



Autorità di bacino distrettuale del fiume Po

PROGETTO DI VARIANTE AL PAI PO: ESTENSIONE AI BACINI IDROGRAFICI DEL RENO, ROMAGNOLI E CONCA MARECCHIA


FASCE FLUVIALI

Monografia Savio e Borello

Dicembre 2025



Metadata

Titolo	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Monografia Savio e Borello
Descrizione	Il presente documento è la Monografia dei fiumi Savio e Borello allegata al <i>Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Relazione Tecnica</i> . Questo elaborato contiene una descrizione delle analisi idrologiche e idrauliche volte all'identificazione delle attuali condizioni di pericolosità idraulica e alla definizione delle relative linee di assetto, identificate in coerenza con le strategie generali descritte nella relazione tecnica
Data creazione	2025-11-01
Data ultima versione	2025-12-10
Stato	Versione 01
Creatore	Autorità di bacino distrettuale del fiume Po – Settore 1, Andrea Colombo, Marta Martinengo, Ludovica Marinelli, Laura Casicci
Copertura	Fiume Savio e torrente Borello
Fonti	Attività di studio e analisi sui fiumi dei bacini Reno, Romagnoli e Conca Marecchia per l'aggiornamento dei PAI e del PGRA (ADBPO, 2025)
Lingua	Italiano
Nome del file	Monografia_Savio_Borello
Formato	pdf
Relazioni	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli, Conca Marecchia e al bacino del Fissero Tartaro Canabianco (D. Lgs.152/2006 art.64, c.1 lett. b, numeri da 2 a 7). Relazione generale; Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Relazione Tecnica.
Licenza	Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0 
Attribuzione	Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Monografia Savio e Borello, Versione 01 del 2025-12-10



Indice

1	Premessa	1
2	L'ambito fluviale in esame	2
3	Analisi morfologica	4
3.1	Fiume Savio	4
3.2	Torrente Borello	5
4	Idrologia di piena: portate ed eventi di riferimento	7
4.1	Fiume Savio	7
4.2	Torrente Borello	13
5	La geometria del modello 2D	18
6	Stima della capacità di portata nel tratto arginato	22
6.1	Le condizioni contorno	22
6.1.1.	Portate	22
6.1.2.	Condizioni di valle	22
6.2	Scabrezze	22
6.3	Simulazioni e risultati ottenuti	23
7	Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile	25
7.1	Le condizioni contorno	25
7.1.1.	Portate	25
7.1.2.	Condizioni di valle	25
7.2	Scabrezze	26
7.3	Simulazioni e risultati ottenuti	26
7.3.1.	Torrente Borello	31
7.3.1.1	Evento T50	31
7.3.1.2	Evento T200	35
7.3.1.3	Evento T500	39
7.3.2.	Fiume Savio	39
7.3.2.1	Evento T50	39
7.3.2.2	Evento T200	54
7.3.2.3	Evento T500	68
7.4	Valutazioni dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento	68
7.4.1.	Torrente Borello	69
7.4.1.1	Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato	69
7.4.2.	Fiume Savio	69
7.4.2.1	Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato	69
7.4.2.2	Tratto arginato di pianura	69
7.5	Scenari di rotta arginale	74

8.1.1.	Tratto collinare tra Mercato Saraceno – loc. San Romano e la confluenza con il fiume Savio....	76
8.2.1.	Tratto collinare tra Mercato Saraceno – loc. San Damiano e il centro abitato di Cesena	77
8.2.2.	Tratto in attraversamento al centro abitato di Cesena	78
8.2.3.	Tratto tra il ponte della SS726 e il ponte dell’autostrada A14.....	78
8.2.4.	Tratto tra il ponte dell’autostrada A14 e l’inizio del tratto arginato classificato di pianura.....	79
8.2.5.	Tratto arginato classificato di pianura	79
8.3	Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento	80
8.4	Quadro degli interventi.....	81
8.5	Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto	83
9	Portate di piena di riferimento.....	87

1 Premessa

La presente monografia è parte integrante del Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia, allegata alla Relazione Tecnica Fasce Fluviali, e contiene una descrizione delle analisi idrologiche e idrauliche finalizzate all'analisi delle attuali condizioni di pericolosità idraulica e alla definizione delle relative linee di assetto, identificate in coerenza con le strategie generali descritte nella relazione tecnica.

Il presente documento è inerente al fiume Savio ed al suo affluente principale torrente Borello. Nell'ambito delle attività di studio descritte nella relazione tecnica, il fiume Savio è stato analizzato dall'abitato del Comune di Mercato Saraceno fino allo sbocco in mare, per una lunghezza complessiva di circa 64 km. Il tratto oggetto del presente progetto di variante e di delimitazione di fasce fluviali, secondo il metodo del PAI Po, è il medesimo tratto.

Il torrente Borello è stato analizzato dalla località Linaro in Comune di Mercato Saraceno fino alla confluenza nel fiume Savio, per un'estensione di circa 12 km. Il tratto oggetto del presente progetto di variante e di delimitazione di fasce fluviali, secondo il metodo del PAI Po, è compreso tra San Romano (Mercato Saraceno) e la confluenza nel fiume Savio, per una lunghezza complessiva di circa 11 km.

2 L'ambito fluviale in esame

Il bacino montano del Fiume Savio, chiuso praticamente in prossimità dell'abitato di Cesena, a valle della Strada Statale n. 9 (Via Emilia), ha una superficie di circa 625 km². Dalla chiusura del bacino montano il fiume scorre arginato per un tratto di circa 30 km, fino a quando è intersecato dalla Strada Statale n. 16 (Adriatica), a valle della quale sono evidenti fenomeni di meandrizzazione, parzialmente regimati e rettificati, fino allo sbocco in mare in prossimità dell'abitato di Lido di Savio.

Il fiume Savio ha uno sviluppo complessivo di 96 km, di cui 61 km nel tratto collinare e 35 km in pianura, per buona parte arginato. Il tratto di corso d'acqua arginato, con opere di seconda categoria, è lungo circa 16 km e si sviluppa da Matellica/Cannuzzo fino alla foce a mare.

Il torrente Borello nasce a Monte Aiola (942 m., s.l.m.) e, dopo un percorso di 26 km confluisce nel Savio presso l'abitato di Borello. L'estensione del suo bacino idrografico è pari a 107 km².

I comuni interessati dal presente progetto di variante sono:

- Per il fiume Savio: Bertinoro, Cervia, Cesena, Cesenatico, Forlì, Mercato Saraceno, Ravenna, Roncofreddo, Sogliano al Rubicone;
- Per il torrente Borello: Cesena e Mercato Saraceno

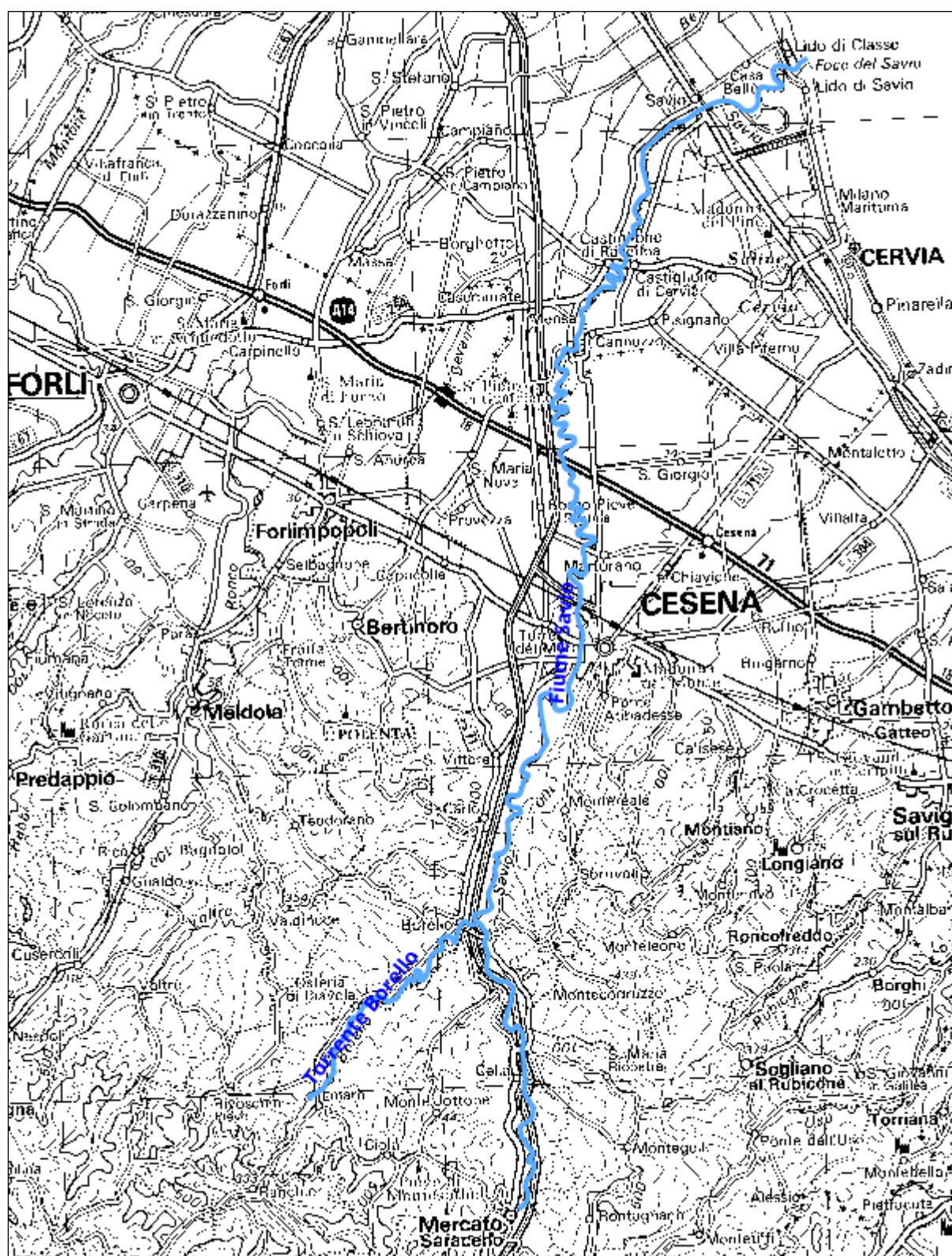


Fig. 1 - Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Savio e torrente Borello.

3 Analisi morfologica

3.1 Fiume Savio

Il tratto di fiume Savio oggetto di studio ha inizio dal ponte della SP 59 in località San Damiano a nord di Mercato Saraceno, e termina alla foce, per una lunghezza di circa 64 km.

Il Savio scorre in una valle piuttosto ampia, ad andamento pressoché rettilineo in direzione NNO-SSE per virare in direzione SSO-NNE all'altezza di Borello; nel settore collinare i versanti orientali mostrano generalmente una maggiore acclività mentre la valle si apre progressivamente a partire da Borello fino al margine sud di Cesena dove il fondovalle è ampio circa 4.5 km.

Nel suo percorso di pianura il fiume attraversa l'abitato di Cesena, Castiglione di Cervia, Savio e sfocia tra Lido di Savio e Lido di Classe. Nel settore di collina lambisce diversi abitati (S. Damiano, Borello, S. Carlo), senza attraversarne il centro urbano.

Nel settore collinare l'affluente principale è il torrente Borello, che si immette presso l'omonima località, a cui segue il torrente Ansa, più a monte. Il fiume riceve le acque da entrambi i versanti lungo tutto il suo percorso anche da numerosi fossi e rii (tra cui Rio Boratella, Rio Mattero, Rio della Busca, Rio Capazza). Nel settore di alta pianura, oltre il centro urbano di Cesena, nel Savio confluisce da destra idrografica il Rio Cesuola.

Il corso d'acqua mantiene il suo assetto naturale nel tratto montano-collinare nel comune di Mercato Saraceno fino all'altezza della località Cella, oltre la quale l'alveo del fiume risente di una perdita di naturalità a causa dell'antropizzazione del territorio via via più invasiva procedendo verso valle.

Dall'analisi delle variazioni morfologiche storiche emerge che l'alveo del Savio è piuttosto mobile all'interno di una fascia pressoché fissa nei secoli recenti, sia nel settore collina sia nel settore di pianura. Nel settore collinare il corso d'acqua in epoca storica tendeva a scorrere in corrispondenza dell'alveo attuale, ma con divagazioni e maggiore ampiezza dell'alveo.

In questo settore durante gli eventi alluvionali più recenti (maggio 2023 e settembre-ottobre 2024) le criticità idrauliche e morfologiche nel fondovalle sono state puntuali e limitate a fenomeni intensi di erosione di sponda, oltre ad accumuli di materiale in alveo.

Non è stato invece possibile, in questo tratto, analizzare l'evoluzione altimetrica della quota di fondo alveo, attraverso il confronto delle sezioni "storiche" e del bilancio volumetrico da confronto dei DTM, non essendo disponibili rilievi sovrapponibili e confrontabili.

Le opere idrauliche rilevate nel settore collinare primo tratto sono costituite dalla presenza di 8 briglie di controllo dell'erosione di fondo e del trasporto solido in buono stato funzionale e da 7 difese longitudinali presenti soprattutto lungo la sponda destra, di cui 1 demolita con le piene 2023-2024 (in località Passarella di Piaia, presso Taibo), 1 muro arginale e 2 traverse fluviali. Nel margine a valle, al passaggio con la pianura, iniziano le arginature.

Dal punto di vista della qualità morfologica, il corso d'acqua nel primo tratto, compreso tra Mercato Saraceno e Meleto, presenta tratti omogenei con indice di qualità morfologica (IQM) in classe "Buono", essenzialmente per la naturalità e bassa artificialità dell'alveo; i restanti tratti del settore collinare rientrano nella classe "Moderato o sufficiente" per l'aumento della pressione antropica sul fiume e delle opere di regimazione.

Nel settore di pianura il Savio mostra variazioni riconducibili principalmente all'evoluzione dei meandri che caratterizzano il suo corso fino al mare; tuttavia, la mobilità del corso d'acqua, in tempi recenti, è stata qui limitata dalla presenza antropica e dai diffusi rilevati arginali. Nella zona di foce, il fiume, tra la fine del XIX secolo e l'inizio del XX ha cambiato tracciato, abbandonando il grande meandro a sud, poi ripreso e abbandonato più volte nei decenni successivi, e disegnando nuovi piccoli meandri prima dello sbocco in mare, ancora oggi attivi.

Da Cesena, il grado di artificialità aumenta progressivamente, con presenza di numerosi attraversamenti e opere di difesa arginale pressoché continue. Oltre ai rilevati arginali sono presenti anche 3 briglie/soglie, 2 difese di sponda longitudinali, 7 muri arginali e 2 traverse fluviali.

Malgrado queste opere, durante la seconda piena di maggio 2023, il Savio è ripetutamente esondato, dapprima a Cesena poi a Savio, dove ha rotto l'argine destro; sono stati rilevati, inoltre, l'occlusione presso i ponti.

Dall'analisi morfologica si segnalano locali fenomeni di erosione di sponda intensa nonché più diffusi fenomeni di erosione e scalzamento del rilevato arginale. Questi fenomeni si sono registrati durante i recenti eventi di piena, che hanno causato dissesti arginali diffusi, rotture arginali (ad es. presso Maria Maddalena e a nord di Castiglione di Ravenna), franamenti e occlusioni dell'alveo (presso Savio).

Dal punto di vista della qualità morfologica, al tratto di corso d'acqua che attraversa Cesena è attribuita la classe "Scadente o Scarso" mentre ai restanti tratti omogenei di pianura è assegnato un indice di qualità morfologica (IQM) ricadente in classe "Moderato o Sufficiente".

Dal confronto tra le differenze altimetriche dei DTM RER 2024 e DTM 2009 MATTM, da Mercato Saraceno a Gualdo (intervallo temporale di 15 anni), si evidenziano (escludendo i valori di differenza altimetrica compresi da -1 a 1 m per errori di sovrapposizione, quota livello idrico e pulizia della vegetazione) abbassamenti di quota per lo più legate alla divagazione del canale e quindi all'erosione delle sponde e delle golene lungo il nuovo tracciato (ad esempio presso Taibo, Cella, Bivio Montegelli); presso Gualdo sono presenti in alveo anche differenze positive ad indicare accumuli e formazione di una nuova barra. Da Gualdo a Gallo, a nord di Borello, si osservano perdite di quota ai lati dell'attuale alveo, a testimonianza dell'erosione spondale avvenuta con i recenti eventi di piena, particolarmente evidenti a monte della confluenza col torrente Borello. L'erosione della barra e il riempimento del canale fluviale precedente, con effetto di rettificazione del corso d'acqua, è ben evidente presso Gallo.

All'altezza di S. Vittore, in località Molino di Cento a monte della traversa, è presente un'area di differenza positiva, attribuibile all'accumulo di sedimento mentre in un tratto del grande meandro di Borgo Paglia, a sud-ovest di Cesena, si ritrova la situazione di accoppiamento di zone in perdita e in guadagno (simile a quella presso Gallo), legata alla divagazione del canale e ai processi sedimentari associati.

Nel tratto di fiume che attraversa l'abitato di Cesena si segnala la situazione presso il ponte della ferrovia dove è diffusa la perdita di quota sia a monte che a valle in sponda destra mentre si osserva un limitato guadagno di quota a valle, lungo la sponda sinistra.

Nei meandri a nord di Cesena è frequente l'alternanza di tendenza contraria tra sponde opposte, una in perdita l'altra in guadagno; presso Palazzo Vecchio, a nord di Mensa, si osserva una crescita dell'area golenale mentre un abbassamento della quota della gola si rileva in località Borgo Bandini, fino a C. Fusignani.

3.2 Torrente Borello

Il tratto di torrente Borello oggetto di studio inizia dal ponte della SP 59 in località Convento di Linaro e termina alla confluenza in Savio, presso l'abitato di Borello, per una lunghezza di circa 12 km.

Le acque del Borello scorrono in una valle piuttosto ampia che si restringe in località Il Castellaccio per poi ampliarsi progressivamente fino alla confluenza; il torrente scorre sulla destra idrografica della SP29 e attraversa i centri urbani di Linaro e Borello rispettivamente ai margini del tracciato in esame, con un andamento pressoché rettilineo in direzione NE- SO. Lungo il suo corso esso riceve le acque di numerosi rii e fossi da entrambi i versanti.

Il corso d'acqua mantiene il suo assetto naturale nel tratto montano-collinare fino alla località Il Castellaccio dove disegna due ampi meandri, per poi attraversare un settore maggiormente urbanizzato, perdendo parte della naturalità e scorrendo in un alveo più ristretto.

Dall'analisi delle variazioni morfologiche storiche è emerso come il corso d'acqua in epoca storica tendeva a scorrere in corrispondenza dell'alveo attuale, ma con divagazioni e maggiore ampiezza dell'alveo. Presso l'abitato di Borello, l'alveo ha registrato variazioni minori.

Questo spiega come oggi i fenomeni di divagazione e di erosione di sponda interessino l'intero fondovalle, con particolare intensità nella porzione di monte, con la tendenza del corso d'acqua a riprendere il tracciato dei paleoalvei e coinvolgendo anche aree adibite all'uso antropico. Un caso particolare riguarda l'ultimo ampio meandro a valle della località Il Castellaccio dove, durante gli eventi alluvionali più recenti (maggio 2023 e settembre-ottobre 2024), il torrente ha "tagliato" il corso ordinario e storico, evidenziando una possibile tendenza evolutiva dell'alveo in questo sito.

Non è stato invece possibile, in questo tratto, analizzare l'evoluzione altimetrica della quota di fondo alveo, attraverso il confronto delle sezioni "storiche" e del bilancio volumetrico da confronto dei DTM, non essendo disponibili rilievi sovrapponibili e confrontabili.

Le opere idrauliche rilevate lungo l'intero corso del torrente Borello in esame sono costituite da 4 briglie di controllo dell'erosione di fondo e del trasporto solido, da 7 difese longitudinali, a difesa della sede stradale di fondovalle quanto in contesto urbano, e da 5 muri arginali, sia lungo in sponda sinistra che in sponda destra. Le opere sono in buono stato funzionale.

Dal punto di vista della qualità morfologica, il tratto omogeneo di monte (da Linaro fino a poco a valle di Piavola) presenta un indice di qualità morfologica (IQM) in classe "Buono", con ben espressi elementi di naturalità dell'alveo mentre al tratto di valle, fino alla confluenza nel Savio, è attribuita la classe "Moderato o sufficiente", per la maggiore presenza di opere e per l'interferenza tra uso antropico del territorio e corso d'acqua.

Nel settore di monte durante gli eventi alluvionali più recenti (maggio 2023 e settembre 2024) le criticità idrauliche e morfologiche nel fondovalle sono riconducibili a fenomeni intensi di erosione di sponda e le occlusioni e le alberature cadute, che hanno ridotto l'efficienza idraulica.

Nella porzione di valle, tra Borgo delle Rose e Borello, il grado di artificialità aumenta progressivamente, con presenza opere di difesa delle sponde e di regimazione di controllo del fondo alveo.

La mobilità del corso d'acqua presso Borello e in corrispondenza della confluenza col Savio è limitata dall'area urbanizzata con un progressivo abbassamento del fondo alveo e diminuzione della larghezza media della sezione d'alveo. Dall'analisi morfologica si segnalano qui fenomeni di erosione di sponda intensa.

In questo settore durante gli eventi alluvionali più recenti (maggio 2023 e settembre - ottobre 2024) le criticità idrauliche sono state puntuali, limitate per lo più ad erosione spondale, ad edifici in fregio all'alveo attivo presso Borello ma anche diffuse come l'allagamento di tessuto urbanizzato (ad esempio zona del campo sportivo di Borello).

Il confronto tra le differenze altimetriche dei DTM RER 2024 e DTM 2009 MATTM per il torrente Borello è stato parziale poiché l'estensione del DTM 2009 MATTM lascia scoperta gran parte del suo corso; è stato pertanto analizzato soltanto il tratto compreso tra Borgo delle Rose e la confluenza col Savio.

In questo tratto si osservano diffusi abbassamenti di quota (intervallo temporale di 15 anni) nel meandro tra Borgo delle Rose e Borello e nel tratto che attraversa l'abitato di Borello, nello specifico, a monte del ponte della SR142 in sponda destra, dove la sponda opposta risulta in crescita, e nella sponda destra in prossimità del ponte della E45 (escludendo i valori di differenza altimetrica compresi da -1 a 1 m per errori di sovrapposizione, quota livello idrico e pulizia della vegetazione).

4 Idrologia di piena: portate ed eventi di riferimento

Nel presente paragrafo sono riportati in sintesi gli esiti dell'analisi idrologica, la cui impostazione metodologica generale è descritta nella Relazione Tecnica del progetto di variante.

4.1 Fiume Savio

Le portate al colmo del fiume Savio, per eventi a differente frequenza di probabilità, sono riportate nella tabella seguente:

Tab. 1 Portate di piena per il fiume Savio

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione (Cod. rif. Bacino)	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	Idrometro ¹
Savio	Savio	47	Mercato Saraceno	415,1	630	815	935	Mercato Saraceno
Savio	Savio	59,5	Valle confluenza Borello	614,3	960	1215	1400	
Savio	Savio	65,5	San Carlo	639,6	995	1265	1455	San Carlo
Savio	Savio	92	Cannuzzo	709,9	1140	1355	1560	Matellica

In Fig. 2 e Fig. 3 sono riportati i confronti tra:

- “Risultati della simulazione” (indicatori blu): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio;
- “PAI” (indicatori grigi): ove disponibili, valori di riferimento da pianificazione preesistente;
- “WP3” (indicatori arancioni): valori di massima piena di riferimento dallo studio WP3²
- “Risultati della simulazione ARF” (indicatori verdi): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio, con applicazione del coefficiente ARF.

¹ Idrometri rete ARPAE 2025

² Esiti Accordo Caratterizzazione del regime di frequenza degli estremi idrologici nel Distretto Po, anche considerando scenari di cambiamento climatico Idrologia di piena (c.d. idrologia di piena) sottoscritto fra l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, il Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, il Politecnico di Torino – Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna – Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, l'Università degli Studi di Brescia e l'Università degli Studi di Parma – Dipartimento di Ingegneria e Architettura (2023)

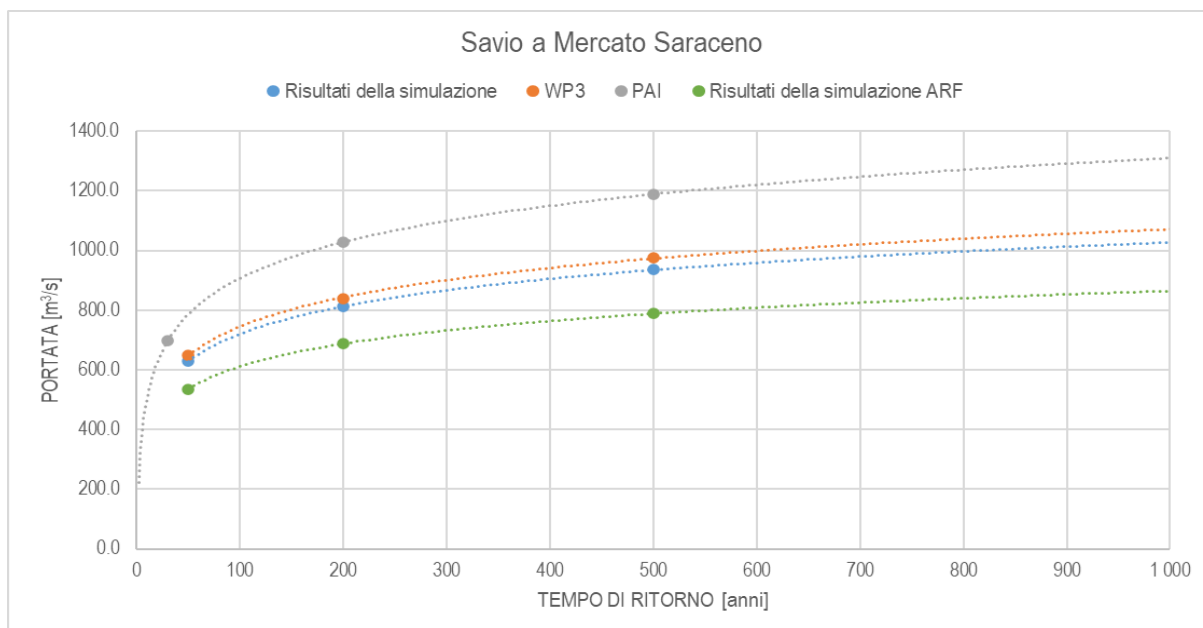


Fig. 2 - Fiume Savio a Mercato Saraceno - confronto portate al colmo con preesistente PAI e WP3

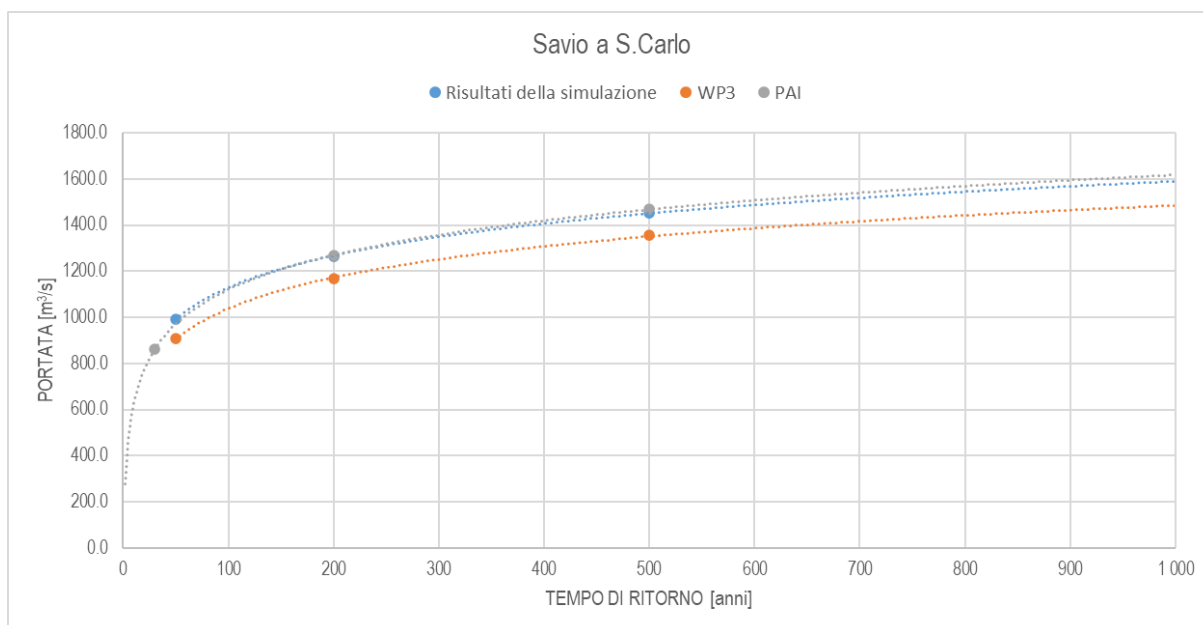


Fig. 3 - Fiume Savio a San Carlo - confronto portate al colmo con preesistente PAI e WP3

Gli eventi di piena di riferimento, nelle diverse sezioni di chiusura indicate e per durate di pioggia pari a 3, 6, 9, 12 e 18 ore, sono riportati nelle immagini seguenti. Si osservi che le portate al colmo indicate in Tab. 1 fanno riferimento, in ogni sezione e per ogni tempo di ritorno indagato, al valore massimo ottenuto, per le diverse durate di pioggia indagate, arrotondato a multipli di 5.

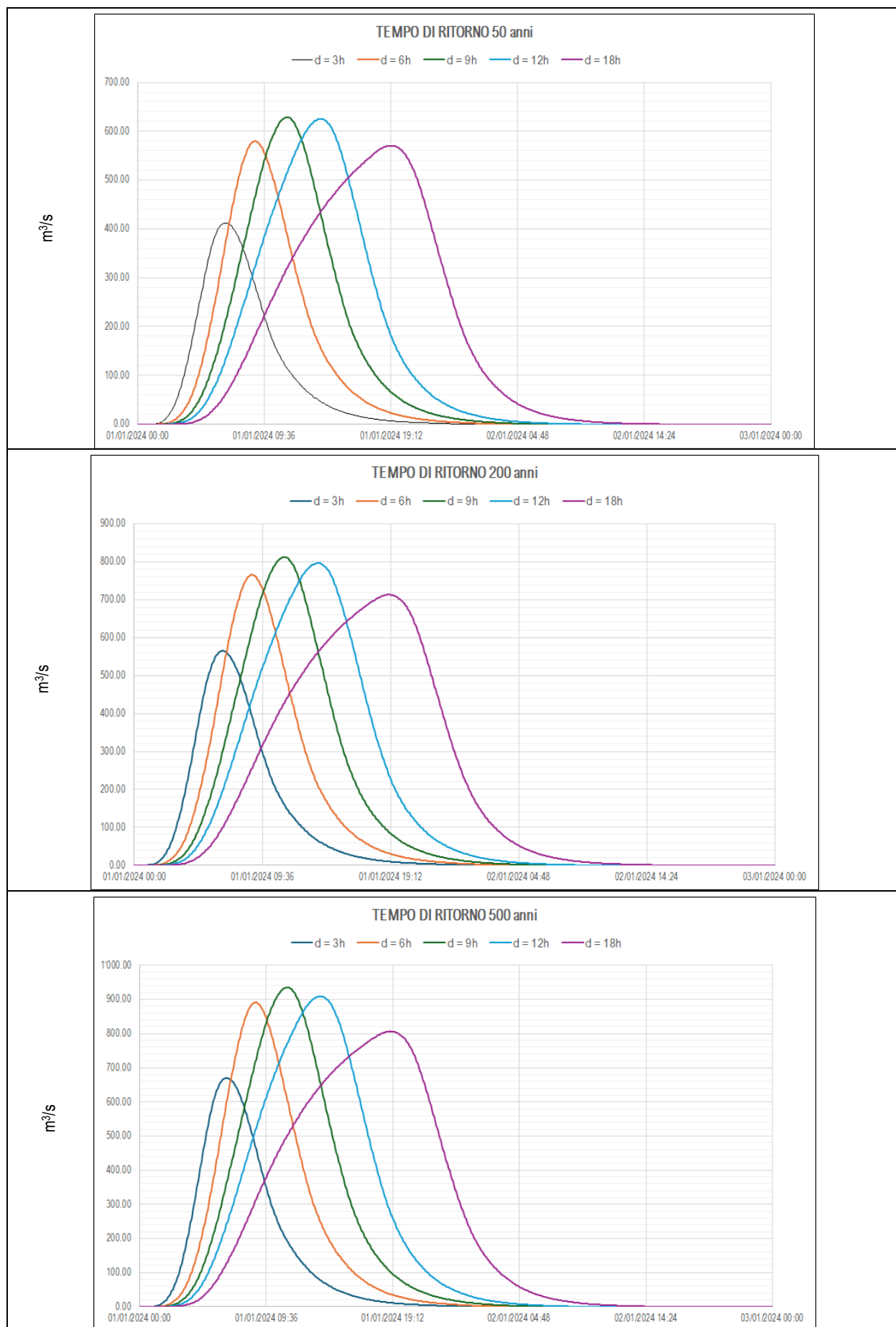


Fig. 4 Savio a Mercato Saraceno: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

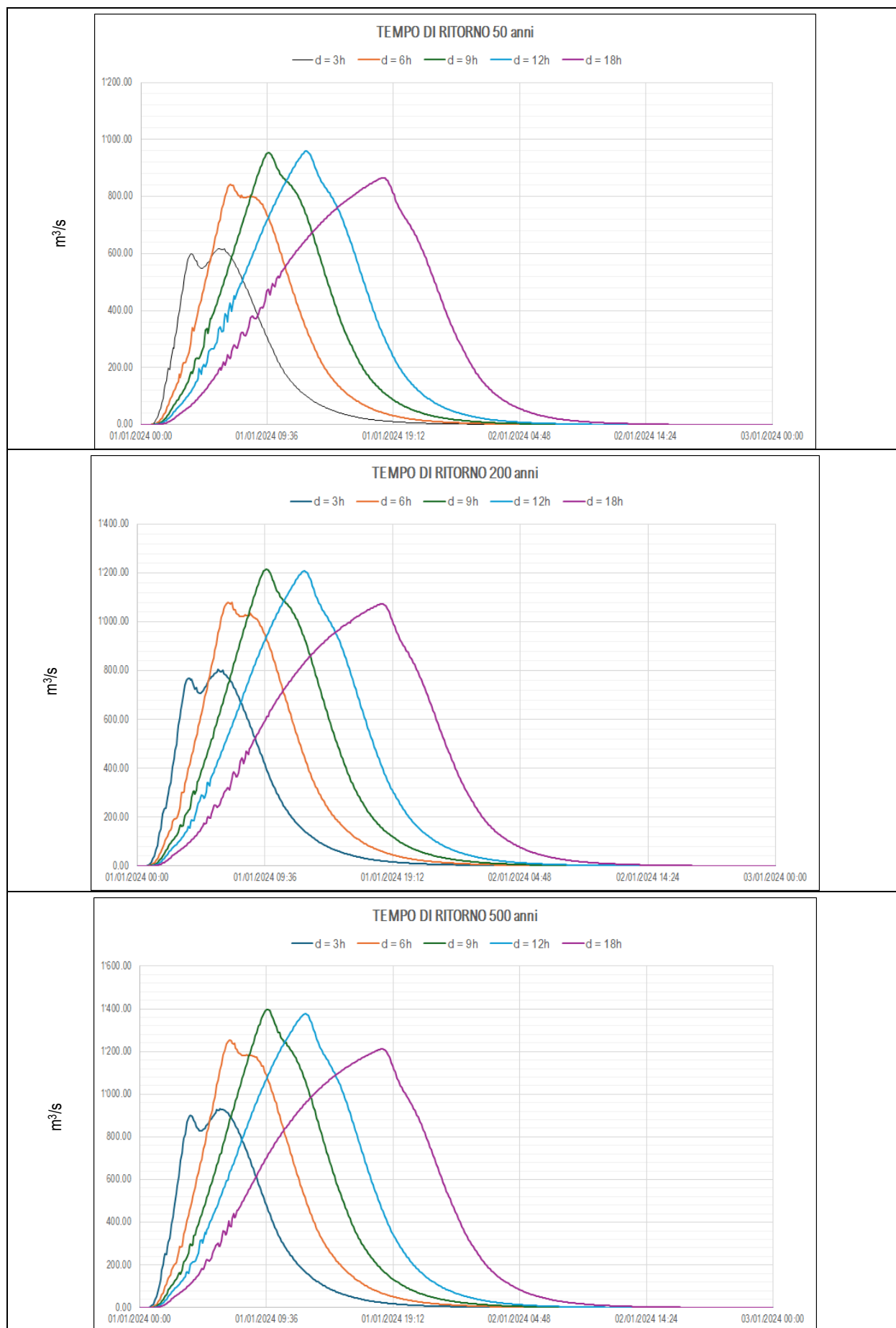


Fig. 5 Savio a valle confluenza Borello: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

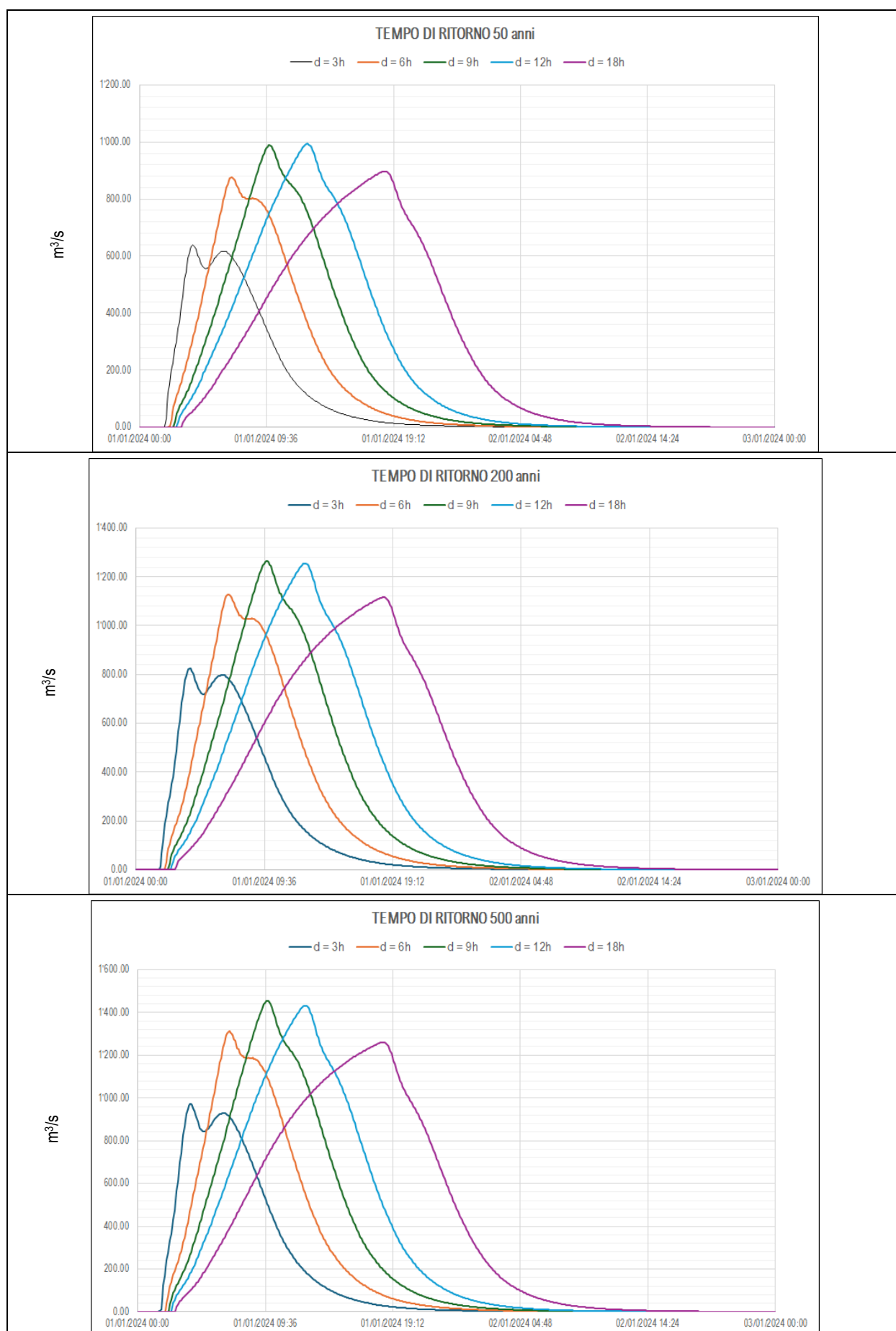


Fig. 6 Savio a San Carlo: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

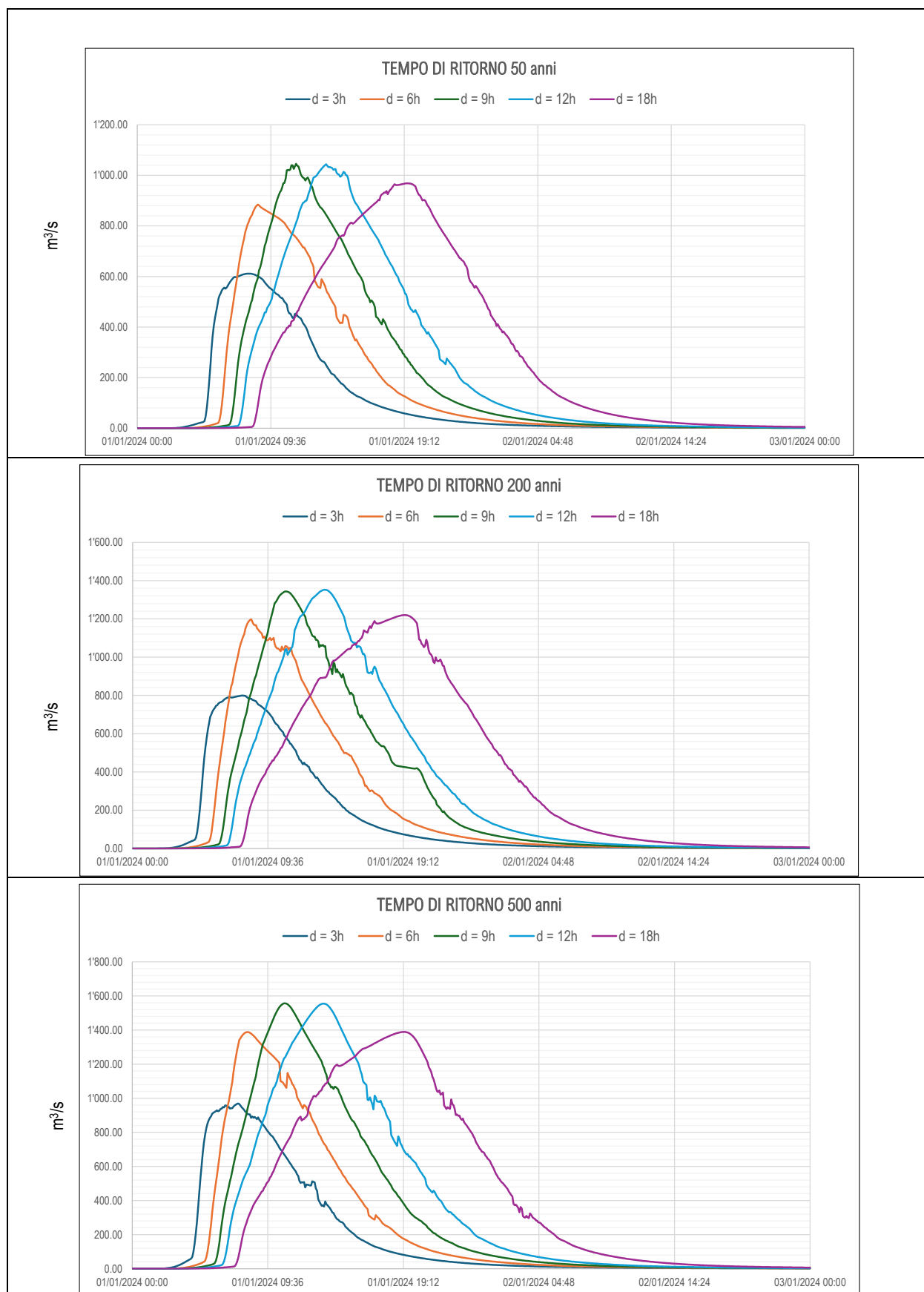


Fig. 7 Savio a Cannuzzo: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

Nell'ambito dell'analisi Idrologica è stata inoltre eseguita la ricostruzione degli idrogrammi di piena potenziali degli eventi gravosi più recenti (2023-2024).

In Fig. 8 è proposto il confronto, nelle diverse sezioni di chiusura del bacino, tra le portate massime idrologiche ottenute per i 4 eventi simulati e le portate di riferimento calcolate per i diversi tempi di ritorno nelle medesime sezioni.

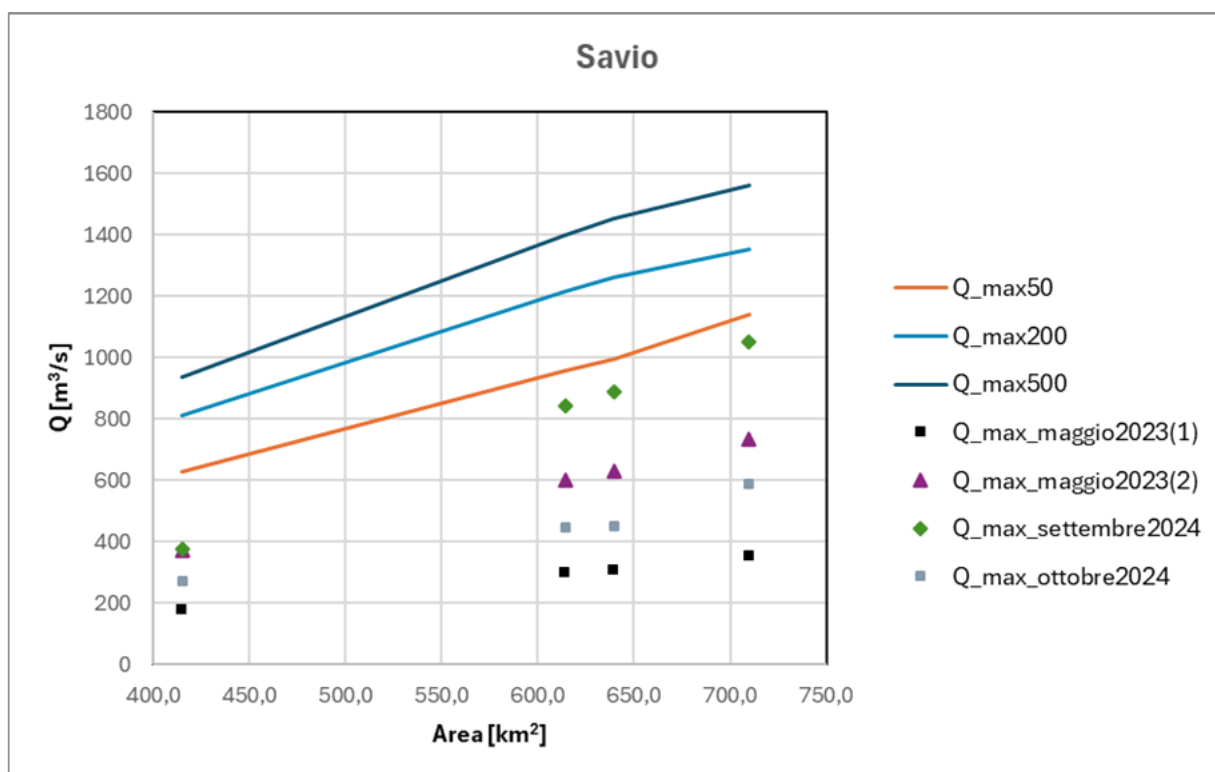


Fig. 8 Savio: confronto tra portate al colmo eventi reali e portate di riferimento

4.2 Torrente Borello

Le portate al colmo del torrente Borello, per eventi a differente frequenza di probabilità, sono riportate nella tabella seguente:

Tab. 2 Portate di piena per il torrente Borello

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km²)	T50 (m³/s)	T200 (m³/s)	T500 (m³/s)	Idrometro ³
Savio	Borello	24	Mercato Saraceno – Linaro	90	285	340	380	
Savio	Borello	36	Borello	128,7	380	455	510	Borello

In Fig. 9 sono riportati i confronti tra:

- “Risultati della simulazione” (indicatori blu): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio;
- “PAI” (indicatori grigi): ove disponibili, valori di riferimento da pianificazione preesistente;

³ Idrometri rete ARPAE 2025

- “WP3” (indicatori arancioni): valori di massima piena di riferimento dallo studio WP3⁴;

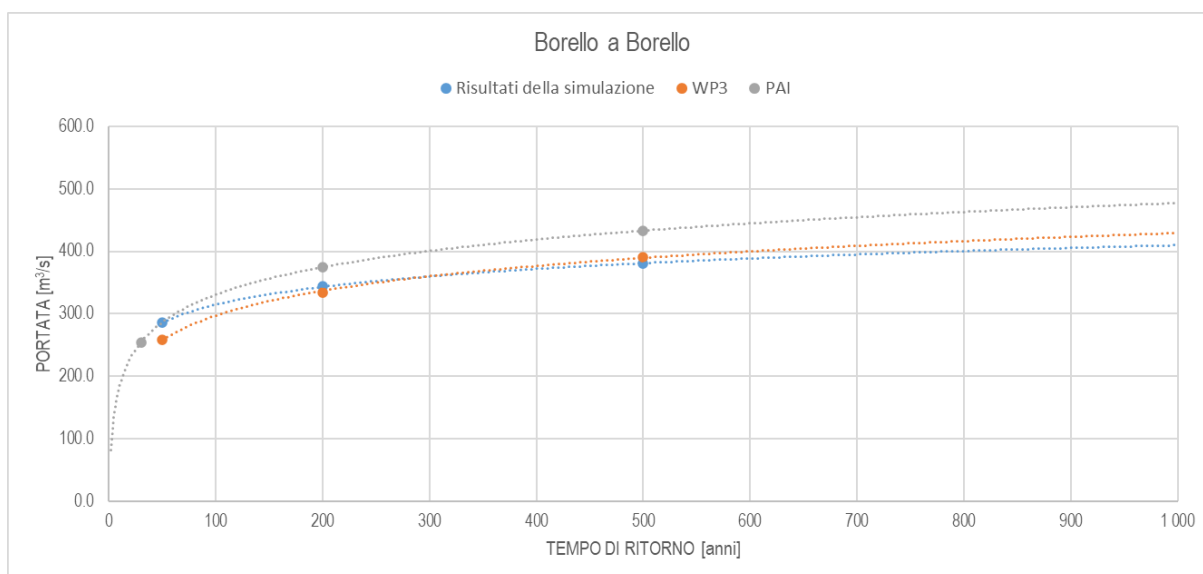


Fig. 9 – T. Borello a Borello - confronto portate al colmo con PAI vigente e WP3

Gli eventi di piena di riferimento, nelle diverse sezioni di chiusura indicate e per durate di pioggia pari a 3, 6, 9, 12 e 18 ore, sono riportati nelle immagini seguenti. Si osservi che le portate al colmo indicate in Tab. 1 fanno riferimento, in ogni sezione e per ogni tempo di ritorno indagato, al valore massimo ottenuto, per le diverse durate di pioggia indagate, arrotondato a multipli di 5.

⁴ Esiti Accordo Caratterizzazione del regime di frequenza degli estremi idrologici nel Distretto Po, anche considerando scenari di cambiamento climatico Idrologia di piena (c.d. idrologia di piena) sottoscritto fra l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, il Politecnico di Milano - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, il Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, l'Alma Mater Studiorum Università di Bologna - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali, l'Università degli Studi di Brescia e l'Università degli Studi di Parma - Dipartimento di Ingegneria e Architettura (2023)

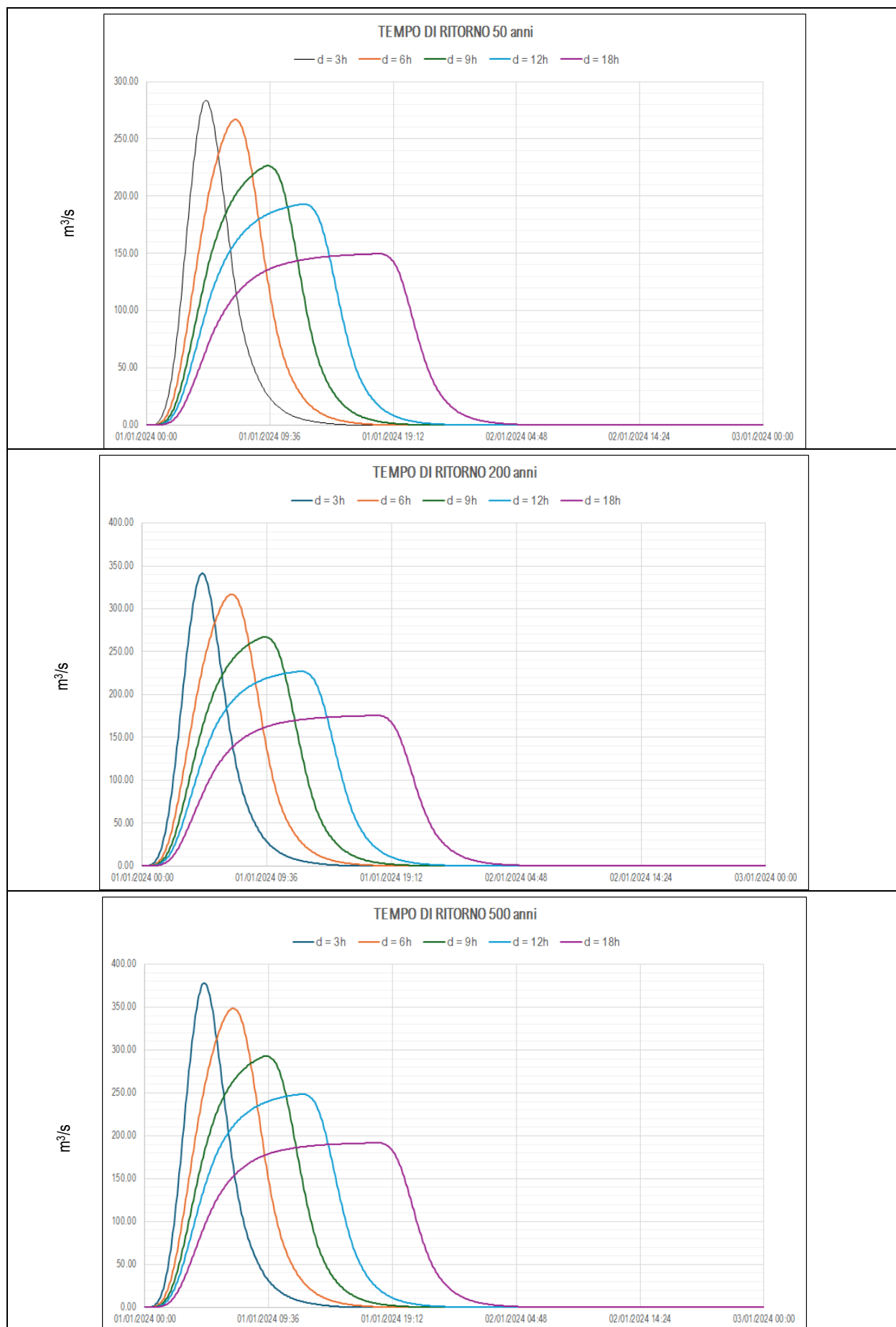


Fig. 10 Borello a Mercato Saraceno: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

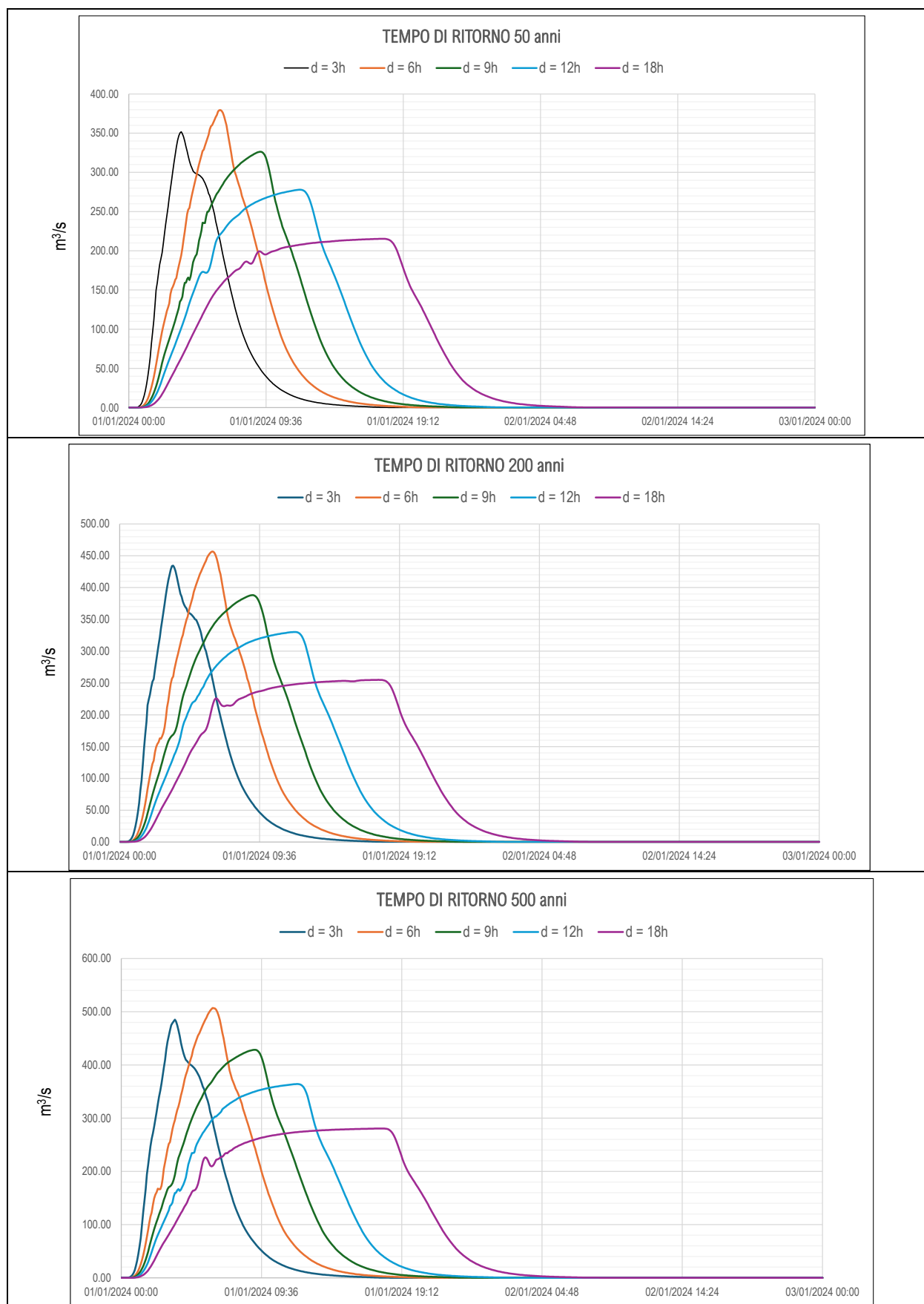


Fig. 11 Borello a Borello: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500

Nell'ambito dell'analisi Idrologica è stata inoltre eseguita la ricostruzione degli idrogrammi di piena potenziali degli eventi gravosi più recenti (2023-2024).

In Fig. 12 è proposto il confronto, nelle diverse sezioni di chiusura del bacino, tra le portate massime idrologiche ottenute per i 4 eventi simulati e le portate di riferimento calcolate per i diversi tempi di ritorno nelle medesime sezioni.

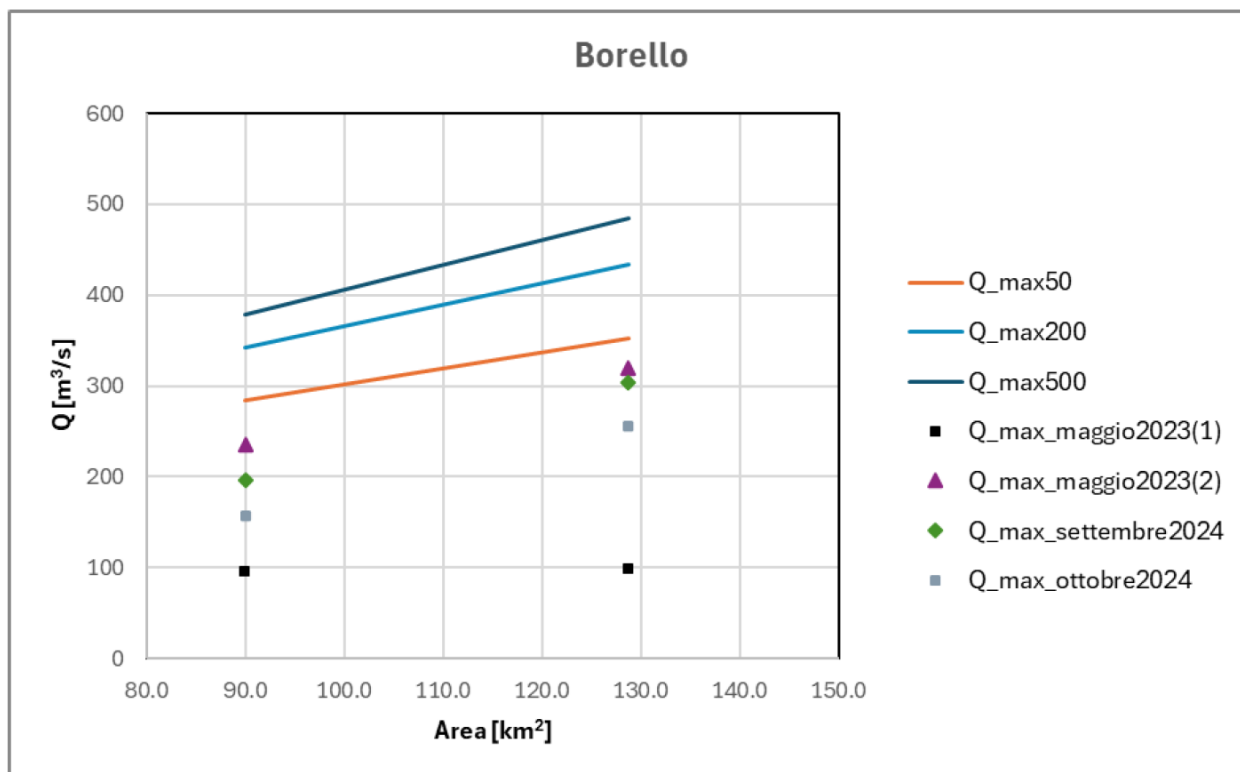


Fig. 12 Borello: confronto tra portate al colmo eventi reali e portate di riferimento

5 La geometria del modello 2D

Nell'implementazione dei modelli 2D si è prestata particolare cura e attenzione alla definizione delle caratteristiche plano-altimetriche. Per la parte di alveo al di sopra del livello idrico di magra sono stati utilizzati i modelli digitali del terreno (DTM Lidar) più recenti disponibili. In particolare, si è fatto riferimento:

- lungo le aste fluviali, al DTM Agenzia Regionale Protezione Civile e Difesa del Suolo (periodo marzo - giugno 2024, https://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtm_apc_fiumi_2024), ove disponibile; per l'asta di monte del fiume Reno con i relativi affluenti (Setta, Samoggia, Ghironda, Lavino) il DTM più recente di riferimento è prevalentemente il 2023 (pre-evento);
- per le aree di pianura, al DTM Regione Emilia-Romagna 2023-2024 (https://servizigis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtmrer2023_24);

Per la parte di alveo posta al di sotto del livello idrico di magra, non rilevabile attraverso il sistema Lidar, sono state utilizzate le sezioni topografiche rilevate tra maggio e luglio 2024 ed eventuali ulteriori sezioni d'alveo recenti disponibili. Attraverso tali dati è stato possibile modificare le quote della maglia di calcolo del modello bidimensionale, abbassandole fino al fondo alveo. Tale attività è stata effettuata nei tratti in cui l'incidenza della porzione sommersa di alveo inciso (in condizioni di regime ordinario – alla data del rilievo) è risultata rilevante rispetto alla sezione di deflusso di piena.

Nel modello numerico di dettaglio sono stati inseriti tutti i manufatti di attraversamento presenti e le opere idrauliche trasversali (traverse/briglie) interferenti con le dinamiche di piena (queste ultime talvolta già descritte dal DTM e quindi non introdotte come struttura). Le strutture interferenti con il corso d'acqua sono state implementate direttamente nella griglia di calcolo con l'apposita funzione modellistica "struttura lineare - Ponte 2D" per i manufatti di attraversamento e "struttura lineare 2D base" per traverse e briglie.

In corrispondenza del coronamento degli argini sono state inserite "strutture lineari 2D base", con quote definite dal DTM, in modo che nel modello di calcolo sia riprodotto l'effettivo sviluppo altimetrico di tali opere.

Per l'implementazione dello schema bidimensionale, la descrizione geometrica utilizzata è a maglie di calcolo triangolari del tipo "Clip meshing", auto adattiva rispetto alle variazioni di quote del DTM (magliatura più fitta nelle zone caratterizzate da variazioni di quota altimetrica del terreno e meno fitta nelle zone più omogenee/pianeggianti), adatte a discretizzare in maniera dettagliata le varie geometrie da ricostruire con particolare interesse per le arginature e le opere interferenti il deflusso della piena sia in alveo sia nelle aree di esondazione.

L'estensione del dominio di calcolo del modello bidimensionale dei suddetti corsi d'acqua, esteso anche all'intero ambito di pianura interessato dalle esondazioni a seguito della tracimazione degli argini, è pari a 203 kmq e il numero totale delle celle di calcolo è pari a circa 2'150'000. Pertanto, la superficie media di ogni cella di calcolo è pari a circa 100 mq, con una variabilità compresa tra 2 mq, nelle zone di alveo inciso nei tratti arginati, e 1000 mq nelle aree di pianura esterne ai corsi d'acqua.

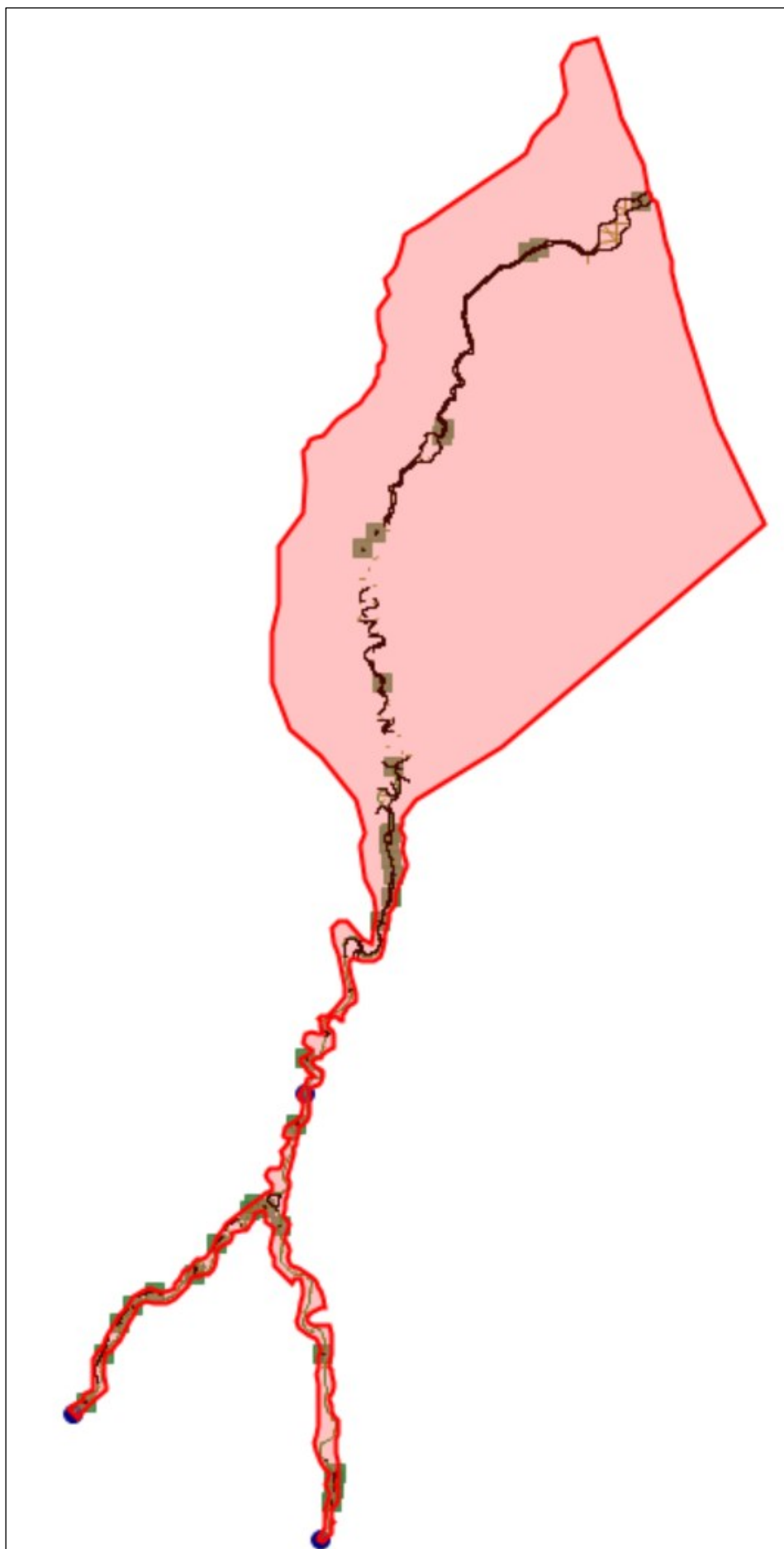


Fig. 13 Estensione del dominio di calcolo del modello bidimensionale

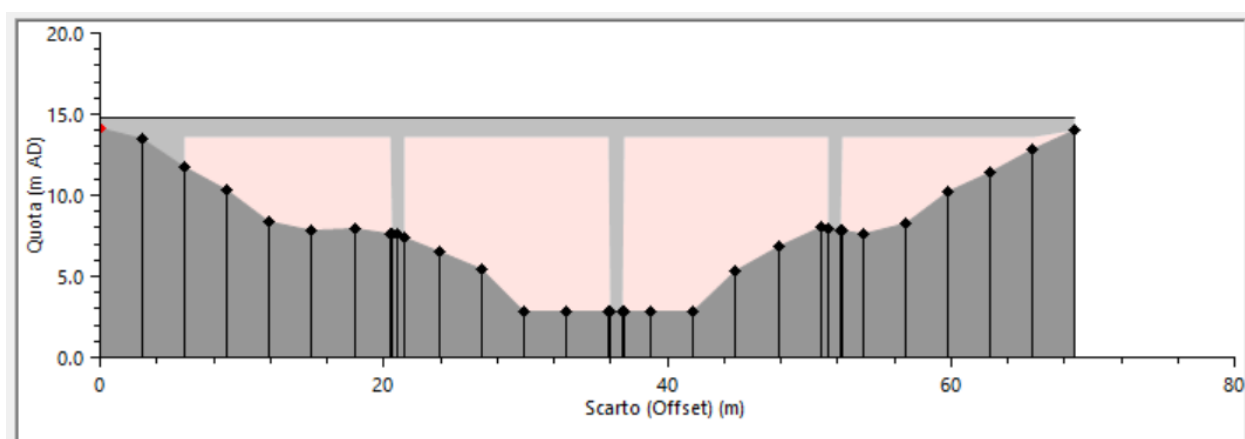


Fig. 14 Esempio geometria di un manufatto di attraversamento

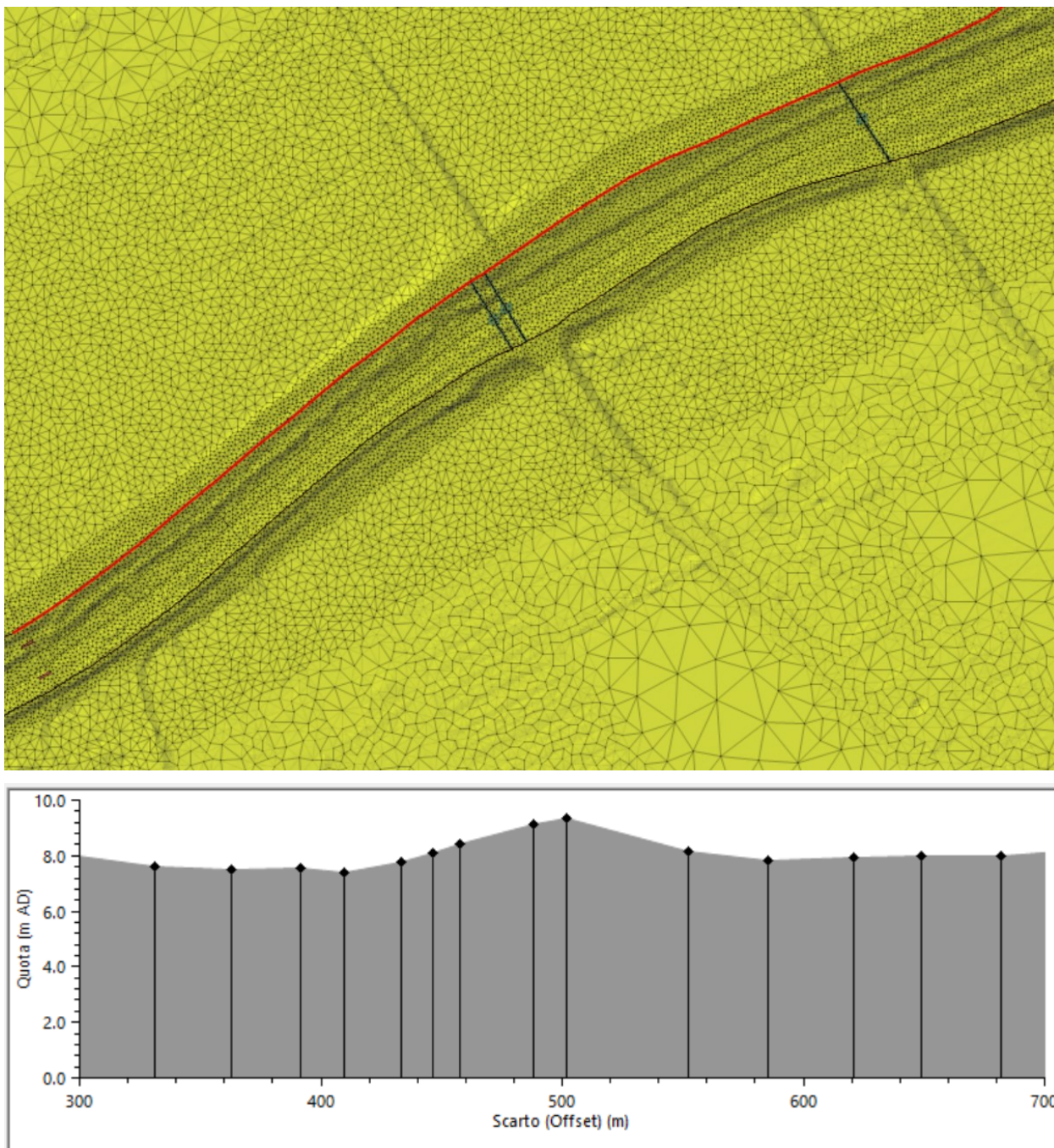


Fig. 15 Esempio variazione di dimensione della magliatura di calcolo e rappresentazione della struttura lineare rappresentante il coronamento arginale

6 Stima della capacità di portata nel tratto arginato

Una prima fase di lavoro è stata finalizzata a stimare la capacità di portata attuale, ancorché con franchi limitati, dei tratti arginati del fiume Savio. Tali valori di portata rappresentano la portata limite attuale.

Le simulazioni sono state condotte nella configurazione ad argini insormontabili e a portata costante.

Si evidenzia che, in generale, le portate compatibili valutate con un'analisi in moto permanente tendono a essere maggiormente cautelative rispetto ad un'analisi in moto vario.

6.1 Le condizioni contorno

6.1.1. Portate

I valori di portata di riferimento sono di seguito riportate. I valori considerati sono inferiori alle portate caratterizzate da un tempo di ritorno pari a 50 anni, in quanto il Savio risulta compatibile per valori di portata nettamente inferiori rispetto a tale tempo di ritorno.

Le portate simulate per il Senio sono indicate in Tab. 3.

Tab. 3 Portate moto permanente simulate per il fiume Savio

Q (m ³ /s)	350	400	450	500	550	600	650	700
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

6.1.2. Condizioni di valle

Il modello implementato per la valutazione della capacità dei tratti arginati comprende l'asta del fiume Savio, dall'inizio del tratto arginato fino al mare. La condizione al contorno di valle del modello è stata posta considerando un livello del mare pari a 1.25 m s.m. (media probabilità secondo gli esiti dell'Accordo Mare⁵).

6.2 Scabrezze

Il set di portate così definito è stato simulato facendo riferimento alla scabrezza definita in funzione dalla perimetrazione di dettaglio dell'uso del suolo. In tale scenario le scabrezze associate alle diverse condizioni morfologiche della sezione di deflusso, alla presenza di vegetazione e allo stato di manutenzione sono state definite in funzione dei valori di riferimento di Gauckler-Strickler (da letteratura, in particolare *Open-channel hydraulics*, *Ven Te Chow*) riportati nella tabella seguente.

Tab. 4 Uso suolo – coefficienti di scabrezza associati (Gauckler-Strickler)

Uso suolo	Scabrezza (m ^{1/3} /s)
Strade/Ferrovie/Aeroporti	50,0
Alvei di fiumi con vegetazione scarsa/bacini/Canali	28,6
Prati stabili/Parchi	25,0
Rocce nude/Calanchi	25,0
Alvei di fiumi con vegetazione abbondante/Zone Umide salmastre	20,0
Seminativi semplici	20,0
Sistemi colturali complessi	17,2
Vigneti / Frutteti / oliveti	16,7
Strutture residenziali isolate / Ville	11,1
Cespuglieti e arbusteti	9,6

⁵ Esiti Accordo di collaborazione per l'“Approfondimento tecnico-scientifico sui quadri conoscitivi in ambito costiero” (c.d. accordo Mare) sottoscritto fra l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra e il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine di Venezia (2023)

Uso suolo	Scabrezza ($m^{1/3}/s$)
Insedimenti produttivi o commerciali / Tessuto residenziale rado / Impianti	8,7
Boschi	4,5
Tessuto residenziale urbano/ Tessuto residenziale compatto e denso	4,3

Sono stati inoltre simulati due ulteriori scenari di scabrezza:

- scabrezza omogenea su intera sezione trasversale assunta pari a $25 m^{1/3}/s$ (Gauckler-Strickler);
- scabrezza omogenea su intera sezione trasversale assunta pari a $35 m^{1/3}/s$ (Gauckler-Strickler).

6.3 Simulazioni e risultati ottenuti

I livelli idrici restituiti dalle simulazioni 2D sono stati estratti, per ogni portata e per ogni scenario di scabrezza, con passo 100 m lungo le arginature sia in sinistra che in destra, permettendo poi la definizione del relativo franco idraulico rispetto alla quota locale di sommità arginale.

Tab. 5 Classi di valutazione del franco idraulico sulle arginature

FR < 0 cm	0 cm < FR < 30 cm	30 cm < FR < 50 cm	50 cm < FR < 100 cm	FR > 100 cm
-----------	-------------------	--------------------	---------------------	-------------

Anche in corrispondenza degli attraversamenti sono stati estratti i livelli a monte e a valle del ponte permettendo di stimare, in prima approssimazione, l'interferenza con il deflusso dell'opera e il relativo franco idraulico (calcolato rispetto agli appoggi). Per ogni opera ad arco è riportata anche la quota di intradosso in chiave che permette una prima valutazione sull'effettiva adeguatezza della quota dell'impalcato rispetto ai massimi livelli di piena.

Tab. 6 Classi di valutazione del franco idraulico sui ponti

FR < 0 cm	0 cm < FR < 30 cm	30 cm < FR < 50 cm	50 cm < FR < 100 cm	100 cm < FR < 150 cm	FR > 150 cm
-----------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------	-------------

L'analisi proposta permette di stimare la portata compatibile per tratti del sistema arginale; tali tratti sono stati individuati facendo riferimento alla rete idrometrica esistente e pertanto, in genere, sono definiti tra due attraversamenti dotati di sensori di misura dei livelli idrometrici.

La portata è valutata compatibile allorché il franco sia superiore o uguale a 50 cm.

L'analisi di sensitività eseguita sulle scabrezze ha confermato come in alvei arginati a sezione regolare sia rilevante l'incidenza di tale parametro tanto più la larghezza a piene rive dell'alveo sia modesta. In generale, minore è la scabrezza e maggiore è la portata compatibile.

Di seguito si riporta la tabella di sintesi dei risultati ottenuti in termini di portata compatibile per tratti omogenei considerando la scabrezza definita in funzione dell'uso del suolo, in quanto più cautelativa e rappresentativa dell'assetto attuale. I valori puntuali dei franchi idraulici relativi a tutti gli scenari di scabrezza considerati sono stati condivisi con l'autorità idraulica competente (Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile della Regione Emilia-Romagna) e con la Regione Emilia-Romagna.

Tab. 7 Portata compatibile fiume Savio – scenario scabrezza da uso del suolo

ID	Tratto	Q compatibile (m^3/s)
1	da Matellica fino a ponte ciclovie - idrometro Castiglione	450
2	da ponte ciclovie - idrometro Castiglione a Guarniera	500

3	Da Guarniera fino a ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio	300
4	ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio, fino a mare	300

7 Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile

Le analisi in moto vario hanno interessato, attraverso un unico modello bidimensionale, i seguenti corsi d'acqua:

- fiume Savio, dall'abitato del Comune di Mercato Saraceno fino allo sbocco in mare, per un'estensione di circa 64 km;
- torrente Borello, dalla località Linaro in Comune di Mercato Saraceno fino alla confluenza nel fiume Savio, per un'estensione di circa 12 km.

Il modello numerico 2D allestito è stato utilizzato nella configurazione ad argini sormontabili ma non erodibili.

7.1 Le condizioni contorno

7.1.1. Portate

Le simulazioni sono state condotte a partire dagli eventi di piena di riferimento per tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni definiti nell'analisi idrologica e sinteticamente illustrati nel Capitolo 4.

Per ogni tempo di ritorno sono stati simulati eventi associati a durate di pioggia di 3, 6, 9, 12 e 18 ore.

Per quanto riguarda il fiume Savio, in ingresso al modello sono stati inseriti:

- l'idrogramma corrispondente alla sezione di chiusura posta in corrispondenza di Mercato Saraceno, applicato in modo concentrato all'inizio del modello;
- nel tratto compreso tra l'inizio del modello e la confluenza con il torrente Borello è stato inserito in modo distribuito il contributo del relativo interbacino;
- il contributo dell'interbacino compreso tra la sezione di chiusura posta subito a valle della confluenza con il Borello e la sezione di chiusura posta subito in corrispondenza di San Carlo è stato suddiviso in due parti uguali di cui una è stata inserita in modo distribuito tra la confluenza del torrente Borello e il ponte di via Castiglione in Comune di Cesena, mentre l'altra è stata inserita come contributo concentrato in corrispondenza dell'affluente sinistro del fiume Savio in Comune di Cesena, denominato Rio della Busca;
- il contributo dell'interbacino compreso tra la sezione di chiusura posta in corrispondenza di San Carlo e la sezione di chiusura posta subito in corrispondenza di Cannuzzo è stato applicato come contributo distribuito dal ponte di via Castiglione in Comune di Cesena fino al ponte di via Torino, sempre in Comune di Cesena.

Per quanto riguarda il torrente Borello, in ingresso al modello sono stati inseriti:

- l'idrogramma corrispondente alla sezione di chiusura posta in corrispondenza di Mercato Saraceno – Linaro, applicato in modo concentrato all'inizio del modello;
- nel tratto compreso tra l'inizio del modello e la confluenza con il fiume Savio, è stato inserito in modo distribuito il contributo del relativo interbacino.

7.1.2. Condizioni di valle

La condizione al contorno di valle del modello è stata posta considerando un livello del mare pari a 1.25 m s.m. (media probabilità secondo gli esiti dell'Accordo Mare⁶).

⁶ Esiti Accordo di collaborazione per l'“Approfondimento tecnico-scientifico sui quadri conoscitivi in ambito costiero” (c.d. accordo Mare) sottoscritto fra l'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra e il Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Scienze Marine di Venezia (2023)

7.2 Scabrezze

I valori di scabrezza utilizzati sono stati definiti a partire dalla perimetrazione di dettaglio dell'uso del suolo.

Alle diverse forme di uso del suolo, sono state associate le scabrezze riassunte nella Tab. 4 desunte da letteratura.

7.3 Simulazioni e risultati ottenuti

I modelli numerici 2D allestiti sono stati utilizzati per definire le condizioni di pericolosità attuali rispetto ad eventi a gravosità crescente (tempo di ritorno associato pari a 50, 200 e 500 anni) nei tratti appenninici e collinari; nei tratti arginati di pianura la perimetrazione delle aree allagabili a diversa pericolosità è stata effettuata integrando i risultati dei modelli citati con gli scenari di rotta arginale, come illustrato in dettaglio nel paragrafo 7.5.

Preliminarmente a tali simulazioni sono state indagate le possibilità di calibrare il modello allestito rispetto agli eventi reali recenti (1-4 e 16-18 maggio 2023, settembre e ottobre 2024); per tali eventi, assai gravosi nel loro complesso, non sono disponibili idrogrammi di portata misurati ma solo alcune stime puntuali approssimate di valori di portata al colmo. Questa condizione impedisce di fatto una taratura diretta del modello; calibrazione che sarebbe comunque stata possibile solo per gli eventi dove gli effetti al suolo non avessero completamente alterato la propagazione verso valle dell'onda. In particolare, il Borello e il Savio durante il secondo evento di maggio 2023 sono stati interessati da rilevanti esondazioni, causate da rotte e tracimazioni.

Per i 4 eventi recenti citati, nell'ambito dell'analisi idrologica sono stati comunque ricostruiti gli idrogrammi di piena (potenziali) lungo le aste oggetto di studio a partire dalle precipitazioni misurate ARPAE.

Pur con tutti i limiti intrinseci dell'approccio proposto, gli idrogrammi così ricostruiti sono stati applicati ai modelli numerici idrodinamici allestiti; in particolare, sull'intero sistema Savio – Borello è stato simulato l'evento del 16-18 maggio 2023.

Di seguito si riportano gli andamenti dei livelli idrici misurati da alcuni idrometri posti lungo le suddette aste fluviali in corrispondenza del tratto collinare/pedecollinare; per l'evento più gravoso del 16-18 maggio 2023 si mostra il confronto fra i valori misurati e quelli ricavati dal modello idraulico, avendo fatto traslare il livello ricavato dal modello in modo tale da far coincidere l'altezza idrica prima dell'arrivo dell'onda di piena con quella effettivamente misurata, associata al deflusso di base presente.

Tale simulazione è stata eseguita al fine di indagare la possibilità di riprodurre nell'analisi i livelli e gli andamenti idrometrici misurati (fonte ARPAE) attraverso la modifica dei valori di scabrezza da adottare nel modello. Le analisi hanno mostrato, però, come in alcuni casi l'incertezza sulle portate in ingresso sia tale da non permettere valutazioni affidabili sulle scabrezze.

In tali condizioni, si è optato per un approccio cautelativo sulla scabrezza che prevede di utilizzare la perimetrazione di dettaglio delle forme di uso del suolo, alle quali sono stati associati i valori di scabrezza da letteratura riportati in Tab. 4.

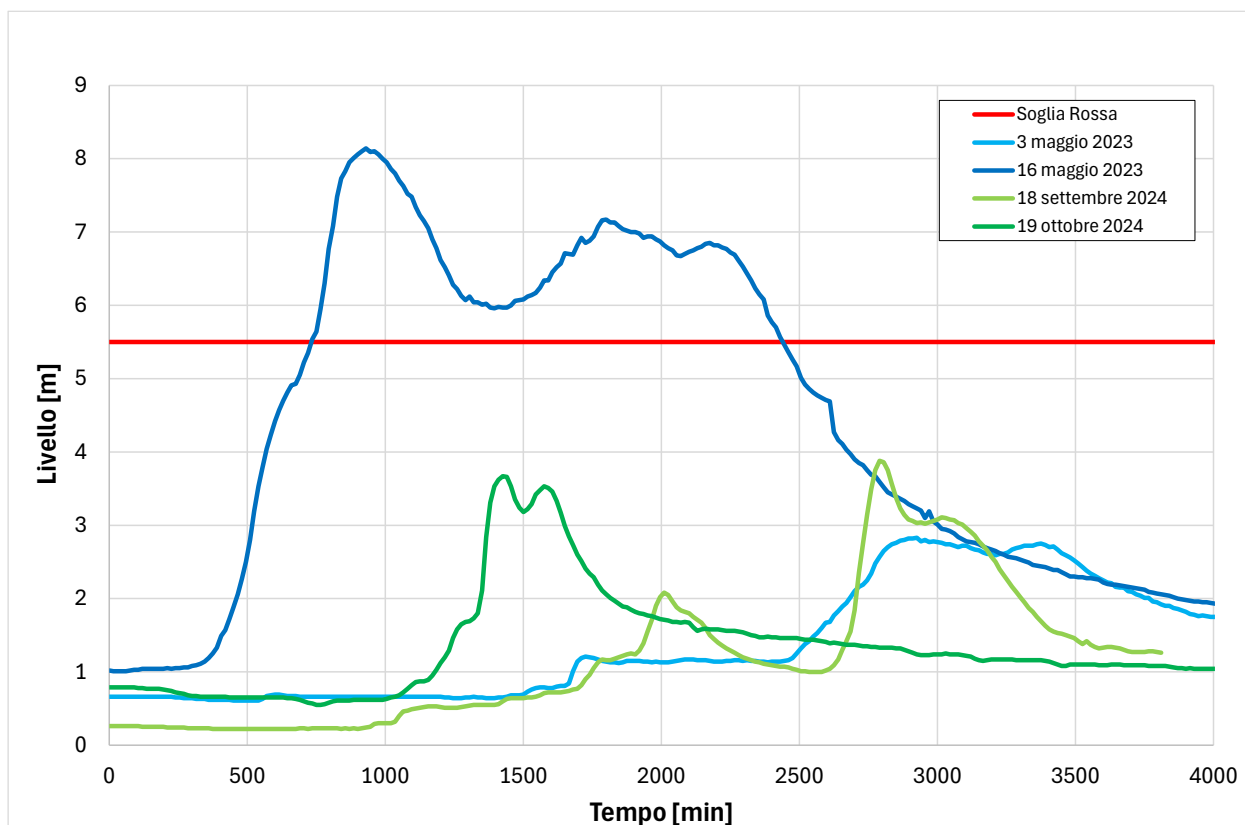


Fig. 16 F. Savio - idrometro S. Carlo: livelli idrometrici ARPAE eventi 2023 e 2024

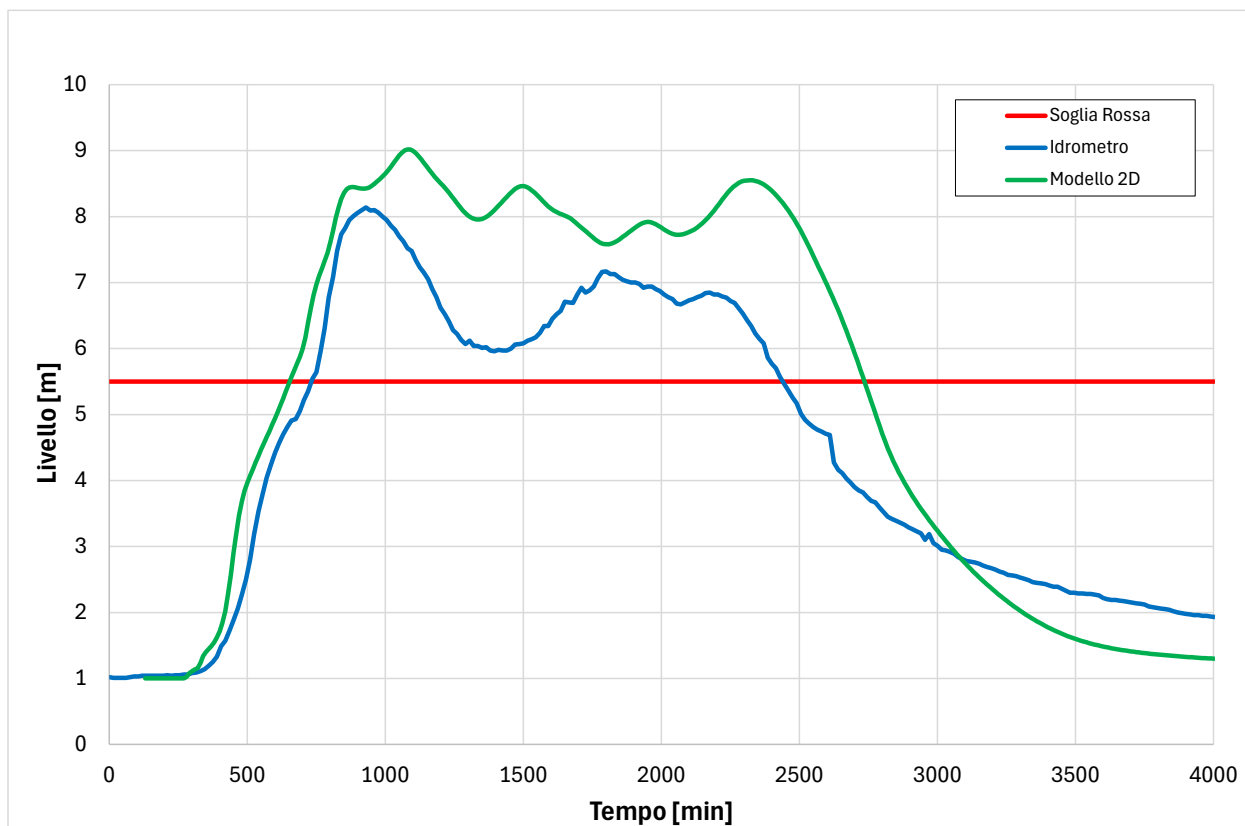


Fig. 17 F. Savio - idrometro San Carlo: evento 16-18/05/2023 confronto fra livelli idrometrici ARPAE e risultati del modello idrologico-idraulico

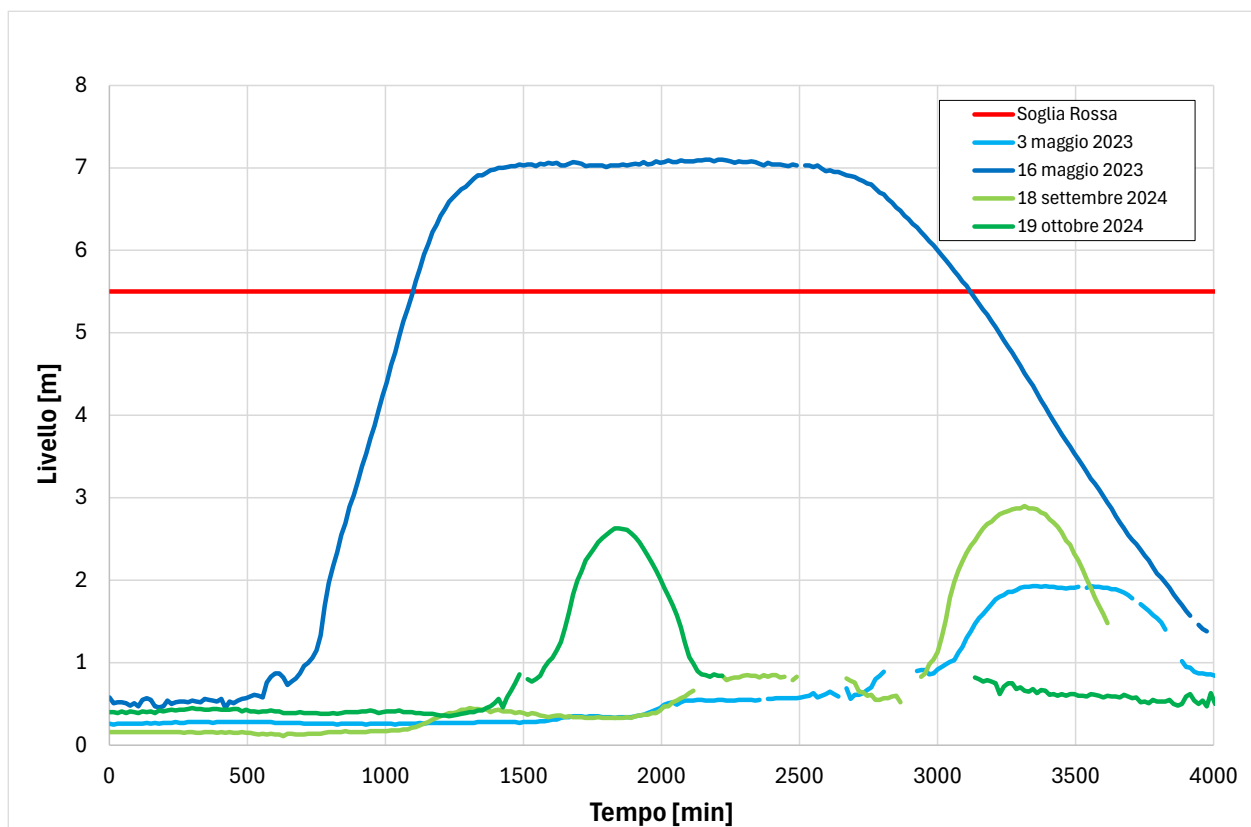


Fig. 18 F. Savio – idrometro Matellica: livelli idrometrici ARPAE eventi 2023 e 2024

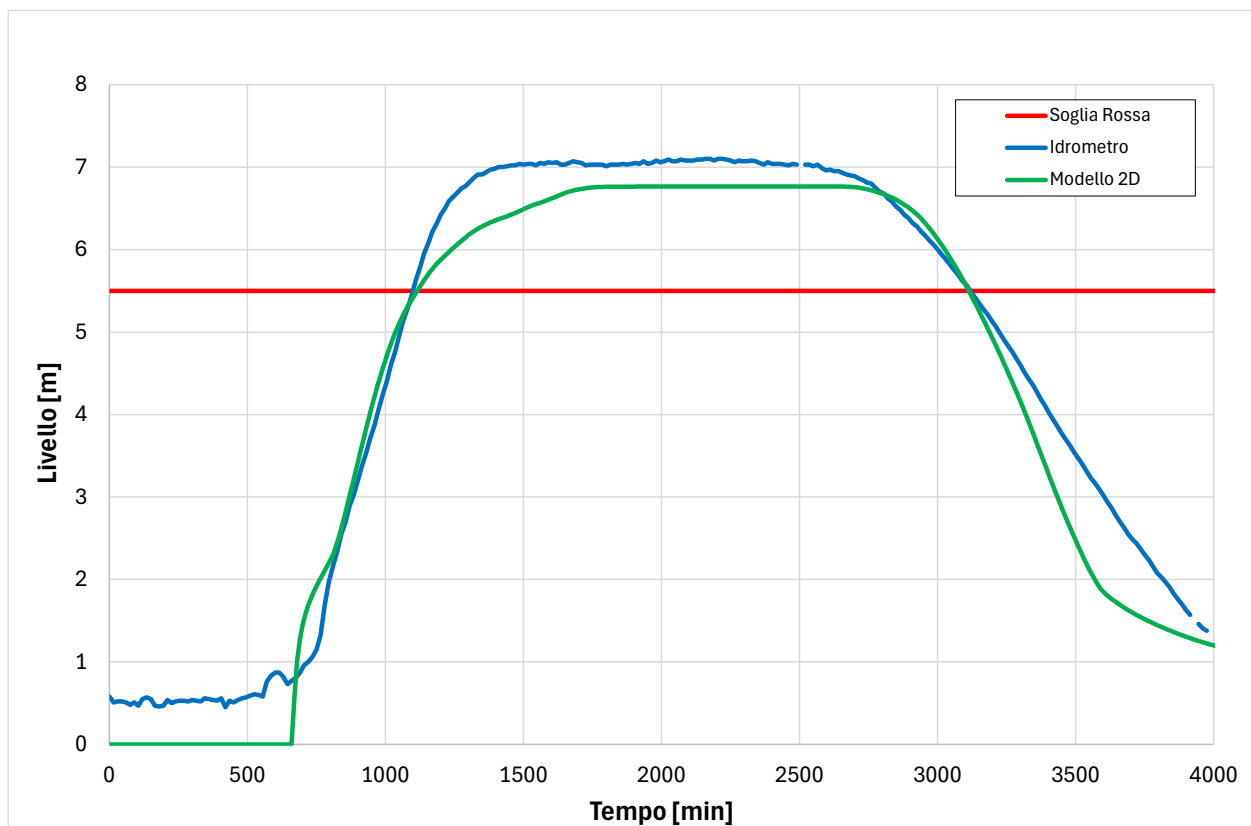


Fig. 19 F. Savio – idrometro Matellica: evento 16-18/05/2023 confronto fra livelli idrometrici ARPAE e risultati del modello idrologico-idraulico

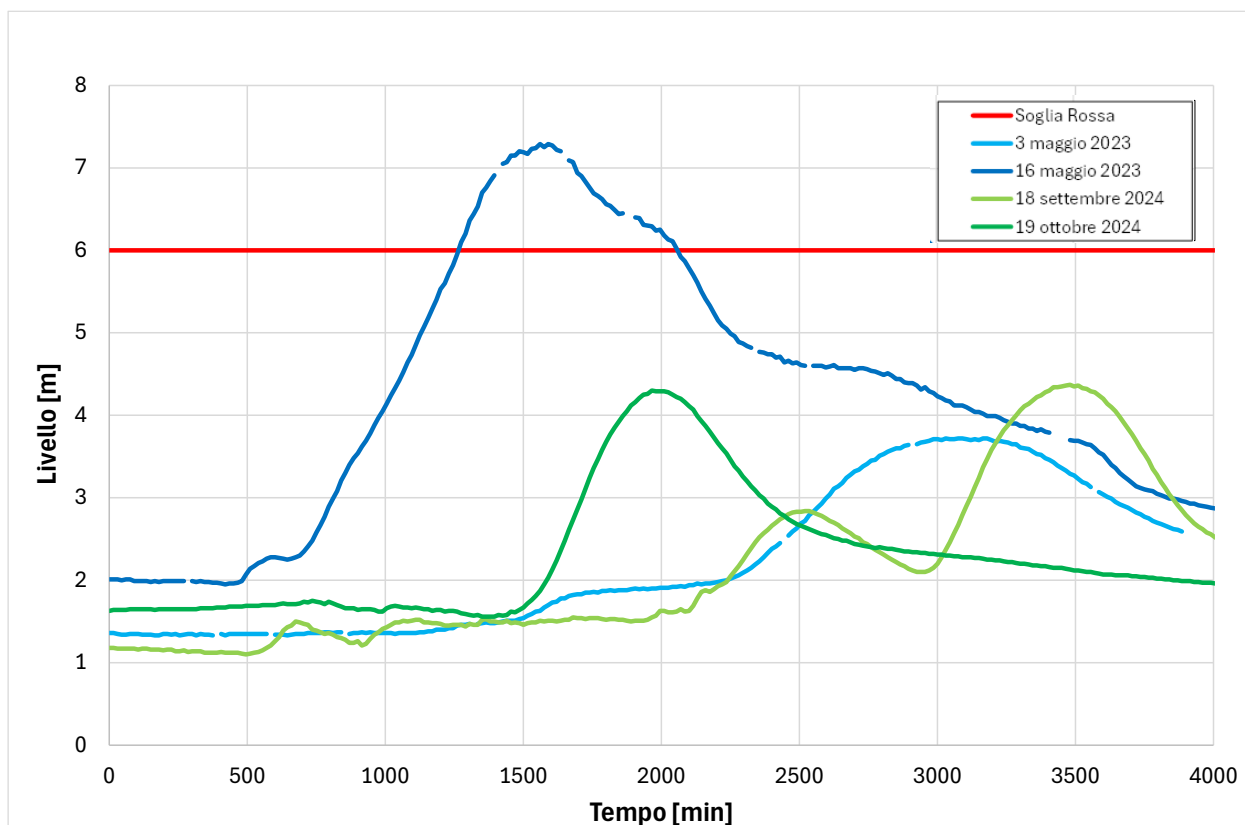


Fig. 20 F. Savio – idrometro Savio di Cervia: livelli idrometrici ARPAE eventi 2023 e 2024

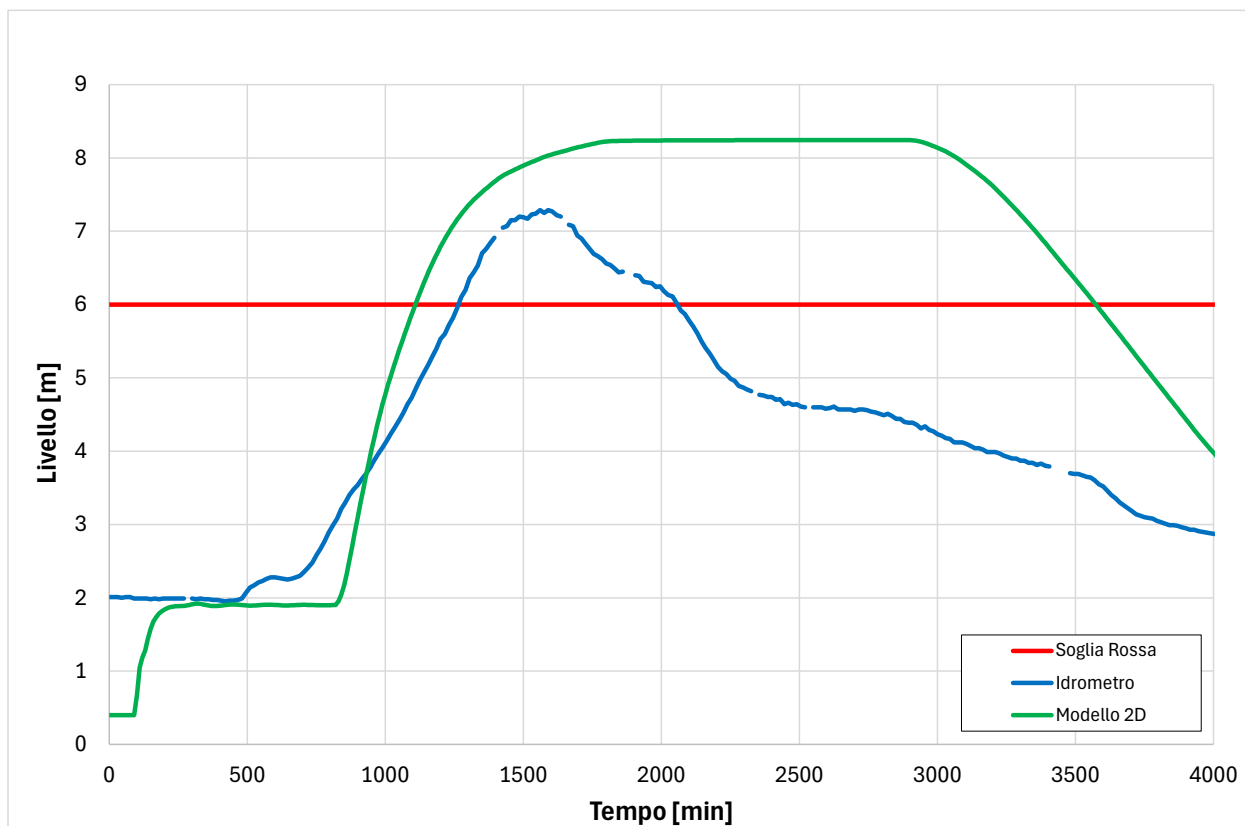


Fig. 21 F. Savio – idrometro Savio di Cervia: evento 16-18/05/2023 confronto fra livelli idrometrici ARPAE e risultati del modello idrologico-idraulico

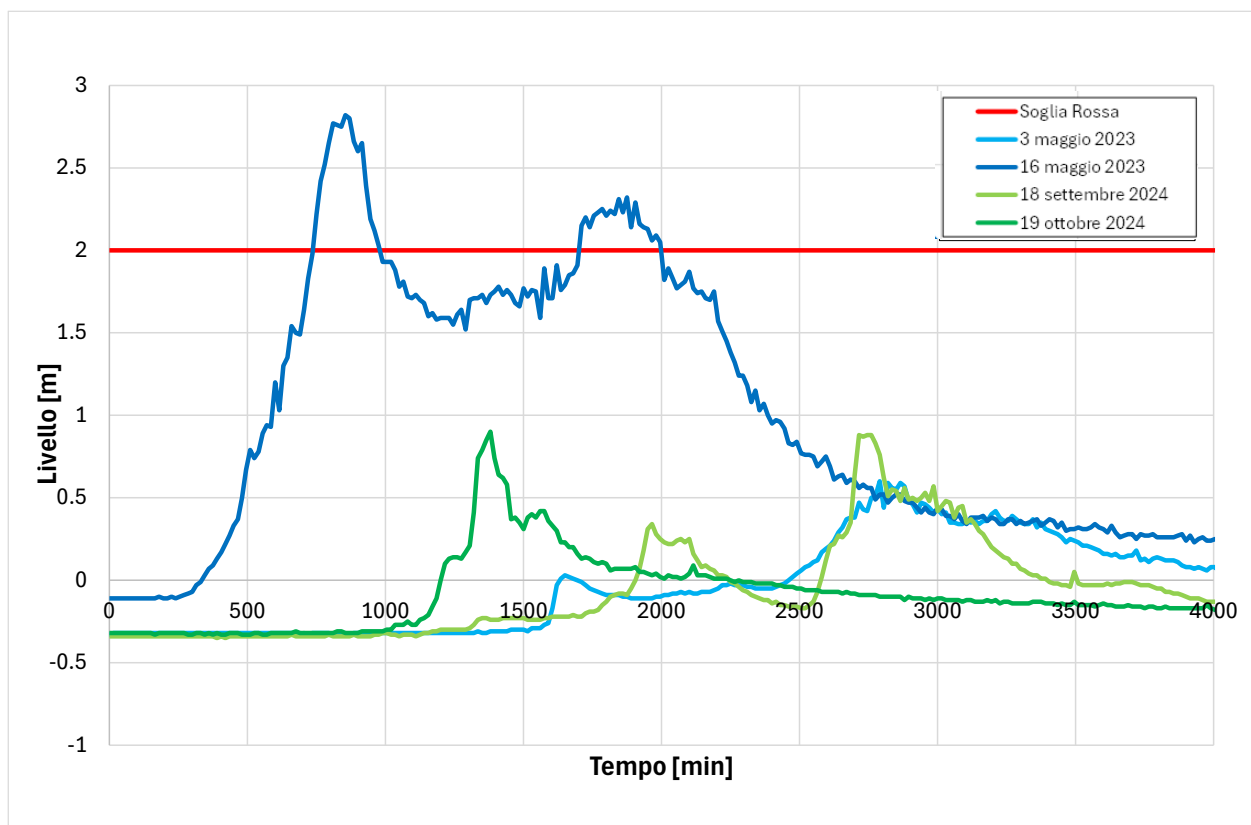


Fig. 22 T. Borello – idrometro Borello: livelli idrometrici ARPAE eventi 2023 e 2024

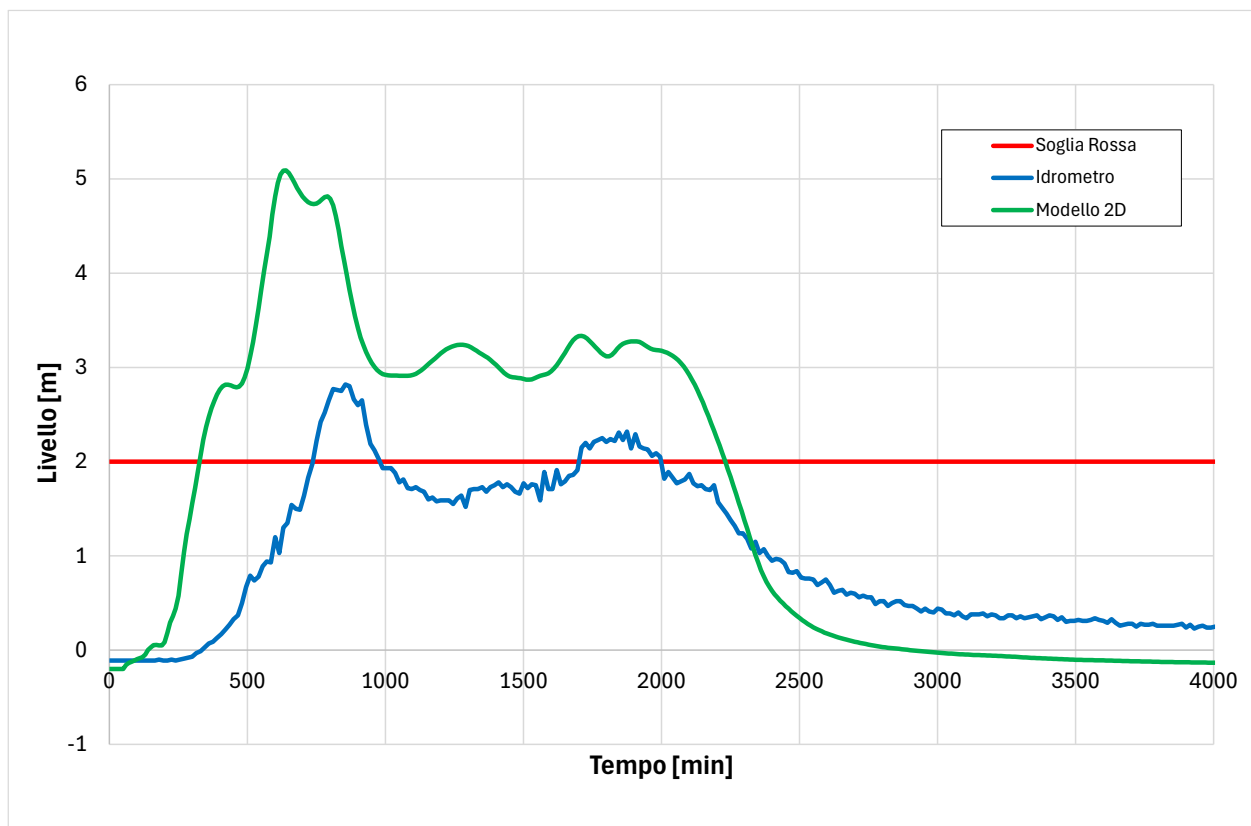


Fig. 23 T. Borello – idrometro Borello: evento 16-18/05/2023 confronto fra livelli idrometrici ARPAE e risultati del modello idrologico-idraulico

Gli eventi simulati di assegnato tempo di ritorno sono stati confrontati, in termini di aree allagabili, con gli strumenti di pianificazione e le evidenze degli eventi recenti disponibili; in particolare si è fatto riferimento a:

- evento T50: perimetrazione P3 PGRA 2021, che riprende le *Aree ad elevata probabilità* (art. 3 preesistente PAI), aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 30 anni e perimetrazione Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile Evento 16-18 maggio 2023, che, come indicato nel precedente Capitolo 4, è stato stimato abbia un tempo di ritorno minore di 50 anni, anche in termini pluviometrici;
- evento T200: perimetrazione P2 PGRA 2021, che riprende le *Aree a moderata probabilità* (art. 4 preesistente PAI), aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 200 anni.

Nel seguito sono sinteticamente illustrate le evidenze delle analisi eseguite relativamente ai tre tempi di ritorno indagati per i corsi d'acqua sopra citati. Si osservi che le restituzioni delle aree inondabili, in termini di tiranti, velocità e quote idriche, rappresentano, per tempo di ritorno, sempre l'involuppo dei massimi valori ottenuti dalle simulazioni eseguite per eventi di piena definiti dalle diverse durate di pioggia ipotizzate (3, 6, 9, 12, 18 ore).

7.3.1. Torrente Borello

7.3.1.1 Evento T50

In Comune di Mercato Saraceno l'ambito fluviale è vincolato dai versanti e i deflussi coinvolgono tale areale senza interessare abitati o infrastrutture, ad eccezione di alcuni insediamenti nelle località Linaro, (cfr. Fig. 24), Piavola (cfr. Fig. 25 e Fig. 26 e Fig. 27). A monte della confluenza nel fiume Savio, la piena del torrente Borello interessa l'abitato di Bora Bassa e di Borello (cfr. Fig. 28).

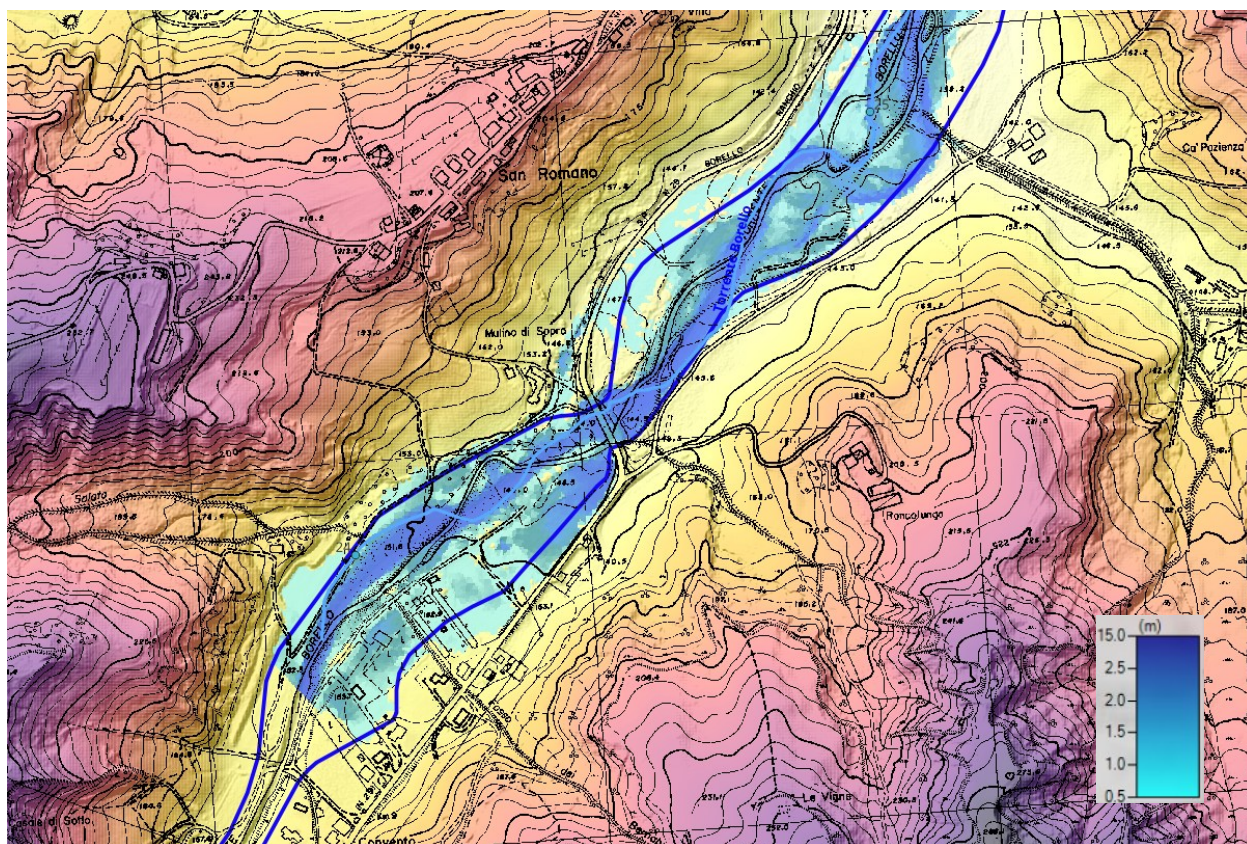


Fig. 24 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Linaro (in blu P3 PGRA 2021)

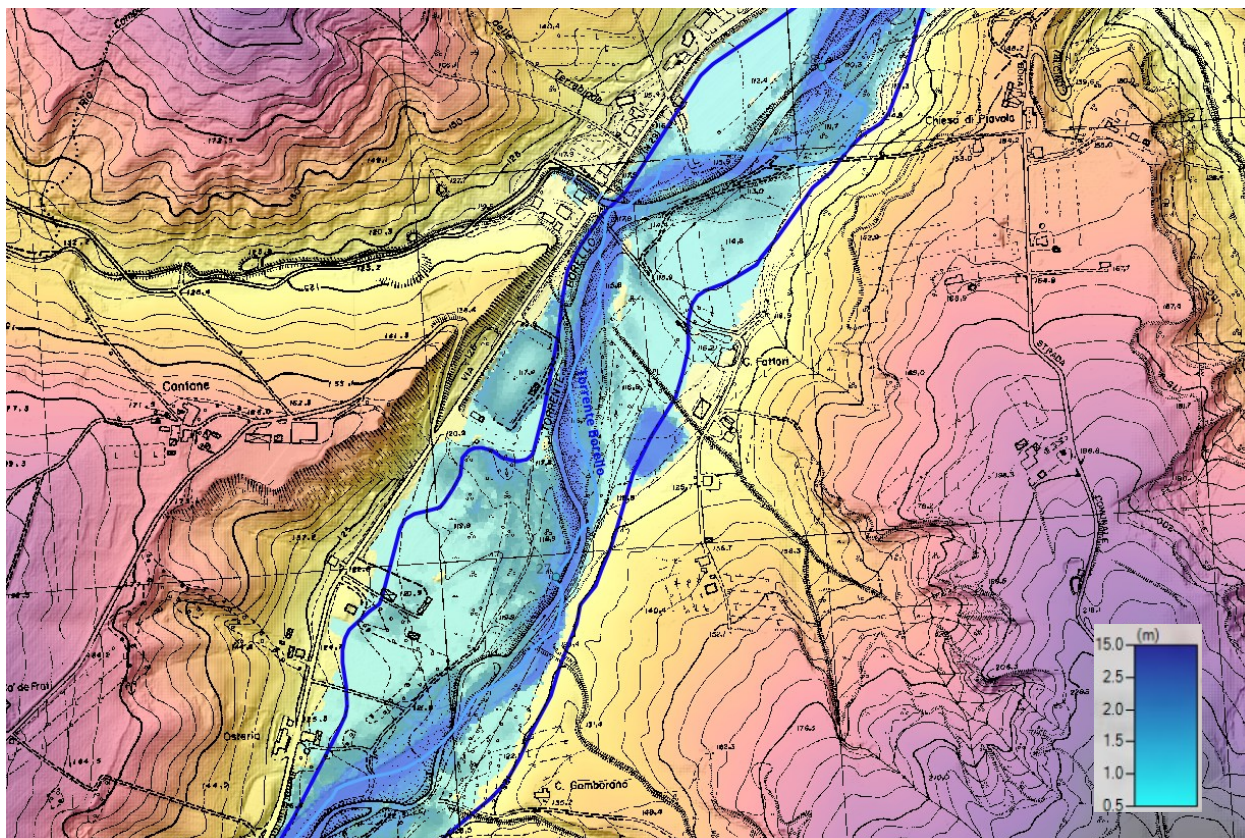


Fig. 25 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a monte loc. Piavola (in blu P3 PGRA 2021)

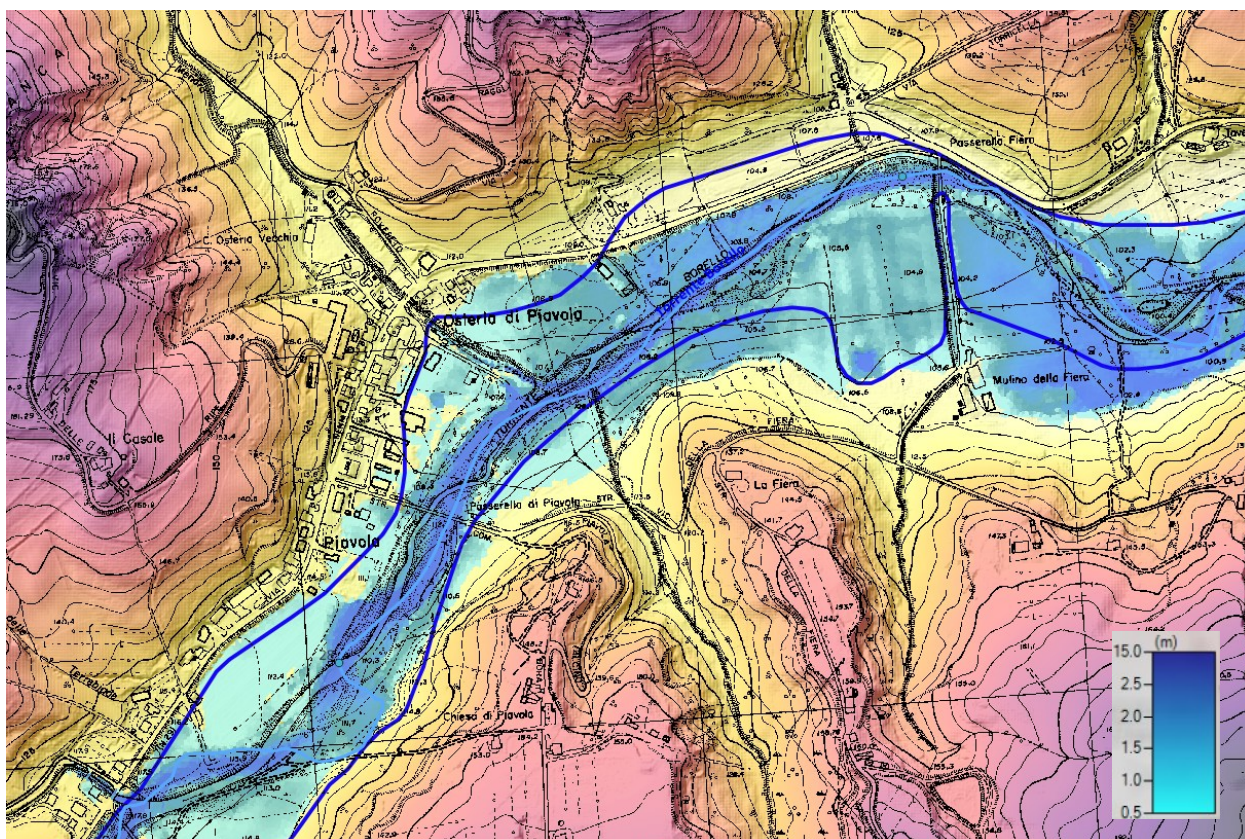


Fig. 26 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a monte loc. Piavola (in blu P3 PGRA 2021)

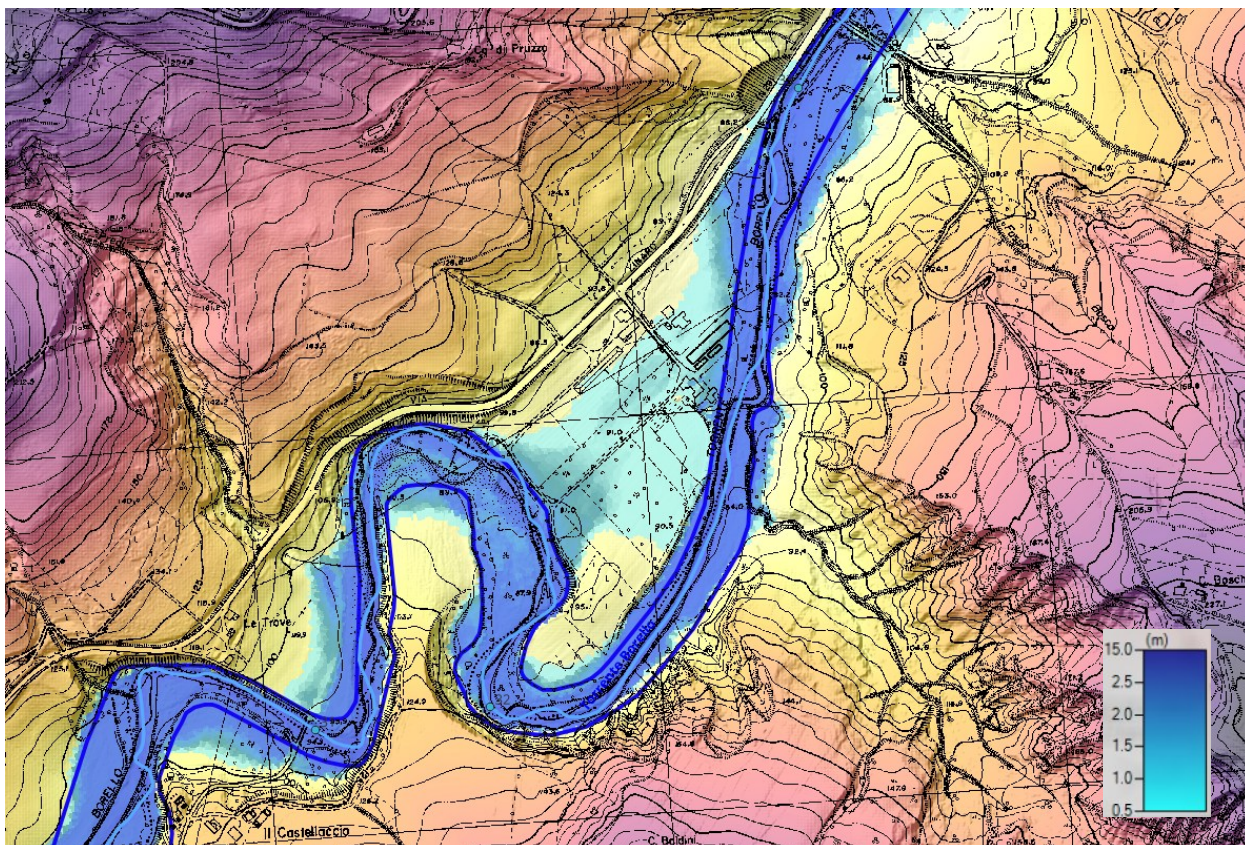


Fig. 27 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a valle loc. Piavola (in blu P3 PGRA 2021)

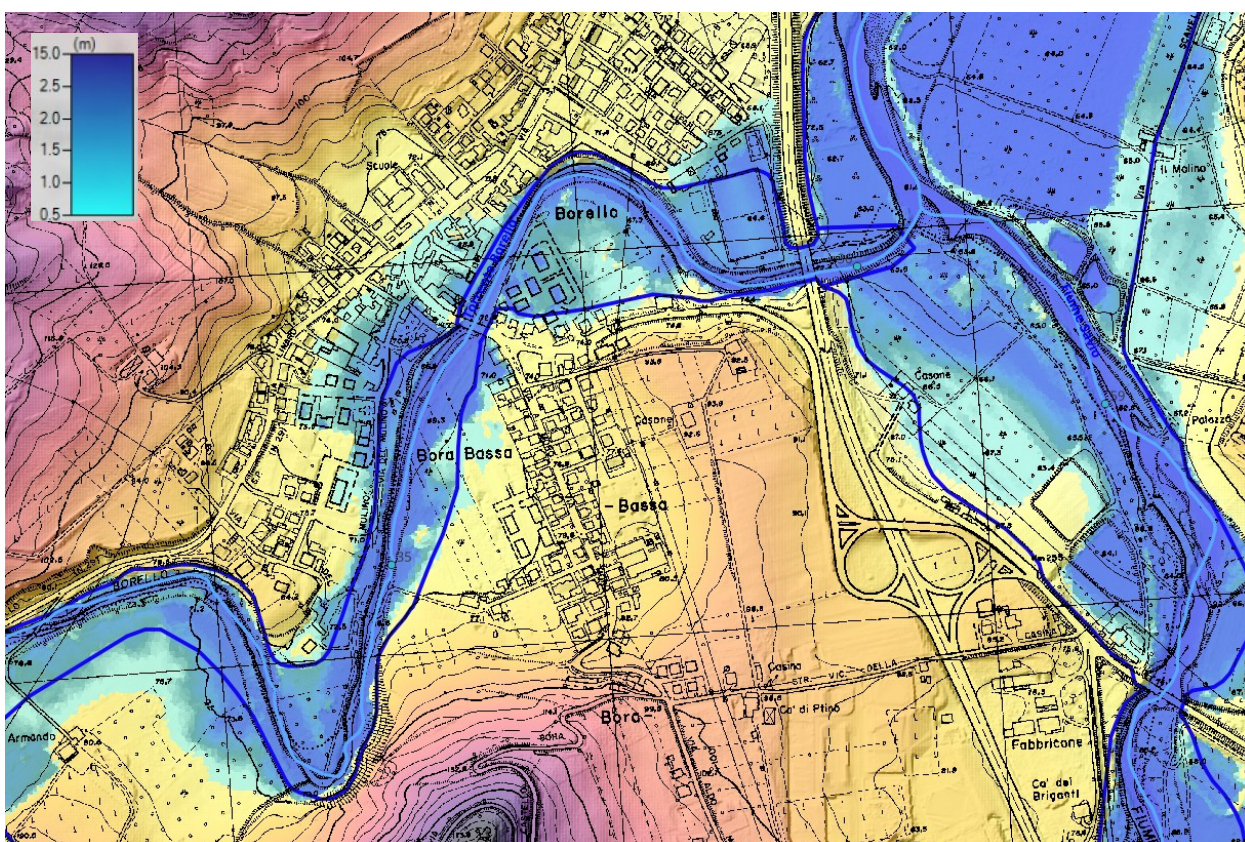


Fig. 28 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Bora Bassa e Borello (in blu P3 PGRA 2021)

In generale si osserva una buona corrispondenza tra le aree classificate P3 del PGRA 2021, che riprendono l'art.3 del preesistente PAI, e le evidenze del modello numerico. Le principali differenze si osservano in sinistra idraulica in corrispondenza degli abitati di Bora Bassa e Borello. Nel modello idraulico l'effetto del rigurgito indotto dal ponte della SR142 causa allagamenti in sinistra idraulica in località Bora Bassa che proseguono verso Borello. Si consideri comunque che il tempo di ritorno della P3 è 30 anni, per cui in alcuni casi le aree interessate dagli allagamenti calcolati dal modello idraulico risultano maggiori anche perché sono relativi ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno maggiore (da notare che il colmo di riferimento per l'art. 3 del preesistente PAI è effettivamente inferiore al colmo con tempo di ritorno 50 anni utilizzato per le simulazioni).

Nella Fig. 29 è riportato il confronto in corrispondenza delle località Bora Bassa e Borello, a monte della confluenza con il Savio, sovrapposti alla perimetrazione degli allagamenti occorsi durante l'evento del 16-18 maggio 2023, che come affermato in precedenza, è stato caratterizzato da un tempo di ritorno poco inferiore a 50 anni.

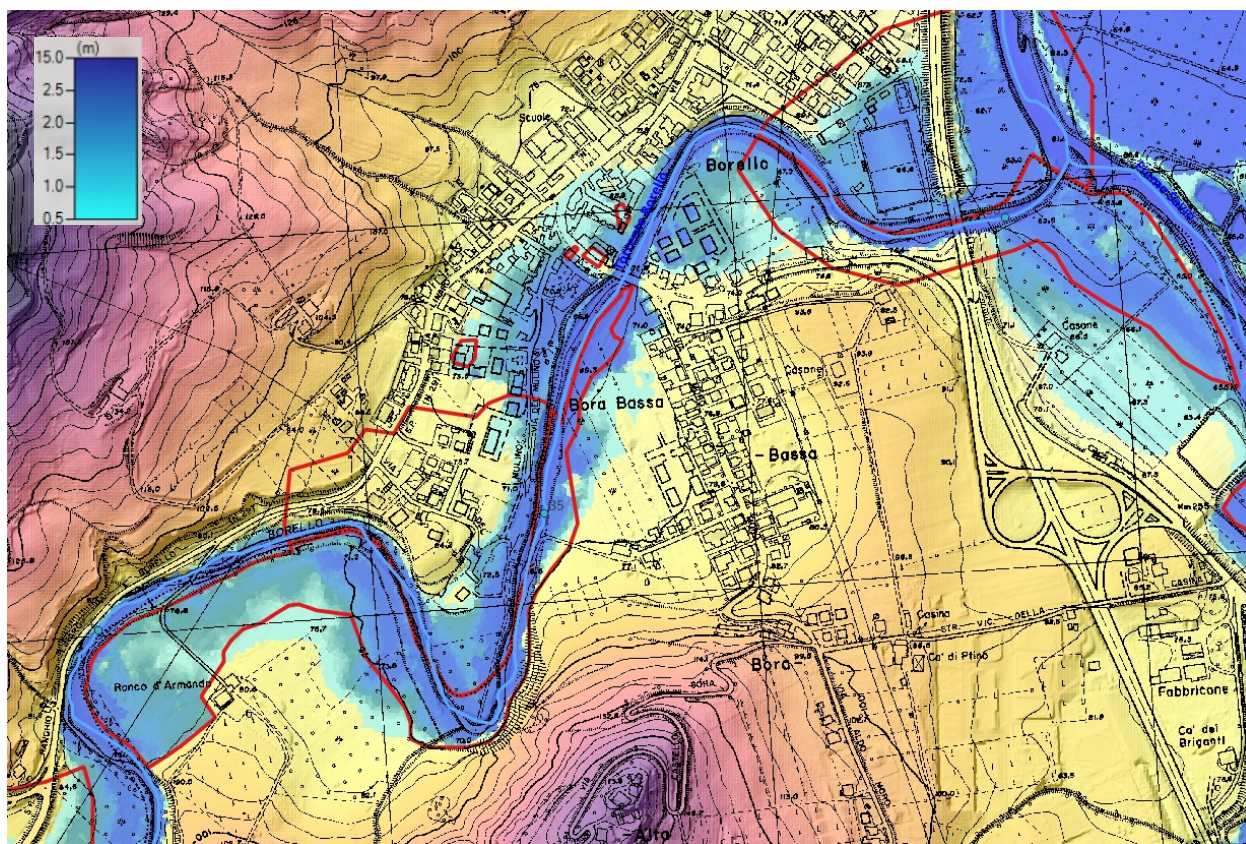


Fig. 29 T50: massimi tiranti nel tratto a monte confluenza con il Savio sovrapposti alla perimetrazione degli allagamenti occorsi durante l'evento del 16-18 maggio 2023 (in rosso)

Di seguito si riporta il confronto tra gli idrogrammi definiti dalle analisi idrologiche nelle sezioni di chiusura del bacino del Borello e gli esiti ottenuti con il modello idraulico nella medesima sezione. La differenza tra le due tipologie di idrogrammi è rappresentativa degli effetti di laminazione e traslazione dell'onda di piena, associati soprattutto ai fenomeni di esondazione che si verificano lungo l'asta fluviale.

Dall'analisi dei grafici riportati nella Fig. 30 si riscontrano differenze tra gli idrogrammi idrologici e idraulici in termini di portata al picco e forma associate all'effetto delle esondazioni che si verificano lungo l'asta del Borello. Si segnala che il volume degli idrogrammi idrologici e idraulici sono essenzialmente uguali, a dimostrazione che lungo l'asta del Borello le acque che esondano rientrano in alveo nella fase calante dell'evento di piena.

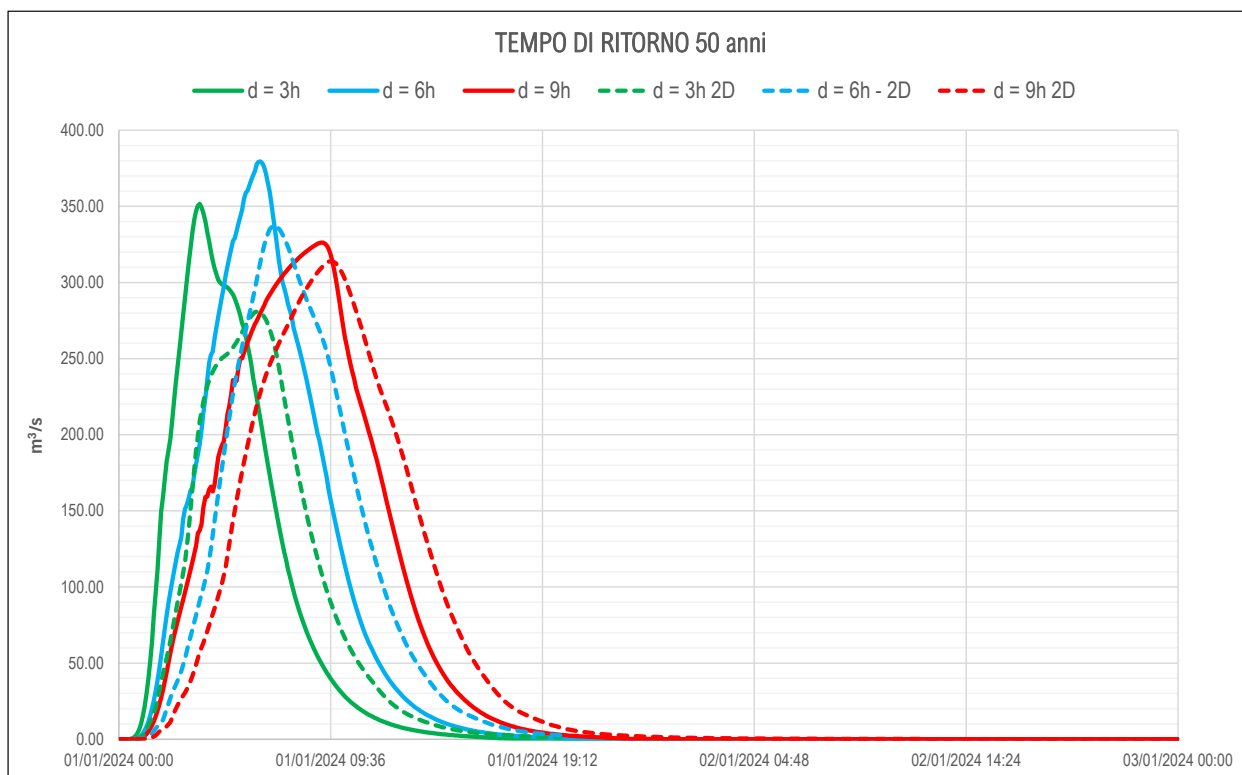


Fig. 30 T50: sezione T. Borello a Borello - confronto tra idrogrammi idrologici (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

7.3.1.2 Evento T200

Con riferimento ad evento di piena duecentennale, le dinamiche idrauliche sono del tutto analoghe a quelle descritte per l'evento con tempo di ritorno cinquantennale, con tiranti più severi e aree di allagamento più estese.

Di seguito si riportano le medesime figure proposte in precedenza, in cui è raffigurato il confronto fra i risultati del modello idraulico, in termini di aree allagabili, e le aree di pericolosità P2 del PGRA 2021 (coincidenti con le aree art. 4 del preesistente PAI), associate anch'esse ad eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni.

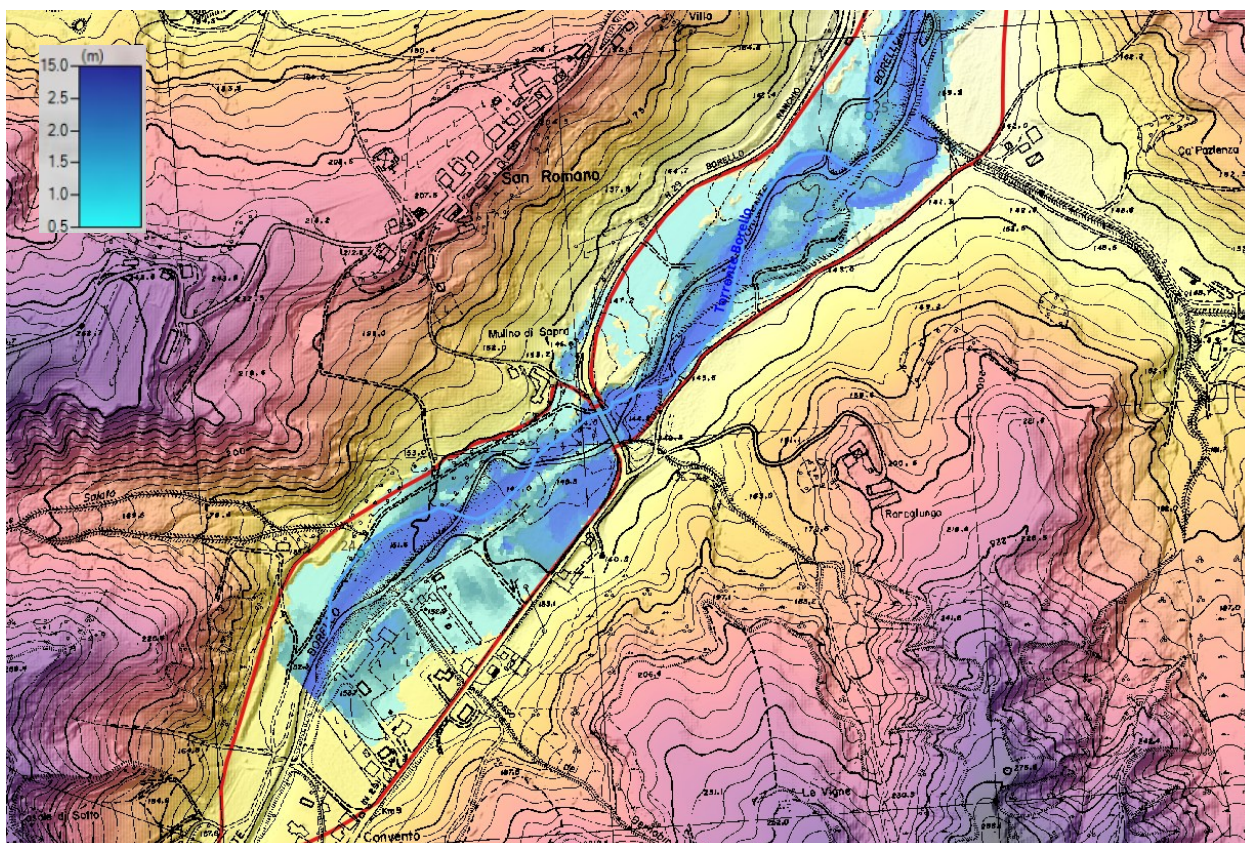


Fig. 31 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Linaro (in rosso P2 PGRA 2021)

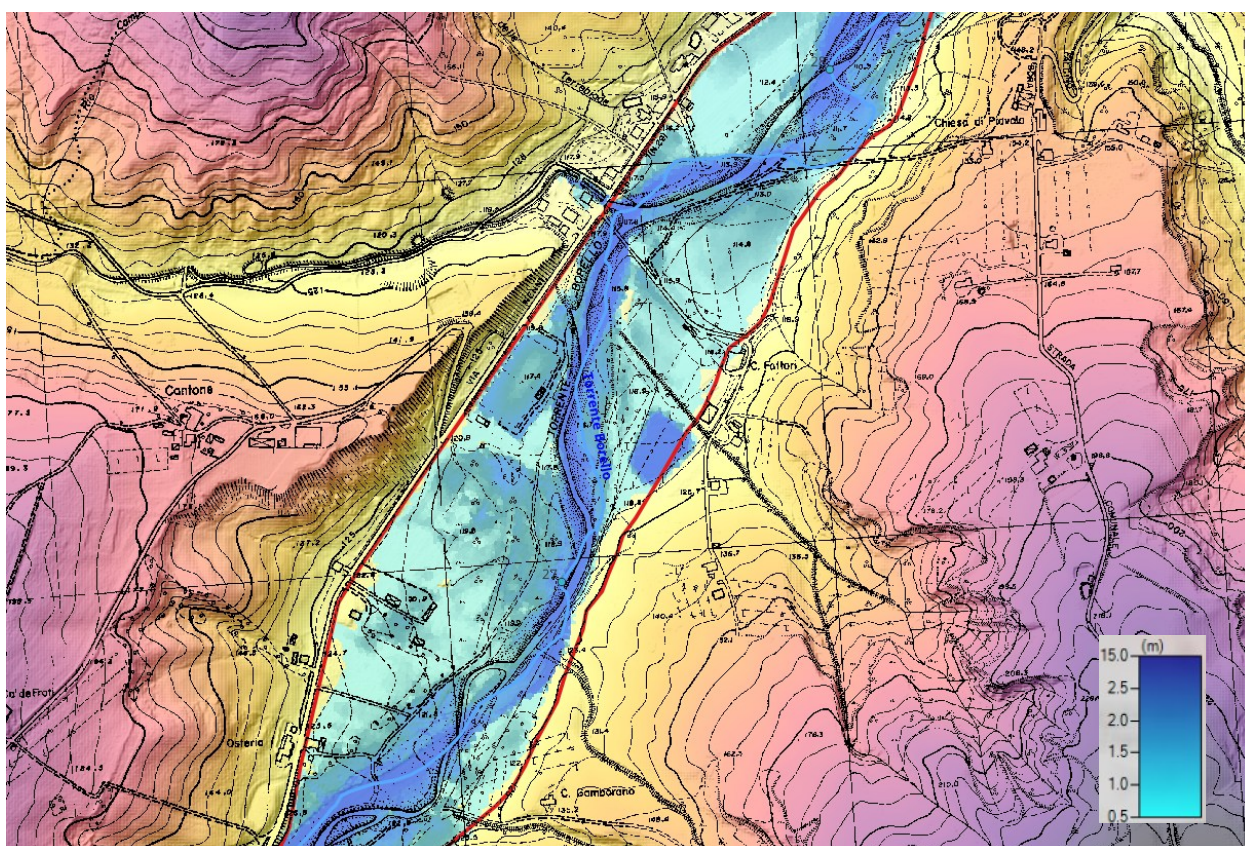


Fig. 32 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a monte loc. Piavola (in rosso P2 PGRA 2021)

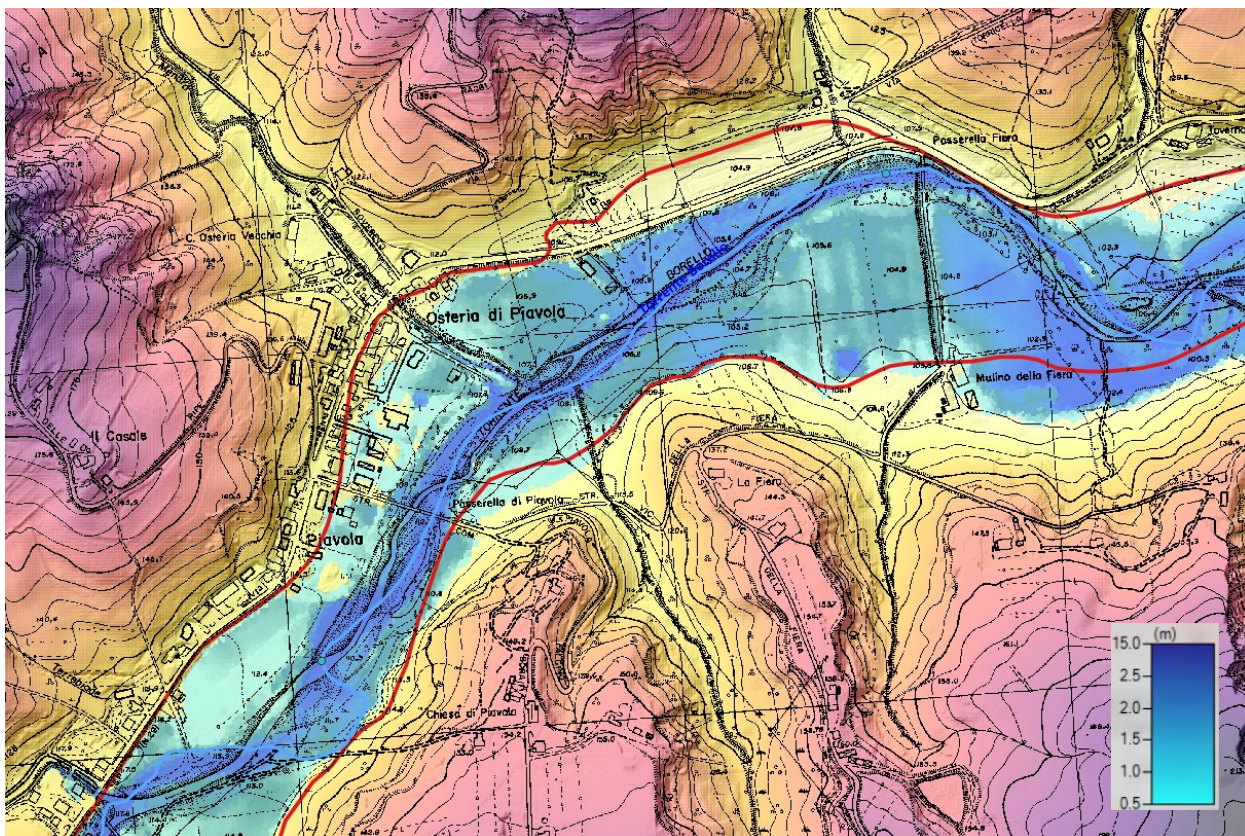


Fig. 33 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a monte loc. Piavola (in rosso P2 PGRA 2021)

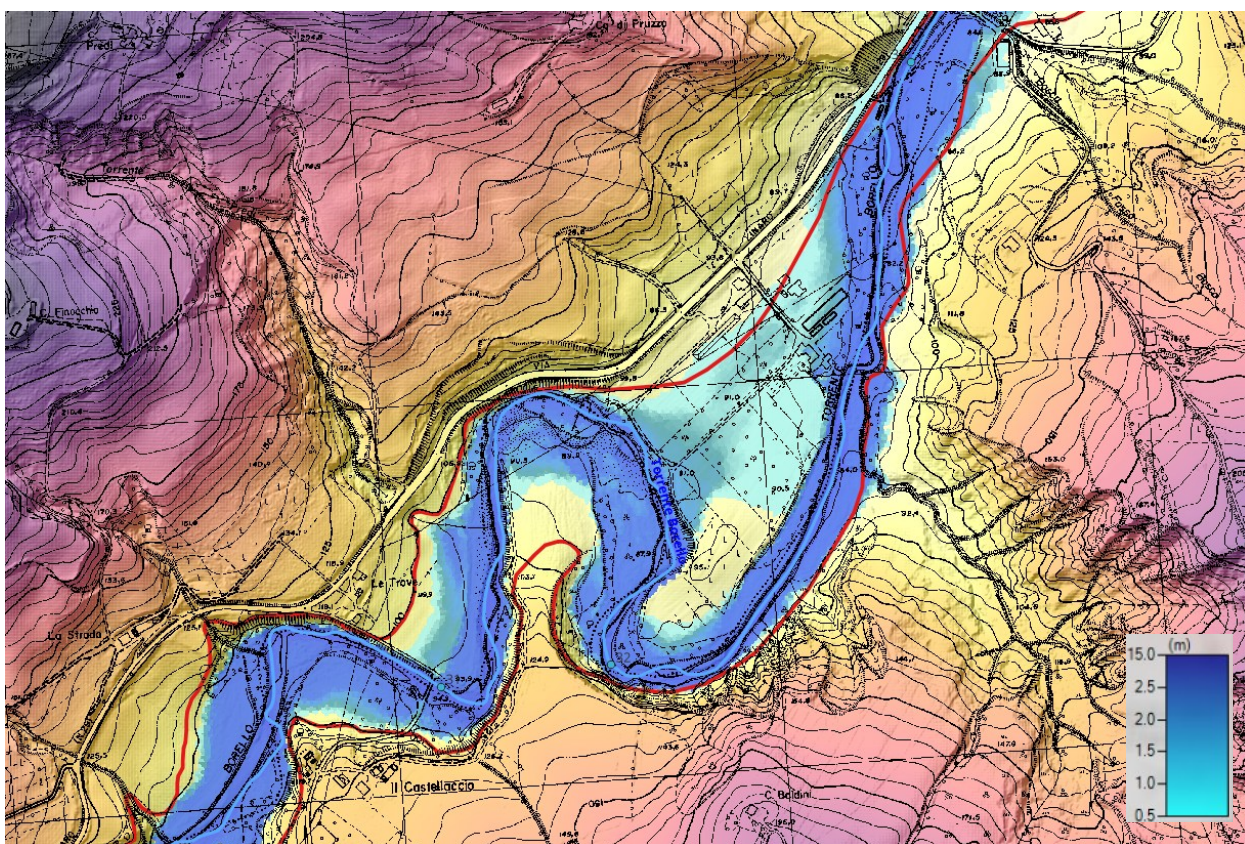


Fig. 34 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – a valle loc. Piavola (in rosso P2 PGRA 2021)

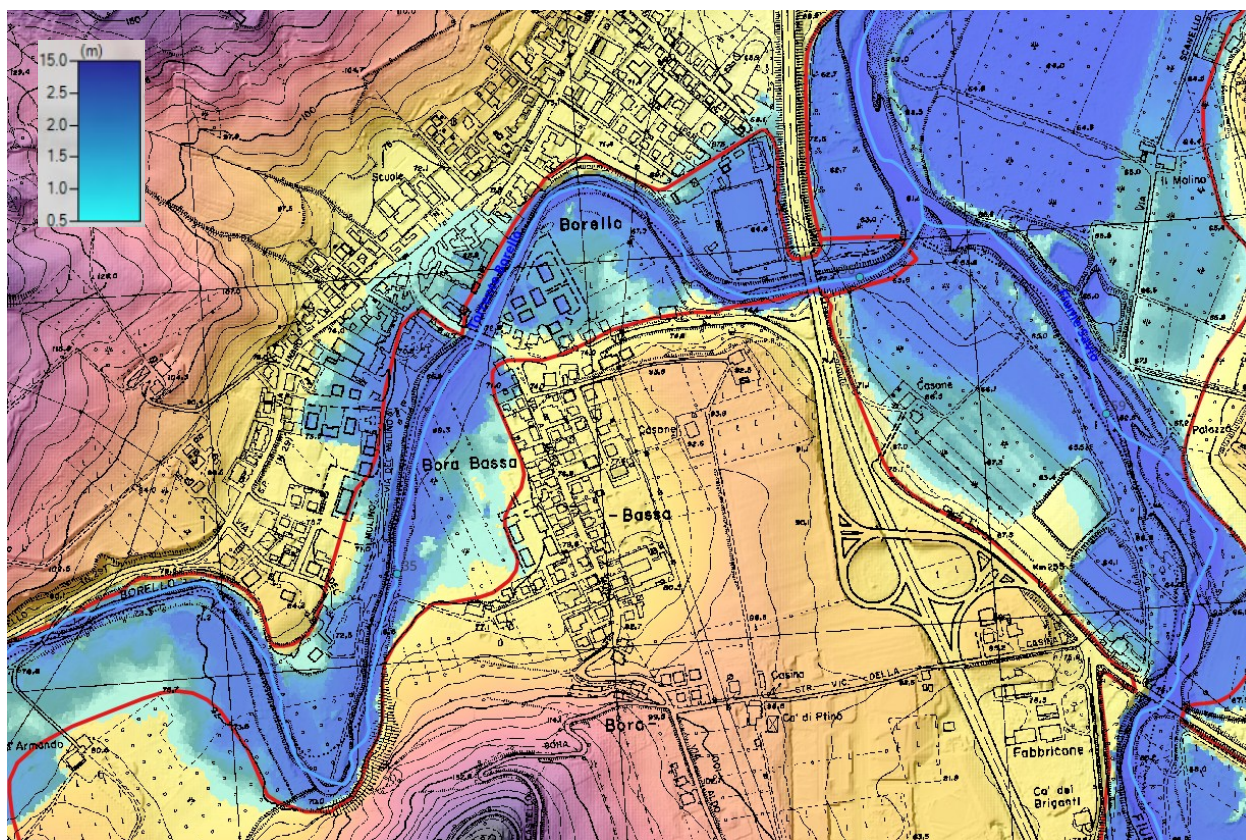


Fig. 35 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Bora Bassa e Borello (in rosso P2 PGRA 2021)

Di seguito si riporta il confronto tra gli idrogrammi definiti dalle analisi idrologiche nelle sezioni di chiusura del bacino del Borello e gli esiti ottenuti con il modello idraulico nella medesima sezione. La differenza tra le due tipologie di idrogrammi è rappresentativa degli effetti di laminazione e traslazione dell'onda di piena, associati soprattutto ai fenomeni di esondazione che si verificano lungo l'asta fluviale.

Dall'analisi dei grafici riportati nella Fig. 36 si riscontrano differenze tra gli idrogrammi idrologici e idraulici in termini di portata al picco e forma associate all'effetto delle esondazioni che si verificano lungo l'asta del Borello. Si segnala che il volume degli idrogrammi idrologici e idraulici sono essenzialmente uguali, a dimostrazione che lungo l'asta del Borello le acque che esondano rientrano in alveo nella fase calante dell'evento di piena.

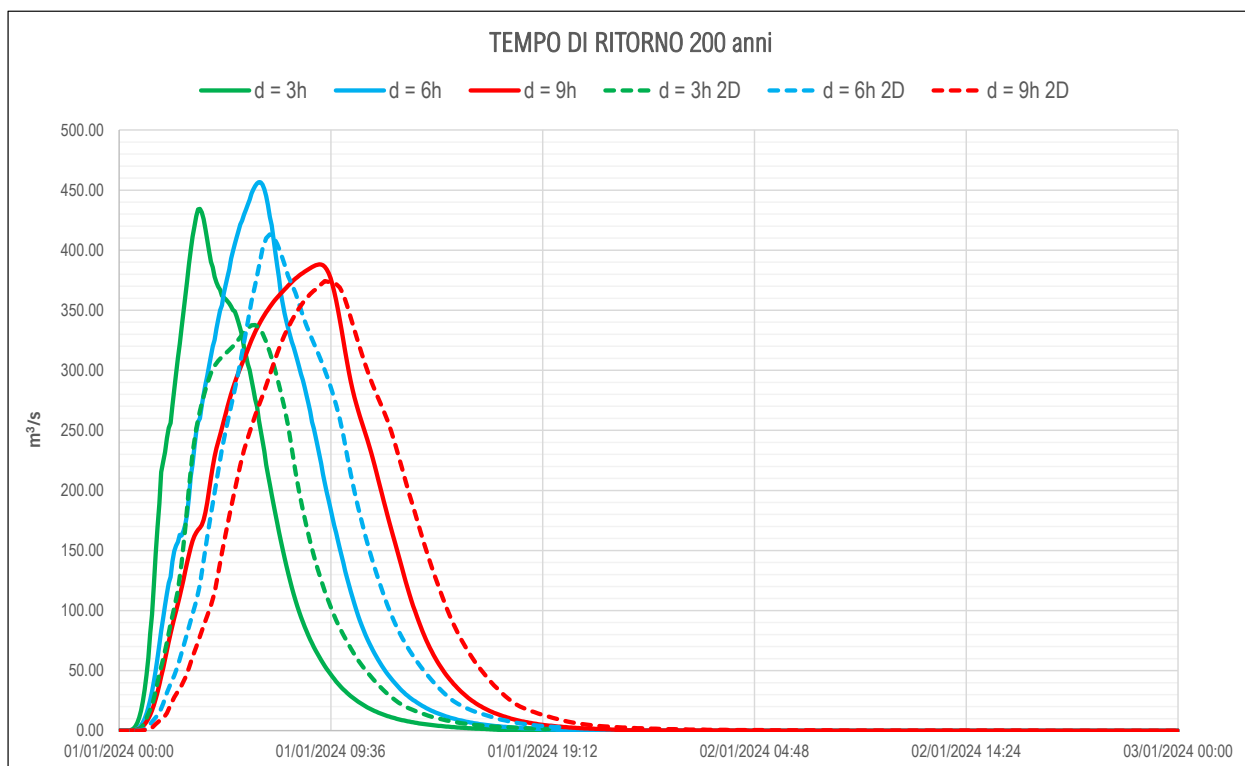


Fig. 36 T200: sezione T. Borello a Borello - confronto tra idrogrammi idrologici (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

7.3.1.3 Evento T500

Con riferimento ad evento di piena cinquecentennale, le dinamiche idrauliche sono del tutto analoghe a quelle descritte in precedenza, con tiranti più severi e aree di allagamento sostanzialmente coincidenti con quelle associate ad un evento duecentennale.

7.3.2. Fiume Savio

7.3.2.1 Evento T50

Nel tratto iniziale di studio, a Mercato Saraceno loc. San Damiano, l'ambito fluviale è vincolato dai versanti e i deflussi della piena cinquantennale rimangono contenuti sostanzialmente all'interno dell'alveo senza interessare abitati o infrastrutture (cfr. Fig. 37). Successivamente, da loc. Borgo Stecchi, il fondo valle si amplia e di conseguenza anche l'area interessata dalla piena cinquantennale, con interessamento di ex-ambiti di cava (cfr. Fig. 38). In località Bivio Montegelli l'area di esondazione interessa qualche insediamento (cfr. Fig. 39).

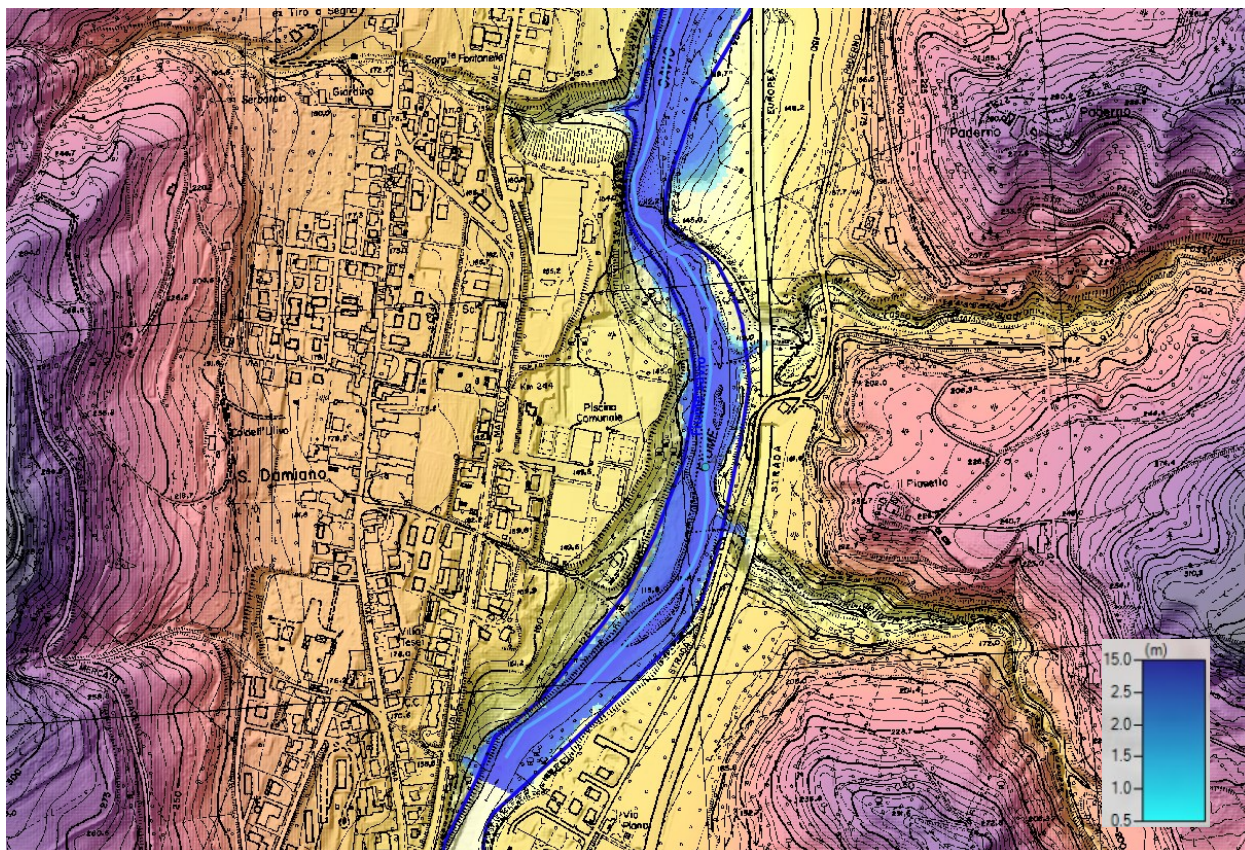


Fig. 37 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. S. Damiano (in blu P3 PGRA 2021)

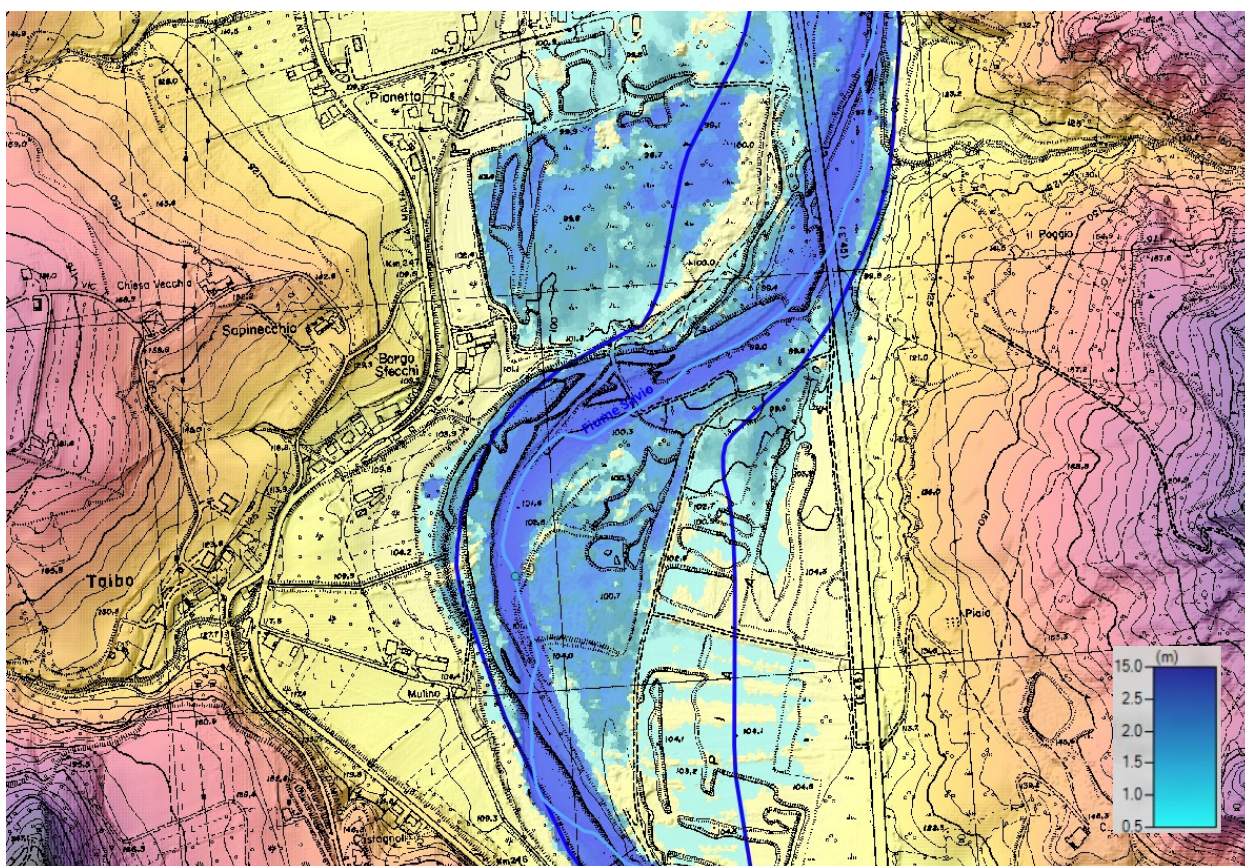


Fig. 38 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Borgo Stecchi (in blu P3 PGRA vigente)

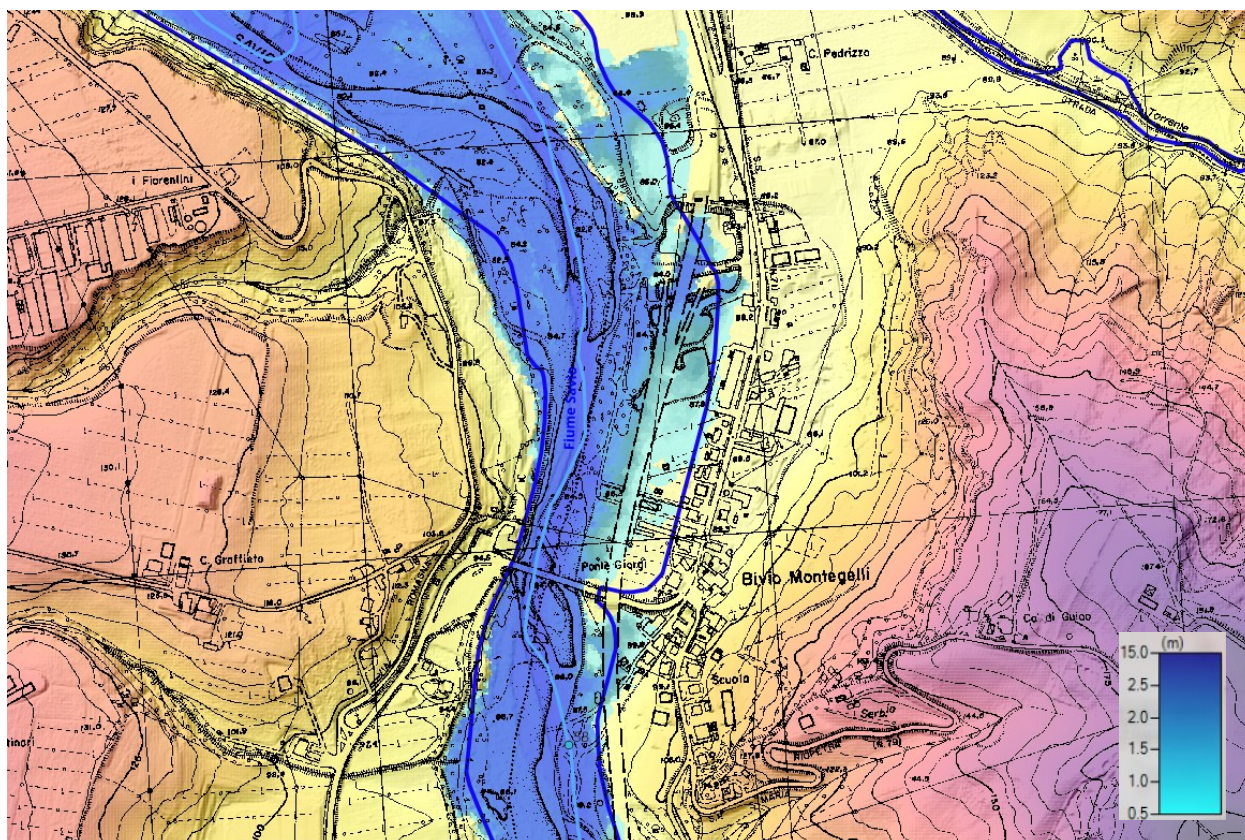


Fig. 39 T50: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Bivio Montegelli (in blu P3 PGRA 2021)

A valle della confluenza con il torrente Borello, in Comune di Cesena, l'alveo di piena si amplia e interessa le aree golenali, alcune con funzione di laminazione essendo delimitate da arginature perimetrali (cfr. Fig. 40 e Fig. 41).

Dalla località Gallo fino alla località San Carlo, l'ambito fluviale si restringe nuovamente e i deflussi della piena cinquantennale rimangono contenuti sostanzialmente all'interno dell'alveo senza interessare abitati o infrastrutture (cfr. Fig. 42).

Più a valle, in corrispondenza della loc. Borgo Paglia, l'alveo assume un tracciato meandriforme e la piena cinquantennale interessa un ambito territoriale più ampio interessando alcuni edifici isolati (cfr. Fig. 43).

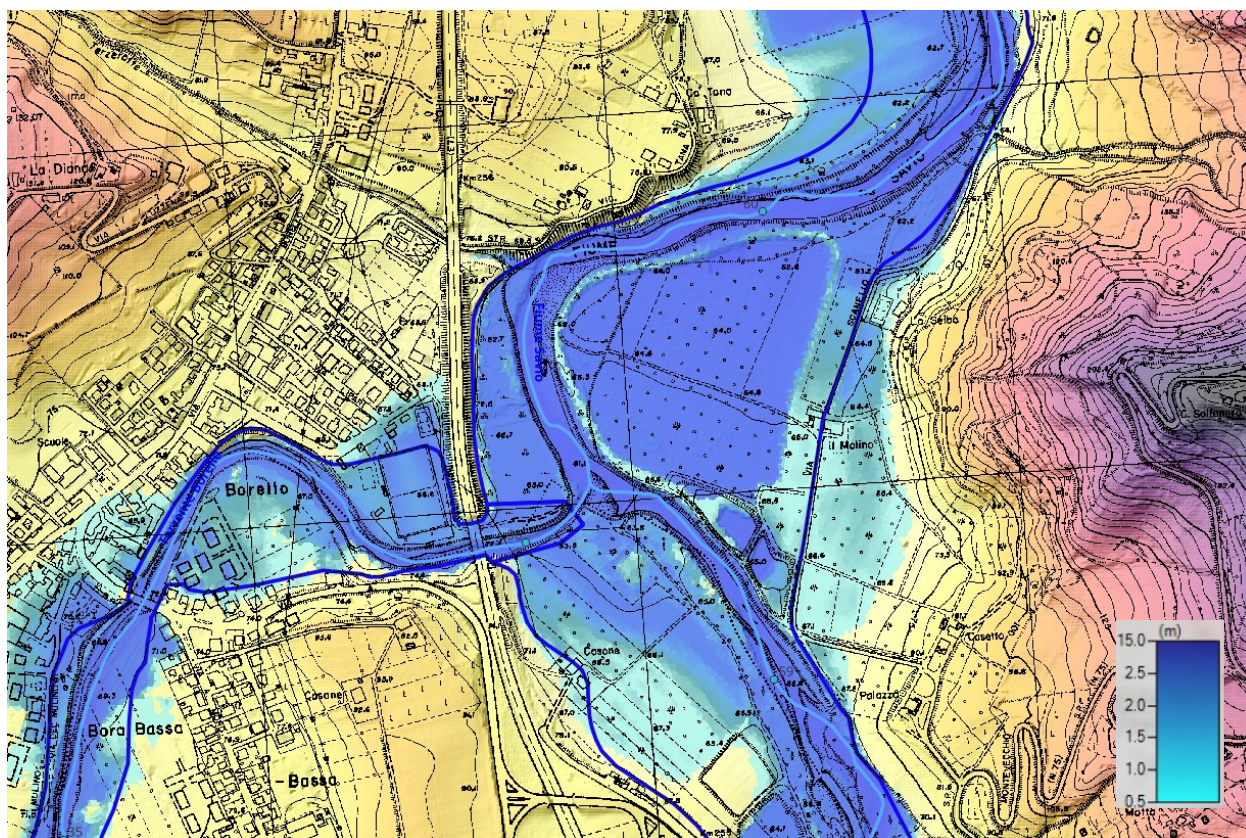


Fig. 40 T50: massimi tiranti a Cesena - confluenza T. Borello (in blu P3 PGRA 2021)

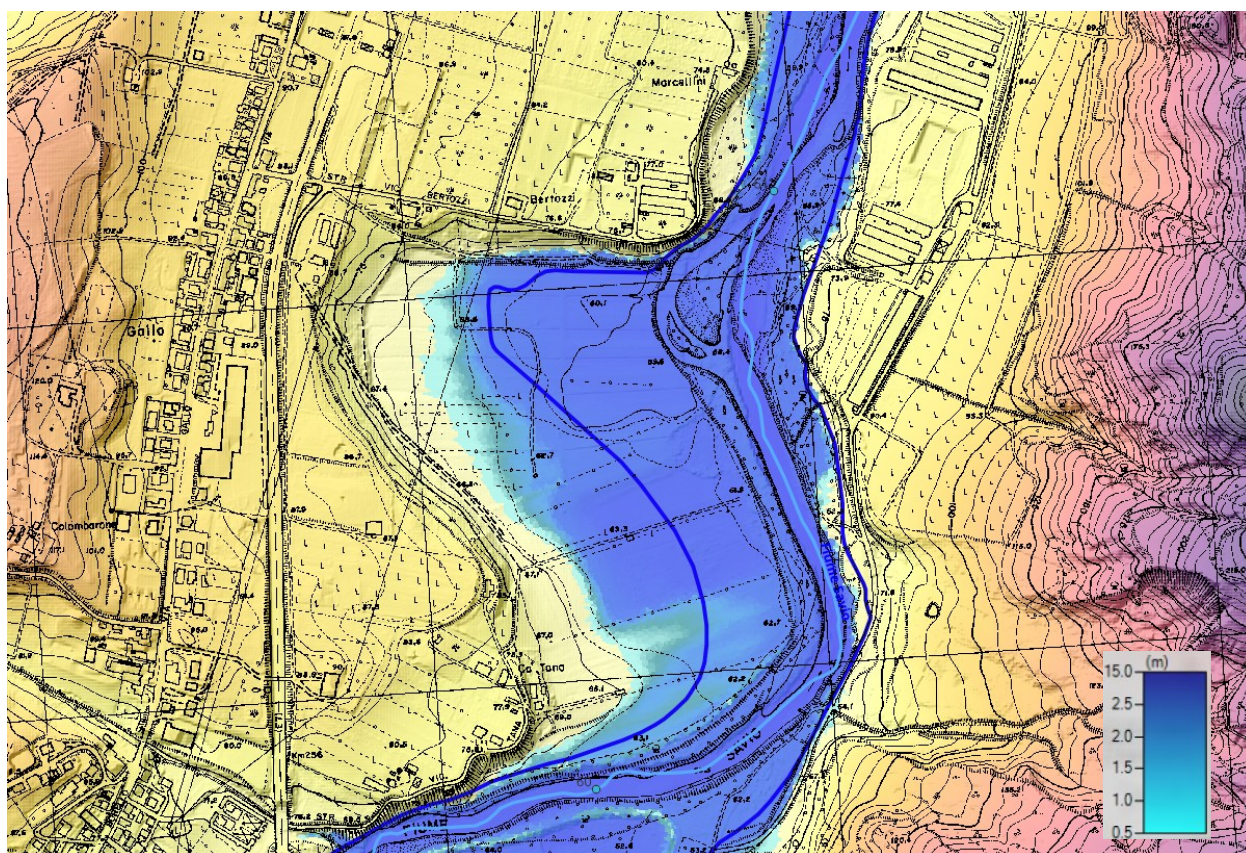


Fig. 41 T50: massimi tiranti a Cesena - a valle confluenza T. Borello (in blu P3 PGRA 2021)

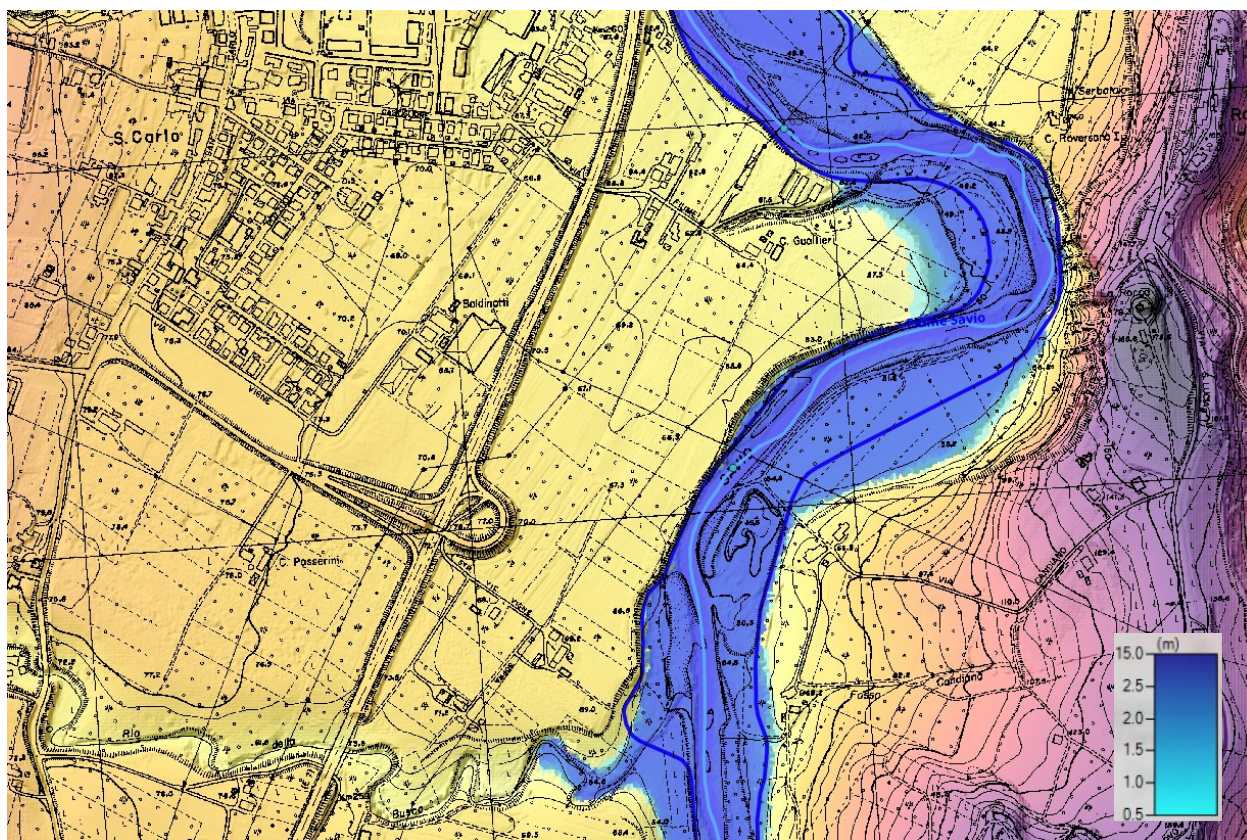


Fig. 42 T50: massimi tiranti a Cesena - a monte loc. San Carlo (in blu P3 PGRA 2021)

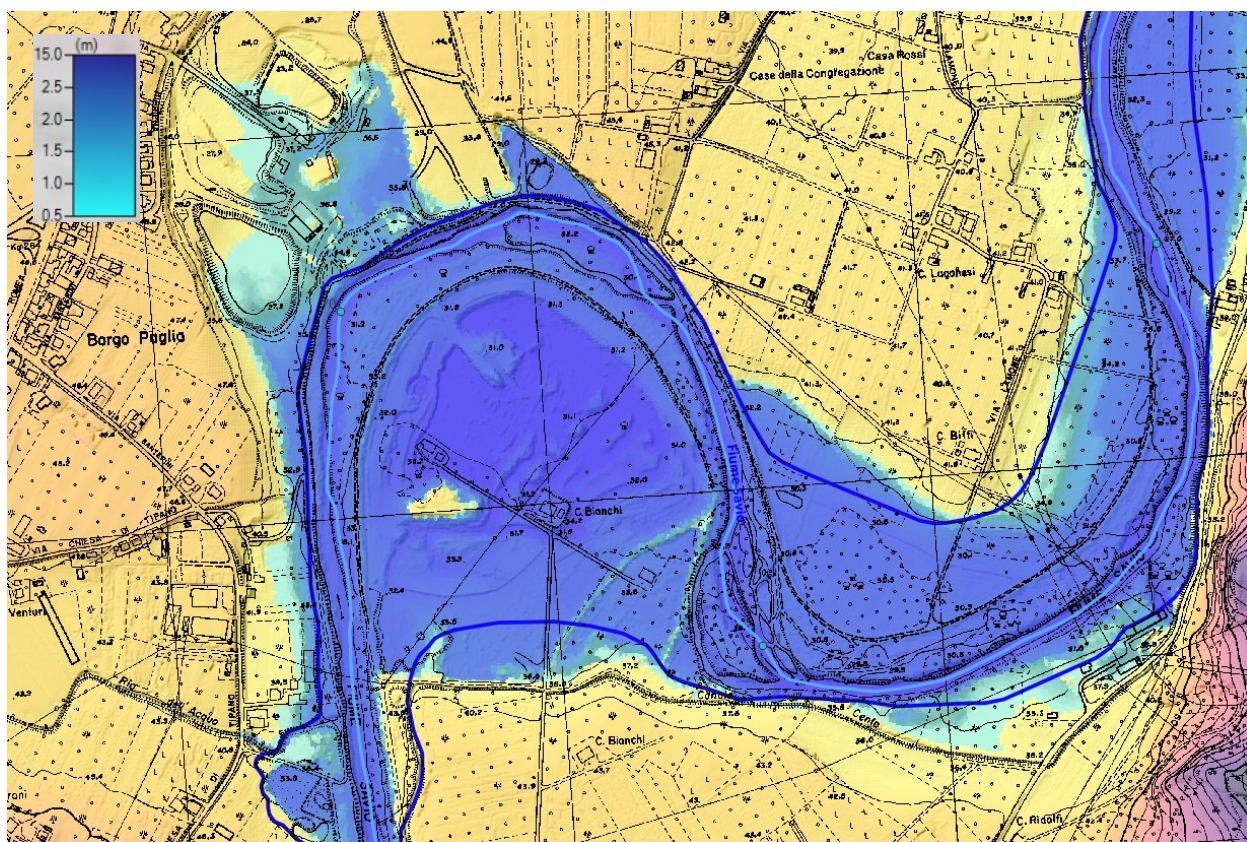


Fig. 43 T50: massimi tiranti a Cesena - loc. Borgo Paglia (in blu P3 PGRA 2021)

Proseguendo verso valle, in corrispondenza dell'abitato di Cesena, l'alveo non è in grado di contenere la piena cinquantennale e l'esondazione interessa ampie zone edificate, come rappresentato nella Fig. 44 e nella Fig. 45.

Tali aree di allagamento sono del tutto paragonabili a quelle che si sono verificate nel corso dell'evento del 16-18 maggio 2023 (cfr. Fig. 46), che come affermato in precedenza, è stato caratterizzato da un tempo di ritorno inferiore a 50 anni.

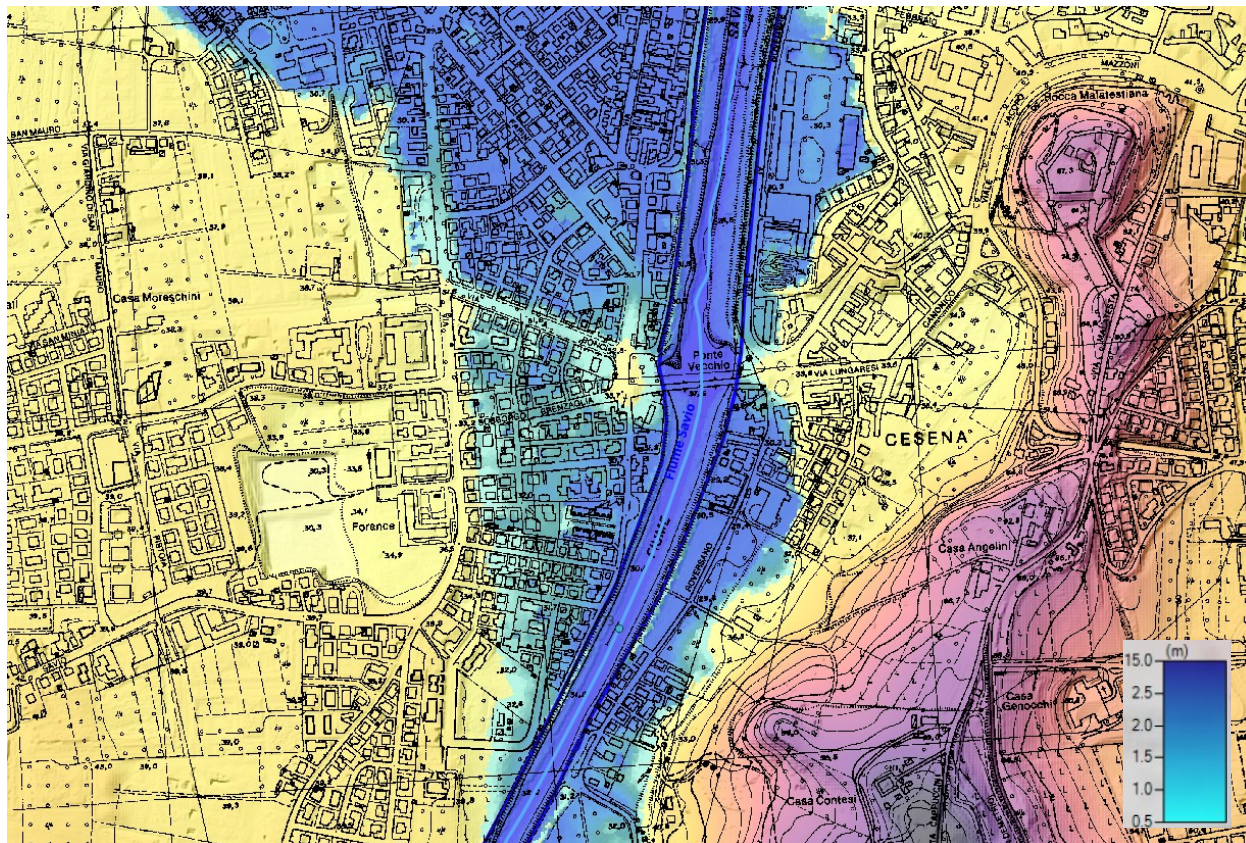


Fig. 44 T50: massimi tiranti a Cesena (in blu P3 PGRA 2021)



Fig. 45 T50: massimi tiranti a Cesena (in blu P3 PGRA 2021)

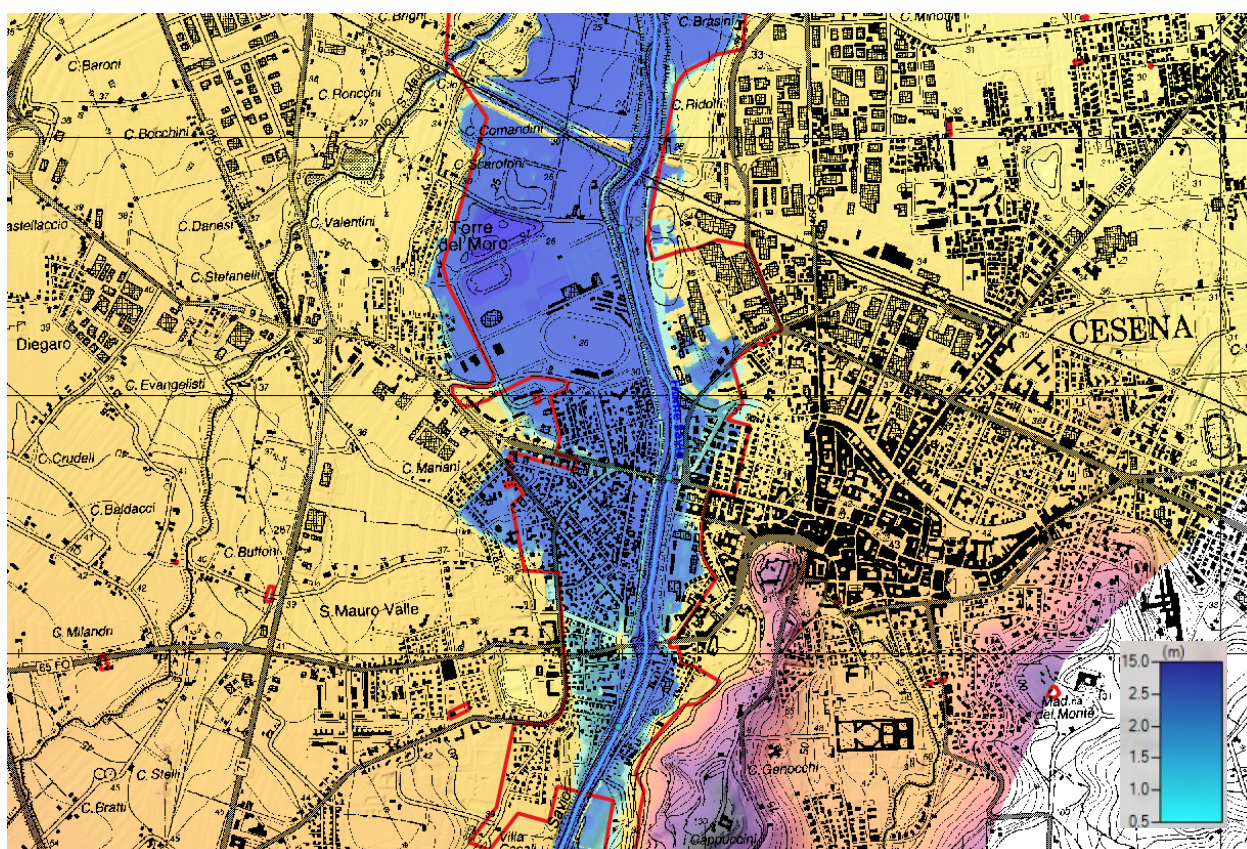


Fig. 46 T50: massimi tiranti nel tratto in attraversamento alla città di Cesena sovrapposti alla perimetrazione degli allagamenti occorsi durante l'evento del 16-18 maggio 2023 (in rosso)

A valle della linea ferroviaria Bologna – Rimini l’area di esondazione è ancora molto ampia ma interessa aree non urbanizzate (cfr. Fig. 47, Fig. 48).

A partire dalla località Martorano si verificano ulteriori esondazioni che interessano anche ambiti urbanizzati (Fig. 49). Tali esondazioni proseguono poi verso valle, in direzione nord-est, attraversando la pianura (cfr. Fig. 50, Fig. 51) ed interessando anche alcune porzioni dei comuni di Ravenna, Bertinoro, Forlì e Cervia (Fig. 52).

Anche in tale ambito territoriale le aree di allagamento sono del tutto paragonabili a quelle che si sono verificate nel corso dell’evento del 16-18 maggio 2023 (cfr. Fig. 53).

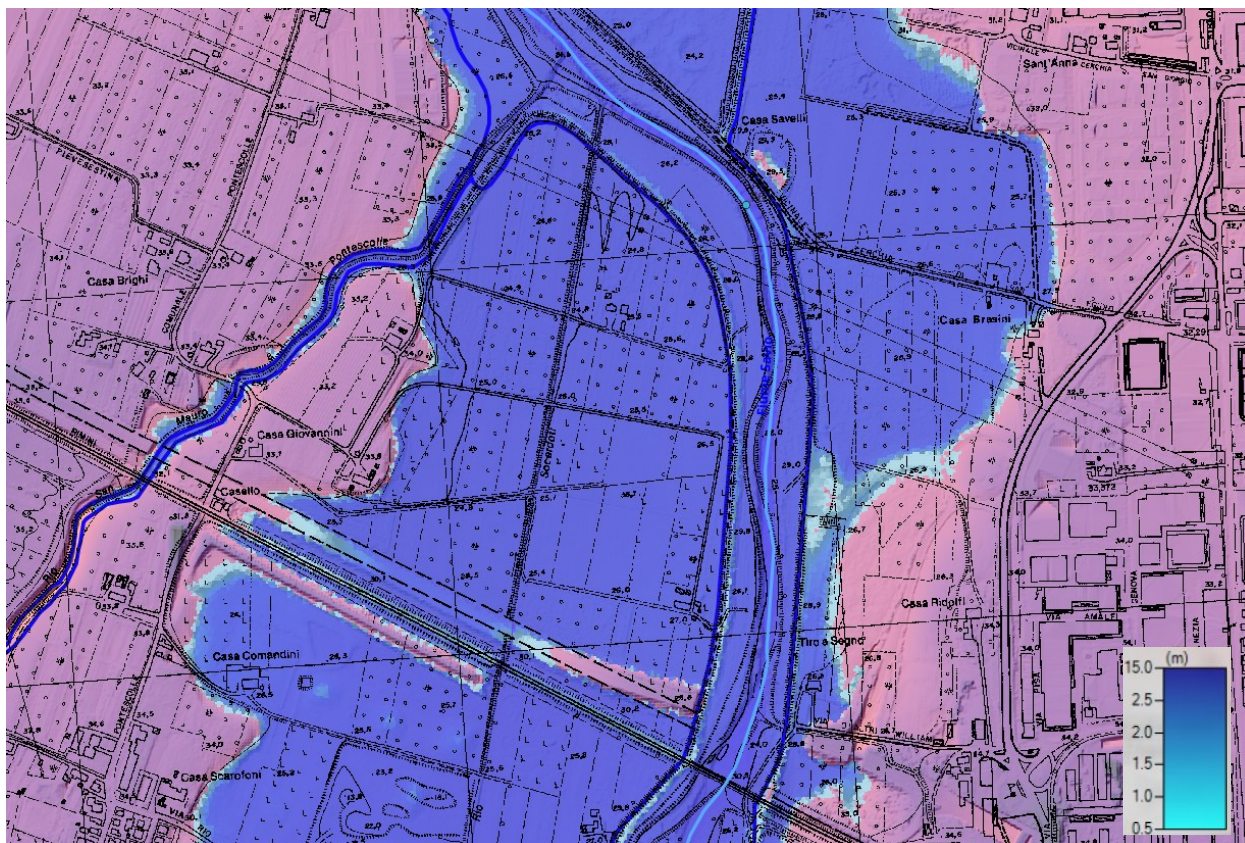


Fig. 47 T50: massimi tiranti a Cesena a valle linea ferroviaria Bologna - Rimini (in blu P3 PGRA 2021)

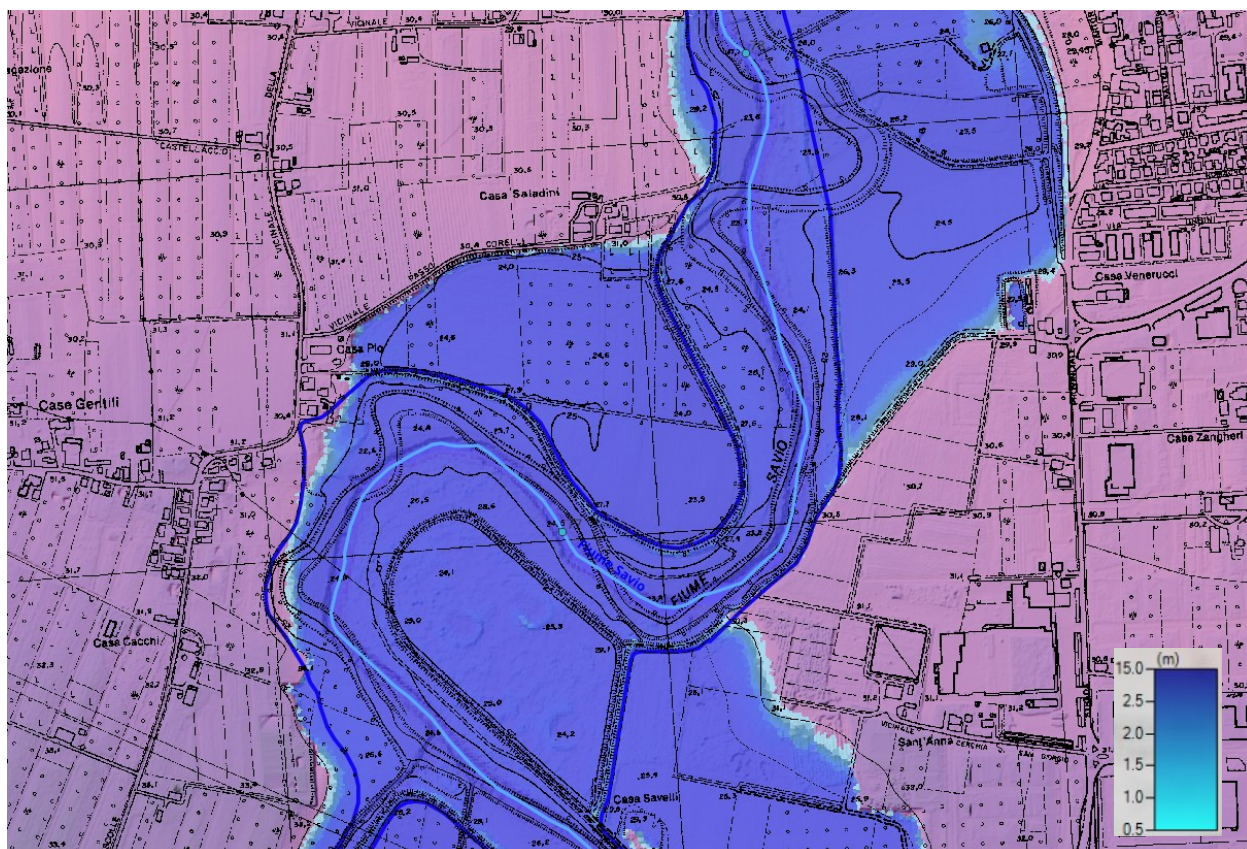


Fig. 48 T50: massimi tiranti a Cesena a valle linea ferroviaria Bologna - Rimini (in blu P3 PGRA 2021)

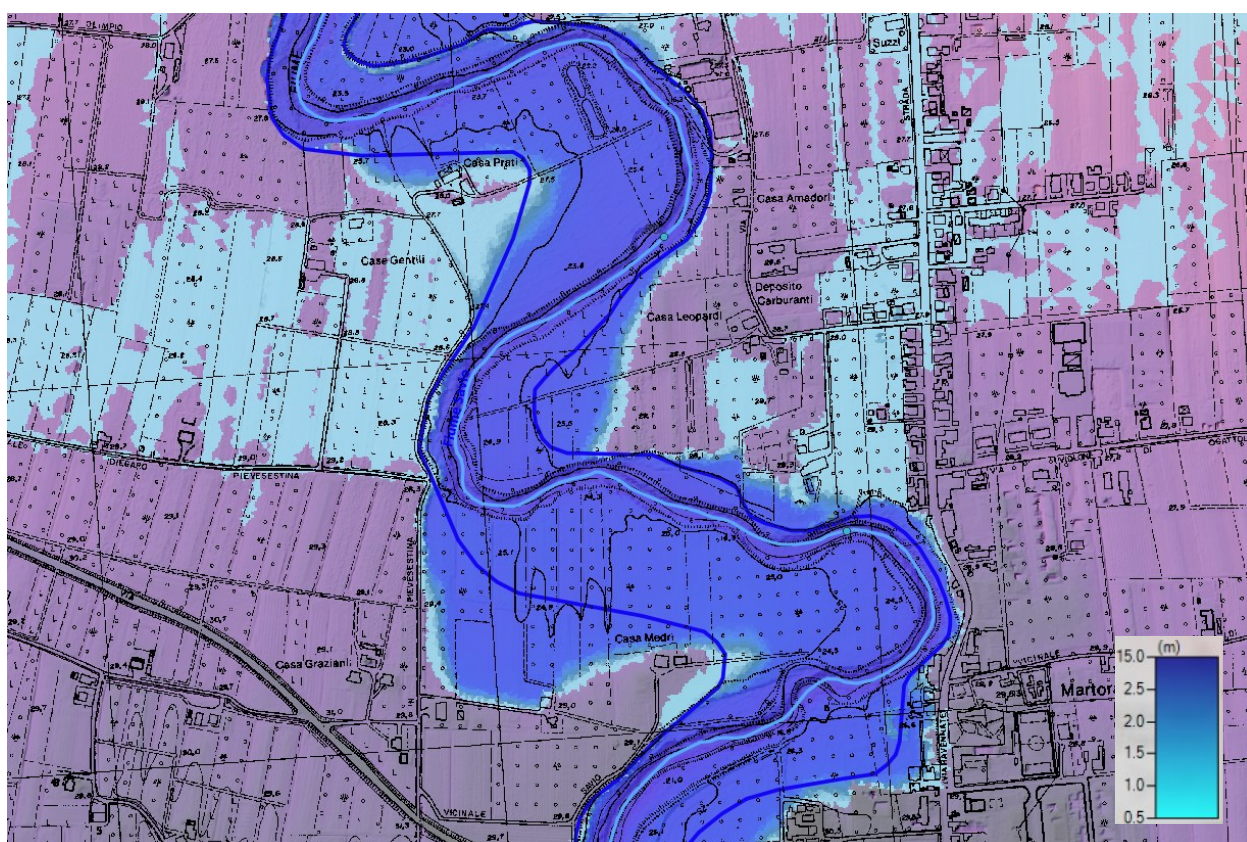


Fig. 49 T50: massimi tiranti a Cesena – loc. Martorano (in blu P3 PGRA 2021)

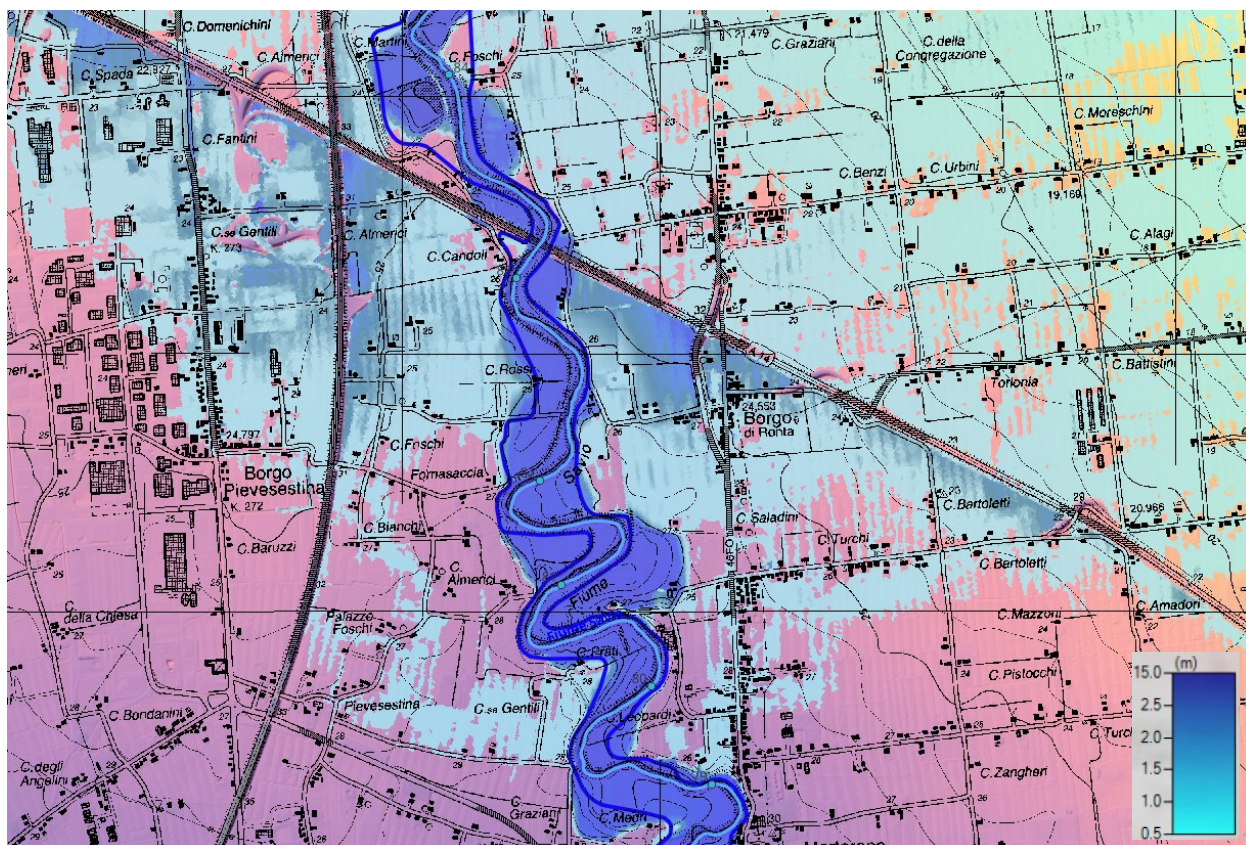


Fig. 50 T50: massimi tiranti a Cesena – a monte autostrada A14 (in blu P3 PGRA 2021)

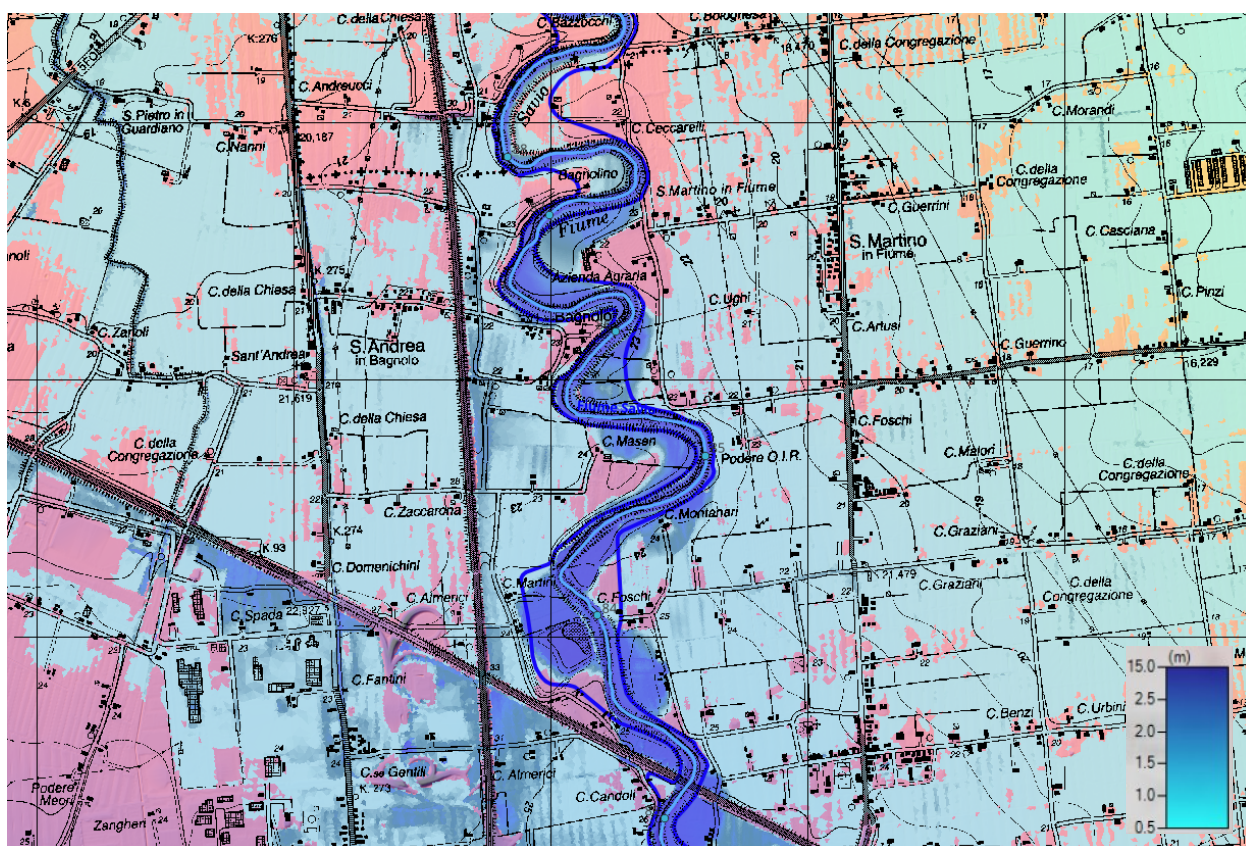


Fig. 51 T50: massimi tiranti a Cesena – a valle autostrada A14 (in blu P3 PGRA 2021)

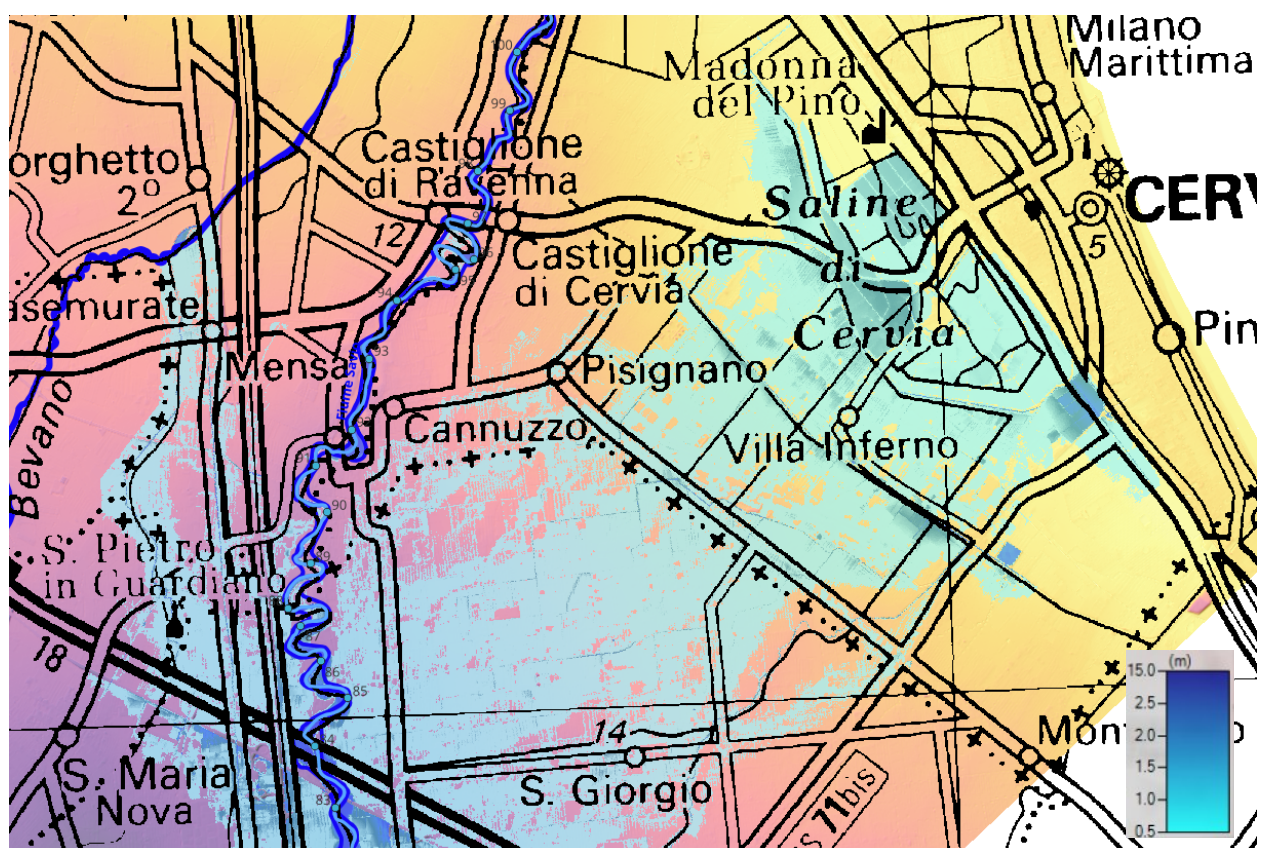


Fig. 52 T50: massimi tiranti nel tratto a valle dell'autostrada A14 (in **blu** P3 PGRA 2021)

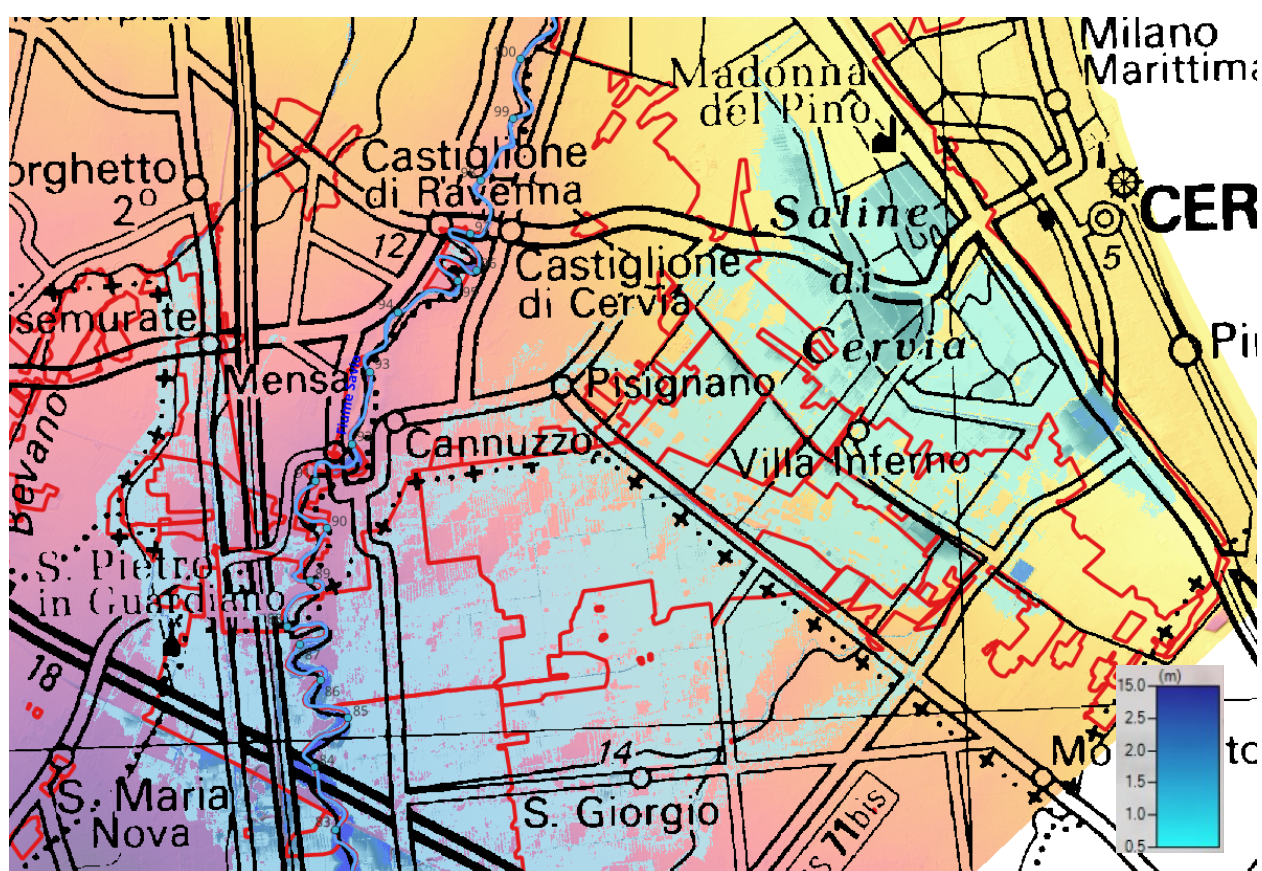


Fig. 53 T50: massimi tiranti nel tratto a valle dell'autostrada A14, sovrapposti alla perimetrazione degli allagamenti occorsi durante l'evento del 16-18 maggio 2023 (in **rosso**)

A partire dalla località Cannuzzo, ove inizia il tratto arginato di seconda categoria, la piena proveniente da monte prosegue verso valle, fino a confluire nel mare, senza ulteriori esondazioni (cfr. Fig. 54, Fig. 55, Fig. 56 e Fig. 57).

Si segnala che lungo l'intero tratto di corso d'acqua arginato, le aree P3 del PGRA 2021 sono poste in corrispondenza dei rilevati arginali classificati.

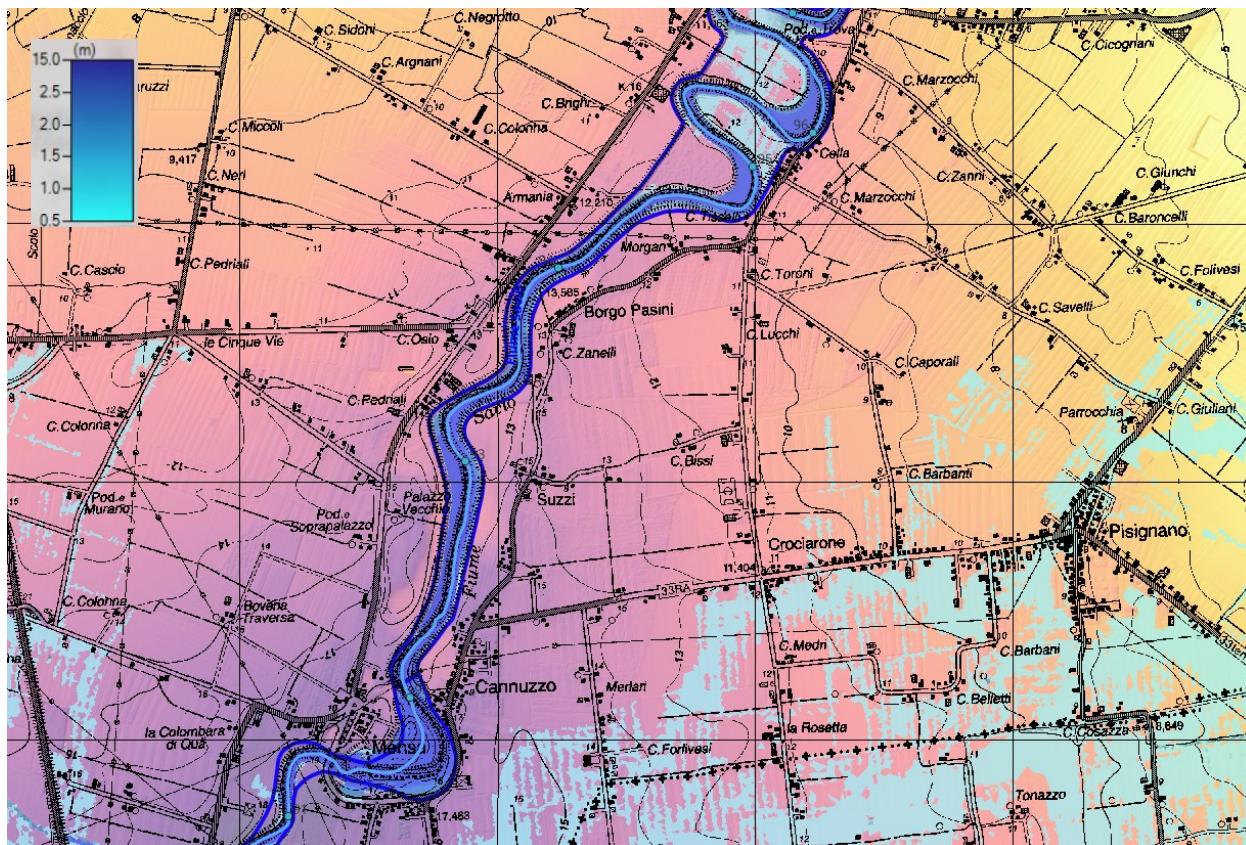


Fig. 54 T50: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in blu P3 PGRA 2021)

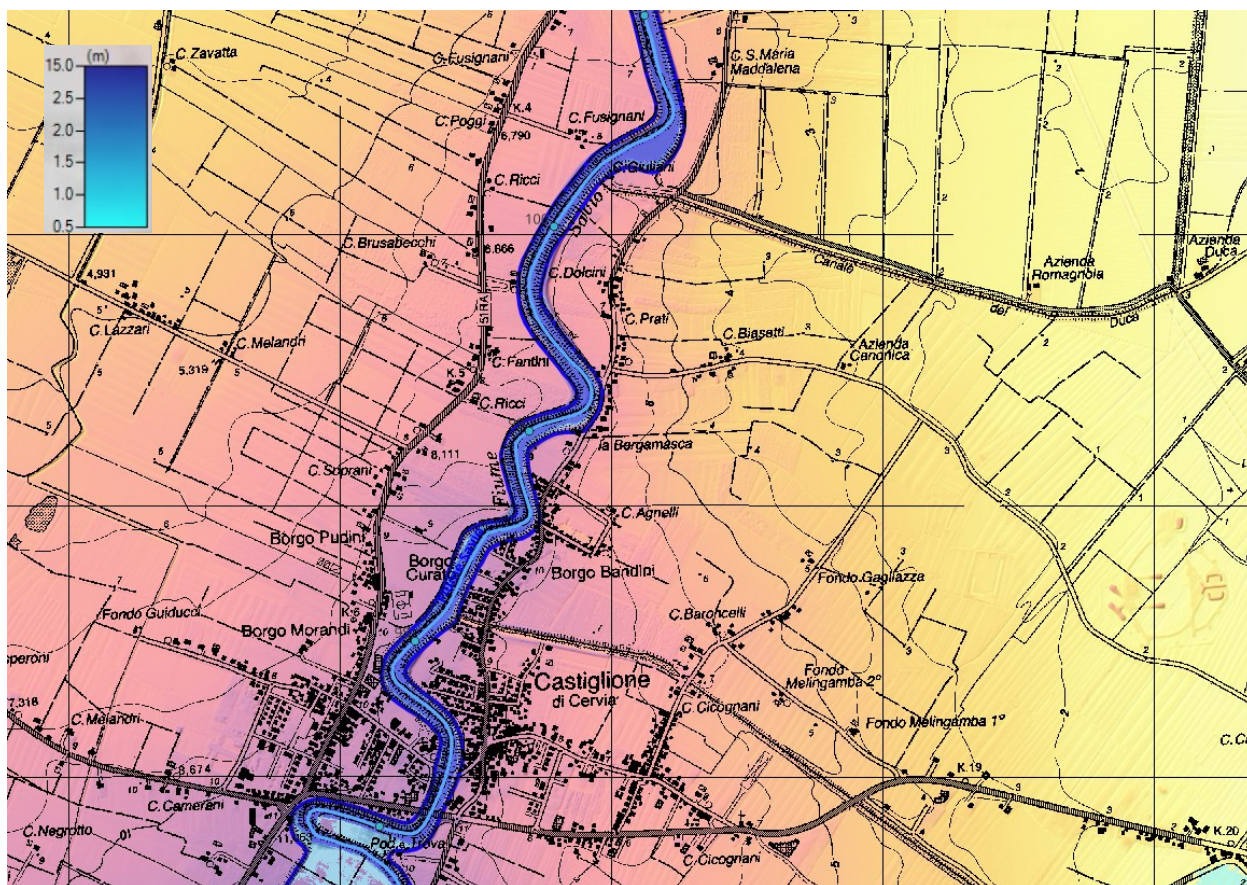


Fig. 55 T50: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in blu P3 PGRA 2021)

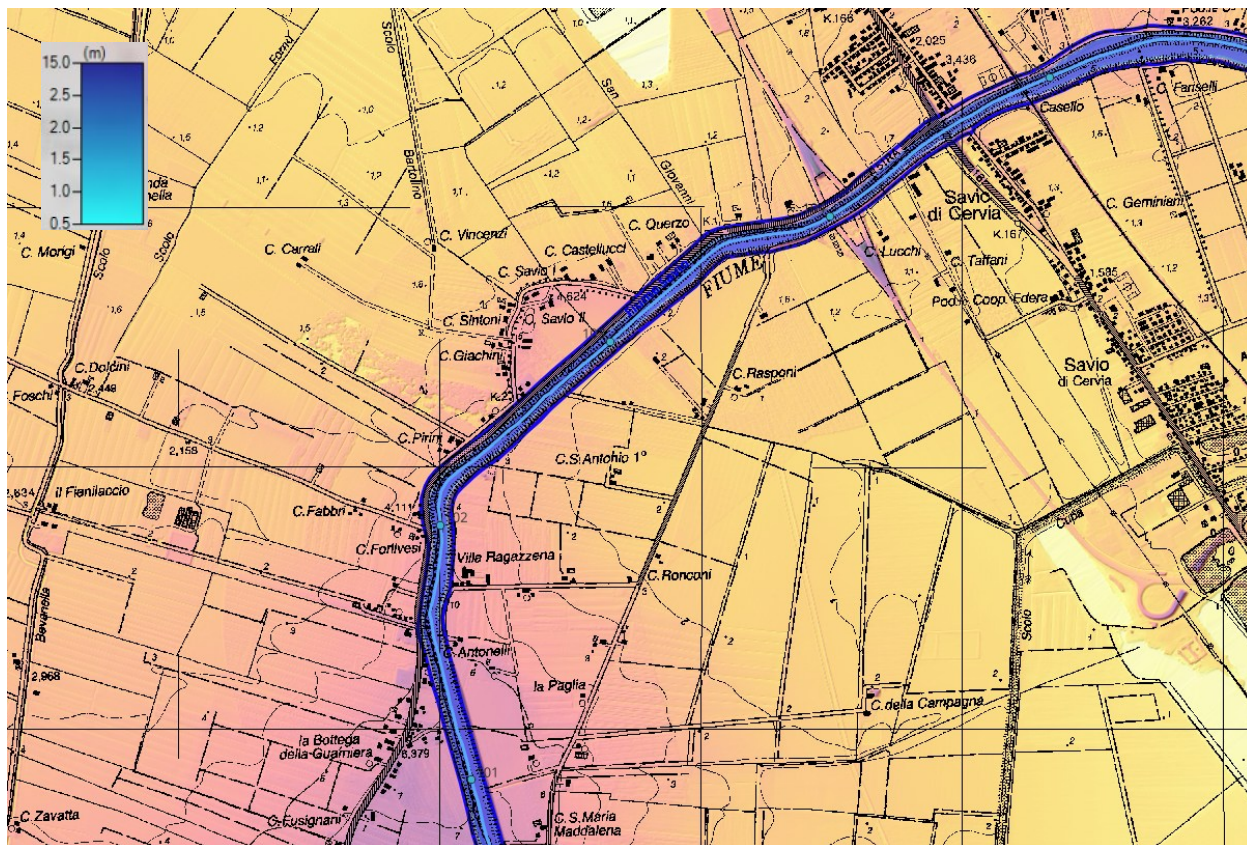


Fig. 56 T50: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in blu P3 PGRA 2021)

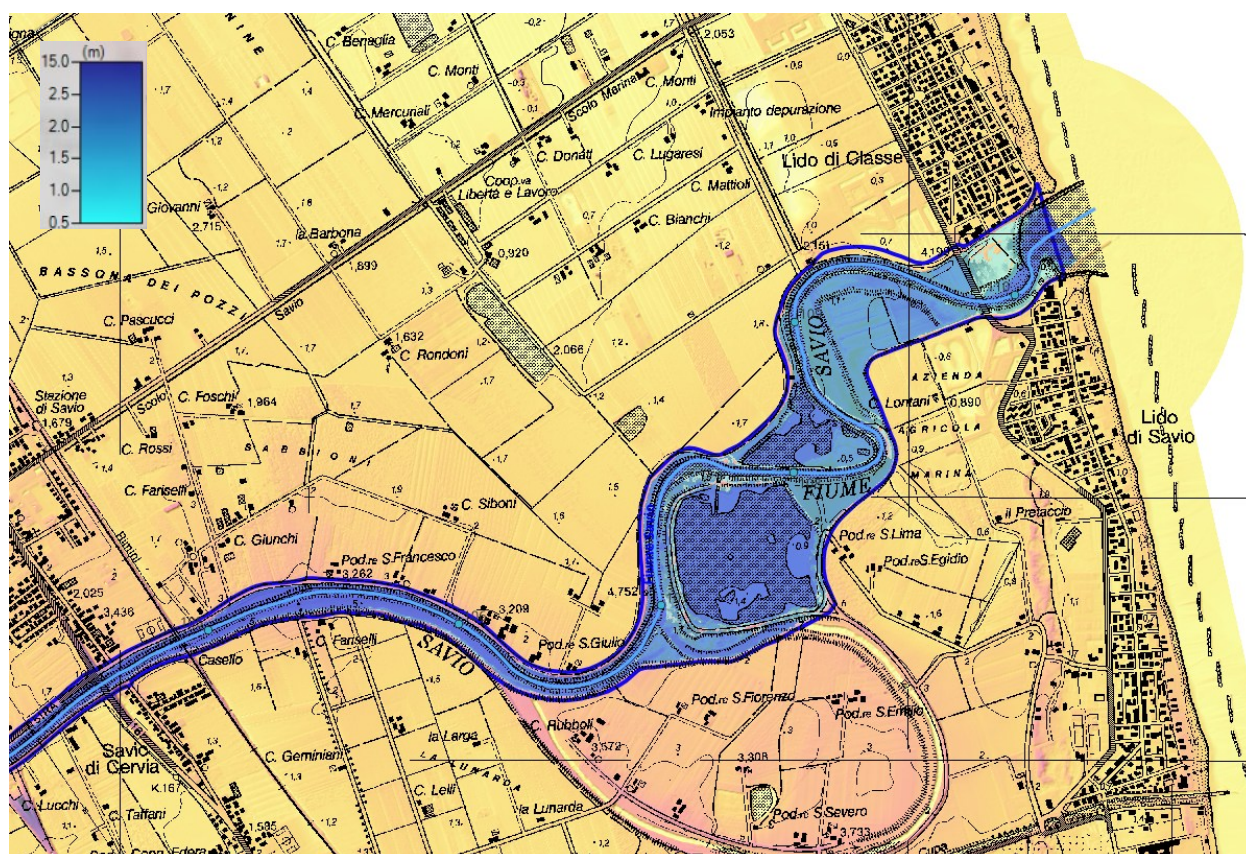


Fig. 57 T50: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in blu P3 PGRA 2021)

Di seguito si riportano alcuni confronti tra gli idrogrammi definiti dalle analisi idrologiche nelle sezioni di chiusura dei sottobacini e le portate ottenute con il modello idraulico nelle medesime sezioni. La differenza tra le due tipologie di idrogrammi è rappresentativa degli effetti di laminazione e traslazione dell'onda di piena, associati soprattutto ai fenomeni di esondazione che si verificano lungo l'asta fluviale, che possono indurre anche una riduzione del volume dell'idrogramma di piena defluente verso valle.

Dall'analisi dei grafici riportati nella Fig. 58 e nella Fig. 59, si riscontra una differenza tra gli idrogrammi idrologici e idraulici crescente da monte verso valle, associata all'effetto delle aree di esondazioni presenti nel tratto a monte dell'abitato di Cesena.

Gli idrogrammi riportati nella Fig. 60 sono relativi alla sezione di chiusura dell'intero bacino idrografico (in corrispondenza dell'idrometro di Matellica) nel punto in cui l'alveo inizia ad essere arginato con opere di difesa classificate di seconda categoria. Si osserva che gli idrogrammi ottenuti con il modello idraulico sono tutti caratterizzati dalla medesima portata di picco, pari a circa $350 \text{ m}^3/\text{s}$, che di fatto rappresenta la portata limite attuale in ingresso al tratto arginato. Tale valore è molto inferiore rispetto alla portata al colmo idrologica che varia, a seconda della durata dell'evento, tra 950 e $1050 \text{ m}^3/\text{s}$. La differenza tra le due tipologie di idrogrammi indica il volume che esonda dal fiume Savio e che defluisce nelle aree golenali e soprattutto nelle aree di pianura esterne agli argini, che non rientra più in alveo. In particolare, il volume esondato che non rientra più in alveo è pari a $10,2 \text{ Mm}^3$ per l'evento sintetico caratterizzato da una durata di 9 ore, $13,2 \text{ Mm}^3$ per l'evento di durata 12 ore e 18 Mm^3 per l'evento di durata pari a 18 ore.

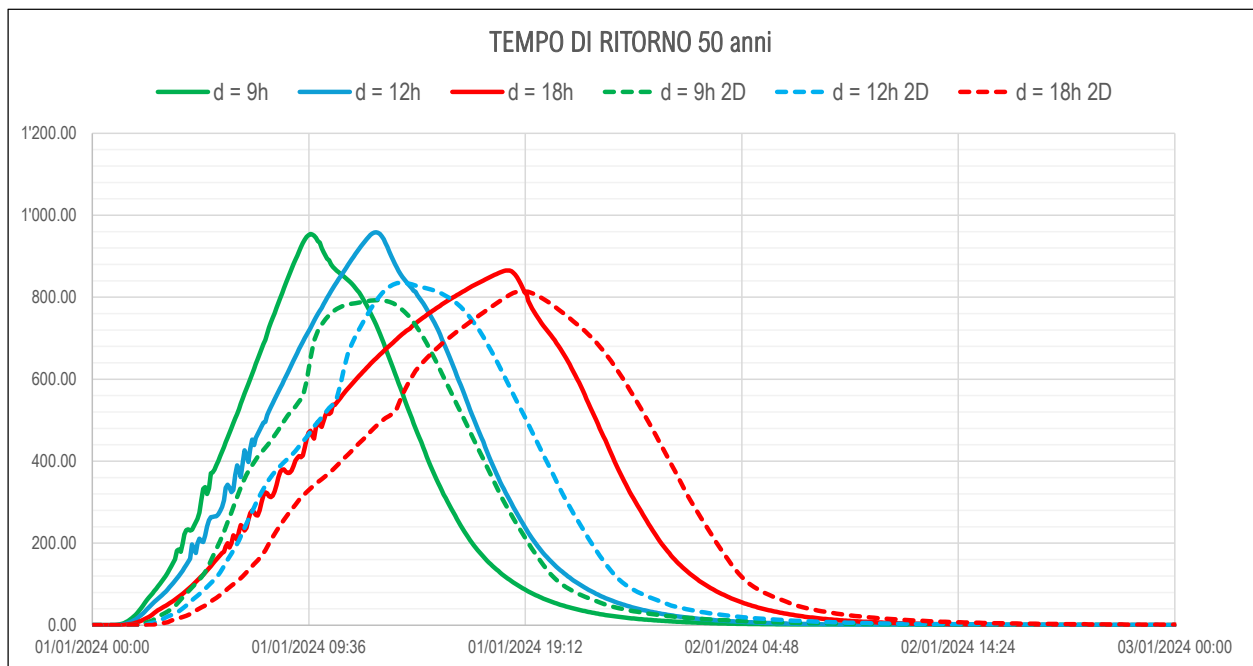


Fig. 58 T50: sezione a valle confluenza Borello - confronto tra idrogrammi idrologici (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

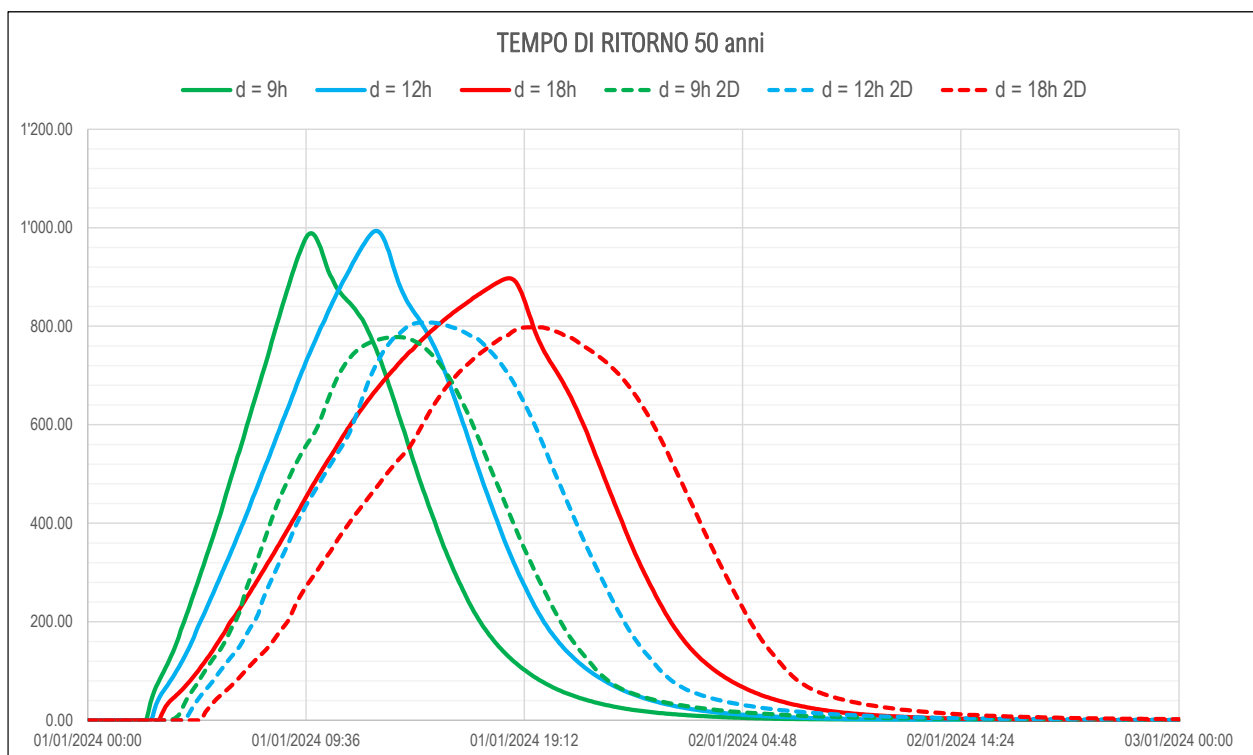


Fig. 59 T50: sezione a San Carlo - confronto tra idrogrammi idrologici (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

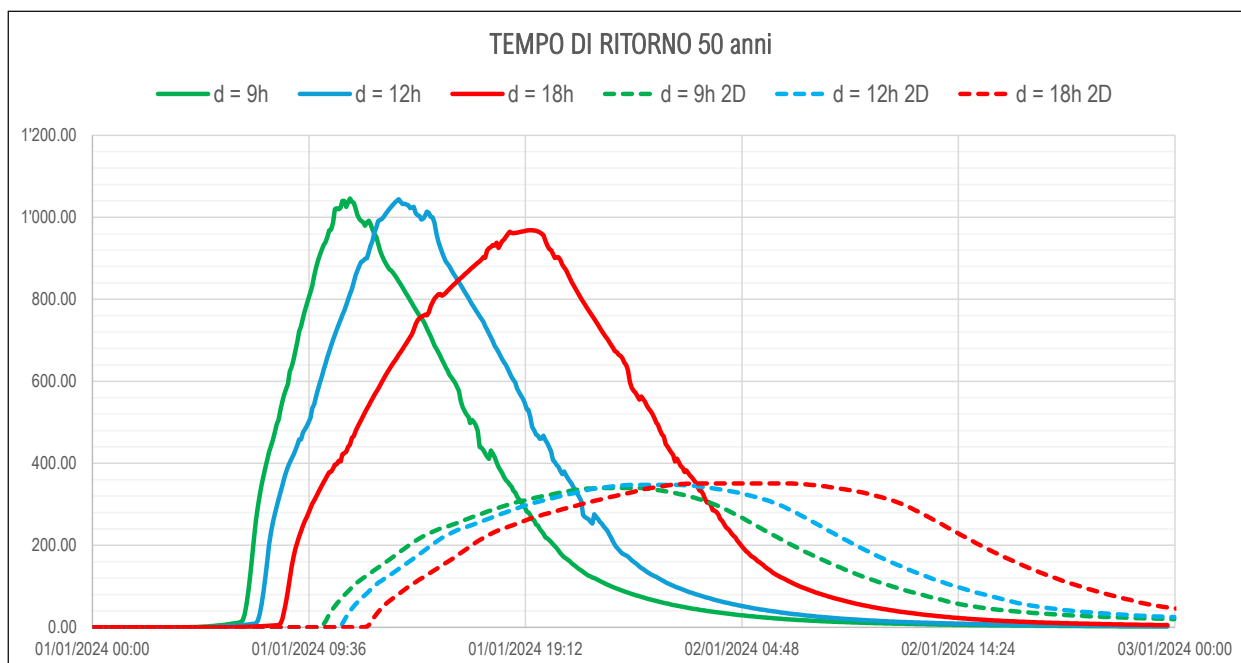


Fig. 60 T50: sezione a Cannuzzo - confronto tra idrogrammi idrologici (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

Il suddetto valore di portata defluente nel tratto arginato a Cannuzzo, pari a circa $350 \text{ m}^3/\text{s}$, prosegue verso valle senza subire ulteriori riduzioni grazie all'assenza di tracimazioni delle arginature, se non per effetto della traslazione lungo l'alveo. La portata al colmo che si immette in mare è pari a circa $330 \text{ m}^3/\text{s}$, per l'evento di durata 12 ore (per evento di durata pari a 18 ore il valore al colmo è pari a $335 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tali valori di portata confermano i risultati delle analisi in moto permanente, riportate nel paragrafo 6.3; infatti, in tale analisi, la portata limite attuale minima per il tratto arginato è stata stimata pari a circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (considerando un valore di franco di almeno 50 cm rispetto al coronamento arginale).

7.3.2.2 Evento T200

Con riferimento ad evento di piena duecentennale, le dinamiche idrauliche sono del tutto analoghe a quelle descritte per l'evento con tempo di ritorno cinquantennale, con tiranti più severi e aree di allagamento più estese, soprattutto nella zona di pianura.

Di seguito si riportano le medesime figure proposte in precedenza, in cui è raffigurato il confronto fra i risultati del modello idraulico, in termini di aree allagabili, e le aree di pericolosità P2 del PGRA 2021 (coincidenti con le aree art. 4 del preesistente PAI), associate anch'esse ad eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni.

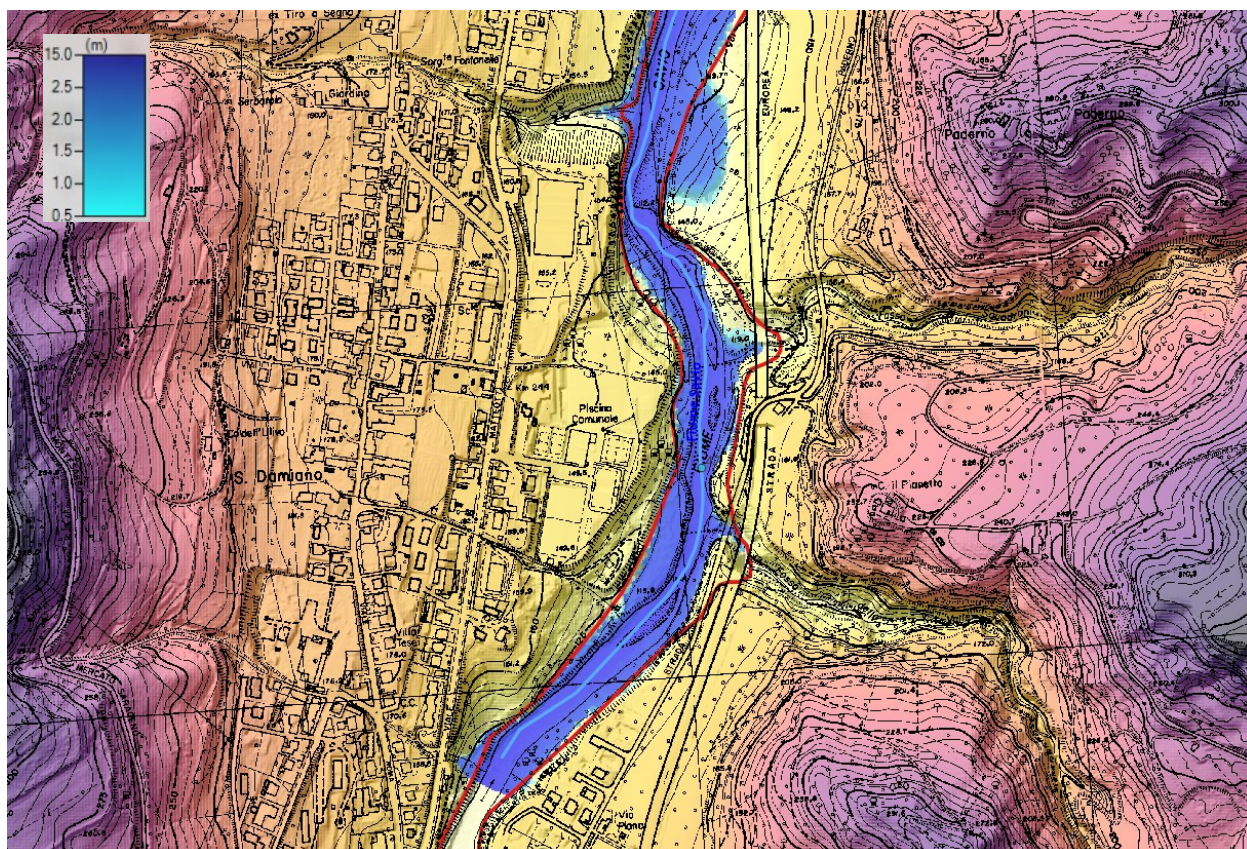


Fig. 61 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. S. Damiano (in rosso P2 PGRA 2021)

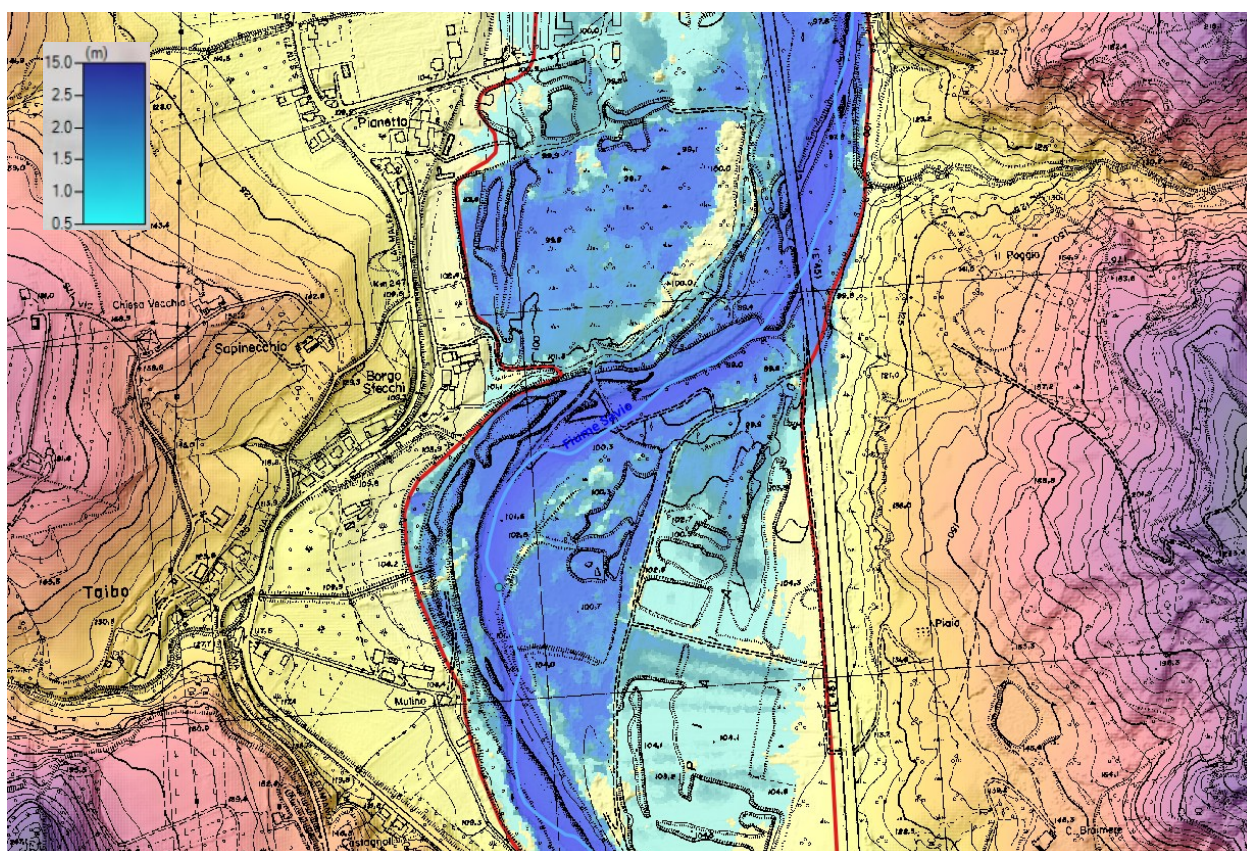


Fig. 62 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Borgo Stecchi (in rosso P2 PGRA 2021)

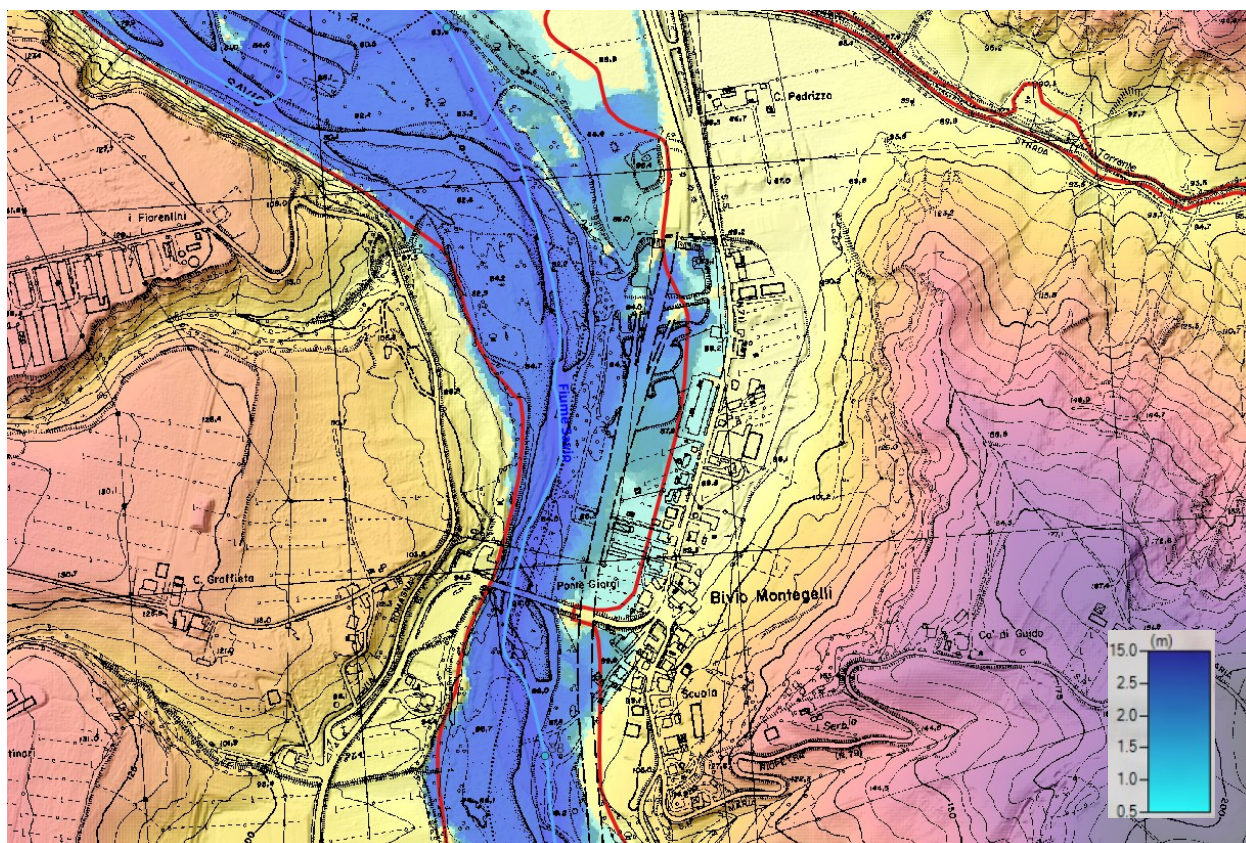


Fig. 63 T200: massimi tiranti a Mercato Saraceno – loc. Bivio Montegelli (in rosso P2 PGRA 2021)

A valle della confluenza con il T. Borello, in Comune di Cesena, l'alveo di piena si amplia ad interessa le aree golenali e le aree di laminazione presenti (cfr. Fig. 64 e Fig. 65).

Dalla località Gallo fino alla località San Carlo, l'ambito fluviale si restringe nuovamente e i deflussi della piena duecentennale rimangono contenuti sostanzialmente all'interno dell'alveo senza interessare abitati o infrastrutture (cfr. Fig. 66).

Più a valle, in corrispondenza della loc. Borgo Paglia, l'alveo assume un tracciato meandriforme e la piena duecentennale interessa un ambito territoriale più ampio interessando alcuni edifici isolati (cfr. Fig. 67).

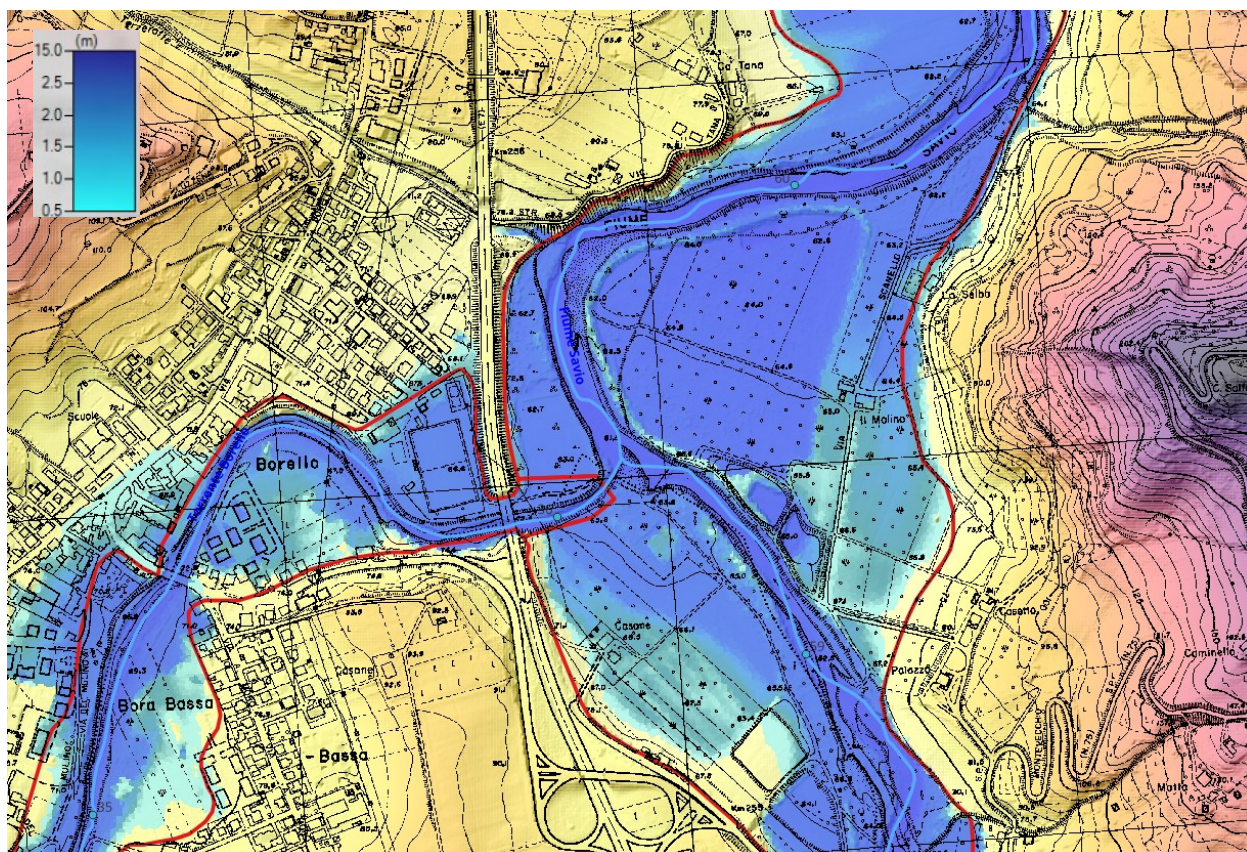


Fig. 64 T200: massimi tiranti a Cesena - confluenza T. Borello (in rosso P2 PGRA 2021)

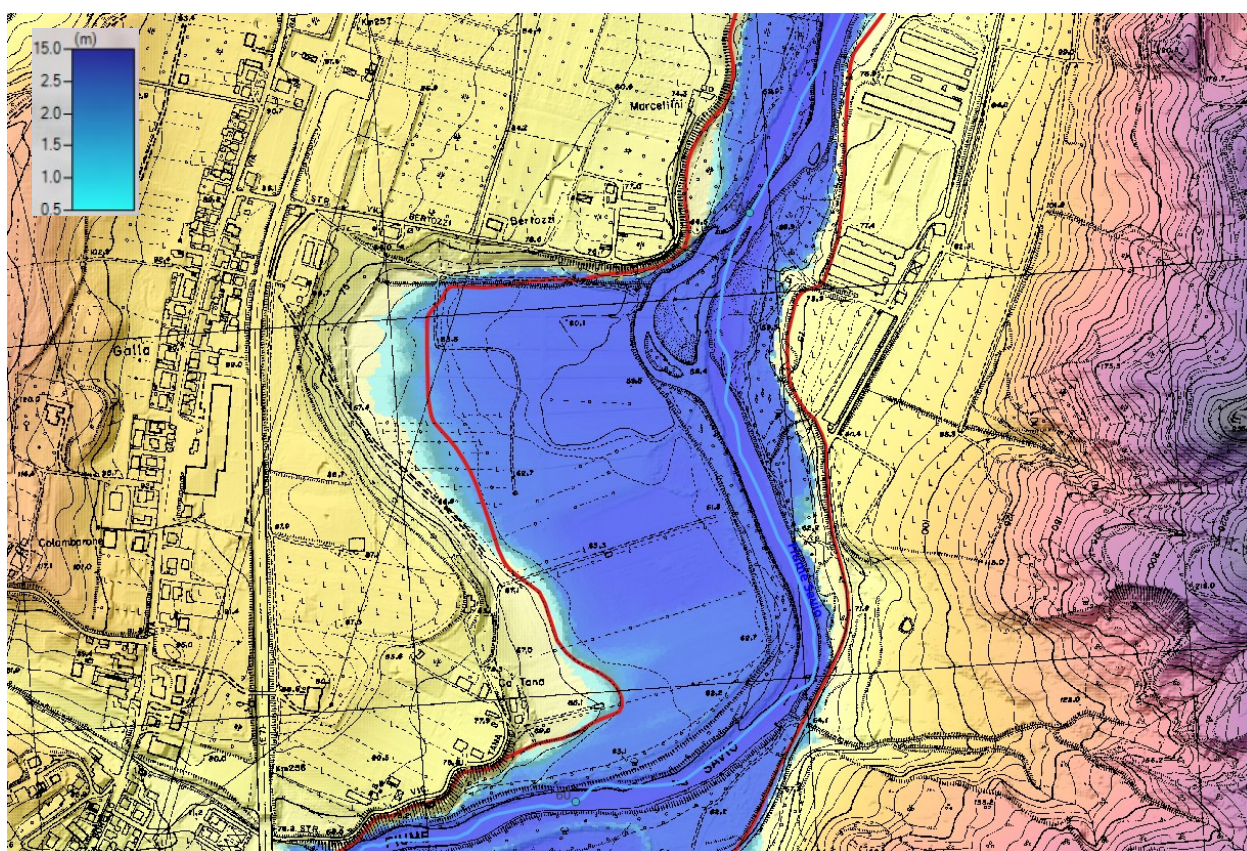


Fig. 65 T200: massimi tiranti a Cesena - a valle confluenza T. Borello (in rosso P2 PGRA 2021)

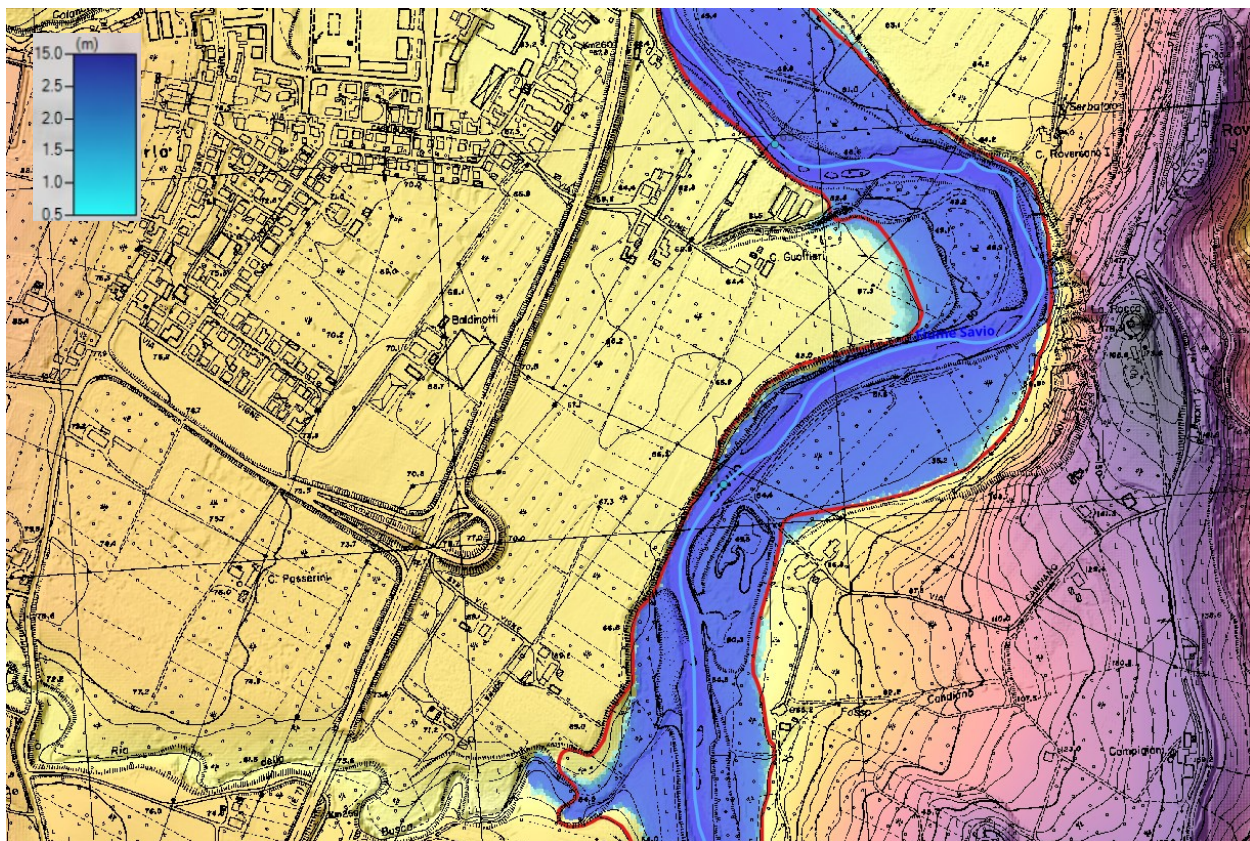


Fig. 66 T200: massimi tiranti a Cesena - a monte loc. San Carlo (in rosso P2 PGRA 2021)

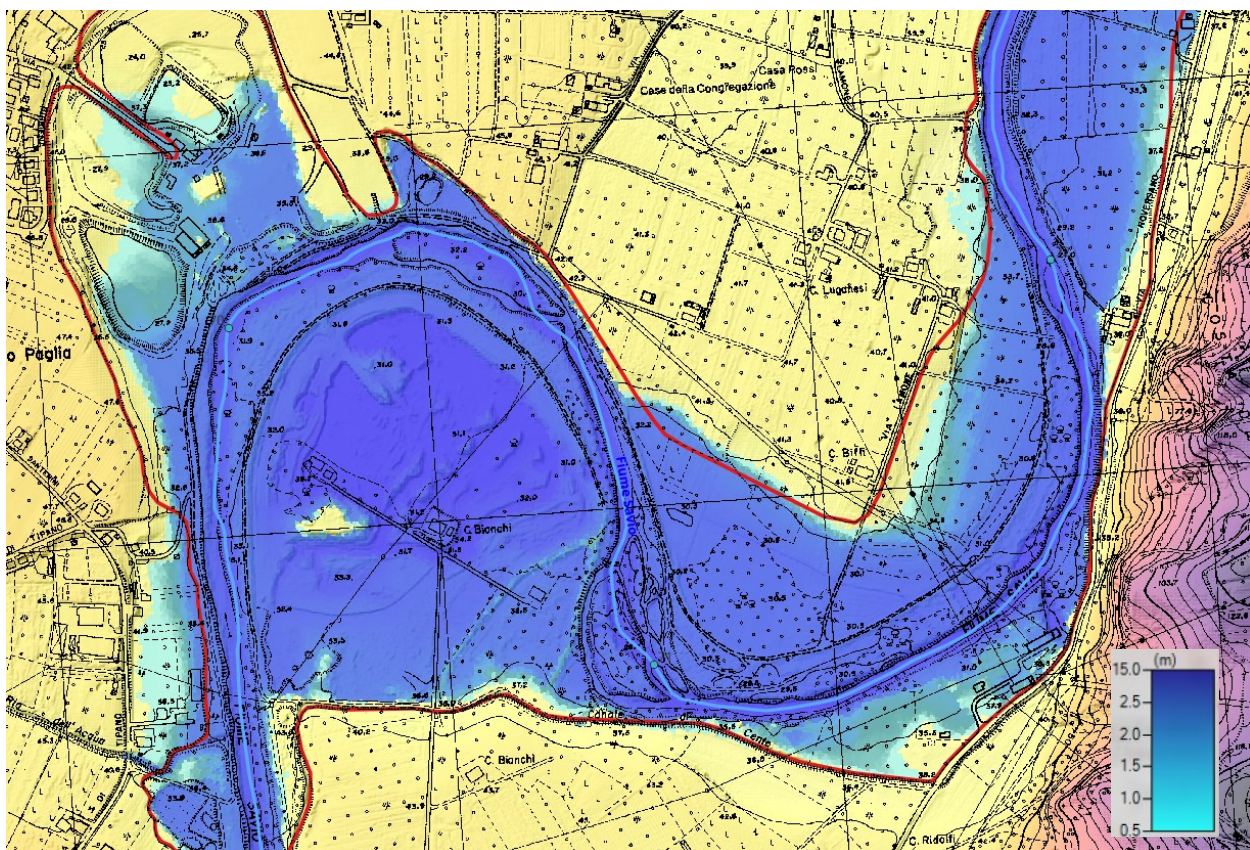


Fig. 67 T200: massimi tiranti a Cesena - loc. Borgo Paglia (in rosso P2 PGRA 2021)

Proseguendo verso valle, in corrispondenza dell'abitato di Cesena, l'alveo non è in grado di contenere la piena duecentennale e l'esondazione interessa ampie zone edificate, come rappresentato nella Fig. 68 e nella Fig. 69.

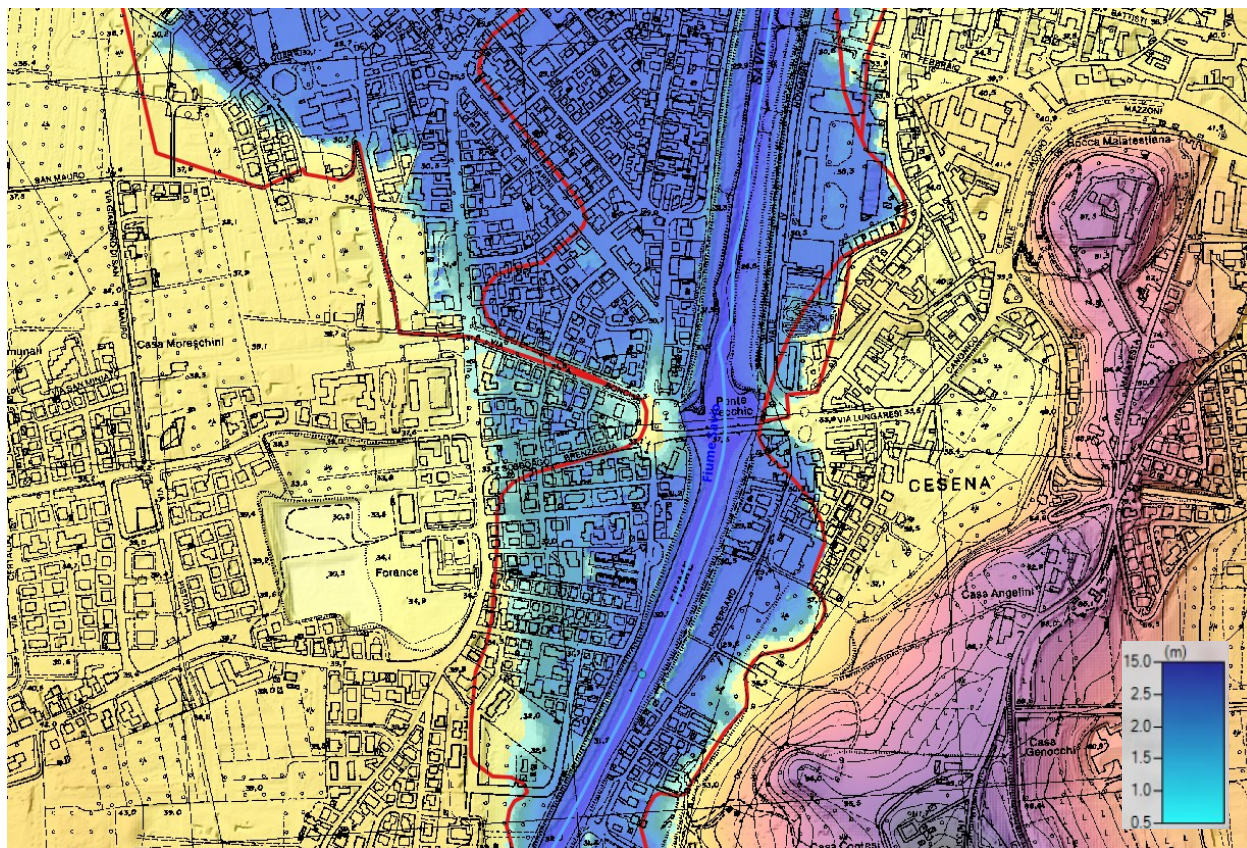


Fig. 68 T200: massimi tiranti a Cesena (in rosso P2 PGRA 2021)

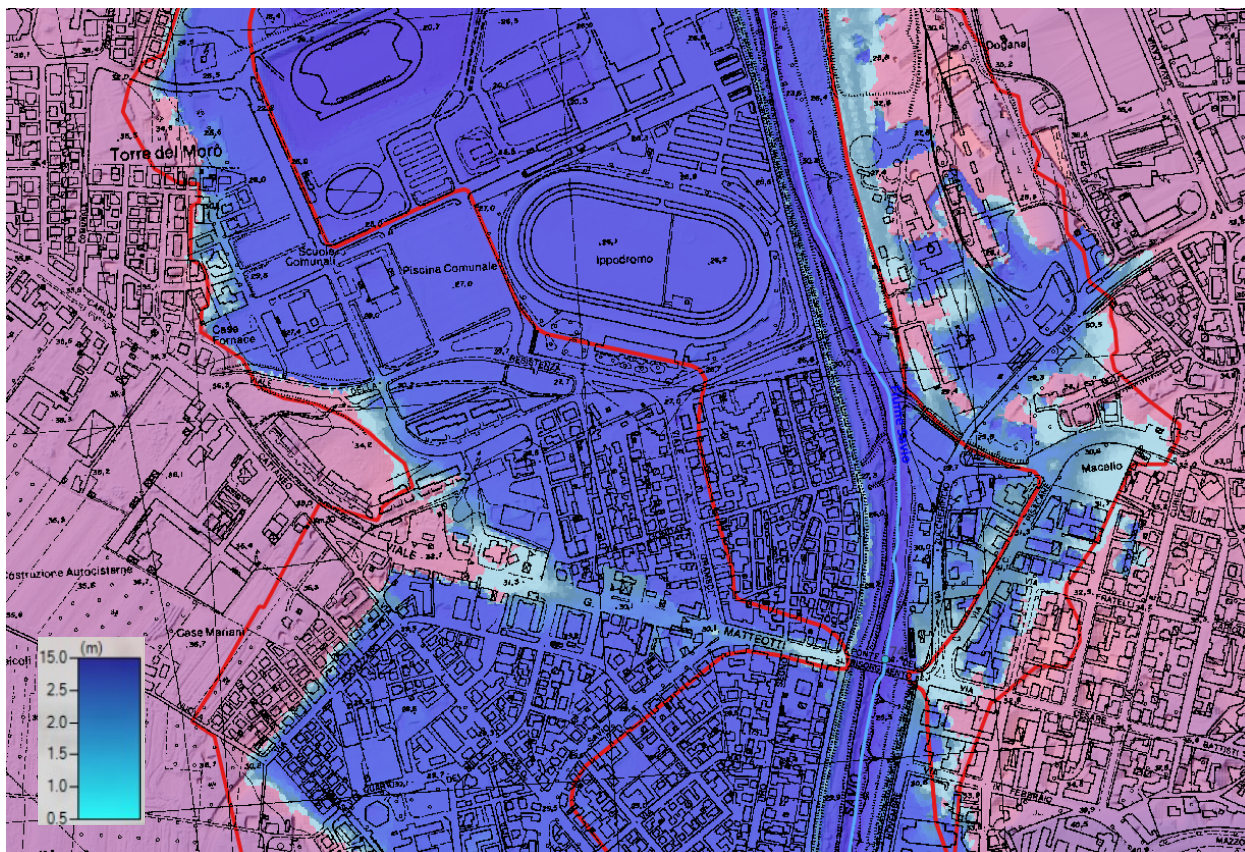


Fig. 69 T200: massimi tiranti a Cesena (in rosso P2 PGRA 2021)

A valle della linea ferroviaria Bologna – Rimini l’area di esondazione è ancora molto ampia ma interessa aree non urbanizzate (cfr. Fig. 71 e Fig. 72).

A partire dalla località Martorano si verificano ulteriori esondazioni che interessano anche ambiti urbanizzati (Fig. 73). Tali esondazioni proseguono poi verso valle, in direzione nord-est, attraversando la pianura (cfr. Fig. 74, Fig. 75) ed interessando anche alcune porzioni dei comuni di Ravenna, Bertinoro, Forlì e Cervia (Fig. 70).

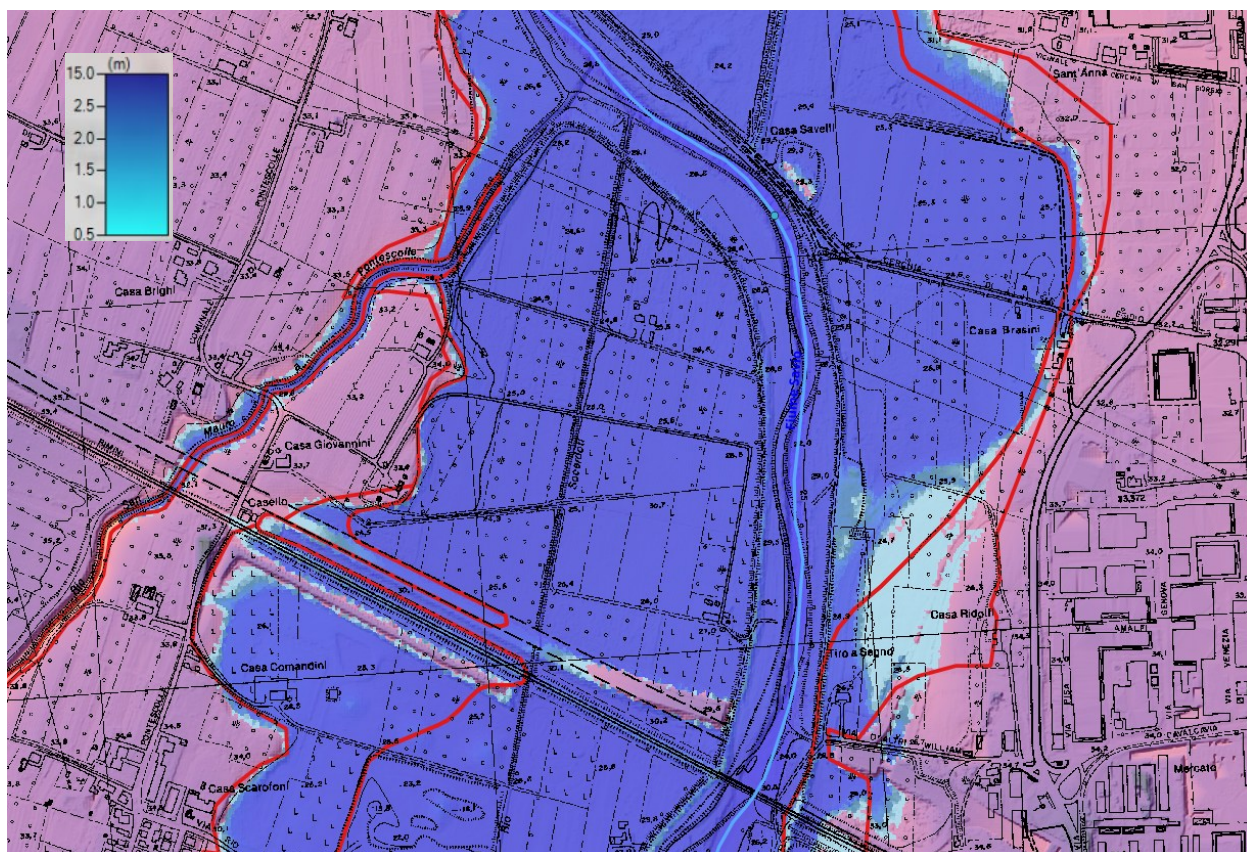


Fig. 71 T200: massimi tiranti a Cesena a valle linea ferroviaria Bologna - Rimini (in rosso P2 PGRA 2021)

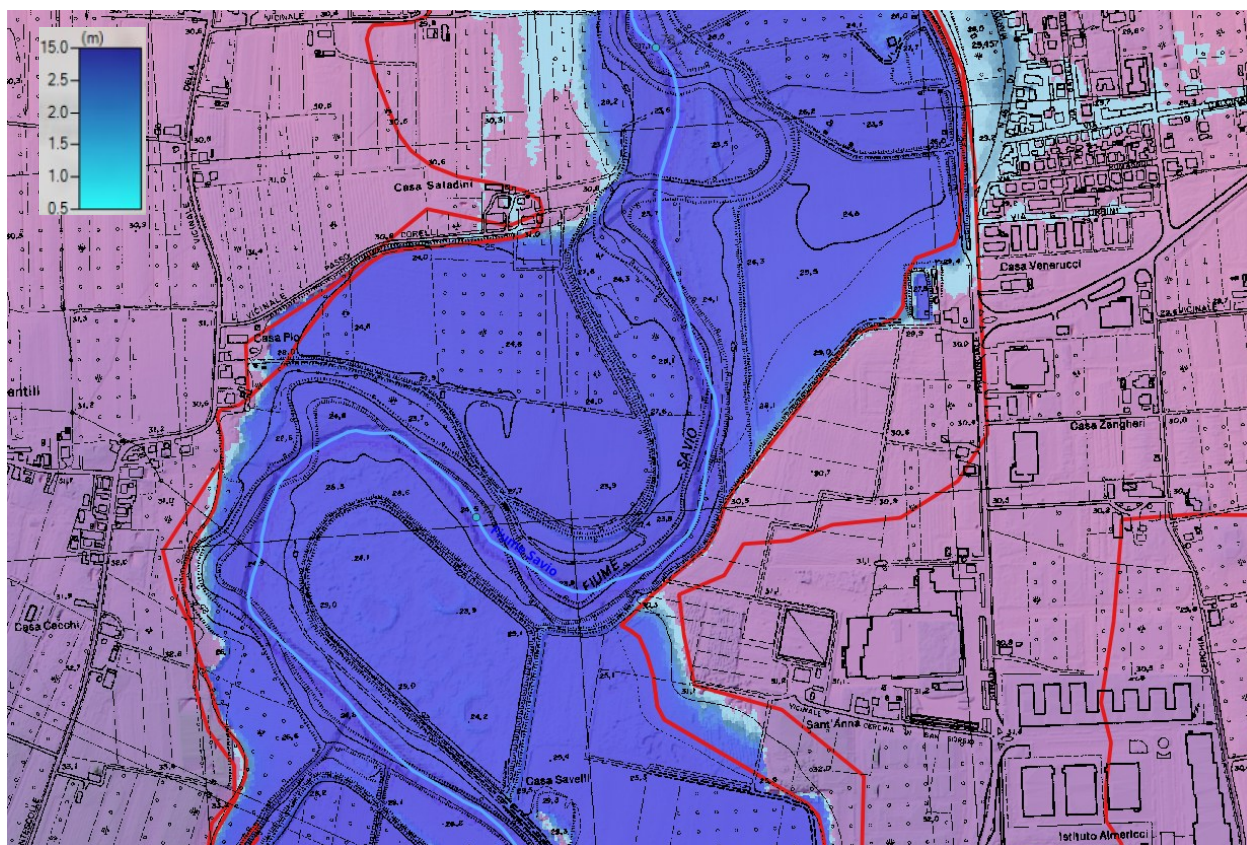


Fig. 72 T200: massimi tiranti a Cesena a valle linea ferroviaria Bologna - Rimini (in rosso P2 PGRA 2021)

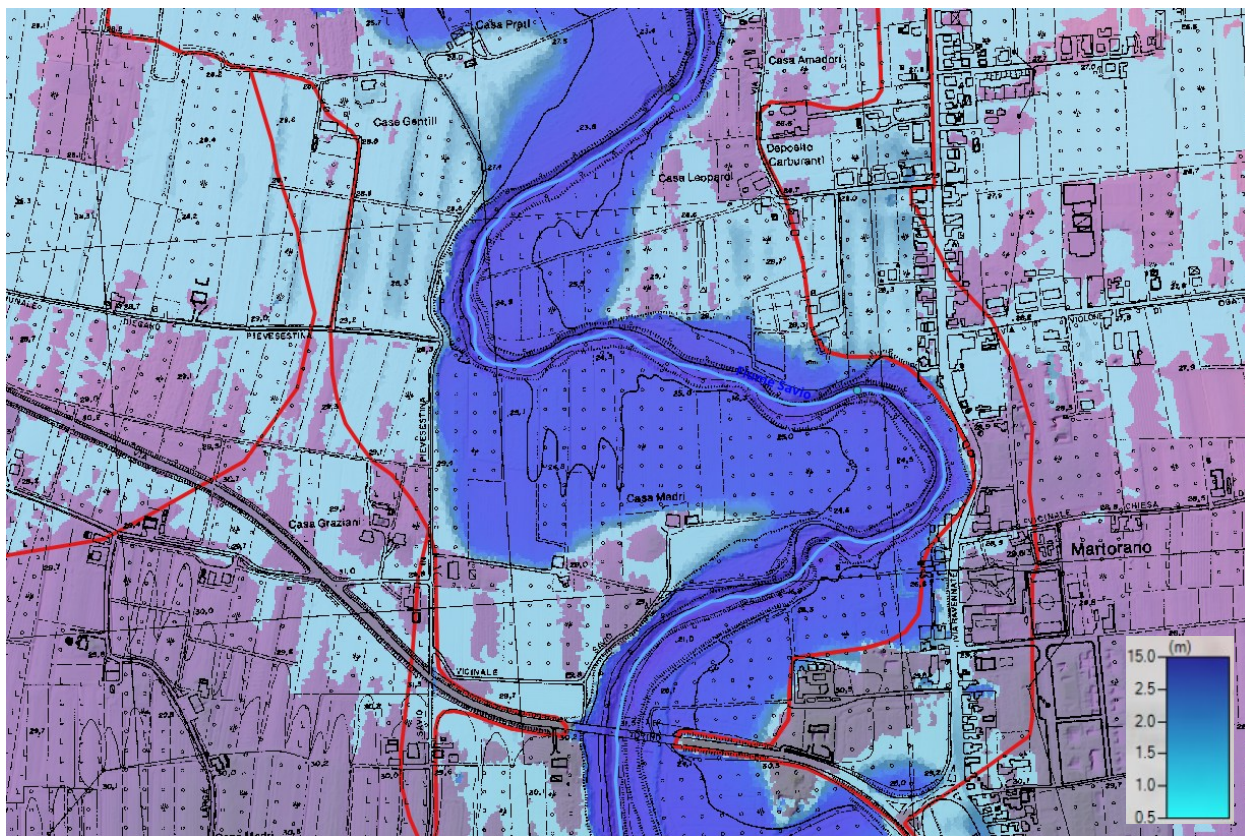


Fig. 73 T200: massimi tiranti a Cesena – loc. Martorano (in rosso P2 PGRA 2021)

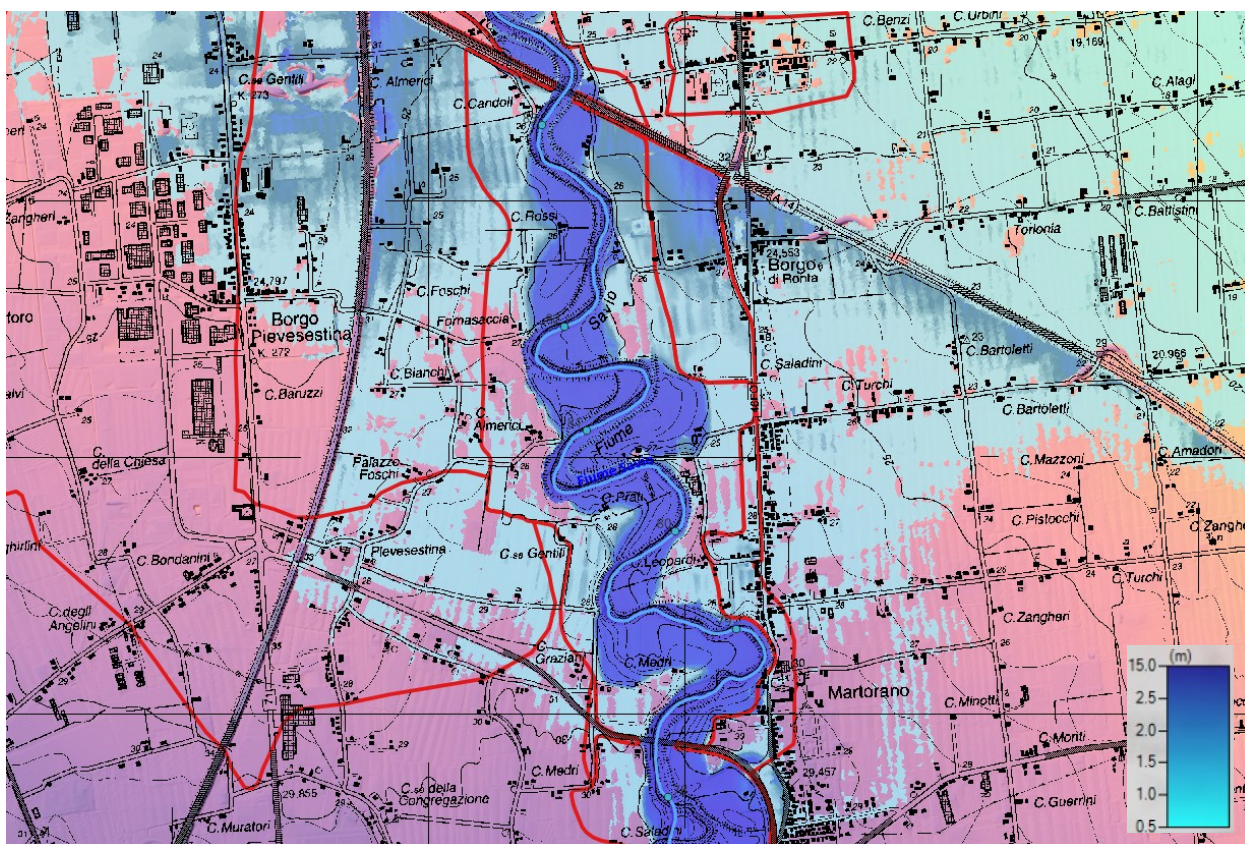


Fig. 74 T200: massimi tiranti a Cesena – a monte autostrada A14 (in rosso P2 PGRA 2021)

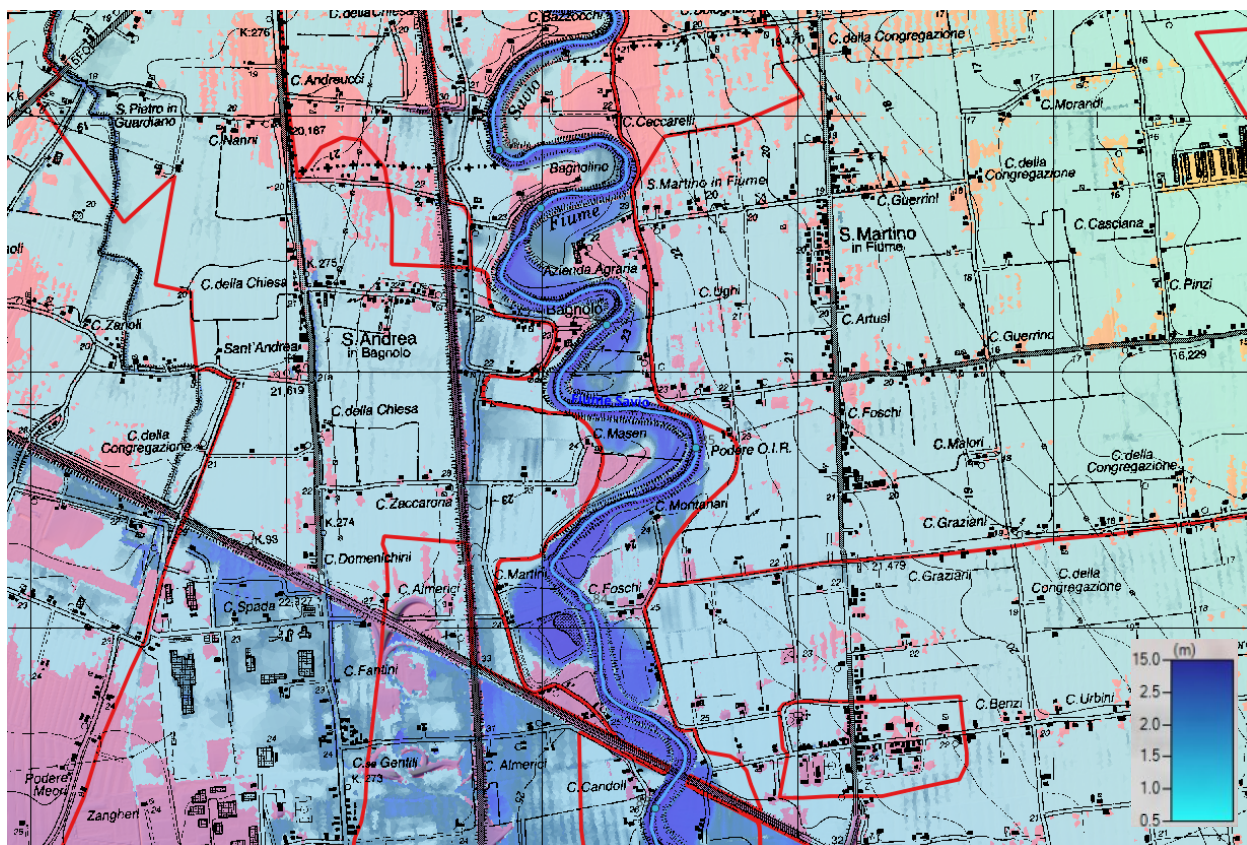


Fig. 75 T200: massimi tiranti a Cesena – a valle autostrada A14 (in rosso P2 PGRA 2021)



Fig. 76 T200: massimi tiranti nel tratto a valle dell'autostrada A14 (in rosso P2 PGRA 2021)

A partire dalla località Cannuzzo, ove inizia il tratto arginato di seconda categoria, la piena proveniente da monte prosegue verso valle, fino a confluire nel mare, senza ulteriori esondazioni (cfr. Fig. 77, Fig. 78, Fig. 79 e Fig. 80).

Si segnala che lungo l'intero tratto di corso d'acqua arginato, le aree P3 del PGRA 2021 sono poste in corrispondenza dei rilevati arginali classificati.

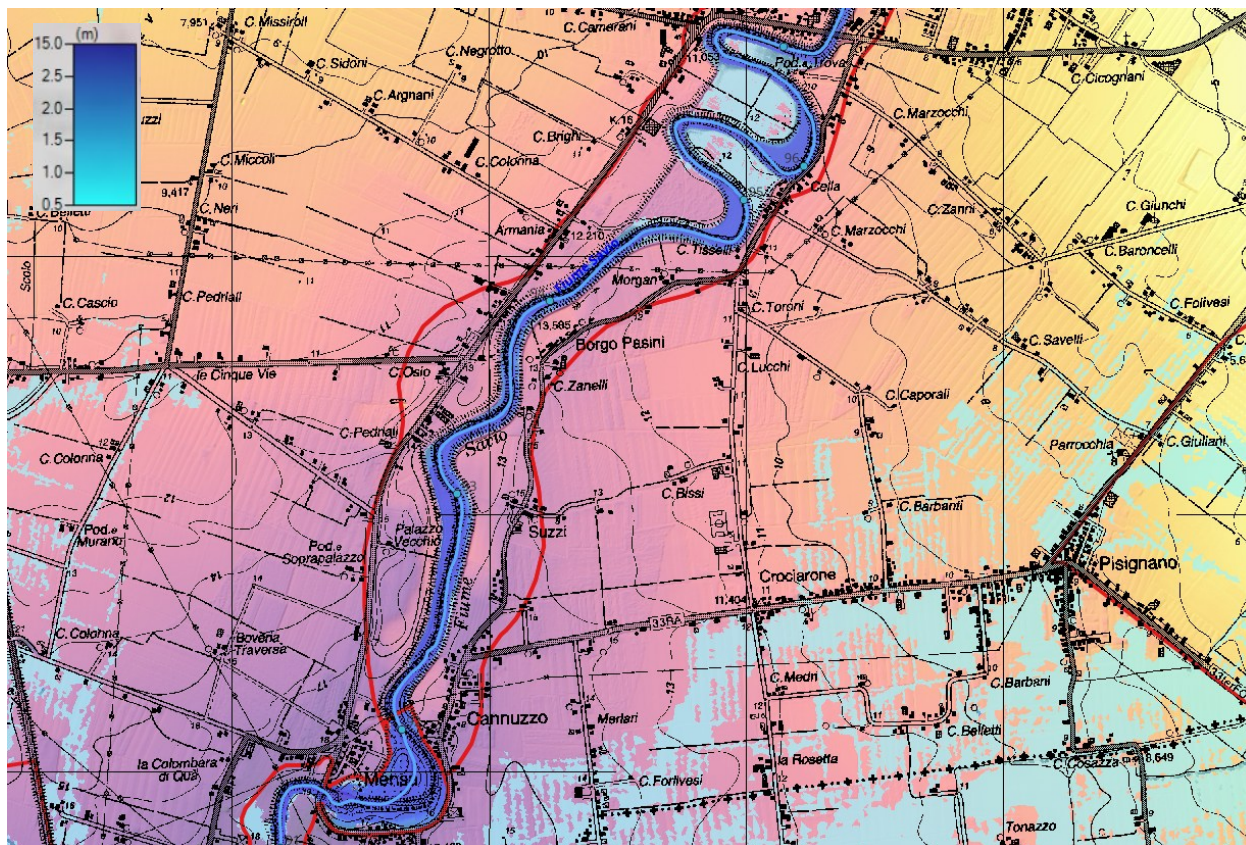


Fig. 81 T200: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in rosso P2 PGRA 2021)

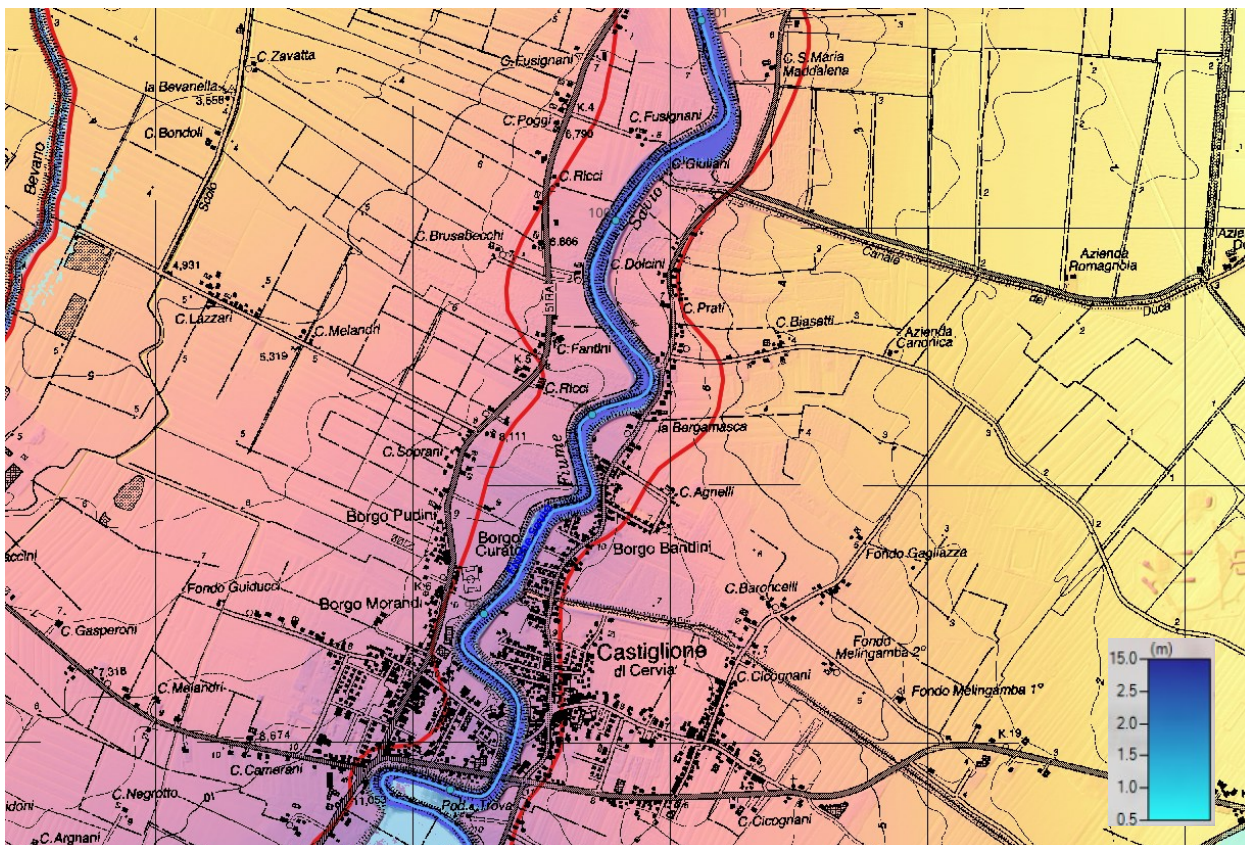


Fig. 82 T200: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in rosso P2 PGRA 2021)

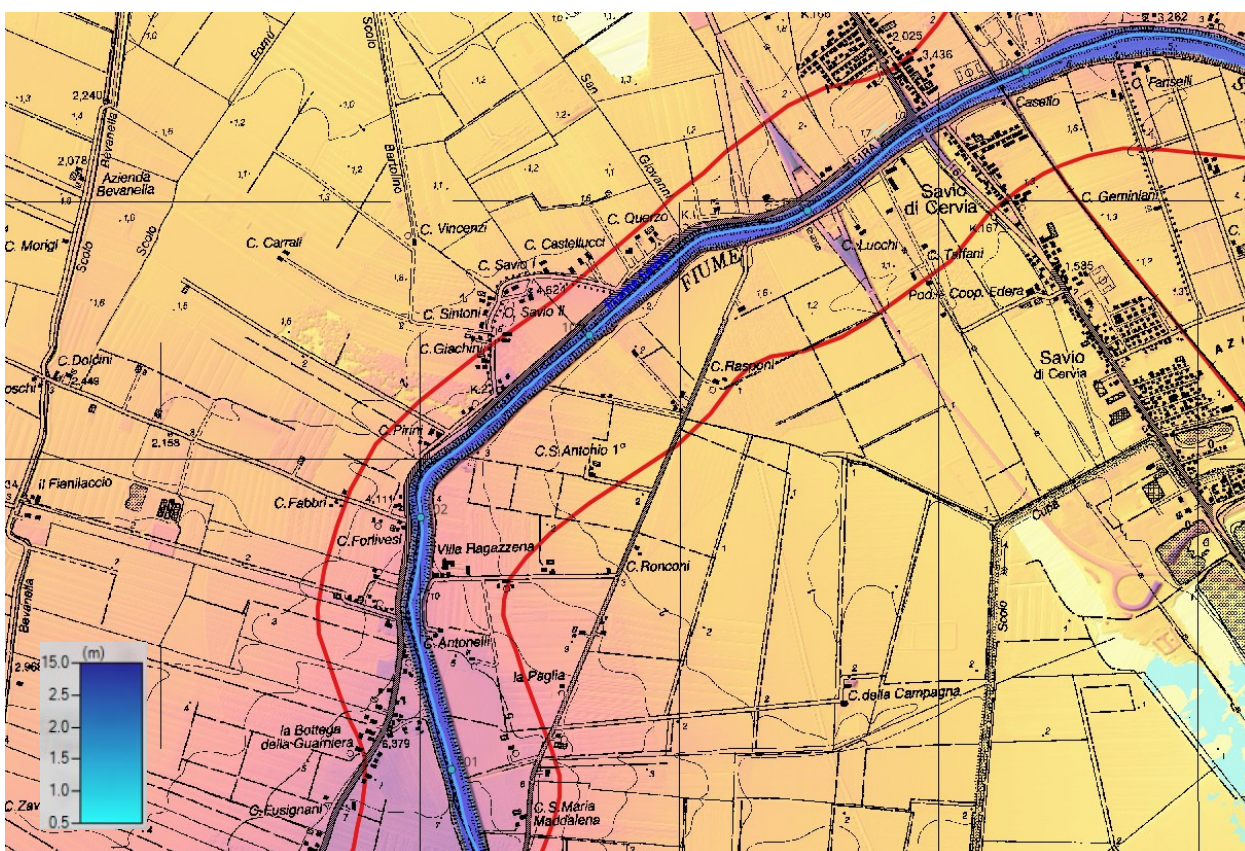


Fig. 83 T200: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in rosso P2 PGRA 2021)

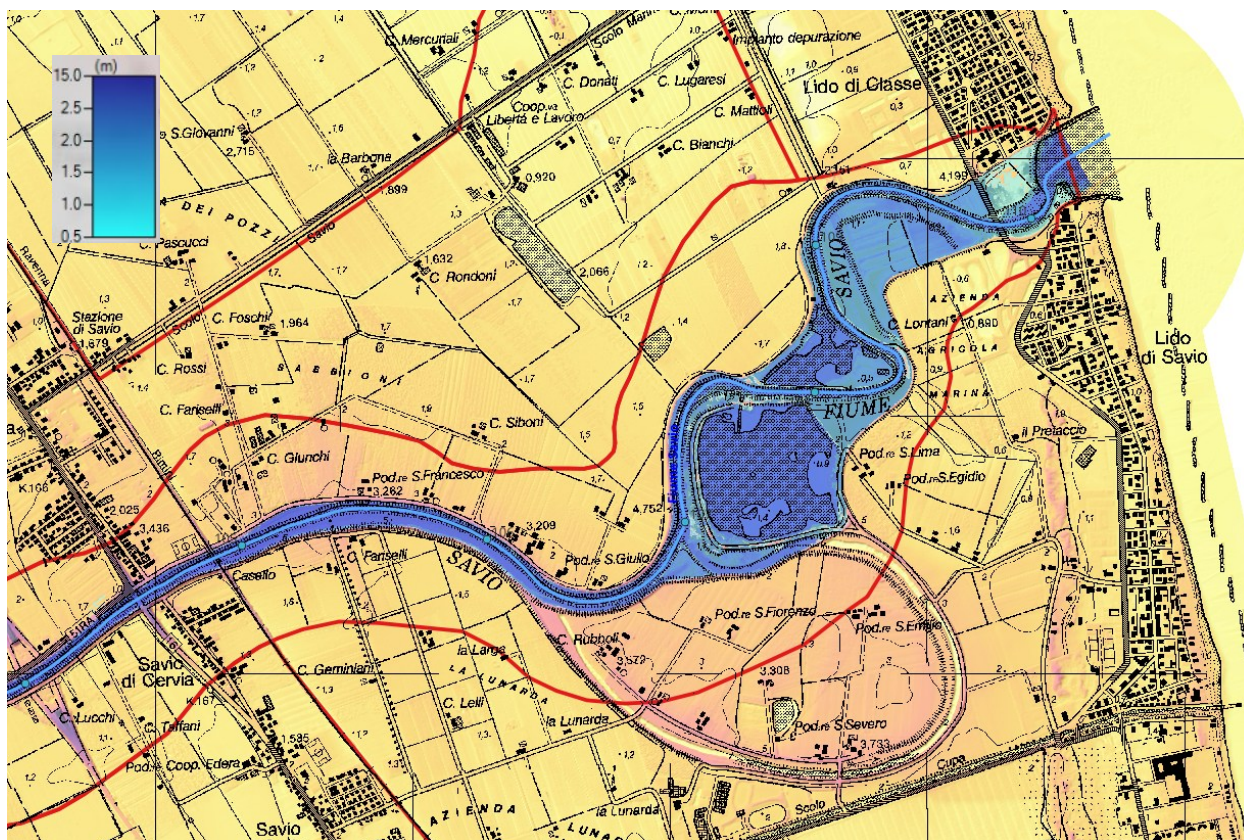


Fig. 84 T200: massimi tiranti nel tratto arginato di seconda categoria (in rosso P2 PGRA vigente)

Di seguito si riportano alcuni confronti tra gli idrogrammi definiti dalle analisi idrologiche nelle sezioni di chiusura dei sottobacini e le portate ottenute con il modello idraulico nelle medesime sezioni.

Dall'analisi dei grafici riportati nella Fig. 85 e nella Fig. 86, si riscontra una differenza tra gli idrogrammi idrologici e idraulici crescente da monte verso valle, associata all'effetto delle aree di esondazioni presenti nel tratto a monte dell'abitato di Cesena.

Gli idrogrammi riportati nella Fig. 87 sono relativi alla sezione di chiusura dell'intero bacino idrografico (in corrispondenza dell'idrometro di Matellica), nel punto in cui l'alveo inizia ad essere arginato con opere di difesa classificate di seconda categoria. Si osserva che gli idrogrammi ottenuti con il modello idraulico sono tutti caratterizzati dalla medesima portata di picco, pari a circa $360 \text{ m}^3/\text{s}$, che di fatto rappresenta la portata limite in ingresso al tratto arginato. Tale valore è molto inferiore rispetto alla portata al colmo idrologica che varia, a seconda della durata dell'evento, tra 1200 e $1350 \text{ m}^3/\text{s}$.

La differenza tra le due tipologie di idrogrammi indica il volume che esonda dal fiume Savio e che defluisce nelle aree golenali e soprattutto nelle aree di pianura esterne agli argini, che non rientra più in alveo. In particolare, il volume esondato che non rientra più in alveo è pari a $19,3 \text{ Mm}^3$ per l'evento sintetico caratterizzato da una durata di 9 ore, $22,4 \text{ Mm}^3$ per l'evento di durata 12 ore e $29,2 \text{ Mm}^3$ per l'evento di durata pari a 18 ore.

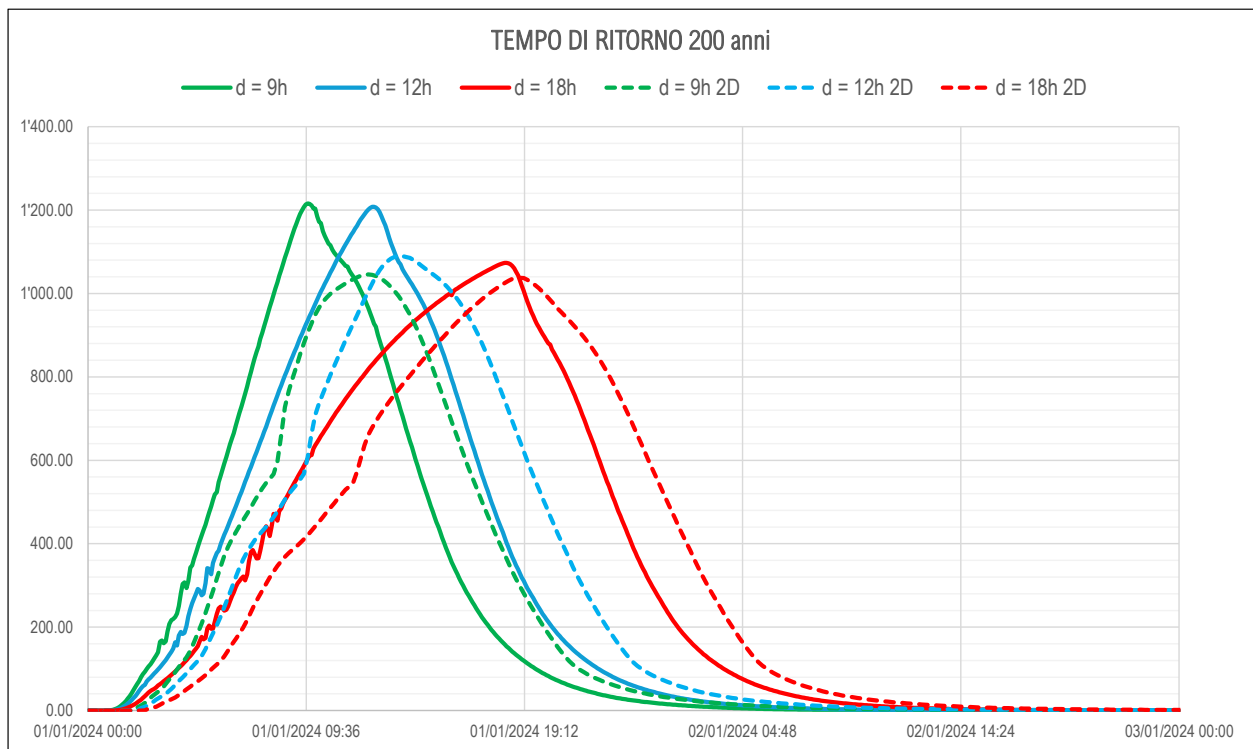


Fig. 85 T200: sezione a valle confluenza Borello - confronto tra idrogrammi idrologia (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

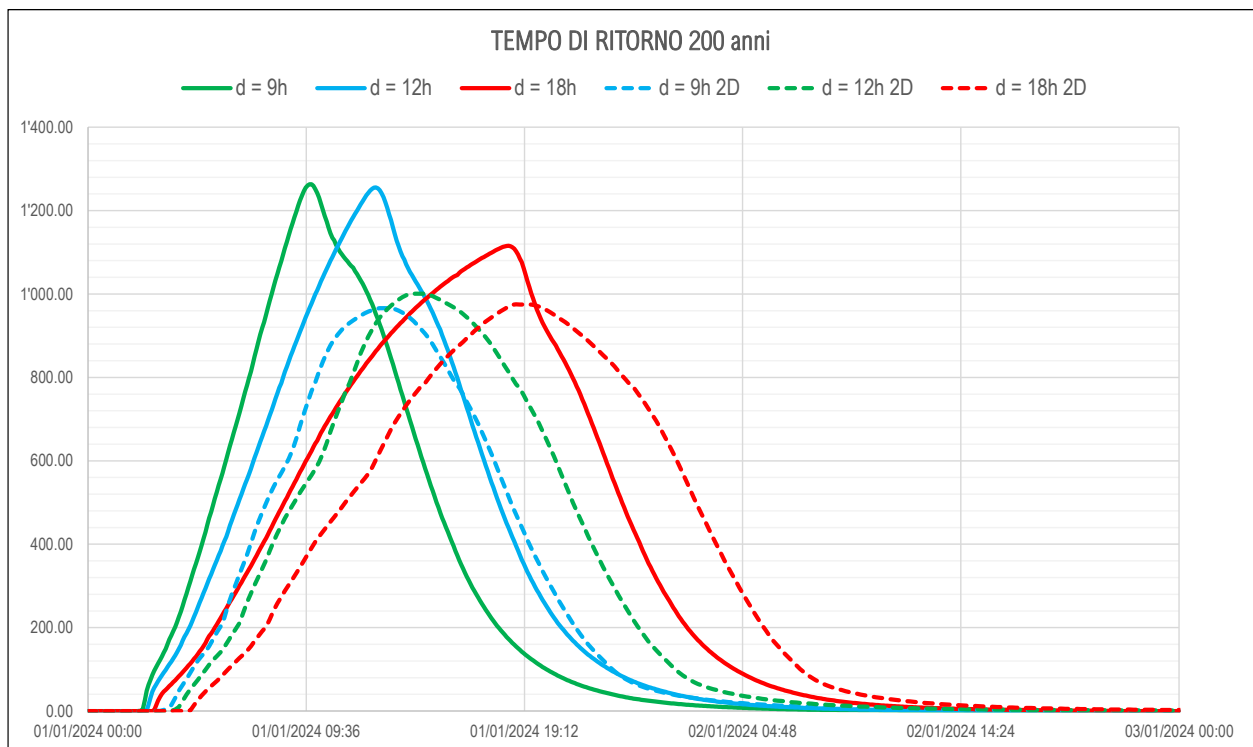


Fig. 86 T200: sezione a San Carlo - confronto tra idrogrammi idrologia (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

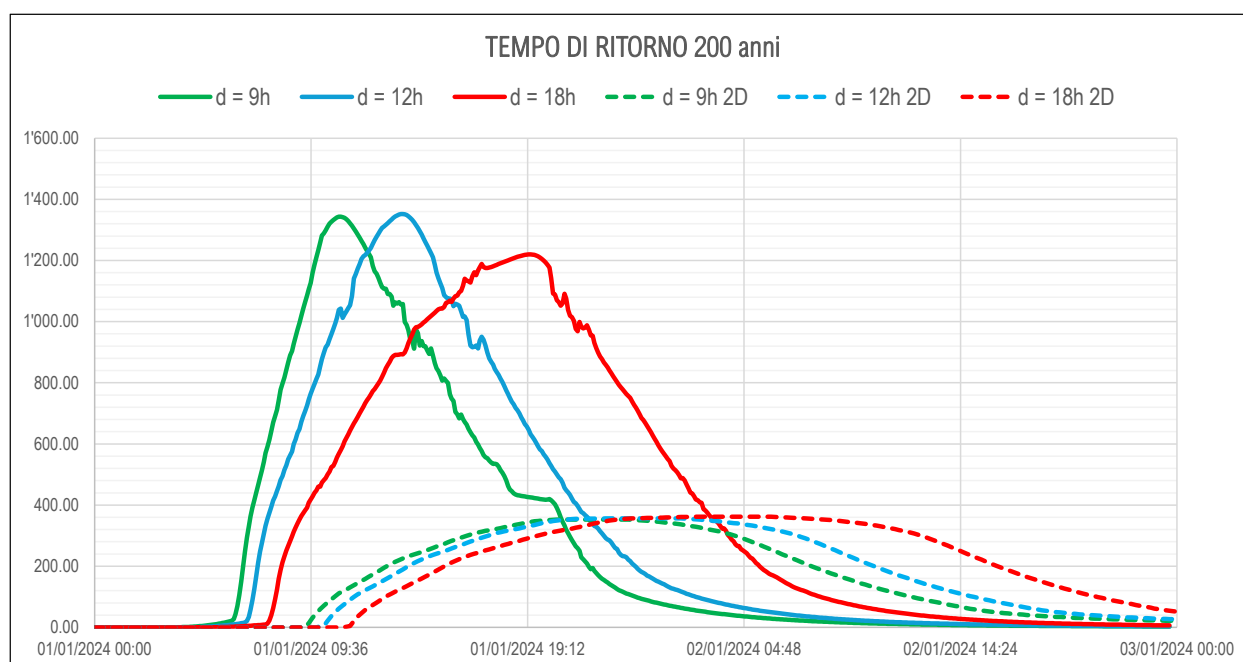


Fig. 87 T200: sezione a Cannuzzo - confronto tra idrogrammi idrologia (linee continue) e idrogrammi modello idraulico (linee tratteggiate)

Il suddetto valore di portata defluente nel tratto arginato Cannuzzo, pari a circa $360 \text{ m}^3/\text{s}$, prosegue verso valle senza subire ulteriori riduzioni, grazie all'assenza di tracimazioni delle arginature, se non per effetto della traslazione lungo l'alveo. La portata al colmo che si immette in mare è pari a circa $340 \text{ m}^3/\text{s}$, per l'evento di durata 12 ore (per evento di durata pari a 18 ore il valore al colmo è pari a $345 \text{ m}^3/\text{s}$).

Tali valori di portata confermano i risultati delle analisi in moto permanente, riportate nel paragrafo 6.3; infatti, in tale analisi, la portata limite attuale minima per il tratto arginato è stata stimata pari a circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$ (considerando un valore di franco di almeno 50 cm rispetto al coronamento arginale)

7.3.2.3 Evento T500

Con riferimento ad evento di piena cinquecentennale, le dinamiche idrauliche sono del tutto analoghe a quelle descritte in precedenza, con tiranti più severi e aree di allagamento più estese rispetto all'evento duecentennale, soprattutto nella zona di pianura.

Per quanto riguarda il tratto arginato a valle di Cesena si confermano i valori e le considerazioni riportate in precedenza per eventi T50 e T200.

7.4 Valutazioni dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento

Nel seguito sono illustrate, nelle condizioni attuali, alcune valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nel tratto fluviale oggetto di analisi.

Le classi di valutazione del franco idraulico sui ponti sono riportate in Tab. 8.

Si evidenzia che per i ponti ad arco, il franco è stato valutato rispetto alla quota minima sia della chiave che dell'appoggio dell'arco sulla pila. Questo non rappresenta quindi il valore di franco così come definito da normativa (distanza tra la quota idrometrica e la quota di intradosso del ponte sui 2/3 della luce).

Tab. 8 **Classi di valutazione del franco idraulico sui ponti**

FR < 0 cm	0 cm < FR < 30 cm	30 cm < FR < 50 cm	50 cm < FR < 100 cm	100 cm < FR < 150 cm	FR > 150 cm
---------------------	--------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------

7.4.1. *Torrente Borello*

7.4.1.1 Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato

L'intero alveo del torrente Borello rientra in questo ambito, in cui si è fatto riferimento all'evento T200 anni ed in particolare all'involuppo delle superfici idriche ottenute per le diverse durate di pioggia simulate.

I livelli idrici H200 sono i massimi riscontrabili nella sezione immediatamente a monte del ponte.

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nella seguente Tab. 9.

7.4.2. *Fiume Savio*

7.4.2.1 Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato

Nel presente ambito si è fatto riferimento all'evento T200 anni ed in particolare all'involuppo delle superfici idriche ottenute per le diverse durate di pioggia simulate.

I livelli idrici H200 sono i massimi riscontrabili nella sezione immediatamente a monte del ponte.

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nella seguente Tab. 10.

7.4.2.2 Tratto arginato di pianura

Nel tratto arginato di pianura, da Matellica fino allo sbocco in mare, si è fatto riferimento, nella valutazione dei franchi idraulici, alle portate compatibili individuate per i singoli tratti omogenei.

I livelli idrici sono i massimi riscontrabili, per la portata compatibile del tratto specifico, nella sezione immediatamente a monte del ponte.

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nella seguente Tab. 11.

Tab. 9 Torrente Borello: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	Ponte, Località	Comune	H200 (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
BOIN0001	SP29, via Rovereto	Mercato Saraceno	149.50	Ad arco	150.25	148.6	0.75	-0.90	
BOIN0002	Via Gamborano	Mercato Saraceno	128.36	Intradosso piano	127.75	127.75	-0.61	-0.61	Quota estradosso 129.0 m s.m.
BOIN0003	Via Ramiera	Mercato Saraceno	117.83	Intradosso piano	118.29	118.29	0.46	0.46	
BOIN0004	Via Bora Piavola	Mercato Saraceno	111.89	Intradosso piano	112.00	112.00	0.11	0.11	
BOIN0005	Strada La Fiera	Mercato Saraceno, Cesena	105.74	Intradosso piano	105.65	105.65	-0.09	-0.09	Quota estradosso 106.4 m s.m.
BOIN0006	Via Castellaccio	Mercato Saraceno, Cesena	97.14	Intradosso piano	94.70	94.70	-2.44	-2.44	Quota estradosso 95.30 m s.m.
BOIN0007	Via Bora Busche	Mercato Saraceno, Cesena	83.96	Intradosso piano	84.50	84.50	0.54	0.54	
BOIN0008	SR142 via Borello	Mercato Saraceno, Cesena	72.46	Ad arco	70.40	68.3	-2.06	-4.16	Quota estradosso 72.60 m s.m.
BOIN0009	Passerella loc. Borello	Mercato Saraceno, Cesena	68.92	Intradosso piano	69.70	69.70	0.78	0.78	
BOIN0010	SS3 bis	Mercato Saraceno, Cesena	67.40	Intradosso piano	69.10	69.10	1.7	1.7	

Tab. 10 Fiume Savio: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	Ponte, Località	Comune	H200 (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SVIN0001	SS 3bis	Mercato Saraceno	119.20	Intradosso inclinato	123.4	116.50	4.2	-2.70	Quota estradosso 118.72 m s.m.
SVIN0002	SS 3bis	Mercato Saraceno	115.03	Intradosso piano	112.60	112.60	-2.43	-2.43	Quota estradosso 115.30 m s.m.
SVIN0003	SS 3bis	Mercato Saraceno	111.62	Intradosso piano	111.60	111.60	-0.02	-0.02	Quota estradosso 114.00 m s.m.
SVIN0004	SS 3bis	Mercato Saraceno	110.46	Intradosso piano	111.20	111.20	0.74	0.74	
SVIN0007	SR142	Mercato Saraceno, Sogliano al Rubicone	88.48	Ad arco	90.3	87.80	1.82	-0.68	
SVIN0011	SR142, Via Gualdo	Mercato Saraceno, Cesena	69.86	Ad arco	71.7	69.0	1.84	-0.86	
SVIN0012	Via Scanello	Cesena	61.30	Intradosso piano	57.30	57.30	-4.00	-4.00	Quota estradosso 59.10 m s.m.
SVIN0013	Via San Carlo	Cesena	54.5	Ad arco	52.05	49.5	-2.45	-5.00	Quota estradosso 54.25 m s.m.
SVIN0014	Passerella ciclopedonale	Cesena	35.1	Intradosso piano	36.70	36.70	1.6	1.6	
SVIN0015	Ponte Vecchio	Cesena	33.6	Ad arco	38.22	30.00	4.62	-3.6	
SVIN0016	Ponte del Risorgimento – Ponte Nuovo – SS 9	Cesena	32.6	Ad arco	30.50	27.30	-2.1	-5.3	Quota estradosso 33.25 m s.m.
SVIN0017	Ponte Europa Unita	Cesena	32.0	Intradosso piano	30.14	30.14	-1.86	-1.86	Quota estradosso 34.00 m s.m.

SVIN0018	Passerella dell'Ippodromo	Cesena	31.82	Intradosso piano	30.00	30.00	-1.82	-1.82	Quota estradosso 32.50 m s.m.
SVIN0019	Ponte ferroviario Bologna - Rimini	Cesena	31.60	Ad arco	28.35	26.00	-3.25	-5.6	Quota estradosso 30.70 m s.m.
SVIN0020	SS 276	Cesena	31.28	Intradosso piano	33.00	33.00	1.72	1.72	
SVIN0021	SP140 – Via Torino	Cesena	29.83	Intradosso piano	28.94	28.94	-0.89	-0.89	Quota estradosso 31.24 m s.m.
SVIN0022	Autostrada A14	Cesena	25.3	Intradosso piano	23.77	23.77	-1.53	-1.53	Quota estradosso 26.32 m s.m.
SVIN0023	Pontetubo CER	Ravenna, Cervia	17.58	Intradosso piano	19.00	19.00	1.42	1.42	
SVIN0024	SP 64 – Via Matellica	Ravenna, Cervia	16.64	Intradosso piano	16.8	16.8	0.16	0.16	

Tab. 11 Fiume Savio da Matellica a mare: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata compatibile dei singoli tratti (scenario Ks uso suolo)

ID	Ponte, Località	Comune	Q comp. (m³/s)	H comp. (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SVIN0025	SP254 - Via Salara	Ravenna, Cervia	450	12.43	Intradosso piano	13.54	13.54	1.11	1.11	
SVIN0026	Passerella ciclopedonale	Ravenna, Cervia	450	12.27	Intradosso piano	13.13	13.13	0.86	0.86	
SVIN0027	SS16 – Adriatica	Ravenna, Cervia	300	7.12	Intradosso piano	10.87	10.87	3.75	3.75	
SVIN0028	Passerella	Ravenna, Cervia	300	6.80	Intradosso piano	7.30	7.30	0.50	0.50	
SVIN0029	via Romea	Ravenna, Cervia	300	6.83	Intradosso piano	7.80	7.80	0.97	0.97	
SVIN0030	Ferrovia Ravenna - Rimini	Ravenna, Cervia	300	6.34	Intradosso piano	6.91	6.91	0.57	0.57	
SVIN0031	Via Bagnacavallo	Ravenna	300	1.62	Intradosso piano	2.28	2.28	0.66	0.66	

7.5 Scenari di rotta arginale

Il modello numerico allestito è stato applicato anche nell'approfondire scenari di rotta arginale; la localizzazione delle rotte è stata definita in funzione dei seguenti criteri:

- punti di sormonto evento T50: tali localizzazioni sono confrontate con le rotte occorse negli eventi 2023 e 2024. Ultimata l'individuazione di tali tratti viene verificato anche il comportamento dell'evento T200: ulteriori punti sono aggiunti se distanti dai precedenti almeno 3-5 km;
- criticità geometriche locali individuate dalle analisi in permanente, con riferimento allo scenario di scabrezza definito dalle condizioni di uso del suolo attuali;
- prossimità al corso d'acqua di centri abitati rilevanti non colpiti dagli effetti delle rotte precedentemente definite.
- la posizione di ogni singola breccia è stata valutata in modo tale da ottenere un allagamento uniforme del comparto e più cautelativo possibile, ad esempio valutando gli effetti di significativi elementi topografici in grado di regimentare le dinamiche alluvionali (magari aumentando in maniera localizzata la densità di brecce), prediligendo il posizionamento delle brecce nei tratti più di monte del comparto e in posizioni che, considerando le dinamiche inerziali interne al corso d'acqua, favorissero l'esondazione di volumi maggiori.

Tab. 12 Localizzazione punti di rotta arginale simulati

ID Rotta	Località	Comune	Criterio individuazione	Sponda
01	Cannuzzo	Cervia	Criticità moto permanente - Q=500	DX
02	Castiglione di Ravenna	Ravenna	Vicinanza centro abitato	SX
03	Castiglione di Cervia	Cervia	Vicinanza centro abitato	DX
04	C.na Maria Maddalena	Cervia	Rotta evento reale	DX
05	C.na Forlivesi	Ravenna	Criticità moto permanente - Q=500	SX
06	Villa Ragazzena	Cervia	Criticità moto permanente - Q=500	DX
07	C.na Savio	Cervia	Criticità moto permanente - Q=450	SX
08	C.na Rasponi / C.na Lucchi	Cervia	Criticità moto permanente - Q=400	DX
09	Savio di Cervia	Cervia	Criticità moto permanente - Q=400	DX
10	Savio di Ravenna	Ravenna	Criticità moto permanente - Q=400	SX
11	La Larga	Ravenna	Criticità moto permanente - Q=450	DX
12	-	Ravenna	Criticità moto permanente - Q=450	SX

Per ogni punto di rotta sono stati simulati gli eventi T50, T200 e T500 per la durata di pioggia di 18 ore.

Inoltre, per tutte le brecce si è ipotizzata una forma trapezia, con una quota che varia gradualmente nel tempo a partire da quella del coronamento arginale fino a raggiungere la quota del piano campagna circostante, e con una larghezza finale alla base assunta pari a 50 m; tale larghezza è stata condivisa in funzione delle evidenze delle rotte reali occorse negli eventi 2023 e 2024. L'innesco della formazione della breccia viene impostato nel momento del passaggio del colmo in prossimità del punto di rotta.

I risultati di tali simulazioni, integrati con i corrispondenti inviluppi degli scenari di analisi ad argini inerodibili, hanno consentito di perimetrare le aree allagabili per i diversi scenari idrologici frequente, poco frequente e raro.

8 Linee di assetto

Al fine di avere una visione complessiva delle linee di assetto definite nel paragrafo successivo, si rimanda al Capitolo 6 della Relazione Tecnica in cui sono descritte le strategie generali che guidano la definizione delle linee di assetto.

8.1 L'assetto del Torrente Borello

L'asta del torrente Borello, oggetto di delimitazione delle Fasce Fluviali e interessata dalla definizione delle linee di assetto, è compresa tra San Romano (Mercato Saraceno) e la confluenza con il fiume Savio (11 km). L'ambito in esame si sviluppa interamente in ambito collinare con un fondovalle relativamente contenuto che, in occasione di eventi intensi, viene interessato da esondazioni fino ai limiti morfologici naturali.

8.1.1. *Tratto collinare tra Mercato Saraceno – loc. San Romano e la confluenza con il fiume Savio*

Nel tratto collinare si prevede la realizzazione di sistema difensivo per il contenimento dei livelli idrici in corrispondenza dell'abitato di Piavola (Comune di Mercato Saraceno), in sinistra idraulica, del centro abitato di Borello (Comune di Cesena) in sinistra idraulica e l'abitato di Bora (Comune di Mercato Saraceno), in destra idraulica. Tali interventi devono essere accompagnati dall'intervento di rifacimento del ponte della SP138 (inadeguato e incompatibile con il deflusso della piena duecentennale) che induce innalzamenti dei livelli di piena a monte con conseguenti incrementi delle inondazioni in sponda sinistra e in sponda destra.

Lungo l'asta del torrente Borello non sono presenti aree golenali che possono essere destinate ad ospitare invasi di laminazione in grado di ridurre significativamente l'onda di piena dell'evento di riferimento.

8.2 L'assetto del Fiume Savio

L'asta del fiume Savio, oggetto di delimitazione delle Fasce Fluviali e interessata dalla definizione delle linee di assetto, è compresa tra il Comune di Mercato Saraceno – loc. San Damiano e il mare (64 km). L'ambito in esame può essere suddiviso nei seguenti tratti:

- tra Mercato Saraceno – loc. San Damiano fino a monte del centro abitato di Cesena (26 km), il Savio si sviluppa in ambito collinare con un fondovalle relativamente stretto, in grado di contenere il deflusso della piena di riferimento duecentennale, con presenza di alcuni ambiti golenali più ampi, che, in occasione di eventi intensi, vengono interessati da esondazioni fino ai limiti morfologici naturali;
- attraversamento del centro abitato di Cesena, fino al ponte della SS726, lungo circa 3 km, in cui è presente un sistema di rilevati arginali, non classificati e posti in fregio all'alveo attivo, che svolge funzione di difesa della parte di abitato posto all'interno dell'ambito golenale del fiume Savio, ma che è caratterizzato da quote di ritenuta insufficienti a contenere il deflusso della piena cinquantennale;
- tra il ponte della SS726 e il ponte dell'autostrada A14, lungo circa 8 km, l'alveo ha un andamento sinusoidale a meandri, con aree golenali abbastanza incassate rispetto al piano campagna circostante (3÷5 m), che in occasione di eventi di piena vengono interessate da esondazioni che si propagano anche oltre i limiti morfologici naturali dell'alveo, interessando ampie porzioni della pianura circostante;
- a valle del ponte dell'autostrada A14, fino alle località di Matellica (Ravenna) e Cannuzzo (Cervia), lungo circa 9 km, l'alveo ha sempre un andamento a meandri, ma rispetto al tratto precedente, le aree golenali sono meno estese e meno incise nella pianura circostante; nel tratto sono presenti alcuni rilevati arginali, discontinui e non classificati;

- a partire da Matellica/Cannuzzo fino allo sbocco in mare, circa 18 km, il Savio è arginato in modo continuo (argini classificati di seconda categoria).

8.2.1. Tratto collinare tra Mercato Saraceno – loc. San Damiano e il centro abitato di Cesena

Nel tratto collinare si prevede l'adeguamento e il potenziamento del sistema difensivo per il contenimento dei livelli idrici in corrispondenza della località Bivio Montegelli, posto in destra idraulica in Comune di Sogliano al Rubicone.

Lungo l'intero tratto è prevista la realizzazione di 12 interventi strutturali per la laminazione delle piene, tutte in corrispondenza di aree golenali che già nello stato attuale sono interessate da allagamenti durante gli eventi di piena. La funzione di tali opere è di ridurre il più possibile, compatibilmente con l'assetto territoriale presente, la portata di piena al colmo che poi transita nel centro abitato di Cesena. In particolare, le opere previste sono:

1. A Mercato Saraceno, in destra idraulica, nell'area golenale di fronte alla località Taibo, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, con opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 620.000 m³.
2. A Mercato Saraceno, in sinistra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Pianetto e Bareto, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 800.000 m³.
3. Appena a monte della confluenza del torrente Borello, in sinistra, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea in corrispondenza dell'area golenale del Savio, con opera di regolazione in alveo (comune con le casse di laminazione descritte nei punti 4 e 5) e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 360.000 m³.
4. A valle della confluenza del torrente Borello, in destra, è previsto l'ampliamento della cassa di laminazione in località il Molino (Cesena), opera fuori linea già realizzata con scavi e arginature, mediante l'adeguamento in quota delle arginature perimetrali, l'ampliamento dell'area interessata e la realizzazione di un'opera di regolazione in alveo (comune con le casse di laminazione descritte nei punti 3 e 5). Il volume utile è stimato in 760.000 m³.
5. A valle della confluenza del torrente Borello, in sinistra, località Gallo (Cesena), è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea in corrispondenza di un'ampia area golenale del fiume Savio, con opera di regolazione in alveo (comune con le casse di laminazione descritte nei punti 3 e 4) e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 970.000 m³.
6. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Taverna, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.150.000 m³.
7. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Il Trebbo, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 500.000 m³.
8. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Taverna (a valle dell'area indicata al punto 6), è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata senza ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 80.000 m³.
9. A Cesena, in destra idraulica, è previsto l'ampliamento della cassa di laminazione in località C. Bianchi, opera fuori linea già realizzata con scavi e arginature, mediante l'adeguamento in quota delle arginature perimetrali. Il volume utile complessivo è stimato in 1.580.000 m³.
10. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Borgo Paglia, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 740.000 m³.

11. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale in prossimità delle località Luganesi, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.100.000 m³.
12. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale presente lungo la via Roversano, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 580.000 m³.

Il suddetto sistema di opere, il cui volume di laminazione complessivo è stimato in circa 9 Mm³, consente di ridurre la portata di piena al colmo dell'evento di riferimento T200 ad un valore di circa 670 m³/s, con una riduzione di circa 300 m³/s rispetto alla portata al colmo dello stesso evento nell'attuale assetto.

8.2.2. Tratto in attraversamento al centro abitato di Cesena

Nel tratto in attraversamento al centro abitato di Cesena è necessario aumentare la capacità di deflusso dell'alveo di piena, attraverso i seguenti interventi:

- adeguamento in quota e in sagoma dell'esistente sistema arginale presente lungo entrambe le sponde, fino al ponte della SS 276;
- riprofilatura della sezione d'alveo con abbassamento dei piani golenali compresi tra l'alveo inciso e i rilevati arginali;
- sostituzione del Ponte Nuovo – via Risorgimento con un manufatto idraulicamente adeguato e compatibile.

Tali interventi si rendono necessari in quanto le casse di laminazione che possono essere previste nel tratto di monte, compatibili con la morfologia dei luoghi e del contesto territoriale, non sono in grado di ridurre la portata al colmo dell'evento di piena di riferimento a valori compatibili con l'attuale capacità idraulica del sistema difensivo presente nel tratto in oggetto, che è pari a circa 350 m³/s (ma con alcune zone che iniziano ad allagarsi già a partire da valori di portata prossimi a 250 m³/s).

8.2.3. Tratto tra il ponte della SS726 e il ponte dell'autostrada A14

Nel tratto fluviale compreso tra il ponte della SS726 e il ponte dell'autostrada A14 si prevede la realizzazione di ulteriori 11 interventi strutturali per la laminazione delle piene, tutte in corrispondenza di aree golenali che già nello stato attuale sono interessate da allagamenti durante gli eventi di piena. La funzione di tali opere è di ridurre il più possibile, compatibilmente con l'assetto territoriale presente, la portata di piena al colmo fino a valori compatibili con il tratto arginato tra Matellica/Cannuzzo e il mare. In particolare, le opere previste sono:

1. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente appena a valle del ponte della SS726, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 2.000.000 m³.
2. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale presente appena a valle del ponte della SS726, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.450.000 m³.
3. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Case Saladini, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 970.000 m³.
4. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Martorano, a monte del ponte della SP140 – via Torino, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.400.000 m³.
5. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Martorano, a valle del ponte della SP140 – via Torino, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione

fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata senza ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 140.000 m³.

6. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Casa Medri, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.000.000 m³.
7. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Casa Prati, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 500.000 m³.
8. A Cesena, in destra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Martorano, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 900.000 m³.
9. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente nei pressi della località Casa Almerici, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 500.000 m³.
10. A Cesena, in sinistra idraulica, nell'area golenale presente a monte del ponte dell'Autostrada A14, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, senza opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti del piano golenale. Il volume utile è stimato in 1.250.000 m³.
11. A Cesena, a lato della cassa di laminazione descritta nel precedente n. 10 è prevista un'espansione in un'area a tracimazione controllata, in cui possono essere invasati ulteriori 400.000 m³

Tra le varie casse di laminazione è prevista anche la realizzazione di opere di contenimento dei livelli di piena, in modo da contenere l'evento di piena di riferimento all'interno dell'alveo e delle sue aree golenali.

Il suddetto sistema di opere, il cui volume di laminazione complessivo è stimato in circa 10.5 Mm³, consente di ridurre la portata di piena al colmo dell'evento di riferimento T200 ad un valore dell'ordine di 440 m³/s, con una riduzione di circa 260 m³/s rispetto alla portata al colmo proveniente da monte, a seguito degli interventi previsti in tali tratti.

Sommando il volume di laminazione di tale tratto con quello previsto tra Mercato Saraceno – loc. San Damiano e il centro abitato di Cesena, si ha che il volume di invaso complessivo previsto nell'assetto di progetto è pari a circa 20 Mm³.

8.2.4. *Tratto tra il ponte dell'autostrada A14 e l'inizio del tratto arginato classificato di pianura*

Nel tratto fluviale compreso tra il ponte dell'autostrada A14 e le località di Matellica (Ravenna) e Cannuzzo (Cervia), dove ha poi inizio il tratto arginato classificato di pianura, è prevista la realizzazione di un sistema arginale continuo lungo entrambe le sponde (6 km in sinistra e 7 km in destra), al fine di evitare fenomeni di esondazione che possono interessare la pianura e gli abitati circostanti.

Il presente tratto, pertanto, si configura come un ambito di trasferimento della portata laminata proveniente da monte, fino al sistema arginato di pianura.

Il fatto che le opere di laminazione a valle dell'abitato di Cesena siano previste solo nel tratto precedente e non in questo, deriva dalla conformazione dell'alveo e delle aree circostanti; infatti, come già descritto in precedenza, il tratto a monte dell'autostrada A14 presenta aree golenali più ampie e abbastanza incassate rispetto al piano campagna circostante (3÷5 m), che quindi si prestano bene ad essere utilizzate come casse di laminazione, mentre a valle del ponte dell'autostrada A14 le aree golenali sono meno estese e meno incise nella pianura circostante e quindi sono meno adatte alla realizzazione di casse di laminazione.

8.2.5. *Tratto arginato classificato di pianura*

La portata limite attuale del tratto arginato del fiume Savio, definita secondo i criteri illustrati nei precedenti capitoli, è riportata nella successiva tabella.

Tab. 13 Portata limite attuale del tratto arginato del fiume Savio

ID	Tratto	Q compatibile (m³/s)
1	da Matellica fino a ponte ciclovia - idrometro Castiglione	450
2	da ponte ciclovia - idrometro Castiglione a Guarniera	500
3	Da Guarniera fino a ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio	300
4	ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio, fino a mare	300

Si osservi come due tratti, il n. 3 e il n. 4, si palesino maggiormente critici, in quanto il valore della portata compatibile è inferiore rispetto al valore di portata al colmo proveniente da monte nell'assetto di progetto prima descritto. Per contro, i primi due tratti presentano un valore di portata compatibile superiore alla portata al colmo dell'assetto di progetto.

Allo scopo di rendere compatibile l'intero tratto arginato classificato di pianura con la portata proveniente da monte, è necessario prevedere interventi di adeguamento in quota e in sagoma degli argini esistenti. In particolare, si segnala che nel tratto 3 tali interventi sono necessari al fine di evitare fenomeni di sormonto, mentre per il tratto 4 gli interventi servono per poter ottenere adeguati franchi di sicurezza idraulica.

La tabella seguente confronta la portata limite attuale e quella di progetto nei diversi tratti.

Tab. 14 Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato del fiume Savio

ID	Tratto	Q limite attuale (m³/s)	Q limite progetto (m³/s)
1	da Matellica fino a ponte ciclovia - idrometro Castiglione	450	450
2	da ponte ciclovia - idrometro Castiglione a Guarniera	500	500
3	Da Guarniera fino a ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio	300	440
4	ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio, fino a mare	300	440

8.3 Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento

Al fine di indagare la resilienza dell'assetto proposto rispetto ad eventi superiori a quello di riferimento (T200 anni), il complesso delle sistemazioni proposte è stato sollecitato dall'evento T200, durata di pioggia 18 ore, ottenuto nello scenario idrologico che contempla gli effetti del cambiamento climatico.

In Tab. 15 si riporta il confronto tra le portate idrologiche di riferimento del fiume Savio e quelle ottenute nelle analisi idrologiche stimando gli effetti del cambiamento climatico per l'evento T200 (in tale tabella è riportato massimo valore al colmo tra le diverse durate di pioggia).

Tab. 15 Portate di piena per il fiume Savio

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione (Cod. rif. Bacino)	Sup. (km²)	T50 (m³/s)	T200 (m³/s)	T500 (m³/s)	T200 CC (m³/s)
Savio	Savio	47	Mercato Saraceno	415,1	630	815	935	1020
Savio	Savio	59,5	Valle confluenza Borello	614,3	960	1215	1400	1575
Savio	Savio	65,5	San Carlo	639,6	995	1265	1455	1640
Savio	Savio	92	Cannuzzo	709,9	1140	1355	1560	1745

Si osservi che l'incremento idrologico del colmo in tutte le sezioni a valle della confluenza con il T. Borello è sempre dell'ordine del 30%.

In termini di volumi, a Cannuzzo, l'evento T200, durata di pioggia 18 ore, palesa, nello scenario che contempla gli effetti del cambiamento climatico, un incremento del 29%.

Nel tratto collinare, a monte dell'abitato di Cesena, il transito dell'evento citato non determina variazioni significative delle aree inondabili, in quanto l'intero fondovalle è già comunque coinvolto. Tutte le casse di laminazione previste a monte della Città di Cesena esauriscono la propria capacità di laminazione, veicolando verso valle portate maggiori rispetto all'evento di riferimento senza i cambiamenti climatici. In particolare, a monte del tratto arginato di Cesena, la portata al colmo passa da 670 a 740 m³/s, comunque ben inferiore al valore di portata al colmo nell'assetto attuale, pari a circa 970 m³/s. Tale maggior valore di portata induce il sormonto di alcuni tratti dei rilevati arginali previsti nell'assetto di progetto sia lungo l'abitato di Cesena che nel tratto a valle compreso tra il ponte della SS276 e il ponte dell'Autostrada A14. È quindi necessario che le opere arginali siano progettate e realizzate per evitare il collasso in caso di sormonto.

In corrispondenza del ponte dell'autostrada A14 la portata al colmo con lo scenario relativo ai cambiamenti climatici si ha un valore della portata al colmo pari a 520 m³/s, superiore a quello ottenuto con l'evento di piena di riferimento per la definizione dell'assetto di progetto, pari a 440 m³/s. Tale maggior portata riesce però a transitare sino al tratto arginato classificato di pianura senza indurre esondazioni (gli incrementi di livello conseguenti sono inferiori ad 1 m e quindi gli argini previsti nell'assetto di progetto sono in grado di contenere al loro interno grazie al franco idraulico considerato).

La portata al colmo in ingresso al tratto arginato classificato di pianura è pari a circa 510 m³/s; con tale valore si generano delle esondazioni nel tratto iniziale, soprattutto in destra idraulica (loc. Cannuzzo) e la portata al colmo che prosegue verso valle si riduce a circa 500 m³/s. Con tale valore di portata si verificano dei sormonti arginali nel tratto tra Guarniera e il ponte della via Romea. Per effetto di tali sormonti la portata che prosegue a valle si riduce a circa 450 m³/s che transitano fino a sfociare in mare senza indurre ulteriori esondazioni.

8.4 Quadro degli interventi

In Tab. 16 sono riassunte le localizzazioni e le tipologie di intervento rappresentati dai limiti B di progetto individuati lungo il torrente Borello, mentre nella Tab. 17 sono riportate quelle relative al fiume Savio.

Tab. 16 Localizzazione e modalità attuative dei limiti B di progetto del T. Borello

N.	Comune	Progressiva (km)	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
1	Mercato Saraceno	28-29	SX	Abitato di Piavola	Contenimento livelli idrici
2	Cesena	35-36	SX	Abitato di Borello	Contenimento livelli idrici
3	Mercato Saraceno	35-36	DX	Abitato di Bora	Contenimento livelli idrici

Tab. 17 Localizzazione e modalità attuative dei limiti B di progetto del F. Savio

N.	Comune	Progressiva (km)	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
1	Mercato Saraceno	49-50	DX	Taibo	Cassa di laminazione
2	Mercato Saraceno	50-51	SX	Pianetto e Bareto	Cassa di laminazione
3	Sogliano al Rubicone	53-54	DX	Abitato di Bivio Montegelli	Contenimento livelli idrici
4	Mercato Saraceno	59-60	SX	Monte confluenza Borello	Cassa di laminazione

N.	Comune	Progressiva (km)	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
5	Cesena	59-60	DX	Valle confluenza Borello - il Molino	Cassa di laminazione
6	Cesena	60-61	SX	Gallo	Cassa di laminazione
7	Cesena	66-67	SX	Taverna	Cassa di laminazione
8	Cesena	66-67	DX	Trebbo	Cassa di laminazione
9	Cesena	66-67	SX	Taverna	Cassa di laminazione
10	Cesena	70-71	DX	C. Bianchi	Cassa di laminazione
11	Cesena	70-71	SX	Borgo Paglia	Cassa di laminazione
12	Cesena	71-72	SX	Luganesi	Cassa di laminazione
13	Cesena	72-73	DX	Via Roversano	Cassa di laminazione
14	Cesena	72-76	SX – DX	Abitato Cesena	Contenimento livelli idrici, abbassamento piani golenali, rifacimento Ponte Nuovo
15	Cesena	75-76	SX	Valle SS726	Cassa di laminazione
16	Cesena	75-77	DX	Valle SS726	Cassa di laminazione
17	Cesena	77-78	SX	Casa Saladini	Cassa di laminazione
18	Cesena	77-78	DX	Martorano	Cassa di laminazione
19	Cesena	78-79	SX	Ponte via Torino SP140	Contenimento livelli idrici
20	Cesena	78-79	DX	Martorano	Cassa di laminazione
21	Cesena	79-80	SX	Casa Medri	Cassa di laminazione
22	Cesena	79-80	DX	Martorano	Contenimento livelli idrici
23	Cesena	79-80	SX	Casa Medri	Contenimento livelli idrici
24	Cesena	80-81	SX	Casa Prati	Cassa di laminazione
25	Cesena	80-81	DX	Martorano	Cassa di laminazione
26	Cesena	80-81	SX	Casa Prati	Contenimento livelli idrici
27	Cesena	81-82	SX	Casa Almerici	Cassa di laminazione
28	Cesena	81-83	DX	Fornasaccia	Contenimento livelli idrici
29	Cesena	82-83	SX	Monte A14	Cassa di laminazione
30	Cesena	82-83	SX	Monte A14	Area esondazione controllata
31	Cesena – Ravenna	83-92	SX	Da A14 a Matellica	Contenimento livelli idrici
32	Cesena – Cervia	83-92	DX	Da A14 a Matellica	Contenimento livelli idrici

Il quadro degli interventi previsti è completato dalle seguenti opere:

- interventi di adeguamento del sistema arginale alla portata limite di progetto in destra e sinistra nel tratto compreso tra Guarniera a mare;

Risulta inoltre necessario predisporre il Programma generale di gestione della vegetazione ripariale in coerenza con le disposizioni regionali di riferimento, evidenziando la necessità di coordinare le azioni di sicurezza idraulica con la tutela e valorizzazione della vegetazione ripariale, riconoscendone da un lato le funzioni ecosistemiche essenziali e dall'altro il ruolo chiave nella mitigazione del rischio idraulico.

Infine, occorre predisporre il Programma generale di gestione dei sedimenti quale strumento conoscitivo, gestionale e di programmazione di interventi, relativi all'assetto morfologico del corso d'acqua, mediante il quale disciplinare le attività di manutenzione degli alvei, delle opere e di gestione dei sedimenti. Il riferimento per la definizione dell'impostazione metodologica del Programma generale è la Direttiva

sedimenti del PAI Po. Tale programma dovrà tenere in considerazione gli esiti degli approfondimenti svolti nell'ambito dell'analisi morfologica.

8.5 Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto

In Tab. 18 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti lungo il fiume Savio per l'evento T200 (con durata di pioggia pari a 18 ore) nella configurazione definita dalle linee di assetto.

In Tab. 19 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nel tratto arginato di pianura rispetto alla portata limite di progetto.

Si evidenzia che per i ponti ad arco, il franco è stato valutato rispetto alla quota sia della chiave che dell'appoggio dell'arco sulla pila. Questo non rappresenta quindi il valore di franco così come definito da normativa (distanza tra la quota idrometrica e la quota di intradosso del ponte sui 2/3 della luce).

Si evidenzia che il rifacimento del ponte di via Borello SP138, sul Borello, e del ponte del Risorgimento – Ponte Nuovo – SS 9, sul Savio, risulta parte integrante delle linee di assetto.

Inoltre, in generale, si osserva che molti degli attraversamenti in Comune di Cesena sono fortemente critici rispetto alle linee di assetto.

Tab. 18 Fiume Savio: attraversamenti e franchi idraulici T200 rispetto alle linee di assetto

ID	Ponte, Località	Comune	H200 (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SVIN0001	SS 3bis	Mercato Saraceno	118.45	Intradosso inclinato	123.4	116.50	4.95	-1.95	Quota estradosso 118.72 m s.m.
SVIN0002	SS 3bis	Mercato Saraceno	114.15	Intradosso piano	112.60	112.60	-1.55	-1.55	Quota estradosso 115.30 m s.m.
SVIN0003	SS 3bis	Mercato Saraceno	111.27	Intradosso piano	111.60	111.60	0.33	0.33	Quota estradosso 114.00 m s.m.
SVIN0004	SS 3bis	Mercato Saraceno	110.40	Intradosso piano	111.20	111.20	0.80	0.80	
SVIN0007	SR142	Mercato Saraceno, Sogliano al Rubicone	88.06	Ad arco	90.3	87.80	2.24	-0.26	
SVIN0011	SR142, Via Gualdo	Mercato Saraceno, Cesena	69.86	Ad arco	71.7	69.0	1.84	-0.86	
SVIN0012	Via Scanello	Cesena	60.50	Intradosso piano	57.30	57.30	-3.2	-3.2	Quota estradosso 59.10 m s.m.
SVIN0013	Via San Carlo	Cesena	54.4	Ad arco	52.05	49.5	-2.35	-4.9	Quota estradosso 54.25 m s.m.
SVIN0014	Passerella ciclopeditale	Cesena	34.80	Intradosso piano	36.70	36.70	1.9	1.9	
SVIN0015	Ponte Vecchio	Cesena	33.8	Ad arco	38.22	30.00	4.42	-3.8	
SVIN0016	Ponte del Risorgimento – Ponte Nuovo – SS 9	Cesena	33.2						L'assetto di progetto prevede il rifacimento del ponte a quote compatibili con la piena di riferimento

SVIN0017	Ponte Europa Unita	Cesena	33.10	Intradosso piano	30.14	30.14	-2.96	-2.96	Quota estradosso 34.00 m s.m.
SVIN0018	Passerella dell'Ippodromo	Cesena	32.3	Intradosso piano	30.00	30.00	-2.3	-2.3	Quota estradosso 32.50 m s.m.
SVIN0019	Ponte ferroviario Bologna - Rimini	Cesena	31.80	Ad arco	28.35	26.00	-3.45	-5.8	Quota estradosso 30.70 m s.m.
SVIN0020	SS 726	Cesena	31.50	Intradosso piano	33.00	33.00	1.50	1.50	
SVIN0021	SP140 – Via Torino	Cesena	30.20	Intradosso piano	28.94	28.94	-1.26	-1.26	Quota estradosso 31.24 m s.m.
SVIN0022	Autostrada A14	Cesena	25.60	Intradosso piano	23.77	23.77	-1.83	-1.83	Quota estradosso 26.32 m s.m.
SVIN0023	Pontetubo CER	Ravenna, Cervia	18.40	Intradosso piano	19.00	19.00	0.60	0.60	
SVIN0024	SP 64 – Via Matellica	Ravenna, Cervia	17.40	Intradosso piano	16.8	16.8	-0.60	-0.60	

Tab. 19 Fiume Savio da Matellica a mare: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata limite di progetto (scenario Ks uso suolo)

ID	Ponte, Località	Comune	Q limite progetto (m³/s)	H limite progetto (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SVIN0025	SP254 - Via Salara	Ravenna, Cervia	440	12.43	Intradosso piano	13.54	13.54	1.11	1.11	
SVIN0026	Passerella ciclopedonale	Ravenna, Cervia	440	12.27	Intradosso piano	13.13	13.13	0.86	0.86	
SVIN0027	SS16 – Adriatica	Ravenna, Cervia	440	8.60	Intradosso piano	10.87	10.87	2.27	2.27	
SVIN0028	Passerella	Ravenna, Cervia	440	8.30	Intradosso piano	7.30	7.30	-1.0	-1.0	
SVIN0029	via Romea	Ravenna, Cervia	440	7.68	Intradosso piano	7.80	7.80	0.12	0.12	
SVIN0030	Ferrovia Ravenna - Rimini	Ravenna, Cervia	440	7.62	Intradosso piano	6.91	6.91	-0.71	-0.71	
SVIN0031	Via Bagnacavallo	Ravenna	440	2.02	Intradosso piano	2.28	2.28	0.26	0.26	

9 Portate di piena di riferimento

Nelle condizioni attuali, in Tab. 20 e nella Tab. 21 sono riportate le portate di piena al colmo di riferimento nelle sezioni di chiusura a monte del tratto arginato classificato. In nero le portate idrologiche, in blu quelle ottenute da modellazione idraulica bidimensionale. In entrambi i casi è indicato il valore massimo tra tutte le durate di pioggia simulate (3, 6, 9, 12, 18 e 24 ore).

Tab. 20 T. Borello stato attuale – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)
Borello	24	Mercato Saraceno – Linaro	90	285	340	380	285	340	380
Borello	36	Borello	128,7	380	455	510	340	415	460

Tab. 21 Fiume Savio stato attuale – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)
Savio	47	Mercato Saraceno	415,1	630	815	935	630	815	935
Savio	59,5	Valle confluenza Borello	614,3	960	1215	1400	835	1090	1240
Savio	65,5	San Carlo	639,6	995	1265	1455	810	1000	1110
Savio	92	Cannuzzo	709,9	1140	1355	1560	350	360	370

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori al colmo dell'onda di piena idraulica per il tempo di ritorno 200 anni e durata di pioggia 18 ore, nell'ipotesi di realizzazione delle linee di intervento proposte nel capitolo 8, in alcune sezioni del corso d'acqua a monte del tratto arginato.

Tab. 22 Torrente Borello linee di assetto – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T200 (m ³ /s)
Borello	36	Borello	128,7	415

Tab. 23 Fiume Savio linee di assetto – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T200 (m ³ /s)
Savio	59,5	Valle confluenza Borello	614,3	940
Savio	65,5	San Carlo	639,6	840
Savio	92	Cannuzzo	709,9	440

Per il tratto arginato classificato del fiume Savio, nella tabella seguente sono infine riportate la portata limite nello stato attuale (pur con franchi limitati) e nello stato definito dalle linee di assetto.

Tab. 24 Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato del fiume Savio

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)	Q limite progetto (m ³ /s)
1	da Matellica fino a ponte ciclovia - idrometro Castiglione	450	450
2	da ponte ciclovia - idrometro Castiglione a Guarniera	500	500
3	Da Guarniera fino a ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio	300	440
4	ponte via Romea - Statale Adriatica - idrometro Savio, fino a mare	300	440

