



**CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA**  
AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI  
Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

**S.P. n° 65 "DELLA FUTA"**  
**PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65**  
**ALL'ABITATO DI RASTIGNANO:**  
**II Stralcio da Ponte delle Oche a Rotatoria Rastignano**

**RELAZIONE IDRAULICA**

*Giuseppe Guadagnini*  


Codice	ADD2001
--------	---------

Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	Ottobre 2019	Marta Dinoi	Daniele Mingozzi
1			
2			

Approvato
Giancarlo Guadagnini



Sede Principale:  
Viale Baccarini, 29  
48018 FAENZA (RA)  
Tel. 0546 663423  
Fax 0546 663428

Sede di Bologna:  
Via Zacconi, 16  
40127 BOLOGNA (BO)  
Tel. 051 245663  
Fax 0546 663428

Sede di Santarcangelo:  
Via Andrea Costa, 115  
47822 SANTARCANGELO DI  
ROMAGNA (RN)  
Tel. 0546 663423  
Fax 0546 663428

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>OPERE DI SISTEMAZIONE DELL'ALVEO .....</b>	<b>11</b>
3.1	STATO DI FATTO.....	11
3.2	STATO DI PROGETTO.....	12
<b>4.</b>	<b>MODELLO IDRAULICO .....</b>	<b>13</b>
4.1	TEORIA DI HEC-RAS.....	13
4.2	MODELLO IDRAULICO PER PORTATA CON TEMPO DI RITORNO PARI A 50 ANNI .....	15
4.2.1	<i>Modellamento dell'asta fluviale .....</i>	<i>15</i>
4.2.2	<i>Analisi dei livelli del pelo libero .....</i>	<i>20</i>
4.3	MODELLO IDRAULICO PER PORTATA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI .....	27
4.3.1	<i>Modellamento dell'asta fluviale .....</i>	<i>27</i>
4.3.2	<i>Analisi dei livelli del pelo libero .....</i>	<i>29</i>
<b>5.</b>	<b>ALLEGATI: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....</b>	<b>32</b>

## 1. PREMESSA

La strada provinciale 65 "della Futa" (ex S.S. n° 65) è la principale via di collegamento fra l'area urbana di Bologna ed i comuni della valle del Savena (Monghidoro, Loiano, Pianoro e le sue frazioni di Carteria di Sesto e Rastignano).

Procedendo in uscita da Bologna, la SP65 da Via Toscana, in prossimità del ponte sul Savena, attraversa l'abitato di Rastignano, sorto a cavallo dei confini amministrativi dei comuni di Bologna, Pianoro e San Lazzaro, percorre la vallata in direzione di Pianoro, Loiano, Monghidoro e raggiunge i passi della Raticosa e della Futa, per poi scendere in Mugello, fino a Vaglia e a Firenze. Prima dell'apertura dell'autostrada A1, la SP65 rappresentava la storica direttrice di collegamento transappenninica tra Bologna e Firenze. Nel tempo, nel tratto emiliano sono nati e si sono sviluppati i maggiori insediamenti residenziali, commerciali e industriali della vallata. Alle storiche funzioni di transito e distribuzione si sono quindi affiancate quelle di penetrazione e accesso, con conseguente congestione ed inadeguatezza dell'infrastruttura.

Da qui è nata l'esigenza di creare una viabilità alternativa alla SP 65, che rispondesse alle necessità di collegamento a medio-lungo raggio e che ha visto la costruzione della strada Lungo Savena (o IN870 secondo la denominazione del consorzio CAVET costruttore dell'opera), all'interno dell'area urbana di Bologna, e della strada di Fondovalle Savena nel tratto interno ai comuni di Pianoro e Loiano. Queste strade, caratterizzate da tracciati e sezioni idonee alla loro funzione, non sono attualmente direttamente collegate, ma si arrestano rispettivamente all'altezza di Via Corelli e del Ponte delle Oche, ovvero a valle e a monte dell'abitato di Rastignano che è attraversabile unicamente per mezzo della viabilità storica, così come mostrato nella planimetria seguente.

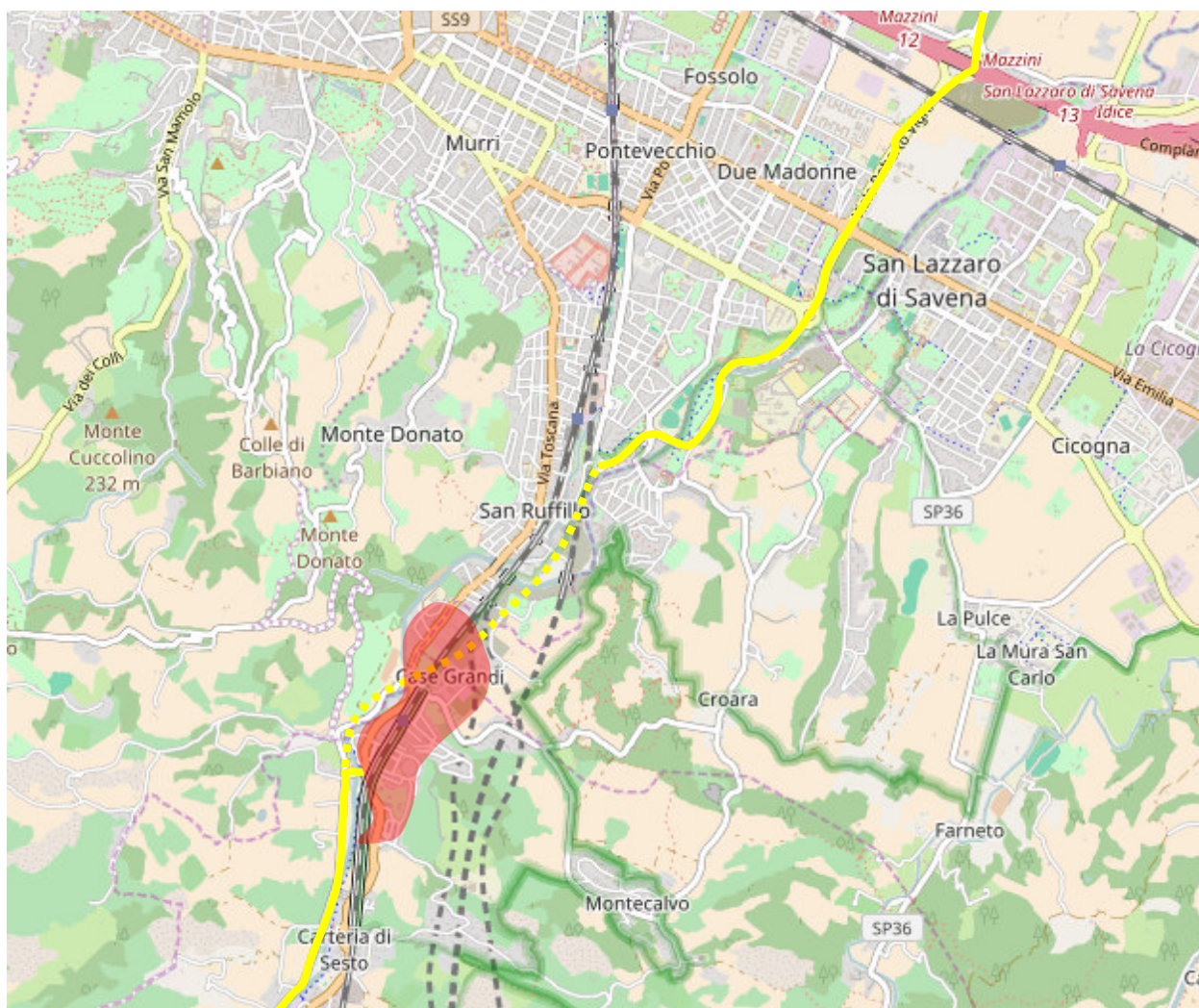


Figura 1-1: Quadrante Sud-Ovest di Bologna. La SP65 è evidenziata in arancione, la strada fondovalle Savena (a Sud) e la strada Lungo Savena (a Nord) in linea continua gialla, la direttrice della variante di Rastignano in linea puntinata gialla. L'abitato di Rastignano è evidenziato dalla campitura rossa.  
Cartografia OpenStreetMap

In questa località, oltre alle particolari condizioni orografiche, che vedono l'abitato strettamente raccolto attorno alla Strada Provinciale ed al Torrente Savena ai piedi delle due pendici di Monte Calvo e del Parco del Paleotto, si trovano anche i confini amministrativi di tre Comuni (Bologna, S. Lazzaro e Pianoro). Data, quindi, la particolare situazione di "località di confine", Rastignano ha assistito ad un'urbanizzazione disordinata e caotica, tutta gravitante sulla Strada Provinciale e affacciata sulla riva destra del Torrente Savena. Sulla stessa direttrice, a pochi metri dalla strada Provinciale, insiste inoltre la linea ferroviaria "Direttissima" Bologna - Firenze, che provoca un'ulteriore frattura longitudinale del territorio, secando il centro abitato in due parti, collegate tra loro da due soli passaggi, uno in sottovia ed uno in sopravvia, per tutto

lo sviluppo longitudinale della frazione. A questa si sono recentemente aggiunte anche la nuova linea ad alta velocità e le linee di interconnessione con i relativi manufatti tecnologici.

La presenza del Torrente Savena, che lambisce in destra idraulica le abitazioni che si sviluppano lungo la strada provinciale, passando praticamente alla quota degli scantinati, costituisce un ulteriore ostacolo allo sviluppo razionale della mobilità della zona in esame. In sinistra idraulica si sviluppa il Parco del Paleotto, zona di particolare pregio ambientale ma di difficile accesso e di scarsa fruibilità, a causa dello stato di degrado ambientale e idrogeologico in cui versa il torrente Savena, che segna l'inizio del Parco stesso.

I notevoli volumi di traffico veicolare, locale e non, che attraversano l'abitato quotidianamente e che provocano un inquinamento insopportabile per i residenti, rendono la situazione non più sostenibile. Pertanto, è iniziato un lungo e complesso iter progettuale finalizzato alla definizione di un nuovo tracciato stradale di collegamento fra il ponte delle Oche e Via Corelli in Comune di Bologna.

Procedendo da Sud verso Nord, il nuovo collegamento si compone in tre tratti:

- 1) Variante di Rastignano – Tratto Sud (indicato in rosso nella figura seguente);
- 2) Variante di Rastignano – Tratto Nord (indicato in verde nella figura seguente);
- 3) Completamento Strada IN870 (anch'esso indicato in verde nella figura seguente);

con diversi collegamenti/svincoli con la viabilità esistente (da Sud a Nord, Ponte delle Oche, Via Torriane, bretella e rotatoria di Rastignano, bretella e rotatoria del Dazio). *Chiedere a Daniele delucidazioni. Non mi è molto chiara questa distinzione.*

I due tratti settentrionali, indicati con i numeri 2 e 3 nell'elenco precedente o in verde in figura, sono stati appaltati nel 2014 da RFI e sono attualmente in costruzione. Il tratto di completamento – ovvero il tratto meridionale della variante di Rastignano – è l'oggetto del presente progetto definitivo.

Nell'ambito del progetto della nuova viabilità nel tratto compreso tra Via delle Oche e la Rotatoria di Rastignano, è prevista una serie di interventi volti alla sistemazione del torrente Savena. L'obiettivo della presente relazione è prendere in esame le opere in progetto e studiare il comportamento idraulico del torrente Savena nel tratto oggetto di intervento, sia nella configurazione attuale sia nella configurazione di progetto, per una piena con tempo di ritorno 50 anni e 200 anni. Lo studio è stato condotto costruendo dei modelli idraulici monodimensionali mediante il software di calcolo HEC-RAS sviluppato dall'U.S. Army Corps Engineers (USACE).



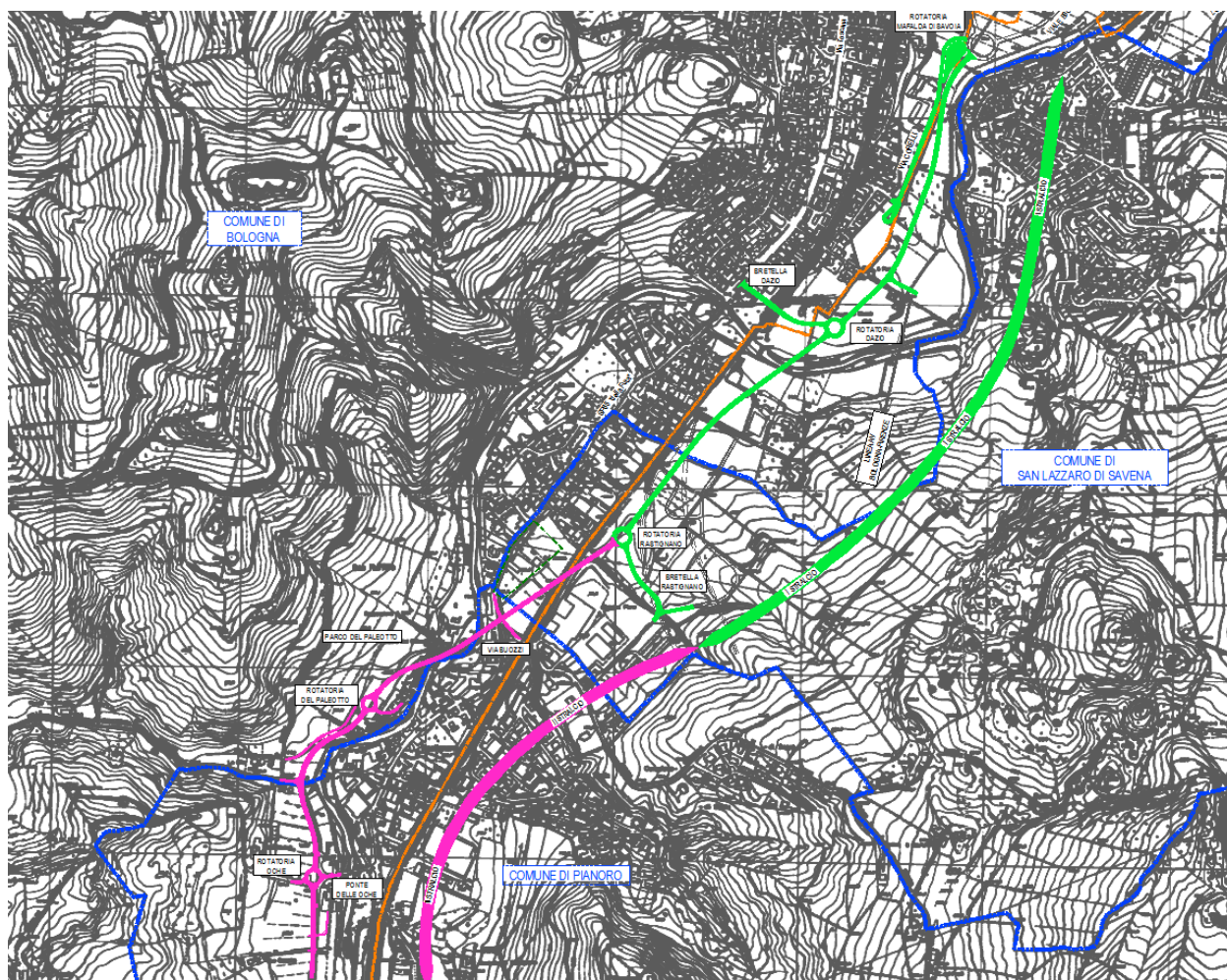


Figura 1-2: Variante SP65: I stralcio in verde, II stralcio in rosso

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E ANALISI IDROLOGICA

Il Torrente Savena è l'affluente principale del Torrente Idice ed il suo bacino idrografico, situato fra i bacini di Reno, Idice e Zena, ha una superficie alla sezione di chiusura presso il ponte della Via Emilia di circa 168 km<sup>2</sup>. L'asta principale del torrente Savena presenta una lunghezza pari a circa 49,8 km fino a tale sezione, mentre fino alla confluenza con il Torrente Idice si sviluppa per circa altri 4,5 km.

Il Torrente Savena venne tolto dal suo alveo naturale all'altezza della località Cavedone, in Comune di Bologna, circa 1,5 km a monte della Via Emilia, con lavori eseguiti negli anni 1776-1777, ed immesso nel Torrente Idice all'attuale confluenza. Il nuovo alveo seguì in massima parte il tracciato di un piccolo corso d'acqua, il rio Polo, che attualmente confluisce in Savena, e che venne adeguato alle portate del Savena. Il corso del torrente Savena a valle di Bologna ha preso l'attuale nome di Savena Abbandonato e pur non ricevendo più le acque del bacino montano funge da corpo ricettore per le aree di pianura della città di Bologna.

Altre modifiche del corso naturale del Savena si ebbero a causa delle frane che nel 1870 e nel 1951 interessarono l'alveo del torrente in località Castel dell'Alpi, dove si è formato l'omonimo lago.

L'inquadramento del tratto di Savena di interesse per il presente studio è riportato nella figura seguente. Complessivamente il tratto analizzato ha una estensione di circa 970 metri.

Le informazioni idrologiche necessarie a realizzare lo studio sono state ricavate dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Reno. In particolare, nella Figura 2-2 si riporta la cartografia e la posizione delle sezioni utilizzate dall'Autorità di bacino per lo studio idrologico e idraulico.





Figura 2-1: Inquadramento del tratto di Torrente Savena oggetto di studio



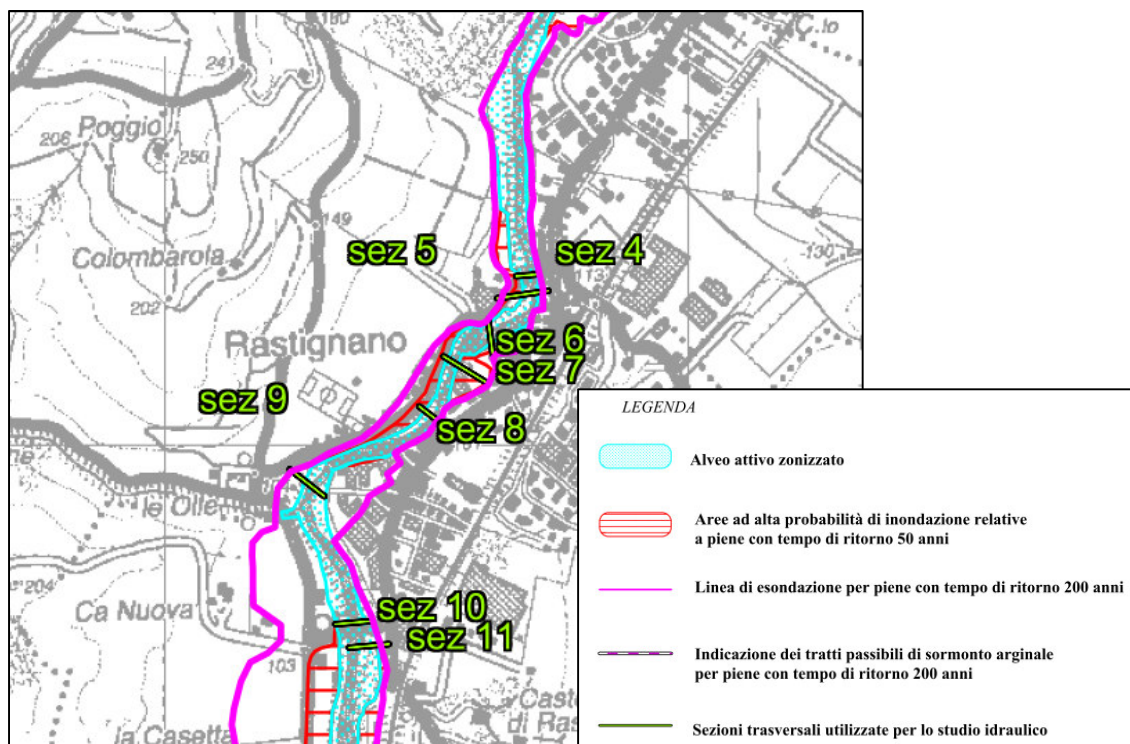


Figura 2-2: Inquadramento del tratto di alveo oggetto di studio e rappresentazione delle sezioni utilizzate nello studio del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Reno (Tavola B1m1)

Il tratto di interesse è compreso tra la Sez. 10 e la Sez. 4. Nella relazione redatta dall'Autorità di Bacino, per ciascuna sezione idraulica sono riportati per un tempo di ritorno pari a 50 anni e pari a 200 anni le portate di progetto e i tiranti idrici relativi.

Pertanto, dai documenti redatti dall'Autorità di Bacino è possibile individuare la portata con Tempo di Ritorno di 50 anni, che si definisce pari a 307.6 m<sup>3</sup>/s e la portata con Tempo di Ritorno di 200 anni, che si definisce pari a circa 390 m<sup>3</sup>/s.

Tabella 2-1 – Risultati dello studio idrologico-idraulico (fonte: Piano Stralcio dell'Autorità di bacino del Reno)

CODICE	SEZIONI			PORTATE E LIVELLI				FONDO Quota del fondo (m s.l.m.)
	Distanza Progr. [m]	Localizzazione	Descrizione	Lmax50 [m s.l.m.]	Qmax50 [m <sup>3</sup> /s]	Lmax200 [m s.l.m.]	Qmax200 [m <sup>3</sup> /s]	
11	24240	Rastignano	m.ponte	102.8	308.5	103.3	388.0	98.3
11v	24250	Rastignano	v.ponte	102.2	309.5	102.7	395.0	98.3
10	24292	Rastignano		102.0	307.6	102.4	392.5	97.7
9	24578	Rastignano		100.8	307.4	101.2	387.3	96.2
8	24859	Rastignano		99.6	307.4	100.0	387.2	94.5
7	24972	Rastignano		98.7	307.4	99.1	387.3	93.9
6m	25057	Rastignano	m.briglia	98.2	307.3	98.6	387.3	95.3
6	25067	Rastignano	v.briglia	96.8	307.3	97.5	387.3	91.4
5	25190	Rastignano		96.7	307.3	97.4	387.3	90.8
5v	25200	San Ruffillo		96.4	307.3	97.2	387.2	90.8
4	25225	San Ruffillo	m.ponte	96.3	307.3	97.2	387.2	90.4
4v	25235	San Ruffillo	v.ponte	95.0	307.3	95.4	387.2	90.4

Con riferimento al Piano di Gestione del rischio di alluvioni, la mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) evidenzia che l'area di progetto ricade in area a pericolosità P3 e in area a pericolosità P2 (v.Figura 2-3 e Figura 2-4).

#### Aree esposte a pericolosità idraulica



#### Mappe della pericolosità

##### Bacino Reno (ITI021)

##### Reticolo Principale

Alluvioni frequenti - H - P3  
(ITI021FHMHRPRER)



Alluvioni poco frequenti - M - P2  
(ITI021FHMMRPRER)



Alluvioni rare - L - P1 (ITI021FHMLRPRER)



Figura 2-3: Rappresentazione delle aree di pericolosità idraulica secondo la Cartografia Interattiva Moka Web Gis del Piano di Gestione Rischio Alluvioni

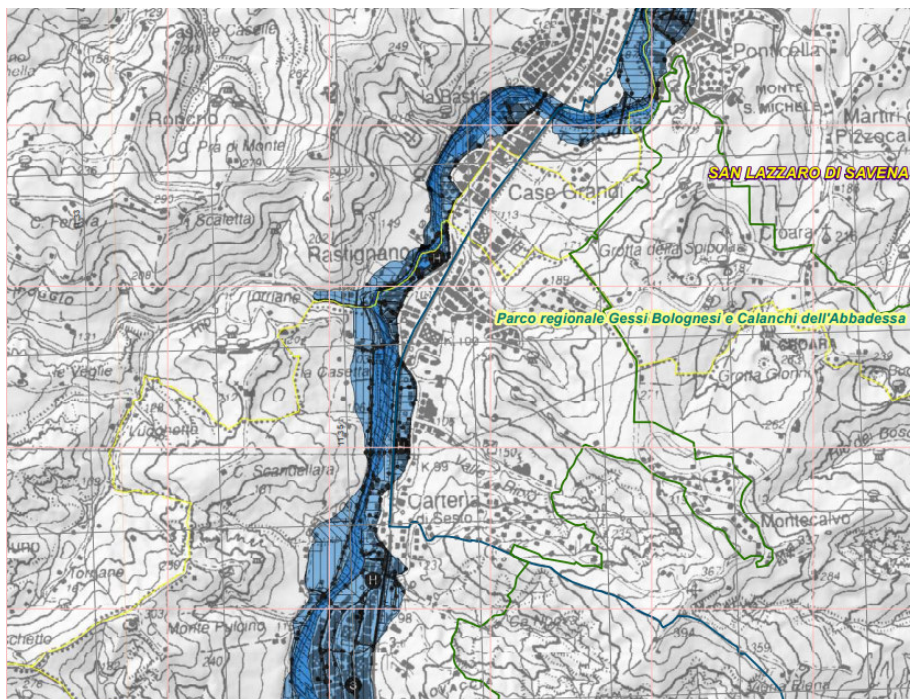


Figura 2-4: Rappresentazione delle aree di pericolosità idraulica secondo la Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010) del Piano di Gestione Rischio Alluvioni

## 3. OPERE DI SISTEMAZIONE DELL'ALVEO

### 3.1 Stato di fatto

Nel dicembre 2018, nel tratto del Torrente Savena compreso tra il ponte delle Oche e la briglia del Paleotto, il Servizio Area Reno e Po di Volano (SARPV) ha eseguito i seguenti interventi:

- Risezionamento del Torrente Savena, con allargamento della sezione di deflusso in destra e/o in sinistra idraulica;
- Realizzazione di un argine in destra idraulica nel tratto a monte (Sez. 4-8 SARPV);
- Costruzione di un muretto di difesa spondale in destra idraulica (Sez. 9-13 SARPV);
- Realizzazione di una scogliera di protezione in massi in sinistra idraulica (Sez. 8-10bis SARPV) e in destra idraulica (Sez. 11-12 SARPV).

Nel presente studio si è tenuto conto degli interventi del SARPV sia nel modello idraulico sia negli elaborati grafici (Tavola ADD2002).



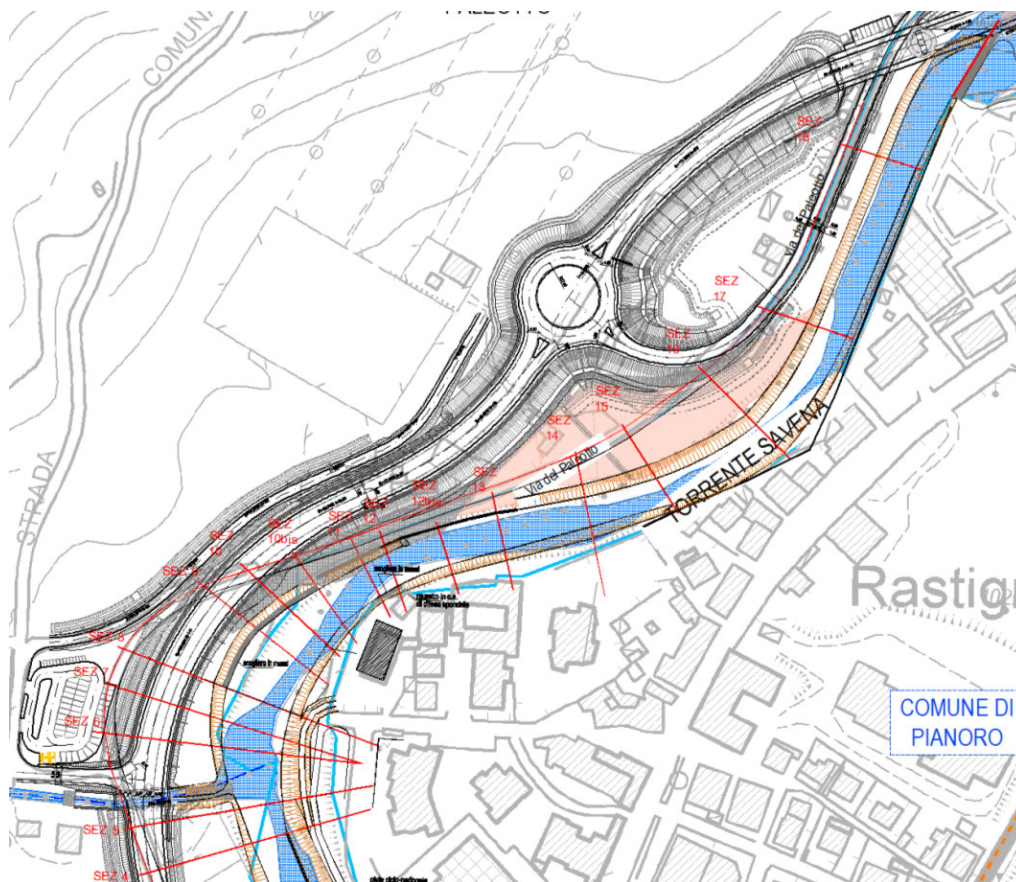


Figura 3-1: planimetria raffigurante le sezioni del SARPV nel tratto compreso tra il ponte delle Oche e la briglia

## 3.2 Stato di progetto

Il progetto della nuova viabilità nel tratto compreso tra Via delle Oche e la Rotatoria di Rastignano comprende una serie di opere ed interventi che interessano direttamente o indirettamente il Torrente Savena:

- Realizzazione del nuovo rilevato stradale in sinistra idraulica e del viadotto di attraversamento del corso d'acqua, costituito da 4 pile, di cui 3 posizionate in alveo;
- Demolizione del ponte Bailey a monte del ponte storico del Paleotto;
- Realizzazione di una paratia di sostegno in sinistra idraulica nel tratto compreso tra l'attuale ponte Bailey e il ponte storico del Paleotto;
- Risagomatura progressiva dell'alveo alle quote di 99 e 98 m s.l.m., in sinistra idraulica, in corrispondenza della Rotatoria del Paleotto;
- Risagomatura alla quota 91 m s.l.m. in sinistra idraulica tra la seconda pila del viadotto ed il tratto rettilineo a valle del ponte storico Paleotto,

con apertura dell'arcata più occidentale del ponte (oggi parzialmente occlusa) ed estensione dell'alveo di magra anche all'arcata centrale;

- Protezione con rivestimento in massi nei tratti in cui il rilevato lambisce l'alveo del corso d'acqua a ricoprimento del piede del rilevato (50 cm sopra la quota di massima piena), nel tratto in cui è prevista la risagomatura dell'alveo in corrispondenza della Rotatoria del Paleotto, a valle del Ponte storico Paleotto e nel tratto compreso tra la prima e la seconda pila del viadotto;
- Ricoprimento in massi delle fondazioni delle pile del viadotto Rastignano;
- Rifacimento dell'opera di scavalco del Rio Torriane.

Maggiori dettagli sullo stato di progetto possono essere desunti negli elaborati grafici di progetto: *ADD 0202* e *ADD 0203*.

## 4. MODELLO IDRAULICO

### 4.1 Teoria di Hec-Ras

La ricostruzione dei livelli idrici raggiunti nel corso d'acqua, in corrispondenza della portata precedentemente definita, è stata realizzata in condizioni di moto permanente con il programma di calcolo HEC-RAS sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Tale codice di calcolo è basato sull'integrazione delle equazioni di De Saint Venant monodimensionali trascurando le variazioni delle grandezze in gioco rispetto al tempo. Nella forma più generale esse hanno la seguente forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta QV)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

dove:

$Q$  portata liquida;

$A$  area liquida;

$q$  afflusso laterale;

$x$  ascissa longitudinale del corso d'acqua;

$V$  velocità;

$g$  accelerazione di gravità;

$Z$  altezza d'acqua;

$\tau$  tensione tangenziale alla parete;  
 $P$  perimetro bagnato.

La prima equazione rappresenta l'equazione di continuità. La seconda equazione deriva invece dall'applicazione del teorema della quantità di moto: al primo membro si trovano rispettivamente la variazione di quantità di moto del volume di controllo ed il flusso netto di quantità di moto attraverso la sua frontiera. Al secondo membro si trovano le forze dovute alla pressione e all'attrito lungo le pareti nonché la componente nella direzione del moto della quantità di moto della portata laterale immessa. Se si considera il moto permanente, si annullano le derivate rispetto al tempo e le equazioni soprascritte divengono:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0$$

$$\frac{\partial(\beta V Q)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

Con alcuni passaggi matematici, in particolare sviluppando la seconda equazione e sostituendovi la prima, e supponendo che la pendenza di attrito  $S_f$  (perdita di carico per unità di percorso) sia legata alle caratteristiche globali della corrente dalle stesse relazioni valide per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{\tau_0 P}{\rho_0 g A} = \frac{V^2}{g C^2 R}$$

Si ricava:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f + \frac{q}{gA} \left( U_q - \beta \frac{Q}{A} \right)$$

Quest'ultima equazione viene integrata per fornire l'andamento del profilo del pelo libero della corrente.



## 4.2 Modello idraulico per portata con tempo di ritorno pari a 50 anni

Nel caso di portata con tempo di ritorno pari a 50 anni è stato costruito un modello che comprende le sezioni relative al risezionamento effettuato nel dicembre 2018 ad opera del Servizio Area Reno e Po di Volano.

### 4.2.1 Modellamento dell'asta fluviale

#### 4.2.1.1 Definizione della geometria

Il primo passo da compiere nella messa a punto di un modello è definire la geometria dell'asta fluviale, mediante l'inserimento delle sezioni trasversali, poste ad un certo interasse.

La geometria è stata ricostruita nel caso dello stato di fatto e nel caso dello stato di progetto. In entrambi i casi le sezioni utilizzate nel tratto in esame sono 43, alle quali si somma la sezione del Ponte storico del Paleotto. Inoltre, nella simulazione dello stato di fatto è stata considerata la presenza del Ponte Bailey, assente nello stato di progetto, essendone prevista la demolizione. Nel tratto lungo circa 500 m in cui il Servizio Area Reno e Po di Volano ha effettuato il risezionamento dell'alveo, sono state impiegate le sezioni fornite dal Servizio tecnico stesso e l'interasse è compreso tra i 15 m e i 40 m, con eccezione delle sezioni 19 e 18 in cui la distanza è di 80 m. Al fine di ridurre la distanza tra la sezione 19 e 18, si è ritenuto opportuno raffittire le sezioni con una frequenza spaziale di 20 m grazie all'apposito comando "XS interpolation", che permette di inserire tra le sezioni rilevate topograficamente delle sezioni sintetiche ottenute per mezzo di interpolazione lineare. A monte e a valle del tratto interessato dal risezionamento le sezioni, ricavate attraverso un rilievo di dettaglio della zona, presentano una distanza pari a circa 20 m.

Occorre precisare che nel caso di portata con tempo di ritorno 50 anni si è utilizzato il comando "Levees" per concentrare la portata nell'alveo del fiume e per verificare quindi che la suddetta portata venga contenuta.

#### Stato di fatto

Come specificato sopra, la geometria dello stato di fatto tiene conto del risezionamento dell'alveo operato dal Servizio tecnico Area Reno e Po di Volano nel tratto a monte della briglia nel dicembre 2018.

In Figura 4-1 è mostrata la posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico dello stato di fatto.

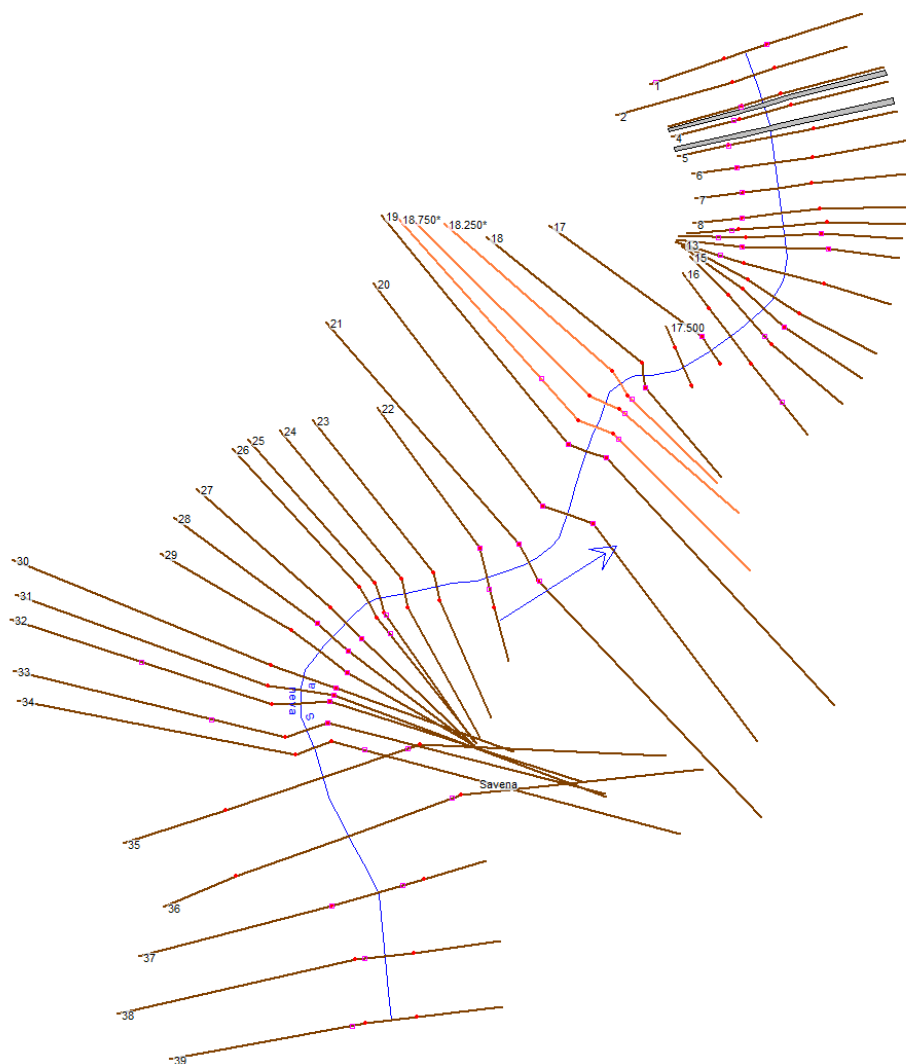


Figura 4-1: Posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico nel modello dello Stato di fatto- Tempo di ritorno=50 anni.

### Stato di progetto

La geometria dello stato di progetto prevede:

- la presenza del rilevato stradale in sinistra idraulica;
- la risagomatura progressiva alle quote di 99 e 98 m s.l.m. in corrispondenza della rotatoria Paleotto in sinistra idraulica;
- la risagomatura alla quota 91 m s.l.m. in sinistra idraulica tra la seconda pila del viadotto ed il tratto rettilineo a valle del ponte storico Paleotto, con apertura dell'arcata più occidentale del ponte (oggi parzialmente occlusa) ed estensione dell'alveo di magra anche all'arcata centrale;
- l'abbattimento del ponte Bailey.

In Figura 4-2 è mostrata la posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico dello stato di progetto.

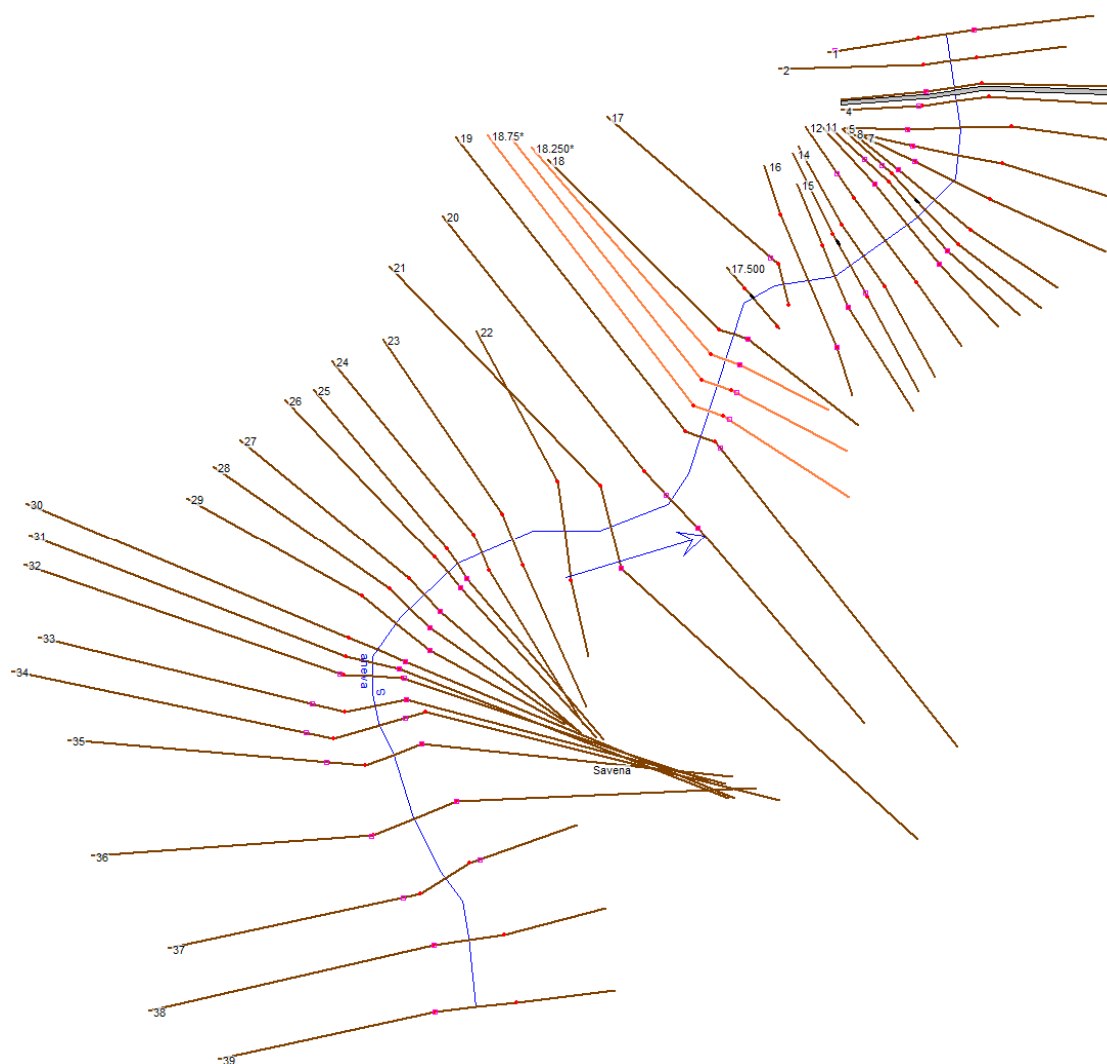



Figura 4-2: Posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico nel modello dello Stato di progetto- Tempo di ritorno=50 anni.

Nella seguente tabella sono riportate le sezioni HEC-RAS utilizzate nel modello e gli interventi e/o le opere relative allo stato di fatto e allo stato di progetto, (da monte verso valle)



	Sezioni Hec-Ras	Stato di fatto		Stato di progetto	
		Interventi	Opere	Interventi	Opere
Inizio intervento a monte	39				
	38				
	37				
	36				
	35				
	34	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	33	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	32	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	31	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	30	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	29	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			scogliera in sinistra
	28	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			scogliera in sinistra
	27	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	26	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	25	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	24	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	23	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	22	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	21	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	20	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	19	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV		Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	18.75*	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	18.50*	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	18.25*	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	18	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			
	17.50	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV			pila 1
	17	Risezionamento come da Lavori 2018 SARPV	Briglia		Briglia
	16				
	15			Risagomatura SPEA	
	14			Risagomatura SPEA	pila 2
	13			Risagomatura SPEA	
	12			Risagomatura SPEA	
	11			Risagomatura SPEA	
	10			Risagomatura SPEA	
	9			Risagomatura SPEA	pila 3
	8			Risagomatura SPEA	
	7			Risagomatura SPEA	
	6			Risagomatura SPEA	
	5			Risagomatura SPEA	
	4.5		Presenza Ponte Bailey	-	-
	4			Risagomatura SPEA	
	3.5		Ponte Romano	Risagomatura SPEA	Ponte Romano
	3			Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	2			Risagomatura SPEA	scogliera in sinistra
	1			Risagomatura SPEA	
Fine intervento a valle					

Tabella 4-1: Elenco delle opere e degli interventi già realizzati (STATO DI FATTO) e in progetto (STATO DI PROGETTO)

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

Oltre le caratteristiche geometriche globali delle sezioni occorre anche fornire una indicazione della scabrezza delle pareti per la stima delle perdite per attrito.

Il valore di scabrezza rappresenta una delle variabili da cui maggiormente dipende la risposta idraulica del corso d'acqua e che consente la taratura del modello numerico.


L'assenza di dati osservati lungo l'asta fluviale in questione non ha consentito di effettuare una calibrazione del modello e la stima della scabrezza dell'alveo è stata effettuata sulla base della documentazione fotografica, che attesta un alveo con grossi ciottoli o con grossi massi, corrispondente pertanto ad un valore di scabrezza secondo Manning pari a  $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$  e secondo Gauckler-Strickler pari a  $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Altri parametri da configurare ai fini della taratura del modello numerico sono i coefficienti di contrazione ed espansione, che caratterizzano il flusso tra due sezioni trasversali successive. Risultando impossibile effettuare una calibrazione del modello, come coefficienti di contrazione ed espansione sono stati assunti i valori di default imposti dal software HEC-RAS, pari rispettivamente a 0,1 e 0,3.

#### **4.2.1.2 Definizione dei parametri idrologici e delle condizioni idrauliche al contorno**

Il calcolo dei livelli di piena lungo l'asta fluviale è stato effettuato nel caso di portata con tempo di ritorno 50 anni, quindi, come specificato nel capitolo 2, per  $Q_{50}=307.60 \text{ m}^3/\text{s}$ .

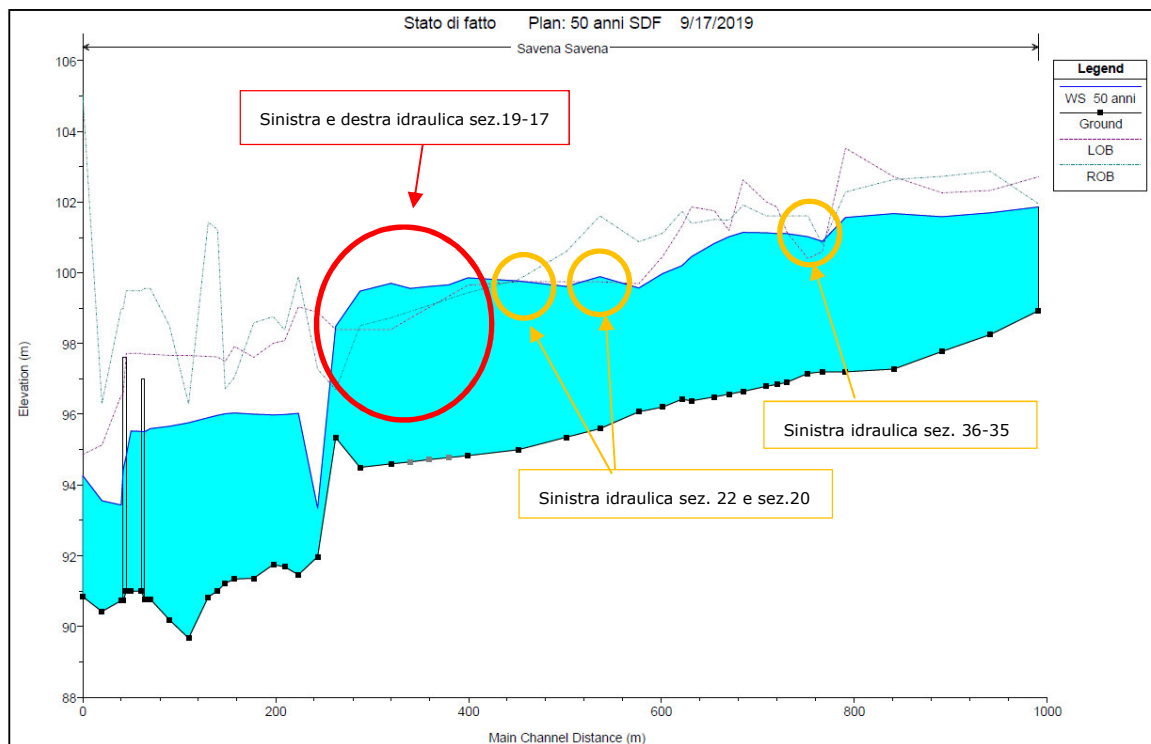
Per quanto riguarda le condizioni idrauliche al contorno, queste risultano necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua alle estremità del sistema (a monte e/o a valle). Questo dato è necessario al programma per calcolare i profili di rigurgito a partire dalle condizioni indicate. Nel caso specifico è ragionevole pensare che ci si trovi in condizioni di moto misto, ovvero che il moto sia caratterizzato in alcuni tratti da corrente lente ed in altri da corrente veloce. Nel caso di moto misto è necessario definire sia una condizione di monte, sia una condizione di valle. Come condizione al contorno di monte e di valle è stata scelta la "Normal Depth". Tale condizione viene spesso utilizzata qualora non siano noti elementi aggiuntivi, purché il limite di monte o di valle del ramo sia sufficientemente lontano dalla zona alla descrizione della quale è finalizzata la simulazione numerica. La "Normal Depth" impone localmente una condizione di moto uniforme ( $i=J$ ). Fornendo la pendenza dell'alveo ( $i$ ), il codice calcola il tirante servendosi della legge di Chézy. Come pendenza di fondo è stata fissata una pendenza pari alla pendenza media del fondo nel tratto in esame e pari a 0.83%.

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018


## 4.2.2 Analisi dei livelli del pelo libero

### 4.2.2.1 Stato di fatto

La simulazione idraulica dello stato di fatto per una portata con tempo di ritorno pari a 50 anni ha evidenziato delle vulnerabilità in quattro punti, come risulta dal profilo di *Figura 4-3*.



*Figura 4-3: Profilo stato di fatto per una portata  $Q_{50}$*

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

Andando ad analizzare più nel dettaglio il fenomeno, si osserva che:

- Nel tratto compreso tra la sezione 36 e la sezione 35 l'acqua esonda in sinistra idraulica:

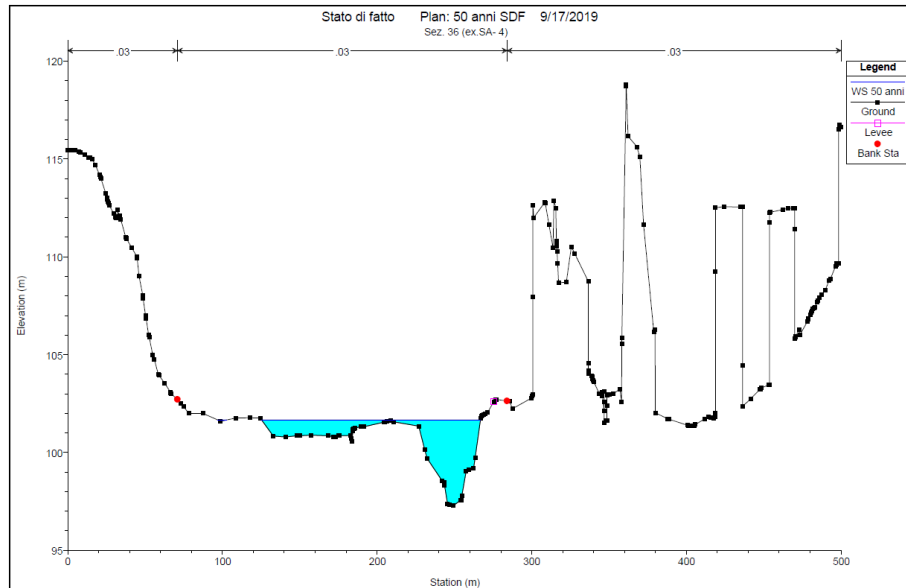


Figura 4-4: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 36.

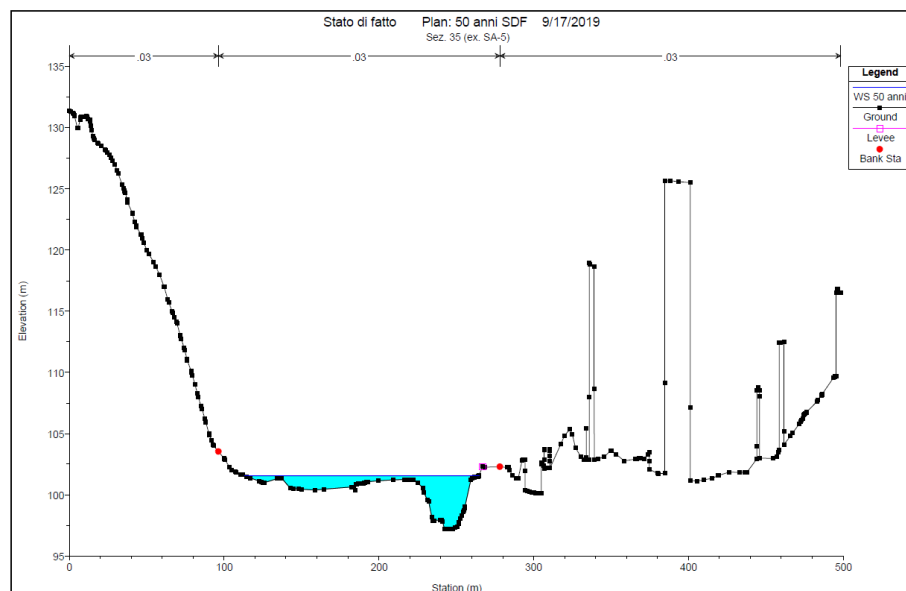



Figura 4-5: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 35.



	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

- In corrispondenza della sezione 22 l'acqua esonda in sinistra idraulica:

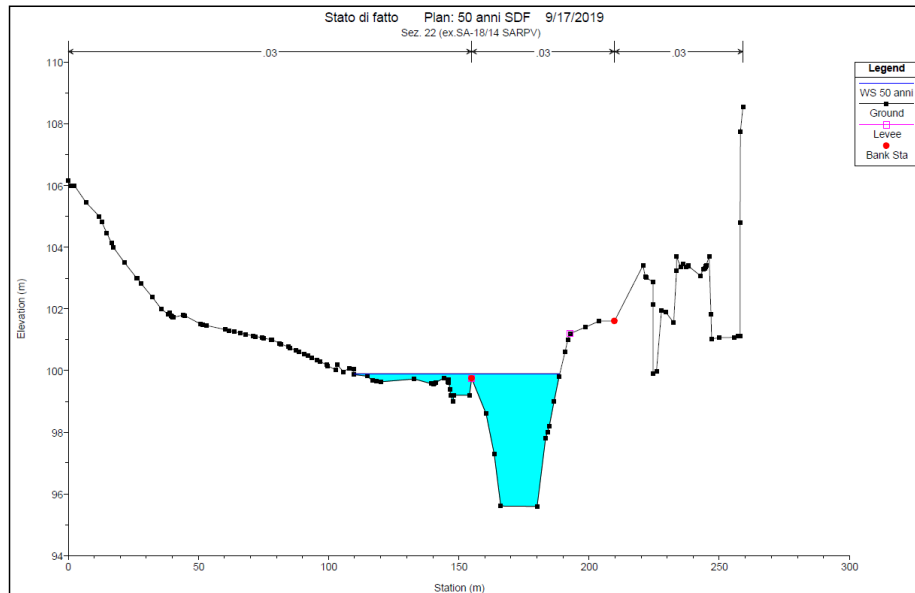


Figura 4-6: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 22.

- Nel tratto compreso tra la sezione 19 e la sezione 17 (sezione della briglia) l'acqua esonda da entrambi i lati:

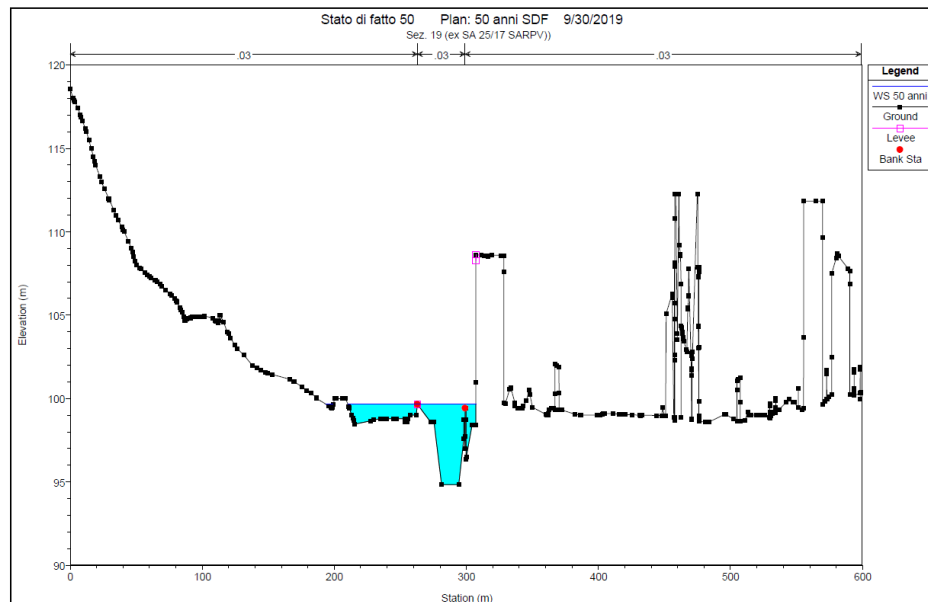



Figura 4-7: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 19.

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

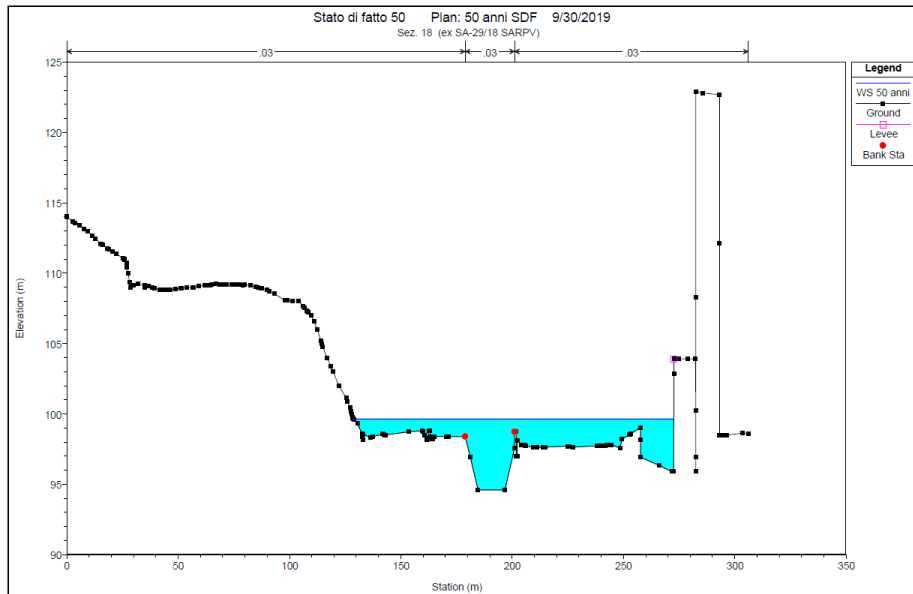


Figura 4-8: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 18.

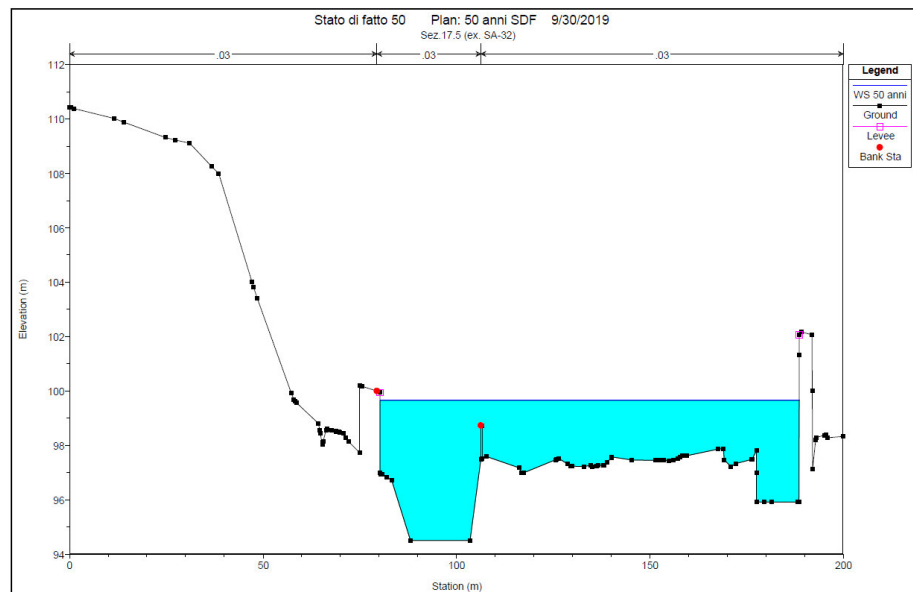



Figura 4-9: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 17.5.

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

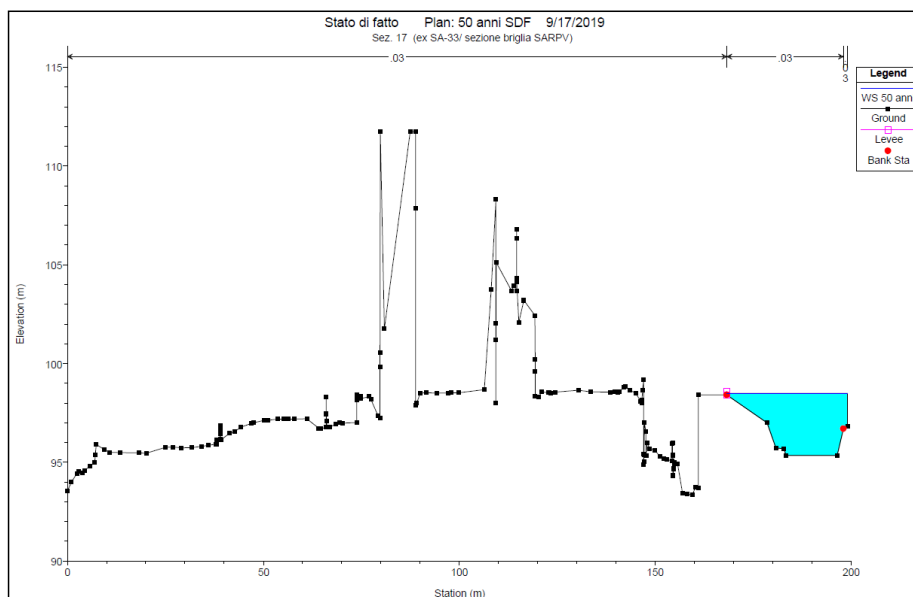



Figura 4-10: Livello del pelo libero nello stato di fatto per  $Q_{50}$  nella sezione 17(briglia).

#### 4.2.2.2 Stato di progetto

La simulazione idraulica dello stato di progetto per una portata con tempo di ritorno pari a 50 anni ha evidenziato il superamento di alcune criticità emerse nello stato di fatto, grazie alla presenza del nuovo rilevato stradale, che consente il contenimento dei volumi d'acqua che si formano durante il verificarsi dell'evento di piena e grazie agli interventi di risezionamento, che comportano un allargamento della sezione e quindi un aumento delle capacità di deflusso del corso d'acqua.

Le vulnerabilità relative al tratto compreso tra la sezione 18 e la sezione 17 (sezione della briglia) rimangono.

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	<b>Codice:</b> ADD1301 <b>Data:</b> Settembre 2018

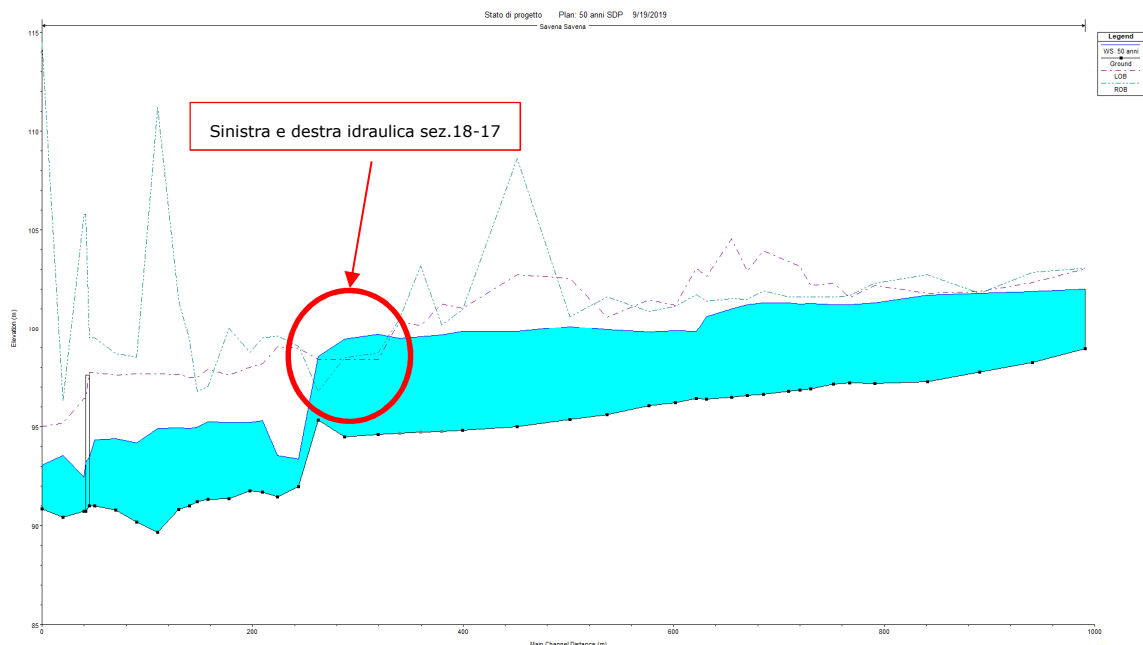


Figura 4-11: Profilo stato di progetto per una portata  $Q_{50}$ .

Andando ad analizzare più nel dettaglio il fenomeno, si osserva che:

- Nel tratto compreso tra la sezione 18 e la sezione 17 (sezione della briglia) l'acqua esonda da entrambi i lati:

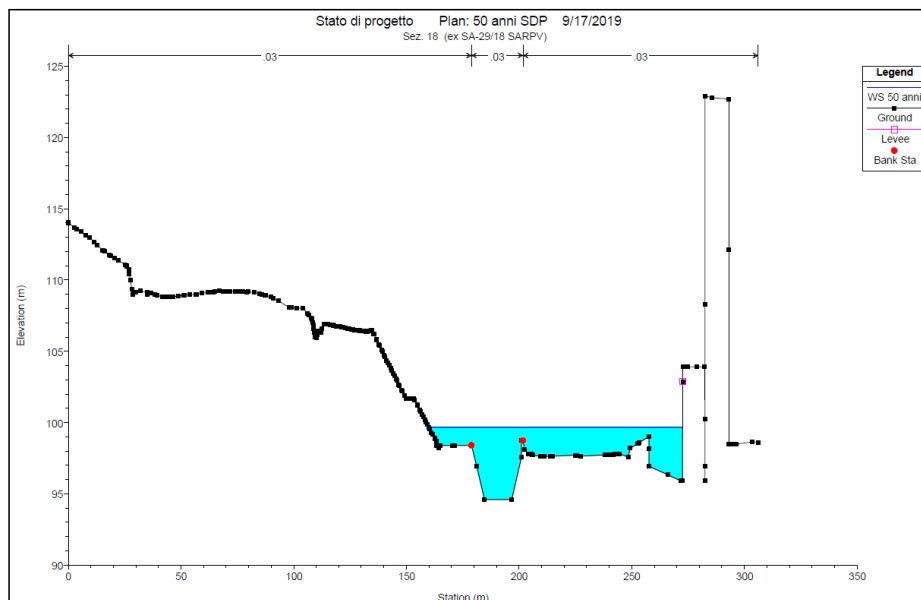

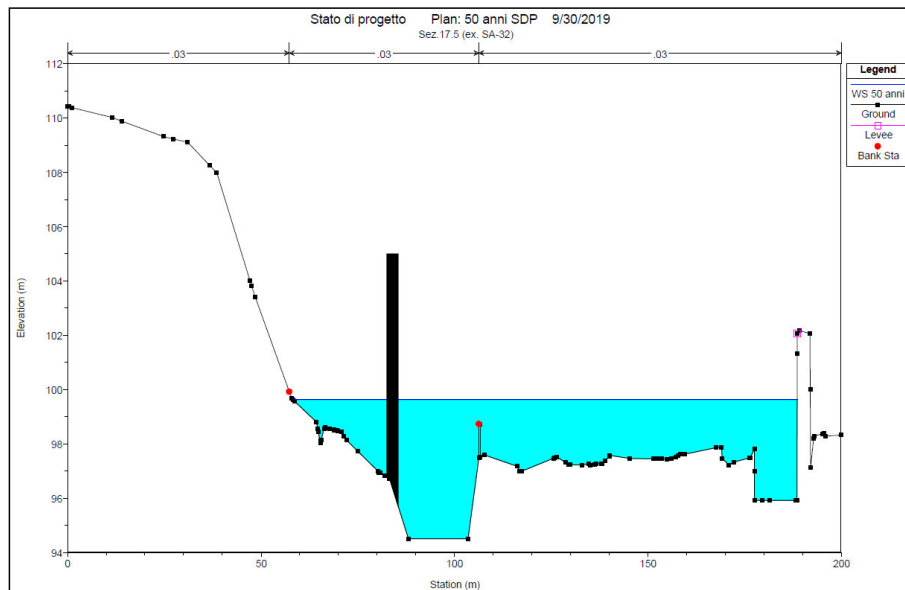


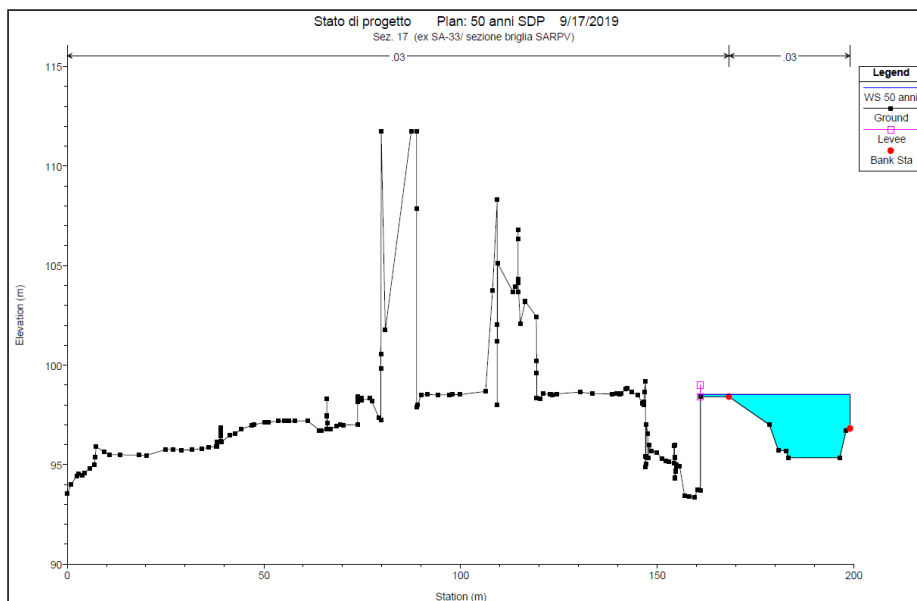
Figura 4-12: Livello del pelo libero nello stato di progetto per  $Q_{50}$  nella sezione 18.



	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018




*Figura 4-13: Livello del pelo libero nello stato di progetto per  $Q_{50}$  nella sezione 17.5 (pila 1).*



*Figura 4-14: Livello del pelo libero nello stato di progetto per  $Q_{50}$  nella sezione 17 (briglia).*

In accordo con il Servizio Area Reno e Po di Volano, in fase di progetto esecutivo verrà studiato se un eventuale abbassamento della briglia permetta la risoluzione delle criticità emerse a monte della stessa. Inoltre, un abbassamento della briglia,

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

abbinato alla realizzazione di una rampa degradante, potrebbe apportare un miglioramento significativo alle capacità di deflusso del torrente in prossimità della briglia, oltre che facilitare gli spostamenti migratori della fauna ittica locale.

## 4.3 Modello idraulico per portata con tempo di ritorno 200 anni


### 4.3.1 Modellamento dell'asta fluviale

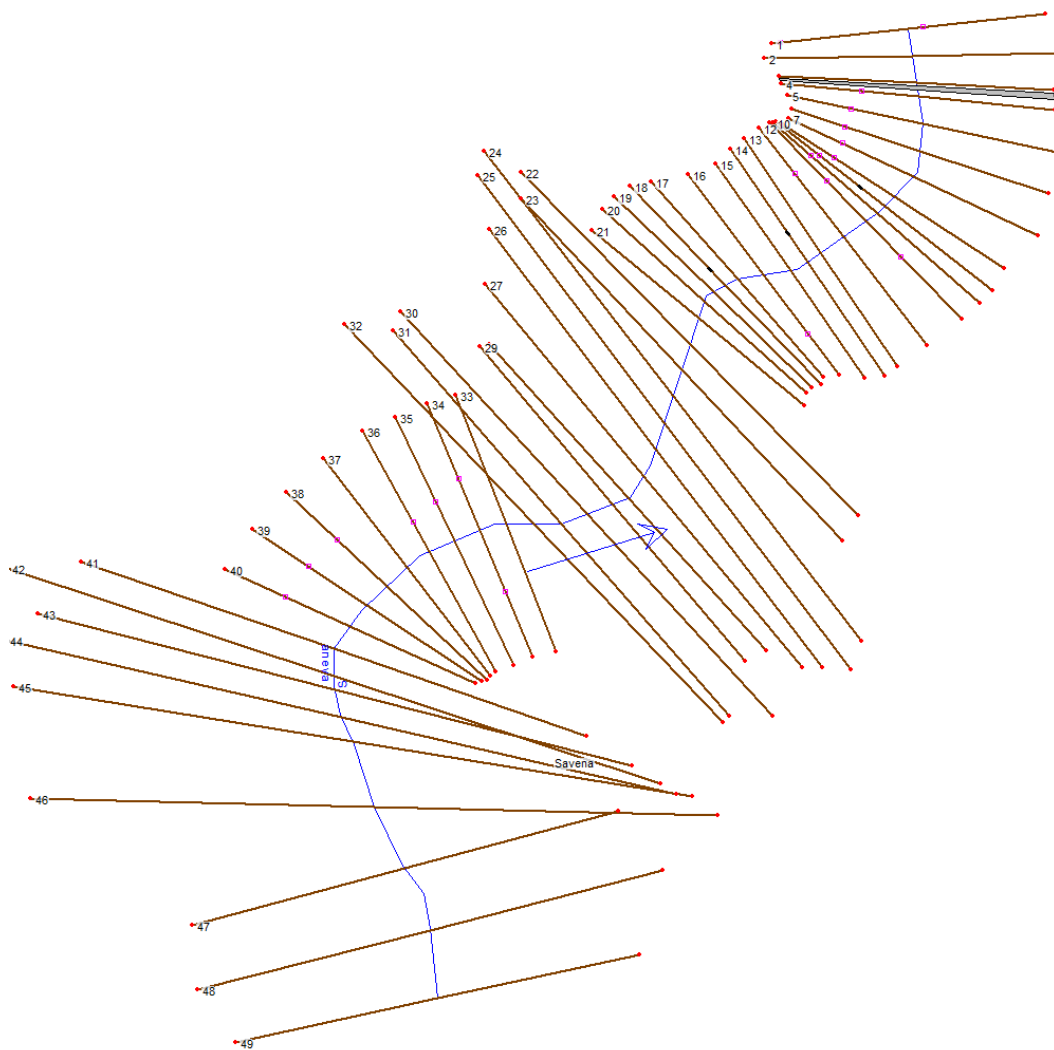
#### 4.3.1.1 Definizione della geometria

Nel definire la geometria dell'asta fluviale per un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni, sono state impiegate le sezioni del modello costruito da SPEA per valutare i tiranti idrici nel caso di portata duecentennale e riportato nella relazione IDR0101 del Febbraio 2018.

Le sezioni utilizzate sono 49, con distanza media l'una dall'altra di circa 20 m. Il calcolo dei livelli di piena lungo l'asta fluviale è stato effettuato nel caso dello stato di progetto, mentre per lo stato di fatto si è fatto riferimento ai risultati contenuti nello studio SPEA sopra citato.

Al fine di individuare le aree interessate da esondazione del torrente Savena, nel caso di portata pari a 200 anni i numerosi edifici che affiancano l'alveo in destra idraulica sono stati inseriti come se facessero parte della sezione stessa, rappresentando di fatto un ostacolo al deflusso dell'acqua e pertanto in questo caso non si è utilizzato il comando "Levees".

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018




*Figura 4-15: Posizione delle sezioni utilizzate per lo studio idraulico stato di progetto- Tempo di ritorno=200 anni.*

Come per il modello costruito per una portata con tempo di ritorno pari a 50 anni, anche nel caso di portata pari a 200 anni la geometria dello stato di progetto tiene conto di tutti gli interventi elencati nel paragrafo 4.2.1.1.

Nel caso di modellazione idraulica per un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni, come coefficiente di scabrezza è stato assunto un valore secondo Manning pari a  $0.067 \text{ s/m}^{1/3}$  e secondo Gauckler-Strickler pari a  $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Questo valore di scabrezza risulta cautelativo e tiene conto del fatto che il deflusso dell'acqua avviene al di fuori dell'alveo incontrando diversi ostacoli.

Anche in questo caso come coefficienti di contrazione ed espansione sono stati assunti i valori di default imposti dal software HEC-RAS, pari rispettivamente a 0,1 e 0,3.

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

#### 4.3.1.2 Definizione dei parametri idrologici e delle condizioni idrauliche al contorno


Il calcolo dei livelli di piena lungo l'asta fluviale nel caso di portata con tempo di ritorno 200 anni è stato effettuato, come specificato nel capitolo 2, per  $Q_{200}=390 \text{ m}^3/\text{s}$ .

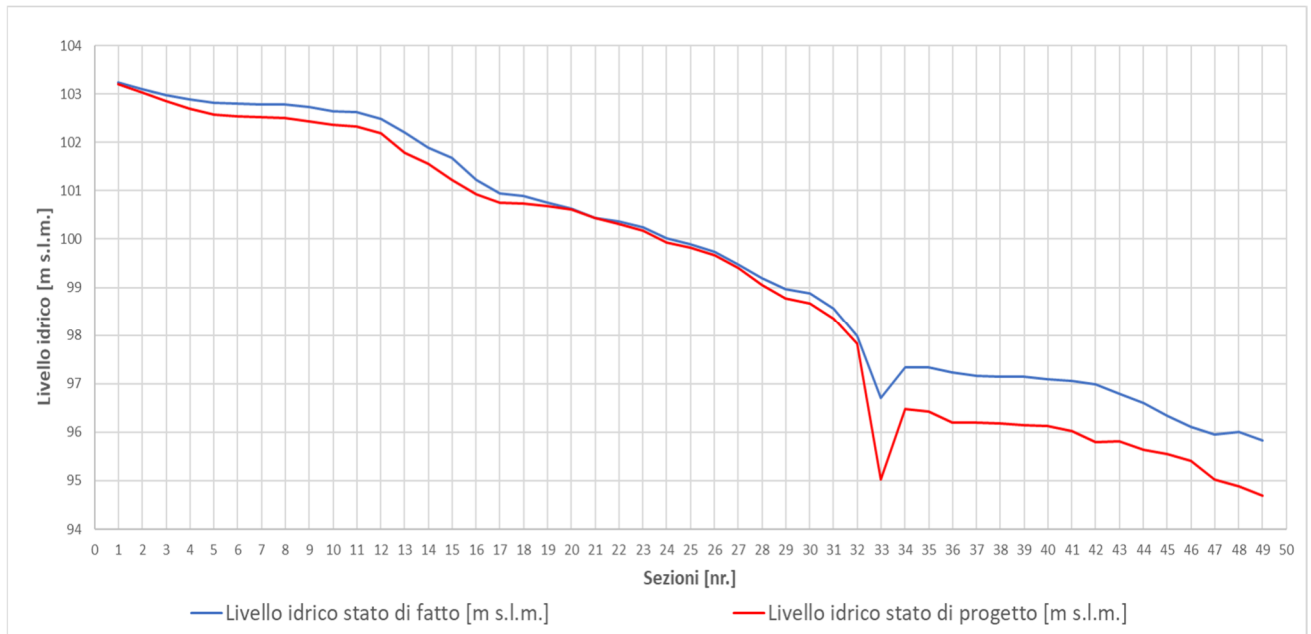
Per quanto riguarda le condizioni idrauliche al contorno, sono state imposte le stesse condizioni del modello costruito per una portata con tempo di ritorno pari a 50 anni; ovvero, come condizione al contorno di monte e di valle è stata scelta la "Normal Depth" e come pendenza di fondo è stata fissata una pendenza pari alla pendenza media del fondo nel tratto in esame e pari a 0.83%.

#### 4.3.2 Analisi dei livelli del pelo libero

Nella *Figura 4-16* si riporta l'andamento dei peli liberi lungo il tratto in esame nelle condizioni di stato di fatto e nelle condizioni di stato di progetto. Dal confronto emerge come in tutte le sezioni il livello idrico delle condizioni di progetto sia inferiore al livello idrico nelle condizioni dello stato di fatto. È da osservare come in particolare il livello si abbassi nel tratto più a monte e nel tratto a valle della briglia, ovvero in corrispondenza dei punti in cui sono previsti gli interventi di risagomatura dell'alveo. Per cogliere l'entità dell'abbassamento si riportano nella Tabella 4-2 i valori dei livelli idrici nel caso di stato di fatto e nel caso di stato di progetto e l'abbassamento relativo. Un miglioramento notevole si osserva in corrispondenza del tratto a valle della briglia, dove, grazie alla risagomatura dell'alveo, il tirante si abbassa di oltre 1 metro in quasi tutto il tratto. Pertanto, la risagomatura dell'alveo risulta efficace nel compensare la realizzazione del corpo stradale ed evitare un innalzamento significativo del pelo libero nelle condizioni di portata con tempo di ritorno di 200 anni.




	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018




*Figura 4-16: Grafico di confronto tra i livelli idrici nello stato di fatto e i livelli idrici nello stato di progetto, per una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.*

Sezioni	Livello idrico stato di fatto	Livello idrico stato di progetto	Differenza tra quota stato di progetto e quota stato di fatto
[nr.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
1	103.23	103.20	-0.03
2	103.1	103.03	-0.07
3	102.98	102.85	-0.13
4	102.89	102.70	-0.19
5	102.81	102.57	-0.24
6	102.8	102.54	-0.26
7	102.79	102.52	-0.27
8	102.78	102.51	-0.27
9	102.73	102.44	-0.29
10	102.65	102.37	-0.28
11	102.62	102.33	-0.29
12	102.49	102.18	-0.31
13	102.2	101.78	-0.42


	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

14	101.89	101.55	-0.34
15	101.68	101.22	-0.46
16	101.23	100.93	-0.30
17	100.94	100.75	-0.19
18	100.89	100.74	-0.15
19	100.75	100.68	-0.07
20	100.63	100.61	-0.02
21	100.44	100.43	-0.01
22	100.36	100.32	-0.04
23	100.24	100.18	-0.06
24	100.01	99.93	-0.08
25	99.89	99.82	-0.07
26	99.74	99.67	-0.07
27	99.47	99.40	-0.07
28	99.2	99.05	-0.15
29	98.97	98.77	-0.20
30	98.87	98.66	-0.21
31	98.56	98.35	-0.21
32	97.99	97.82	-0.17
33	96.7	95.02	-1.68
34	97.33	96.47	-0.86
35	97.34	96.43	-0.91
36	97.23	96.19	-1.04
37	97.17	96.20	-0.97
38	97.15	96.18	-0.97
39	97.14	96.15	-0.99
40	97.1	96.13	-0.97
41	97.05	96.03	-1.02
42	96.98	95.80	-1.18
43	96.8	95.82	-0.98
44	96.6	95.63	-0.97
45	96.34	95.55	-0.79
46	96.11	95.41	-0.70
47	95.95	95.02	-0.93
48	96.01	94.89	-1.12
49	95.83	94.69	-1.14

Tabella 4-2: Confronto tra i tiranti idrici in condizione di stato di fatto e in condizione di stato di progetto per una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.


	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

## 5. ALLEGATI: RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018


## Allegato 1.1

### Tempo di ritorno 50 anni - stato di fatto

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

## Allegato 1.2


### Tempo di ritorno 50 anni - stato di progetto

	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

## Allegato 2.1

### Tempo di ritorno 200 anni - stato di fatto



	<b>Committente:</b> Città Metropolitana di Bologna	<b>Documento:</b> Valutazione preliminare ai sensi dell'art. 6 comma 9 D. Lgs 152/06
	<b>Lavoro:</b> PROGETTO DEFINITIVO DELLA VARIANTE SP65 ALL'ABITATO DI RASTIGNANO	Codice: ADD1301 Data: Settembre 2018

## Allegato 2.2

### Tempo di ritorno 200 anni - stato di progetto