

Adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale difensivo tramite interventi di adeguamento in quota ed in sagoma a valle della cassa fino al confine regionale per garantire il franco di 1 metro, rispetto alla piena di TR 20 anni nello stato attuale, e la stabilità e resistenza dei rilevati (MO-E-1323)



Progetto esecutivo II° stralcio - I° lotto

approvato	Dott. Ing. Ivo Fresia
verificato	Dott. Ing. Giuseppe Campi
elaborato	Dott. Ing. Andrea Alberini

Il Progettista - Responsabile di progetto e delle integrazioni e prestazioni specialistiche: <i>Dott. Ing. Ivo FRESIA</i>	Il Geologo: <i>Dott. Geol. Giancarlo VILLA</i>
Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione: <i>Dott. Ing. Giuseppe CAMPI</i>	VISTO: Il Responsabile del procedimento <i>Dott. Ing. Federica PELLEGRINI</i>

**ELABORATI GENERALI
RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA**

E2.01.09

00	AE	GC	FR	Aprile 2018
rev.	sigle			Data

codice elaborato 0690-01-01-013R-01



Mod. PO01/06
Rev. 2
Data emissione: 11.2016

Indice

1	Premessa.....	1
2	Documentazione di riferimento	1
3	Analisi idrologica.....	2
3.1	Caratteristiche del bacino idrografico alla sezione di Rubiera.....	2
3.2	Caratteristiche del modello HEC-HMS.....	3
3.3	Elaborazioni condotte e risultati ottenuti	4
4	Analisi morfologico – idraulica dell’alveo.....	7
5	Analisi idraulica.....	11
5.1	Allestimento del modello idrodinamico	12
5.2	Simulazioni idrodinamiche	108
6	Verifica della stabilità delle opere di protezione spondale (sezione tipo D)	189
6.1	Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente.....	189
6.2	Calcolo della tensione tangenziale.....	190
6.3	Definizione del peso dei massi da impiegarsi	191
6.4	Risultati delle verifiche di stabilità delle opere di protezione spondale.....	191
7	Scenario di cantierizzazione	193
8	Dimensionamento delle vasche di dissipazione delle opere di sfioro delle aree golenali.....	199
9	Precisazioni in merito alle richieste del Gruppo di Verifica.....	201
9.1	Interventi previsti in corrispondenza della cassa di espansione	201
9.2	Modellazione del I stralcio di interventi.....	205
9.3	Precisazioni relative agli drogrammi di piena	206
1	ALLEGATO 1 – Interventi “Cassa”	209

1 Premessa

Il progetto definitivo in argomento concerne gli interventi di adeguamento strutturale e funzionale del sistema arginale del fiume Secchia nel tratto compreso tra l'attraversamento dell'autostrada A1 e il confine della Regione Emilia-Romagna, all'altezza dell'abitato di Concordia sulla Secchia.

Gli interventi in progetto sono organizzati secondo i seguenti due stralci funzionali:

- **I stralcio**, relativo al tratto compreso tra il ponte A1 e quello dell'Uccellina (circa 12,5 km);
- **II stralcio**, dal ponte dell'Uccellina al confine regionale (circa 30 km).

Nel seguito vengono illustrate le elaborazioni di carattere idrologico e idraulico condotte per la determinazione degli elementi necessari al dimensionamento delle opere di adeguamento dell'assetto difensivo del corso d'acqua costituite, prevalentemente, da interventi sui rilevati arginali, ma anche da miglioramenti morfologici della geometria dell'alveo attivo in corrispondenza dei ponti e da interventi sulle aree golenali con lo scopo di migliorarne le funzioni di invaso e di laminazione.

La finalità degli interventi è quella di conseguire un assetto difensivo del tratto di corso d'acqua adeguato alla piena con il tempo di ritorno di 20 anni; su tale grandezza sono pertanto state concentrate le elaborazioni di natura idrologica e idraulica che nel seguito vengono esposte.

Il sistema arginato, continuo su entrambe le sponde, si sviluppa a partire da valle del tratto compreso tra il ponte della Via Emilia (SS 9) e quello della A1 (circa 5,5 km) in cui hanno sede consistenti effetti di laminazione delle onde di piena provenienti da monte per la presenza, in successione, della cassa di espansione e di una estesa area di espansione naturale.

Sotto l'aspetto idrologico, la sezione di riferimento per il calcolo delle portate di piena è dunque costituita dal ponte della Via Emilia, in cui si può assumere un "funzionamento naturale" del bacino idrografico sotteso; la portata al colmo all'ingresso del tratto arginato è di conseguenza calcolata attraverso l'applicazione di un modello di simulazione idraulica che permette di tenere conto del comportamento della cassa e dell'area di espansione posta immediatamente a valle.

Il progetto definitivo sviluppato, infine, si colloca in prosecuzione del progetto preliminare degli stessi interventi redatto direttamente da AIPO, di cui si assumono le valutazioni di natura idrologica e idraulica; su tali valutazioni sono stati sviluppati gli approfondimenti necessari per il passaggio alla fase di progettazione di maggior dettaglio.

2 Documentazione di riferimento

Per gli aspetti idrologici e idraulici si è fatto riferimento alla seguente documentazione tecnica pregressa.

1. Adeguamento della Cassa di espansione del fiume Secchia in località Rubiera (RE) e Campogalliano (MO) alle attuali esigenze idrauliche e alle norme del DPR 1/11/1959 n. 1363 e successive (Regolamento Dighe). Documentazione parziale: Relazione generale (Allegato1); Relazione idrologica (Allegato 2); Verifiche idrauliche (Allegato 3); Rilevati arginali e manufatto limitatore – Verifiche strutturali (Allegato 4); Situazione attuale: Planimetria generale 1:10.000; Profilo longitudinale in asse Secchia; Profilo longitudinale in asse Cassa; Sezioni trasversali della Cassa 1:5000/1:200 (Allegato 15); Situazione attuale: Rilevati arginali – Sezioni caratteristiche 1:200 (Allegato 16); Situazione attuale: Manufatti – Sezioni caratteristiche 1:100 e 1:200 (Allegato 17). dott. ing. G. Susin, 1991.
2. Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia nel tratto da Lugo alla confluenza in Po, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2004.
3. Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), Autorità di Bacino del fiume Po, 2015:
 - Mappe delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del fiume Po: bacino del Secchia – fiume Secchia;

- Area a rischio significativo di alluvione - ARS Distrettuali - 2. Schede monografiche - Fiume Secchia dalla cassa di espansione alla confluenza in Po.
4. Relazione tecnica di aggiornamento della proposta di intervento contenuta nello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia*”, relativa al tratto cassa – Tre olmi (elaborato 3-4-2_1-3r_sc), sulla base dei risultati delle più aggiornate analisi sulla pericolosità di alluvione svolte ai sensi della direttiva 2007/60/CE, Autorità di Bacino del fiume Po, 2014;
 5. Lavori di ampliamento della cassa di laminazione del fiume Secchia, Comuni di Modena e Rubiera - Progetto Preliminare, AIPO 2016.

3 Analisi idrologica

Il sistema di opere idrauliche che attualmente difende dalle inondazioni l’intera area di pianura adiacente al Secchia è costituito schematicamente:

- dalla cassa di espansione esistente, localizzata poco a valle del ponte della Via Emilia (SS 9);
- dall’area di naturale espansione compresa tra il termine della cassa e l’autostrada A1;
- dal sistema arginale che corre con continuità su entrambe le sponde a partire da valle della A1 fino alla confluenza in Po.

A livello idrologico è pertanto necessario definire le portate di piena per i diversi tempi di ritorno in una sezione del corso d’acqua posta a monte del tratto interessato dalla cassa di laminazione e valutare successivamente, per mezzo di strumenti di simulazione idraulica il trasferimento a valle di tali portate, il cui colmo è influenzato dagli effetti dovuti all’entrata in funzione della cassa e alla libera espansione nell’area inondata di valle, che avvengono in sequenza.

Per tali aspetti, l’implementazione del modello di simulazione idraulica è stata fatta in modo da permettere la rappresentazione con il massimo di accuratezza del comportamento nelle attuali condizioni di assetto. Ipotesi di adeguamento e/o ampliamento della cassa potranno consentire di disporre successivamente di ulteriori scenari idrologici-idraulici rispetto ai quali potranno essere valutati gli ulteriori adeguamenti necessari per portare il sistema complessivo di contenimento delle piene del corso d’acqua a valle della cassa di espansione al grado di sicurezza idraulica posto come obiettivo negli strumenti di pianificazione di bacino.

In ragione della presenza della cassa di espansione, la “situazione” idrologica del fiume Secchia alla sezione di Rubiera è stata affrontata in numerosi studi a partire da quello, risalente ai primi anni ’70 del secolo scorso, per il progetto della stessa cassa.

Le elaborazioni più recenti, costituite dallo *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia* (Autorità di bacino del fiume Po, 2007), dal *Progetto preliminare per i lavori di ampliamento della cassa di laminazione del fiume Secchia* (AIPO, 2007) e dagli *Studi in attuazione della Direttiva 2007/60/CE* svolti dall’Autorità di bacino (2014) hanno raggiunto una sostanziale coerenza per quanto riguarda i valori al colmo a Rubiera (SS 9, monte cassa) delle portate di piena di riferimento. Il PGRA fissa per i tempi di ritorno di 20 e 200 anni rispettivamente 1.330 e 2.010 m³/s.

3.1 Caratteristiche del bacino idrografico alla sezione di Rubiera

Il bacino idrografico del fiume Secchia alla sezione di Rubiera (SS 9), a monte della cassa di espansione, ha una superficie complessiva di 1.341 km², comprensiva del sottobacino del torrente Tresinaro che confluisce poco a monte.

La sezione della traversa di Castellarano (976 km²), dove è stato tarato il modello di simulazione HEC-HMS messo a punto nell’ambito dello *Studio di fattibilità* prima citato, sottende i sottobacini rispettivamente dell’Alto Secchia (chiuso a Ponte Cavola, 359 km²), dei torrenti Dolo e Dragone (affluenti di destra, complessivamente 271 km²), del torrente Rossenna (affluente di destra a Lugo, 186 km²) e l’interbacino, sviluppato prevalentemente in sinistra, a valle di Ponte Cavola (160 km², IB1, IB2, IB3, IB4).

Tra Castellarano e Sassuolo, sezione quest'ultima che rappresenta la chiusura del bacino montano, vi è l'interbacino IB5 (36 km²); a valle di Sassuolo vi è l'interbacino IB6 (44 km²) e il sottobacino del fosso Spezzano (in destra, 56 km²). A valle ancora, in sinistra, vi è la confluenza del torrente Tresinaro (229 km²), il cui sottobacino ha un andamento stretto e allungato (circa 40 km) parallelo a quello del Secchia.

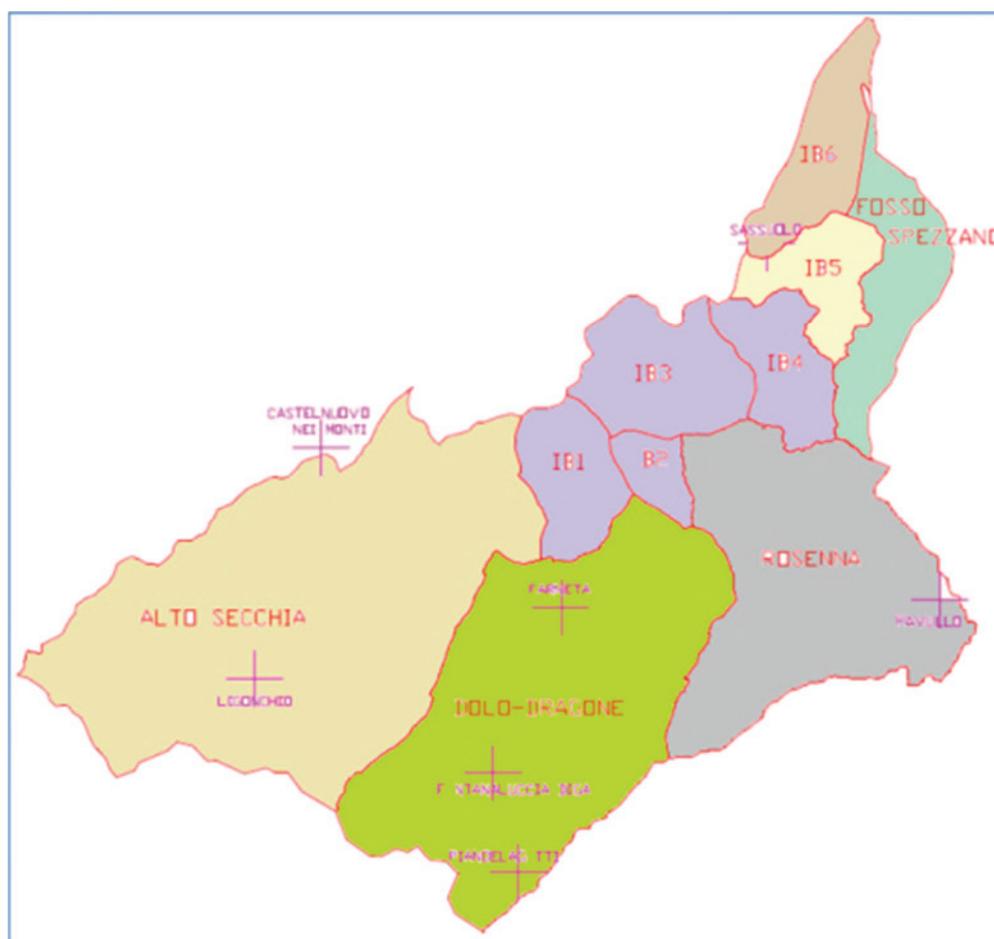


Fig. 1 Rappresentazione schematica della suddivisione in sottobacini del bacino idrografico del fiume Secchia alla sezione di Rubiera (Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Secchia nel tratto da Lugo alla confluenza in Po, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2004)

Sotto l'aspetto idrometrico, solamente due delle stazioni di misura esistenti sono dotate di scala delle portate (Castellarano e Sassuolo); a livello pluviometrico sono disponibili le misurazioni nelle seguenti 9 stazioni: Frassinoro, Castelnuovo Monti, Pavullo, Piandelagotti, Farneta, Ligonchio, Sassuolo, Fontanaluccia.

3.2 Caratteristiche del modello HEC-HMS

Il modello HEC-HMS è stato implementato nello Studio di fattibilità citato rispetto alla sezione di chiusura di Castellarano e tarato su alcune piene significative per le quali sono a disposizione sia i dati di precipitazione che quelli idrometrici (eventi: ott., nov. e dic. 1996, nov. 1998, apr. e nov.99).

A seguito della taratura, il modello è stato applicato per la costruzione delle onde di piena di riferimento nella sezione di interesse attraverso i seguenti passi sequenziali:

- determinazione degli ietogrammi a intensità costante (rettangolari) per ogni sottobacino e per i vari tempi di ritorno, a partire dai valori ai nodi della griglia di Kriging su maglia di 2x2 km (Direttiva sulla piena di progetto del PAI);

- calcolo delle onde di piena di riferimento per durate delle piogge comprese tra 12 e 28 ore per identificare, a parità di tempo di ritorno le condizioni più gravose in termini di portata al colmo e di volume massimo defluito sopra la soglia di 750 m³/s; identificazione delle durate di 12 e 24 ore come quelle critiche;
- estensione dei risultati alla sezione di Rubiera tramite: propagazione in moto vario dell'idrogramma valutato a Castellarano, con aggiunta dei contributi dei sottobacini del tratto (stimati ancora con il modello);

Il contributo del bacino del torrente Tresinaro è stato valutato mediante un'analisi con fondamento statistico.

In conclusione, dall'applicazione del modello descritto derivano i seguenti valori al colmo delle portate di riferimento (valori arrotondati):

Tab. 1 Portate al colmo (durata critica 12 h)

Tempo di ritorno (anni)	Portata al colmo (m ³ /s)
20	1.350
50	1.600
100	1.900
200	2.050
500	2.250

I valori sopra indicati sono calcolati rispetto alla durata critica di 12 ore.

Il coefficiente di deflusso complessivo per il bacino sotteso a Castellarano risulta pari a 0,57, valore che risulta congruo rispetto alle caratteristiche morfologiche del bacino stesso e al grado di permeabilità del suolo.

3.3 Elaborazioni condotte e risultati ottenuti

In relazione alle esigenze legate alle elaborazioni necessarie per il progetto, si è proceduto a effettuare nuove simulazioni idrologiche attraverso l'utilizzo del modello messo a punto secondo i seguenti criteri:

- mantenere i valori delle portate al colmo nella sezione di Rubiera per i diversi tempi di ritorno che sono stati consolidati nei progetti più recenti di AIPO e nelle elaborazioni effettuate per il PGRA da parte dell'Autorità di bacino; tali valori fanno riferimento ai risultati che vengono ottenuti per le precipitazioni critiche con durata 12 ore; di particolare importanza per il progetto sono in questo caso i valori relativi ai tempi di ritorno rispettivamente di 20 e 200 anni; il primo infatti costituisce il dato di riferimento per il progetto, mentre il secondo permette di valutare lo scostamento esistente rispetto all'obiettivo posto dalla pianificazione di bacino,
- elaborare nuovi idrogrammi di piena per piogge critiche di durata pari a 24 ore, che danno luogo a idrogrammi caratterizzati dal massimo volume defluito al di sopra del valore soglia di 750 m³/s;
- trasferire la sezione di chiusura del modello direttamente nella sezione di Rubiera, in modo da semplificare consistentemente le operazioni di calcolo di nuovi idrogrammi di piena.

L'implementazione del modello nella sezione di Rubiera è stata effettuata mantenendo sostanzialmente i parametri del modello esistente ed effettuando modeste modifiche dei dati di input per tenere conto dell'aumento della superficie del bacino idrografico sotteso, corrispondente sostanzialmente a quella del torrente Tresinaro, pari a poco più del 15% della superficie complessiva e per fare in modo che siano mantenuti i valori già consolidati delle onde di piena.

Nel seguito si presentano i risultati delle nuove elaborazioni idrologiche effettuate.

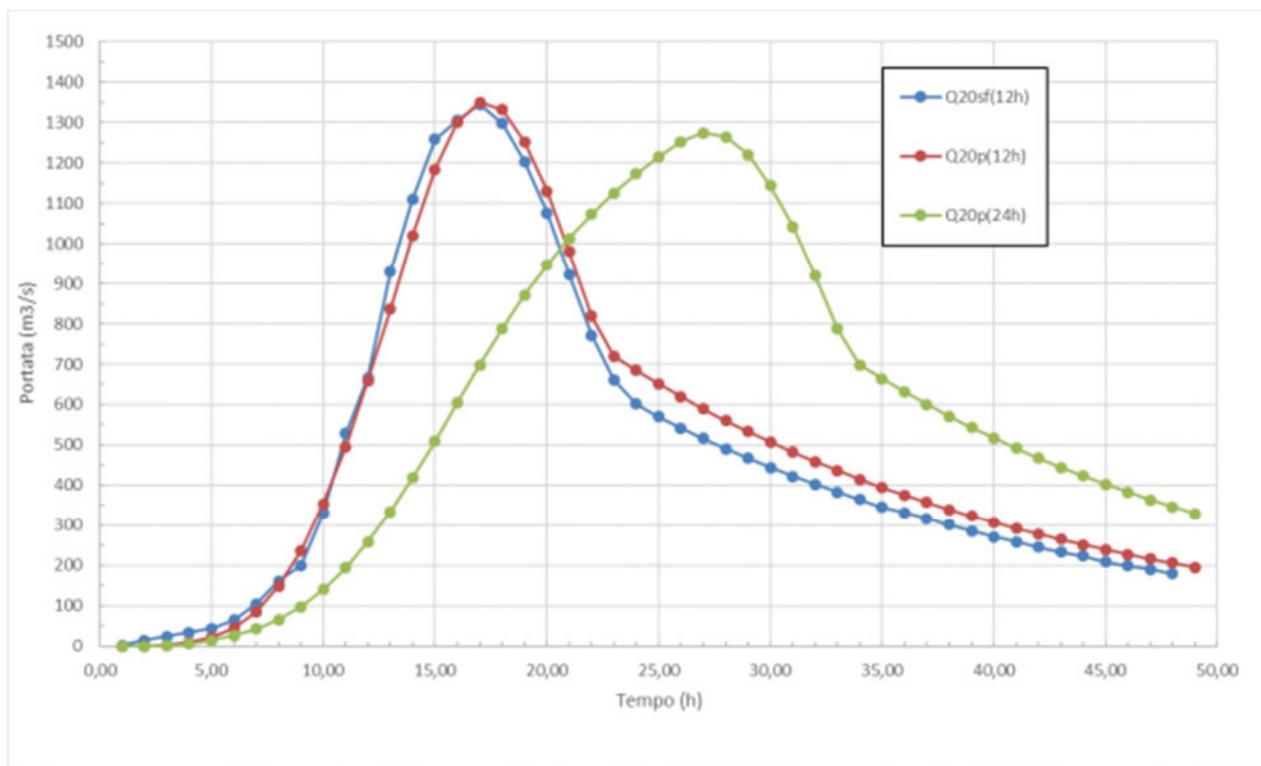


Fig. 2 Onde di piena nella sezione di Rubiera per il tempo di ritorno di 20 anni determinate rispettivamente nello Studio di fattibilità (Q20sf) e nel progetto (Q20p) per durate di 12 e di 24 ore

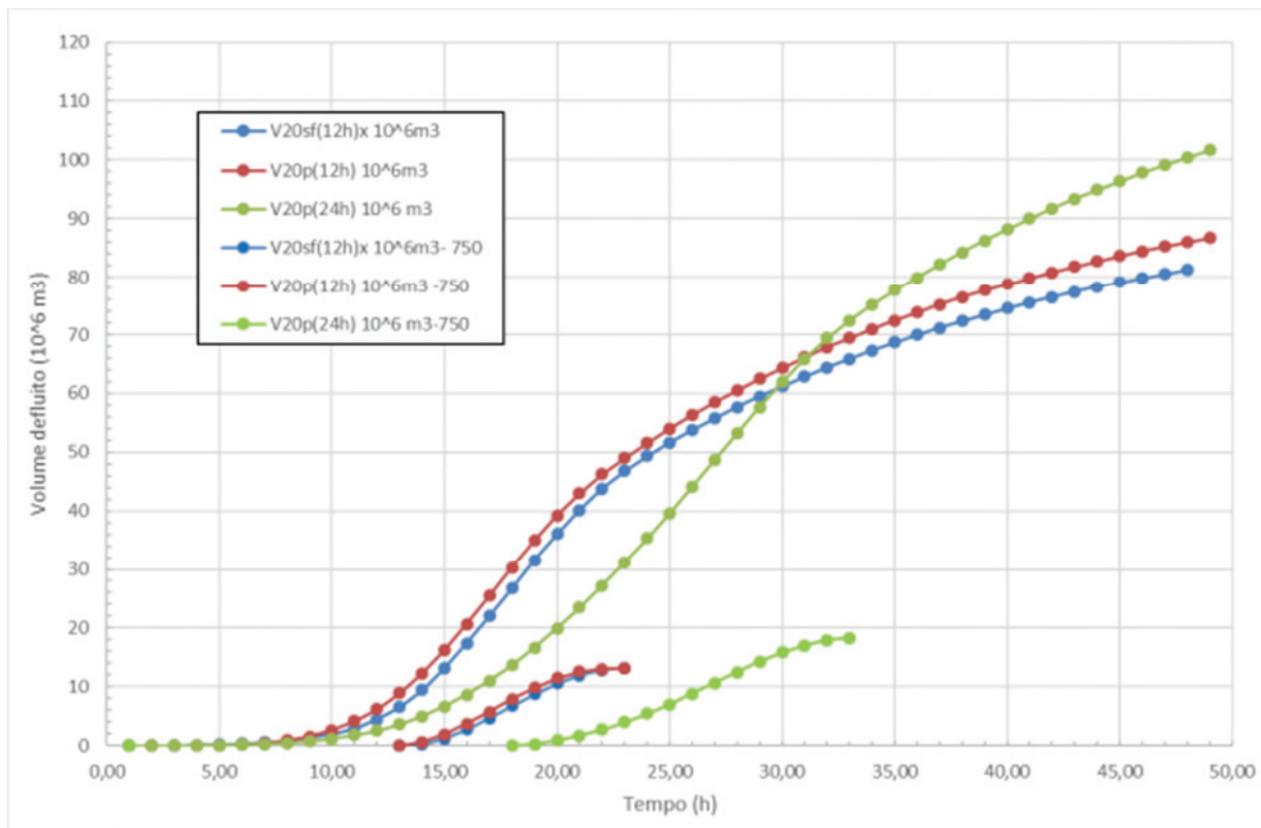


Fig. 3 Volumi totali e per portate superiori a 750 m³/s defluiti nella sezione di Rubiera per il tempo di ritorno di 20 anni determinati rispettivamente nello Studio di fattibilità (V20sf) e nel progetto (V20p) per durate di 12 e di 24 ore

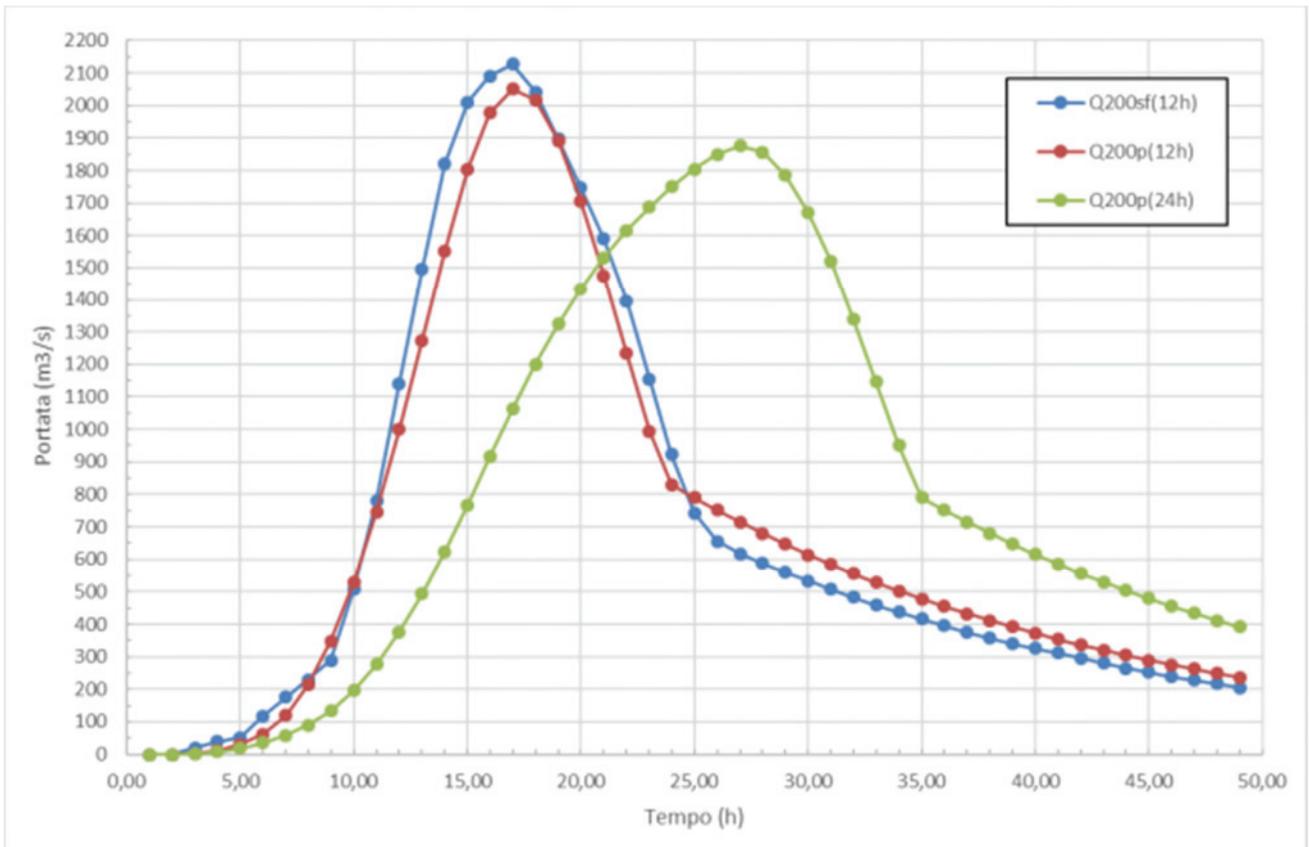


Fig. 4 Onde di piena nella sezione di Rubiera per il tempo di ritorno di 200 anni determinate rispettivamente nello Studio di fattibilità (Q200sf) e nel progetto (Q200p) per durate di 12 e di 24 ore

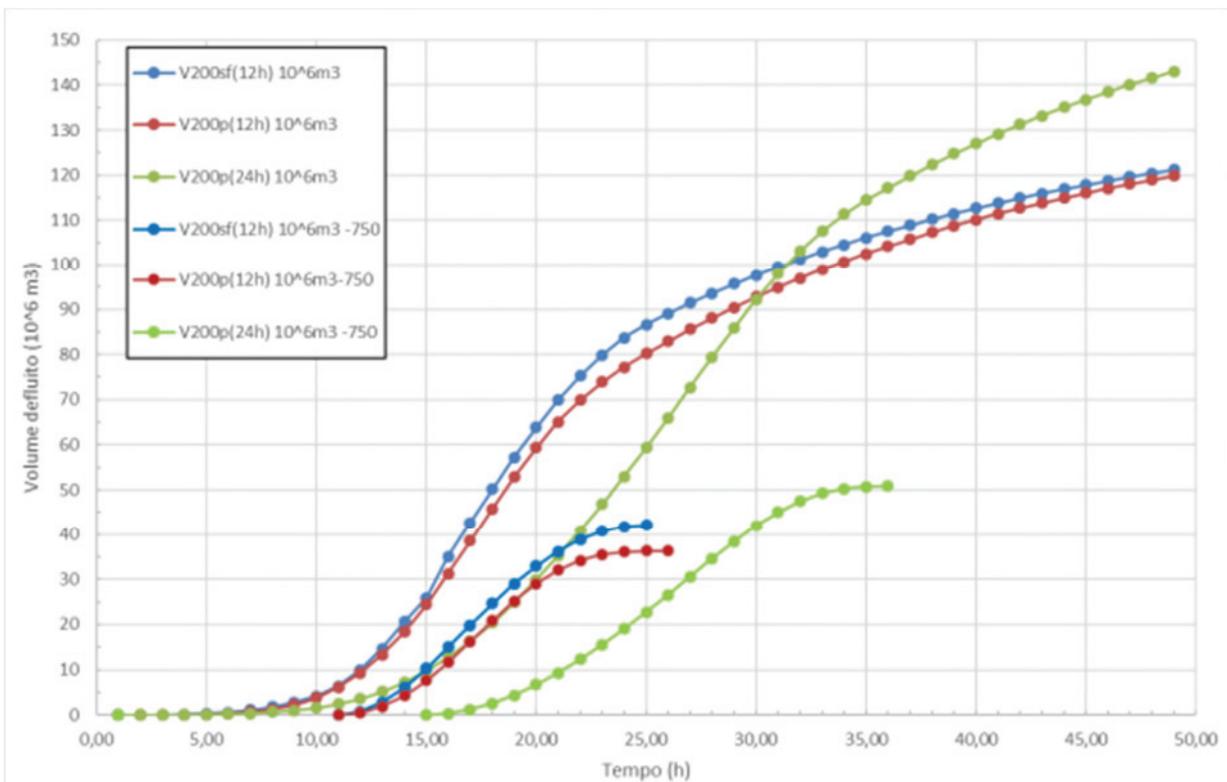


Fig. 5 Volumi totali e per portate superiori a 750 m³/s defluiti nella sezione di Rubiera per il tempo di ritorno di 200 anni determinati rispettivamente nello Studio di fattibilità (V200sf) e nel progetto (V200p) per durate di 12 e di 24 ore

4 Analisi morfologico – idraulica dell'alveo

L'analisi dell'evoluzione morfologica dell'alveo attivo del corso d'acqua nel periodo recente è stata orientata principalmente a ricostruirne i fenomeni di erosione e di deposito significativi rispetto alla capacità di deflusso.

Allo scopo è stato utilizzato il software Hec – Ras 5.0.3, sul quale sono stati impostati tutti gli scenari di simulazione idraulica, in modalità mono-dimensionale, implementando modelli geometrici diversi, sulla base della disponibilità di sezioni topografiche dell'alveo rilevate in epoche diverse. Sono state utilizzate le geometrie dell'alveo descritte dalle campagne di rilievo degli anni 1969 e 2002 e sono state confrontate con quella più recente del 2015. La scelta degli anni è stata dettata dai dati storici disponibili e dalla confrontabilità degli stessi.

Il confronto tra la geometria del 1969 e quella 2015 è stato effettuato implementando due modelli di simulazione monodimensionali mediante l'utilizzo delle sole sezioni, relative alle due differenti epoche, coincidenti in termini di localizzazione lungo l'asse e orientamento. Per l'intero tratto considerato a valle dell'autostrada A1, della lunghezza di circa 60 km, sono risultate disponibili, con le caratteristiche dette, solamente 30 sezioni per ciascuno dei due anni; di tale elemento occorre tener conto nel valutare il grado di precisione dei risultati ottenuti.

Il confronto tra le geometrie dell'alveo relative ai due differenti periodi è stato effettuato prendendo a riferimento la portata a bordi pieni (*bankfull discharge*) e il corrispondente livello idrico, ottenuto attraverso il modello di simulazione idraulica; come indicatori delle trasformazioni dell'alveo sono stati assunti i seguenti indicatori, riferiti rispettivamente al 1969 e al 2015:

- quota di fondo minimo;
- quota di fondo medio;
- area della sezione bagnata.

I risultati ottenuti mostrano come il profilo del fondo medio per il primo tratto del corso d'acqua (fino circa a Ponte Pioppa, circa 40 km a valle del ponte A1) abbia subito un innalzamento nell'intero periodo intercorso con i valori più elevato che si manifestano nella parte di più a monte (dell'ordine di circa 1 m). Per i restanti 20 km a valle si può invece sostenere la sostanziale stabilità delle quote del fondo medio. Analogo andamento è mostrato dai valori del fondo minimo, pur nella maggiore variabilità dell'indicatore che è più influenzato da fattori legati alla morfologia locale dell'alveo (Fig. 6).

Si assiste in conclusione a un fenomeno di innalzamento del fondo dell'alveo inciso che si è manifestato complessivamente nel corso degli ultimi 45 anni circa; si tratta di un valore non elevato, ma comunque apprezzabile anche nei riflessi ipotizzabili sulla capacità di deflusso dell'alveo stesso.

Va considerato, nell'interpretazione dei dati che si riferiscono a un periodo che inizia solamente alcuni anni prima della costruzione e dell'entrata in funzione della cassa di laminazione, che costituisce un elemento di intercettazione del trasporto solido proveniente da monte (si può ipotizzare che possa defluire a valle solamente il trasporto solido in sospensione o comunque di dimensioni più fini); va in ogni caso tenuto conto che questo elemento non costituisce sicuramente l'unico fattore di monte con potenziale influenza sul trasporto solido a valle.

Un ulteriore elemento di confronto può emergere dai valori dell'area bagnata (sempre riferiti alla profilo a bordi pieni) che permettono di valutare il volume complessivo dell'alveo inciso nel tratto e la sua variazione nel periodo; per l'anno 1969 si ha un valore di circa 11,8 milioni di m³, corrispondenti a circa 210 m² al metro; nel 2015 il volume totale è di 7,1 milioni di m³, corrispondenti a circa 126 m² al metro; la riduzione del volume dell'alveo inciso è stata dunque di circa 4,7 milioni di m³, corrispondenti a circa 84 m² al metro.

Complessivamente quindi l'analisi mostra un fenomeno di deposito che ha interessato i primi 40 km circa dell'alveo inciso e una situazione sostanzialmente stabile per la restante parte.

L'accuratezza dei risultati ottenuti deve comunque tenere conto del numero molto limitato delle sezioni disponibili utilizzate, che se da un lato possono indicare l'evoluzione intervenuta, devono indurre a

considerare con cautela le grandezze complessive ricavate a scala di intero tratto, quali ad esempio i volumi totali di sedimentati.

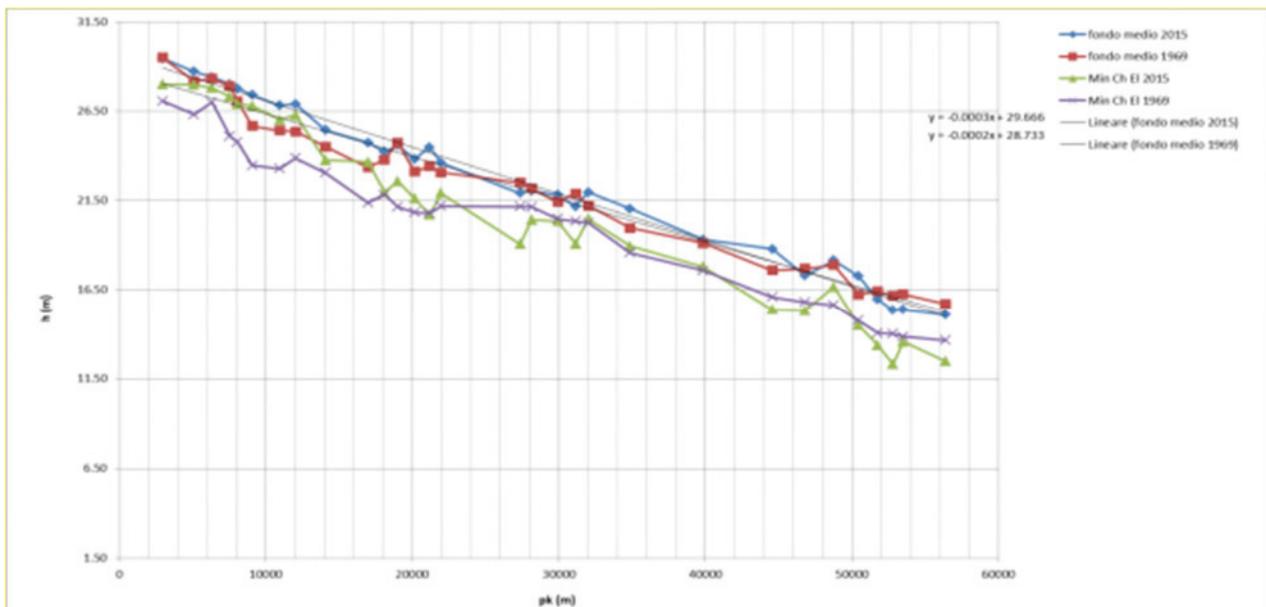


Fig.6 Andamento del fondo minimo e del fondo medio dell'alveo inciso negli anni 1969 e 2015

Il trend dei risultati ottenuti nell'analisi tra l'anno 1969 e 2015 sono stati confermati anche dal confronto tra l'anno 2002 e 2015 (Fig.7).

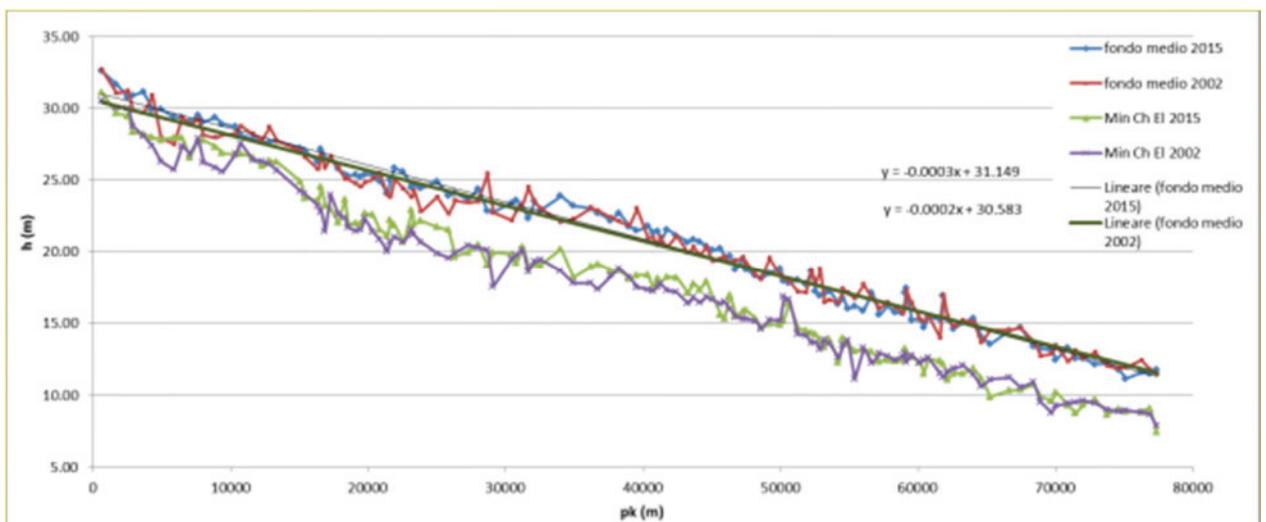


Fig.7 Andamento del fondo minimo e del fondo medio dell'alveo inciso negli anni 2002 e 2015

I dati geometrici in questo caso hanno permesso un'analisi più dettagliata poiché su 60 km circa di alveo il numero di sezioni utilizzate è stato di 132, cioè con una buona densità longitudinale che ha permesso una descrizione molto più accurata.

L'andamento del fondo medio mette in evidenza un innalzamento ridotto (il valore massimo è di circa 60 cm e si verifica nel tratto più a monte). L'andamento del fondo minimo risulta invece poco differente nei due anni (con l'eccezione di pochi casi a carattere puntuale), tanto da poter considerare una sostanziale stabilità delle quote minime di thalweg.

Si constata invece un innalzamento del fondo medio che è pertanto imputabile prevalentemente a una riduzione dell'area della sezione con depositi che hanno interessato le sponde. Il volume complessivo dell'alveo inciso risulta infatti pari a 13,1 milioni di m³ nel 2002 contro i 10,7 milioni di m³ nel 2015.

A sostegno dei dati esposti di seguito si riportano alcuni confronti rappresentativi tra le geometrie del 2002 (in linea magenta) e 2015 (in linea nera).

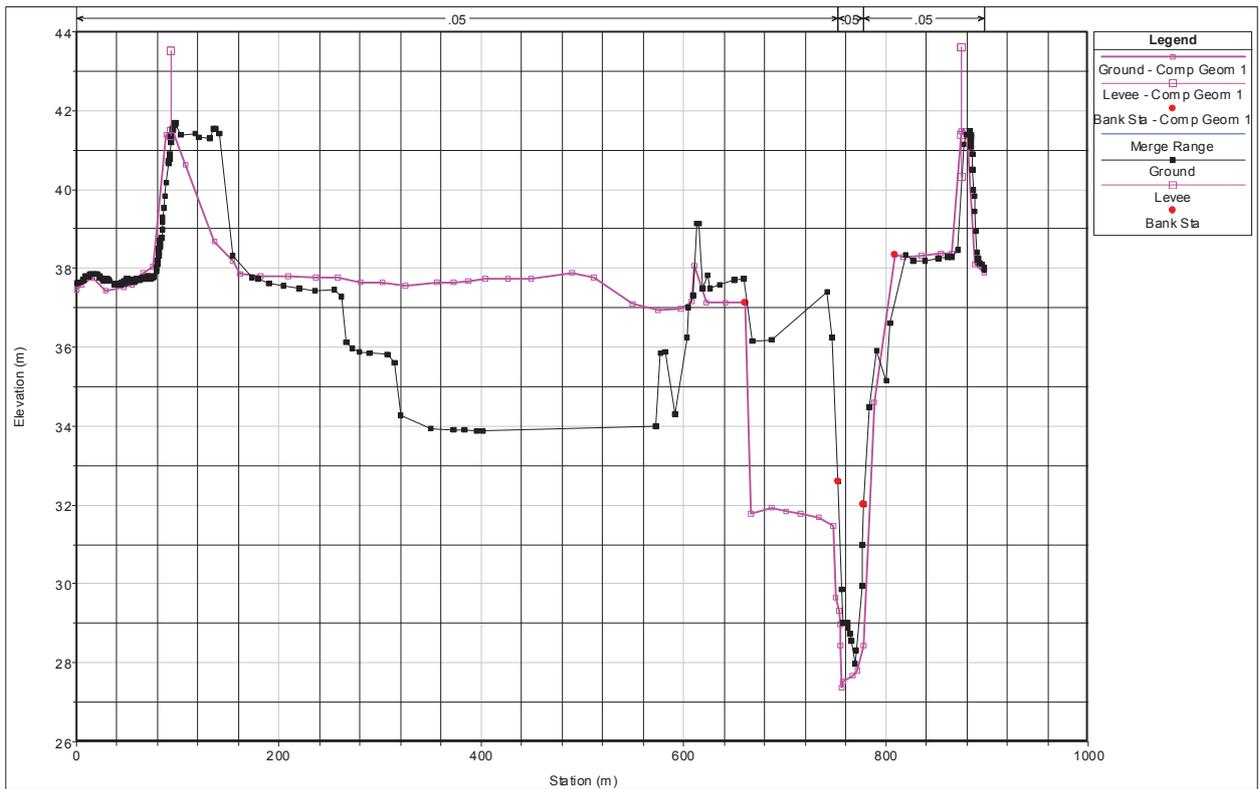


Fig.8 sez. 149: confronto tra anno 2002 (magenta) e 2015 (nera)

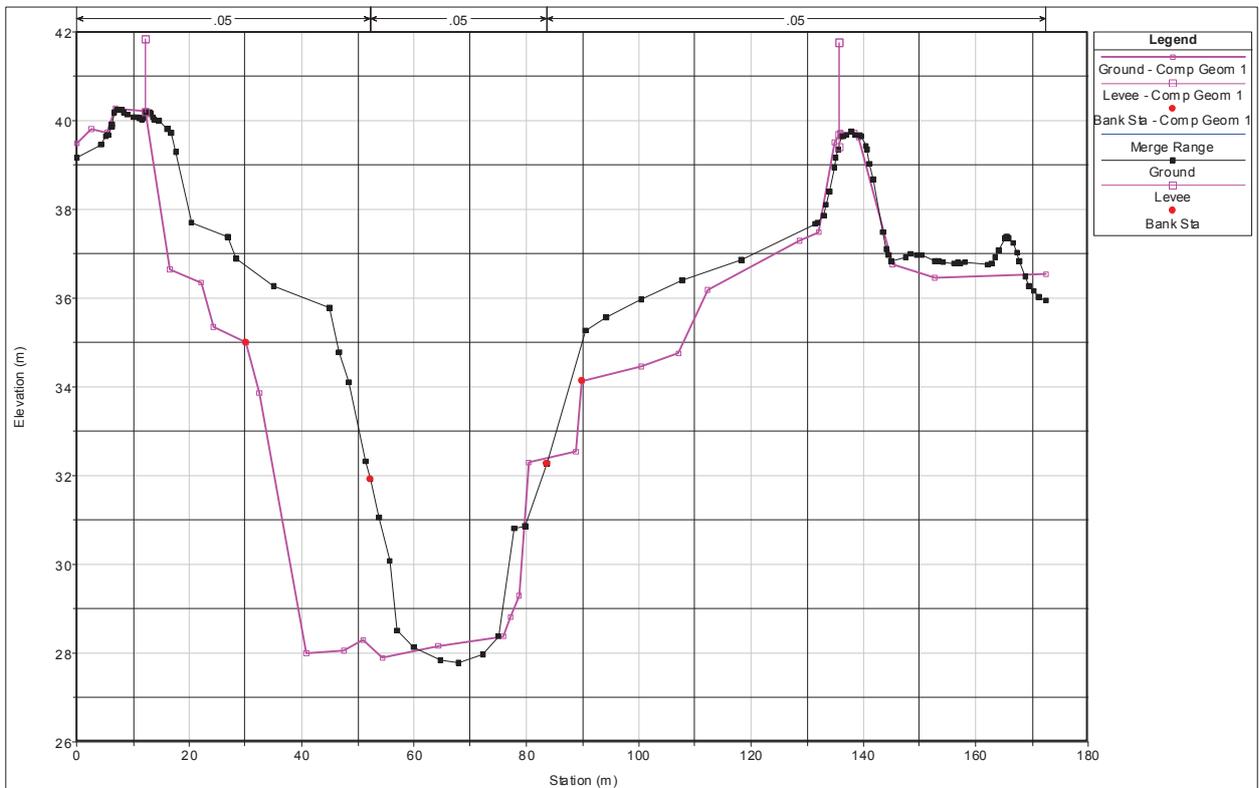


Fig.9 sez. 141: confronto tra anno 2002 (magenta) e 2015 (nera)

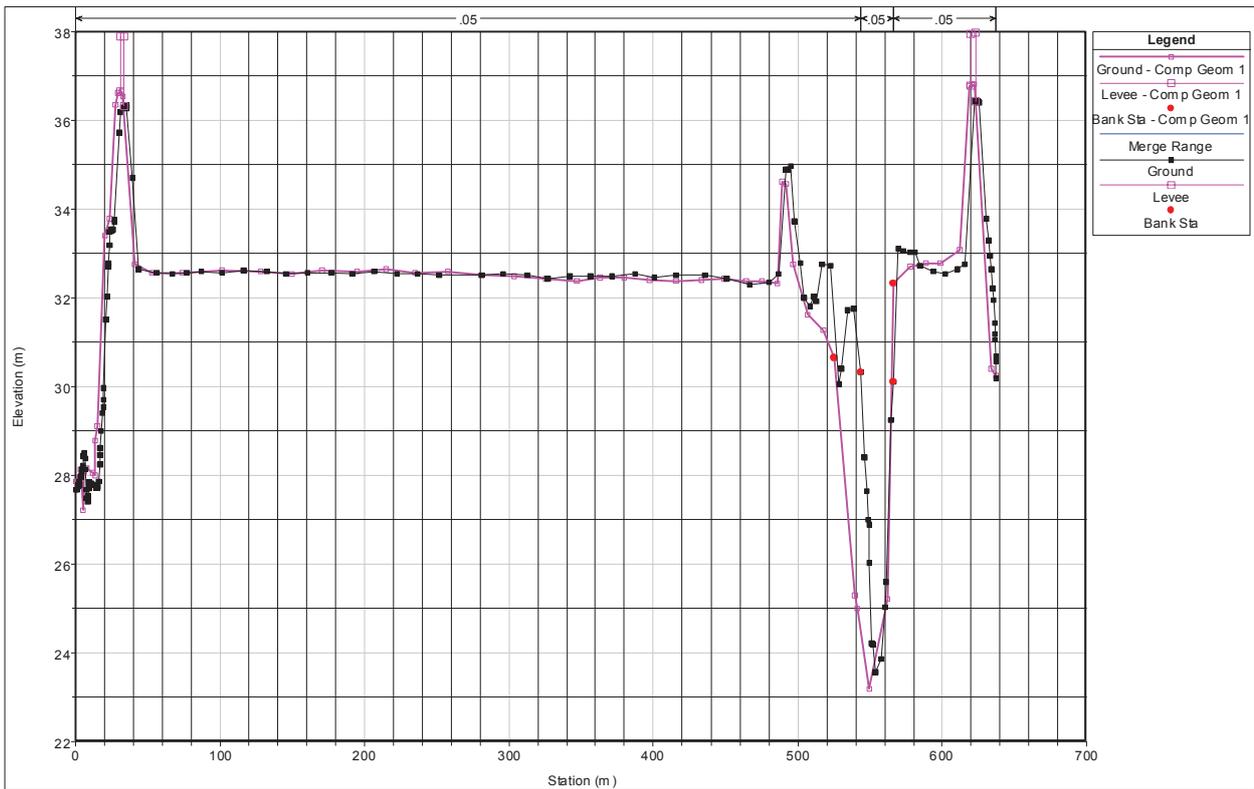


Fig.10 sez. 127: confronto tra anno 2002 (magenta) e 2015 (nera)

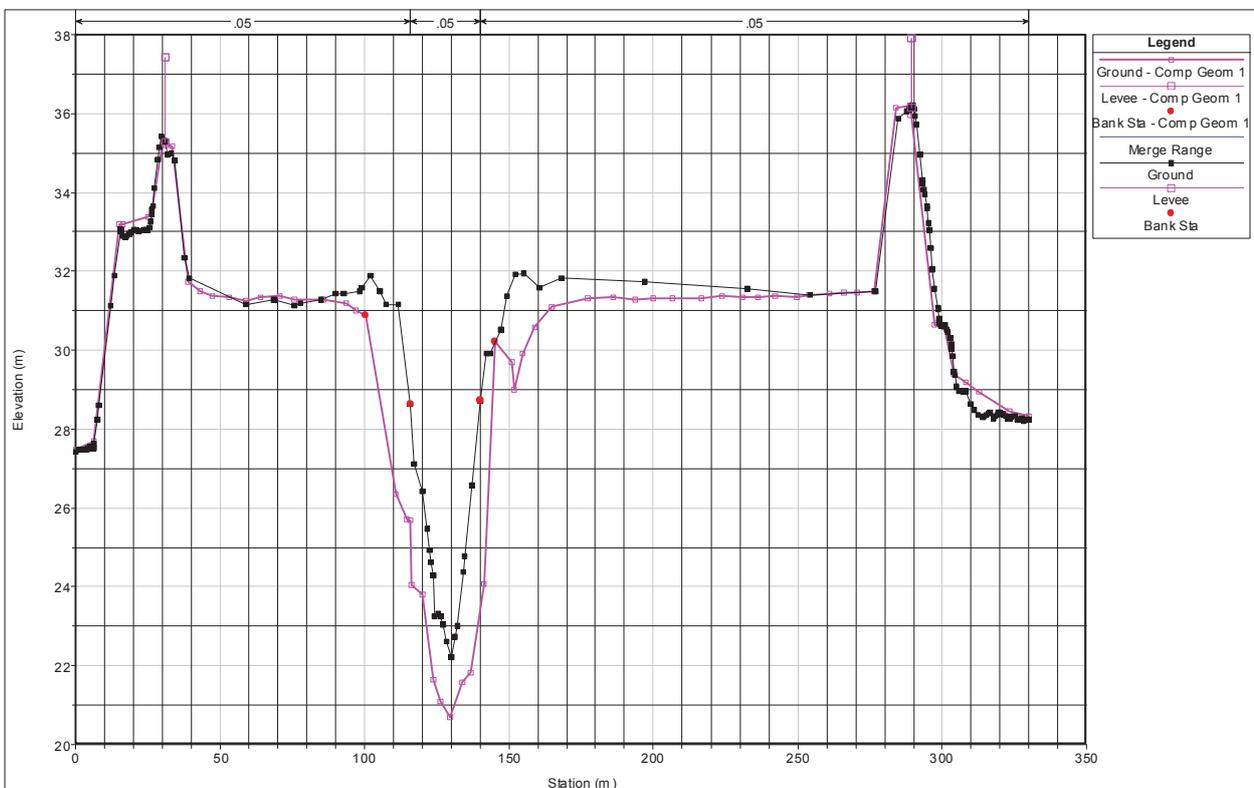


Fig.11 sez. 114: confronto tra anno 2002 (magenta) e 2015 (nera)

Infine è stata effettuata una simulazione con una portata di piena di $600 \text{ m}^3/\text{s}$, per le due configurazioni 2002 e 2015 per osservare la differenza dei profili idrici e quindi per capire quanto incide la modifica geometrica dell'alveo di magra sul deflusso di una piena. Dalle modellazioni effettuate in moto permanente e con modelli monodimensionali lo scostamento medio è di circa 30 cm, in cui il profilo idrico 2015 è più alto.

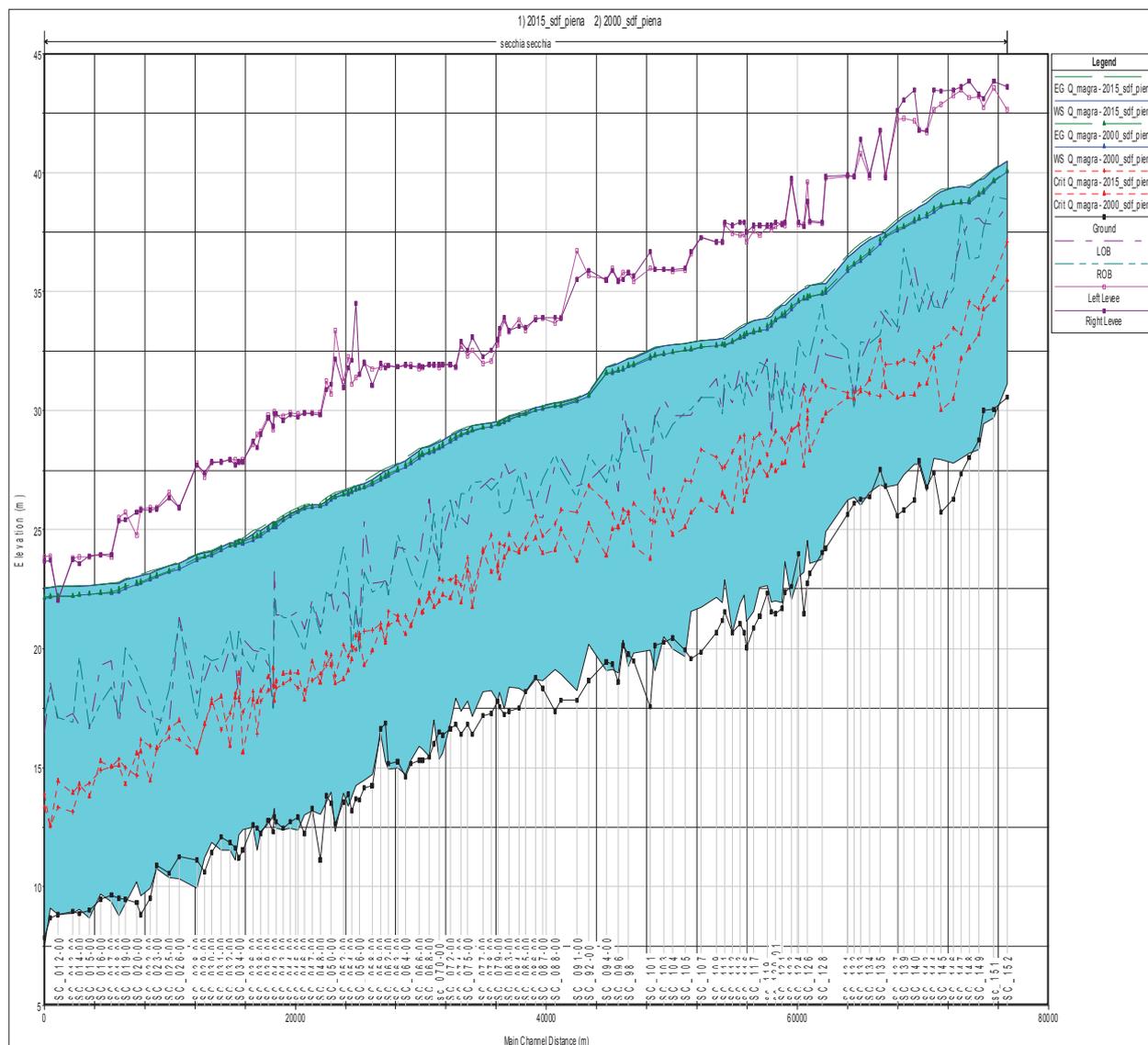


Fig.12 Confronto tra i profili idrici di piena per la portata di $600 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi alle configurazioni geometriche dell'alveo relative rispettivamente agli anni 2002 (linea magenta) e 2015 (linea nera)

5 Analisi idraulica

L'analisi idraulica del tratto di corso d'acqua oggetto del progetto di adeguamento è stata svolta sia con riferimento alle condizioni attuali sia a quelle di progetto, rappresentata dagli interventi previsti per l'adeguamento del sistema arginale, delle golene e della morfologia dell'alveo.

È stato utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.3 in grado di simulare le condizioni di deflusso di tipo non stazionario in condizioni 1D e 2D. Il modello è stato applicato al tratto di corso d'acqua compreso tra la sezione di Rubiera (ponte SS 9) e una sezione di controllo posta adeguatamente a valle del termine del tratto interessato dal progetto di interventi di adeguamento del sistema difensivo.

Il modello è stato riferito alle seguenti configurazioni geometriche dell'alveo:

- stato di fatto attuale (rappresentato dalla geometria rilevata al 2015),
- configurazioni di progetto per il tratto arginato secondo diversi scenari di assetto che hanno riguardato il disalveo e la riprofilatura dell'alveo attivo, il rialzo di tratti di argine e l'adeguamento delle golene chiuse esistenti con la finalità di ottimizzarne l'effetto di laminazione per la piena di progetto.

Il tratto iniziale del corso d'acqua, compreso tra il ponte della SS 9 e quello della A1, interessato dalla presenza della cassa di laminazione e dell'area di espansione naturale immediatamente a valle di essa, è stato considerato unicamente nell'attuale configurazione geometrica. Sono state approfondite adeguatamente le modalità di schematizzazione geometrica delle opere idrauliche presenti (sfioratore laterale, manufatto di regolazione con le relative luci di regolazione e lo sfioratore superficiale) e le relative modalità di funzionamento idraulico; è stata inoltre dettagliata la descrizione della geometria delle aree coinvolte nelle diverse condizioni di deflusso, in modo da poter rappresentare con precisione le modalità di funzionamento idraulico.

Sono stati considerati scenari idrologici relativi alle piene storiche del 2009 e del 2015 per le operazioni di taratura e verifica e la piena di progetto con tempo di ritorno di 20 anni per le piogge critiche di durata pari a 12 ore e 24 ore.

Il modello idraulico ha consentito di rappresentare in maniera quantitativa gli effetti sul profilo idrico derivanti dalla laminazione che trova sede nel tratto iniziale, in modo da definire le caratteristiche dell'onda di piena all'ingresso del tratto arginato oggetto di intervento.

Ha permesso inoltre di valutare gli effetti attesi da ipotesi di intervento sulla morfologia dell'alveo attivo, sulle golene e sulle opere interferenti nell'intero tratto arginato interessato dalle opere in progetto.

5.1 Allestimento del modello idrodinamico

5.1.1. Modello geometrico

L'implementazione del modello è stata effettuata combinando tratti di schematizzazione monodimensionale con tratti bidimensionali, in relazione alle specifiche caratteristiche idrodinamiche della piena (alveo di piena prismatico o alveo di piena con modalità di deflusso 2D). La scelta combinata con schematizzazione mono e bi-dimensionale ha permesso di ridurre in misura consistente i tempi di simulazione e al contempo ha garantito una ricostruzione rigorosa dei numerosi manufatti interferenti, in funzione delle possibilità di implementazione delle varie strutture da parte del codice di calcolo HEC – RAS 5.0.3. Rispetto al modello idraulico utilizzato per la progettazione del I stralcio, sono state fatte alcune integrazioni al fine di implementare l'intero tratto di fiume da valle del ponte della SS9 fino al confine regionale e quindi ritrarre i tempi di calcolo del modello riconfermando i risultati già esposti ed aggiornando le parti integrative.

5.1.1.1. Elementi generali

Il modello numerico è stato ricostruito utilizzando i dati topografici a disposizione:

- DTM 2015 passo 0,5 m realizzato sull'intero tratto di asta di interesse;
- DTM 2008 passo 1 m realizzato sull'intero tratto di asta di interesse;
- rilievi topografici 2015 in corrispondenza di tutte le sezioni AIPO;
- rilievi topografici 2015 di tutti gli attraversamenti.

Il DTM 2008 è stato utilizzato per le aree non coperte dal DTM 2015, in particolare la zona compresa tra l'autostrada A1, il canale Calvetro e il centro abitato di Campogalliano. I rilievi topografici delle sezioni sono stati utilizzati prevalentemente per ricostruire la batimetria poiché il dato restituito dal DTM laser-scanner non comprende le quote di fondo alveo al di sotto della superficie liquida.

Lo schema generale di funzionamento del modello è quindi sintetizzabile come segue: la componente 1D rappresenta la parte dell'alveo inciso, a geometria prismatica; nei tratti dove sono presenti golene (aperte o chiuse) che sono sede di fenomeni idrodinamici a caratteristiche nettamente bidimensionali la descrizione geometrica ha utilizzato maglie di calcolo del tipo *flexible mesh*, adatte a discretizzare in maniera dettagliata le varie geometrie da ricostruire (Fig. 13).

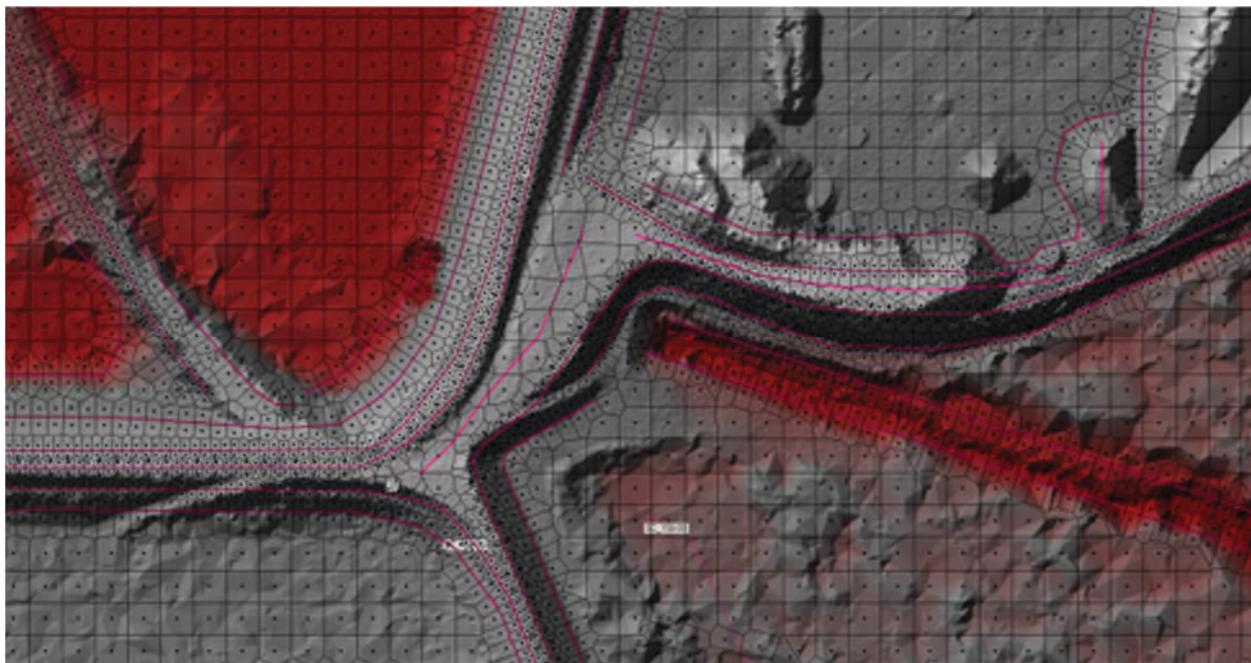


Fig. 13 Esempio di discretizzazione con celle di calcolo per le aree 2D

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di 72.404. La schematizzazione 2D *flexible mesh* ha consentito di definire celle variabili sia in dimensione sia in forma. La dimensione della maglia principale è costituita da celle 20X20 m; con l'inserimento delle *breakline* di dettaglio, il dominio di calcolo è passato da celle 20x20 m a celle anche 1x1 m nei punti in cui si è discretizzato al massimo dettaglio le discontinuità morfologiche del terreno.

Il collegamento tra il modello monodimensionale e bidimensionale è effettuato mediante la realizzazione di opportune *lateral structure* (Fig. 14), numericamente schematizzate con l'equazione del moto propria dello stramazzo laterale (*weir*).

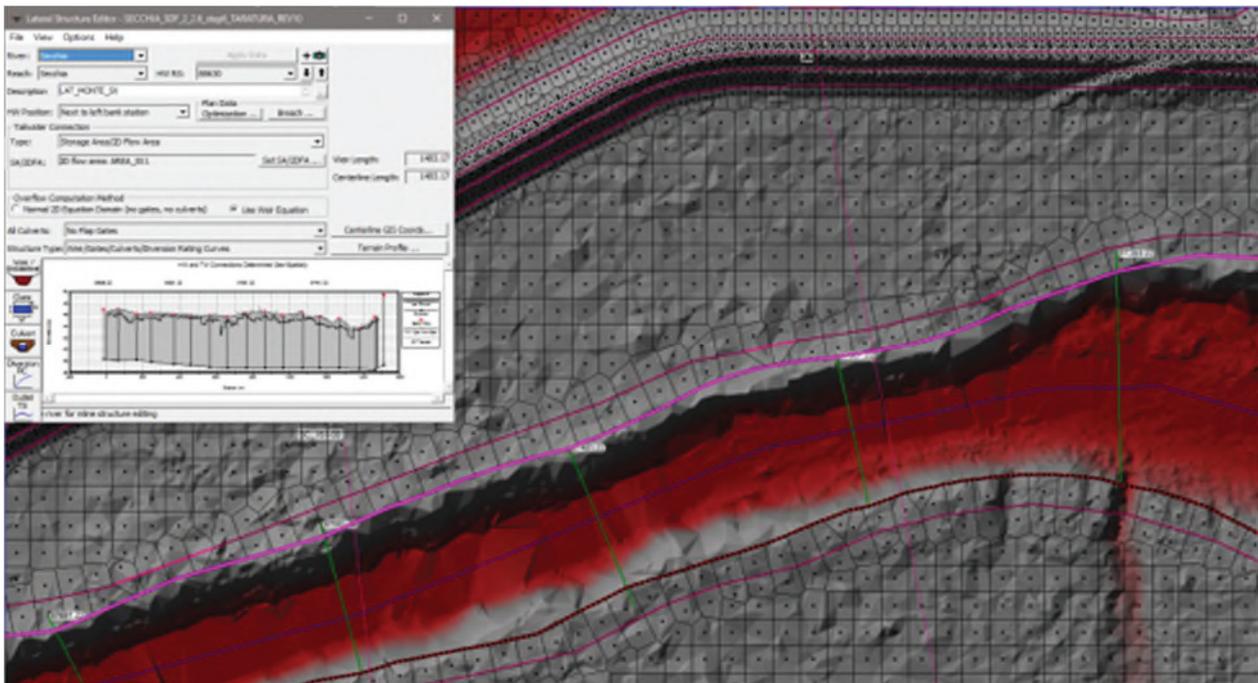


Fig. 14 Collegamento idraulico tra geometria 1D e 2D (*lateral structure*)

Per la costruzione geometrica della componente 1D, oltre all'utilizzo delle sezioni AIPO rilevate nel 2015, sono state inserite ulteriori sezioni estratte dal DTM 2015. Tale passaggio è stato necessario per discretizzare con maggior rigore il modello geometrico dell'alveo; in molti tratti infatti il passo delle sole sezioni topografiche risulta troppo rado per una buona rappresentazione dell'effettiva geometria (distanza tra le sezioni rilevate anche di 1 km). Le sezioni integrative estratte dal DTM sono state opportunamente corrette inserendo le quote batimetriche derivate per estrapolazione dai rilievi topografici nelle sezioni contigue.



Fig. 15 Posizione delle sezioni trasversali dell'alveo inciso utilizzate per la costruzione del modello geometrico 1D lungo un tratto del corso d'acqua

Tab. 2 Sezioni trasversali di riferimento

Progressiva (km)	Sezione
88710,68	
88670,22	
88636,22	
88630	LATERAL_MONTE_SX
88576,19	
88483,73	SC_165
88483	LATERAL_MONTE_DX
88381,22	
88281,22	
88181,22	
88151,22	SC_164
88081,22	
87991,22	SC_163-01
87981,22	

Progressiva (km)	Sezione
87881,22	SC_163-00
87781,22	
87731,22	SC_162-00
87681,22	
87581,22	SC_161-00
87481,22	
87381,22	
87368,22	SC_160-00
87281,22	
87210,35	
87127,55	
87125,55	
87117,56	
87109,57	
87103,87	
87100	
87095,85	
87081,22	
87081	LATERAL_SX_VALLE
87080,9	LATERAL_DX_VALLE
86981,22	
86881,22	
86781,22	
86681,22	
86581,22	
86481,22	
86394,22	SC_157-01
86281,22	SC_157-00
86181,22	
86081,22	
85981,22	
85881,22	
85781,22	
85681,22	
85621,22	SC_156-00
85581,22	
85481,22	
85381,22	
85281,22	
85181,22	
85081,22	
84981,22	
84927,22	SC_155-00
84881,22	
84781,22	

Progressiva (km)	Sezione
84681,22	
84581,22	
84481,22	
84381,22	
84281,22	
84181,22	
84081,22	
83981,22	
83881,22	
83781,22	
83681,22	
83581,22	
83481,22	
83412,98	
83402,98	SC_153-00 - Monte Ponte A1
83380	PONTE AUTOSTRADA A1
83347,7	Valle Ponte Autostrada A1
83337,7	
83337	
83336	
83281,2	
83181,2	
83081,2	
82981,2	
82881,2	
82781,2	
82772,2	SC_152-00
82681,2	
82581,2	
82481,2	
82381,2	
82281,2	
82181,2	
82081,2	
81981,2	
81881,2	
81781,2	
81714,2	SC_151-00
81681,2	
81581,2	
81481,2	
81381,2	
81281,2	
81181,2	
81081,2	

Progressiva (km)	Sezione
80981,2	
80881,2	SC_150-00
80816,2	SC_149-01 - Ponte della Barchetta
80781,2	
80681,2	
80581,2	
80530,65	SC_149-00
80481,2	
80381,2	
80320,2	
80297,2	
80281,2	
80181,2	
80081,2	
80061,2	
80041,2	SC_148-01
80061	
79981,2	
79881,2	
79781,2	
79745,2	SC_148-00
79681,2	
79581,2	
79537,2	SC_147-01
79481,2	
79381,2	
79281,2	
79181,2	
79081,2	
78981,2	
78881,2	
78781,2	
78681,2	
78581,2	
78500,2	
78481,2	SC_146-00
78481	
78381,2	
78281,2	
78181,2	
78154,2	
78124,2	
78114,2	
78081,2	
77981,2	

Progressiva (km)	Sezione
77971	
77881,2	
77866,2	SC_145-01
77781,2	
77681,2	
77581,2	
77521,2	SC_145-00
77481,2	
77381,2	
77281,2	
77181,2	
77081,2	
76981,2	
76926,5	SC_144-00
76901,5	
76881,5	
76828,93	SC_143-05
76716,93	SC_143-04
76655,7	SC_143-03
76570,7	SC_143-02
76452,7	SC_143-01
76391,5	SC_143-00
76150,2	
75832,5	SC_142-00 - monte Ponte Alto
75820	PONTE ALTO
75807,5	valle Ponte Alto
75784,3	SC_141-00
75625,1	
75445,6	SC_140-00
75107,5	
74846,6	SC_139-01 - monte Ponte SP 413
74834	PONTE SP 413
74824,4	valle ponte SP 413
74711,7	
74539,7	SC_139-00
74313,7	
74127,7	SC_138-00 - monte Ponte FS Modena-Mantova
74120	PONTE FS Modena - Mantova
74101,1	valle Ponte FS Modena-Mantova
74095,1	
74090,1	SC_137_01 - monte Ponte pedonale
74085	PONTE DI FERRO PEDONALE
74080,1	valle Ponte pedonale
74043	SC_137-00
73778,9	

Progressiva (km)	Sezione
73441,3	
73093,2	SC_136-00
72884	
72694,6	SC_134-02
72440	
72131,3	
71820,1	SC_134-00
71465,2	
71149,6	SC_133-00
70911,6	
70709,6	SC_132-02 - monte Ponte monte ponte TAV
70700	PONTE MONTE PONTE TAV
70691,45	valle Ponte monte ponte TAV
70680,35	
70670,35	SC_132-01 monte ponte TAV
70640	PONTE TAV
70635,35	valle ponte TAV
70614,8	SC_132-00
70321,1	
70059,2	SC_131-00
69915,2	SC_131-00
69869,5	
69810,02	
69750,08	SC_130-02
69685,61	SC_130_01
69586,8	
69287,6	SC_130-00 - monte Ponte Basso
69277	PONTE BASSO (DELL'UCCELLINO)
69267,6	valle Ponte Basso
68946,8	
68634	
68358,1	SC_129-00
68358	
68287,83	
68187,83	
68052,47	SC_128-00
67987,83	
67887,83	
67887	
67787,83	
67687,83	
67587,83	
67487,83	
67387,83	
67287,83	

Progressiva (km)	Sezione
67187,83	
67081,94	SC_127-00
66987,83	
66872,32	SC_126-00
66787,83	
66687,83	
66581,49	SC_125-00
66487,83	
66387,83	
66287,83	
66166,38	SC_124-00
66087,83	
65987,83	
65910,3	
65605,9	SC_123-80
65356,6	
65120,7	SC_122-00
65120	
64994,48	
64880,81	SC_121-00
64794,48	
64684,48	
64594,48	
64514,48	
64394,48	
64326,54	SC_120-01
64326	
64194,48	
64065,48	
63980,76	SC_120-00
63794,48	
63714,48	
63687,21	SC_119-00
63662,21	
63662	
63594,48	
63394,48	
63194,48	
63101,52	SC_118
62994,48	
62932,48	
62907,48	
62879,48	
62794,48	
62625,15	SC_117

Progressiva (km)	Sezione
62583,41	SC_116-01
62580,41	Metanodotto1
62578,41	
62394,48	
62257,48	
62242,48	
62194,48	
62050,97	SC_116-00
61965,95	
61957,56	SC_115-00
61947,84	
61938,12	
61925,9	
61925,8	
61925,1	
61831,32	
61652,23	
61517,83	SC_113-00
61394,48	
61194,48	
60994,48	
60897,83	SC_112-00
60794,48	
60594,48	
60394,48	
60275,03	SC_110-00
60275	
60194,48	
60113,72	SC_110-00
59994,48	
59794,48	
59594,48	
59551,08	SC_109-00
59394,48	
59194,48	
59194	
59066,03	
58962,88	SC_108-00
58794,48	
58594,48	
58424,25	SC_107-00
58194,48	
57994,48	
57884,4	
57794,48	

Progressiva (km)	Sezione
57607,66	SC_106-00
57607	
57394,48	
57194,48	
57143,82	SC_105-00
56994,48	
56994	
56794,48	
56594,48	
56394,48	
56167,47	SC_104-00
55994,48	
55794,48	
55594,48	
55439,84	SC_103-00
55305,36	
55194,48	
54994,48	
54772,28	SC_102-00
54594,48	
54468,78	
54367,98	SC_101-00
54194,48	
54097,68	
53994,48	
53967,68	SC_100-00
53956	PONTE SAN MARTINO
53946,3	valle Ponte San Martino
53769,35	
53769	
53569,35	
53369,35	
53169,35	
53046,69	SC_099-00
53046	
52969,35	
52769,35	
52676,43	SC_098-00
52569,35	
52460,68	
52460	
52369,35	
52253,65	SC_097-00
52169,35	
51969,35	

Progressiva (km)	Sezione
51849,66	SC_096-00
51769,35	
51569,35	
51400,29	SC_095-00
51400	
51293,69	
51169,35	
50938,01	SC_094-00
50872,3	
50769,35	
50691,54	
50691	
50569,35	
50415,01	
50369,35	
50169,35	
50106,79	
50100,07	SC_093-00
50086	PONTE MOTTA
50080,35	valle ponte Motta
50080	
50072,35	
49969,35	
49769,35	
49569,35	
49503,18	SC_092-00
49503	
49369,35	
49136,34	
48969,35	
48769,35	
48604,55	SC_091-00
48604	
48569,35	
48369,35	
48169,35	
47914,6	
47836,34	
47636,34	
47436,34	
47436	
47306,84	SC_089-00
47169,35	
46969,35	
46828,25	SC_088-00

Progressiva (km)	Sezione
46569,35	
46369,35	
46169,35	
45969,35	
45840,42	SC_087-00
45769,35	
45569,35	
45369,35	
45247,2	SC_086-00
45169,35	
45069,35	
45069	
44894,35	
44719,35	
44517,9	SC_085-00
44517	
44369,35	
44219,71	
44194,61	
43960,42	SC_084-00
43769,35	
43569,35	
43369,35	
43152,46	SC_083-00
42969,35	
42754,74	SC_082-00
42569,35	
42434,18	SC_081-00
42336,63	
42324,63	SC_080-00
42317,6	PONTE PIOPPA
42311,8	valle ponte Pioppa
42301,14	
42301	
42283,98	SC_079-00
42169,35	
41969,35	
41869,35	
41771,56	SC_078-00
41569,35	
41369,35	
41169,35	
41096,12	SC_077-00
41096	
40969,35	

Progressiva (km)	Sezione
40769,35	
40569,35	
40444,35	
40369,35	
40287,8	
40287	
40257,8	SC_076-00
40169,35	
39994,35	
39858,76	SC_075-00
39819,76	
39819	
39669,35	
39569,35	
39469,35	
39469	
39358,75	SC_074-00
39269,35	
39169,35	
38951,33	SC_073-00
38769,35	
38619,35	
38498,45	SC_072-00
38492,18	
38492	
38473,35	
38369,35	
38169,35	
37937,09	SC_071-00
37769,35	
37626,09	SC_070-00
37369,35	
37269,35	
37214,54	SC_069-00
37214	
37020,35	
36814,28	SC_068-00
36569,35	
36469,35	
36469	
36369,35	
36277,86	SC_067-00
36144,35	
36037,79	SC_066-00
35969,35	

Progressiva (km)	Sezione
35769,35	
35569,35	
35380,42	SC_065-00
35169,35	
34963,17	SC_064-00
34769,35	
34569,35	
34432,99	
34402,99	
34402	
34325,13	SC_063-00
34169,35	
33969,35	
33769,35	
33571,61	SC_062-00
33480,35	
33387,99	SC_061-00
33370	PONTE DI CONCORDIA
33369,57	valle ponte Concordia
33326,93	SC_060-00
33184,88	
32943,56	SC_059-00
32784,88	
32584,88	
32434,88	
32404,88	
32294,94	SC_058-00
32184,88	
31984,88	
31784,88	
31684,84	SC_057-00
31654,84	SC_057-00
31584,88	
31294,31	SC_056-00
31013,35	SC_055-00
30859,88	
30677,03	SC_054-00
30459,88	
30389,57	SC_053-00
30184,88	
30031,5	SC_052-00
29584,88	
29382,45	SC_051-00
29134,88	
29038,18	SC_050-00

Progressiva (km)	Sezione
28934,88	
28784,88	
28673,24	SC_049-00
28584,88	
28484,88	
28337,86	SC_048-02
28273,54	SC_048-01
28175,78	SC_048-00
27992,33	
27558,46	SC_047-00
27184,88	
27059,84	
26939,5	SC_046-00
26784,88	
26584,88	
26392,93	SC_045-00
26184,88	
25984,88	
25805,54	SC_044-00
25584,88	
25384,88	
25249,21	SC_043-00
25059,88	
24859,88	
24663,99	SC_042-00
24609,88	
24516,89	SC_041-00
24419,49	SC_040-00
24334,88	
24184,88	
24084,88	
24021,98	SC_039-00
23936,52	SC_038-01
23924	PONTE DI BONDANELLO
23920,74	valle ponte Bondanello
23784,88	
23584,88	
23453,1	SC_038-00
23158,5	SC_037-00
22809,8	SC_36-00
22514,6	
22255,4	
21993,5	SC_035-00
21723,3	SC_034-00
21423,5	SC_033-00

Progressiva (km)	Sezione
21227,5	
20970,1	SC_032-00
20716,7	
20508,3	
20280,7	SC_031-00
19859	
19537,7	SC_030-00
19306,2	
18957,7	SC_029-00
18696,1	
18330,8	SC_028-00
17760,4	SC_027-00
17750	PONTE FS DI QUISTELLO
17740	valle ponte FS di Quistello
17739,98	
17291,5	
17291,48	
16927,2	SEZ_026-00
16927,18	
16554,5	
16554,48	
16399,99	
16107	SEZ_025-00
16106,99	
15748,3	
15437,7	
15213,1	SEZ_024-00
15200	PONTE DI QUISTELLO
15191	valle ponte di Quistello
15178	SC_023-00
15177,99	
15177,98	
14904,8	
14904,79	
14904,78	
14660,8	SC_022-00
14660,79	
14660,78	
14424,1	
14424,09	
14424,08	
14129,4	
14129,39	
14129,38	
13875,6	SC_021-00

Progressiva (km)	Sezione
13875,59	
13875,58	
13695,99	
13553,8	SC_020-00
13553,79	
13553,78	
13503,78	
13087,3	
13087,29	
13087,28	
12927,88	
12648,6	SC_019-00
12648,59	
12648,58	
12107,3	SC_018-00
12107,29	
12107,28	
11557,6	SC_017-00
11557,59	
11557,58	
11343,7	
11343,69	
11343,68	
11098,68	
10695,7	SC_016-00
10695,69	
10695,68	
10228,9	
10228,89	
10228,88	
9993,88	
9775,7	SC_015-00
9775,69	
9775,68	
8997,7	SC_014-00
8997,69	
8997,68	
8740,7	
8740,69	
8740,68	
8563,28	
8468,8	SC_013-00
8468,79	
8468,78	
8137,05	

Progressiva (km)	Sezione
7835	
7834,99	
7834,98	
7584,18	
7345,3	SC_012-00
7345,29	
7345,28	
7238,18	
6726,2	SC_011-00
6726,19	
6726,18	
6217,2	SC_010-00
6217,19	
6217,18	
5728,94	
5350,5	
5350,49	
5350,48	
4750,4	SC_008-00
4750,39	
4750,38	
4480,1	
4480,09	
4480,08	
3774,5	SC_007-00
3774,49	
3774,48	
3478,3	
3478,29	
3478,28	
3188	SC_006-00
3178	PONTE SAN SIRO
3170	valle ponte San Siro
3158,2	SC_005-00
3158,19	
3158,18	
2823,4	SC_004-00
2823,39	
2823,38	
1568,6	SC_003-00
600	
200	SC_001-00

5.1.1.2. Cassa di espansione

La cassa inizia circa 500 m a valle del ponte della via Emilia ed è costituita da una parte in linea, che interessa propriamente l'alveo del corso d'acqua per una lunghezza di circa 1.400 m (con espansione in destra in aree interessate da attività di cava), sbarrata da un manufatto regolatore, e da una parte in derivazione, in sinistra idrografica, alimentata da uno sfioratore laterale posto sull'argine di separazione tra le due casse elementari con ciglio sfiorante a quota 45,80 m s.m.

Complessivamente la superficie impegnata è pari a circa 200 ha, con volume invasabile dell'ordine di circa 15 milioni di m³ complessivi (14,75 Mm³ alla quota di invaso 48,75 m s.m.).

I dati dimensionali delle opere inseriti nel modello sono i seguenti.

Tab. 3 – Caratteristiche dei manufatti di regolazione della cassa

Traversa di regolazione	4 luci fisse, dimensioni 5,0 m x 2,5 m quota fondo luci 37,5 m s.m. quota sfioratore 46,5 m s.m. lunghezza sfioratore 150 m quota controbriglia a valle 36,5 m s.m.
Sfioratore laterale verso la cassa fuori linea	quota sfioratore 45,8 m s.m. lunghezza sfioratore 120 m
Scarico di fondo cassa fuori linea	dimensione luce 2 m x 2 m quota fondo luce 39,5 m s.m.
Argini maestri cassa	quota sommità argini 49,5 m s.m. altezza massima argini 10 m



Fig. 16 – Planimetria di insieme della cassa di espansione con evidenziazione delle opere componenti

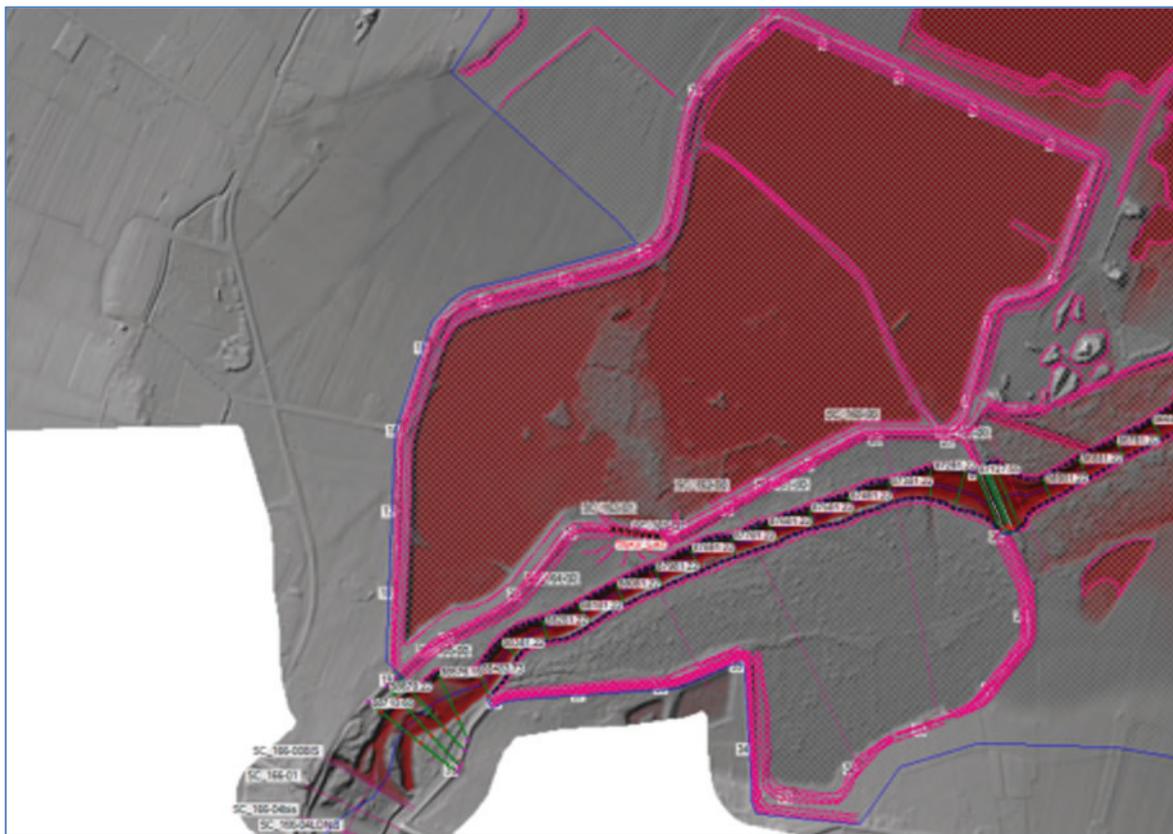


Fig. 17 Rappresentazione del DTM della cassa di espansione implementato nel modello di simulazione

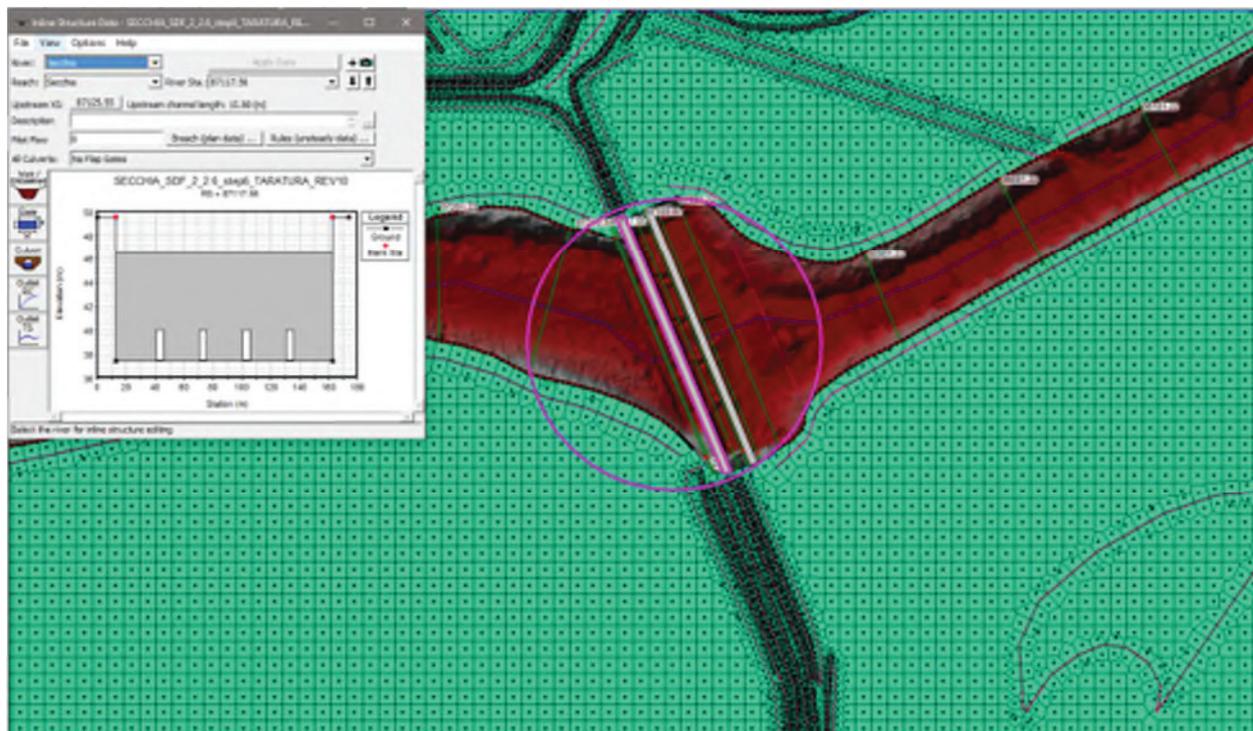


Fig. 18 Traversa di regolazione della cassa di espansione implementata nel modello

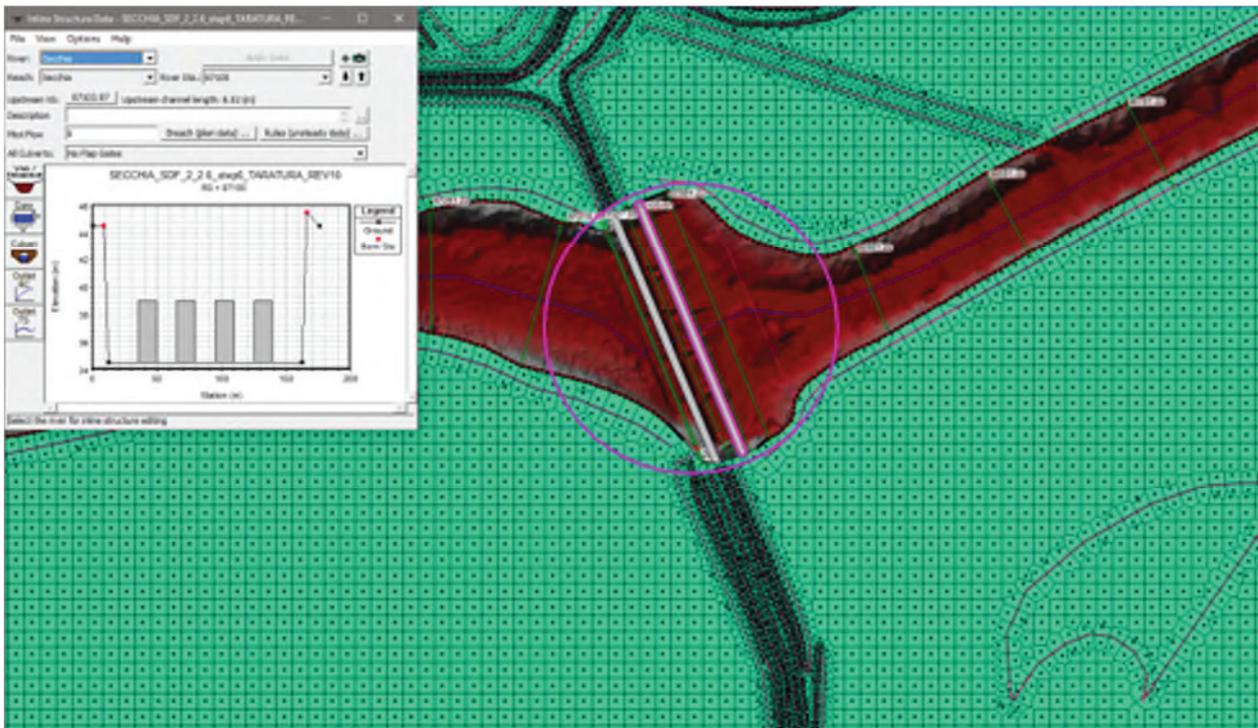


Fig. 19 Blocchi di dissipazione a valle della traversa di regolazione implementati nel modello

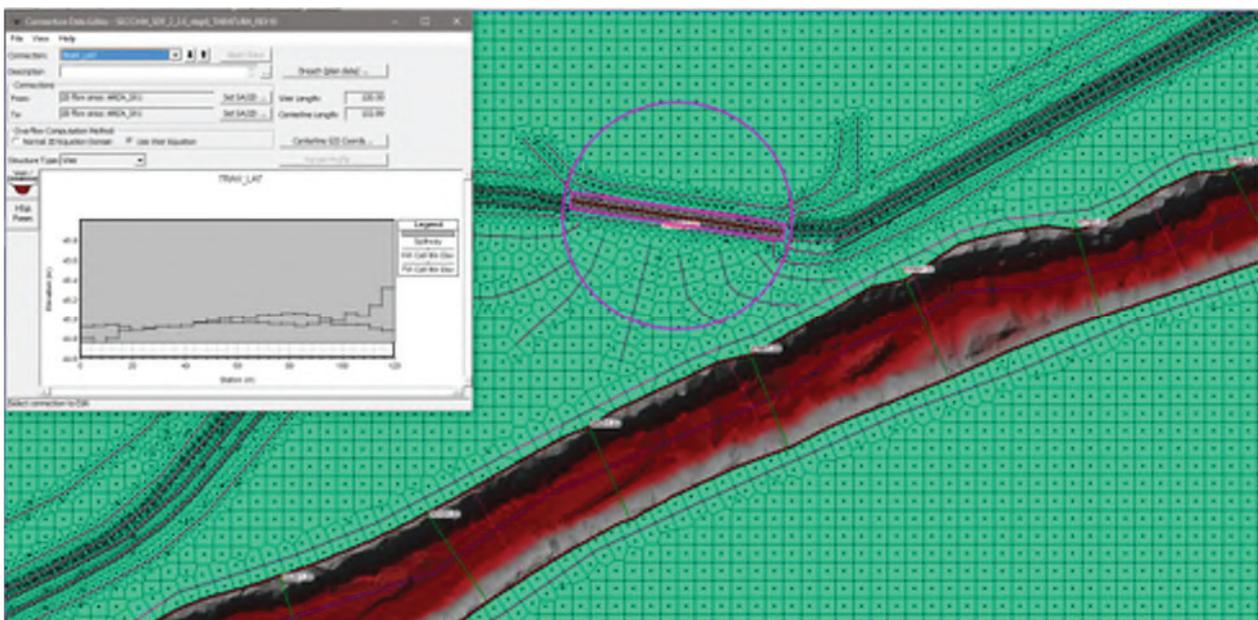


Fig. 20 Sfiatore laterale di immissione nella cassa fuori linea

5.1.1.3. Area di espansione libera

L'area compresa tra la cassa di laminazione e l'inizio del tratto arginato ha una dimensione pari a circa 350 ha e risulta inondabile per una porzione significativa per tempi di ritorno inferiori a 20 anni. Pur trattandosi di modalità di invaso libere, l'area svolge un effetto considerevole nella riduzione dei colmi delle onde di piena che fuoriescono dalla cassa, prima del loro ingresso nel tratto arginato.

Nella porzione orientale, fino alla sponda dell'alveo inciso del Secchia è destinata in prevalenza ad uso agricolo; la strada vicinale che sovrappassa la A1 e si spinge fino alla sponda dell'alveo del corso d'acqua segna l'inizio di una vasta porzione occupata prevalentemente da laghi di cave dismesse; all'interno di tale area corre, leggermente in rilievo, una strada vicinale (via Carandini o via dell'Albone) che

sovrappassa anch'essa la A1 e mette in collegamento con l'argine esistente che delimita l'invaso fuori linea della cassa d'espansione.

L'area è stata schematizzata con una maglia 2D sulla base del rilievo laser-scanner 2015 disponibile e 2008 per le aree mancanti, collegata con le sezioni trasversali dell'alveo del rilievo topografico 2015.



Fig. 21 Rappresentazione planimetrica dell'area di espansione libera compresa tra la cassa di espansione e l'autostrada A1

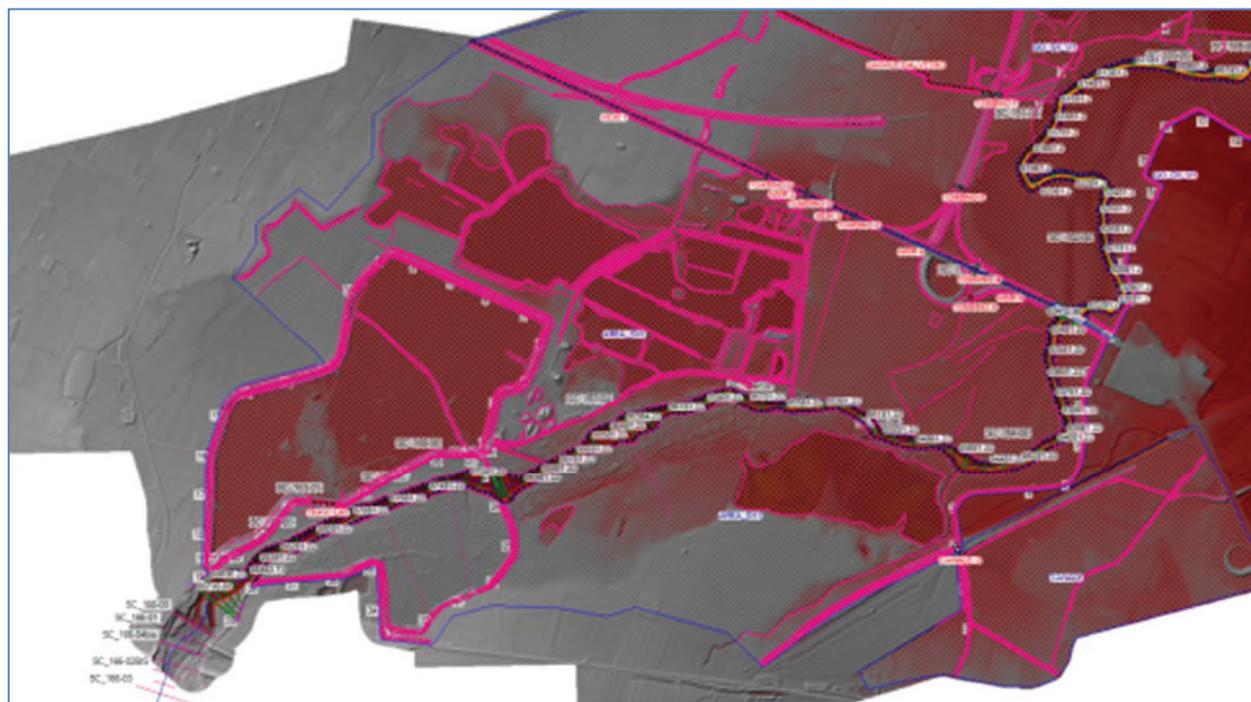


Fig. 22 Rappresentazione del DTM dell'area di espansione libera compresa tra la cassa di espansione e l'autostrada A1

Inoltre nella schematizzazione sono stati considerati i vari forni, tombini e sottopassi presenti sia in corrispondenza del rilevato dell'autostrada A1 sia in prossimità dello svincolo di Campogalliano e del collegamento con l'autostrada A22 (Fig. 23).

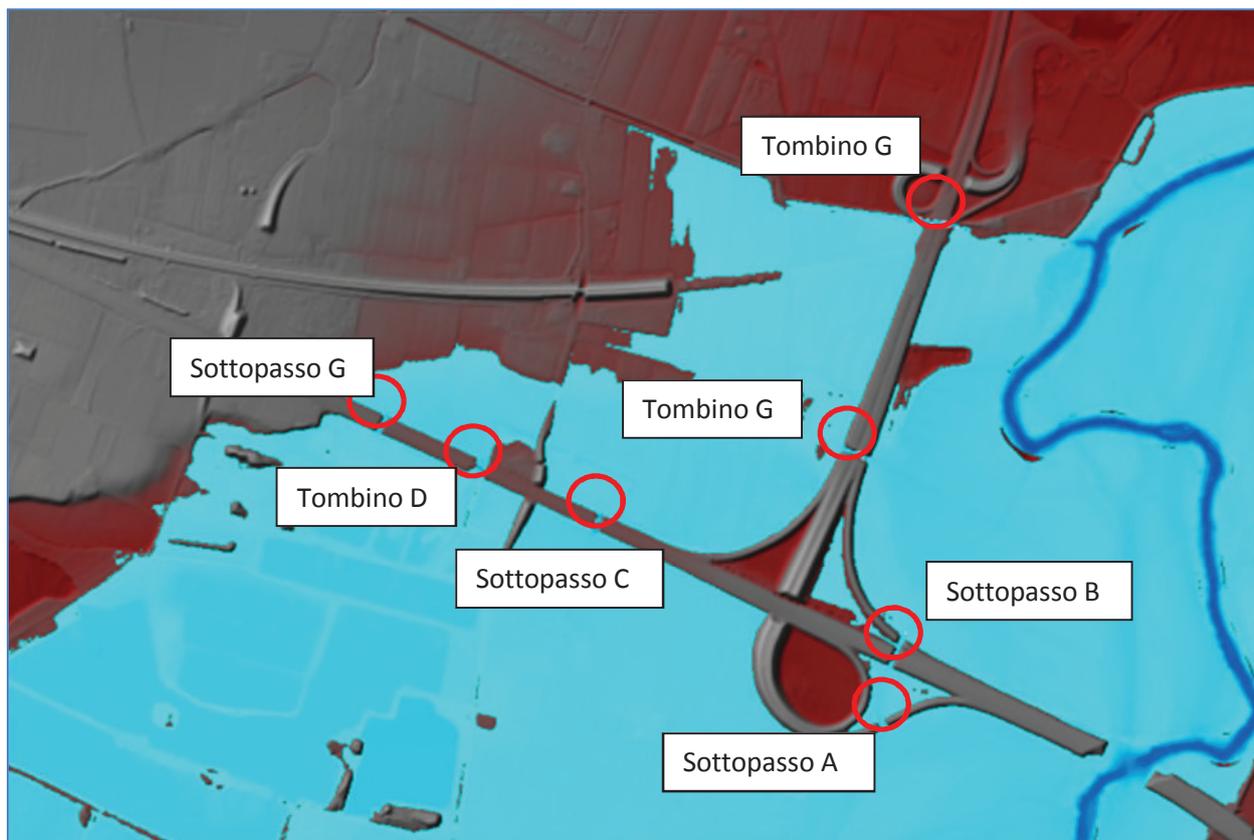


Fig. 23 Schematizzazione dei forni, sottopassi e tombini nel modello 2D

I tombini sono stati schematizzati come "connection culvert" interni alla schematizzazione bidimensionale.

Il sottopasso G costituisce un sottopasso autostradale della A1. Le dimensioni del fornice sono 4x4,15 m con una lunghezza di circa 40 m.

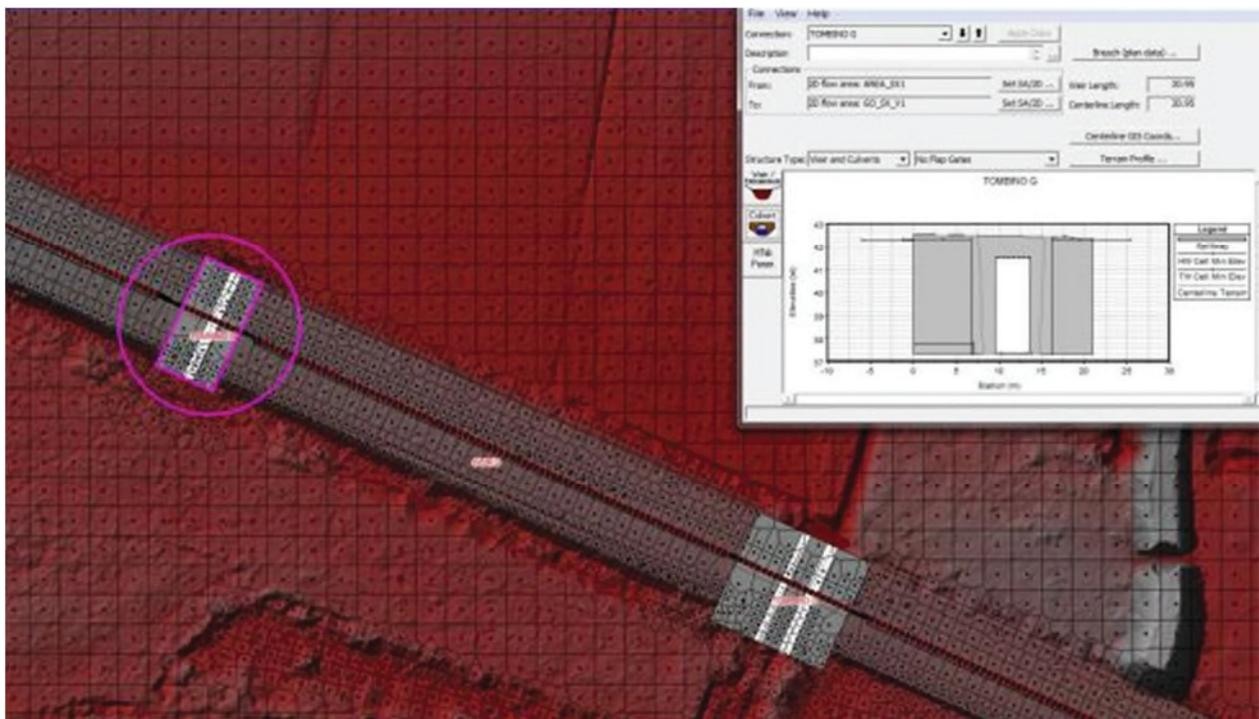


Fig. 24 Implementazione del sottopasso G

Il tombino denominato D ingloba due differenti fornici, il più piccolo di dimensioni 3X1,3 m mentre il più grande misura 4x2,37; entrambe di lunghezza pari a circa 40 m.

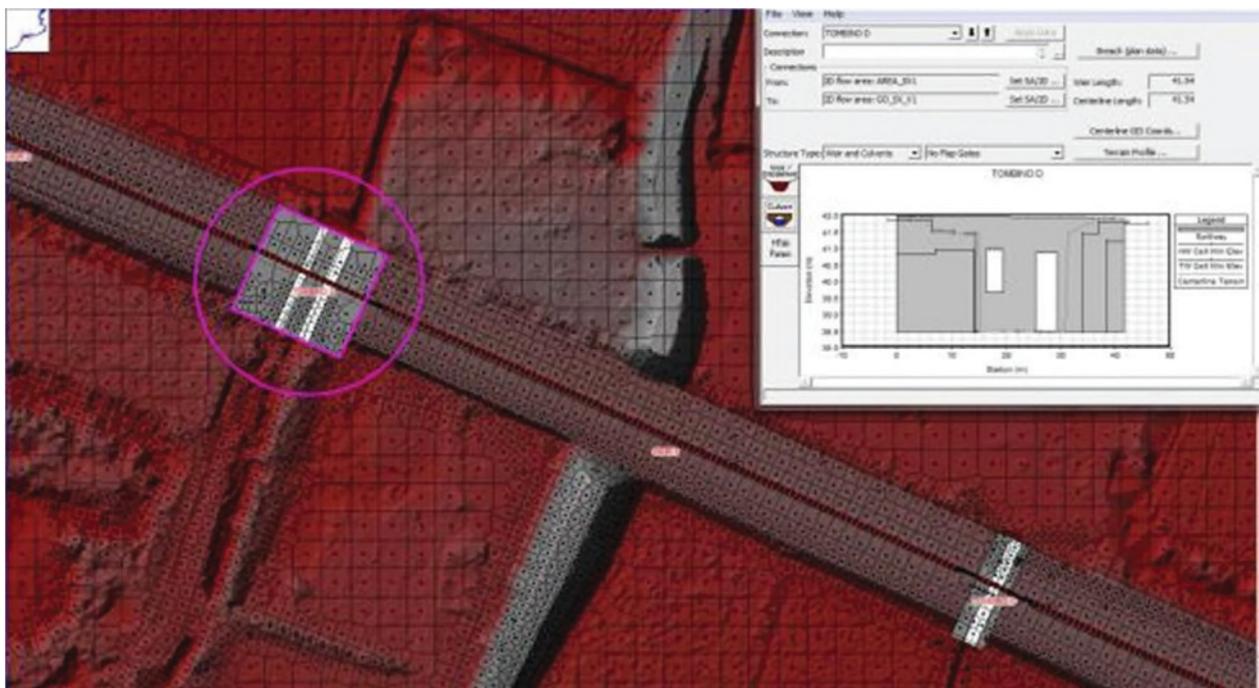


Fig. 25 Implementazione del tombino D

Il sottopasso C costituisce un sottopasso dell'autostrada A1 con dimensioni 4x4,15 e lunghezza 40 m.

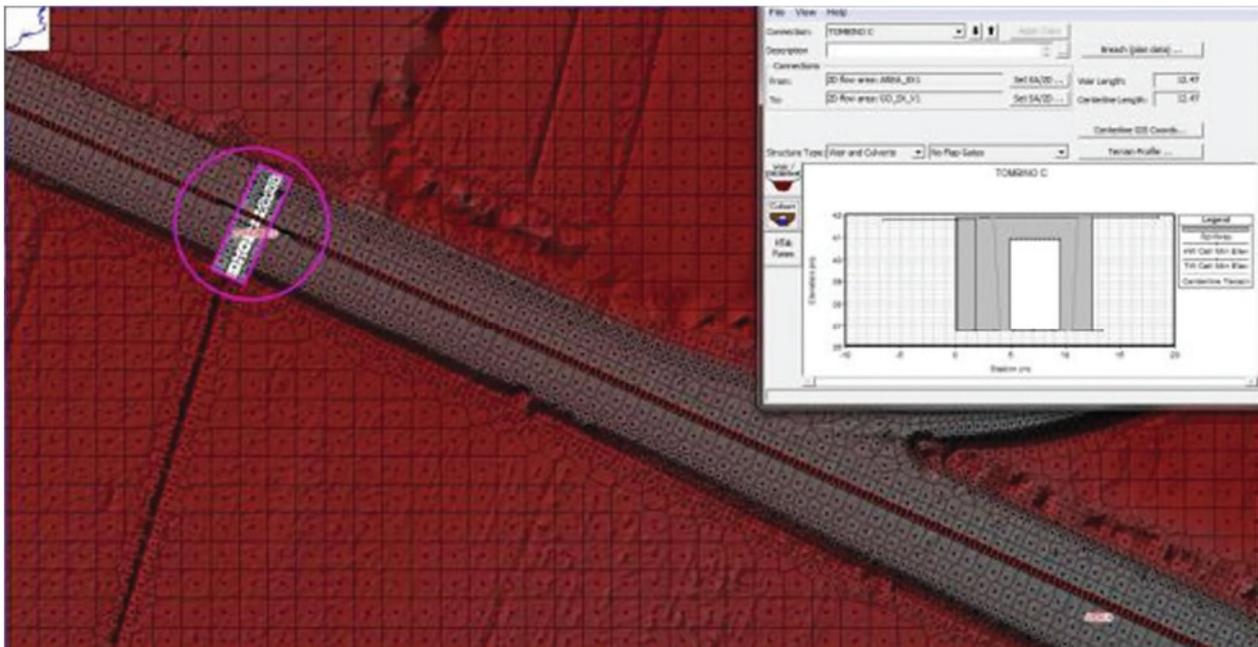


Fig. 26 Implementazione del sottopasso C

Il sottopasso A costituisce un sottopasso della rampa di svincolo di Campogalliano. Le dimensioni del sottopasso 4,5x4,15 m con lunghezza pari a circa 20 m.

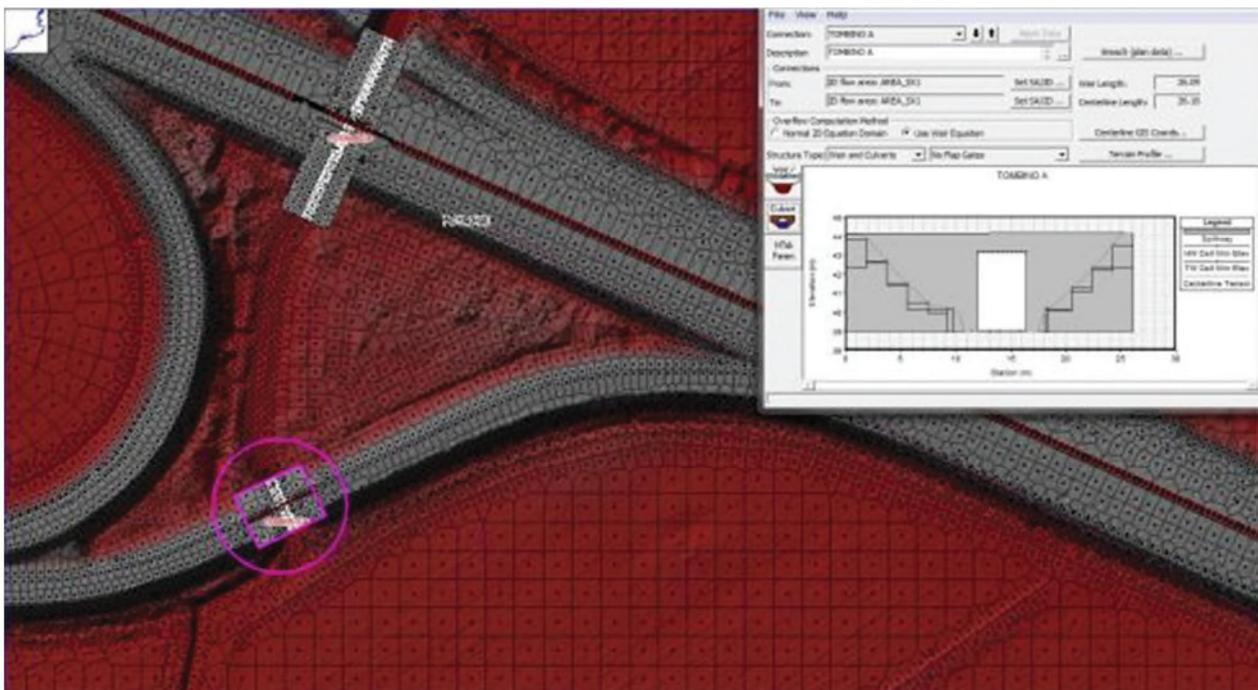


Fig. 27 Implementazione del sottopasso A

Con il sottopasso B si completa la schematizzazione dei sottopassi nel tratto in esame dell'autostrada A1. Le dimensioni sono 4,5x4,15 m per una lunghezza complessiva di circa 70 m.

Infine lungo il tratto della A22 è stato rappresentato il sottopasso E, di dimensioni 4x4,15 m e lunghezza 60 m, e il tombino idraulico del canale Calvetro, tombino F, di dimensioni 4x4,15 m e lunghezza 100 m circa.

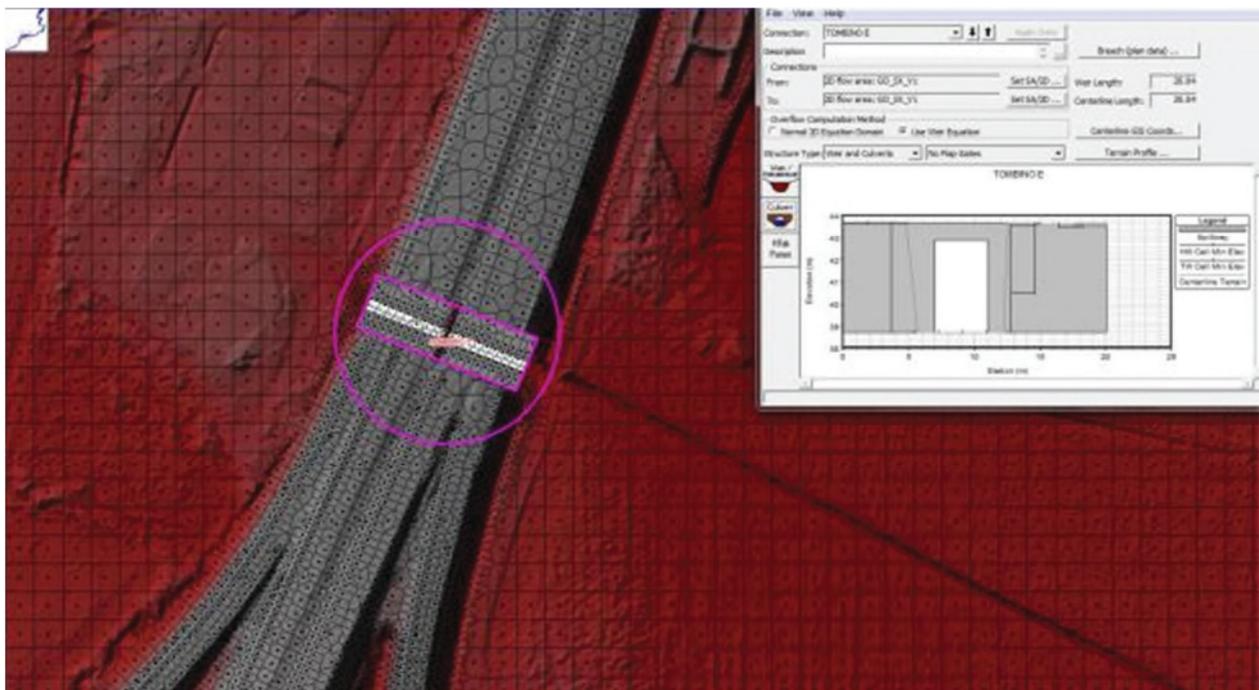


Fig. 28 Implementazione del sottopasso E

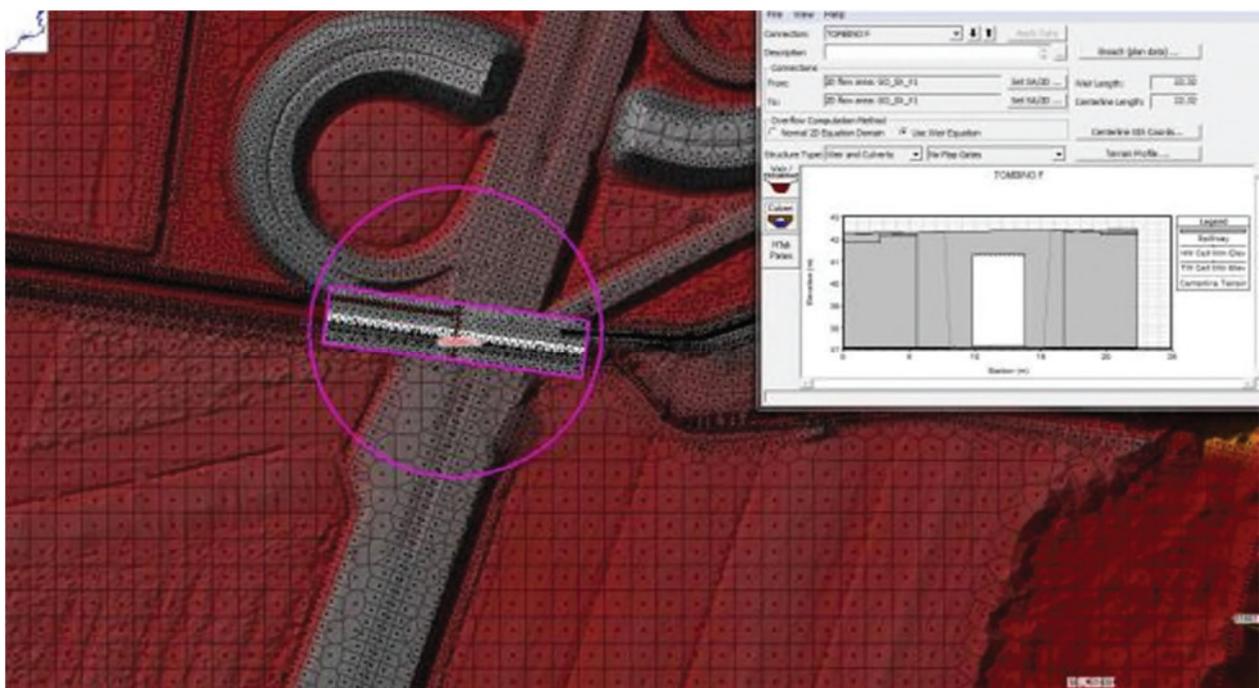


Fig. 29 Implementazione del tombino F

5.1.1.4. Tratto arginato

Il tratto arginato con continuità inizia, come detto in precedenza, poco a valle della cassa di laminazione e si sviluppa per una lunghezza di circa 60 km in territorio emiliano e di altri 28 km in quello lombardo.

Il modello geometrico del tratto è stato costruito mediante le sezioni trasversali dell'alveo del rilievo 2015 per la descrizione dell'alveo attivo e con i dati del DTM laser-scanner prima citato per la descrizione 2D di tutte le aree golenali.

In alcuni casi la descrizione dell'alveo inciso fornita dalle sezioni topografiche è stata integrata con ulteriori sezioni derivate direttamente dal DTM 2015 per le motivazioni già descritte. L'estensione del modello arriva a comprendere l'intera asta del fiume fino al Po; la ricostruzione di dettaglio con l'implementazione bidimensionale delle aree golenali è stata effettuata solo per il tratto di intervento entro il confine regionale dell'Emilia Romagna.



Fig. 30 Confini del limite regionale

Di seguito nella Fig. 31 è rappresentato un esempio della posizione planimetrica delle sezioni mentre nelle Fig. 32, Fig. 33, Fig. 34, Fig. 35 e Fig. 36 si riportano gli stralci planimetrici con le schematizzazioni delle aree 2D del modello idraulico.



Fig. 31 Esempio di schematizzazione delle sezioni trasversali inserite nel modello

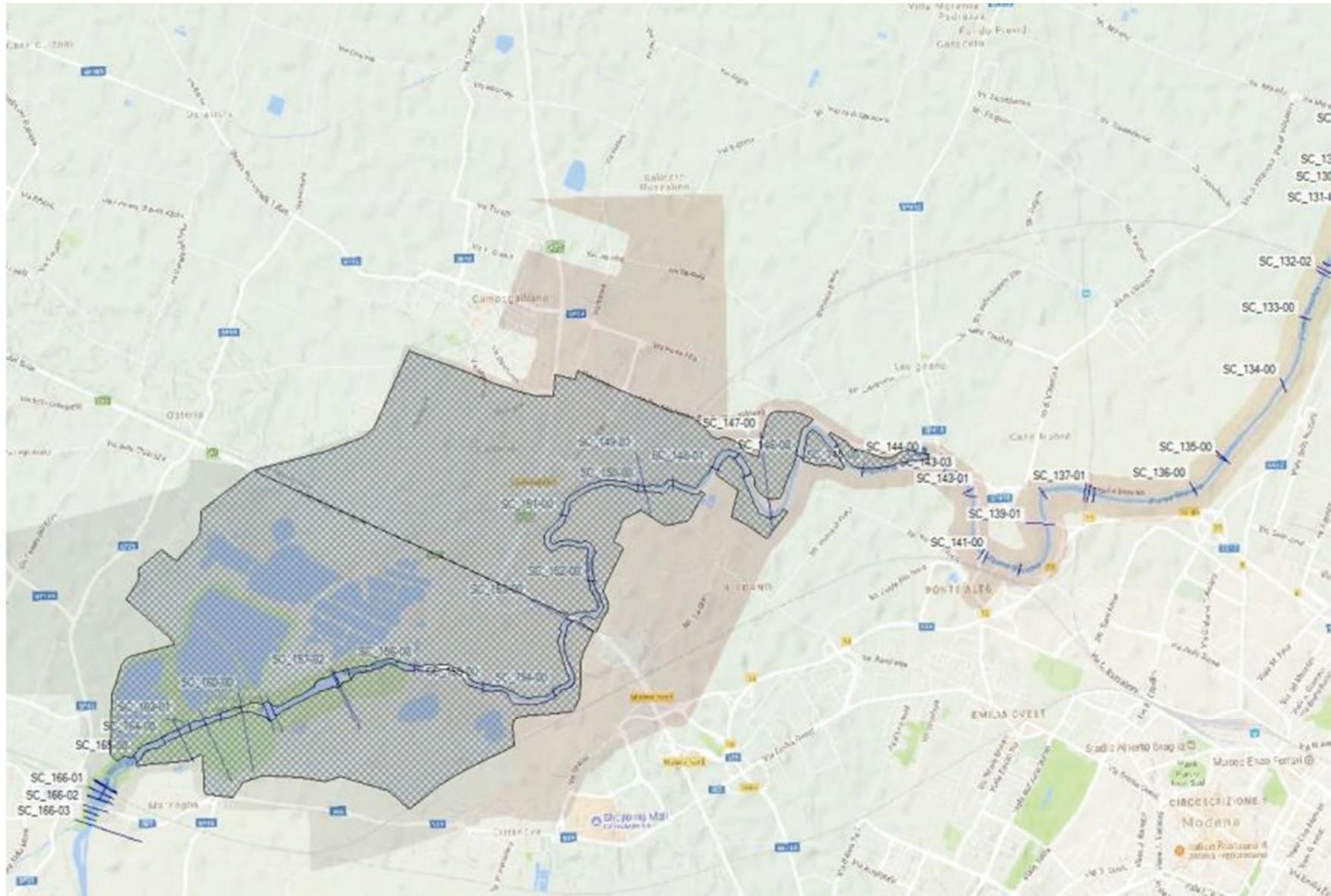


Fig. 32 Schematizzazione aree 2D del modello idraulico

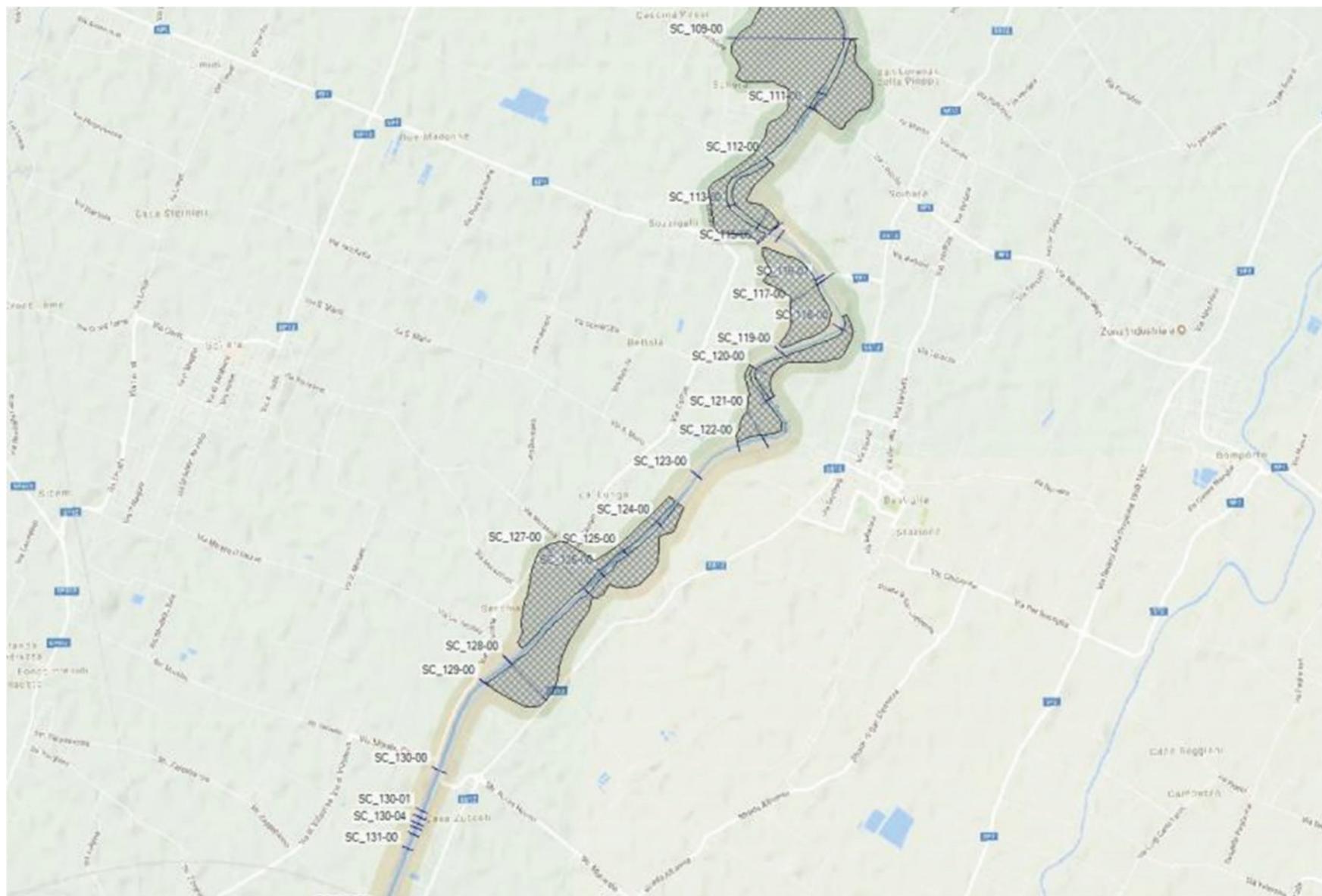


Fig. 33 Schematizzazione aree 2D del modello idraulico

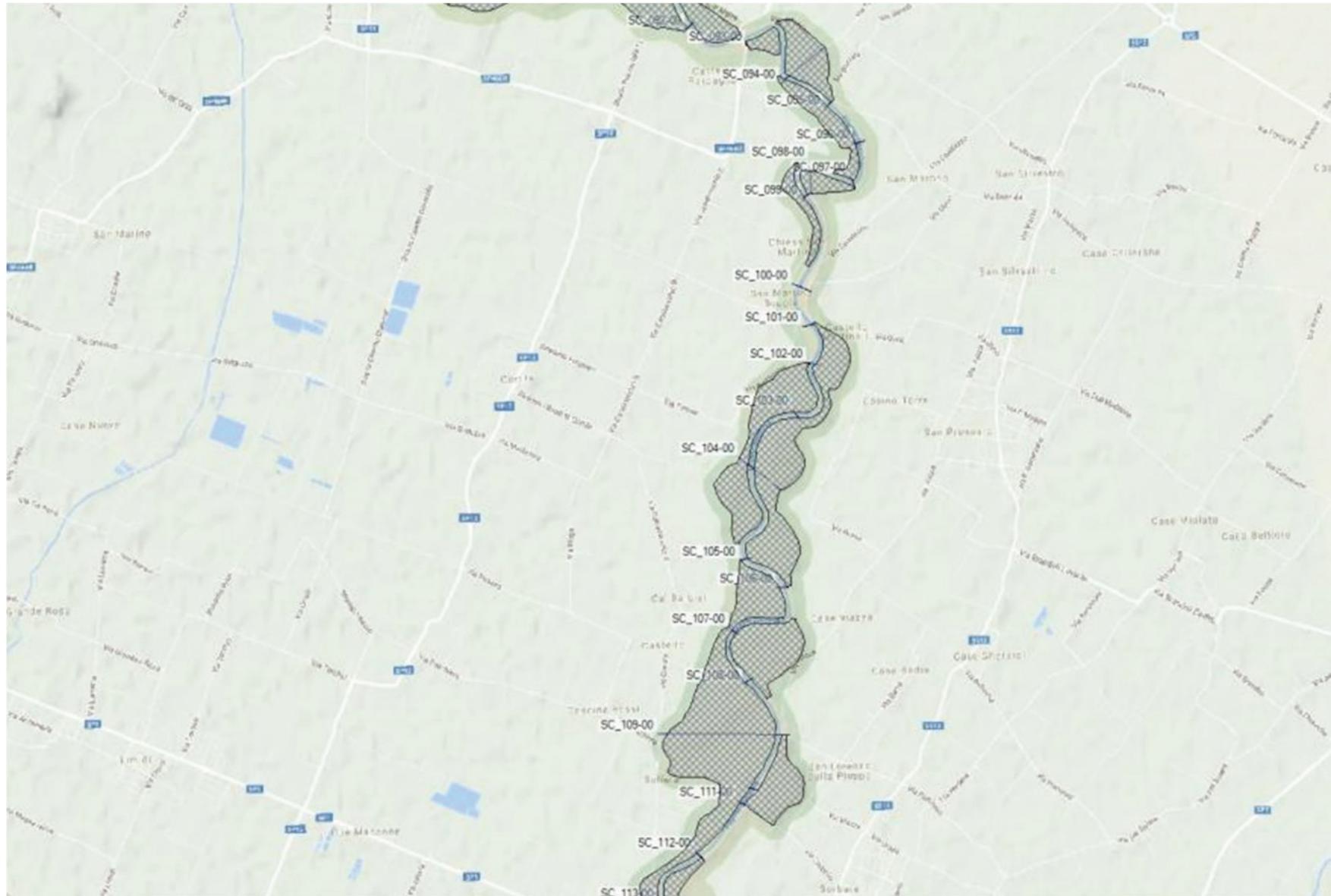


Fig. 34 Schematizzazione aree 2D del modello idraulico



Fig. 35 Schematizzazione aree 2D del modello idraulico

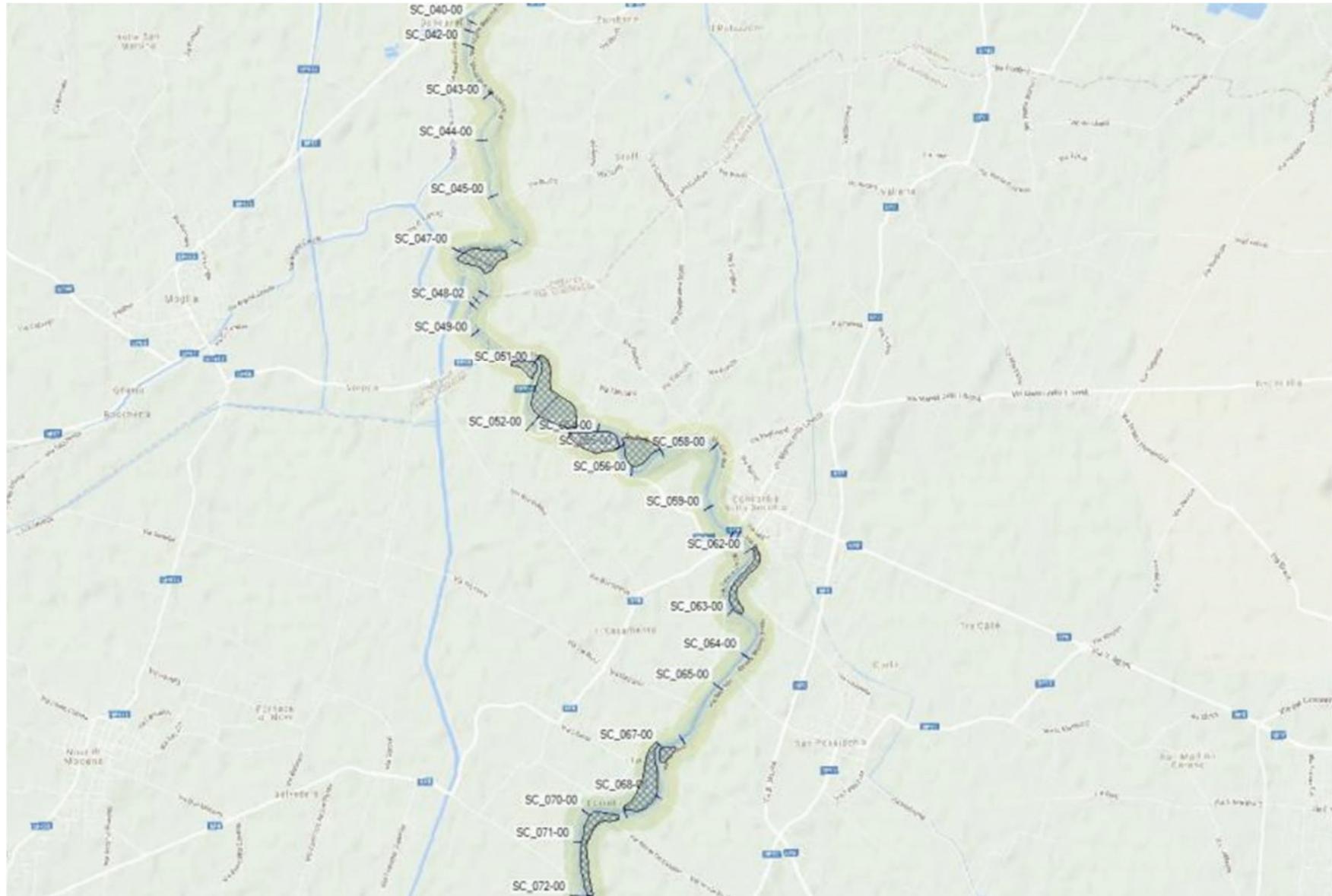


Fig. 36 Schematizzazione aree 2D del modello idraulico

5.1.1.5. Caratteristiche degli attraversamenti esistenti

Tutti gli attraversamenti esistenti sono stati rappresentati nel modello geometrico utilizzando le informazioni disponibili derivanti dal rilievo topografico, adeguatamente controllate mediante sopralluoghi specifici. Essi sono: ponte dell'autostrada A1, ponte della Barchetta, ponte Alto, ponte SP413, ponte FF.SS (Modena – Mantova), ponte pedonale (valle FF.SS), ponte Bailey monte TAV, ponte TAV, ponte dell'Uccellino (ponte Basso), ponte Bacchello, ponte Motta, ponte Pioppa e il ponte di Concordia (Fig. 37).

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell'energia e quelle del metodo dei momenti, tra le quali il software seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica, per il deflusso al di sotto dell'impalcato (*low flow*); viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell'impalcato (*pressure and weir*) per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l'intradosso del ponte (*high flow*). Le condizioni limite per il deflusso in pressione sono definite dal programma in base al livello di corrente registrato a monte.

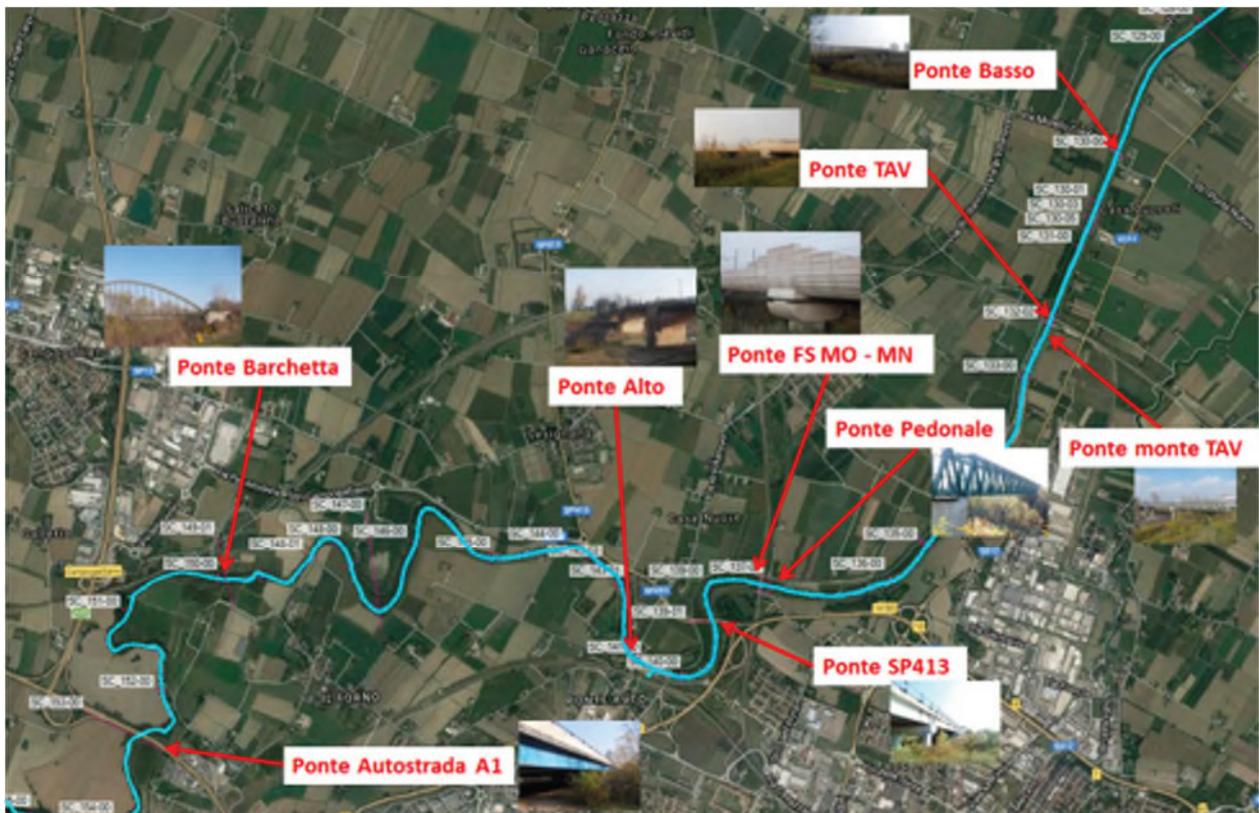


Fig. 37 Ubicazione degli attraversamenti esistenti

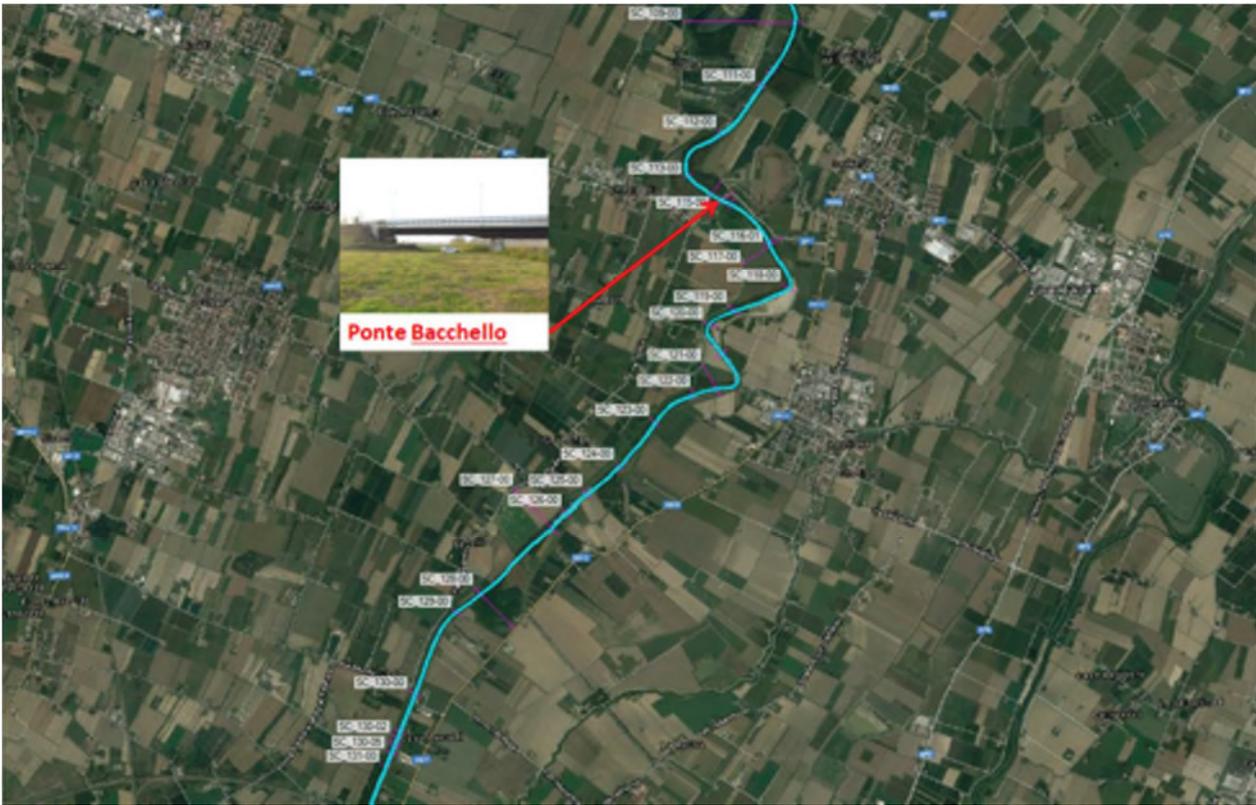


Fig. 38 Ubicazione degli attraversamenti esistenti



Fig. 39 Ubicazione degli attraversamenti esistenti



Fig. 40 Ubicazione degli attraversamenti esistenti

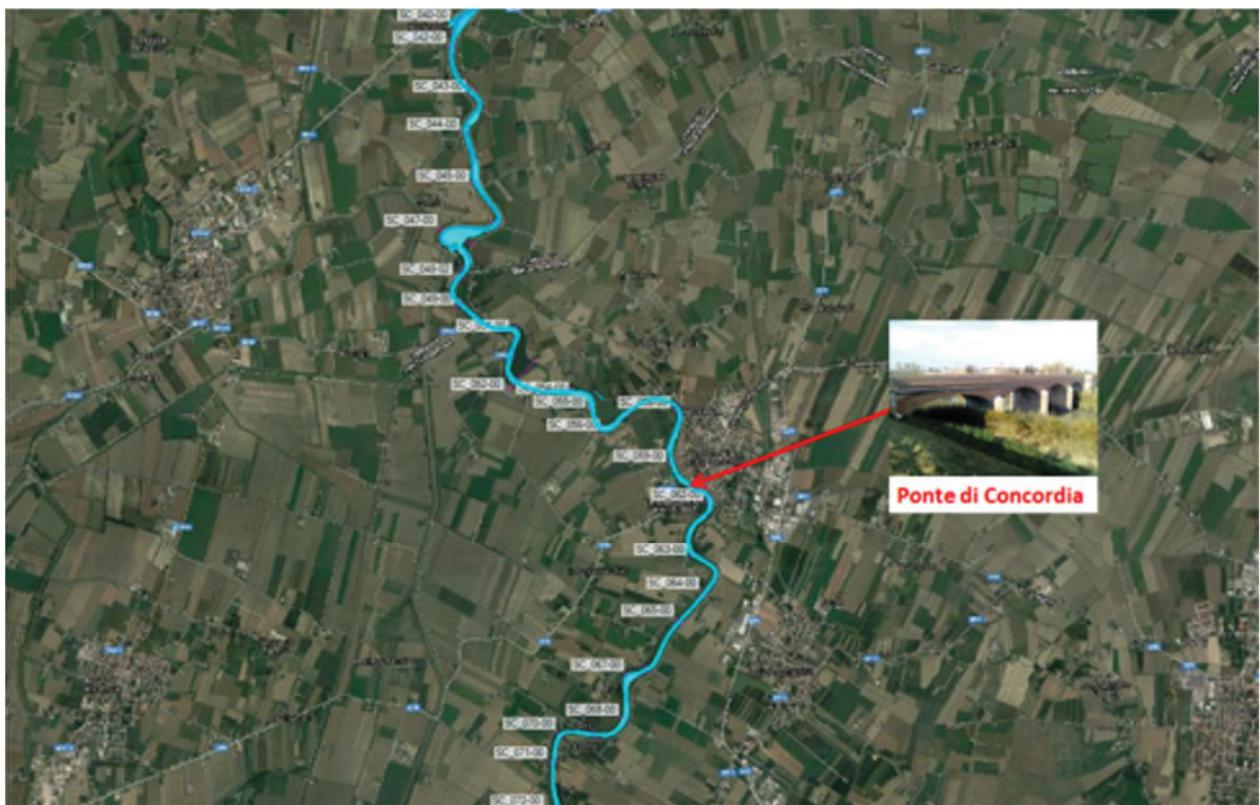


Fig. 41 Ubicazione degli attraversamenti esistenti

Il ponte dell'autostrada A1 è costituito da quattro campate di lunghezza pari a circa 30 m ciascuna. La quota minima di intradosso dell'impalcato è 42,17 m s.m. Sono presenti tre pile in alveo ciascuna con una larghezza di 2,36 m.



Fig. 42 Vista da valle del ponte A1

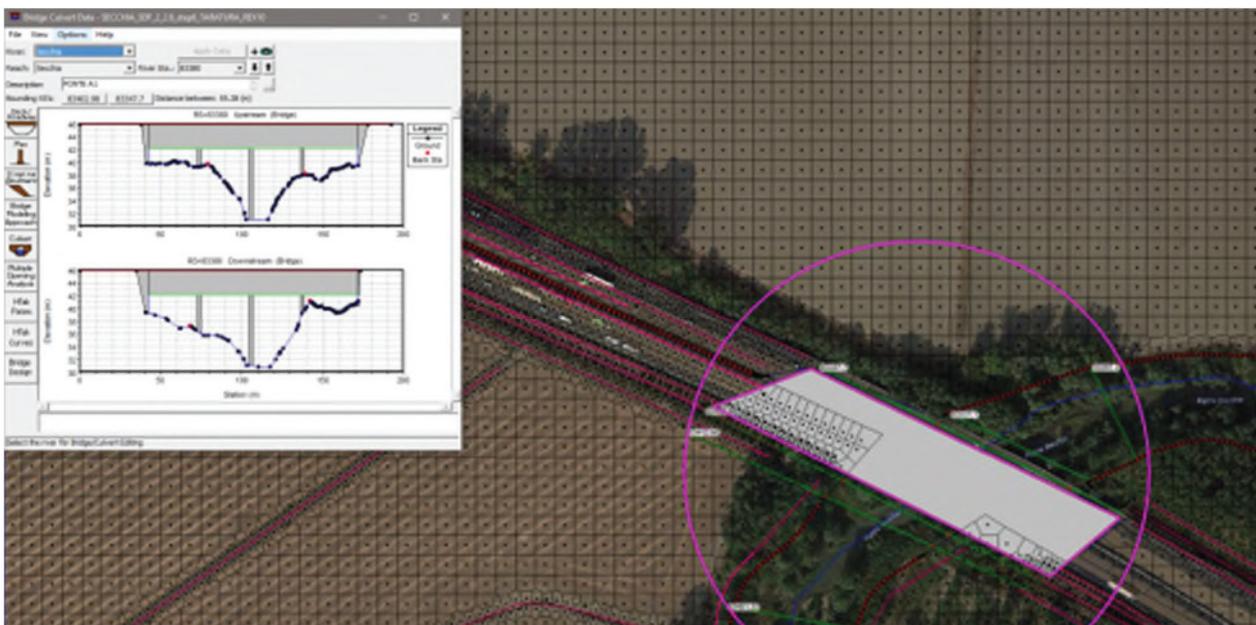


Fig. 43 Implementazione della geometria del ponte dell'autostrada A1

Proseguendo verso valle si incontra il ponte della Barchetta. Tale attraversamento è stato schematizzato implementando le strutture interferenti con l'alveo nella schematizzazione 2D del modello.

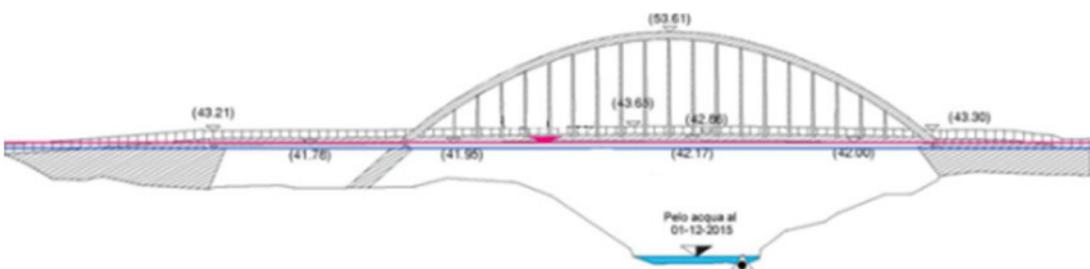


Fig. 44 Profilo longitudinale del ponte della Barchetta



Fig. 45 Implementazione della geometria del ponte della Barchetta



Fig. 46 Vista da valle del ponte della Barchetta

La struttura del ponte è costituita da una campata principale di lunghezza pari a circa 55 m mentre la campata secondaria in golena sinistra ha lunghezza pari a circa 20 m. La quota minima di intradosso del ponte è pari a 41,78 m s.m.

Proseguendo verso valle di circa 5 km si incontra ponte Alto. L'attraversamento è costituito da tre campate ad arco e due pile di 4 m di larghezza ciascuna. Le campate hanno una lunghezza di circa 20 m ognuna; nelle condizioni attuali le due luci esterne sono parzializzate da depositi di materiale d'alveo. Rispetto alla luce centrale la quota di intradosso in chiave è pari 39,16 m s.m. mentre in imposta è pari a 33,23 m s.m.



Fig. 47 Vista da valle del Ponte Alto

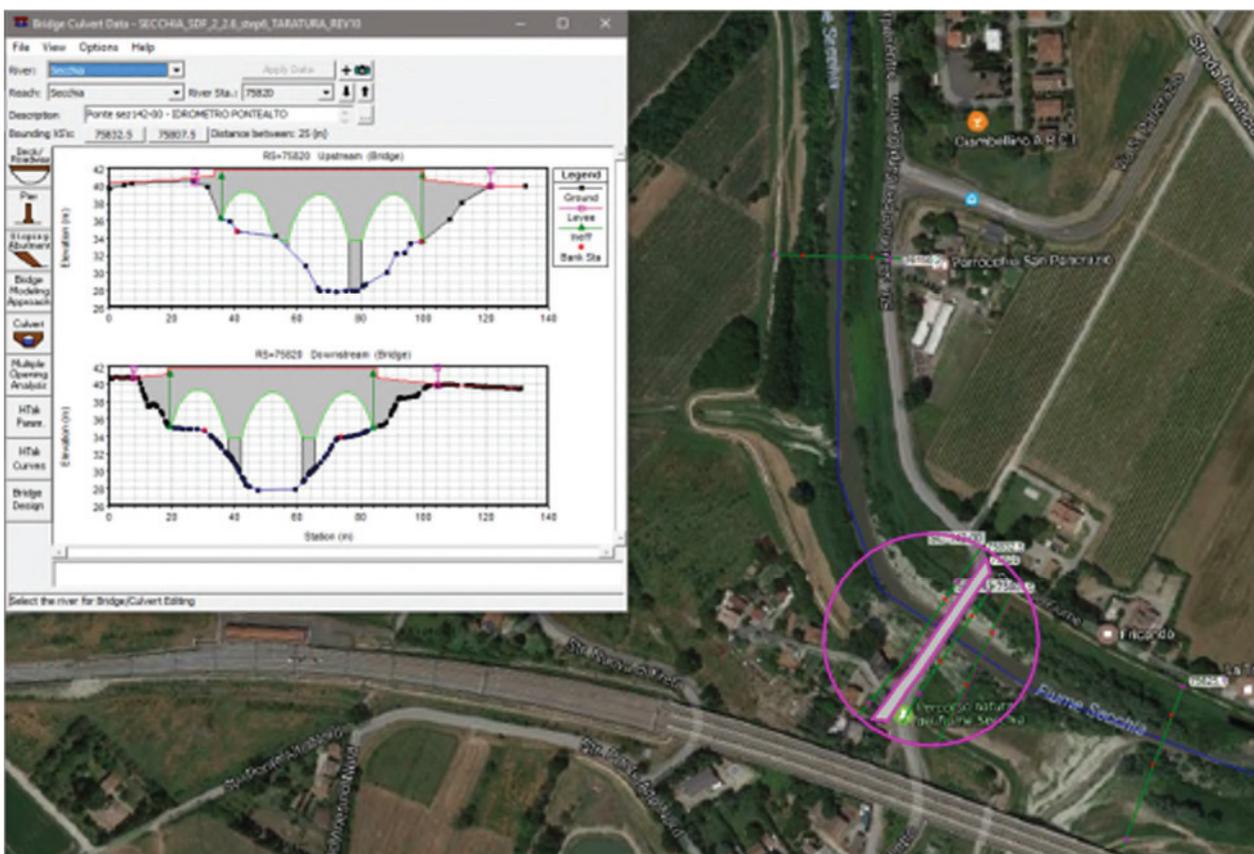


Fig. 48 Implementazione della geometria di ponte Alto

A una distanza di circa 1 km da ponte Alto c'è il ponte della SP 413 (Campogalliano – Carpi). Tale attraversamento è costituito da travi prefabbricate in calcestruzzo appoggiate su 7 pile aventi una larghezza ciascuna di 2,35 m. La lunghezza delle 8 campate è variabile; quelle interferenti con l'alveo di piena variano da 29,5 m a 32 m. La quota minima di intradosso è di 39,89 m s.m.



Fig. 49 Vista da valle del ponte SP 413 (Campogalliano – Carpi)

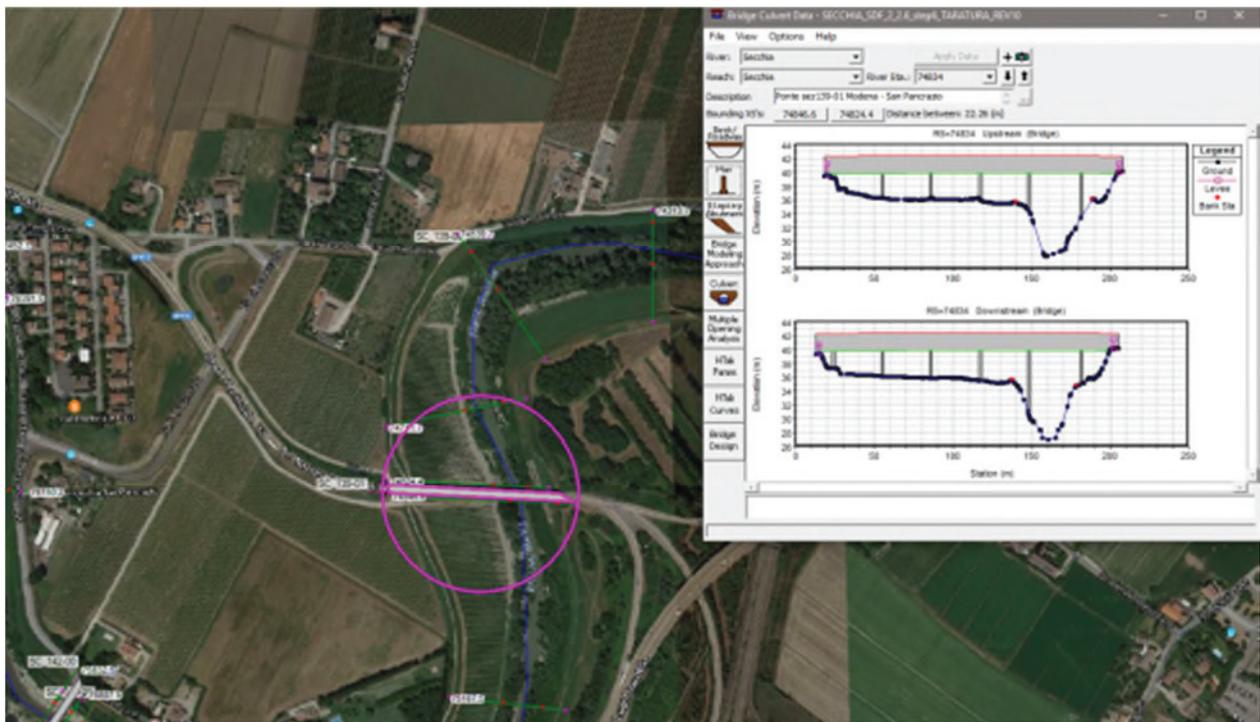


Fig. 50 Implementazione della geometria del ponte della SP 413

Proseguendo a valle di 1 km si incontra il ponte della FF.SS (Modena – Mantova). La struttura è formata da due pile in alveo di larghezza pari a circa 4,5 m ciascuna, e da tre campate, per una lunghezza complessiva dell'impalcato da spalla a spalla di circa 132 m. La quota minima di intradosso è di 40,05 m s.m.



Fig. 51 Vista da valle del ponte FF.SS (Modena – Mantova)

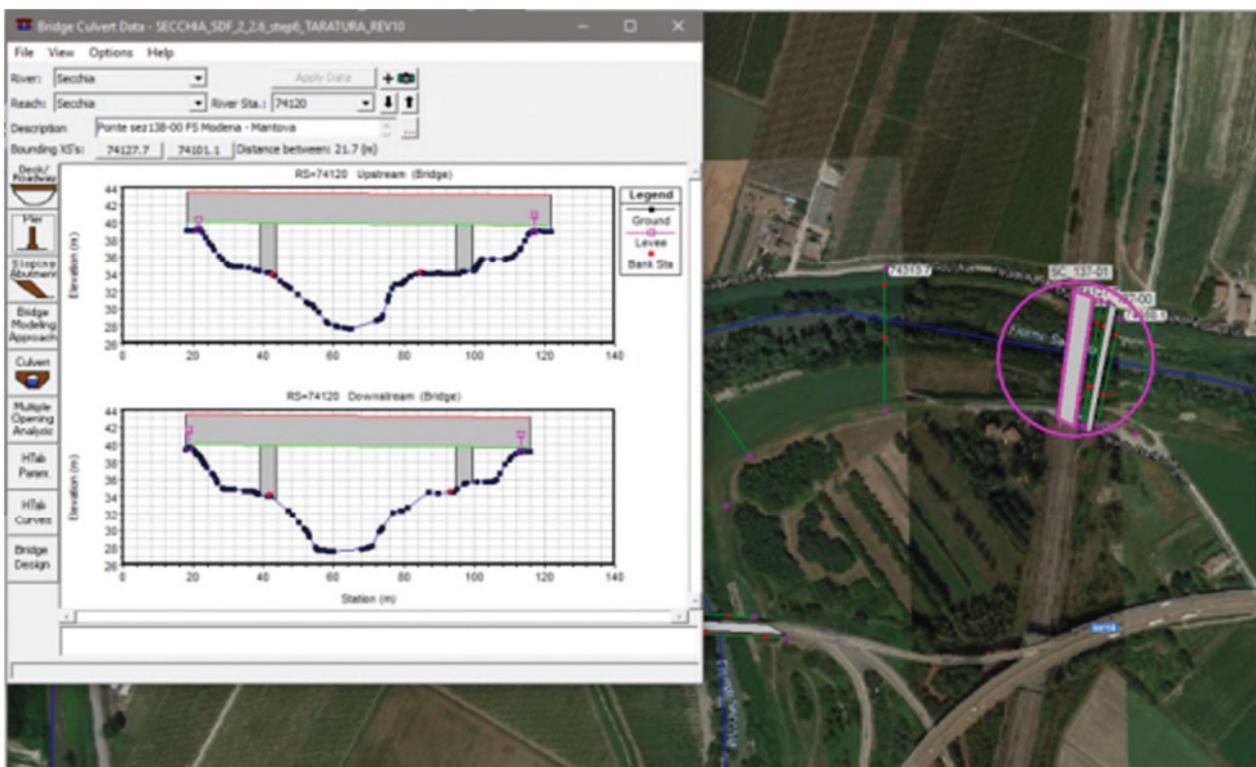


Fig. 52 Implementazione della geometria del ponte della FF.SS (Modena – Mantova)

Subito dopo il ponte della FF.SS. sopra descritto c'è un ponte tipo Bailey pedonale. Il ponte è costituito da due pile in alveo di larghezza pari a circa 3,5 m ciascuna. La lunghezza complessiva dell'impalcato è di circa 134 m e la campata centrale, con ampiezza maggiore, è lunga 51 m circa. La quota minima di intradosso dell'impalcato è 40,41 m s.m.



Fig. 53 Vista da valle del ponte pedonale tipo Bailey

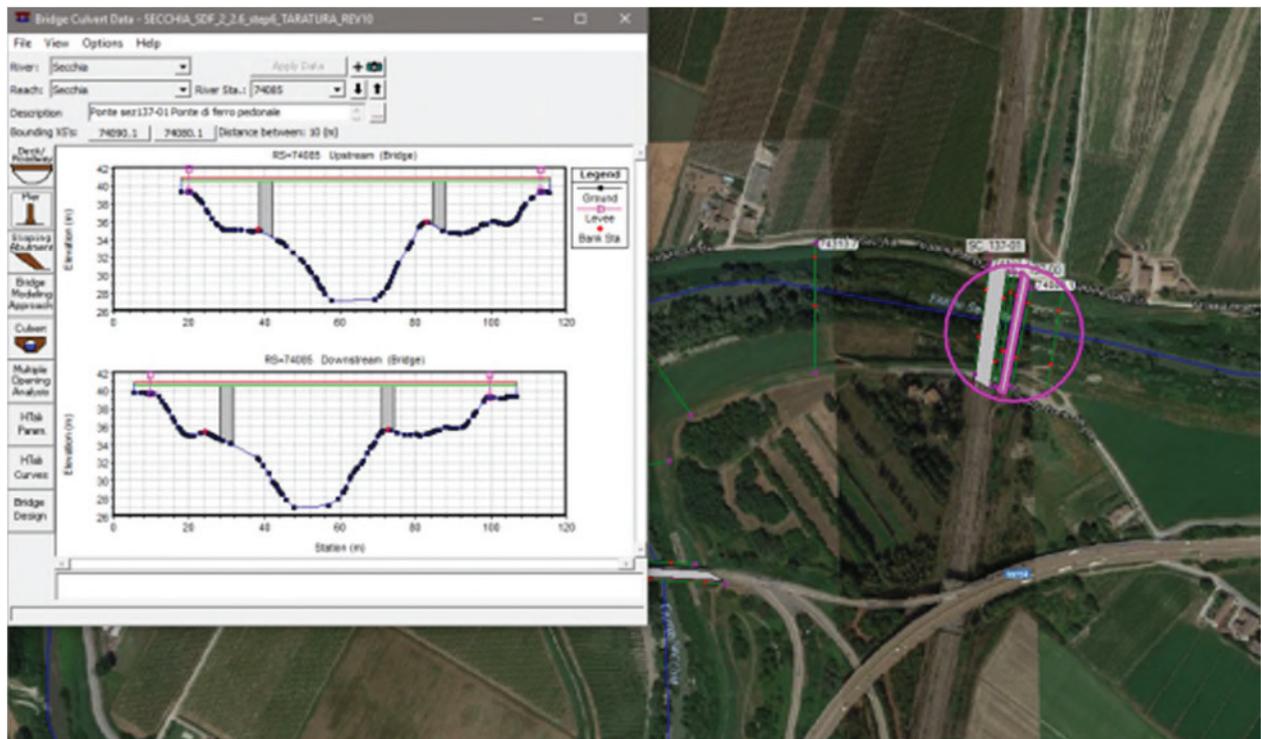


Fig. 54 Implementazione della geometria del ponte pedonale

Oltrepassata la città di Modena proseguendo verso valle lungo l'asta del fiume si susseguono il ponte della TAV e pochi metri più a monte un ponte in acciaio tipo Bailey (ponte monte TAV).

Il ponte a monte della TAV è composto da due pile in alveo di larghezza pari a 0,8 m ognuna, che determinano tre campate per una lunghezza complessiva dell'impalcato pari a circa 90 m. La campata centrale ha una lunghezza maggiore delle altre due, simmetriche, ed è di circa 33,3 m. La quota minima di intradosso dell'attraversamento è 38,55 m s.m.



Fig. 55 Vista da valle del ponte monte TAV

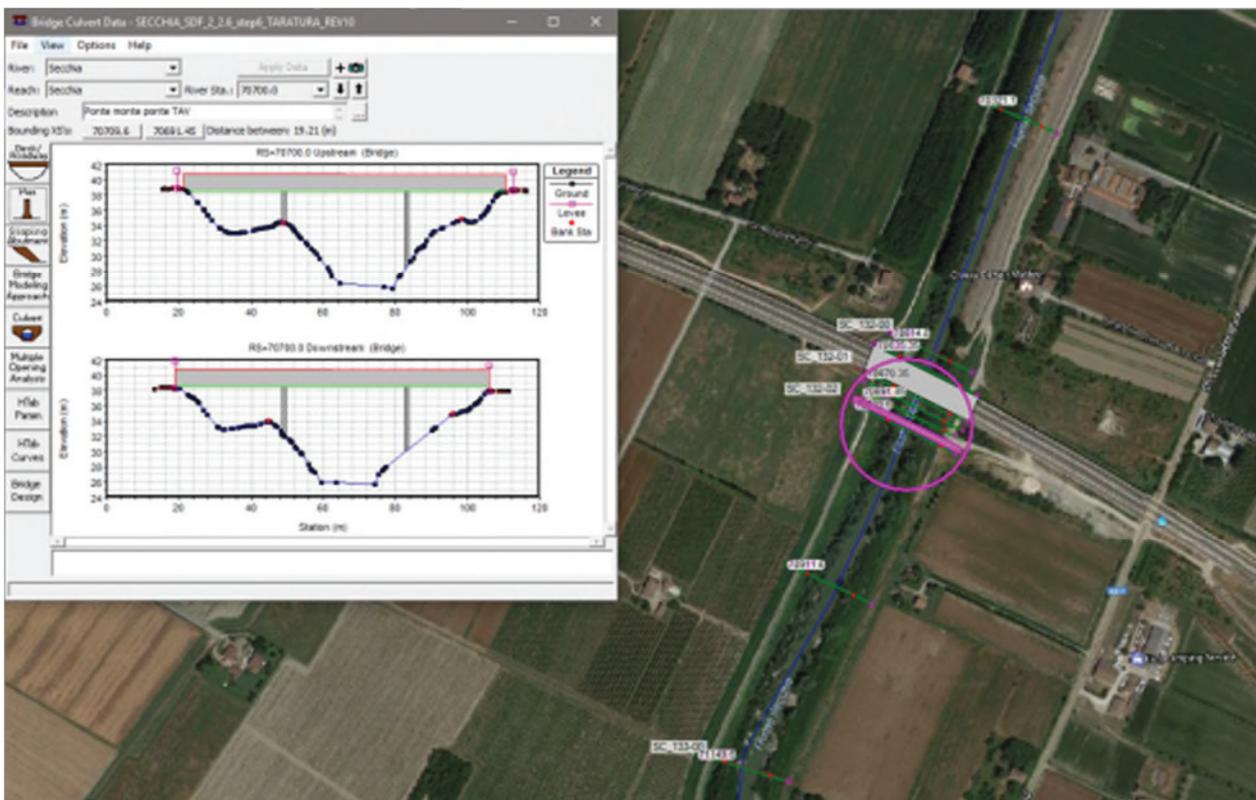


Fig. 56 Implementazione della geometria del ponte a monte TAV

Per quanto concerne il ponte TAV, la struttura è formata da due pile in alveo di larghezza pari a 4,5 m ciascuna. In corrispondenza dell'alveo il ponte ha una quota minima di intradosso dell'impalcato pari a 39,42 m s.m. e la luce della campata centrale di circa 51 m.



Fig. 57 Vista da valle del ponte TAV

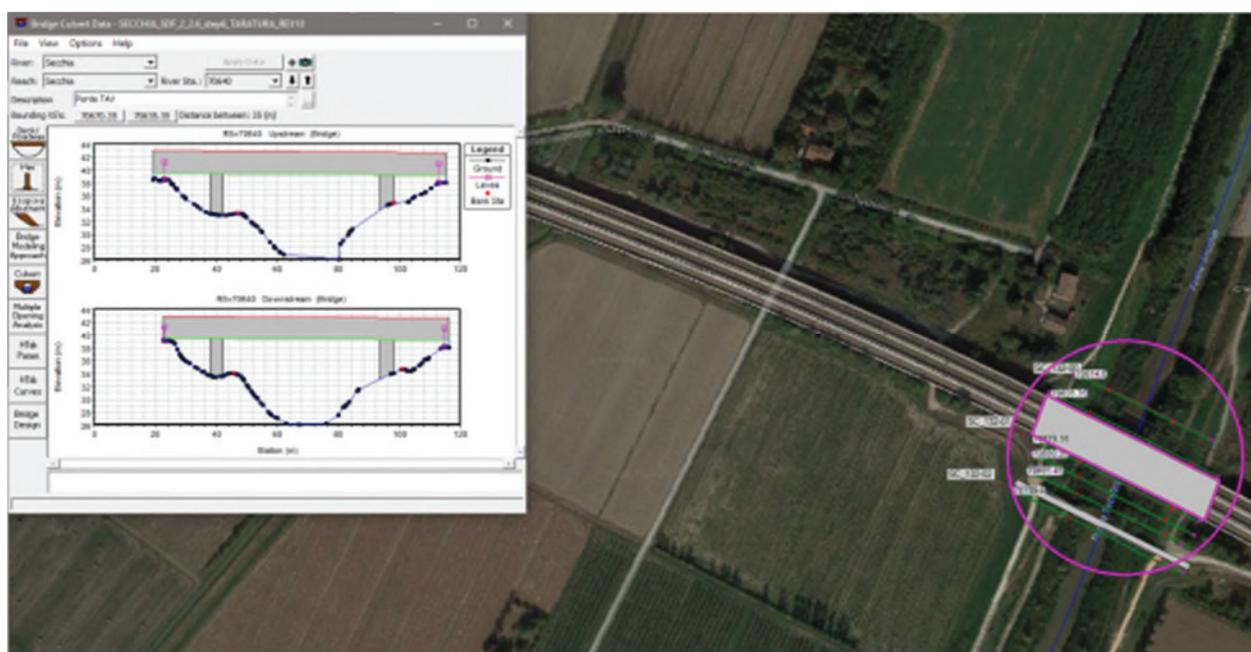


Fig. 58 Implementazione della geometria del ponte TAV

Il ponte dell'Uccellino o ponte Basso è costituito da una struttura metallica tipo Bailey, sostenuta da due pile in alveo di larghezza cadauna pari a 1,5 m. L'impalcato ha una leggera curvatura sul piano verticale, con una quota massima dell'intradosso in chiave a 37,74 m s.m. e in imposta a quota 37,46 m s.m.



Fig. 59 Vista da valle del ponte dell'Uccellino (ponte Basso)

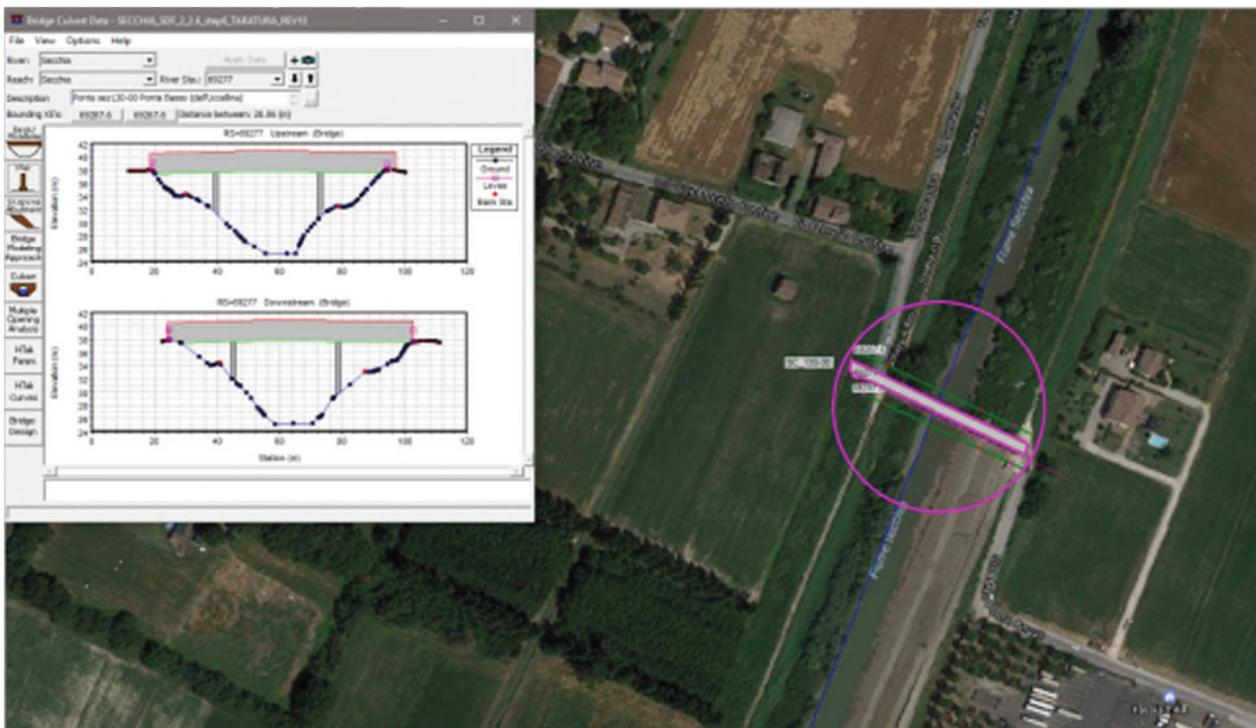


Fig. 60 Implementazione della geometria del ponte dell'Uccellino

Proseguendo verso valle, ponte Bacchello è costituito da due rilevati di approccio al ponte che entrano nell'area golenale e da struttura in con travi in acciaio sostenuta da due pile che costituiscono tre campate di cui quella centrale la più grande di circa 48 m. La quota di intradosso della struttura è a 34,92 m.



Fig. 61 Vista di ponte Bacchello



Fig. 62 Implementazione della geometria di ponte Bacchello

Il ponte San Martino ha 3 pile che sorreggono le quattro campate dell'intera struttura. L'alveo di magra si trova in corrispondenza della secondo campata in cui è localizzata anche la chiave di volta della struttura che è leggermente inarcuata, la cui quota di intradosso è pari a 33,54 m s.l.m.. Le due imposte localizzate in prossimità del collegamento con i rilevati arginali hanno quota una di circa 33,36 m s.l.m.. Le quattro campate hanno una lunghezza di circa 25 m ciascuna.



Fig. 63 Vista di ponte San Martino

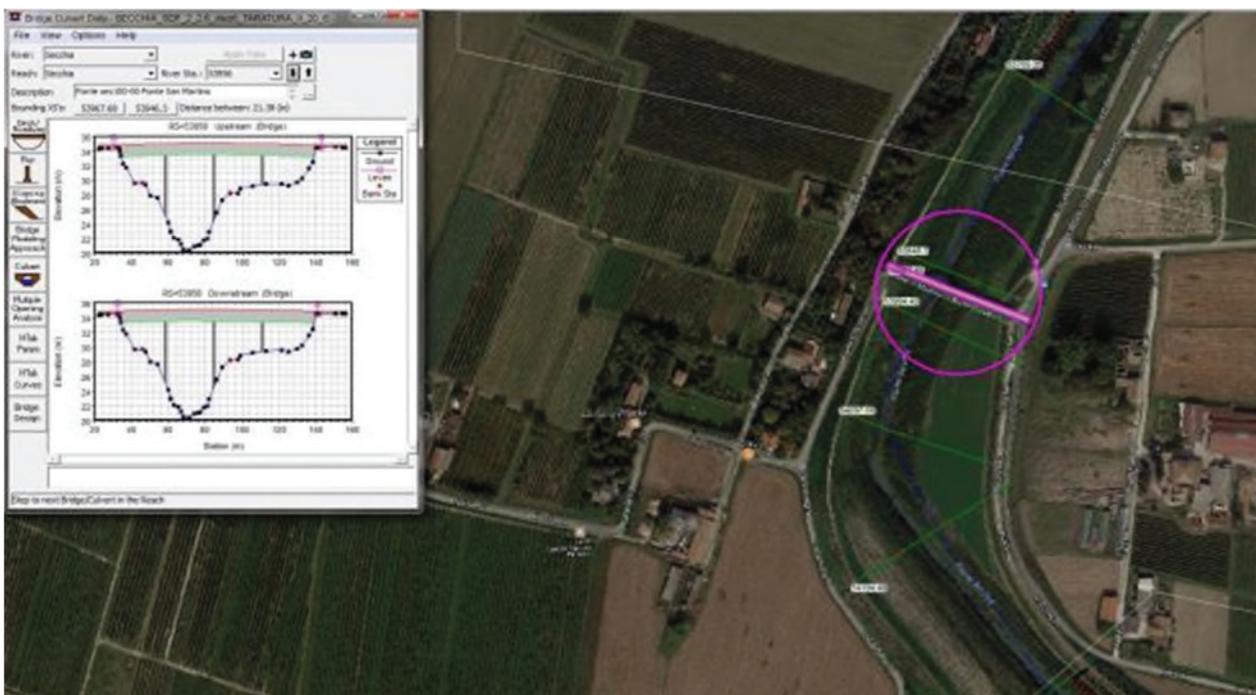


Fig. 64 Implementazione della geometria di ponte San Martino

Ponte Motta è composto da 5 campate e 4 pile di larghezza pari a circa 2,5 m ciascuna. La volta della campata centrale ha una quota di intradosso in chiave pari a 31,95 m s.l.m., mentre in imposta la quota è 28,76 m s.l.m.. Dai rilievi si evince come la struttura sia parzialmente occlusa, in particolare nelle campate più esterne all'alveo di magra.



Fig. 65 Vista di ponte Motta



Fig. 66 Implementazione della geometria di ponte Motta

La struttura di ponte Pioppa è articolata come mostrato in Fig. 67, è costituita da una struttura in acciaio che costituisce la campata principale ad arco. La quota di intradosso in chiave è a 30,03 m sl.m. e la larghezza complessiva è di circa 50 m. Inoltre la struttura presenta due fornici a margine dell'arco di larghezza pari a 15 m ciascuno la cui quota di intradosso si trova a 29,20 m s.l.m..



Fig. 67 Vista di ponte Pioppa

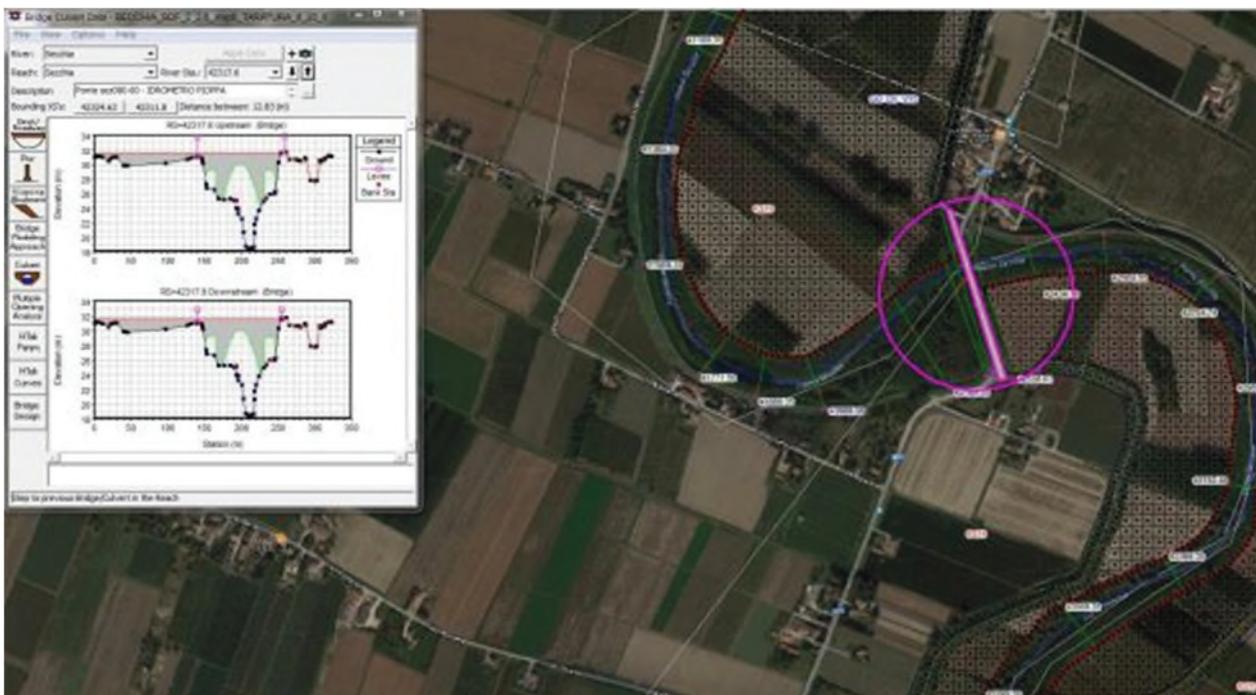


Fig. 68 Implementazione della geometria di ponte Pioppa

Infine a completamento della ricostruzione modellistica degli attraversamenti ricadenti all'interno del confine regionale è stato inserito il ponte di Concordia. L'attraversamento è formato da quattro campate ad arco di lunghezza pari a circa 15,5 m ciascuna. La larghezza delle tre pile è circa 2,5 m, la quota di intradosso in chiave delle arcate è a 28,05 m s.l.m. mentre in imposta è a 24,55 m s.l.m..



Fig. 69 Vista di ponte Concordia

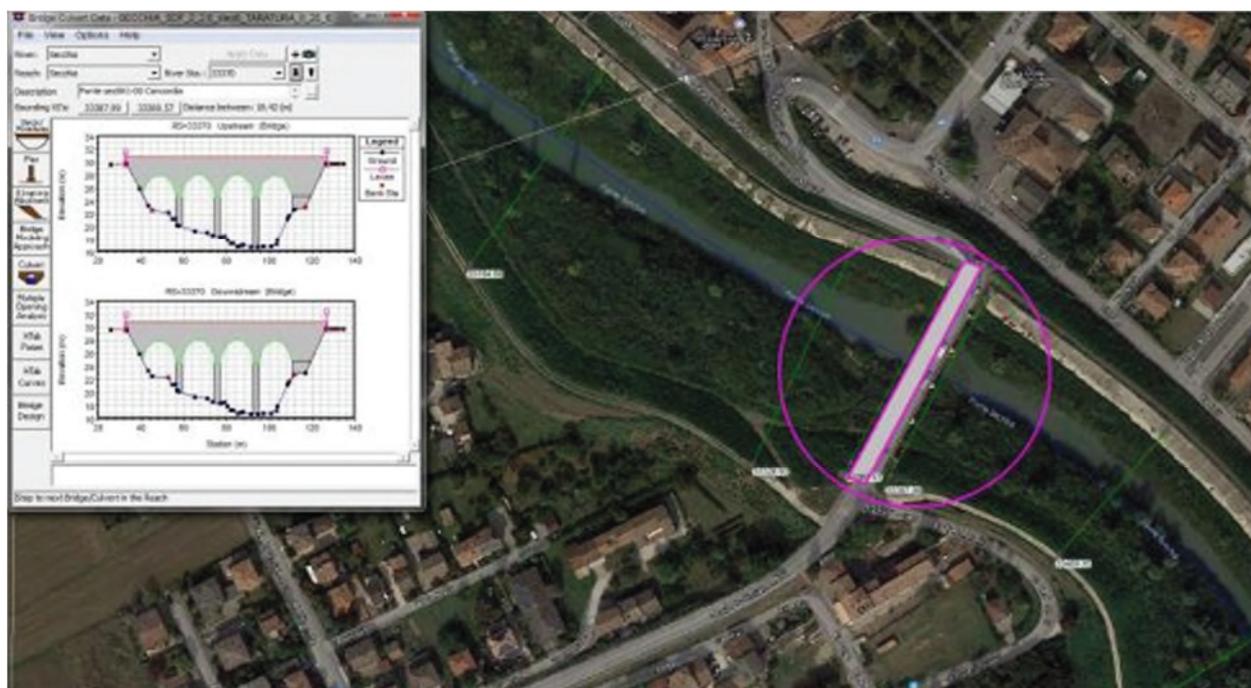


Fig. 70 Implementazione della geometria del ponte di Concordia

5.1.2. Condizioni al contorno

Come condizione al contorno di monte del modello, sono state considerate le onde di piena nella sezione SS9 (via Emilia) a monte della cassa di espansione.

Le onde di piena di progetto utilizzate per il seguente studio idraulico si riferiscono all'evento TR 20 anni con durata critica 12 e 24 ore. Si rimanda al capitolo specifico dell'analisi idrologica in cui sono dichiarati gli idrogrammi menzionati.

Per la taratura del modello invece sono state utilizzate le onde di piena relative agli eventi del dicembre 2009 e marzo 2015. Ai due eventi è possibile attribuire rispettivamente un tempo di ritorno di circa 5 anni per la piena del 2009 e di 3 anni circa per la piena del 2015. Si è preferito adottare tali eventi

rispetto ad altri precedenti, con tempo di ritorno eventualmente superiori, in quanto, essendo relativamente recenti sono maggiormente rappresentativi delle attuali condizioni morfologiche e di scabrezza dell'alveo.

Per l'evento 2009 è stato utilizzato l'idrogramma riportato nella relazione idraulica del progetto preliminare avente due picchi consecutivi con un valore massimo di colmo pari a $1030 \text{ m}^3/\text{s}$ (Fig. 71).

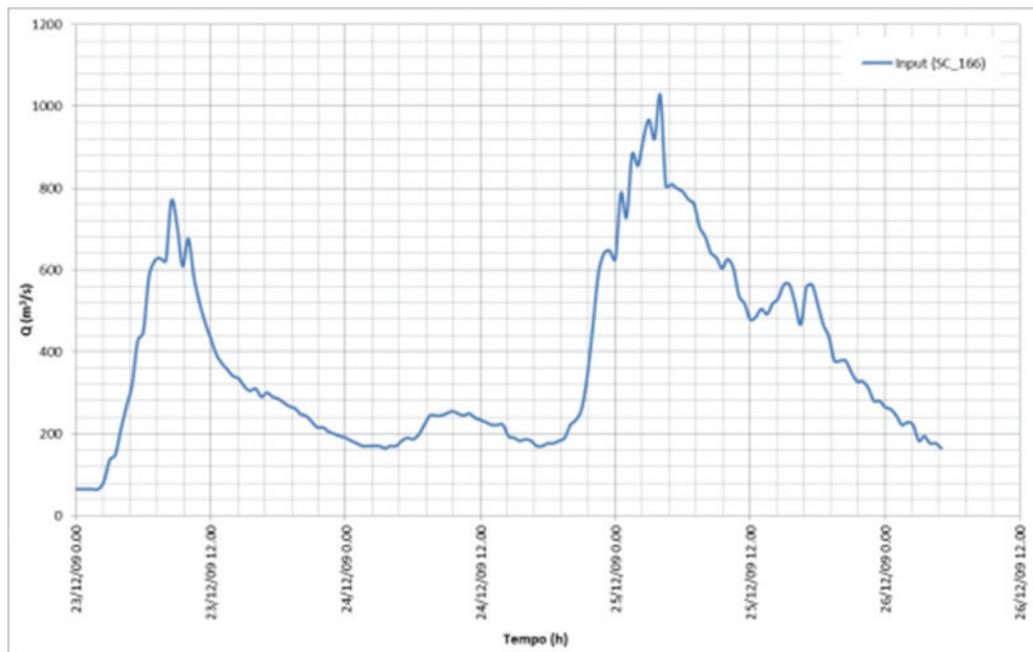


Fig. 71 Idrogramma in portata dell'evento del dicembre 2009 registrato a monte della cassa di espansione

Per l'evento 2015 l'idrogramma in portata è stato ricostruito sulla base dei dati forniti da AIPO, quali l'idrogramma di livello registrato nella sezione di misura della SS 9 (zero idrometrico 47,33 m s.m.) (Fig. 72) e relativa scala di deflusso aggiornata secondo i nuovi rilievi 2015 (Fig. 74).

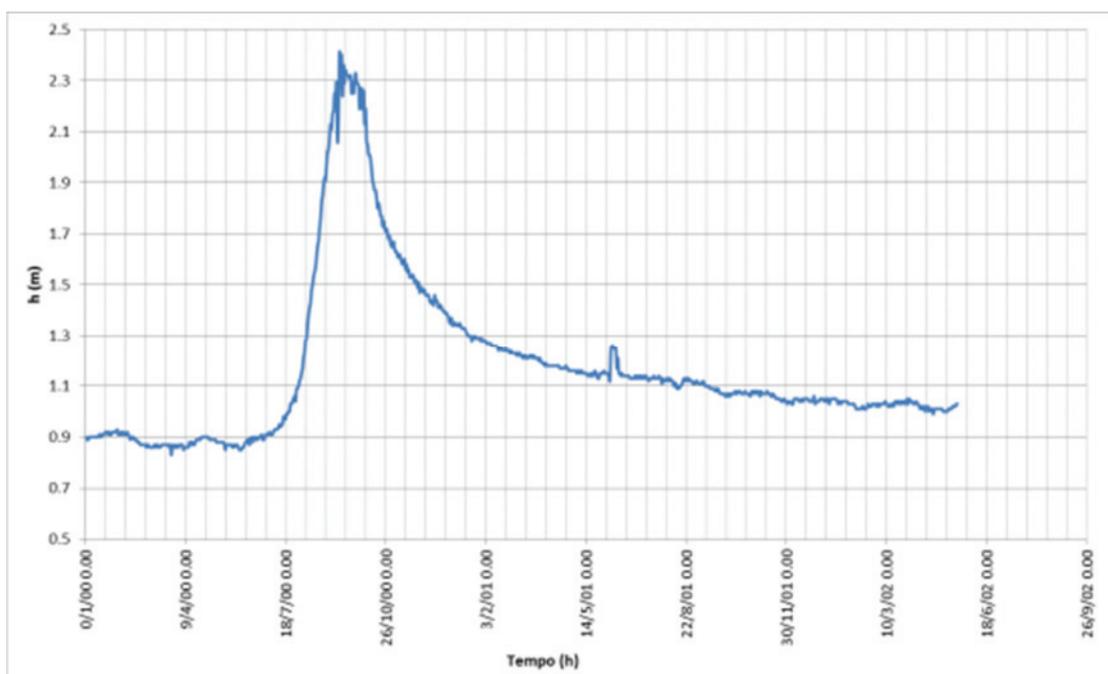


Fig. 72 Idrogramma dell'evento di piena 2015 registrato nella stazione di misura di Rubiera SS 9 (quote idrometriche)

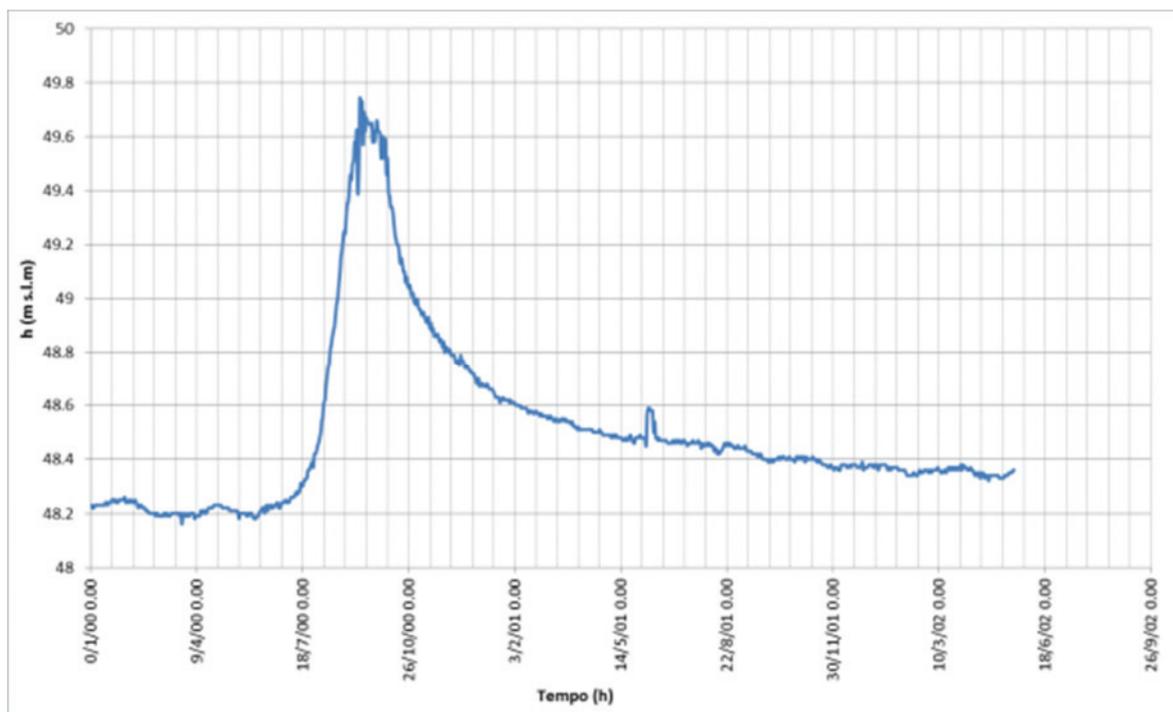


Fig. 73 Idrogramma dell'evento di piena 2015 registrato nella stazione di misura di Rubiera SS9 (quote assolute)

Per la scala di deflusso è stata verificata la corrispondenza dei valori riportati nell'annale 2015 con quelli aggiornati con i nuovi rilievi 2015 (linea blu e rossa Fig. 74). Quindi è stata ricostruita la scala di deflusso utilizzando i dati registrati dall'idrometro durante l'evento 2015 ed è stata effettuata una verifica di congruità con la scala di deflusso riportata negli annali riferita al medesimo evento. Successivamente è stata ricostruita la curva livelli-portata secondo la formulazione sotto riportata e i parametri (Tab. 4) definiti da AIPO (linea nera tratteggiata Fig. 74).

$$Q = c * (H + a)^b + q_0$$

Tab. 4 Parametri della formula analitica per la ricostruzione della scala di deflusso

H1	H2	a	b	c	q ₀
0,5	0,81	-0,499	1,595124	61,00485	0
0,81	1,75	-0,81	1,167196	352,2225	9,467911
1,75	2,5	-1,75	1,158755	963,6073	337,1495

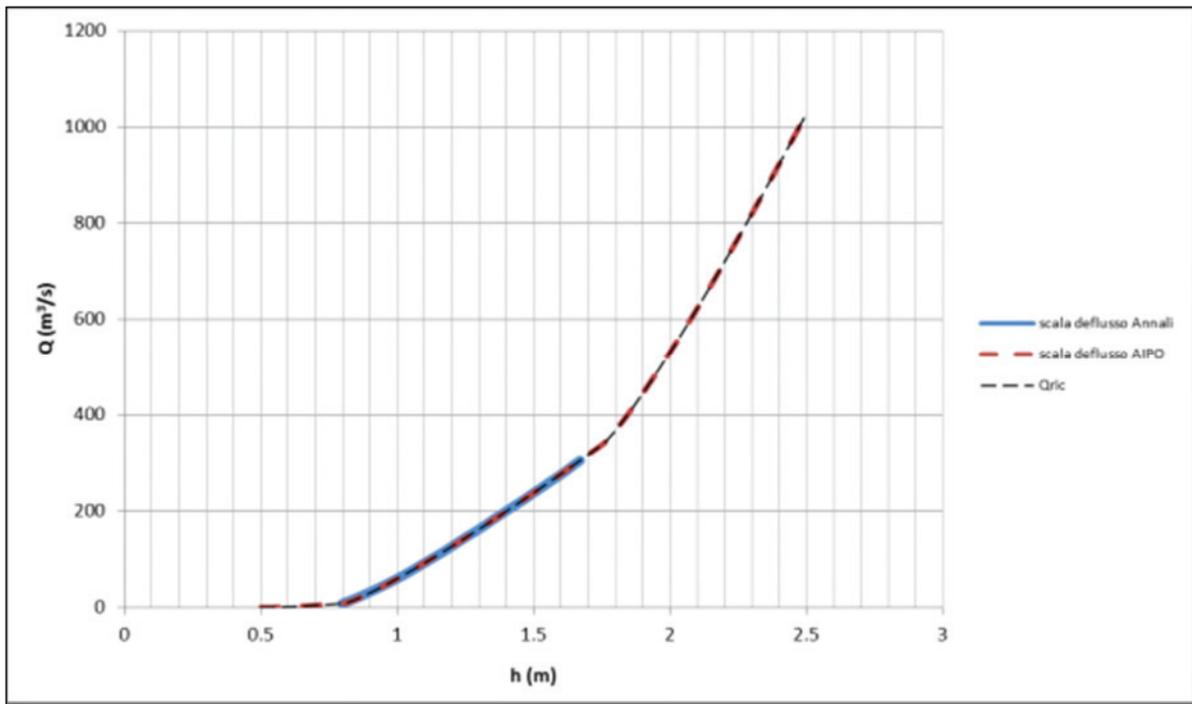


Fig. 74 Scala di deflusso della sezione di misura di Rubiera SS 9

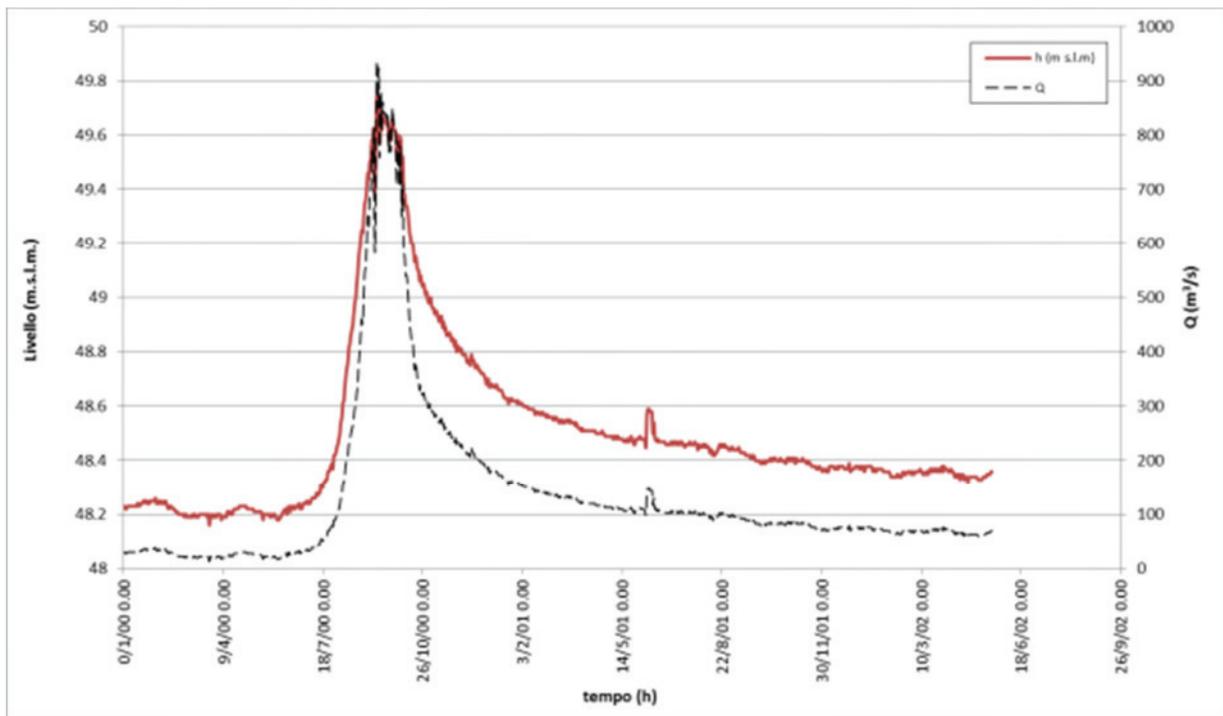


Fig. 75 Idrogramma in portata calcolato e idrogramma registrato nella sezione di misura Rubiera SS 9

La portata al colmo defluita nella sezione in esame è stata di $933 \text{ m}^3/\text{s}$, come indicato anche negli annali idrologici del 2015 (Fig. 75).

Come condizione al contorno di valle è stata imposta la condizione di livello a Po pari a 22 m s.l.m. che corrisponde al livello della piena duecentennale in Po nella sezione di confluenza con il Secchia.

5.1.3. Definizione della scabrezza

La valutazione dei coefficienti di scabrezza di primo tentativo da inserire nel modello è stata basata su dati di letteratura, sull'esperienza acquisita e sulle indicazioni rilevate durante i sopralluoghi lungo il tratto oggetto di studio. In particolare si è scelto di riferirsi alle tabelle di cui al paragrafo 4.8.4 della Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" emanata dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

I valori di scabrezza sono stati ulteriormente affinati durante le simulazioni eseguite per la riproduzione dell'evento di piena del dicembre 2009 che ha rappresentato la taratura del modello.

I coefficienti di scabrezza, espressi secondo la formulazione di Strickler, sono risultati omogenei per tratti:

- tratto da monte cassa fino al manufatto regolatore:
 - alveo inciso $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree golenali $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- tratto tra valle cassa e ponte dell'autostrada A1:
 - alveo inciso $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree golenali $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- tratto da valle del ponte dell'autostrada A1 al ponte della TAV
 - alveo inciso $23 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree golenali $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree ripariali $12 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- tratto dal ponte della TAV fino a ponte Pioppa:
 - alveo inciso $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree golenali $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- tratto da ponte Pioppa fino al ponte di Concordia ed oltre:
 - alveo inciso $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
 - aree golenali $11 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

5.1.4. Taratura del modello

La messa a punto del modello è stata completata dalla fase di taratura dello stesso, consistente nella ricerca dei valori del coefficiente di scabrezza più opportuni al fine di ottenere un soddisfacente confronto calcolato/misurato nell'ambito della simulazione in moto non stazionario con riferimento alla piena del dicembre 2009. La piena del 2015 è stata ulteriormente simulata con lo scopo di verifica della calibrazione effettuata.

La configurazione geometrica per tutte le operazioni di taratura è naturalmente quella relativa all'assetto attuale del corso d'acqua (geometria 2015).

Particolare approfondimento nelle operazioni di taratura è stato dedicato alla simulazione del tratto interessato dalla cassa di laminazione e dell'area di espansione posta a valle, tenuto conto della complessità dei fenomeni idrodinamici che vi hanno sede.

In questo caso le operazioni di taratura hanno riguardato anche le modalità di implementazione degli elementi geometrici descrittivi della morfologia delle aree e delle caratteristiche dei manufatti idraulici (sfioratori e luci di deflusso) e le relative leggi idrauliche che governano le modalità di deflusso.

5.1.1.6. Taratura con l'evento di piena del dicembre 2009 - (scenario 1)

La ricostruzione dell'evento di piena del dicembre 2009 è stata effettuata per mezzo dei dati osservati negli idrometri localizzati lungo l'asta e dei rilievi dei profili di piena eseguiti da AIPO lungo lo sviluppo arginale in destra e sinistra nel tratto da valle dell'attraversamento dell'autostrada A1 al ponte di Concordia sulla Secchia.

La simulazione eseguita ha mostrato una buona corrispondenza tra i livelli osservati; in particolare rispetto alla stazione di misura di ponte Alto (unica significativa per l'analisi del tratto di asta ricadente nel primo stralcio di progettazione), il livello massimo osservato è risultato di 10,28 (m) (fonte annale idrologico parte seconda 2009, stazione Secchia a p.te Alto (MIr)) (25 dic. 2009), che rispetto allo zero idrometrico di 28,71 m s.m., corrisponde a 38,99 m s.m.; il valore simulato è risultato di 38,94 m s.m. con uno scostamento di 0,05 m.

Analizzando invece i dati in corrispondenza del manufatto di regolazione della cassa, il livello massimo registrato a monte dall'idrometro è di 46,55 m s.m. (considerando la quota dello zero idrometrico a 38,10 m s.m.), mentre il livello massimo misurato a valle della cassa è di 42,76 m s.m. (zero idrometrico 36,08 m s.m.). I dati ottenuti dalla simulazione portano a un livello in corrispondenza dell'idrometro a monte del manufatto della cassa è di 46,50 m s.m. (Fig. 84) e a valle del manufatto di 42,83 m s.m. (Fig. 85).

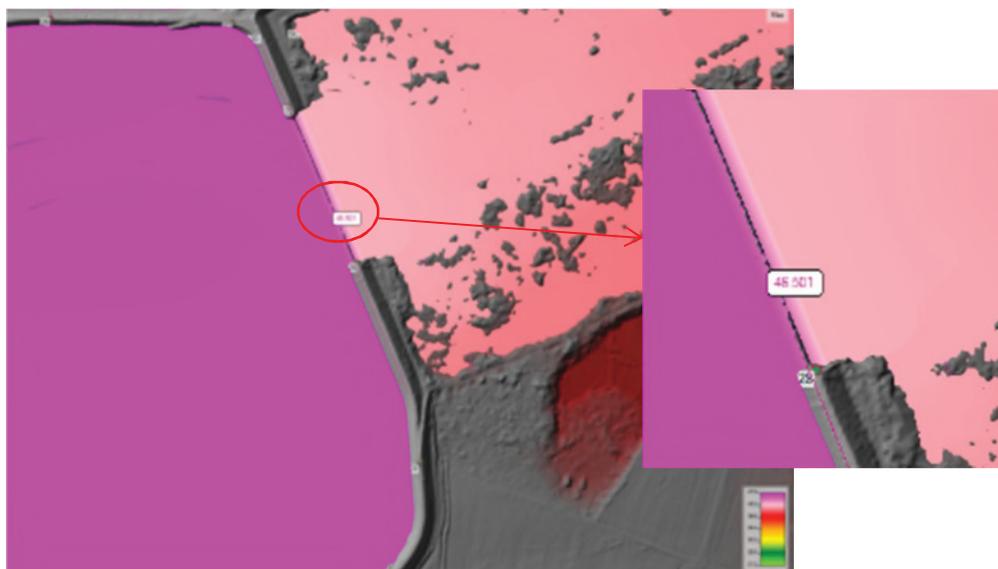


Fig. 76 Livello massimo simulato a monte del manufatto regolatore della cassa (simulazione evento marzo 2009)

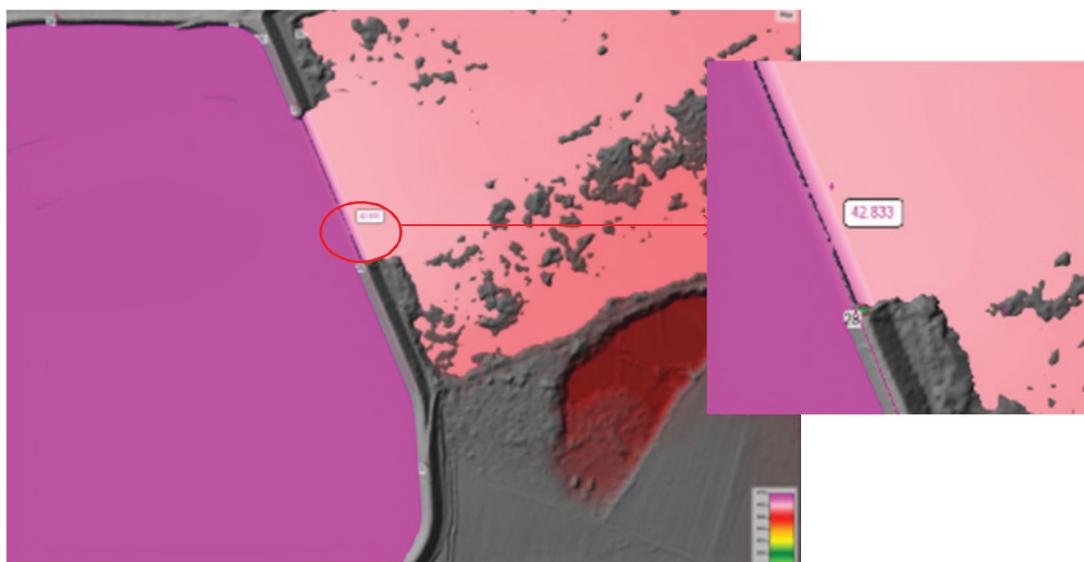


Fig. 77 Livello massimo simulato a valle del manufatto regolatore della cassa (simulazione evento marzo 2009)

Nel tratto oggetto di picchettatura della piena 2009 rilevato da AIPO lo scostamento medio risulta prossimo a 0,23 m rispetto alla picchettatura in sponda sinistra (Tab. 5) e 0,25 m in sponda destra (Tab. 6).

Tab. 5 Confronto picchettatura evento 2009 e taratura modello (sponda sinistra)

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
0	40,00	40,71
4	39,94	40,55
6	39,92	38,39
7	39,90	38,39
9	39,84	40,35
10	39,82	40,34
11	39,71	40,33
12	39,71	40,04
13	39,72	40,04
14	39,72	40,04
15	39,69	40,04
16	39,66	39,95
17	39,60	39,91
19	39,49	39,81
20	39,43	39,76
21	39,37	39,73
22	39,26	39,64
23	39,17	39,57
24	39,06	39,53
25	38,97	39,43

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
26	38,86	39,37
27	38,76	39,34
28	38,66	39,24
29	38,55	39,18
30	38,45	39,13
31	38,33	39,08
32	38,21	38,73
33	38,20	38,70
34	38,20	38,66
35	38,13	38,61
37	37,99	38,24
38	37,91	38,19
39	37,84	38,14
40	37,73	38,08
41	37,63	38,02
42	37,63	37,98
43	37,54	37,95
44	37,50	37,88
45	37,45	37,83
46	37,36	37,79
47	37,26	37,75
48	37,22	37,70
49	37,18	37,65
50	37,14	37,61
51	36,91	37,57
52	36,67	37,54
53	36,63	36,85
54	36,59	36,80
55	36,51	36,75
56	36,43	36,71
57	36,35	36,65
58	36,21	36,62
59	36,06	36,57
60	35,98	36,26
61	35,91	36,20
62	35,83	36,09
63	35,70	35,98
64	35,57	35,88
65	35,53	35,79
66	35,48	35,77
67	35,44	35,74
68	35,40	35,66
69	35,35	35,37

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
70	35,31	35,36
71	35,26	35,36
72	35,28	35,36
73	35,29	35,36
74	35,31	35,47
75	35,19	35,62
76	35,07	35,44
77	35,03	35,40
78	34,98	35,33
79	34,94	35,00
80	34,84	34,90
81	34,74	34,84
82	34,67	34,77
83	34,61	34,69
84	34,54	34,63
85	34,43	34,60
86	34,31	34,46
87	34,17	34,30
88	34,03	34,10
89	33,93	34,06
90	33,82	34,04
91	33,72	34,02
92	33,69	34,02
93	33,65	34,02
94	33,61	33,50
95	33,58	33,47
96	33,55	33,45
97	33,52	33,44
98	33,48	33,41
99	33,45	33,38
100	33,17	33,22
101	33,09	33,04
103	32,95	32,94
104	32,87	32,86
105	32,87	32,81
106	32,86	32,80
107	32,84	32,80
108	32,82	32,80
109	32,81	32,80
110	32,80	32,79
111	32,80	32,78
112	32,80	32,76
113	32,79	32,73

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
114	32,79	32,71
115	32,77	32,67
116	32,76	32,63
117	32,74	32,61
118	32,73	32,57
119	32,71	32,51
120	32,66	32,47
121	32,63	32,46
122	32,60	32,46
123	32,61	32,47
124	32,61	32,61
125	32,62	32,37
126	32,59	32,33
127	32,60	32,32
128	32,62	32,30
129	32,63	32,39
130	32,65	32,17
131	32,56	32,08
132	32,46	32,02
133	32,37	31,95
134	32,29	31,96
135	32,21	31,92
136	32,13	31,81
137	32,05	31,76
138	31,97	31,69
139	31,94	31,67
140	31,92	31,63
141	31,85	31,59
142	31,78	31,52
143	31,72	31,43
144	31,64	31,29
145	31,58	31,26
146	31,50	31,24
147	31,43	31,27
148	31,36	31,16
149	31,29	31,13
150	31,23	31,02
151	31,15	30,92
152	31,08	30,91
153	30,99	30,89
154	30,92	30,85
155	30,87	30,78
156	30,82	30,78

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
157	30,77	30,76
158	30,78	30,75
159	30,79	30,75
160	30,78	31,26
161	30,77	30,68
162	30,76	30,66
163	30,73	30,62
164	30,69	30,60
165	30,70	30,59
166	30,70	30,58
167	30,71	30,57
168	30,72	30,57
169	30,69	30,56
170	30,70	30,55
171	30,70	30,55
172	30,70	30,67
173	30,64	30,46
174	30,58	30,45
175	30,51	30,44
176	30,45	30,45
177	30,38	30,42
178	30,34	30,37
179	30,30	30,43
180	30,26	30,63
181	30,22	30,32
182	30,38	30,28
183	30,35	30,29
184	30,35	30,41
185	30,27	30,09
187	30,12	30,00
188	30,10	29,97
189	30,06	29,92
190	30,03	29,92
191	30,03	29,92
192	30,02	29,91
193	30,02	29,91
194	30,07	29,90
195	30,14	30,27
196	30,14	29,96
197	30,15	29,85
198	30,07	30,17
199	30,00	29,79
200	29,93	29,83

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
201	29,96	29,77
202	29,98	29,82
203	29,95	29,78
204	29,92	29,73
205	29,89	29,63
206	29,82	29,61
207	29,74	29,66
208	29,71	29,64
209	29,69	29,58
210	29,66	29,50
211	29,47	29,45
212	29,34	29,44
213	29,37	29,47
214	29,40	29,31
215	29,43	29,29
216	29,34	29,43
217	29,23	29,38
218	29,13	29,26
219	29,03	29,12
220	28,93	29,04
221	28,85	28,97
222	28,78	28,90
223	28,79	28,84
224	28,80	28,76
225	28,81	28,66
226	28,70	28,64
227	28,60	28,63
228	28,54	28,58
229	28,48	28,45
230	28,41	28,42
231	28,37	28,32

Tab. 6 Confronto picchettatura evento 2009 e taratura modello (sponda destra)

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
0	40,61	41,28
1	40,60	41,27
2	40,59	41,26
3	40,58	41,24
5	40,37	41,15

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
6	40,27	41,14
7	40,32	41,13
8	40,31	41,07
9	40,31	41,03
10	40,30	40,87
11	40,13	40,88
12	40,16	40,78
14	40,21	40,69
15	40,11	40,64
16	40,02	40,57
17	39,93	40,47
18	39,84	40,43
20	39,65	40,42
21	39,56	40,37
22	39,47	40,28
23	39,49	40,17
24	39,52	40,16
26	39,62	40,15
27	39,66	40,21
28	39,71	40,05
29	39,65	40,00
30	39,58	39,94
31	39,57	39,92
32	39,57	39,82
33	39,56	39,79
34	39,48	39,75
35	39,42	39,73
36	39,22	39,58
37	39,05	39,54
38	38,89	39,41
39	38,86	39,36
40	38,84	39,35
41	38,81	39,33
42	38,79	39,23
43	38,76	39,20
44	38,74	39,18
45	38,62	39,14
46	38,51	39,11
47	38,40	39,08
48	38,30	38,73
49	38,20	38,66
50	38,11	38,60
51	38,02	38,26

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
52	37,92	38,22
53	37,83	38,17
54	37,79	38,12
55	37,76	38,07
56	37,72	38,03
57	37,66	37,98
58	37,60	37,96
59	37,50	37,90
60	37,40	37,84
61	37,31	37,80
62	37,23	37,76
63	37,14	37,72
64	37,06	37,68
65	36,98	37,63
66	36,89	37,59
67	36,80	37,55
68	36,73	37,16
69	36,64	36,82
70	36,55	36,77
71	36,44	36,72
72	36,32	36,67
73	36,20	36,63
74	36,09	36,59
75	35,97	36,29
76	35,85	36,23
77	35,78	36,14
78	35,72	36,02
79	35,65	35,90
80	35,62	35,76
81	35,60	35,73
82	35,57	35,73
83	35,55	35,72
84	35,52	35,72
85	35,46	35,69
86	35,40	35,65
87	35,34	35,60
88	35,28	35,56
89	35,22	35,43
90	35,20	35,37
91	35,17	35,34
92	35,15	35,34
93	35,13	35,29
94	35,11	35,22

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
95	35,03	35,02
96	34,94	34,92
97	34,85	34,84
98	34,76	34,76
99	34,68	34,70
100	34,59	34,69
101	34,52	34,68
102	34,46	34,64
103	34,39	34,58
104	34,32	34,32
105	34,26	34,20
106	34,19	34,11
107	34,16	34,09
108	34,12	34,08
109	34,01	34,24
110	33,90	34,04
111	33,83	33,99
112	33,76	33,91
113	33,68	33,73
114	33,60	33,67
115	33,53	33,50
116	33,46	33,48
117	33,38	33,36
118	33,26	33,19
119	33,14	33,05
120	33,07	33,00
121	33,01	32,93
122	32,94	32,88
123	32,92	32,87
124	32,91	32,87
125	32,89	32,86
126	32,86	32,86
127	32,84	32,85
128	32,83	32,82
129	32,82	32,80
130	32,81	32,77
131	32,81	32,72
132	32,80	32,69
133	32,79	32,68
134	32,80	32,68
135	32,80	32,65
136	32,80	32,63
137	32,81	32,57

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
138	32,78	32,55
139	32,79	32,54
140	32,80	32,50
141	32,75	32,44
142	32,70	32,41
143	32,65	32,40
144	32,68	32,40
145	32,72	32,44
146	32,75	32,48
147	32,69	32,53
148	32,66	32,20
149	32,65	32,19
150	32,64	32,18
151	32,41	32,14
152	32,33	32,06
153	32,26	31,96
154	32,17	31,96
155	32,09	31,85
156	32,02	31,82
157	31,94	31,77
158	31,86	31,67
159	31,65	31,56
160	31,70	31,82
161	31,64	31,44
162	31,59	31,38
163	31,46	31,32
164	31,34	31,28
165	31,31	31,39
166	31,28	31,16
167	31,25	31,14
168	31,22	31,13
169	31,19	31,14
170	31,16	31,12
171	31,10	31,00
172	31,04	30,91
173	30,98	30,88
174	30,92	30,87
175	30,86	30,99
176	30,80	30,79
177	30,77	30,77
178	30,76	31,33
179	30,75	30,79
180	30,77	30,74

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
181	30,77	30,70
182	30,73	30,67
183	30,70	30,66
184	30,66	30,67
185	30,65	30,62
186	30,64	30,56
187	30,63	30,55
188	30,69	30,55
189	30,70	30,54
190	30,66	30,51
191	30,61	30,46
192	30,61	30,44
193	30,60	30,44
194	30,51	30,45
195	30,43	30,71
196	30,43	30,37
197	30,42	30,29
198	30,42	30,28
199	30,37	30,26
200	30,33	30,25
201	30,31	30,25
202	30,30	30,21
203	30,27	30,17
204	30,24	30,07
205	30,21	30,03
206	30,19	30,03
207	30,16	30,00
208	30,13	29,98
209	30,12	29,91
210	30,09	29,89
211	30,10	29,88
212	30,10	29,94
213	30,11	29,94
214	30,06	29,85
215	30,02	29,82
216	30,00	29,83
217	29,99	30,40
218	29,97	29,87
219	29,94	29,84
220	29,91	29,64
221	29,88	29,62
222	29,85	29,62
223	29,81	29,74

STANTE	Piena dic. 2009	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
224	29,76	29,76
225	29,71	29,61
226	29,59	29,48
227	29,47	29,45
228	29,44	29,40
229	29,41	29,39
230	29,38	29,38
231	29,36	29,37
232	29,33	29,64
233	29,16	29,25
234	28,99	29,13
235	28,96	29,04
236	28,94	28,98
237	28,92	28,91
238	28,81	28,85
239	28,69	28,78
240	28,65	28,72
241	28,61	28,65
242	28,56	28,60
243	28,52	28,76
244	28,48	28,94
245	28,44	28,93
246	28,40	28,35

Il colmo dell'idrogramma di piena dell'evento del dicembre del 2009 è stato laminato dalla cassa di espansione per circa il 37%, da circa 1027 a 643 m³/s. Di seguito si riportano in forma numerica e grafica, gli involuipi dei colmi di piena generati dalla propagazione lungo il tratto simulato.

Tab. 7 Valori al colmo in portata dell'idrogramma di piena del dicembre del 2009 dalla SS 9 al ponte di Concordia

Sezione	Portata al colmo (m ³ /s)
SS9 SC_166-00	1027
Manufatto regolatore SC_159-00	643
Sfioro laterale SC_163-00	371
Ponte autostrada A1 SC_153-00	542
Ponte Alto SC_142-00	521
Ponte dell'Uccellina SC_130-00	513
Ponte Bacchello SC_115-00	497
Ponte Motta SC_093-00	466
Ponte Pioppa SC_080-00	423
Ponte Concordia SC_061-00	395

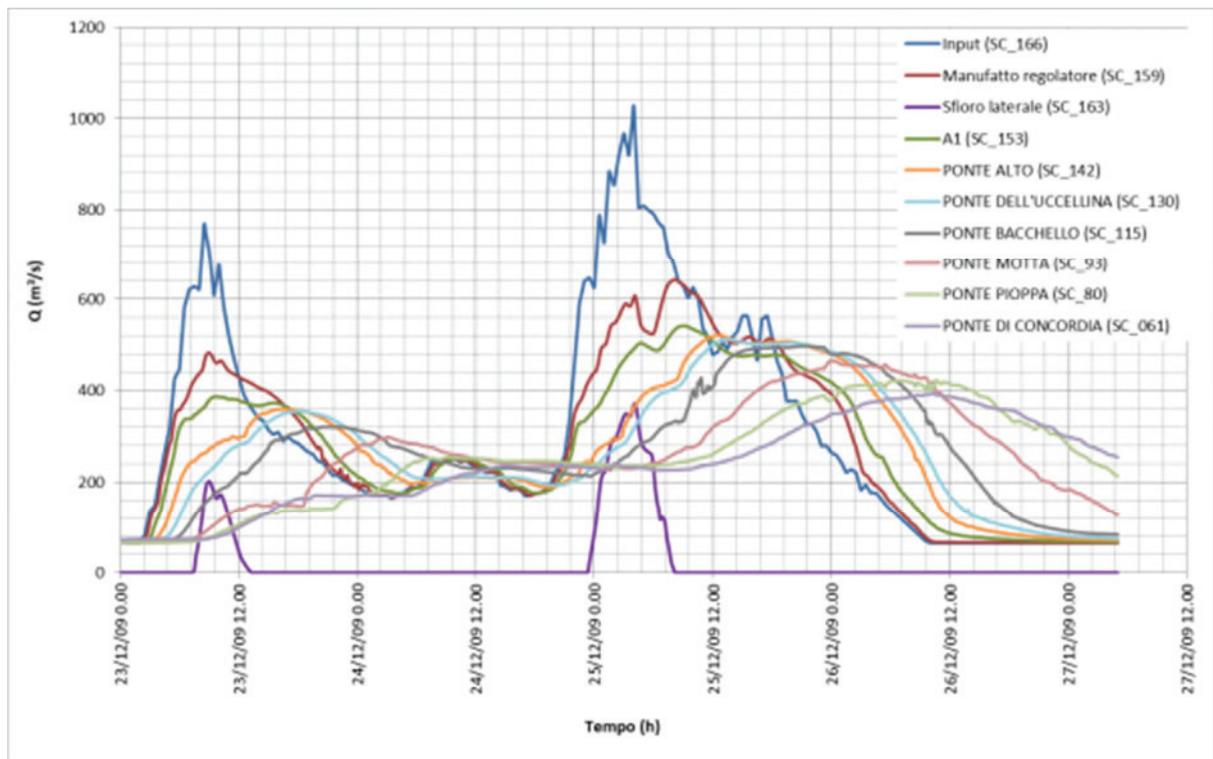


Fig. 78 Valori al colmo in portata dell'idrogramma di piena del dicembre del 2009 dalla SS 9 a ponte Alto



Fig. 79 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del dicembre del 2009



Fig. 80 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del dicembre del 2009



Fig. 81 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del dicembre del 2009

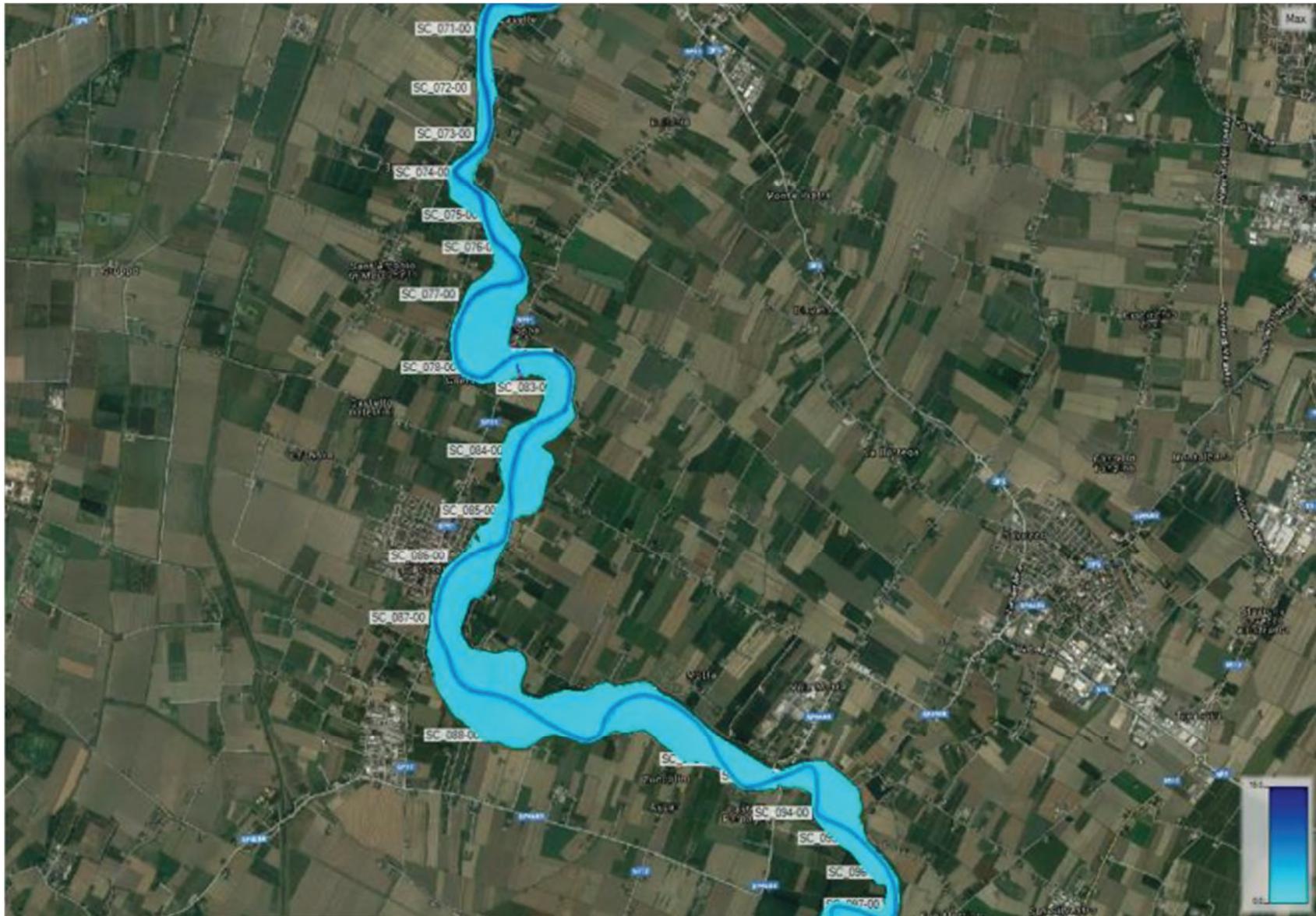


Fig. 82 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del dicembre del 2009

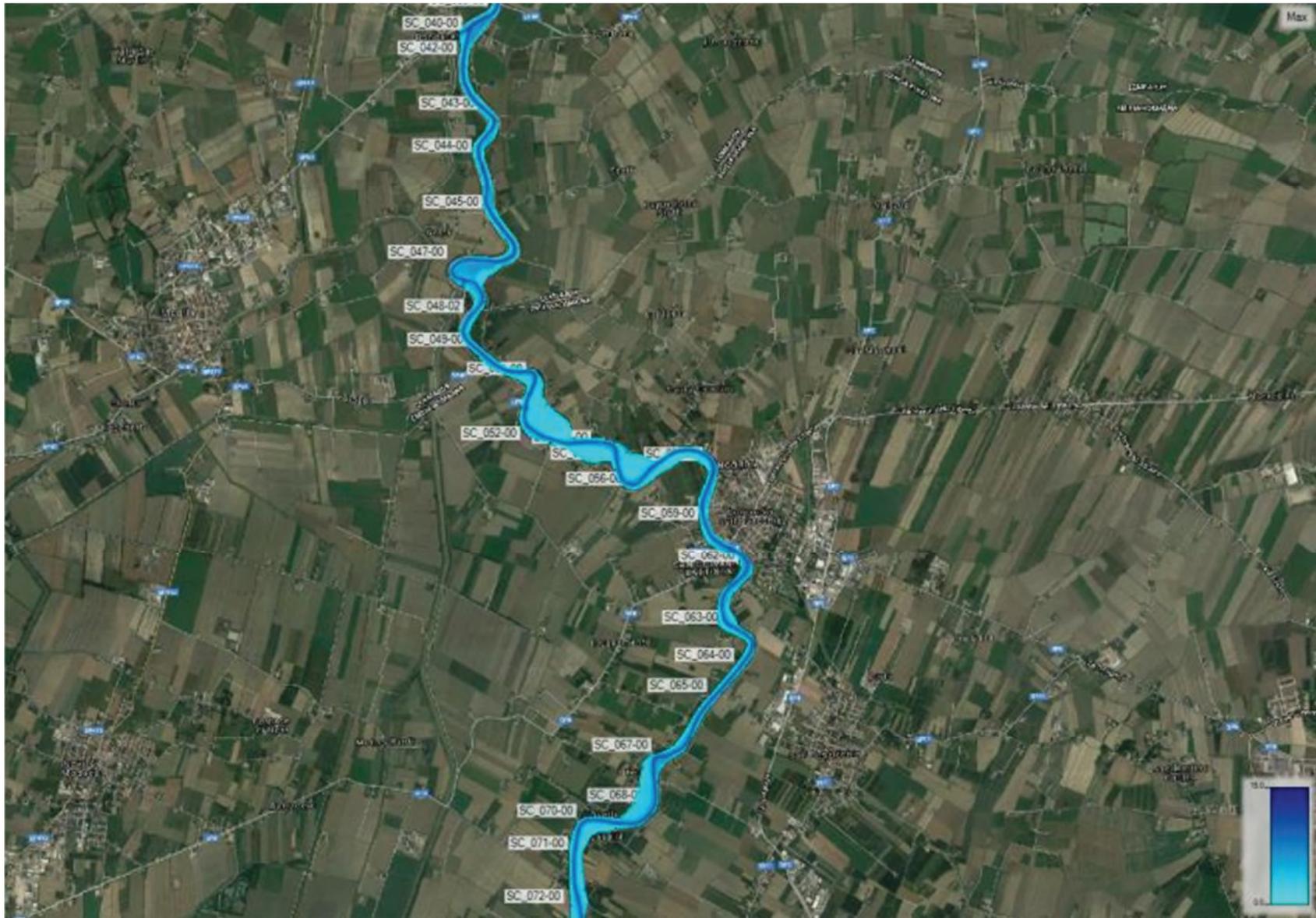


Fig. 83 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del dicembre del 2009

5.1.1.7. Taratura con evento di piena 2015 - (scenario 2)

La ricostruzione dell'evento di piena di fine marzo 2015 è stata utilizzata come verifica della taratura del modello. Anche per tale scenario è stato effettuato un confronto con i dati osservati durante il corso dell'evento dagli idrometri lungo l'asta e con la picchettatura eseguita da AIPO lungo lo sviluppo arginale in destra e sinistra nel tratto da valle dell'attraversamento dell'autostrada A1 al ponte di Concordia sulla Secchia.

Rispetto alla stazione di misura di ponte Alto, il livello massimo osservato è risultato di circa 38,69 m s.m. (fonte AIPO), mentre la simulazione ha fornito 38,40 m s.m, con una differenza 0,27 m.

I dati in corrispondenza del manufatto di regolazione della cassa, forniscono un livello idrometrico massimo a monte di 46,73 m s.m. (zero idrometrico a 38,10 m s.m., come indicato da AIPO) e a valle di 43,09 m s.m. (zero idrometrico a 36,08 m s.m., come indicato da AIPO). I valori di simulazione risultano invece rispettivamente di 46,74 m s.m. e di 43,08 m s.m.

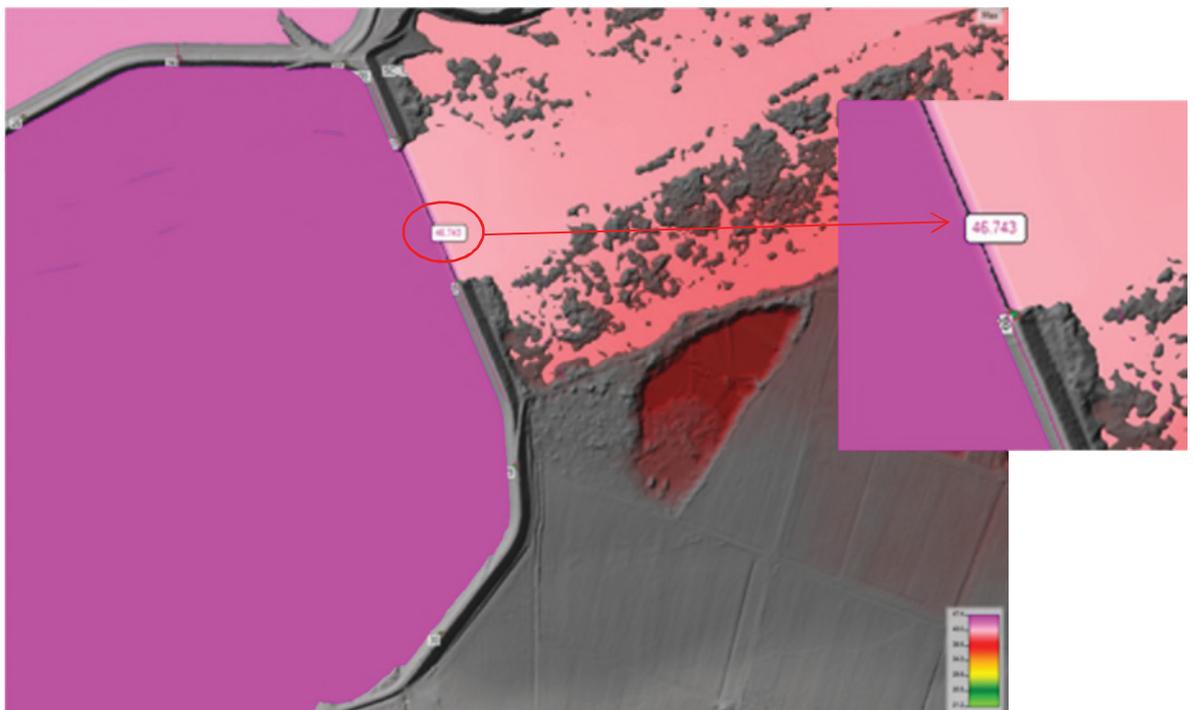


Fig. 84 Livelli massimi simulati a monte del manufatto regolatore della cassa (simulazione evento marzo 2015)

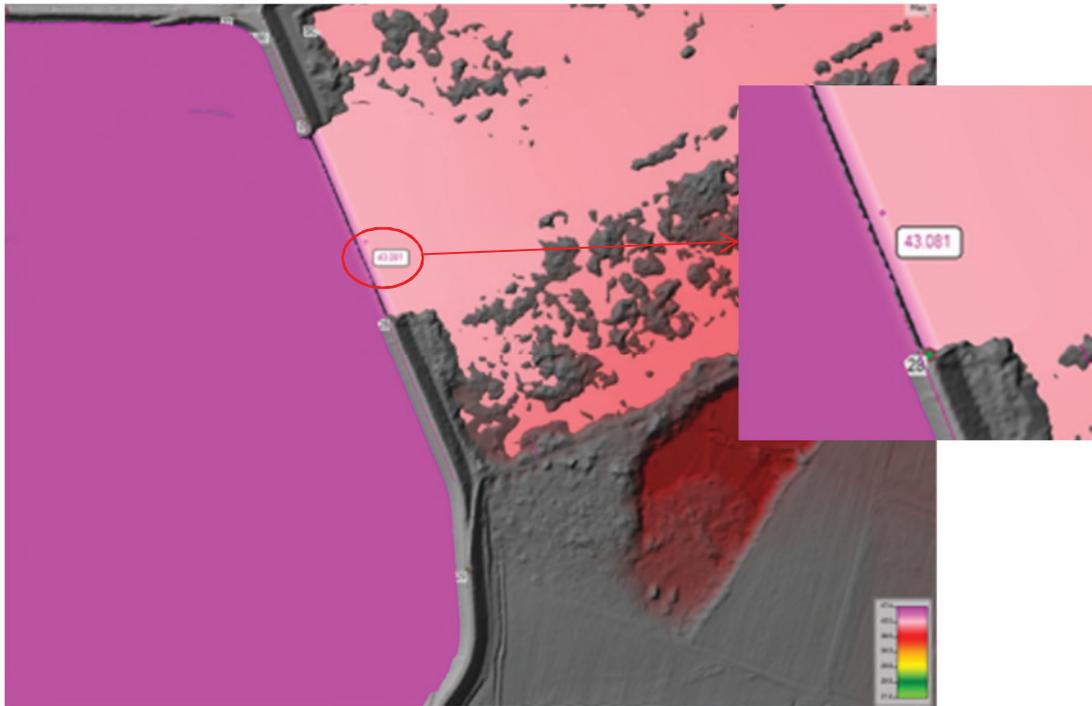


Fig. 85 Livelli massimi simulati a monte del manufatto regolatore della cassa (simulazione evento marzo 2015)

Nel tratto oggetto di picchettatura della piena 2015 rilevato da AIPO lo scostamento medio risulta prossimo a 0,20 m rispetto alla picchettatura in sponda sinistra (Tab. 8) e 0,20 m in sponda destra (Tab. 9).

Tab. 8 Confronto picchettatura evento 2015 e taratura modello (sponda sinistra)

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
0	40,06	40,04
4	40,05	39,82
6	39,90	39,73
7	39,81	39,67
9	39,64	39,56
10	39,35	39,53
11	39,52	39,50
12	39,31	38,42
13	39,10	38,42
14	39,10	38,42
15	39,09	38,42
16	39,09	38,92
17	38,94	38,89
19	38,84	38,79
20	38,85	38,74
21	38,59	38,70
22	38,54	38,66

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
23	38,58	38,60
24	38,72	38,57
25	38,54	38,48
26	38,34	38,44
27	38,15	38,42
28	37,97	38,34
29	37,78	38,29
30	38,19	38,25
31	37,91	38,21
32	37,89	37,84
33	37,84	37,80
34	37,82	37,77
35	37,79	37,73
37	37,58	37,36
38	37,47	37,31
39	37,20	37,25
40	37,34	37,21
41	37,15	37,15
42	37,11	37,12
43	37,07	37,09
44	37,00	37,04
45	36,61	37,00
46	36,78	36,96
47	36,55	36,93
48	36,57	36,89
49	36,46	36,86
50	36,34	36,82
51	36,30	36,80
52	36,27	36,77
53	36,25	36,07
54	36,22	36,03
55	36,21	35,99
56	36,20	35,96
57	35,85	35,91
58	36,09	35,88
59	36,04	35,85
60	35,95	35,54
61	35,87	35,50
62	35,79	35,41
63	35,69	35,32
64	35,35	35,22

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
65	35,32	35,12
66	35,29	35,06
67	35,26	35,03
68	35,20	34,98
69	35,11	34,71
70	35,02	34,71
71	34,96	34,71
72	34,89	34,71
73	34,91	34,71
74	34,94	34,70
75	34,96	34,83
76	34,97	34,67
77	34,84	34,64
78	34,76	34,58
79	34,68	34,35
80	34,51	34,27
81	34,38	34,23
82	34,46	34,17
83	34,35	34,08
84	34,24	33,99
85	34,15	33,92
86	34,06	33,86
87	33,70	33,74
88	33,33	33,47
89	32,97	33,47
90	32,60	33,46
91	32,87	33,46
92	32,79	33,47
93	32,71	33,46
94	32,90	32,80
95	32,88	32,75
96	32,86	32,72
97	32,76	32,70
98	32,64	32,67
99	32,55	32,61
100	32,38	32,47
101	32,31	32,27
103	32,19	32,19
104	32,12	32,09
105	32,08	32,00
106	32,03	31,98

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
107	31,98	31,98
108	31,93	31,97
109	31,88	31,97
110	31,98	31,96
111	32,08	31,93
112	31,95	31,90
113	31,82	31,85
114	31,69	31,82
115	31,74	31,77
116	31,79	31,70
117	31,84	31,66
118	31,78	31,59
119	31,72	31,54
120	31,64	31,48
121	31,64	31,46
122	31,65	31,45
123	31,54	31,44
124	31,62	31,53
125	31,52	31,32
126	31,37	31,29
127	31,43	31,27
128	31,47	31,24
129	31,52	31,28
130	31,56	31,11
131	31,55	31,01
132	31,41	30,95
133	31,25	30,88
134	31,12	30,85
135	31,00	30,82
136	30,87	30,73
137	30,95	30,66
138	31,04	30,60
139	31,03	30,58
140	30,75	30,55
141	30,88	30,48
142	30,74	30,38
143	30,60	30,32
144	30,45	30,20
145	30,35	30,15
146	30,24	30,11
147	30,20	30,09

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
148	30,16	30,07
149	30,04	29,97
150	29,95	29,85
151	29,68	29,79
152	29,87	29,77
153	29,77	29,69
154	29,62	29,61
155	29,50	29,50
156	29,39	29,48
157	29,27	29,46
158	29,47	29,43
159	29,37	29,39
160	29,38	29,84
161	29,34	29,34
162	29,32	29,30
163	29,23	29,20
164	29,21	29,17
165	29,17	29,15
166	29,18	29,13
167	29,19	29,12
168	29,17	29,11
169	28,99	29,04
170	28,95	29,02
171	28,90	29,01
172	29,32	29,11
173	29,00	28,95
174	28,96	28,92
175	28,81	28,89
176	28,67	28,87
177	28,80	28,82
178	28,92	28,77
179	28,59	28,76
180	28,64	28,91
181	28,60	28,67
182	28,56	28,65
183	28,36	28,64
184	28,32	28,64
185	28,28	28,45
187	28,21	28,35
188	28,24	28,31
189	28,27	28,26

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
190	28,15	28,24
191	28,12	28,22
192	28,09	28,19
193	28,10	28,17
194	27,93	28,15
195	27,96	28,29
196	27,98	28,12
197	28,00	28,07
198	27,93	27,95
199	27,99	28,02
200	27,93	27,96
201	27,86	27,93
202	27,79	27,96
203	27,74	27,92
204	27,47	27,90
205	27,71	27,84
206	27,60	27,81
207	27,50	27,82
208	27,54	27,73
209	27,44	27,69
210	27,45	27,67
211	27,35	27,64
212	27,18	27,60
213	27,33	27,72
214	27,21	27,51
215	27,10	27,49
216	27,13	27,51
217	27,11	27,56
218	27,04	27,41
219	27,04	27,32
220	26,82	27,24
221	26,85	27,18
222	26,86	27,13
223	26,82	27,08
224	26,79	27,02
225	26,76	26,92
226	26,74	26,87
227	26,72	26,86
228	26,52	26,82
229	26,33	26,71
230	26,34	26,67

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
231	26,35	26,61
232	26,36	26,54
233	26,44	26,50
234	26,39	26,47
235	26,24	26,43
236	26,21	26,38
237	26,13	26,30
238	25,98	26,22
239	25,95	26,15
240	25,92	26,07
241	25,88	26,02
242	25,93	25,98
243	25,65	25,92
244	25,77	25,88
245	25,91	25,83
246	25,61	25,78
247	25,55	25,75
248	25,48	25,71
249	25,41	25,67
250	25,34	25,61
251	25,29	25,55
252	25,23	25,50
253	25,16	25,44

Tab. 9 Confronto picchettatura evento 2015 e taratura modello (sponda destra)

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
0	40,80	40,90
1	40,79	40,89
2	40,79	40,88
3	40,78	40,85
5	40,81	40,71
6	40,54	40,69
7	40,58	40,68
8	40,62	40,58
9	40,65	40,49
10	40,45	40,34
11	40,23	40,32
12	40,27	40,23

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
14	39,98	40,08
15	39,69	39,99
16	39,72	39,85
17	39,75	39,71
18	39,78	39,67
20	39,84	39,64
21	39,85	39,58
22	39,65	39,48
23	39,28	39,35
24	39,29	39,31
26	39,30	39,25
27	39,31	39,38
28	39,28	39,10
29	39,13	39,01
30	39,11	38,92
31	38,63	38,87
32	39,00	38,80
33	38,84	38,77
34	38,72	38,73
35	38,71	38,71
36	38,66	38,61
37	38,46	38,58
38	38,26	38,47
39	38,37	38,43
40	37,86	38,42
41	37,92	38,41
42	38,03	38,33
43	37,78	38,31
44	38,16	38,29
45	38,13	38,26
46	37,97	38,23
47	38,02	38,21
48	37,50	37,83
49	37,97	37,77
50	37,85	37,72
51	37,84	37,38
52	37,84	37,33
53	37,40	37,29
54	37,29	37,24
55	37,19	37,20
56	37,22	37,16

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
57	37,14	37,12
58	37,19	37,10
59	36,80	37,05
60	36,57	37,01
61	36,41	36,97
62	36,34	36,94
63	36,26	36,91
64	36,19	36,87
65	36,11	36,84
66	36,03	36,81
67	36,03	36,78
68	36,03	36,38
69	36,02	36,05
70	36,02	36,01
71	36,14	35,97
72	36,13	35,93
73	36,13	35,90
74	36,12	35,87
75	35,97	35,56
76	35,82	35,52
77	35,67	35,45
78	35,52	35,36
79	35,37	35,25
80	35,02	35,02
81	35,24	35,01
82	35,15	35,00
83	35,05	35,00
84	34,95	35,00
85	34,85	34,96
86	34,76	34,91
87	34,67	34,86
88	34,57	34,78
89	35,20	34,70
90	35,11	34,65
91	35,16	34,62
92	35,08	34,61
93	35,04	34,56
94	35,00	34,49
95	34,90	34,37
96	34,79	34,29
97	34,68	34,23

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
98	34,57	34,16
99	34,46	34,09
100	34,32	34,07
101	34,46	34,05
102	34,34	34,00
103	34,23	33,92
104	34,12	33,74
105	34,01	33,66
106	33,90	33,54
107	33,80	33,49
108	33,69	33,46
109	33,58	33,45
110	33,47	33,29
111	33,37	33,19
112	33,27	33,15
113	33,16	33,05
114	33,04	32,95
115	32,92	32,79
116	32,81	32,76
117	32,69	32,60
118	32,58	32,43
119	32,46	32,32
120	32,26	32,26
121	32,19	32,19
122	32,14	32,14
123	32,13	32,11
124	32,13	32,11
125	32,10	32,10
126	32,06	32,09
127	32,03	32,06
128	32,01	32,01
129	31,98	31,97
130	31,96	31,94
131	31,94	31,84
132	31,92	31,79
133	31,90	31,78
134	31,68	31,77
135	31,69	31,72
136	31,70	31,69
137	31,71	31,62
138	31,72	31,58

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
139	31,73	31,56
140	31,68	31,52
141	31,63	31,43
142	31,62	31,39
143	31,60	31,38
144	31,57	31,36
145	31,53	31,34
146	31,50	31,34
147	31,52	31,32
148	31,54	31,15
149	31,45	31,13
150	31,36	31,12
151	31,28	31,08
152	31,26	30,99
153	31,24	30,90
154	31,21	30,85
155	31,11	30,82
156	31,03	30,74
157	30,93	30,68
158	30,84	30,59
159	30,65	30,44
160	30,68	30,67
161	30,42	30,33
162	30,52	30,28
163	30,36	30,25
164	30,21	30,20
165	30,09	30,23
166	29,98	30,03
167	29,93	30,01
168	29,89	30,00
169	29,85	29,99
170	29,81	29,97
171	29,82	29,85
172	29,82	29,76
173	29,59	29,68
174	29,58	29,63
175	29,44	29,64
176	29,43	29,51
177	29,42	29,50
178	29,31	29,77
179	29,38	29,42

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
180	29,36	29,39
181	29,20	29,35
182	29,20	29,31
183	29,16	29,28
184	29,08	29,25
185	29,11	29,16
186	29,08	29,12
187	28,96	29,11
188	29,05	29,11
189	29,02	29,07
190	28,92	29,01
191	28,92	28,94
192	28,93	28,90
193	28,97	28,88
194	28,86	28,86
195	28,83	29,00
196	28,69	28,76
197	28,68	28,69
198	28,67	28,68
199	28,54	28,67
200	28,65	28,66
201	28,55	28,63
202	28,55	28,55
203	28,46	28,50
204	28,44	28,43
205	28,41	28,41
206	28,09	28,38
207	28,34	28,34
208	28,23	28,30
209	28,19	28,21
210	28,11	28,13
211	28,03	28,11
212	27,92	28,09
213	27,98	28,15
214	27,99	28,02
215	27,89	28,01
216	27,90	27,98
217	27,85	28,29
218	27,85	27,88
219	27,65	27,89
220	27,64	27,86

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
221	27,62	27,83
222	27,60	27,81
223	27,59	27,81
224	27,50	27,74
225	27,41	27,70
226	27,37	27,62
227	27,30	27,60
228	27,34	27,55
229	27,29	27,54
230	27,22	27,54
231	27,19	27,49
232	27,12	27,66
233	27,17	27,41
234	27,03	27,33
235	26,97	27,25
236	26,96	27,19
237	26,95	27,14
238	26,85	27,09
239	26,77	27,03
240	26,73	26,98
241	26,75	26,91
242	26,66	26,84
243	26,59	26,97
244	26,66	27,01
245	26,49	27,03
246	26,42	26,63
247	26,36	26,56
248	26,31	26,52
249	26,25	26,48
250	26,19	26,43
251	26,13	26,40
252	26,07	26,35
253	25,91	26,29
254	25,80	26,24
255	25,69	26,19
256	25,81	26,14
257	25,73	25,96
258	25,65	25,92
259	25,57	25,87
260	25,42	25,84
261	25,43	25,79
262	25,41	25,69

STANTE	Piena marzo 2015	
	RILEVATO	SIMULATO
	Livello (m s.m.)	Livello (m s.m.)
263	25,33	25,63
264	25,23	25,61
265	25,13	25,56
266	25,09	25,50
267	25,03	25,42
268	24,96	25,33

Il colmo dell'idrogramma di piena dell'evento del marzo del 2015 è stato laminato dalla cassa di espansione per circa il 42%, da circa 933 a 544 m³/s. Di seguito si riportano in forma numerica e grafica, gli involucri dei colmi di piena generati dalla propagazione lungo il tratto simulato.

Tab. 10 Andamento dei valori al colmo dell'idrogramma dell'evento di piena del marzo del 2015 dalla SS 9 al ponte di Concordia

Sezione	Portata al colmo (m ³ /s)
SS9 SC_166-00	933
Manufatto regolatore SC_159-00	544
Sfioro laterale SC_163-00	308
Ponte autostrada A1 SC_153-00	442
Ponte Alto SC_142-00	390
Ponte dell'Uccellina SC_130-00	376
Ponte Bacchello SC_115-00	366
Ponte Motta SC_093-00	307
Ponte Pioppa SC_080-00	284
Ponte Concordia SC_061-00	247

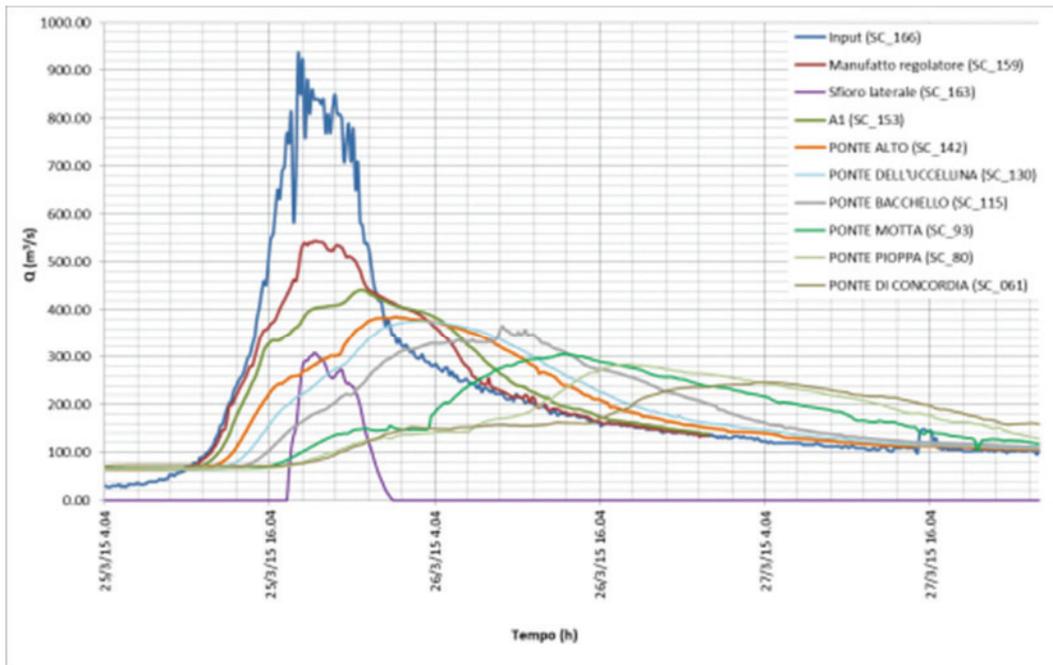


Fig. 86 Variazione dell'idrogramma in portata dell'evento di piena del marzo del 2015 dalla SS 9 a ponte Alto



Fig. 87 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del marzo 2015

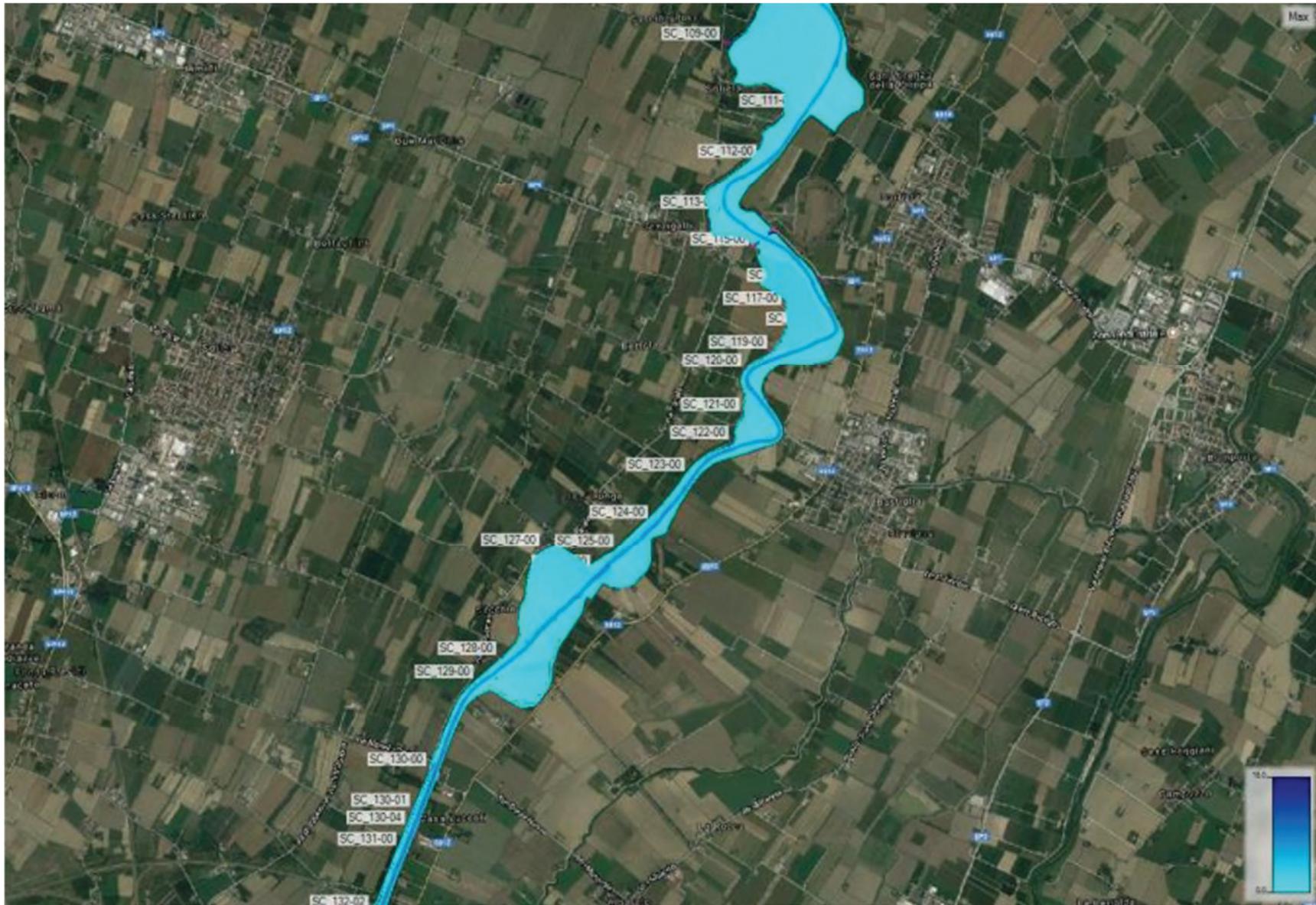


Fig. 88 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del marzo 2015

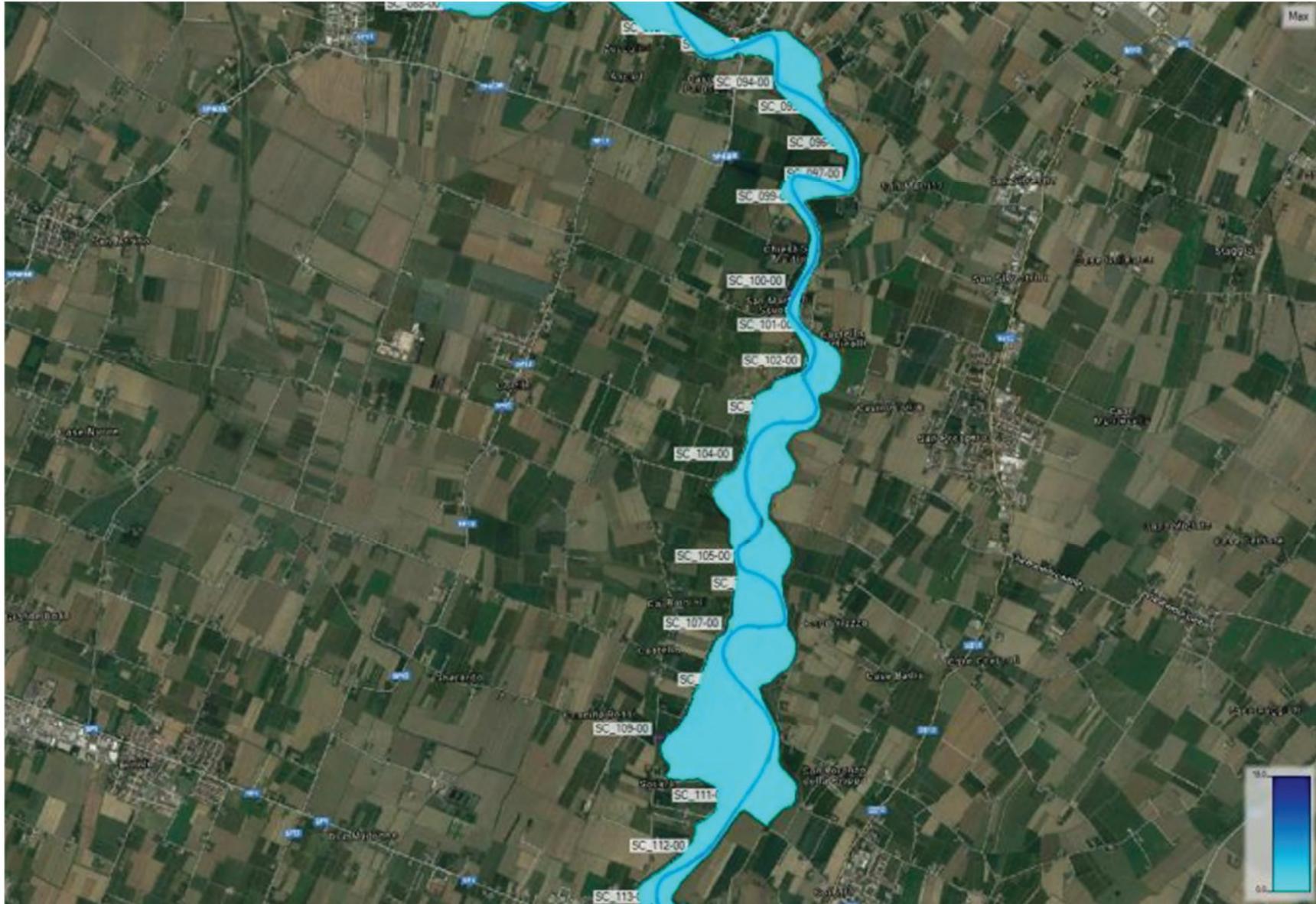


Fig. 89 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del marzo 2015

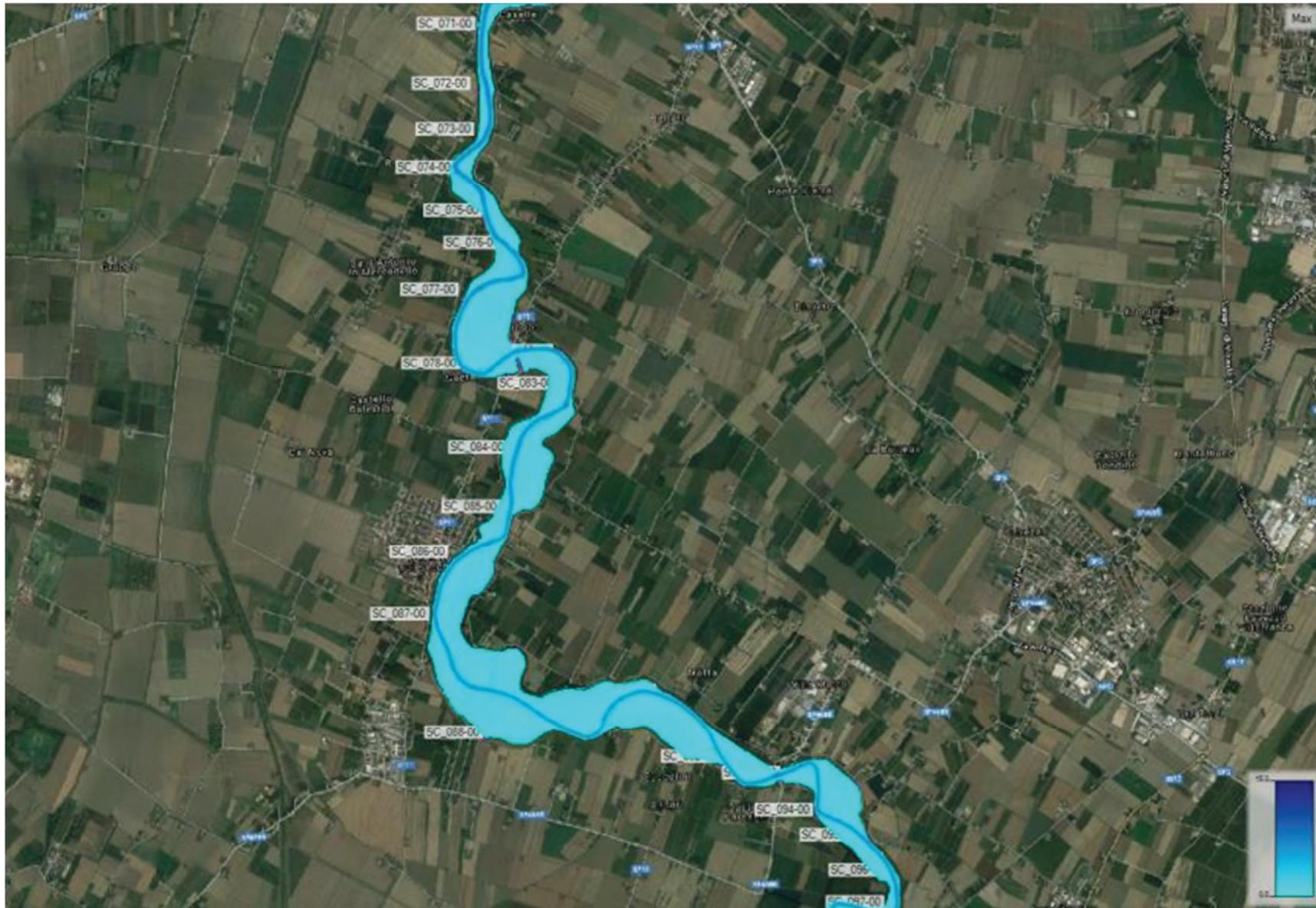


Fig. 90 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del marzo 2015

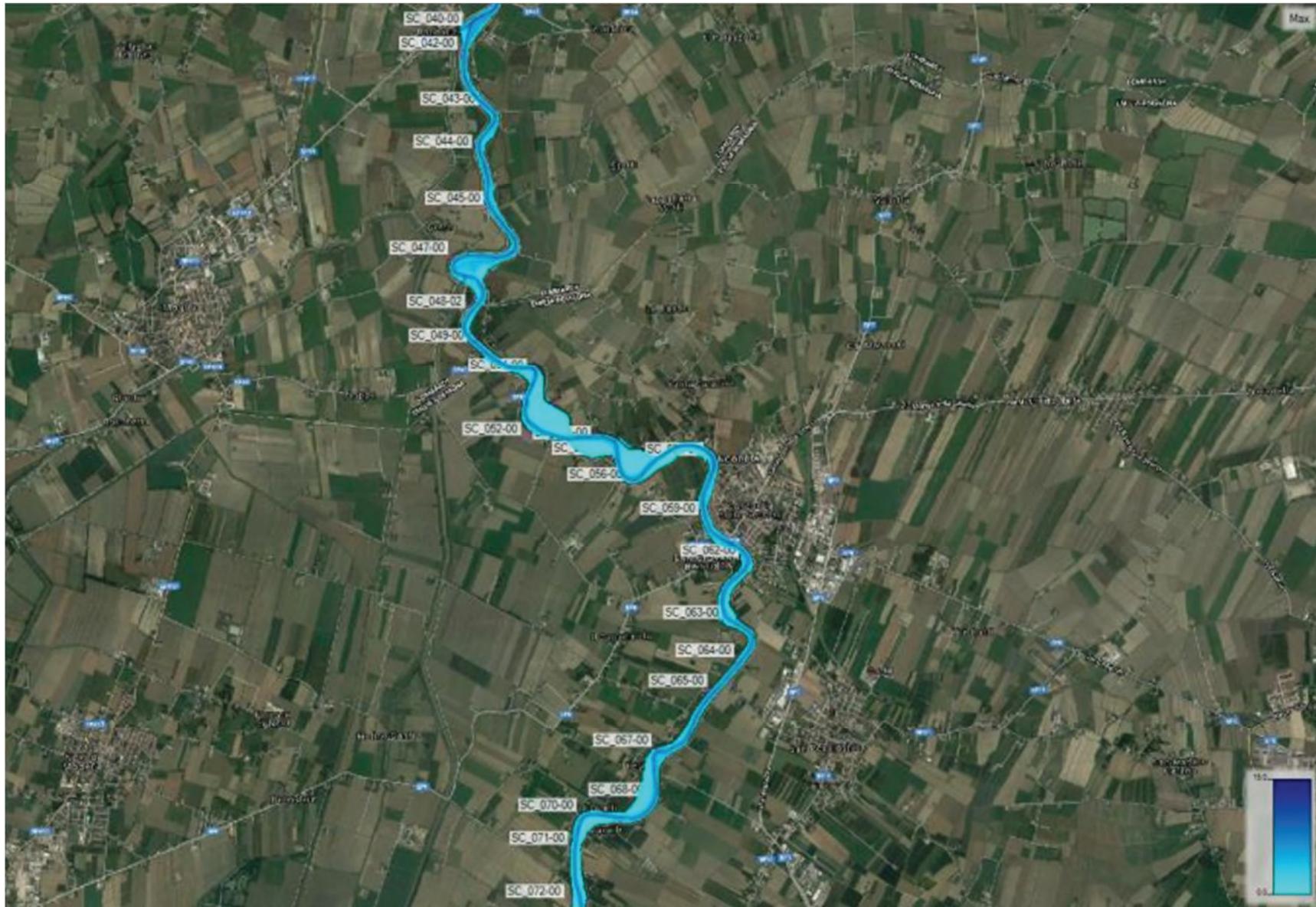


Fig. 91 Aree inondate e massime altezze idriche della piena del marzo 2015