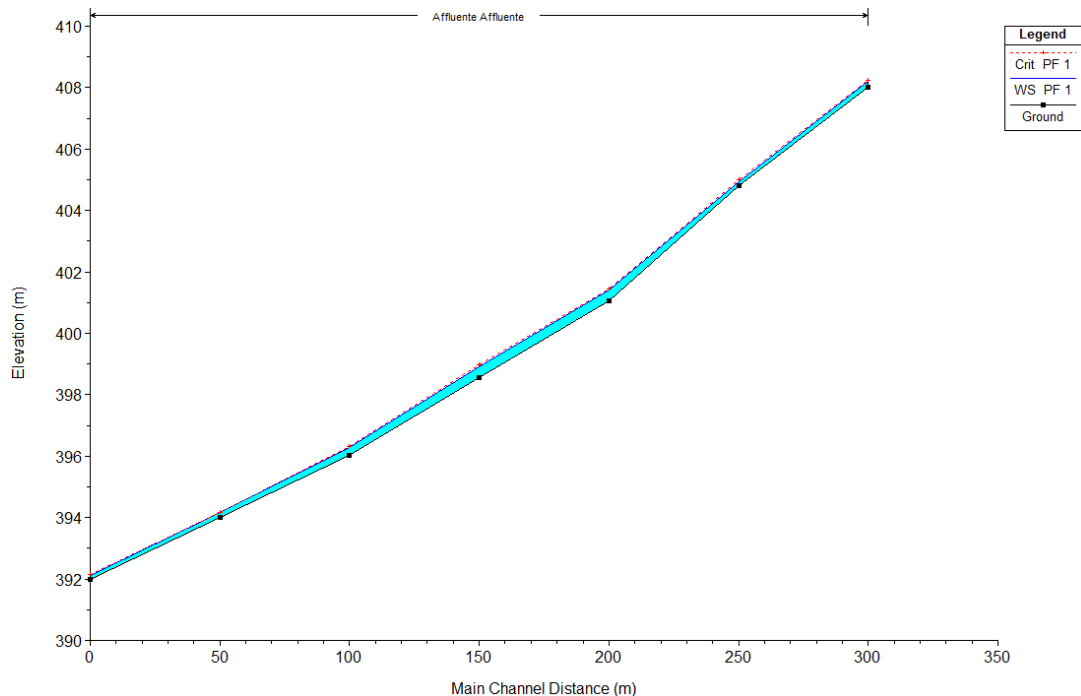
**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**



## Bacino 7



Planimetria con indicazione delle sezioni su Hec-Ras



Profilo longitudinale di moto permanente

(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con  $T_r = 200$  anni)



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
Affluente	7	PF 1	5.00	408.00	408.21	408.23	408.33	0.040052	1.54	3.25	19.00	1.19
Affluente	7	PF 2	6.60	408.00	408.24	408.27	408.39	0.040052	1.70	3.88	19.60	1.22
Affluente	7	PF 3	7.40	408.00	408.26	408.29	408.42	0.040069	1.77	4.18	19.88	1.23
Affluente	6	PF 1	5.00	404.81	404.95	405.01	405.13	0.117191	1.89	2.65	25.59	1.87
Affluente	6	PF 2	6.60	404.81	404.97	405.04	405.19	0.116962	2.08	3.17	26.40	1.92
Affluente	6	PF 3	7.40	404.81	404.98	405.05	405.22	0.116698	2.17	3.41	26.70	1.93
Affluente	5	PF 1	5.00	401.07	401.41	401.45	401.58	0.047578	1.81	2.77	14.51	1.32
Affluente	5	PF 2	6.60	401.07	401.45	401.50	401.65	0.047303	1.96	3.37	15.57	1.34
Affluente	5	PF 3	7.40	401.07	401.47	401.52	401.68	0.047295	2.03	3.65	16.04	1.35
Affluente	4	PF 1	5.00	398.55	398.92	398.96	399.05	0.053330	1.56	3.21	22.82	1.33
Affluente	4	PF 2	6.60	398.55	398.95	398.99	399.10	0.054374	1.72	3.83	23.79	1.37
Affluente	4	PF 3	7.40	398.55	398.96	399.01	399.13	0.054613	1.79	4.13	24.24	1.39
Affluente	3	PF 1	5.00	396.03	396.29	396.31	396.39	0.052716	1.45	3.44	26.98	1.30
Affluente	3	PF 2	6.60	396.03	396.31	396.35	396.44	0.052018	1.55	4.26	30.02	1.31
Affluente	3	PF 3	7.40	396.03	396.33	396.36	396.46	0.051886	1.59	4.64	31.35	1.32
Affluente	2	PF 1	5.00	394.00	394.15	394.15	394.21	0.036292	1.06	4.71	44.73	1.04
Affluente	2	PF 2	6.60	394.00	394.17	394.18	394.24	0.037051	1.18	5.58	45.69	1.08
Affluente	2	PF 3	7.40	394.00	394.18	394.19	394.26	0.037247	1.24	5.99	46.14	1.10
Affluente	1	PF 1	5.00	392.00	392.12	392.13	392.20	0.044627	1.25	4.00	34.74	1.18
Affluente	1	PF 2	6.60	392.00	392.14	392.16	392.24	0.043270	1.37	4.80	35.30	1.19
Affluente	1	PF 3	7.40	392.00	392.16	392.17	392.26	0.042944	1.43	5.17	35.56	1.20

**Parametri idraulici del calcolo in moto permanente**



## **8. CONCLUSIONI**

Dall'analisi dei risultati condotti con il presente studio, con il quale sono stati determinati i profili di moto permanente al variare del tempo di ritorno, si è potuto evincere che sia gli aerogeneratori (comprese opere accessorie quali cabina elettrica e piazzola) che le nuove opere stradali risultano esterne alle aree inondabili duecentennali.

Si può, pertanto, asserire che la realizzazione delle torri e delle opere accessorie, non comportano alcuna modifica al perimetro delle aree inondabili, e nessuna variazione del livello di sicurezza delle aree adiacenti.

Relativamente alle intersezioni del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico, **si può asserire che la realizzazione mediante la tecnica della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.), che prevede una posa del cavo ad una profondità di 2 m dal fondo alveo, non comporta alcuna modifica alla morfologia del reticolo idrografico, garantendo allo stesso tempo un ampio margine di sicurezza idraulica, sia nei confronti dei deflussi superficiali che di quelli (eventuali) sotterranei.**

Nella condizione dello stato di progetto si è potuto desumere che le opere di adeguamento non comportano alcuna modifica della morfologia dell'alveo e nessuna variazione del livello di sicurezza delle aree adiacenti.

**Pertanto, gli interventi di progetto risultano essere compatibili con le finalità e le prescrizioni del PAI.**



Consulenza: **Atech srl**

Proponente: **ITW SPINAZZOLA 1 srl**

**PROGETTO DEFINITIVO**

*Progetto per la realizzazione di un impianto eolico costituito da 11 turbine e relative opere di connessione da realizzarsi nel comune di Spinazzola*

## **9. ALLEGATI**

ALLEGATO 1 – Individuazione dei Bacini Idrografici su Ortofoto

ALLEGATO 2 – Individuazione dei Bacini Idrografici su IGM 1:25.000

ALLEGATO 3 – Viabilità da adeguare e di nuova realizzazione

ALLEGATO 4 – Quaderno delle sezioni

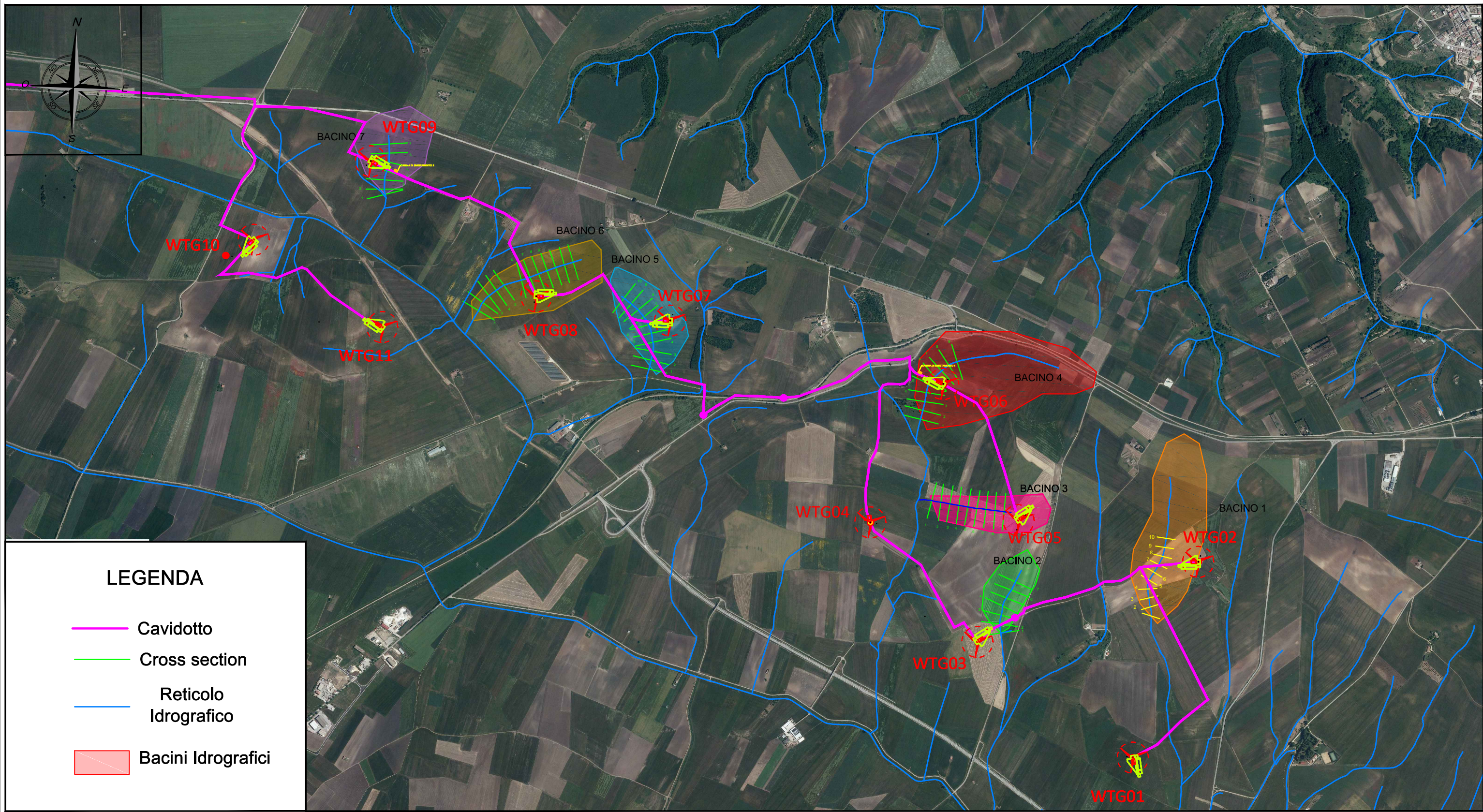


Elaborato: **Studio di Compatibilità Idrologica-Idraulica**

Rev. 0 – Dicembre 2019

Pagina 85 di 85

# STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO IN LOCALITÀ "SANTA LUCIA" NEL COMUNE DI SPINAZZOLA ( BT)



## LEGENDA

- Cavidotto
- Cross section
- Reticolo Idrografico
- Bacini Idrografici

Committente:  
**ITW SPINAZZOLA 1 srl,**  
 Via del Gallitello 89 in Potenza (PZ),  
 P. IVA 02054880766

Progettista:  
  
**ATECH**  
 SOCIETÀ DI INGEGNERIA &  
 SERVIZI PER L'INGEGNERIA  
Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari tel. 080 3219948 fax 080 2020986

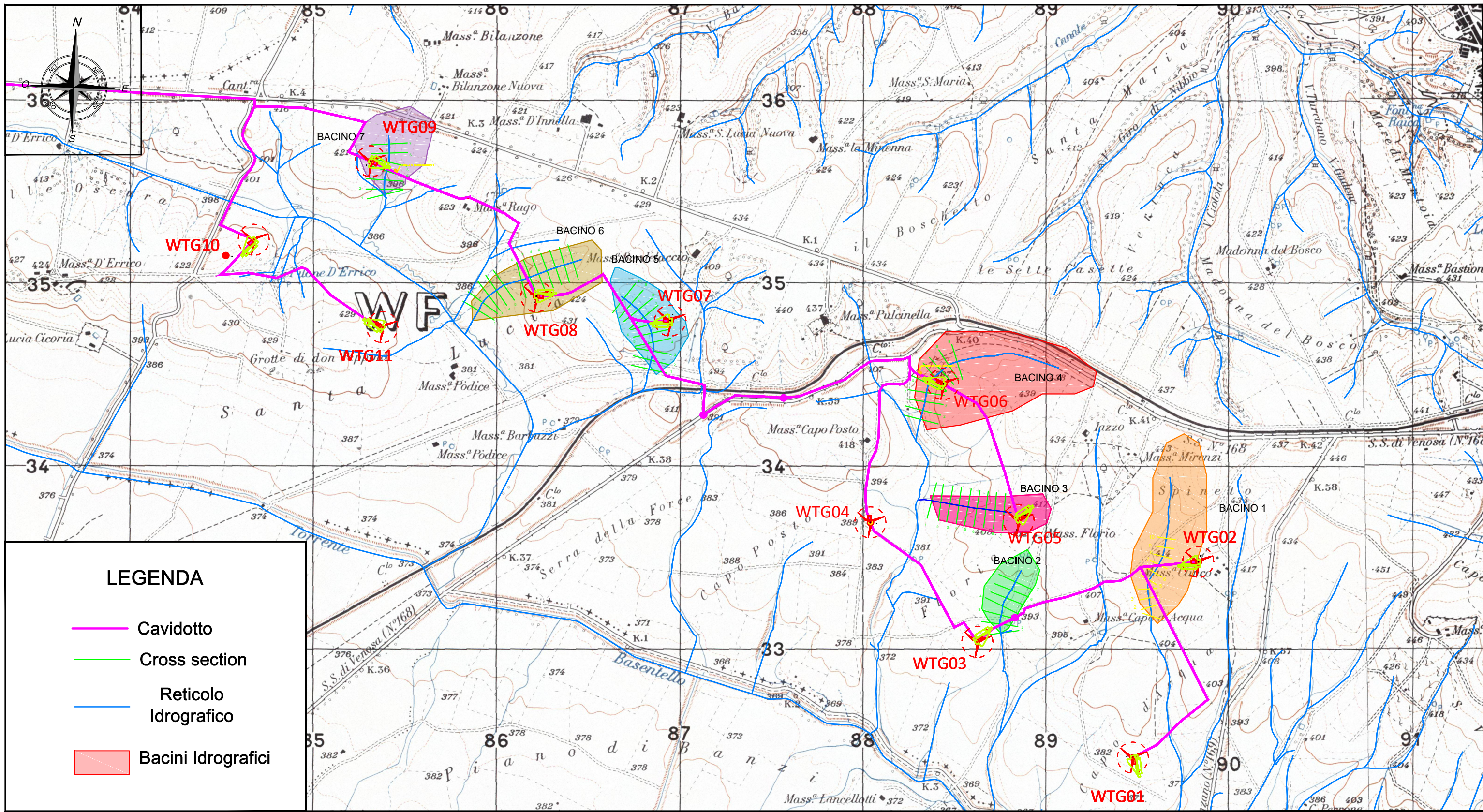
Titolo Allegato:  
**INDIVIDUAZIONE DEI BACINI  
 IDROGRAFICI**

Data: **DICEMBRE 2019**

Scala: **1:20.000**

Elaborato: **B.1**

# STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO IN LOCALITÀ "SANTA LUCIA" NEL COMUNE DI SPINAZZOLA ( BT)



Committente:  
**ITW SPINAZZOLA 1 srl,**  
 Via del Gallitello 89 in Potenza (PZ),  
 P. IVA 02054880766

Progettista:



**ATECH**  
 SOCIETÀ DI INGEGNERIA &  
 SERVIZI PER L'INGEGNERIA  
 Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari tel. 080 3219948 fax 080 2020986

Titolo Allegato:

**INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI**

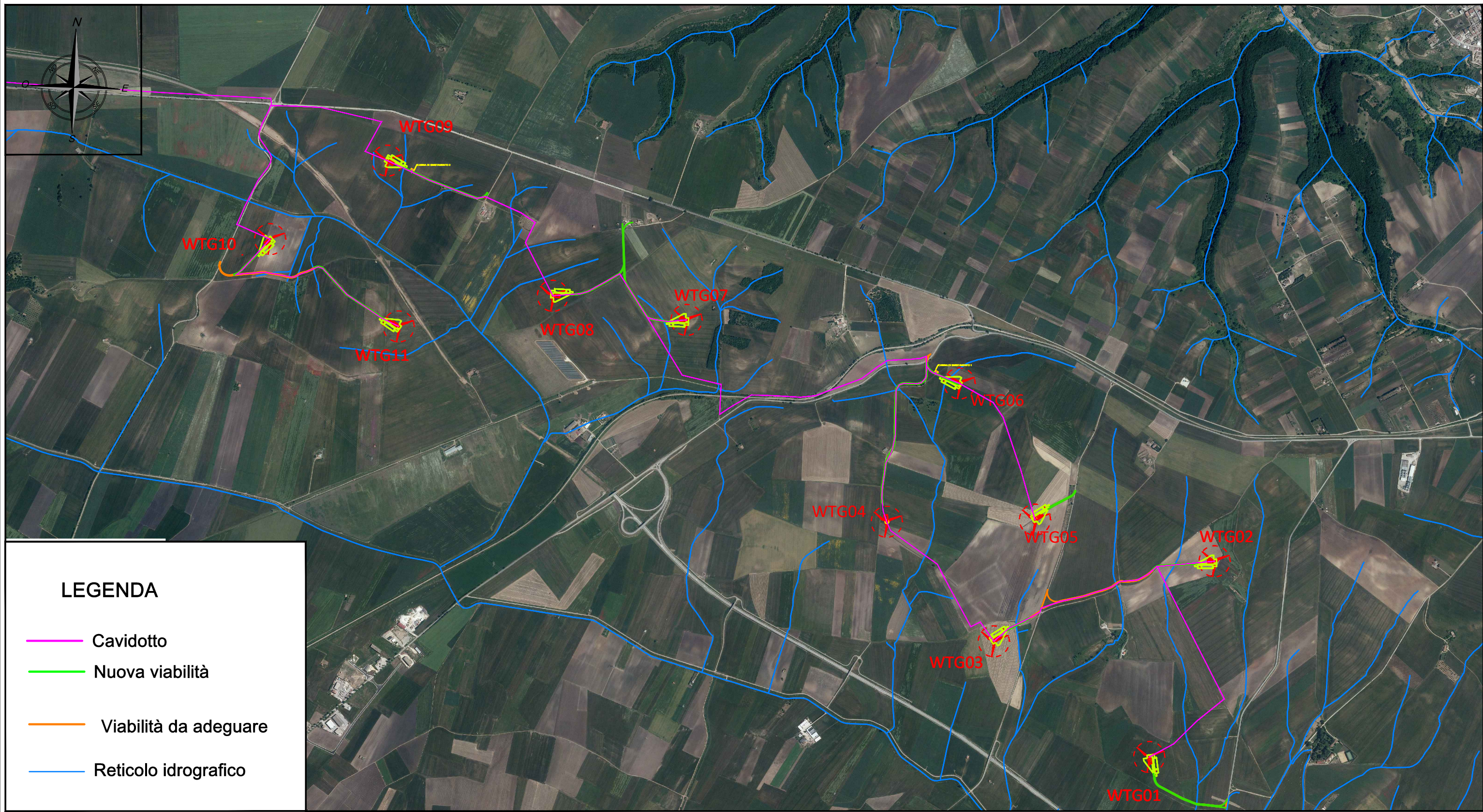
Data: **DICEMBRE 2019**

Scala: **1:20.000**

Elaborato: **B.2**



# STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDROLOGICA ED IDRAULICA RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO IN LOCALITÀ "SANTA LUCIA" NEL COMUNE DI SPINAZZOLA ( BT)



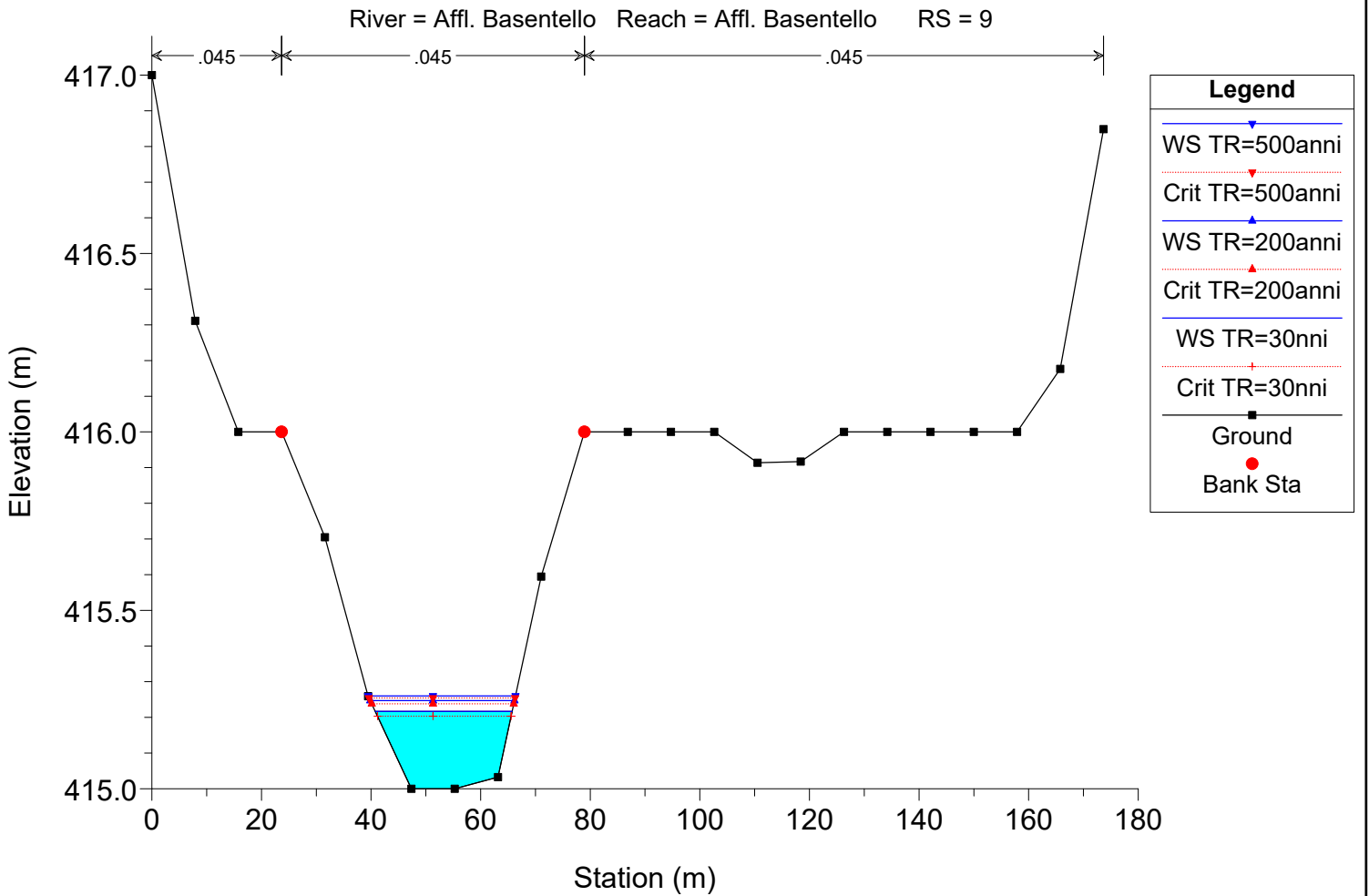
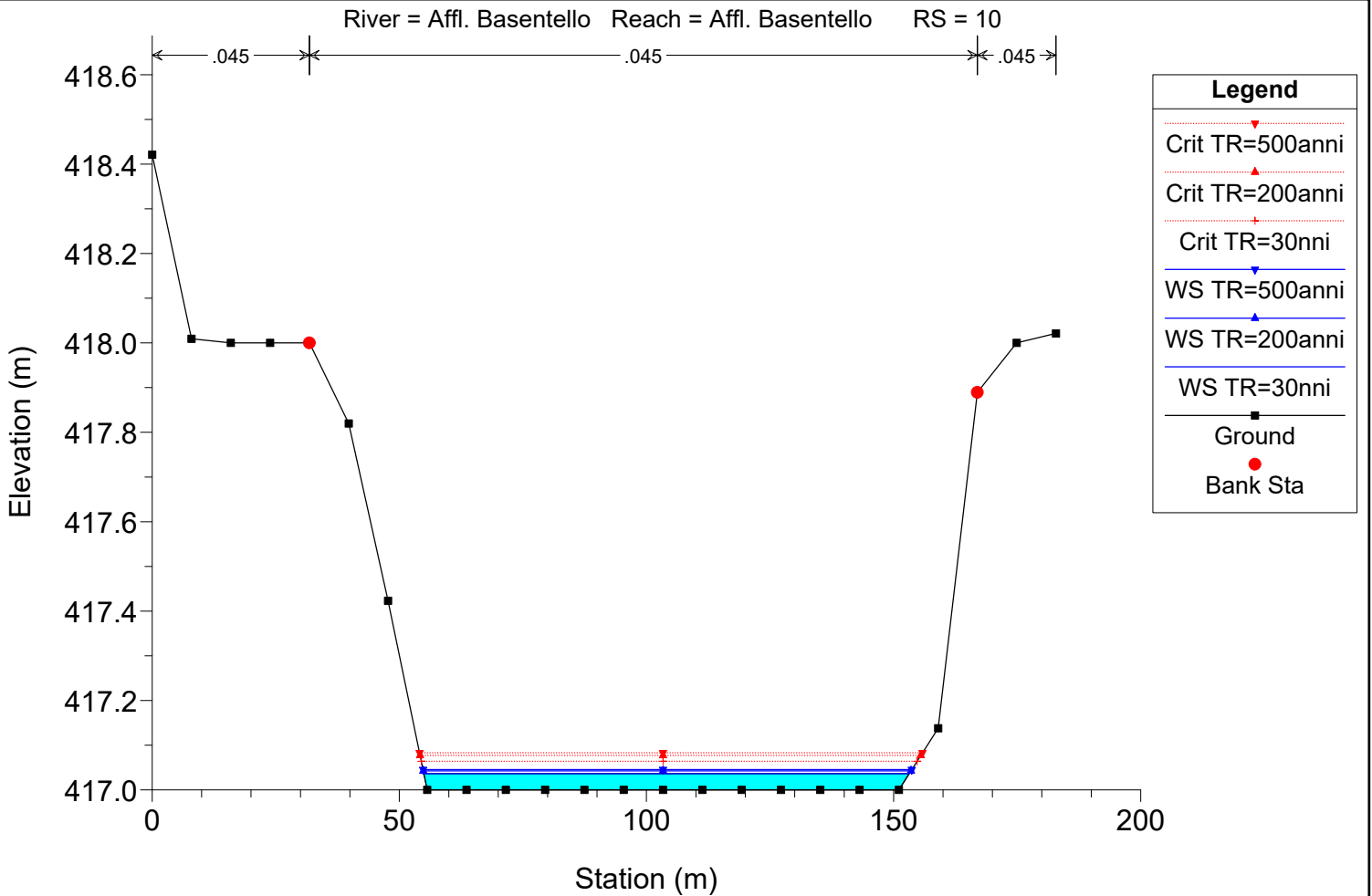
Committente:  
**ITW SPINAZZOLA 1 srl,**  
Via del Gallitello 89 in Potenza (PZ),  
P. IVA 02054880766

Progettista:  
**ATECH**  
SOCIETÀ DI INGEGNERIA &  
SERVIZI PER L'INGEGNERIA  
Via delle Basistozze, 48 - 70125 Bari tel. 080 3219948 fax 080 2020966

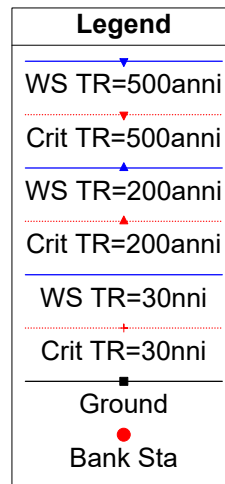
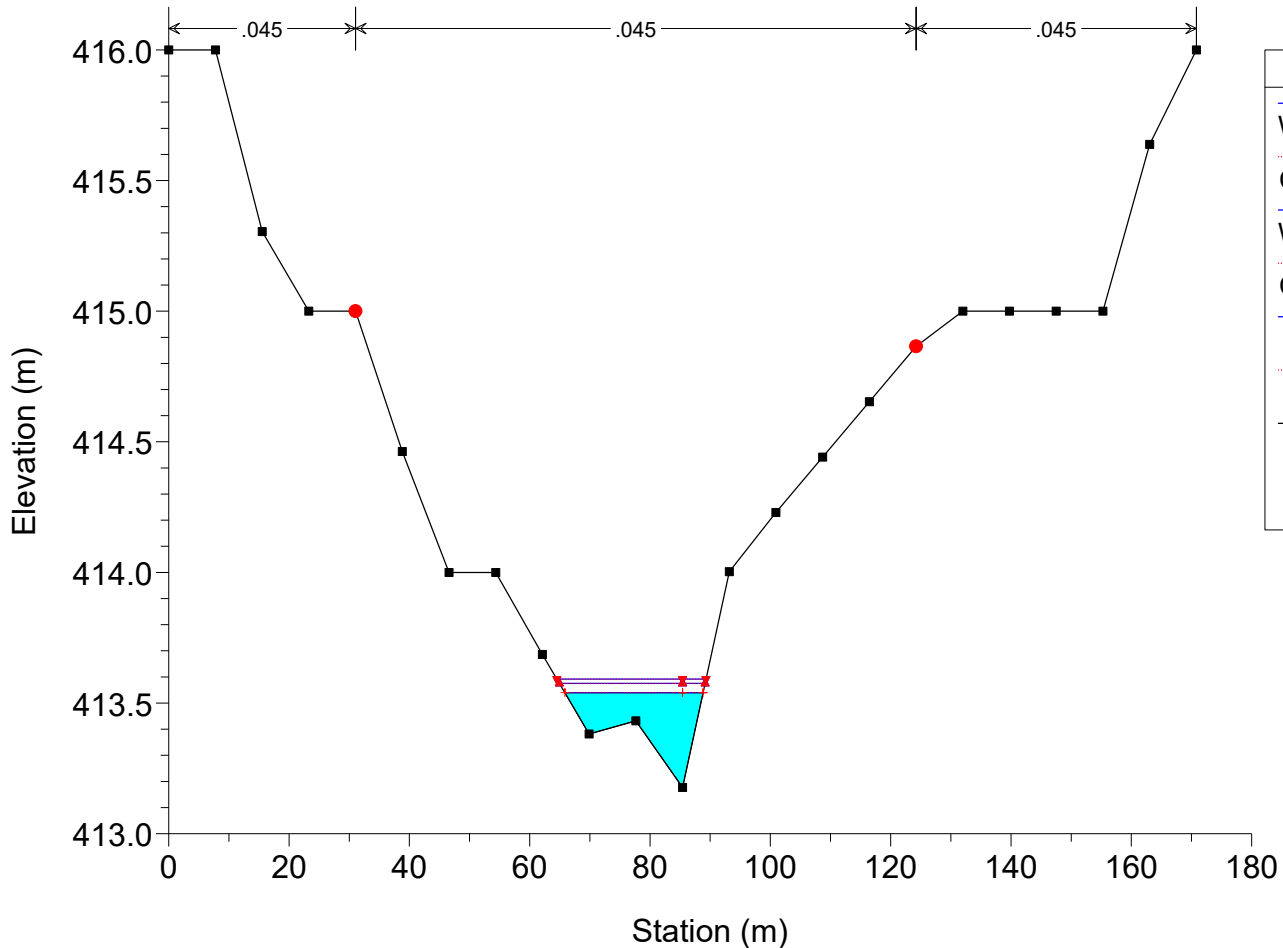
Titolo Allegato:  
*Viabilità*

Data: **DICEMBRE 2019**  
Scala: **1:20.000**  
Elaborato: **B.3**

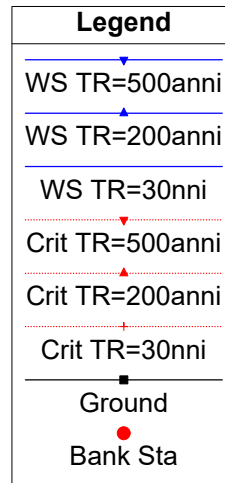
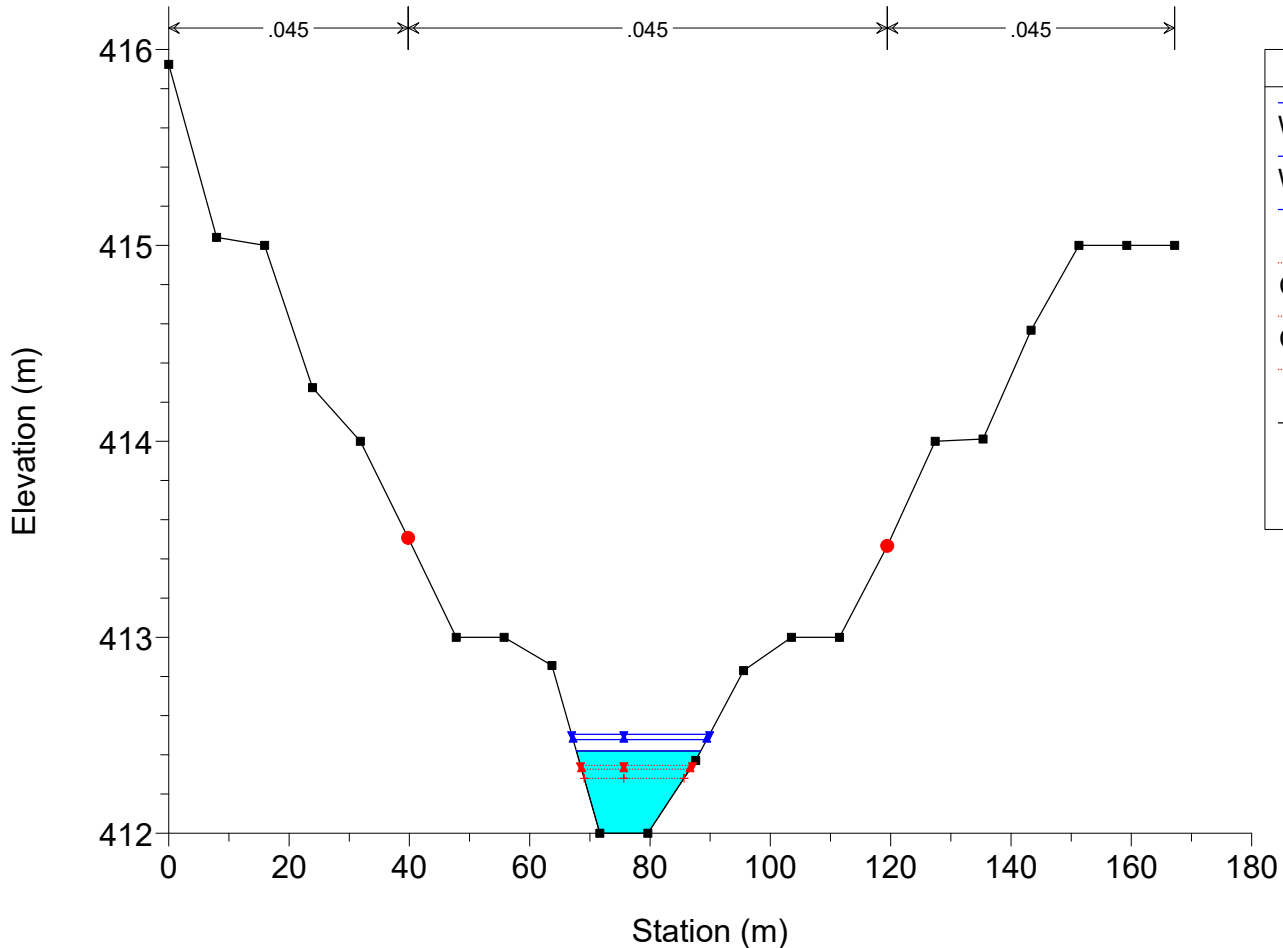
# BACINO 1



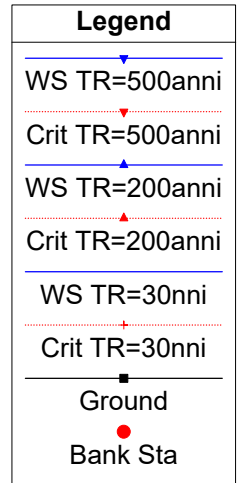
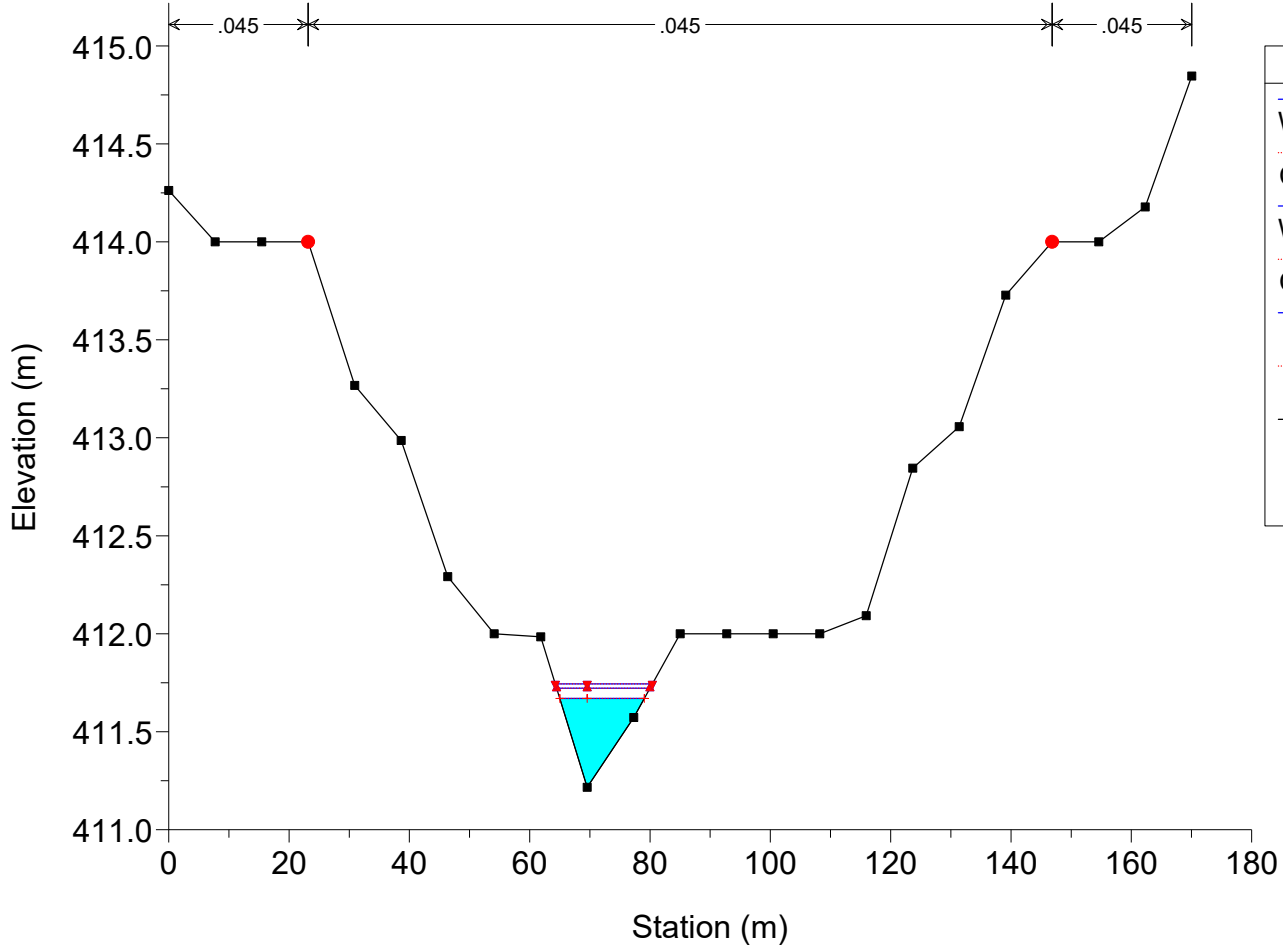
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 8



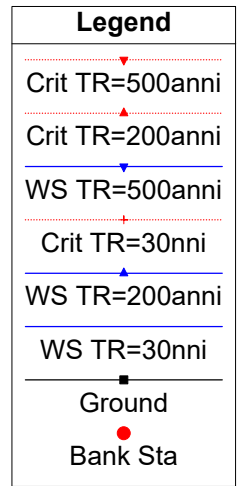
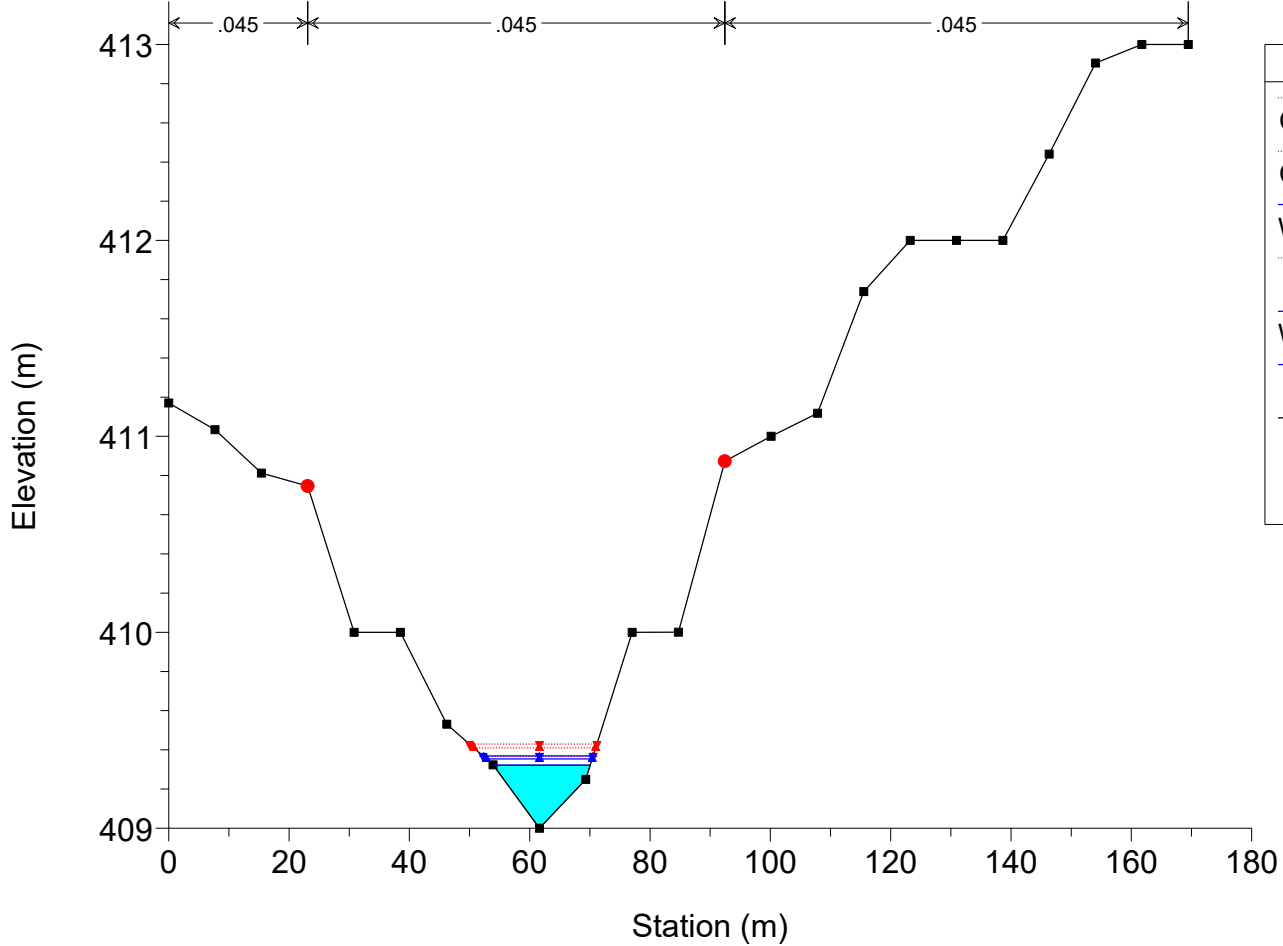
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 7



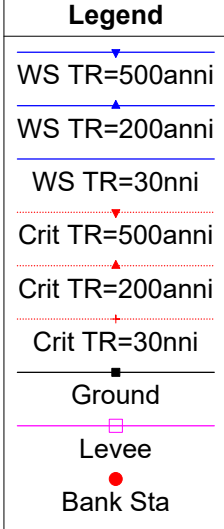
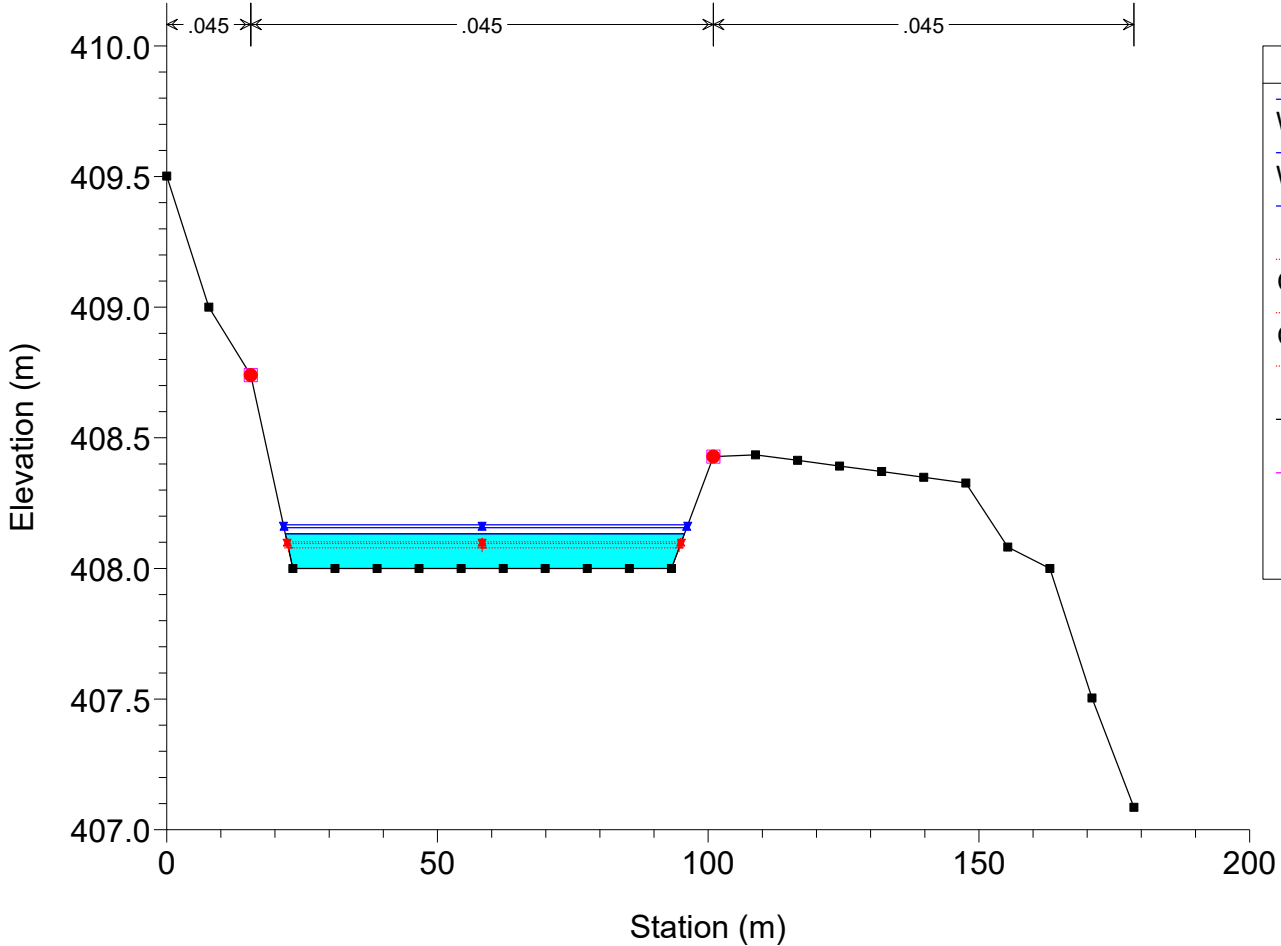
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 6



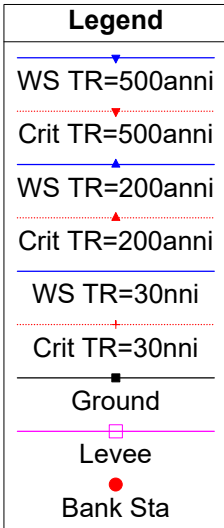
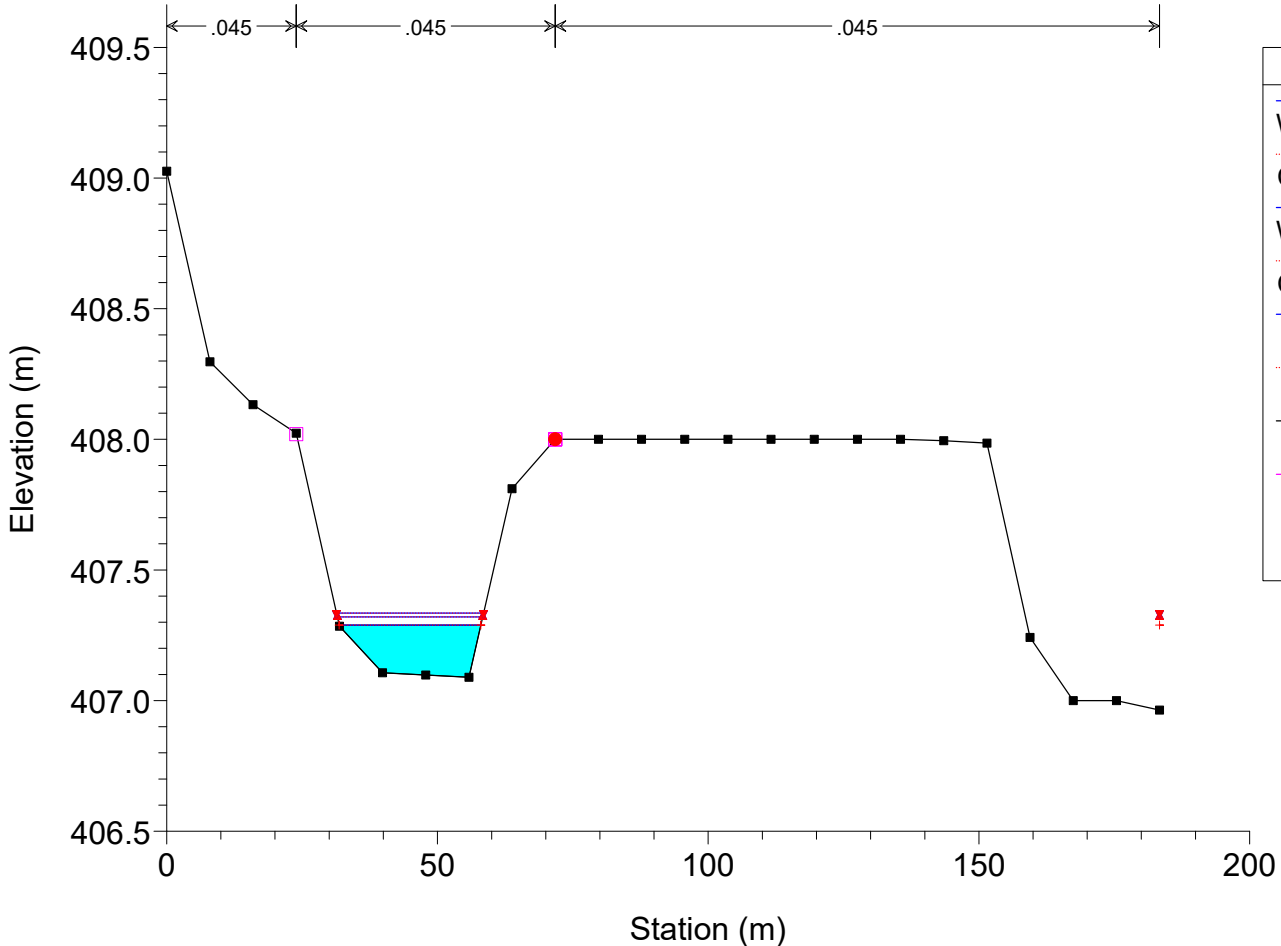
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 5



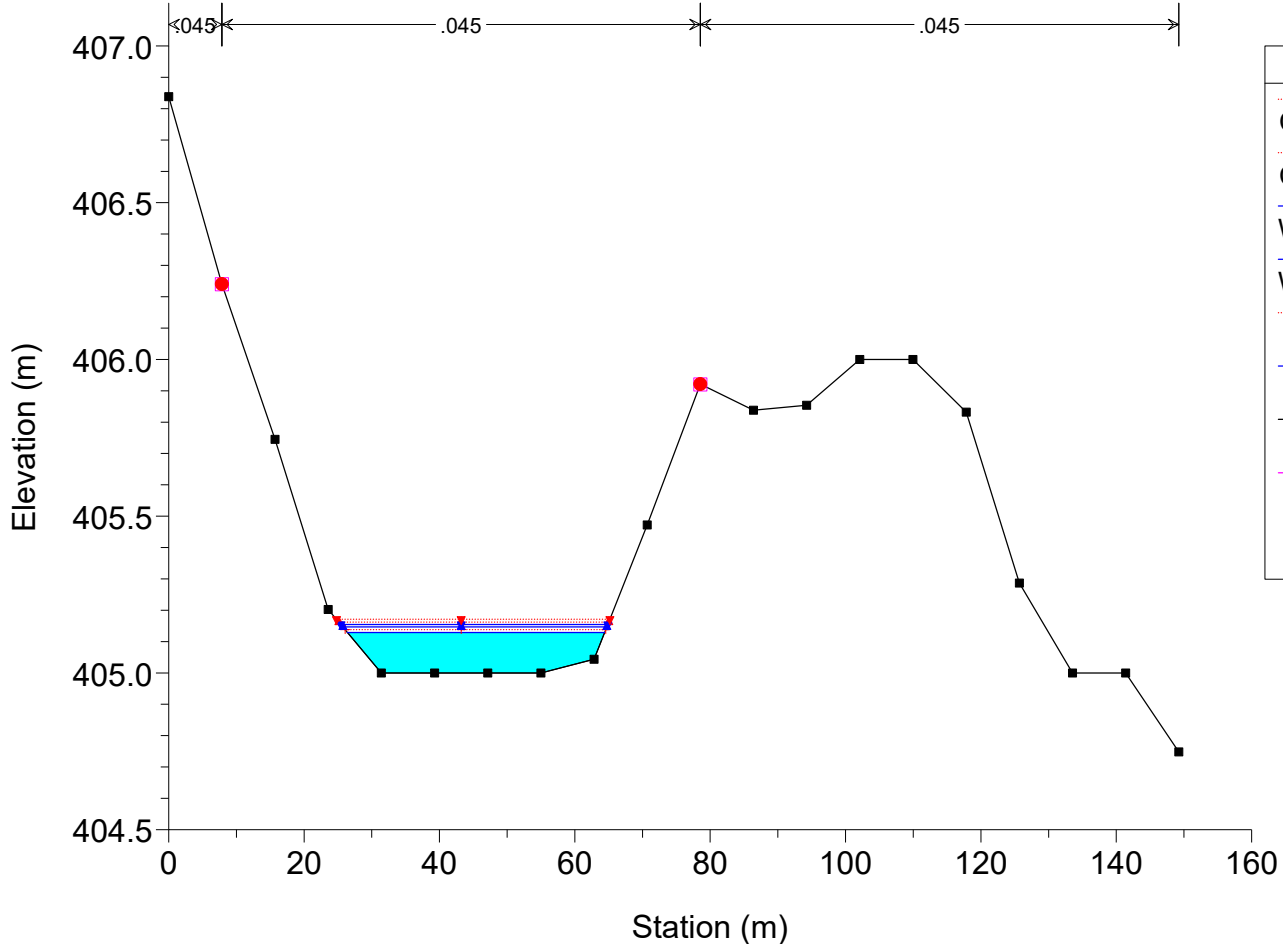
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 4



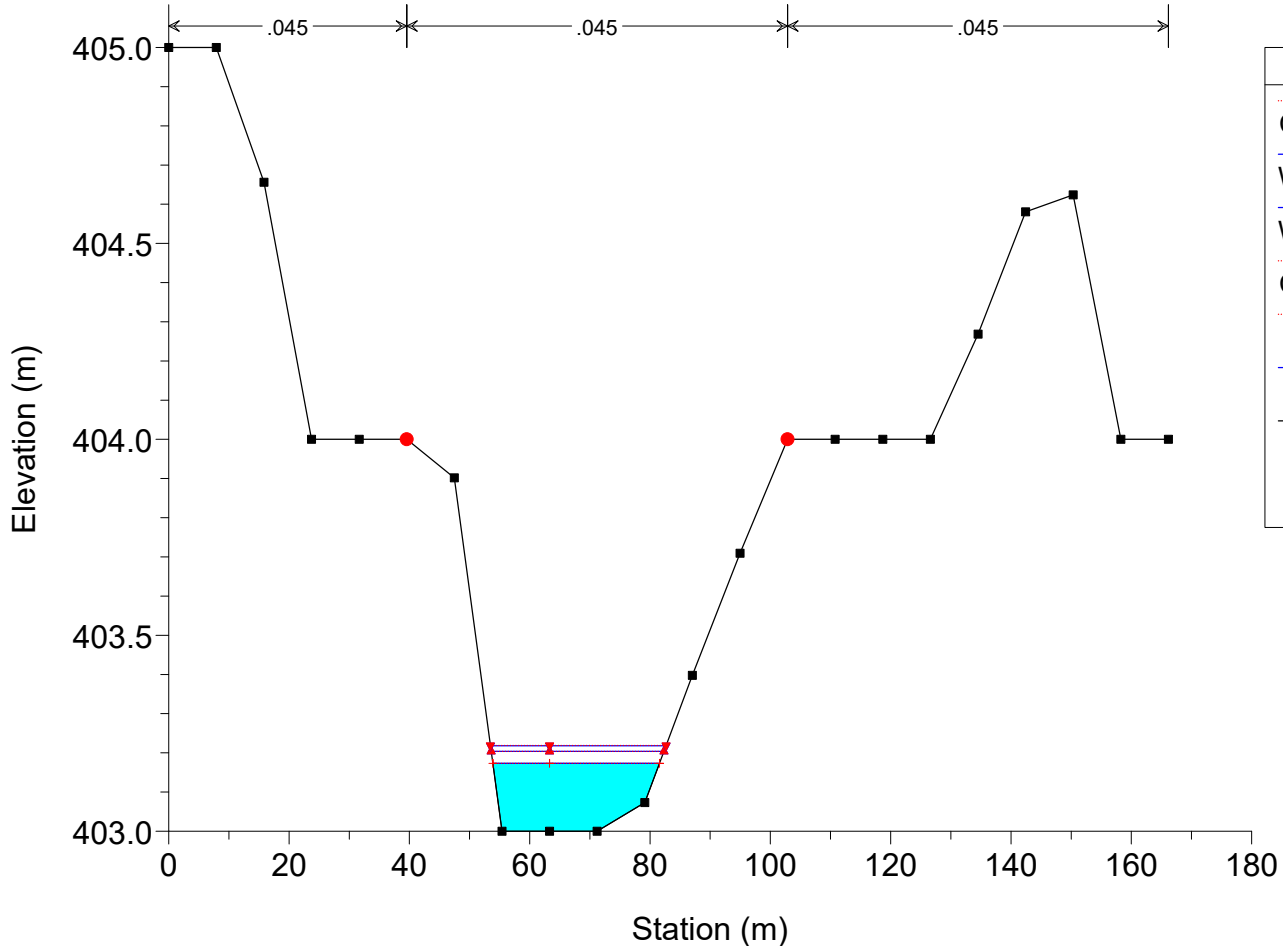
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 3



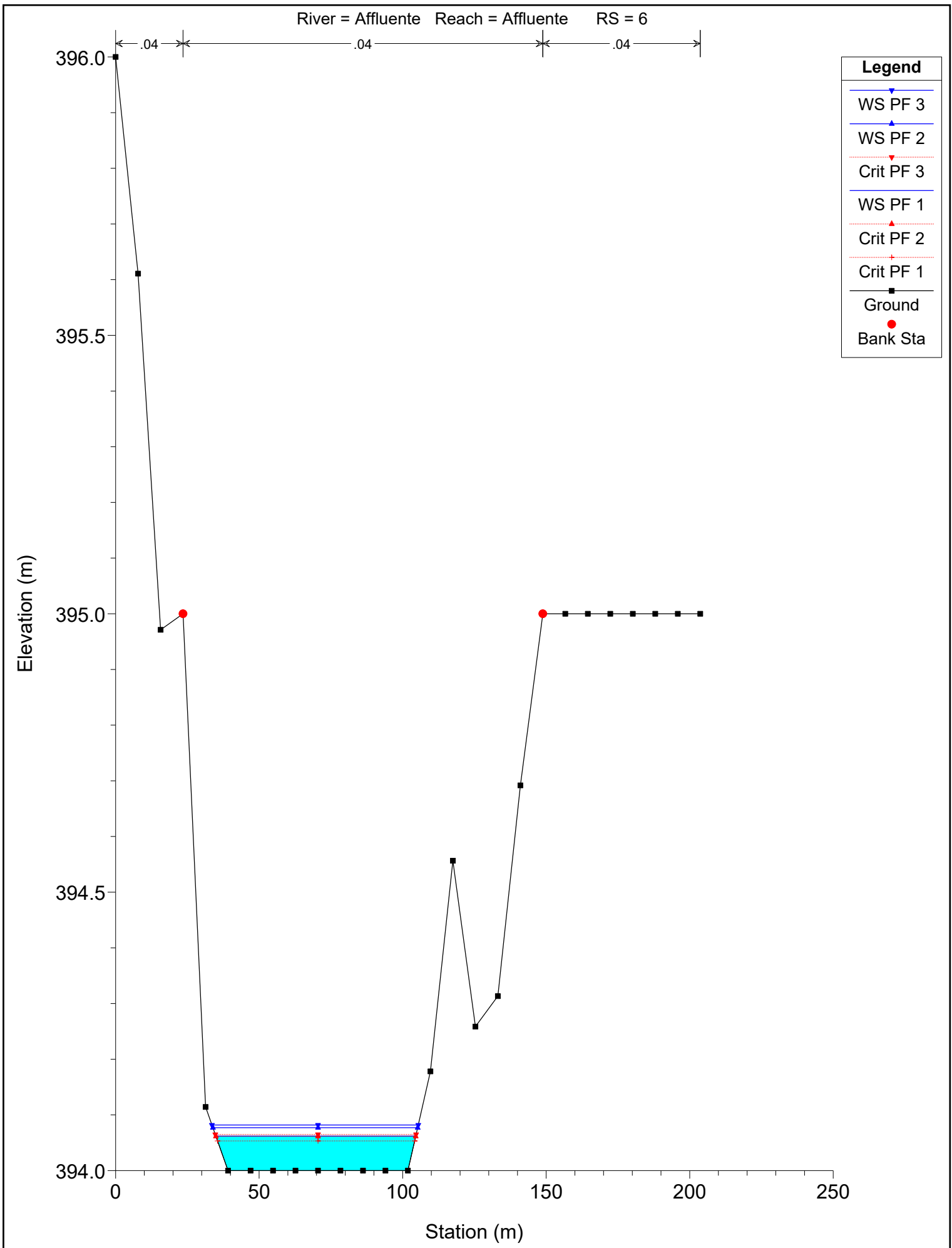
River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 2



River = Affl. Basentello Reach = Affl. Basentello RS = 1





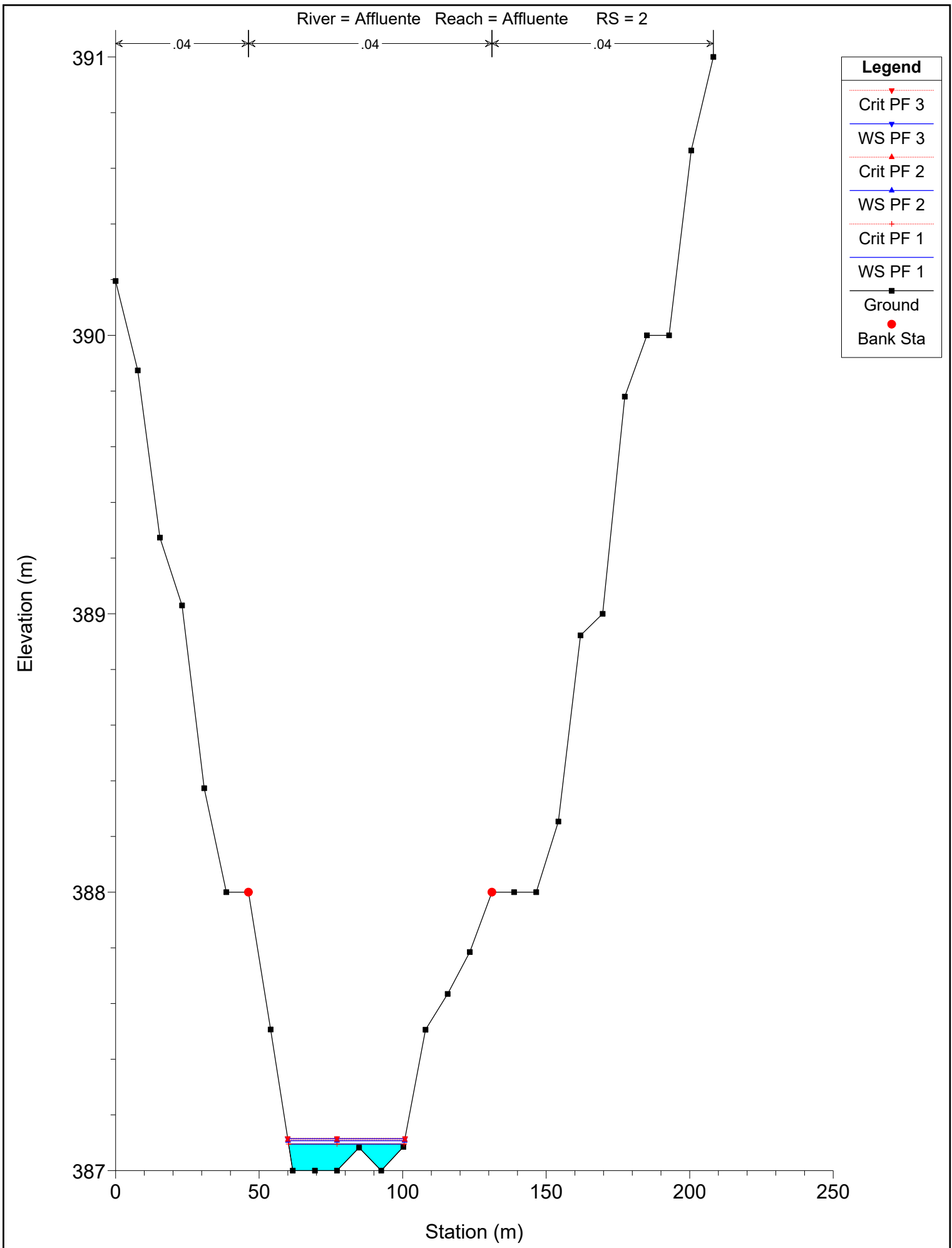


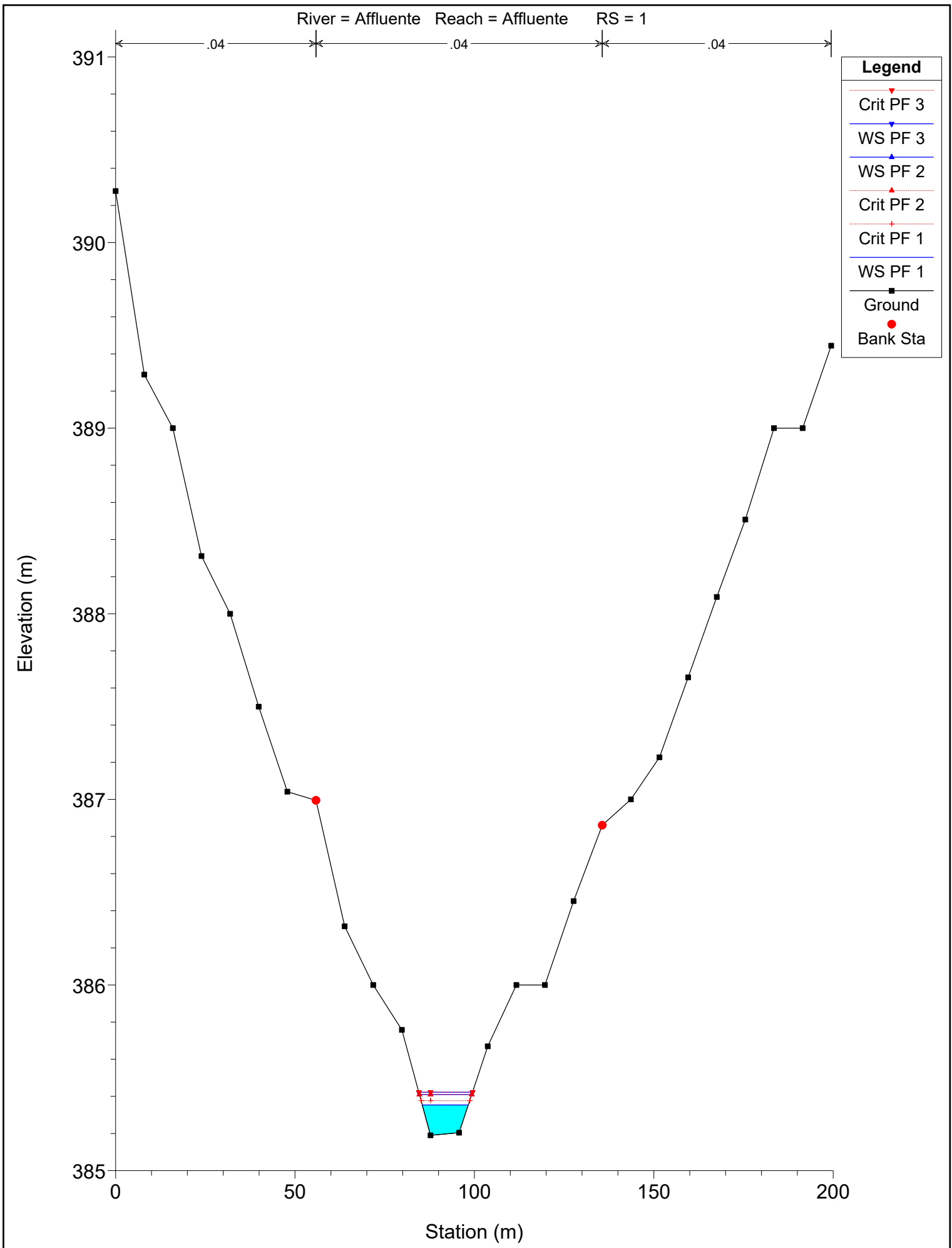






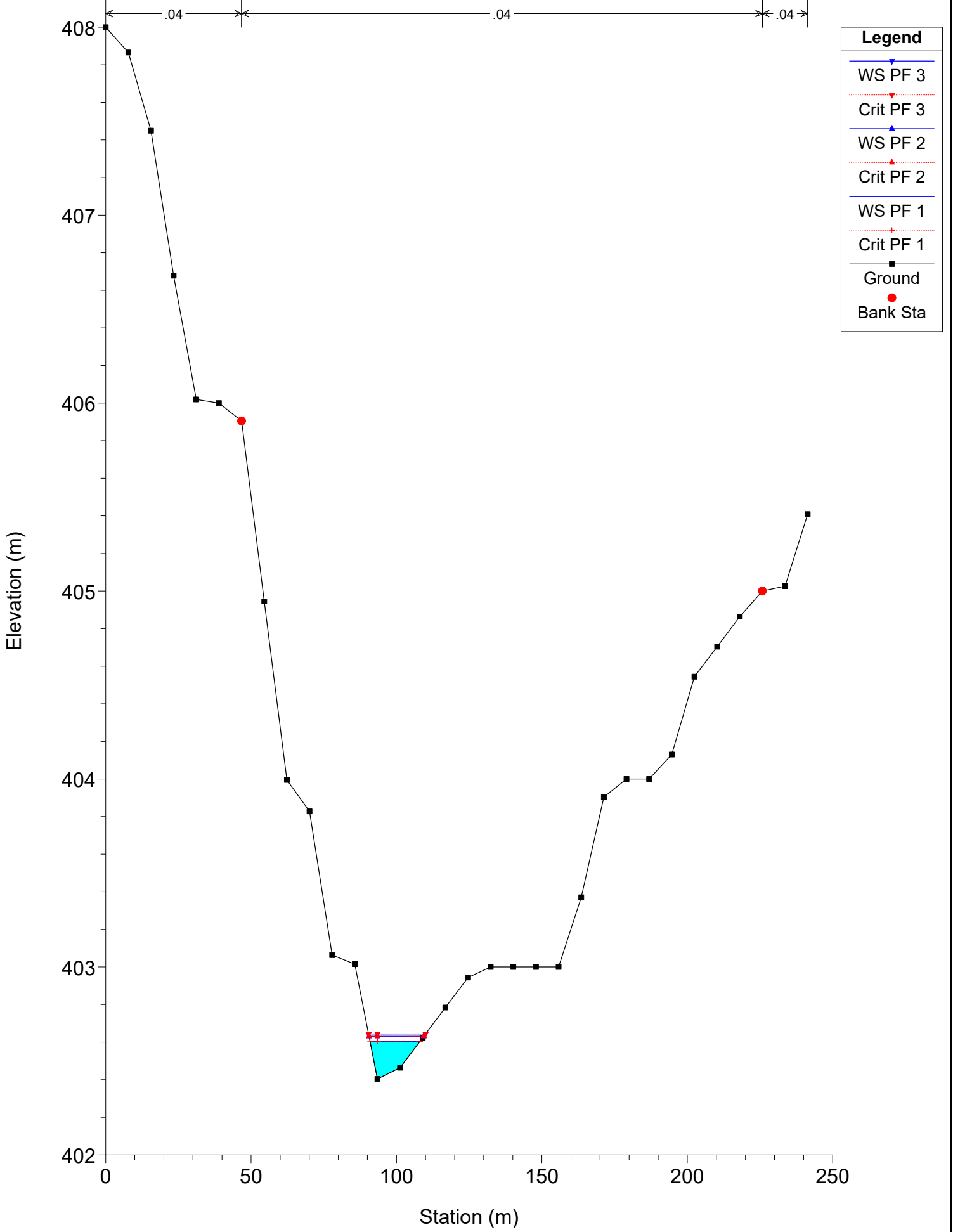








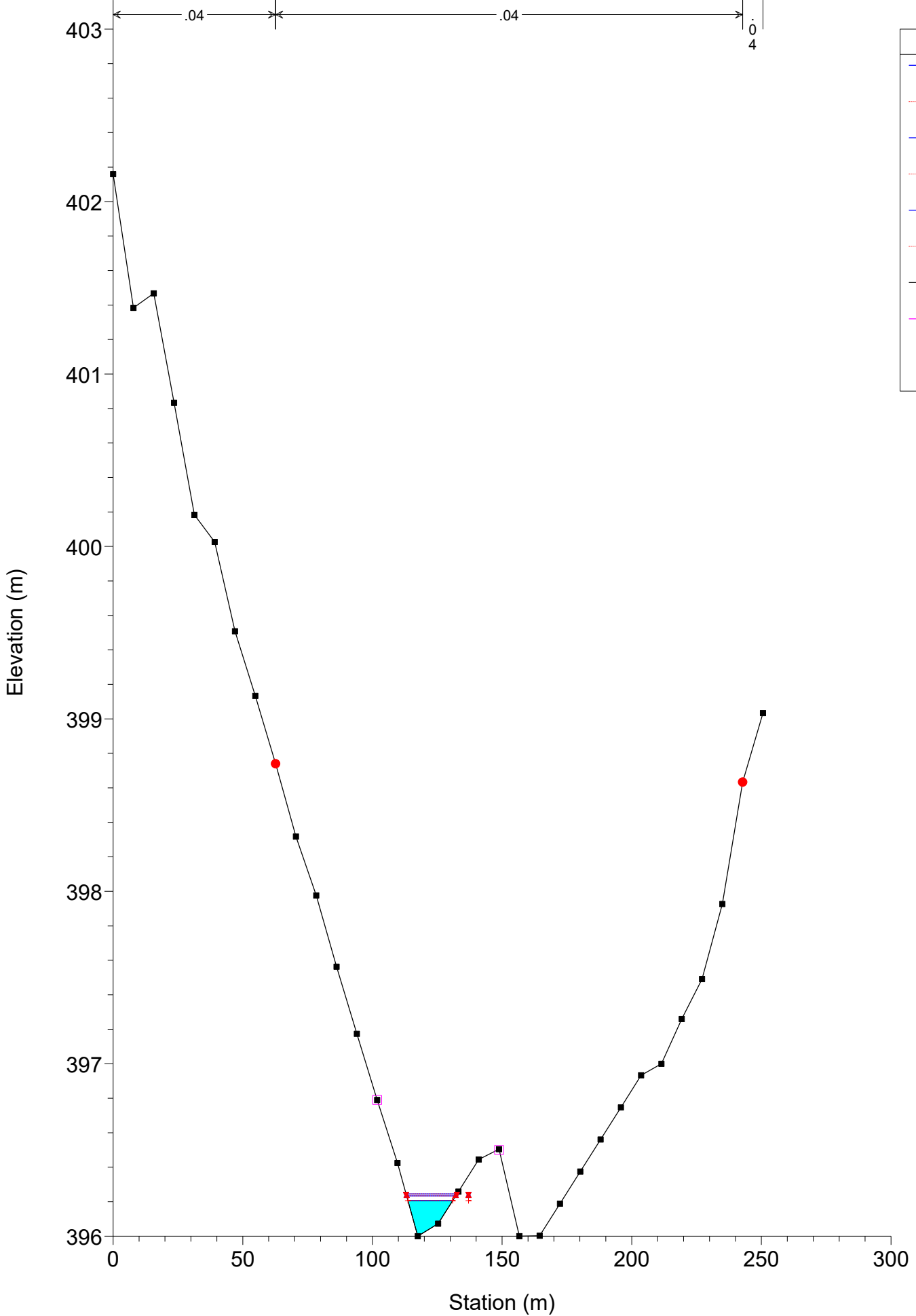
River = Affluente Reach = Affluente RS = 6





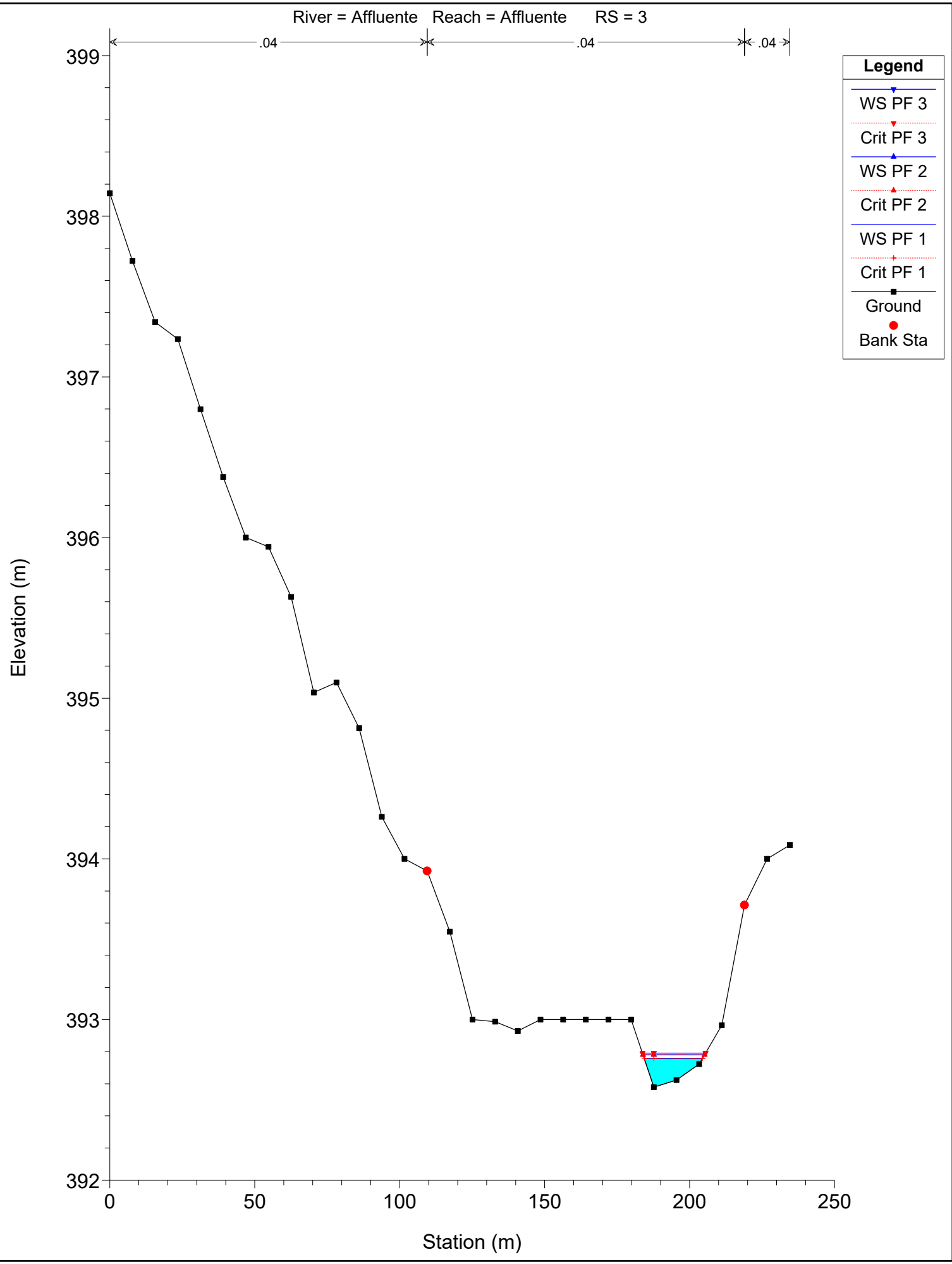


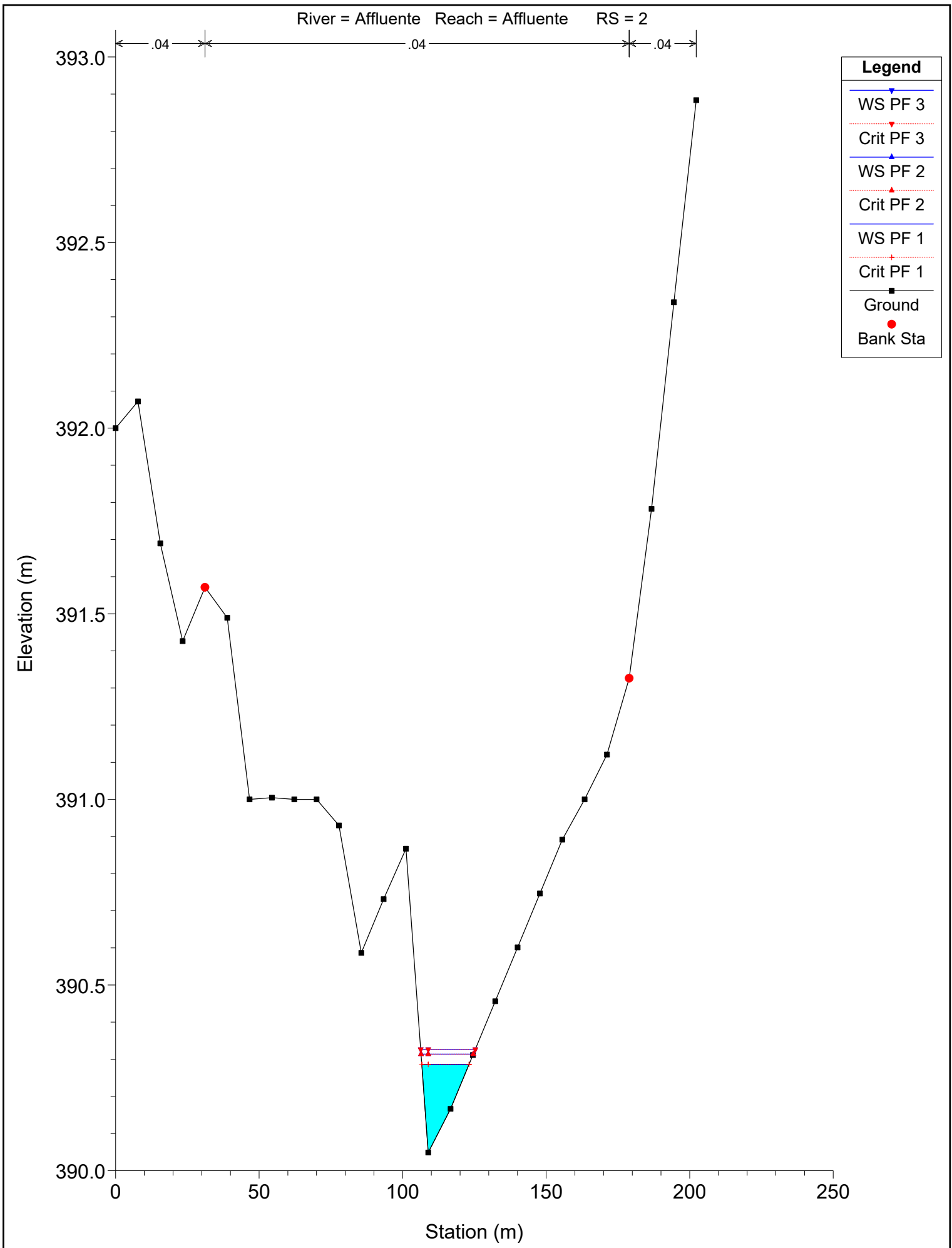
River = Affluente Reach = Affluente RS = 4



Legend	
WS PF 3	Blue line with downward triangle
Crit PF 3	Red line with downward triangle
WS PF 2	Blue line with upward triangle
Crit PF 2	Red line with upward triangle
WS PF 1	Blue line with cross
Crit PF 1	Red line with cross
Ground	Black line with square
Levee	Pink line with square
Bank Sta	Red circle

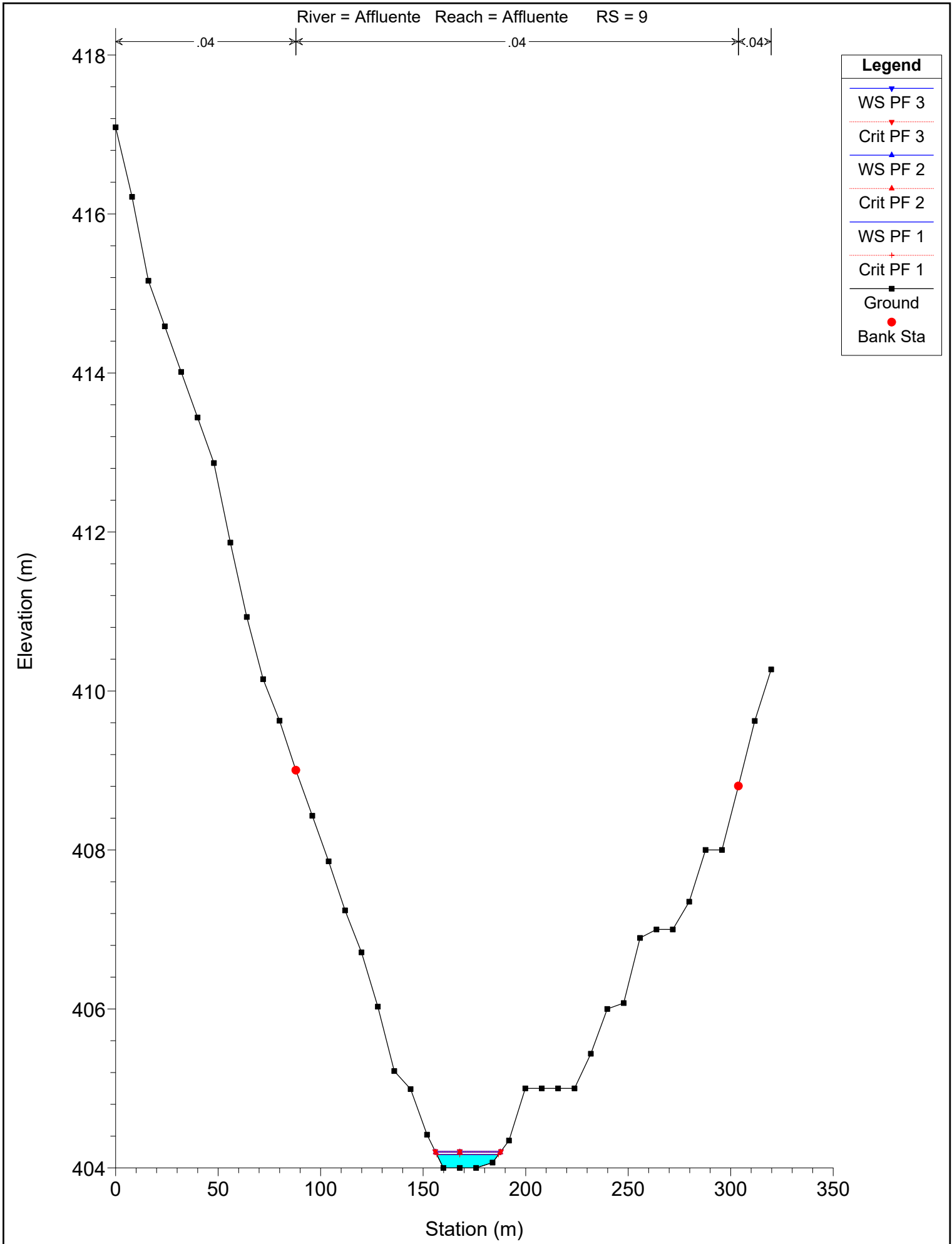
River = Affluente Reach = Affluente RS = 3







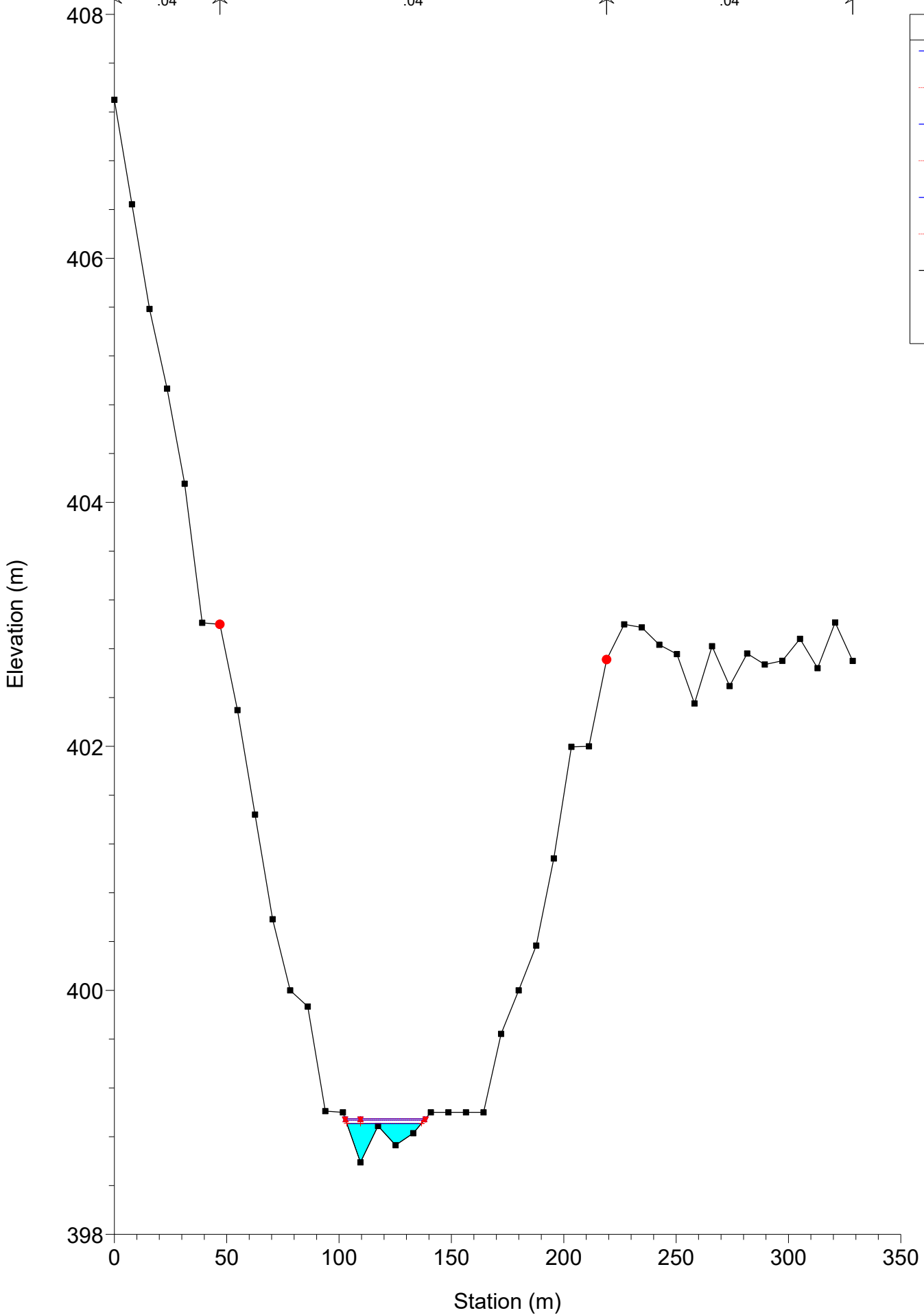
# BACINO 4







River = Affluente Reach = Affluente RS = 6



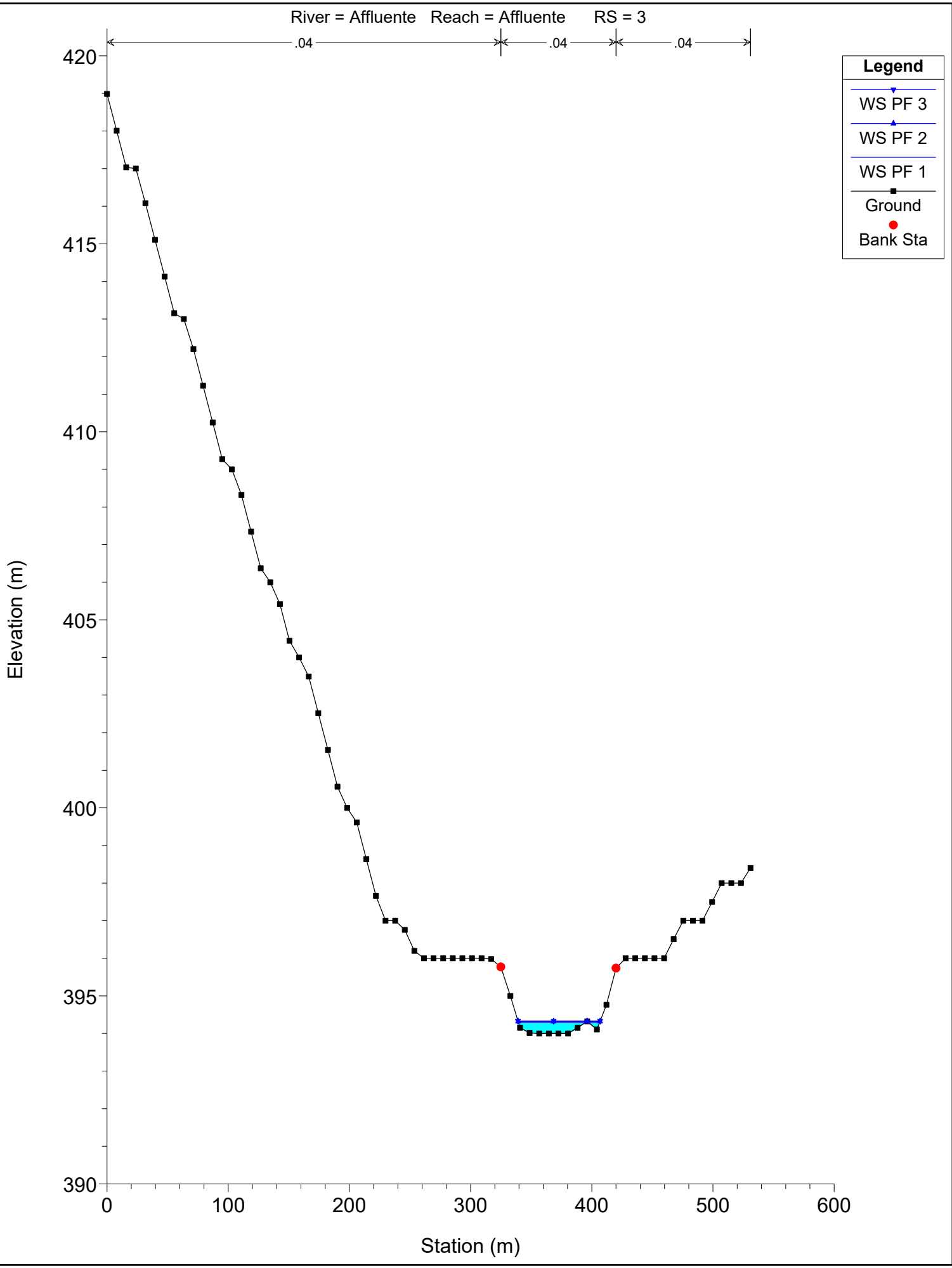
**Legend**

- WS PF 3 (Blue line with downward triangle)
- Crit PF 3 (Red line with upward triangle)
- WS PF 2 (Blue line with downward triangle)
- Crit PF 2 (Red line with upward triangle)
- WS PF 1 (Blue line with downward triangle)
- Crit PF 1 (Red line with upward triangle)
- Ground (Black line with square)
- Bank Sta (Red circle)





River = Affluente Reach = Affluente RS = 3

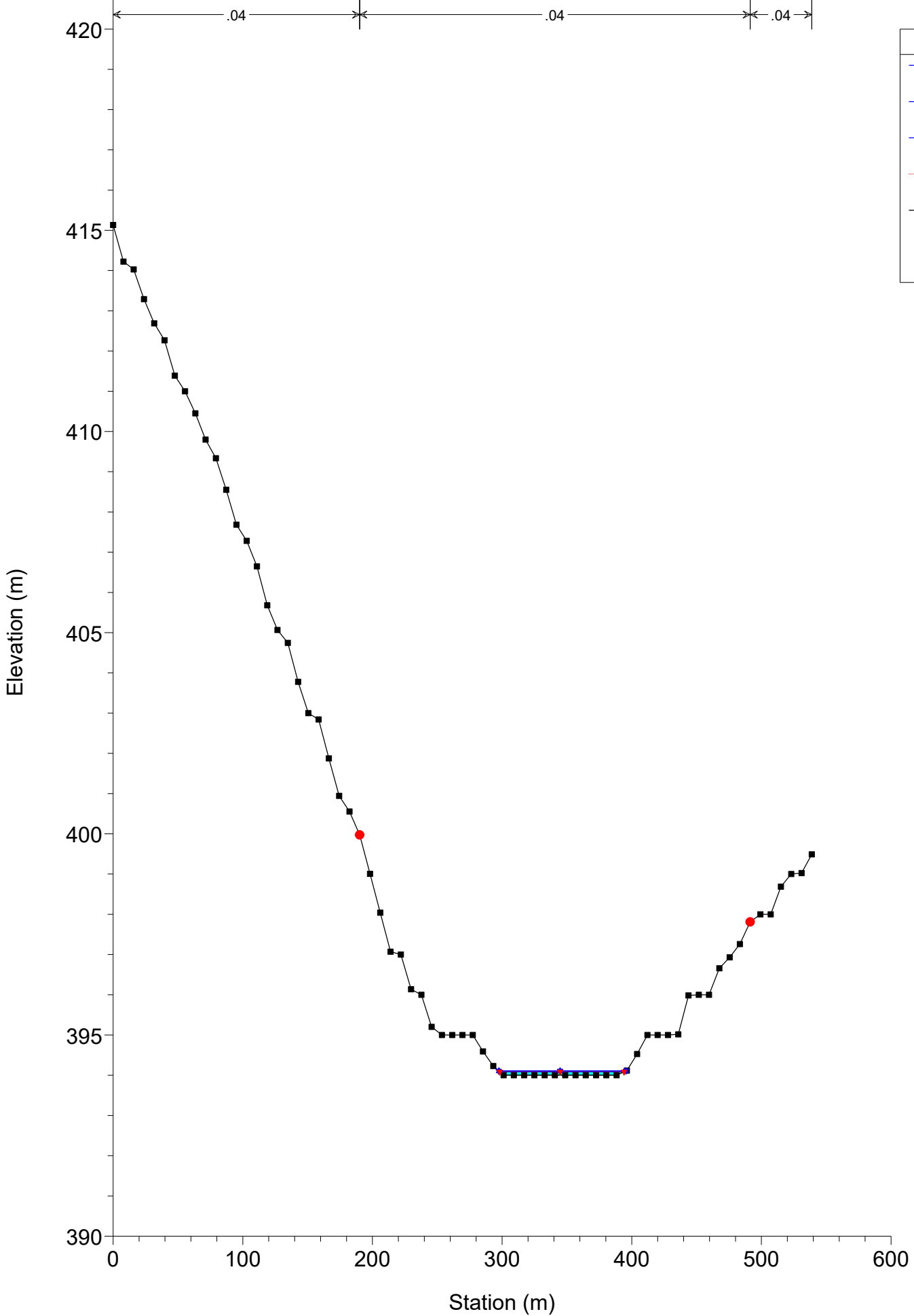


**Legend**

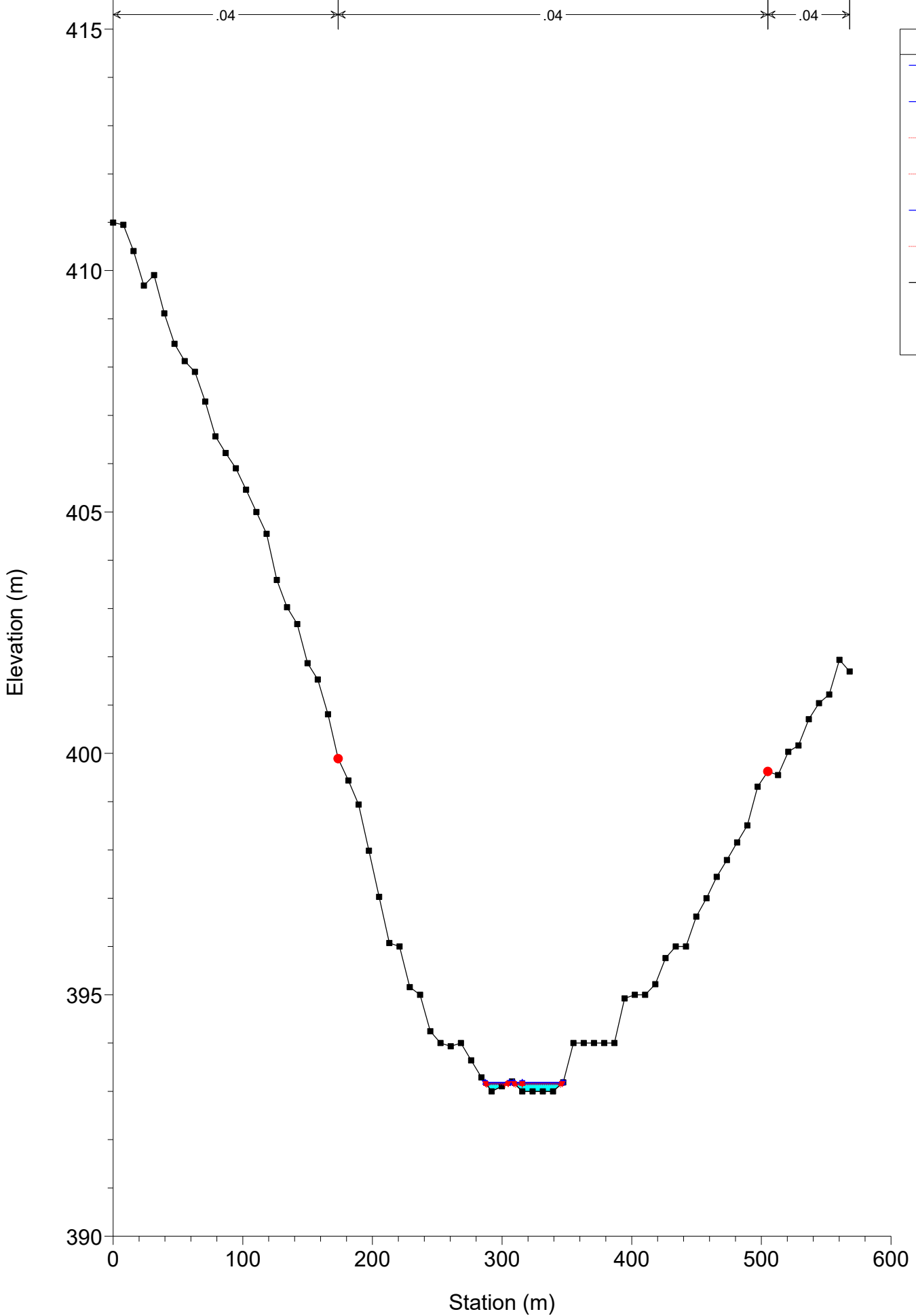
- WS PF 3
- WS PF 2
- WS PF 1
- Ground
- Bank Sta

River = Affluente Reach = Affluente RS = 2

Legend	
WS PF 3	▼
WS PF 2	▲
WS PF 1	—
Crit PF 3	▼
Ground	■
Bank Sta	●



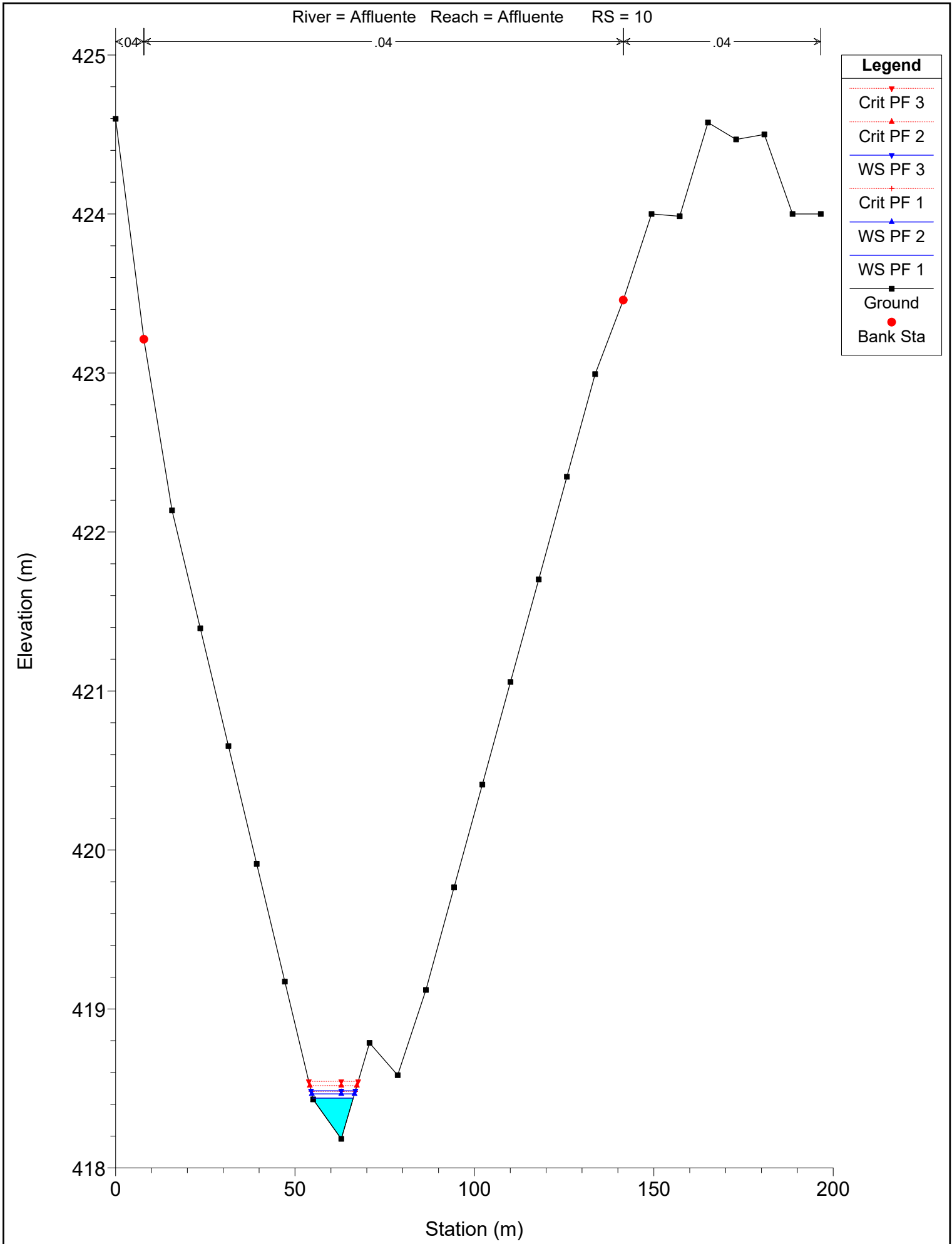
River = Affluente Reach = Affluente RS = 1

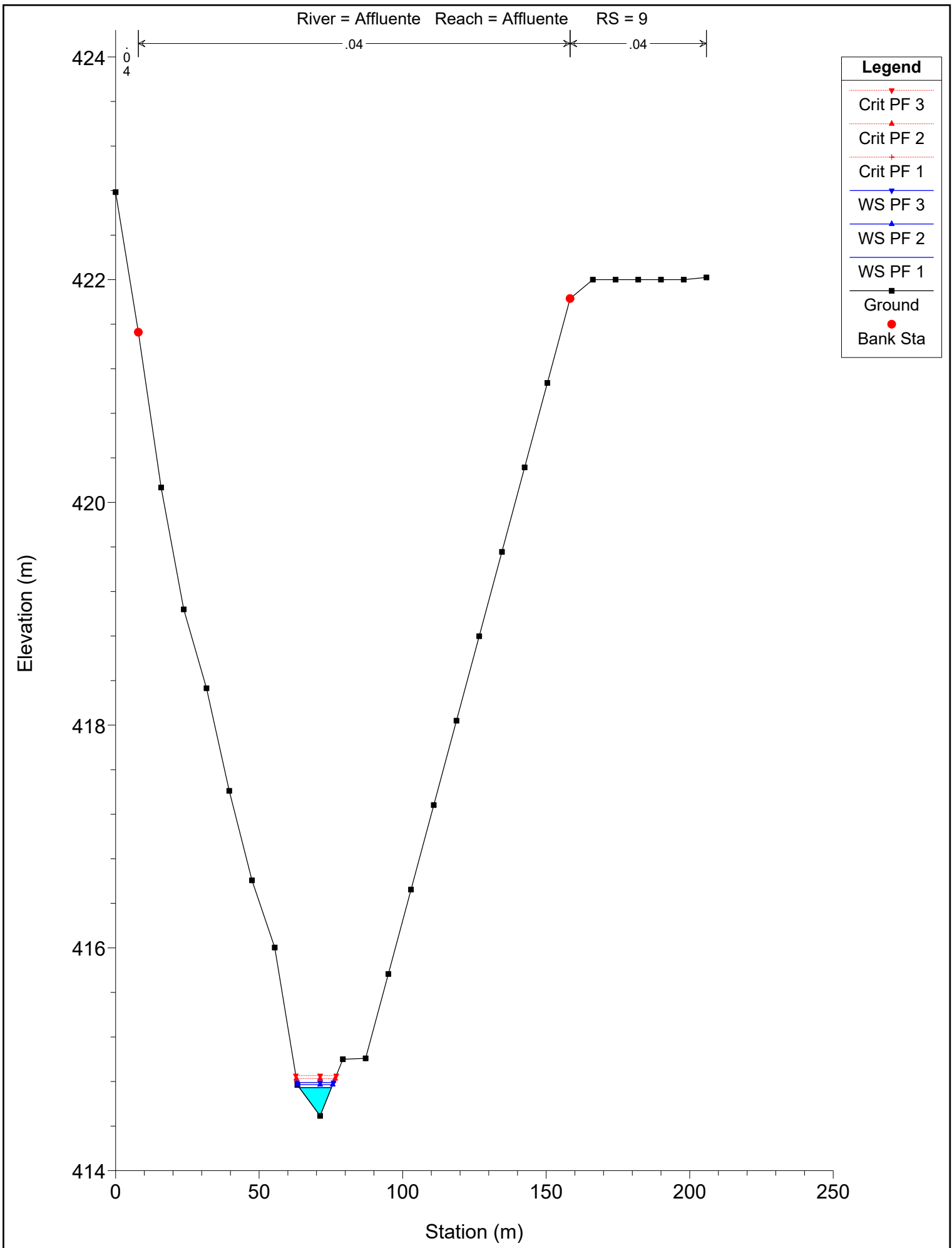


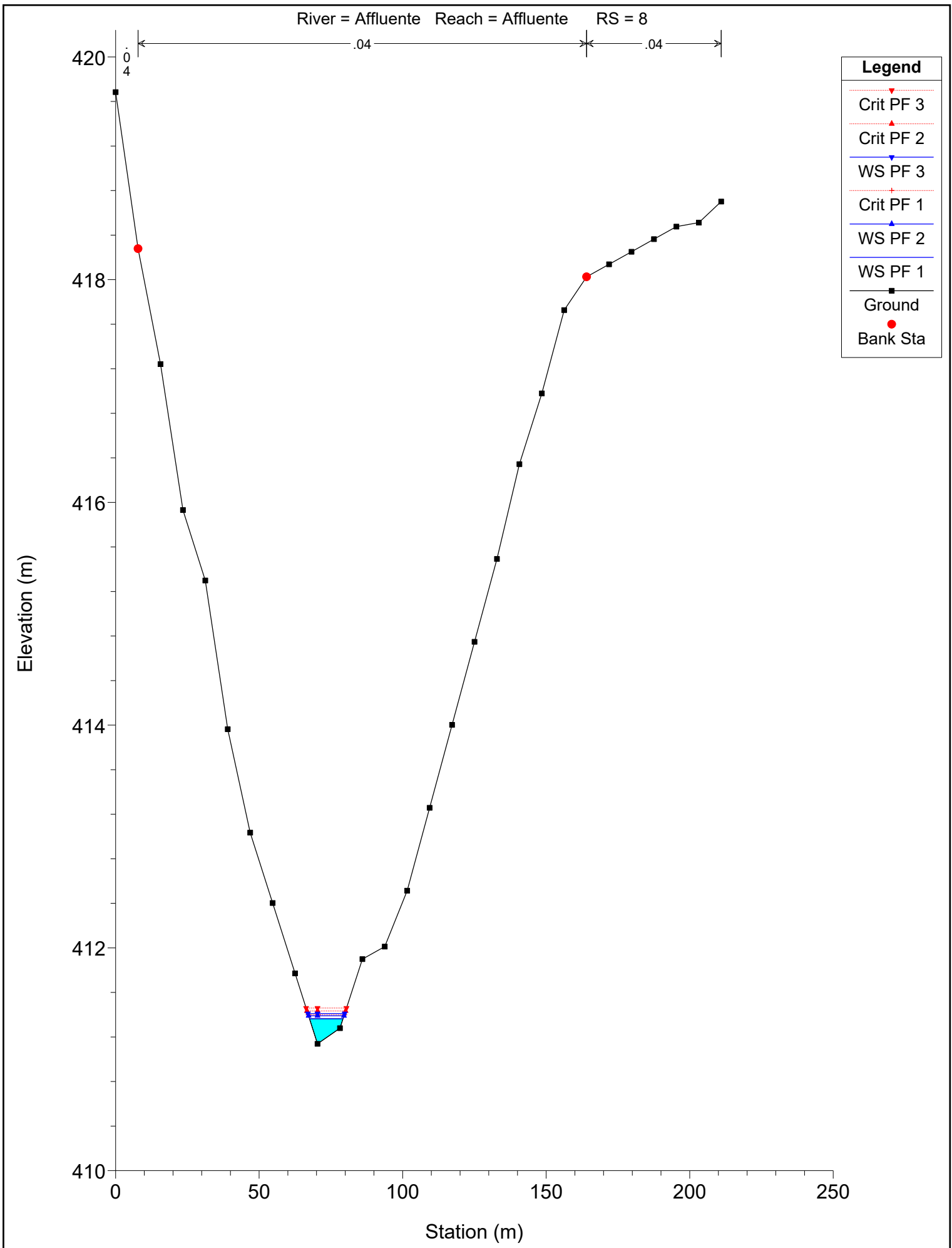
**Legend**

- WS PF 3
- WS PF 2
- Crit PF 3
- Crit PF 2
- WS PF 1
- Crit PF 1
- Ground
- Bank Sta

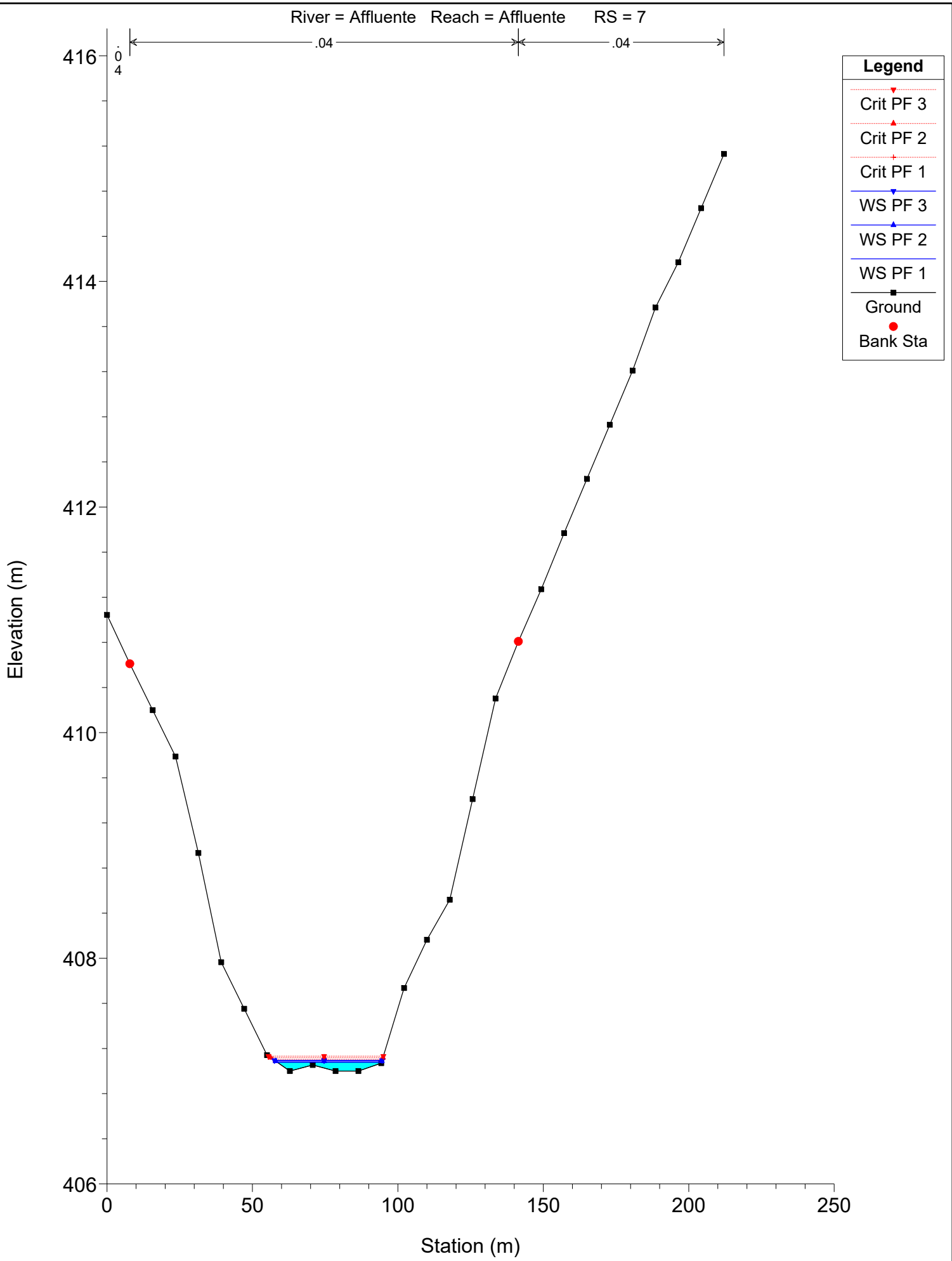
# BACINO 5



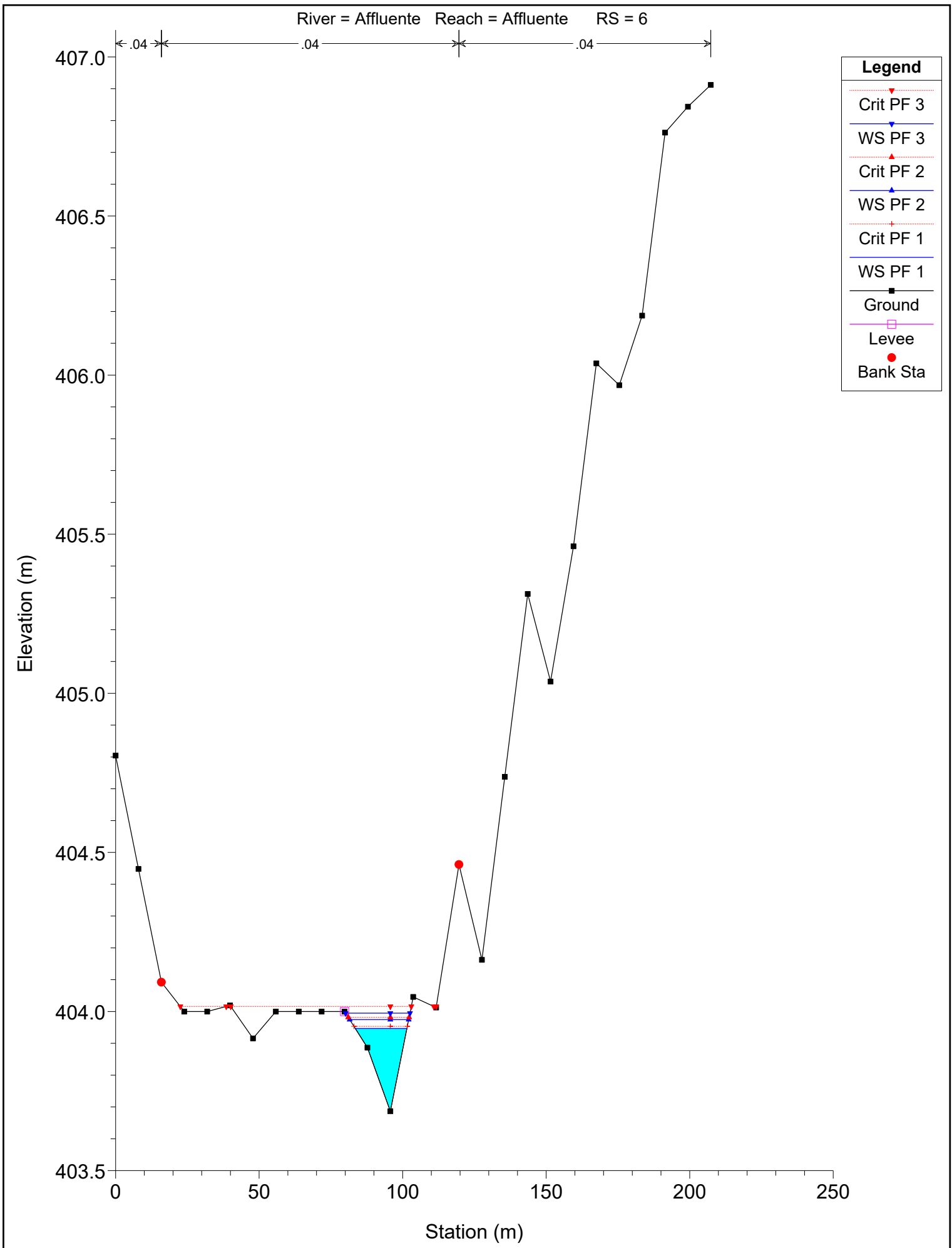


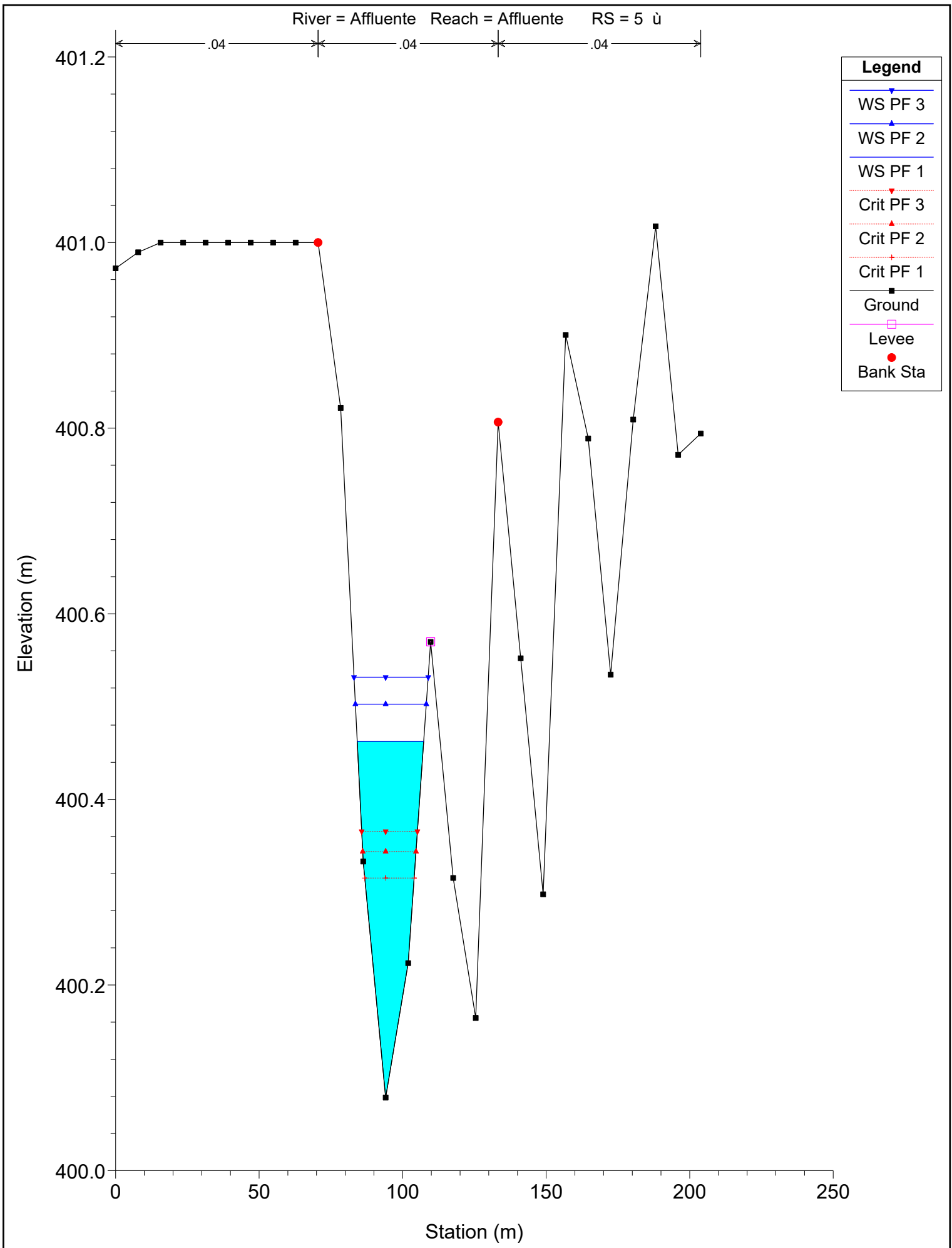


River = Affluente Reach = Affluente RS = 7

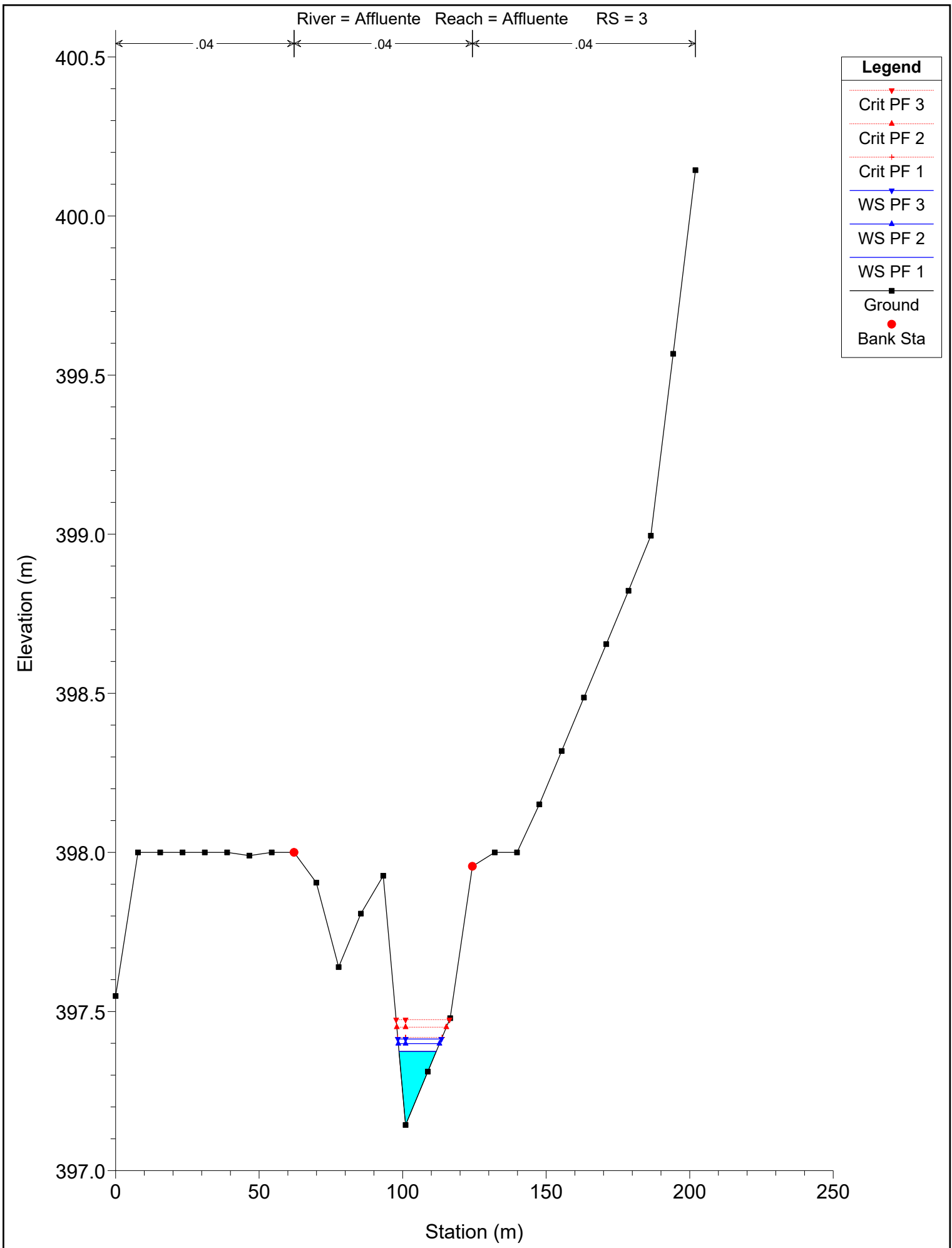


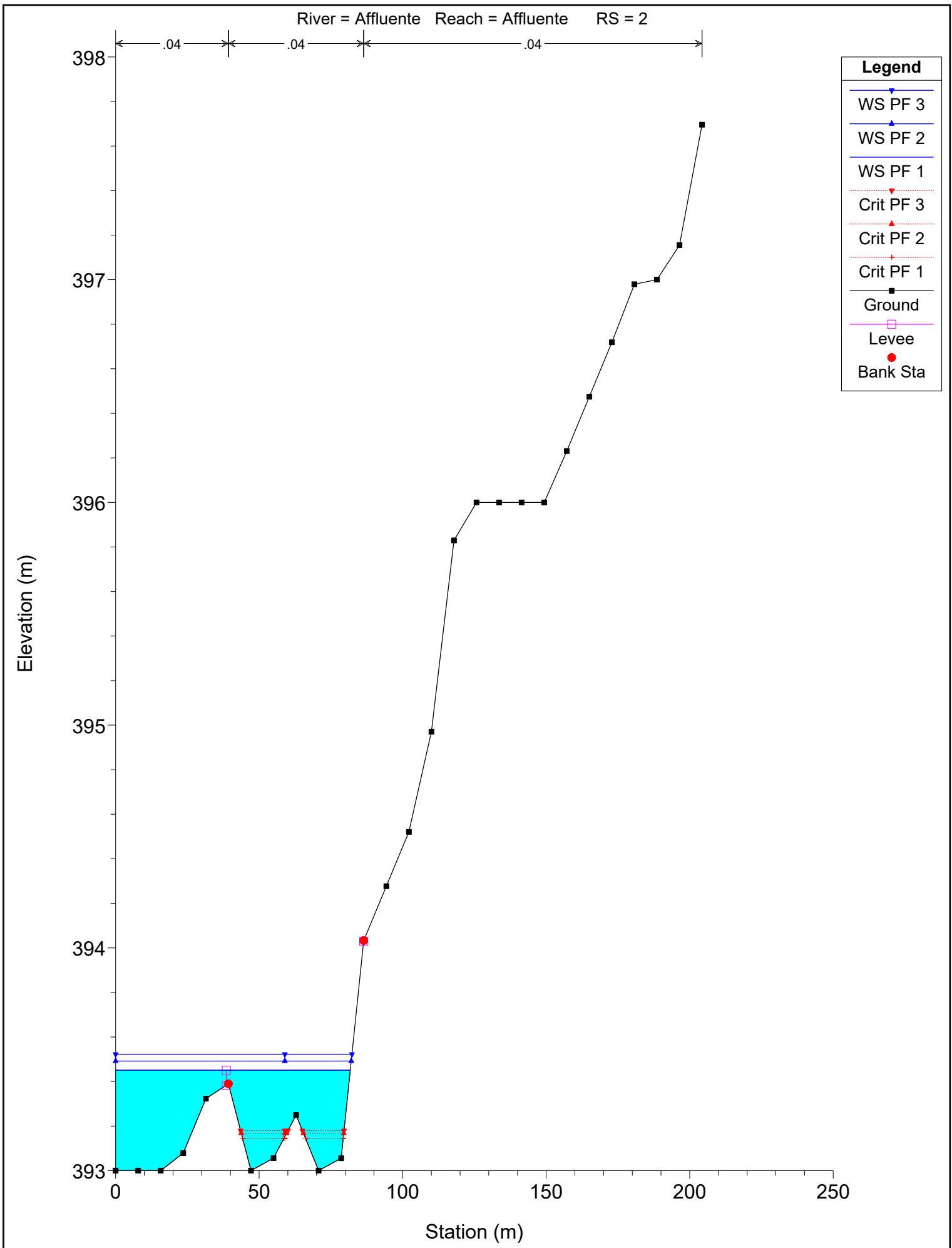


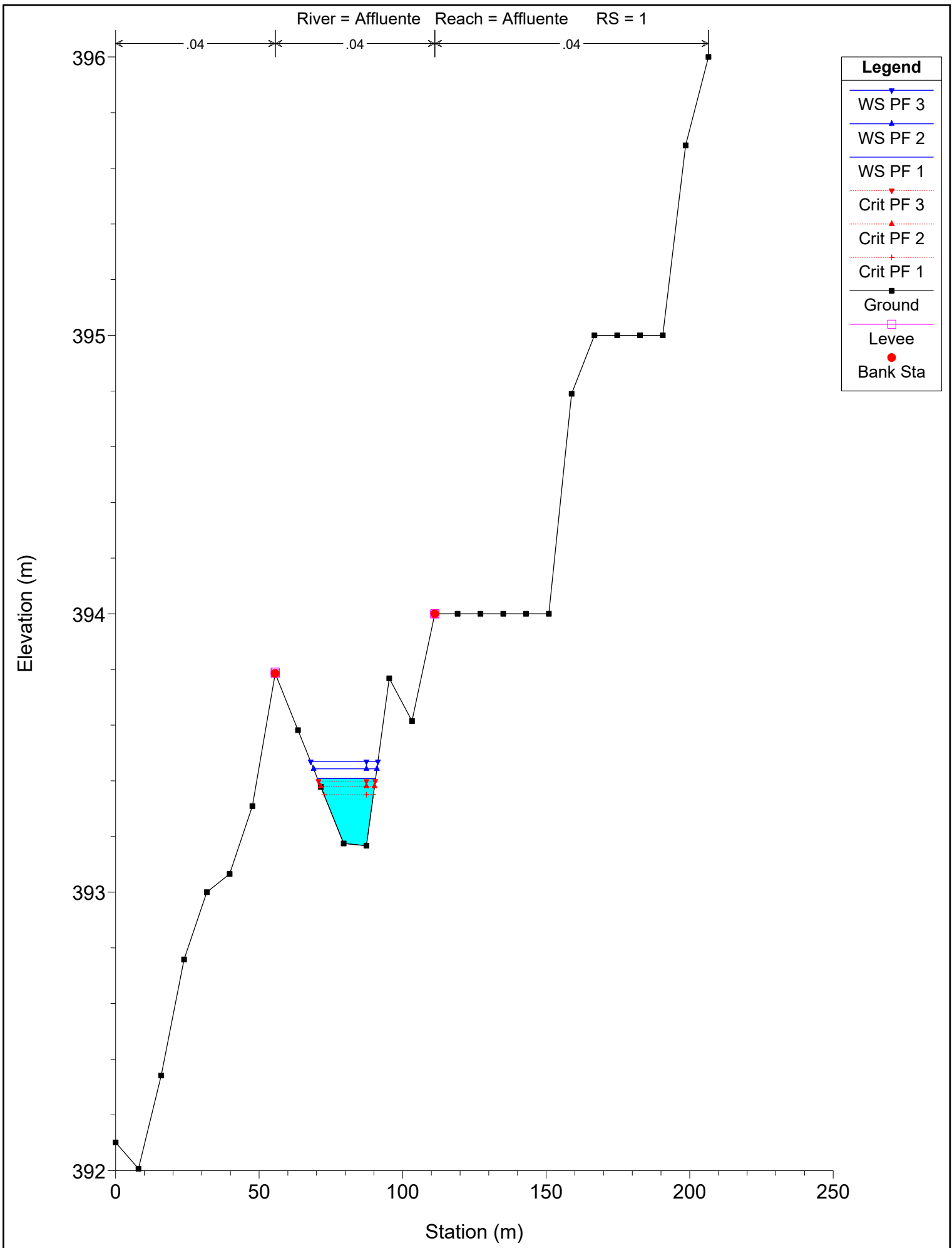




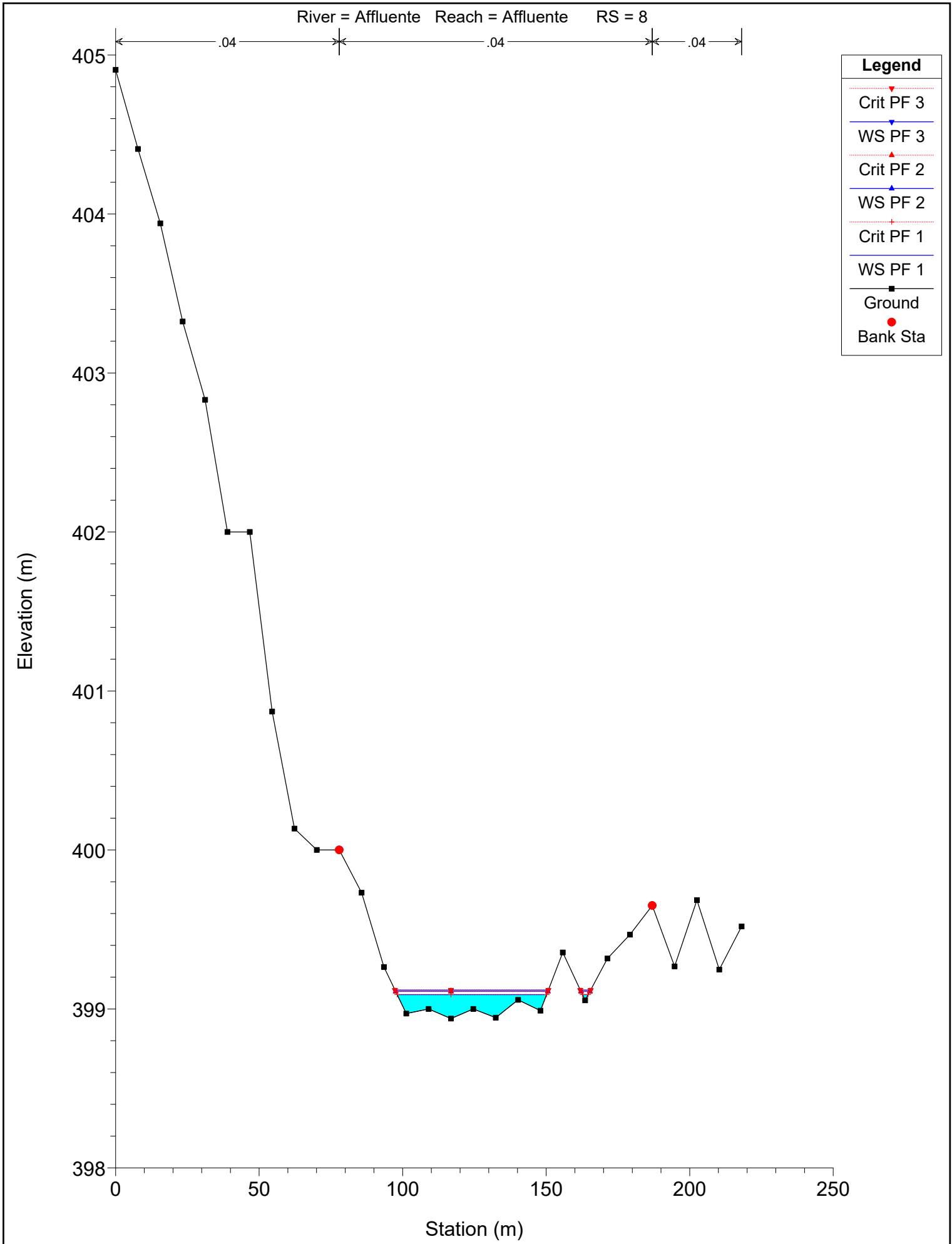






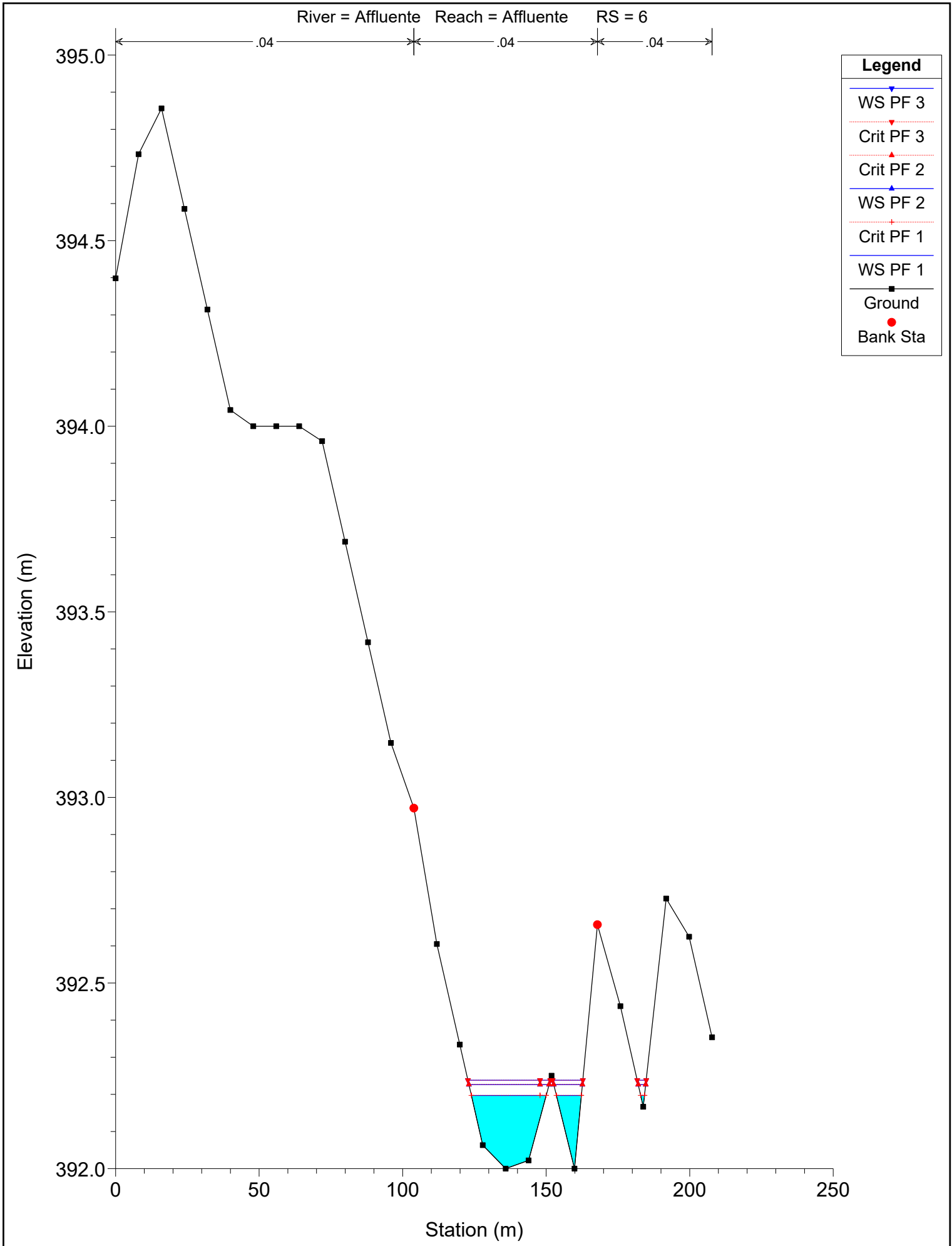


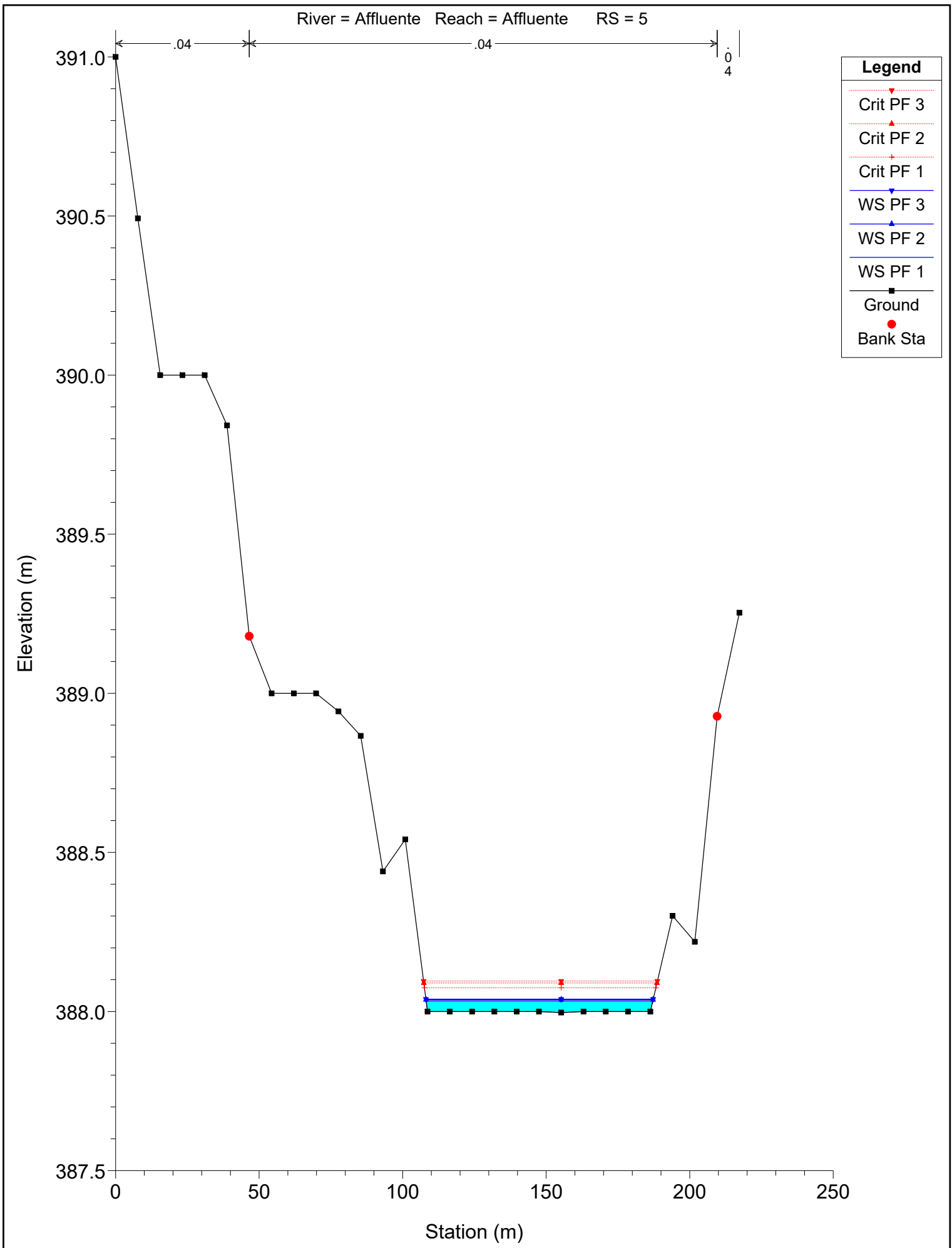
# BACINO 6



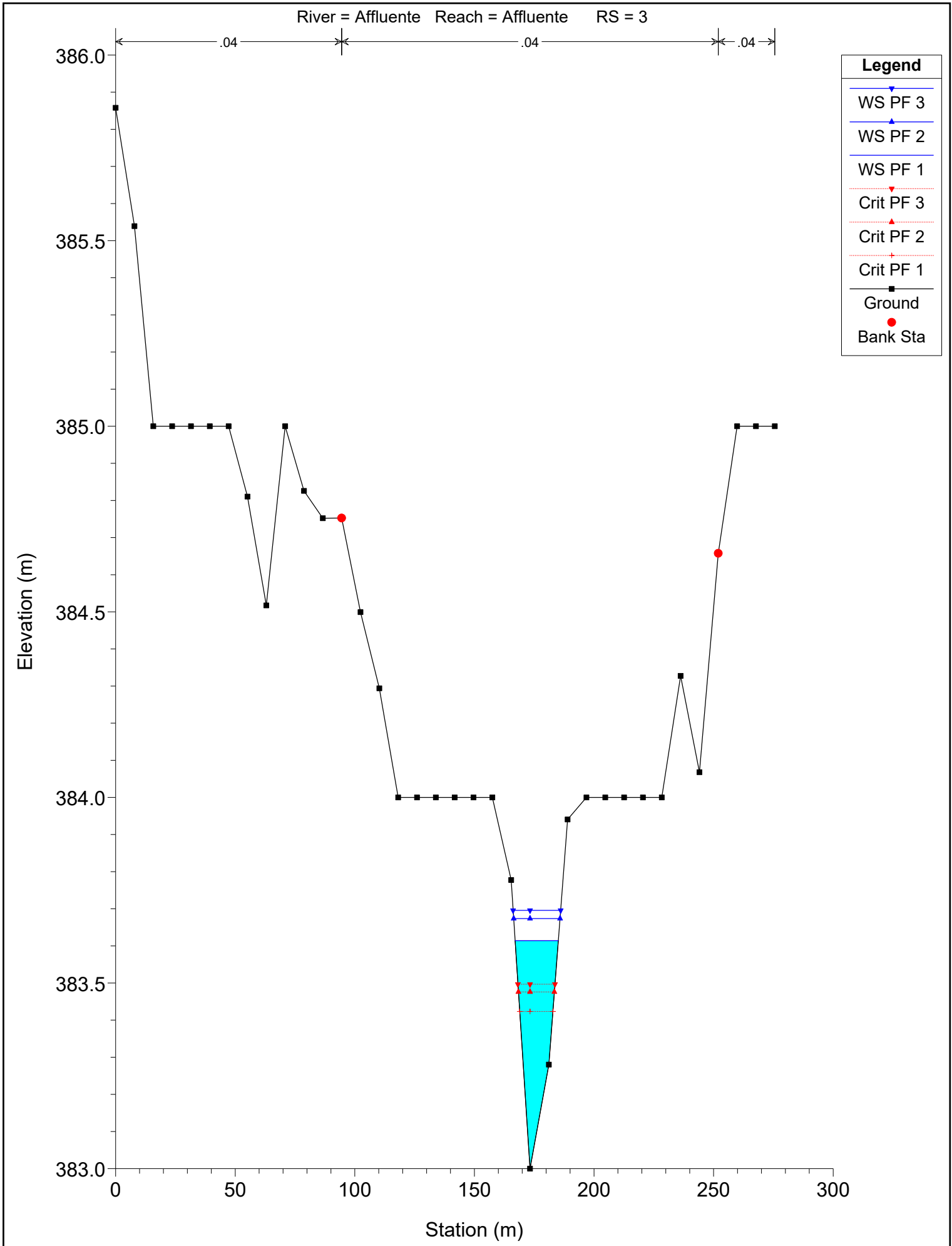


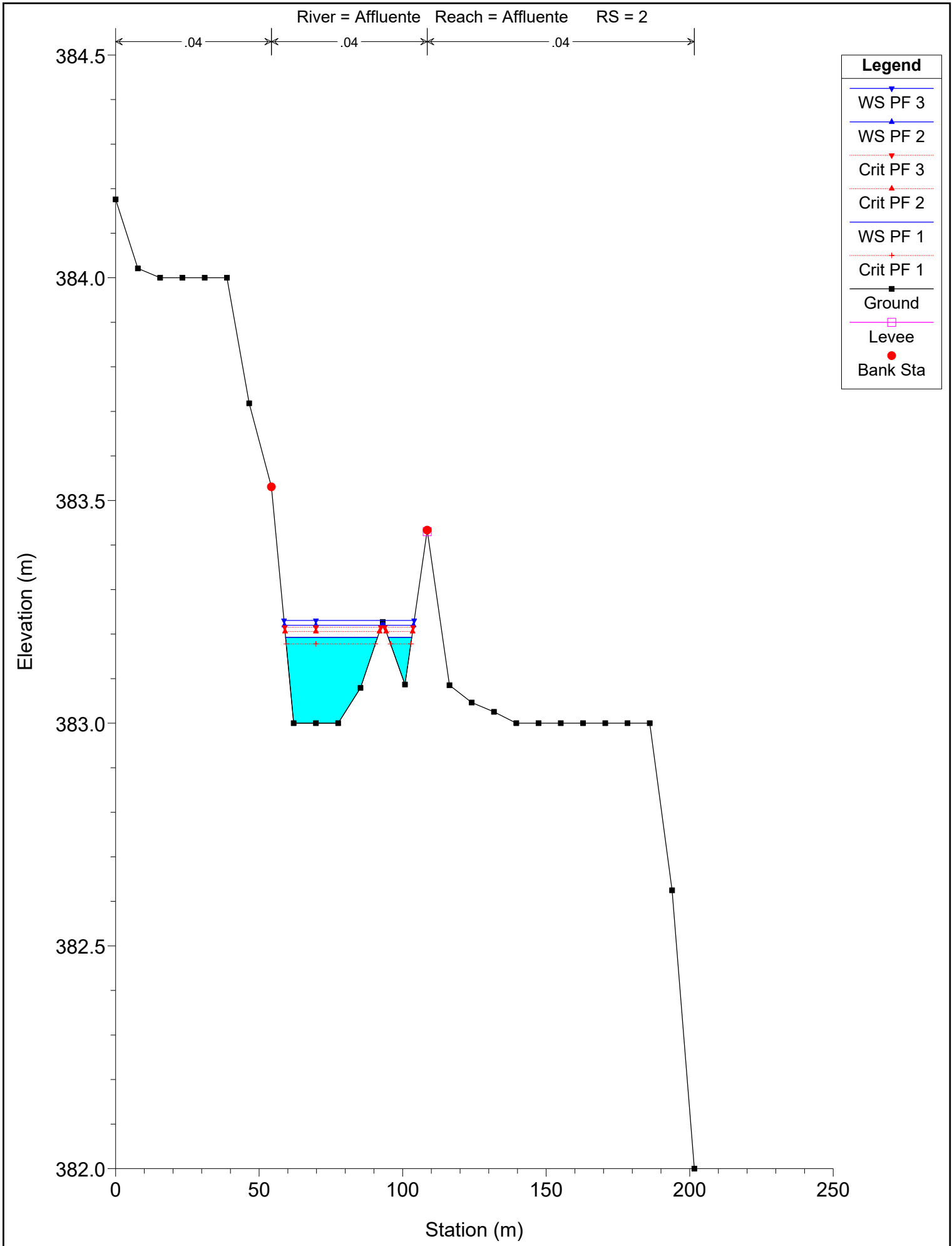


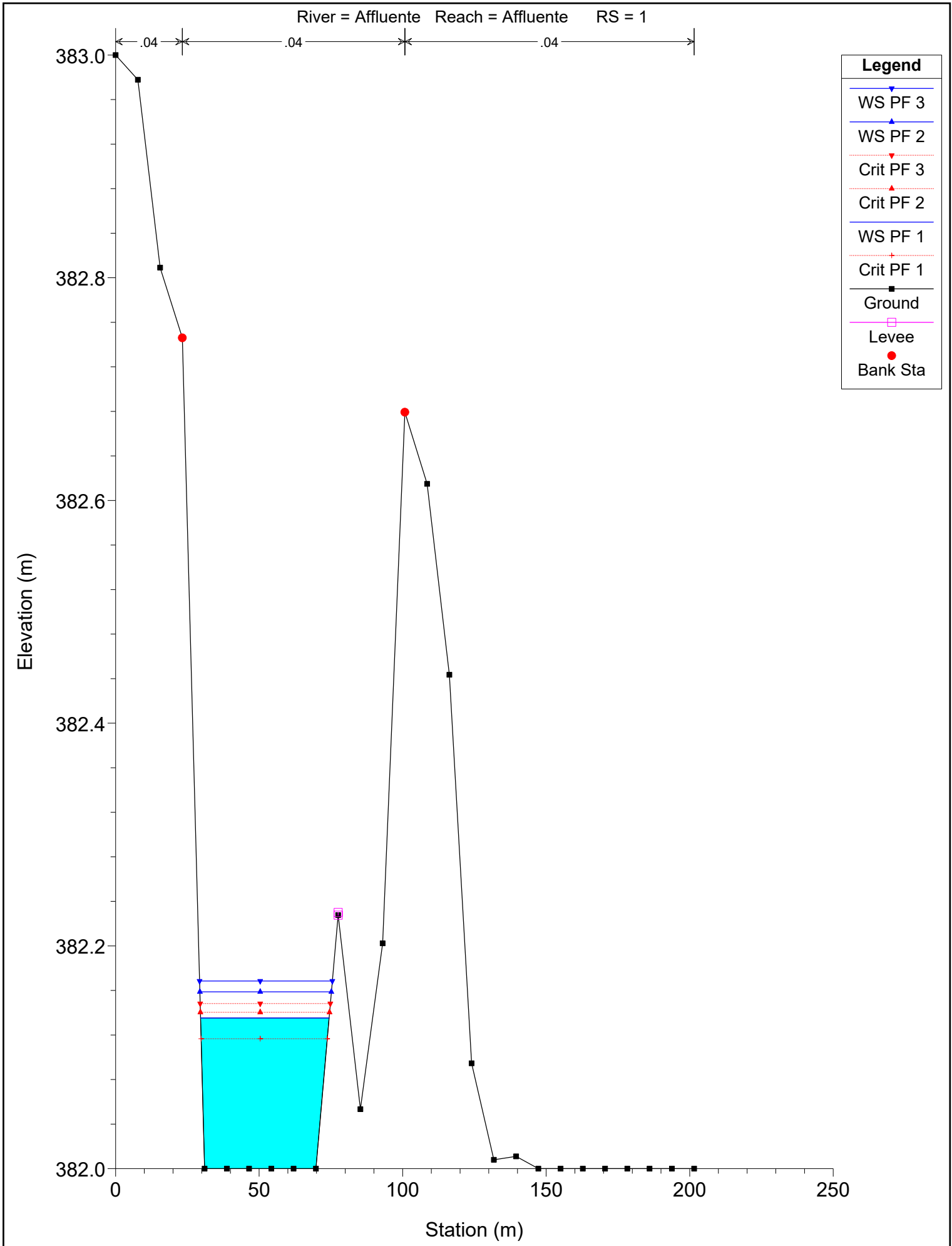




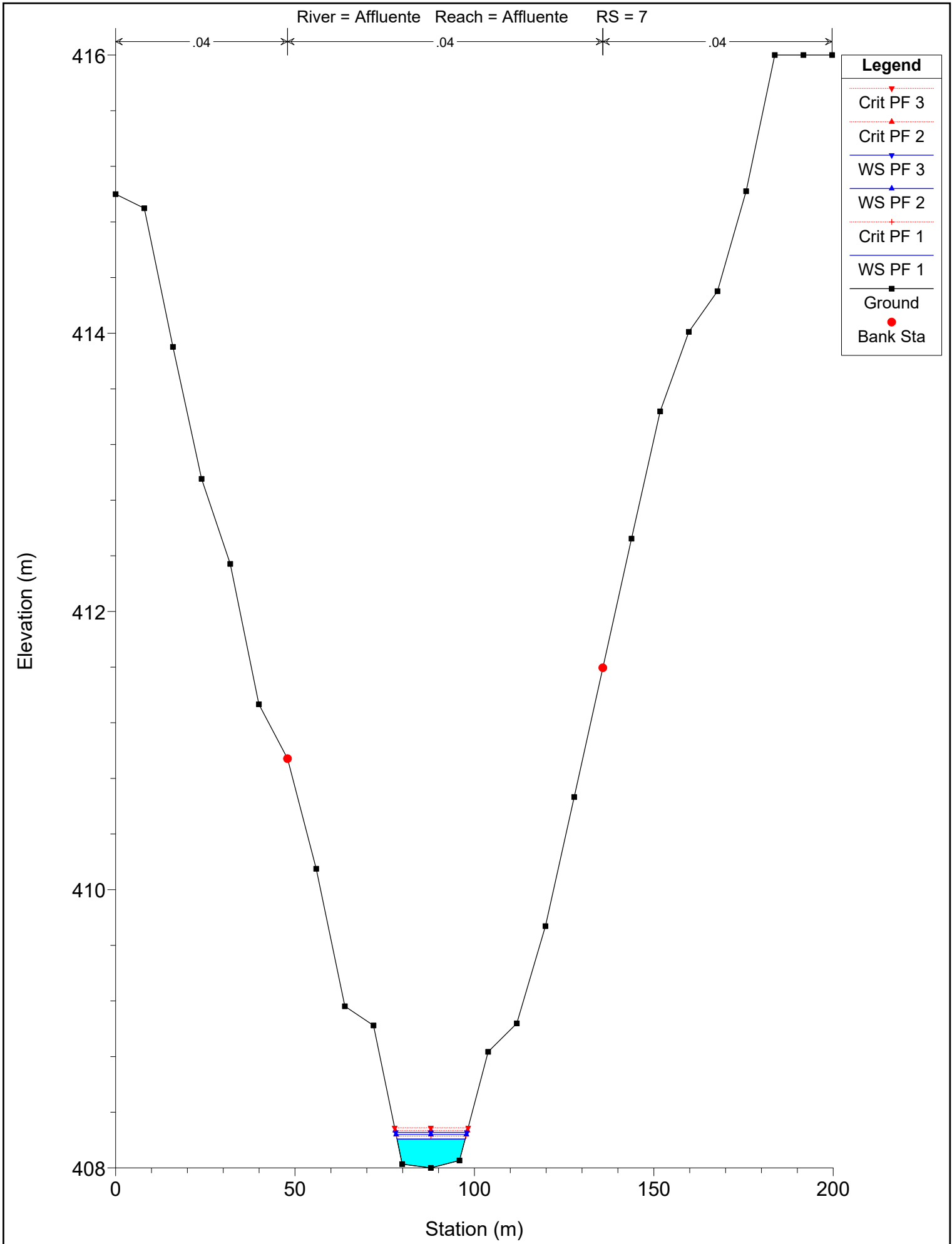




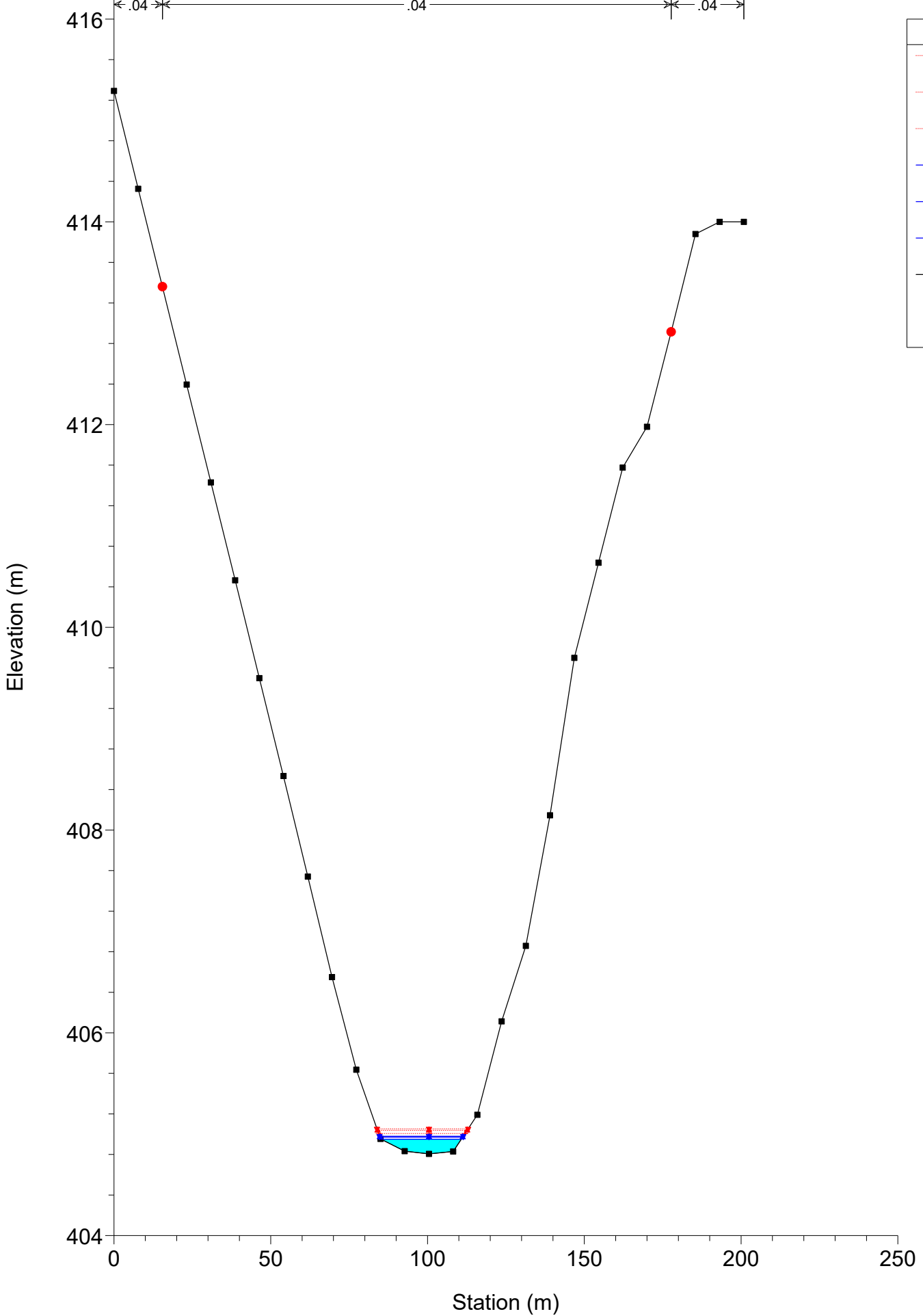




# BACINO 7



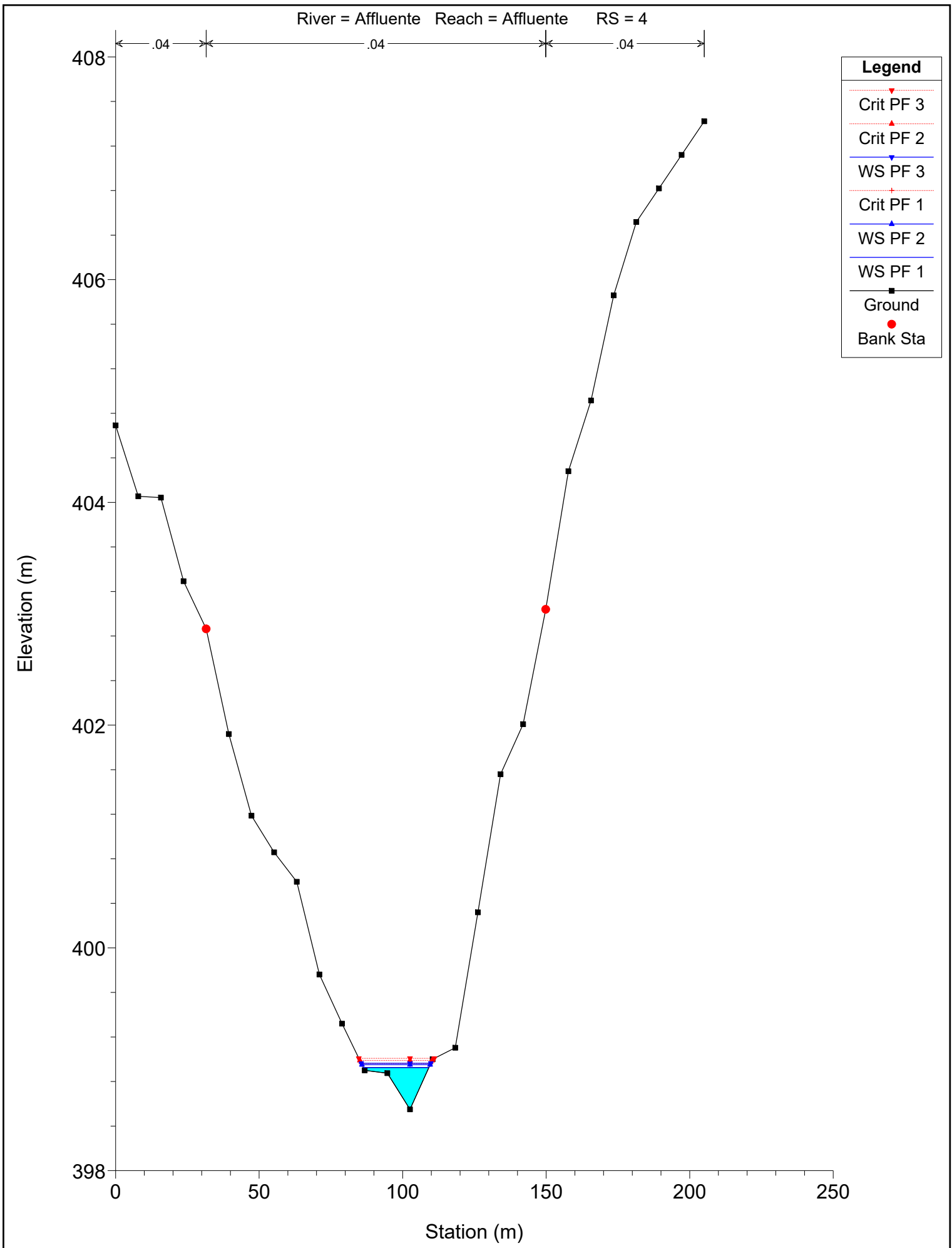
River = Affluente Reach = Affluente RS = 6



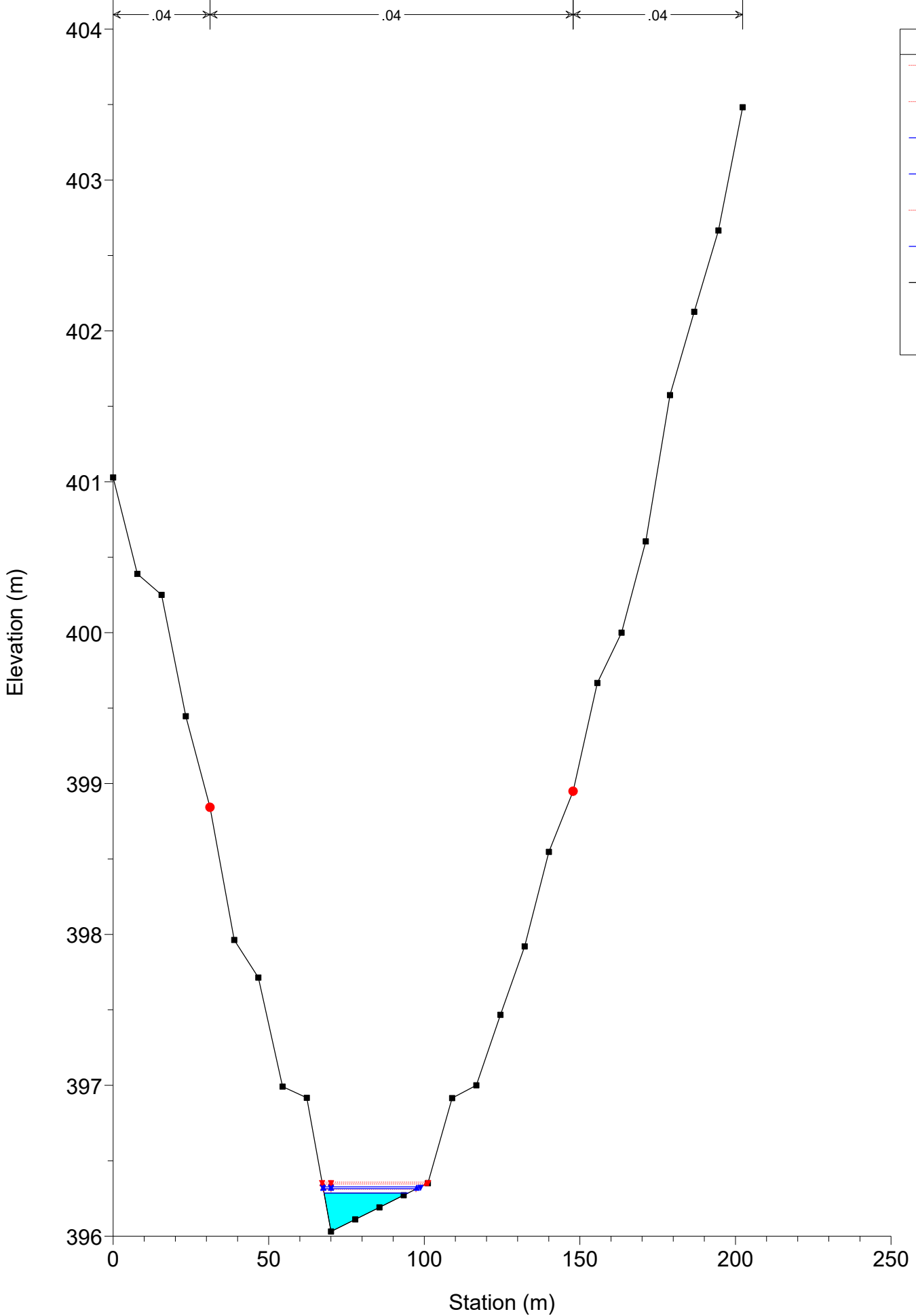
Legend	
Crit PF 3	▼
Crit PF 2	▲
Crit PF 1	+
WS PF 3	▼
WS PF 2	▲
WS PF 1	—
Ground	■
Bank Sta	●





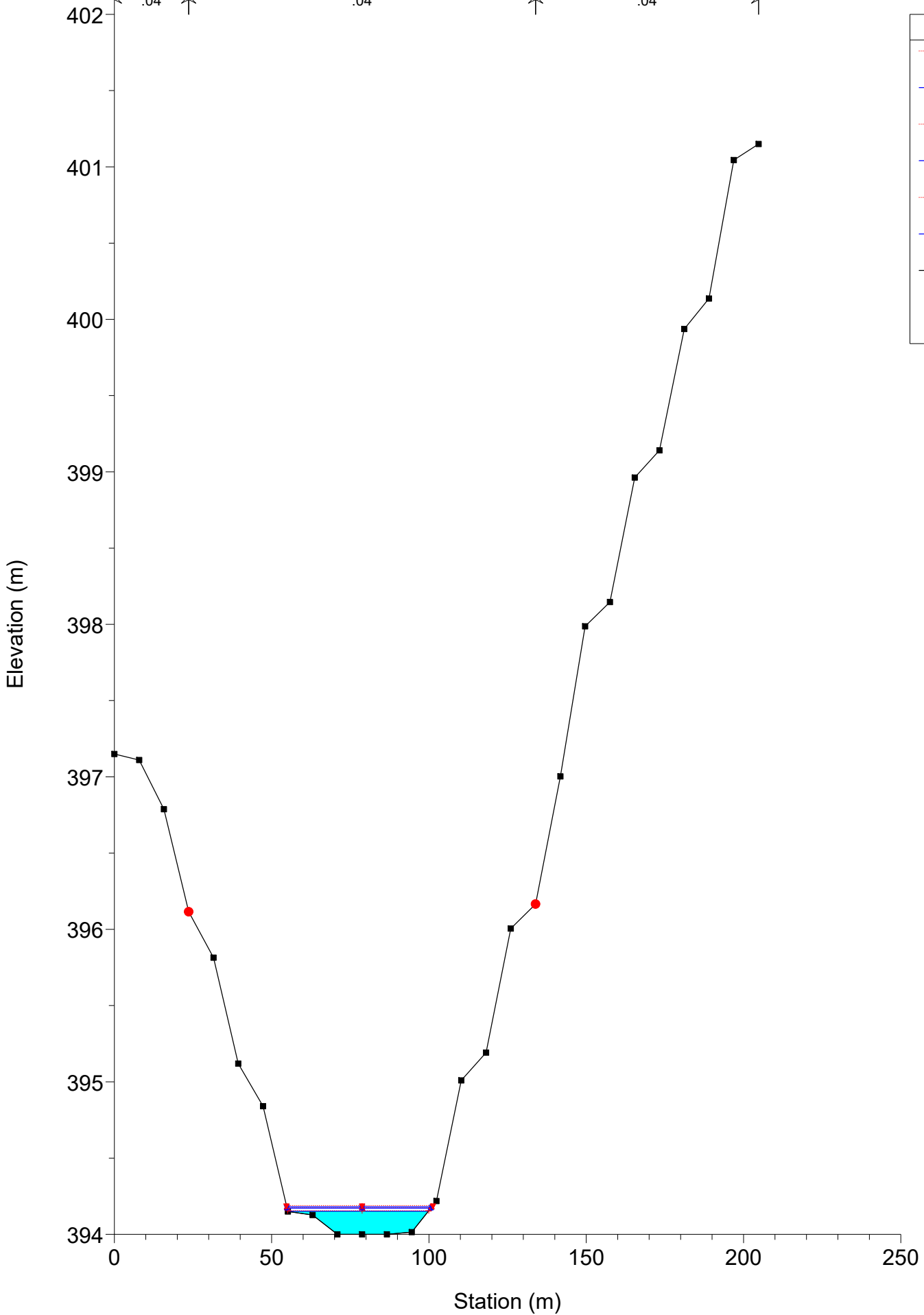


River = Affluente Reach = Affluente RS = 3



Legend	
Crit PF 3	▼ (dotted red line)
Crit PF 2	▲ (dotted red line)
WS PF 3	▼ (solid blue line)
WS PF 2	▲ (solid blue line)
Crit PF 1	⊕ (dotted red line)
WS PF 1	— (solid blue line)
Ground	■ (solid black line)
Bank Sta	● (solid red circle)

River = Affluente Reach = Affluente RS = 2



Legend	
▼	Crit PF 3
▲	WS PF 3
▲	Crit PF 2
▲	WS PF 2
+	Crit PF 1
▲	WS PF 1
■	Ground
●	Bank Sta

