



**Progetto: LIFE 11 ENV/IT/000243 LIFE RII  
RIQUALIFICAZIONE INTEGRATA IDRAULICO- AMBIENTALE  
DEI RII APPARTENENTI ALLA FASCIA PEDEMONTANA  
DELL'EMILIA - ROMAGNA**

**Attività A.1  
Approfondimenti naturalistici e idraulico-geomorfologici**

# **ANALISI IDRAULICA**

Ing. Marco Monaci

Ing. Sara Pavan



<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>COMUNE DI QUATTRO CASTELLA E COMUNE DI BIBBIANO</b>	<b>4</b>
2.1	Rio Enzola	4
2.2	Rio Bianello	11
<b>3</b>	<b>COMUNE DI ALBINEA</b>	<b>17</b>
3.1	Rio Lavezza	17
<b>4</b>	<b>COMUNE DI SAN POLO D'ENZA</b>	<b>24</b>
4.1	Rio Bertolini	24
4.2	Rio Bottazzo	30



## 1 Premessa

Al fine di supportare la progettazione degli interventi sui rii in studio e la predisposizione del “Programma integrato di riqualificazione idraulico ambientale a scala vasta (Attività B.2), il LIFE RII prevede la realizzazione di azioni preparatorie (Attività A.1) volte a colmare le lacune informative esistenti dal punto di vista ambientale, geomorfologico e idraulico; tra queste riveste importanza fondamentale la caratterizzazione idraulica nello stato attuale dei rii in studio.

La presente relazione illustra la metodologia di lavoro e i risultati ottenuti per caratterizzare le problematiche idrauliche di 5 dei 6 rii oggetto degli interventi di riqualificazione previsti dal LIFE RII: tali risultanze sono considerate come esemplificative della situazione idraulica dei corsi d’acqua appartenenti all’intera area di studio compresa nei quattro comuni di Albinea, Quattro Castella, Bibbiano e San Polo d’Enza, avendo già in sede di scrittura della proposta LIFE selezionato i 6 rii proprio in base alla rappresentatività delle problematiche dell’area di interesse.

Non è stato preso in considerazione dall’analisi idraulica il Rio Arianna, in quanto le sue problematiche non riguardano, come per gli altri corsi d’acqua del LIFE RII, il rischio idraulico, quanto piuttosto le dinamiche morfologiche.

## 2 Comune di Quattro Castella e Comune di Bibbiano

### 2.1 Rio Enzola

Lo studio idraulico realizzato nel 2007 dal Comune di Quattro Castella “*Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro del dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio*” mostra come il Rio Enzola provochi inondazioni nelle aree urbane, industriali e agricole di Quattro Castella (e Bibbiano), già con portate relative a tempi di ritorno di soli 10 anni (Figura 1).

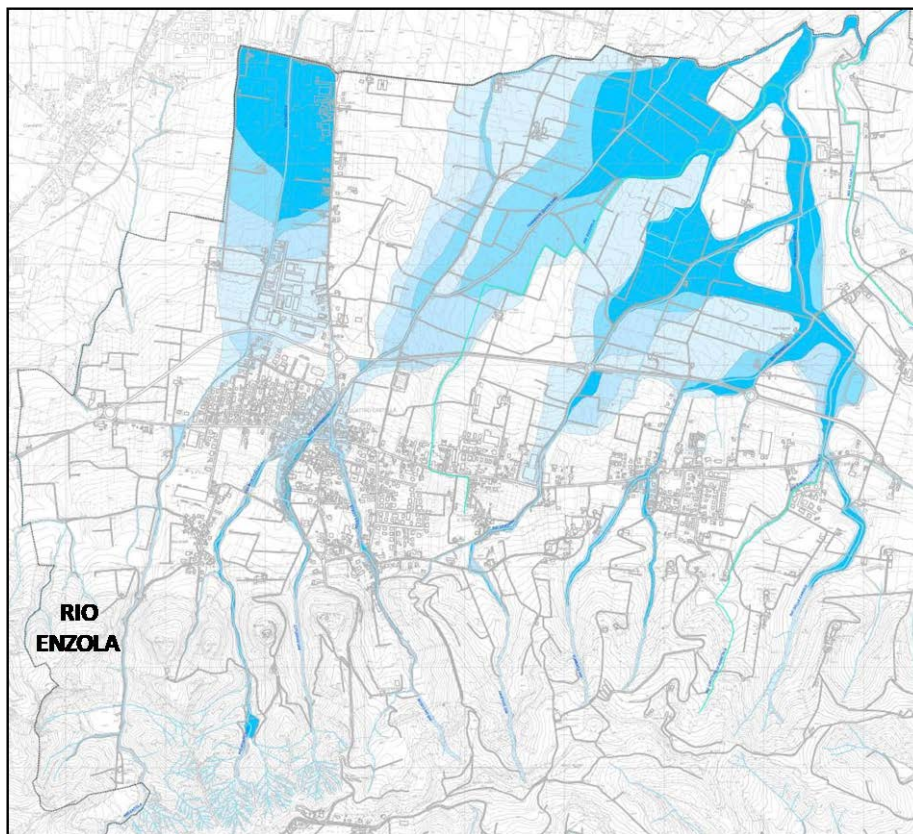


Figura 1 – Aree allagabili con diversi tempi di ritorno (Fonte: *Comune di Quattro Castella, 2007. Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro del dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio*).

Nell’ambito del LIFE RII è stato realizzato un nuovo approfondimento idraulico per un tratto di lunghezza pari a circa 3 km. Il tratto in esame inizia poco a monte della briglia che precede l’attraversamento di via

Enzola in località Monticelli, e si chiude a valle in corrispondenza dello scolmatore presente in ingresso al tratto urbano del comune di Bibbiano. Le caratteristiche geometriche dell'alveo e dei manufatti interferenti sono state ricostruite sulla base di 34 sezioni rilevate dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale. I parametri di resistenza al moto sono stati stimati sulla base di foto e sopralluoghi.

Sono state simulate in moto stazionario, ovvero a portata costante nel tempo, le condizioni di deflusso corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni. I valori delle rispettive portate al colmo, calcolati con il metodo razionale in base alle curve di possibilità climatica fornite dall'Autorità di Bacino del fiume Po, sono stati desunti dalla relazione generale dello studio "Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro di dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio". Nel medesimo studio sono riportati i profili di moto stazionario per le portate corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni, grazie ai quali è stato possibile raffinare la scelta dei parametri di scabrezza tramite un processo di calibrazione.

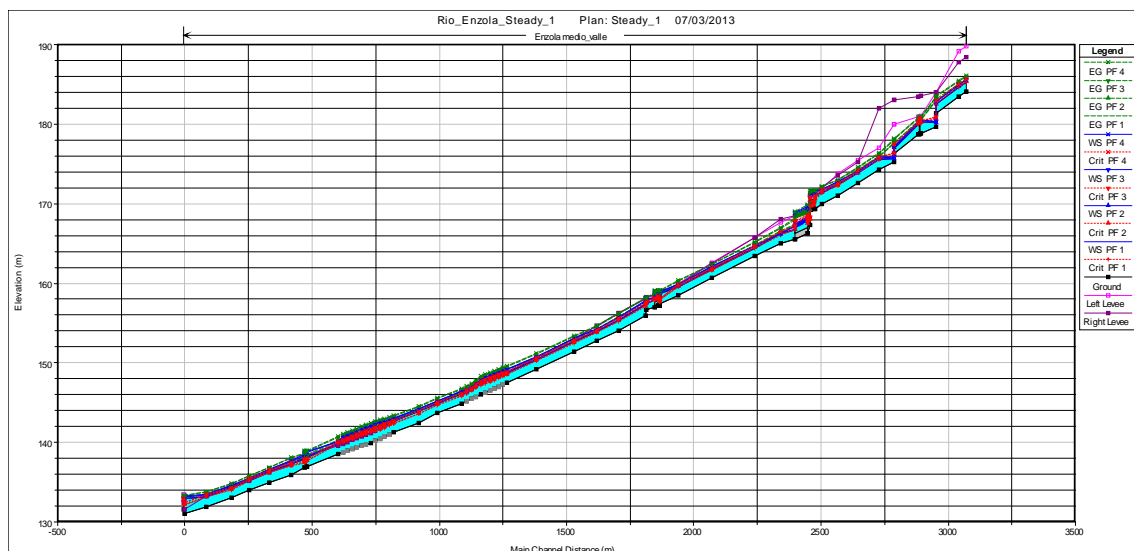


Figura 2: Profili in moto stazionario del Rio Enzola corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni.

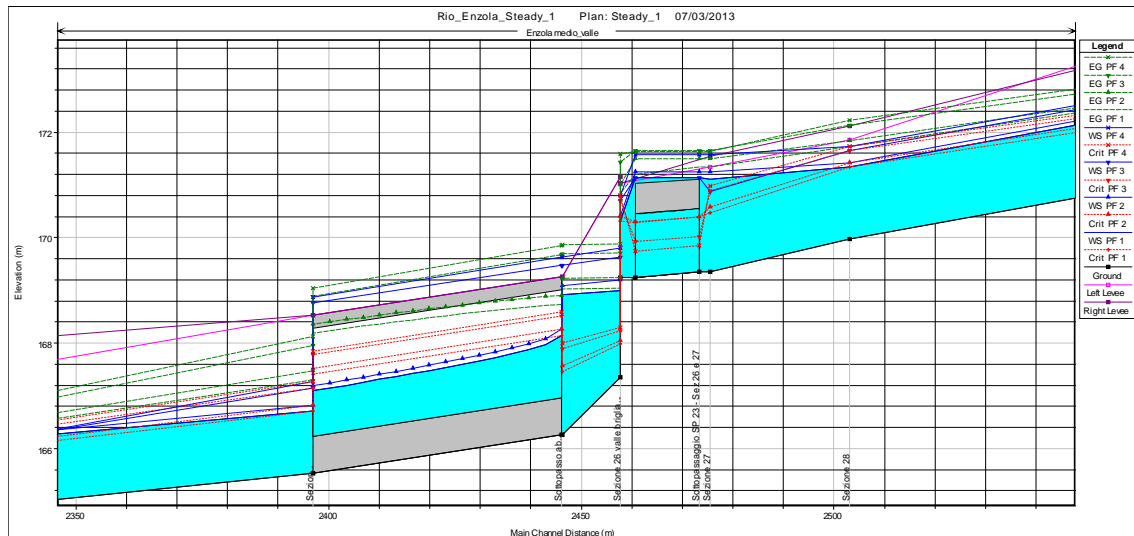


Figura 3: dettaglio nei pressi del sottopassaggio della S.P. 23

Successivamente si è passati alla simulazione in moto stazionario degli eventi di piena, in modo da poter stimare i volumi che eccedono l'efficienza idraulica del Rio Enzola in alcuni punti. A tal fine sono stati utilizzati idrogrammi triangolari asimmetrici, con portata di picco pari alla portata massima prevista per ogni tempo di ritorno, e tempo di sviluppo pari a tre volte il tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ ). Si ottiene in questo modo un idrogramma triangolare asimmetrico con una fase di ascesa di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  e una fase di esaurimento pari al doppio del tempo di corrivazione  $2t_c$ . Questo tipo di idrogramma è stato scelto in coerenza alla verifica in moto vario del tratto arginato a valle della sezione 21 riportato nella relazione generale dello studio, ma ad una prima analisi idrologico-idraulica sembra sovrastimare i volumi di deflusso, che risultano maggiori rispetto ai volumi di pioggia efficace calcolati con il metodo razionale. È quindi in fase di elaborazione un diverso tipo di idrogramma che meglio approssimi la situazione reale.

Per valutare l'entità dei volumi eccedenti la capacità idraulica del Rio Enzola, ovvero per stimare i volumi di esondazione, è stato necessario introdurre nel modello alcune Lateral Structures, ovvero stramazzi laterali, che permettono il trasferimento di volumi d'acqua dal sistema verso l'esterno. Queste strutture sono state inserite nei tratti in cui, dalle simulazioni in moto stazionario, risultano evidenti quote del pelo libero maggiori della quota di una o entrambe le sponde.

I tratti sono:

- 1) tra la sezione 28 e la sezione 27, a monte del sottopassaggio della Strada Provinciale 23
- 2) sulla sezione 20, a monte del sottopassaggio della tangenziale.
- 3) nel tratto pensile di valle, tra la sezione 18, a valle dell'ultimo salto che c'è tra le sezioni 18 e 19, e la sezione 7, poco a monte del sottopassaggio di via Angelo Simonini.

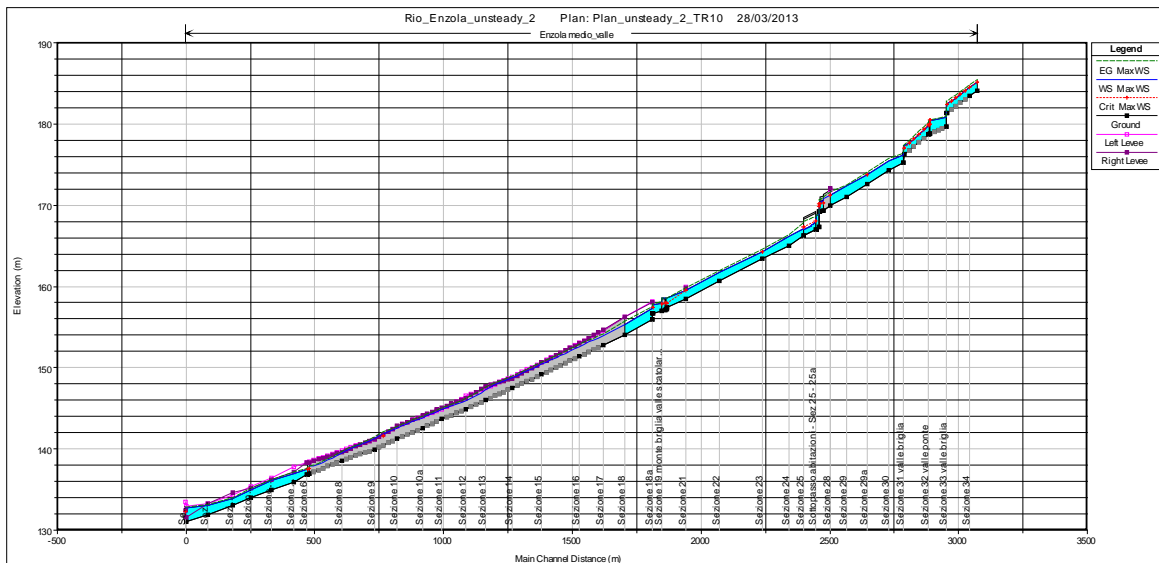


Figura 4: Profilo del modello di moto vario a seguito dell'inserimento delle Lateral Structures.

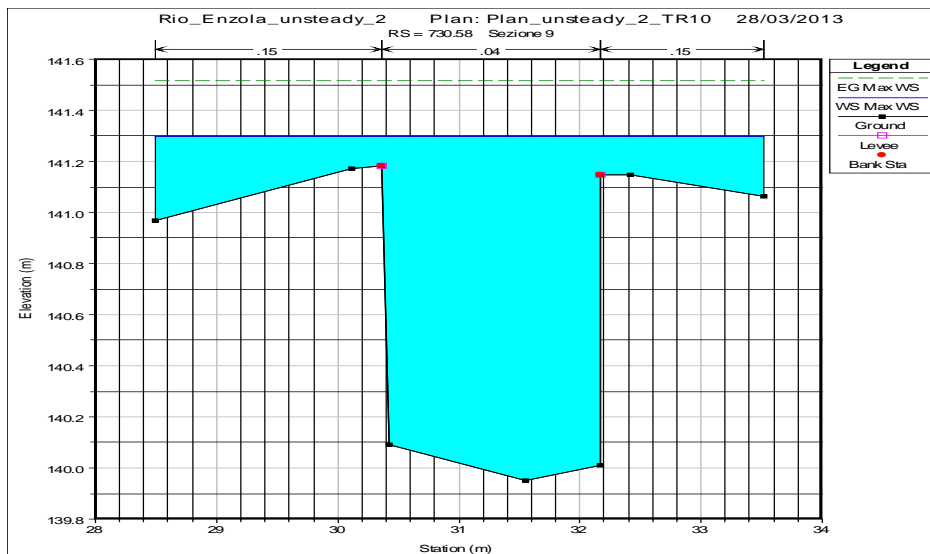


Figura 5: esempio di insufficienza del tratto arginato di valle: sezione 9

Nelle seguenti tabelle sono riportati alcuni dati sui volumi transitanti nel Rio Enzola per i vari tempi di ritorno. Si noti in particolare come la portata massima transitabile senza esondazioni nel tratto arginato di valle sia molto inferiore ai valori di picco dei vari tempi di ritorno, essendo di fatto poco superiore alla metà

della portata decennale (Tabella 1). Si noti inoltre come le esondazioni siano fortemente concentrate nel tratto pensile di valle (rappresentato in questo senso dalla Lateral Structure 3) (Tabella 2).

In base alle precedenti considerazioni sul volume degli idrogrammi questi valori potrebbero essere sovrastimati di circa il 30%, vanno quindi considerati in questa fase soltanto come risultati preliminari che consentono comunque una prima valutazione delle fragilità del sistema. La distribuzione dei volumi eccedenti è peraltro in accordo con le mappe di pericolosità idraulica relative alla zona.

**Tabella 1**

	Volume iniziale onda	Volume finale onda	Volume esondato [mc]	Q_colmo [mc/s]	Q_max_alveo tratto arginato [mc/s]
Tr_10	39610	31150	8460	7.00	3.614
Tr_20	42950	31460	11490	7.93	3.614
Tr_50	53470	32060	21410	10.85	3.614
Tr_100	57500	32190	25310	11.97	3.614

**Tabella 2**

	Lateral Structure 1	Lateral Structure 2	Lateral Structure 3	Totale
Tr_10	0	120	8340	8460
Tr_20	0	400	11090	11490
Tr_50	0	2600	18810	21410
Tr_100	50	3640	21620	25310



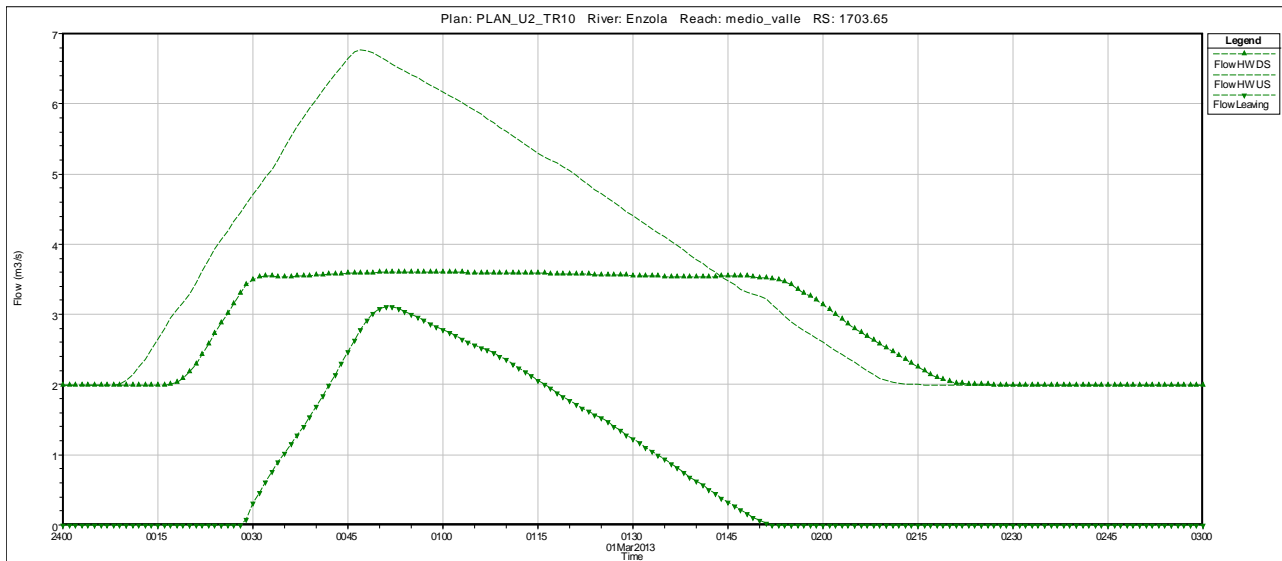


Figura 6: Passaggio dell'onda di piena nel tratto arginato di valle, per  $Tr=10$ , con rappresentazione della portata che transita a valle (FLOW HW DS), della portata in arrivo da monte (FLOW HW US), e della portata che esce dal sistema (Flow Leaving)

Successivamente, il modello idraulico è stato integrato con altre 9 sezioni provenienti da un nuovo rilievo del tratto montano del Rio, che permetterà la valutazione degli effetti idraulici delle opere proposte.

Tale approfondimento conferma la situazione sopra indicata e mostra come la causa principale delle esondazioni sia la sezione insufficiente del tratto arginato-pensile, nella quale può scorrere al massimo una portata di circa 3 mc/s a fronte di portate che arrivano nel tratto variabili da 7 a circa 12 mc/s per tempi di ritorno compresi tra 10 e 100 anni.

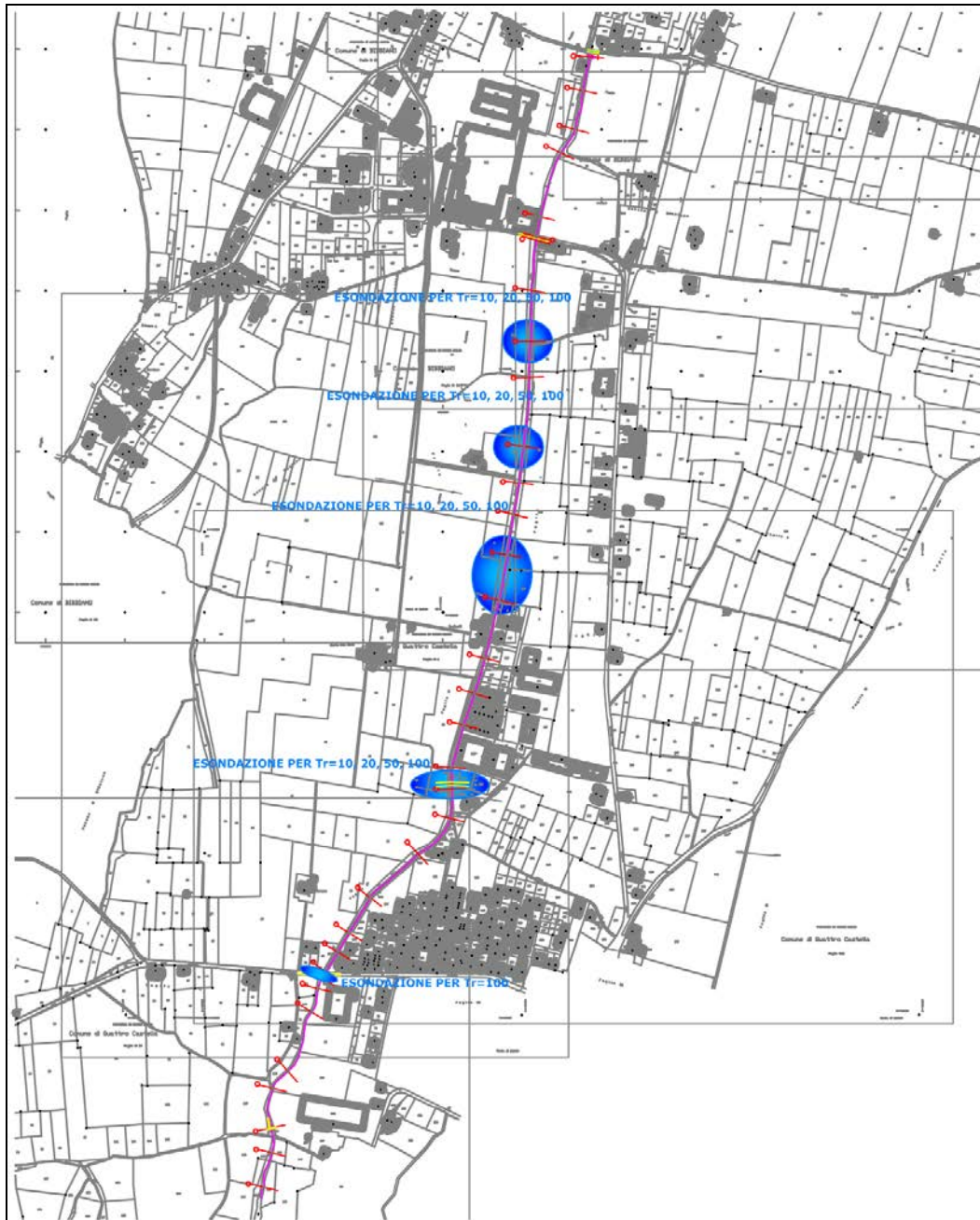


Figura 7 – Sezioni critiche e indicazioni dei tempi di ritorno che causano esondazioni in tali sezioni (Fonte: *studio idraulico realizzato nell'ambito del LIFE RII*)

Causa principale di questa situazione è la sottrazione al rio delle aree per l'esondazione delle piene, avvenuta sia a causa della costruzione di argini nel tratto di pianura sia tramite l'urbanizzazione delle aree allagabili. La costruzione della fascia urbana a ridosso delle pendici collinari limita inoltre quasi completamente la presenza di aree per la laminazione delle piene a monte dell'abitato, situazione peggiorata dall'attraversamento urbano in tratti intubati realizzati con sezioni idraulicamente insufficienti.

## 2.2 Rio Bianello

Lo studio idraulico realizzato nel 2007 dal Comune di Quattro Castella “*Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro del dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio*” mostra come il Rio Bianello provochi inondazioni nelle aree urbane, industriali e agricole di Quattro Castella, già con portate relative a tempi di ritorno di soli 10 anni e a partire dal tratto intubato posto a monte del paese (Figura 1).

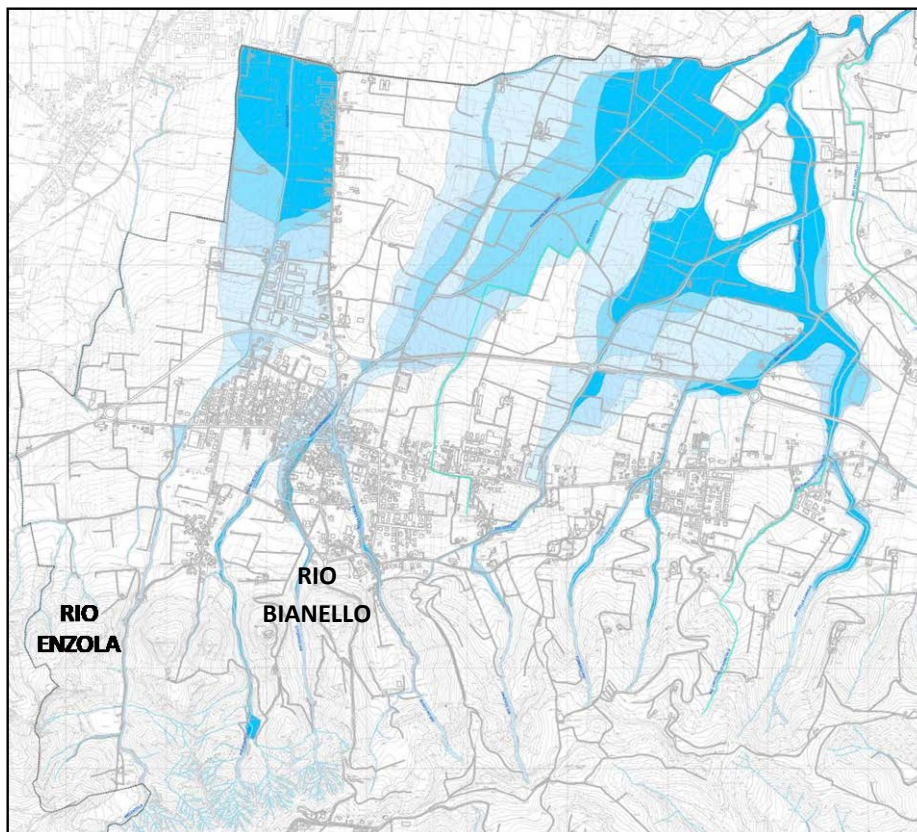


Figura 8 – Aree allagabili con diversi tempi di ritorno (Fonte: *Comune di Quattro Castella, 2007. Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro del dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio*).

Cause principali di questa situazione sono il tratto intubato che attraversa il centro di Quattro Castella, per quanto riguarda le esondazioni nell’area abitata, e la sottrazione al rio delle aree per l’esondazione delle piene, per ciò che concerne le esondazioni a valle dell’area urbana, sottrazione avvenuta sia a causa della costruzione di argini nel tratto di pianura sia per l’urbanizzazione delle aree allagabili. La costruzione della fascia urbana a ridosso delle pendici collinari limita inoltre quasi completamente la presenza di aree per la laminazione delle piene a monte dell’abitato.



Nell'ambito del progetto in corso si sta ora sviluppando, a supporto della progettazione, una modellizzazione idraulica del rio che certificherà le problematiche idrauliche dello stesso, i cui risultati definitivi saranno inseriti nella progettazione esecutiva.

Il nuovo modello idraulico del Rio Bianello è stato implementato per un tratto di lunghezza pari a circa 500 m. Il tratto in esame inizia circa 300 m a monte del ponte ad arco in pietra che precede il viale di accesso del Castello di Bianello e si chiude poco a valle del medesimo ponte, in corrispondenza dell'inizio del tratto tombinato a fianco di via Guglielmo Marconi nel comune di Quattro Castella. Le caratteristiche geometriche dell'alveo e dei manufatti interferenti sono state ricostruite sulla base di 4 sezioni rilevate dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale. I parametri di resistenza al moto sono stati stimati sulla base di foto e sopralluoghi.

Sono state simulate in moto stazionario, ovvero a portata costante nel tempo, le condizioni di deflusso corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni. I valori delle rispettive portate al colmo, calcolati con il metodo razionale in base alle curve di possibilità climatica fornite dall'Autorità di Bacino del fiume Po, sono stati desunti dalla relazione generale dello studio "Approfondimenti di natura idraulica e idrogeologica finalizzati alla definizione del quadro di dissesto a scala comunale e linee di intervento per la mitigazione del rischio". Nel medesimo studio sono riportati i profili di moto stazionario per le portate corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni, grazie ai quali è stato possibile raffinare la scelta dei parametri di scabrezza tramite un processo di calibrazione.

Al fine di rispettare la coerenza con il modello già sviluppato dal Consorzio, è stato aggiunto un tratto tombinato di lunghezza pari a 300 m e diametri pari a 1 m, che costituisce la condizione al contorno di valle del sistema modellizzato.

Il modello è stato predisposto subito per le simulazioni a moto vario introducendo una Lateral Structures, ovvero uno stramazzo laterale, che permetta il trasferimento di volumi d'acqua dal sistema verso l'esterno. Questo tipo di struttura è stata inserita a monte dell'imbocco del tratto tombinato, in quanto dalle mappe del rischio idraulico della zona ci si attende un'esondazione proprio in questo punto.

Le portate simulate sono:

- $Tr=10 \rightarrow Q= 2.95 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Tr=20 \rightarrow Q= 3.38 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Tr=50 \rightarrow Q= 4.74 \text{ m}^3/\text{s}$
- $Tr=100 \rightarrow Q= 5.25 \text{ m}^3/\text{s}$

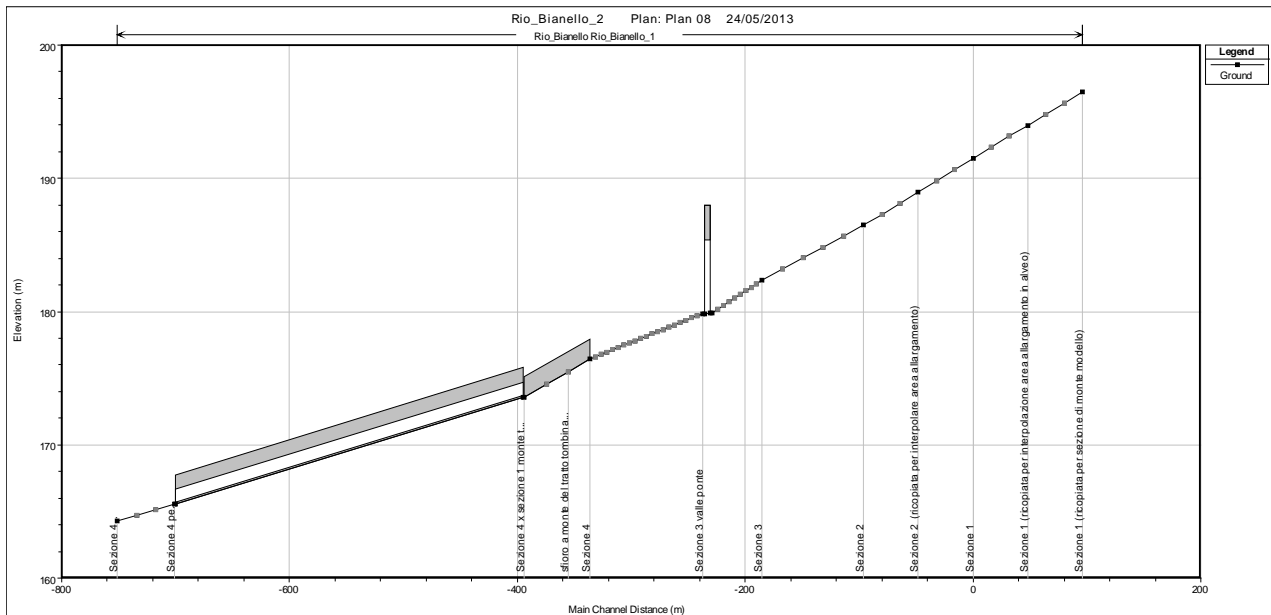


Figura 9: Profilo del fondo del Rio Bianello

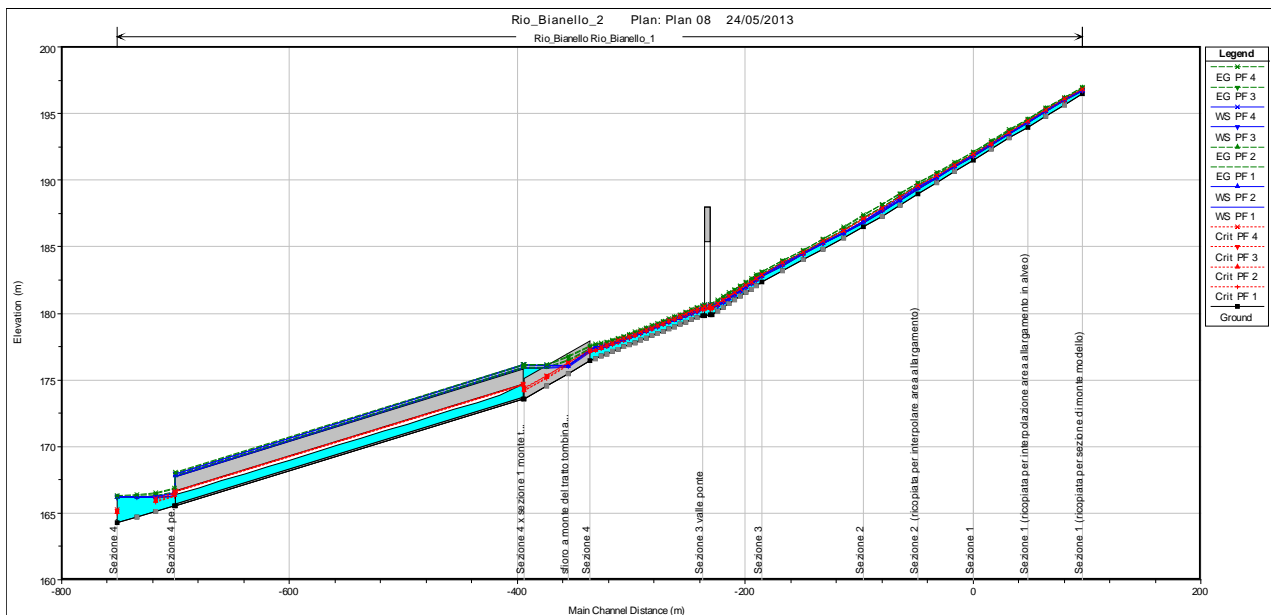


Figura 10: Profili in moto stazionario del Rio Bianello corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni.

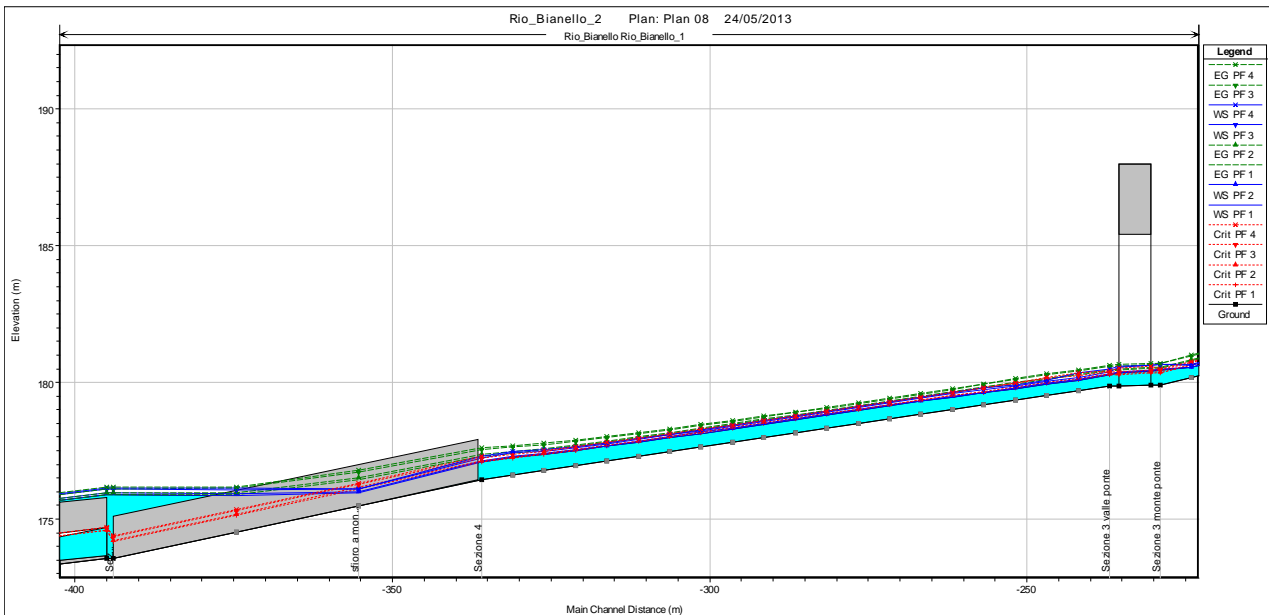


Figura 11: Profili in moto stazionario del Rio Bianello corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni: dettaglio del tratto che va dal ponticello del Castello all'inizio del tratto tombinato.

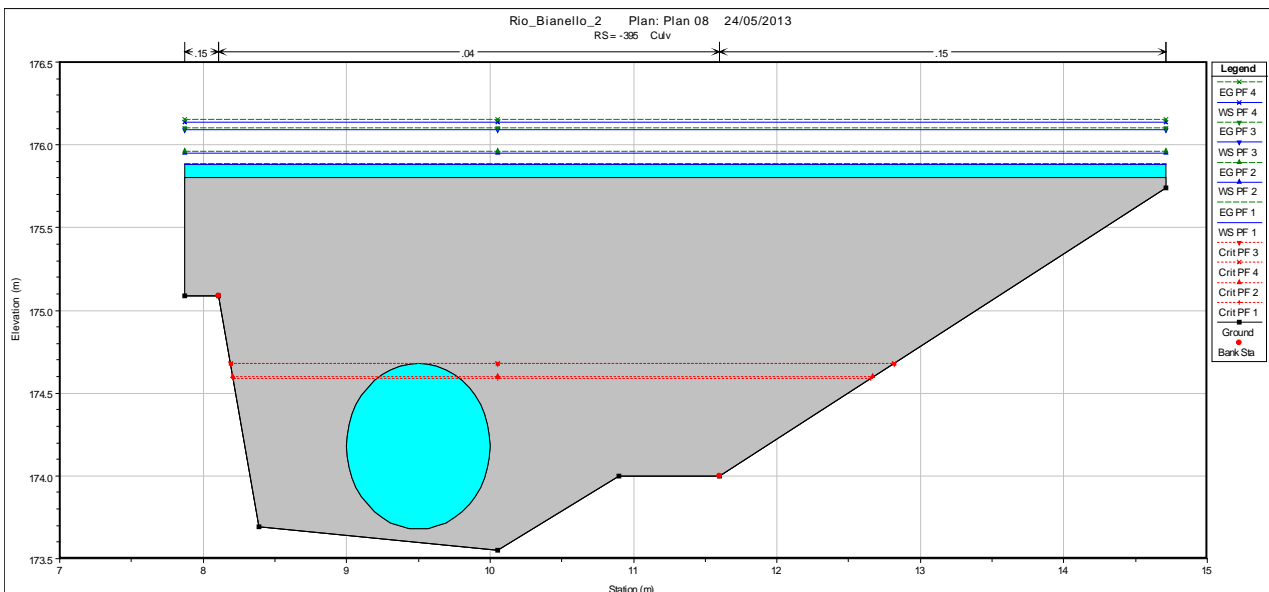


Figura 12: Profili in moto stazionario del Rio Bianello corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 20, 50 e 100 anni: dettaglio della sezione a monte del tratto tombinato.

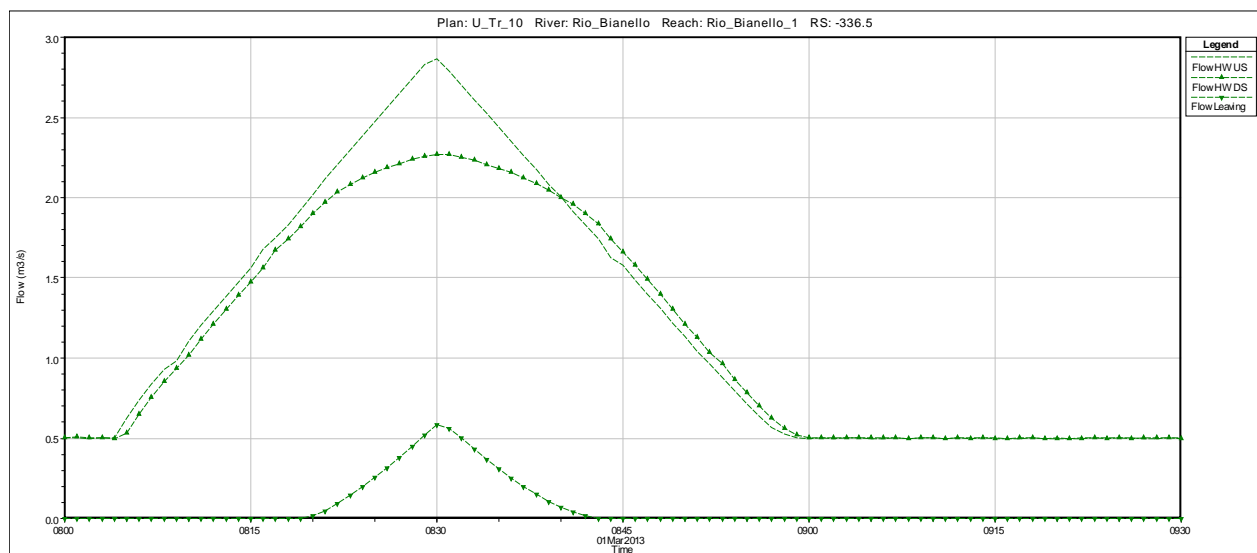
Successivamente si è passati alla simulazione in moto vario degli eventi di piena, in modo da poter stimare i volumi che eccedono l'ufficienza idraulica del Rio Bianello. A tal fine sono stati utilizzati idrogrammi

triangolari asimmetrici, con portata di picco pari alla portata massima prevista per ogni tempo di ritorno, e tempo di sviluppo pari a tre volte il tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ ). Si ottiene in questo modo un idrogramma triangolare asimmetrico con una fase di ascesa di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  e una fase di esaurimento pari al doppio del tempo di corrivazione  $2t_c$ .

Nella seguente tabella sono riportati alcuni dati sui volumi transitanti nel Rio Bianello per i vari tempi di ritorno.

**Tabella 3**

	Volume iniziale onda	Volume onda finale	Volume esondato [mc]	Q_colmo [mc/s]	Q_max_tratto tombato [mc/s]
Tr_10	6590	6230	360	2.95	2.27
Tr_20	7400	6640	760	3.38	2.35
Tr_50	9500	7370	2140	4.74	2.50
Tr_100	10480	7610	2870	5.25	2.55



**Figura 13: Passaggio dell'onda di piena a monte del tratto tombinato, per  $Tr=10$ , con rappresentazione della portata che transita a valle (FLOW HW DS), della portata in arrivo da monte (FLOW HW US), e della portata che esce dal sistema (Flow Leaving)**

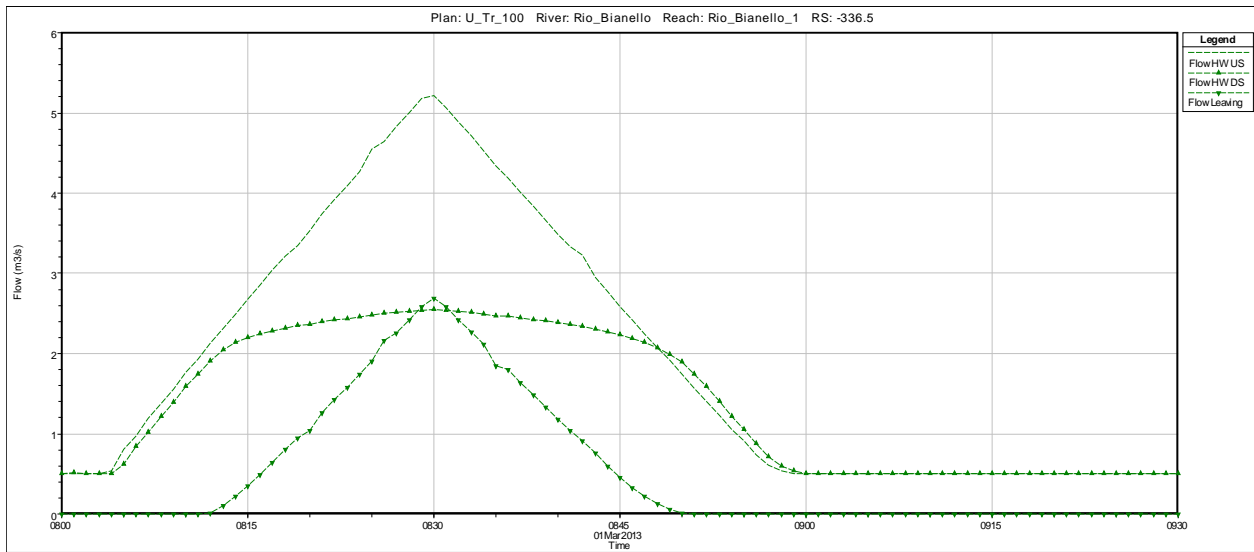


Figura 14: Passaggio dell'onda di piena a monte del tratto tombinato, per  $Tr=100$



## 3 Comune di Albinea

### 3.1 Rio Lavezza

Non è disponibile alcuno studio idraulico preesistente lungo il Rio Lavezza ed è quindi stata realizzata, a supporto della progettazione, una modellizzazione idraulica del rio che ha certificato le caratteristiche idrauliche dello stesso, ha guidato la definizione delle caratteristiche degli interventi e verificherà i risultati attesi dalle azioni.

Il Lavezza è comunque soggetto a minori problematiche idrauliche rispetto agli altri corsi d'acqua studiati dal LIFE RII, avendo ancora a disposizione la quasi totalità delle aree allagabili, motivo per il quale il progetto di riqualificazione ha prevalenti finalità ambientali e in subordine idrauliche.

Si riportano di seguito i risultati dell'analisi dello stato attuale evidenziati dall'applicazione del modello idraulico del Rio Lavezza per un tratto di lunghezza pari a circa 2.8 km.

Il tratto in esame inizia nei pressi della località Montericco, e si chiude a valle del comune di Albinea, poco prima della località La Tenuta. Le caratteristiche geometriche dell'alveo e dei manufatti interferenti sono state ricostruite sulla base di 40 sezioni rilevate dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale. I parametri di resistenza al moto sono stati stimati sulla base di foto e sopralluoghi.

Sono state simulate in moto stazionario, ovvero a portata costante nel tempo, le condizioni di deflusso corrispondenti ai tempi di ritorno , 20 e 100 anni. I valori delle rispettive portate al colmo sono stati calcolati con il metodo razionale in base alle curve di possibilità climatica fornite dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

$$Q = \frac{\phi \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c}$$

dove

- $S$  = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $\phi$  = coefficiente medio di deflusso del bacino;
- $h$  = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curva di possibilità climatica;
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

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

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno  $T$  di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione.

Per quanto riguarda i dati utilizzati, le altezze medie e massime del bacino sulla sezione di chiusura sono state stimate sulla base delle curve di livello e di alcuni punti quotati sulla Carta Tecinca Regionale; l'area del bacino e la lunghezza dell'asta sono state invece misurate.

I parametri della curva di possibilità climatica,  $a$  ed  $n$ , sono stati ricavate dalle tabelle di regionalizzazione riportate nella direttiva PAI. I valori del coefficiente di deflusso  $cd$  sono stati assunti pari a quelli utilizzati per il bacino del Rio Enzola.

Tr	Area tot (km <sup>2</sup> )	L (m)	Hm (m)	Hmax (m)	i	tc (ore) Giandotti	tc (ore) Pasini	tc (ore) Ventura	a	n	cd	Q Giandotti (mc/s)	Q Pasini (mc/s)	Q Ventura (mc/s)
20	3.59	4718	100	250	0.053	6.70	4.19	1.05	40.2	0.302	0.36	3.8	5.3	14.0
100	3.59	4718	100	250	0.053	6.70	4.19	1.05	51.4	0.296	0.43	5.8	8.0	21.3

I parametri di scabrezza sono stati stimati sulla base delle foto, dei sopralluoghi, e per analogia con altri Rii di caratteristiche simili già modellati (Rio Enzola).

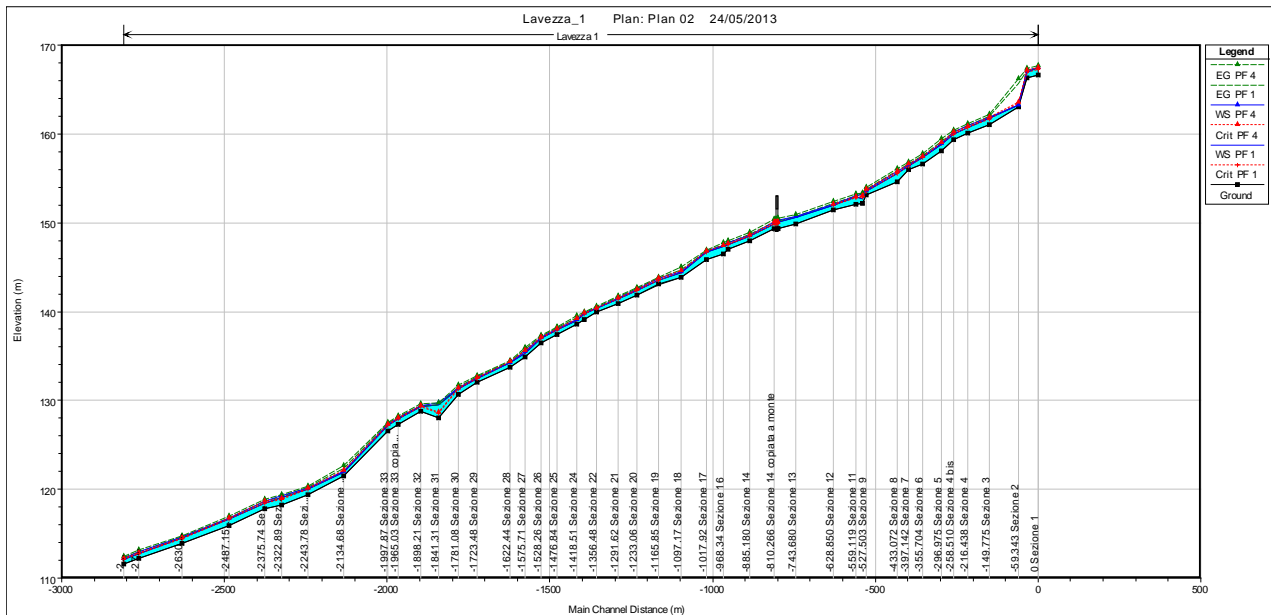


Figura 15: Profili in moto stazionario del Rio Lavezza corrispondenti ai tempi di ritorno 20 e 100 anni (formula di Giandotti).

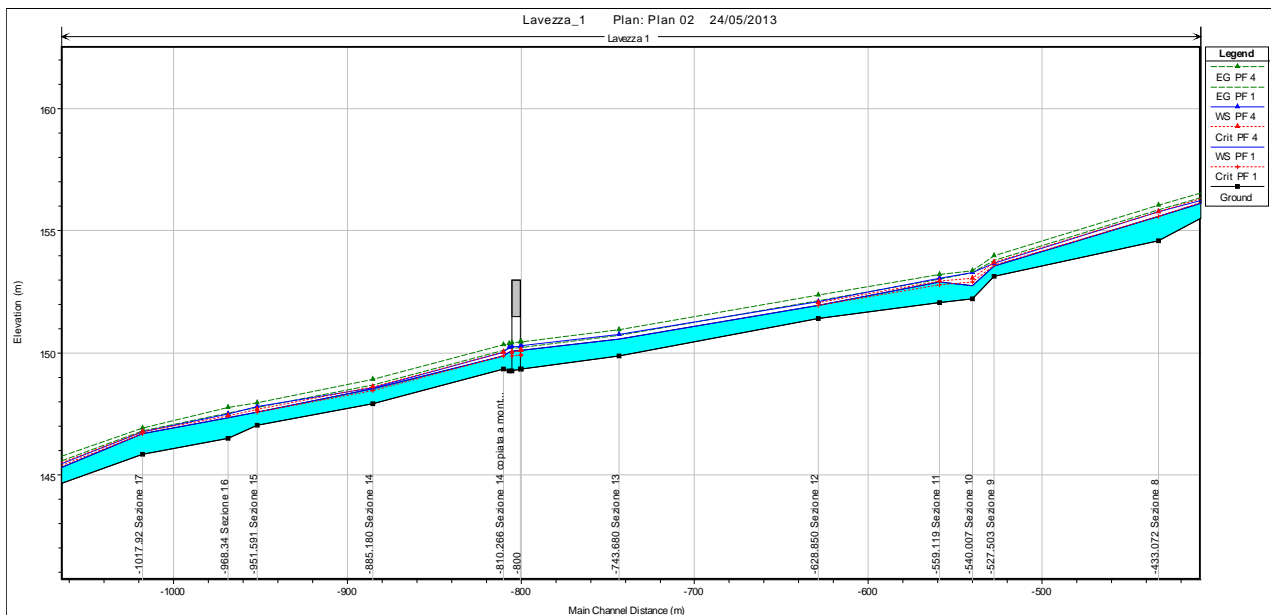


Figura 16: Profili in moto stazionario del Rio Lavezza corrispondenti ai tempi di ritorno 20 e 100 anni (formula di Giandotti); dettaglio nei pressi del ponticello di via Caduti della Libertà.

Successivamente si è passati alla simulazione in moto vario degli eventi di piena, in modo da poter stimare i volumi che eccedono l'ufficiosità idraulica del Rio Lavezza in alcuni punti. A tal fine sono stati utilizzati

idrogrammi triangolari asimmetrici, con portata di picco pari alla portata massima prevista per ogni tempo di ritorno, e tempo di sviluppo pari a tre volte il tempo di corrivazione del bacino ( $t_c$ ). Si ottiene in questo modo un idrogramma triangolare asimmetrico con una fase di ascesa di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  e una fase di esaurimento pari al doppio del tempo di corrivazione  $2t_c$ .

Si riportano nel seguito i risultati relativi alle simulazioni per  $Tr=20$  anni e  $Tr=100$  anni delle portate ottenute con la formula di Pasini (intermedie rispetto a quelle calcolate con le formule di Giandotti e Ventura).

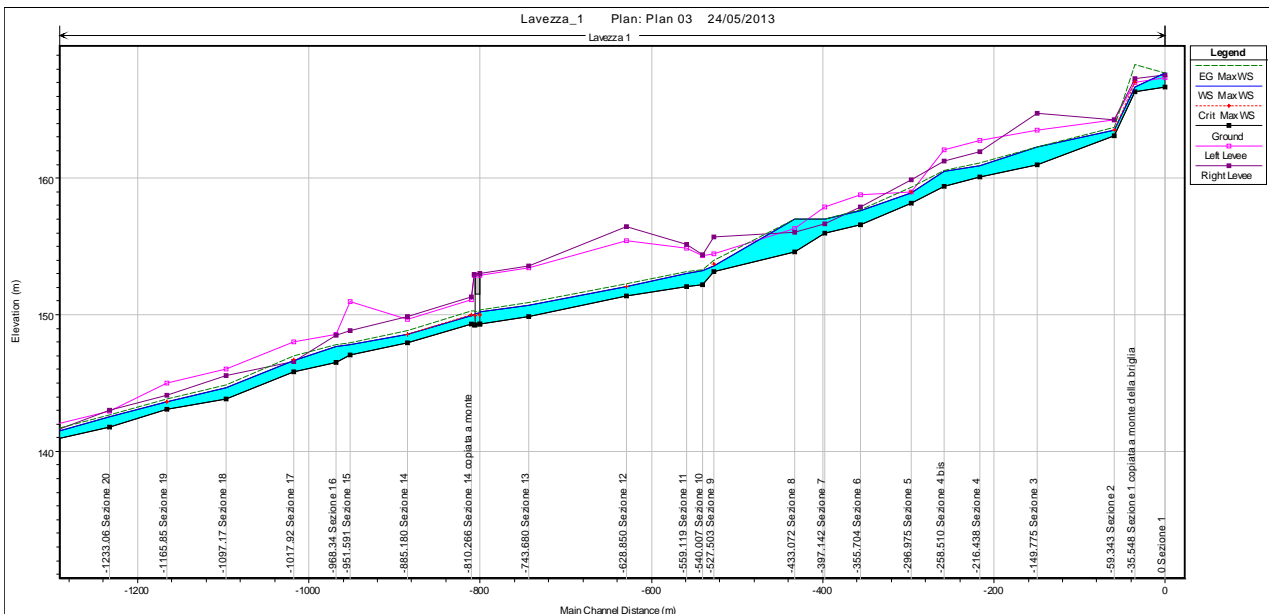


Figura 17: Profilo del modello di moto vario corrispondente alla massima quota del pelo libero per  $Tr = 20$  anni (tratto di monte)

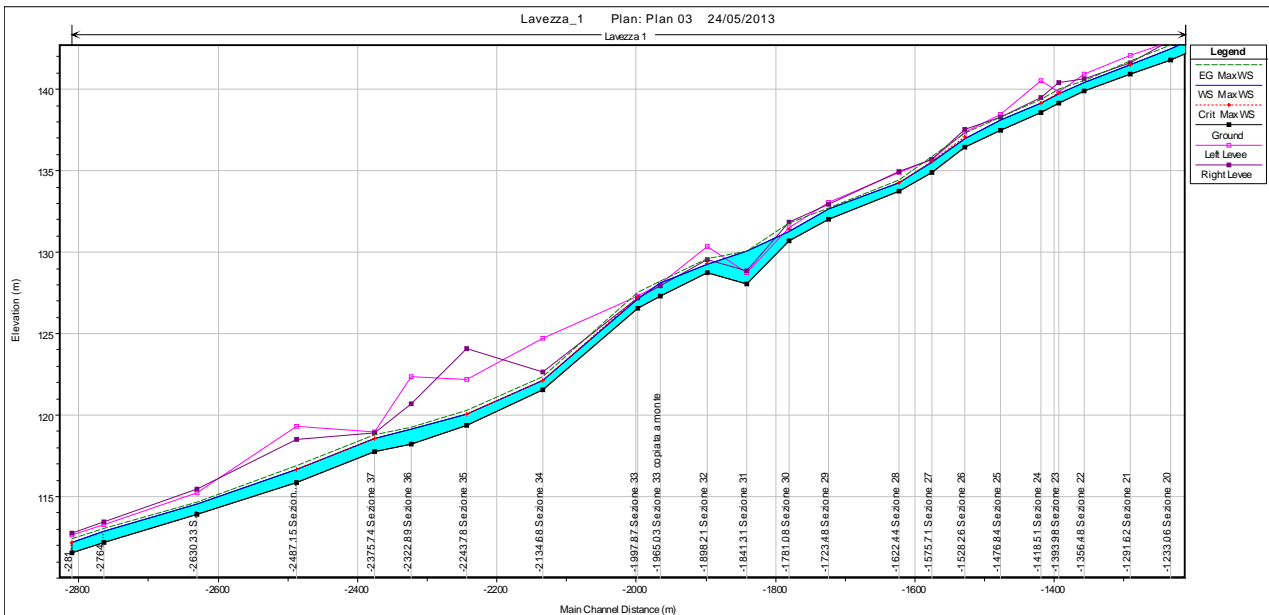


Figura 18: Profilo del modello di moto vario corrispondente alla massima quota del pelo libero per  $T_r = 20$  anni (tratto di valle).

La sezione del Rio Lavezza risulta quasi ovunque adeguata alla portata prevista, l'unica eccezione è rappresentata dalla Sezione 31. Dalla simulazione risulta un'esonazione in sponda destra, causata dall'abbassamento locale del fondo in questa sezione (più bassa anche rispetto alla sezione 32 più a valle. Non è stata però introdotta nel modello nessuna struttura di sfioro laterale che possa sottrarre volumi al sistema, in quanto la morfologia del tratto suggerisce che non vi sia dispersione dell'acqua in campagna, bensì un rientro nel Rio immediatamente a valle (vedi morfologia sezione 32).

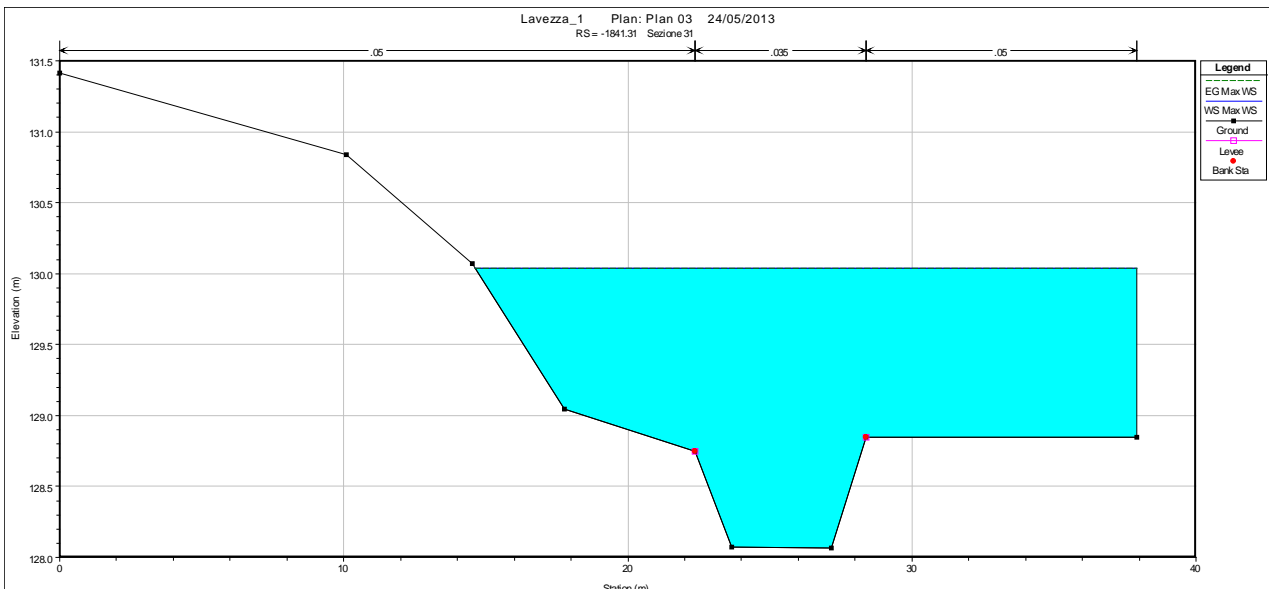


Figura 19: Sezione 31, risultati per  $T_r = 20$  anni

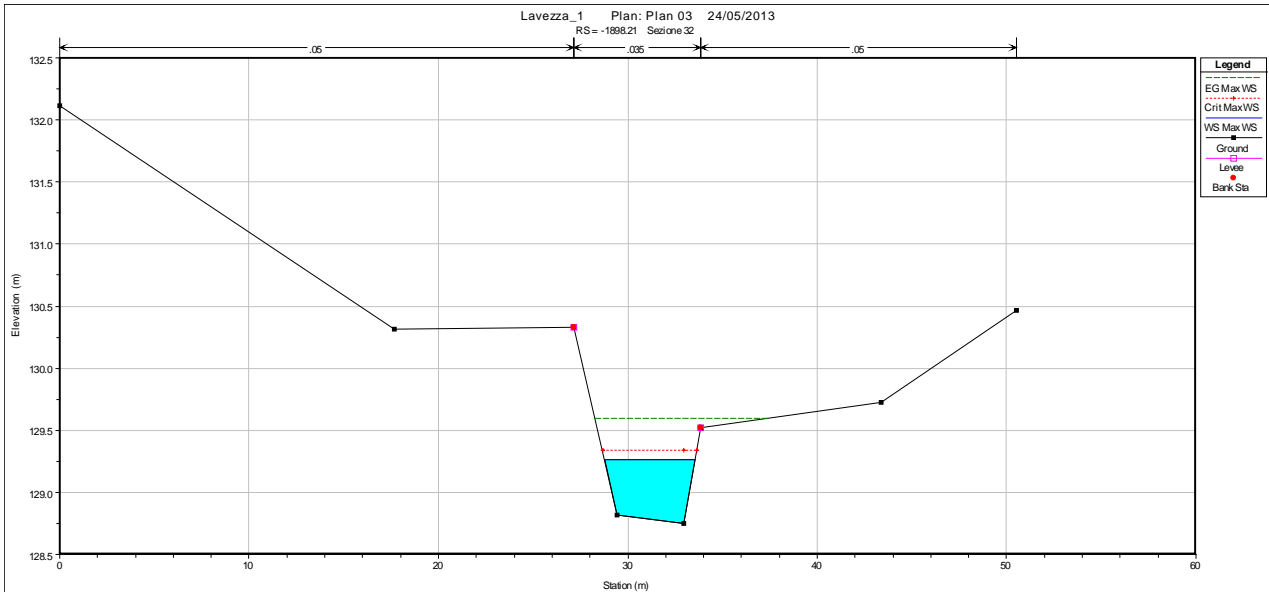


Figura 20: Sezione 32, risultati per  $T_r = 20$  anni

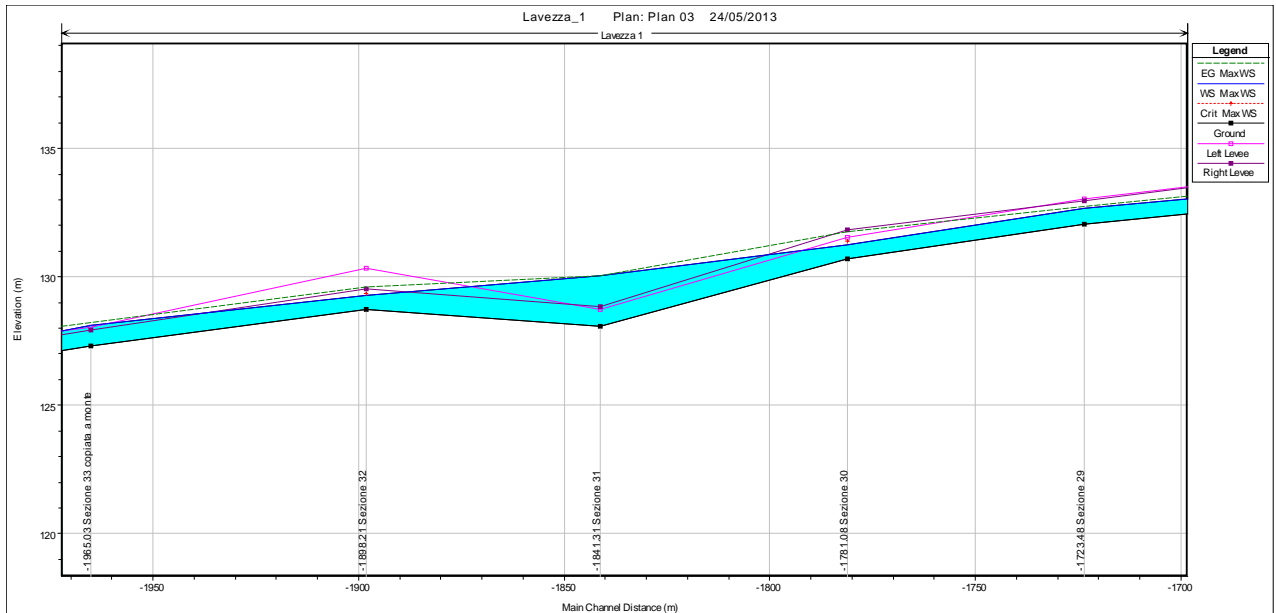


Figura 21: Dettaglio del profilo di fondo e pelo libero in corrispondenza della sezione 32.

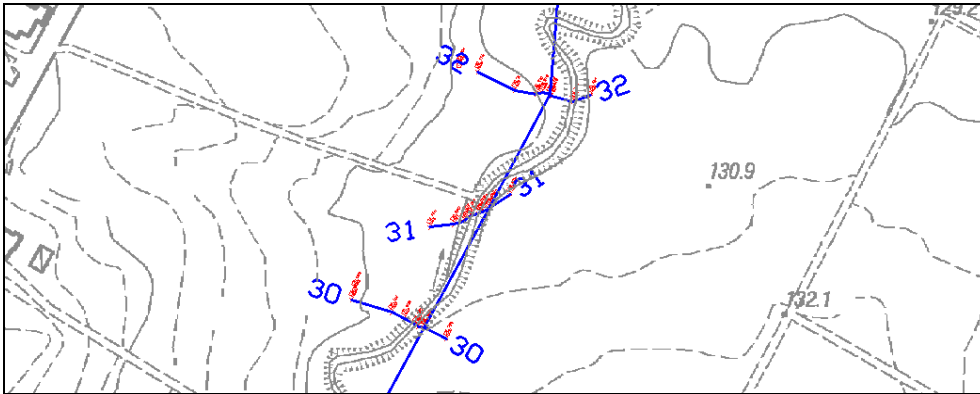


Figura 22: Sezione 32, posizione planimetrica.

I risultati per la simulazione con la portata corrispondente al tempo di ritorno 100 anni sono analoghi, anche se ovviamente con tiranti leggermente maggiori.

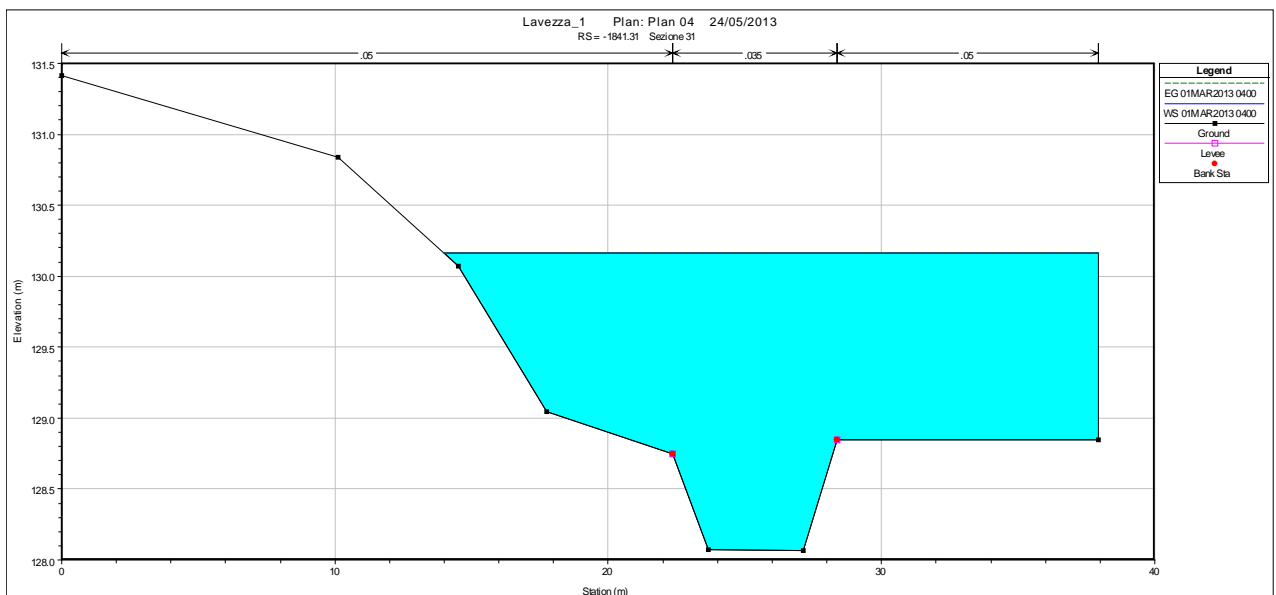


Figura 23: Sezione 31, risultati per  $Tr = 100$  anni



## 4 Comune di San Polo d'Enza

### 4.1 Rio Bertolini

Non sono disponibili studi idraulici preesistenti che quantifichino la problematica idraulica sul Rio Bertolini: per esperienza storica e per l'analisi della conformazione del rio nell'attraversamento dell'area urbanizzata di San Polo d'Enza si può comunque confermare la situazione di criticità comune a tutti i corsi d'acqua esaminati dal LIFE RII, per i quali l'incrocio con le aree urbane costituisce fonte di problemi idraulici.

Causa principale di questa situazione è la sottrazione al rio delle aree per l'erosione delle piene, avvenuta a causa dell'urbanizzazione delle aree allagabili, situazione peggiorata dall'attraversamento urbano in tratti artificializzati realizzati con sezioni idraulicamente insufficienti.

Nell'ambito del progetto è comunque stata eseguita una valutazione dell'efficienza idraulica nelle sezioni di intervento in cui sarà realizzata una briglia selettiva.

La stima delle portate al colmo è stata condotta con metodo indiretto, in conformità con la "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" redatta dall'Autorità di Bacino del fiume Po ed allegata al PAI.

In particolare è stato applicato il Metodo Razionale secondo il quale la portata è esprimibile con la seguente formula:

$$Q = \frac{\phi \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c}$$

Dove:

- S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $\phi$  = coefficiente medio di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curva di possibilità climatica;
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).



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

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

Tr	Area tot (km <sup>2</sup> )	L (m)	Hm (m)	Hmax (m)	i	tc (ore) Giandotti	tc (ore) Pasini	tc (ore) Ventura	a	n	cd	Q Giandotti (mc/s)	Q Pasini (mc/s)	Q Ventura (mc/s)
10	2.02	2754	100	200	0.073	2.93	1.57	0.67	36.9	0.27	0.36	3.4	5.4	10.0
20	2.02	2754	100	200	0.073	2.93	1.57	0.67	42.2	0.27	0.36	3.9	6.1	11.4
50	2.02	2754	100	200	0.073	2.93	1.57	0.67	49.1	0.26	0.43	5.3	8.5	15.9
100	2.02	2754	100	200	0.073	2.93	1.57	0.67	54.2	0.26	0.43	5.9	9.4	17.6

In questa tabella sono riportati i calcoli dei tempi di corrivazione e delle corrispondenti portate al colmo secondo tre dei metodi più diffusi:

a) Metodo di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} \cdot 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

b) metodo di Ventura per la bonifica bolognese

$$t_c = \frac{0.1272\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

c) metodo di Pasini per la bonifica renana

$$t_c = \frac{0.108\sqrt{S} \cdot L}{\sqrt{i}}$$

dove:

- $H_m$  = altezza media del bacino sulla sezione di chiusura
- $H_{maz}$  = altezza massima rispetto alla sezione di chiusura
- $i$  = pendenza media dell'asta principale

Per quanto riguarda i dati utilizzati, le altezze medie e massime del bacino sulla sezione di chiusura sono state stimate in base ai dati del limitrofo bacino dell'Enzola, l'area del bacino e la lunghezza dell'asta sono state invece misurate.

I parametri della curva di possibilità climatica,  $a$  ed  $n$ , sono gli stessi utilizzati per il Rio Enzola, in quanto la cella di regionalizzazione rappresentata nella direttiva PAI è la stessa. Per analogia si sono mantenuti anche gli stessi valori del coefficiente di deflusso  $cd$ .

La verifica dell'officiosità idraulica è stata effettuata in moto uniforme, considerando le portate risultanti per i tempi di ritorno di 20 e 100, per tutti e tre i metodi considerati, in modo da considerare un range di variabilità adeguato.

Il profilo del Rio è stato ricostruito grazie alle sezioni rilevate, ma per valutare l'efficienza idraulica della sezione 1 è stata aggiunta a valle di questa un'ulteriore sezione, denominata sezione 0, di geometria identica alla 1, ma a una quota più bassa.

La pendenza del tratto di valle è fondamentale per la valutazione della capacità di deflusso di una sezione, infatti minore è tale pendenza, e minore sarà la capacità di deflusso.

Al fine di effettuare una verifica realistica, ma ponendosi a favore di sicurezza, è stato ipotizzato un brusco calo di pendenza nell'ultimo tratto, in analogia a quanto accade per i Rii limitrofi già analizzati. Sono state inoltre considerate le curve di livello e alcuni punti quotati riportati nella Carta Tecnica Regionale.

In conclusione, al tratto terminale è stata assegnata una pendenza di 0.005, data dall'abbassamento di 1 m in 200 m di distanza.

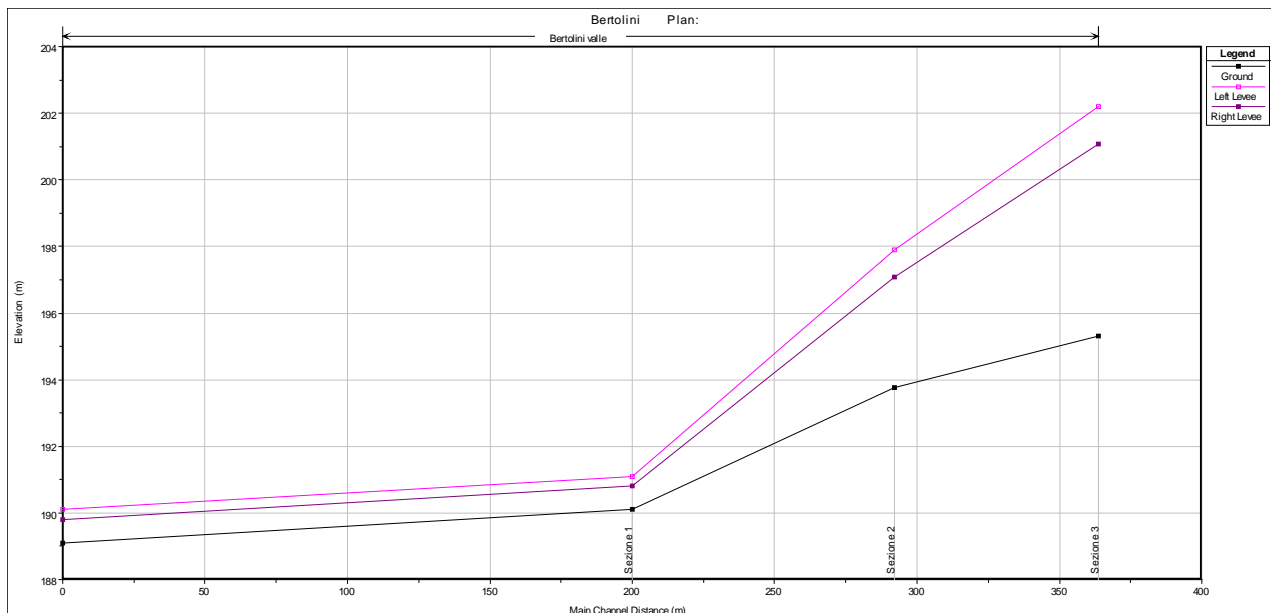


Figura 24 –Profilo del Rio Bertolini. La linea nera identifica il fondo del Rio, mentre le due linee violette identificano le sponde.

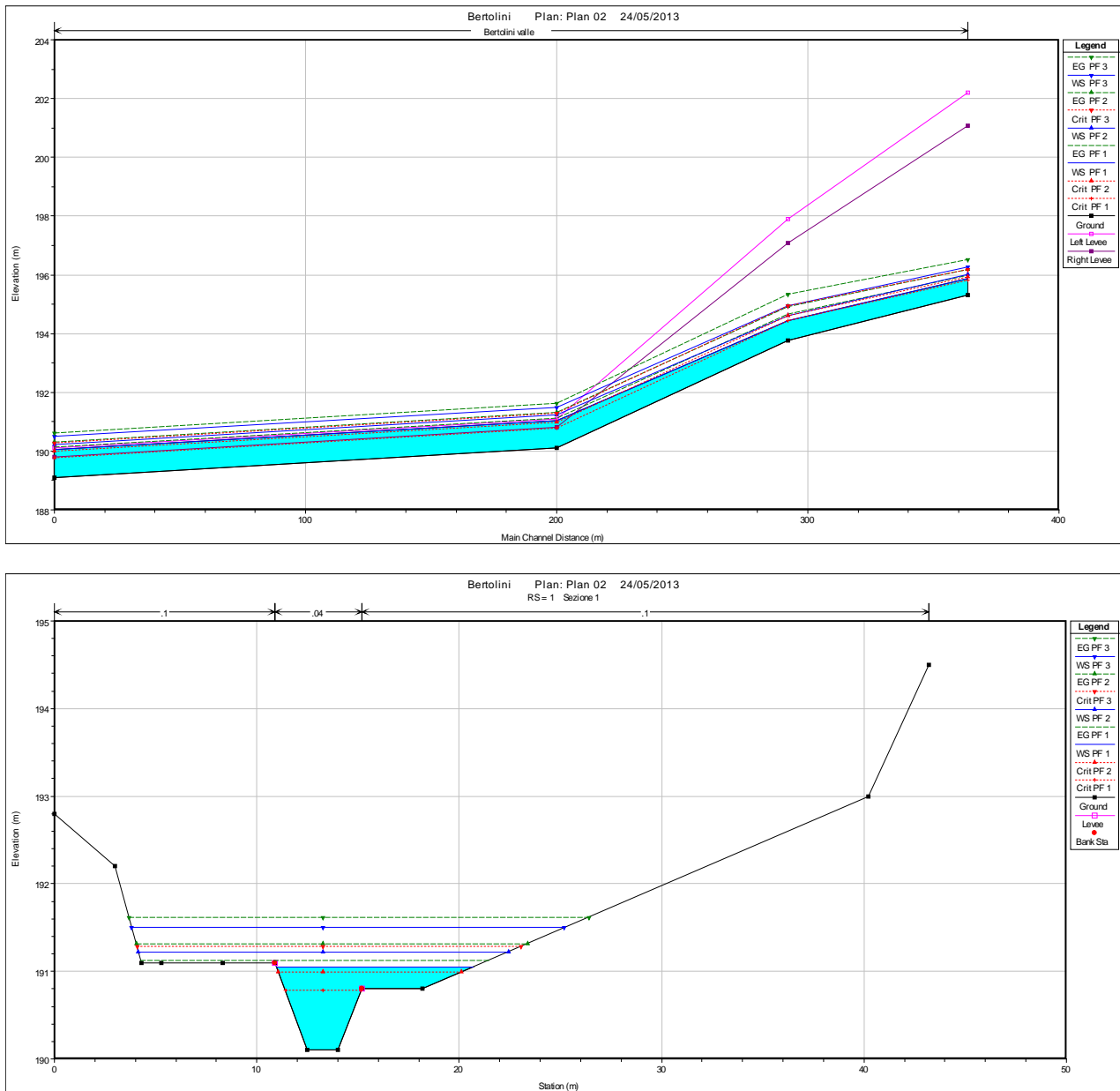


Figura 25 – Volumi di piena stimati per Tr di 20 anni (profilo, in alto, e sezione, in basso).

Le tre portate simulate sono 3.9, 6.1, 11.4 m<sup>3</sup>/s, e solo la più bassa, calcolata con il metodo di Giandotti, risulta essere contenuta all'interno dell'alveo. Le portate calcolate con le formule di Pasini e Ventura risultano invece troppo alte per la capacità idraulica del Rio, portando ad un allagamento della strada in sinistra idraulica.

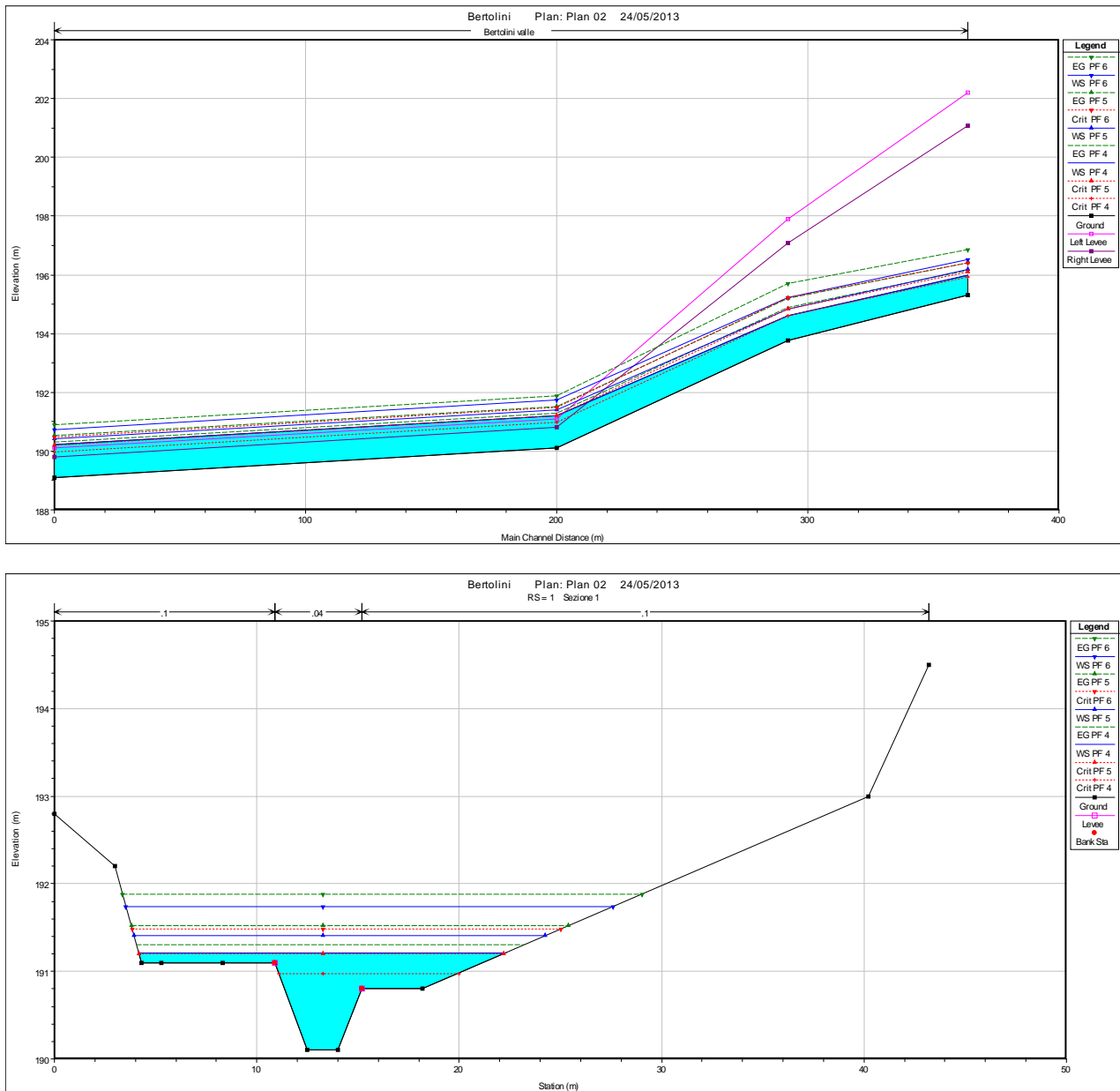


Figura 26 –Volumi di piena stimati per Tr di 100 anni (profilo, in alto, e sezione, in basso).

Considerando un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 100 anni, le tre portate simulate sono 5.9; 9.4; 17.6  $m^3/s$ , e per tale tempo di ritorno l'alveo risulta inadeguato qualunque sia la formula utilizzata.

## 4.2 Rio Bottazzo

Non sono disponibili studi idraulici preesistenti che quantifichino la problematica idraulica sul Rio Bottazzo: per esperienza storica e per l'analisi della conformazione del rio nell'attraversamento dell'area urbanizzata di San Polo d'Enza si può comunque confermare la situazione di criticità comune a tutti i corsi d'acqua esaminati dal LIFE RII, per i quali l'incrocio con le aree urbane costituisce fonte di problemi idraulici.

Causa principale di questa situazione è la sottrazione al rio delle aree per l'esondazione delle piene, avvenuta a causa dell'urbanizzazione delle aree allagabili, situazione peggiorata dall'attraversamento urbano in tratti artificializzati realizzati con sezioni idraulicamente insufficienti.

Nell'ambito del progetto è comunque stata eseguita una valutazione dell'efficienza idraulica nelle sezioni di intervento in cui sarà realizzata una briglia selettiva.

La stima delle portate al colmo è stata condotta con metodo indiretto, in conformità con la "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" redatta dall'Autorità di Bacino del fiume Po ed allegata al PAI.

In particolare è stato applicato il Metodo Razionale secondo il quale la portata è esprimibile con la seguente formula:

$$Q = \frac{\phi \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c}$$

Dove:

- S = superficie del bacino (km<sup>2</sup>);
- $\phi$  = coefficiente medio di deflusso del bacino;
- h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curva di possibilità climatica;
- $t_c$  = tempo di corrivazione del bacino (ore).

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

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

Tr	Area tot (km <sup>2</sup> )	L (m)	Hm (m)	Hmax (m)	i	tc (ore) Giandotti	tc (ore) Pasini	tc (ore) Ventura	a	n	cd	Q Giandotti (mc/s)	Q Pasini (mc/s)	Q Ventura (mc/s)
10	1.937	1816	100	200	0.110	1.90	0.82	0.53	36.9	0.27	0.36	4.5	8.2	11.3
20	1.937	1816	100	200	0.110	1.90	0.82	0.53	42.2	0.27	0.36	5.1	9.4	12.9
50	1.937	1816	100	200	0.110	1.90	0.82	0.53	49.1	0.26	0.43	7.1	13.1	18.1
100	1.937	1816	100	200	0.110	1.90	0.82	0.53	54.2	0.26	0.43	7.8	14.5	20.0

In questa tabella sono riportati i calcoli dei tempi di corrivazione e delle corrispondenti portate al colmo secondo tre dei metodi più diffusi:

a) Metodo di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} \cdot 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

b) metodo di Ventura per la bonifica bolognese

$$t_c = \frac{0.1272\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

c) metodo di Pasini per la bonifica renana

$$t_c = \frac{0.108\sqrt{S} \cdot L}{\sqrt{i}}$$

dove:

- $H_m$  = altezza media del bacino sulla sezione di chiusura
- $H_{maz}$  = altezza massima rispetto alla sezione di chiusura
- $i$  = pendenza media dell'asta principale

Per quanto riguarda i dati utilizzati, le altezze medie e massime del bacino sulla sezione di chiusura sono state stimate in base ai dati del limitrofo bacino dell'Enzola, l'area del bacino e la lunghezza dell'asta sono state invece misurate.

I parametri della curva di possibilità climatica,  $a$  ed  $n$ , sono gli stessi utilizzati per il Rio Enzola, in quanto la cella di regionalizzazione rappresentata nella direttiva PAI è la stessa. Per analogia si sono mantenuti anche gli stessi valori del coefficiente di deflusso  $cd$ .

La verifica dell'efficienza idraulica è stata effettuata in moto uniforme, considerando le portate risultanti per i tempi di ritorno di 20 e 100, per tutti e tre i metodi considerati, in modo da considerare un range di variabilità adeguato.

Il profilo del Rio è stato ricostruito grazie alle 3 sezioni rilevate, ma per valutare l'efficienza idraulica della sezione 1 è stata aggiunta a valle di questa un'ulteriore sezione, denominata sezione 0, di geometria identica alla 1, ma a una quota più bassa.



La pendenza del tratto di valle è fondamentale per la valutazione della capacità di deflusso di una sezione, infatti minore è tale pendenza, e minore sarà la capacità di deflusso.

Al fine di effettuare una verifica realistica, ma ponendosi a favore di sicurezza, è stato ipotizzato un brusco calo di pendenza nell'ultimo tratto, in analogia a quanto accade per i Rii limitrofi già analizzati. Sono state inoltre considerate le curve di livello e alcuni punti quotati riportati nella Carta Tecnica Regionale.

In conclusione, al tratto terminale è stata assegnata una pendenza di 0.005, data dall'abbassamento di 1 m in 200 m di distanza.

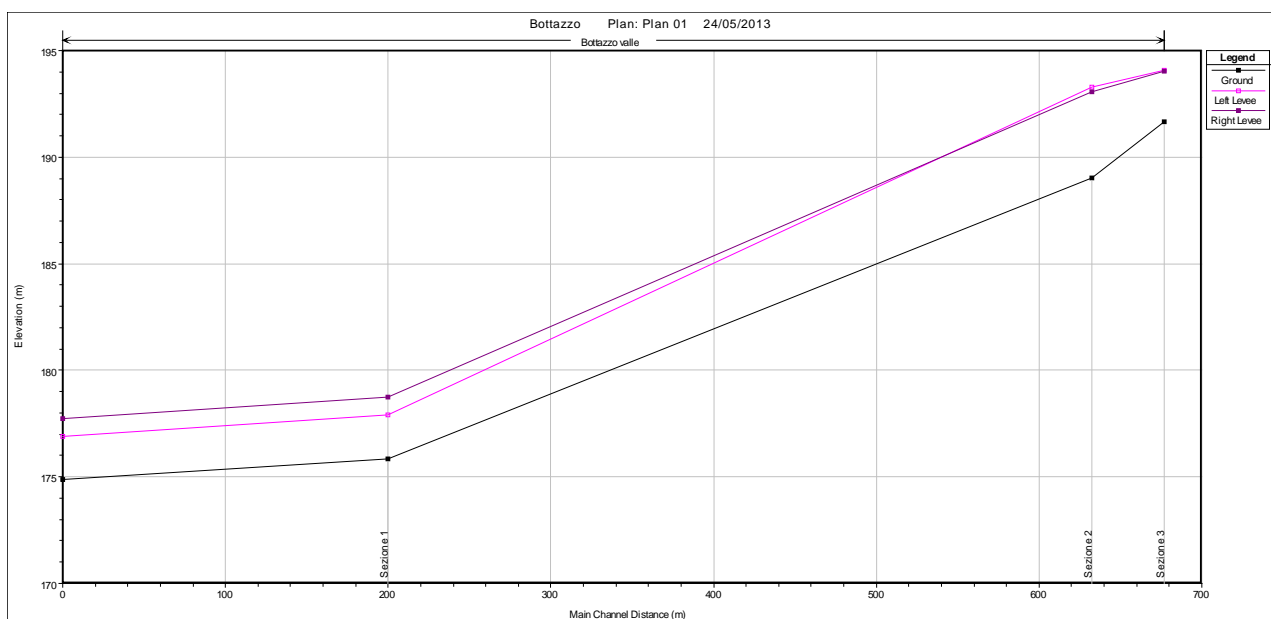


Figura 27 –Profilo del rio. La linea nera identifica il fondo del Rio, mentre le due linee violette identificano le sponde.

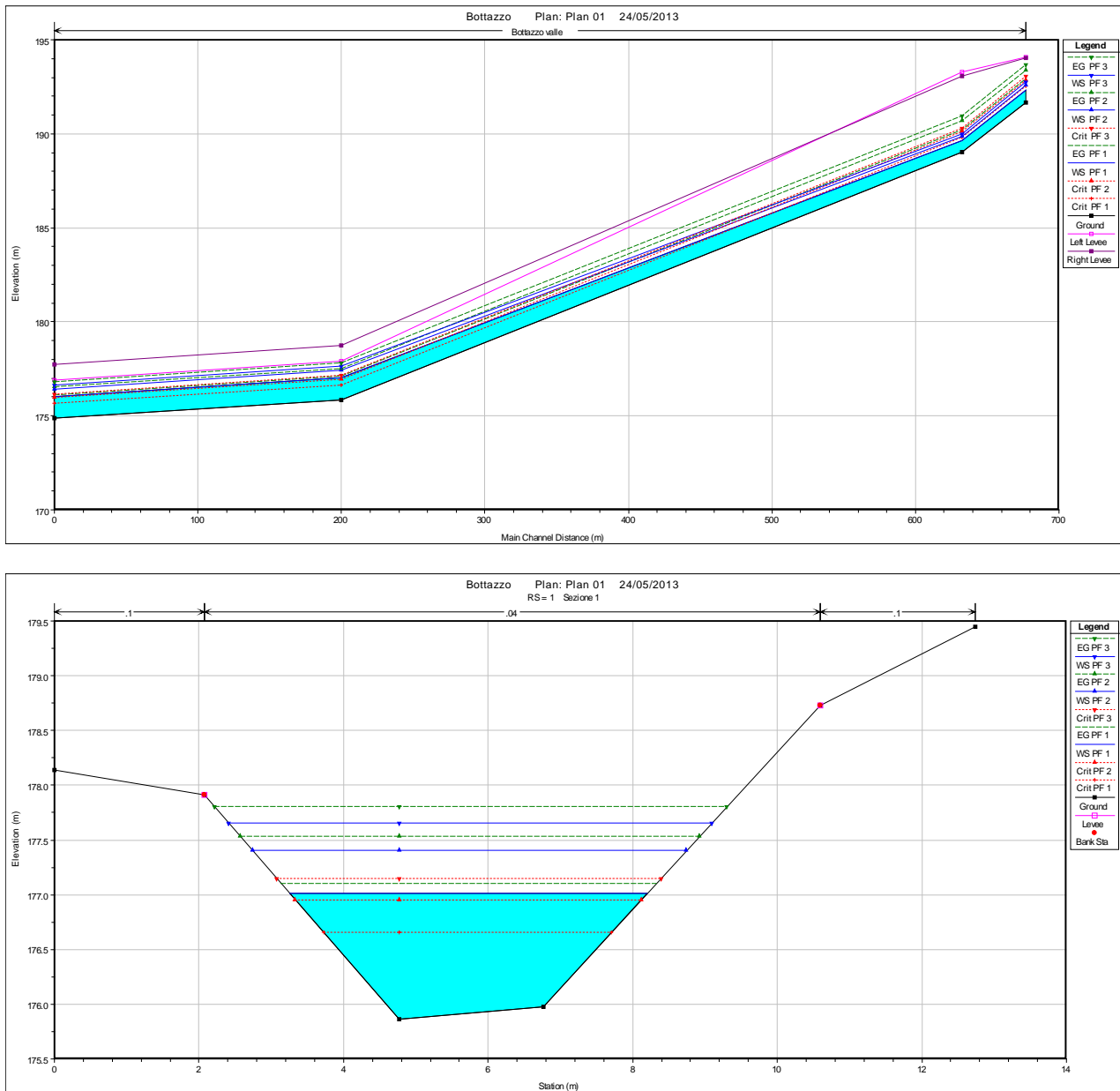


Figura 28 –Volumi di piena stimati per Tr di 20 anni (profilo, in alto, e sezione, in basso).

Considerando un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 20 anni, le tre portate simulate sono 5.1, 9.4, e 12.9  $m^3/s$ , e risultano tutte contenute all'interno dell'alveo.

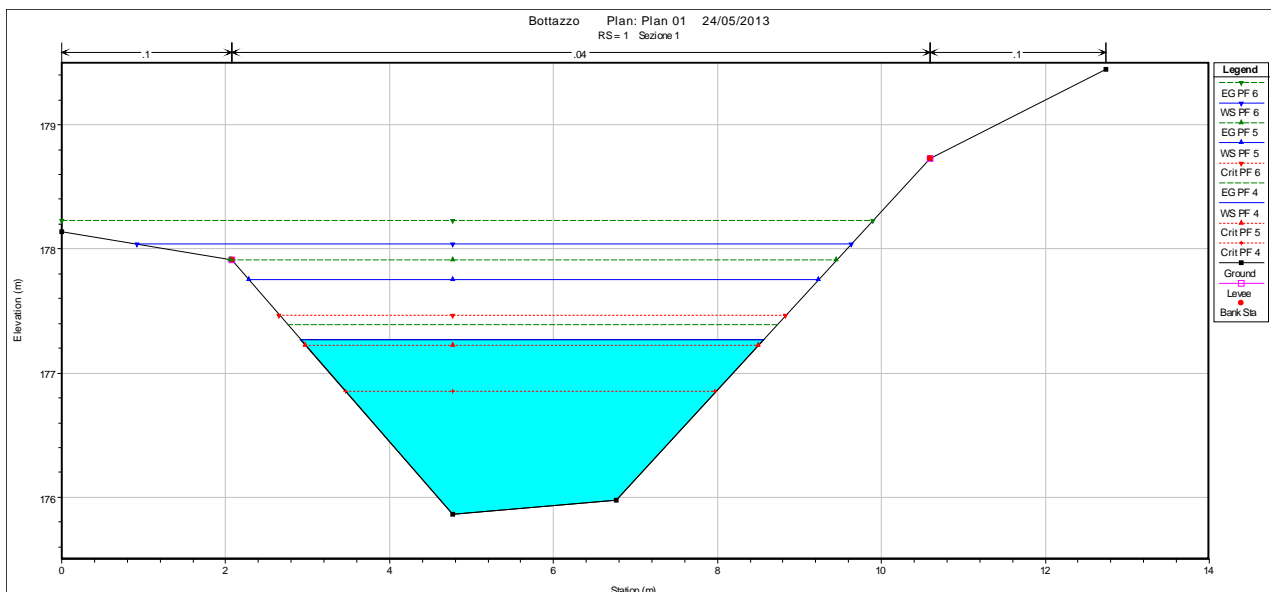
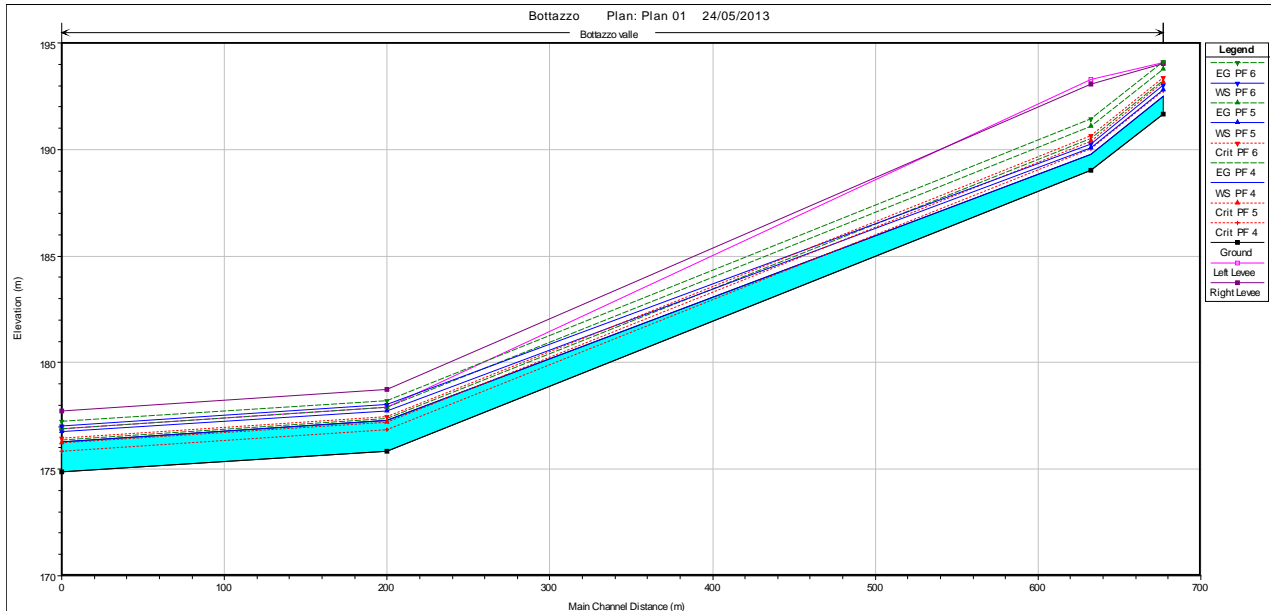


Figura 29 –Volumi di piena stimati per Tr di 100 anni (profilo, in alto, e sezione, in basso).

Considerando un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 100 anni, le tre portate simulate sono 7.8, 14.5 e 20  $m^3/s$ , e risultano tutte contenute all'interno dell'alveo ad eccezione della più alta, calcolata con la formula di Ventura.