



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

**FASCE FLUVIALI**

**Monografia Santerno**

Dicembre 2025

## Metadata

---

Titolo	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Monografia Santerno
Descrizione	Il presente documento è la Monografia del fiume Santerno 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 Santerno
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_Santerno
Formato	pdf
Relazioni	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli, Conca Marecchia e al bacino del Fissero Tartaro Canalbianco (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) <a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0</a>
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 Santerno, Versione 01 del 2025-12-10

---

## Indice

1	Premessa .....	1
2	L'ambito fluviale in esame .....	2
3	Analisi morfologica .....	6
4	Idrologia di piena: portate ed eventi di riferimento .....	8
5	La geometria del modello 2D .....	15
6	Stima della capacità di portata nel tratto arginato .....	18
6.1	Le condizioni contorno .....	18
6.1.1.	Portate .....	18
6.1.2.	Condizioni di valle .....	18
6.2	Scabrezze .....	18
6.3	Simulazioni e risultati ottenuti .....	19
7	Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile .....	20
7.1	Le condizioni contorno .....	20
7.1.1.	Portate .....	20
7.1.2.	Condizioni di valle .....	20
7.2	Scabrezze .....	20
7.3	Simulazioni e risultati ottenuti .....	20
7.3.1.	Evento T50 .....	22
7.3.2.	Evento T200 .....	28
7.3.3.	Evento T500 .....	35
7.4	Valutazioni dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento .....	36
7.4.1.	Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato .....	36
7.4.2.	Tratto arginato di pianura .....	36
7.5	Scenari di rotta arginale .....	39
8	Linee di assetto .....	40
8.1	L'assetto del fiume Santerno .....	40
8.1.1.	Tratto appenninico tra Gaggio e Borgo Tossignano .....	40
8.1.2.	Tratto collinare tra Borgo Tossignano e Imola .....	40
8.1.3.	Attraversamento della città di Imola .....	40
8.1.4.	Tratto tra la linea ferroviaria BO-AN e l'inizio del tratto arginato .....	41
8.1.5.	Tratto arginato classificato di pianura .....	41
8.2	Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento .....	42
8.3	Quadro degli interventi .....	44
8.4	Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto .....	44
9	Portate di piena di riferimento .....	48



## **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 Santerno che, nell'ambito delle attività di studio descritte nella relazione tecnica, è stato analizzato per il tratto compreso tra Castel del Rio a confluenza Reno, per circa 70 km. Il tratto oggetto del presente progetto di variante e di delimitazione di fasce fluviali, secondo il metodo del PAI Po, è compreso tra la confluenza con il Rio di Gaggio e la confluenza con il fiume Reno, per una lunghezza complessiva di circa 65 km.

## 2 L'ambito fluviale in esame

Il bacino idrografico del Santerno si chiude alla confluenza del rio Sanguinario, poco a valle dell'attraversamento dell'A14, presso San Prospero (461 km<sup>2</sup>, lunghezza dell'asta sottesa circa 71 km). Dalla confluenza del Sanguinario, il Santerno si sviluppa arginato in modo continuo fino al Reno ed è privo di apporti significativi.

Nella porzione toscana del bacino, il Santerno riceve i suoi principali affluenti: il Rovigo in destra e il Diaterna in sinistra. Il fiume prosegue poi in un contesto tipicamente appenninico, supera Castel del Rio (progressiva 33 km) e raggiunge, dopo ulteriori 15 km, Borgo Tossignano.

Tra Borgo Tossignano e Imola, circa 12 km, l'ambito fluviale si amplia in un contesto collinare e il corso d'acqua lambisce i centri di Casalfiumanese in sinistra e Codrignano in destra.

L'attraversamento della città di Imola interessa circa 4 km dalla briglia presso il Tiro a segno al ponte della linea ferroviaria BO-AN. Superato l'attraversamento ferroviario, il Santerno disegna un paio di meandri per poi assumere andamento sub-rettilineo fino all'A14, a valle della quale riceve l'apporto del rio Sanguinario, ultimo affluente rilevante, per poi essere arginato con continuità. In questi circa 7 km tra FF.SS. e confluenza del Sanguinario una serie di attività estrattive hanno interessato i piani golinali. Superata l'A14, il Santerno si sviluppa arginato in modo continuo fino a confluenza Reno, circa 32 km.

I comuni interessati dal presente progetto di variante sono: Alfonsine, Argenta, Bagnara di Romagna, Borgo Tossignano, Casalfiumanese, Castel Bolognese, Conselice, Cotignola, Fontanelice, Fusignano, Imola, Lugo, Massa Lombarda, Mordano, Riolo Terme, Sant'Agata sul Santerno, Solarolo.

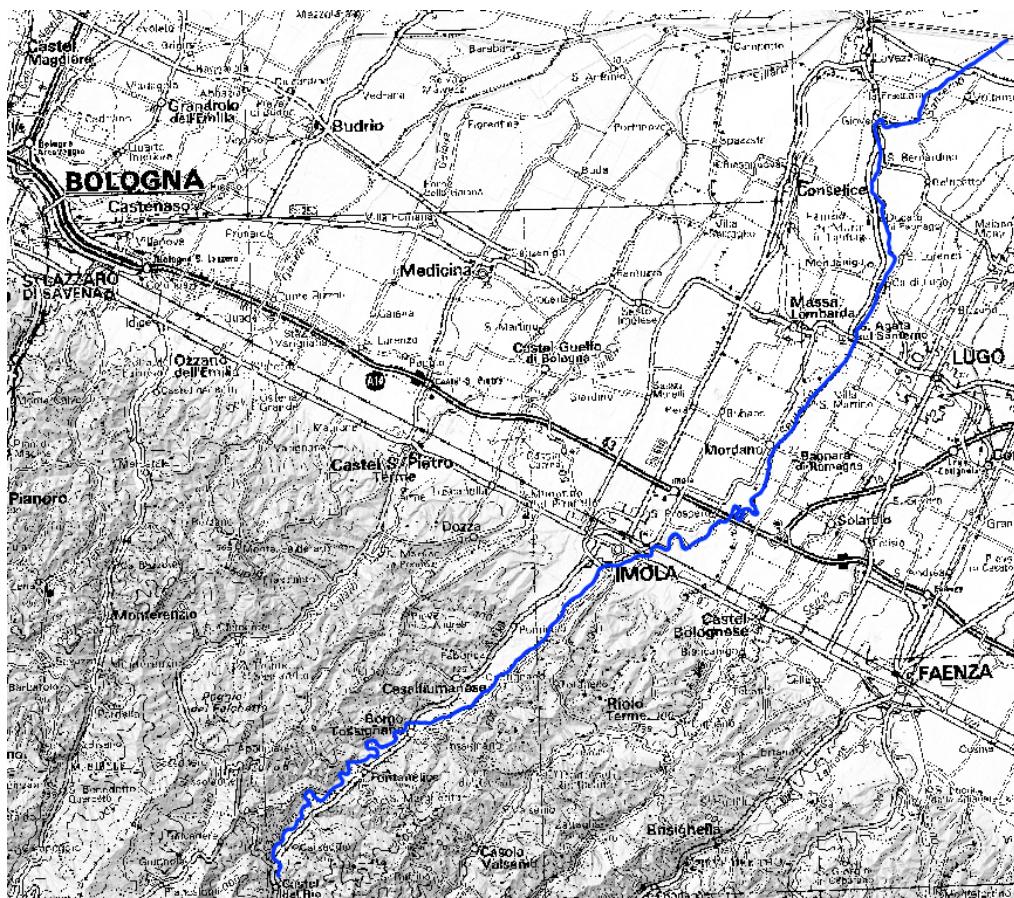
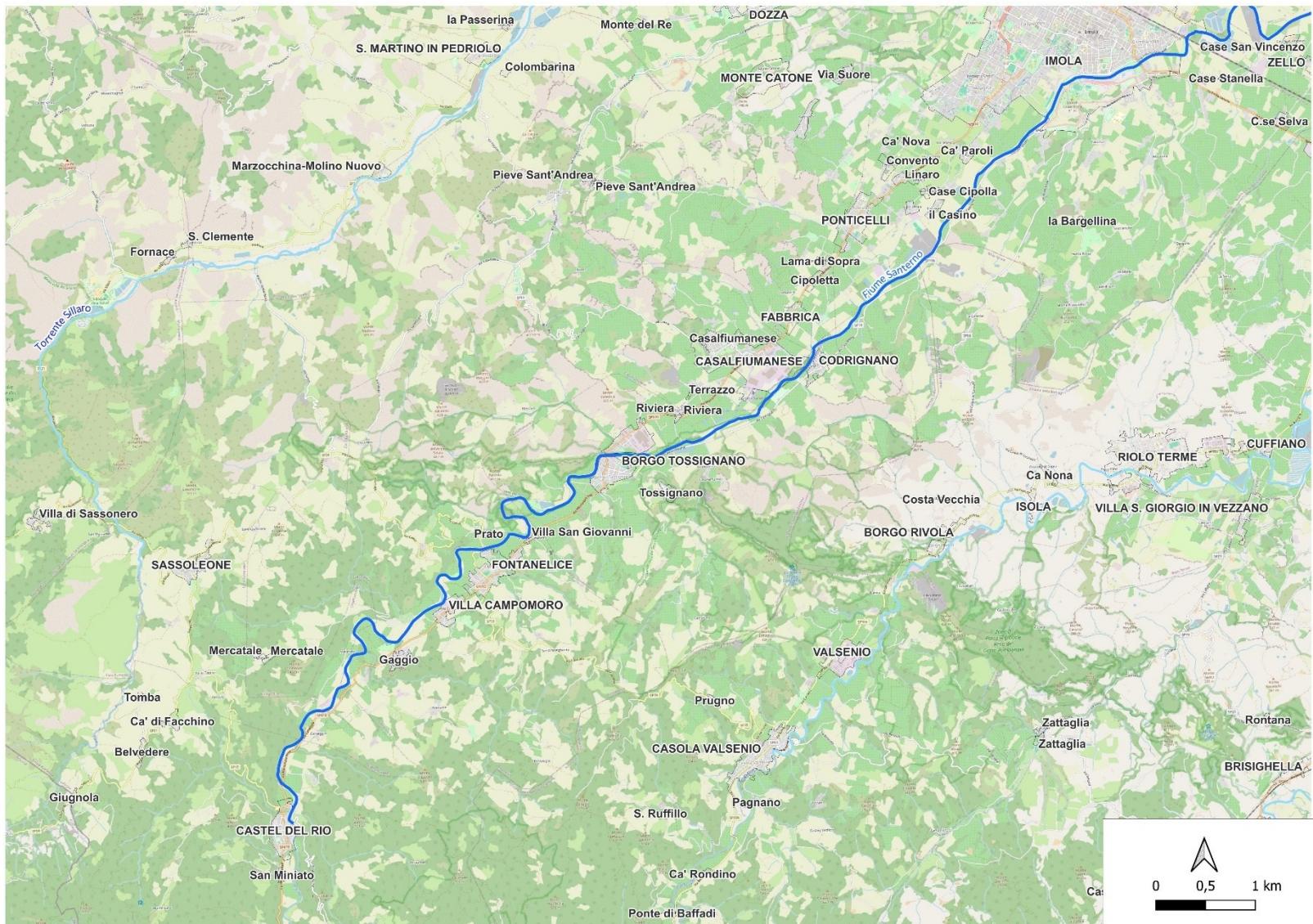
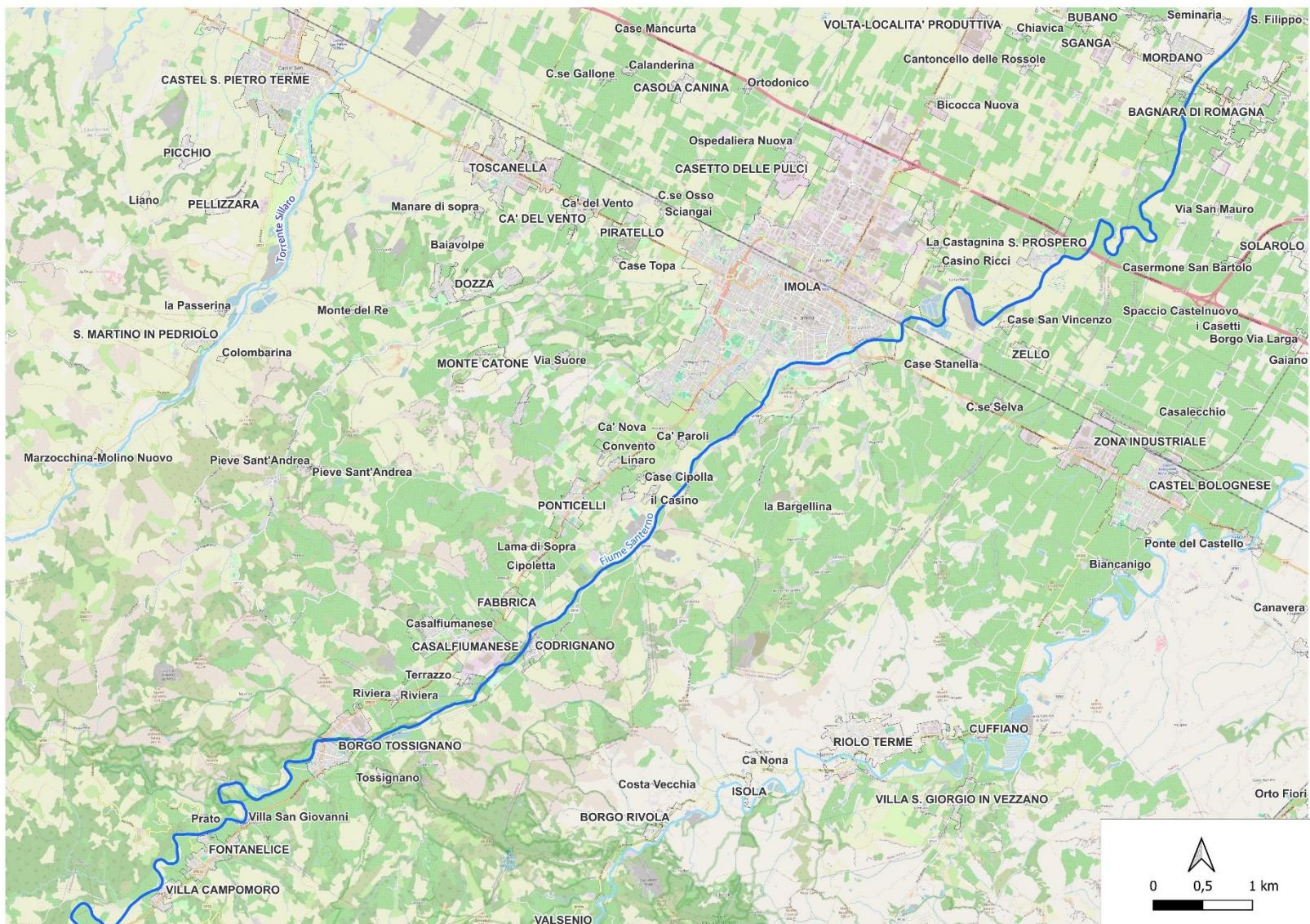


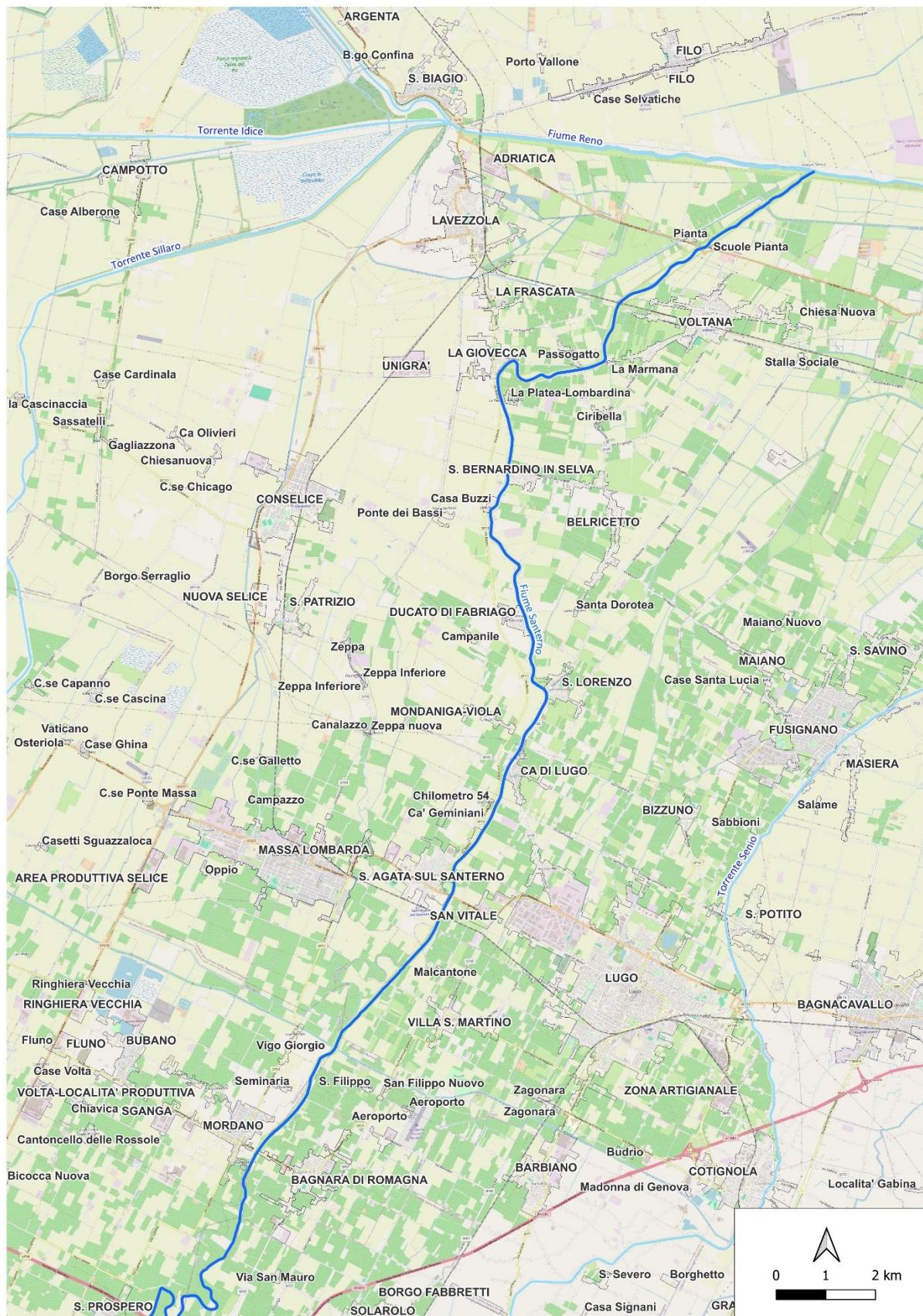
Fig. 1 Fiume Santerno - Inquadramento complessivo del tratto fluviale oggetto di studio



**Fig. 2 Fiume Santerno - Inquadramento cartografico dell'ambito di studio del corso d'acqua: da Castel del Rio a Imola**



**Fig. 3 Fiume Santerno - Inquadramento cartografico dell'ambito di studio: da Fontanelice a Mordano**



**Fig. 4 Fiume Santerno - inquadramento cartografico dell'ambito di studio: da Mordano a confluenza Reno**

### **3      Analisi morfologica**

Il tratto di fiume Santerno oggetto di studio parte dal ponte Alidosi di Castel del Rio (BO), fino a confluenza nel fiume Reno nel comune di Alfonsine (RA), per un totale di circa 70 km di lunghezza.

Dal ponte di Alidosi a Castel del Rio il fiume riceve in destra idrografica il rio di Gaggio e da sinistra il rio di Filetto e raggiunge Fontanelice e Borgo Tossignano. Qui il Santerno attraversa il Parco Regionale della Vena del Gesso Romagnola, con un imponente formazione geologica gessoso-solfifera che si estende in senso Nord Ovest-Sud Est per ben 25 km attraversando, oltre al Santerno, la Valle del Senio e quella del Sintria.

Nel tratto montano e collinare il Santerno descrive ampie anse, con presenza di barre vegetate e non vegetate e soglie rocciose degli affioramenti della formazione marnoso arenacea. Sono qui presenti una serie di briglie e soglie all'altezza dei principali attraversamenti e lungo il corso d'acqua, di controllo dell'erosione del profilo di fondo, fino ad arrivare alla traversa del Gatto Nero, a Borgo Tossignano.

Nel comune di Fontanelice ci sono evidenti erosioni delle sponde causate dalle alluvioni del 2023 e aggravate nel 2024. Da segnalare anche l'esondazione del rio Colombaretto, affluente del Santerno, del 17-18 settembre 2024, che ha provocato una colata di fango sommerso l'area della piscina comunale.

Subito a valle della traversa si registra un abbassamento del fondo alveo dall'analisi delle differenze altimetriche tra il DTM 2024 e il DTM 2009.

Nel tratto montano/collinare l'evento alluvionale del 16 maggio 2023, a partire da monte di Borgo Tossignano, ha sollecitato intensamente l'ambito fluviale con esondazioni diffuse sui piani golenali all'altezza dei bacini di Rineggio e il Centro Visite "Casa del fiume" del Parco della Vena del Gesso. Tra Borgo Tossignano e Codrignano è stata interessata in destra idrografica la sede stradale della SP14 in località Calvana Vecchia, mentre in sinistra idrografica, gli allagamenti hanno interessato le zone dei laghi di Riviera e lambito l'area industriale/artigianale di Casalfiumanese.

Nel comune di Casalfiumanese, sul rio Casale (affluente del Santerno) si segnalano fenomeni erosivi delle sponde, che mettono a rischio le abitazioni confinanti, in particolare nel tratto di centro paese.

Dall'analisi geomorfologica il tratto in esame presenta limiti di sponda con tasso di arretramento medio annuo da 0,5 m a 1 m, calcolato rispetto all'intervallo temporale degli ultimi 25 anni di evoluzione planimetriche.

Anche qui sono presenti altre briglie a contrasto dei fenomeni erosivi di fondo alveo, per poi giungere alla traversa di derivazione di Codrignano, in sinistra idrografica, dove parte delle acque del Santerno sono derivate nel Canale dei Molini di Imola, che attraversa la bassa pianura fino a gettarsi nel fiume Reno, per una lunghezza di circa 42 km.

La traversa ha provocato a valle un significativo abbassamento del fondo alveo, con progressivo restringimento della sezione di deflusso, senza barre di deposito, limitata da pareti subverticali lungo i versanti, soggette a fenomeni di crollo e scivolamenti per scalzamento al piede da parte dell'azione erosiva del Santerno.

Dall'analisi delle differenze altimetriche tra il DTM 2024 e il DTM 2009 si registra a valle della traversa di Codrignano, lo spostamento del canale attivo verso la sponda destra con un progressivo abbassamento della quota di fondo alveo.

Qui il paesaggio del fondovalle è caratterizzato da una serie di terrazzi fluviali e da versanti collinari solcati da calanchi. Il fiume scorre addossato sulla destra idrografica di Casalfiumanese, per poi allargarsi ed entrare in pianura, fino a raggiungere la città di Imola.

Anche in questo tratto la pendenza del profilo di fondo è regolata da una serie di briglie, con passo di circa 3 km.

I 13 tratti omogenei individuati da valle di Borgo Tossignano fino a San Prospero, ricadono nella classe "Moderato o Sufficiente", ad eccezione del tratto a monte di Imola dei meandri di San Prospero, che ricadono in classe "Buono"

A valle di Imola e del tracciato dell'autostrada A14, il Santerno, per la diminuzione della pendenza del profilo di fondo da San Prospero a Bagnara di Romagna, assume un andamento a meandri con anse accentuate. La presenza di paleoalvei nei piani goleinali anche a valle dell'attuale tratto meandriforme indica come storicamente il corso d'acqua divagava planimetricamente, rispetto al tracciato attuale oggetto di rettificazione antropica per l'azione di escavazione e bonifica dei territori di pianura.

Qui riceve in destra idrografica il rio Sanguinario, per poi passare tra gli abitati di Mordano e Bagnara di Romagna e a destra di Sant'Agata sul Santerno, infine, dirigendosi a nord e poi a nord-est, per sfociare nel fiume Reno, in territorio del comune di Alfonsine (RA).

Il contenimento dei livelli, a partire da valle confluenza rio Sanguinario, è garantito dai rilevati arginali classificati pressoché continui, che confinano il corso d'acqua nel tratto di pianura per circa 32 km.

Il tratto terminale del corso del fiume Santerno è stato artificialmente cambiato a scopo di bonifica in varie epoche storiche, passando dalla confluenza nel Po di Primaro, a quella definitiva in Reno.

Nel tratto di pianura l'evento alluvionale del 16 maggio 2023 ha interessato le aree goleinali in sinistra idrografica a monte di Imola coinvolgendo la frazione di Cà Paroli fino al ponte di via del Taglio. Nel tratto cittadino imolese sono state allagate in destra idrografica ampie aree dell'autodromo Enzo e Dino Ferrari e le golene in sinistra idrografica subito a valle. In particolare, nel quartiere Campanella, lungo via Graziadei, gli allagamenti sono legati alla risalita delle acque di rigurgito dalla rete di scarichi e scoli.

A valle di Imola, in sinistra idrografica, a seguito di una rotta, l'evento ha lambito l'abitato di San Prospero, ed è stata interrotta, subito a valle, la viabilità dell'autostrada A14, allagata dall'evento del 16 maggio 2023. Tra il ponte autostradale e il ponte della SP21 Mordano-Bagnara di Romagna si sono verificate rotte arginali e sormonti nel tratto a meandri del corso d'acqua, che hanno allagato la pianura intorno a Massa Lombarda in sinistra idrografica. In destra idrografica gli allagamenti hanno interessato Bagnara di Romagna dopo la rottura dell'argine del Santerno fra via Cappelle e via Cento, e l'abitato di Lugo, coinvolto anche dagli allagamenti del fiume Senio.

Sempre durante l'evento del 16 maggio 2023 a Sant'Agata sul Santerno si è avuto il crollo dell'argine in sinistra idrografica all'altezza della spalla sinistra del ponte ferroviario della linea Lavezzola-Faenza, con la conseguente interruzione della circolazione ferroviaria e allagamento dell'abitato di Sant'Agata. Subito a valle tra Cà di Lugo e San Lorenzo si segnala un'ulteriore tracimazione, con crollo parziale di un edificio e allagamenti della piana alluvionale.

I rimanenti tratti omogenei per il calcolo dell'IQM, individuati da valle confluenza Sanguinaro a foce Reno, ricadono nella classe "Moderato o Sufficiente", per l'artificialità dell'alveo e l'alta pressione antropica.

## 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.

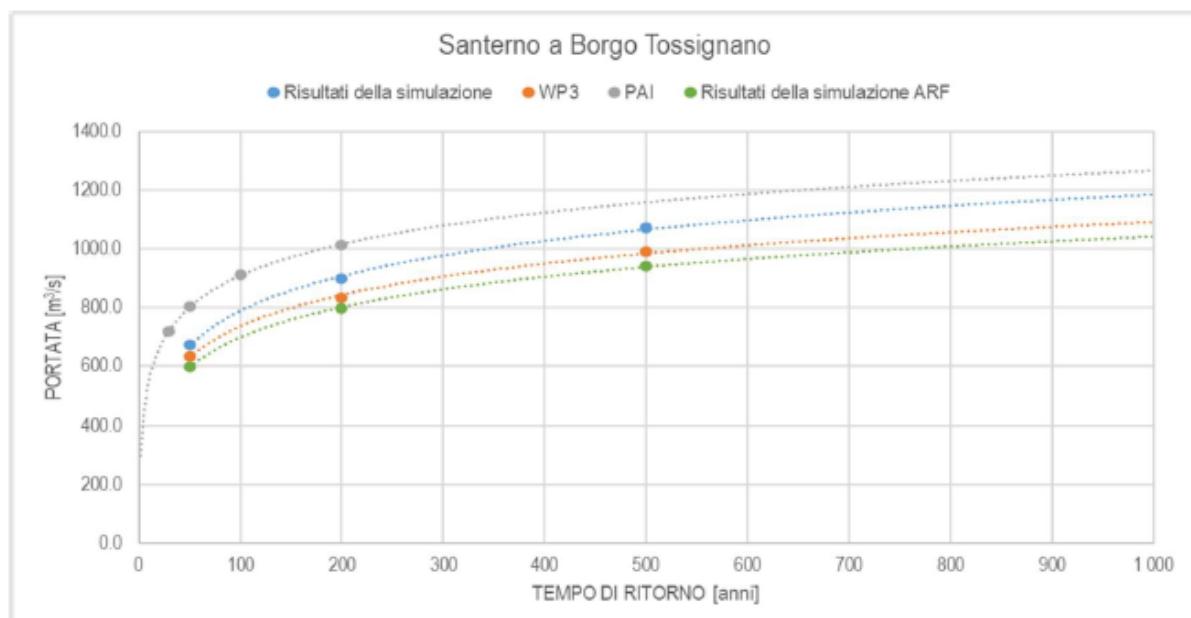
Le portate al colmo del fiume Santerno, per eventi a differente frequenza probabile, sono riportate nella tabella seguente:

**Tab. 1 Portate di piena per il fiume Santerno**

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km <sup>2</sup> )	T50 (m <sup>3</sup> /s)	T200 (m <sup>3</sup> /s)	T500 (m <sup>3</sup> /s)	Idrometro <sup>1</sup>
Reno	Santerno	33	Castel del Rio	247,3	550	750	890	
Reno	Santerno	47	Borgo Tossignano	318,4	675	900	1075	Borgo Tossignano
Reno	Santerno	61	Imola	413,3	725	970	1150	Imola
Reno	Santerno	74	valle A14	461,4	740	1005	1195	Mordano

In Fig. 5, per la sezione di Borgo Tossignano, è riportato il confronto 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 WP3<sup>2</sup>;
- “Risultati della simulazione ARF” (indicatori verdi): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio, con applicazione del coefficiente ARF.



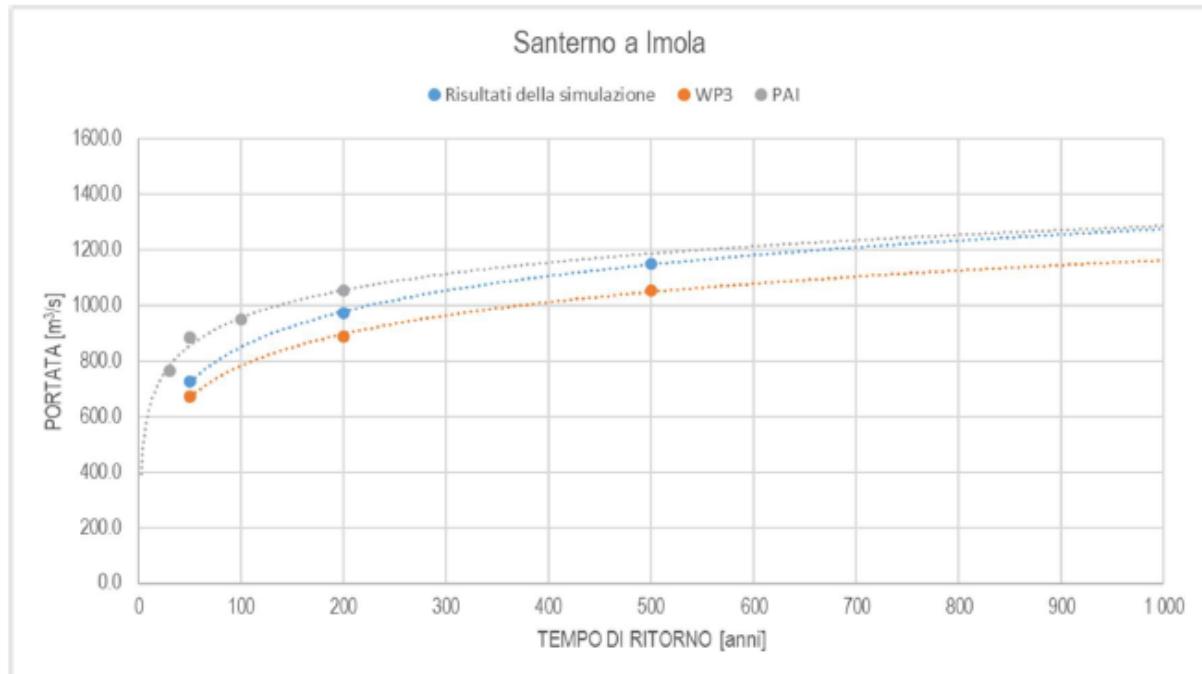
**Fig. 5 Fiume Santerno - Borgo Tossignano - confronto delle portate al colmo con PAI preesistente e WP3**

<sup>1</sup> Idrometri rete ARPAE 2025

<sup>2</sup> 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)

In Fig. 6, per la sezione di Imola, è riportato il confronto tra:

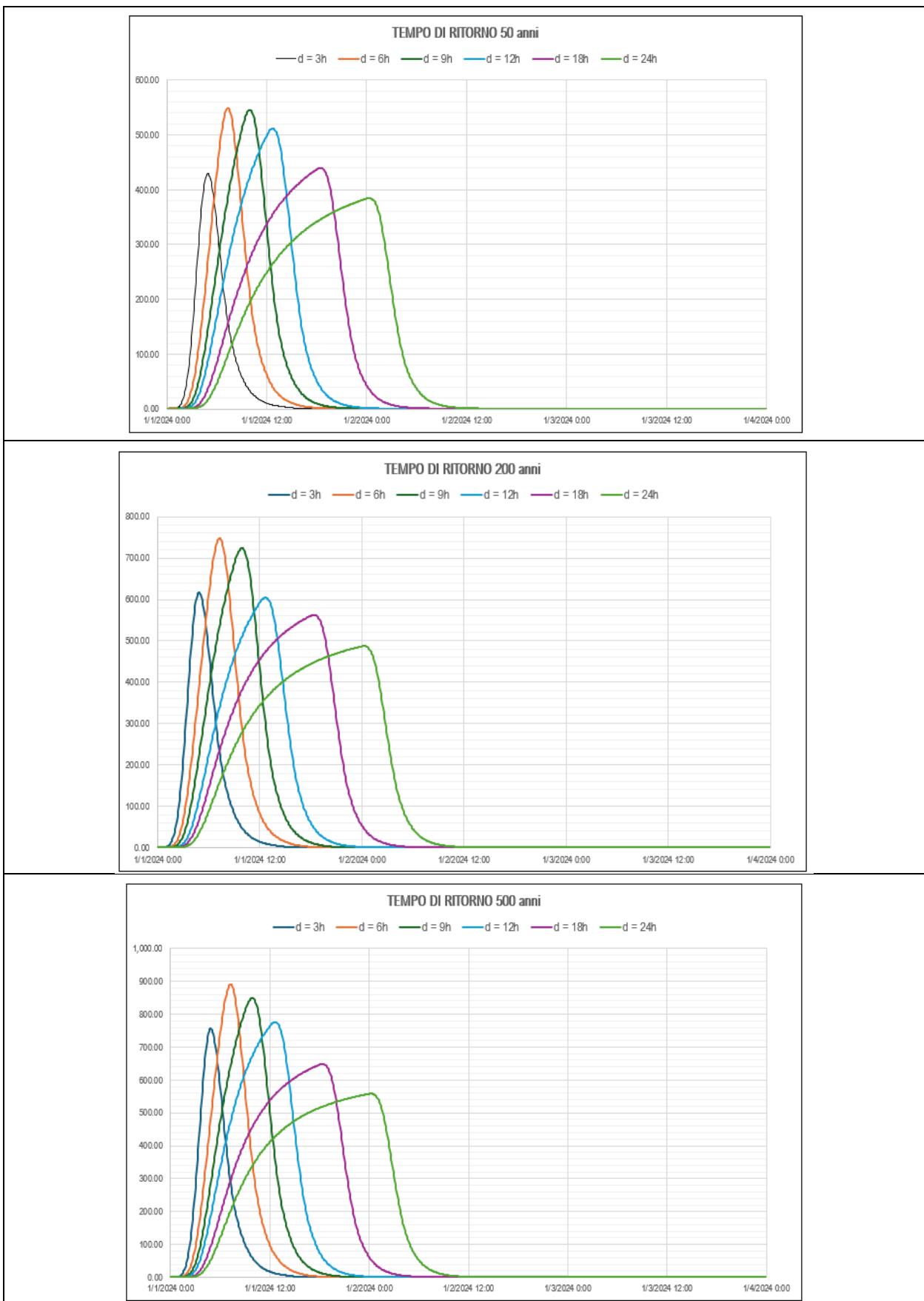
- “Risultati della simulazione” (indicatori blu): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio;
- “PAI” (indicatori grigi): ove disponibili, valori di riferimento da pianificazione preesistente;
- “WP3” (indicatori arancioni): valori di massima piena di riferimento dallo studio WP3<sup>3</sup> definiti mediante una procedura di estrapolazione che considera i risultati ottenuti nei bacini adiacenti.



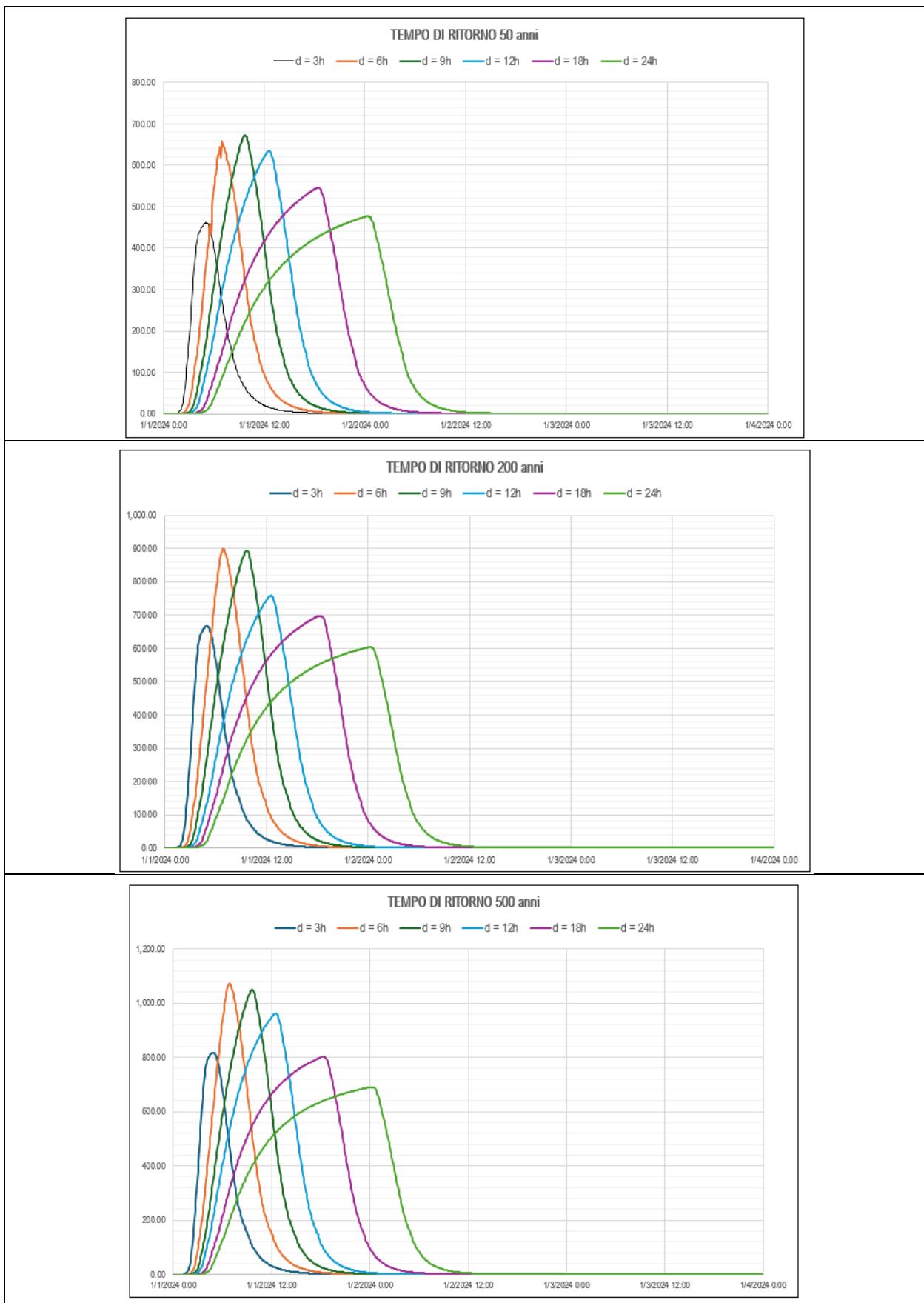
**Fig. 6 Fiume Santerno – Imola: confronto delle portate al colmo con PAI preesistente WP3 estrapolate**

Gli eventi di piena di riferimento, nelle diverse sezioni di chiusura indicate e per durate di pioggia pari a 3, 6, 9, 12, 18 e 24 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.

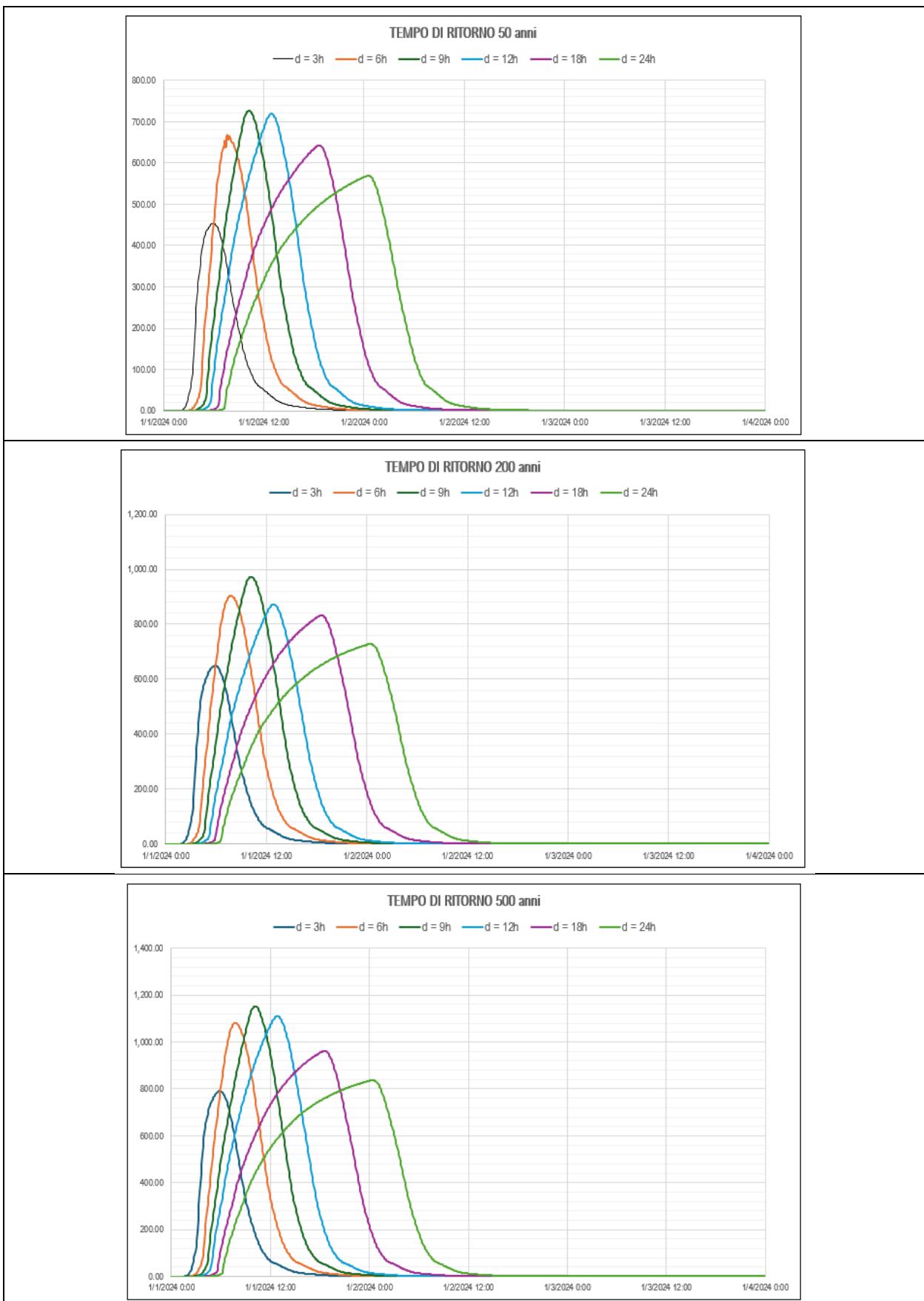
<sup>3</sup> Esond Accordi Caratterizzazione del regime di frequenza degli estremi idrologici nel Distretto Po, anche considerando scenari di cambiamento climatico Idrologia di piena (c.d. idrologia di piena) sottoscritto fra l’Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, il Politecnico di Milano - 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)



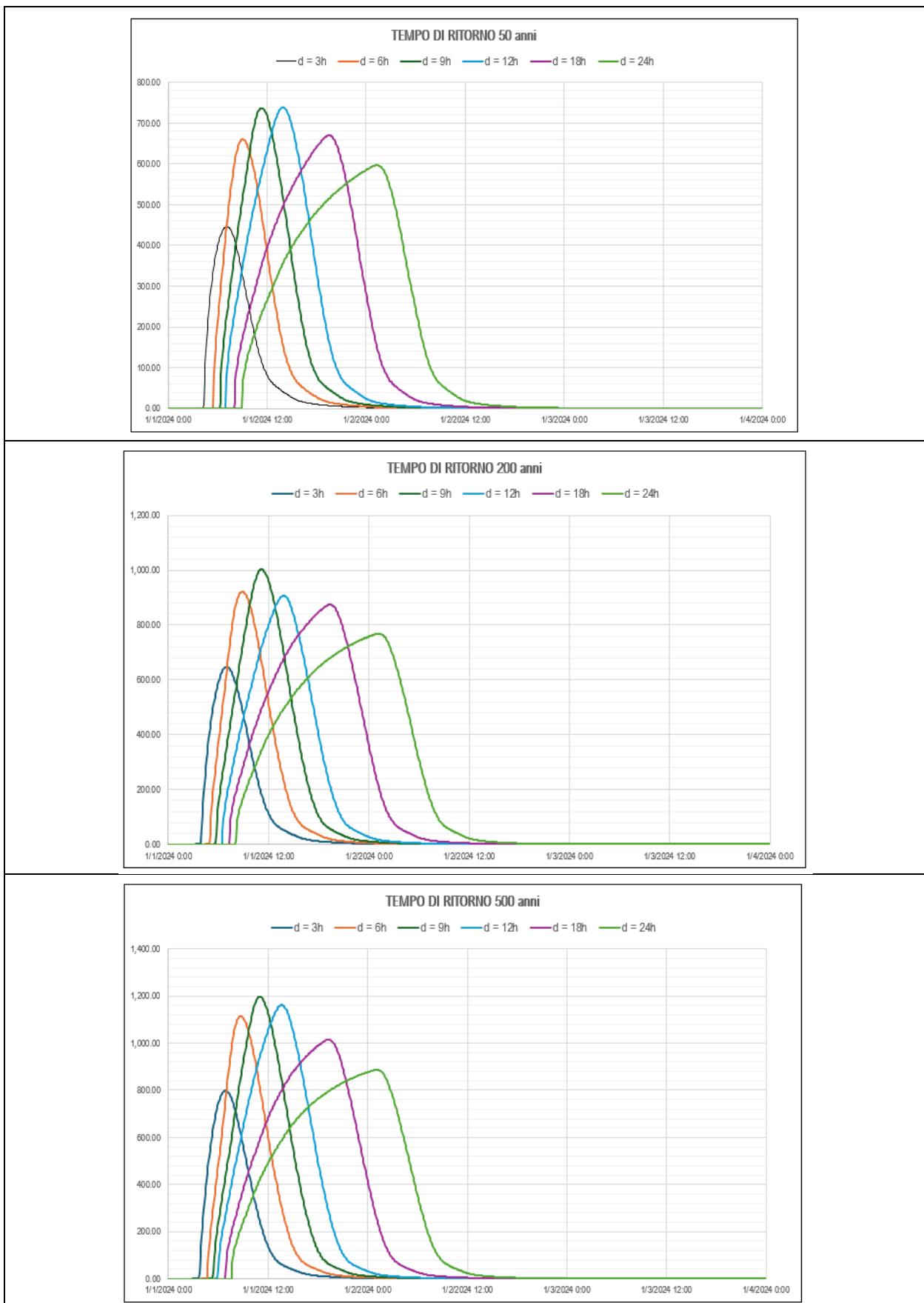
**Fig. 7 Fiume Santerno a Castel del Rio: idrogrammi ( $m^3/s$ ) di riferimento T50, T200 e T500**



**Fig. 8 Fiume Santerno a Borgo Tossignano: idrogrammi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) di riferimento T50, T200 e T500**



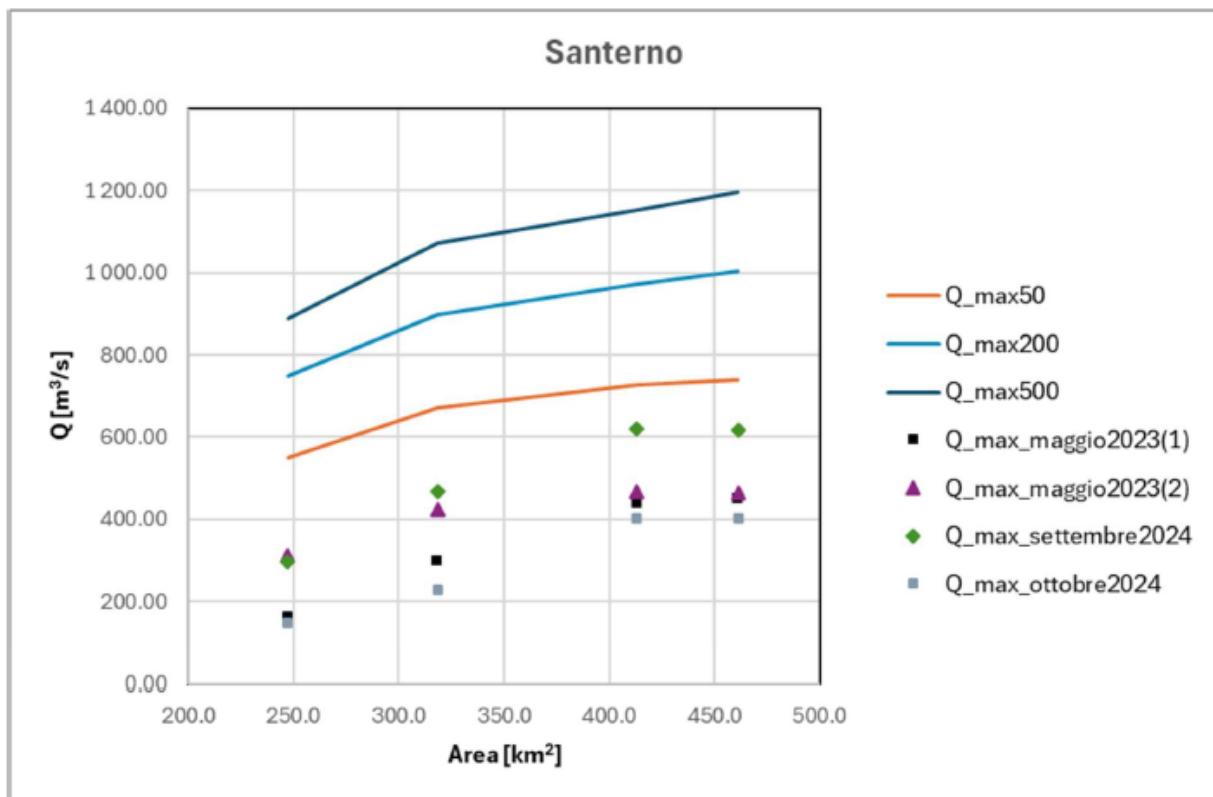
**Fig. 9 Fiume Santerno a Imola: idrogrammi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) di riferimento T50, T200 e T500**



**Fig. 10 Fiume Santerno a valle A14: idrogrammi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) 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). Per quanto concerne la stima di quest'ultimi, a causa dell'assenza di stime affidabili di portata agli idrometri, si è resa necessaria l'esecuzione di molte simulazioni idrauliche in moto vario volte al confronto tra i reali effetti al suolo verificatisi e quelli simulati, usando come forzante gli idrogrammi stimati. Tale confronto, seppur nel quadro complessivo delle incertezze in cui si inserisce, è stato finalizzato alla valutazione della bontà delle stime idrologiche e ad una loro eventuale revisione qualora i risultati modellistici non fossero soddisfacenti.

In Fig. 11 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. 11 Fiume Santerno: confronto tra portate al colmo idrologiche, eventi reali e portate di riferimento**

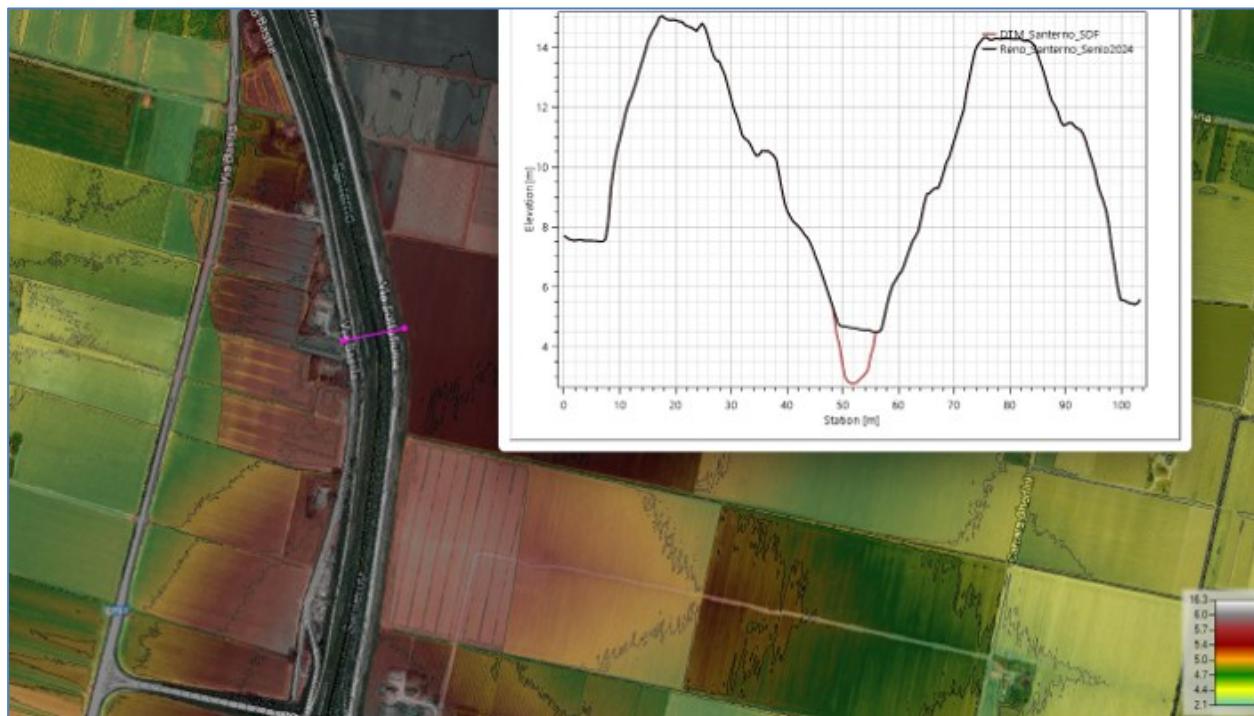
## 5 La geometria del modello 2D

Nell'implementazione dei modelli 2D si è prestata particolare cura e attenzione alla definizione delle caratteristiche piano-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 l'asta del Santerno, al DTM Agenzia Regionale Protezione Civile e Difesa del Suolo (periodo marzo - giugno 2024, [https://servizgis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtm\\_apc\\_fiumi\\_2024](https://servizgis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtm_apc_fiumi_2024));
- per le aree di pianura, al DTM Regione Emilia-Romagna 2023-2024 ([https://servizgis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtmrer2023\\_24](https://servizgis.regione.emilia-romagna.it/wcs/dtmrer2023_24));
- i limitati areali non interessati dai DTM citati sono stati coperti attraverso il DTM Piano Straordinario Telerilevamento Nazionale del Ministero dell'Ambiente (2008-2015).

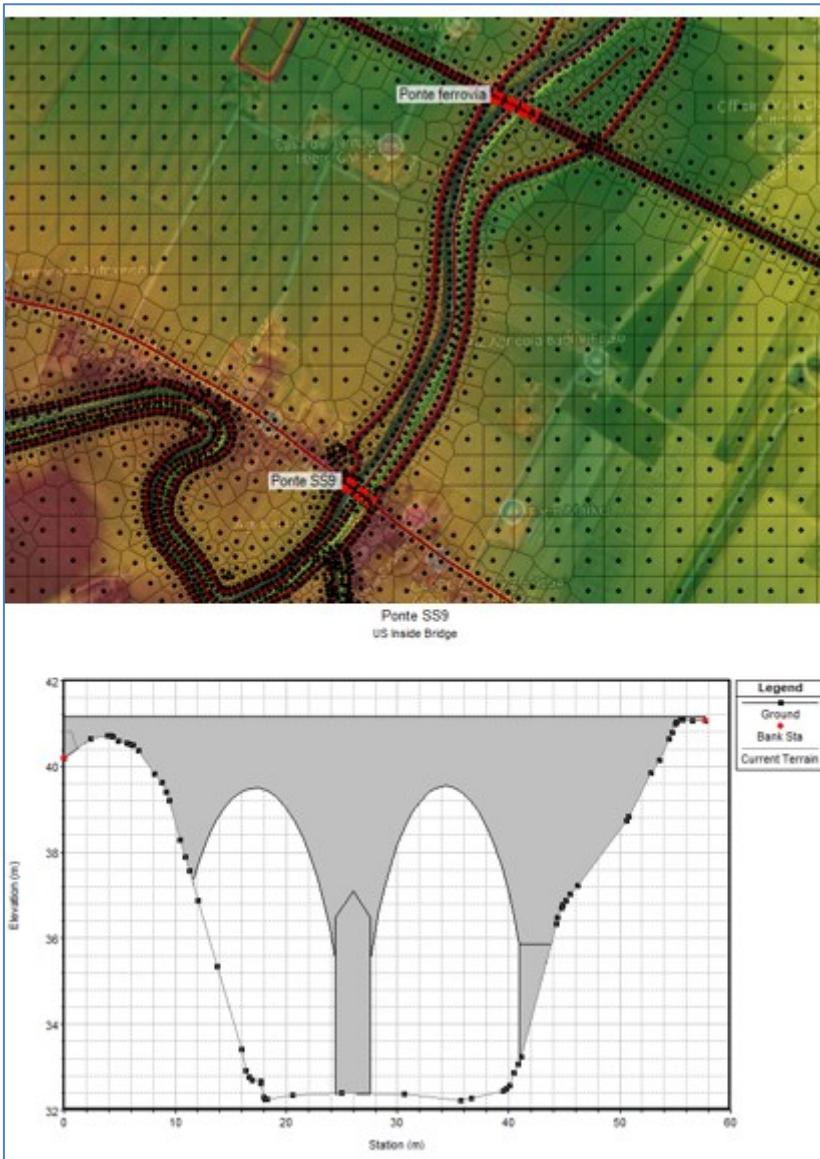
Per la parte di alveo posta al di sotto del livello idrico di magra, non rilevabile attraverso il sistema Lidar, sono state utilizzate le sezioni topografiche rilevate tra maggio e luglio 2024 ed eventuali ulteriori sezioni d'alveo recenti disponibili. Attraverso tali dati è stato generato un modello digitale del terreno della porzione di alveo posta al di sotto del pelo libero. 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, e dove il DTM risultava particolarmente "disturbato" da quote relative a elementi di vegetazione o a interpolazioni non corrette conseguenti all'attività di rimozione delle strutture di attraversamento.

Successivamente è stato prodotto un unico DTM, ottenuto come unione dei due suddetti modelli digitali del terreno; nelle zone sovrapposte è stato considerato il DTM ricavato attraverso le sezioni batimetriche. In tal modo si è ottenuto un unico modello digitale del terreno, rappresentativo delle caratteristiche geometriche complete dell'alveo, senza la presenza di acqua. Per l'applicazione di tale procedura sono stati utilizzati appositi applicativi dei programmi di modellazione idraulica, GIS e CAD.



**Fig. 12 – Fiume Santerno: batimetria del modello 2D a confronto con DTM originale**

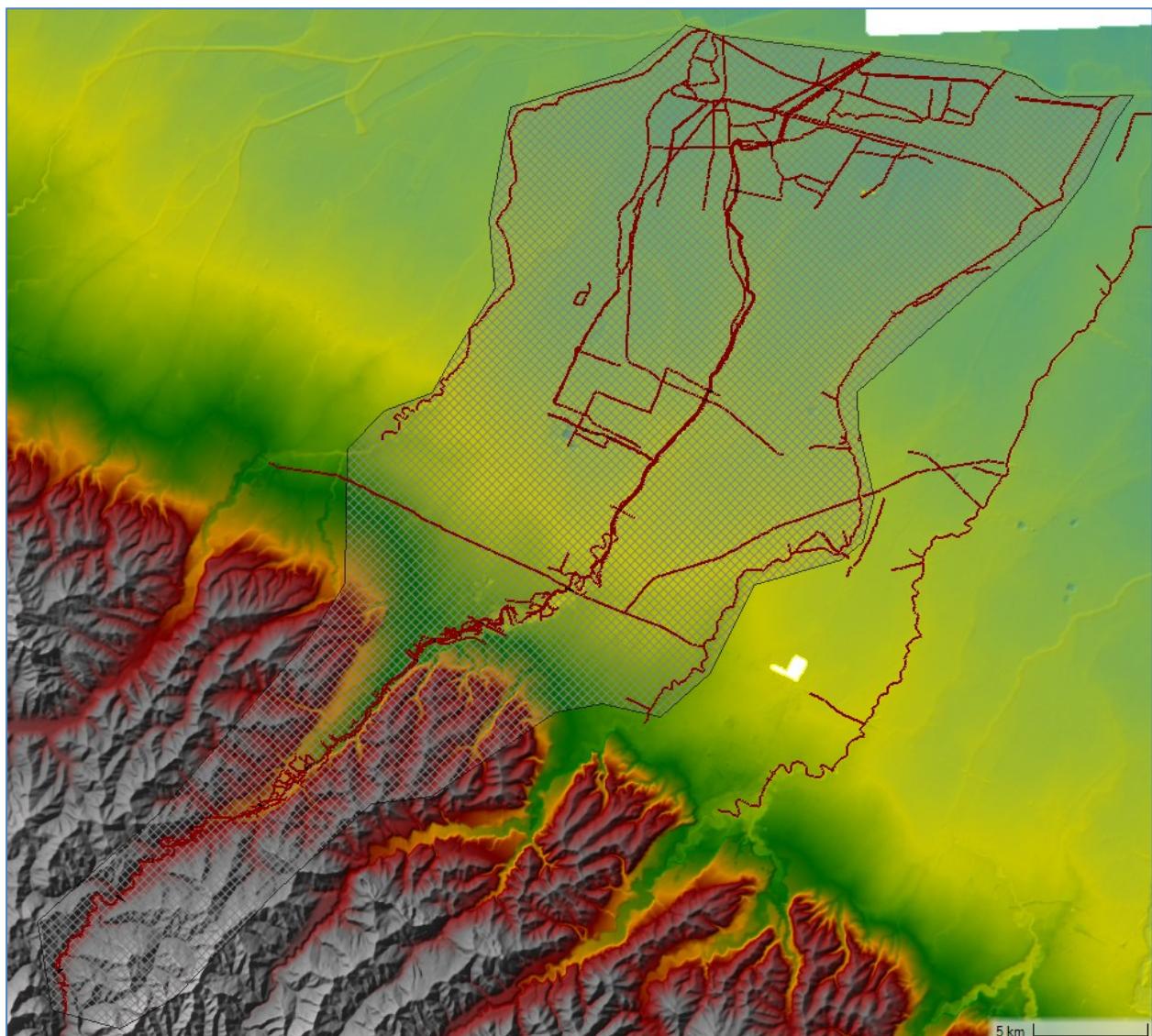
Nei modelli numerici di dettaglio allestiti sono stati inseriti tutti i manufatti di attraversamento presenti e le opere idrauliche trasversali (traverse/briglie) interferenti con le dinamiche di piena (queste ultime talvolta già descritte dal DTM e quindi non introdotte come struttura). Le strutture interferenti con il corso d'acqua sono state implementate direttamente nella griglia di calcolo con l'apposita funzione modellistica SA/2D connection.



**Fig. 13 Fiume Santerno: esempio di geometria di un attraversamento**

Per l'implementazione dello schema bidimensionale, la descrizione geometrica utilizzata è a maglie di calcolo del tipo flexible mesh, 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.

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di 392.977. La schematizzazione 2D flexible mesh ha consentito di definire celle variabili sia in dimensione sia in forma. La dimensione della maglia principale è costituita da celle 50X50 m; con l'inserimento delle breaklines di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche 1x1 m nei punti in cui si è discretizzato al massimo il dettaglio delle discontinuità morfologiche del terreno con particolare interesse alle zone in prossimità delle viabilità, delle arginature, dei rialzi morfologici e dei canali (cfr. Fig. 14).



**Fig. 14** Fiume Santerno: inquadramento planimetrico della mesh di calcolo e delle breaklines

## 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, del tratto arginato da valle A14 a confluenza Reno. Tale valore rappresenta 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 stati definiti a partire dalla portata con tempo di ritorno 50 anni individuata nell'analisi idrologica; sono state simulate diverse portate incrementando e decrementando Q50 ( $740 \text{ m}^3/\text{s}$ ) di un valore stimato a partire dal 30% (Q200-Q50).

Le portate simulate per il Santerno sono indicate in Tab. 2.

**Tab. 2 Portate in moto permanente del fiume Santerno**

Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	260	340	420	500	580	660	740	820
-----------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

#### 6.1.2. Condizioni di valle

La condizione al contorno di valle: moto uniforme in corrispondenza della confluenza.

### 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. 3 Uso suolo – coefficienti di scabrezza associati (Gauckler-Strickler)**

Uso suolo	Scabrezza ( $\text{m}^{1/3}/\text{s}$ )
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 culturali complessi	17,2
Vigneti / Frutteti / oliveti	16,7
Strutture residenziali isolate / Ville	11,1
Cespuglietti e arbusteti	9,6
Insediamenti produttivi o commerciali / Tessuto residenziale rado / Impianti	8,7
Boschi	4,5
Tessuto residenziale urbano/ Tessuto residenziale compatto e denso	4,3

Per verificare la sensibilità sul parametro, sono stati inoltre simulati due ulteriori scenari di scabrezza:

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

- scabrezza omogenea su intera sezione trasversale assunta pari a  $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (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. 4 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. 5 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 quanto 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 portate compatibili 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. 6 Portate compatibili del fiume Santerno – scenario scabrezza da uso del suolo**

ID	Tratto	Q compatibile ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1	ValleA14-PonteMordanoldrometro	500
2	PonteMordanoldrometro-SanternoMortoVillaSanMartino	420
3	SanternoMortoVillaSanMartino-PonteSAgataldrometro	420
4	PonteSAgataldrometro-PonteSBernardinoldrometro	340
5	PonteSBernardino-Idrometro_Reno	260

Si osservi che la portata compatibile del tratto terminale è influenzata dalle condizioni al contorno di valle.

## **7 Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile**

Le analisi in moto vario hanno interessato il fiume Santerno da Castel del Rio a confluenza Reno, per circa 70 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 paragrafo 4.

Per ogni tempo di ritorno sono stati simulati eventi associati a durate di pioggia di 3, 6, 9, 12, 18 e 24 ore.

In ingresso al modello sono stati inseriti gli idrogrammi corrispondenti alla sezione di chiusura posta in corrispondenza di Castel del Rio. Nel tratto compreso tra Castel del Rio e l'inizio del tratto arginato il contributo dei diversi bacini sottesi è stato inserito in forma distribuita nei seguenti tratti:

- tra Castel del Rio e Borgo Tossignano;
- tra Borgo Tossignano e Imola;
- tra Imola e confluenza rio Sanguinario.

#### **7.1.2. Condizioni di valle**

Come condizione al contorno di valle è stato imposto il livello di Reno pari a 8,04 m s.m.. Tale condizione è coerente con il preesistente PAI che indica 6,5 m s.m. alla confluenza. La condizione è stata individuata a partire dai livelli registrati all'idrometro di ponte Bastia (posto poco a valle della confluenza Idice-Sillaro); in particolare, si è fatto riferimento alla soglia arancione pari a 10,70 m, corrispondenti a un livello idrico di 9,44 m s.m.. Simulazioni in moto permanente lungo l'asta Reno hanno permesso di correlare a tale livello a Ponte Bastia il livello di 8,04 m s.m. a foce Santerno.

Si osservi che negli eventi alluvionali recenti il livello di Reno misurato all'idrometro di Ponte Bastia è stato di 8,45 m (17 maggio 2023), 9,17 m (19 settembre 2024) e 10,91 m (20 ottobre 2024).

### **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. 3 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 7.4.

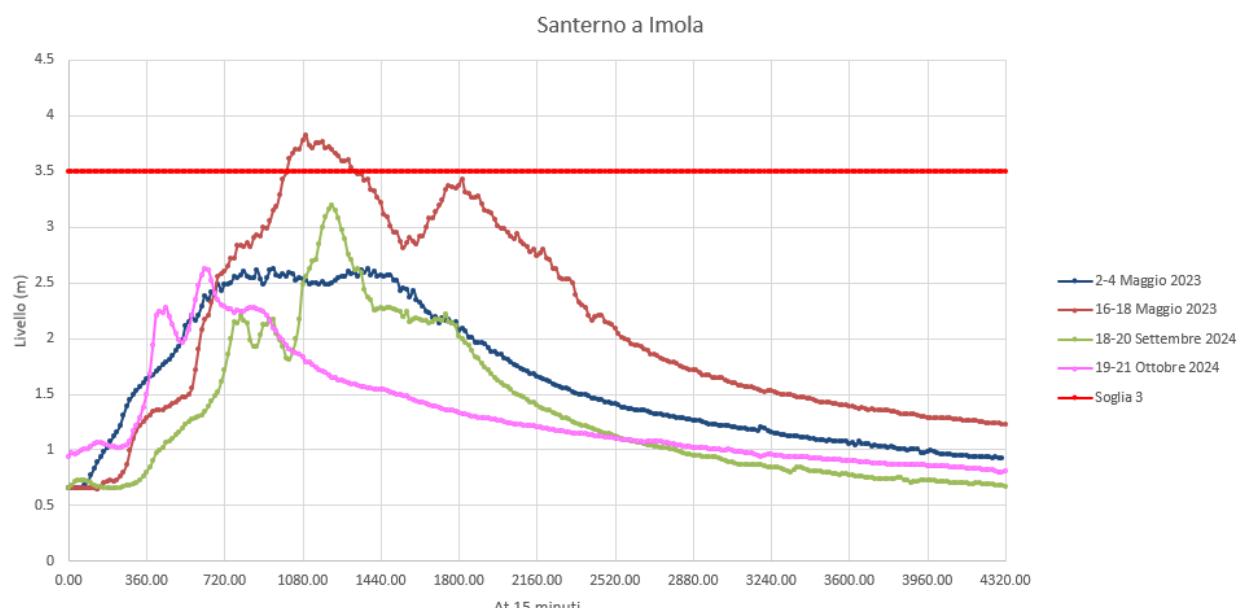
Preliminarmente a tali simulazioni sono state indagate le possibilità di calibrare il modello allestito rispetto agli eventi reali recenti (1-4 e 16-18 maggio 2023, settembre e ottobre 2024); per tali eventi, assai gravosi nel loro complesso, non sono disponibili idrogrammi di portata misurati ma solo 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, lungo il Santerno il secondo evento di maggio 2023 ha determinato diverse rotte, con conseguenti rilevanti esondazioni, 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 nell'approccio proposto, gli idrogrammi così ricostruiti sono stati applicati ai modelli numerici idrodinamici allestiti; in particolare, sul Santerno, sono stati simulati gli eventi 2024 meno gravosi in termini di livelli raggiunti e effetti al suolo. Tali simulazioni sono state eseguite con diversi valori di scabrezza da letteratura, al fine di indagare la possibilità di riprodurre nell'analisi i livelli e gli andamenti idrometrici misurati (fonte ARPAE). Tali analisi hanno mostrato come 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. 3.



**Fig. 15 Fiume Santerno a Imola: livelli idrometrici ARPAE per gli eventi 2023 e 2024**

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 alta probabilità di inondazione* (art.16 preesistente PAI), aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 50 anni;
- evento T200: perimetrazione P2 PGRA 2021.

Nel seguito sono sinteticamente illustrate le evidenze delle analisi eseguite relativamente ai tre tempi di ritorno indagati. Si osservi che le restituzioni delle aree inondabili, in termini di tiranti, velocità e quote idriche, rappresentano, per ogni tempo di ritorno, l'inviluppo dei massimi valori ottenuti dalle simulazioni eseguite per eventi di piena definiti dalle diverse durate di pioggia ipotizzate (3, 6, 9, 12, 18 e 24 ore).

### 7.3.1. Evento T50

Tra Castel del Rio e Borgo Tossignano, l'ambito fluviale è vincolato dai versanti e i deflussi coinvolgono tale areale senza interessare abitati o infrastrutture, ad eccezione di qualche insediamento isolato prospiciente le sponde. Tra Borgo Tossignano e Imola, il contesto morfologico muta: il Santerno assume un andamento sub-rettilineo in un fondovalle più ampio, in particolare in sinistra, che viene interessato dall'evento T50. Si osservi (Fig. 16) la buona corrispondenza tra P3 PGRA 2021 e le evidenze del modello numerico.

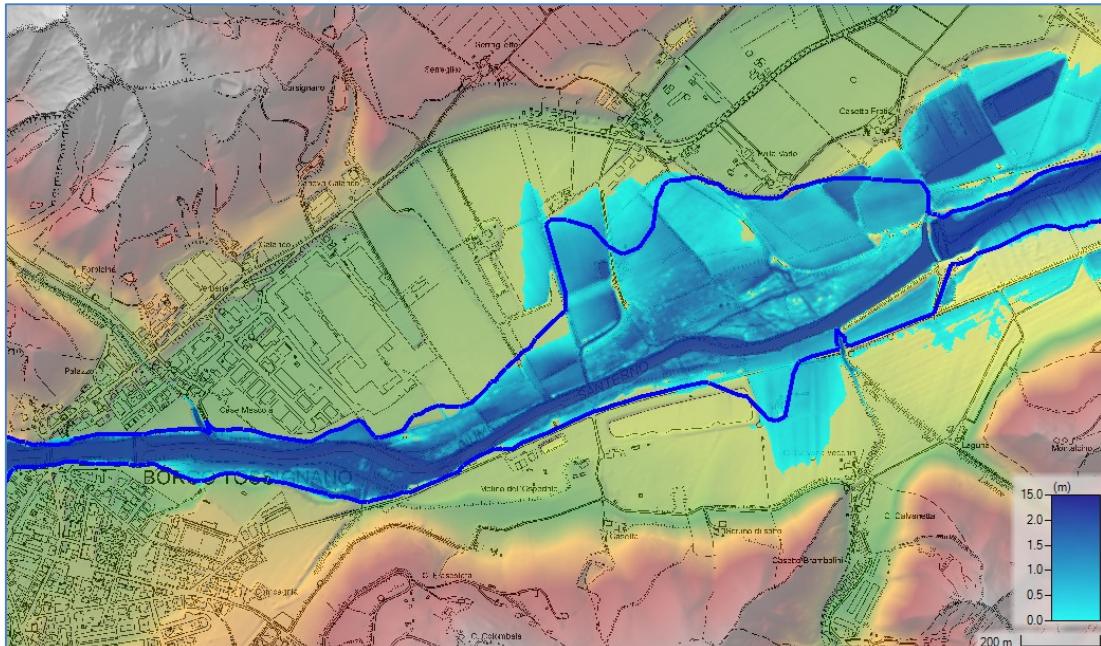


Fig. 16 Fiume Santerno, T50: massimi tiranti tra Borgo Tossignano e Casalfiumanese (in blu P3 PGRA 2021)

In corrispondenza dei centri abitati di Codrignano e Casalfiumanese le condizioni di pericolosità idraulica sono nettamente distinte tra destra e sinistra; in destra l'abitato è posto su un alto terrazzo mentre in sinistra l'area industriale di Casalfiumanese può essere coinvolta già da eventi frequenti.

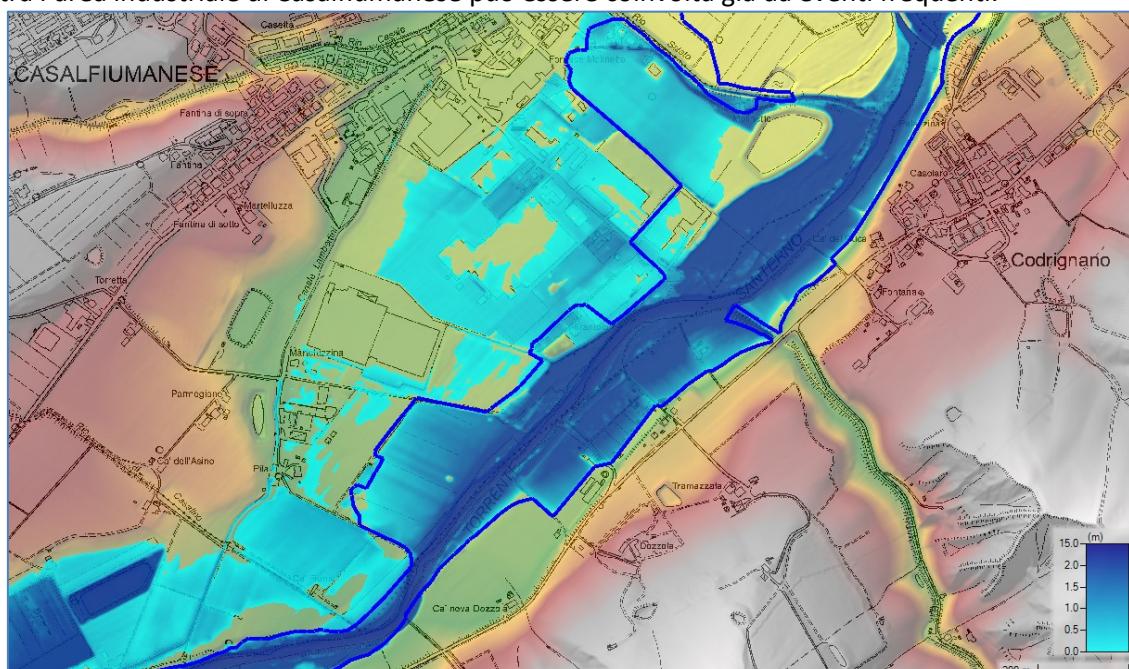
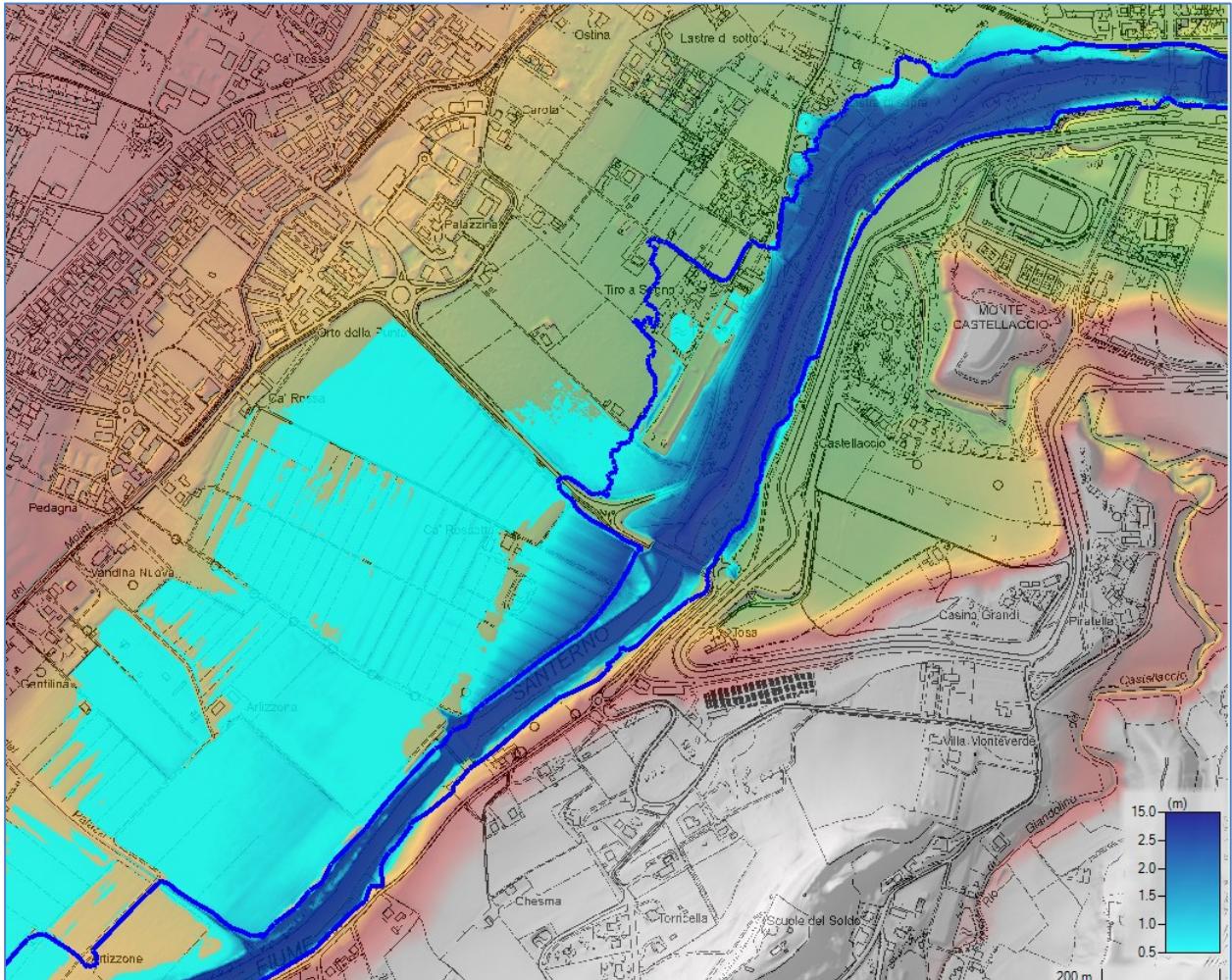


Fig. 17 Fiume Santerno, T50: massimi tiranti tra Borgo Tossignano e Casalfiumanese (in blu P3 PGRA 2021)

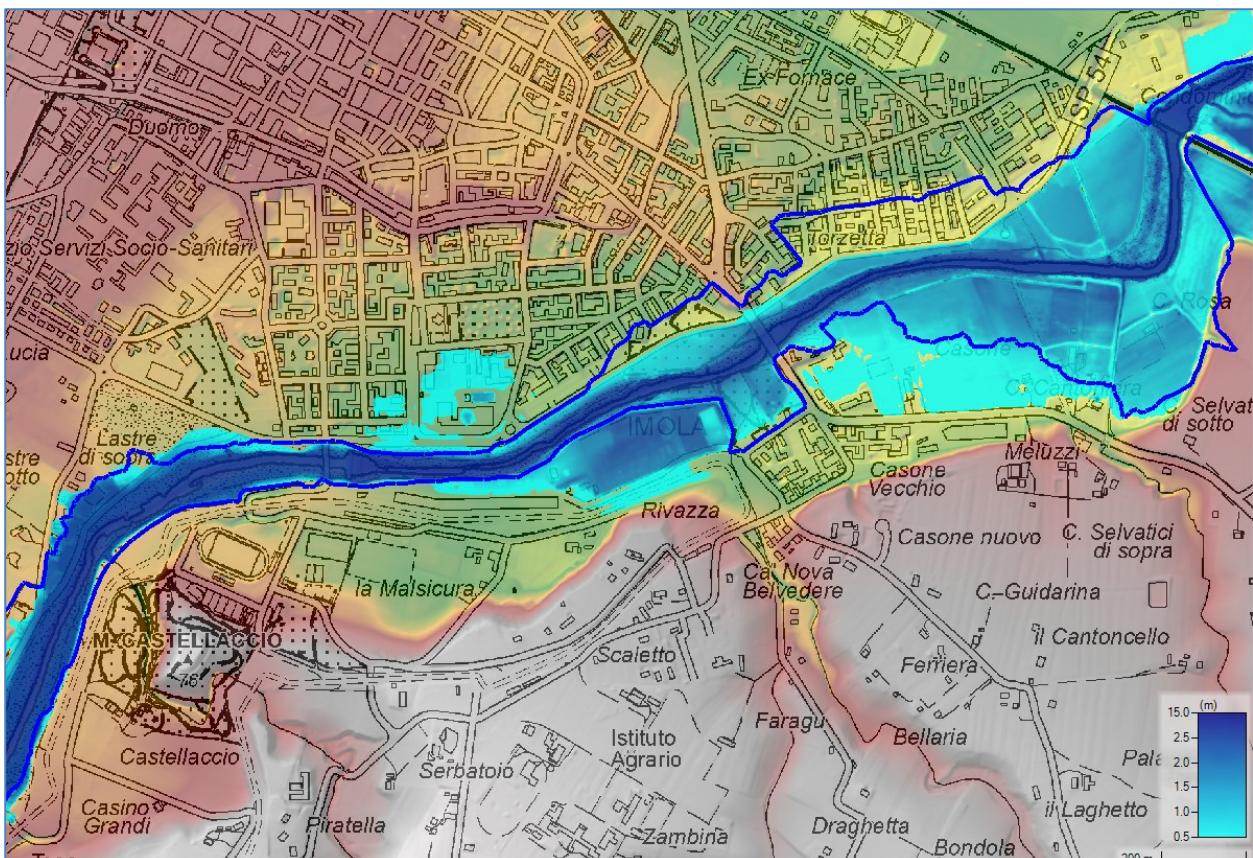
Tra Codrignano e la periferia sud della città di Imola, l'evento T50 è generalmente contenuto nell'alveo a piene rive; tra Rivalta e il ponte di via Dante a Imola si evidenzia prima il marcato coinvolgimento in sinistra del piano golenale e poi il coinvolgimento di viabilità e insediamenti prospicienti il corso d'acqua nella zona del Tiro a segno (Fig. 18).



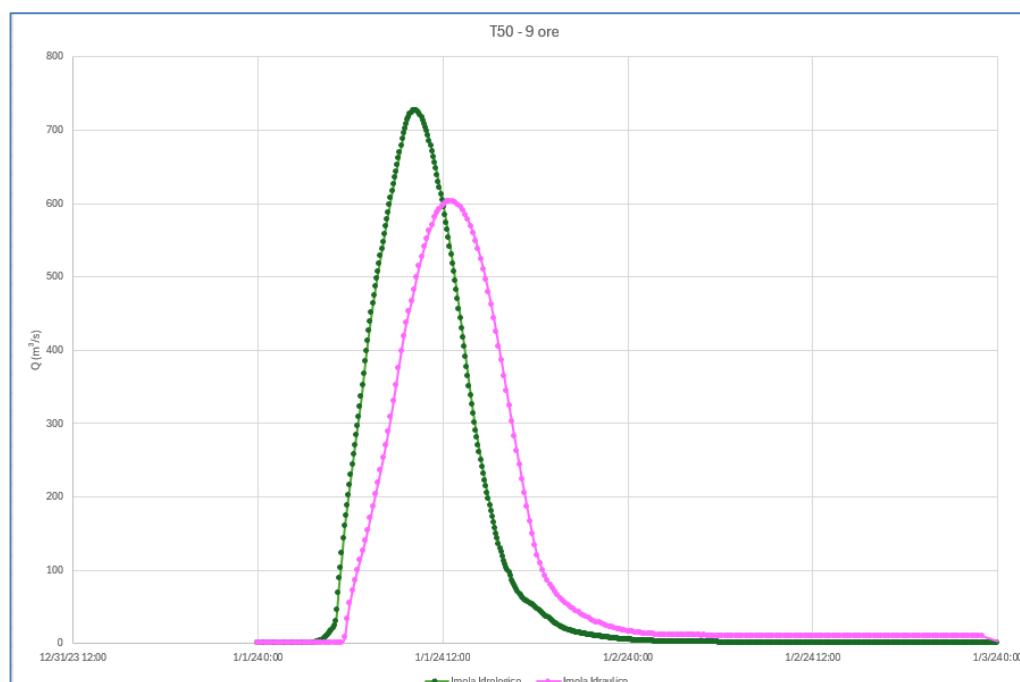
**Fig. 18 Fiume Santerno, T50: massimi tiranti tra Rivalta e il ponte di via Dante a Imola (in blu P3 PGRA 2021)**

In corrispondenza della città di Imola (cfr. Fig. 19), l'evento T50 determina alcune criticità:

- in sinistra, a valle del ponte di via Dante, i livelli superano via Graziadei coinvolgendo l'abitato retrostante ed in particolare la piscina comunale;
- in destra, a monte del ponte della via Emilia, l'intera zona adibita a parcheggi dell'Autodromo è interessata dalle esondazioni che arrivano a lambire gli edifici della struttura e a coinvolgere il circuito;
- a valle del medesimo ponte, sempre in destra, le esondazioni raggiungono il tracciato della via Emilia coinvolgendo diverse abitazioni.



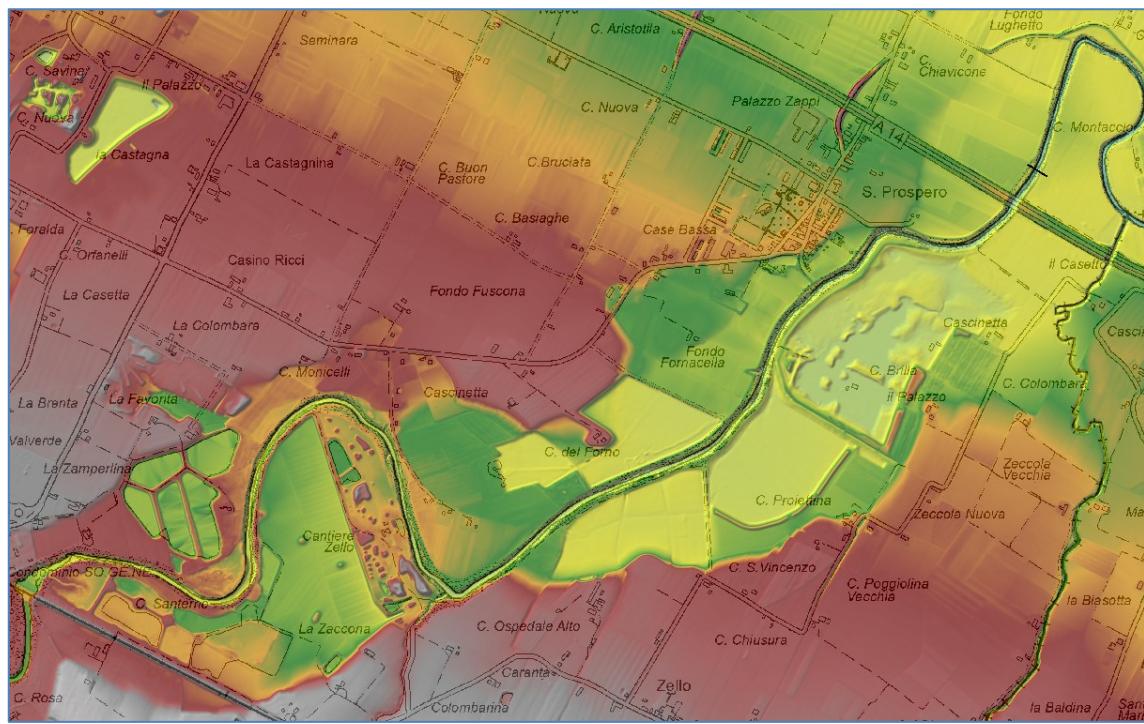
**Fig. 19 Fiume Santerno, T50: massimi tiranti a Imola (in blu P3 PGRA 2021)**



**Fig. 20 Fiume Santerno, T50 - 9 ore: confronto delle portate da modello idrologico e idraulico a Imola**

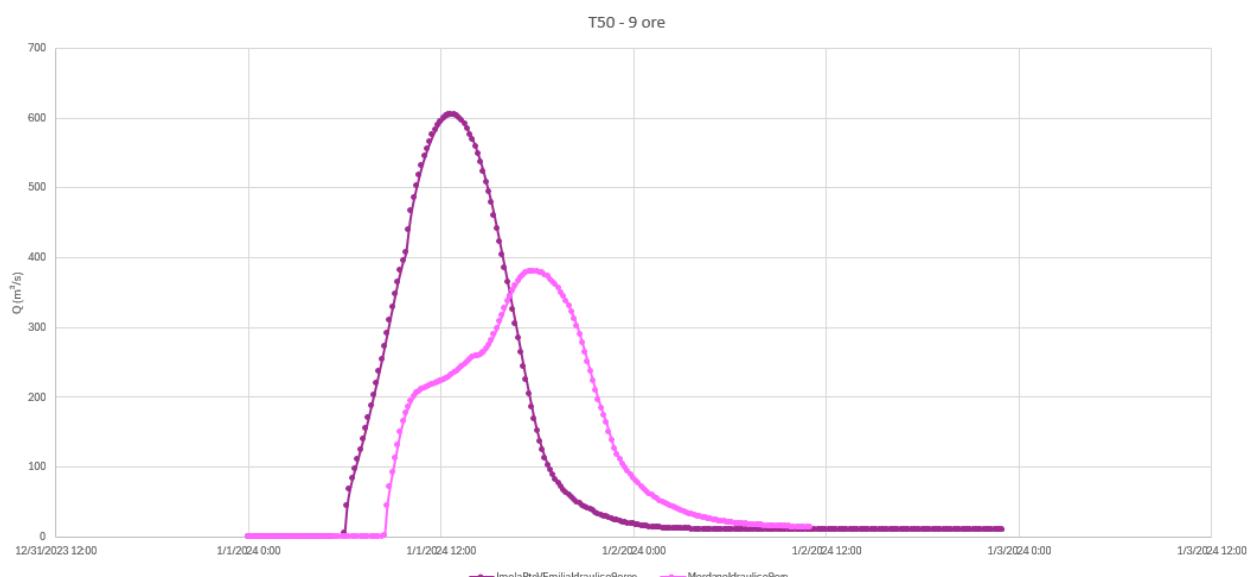
Si osservi come la laminazione naturale nel tratto compreso tra Castel del Rio e Imola (27 km) sia complessivamente modesta (cfr. Fig. 20).

Superata la linea ferroviaria BO-AN, i piani goleali del Santerno fino all'A14 sono stati interessati da rilevanti attività estrattive (cfr. Fig. 21) che determinano un significativo effetto di laminazione sull'evento T50 al quale si sommano i benefici delle golene presenti nel primo tratto arginato fino a Mordano.

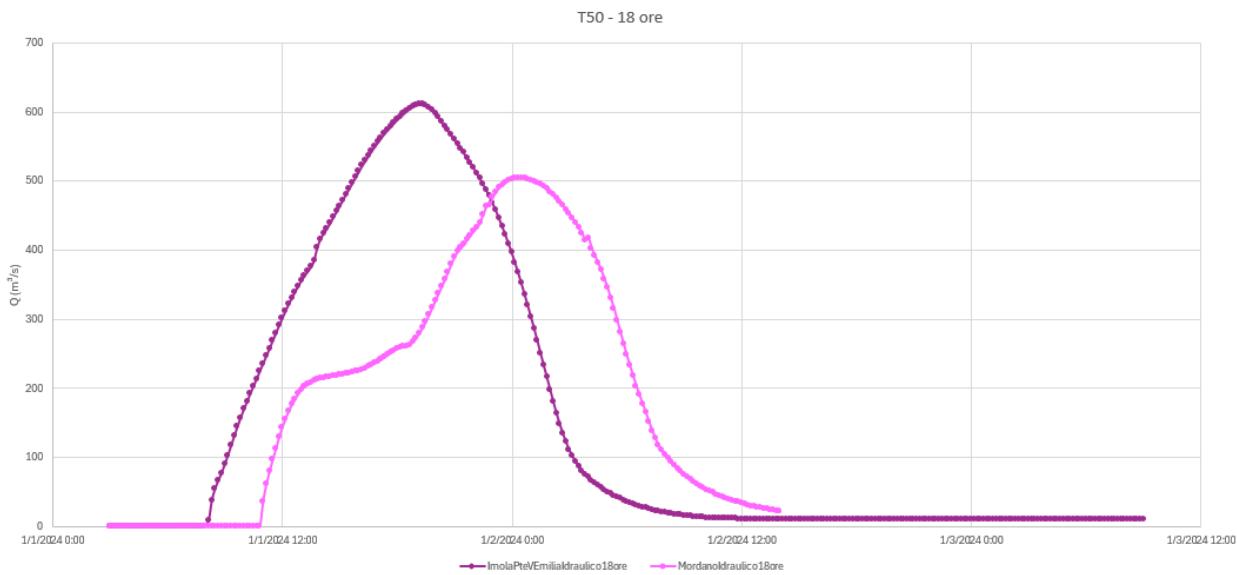


**Fig. 21 Fiume Santerno: aree interessate da attività estrattive tra linea ferroviaria BO-AN e autostrada A14**

Si osservi nelle immagini seguenti la laminazione degli eventi T50 9 e 18 ore tra la via Emilia e il ponte di Mordano.



**Fig. 22** Fiume Santerno: T50 - 9 ore – effetto di laminazione tra Imola e Mordano

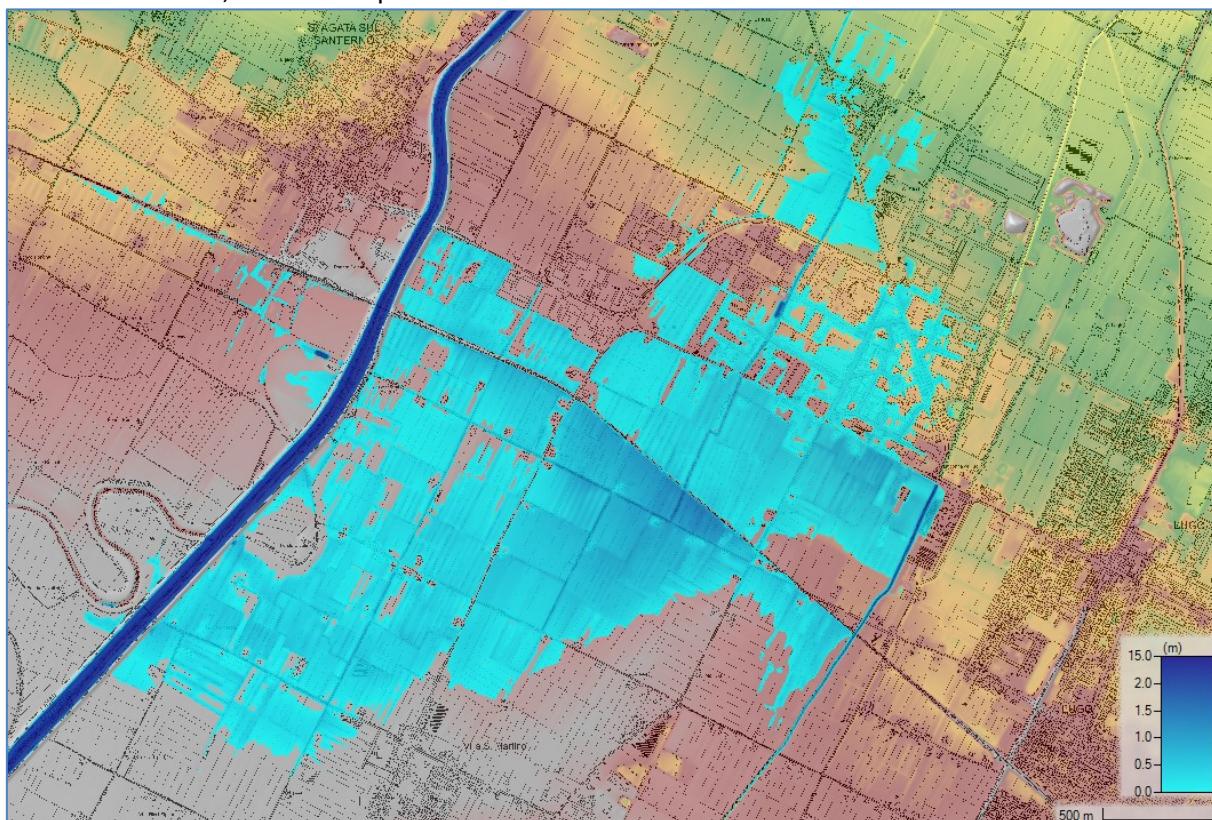


**Fig. 23 Fiume Santerno: T50 - 18 ore – effetto di laminazione tra Imola e Mordano**

Per eventi di pioggia di durata dell'ordine di 9 ore (minori volumi) la riduzione del colmo di piena è dell'ordine del 37%; per eventi di pioggia di durata dell'ordine di 18 ore l'abbattimento del colmo è minore ma comunque sensibile, dell'ordine del 18%. Su eventi di durate maggiori (18 ore) si osservi che incidono sulla laminazione anche le esondazioni riscontrate in località Passo del Cavallo.

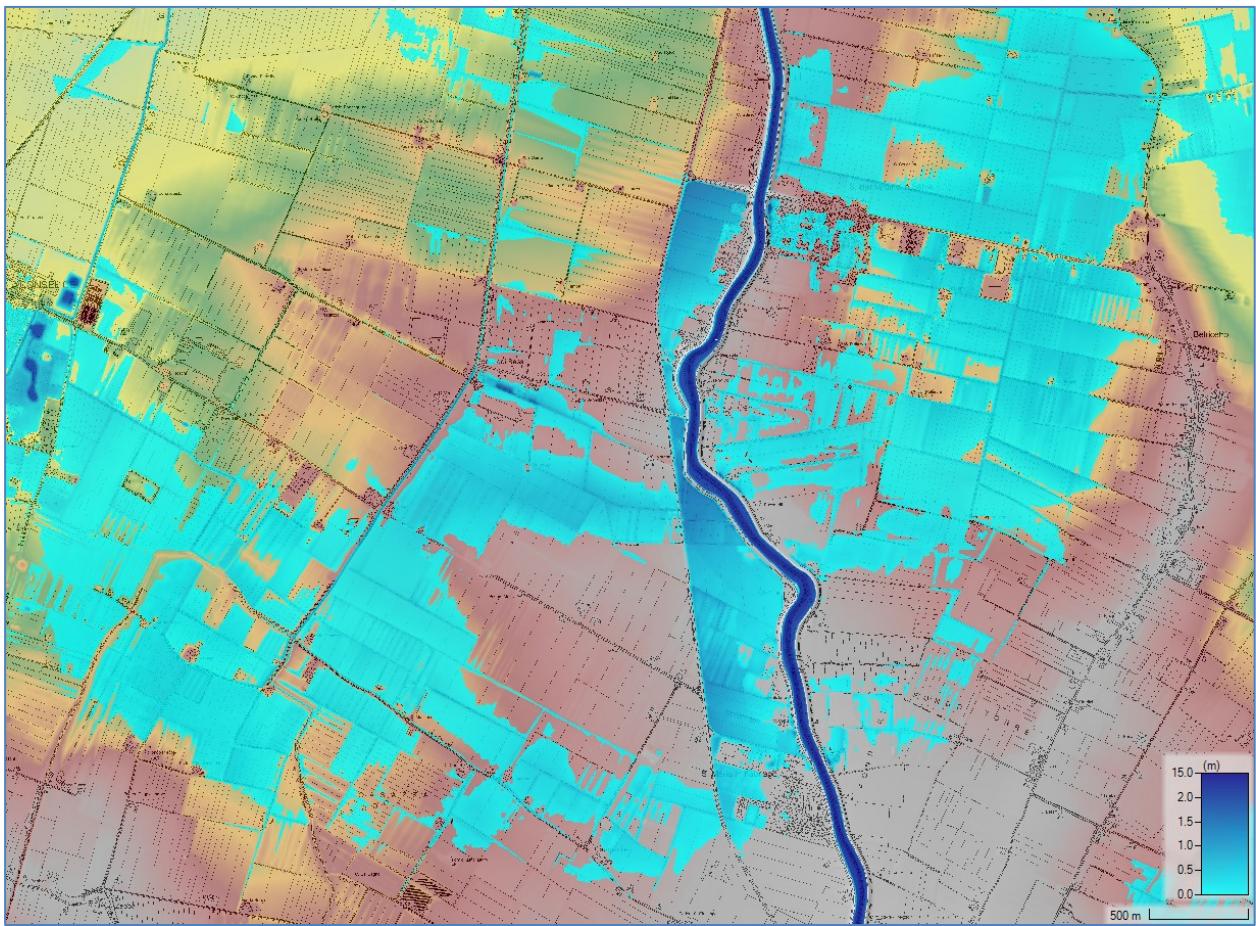
A monte del ponte dell'A14 in sinistra, già per eventi frequenti, alcuni insediamenti sparsi e una porzione della borgata di San Prospero sono coinvolti dalle esondazioni.

Procedendo verso valle, nel tratto arginato, le durate di pioggia più severe sono comprese tra 18 e 24 ore; la portata in ingresso è dell'ordine di 500 m<sup>3</sup>/s. La capacità di portata del sistema arginale decresce progressivamente verso valle e a monte del ponte ferroviario di Sant'Agata si riscontrano (cfr. Fig. 24) tracimazioni diffuse, in destra in particolare.



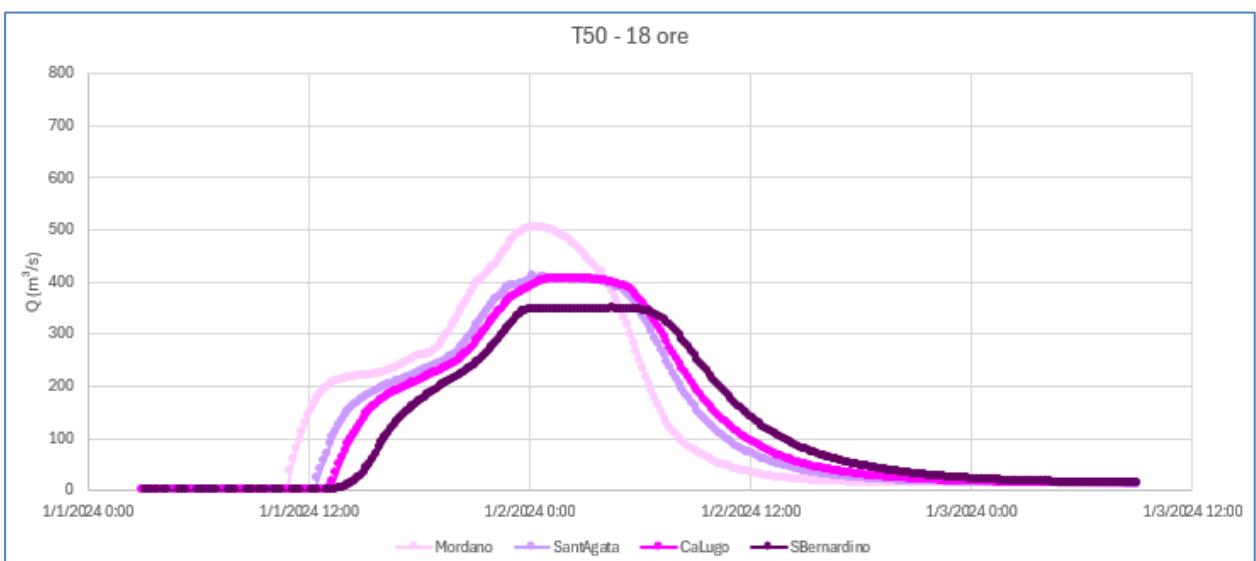
**Fig. 24 Fiume Santerno: T50 – Esondazioni a monte del ponte di Sant'Agata**

Ulteriori esondazioni si riscontrano tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino che si propagano a campagna fino a coinvolgere anche il centro di Conselice in sinistra (cfr. Fig. 25).



**Fig. 25 Fiume Santerno: T50 – Esondazioni tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino**

Il confronto tra gli idrogrammi Mordano-Sant'Agata e Cà di Lugo-San Bernardino evidenzia chiaramente le esondazioni descritte (volumi esondati dell'ordine di  $1.600.000 \text{ m}^3$  a monte di Sant'Agata e di  $1.300.000 \text{ m}^3$  tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino).



**Fig. 26 Fiume Santerno: T50 18 ore – Idrogrammi a Mordano, Sant'Agata, Cà di Lugo e San Bernardino**

Da Giovecca a Reno non si riscontrano ulteriori esondazioni; verso valle transita una portata al colmo dell'ordine di  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  (cfr. Fig. 26).

### 7.3.2. Evento T200

Tra Castel del Rio e Fontanelice, l'ambito fluviale è strettamente vincolato dall'orografia e anche il transito di eventi molto intensi non determina esondazioni rilevanti, se non qualche area perifluvale in genere interessata da coltivi. Proprio in corrispondenza del ponte di Fontanelice, il piano golenale sinistro è interessato dalle esondazioni coinvolgendo alcuni insediamenti in località Prato di sotto.

Tra Fontanelice e Borgo Tossignano, il Santerno disegna alcuni meandri; le porzioni interne tra una curva e l'altra sono pienamente interessate dalle esondazioni.

In corrispondenza del centro di Borgo Tossignano le abitazioni prospicienti il corso d'acqua sono coinvolte dalle esondazioni, in particolare a monte del ponte della SP610.

Tra Borgo Tossignano e Casalfiumanese, l'evento T200 accentua il coinvolgimento della fascia golenale sinistra interessando in modo rilevante l'area produttiva di Casalfiumanese (cfr. Fig. 27).

Procedendo verso valle la capacità di portata del Santerno è rilevante tanto che solo alla periferia di Imola l'evento interessa di nuovo marcatamente i piani golenali. Il confronto, alla sezione di chiusura di Imola, tra la portata idrologica T200, per piogge di durata 9 ore, e le evidenze del modello idraulico conferma una laminazione naturale modesta (cfr. Fig. 28).

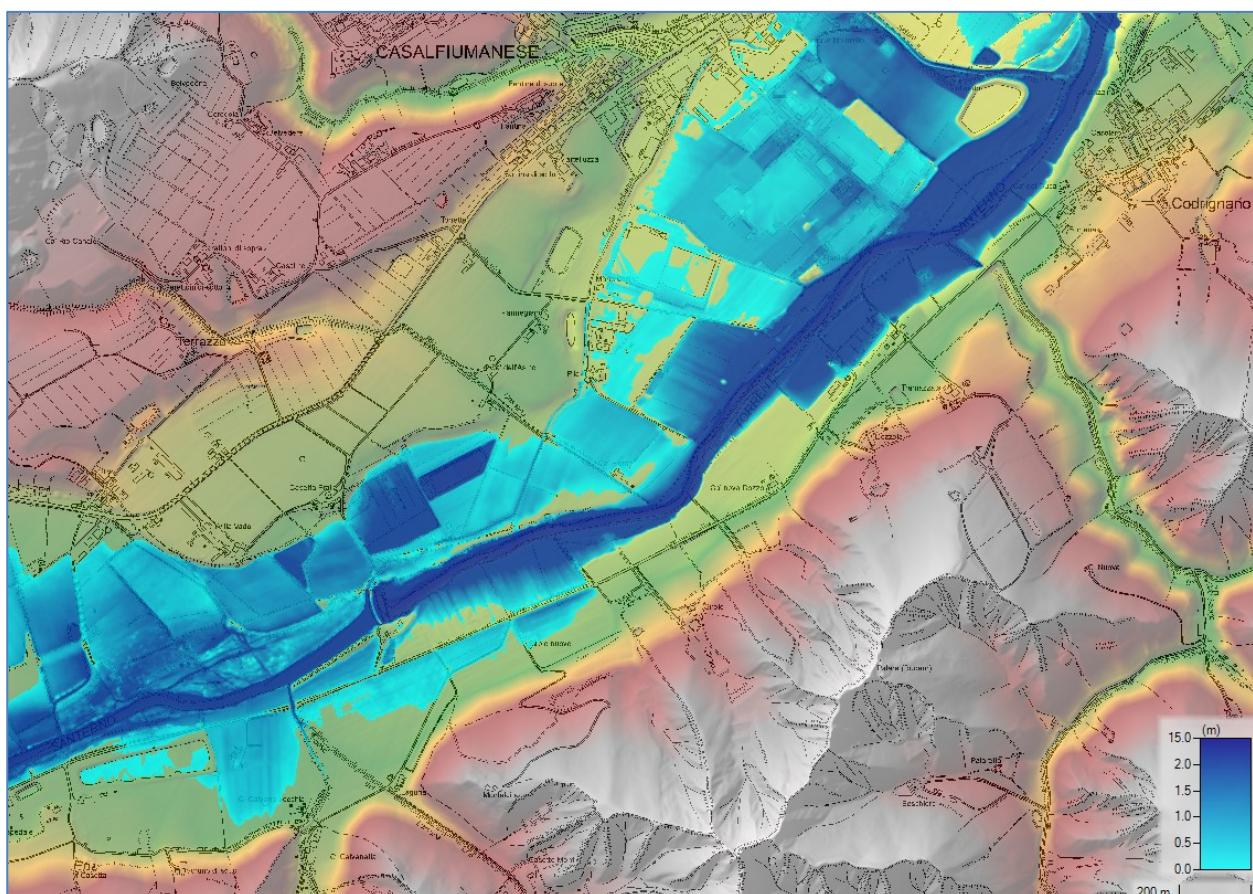
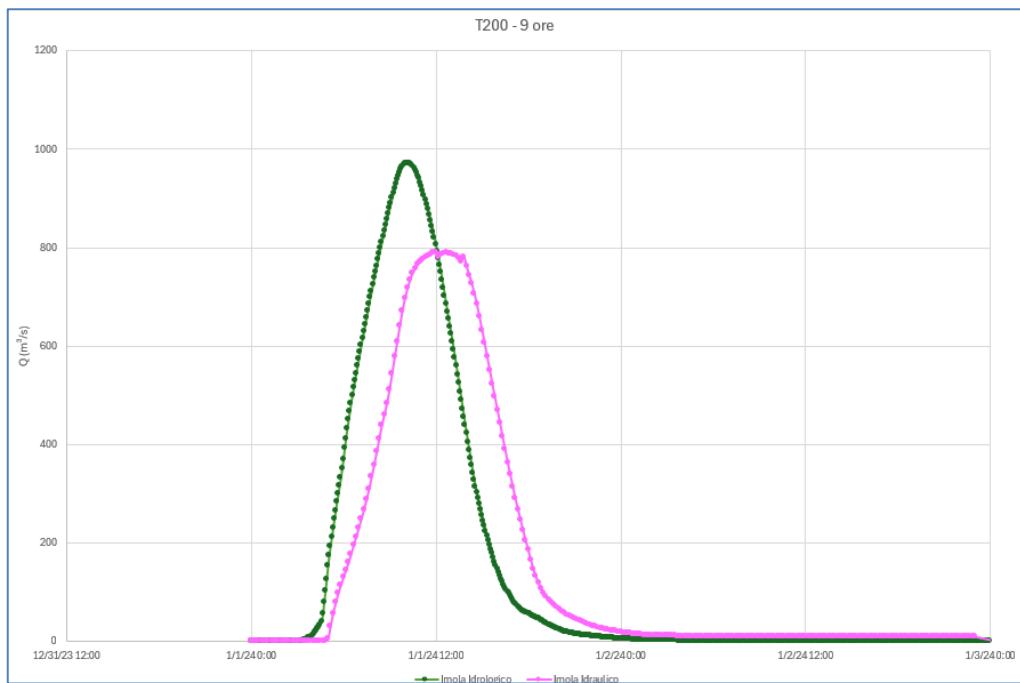


Fig. 27 Fiume Santerno - T200: tiranti massimi presso Casalfiumanese



**Fig. 28 Fiume Santerno - T200 9 ore: confronto portate da modello idrologico e idraulico a Imola**

In corrispondenza della città di Imola il transito dell'evento T200 palesa rilevanti criticità (cfr. Fig. 29):

- in sinistra viene pienamente interessato l'areale del Tiro a segno e più a valle i livelli idrici sormontano via Pirandello e via Graziadei, coinvolgendo la porzione di abitato retrostante;
- in destra a monte del ponte della via Emilia diverse strutture dell'autodromo, tra cui il parcheggio, sono coinvolte così come il quartiere tra la Rivazza e via dei Colli; a valle del ponte le dinamiche, già chiare per l'evento T50, sono acute e l'intera piana golena compresa tra la via Emilia e i rilievi è interessata da tiranti compresi tra 1 e 2 metri.

Superato il ponte della linea ferroviaria BO-AN il Santerno coinvolge pienamente la fascia golena (cfr. Fig. 30) interessata da attività estrattive pregresse e in atto, tuttavia i maggiori volumi dell'evento T200 determinano in corrispondenza dell'inizio del tratto arginato l'aggiramento e il sormonto diffuso del sistema difensivo in sinistra con una conseguente vasta esondazione che si propaga verso valle fino al CER, con dinamiche analoghe a quanto riscontro nell'evento 16-18 maggio 2023 (acute in quel caso dalle rotte occorse durante l'evento), come illustrato in Fig. 31.

Nel medesimo tratto anche il sistema difensivo in destra palesa criticità con sormonti in più punti: i volumi esondati finiscono per raggiungere il centro di Bagnara di Romagna.

Il confronto (cfr. Fig. 32) tra gli idrogrammi alla via Emilia a Imola e al ponte di Mordano palesa la significativa laminazione dei colmi di piena determinata dall'effetto combinato del coinvolgimento dei piani golennali tra FFSS BO-AN e A14 e delle esondazioni citate.

Procedendo verso valle nel tratto arginato si palesano dinamiche analoghe, ma acute in termini di volumi esondati, rispetto all'evento T50:

- a monte del ponte ferroviario di Sant'Agata tracimazioni diffuse si riscontrano sia in destra che in sinistra; le esondazioni coinvolgono un ampio areale e raggiungono i centri di Massa Lombarda in sinistra e Lugo in destra;
- ulteriori esondazioni si riscontrano tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino, con il coinvolgimento in sinistra anche dell'abitato di Conselice.

Il confronto tra gli idrogrammi Mordano - Sant'Agata e Cà di Lugo - San Bernardino (cfr. Fig. 33) evidenzia chiaramente le esondazioni descritte (volumi esondati dell'ordine di 6.000.000 m<sup>3</sup> a monte di Sant'Agata e di 2.100.000 m<sup>3</sup> tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino).

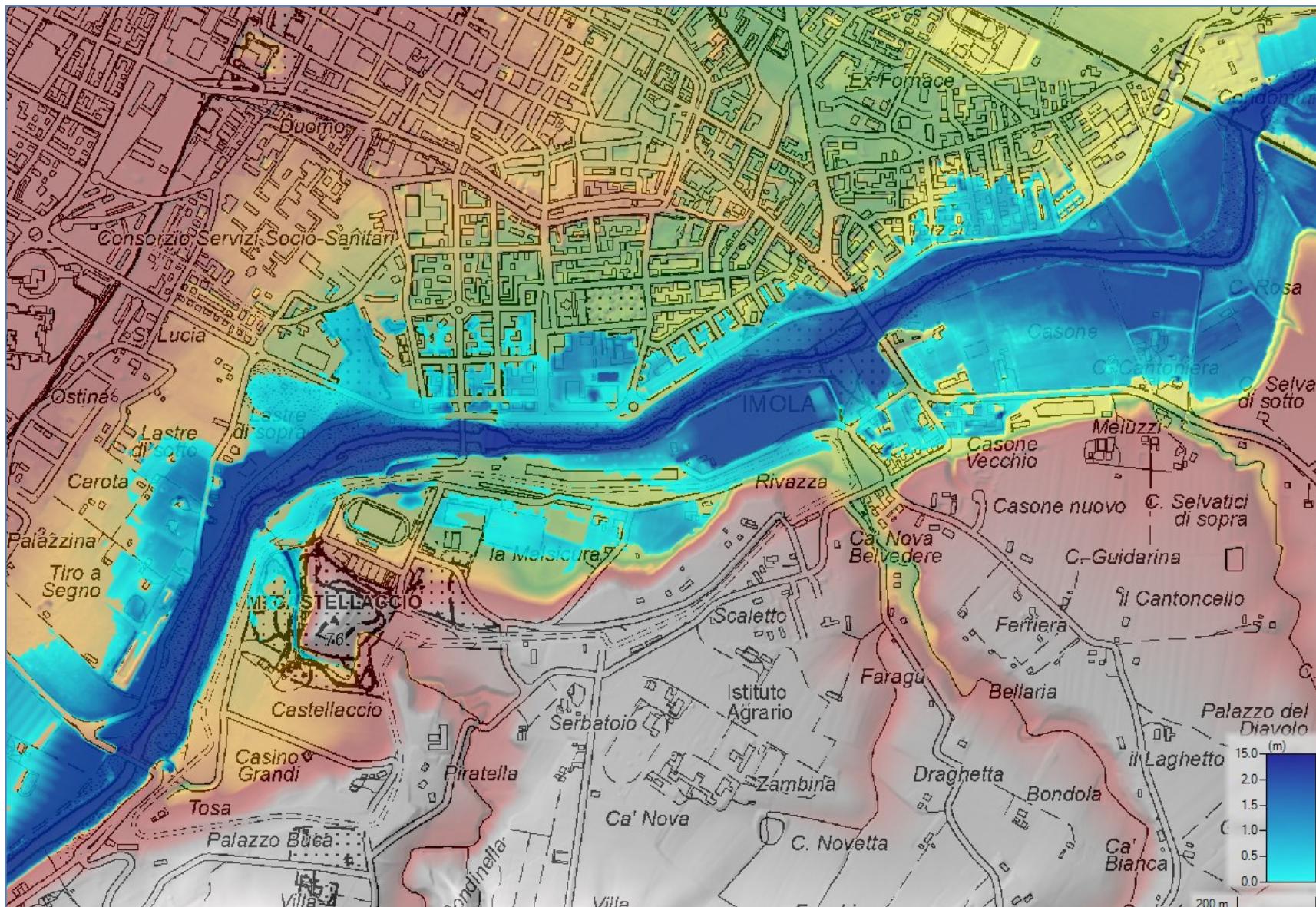


Fig. 29 Fiume Santerno - T200: tiranti massimi a Imola

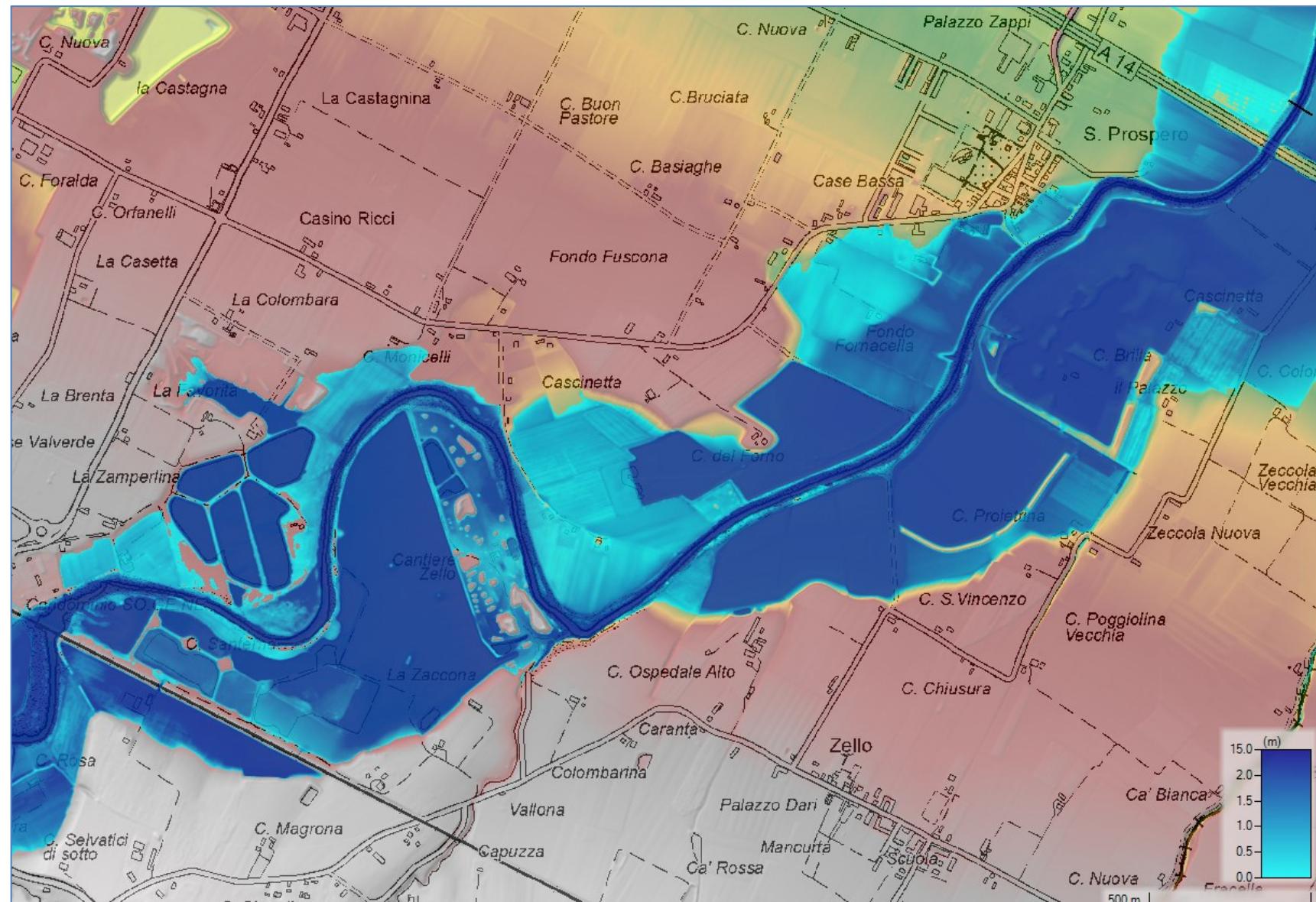


Fig. 30 Fiume Santerno - T200: tiranti massimi tra ponte FFSS BO-AN e il ponte dell'A14

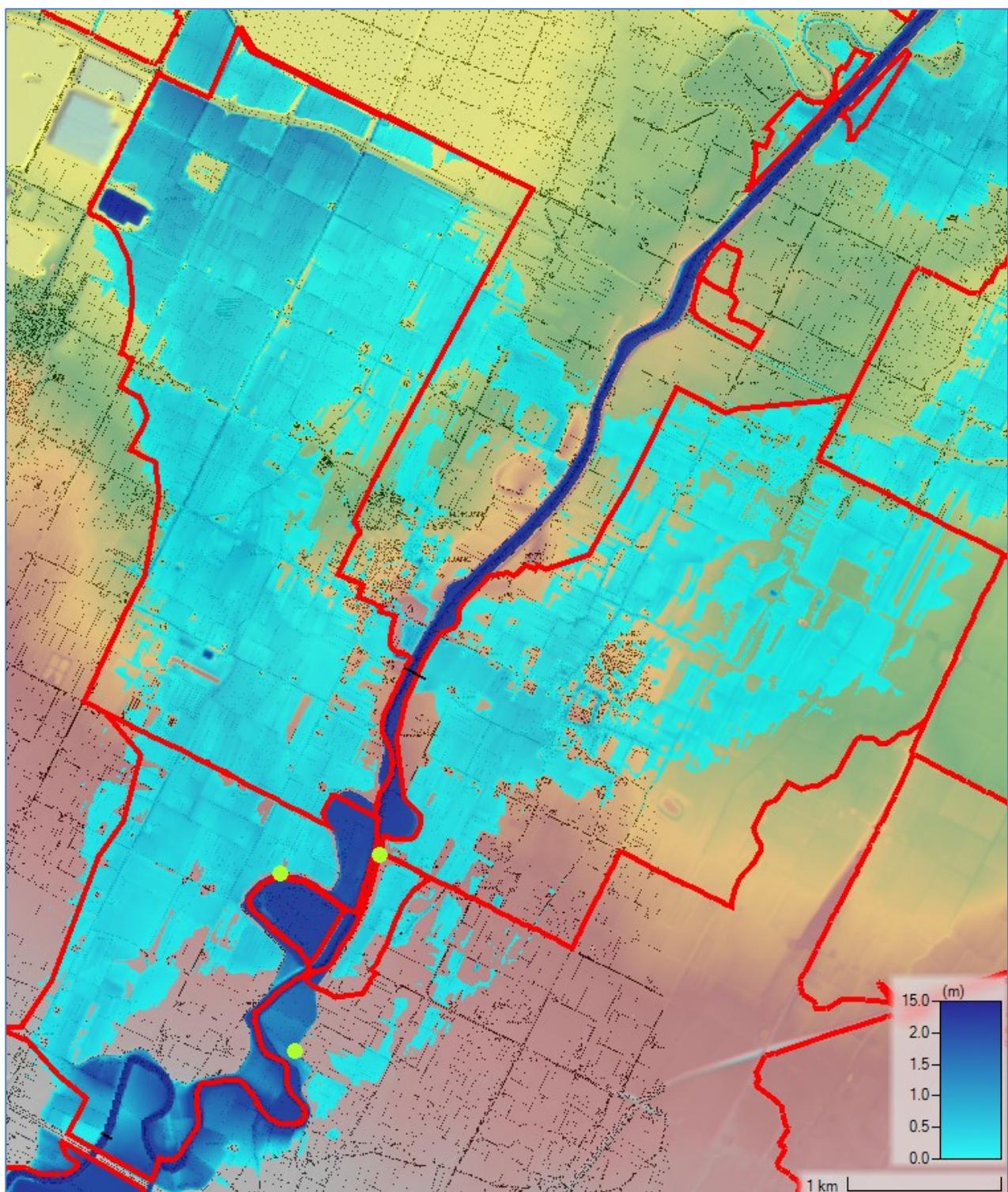
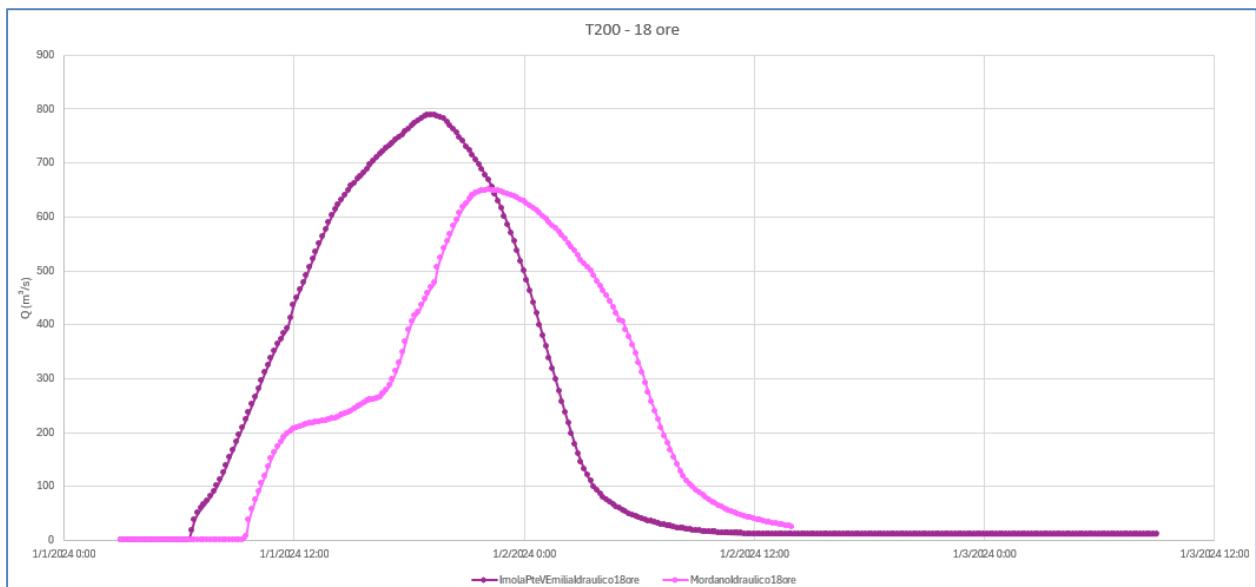
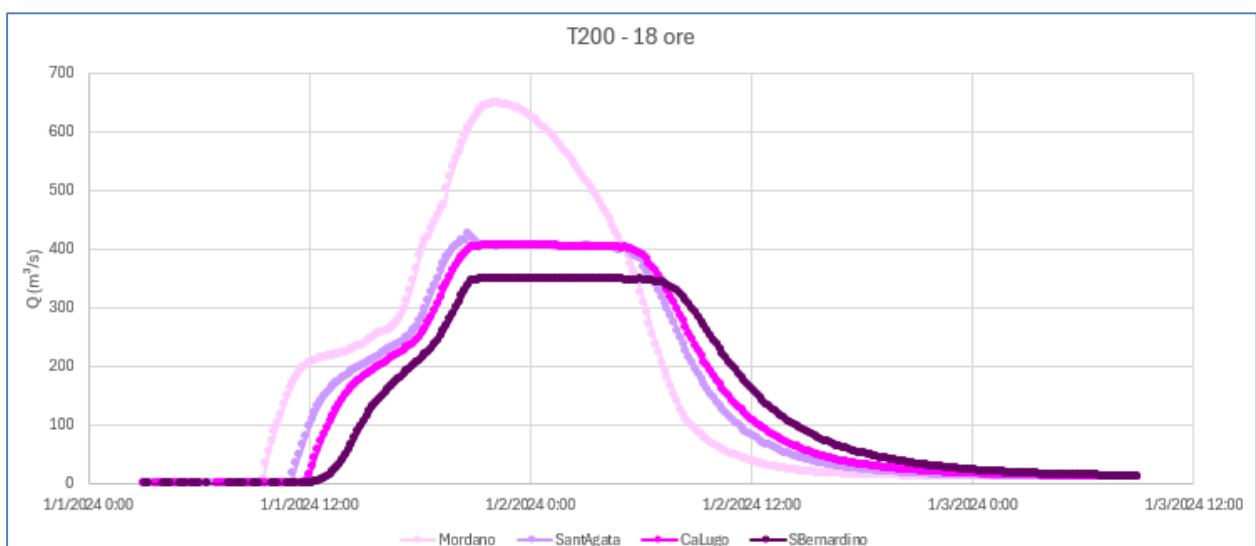


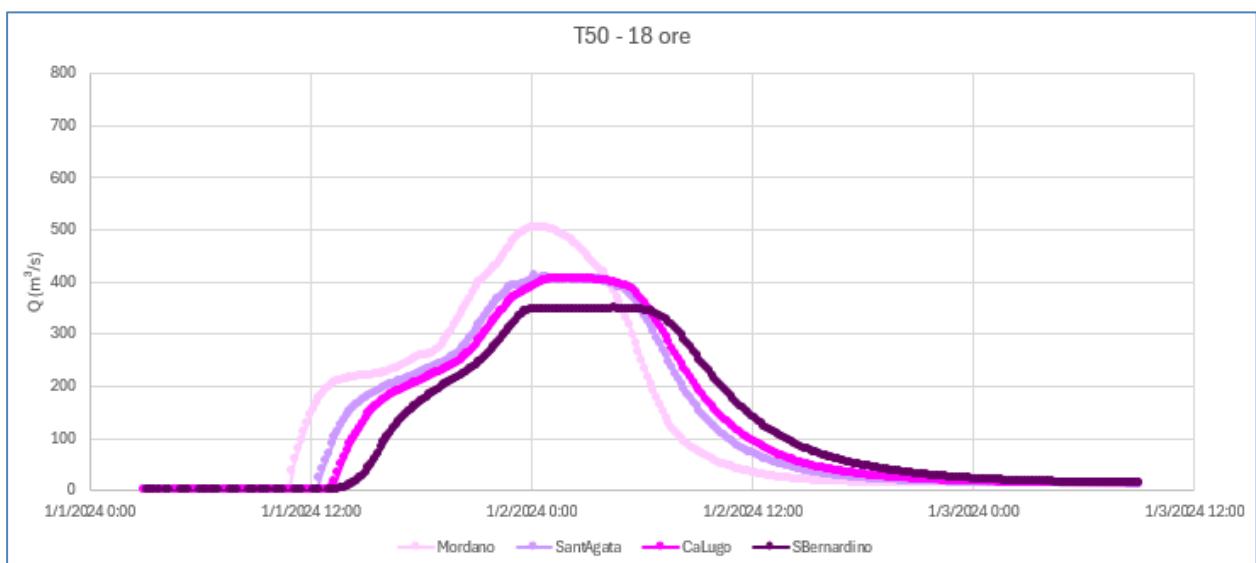
Fig. 31 Fiume Santerno T200 18 ore: massimi tiranti tra A14 e il CER e aree inondate (in rosso) per l'evento 16-18 maggio 2023 (Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile – Regione Emilia-Romagna). In verde la localizzazione delle rotte occorse nell'evento



**Fig. 32 Fiume Santerno T200 18 ore – effetto di laminazione tra Imola e Mordano**



**Fig. 33 Fiume Santerno T200 18 ore – Idrogrammi a Mordano, Sant'Agata, Cà di Lugo e San Bernardino**



**Fig. 34 Fiume Santerno T50 18 ore – Idrogrammi a Mordano, Sant'Agata, Cà di Lugo e San Bernardino**

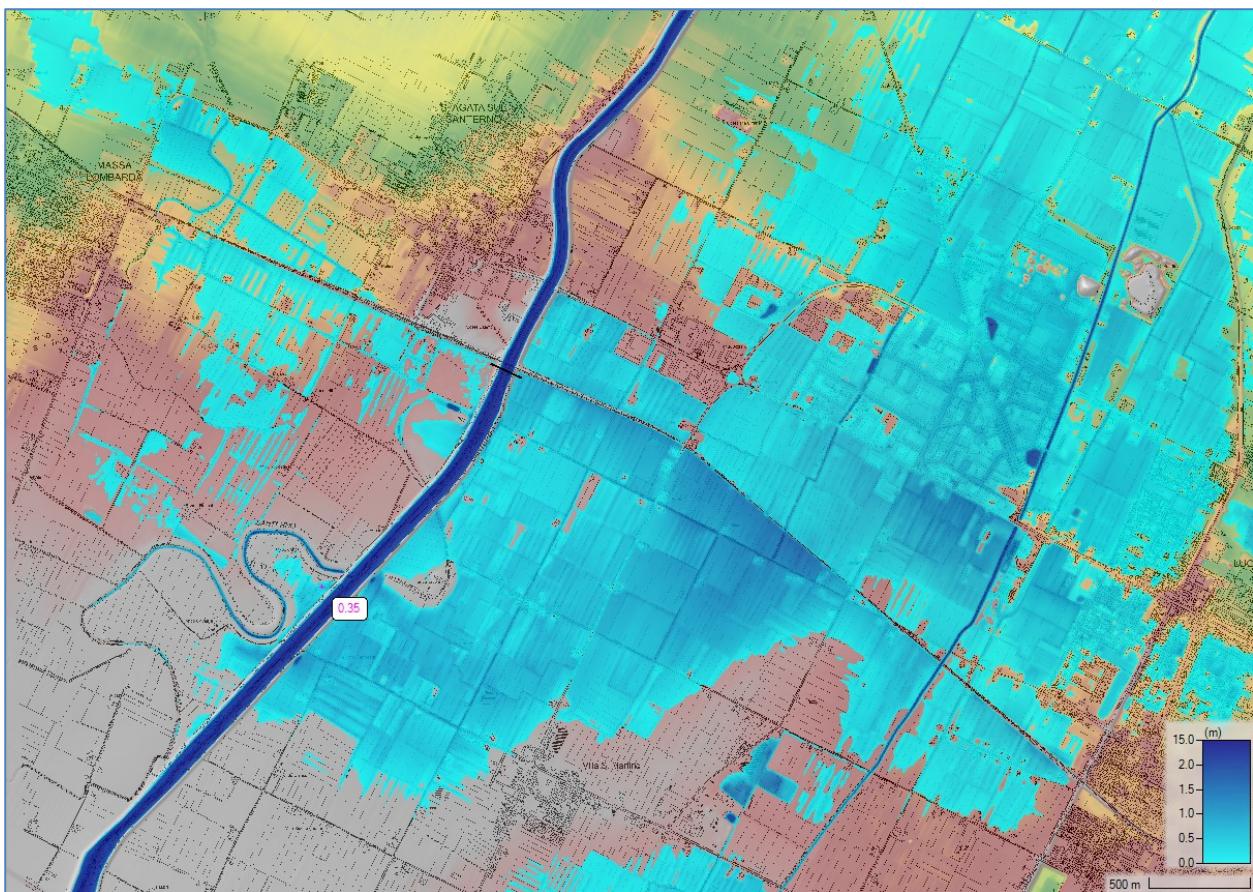


Fig. 35 Fiume Santerno T200 18 ore – Tiranti massimi a Sant'Agata, Massa Lombarda, Lugo

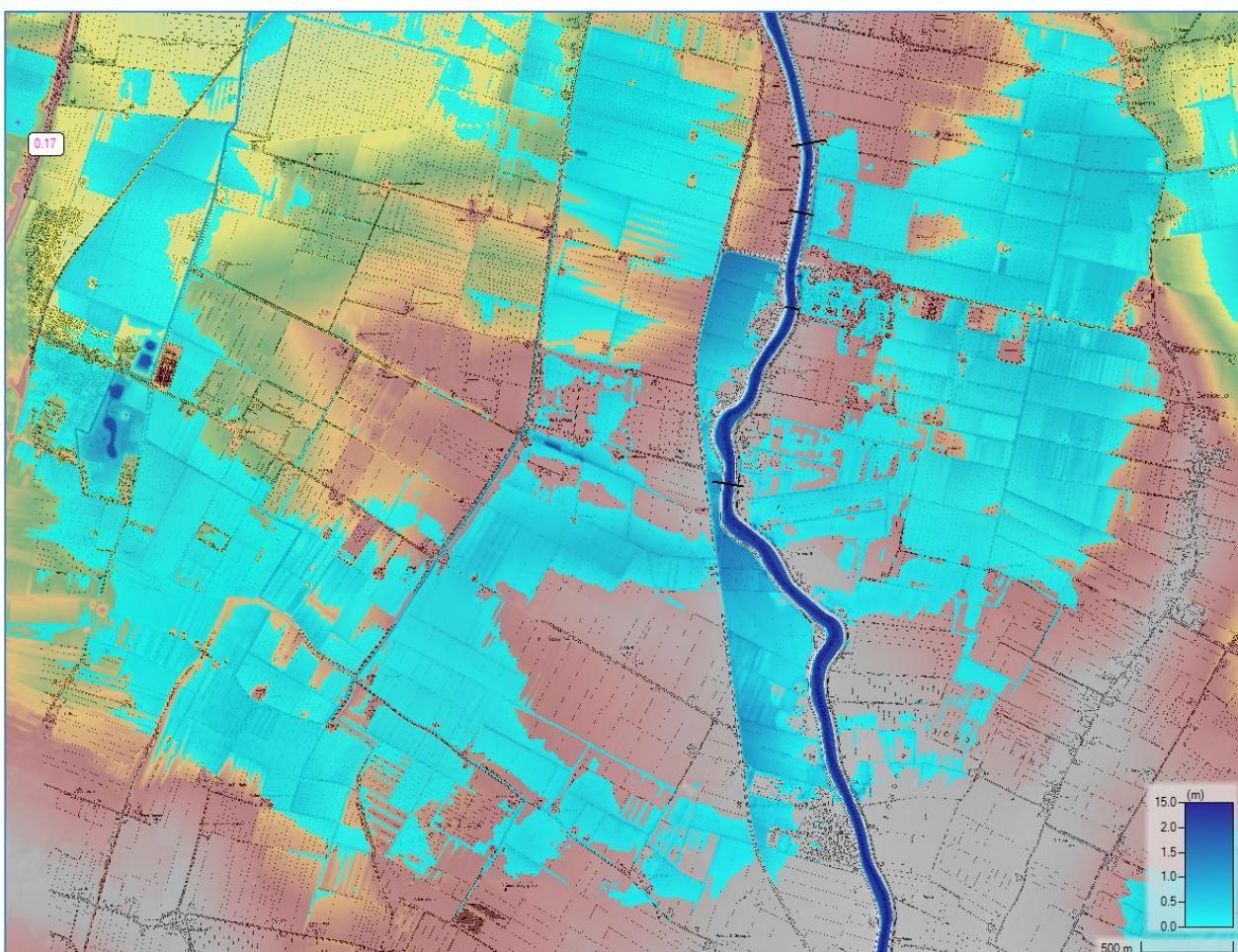


Fig. 36 Fiume Santerno T200 18 ore – tiranti massimi a San Bernardino e Conselice

### 7.3.3. Evento T500

Il transito dell'evento T500, tra Castel del Rio e Fontanelice, sollecita l'intero ambito fluviale da versante a versante, con dinamiche e areali interessati del tutto analoghi all'evento duecentennale.

A Fontanelice e Borgo Tossignano sono acute le criticità già palesate dall'evento T200:

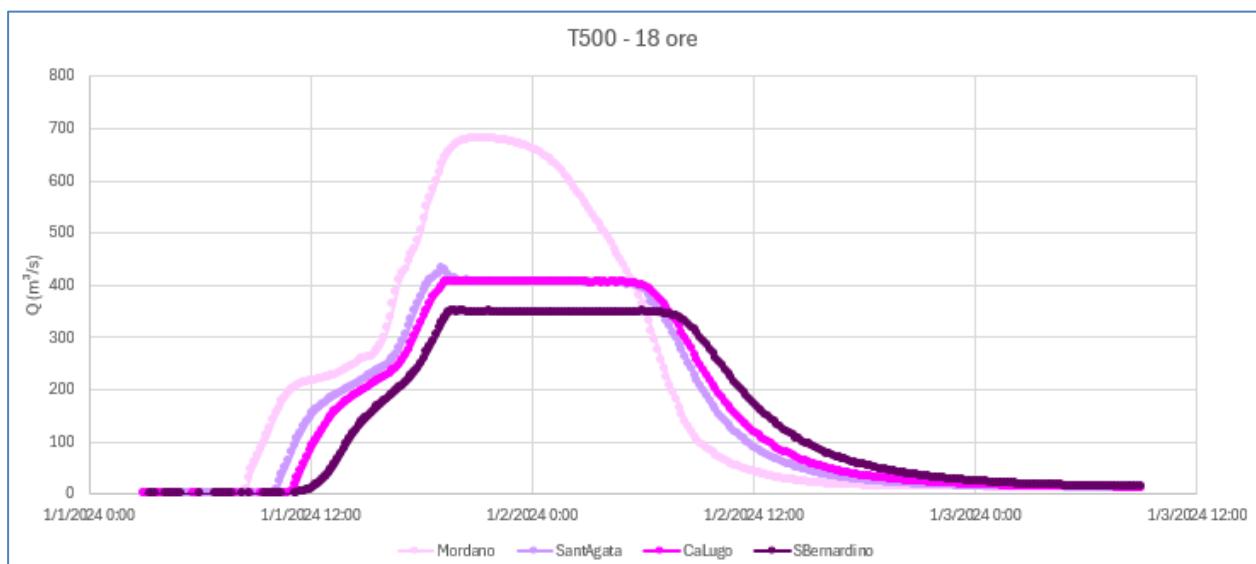
- in sinistra a monte del ponte della SP 34, in località Prato, è marcatamente coinvolto il piano golenale dove sono localizzati alcuni insediamenti;
- in destra, a monte del ponte SP 610, la porzione dell'abitato prospiciente il corso d'acqua è interessata dalle esondazioni.

Tra Borgo Tossignano e Imola, la criticità più rilevante è confermata presso l'area industriale di Casalfiumanese.

A Imola, in sinistra, rilevanti esondazioni interessano l'areale del Tiro a segno e la porzione di abitato in corrispondenza di via Pirandello e via Graziadei. In destra l'area dell'autodromo è colpita in modo ancor più severo rispetto all'evento T200 mentre a valle del ponte della via Emilia le acque raggiungono diffusamente il limite morfologico.

Le dinamiche di propagazione dell'evento nel tratto arginato sono analoghe rispetto all'evento T200 con marcate esondazioni all'inizio del tratto, sia in sinistra che in destra (dove Bagnara è colpita maggiormente), a monte del ponte di Sant'Agata e tra Santa Maria in Fabriago e San Bernardino.

Il confronto tra gli idrogrammi Mordano - Sant'Agata e Cà di Lugo - San Bernardino evidenzia chiaramente le esondazioni descritte (cfr. Fig. 37).



**Fig. 37 Fiume Santerno T500 18 ore – Idrogrammi a Mordano, Sant'Agata, Cà di Lugo e San Bernardino**

## 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. 7.

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. 7 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. Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato

In questo ambito, da Castel del Rio fino a valle del ponte della A14 a Imola, si è fatto riferimento all'evento T200 anni ed in particolare all'inviluppo 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. 8.

### 7.4.2. Tratto arginato di pianura

Nel tratto arginato di pianura, da valle del ponte della A14 a confluenza Reno, si è fatto riferimento, nella valutazione dei franchi idraulici, alle portate compatibili individuate per i singoli tratti omogenei definite in Tab. 6.

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. 9.

**Tab. 8 Santerno da Castel del Rio al Ponte A14 di Imola: attraversamenti e franchi idraulici T200**

ID	ID Ponte	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
STIN0002	Ponte Sp10 a Castel del Rio	Castel del Rio	163.54	intradosso piano	178.64	178.64	15.10	15.10	
STIN0004	Ponte del Filetto	Casalfiumanese / Fontanelice	129.85	intradosso piano	144.1	144.1	14.25	14.25	
STIN0005	Ponte SP 34	Fontanelice	117.09	intradosso piano	118.75	118.75	1.66	1.66	
STIN0006	Ponte via Rineggio	Borgo Tossignano	96.89	intradosso piano	94.7	94.7	-2.19	-2.19	Estradosso a 95.94, sormontato
STIN0007	Ponte bailey Borgo Tossignano	Borgo Tossignano	96.42	intradosso piano	96.66	96.66	0.24	0.24	
STIN0008	Ponte SP610 a Borgo Tossignano	Borgo Tossignano	91.18	ad arco	94.52	89.72	3.34	-1.46	
STIN0009	Ponte via del Santo	Imola / Borgo Tossignano	61.79	intradosso piano	67.61	67.61	5.82	5.82	
STIN0010	Ponte via Tiro a Segno	Imola	43.2	intradosso piano	45.31	45.31	2.11	2.11	
STIN0011	Ponte Viale Dante Alighieri	Imola	40.74	intradosso piano	40.14	40.14	-0.60	-0.60	Estradosso a 41.51 m s.m.
STIN0012	Ponte SS9 via Emilia	Imola	37.73	ad arco	41.69	36.7	3.96	-1.03	
STIN0013	Ponte FFSS BO-RN	Imola	34.82	ad arco	37.82	35.42	3.00	0.60	
STIN0014	Ponte A14	Imola	28.52	intradosso piano	28.12	28.12	-0.40	-0.40	Estradosso a 30.32 m s.m.

**Tab. 9 Santerno da Ponte di Mordano a foce Reno: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata compatibile dei singoli tratti (scenario Ks uso suolo)**

<b>ID</b>	<b>ID Ponte</b>	<b>Comune</b>	<b>Q comp. (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>H comp. (m s.m.)</b>	<b>Tipologia ponte</b>	<b>H chiave (m s.m.)</b>	<b>H appoggio min (m s.m.)</b>	<b>FR chiave (m)</b>	<b>FR appoggio (m)</b>	<b>Note</b>
STIN0015	Ponte SP21 Mordano-Bagnara di Romagna	Mordano/Bagnara di Romagna	500	24.54	intradosso piano	23.6	23.6	-0.94	-0.94	Estradosso a 25.10 m s.m.
STIN0017	Ponte FFSS Faenza-Lavezziola	Sant'Agata sul Santerno	420	19.94	intradosso piano	19.6	19.6	-0.34	-0.34	Estradosso a 20.30 m s.m.
STIN0018	Ponte SP253 Sant'Agata sul Santerno	Sant'Agata sul Santerno	420	19.75	intradosso piano	19.03	19.03	-0.72	-0.72	Estradosso a 20.25 m s.m.
STIN0019	Ponte SP79 Ca di Lugo	Lugo di Romagna	340	17.33	intradosso piano	18.53	18.53	1.20	1.20	
STIN0020	Ponte pedonale Santa Maria in Fabriago	Lugo di Romagna	340	15.87	ad arco	16.55	16.55	0.68	0.68	
STIN0021	Ponte SP17 San Bernardino in Selva	Lugo di Romagna	340	14.4	intradosso piano	14.93	14.93	0.53	0.53	
STIN0022	Ponte SP17 Passogatto	Lugo di Romagna	260	11.44	intradosso piano	12.62	12.62	1.18	1.18	
STIN0023	Ponte FFSS FE-RN	Lugo di Romagna	260	10.5	intradosso piano	10.19	10.19	-0.31	-0.31	Estradosso a 11.50 m s.m.
STIN0024	Ponte SS16 Pianta	Lugo di Romagna	260	9.43	intradosso piano	10.97	10.97	1.54	1.54	

## 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 il più possibile uniforme e cautelativo del comparto, 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. 10 Fiume Santerno - localizzazione dei punti di rotta arginale simulati**

ID Rotta	Località	Comune	Criterio individuazione	Sponda
01	Solarolo	Solarolo	Abitati – Rotta Maggio23	DX
02	C.na Morara /Passo del Cavallo	Imola	Sormonto T200–Rotta Maggio23	SX
03	Mordano	Mordano	Abitati –Mordano	SX
04	Fondo Ercole	Lugo	Sormonto T50	DX
05	Sant'Agata sul Santerno	Sant'Agata sul Santerno	Abitati–Rotta Maggio23	SX
06	Ca' di Lugo	Lugo	Rotta Maggio23	DX
07	S.Maria in Fabriago	Lugo	Sormonto T50	SX
08	C.S.Giorgi	Lugo	Sormonto T50	DX
09	Casino Bolis	Lugo	Sormonto T50	SX
10	Casino Bolis	Lugo	Sormonto T50	DX
11	La Giovecca	Lugo	Abitati–La Giovecca	SX
12	Voltana	Lugo	Abitati–Voltana	DX
13	S.Prospero	Imola	Omogeneità allagamento	SX
14	Fondo Costantina	Mordano	Omogeneità allagamento	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'innesto 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 perimetrire 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 fiume Santerno**

L'asta del fiume Santerno, oggetto di delimitazione delle fasce fluviali e interessata dalla definizione delle linee di assetto, è compresa tra Gaggio e confluenza Reno (65 km). L'ambito in esame può essere suddiviso nei seguenti tratti:

- tra Gaggio e Borgo Tossignano, circa 10 km: contesto ancora tipicamente appenninico, nel quale i versanti vincolano le dinamiche fluviali;
- tra Borgo Tossignano e Imola (13 km), l'alveo si sviluppa in ambito collinare con un fondovalle relativamente ampio che, in occasione di eventi intensi, viene interessato da esondazioni fino ai limiti morfologici naturali;
- attraversamento della città di Imola; tra il parco delle Acque minerali e il ponte della ferrovia BO-AN il Santerno assume andamento sub-rettilineo in direzione ovest-est palesando la pressione antropica molto elevata sia in sinistra (via Graziadei e contesto urbano retrostante) che in destra (complesso delle infrastrutture dell'autodromo);
- tra il ponte della linea ferroviaria BO-AN e l'attraversamento dell'A14, il Santerno, ormai prossimo alla pianura, muta le caratteristiche morfologiche disegnando alcuni meandri in un ambito fluviale ampio in cui le esondazioni sono ancora confinate dai rilievi;
- a valle del ponte della A14, ricevuti gli apporti del rio Sanguinario, inizia il sistema arginato del Santerno (argini di seconda categoria) che si sviluppa con continuità fino a Reno (circa 31 km).

#### **8.1.1. Tratto appenninico tra Gaggio e Borgo Tossignano**

Anche al transito di eventi di piena intensi, le esondazioni sono generalmente confinate da limiti morfologici netti; le criticità sono limitate ad alcuni insediamenti prospicienti le sponde.

#### **8.1.2. Tratto collinare tra Borgo Tossignano e Imola**

Nel tratto collinare si prevede la realizzazione di alcuni sistemi arginali per il contenimento dei livelli in corrispondenza di centri abitati rilevanti; in particolare:

- a Borgo Tossignano, in destra, tra via Marzabotto e il ponte della SP 610 a difesa dell'abitato;
- a Casalfiumanese, in sinistra, a difesa dell'area industriale e della porzione di abitato a sud della SP 610.

A monte di Imola, in sinistra, tra località Case Cipolla e la città, è prevista la realizzazione di un sistema di casse di laminazione, fuori linea, privo di opere di regolazione in alveo e attuato con ribassamenti dei piani goleinali. Il volume utile è stimato in 5.500.000 m<sup>3</sup>.

Il sistema di opere dovrà essere dimensionato per garantire a valle una portata al colmo dell'ordine di 600 m<sup>3</sup>/s al transito dell'evento di riferimento.

#### **8.1.3. Attraversamento della città di Imola**

Il contenimento dei livelli idrici, in ambito cittadino, sarà garantito dal potenziamento della capacità di deflusso e da due nuovi sistemi arginali:

- in sinistra, lungo via Pirandello prima e via Graziadei poi, dalla rotatoria in corrispondenza di via Tiro a segno fino a via Banfi;

- in destra dal ponte di via Dante, lungo il confine dell'autodromo, fino a raccordarsi, in arretramento, al rilevato di accesso al ponte della via Emilia.

#### **8.1.4. Tratto tra la linea ferroviaria BO-AN e l'inizio del tratto arginato**

A monte dell'A14 è prevista, in destra, la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, priva di opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti dei piani golenali. Il volume utile complessivo è stimato in 3.600.000 m<sup>3</sup>.

Il sistema di opere dovrà essere dimensionato per garantire a valle una portata al colmo dell'ordine di 500 m<sup>3</sup>/s al transito dell'evento di riferimento.

#### **8.1.5. Tratto arginato classificato di pianura**

La portata limite attuale del tratto arginato del fiume Santerno, definita secondo i criteri illustrati nei precedenti capitoli, è riportata in Tab. 11.

**Tab. 11 Portata limite attuale del tratto arginato del fiume Santerno**

ID	Tratto	Q compatibile (m <sup>3</sup> /s)
1	ValleA14-PonteMordanoldrometro	500
2	PonteMordanoldrometro-SanternoMortoVillaSanMartino	420
3	SanternoMortoVillaSanMartino-PonteSAgataldrometro	420
4	PonteSAgataldrometro-PonteSBernardinoldrometro	340
5	PonteSBernardinoldrometro-Reno	260

La portata limite diminuisce progressivamente verso valle; particolare criticità si riscontra a monte e valle del ponte di San Bernardino.

La portata limite di progetto del tratto arginato del fiume Santerno è definita nel modo seguente:

- dall'inizio del tratto arginato a Villa San Martino: 500 m<sup>3</sup>/s;
- da Villa San Martino a confluenza Reno: 340 m<sup>3</sup>/s.

A tal fine sono previsti i seguenti interventi:

- nel tratto 1, la realizzazione di un'area di esondazione controllata. L'areale massimo interessabile è limitato a sud e a est dagli assi autostradali, ad ovest da via del Condotto, a nord da Valentonia e via Ordiero per circa 900 ha complessivi. Il tratto arginale, in destra, dove sarà prevista la tracimazione controllata, dovrà essere adeguato affinché il sormonto non determini il crollo del rilevato. Le aree da destinare ad allagamento dovranno essere opportunamente confinate, in particolare sul fronte nord-est, così da proteggere il territorio esterno; le massime altezze dei confinamenti non saranno superiori a 2 m e dovranno essere realizzati in modo che un eventuale sormonto non induca il crollo del presidio. Eventuali insediamenti posti all'interno dell'area stessa saranno anch'essi protetti con misure locali. All'interno dell'areale potranno essere studiati sistemi di contenimento che permettano l'interessamento dell'ambito in modo progressivo e al contempo aiutino a trattenere quota parte dei volumi esondati. L'intervento è finalizzato a diminuire, anche per piene superiori a quella di riferimento, la sollecitazione delle piene sul sistema arginale di valle;
- nel tratto 2, in corrispondenza del Santerno Morto, in sinistra, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, priva di opere di regolazione in alveo, ma attuata con scavi e arginature. Il volume utile complessivo di tale opera è dell'ordine di 7.500.000 m<sup>3</sup>. L'intervento è funzionale a limitare la portata defluente verso valle a 340 m<sup>3</sup>/s; nel medesimo tratto, tra l'attraversamento del C.E.R e l'opera citata, si prevede l'adeguamento in quota e sagoma del sistema arginale esistente, in destra e sinistra, al transito di una portata pari a 500 m<sup>3</sup>/s;

- nel tratto 4, tra S. Maria in Fabriago e il ponte di San Bernardino, sia in destra che in sinistra, si prevede l'adeguamento in quota e sagoma del sistema arginale esistente, regolarizzando locali depressioni e consolidando strutturalmente le arginature. Tali interventi saranno più significativi tra località Giorgi e il ponte;
- nel tratto 5, tra il ponte di San Bernardino e località la Platea, sia in destra che in sinistra, si prevede l'adeguamento in quota e sagoma del sistema arginale esistente, regolarizzando locali depressioni e consolidando strutturalmente le arginature.

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

**Tab. 12 Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato del fiume Santerno**

ID	Tratto	Q limite attuale ( $m^3/s$ )	Q limite progetto ( $m^3/s$ )
1	ValleA14-PonteMordanoldrometro	500	500
2	PonteMordanoldrometro-SanternoMortoVillaSanMartino	420	500
3	SanternoMortoVillaSanMartino-PonteSAgataldrometro	420	420
4	PonteSAgataldrometro-PonteSBernardinoldrometro	340	340
5	PonteSBernardinoldrometro-Reno	260	340

## 8.2 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 previste è stato sollecitato dall'evento T200, durata di pioggia 18 ore, ottenuto nello scenario idrologico che contempla gli effetti del cambiamento climatico.

In Tab. 13 si riporta il confronto tra le portate idrologiche di riferimento del fiume Santerno e quelle ottenute nelle analisi idrologiche stimando gli effetti del cambiamento climatico per l'evento T200.

**Tab. 13 Portate di piena per il fiume Santerno**

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. ( $km^2$ )	T50 ( $m^3/s$ )	T200 ( $m^3/s$ )	T500 ( $m^3/s$ )	T200 CC ( $m^3/s$ )
Reno	Santerno	33	Castel del Rio	247,3	550	750	890	985
Reno	Santerno	47	Borgo Tossignano	318,4	675	900	1075	1190
Reno	Santerno	61	Imola	413,3	725	970	1150	1275
Reno	Santerno	74	valle A14	461,4	740	1005	1195	1335

Si osservi che l'incremento idrologico del colmo a valle dell'A14 è dell'ordine del 33%.

In termini di volumi, a valle della A14, l'evento T200, durata di pioggia 18 ore, palesa, nello scenario che contempla gli effetti del cambiamento climatico, un incremento del 32%.

Nel tratto appenninico, a monte di Borgo Tossignano, il transito dell'evento citato non determina variazioni significative delle aree inondabili, in quanto l'intero fondovalle è già comunque coinvolto.

Procedendo verso valle, presso gli interventi previsti a Borgo Tossignano e Casalfiumanese gli incrementi dei tiranti idrici sono dell'ordine di 50- 80 cm.

Il sistema di casse di laminazione a monte della città di Imola esaurisce la propria capacità di laminazione veicolando verso valle portate che coinvolgono in sinistra l'areale del Tiro a segno e, in destra, l'intero ambito dell'autodromo.

In corrispondenza del sistema difensivo lungo via Pirandello e via Graziadei si registrano innalzamenti dei livelli compresi tra 100 e 160 cm con il conseguente coinvolgimento degli areali retrostanti, in particolare

in corrispondenza del ponte di via Dante, il cui accesso rappresenta un punto di criticità del sistema di contenimento dei livelli.

In linea generale, è comunque necessario che le nuove opere arginali siano progettate e realizzate per evitare il collasso in caso di sormonto.

Procedendo verso valle anche la cassa di laminazione a monte dell'A14 esaurisce la propria funzionalità; si osserva infatti il parziale coinvolgimento dell'abitato di San Prospero.

Nell'area di tracimazione controllata, all'inizio del sistema arginale, si concretizzano livelli superiori ai confinamenti previsti, in particolare sul fronte nord-est; anche in questo caso è necessario che le opere arginali siano progettate e realizzate per evitare il collasso in caso di sormonto.

Gli effetti delle tracimazioni controllate si concretizzano in un forte abbattimento del colmo di piena verso valle che, ulteriormente laminato dalla cassa in progetto in località Roncadello, transita verso Reno al limite della capacità di portata.

### **8.3 Quadro degli interventi**

In Tab. 14 sono riassunte le localizzazioni e le tipologie di intervento rappresentati dai limiti B di progetto individuati lungo il fiume Santerno.

**Tab. 14 Fiume Santerno - localizzazione e modalità attuative dei limiti B di progetto**

N	Comune	Prog. (km)	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
1	Borgo Tossignano	47-49	DX	Abitato di Borgo Tossignano	Contenimento livelli idrici
2	Casalfiumanese	52-53	SX	Area industriale Casalfiumanese	Contenimento livelli idrici
3	Imola	58-60	SX	Case Cipolla - Imola	Cassa di laminazione
4	Imola	61-64	SX	Via Pirandello – via Graziadei	Contenimento livelli idrici
5	Imola	61-63	DX	Autodromo	Contenimento livelli idrici
6	Imola-Castel Bolognese	67-70	DX	Cascina Zeccola	Cassa di laminazione
7	Imola-Solarolo	70-75	SX-DX	Castelnuovo	Area esondazione controllata
8	Massa Lombarda-Lugo-Mordano	79-82	SX	Roncadello	Cassa di laminazione

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 tra il C.E.R e l'opera di alimentazione della cassa di laminazione in località Roncadello;
- interventi di adeguamento del sistema arginale alla portata limite di progetto in destra e sinistra tra S. Maria in Fabriago e località la Platea.

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.

### **8.4 Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto**

In Tab. 15 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti tra Castel del Rio e il ponte della A14 per l'evento T200 nella configurazione definita dalle linee di assetto.

In Tab. 16 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).

Gli attraversamenti di Borgo Tossignano (via Rineggio, STIN0006), Mordano (SP21, STIN0015), linea ferroviaria Lavezzola-Faenza (STIN0017), Sant'Agata sul Santerno (SP253, STIN0018) e linea ferroviaria FE-RN (STIN0023) sono fortemente critici rispetto alle linee di assetto. Si osserva che gli attraversamenti STIN0017 e STIN0018, beneficierebbero degli effetti della cassa di laminazione di Roncadello.

Palesano criticità rilevanti anche i ponti Bailey di Borgo Tossignano (STIN0007), di Via Dante a Imola (STIN0011) e dell'A14 (STIN0014).

**Tab. 15 Fiume Santerno da Castel del Rio al ponte dell'A14: attraversamenti e franchi idraulici T200 rispetto alle linee di assetto**

<i>ID</i>	<i>ID Ponte</i>	<i>Comune</i>	<i>H200 (m s.m.)</i>	<i>Tipologia ponte</i>	<i>H chiave (m s.m.)</i>	<i>H appoggio min (m s.m.)</i>	<i>FR chiave (m)</i>	<i>FR appoggio (m)</i>	<i>Note</i>
STIN0002	Ponte Sp10 a Castel del Rio	Castel del Rio	163.54	intradosso piano	178.64	178.64	15.10	15.10	
STIN0004	Ponte del Filetto	Casalfiumanese / Fontanelice	129.85	intradosso piano	144.1	144.1	14.25	14.25	
STIN0005	Ponte SP 34	Fontanelice	117.09	intradosso piano	118.75	118.75	1.66	1.66	
STIN0006	Ponte via Rineggio	Borgo Tossignano	96.89	intradosso piano	94.7	94.7	-2.19	-2.19	Estradosso a 95.94, sormontato
STIN0007	Ponte bailey Borgo Tossignano	Borgo Tossignano	96.42	intradosso piano	96.66	96.66	0.24	0.24	
STIN0008	Ponte SP610 a Borgo Tossignano	Borgo Tossignano	91.18	ad arco	94.52	89.72	3.34	-1.46	
STIN0009	Ponte via del Santo	Imola / Borgo Tossignano	61.79	intradosso piano	67.61	67.61	5.82	5.82	
STIN0010	Ponte via Tiro a Segno	Imola	42.3	intradosso piano	45.31	45.31	3.01	3.01	
STIN0011	Ponte Viale Dante Alighieri	Imola	40.06	intradosso piano	40.14	40.14	0.08	0.08	
STIN0012	Ponte SS9 via Emilia	Imola	37.25	ad arco	41.69	36.7	4.44	-0.55	
STIN0013	Ponte FFSS BO-RN	Imola	34.48	ad arco	37.82	35.42	3.34	0.94	
STIN0014	Ponte A14	Imola	27.78	intradosso piano	28.12	28.12	0.34	0.34	

**Tab. 16 Fiume Santerno da Ponte di Mordano a foce Reno: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata limite di progetto (scenario Ks uso suolo)**

<b>ID</b>	<b>ID Ponte</b>	<b>Comune</b>	<b>Q limite (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>H limite (m s.m.)</b>	<b>Tipologia ponte</b>	<b>H chiave (m s.m.)</b>	<b>H appoggio min (m s.m.)</b>	<b>FR chiave (m)</b>	<b>FR appoggio (m)</b>	<b>Note</b>
STIN0015	Ponte SP21 Mordano-Bagnara di Romagna	Mordano/Bagnara di Romagna	500	24.54	intradosso piano	23.6	23.6	-0.94	-0.94	Estradosso a 25.10 m s.m.
STIN0017	Ponte FFSS Faenza-Lavezziola	Sant'Agata sul Santerno	420	19.94	intradosso piano	19.6	19.6	-0.34	-0.34	Estradosso a 20.30 m s.m.
STIN0018	Ponte SP253 Sant'Agata sul Santerno	Sant'Agata sul Santerno	420	19.75	intradosso piano	19.03	19.03	-0.72	-0.72	Estradosso a 20.25 m s.m.
STIN0019	Ponte SP79 Ca di Lugo	Lugo di Romagna	340	17.33	intradosso piano	18.53	18.53	1.20	1.20	
STIN0020	Ponte opedonale Santa Maria in Fabriago	Lugo di Romagna	340	15.87	ad arco	16.55	16.55	0.68	0.68	
STIN0021	Ponte SP17 San Bernardino in Selva	Lugo di Romagna	340	14.4	intradosso piano	14.93	14.93	0.53	0.53	
STIN0022	Ponte SP17 Passogatto	Lugo di Romagna	340	12.2	intradosso piano	12.62	12.62	0.42	0.42	
STIN0023	Ponte FFSS FE-RN	Lugo di Romagna	340	11.23	intradosso piano	10.19	10.19	-1.04	-1.04	Estradosso a 11.50 m s.m.
STIN0024	Ponte SS16 Pianta	Lugo di Romagna	340	10.18	intradosso piano	10.97	10.97	0.79	0.79	

## 9 Portate di piena di riferimento

Nelle condizioni attuali, in Tab. 17 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. 17 Fiume Santerno stato attuale – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato**

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km <sup>2</sup> )	T50 (m <sup>3</sup> /s)	T200 (m <sup>3</sup> /s)	T500 (m <sup>3</sup> /s)	T50 (m <sup>3</sup> /s)	T200 (m <sup>3</sup> /s)	T500 (m <sup>3</sup> /s)
Santerno	33	Castel del Rio	247,3	550	750	890	-	-	-
Santerno	38	Gaggio	-	-	-	-	575	775	925
Santerno	47	Borgo Tossignano	318,4	675	900	1075	620	835	985
Santerno	61	Imola	413,3	725	970	1150	630	800	980
Santerno	74	valle A14	461,4	740	1005	1195	585	805	985

Nella tab. 18 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. 18 Fiume Santerno linee di assetto – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato (T200 durata 18 ore)**

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km <sup>2</sup> )	T200 (m <sup>3</sup> /s)
Santerno	61	Imola	413,3	600
Santerno	74	valle A14	461,4	500

Per il tratto arginato classificato del fiume Santerno, 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. 19 Fiume Santerno - Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato**

ID	Tratto	Q limite attuale (m <sup>3</sup> /s)	Q limite progetto (m <sup>3</sup> /s)
1	ValleA14-PonteMordanoldrometro	500	500
2	PonteMordanoldrometro-SanternoMortoVillaSanMartino	420	500
3	SanternoMortoVillaSanMartino-PonteSAgataldrometro	420	420
4	PonteSAgataldrometro-PonteSBernardinoldrometro	340	340
5	PonteSBernardinoldrometro-Reno	260	340