



ADBPO

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 Reno e Setta

Dicembre 2025



Metadata

Titolo	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Monografia Reno e Setta
Descrizione	Il presente documento è la Monografia del fiume Reno e del torrente Setta 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 Reno e torrente Setta
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_Reno_Setta
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 Reno e Setta, Versione 01 del 2025-12-10



Indice

1	Premessa	3
2	L'ambito fluviale in esame	4
3	Analisi morfologica	16
3.1	Fiume Reno	16
3.2	Torrente Setta	21
4	Idrologia di piena: Portate ed eventi di piena di riferimento	24
5	La geometria del modello 2D	34
6	Stima della capacità di portata nel tratto arginato.....	42
6.1	Condizioni al contorno	42
6.1.1.	Portate	42
6.1.2.	Condizione di valle	42
6.2	Scabrezze.....	42
6.3	Simulazioni e risultati ottenuti	43
7	Condizioni di pericolosità idraulica dello stato attuale	45
7.1	Condizioni al contorno modello Reno Monte, Intermedio e Valle	45
7.1.1.	Portate	45
7.1.2.	Condizioni di valle	45
7.2	Condizioni al contorno modello di sinistra Samoggia	46
7.2.1.	Portate	46
7.2.2.	Condizioni di valle	46
7.3	Condizioni al contorno modello di sinistra Reno.....	46
7.3.1.	Portate	46
7.3.2.	Condizioni di valle	47
7.4	Scabrezze.....	47
7.5	Simulazioni e risultati ottenuti	47
7.5.1.	Fiume Reno (da Porretta Terme a confluenza Setta)	48
7.5.1.1	Eventi 2024.....	48
7.5.1.2	Evento TR50	52
7.5.1.3	Evento TR200	59
7.5.1.4	Evento TR500	65
7.5.2.	Fiume Reno (da valle confluenza Setta a monte confluenza Idice)	66
7.5.2.1	Eventi 2024.....	66
7.5.2.2	Evento TR50	83
7.5.2.3	Evento TR200	94
7.5.2.4	Evento TR500	106
7.5.3.	Fiume Reno (da confluenza Idice a mare)	106

7.5.3.1	Evento TR50	106
7.5.3.2	Evento TR200	108
7.5.3.3	Evento TR500	110
7.5.4.	Fiume Setta	112
7.5.4.1	Evento TR50	112
7.5.4.2	Evento TR200	113
7.5.4.3	Evento TR500	117
7.6	Valutazione dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento	117
7.6.1.	Fiume Reno	117
7.6.1.1	Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato.....	117
7.6.1.2	Tratto arginato di pianura.....	117
7.6.2.	Fiume Setta	122
7.6.2.1	Ambito montano, collinare e pedecollinare non arginato.....	122
7.7	Scenari di rotta arginale	124
8	Linee di assetto	126
8.1	L'assetto del fiume Reno.....	126
8.1.1.	Tratto tra Vergato e la Chiusa di Casalecchio	126
8.1.2.	Tratto tra la Chiusa di Casalecchio e l'attraversamento FFSS MI-BO.....	126
8.1.3.	Tratto arginato classificato di pianura: da attraversamento FFSS MI-BO a confluenza Idice....	127
8.1.4.	Tratto arginato classificato di pianura: da confluenza Idice a mare	129
8.2	Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento	130
8.3	Quadro degli interventi.....	131
8.4	Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto	132
9	Portate di piena di riferimento.....	135

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 Reno e al suo affluente principale, il torrente Setta; nell'ambito delle attività di studio descritte nella relazione tecnica il fiume Reno è stato analizzato nel tratto compreso tra la località Ponte della Venturina e la foce, per circa 185 km mentre il torrente Setta è stato analizzato nel tratto tra il ponte della SP8 (località Ca' di Landino) e la confluenza in Reno, per circa 38 km. Il tratto oggetto del presente progetto di variante e di delimitazione di fasce fluviali, secondo il metodo del PAI Po, per il fiume Reno è compreso tra località Ospedale di Sopra (frazione di Vergato) e la foce, per una lunghezza complessiva di circa 160 km, mentre per il torrente Setta è compreso tra la confluenza con il torrente Gambellato e la confluenza con il fiume Reno, per una lunghezza complessiva di circa 35 km.

2 L'ambito fluviale in esame

Il fiume Reno nasce nei pressi della Borgata di Prunetta, in comune di San Marcello Piteglio, in provincia di Pistoia, con una serie di sorgenti poste lungo lo spartiacque tirrenico-adriatico e il versante orientale del monte Le Lari.

Il bacino montano e collinare del **fiume Reno**, chiuso all'opera della Chiusa di Casalecchio (circa 1.059 km²), si estende in direzione Sud -Ovest, Nord-Est. Il tratto da Ponte della Venturina alla confluenza con il torrente Setta (46 km circa), è caratterizzato da un susseguirsi di variazioni di larghezza del fondovalle, con fondo alveo incassato ad andamento sinuoso e stretti terrazzi alluvionali.

In generale, fino alla confluenza del torrente Setta, l'alveo del Reno è abbastanza incassato nel substrato terziario e risulta localmente confinato da difese longitudinali anche estese.

Nel tratto compreso tra Ponte della Venturina e Porretta Terme il profilo di fondo dell'alveo è fissato da una serie di briglie e traverse, ed è contenuto lateralmente da difese sia in massi di cava che in muratura, specialmente in corrispondenza degli insediamenti storici. Più a valle, fuori dai centri abitati, le opere di difesa sono poco diffuse, principalmente a protezione delle strade e ferrovie che seguono il fondovalle. Il tratto che si estende da Molinaccio fino a Vergato, in cui si ha l'attraversamento di formazioni argillose, mostra maggiore tendenza all'erosione laterale e a fenomeni di dissesto. A valle di Marano si rileva una generale maggiore ampiezza dell'alveo, ad andamento sinuoso.

A valle di Vergato l'alveo risulta incassato in formazioni marnose, fino a Pian di Venola, dove a valle della confluenza del torrente Venola passa nella zona di deposito sviluppandosi inciso nelle alluvioni, antiche e recenti, fino a confluenza Setta. In questi tratti si riscontrano più estese difese longitudinali a fissare le sponde presso centri abitati e infrastrutture viabili (ad es. la SS64 Porrettana, che corre parallelamente al corso d'acqua in sponda sinistra). Si segnalano inoltre due traverse a uso idroelettrico a Vergato e a Lama di Reno, oltre ad alcune briglie che fissano il fondo nel tratto di monte.

A valle della confluenza con il torrente Setta, l'alveo si snoda su di un ampio terrazzo alluvionale con la presenza di siti estrattivi (cave di materiale litoide) in gran parte non più attive o trasformate in impianti di lavorazione inerti, allagabili durante gli eventi di piena.

L'attività estrattiva a partire dagli anni '50 è stata molto diffusa in questo tratto pedecollinare nelle immediate vicinanze dell'area urbana di Bologna, in un contesto a connotazione essenzialmente agricola che si è progressivamente modificato, trasformandosi in un territorio fittamente urbanizzato. L'evoluzione geomorfologica dell'alveo è stata influenzata da tali asportazioni di materiale, portando alla realizzazione di numerose briglie per mitigare l'abbassamento del profilo di fondo. Tale tendenza risulta a oggi in esaurimento, e ci si attende piuttosto una tendenza futura a una maggiore divagazione laterale dell'asta fluviale.

Le prime soglie sono presenti in corrispondenza dell'abitato di Sasso Marconi, per contenere lo scalzamento dei ponti della A1 e della SS64, e presso il ponte di Vizzano (loc. Palazzo Rossi). Si giunge quindi alla Chiusa di Casalecchio, importante opera idraulica storica che dal medioevo alimenta il canale di Reno, principale fonte di alimentazione della rete di canali urbani di Bologna e, tra l'altro, del Canale Navile.

Tra la Chiusa di Casalecchio e il ponte della SS9 Via Emilia (circa 6 km fino al ponte ferroviario della linea MI-BO poco a valle) si sviluppa il tratto pedecollinare del Reno, in un alveo morfologicamente ben definito con opere idrauliche quali la Chiusa stessa, difese spondali in muratura, in calcestruzzo o in gabbioni, e una briglia a difesa del ponte della Via Emilia. Tale tratto riveste particolare importanza idraulica, avendo funzione di raccordo fra il regime torrentizio del bacino montano e il regime fluviale del corso arginato di valle; esso è caratterizzato dalla presenza di opere idrauliche di III categoria.

All'altezza del ponte ferroviario linea MI-BO, iniziano gli argini continui di Reno, classificati di II categoria, che definiscono ampie fasce golenali nel tratto vallivo e che proseguono fino alla confluenza in mare. Questo tratto riceve i contributi degli affluenti dei bacini di valle, i cui principali sono: torrente Samoggia, Canale Navile e Canale Savena Abbandonato, Idice, Sillaro, Santerno, Senio.

Le caratteristiche morfologiche di tale tratto sono estremamente variabili risentendo delle diverse vicende storiche e idrauliche che, nel tempo, hanno determinato l'attuale assetto del fiume Reno.

In generale giova ricordare che fino a metà del '700 il Reno andava a confluire nel Po di Primaro subito a monte di Ferrara. In tale periodo, in prossimità della località Dosso, fu realizzato il cosiddetto Cavo Benedettino, attuale alveo del fiume, con lo scopo principale di ridurre il rischio di alluvionamento della città di Ferrara. Tale cavo segue in alcuni tratti il vecchio letto naturale del Po di Primaro.

Viste le persistenti problematiche di smaltimento delle piene attraverso il solo cavo Benedettino, fu poi scavato, a partire da un progetto di epoca napoleonica ma poi aggiornato e completato solo nel dopoguerra, il Cavo Napoleonico, che attualmente permette di scolmare parte delle acque di piena direttamente nell'alveo principale del Po.

Nel tratto vallivo i processi di sedimentazione prevalgono ampiamente rispetto a quelli erosivi, con fenomeni macroscopici di sovralluvionamento della fascia golenale, che non di rado è posta a quota nettamente superiore rispetto al piano campagna circostante.

Molto rilevante in quest'area è anche il fenomeno della subsidenza, particolarmente tra Casalecchio e la confluenza del Samoggia, con abbassamenti del terreno anche di circa 2 cm/anno (v. figura seguente).

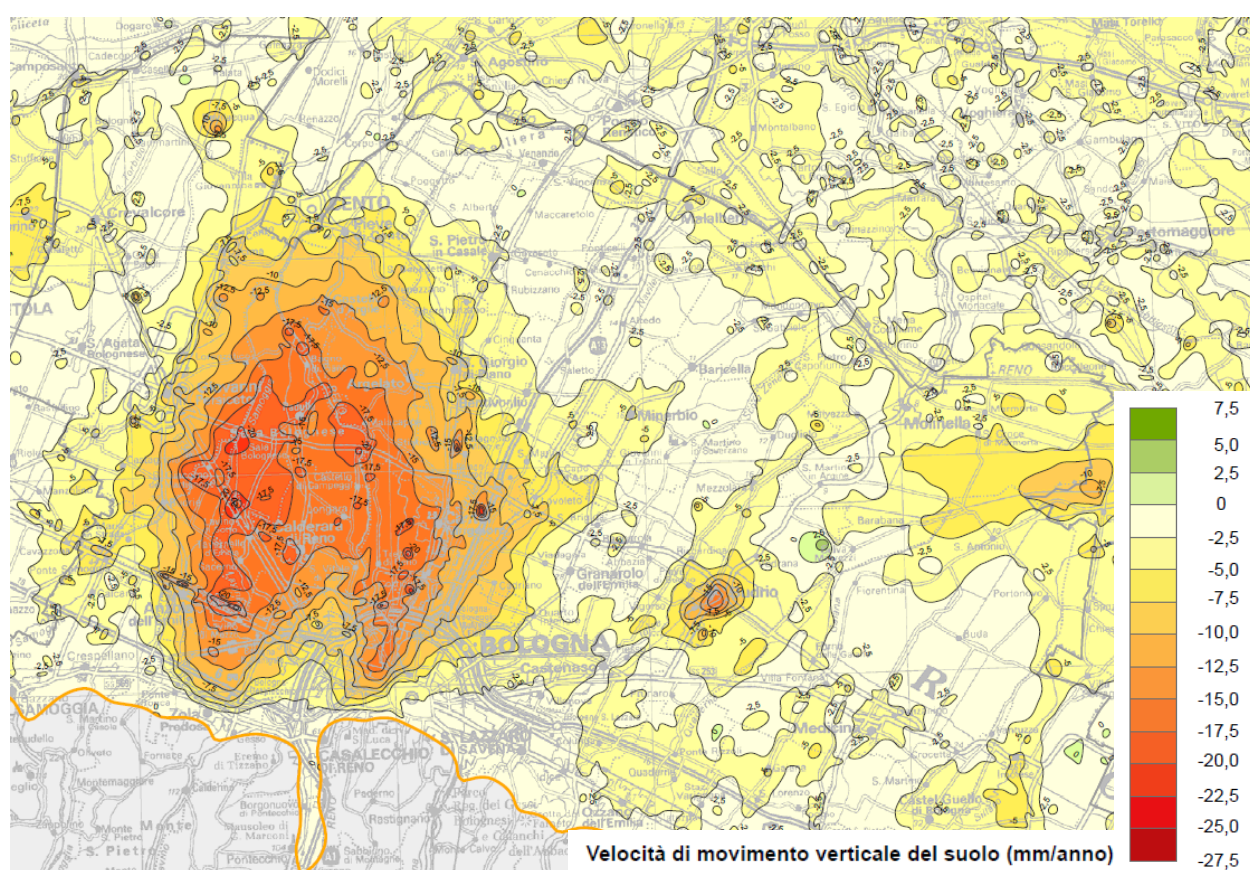


Fig. 1 – Velocità di movimento verticale del suolo (2016-2021); monitoraggio della subsidenza effettuato dalla Regione Emilia-Romagna.

Pur se tali valori sono molto ridotti rispetto agli originali picchi dell'ordine dei 10 cm/anno degli anni '90, il fenomeno di subsidenza differenziale provoca una progressiva riduzione dell'ufficiosità del corso d'acqua per abbassamento delle quote arginali e riduzione delle pendenze, oltre che una minore efficacia dell'effetto di laminazione ad opera delle casse di espansione secondo la geometria di progetto originaria.

Le analisi svolte nel presente studio tengono conto delle attuali quote effettive degli argini e del terreno, sia con riferimento al DTM che ai rilievi a terra utilizzati, in ragione delle modalità con cui essi sono stati

georiferiti e agganciati al sistema di riferimento delle quote assolute. L'effetto dei fenomeni di subsidenza sviluppatasi ad oggi sono quindi già presi in conto nei risultati ottenuti.

Gli argini di seconda categoria hanno origine a partire dal ponte ferroviario MI-BO; il primo tratto fino a Ponte Bagno, ovvero poco a monte di confluenza Samoggia, presenta andamento sinuoso ed ampie estensioni golenali, aventi una funzione modulatrice delle portate di piena, alternate a localizzate strette arginali (particolarmente tra Trebbo e Longara).

Per massimizzare tale effetto di riduzione dei colmi di piena, il preesistente PAI ha previsto in questo tratto la realizzazione di una serie di 5 casse di laminazione raffigurate in Fig. 2: Trebbo, Barleda, Bonconvento, Boschetto e Bagnetto a confluenza Samoggia. Di queste, allo stato attuale risultano realizzate, pur se ancora in fase di completamento, quelle di Bonconvento e Boschetto rispettivamente a monte e a valle dell'attraversamento della SP253bis, sui terrazzi destro e sinistro. Entrambe dovrebbero essere alimentate da sfioratori fissi a 28,5 m s.m.; esso risulta già realizzato per Boschetto (L=90 m), mentre per Bonconvento risultano realizzati i collettori di scarico ma non lo sfioro. Nel tratto più a valle (da Malacappa a Bagno di Piano) gli argini maestri sono arretrati rispetto all'alveo, per consentire la laminazione dell'idrogramma nelle aree golenali, anche grazie alla presenza di argini golenali in frodo.

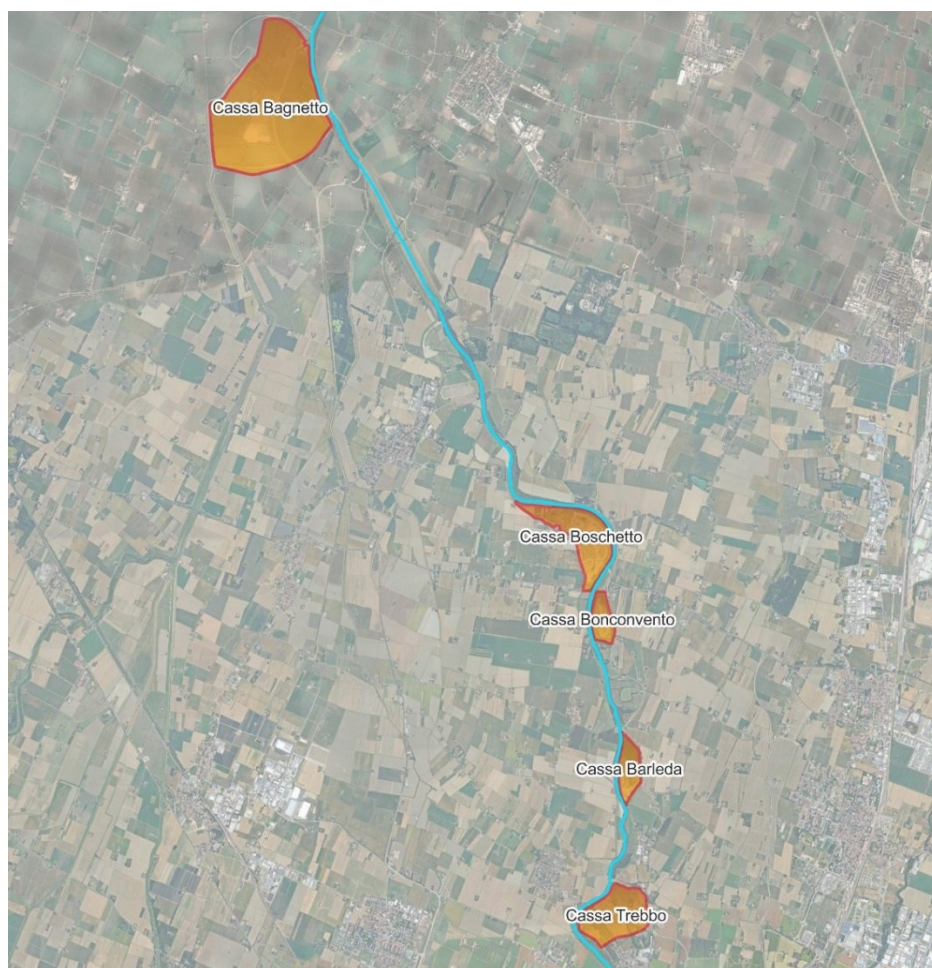


Fig. 2 – Ubicazione delle 5 casse previste dal PAI per il fiume Reno.

Da confluenza Samoggia fino all'incile del Cavo Napoleonico (poco a valle di loc. Dosso) l'alveo diventa rettificato e le aree golenali si riducono nettamente in termini di estensione laterale. L'altezza degli argini sul piano campagna cresce gradualmente fino a circa 12 m a fine tratto.

In corrispondenza di una netta curva verso destra (incile del Cavo Benedettino) si ha l'opera di presa del Cavo Napoleonico, costituita da una traversa di derivazione in sinistra con soglia sfiorante in calcestruzzo a quota 19,57 m s.m., sormontata da paratoie a settore che realizzano 3 luci rettangolari di dimensione

massima B x H = 17,0 x 3,0 m. Il nodo è completato da una traversa regolatrice in Reno, funzionale a un eventuale innalzamento del livello per incrementare la derivazione nel Cavo, dotata di 5 luci sezionabili da paratoie.

A valle dell'opera di derivazione sopra descritta ("opera Reno") si ha un breve tratto con aree golenali ampie fino al sifone del Canale Emiliano Romagnolo (circa 2 km), dopodiché la sezione d'alveo si riduce notevolmente, fino mediamente a 120-130 m, con argini che si mantengono molto elevati rispetto al piano campagna. Questo lungo tratto, fino al Ponte della Bastia, corrisponde al Cavo Benedettino e quindi è sostanzialmente artificiale, con sezione regolare e tracciato rettificato.

Degna di nota è la presenza del cosiddetto "sfioratore del Gallo", posto in sinistra Reno subito a monte del ponte della SS 64, in località Gallo. Si tratta di una soglia fissa, rivestita in gabbioni bitumati, posta circa a 1,0-1,5 m di altezza sotto la sommità arginale (quota soglia 18,35 m s.m.) e della larghezza di circa 80 m. Essa è stata realizzata nel punto in cui si verificarono rovinose rotte nel 1949 e nel 1951. Attraverso tale opera possono essere scolmate nella rete idraulica di bonifica ferrarese (Fossa Cembalina) eventuali picchi di piena non deviati nel Cavo Napoleonico.

A valle dello sfioro del Gallo si hanno in sponda sinistra le immissioni del Navile, del Savena Abbandonato, del Canale della Botte e dell'Idice, tutte regolabili da chiaviche prive di sistemi di pompaggio.

L'ultimo tratto che si sviluppa fino al mare è costituito dall'originario ramo del Po di Primaro, con alveo arginato che torna ad essere relativamente ampio. In questa porzione si hanno le confluenze in sponda sinistra di Idice, Sillaro, Santerno e Senio.

Il torrente Setta nasce da sorgenti poste sulle pendici orientali del Monte Scoperta, in prossimità dello spartiacque adriatico/tirrenico; la valle, che attraversa un'area tipicamente appenninica, talora a morfologia montana ma spesso più di tipo collinare, è fortemente incisa entro le formazioni Toscane, risultando quindi confinata lateralmente da versanti impostati su complessi arenaceo pelitici.

In relazione alla morfologia dell'asta torrentizia si riconosce un primo tratto, fino alla confluenza del torrente Brasimone, all'altezza dell'abitato di Ripoli, caratterizzato da un alveo a canale singolo, con una larghezza media di circa 10 m in aumento progressivo verso valle. Dalla confluenza col torrente Brasimone si assiste a un maggiore allargamento dell'alveo.

In termini di evoluzione del profilo di fondo, l'asta fluviale mostra inizialmente una certa tendenza al deposito, che si manifesta soprattutto a monte di briglie e traverse, mentre più a valle, fino a Vado, il profilo sembra in sostanziale equilibrio. L'assetto dell'alveo è stato significativamente condizionato dalla realizzazione della variante dell'autostrada A1, che si sviluppa lungo la valle del Setta dalla confluenza del torrente Gambellato fino all'immissione in Reno, e ha comportato modifiche della sezione d'alveo e la realizzazione di difese longitudinali in massi di cava e briglie in calcestruzzo, che contribuiscono alla stabilizzazione del fondo e alla mitigazione dei processi erosivi. Si rileva una rilevante riduzione della larghezza dell'alveo presso Gardeletta, che provoca un incremento localizzato della tendenza all'erosione.

A valle di Vado si osserva un ulteriore ampliamento del letto del Setta, che qui raggiunge il centinaio di metri di larghezza. In tale settore la tendenza alla deposizione e all'allargamento dell'alveo attivo (con fenomeni di erosione spondale), oltre che alla ramificazione, è particolarmente evidente.

Tale configurazione morfologica e tendenza alla divagazione laterale permane fino a confluenza Reno; a valle di Lama di Setta il profilo longitudinale è stabilizzato da 3 briglie e da una traversa nel tratto terminale poco a monte dell'impianto Hera, circa 1 km a monte della confluenza.

I comuni interessati dal presente progetto di variante sono: Alfonsine, Argelato, Argenta, Baricella, Bentivoglio, Bologna, Bondeno, Budrio, Calderara di Reno, Casalecchio di Reno, Castel Maggiore, Castello d'Argile, Castiglione dei Pepoli, Cento, Comacchio, Conselice, Crevalcore, Ferrara, Finale Emilia, Firenzuola, Fusignano, Galliera, Grizzana Morandi, Imola, Lugo, Malalbergo, Marzabotto, Medicina, Minerbio, Molinella, Monzuno, Pieve di Cento, Poggio Renatico, Portomaggiore, Ravenna, Sala Bolognese, San Benedetto Val di Sambro, San Giorgio di Piano, San Giovanni in Persiceto, San Pietro in Casale, Sant'Agata Bolognese, Sasso Marconi, Terre del Reno, Vergato.

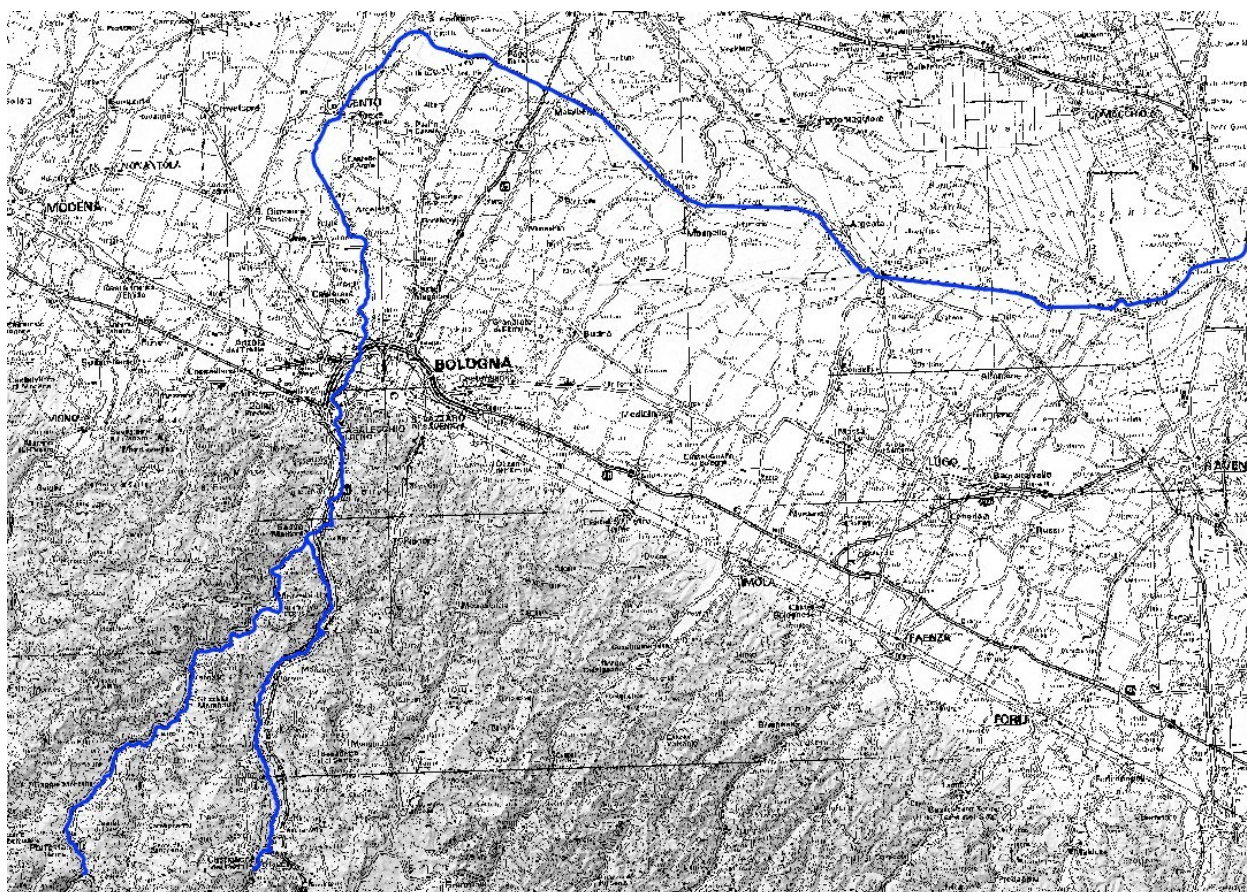


Fig. 3 – Inquadramento complessivo del tratto fluviale oggetto di studio

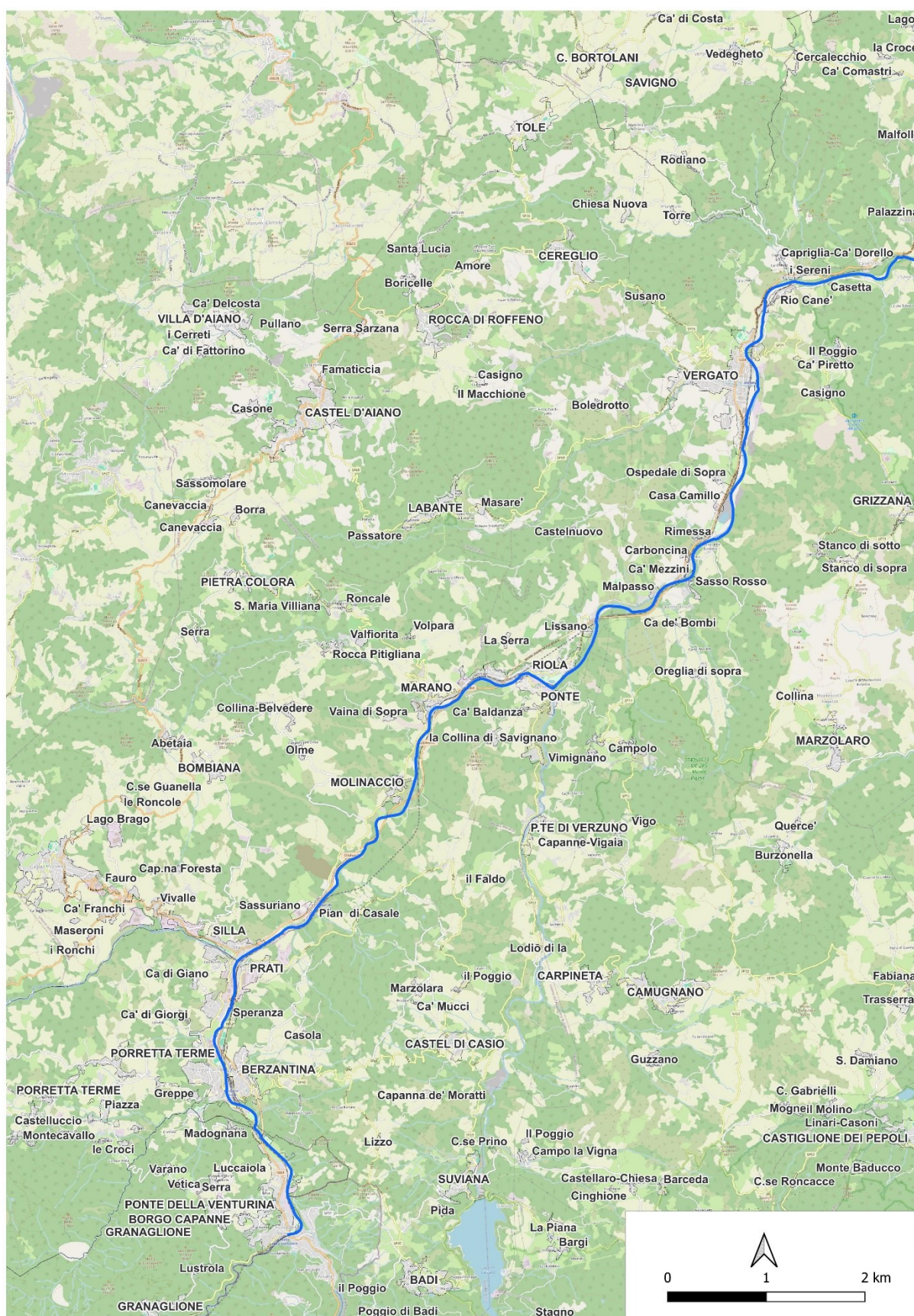


Fig. 4 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: da Ponte Venturina a Molinaccio

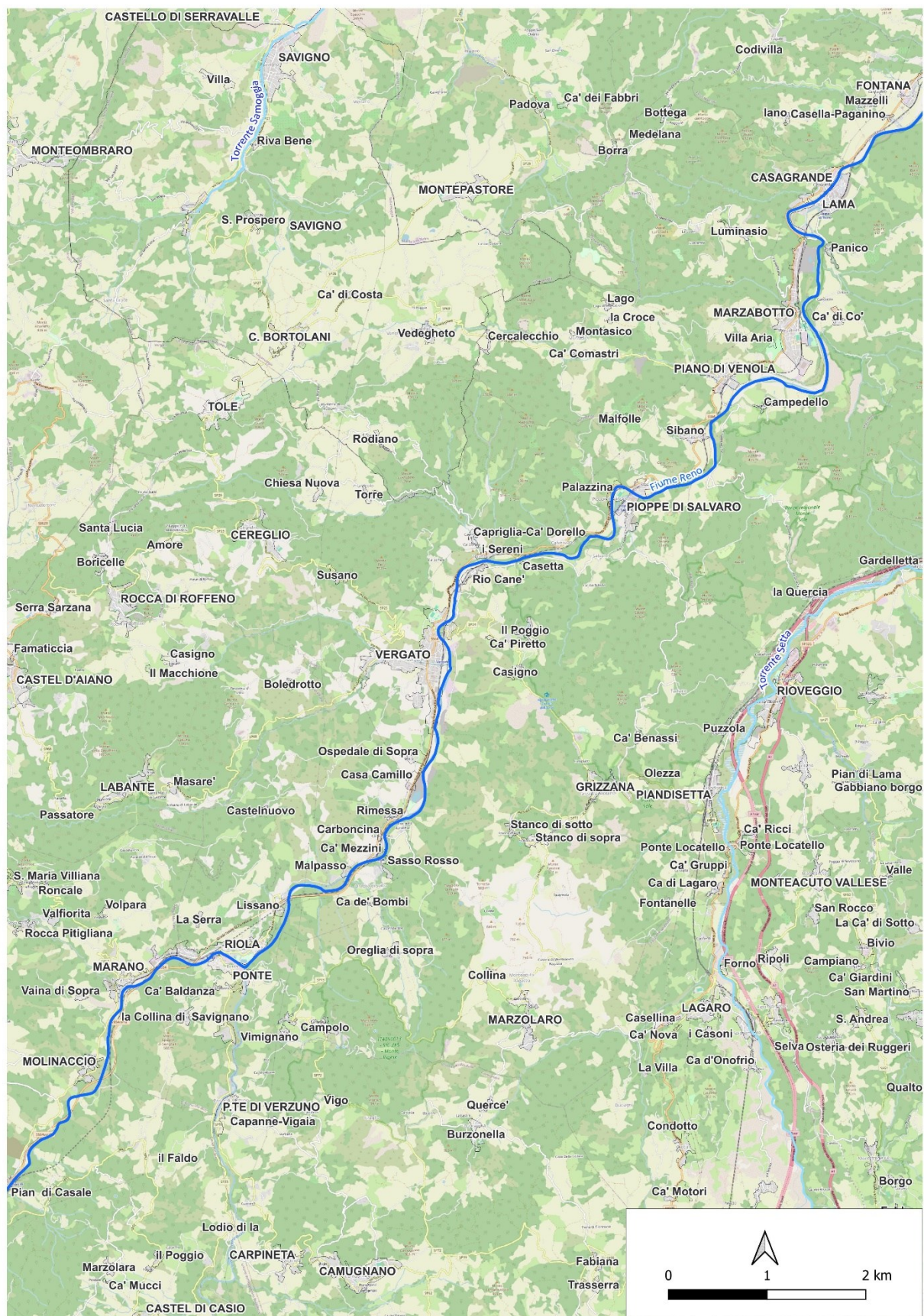


Fig. 5 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: da Molinaccio alla confluenza con il fiume Setta

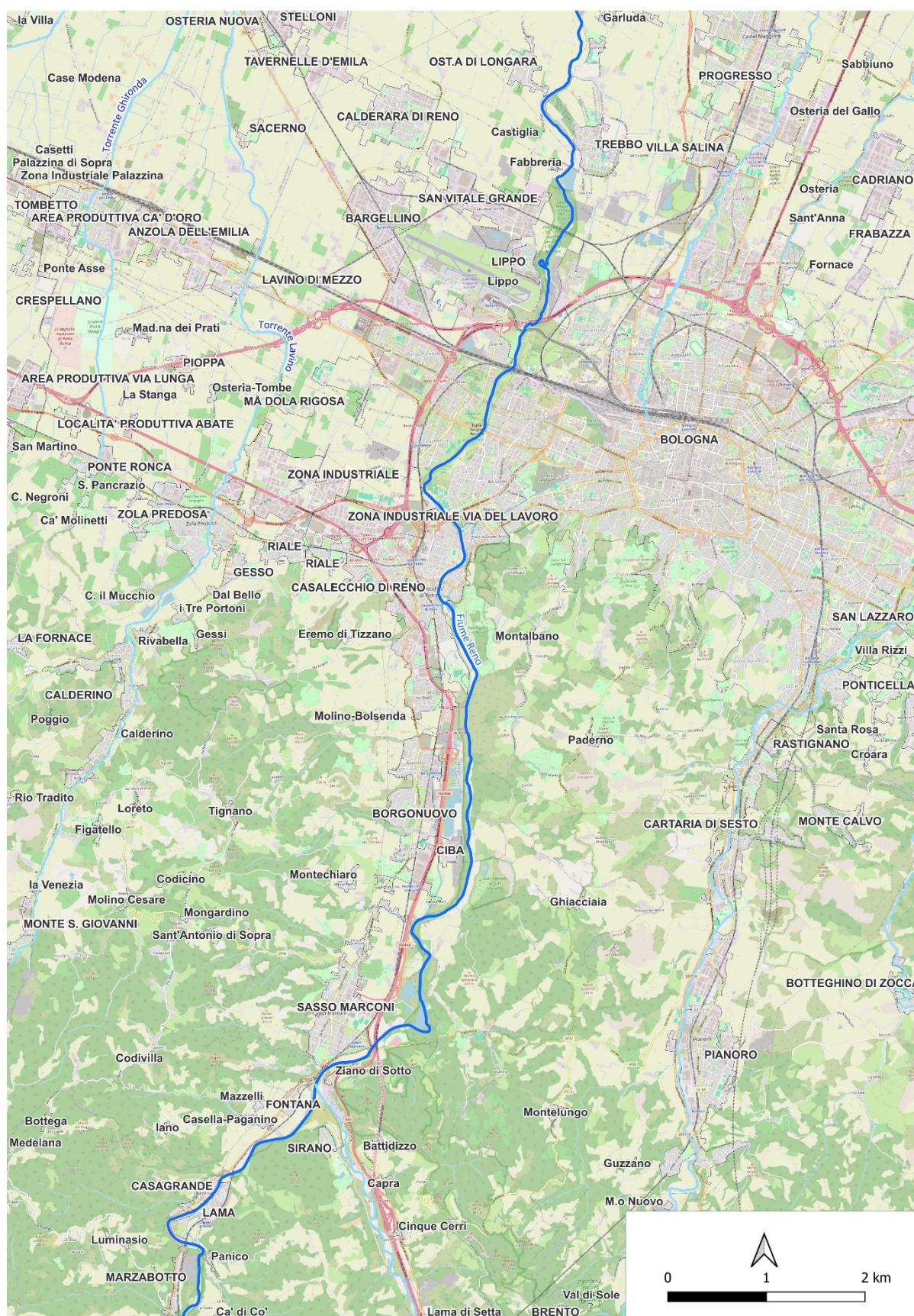


Fig. 6 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: dalla confluenza del fiume Setta a Trebbio

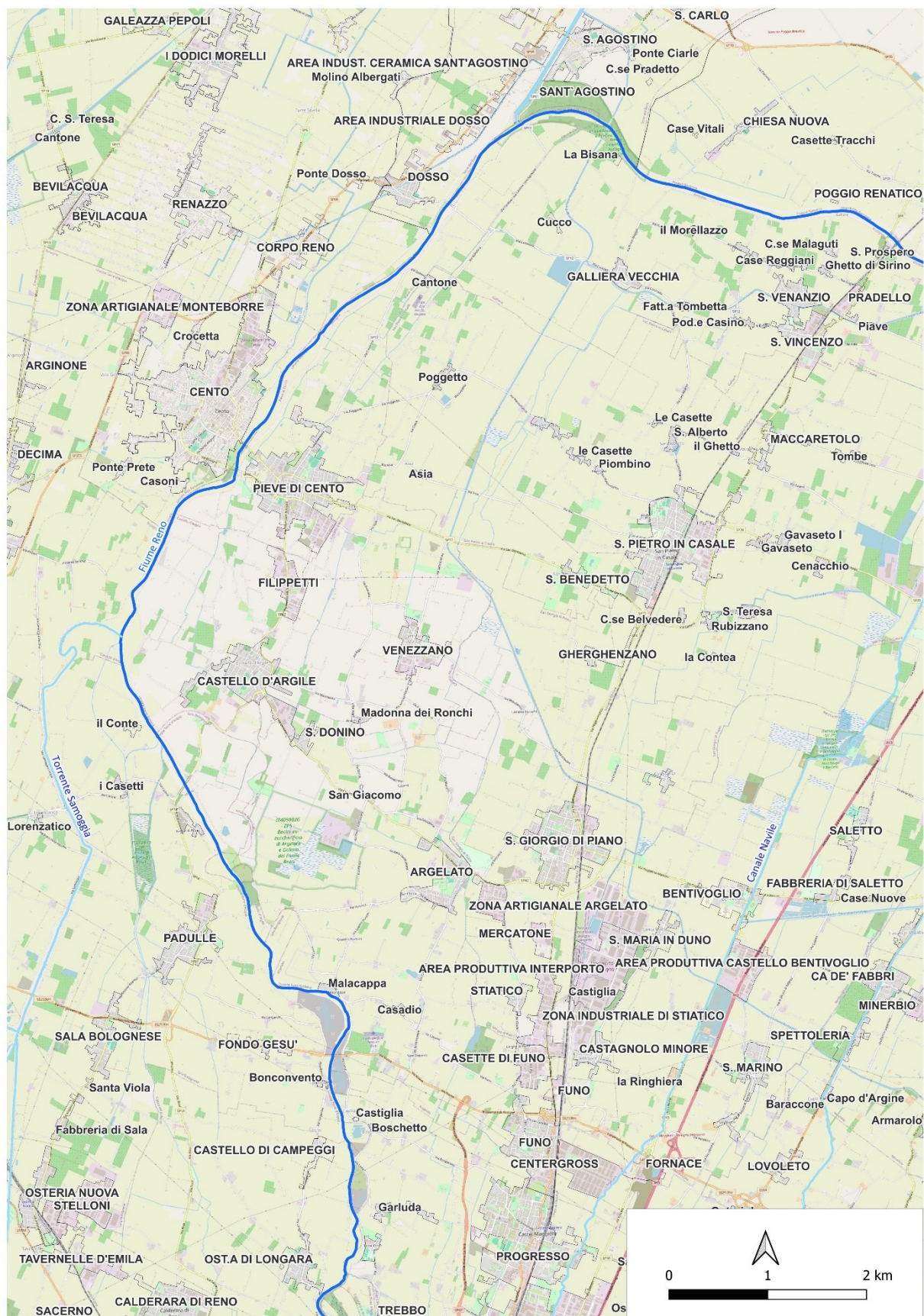


Fig. 7 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: da Trebbo al Cavo Napoleonico

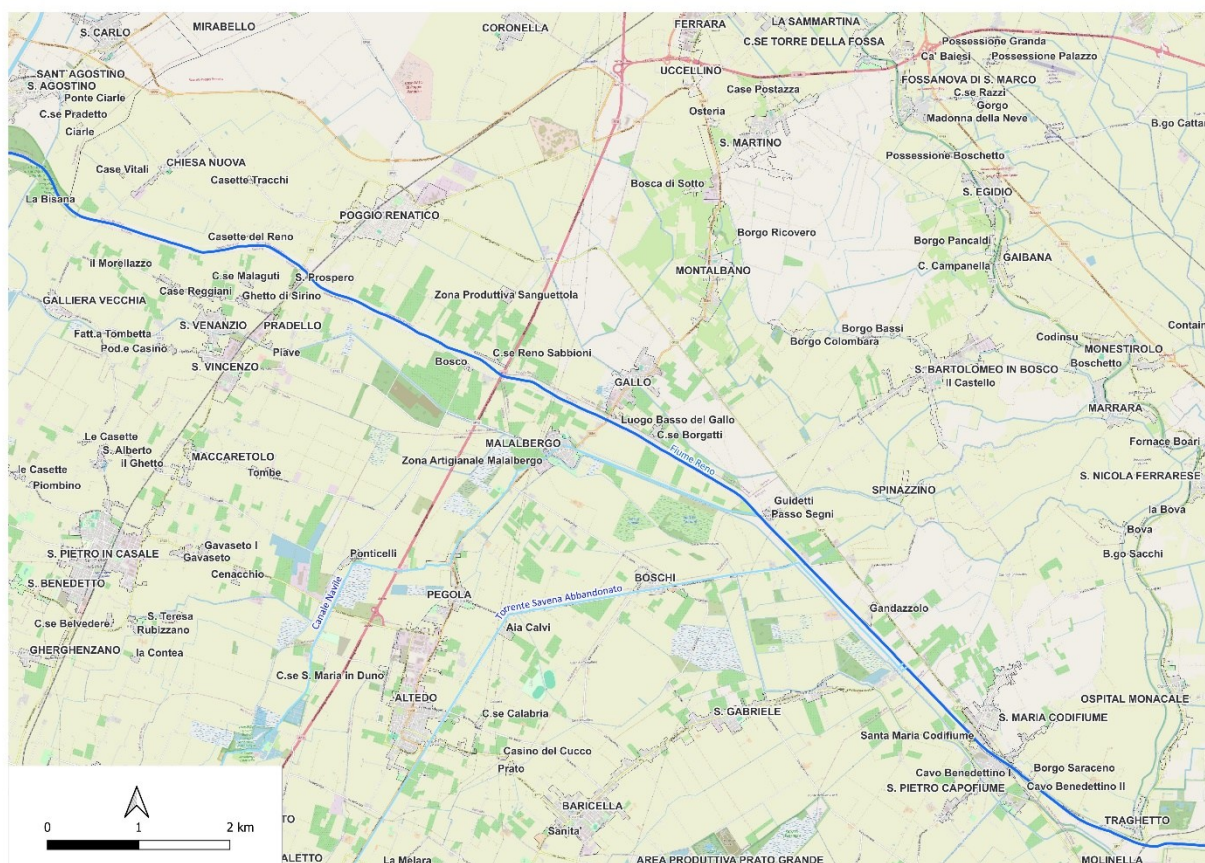


Fig. 8 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: dal Cavo Napoleonico a Traghetto



Fig. 9 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: da Traghetto alla confluenza con il fiume Santerno



Fig. 10 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Reno: dalla confluenza del fiume Santerno al mare

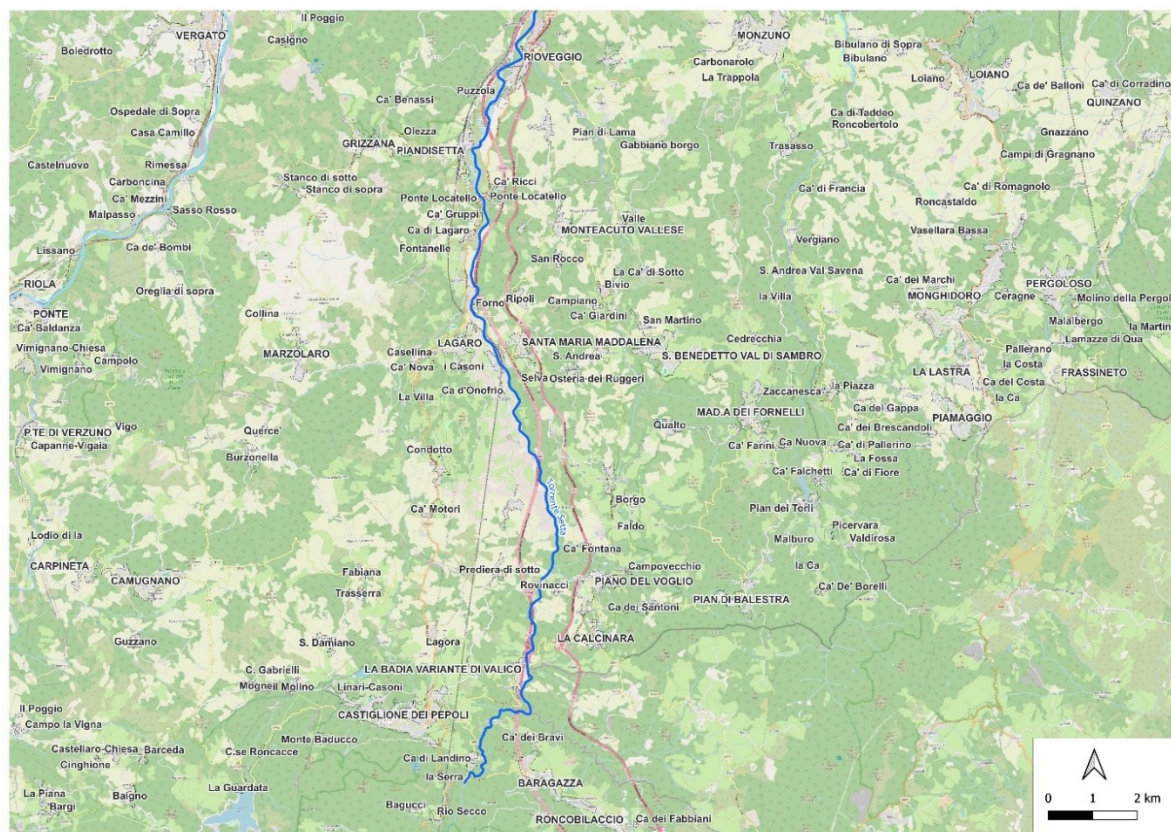


Fig. 11 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Setta: dalla località Ca' di Landino a Rioveggio

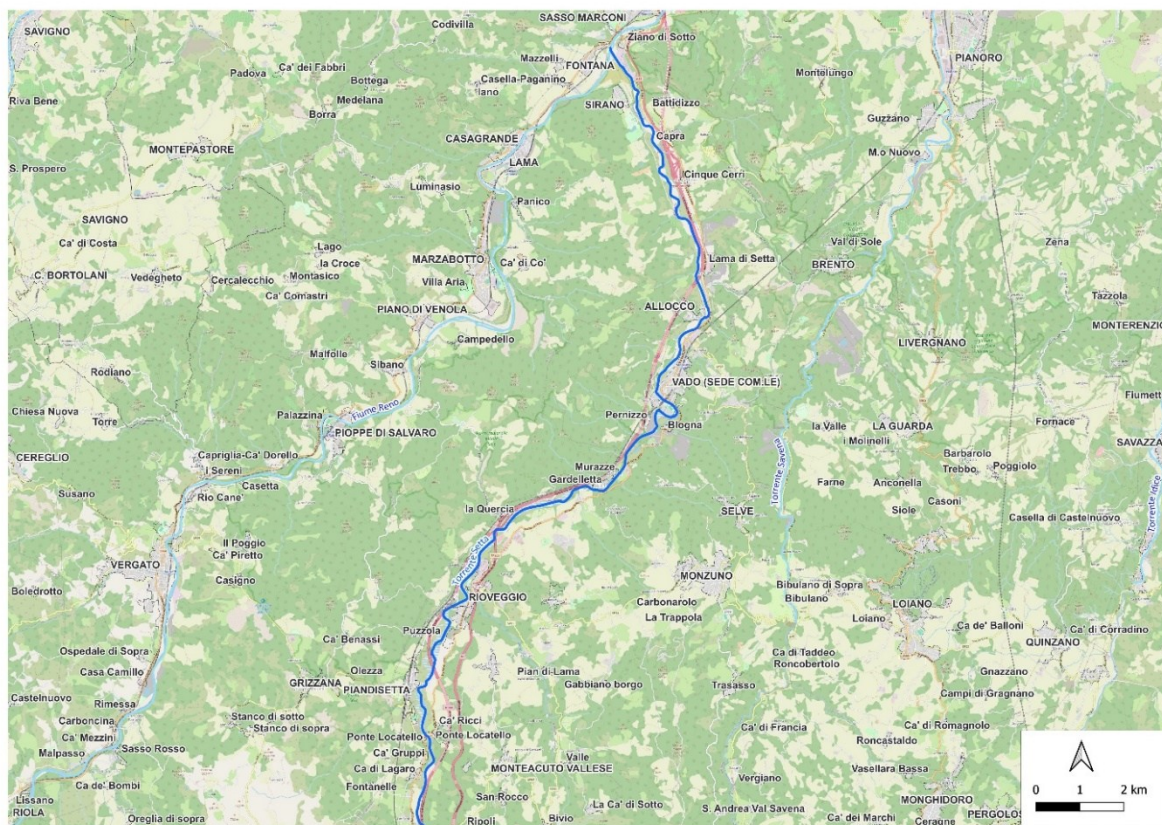


Fig. 12 – Inquadramento cartografico ambito di studio fiume Setta: da Rioveggio alla confluenza nel fiume Reno

3 Analisi morfologica

3.1 Fiume Reno

Il fiume Reno nasce nei pressi della Borgata di Prunetta, in comune di San Marcello Piteglio, provincia di Pistoia. Più precisamente si tratta di una serie di sorgenti che si sviluppano tra tale località, posta lungo lo spartiacque tirrenico-adriatico, e il versante orientale del monte Le Lari.

Da tale località, il fondovalle, scavato nelle formazioni argillitiche e flyschoidi dell'appennino bolognese, si allarga e risulta piuttosto antropizzato: storicamente rappresentava un'importante via di comunicazione e ospita ancora oggi per ampi tratti sia la SS64 Porrettana, sia la linea ferroviaria Bologna - Pistoia.

Il fiume Reno, in tutto il settore vallivo, presenta una notevole forza evolutiva che si concretizza prevalentemente nella tendenza all'allargamento dell'alveo attivo, e quindi del fondovalle, con conseguenti processi di erosione al piede dei versanti che, viste le caratteristiche geotecniche relativamente modeste dei complessi che costituiscono il substrato in tali aree, sono diffusamente sede di frane e dissesti di natura gravitativa in genere. Le opere di contenimento dell'alveo hanno quindi avuto il fine prioritario di difendere insediamenti e vie di comunicazione aventi sede nel fondovalle, e quello secondario di favorire la stabilizzazione dei versanti sovrastanti. Sono sicuramente stati attivi, soprattutto in passato, anche processi di erosione di fondo, ma allo stato attuale la tendenza alla divagazione laterale appare prevalente.

Per tali motivi nel tratto compreso tra Ponte della Venturina e Porretta Terme il profilo di fondo dell'alveo del Reno è fissato da una serie di briglie e traverse, ed è contenuto lateralmente da difese, sia in massi di cava sia, in particolare in corrispondenza degli insediamenti storici, in muratura. Si tratta per lo più di opere in buone condizioni di conservazione e non vi sono chiare evidenze di sponde in erosione, fenomeno di fatto impedito dal sistema difensivo. Questa condizione porta a ritenere di essere in presenza, in tale settore, di un corso d'acqua con una forza erosiva contenuta, tuttavia, in misura abbastanza efficace dagli interventi in alveo.

Nel tratto presso Molinaccio in linea generale emerge una maggiore tendenza all'erosione laterale, o quanto meno quest'ultima risulta più efficace, in un contesto caratterizzato da una densità di opere decisamente minore, sebbene le poche presenti mostrino spesso segni di dissesto, a cui possono essere associati collassi localizzati. Si segnala, in particolare, un'estesa frana presso tale località, parzialmente contenuta al piede da una difesa spondale, e problemi di erosione spondale presso Marano, che hanno richiesto la recente posa di una nuova difesa.

Da Marano verso valle, l'alveo ad andamento sinuoso si allarga notevolmente. Una serie di briglie in calcestruzzo, in buone condizioni di conservazione, fissa il profilo di fondo, determinando a monte un notevole accumulo di depositi di materiale ciottoloso/ghiaioso e rilevanti quantità di materiale flottante. Vi sono poi una serie di pennelli in muratura e in calcestruzzo in forte dissesto, parzialmente crollati e ormai scarsamente efficaci nel contenere l'erosione laterale.

In generale fino alla confluenza del torrente Setta, l'alveo, abbastanza incassato nel substrato terziario, risulta localmente confinato da difese longitudinali anche estese, ovviamente concentrate dove maggiore è la necessità di contenere i processi erosivi. Nei tratti in cui non sono presenti difese longitudinali, i tratti di sponda in erosione sono relativamente diffusi sia lungo le scarpate dei terrazzi alluvionali sia al piede dei versanti.

Nel tratto di fondovalle presso il centro abitato di Vergato l'alveo risulta confinato lateralmente da estese difese longitudinali in muratura e in gabbioni.

Nella zona di Pian Venola – Marzabotto è evidente sia la riduzione laterale dell'alveo storico, soprattutto in sponda sinistra, con conseguente tendenza all'arretramento della sponda attuale, sia l'erosione del piede del versante in sponda destra, alla quale sono verosimilmente collegati i sovrastanti intensi dissesti di natura gravitativa. Per altro la netta riduzione della sezione dell'alveo attivo è sostanzialmente una

costante di tutto il settore compreso tra Marzabotto e l'inizio del settore arginato, con l'esclusione, si intende, degli attraversamenti dei nuclei abitati storici.

Anche nell'attraversamento dell'abitato di Lama di Reno, poco a monte della confluenza del Setta, l'alveo appare diffusamente fissato da difese spondali e si evidenzia un'analoga riduzione della sezione dell'alveo storico, ora in parte occupato da aree urbanizzate in prossimità delle sponde.

Il tratto compreso tra la confluenza del torrente Setta e l'inizio del tratto arginato, che ha origine subito a valle della via Emilia, è caratterizzato da un lato dalla presenza di alcune briglie, alternate a traverse, tra cui quella storica di Casalecchio, dall'altro da una serie discontinua di opere di difesa spondale, poste a seconda dei casi a protezione delle aree urbanizzate, dei principali attraversamenti ovvero di una serie di siti estrattivi, in gran parte non più attivi o trasformati in impianti di lavorazione inerti.

In effetti, l'attività estrattiva è stata molto diffusa in questo tratto pedecollinare e di alta pianura, e ne sono testimonianza i vari laghi di cava, come quello del Maglio, o i numerosi siti di lavorazione inerti più a valle; a partire dagli anni '50 presso Bologna l'attività di estrazione di inerti si è prevalentemente sviluppata nelle immediate vicinanze dell'area metropolitana, in un contesto ambientale a connotazione essenzialmente agricola, che si è progressivamente modificato, trasformandosi in un territorio fittamente urbanizzato.

Il reperimento di ghiaie e sabbie, svoltosi in una prima fase nell'alveo del Reno, è poi stato spostato nelle aree adiacenti, per i ben noti problemi legati all'influenza di tali attività sull'evoluzione geomorfologica dell'alveo stesso. Proprio alla mitigazione di tali attività estrattive è legata la presenza delle numerose briglie posizionate lungo l'alveo, sebbene il ciclo erosivo con abbassamento del profilo di fondo sia ora in fase di esaurimento e sia da aspettarsi, piuttosto, nel futuro, una maggiore tendenza alla divagazione laterale dell'asta fluviale.

Da rilevare, anche in questo settore, come già anticipato più sopra, la notevole riduzione della sezione dell'alveo storico con evidenti conseguenze sia sulla stabilità delle sponde, sia sulla capacità di contenere le acque di piena. In tale settore l'abbandono, per altro corretto, delle attività estrattive in alveo ha probabilmente favorito la tendenza alla deposizione e quindi al parziale recupero del profilo di fondo originale.

Da notare che non pochi dei laghi di cava abbandonati ricadono all'interno di quello che era l'alveo attivo tra fine '800 e inizio '900. In particolare, dall'analisi delle variazioni del tracciato dell'alveo nel tratto pedecollinare a valle di Sasso Marconi è emerso non solo che il corso d'acqua in epoca storica presentava un alveo molto più esteso soprattutto in sponda sinistra, ma che tali aree sono oggi occupate dai siti estrattivi dismessi dei Laghi del Maglio e dai terrazzi su cui corre la SS Porrettana. Anche per tali motivi, e quindi non solo per preservare infrastrutture e aree urbanizzate, in tale settore diventa problematico ipotizzare anche solo un parziale recupero della fascia di divagazione originale.

Proseguendo verso valle si arriva all'attraversamento di Casalecchio. Qui fondamentale è la così detta Chiusa di Casalecchio, importante opera idraulica storica che alimenta il canale di Reno dal medioevo. Potrebbe essere dall'anno mille, ma notizie certe si hanno solo a partire dal 1360, ovvero da quando a seguito di uno dei vari rifacimenti detta traversa ha assunto la posizione che occupa tuttora (pare che in origine fosse stata realizzata alcune centinaia di metri più a valle).

Come noto, il canale di Reno è la principale fonte di alimentazione della rete di canali urbani di Bologna e, tra l'altro, alimenta il canale Navile. Tale infrastruttura idraulica è stata infatti fondamentale per garantire lo sviluppo economico-sociale di Bologna a partire dal medioevo fino alla fine del diciannovesimo secolo, quando il trasporto via acqua ha perso di rilevanza a seguito della realizzazione della rete ferroviaria.

Si ricorda che il primo tratto del canale Navile, dalla Bova fino a Castel Maggiore, si sviluppa all'interno di una valle terrazzata, mantenendo un tracciato sostanzialmente naturale e parzialmente incassato fino a poco a valle del ponte della SS 253bis. L'origine di tale valle è incerta ma in effetti è stato ipotizzato che potrebbe trattarsi di un vecchio alveo del Reno, che secondo alcuni in epoca tardo imperiale *“oltrepassato il ponte sulla via Emilia, [...] passava per Pescarola, riceveva a destra come affluente il Torrente Savena, passava per Corticella, Castelmaggiore, Stiatico, San Giorgio di Piano, San Pietro in Casale, San*

Vincenzo/San Venanzio, Poggio Renatico, Coronella, immettendosi in un ramo del Po che passava ad occidente di Ferrara" (fonte: <https://www.originebologna.com/viedacqua/fiume-reno/>). In sostanza l'alveo di "questo" Reno seguiva sostanzialmente quello dell'attuale Navile. Altro fattore che avvalorerebbe tale ipotesi è il fatto che proprio verso la fine del 1100 fu realizzata la suddetta traversa di Casalecchio di Reno.

A tal proposito, si ricorda che il Navile raccoglie attualmente anche le acque del torrente Aposa, che scende dalle colline a sud di Bologna, e parzialmente le acque del torrente Savena, derivate dalla chiusa di San Ruffino e addotte tramite l'omonimo canale di Savena.

È più probabile, tuttavia, considerata anche la relativamente scarsa ampiezza della sezione valliva terrazzata dove è collocato il Navile, che il primo tratto di canale si sviluppi lungo la valle abbandonata del torrente Aposa. Comunque, le due ipotesi sopra formulate non sono necessariamente alternative, nel senso che lungo il tracciato del Navile possono essere transitati, in periodi diversi sia il Reno che il torrente Aposa.

Da Casalecchio di Reno, il grado di artificialità del fiume Reno aumenta progressivamente, con presenza di numerosi attraversamenti e opere di regimazione di controllo del fondo alveo a monte e a valle degli stessi.

In questo tratto l'area golenale è poco estesa e soprattutto, anche in questo settore si è avuto nel '900 una sensibilissima riduzione della sezione di deflusso, tanto che alcuni caseggiati nei pressi della via Emilia si sono espansi all'interno dei limiti dell'alveo ottocentesco.

Presso il ponte della via Emilia, è in fase di realizzazione una soglia, sebbene, almeno in apparenza, non si abbiano evidenze di una forte tendenza all'abbassamento del profilo di fondo. Qui vi è un allargamento dell'area golenale soprattutto in sponda sinistra, costituita di fatto da un parco pubblico occasionalmente inondato durante le piene. A confinare lateralmente il corso d'acqua, estese difese in muratura e in gabbionate in buone condizioni che separano la golena stessa dalle retrostanti abitazioni/aree pubbliche.

In corrispondenza del successivo ponte ferroviario vi è un'ulteriore briglia con formazione di un salto relativamente elevato. Si tratta di fatto dell'ultima opera trasversale, ad eccezione delle due presenti in corrispondenza del nodo idraulico di immissione nel Cavo Napoleonico.

Subito a valle del ponte ferroviario inizia il tratto arginato, ovvero in destra direttamente dalla spalla del ponte, in sinistra poco più a valle.

Il tratto di pianura dell'alveo del Reno ha storicamente avuto un'evoluzione complessa, in parte nota con una certa precisione, con particolare riferimento al periodo che va dal medioevo, in parte deducibile, con notevoli incertezze, dalla ricostruzione delle tracce, ancora visibili sul territorio, dei presumibili alvei abbandonati.

In effetti, fino al '700 il Reno andava a confluire nel Po di Primaro subito a monte di Ferrara. In corrispondenza dell'evidente gomito da cui si stacca ora il cavo Napoleonico, fu realizzato, sotto il pontificato di Benedetto XIV, il così detto cavo Benedettino, con lo scopo tra l'altro di ridurre il rischio di alluvionamento della città di Ferrara. Tale cavo, che attualmente costituisce l'alveo effettivo del Reno, è stato realizzato verso la metà del '700, seguendo per altro in alcuni tratti il vecchio letto naturale del Po di Primaro. Considerato comunque che persistevano delle problematiche per lo smaltimento delle piene attraverso il solo cavo Benedettino, fu scavato, a partire da un progetto di epoca napoleonica ma poi aggiornato e completato solo nel dopoguerra, il Cavo Napoleonico che attualmente permette di scolmare parte delle acque di piena direttamente nell'alveo principale del Po.

Probabilmente prima dell'anno mille il Reno mostrava una tendenza a divagare lungo la sua conoide tanto che, come si è visto sopra, secondo alcune ipotesi, su un suo alveo abbandonato potrebbe essere stato impostato l'attuale Navile. Dalla seconda metà dell'800 il tracciato dell'alveo e il sistema arginale ad esso associato appare tuttavia stabile, salvo qualche limitato intervento di rettificazione nel tratto subito a monte della confluenza del Samoggia.

Nel settore tra la via Emilia e la confluenza del Samoggia si ha una fascia golenale relativamente ampia, quanto meno fino alla località Bagno di Piano, a cui è associata, solo localmente, la presenza di argini

golenali a protezione di singoli fabbricati, aree agricole, cave e piccole borgate. Si segnala, subito a valle del ponte della SS 253bis una cava, ancora attiva, in trasformazione in area di laminazione. Nei pressi, ma in destra a monte del ponte della SS 253bis, è presente una seconda limitata area di laminazione, anch'essa verosimilmente derivante da una pregressa area estrattiva.

A partire da Bagno di Piano l'alveo diventa rettificato e le aree golenali si riducono nettamente in termini di estensione laterale; in effetti a partire da tale settore gli argini corrono relativamente a ridosso rispetto all'alveo attivo, ma i tratti in frodo sono rari; in generale non sono state osservate chiare evidenze di problemi di scalzamento, e probabilmente per tale ragione le opere di difesa sono rare (ma quelle spondali possono sfuggire facilmente al censimento in quanto nascoste dalla vegetazione).

L'analisi tramite fotointerpretazione e attraverso l'esame della cartografia ottocentesca suggerisce, tuttavia, che in origine l'alveo del Reno fosse a meandri, conformazione sicuramente più coerente con il contesto di bassa pianura.

La diversione verso il cavo Napoleonico è regolata da due traverse. Poco più a valle in corrispondenza dell'attraversamento in sifone del Canale Emiliano Romagnolo (CER), è posta una evidente soglia con un salto di circa 1 m.

Nel sito della diversione del Cavo Napoleonico l'alveo del Reno descrive un evidente gomito, in corrispondenza del quale a suo tempo è stato realizzato l'innesto del così detto cavo Benedettino. L'alveo del Reno settecentesco, tuttora in parte riconoscibile da fotointerpretazione, seguiva un tracciato spostato più ad Est rispetto al Cavo Napoleonico, seguendo l'allineamento degli attuali abitati di Sant'Agostino, San Carlo, Mirabello e Vigarano Mainarda per poi confluire nel vecchio alveo del Po di Primaro subito a monte di Ferrara. Per altro l'analisi tramite fotointerpretazione ha permesso di individuare una serie di potenziali paleoalvei che si aprivano a ventaglio tra l'attuale Cavo Napoleonico e Argenta. L'impressione è che proprio Cento fosse l'apice di una conoide a valle della quale l'alveo "naturale" del Reno divagava fino a raggiungere il Po di Primaro e/o la fascia di paludi ad esso collegate.

Il tratto di Reno corrispondente al cavo Benedettino è di fatto artificiale e pertanto monotono; il tracciato è rettificato senza difese di sponda od opere trasversali. In tale settore riveste tuttavia notevole rilevanza nella gestione idraulica delle piene lo sfioratore/scolmatore dal Reno verso la fossa Cembalina, in sponda sinistra, subito a monte del ponte della SS 64, in località Gallo. Tale sfioratore, detto per l'appunto del Gallo, è stato realizzato nel punto in cui si verificarono rovinose rotte nel 1949 e nel 1951. Attraverso tale opera possono essere scolmate nella rete idraulica di bonifica ferrarese eventuali picchi di piena non deviati nel Cavo Napoleonico.

In questo settore l'immissione del Navile, del Savena Abbandonato, del Canale della Botte e dell'Idice sono regolate da chiaviche prive di sistemi di pompaggio.

A conclusione dell'analisi geomorfologica di quest'ultimo tratto si osserva che l'alveo del Reno a valle della confluenza Samoggia appare stabile, senza tendenze significative alla divagazione e tanto meno vi sono evidenze al ritorno della conformazione naturale, probabilmente almeno in parte a meandri. Resta il fatto che l'analisi suggerisce che l'attuale assetto idromorfologico sia molto diverso da quello originale, e se dal punto di vista planimetrico complessivamente non risultano difficoltà particolari a mantenere l'attuale assetto, per contro il sovralluvionamento delle golene costituisce un problema potenzialmente molto rilevante, che in condizioni di alveo "libero" si traduceva in un lento e relativamente omogeneo sovralluvionamento della probabilmente molto vasta fascia di divagazione, ma che nell'assetto odierno si concretizza nella formazione di golene sospese e via via sempre più sopraelevate rispetto al piano campagna circostante. In prospettiva potrebbe pertanto essere sempre più complesso contenere l'alveo nella fascia arginata, anche perché è impensabile, innanzitutto per ragioni socioeconomiche, recuperare anche solo parzialmente la mobilità originale.

In relazione alla qualità morfologica l'asta del fiume Reno fino a confluenza con il torrente Idice è caratterizzata nel complesso da un giudizio IQM "Buono"; il valore rappresentativo (0,75) è calcolato come media pesata dei giudizi del singolo tratto rispetto alla lunghezza complessiva del corso d'acqua oggetto di analisi.

La parte di monte del corso d'acqua sino all'intersezione con l'autostrada A14 presenta una classificazione associata con continuità ad un giudizio "Moderato o Sufficiente". Fanno eccezione tre tratti, che superano di poco il limite inferiore per la classificazione come "Buono", i quali presentano generalmente una maggiore significatività della fascia perifluviale.

A valle dell'autostrada A14, sino alla confluenza con il torrente Idice, il corso d'acqua presenta un giudizio associato all'indice IQM generalmente pari a "Buono", con saltuaria presenza di tratti classificati come "Elevato", principalmente nelle zone ove gli argini si distanziano maggiormente dal corso d'acqua, generando un'area a tergo del corso d'acqua significativa come caratteristiche di naturalità.

Tale giudizio può apparire non coerente con l'effettiva evoluzione storica del Reno, in particolare per il tratto di pianura dove l'impressione è che l'IQM sia troppo elevato; a tale proposito va tuttavia considerato che il settore arginato è sostanzialmente privo di opere in alveo ed è dotato comunque di una fascia di vegetazione riparia continua, al contrario del tratto montano, il che alza indubbiamente il punteggio. Per altro il metodo IQM non andrebbe applicato ai corsi d'acqua artificiali, quale in effetti appare, per molti aspetti, il settore mediano del Reno; nel caso specifico si riporta comunque per completezza, sebbene a valle della confluenza Samoggia non vi siano probabilmente le condizioni per l'utilizzo del metodo IQM e pertanto, anche in tal senso, i risultati vanno interpretati criticamente.

A livello di distribuzione percentuale, sulla parte di corso d'acqua analizzato, dei tratti per classi di giudizio dell'indice IQM, il corpo idrico risulta classificato come "Elevato" per il 9%, "Buono per il 56% e "Moderato o Sufficiente" per il 35%.

La metodologia Dem of Difference di confronto dei DTM RER 2024 e DTM 2009 MATTM sull'intero tratto di studio (intervallo temporale di 15 anni), non ha fornito in generale risultati significativi, per lo più per la modesta ampiezza della sezione unita ad una non perfetta sovrapposizione dei DTM di riferimento. Inoltre, nel caso specifico non è stata applicata nell'area montana in quanto tale porzione di territorio risulta coperta dal DTM MATTM 2009 - 2014 ma non dal più recente DTM 2024, se non a partire all'incirca dal casello della A1 di Sasso Marconi verso valle.

Tuttavia, in alcuni punti specifici, dove l'alveo è abbastanza ampio, quindi, nel settore tra Sasso Marconi e l'inizio del tratto arginato, l'analisi mostra una certa utilità, permettendo di confermare tendenze evolutive per altro in parte già ipotizzate in sede di sopralluogo.

Nella prima di queste si evidenzia un probabile intervento di pulizia a monte della traversa di Casalecchio, con approfondimento dell'alveo a tergo dello sbarramento o in alternativa rappresenta più banalmente livelli idrici diversi nell'invaso in occasione dei rilievi del DTM.

Il tratto terminale del fiume Reno, dalla confluenza in destra idrografica del torrente Idice a foce mare Adriatico, ha subito numerose modificazioni nel tracciato in epoca storica, precedentemente descritte.

L'assetto attuale del corso d'acqua è caratterizzato da un sistema arginale classificato, continuo lungo entrambe le sponde, con rilevati arginali che raggiungono la quota di circa 6 m in sommità rispetto al piano campagna, con tratti rinforzati, sempre lato campagna, fino a 3 banche.

A partire da tale settore l'alveo diventa rettificato e le aree golenali si riducono nettamente in termini di estensione laterale; gli argini corrono relativamente a ridosso rispetto all'alveo attivo, ma i tratti in frodo sono rari. I processi di sedimentazione prevalgono ampiamente rispetto a quelli erosivi, con fenomeni di deposito nella pur limitata fascia golenale, che non di rado è posta a quota nettamente superiore rispetto al piano campagna circostante.

In generale non sono state osservate chiare evidenze di problemi di scalzamento, e probabilmente per tale ragione le opere di difesa sono rare (in prossimità degli attraversamenti) o nascoste dalla vegetazione al momento del censimento.

Per contro l'aggradazione delle golene costituisce un problema potenzialmente molto rilevante, che nell'assetto odierno si concretizza nella formazione di golene sospese e via via sempre più sopraelevate rispetto al piano campagna circostante, mettendo a rischio il contenimento dei livelli idrici dei colmi di piena.

Oltre al sistema arginale l'opera idraulica più importante del tratto terminale del Reno è la traversa mobile di Volta Scirocco (5 luci da 18 m), all'altezza di una vecchia ansa del Po di Primaro, tra l'abitato di Sant'Alberto e la strada statale SS 309 Romea, ad una distanza di circa 9 km dalla foce in Adriatico, che consente di trattenere e derivare le acque dal fiume Reno per gravità in un canale artificiale verso Ravenna per uso irriguo, industriale e per la produzione d'acqua potabile (nuovo impianto di depurazione e di trattamento di Ravenna).

In relazione alla qualità morfologica il corso terminale del fiume Reno, da confluenza Idice a foce mare Adriatico, è caratterizzato da un giudizio IQM "Moderato o Sufficiente", per tutti i tratti omogenei individuati. In realtà in questo settore il metodo IQM non andrebbe applicato ai corsi d'acqua artificiali, quale in effetti appare, per molti aspetti, anche il settore terminale del Reno; nel caso specifico si è proceduto comunque per completare l'analisi fino a foce mare, sebbene non vi siano probabilmente le condizioni per l'utilizzo del metodo IQM e pertanto i risultati ottenuti devono essere interpretati criticamente. Il peggioramento del giudizio rispetto al tratto di monte è sicuramente condizionato dalla presenza di arginature continue lungo entrambe le sponde, scarsa presenza di vegetazione ripariale e sempre più ristretti piani golenali all'interno del sistema arginale.

3.2 Torrente Setta

Il torrente Setta nasce da sorgenti poste sulle pendici orientali del Monte Scoperta, in prossimità dello spartiacque adriatico/tirrenico, che dal punto di vista amministrativo ricade in territorio toscano.

Nel tratto montano, il Setta scorre in un'area tipicamente appenninica, all'interno di una valle fortemente incisa entro formazioni appartenenti alle Unità Toscane, risultando quindi confinato lateralmente dai versanti impostati su complessi flyschoidi.

Il bacino è caratterizzato da forti pendenze, substrati geologici facilmente erodibili e alta vulnerabilità idrogeologica, condizione che predispone a un elevato trasporto solido, con conseguenze sulle opere di difesa e sulle infrastrutture. Lo sviluppo del corso d'acqua è a canale singolo nel tratto iniziale, con una larghezza media di circa 8 m in aumento progressivo verso valle.

Il confinamento e la modesta larghezza, oltre che una limitata antropizzazione dei versanti, fatta salva la presenza dell'autostrada A1 che segue la valle del Setta dalla confluenza del torrente Gambellato fino all'immissione in Reno, fanno sì che in tale settore siano state realizzate difese longitudinali solo in settori localizzati, spesso destinate a favorire la stabilizzazione dei versanti in frana, associate, allo stesso scopo, a una serie di briglie, con l'obiettivo di controllare l'erosione di fondo. Un tratto piuttosto esteso oggetto di sistemazione con tali criteri si trova poco a valle del ponte della SP8 a protezione del versante sottostante Ca' di Landino.

L'erosione spondale si manifesta in modo più evidente nel tratto adiacente alla stazione di servizio "Badia" a spese delle brecce argillose eoceniche, solo in parte impedita da difese longitudinali che qui si presentano più diffusamente, soprattutto a protezione delle pile dei viadotti. I processi di erosione spondale favoriscono l'innescò di dissesti gravitativi lungo i versanti, ampliamenti presenti lungo tutto il corso del Setta, sia pure in modo disomogeneo.

Il tasso di arretramento annuo della riva destra invece, non protetta da difese di sponda, si attesta tra 1 e 2 metri, come evidenziato dall'analisi delle tendenze evolutive.

In termini di evoluzione del profilo di fondo, l'asta fluviale presenta qui una tendenza per lo più al deposito, che si manifesta soprattutto a monte di briglie e traverse, come presso la traversa ormai dismessa di Cà d'Onofrio. Più a valle, il profilo di fondo è stabilizzato da una serie di briglie, una delle quali posta a protezione del ponte ferroviario all'altezza della località Spianamento. Se nel complesso le briglie non presentano evidenti segni di dissesto, quest'ultima appare in parte erosa ma senza segni evidenti di scalzamento o abbassamento del profilo di fondo verso valle.

La tendenza al deposito, tuttavia, si attenua rapidamente verso valle, raggiungendo sostanziali condizioni di equilibrio, con propensione alla divagazione laterale dell'alveo a valle dell'immissione del torrente

Brasimone, tratto in cui il Setta comincia a defluire semi-confinato; qui l'alveo attivo presenta in media una larghezza di 30 metri, seppure in assenza di segni diffusi di erosione spondale.

Il controllo sul profilo di fondo è esercitato ancora da una serie di briglie, una delle quali in corrispondenza del ponte Locatello.

In effetti, l'analisi delle tendenze evolutive evidenzia una modesta propensione all'arretramento della sponda con un tasso variabile tra 0,5 m e 1 m all'anno.

Nel tratto prossimo a Pian di Setta, l'alveo assume una morfologia a canali intrecciati con locali passaggi a wandering, risultando comunque delimitato lateralmente da opere di difesa longitudinali in massi di cava, che insistono soprattutto in sinistra a protezione dei centri abitati. L'area golenale qui è molto estesa e risulta fortemente boscata soprattutto in destra determinando, in occasione di piene, un notevole trasporto di flottante anche di grandi dimensioni, i cui effetti si evidenziano a valle.

In definitiva, la tendenza al deposito che caratterizza il corso del Setta continua, seppur in misura minore, fino a Pian di Setta, tratto in cui, complice un allargamento della sezione e la presenza di una serie di briglie e traverse, si assiste a una stabilizzazione dell'alveo, con tendenza alla divagazione laterale, in parte ostacolata dalla presenza di difese.

Tale condizione sembra essere confermata dall'analisi delle variazioni morfologiche storiche del tratto presso Pian di Setta, in cui emerge un interessamento del terrazzo alluvionale in sinistra, oggi protetto da difese longitudinali.

A seguito dell'espansione urbana verso il Setta con conseguente costruzione di opere di difesa, si è avuto un restringimento della sezione che ha favorito, tra le altre cose, un'erosione laterale non trascurabile in destra idrografica, con tassi di arretramento della sponda maggiori di 2 metri all'anno.

La tendenza alla divagazione laterale e all'erosione spondale emerge in modo sempre più evidente per tutto questo tratto fino alla località Gardelletta, come emerge dall'analisi della carta delle tendenze evolutive. In effetti, ciò può essere spiegabile con una forte antropizzazione dell'area, con la costruzione della Variante di Valico e delle piste di accesso ai cantieri, sviluppati soprattutto in sinistra idrografica e che costituiscono, di fatto, un vincolo per il corso d'acqua, comportando un maggiore coinvolgimento della sponda destra. In realtà, emerge un certo contrasto tra i dati morfologici, che indicano un arretramento spondale, per altro marcato considerando che il tasso oscilla tra 1 e 2 metri per anno, e la mancanza di evidenze visibili sul terreno. Ciò può essere dovuto all'alternanza tra erosione spondale intensa a seguito di eventi alluvionali, e periodi più lunghi di stabilizzazione con abbondante vegetazione recente che può mascherare l'arretramento.

Si segnala, per altro, sempre in tale tratto dell'alveo, la presenza di un importante dissesto di natura gravitativa, avvenuto nel mese di aprile 2024, che coinvolge parte del versante destro e la via di Setta a Gardelletta; si tratta di uno scivolamento nelle arenarie della Formazione di Loiano; il corpo frana ha raggiunto l'alveo attivo.

Notizie "storiche" di dissesti in tale area sono, tra l'altro, riportate anche nelle Note Illustrative del CARG "Foglio 237 – Sasso Marconi", ove si precisa quanto segue:

"Particolarmente pericolosi (oltre una quindicina di anni fa una frana di questo tipo invase la sede ferroviaria nei pressi di Gardelletta in Val Setta provocando numerose vittime) anche se non frequentissimi, sono i movimenti franosi che interessano accumuli detritici sabbiosi o porzioni particolarmente alterate e degradate della Formazione di Loiano. In occasione di forti precipitazioni e in condizioni sfavorevoli di assetto delle superfici di scorrimento potenziali, questi materiali saturi possono infatti scendere rapidamente a valle come valanghe di sabbia o debris flow lungo i pendii ripidi che caratterizzano le aree di affioramento di questa formazione".

A valle di Vado si osserva un ulteriore ampliamento del letto del Setta, che qui raggiunge il centinaio di metri di larghezza. In tale settore la tendenza alla deposizione e all'allargamento dell'alveo attivo è particolarmente evidente. L'erosione spondale molto intensa ha determinato, sulla riva destra il parziale collasso di una serie di muri che proteggevano la carreggiata, ora dismessa, dell'autostrada A1. In sponda sinistra, non essendoci difese, le evidenze di erosione laterale sono più nette, coinvolgendo il terrazzo

alluvionale e creando lunate di erosione che hanno comportato, in qualche caso, la chiusura di alcune strade interpoderali.

Il tutto si riassume nell'analisi delle tendenze evolutive, in cui si evidenziano estese ed intense erosioni di sponda su entrambe le rive, e tassi di arretramento spondale in destra a spese del terrazzo alluvionale su cui si sviluppa la statale (non a caso protetta da difese longitudinali in dissesto), con entità variabile tra 1 e 2 metri all'anno.

Si sottolinea la presenza, in sponda sinistra, di una estesa difesa in scogliera in buono stato in corrispondenza di un ponte pedonale poco più a valle, in località Allocco. È emerso che questa difesa (che in effetti risulta molto recente) sia stata costruita a seguito dell'evento alluvionale del febbraio 2024, che ha provocato ingenti danni nell'area.

A valle di Lama di Setta permane una significativa tendenza alla divagazione dell'alveo, ma l'assetto difensivo è caratterizzato essenzialmente dalla presenza di 3 briglie e dalla traversa posta poco a monte dell'impianto Hera, ovvero circa 1 km a monte della confluenza in Reno. Permane comunque un'evidente erosione laterale che si manifesta principalmente in sponda destra; dall'analisi delle variazioni planimetriche si evidenzia infatti che il Setta si estendeva maggiormente in sponda destra rispetto ad oggi, condizione oggi impedita dalla presenza di estese opere di difesa a protezione della statale e di altre infrastrutture interferenti.

Infine, appare a rischio di interruzione, per erosione della sponda, la strada via Ca' Bianca in sponda sinistra, poco a monte del casello di Sasso Marconi, protetta parzialmente da tre gabbionate in dissesto.

In relazione alla qualità morfologica, il torrente Setta è caratterizzato nel complesso da un giudizio IQM "Buono"; il valore rappresentativo (0,71) è calcolato come media pesata dei giudizi del singolo tratto rispetto alla lunghezza complessiva del corso d'acqua oggetto di analisi.

Si riscontra una buona variabilità del giudizio lungo il corso d'acqua, principalmente con alternanza tra tratti in classe II e tratti in classe III. Si differenzia un solo tratto che scorre in una zona naturale, lontano da opere antropiche quali opere idrauliche, strade e centri abitati, con conseguente significativa area perifluviale.

A livello di distribuzione percentuale, sul corso d'acqua oggetto di analisi, dei tratti per classi di giudizio dell'indice IQM, il corpo idrico risulta classificato come "Elevato" per il 10%, "Buono" per il 50% e "Moderato o Sufficiente" per il 40%.

4 Idrologia di piena: Portate ed eventi di piena 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 Reno, per eventi a differente frequenza probabile, sono riportate nella tabella seguente.

Tab. 1 Portate di piena per il fiume Reno

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	Idrometro ¹
Reno	Reno	0	Ponte della Venturina	99,7	310	390	445	
Reno	Reno	25,3	Vergato	550,6	1290	1685	1980	Vergato
Reno	Reno	46,5	Confluenza Setta	986,3	1895	2525	2970	
Reno	Reno	60	Casalecchio	1059,0	1900	2550	3000	Casalecchio

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

Tab. 2 Portate di piena per il fiume Setta

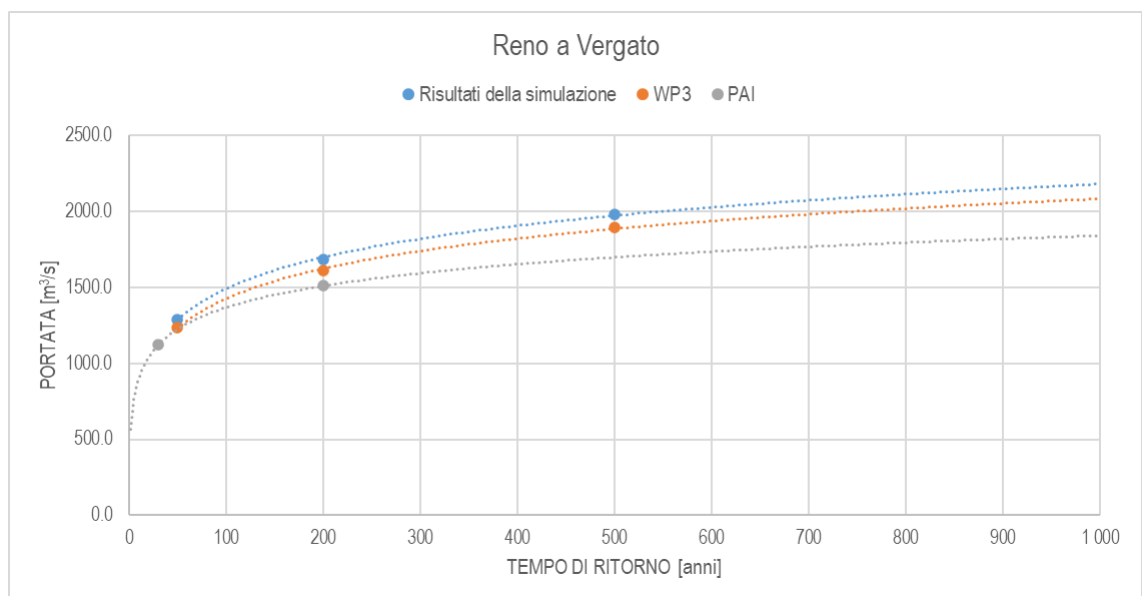
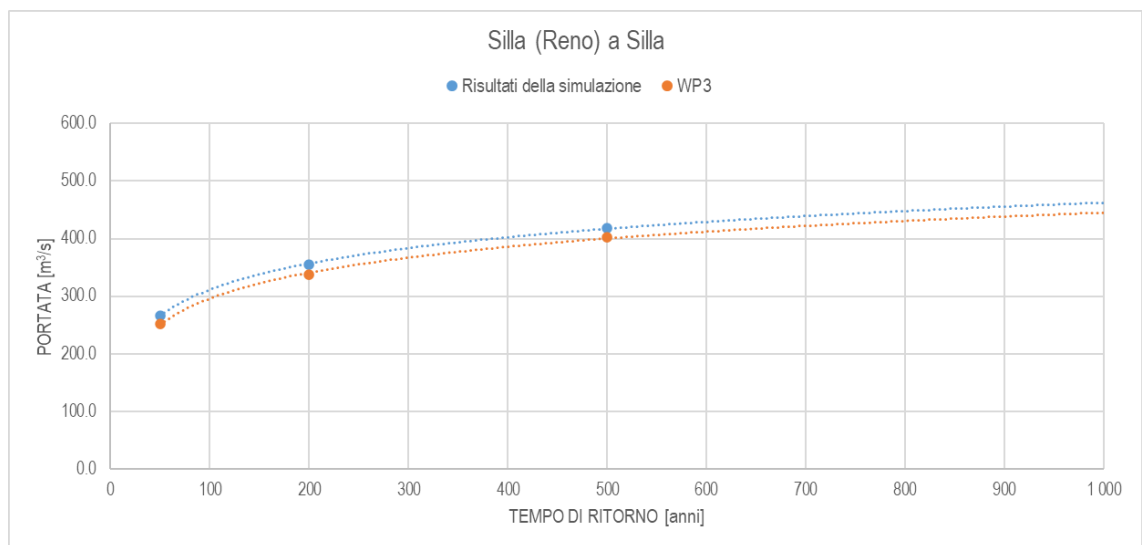
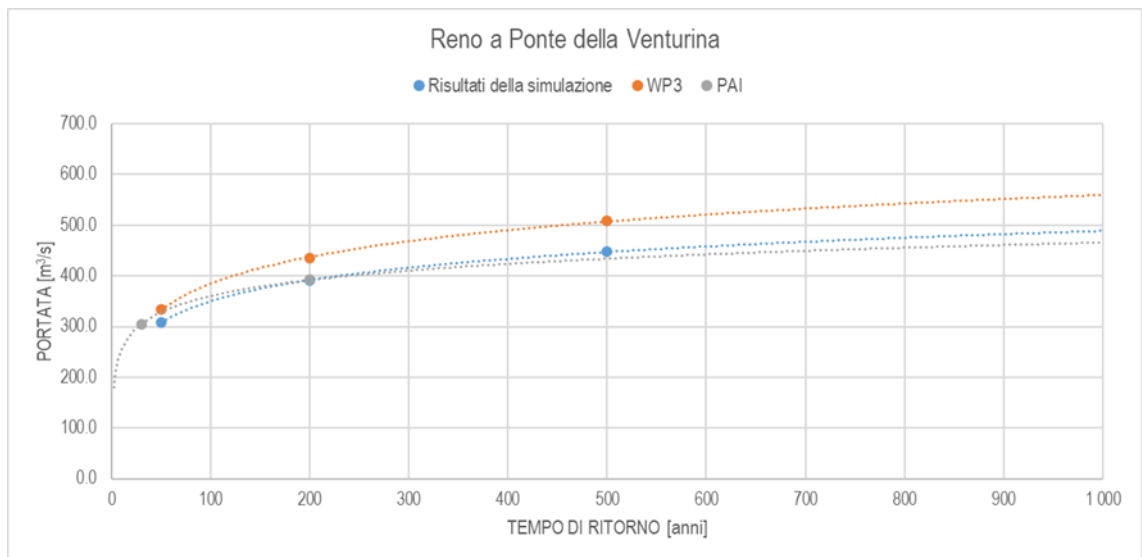
Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	Idrometro ¹
Reno	Setta	0	Ca' di Landino	29,7	80	110	135	
Reno	Setta	38	Sasso Marconi	317,1	495	685	830	Sasso Marconi

In Fig. 13 , per le sezioni del Reno a Ponte della Venturina, Silla, Vergato, Calvenzano e Casalecchio, 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 WP3².

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)



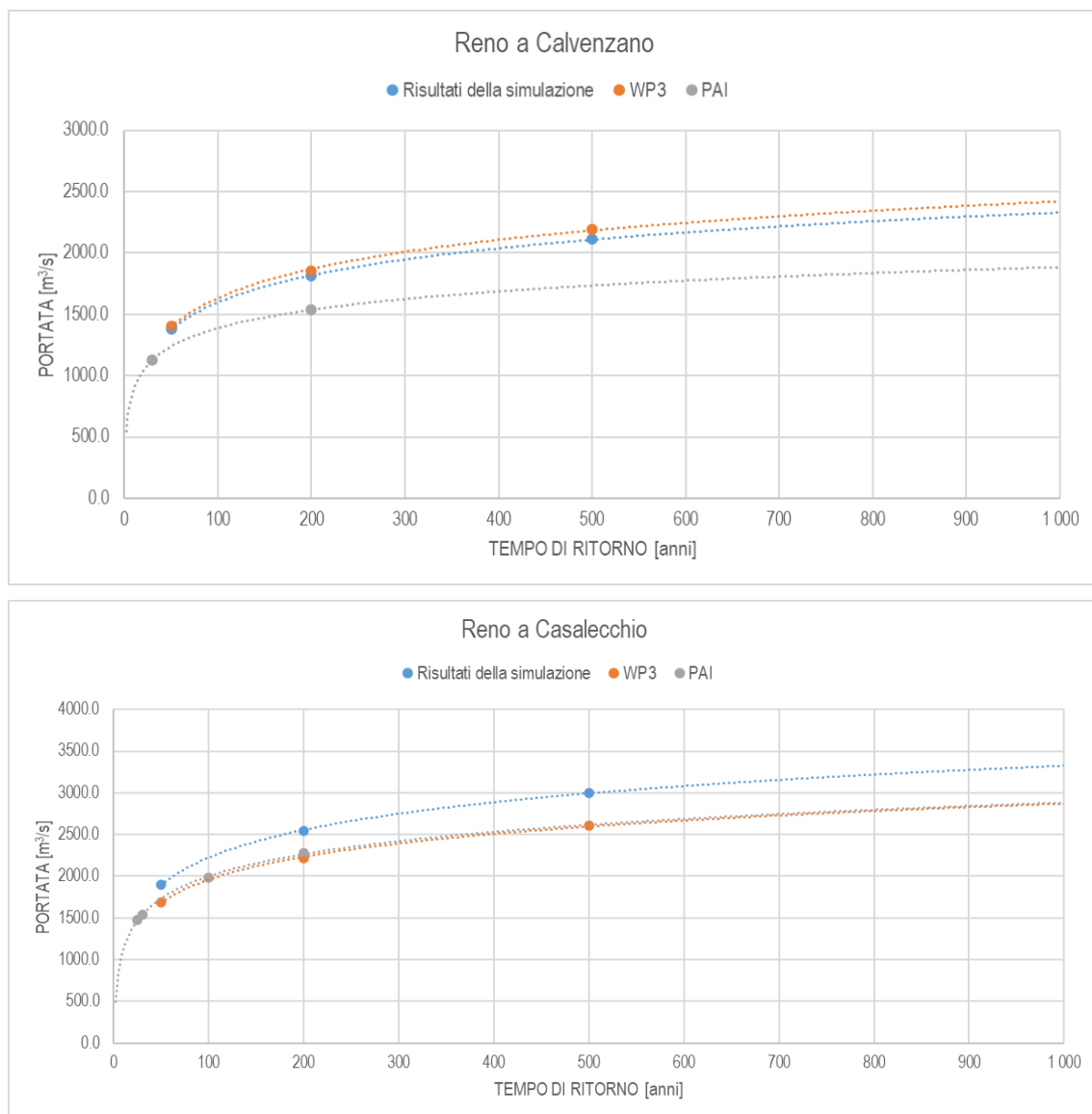


Fig. 13 – Grafici di confronto tra i colmi di piena di riferimento derivati dai modelli e gli omologhi valori da WP3 e dalla pianificazione PAI preesistente.

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 m³/s.

Si osservi che:

- In relazione ai tempi di traslazione delle portate nei tratti arginati, lungo l'asta di valle del Reno le modalità di combinazione degli idrogrammi con i contributi degli affluenti (soprattutto il Samoggia) possono far riscontrare a valle delle confluenze un idrogramma di maggiore picco per durate diverse (maggiori) rispetto a quelle che massimizzano il colmo per il bacino montano.

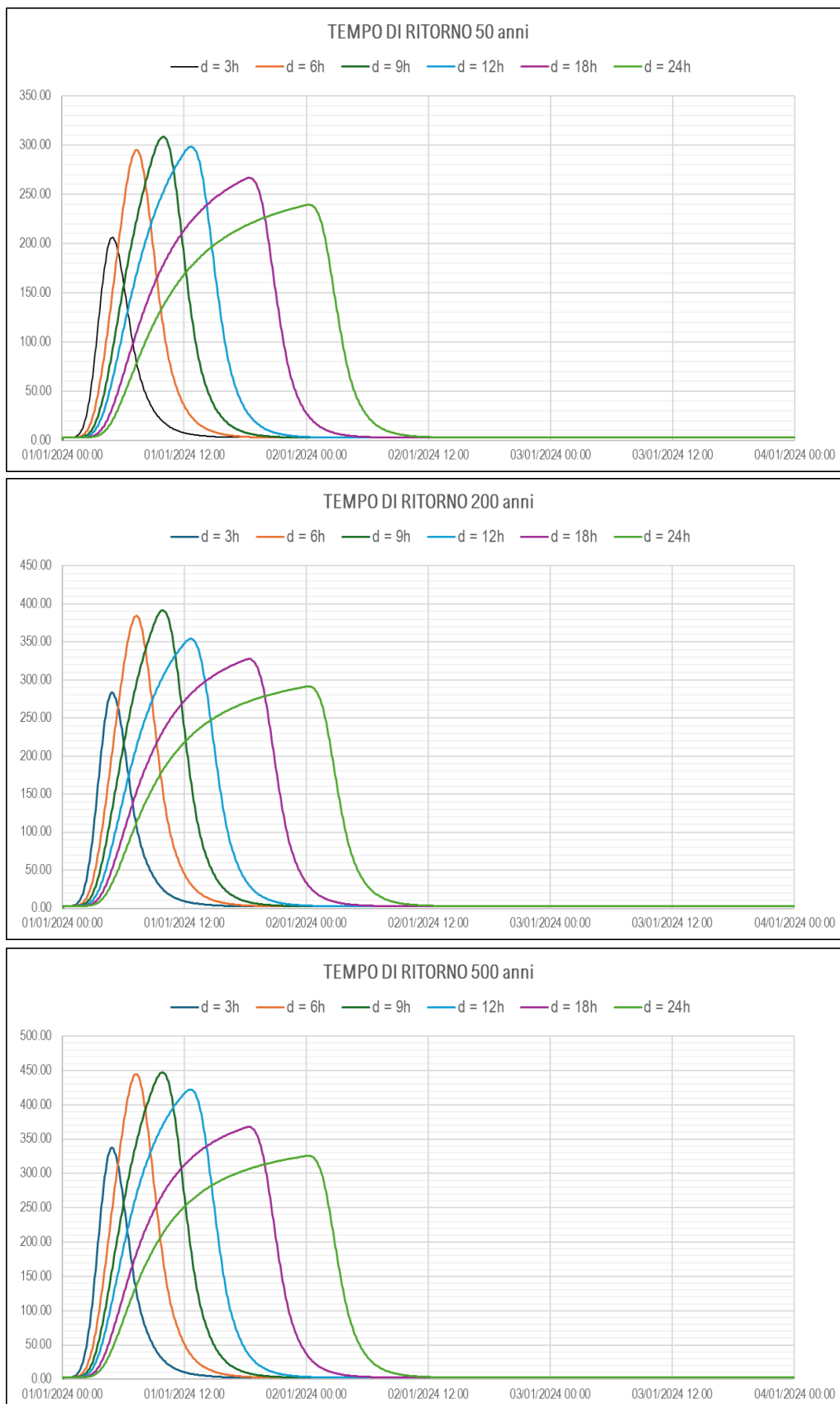


Fig. 14 Reno a Ponte della Venturina idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m^3/s)

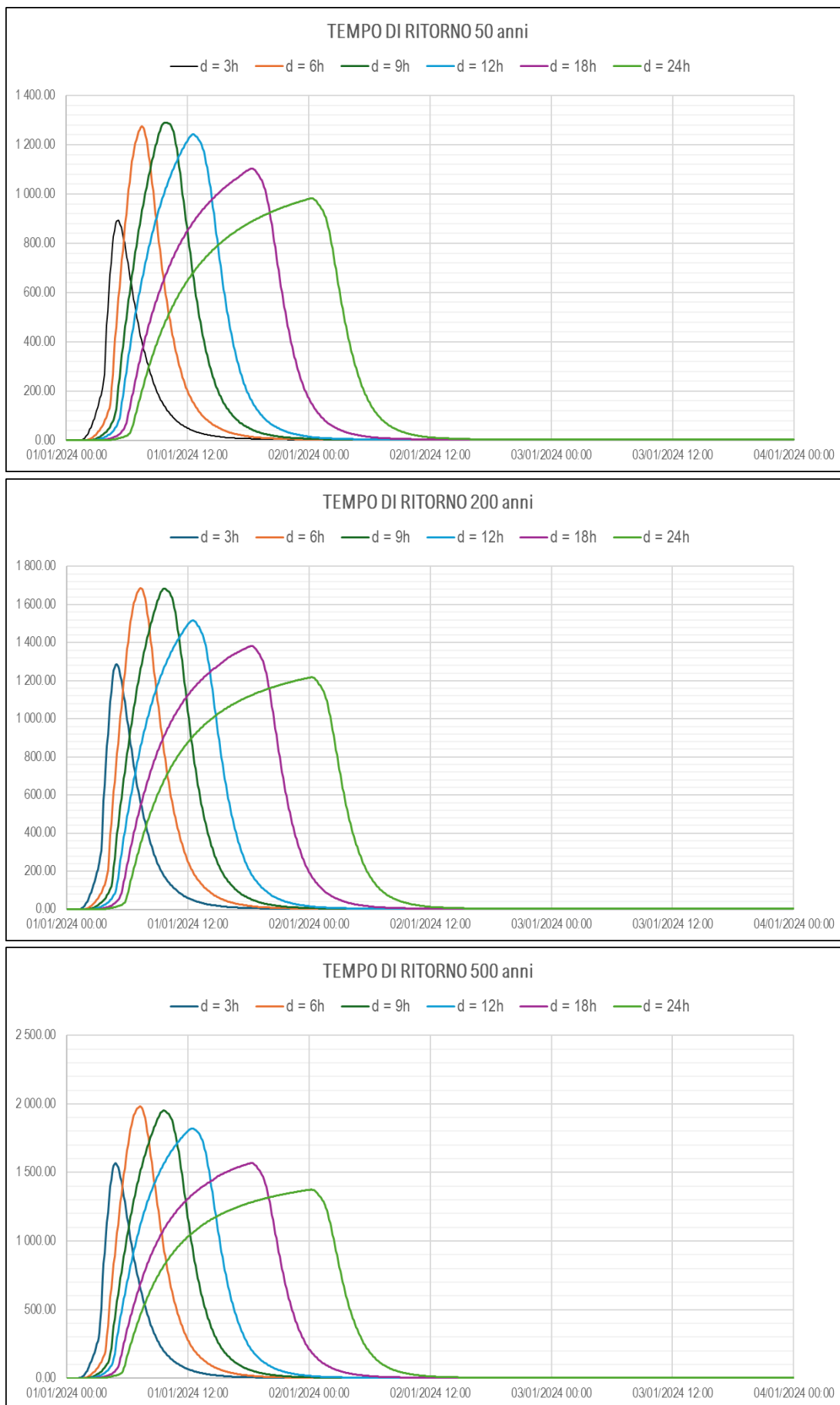


Fig. 15 Reno a Vergato: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m^3/s)

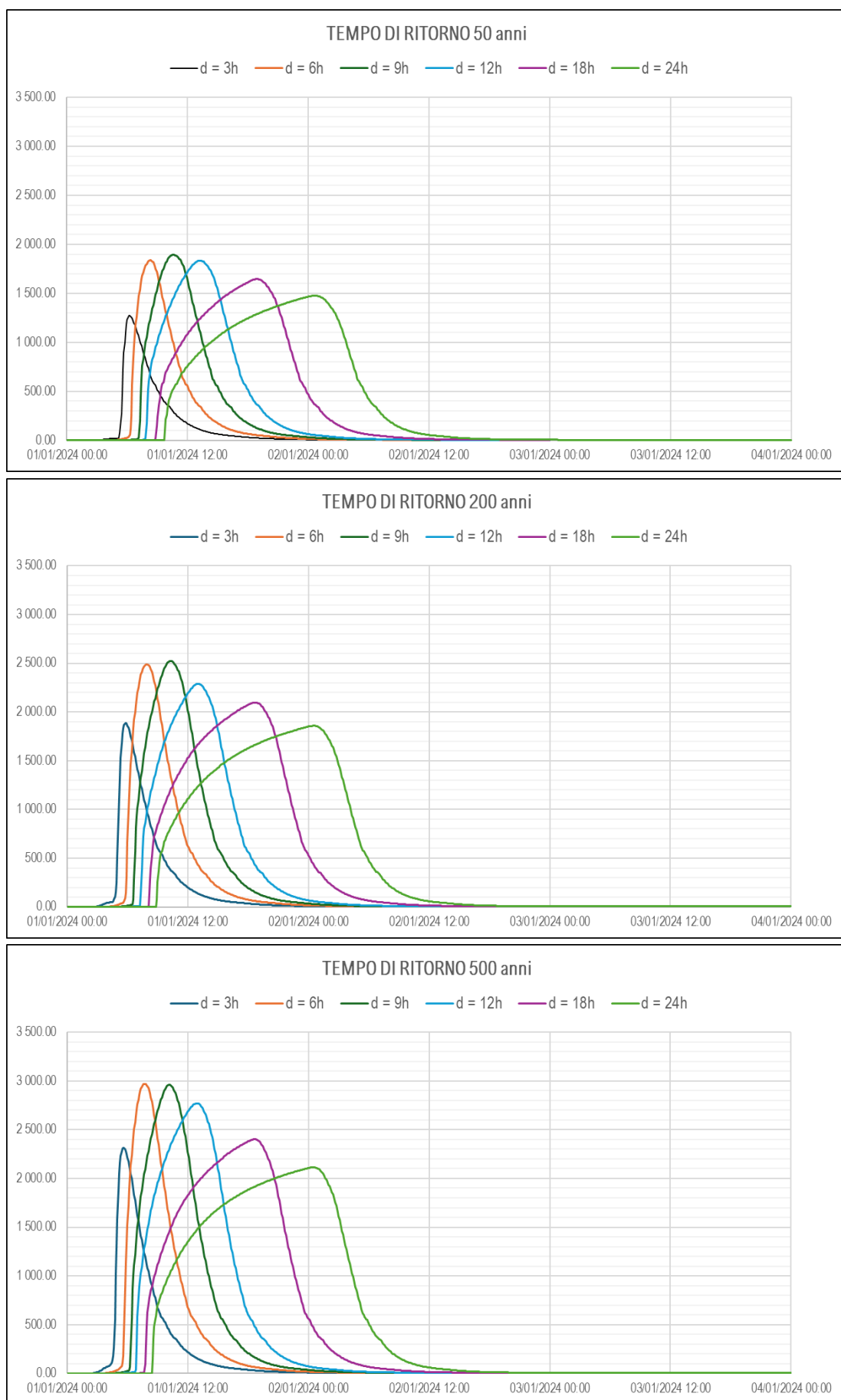


Fig. 16 Reno a valle confluenza Setta: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m^3/s)

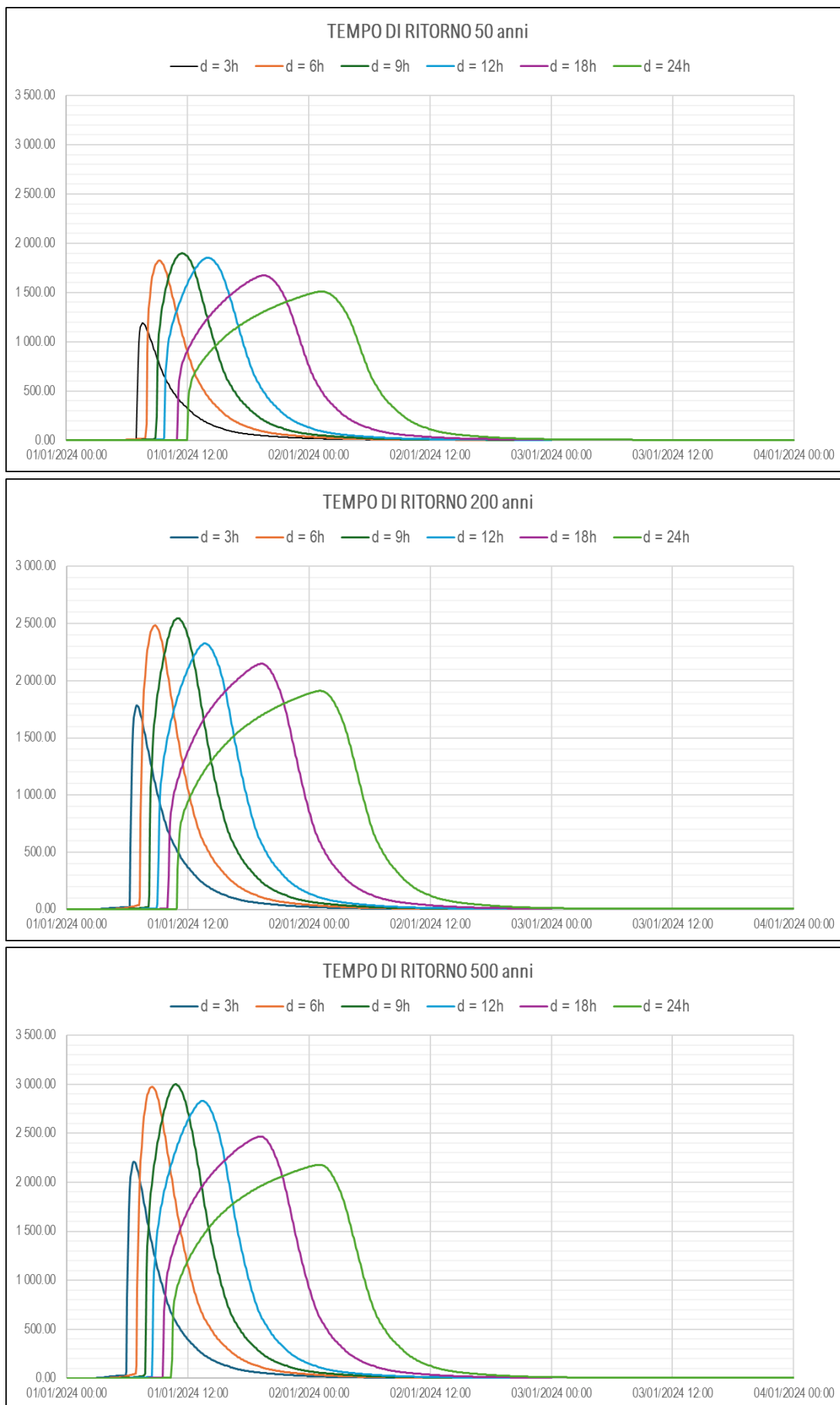


Fig. 17 Reno a Casalecchio: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m³/s)

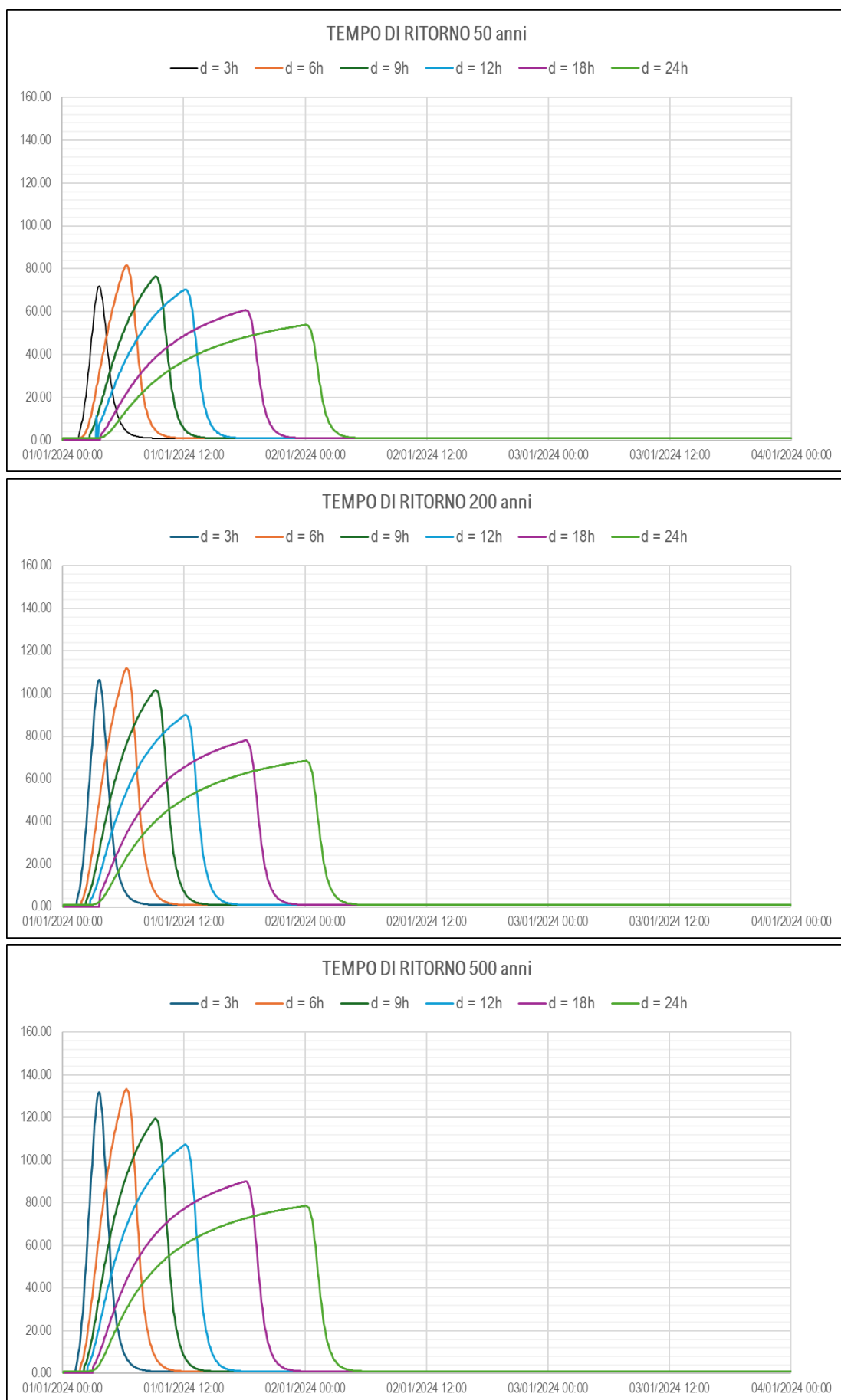


Fig. 18 Setta inizio tratto di studio (Loc. Castiglione dei Pepoli): idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m^3/s)

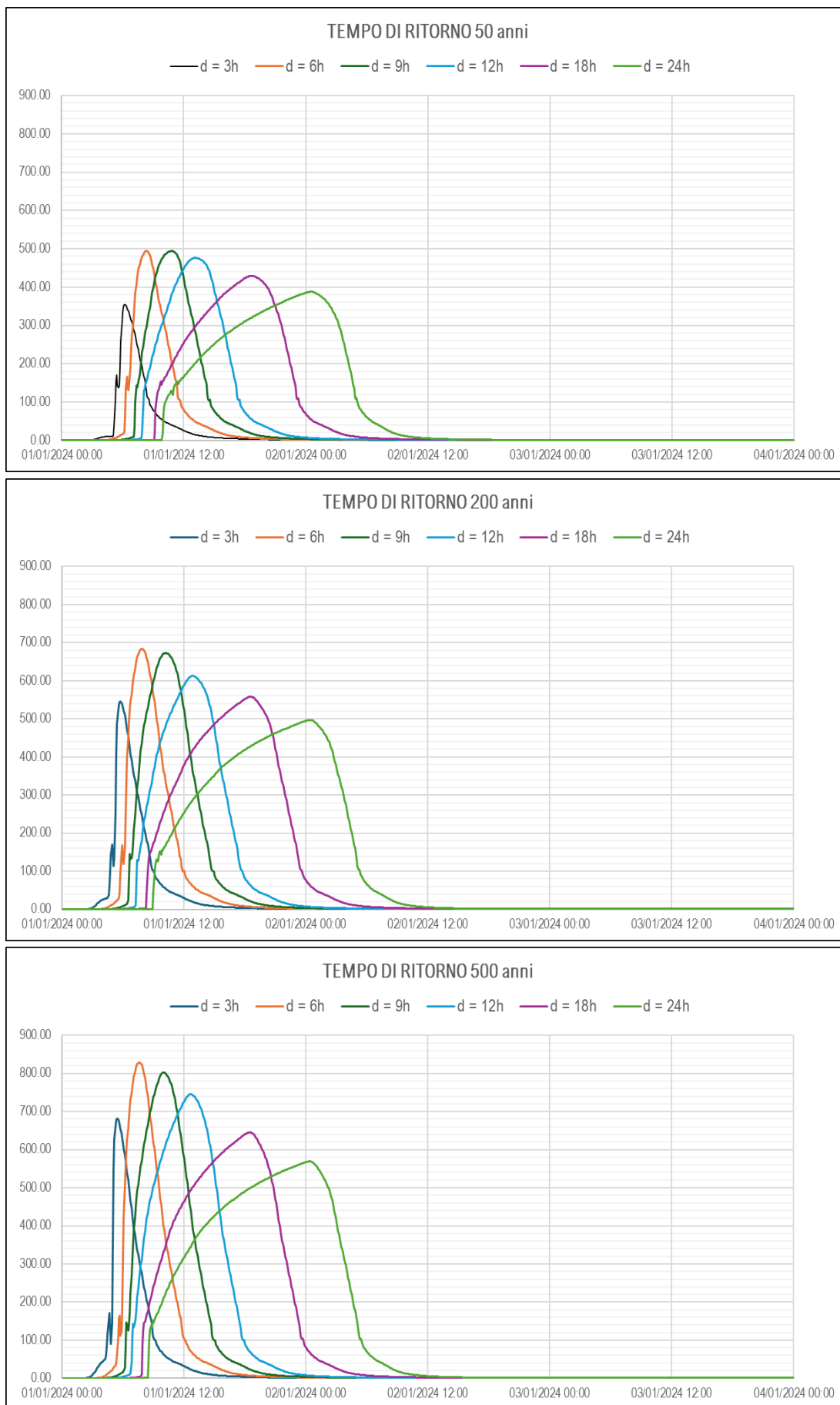


Fig. 19 Setta a Sasso Marconi: idrogrammi di riferimento T50, T200 e T500 (Portata in m^3/s)

Nell'ambito dell'analisi idrologica, già richiamata, 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 valutazioni 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.

Nelle figure seguenti (Fig. 20) è proposto il confronto, nelle diverse sezioni di chiusura dei bacini di Reno e Setta 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.

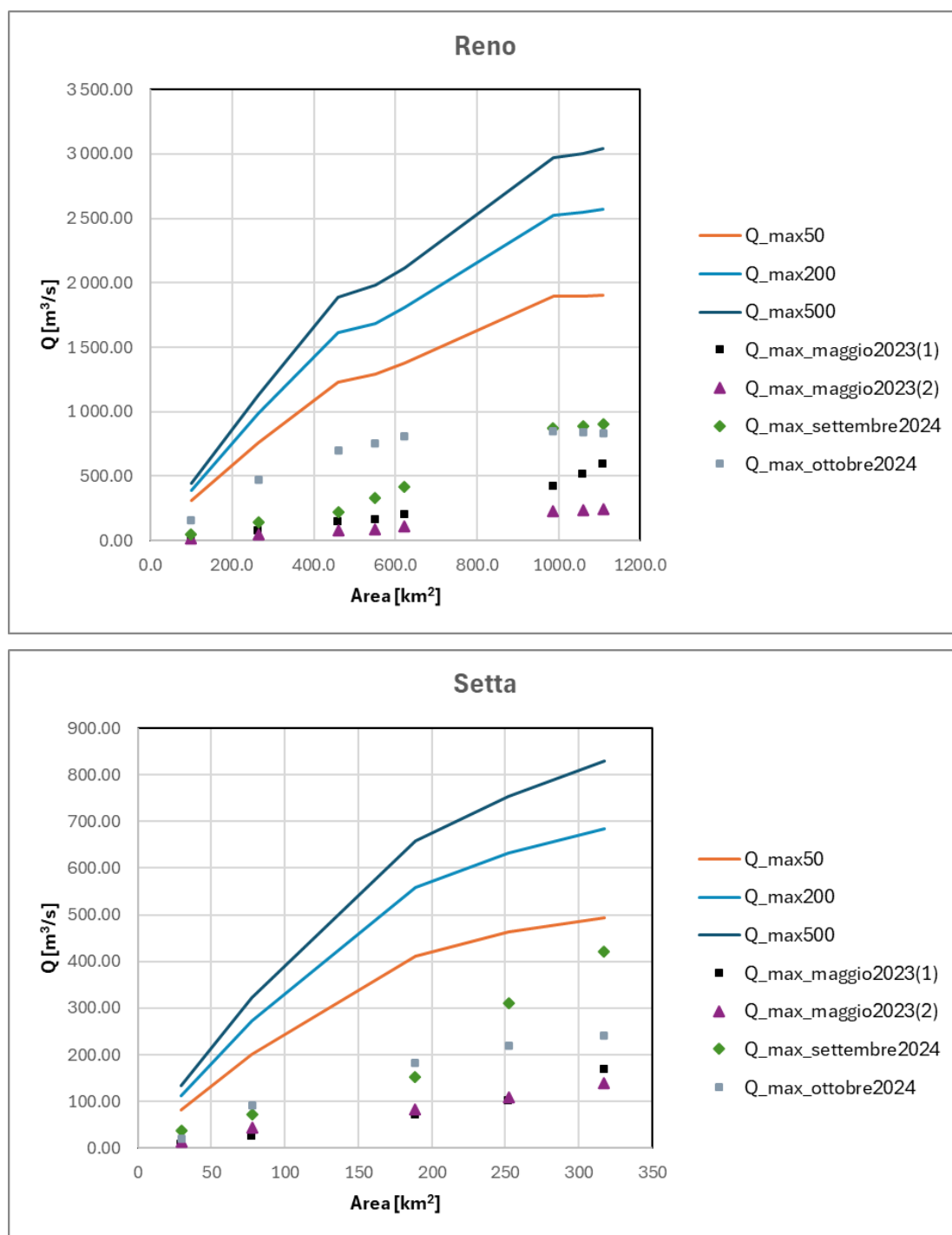


Fig. 20 Confronto tra portate al colmo idrologiche eventi reali e portate di riferimento per Reno e Setta

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, Navile, Savena) 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);
- 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 rappresentabile 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 "influenzato" 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 sommerse 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.

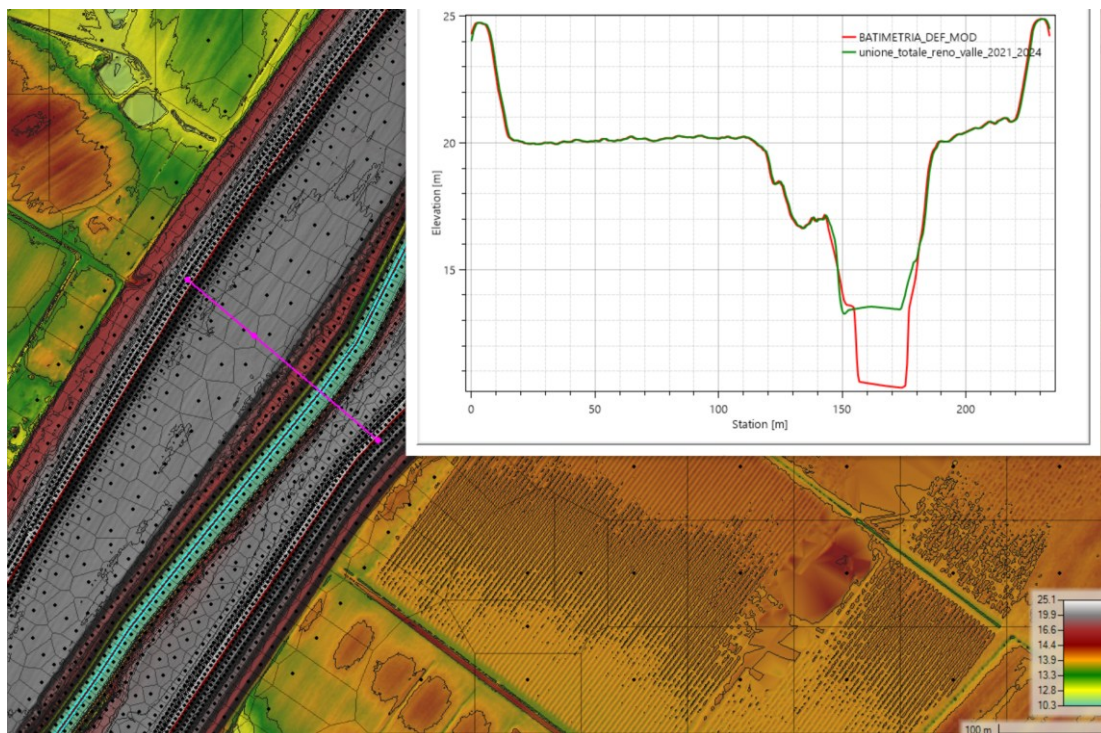


Fig. 21 – Batimetria modello 2D a confronto con DTM originale

Nei modelli numerici di dettaglio allestiti sono stati inseriti tutti i manufatti di attraversamento presenti e le opere idrauliche trasversali (traverse/briglie/soglie) 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.

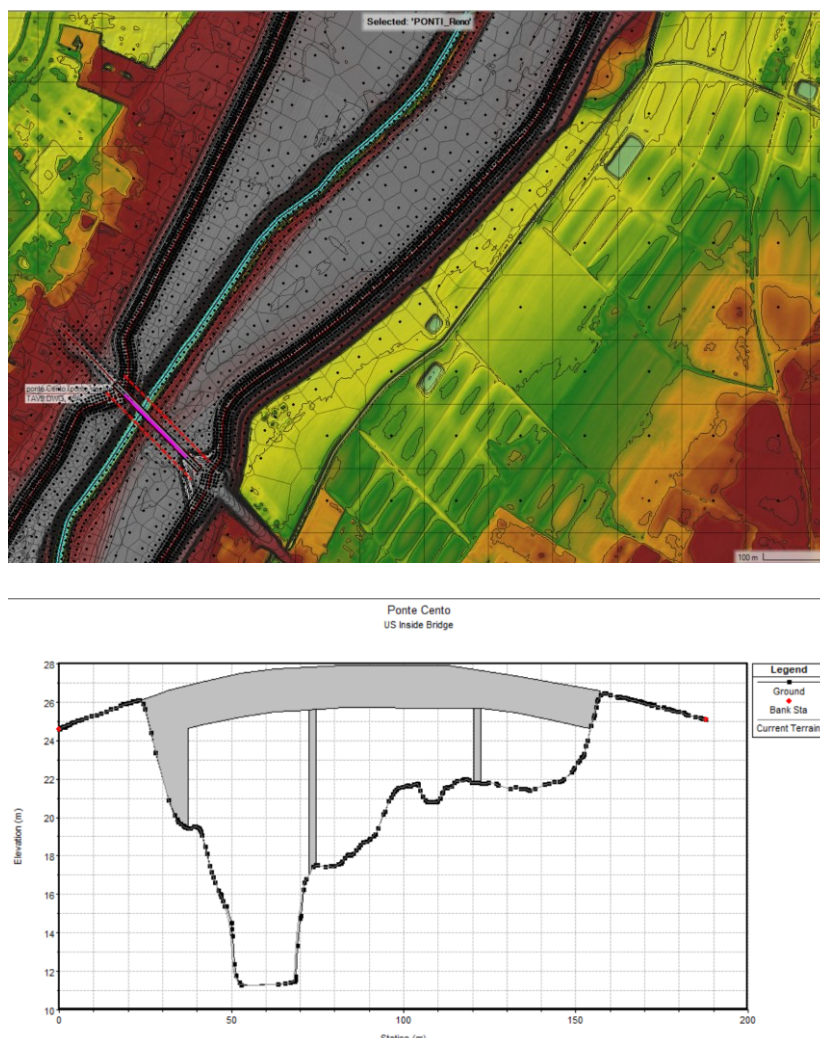


Fig. 22 Esempio della geometria di un attraversamento

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.

L'asta complessiva del fiume Reno, vista la notevole estensione, è stata rappresentata suddividendola in 3 differenti modelli numerici:

- modello di monte: Fiume Reno e Torrente Setta fino a poco a valle della loro confluenza;
- modello della piana bolognese: da poco a monte di Casalecchio fino a confluenza Idice;
- modello di valle: da confluenza Idice al mare.

Per quanto riguarda il modello di monte (Fig. 23), il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di **262.281**. 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 10 m x 10 m; con l'inserimento di discontinuità altimetriche (*breaklines*) di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche di 1 m x 1 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, arginature, rialzi morfologici e canali.

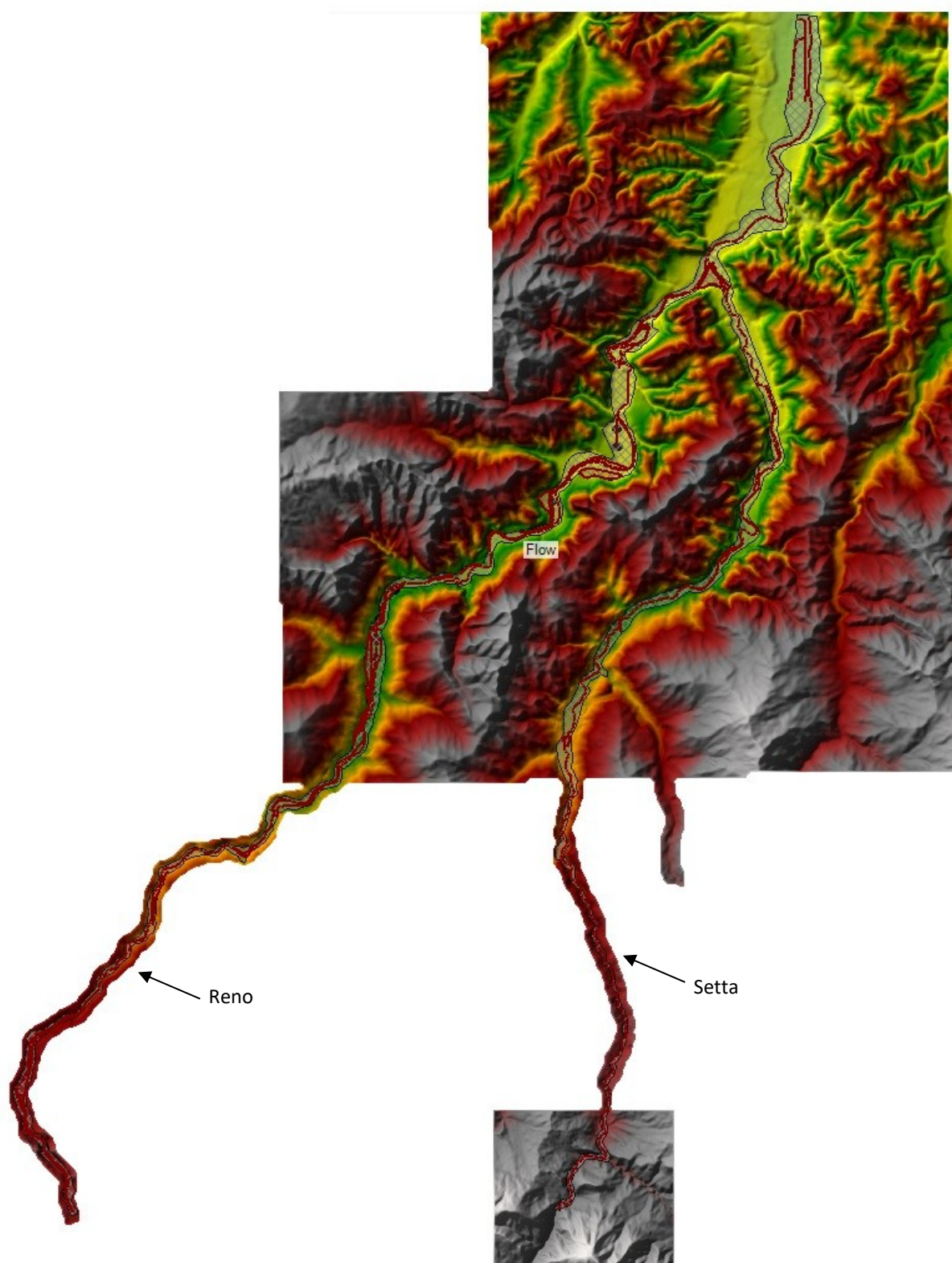


Fig. 23 Schema complessivo del modello 2D allestito per il tratto di monte (DTM, mesh, schema delle breaklines principali) – Reno da Ponte della Venturina fino a valle della confluenza del Setta.

Le lunghezze dell'asse dei due corsi d'acqua rappresentati è di seguito elencata:

- Reno (da Ponte della Venturina a valle confluenza Setta): 56,2 km;
- Setta: 38,1 km.

Complessivamente nelle aste sopra elencate sono state inserite **55** strutture di attraversamento (secondo le modalità sopra descritte).

Nel modello intermedio (piana bolognese - Fig. 24) l'asta del Reno è stata inclusa in un più ampio modello bidimensionale che descrive anche il sistema fluviale Samoggia-Ghiaia-Lavino-Ghironda e il sistema Navile-Savena Abbandonato, nell'ottica di poter rappresentare correttamente le mutue interazioni tra tali corsi d'acqua in piena e l'eventuale sovrapposizione delle esondazioni. Si rimanda alle monografie "Monografia Samoggia-Lavino-Ghironda" e "Monografia Navile-Savena Abbandonato" per un maggior approfondimento sui sistemi fluviali rispettivamente Samoggia-Ghiaia-Lavino-Ghironda e Navile-Savena Abbandonato. Si precisa che per descrivere le esondazioni in sinistra idrografica del fiume Samoggia, senza andare ad appesantire le simulazioni del modello intermedio, è stato allestito un ulteriore modello (modello sinistra Samoggia); per maggior dettaglio si rimanda alla monografia "Monografia Samoggia-Lavino-Ghironda".

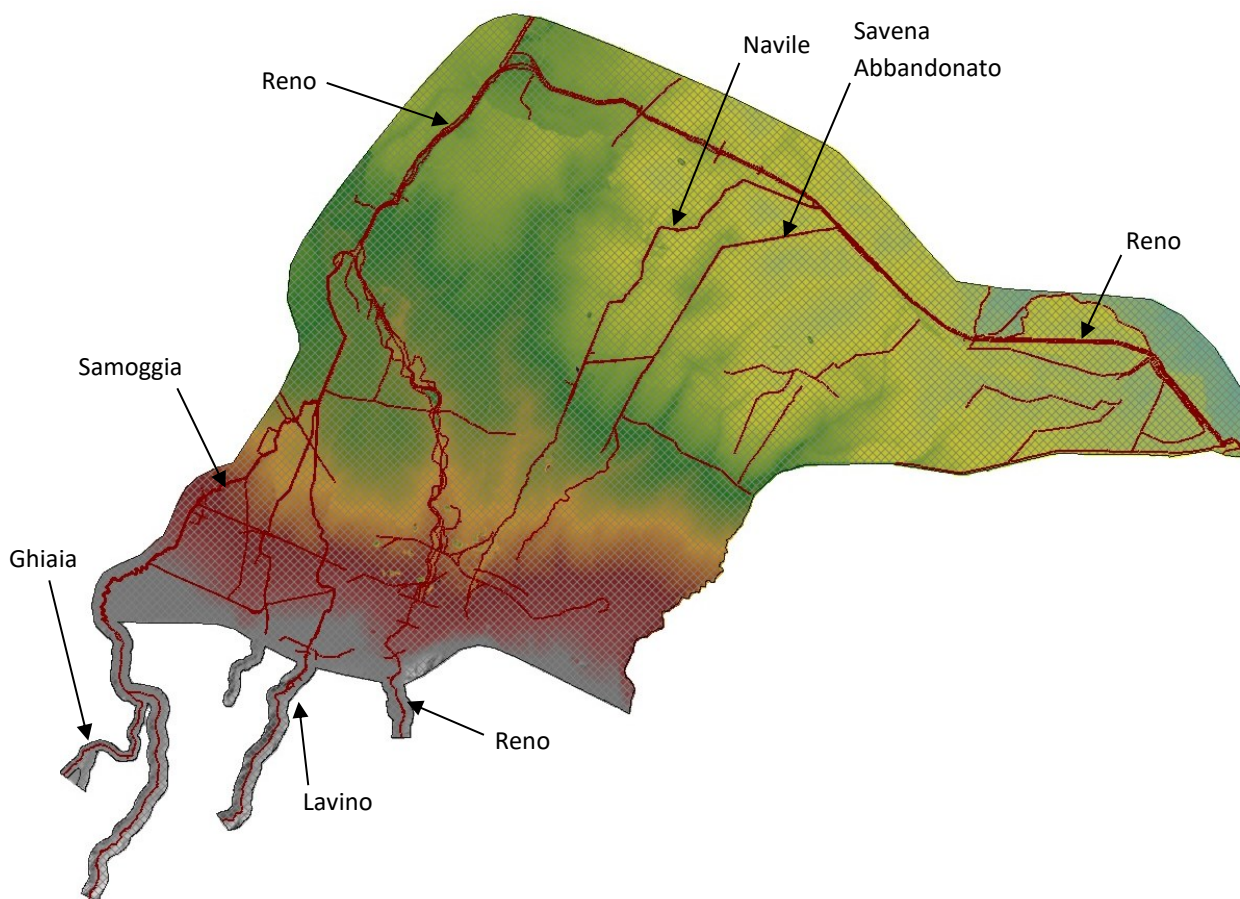


Fig. 24 Schema complessivo del modello 2D allestito per il tratto intermedio della piana bolognese (DTM, mesh, schema delle breaklines principali) - Reno da valle della confluenza del fiume Setta alla confluenza del Idice con i principali affluenti.

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di **1.149.866**. Anche in questo caso 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 50 m x 50 m; con l'inserimento delle breaklines

di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche 5 m x 5 m o inferiori 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, arginature, rialzi morfologici e canali.

Le lunghezze dell'asse dei vari alvei rappresentati sono di seguito elencate:

- Reno (da valle confluenza Setta a monte confluenza Idice): 130,1 km;
- Samoggia: 53,2 km;
- Ghiaia: 9,0 km;
- Ghironda: 13,8 km;
- Lavino: 27,1 km;
- Navile: 36,2 km;
- Savena Abbandonato: 32,3 km.

Complessivamente nelle aste sopra elencate sono state inserite **193** strutture di attraversamento (secondo le modalità sopra descritte).

Le opere di laminazione già realizzate (casce) sono descritte dal DTM più recente utilizzato per l'allestimento del modello in termini di arginature, soglie di sfioro, quote di fondo. Per rappresentare queste opere dunque sono state semplicemente introdotte delle specifiche *breaklines* in corrispondenza del tracciato delle arginature delle casce, verificando con i disegni di progetto forniti dalla S.A. la coerenza tra le quote del DTM e quelle previste, soprattutto per le soglie di sfioro, ed eventualmente adeguando con delle locali *modifications* le porzioni in cui risultavano presenti delle irregolarità (ad es. oscillazioni nelle quote di ritenuta). Per quel che attiene invece alle casce in toto o in parte ancora in progetto si sono desunte le loro caratteristiche geometriche dai progetti redatti a cura delle Autorità competenti di settore.

Per poter descrivere le esondazioni nelle aree in sinistra del fiume Reno negli scenari di rotta arginale sono stati allestiti due ulteriori modelli che sono stato mantenuti separati dal modello principale in modo tale da non appesantire ulteriormente lo stesso e prolungare le tempistiche di simulazione:

- modello sinistra Samoggia, atto a descrivere, nel caso del Reno, le sole esondazioni dovute a rotte arginali in sinistra nel tratto che va dalla confluenza con il torrente Samoggia al Cavo Napoleonico;
- modello sinistra Reno, atto a descrivere le esondazioni dovute a rotte arginali in sinistra nel tratto che va dal Cavo Napoleonico alla confluenza con il torrente Idice.

Il modello sinistra Samoggia (Fig. 25) presenta un numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D di **414.713**. 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 50 m x 50 m; con l'inserimento delle breakline di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche 5 m x 5 m o inferiori 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, arginature, rialzi morfologici e canali.

Complessivamente nelle aste del Samoggia e del Reno sono state inserite **24** strutture di attraversamento (secondo le modalità sopra descritte).

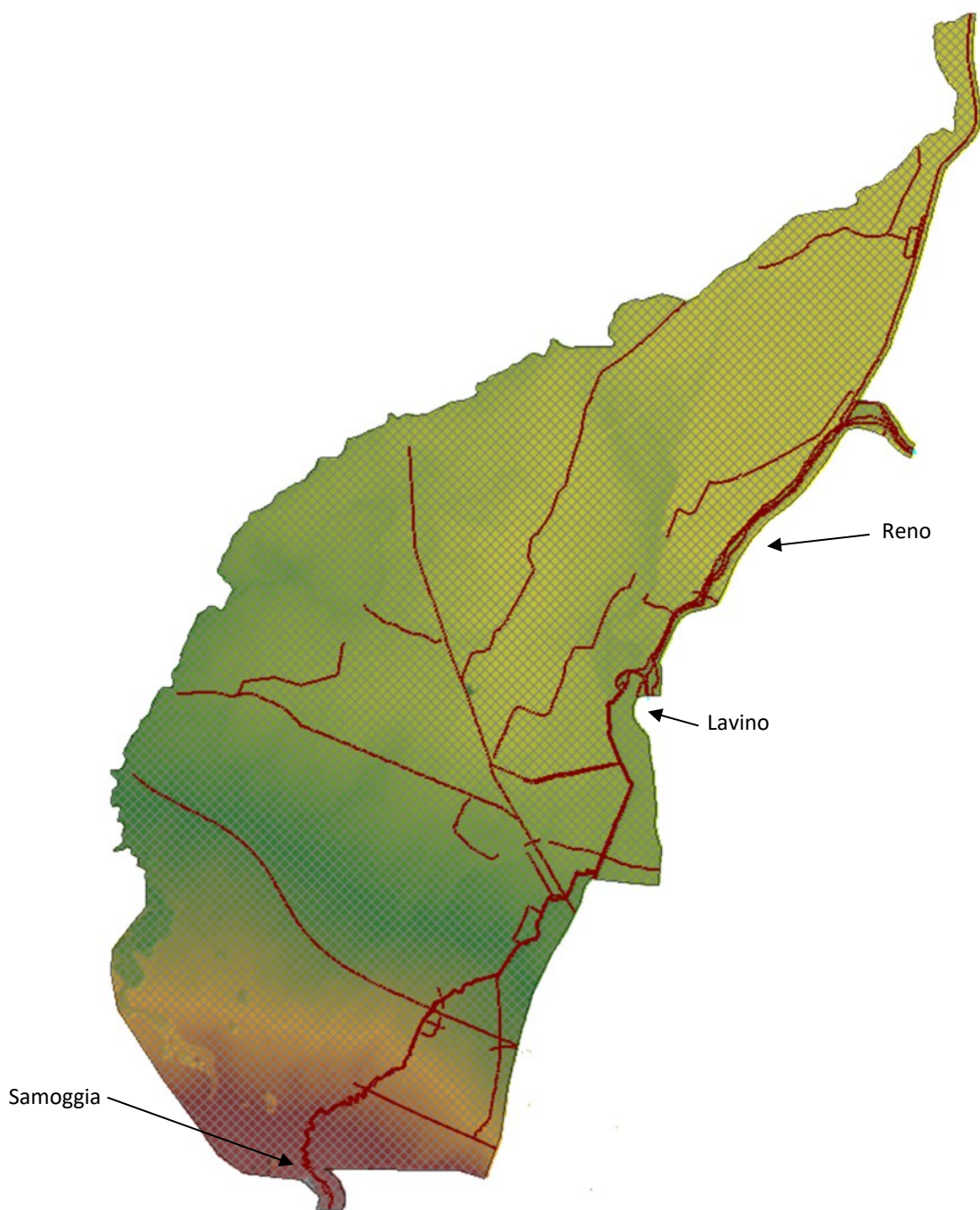


Fig. 25 Schema complessivo del modello sinistra Samoggia 2D allestito (DTM, mesh, schema delle breaklines principali)

Il modello sinistra Reno (Fig. 26) presenta un numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D di **486.582**. 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 50 m x 50 m; con l'inserimento delle breakline di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche 5 m x 5 m o inferiori 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, arginature, rialzi morfologici e canali.

Complessivamente nelle aste del Samoggia e del Reno sono state inserite **15** strutture di attraversamento (secondo le modalità sopra descritte).

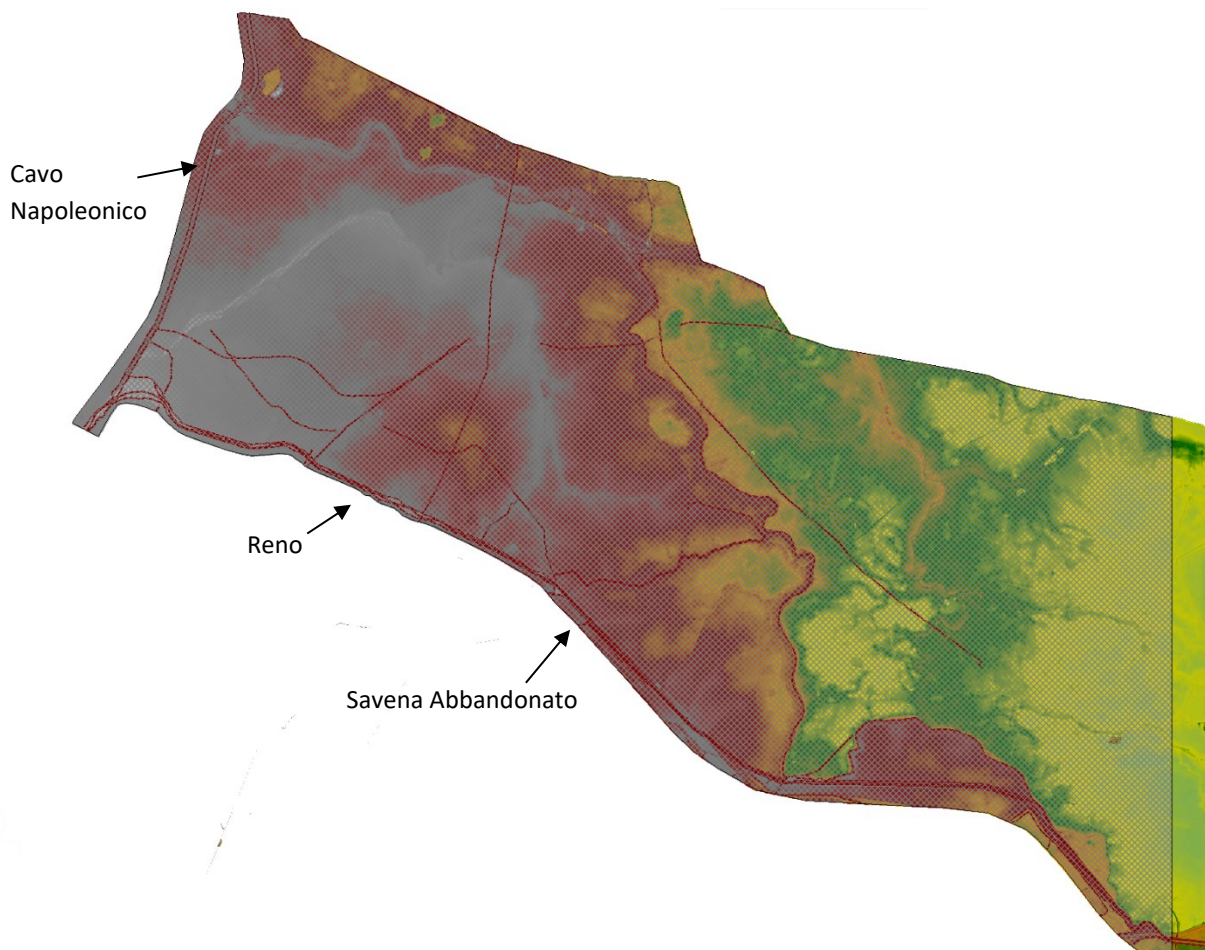


Fig. 26 Schema complessivo del modello sinistra Reno 2D allestito (DTM, mesh, schema delle breaklines principali)

Il modello di valle (da confluenza Idice a mare). L'asta del Reno è stata inclusa in un più ampio modello bidimensionale che descrive anche il sistema fluviale delle confluenze di Idice, Sillaro, Santerno e Senio nell'ottica di poter rappresentare correttamente le mutue interazioni tra tali corsi d'acqua in piena e l'eventuale sovrapposizione delle esondazioni. In particolare, preme evidenziare che gli affluenti citati sono stati modellati singolarmente per l'intera asta, poi dal modello della singola asta sono state estratte le condizioni al contorno di portata ad una distanza sufficiente tale da non infierire sulle condizioni al contorno e tale dato è stato inserito nel modello Reno di valle includendo quindi anche la parte terminale di confluenza degli affluenti da Idice a mare. Nel dettaglio:

- il tratto di Reno schematizzato va dal ponte di Argenta a mare (tratto di circa 41 km);
- il tratto di Idice schematizzato va dal ponte della SP29 alla confluenza in Reno (tratto di circa 13 km);
- il tratto di Sillaro schematizzato va dal ponte di via Cardinale alla confluenza in Reno (tratto di circa 6.5 km);
- il tratto di Santerno schematizzato va dal ponte di via SP17 alla confluenza in Reno (tratto di circa 6.5 km);
- il tratto di Senio schematizzato va dal ponte della SP9 a Fusignano alla confluenza in Reno (tratto di circa 14 km).

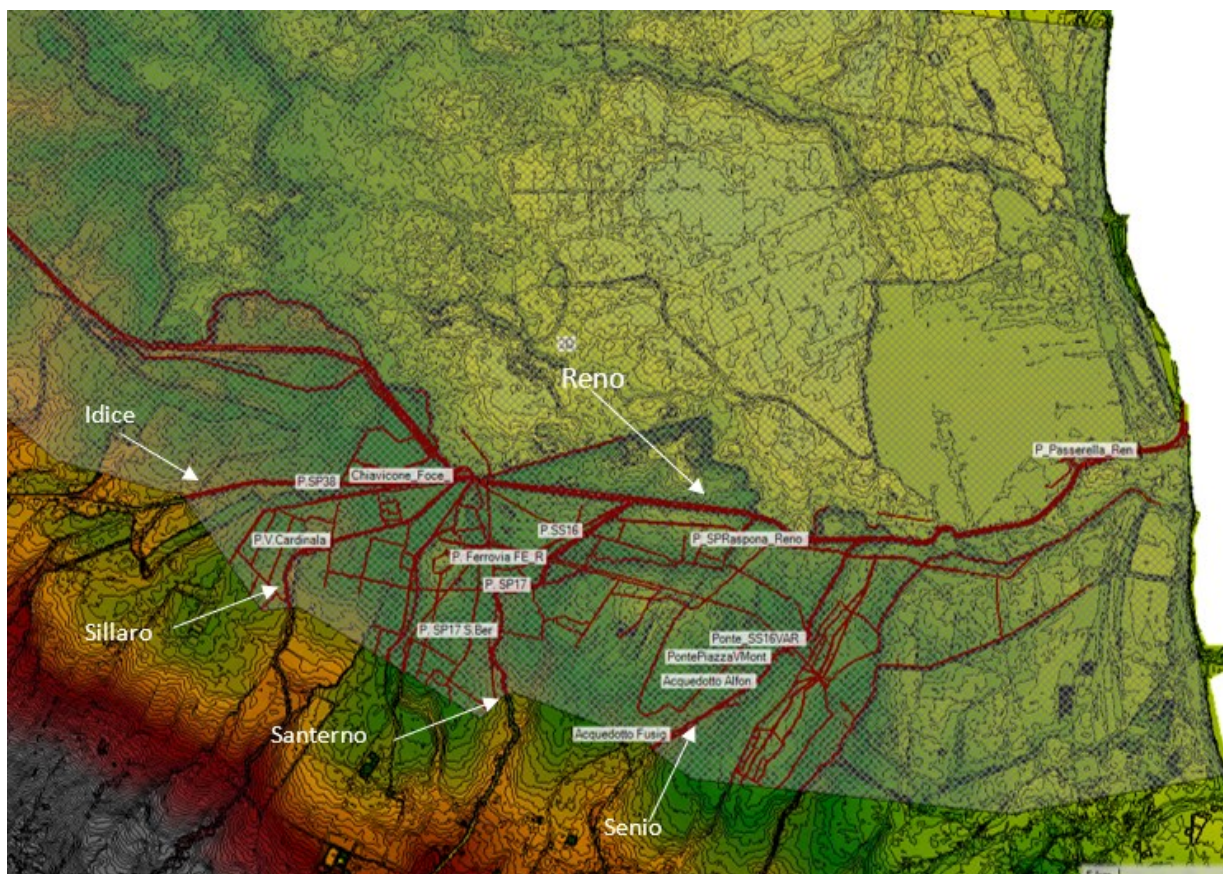


Fig. 27 Schema complessivo del modello 2D allestito per il di valle di Reno dal ponte di Argenta a mare (DTM, mesh, schema delle breaklines principali)

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di **931.058**. Anche in questo caso 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 50 m x 50 m; con l'inserimento delle breaklines di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche 5 m x 5 m o inferiori 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, arginature, rialzi morfologici e canali.

Complessivamente sono state inserite **20** strutture di attraversamento (secondo le modalità sopra descritte).

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 dei corsi d'acqua in studio, ovvero nella fattispecie della presente relazione il Reno dal ponte ferroviario della linea Milano-Bologna (poco a valle della via Emilia) fino al mare. Tale valore di portata rappresenta la portata limite attuale.

Le simulazioni sono state condotte generalmente nella configurazione ad argini insormontabili e a portata costante. In particolare, è stata adottata la configurazione di argine insormontabile nel tratto tra il ponte ferroviario MI-BO e il Cavo Napoleonico. A valle del Cavo Napoleonico il corso d'acqua ha capacità di portata nettamente inferiore rispetto al tratto di monte.

Le portate compatibili valutate secondo l'analisi di moto permanente tendono a essere maggiormente cautelative rispetto all'analisi in moto vario.

6.1 Condizioni al contorno

6.1.1 Portate

I valori di portata di riferimento per il fiume Reno sono stati inizialmente definiti a partire dalle portate con tempo di ritorno 50 anni individuate nell'analisi idrologica; sono state simulate diverse portate incrementando e decrementando Q_{50} di un valore stimato a partire dal 30% della differenza tra i colmi ($Q_{200}-Q_{50}$).

Le portate simulate nella configurazione finale sono indicate in Tab. 3.

Tab. 3 Portate moto permanente

Q (m ³ /s)	500	600	700	880	950
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Le due simulazioni con maggiore portata (950 m³/s e 880 m³/s) sono state sviluppate solo per il tratto a monte della confluenza con il Samoggia poiché a valle i risultati risultavano alterati per l'effetto di rigurgito; in ogni caso, con tali portate l'intero tratto di valle risulta sormontato o prossimo al sormonto.

6.1.2 Condizione di valle

Le condizioni al contorno di valle definite nei modelli utilizzati nell'analisi sono le seguenti:

- modello intermedio: scala di deflusso in moto uniforme in corrispondenza della sezione di valle del modello presso confluenza Idice;
- modello di valle: livello medio mare costante e pari a 1.25 m slm. Questo valore è desunto dagli esiti dell'“Accordo di collaborazione per l'approfondimento tecnico-scientifico sui quadri conoscitivi in ambito costiero”, sottoscritto da AdBPo, UNIFE e CNR – ISMAR, ed è associato ad uno scenario definito di media probabilità, con livello totale del mare considerato statico e pendenza dei fondali utilizzata per generare le componenti sotto-costa pari a 0.03.

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
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 $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (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 così come risultante dal DTM.

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 come di comportamento omogeneo in relazione ai franchi di sicurezza per le portate defluenti e sono identificati tra elementi riconoscibili del territorio (idrometri, attraversamenti, centri abitati, manufatti idraulici).

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

ID	Tratto	Q compatibile (m ³ /s)
1	Da FFSS MI_BO a ponte A14	>950
2	Da ponte A14 a cassa Boschetto	700
3	Da cassa Boschetto a confluenza Samoggia	600
4	Da cassa Samoggia a loc.Dosso (ponte via Verdi)	600
5	Da loc. Dosso a Cavo Napoleonico	500
6	Da Cavo Napoleonico allo sfioro del Gallo	<500
7	Dallo sfioro del Gallo a S.Maria Codifiume (ponte S.P.49)	420
8	Da S.Maria Codifiume (ponte S.P.49) a confluenza Idice	420
9	Da confluenza Idice-Sillaro a confluenza Santerno	700
10	Da confluenza Santerno a confluenza Senio	1100
11	Da confluenza Senio a mare	1100

7 Condizioni di pericolosità idraulica dello stato attuale

Le analisi in moto vario hanno interessato i fiumi Reno e Setta. Per il Reno il tratto di studio si estende da Ponte della Venturina fino al mare; per il Setta dalla zona di Ca' di Landino fino a confluenza Reno.

I modelli numerici 2D allestiti sono stati utilizzati nella configurazione ad argini sormontabili ma non erodibili.

Come già descritto, il modello intermedio della piana bolognese comprende sia l'alveo del Reno che i principali affluenti; le simulazioni in moto vario sono state condotte per tutti gli scenari simulando contestualmente eventi di pari tempo di ritorno e durata su tutti i corsi d'acqua, in modo da tenere adeguatamente conto delle mutue influenze. Nel presente documento sono descritti i risultati per i soli fiumi Reno e Setta, rimandando alle omologhe monografie per gli altri corsi d'acqua.

7.1 Condizioni al contorno modello Reno Monte, Intermedio e Valle

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 cap. 3

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

Gli input ai diversi modelli sono forniti come segue.

- **Modello di monte:** in ingresso nelle prime sezioni di monte del modello sono stati inseriti gli idrogrammi corrispondenti alle sezioni di chiusura a Ponte della Venturina per il Reno e Ca' di Landino per il Setta. Per il fiume Reno i contributi relativi ai sottobacini dei Torrente Limentra di Sambuca, Torrente Limentra Orientale, Torrente Silla, Torrente Vergatello, Torrente Venola sono stati inseriti come contributo concentrato. I contributi dei sottobacini sottesi ai tratti tra Ponte della Venturina, Prati di Castel di Casto, Ponte, Vergato, Pian di Venola, Sasso Marconi e Casalecchio di Reno sono stati inseriti come apporto distribuito. Per il torrente Setta i contributi relativi ai sottobacini del Torrente Gambellato, Torrente Brasimone e Torrente Sambri sono stati inseriti come contributo concentrato. I contributi dei sottobacini sottesi ai tratti tra Ca' di Lancino, confluenza con Rio Gambellato, Forno, Rioveggio e Sasso Marconi sono stati inseriti come apporto distribuito.
- **Modello intermedio** della piana bolognese: in ingresso nella sezione di monte del Reno è stato inserito l'idrogramma di portata in uscita dal modello di monte per tutti gli scenari considerati. Per gli altri corsi d'acqua è invece stato inserito in input nella sezione di monte di ciascun tratto il contributo concentrato dei bacini di testata (Ponte Ronca per il Ghironda, località Goccia per il Samoggia, Monte San Giovanni per il Lavino, Sant'Apollinare per il Ghiaia di Serravalle, Bologna per il Navile e Savena Abbandonato). I contributi relativi ai sottobacini successivi di valle sono stati inseriti come apporto distribuito.
- **Modello di valle:** in ingresso ad Argenta è stato inserito l'idrogramma di portata in uscita dal modello di monte per tutti gli scenari considerati. Per Idice, Sillaro, Santerno e Senio sono stati estratti gli idrogrammi di portata dai modelli delle singole aste a una distanza sufficiente dalla condizione al contorno da non essere condizionati dalla stessa (in particolare Idice al ponte della SP29, Sillaro al ponte della Cardinala, Santerno al ponte SP17, Senio al ponte della SP9 a Fusignano); tali idrogrammi sono stati applicati ai tratti terminali dei singoli affluenti per tutti gli scenari simulati.

7.1.2. Condizioni di valle

Nei modelli sono state imposte le seguenti condizioni al contorno.

- **Modello di monte:** scala di deflusso di moto uniforme nella sezione terminale del Reno. Tale imposizione, stanti le pendenze significative dell'alveo, è stata verificata come coerente con i

risultati ottenuti dalle simulazioni. Il livello idrico è stato poi successivamente modificato in ragione di quello generato dal modello di valle ad esso sovrapposto per un tratto pari a circa 250 m.

- **Modello intermedio:** le sezioni d'alveo di outlet del modello sono due, all'estremità dei tratti modellati di Reno e del Cavo Napoleonico. Per entrambi è stata adottata una scala di deflusso di moto uniforme nella sezione terminale, che per il Cavo equivale a ipotizzare assenza di limitazioni allo scarico (ovvero non concomitanza di una piena di Po). Per quel che riguarda l'asta Reno il livello idrico di piena risultante è congruente con quello del modello di valle.
- **Modello di valle:** alla sezione terminale di foce Reno è stato assunto un livello del mare pari a 1,25 m s.m. Questo valore è desunto dagli esiti dell'“Accordo di collaborazione per l'approfondimento tecnico-scientifico sui quadri conoscitivi in ambito costiero”, sottoscritto da AdBPo, UNIFE e CNR – ISMAR, ed è associato ad uno scenario definito di media probabilità, con livello totale del mare considerato statico e pendenza dei fondali utilizzata per generare le componenti sotto-costa pari a 0,03.

7.2 Condizioni al contorno modello di sinistra Samoggia

7.2.1 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.

È stato simulato l'evento associato alla durata di pioggia di 18 ore.

Gli input di portata sono forniti come di seguito descritto.

- In ingresso nella sezione di monte del Reno, del Samoggia e del Lavino sono stati inseriti gli idrogrammi di portata risultati dal modello 2D principale per quelle specifiche sezioni.
- Il contributo proprio relativo al sottobacino successivo di valle (chiusura a Bazzano) è stato inserito in modo distribuito.

7.2.2 Condizioni di valle

La sezione d'alveo di outlet del modello è rappresentata dall'estremità del tratto modellato di Reno. Per essa è stata adottata una scala di deflusso di moto uniforme nella sezione terminale.

7.3 Condizioni al contorno modello di sinistra Reno

7.3.1 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.

È stato simulato l'evento associato alla durata di pioggia di 18 ore.

Gli input di portata sono forniti come di seguito descritto.

- In ingresso nella sezione di monte del Reno e del Savena Abbandonato sono stati inseriti gli idrogrammi di portata risultati dal modello 2D principale per quelle specifiche sezioni.
- Non è stato considerato il contributo del Canale Navile in quanto le simulazioni sono state eseguite considerando le paratoie del Navile completamente chiuse.

7.3.2. Condizioni di valle

Le sezioni d'alveo di outlet del modello sono due, all'estremità dei tratti modellati di Reno e del Cavo Napoleonico. Per entrambi è stata adottata una scala di deflusso di moto uniforme nella sezione terminale, che per il Cavo equivale a ipotizzare assenza di limitazioni allo scarico (ovvero non concomitanza di una piena di Po). Per quel che riguarda l'asta Reno il livello idrico di piena risultante è congruente con quello del modello di valle.

7.4 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.

7.5 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).

Preliminarmente a tali simulazioni è stata indagata la possibilità di calibrare il modello allestito rispetto agli eventi reali recenti (settembre e ottobre 2024, data la minore significatività degli eventi del 1-4 e 16-18 maggio 2023 sull'asta del Reno).

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 limita di fatto una taratura diretta del modello. Poiché risultano comunque disponibili gli andamenti misurati dei livelli, si è proceduto ricostruendo, con il modello idrologico allestito per l'analisi idrologica, gli idrogrammi di portata stimati per gli eventi di cui sopra sulla base delle precipitazioni misurate presso i pluviometri disponibili della rete ARPAE (Fig. 28). Tale procedura inserisce nell'analisi l'ulteriore componente di incertezza legata alle approssimazioni del modello idrologico e particolarmente della validità spaziale del dato puntuale di precipitazione intensa misurato al pluviometro.

Pur con tutti i limiti intrinseci nell'approccio proposto, gli idrogrammi così ricostruiti sono stati applicati ai modelli numerici idrodinamici allestiti, verificando presso i principali idrometri la coerenza con i livelli idrici misurati e restituiti dal modello, nell'ottica di poter eventualmente calibrare il parametro di scabrezza per ottenere un migliore riscontro. I risultati ottenuti mostrano una discreta coerenza negli idrogrammi di livello; gli scostamenti osservati sui colmi appaiono compatibili con il grado di incertezza sopra descritto, dipendente da più fattori.

In tali condizioni, si è optato per un approccio cautelativo sulla scabrezza che prevede di mantenere 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. Unicamente nel tratto terminale del torrente Setta (da Vado alla confluenza Reno, caratterizzato da ampia larghezza e tendenza alla divagazione e ramificazione) si è operata una modesta variazione di scabrezza per il solo elemento "Alvei di fiumi con vegetazione scarsa" portandone il valore a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ rispetto ai $28,6 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ originari, in modo da ottenere un profilo idrico più coerente con quanto osservato nel corso degli eventi 2024 (assenza di allagamenti presso il depuratore in destra e maggior coerenza con i livelli misurati all'idrometro di Sasso Marconi).

Sia per il modello di monte (Reno e Setta) che per il modello intermedio sono stati simulati entrambi gli eventi di Settembre e Ottobre 2024, più gravosi in termini di livelli raggiunti. I risultati ottenuti sono descritti nei capitoli che seguono.

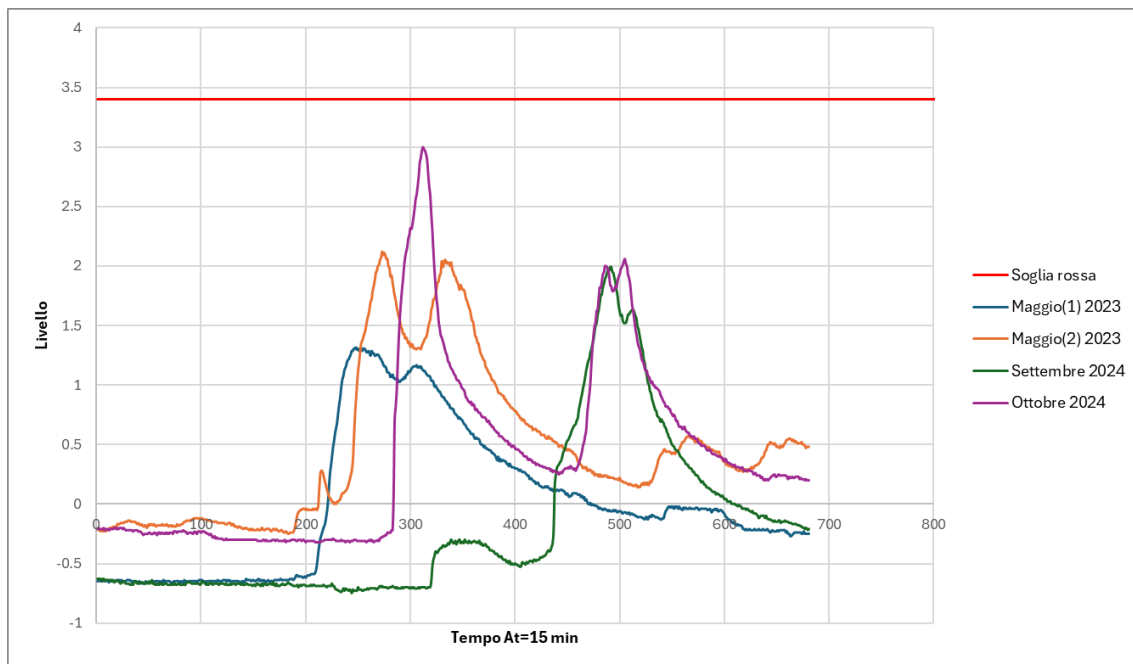


Fig. 28 Reno a Casalecchio: livelli idrometrici ARPAE eventi 2023 e 2024

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 PAI preesistente), aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 50 anni;
- evento T200: perimetrazione P2 PGRA 2021;
- evento T500: perimetrazione P1 PGRA 2021.

Nel seguito sono sinteticamente illustrate le evidenze delle analisi eseguite relativamente ai tre tempi di ritorno indagati e agli eventi di settembre e ottobre 2024. 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 e 24 ore).

7.5.1. Fiume Reno (da Porretta Terme a confluenza Setta)

7.5.1.1 Eventi 2024

Le simulazioni degli eventi di Settembre e Ottobre 2024 per il tratto di monte del fiume Reno hanno ottenuto dei risultati ben comparabili con le limitatissime segnalazioni di allagamenti riscontrate sui media.

Vengono di seguito rappresentate le esondazioni come massimi tiranti idrici risultati dalla simulazione dell'evento di **settembre 2024** nella porzione di valle del modello, con dettaglio sull'area di confluenza con il fiume Setta (Fig. 29 e Fig. 30). In generale gli allagamenti riscontrati sono relativi solo a ristrette porzioni di aree golenali interessate dalla presenza di bacini di cava e all'area interclusa tra Reno e Setta alla confluenza (Fig. 30). Non si osservano esondazioni che interessino aree abitate o il depuratore in sponda destra presso la confluenza.

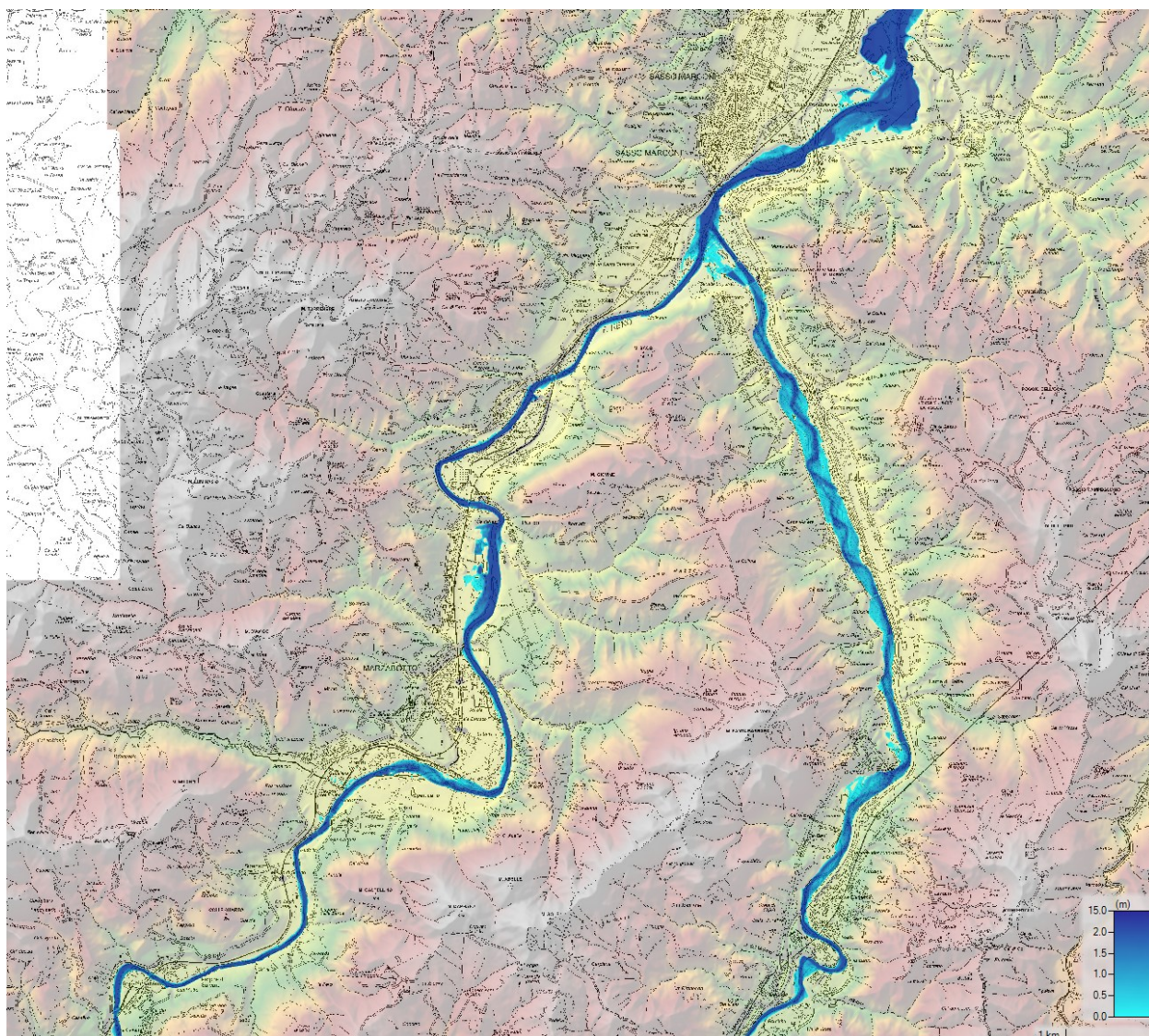


Fig. 29 Evento Settembre 2024: tiranti massimi nella porzione di valle del modello.

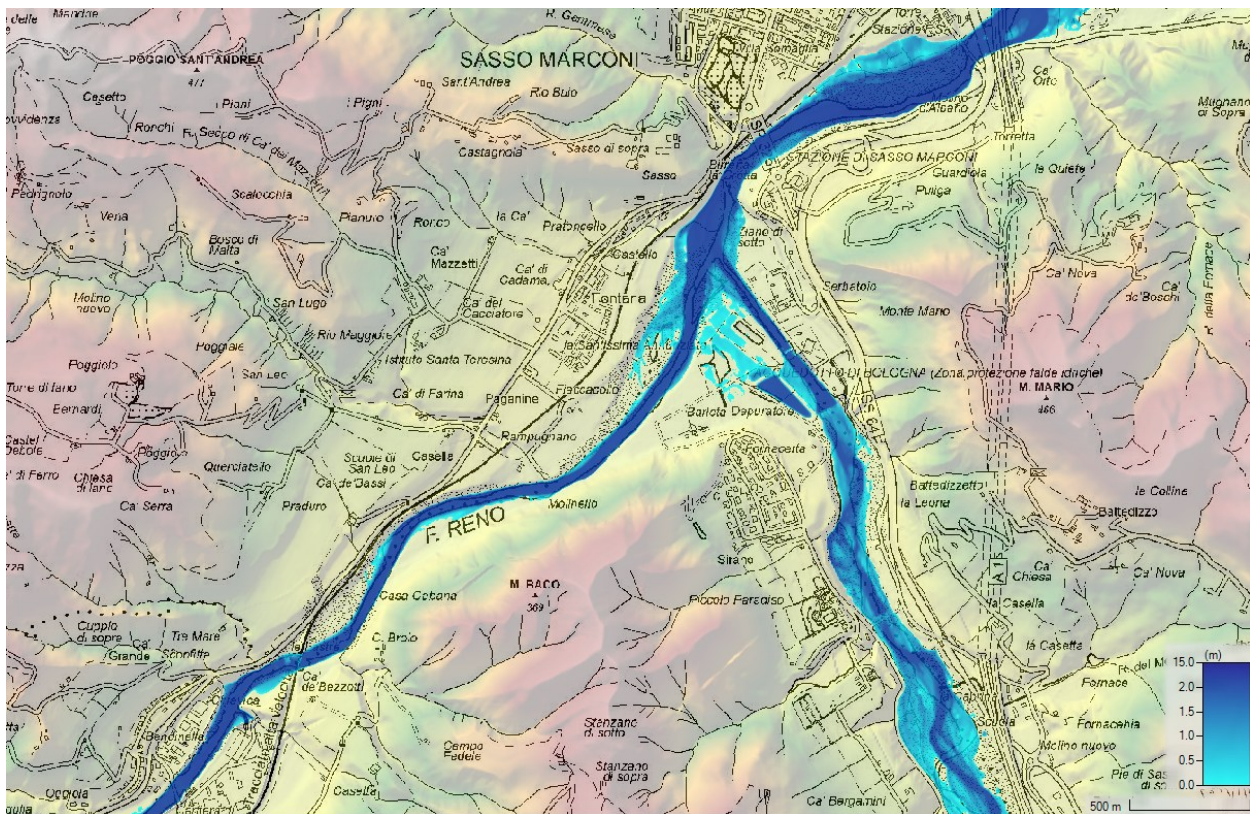


Fig. 30 Evento Settembre 2024: dettaglio dei tiranti massimi nei pressi della confluenza del fiume Setta in Reno.

In Fig. 31 sono rappresentati gli idrogrammi di portata ottenuti in uscita dal modello di monte (input per il modello intermedio) a confronto con l'idrogramma risultante dalla ricostruzione idrologica: si osservano limitati effetti di laminazione del colmo d'onda, che si riduce di circa $80 \text{ m}^3/\text{s}$ (circa il 9%) ad opera delle dinamiche idrauliche.

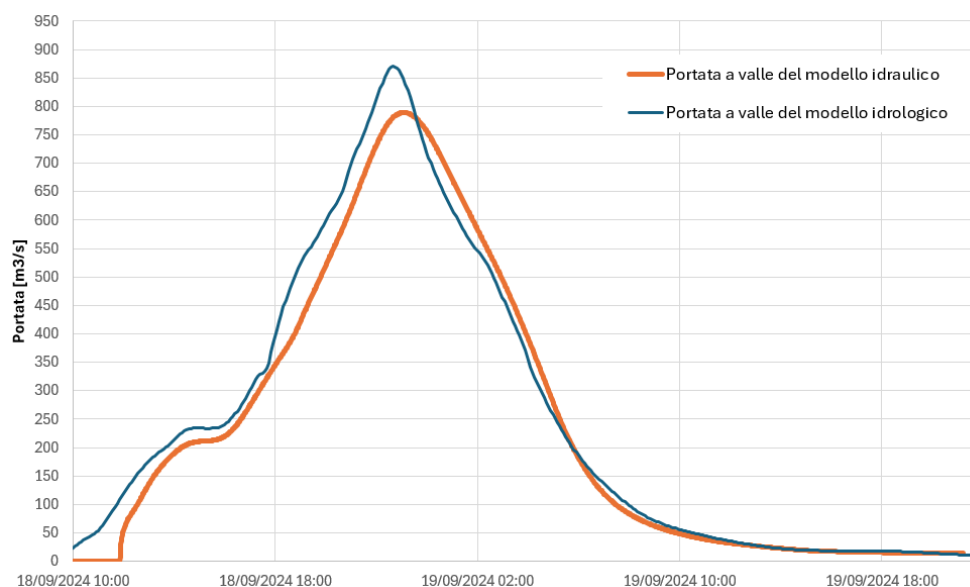


Fig. 31 Confronto tra gli idrogrammi di portata per l'evento di settembre 2024.

In Fig. 32, Fig. 33, Fig. 34 sono riportati gli andamenti dei livelli in alveo misurati dalle stazioni idrometriche di Porretta Terme e Vergato sul fiume Reno e Sasso Marconi sul Setta, a confronto con i valori simulati. Si

osserva un soddisfacente riscontro nella descrizione dei picchi massimi; gli idrogrammi di input stimati dal modello idrologico paiono invece in generale sottostimare i volumi di evento, con più rapide fasi di esaurimento.

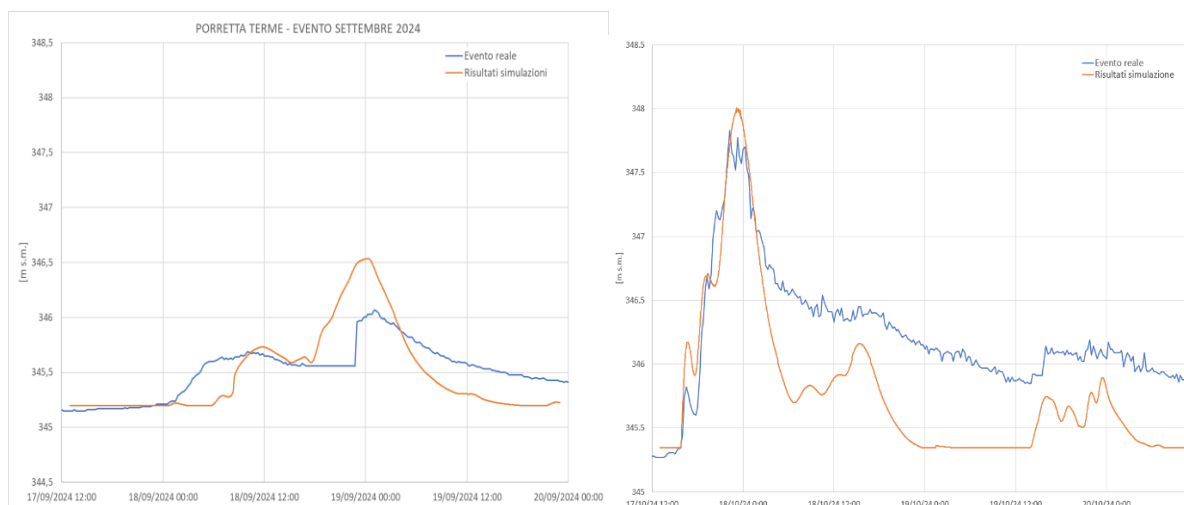


Fig. 32 Stazione idrometrica Porretta Terme: Andamenti dei livelli in alveo in m s.m. misurati nelle stazioni (blu) e ottenuti dalla simulazione (arancio) per l'evento di settembre e ottobre 2024.

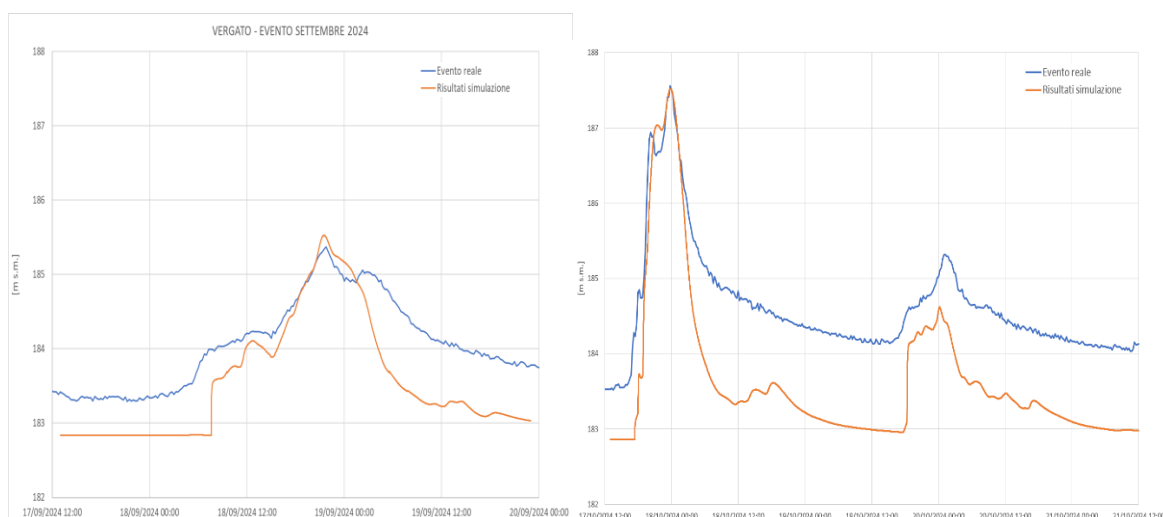


Fig. 33 Stazione idrometrica Vergato: Andamenti dei livelli in alveo in m s.m. misurati nelle stazioni (blu) e ottenuti dalla simulazione (arancio) per l'evento di settembre e ottobre 2024.

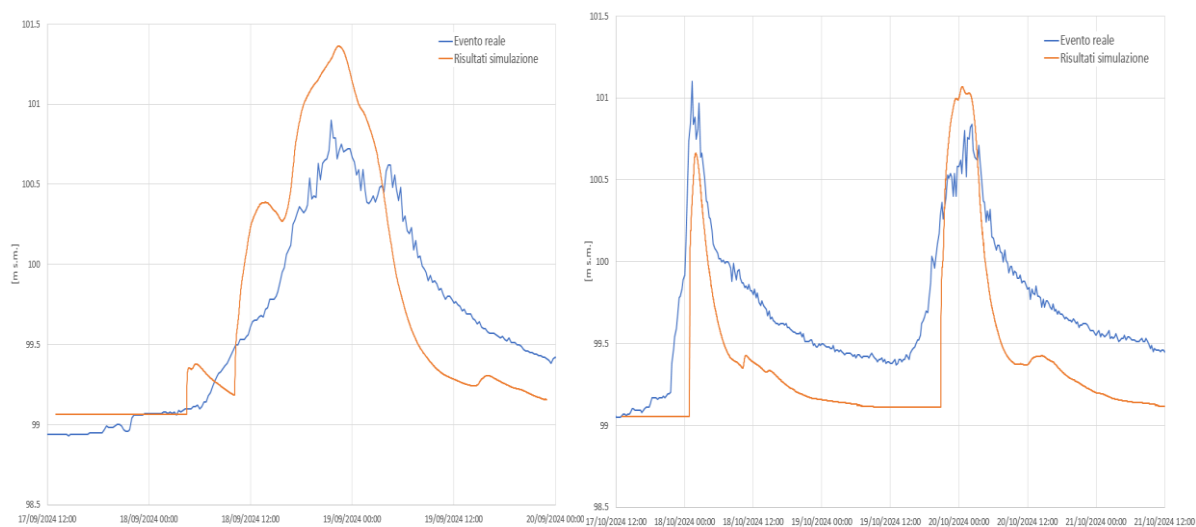


Fig. 34 Stazione idrometrica Sasso Marconi: Andamenti dei livelli in alveo in m s.m. misurati nelle stazioni (blu) e ottenuti dalla simulazione (arancio) per l'evento di settembre e ottobre 2024.

7.5.1.2 Evento TR50

Nei pressi dell'abitato di Porretta Terme si osservano esondazioni del fiume Reno leggermente più estese rispetto alla perimetrazione P3 del PGRA 2021, particolarmente in sponda destra dove un sormonto dell'elemento di ritenuta porta a un allagamento anche della sede ferroviaria che si propaga verso valle (Sez. A in Fig. 35). Anche nel tratto a monte dell'attraversamento della ferrovia si ha un sormonto della sponda destra di circa 0,40 m (Sez. B in Fig. 35), mentre subito a monte dell'area industriale si ha sormonto di entrambe le sponde di $0,35 \div 0,45$ m.

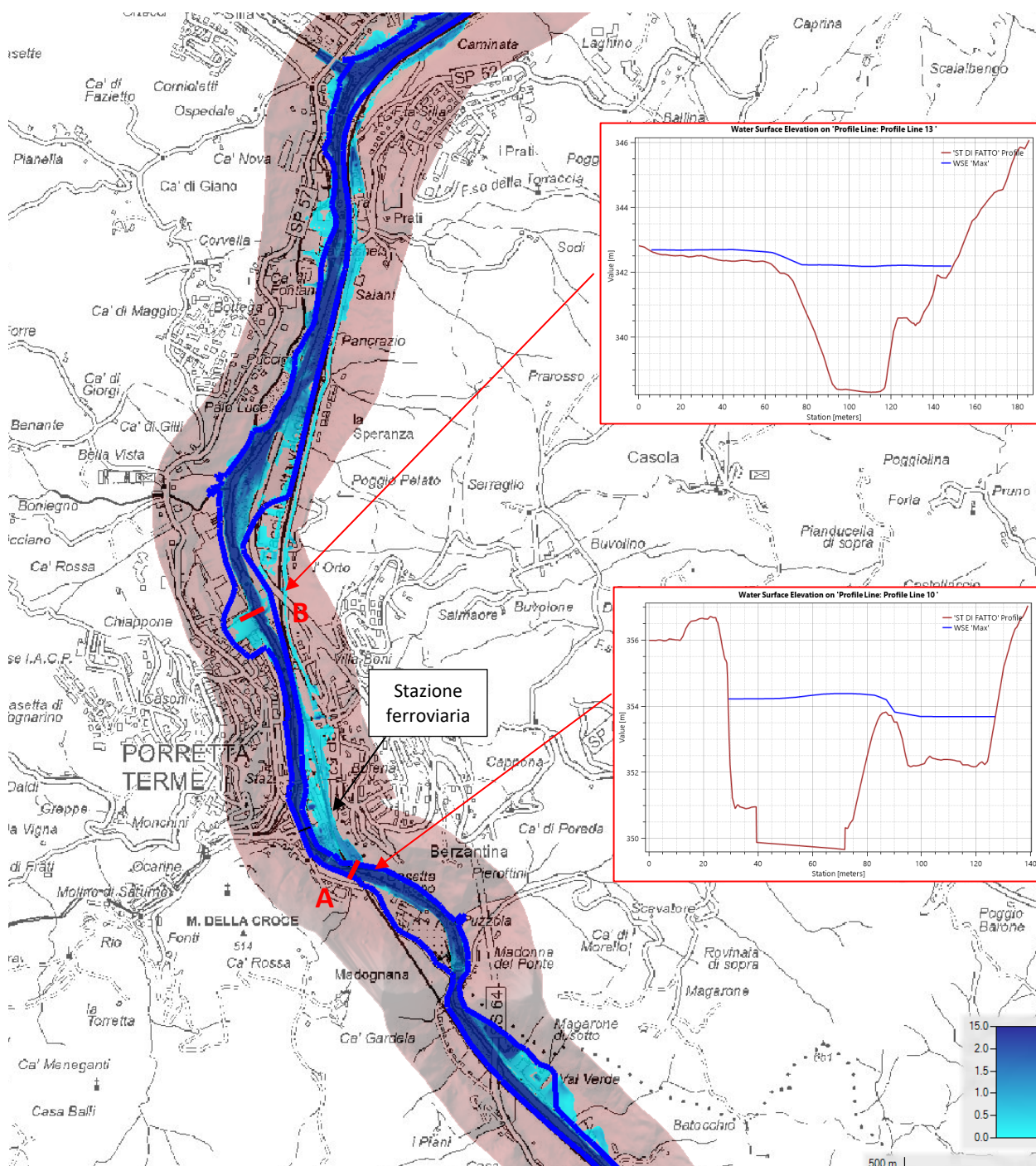


Fig. 35 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti presso Porretta Terme (in blu P3 PGRA 2021).

Il tratto a monte della confluenza del Torrente Limenra di Treppio presenta un'esondazione principalmente in aree agricole; si osserva una buona corrispondenza con la perimetrazione P3 PGRA 2021, come rappresentato in Fig. 36.

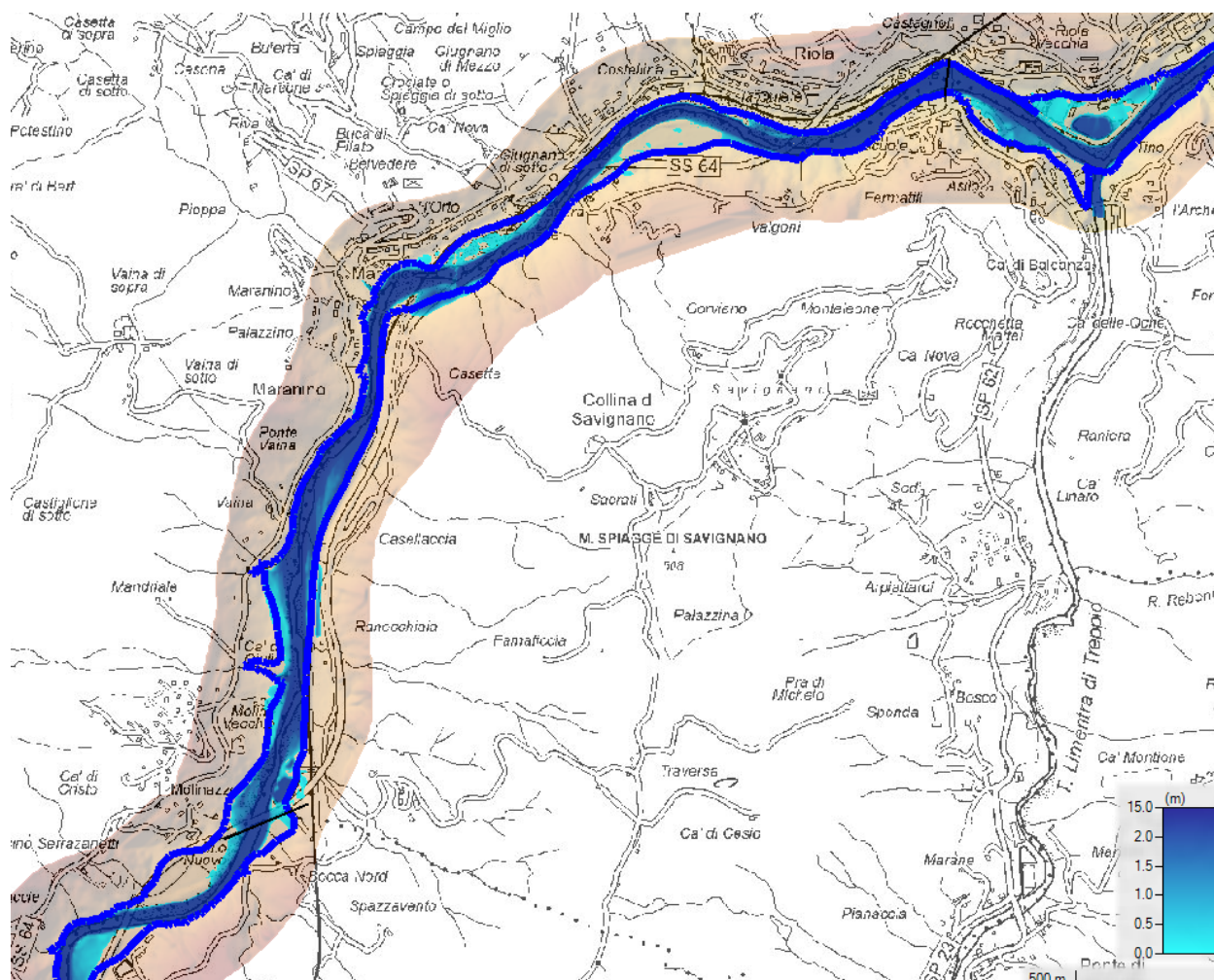


Fig. 36 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti a monte della confluenza del torrente Limentra di Treppio (in blu P3 PGRA 2021).

Il tratto nei pressi di Vergato presenta esondazioni con un'estensione maggiore rispetto alla perimetrazione P3 PGRA 2021 nel centro abitato; essa è dovuta al passaggio dell'acqua attraverso alcuni sottopassi della linea ferroviaria Bologna-Pistoia (vedi Fig. 37).

Il colmo dell'idrogramma di portata da monte a valle delle esondazioni nell'abitato di Vergato, tenendo conto del contributo positivo dato dalla presenza della confluenza del Torrente Aneva / Vergatello, diminuisce di circa $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

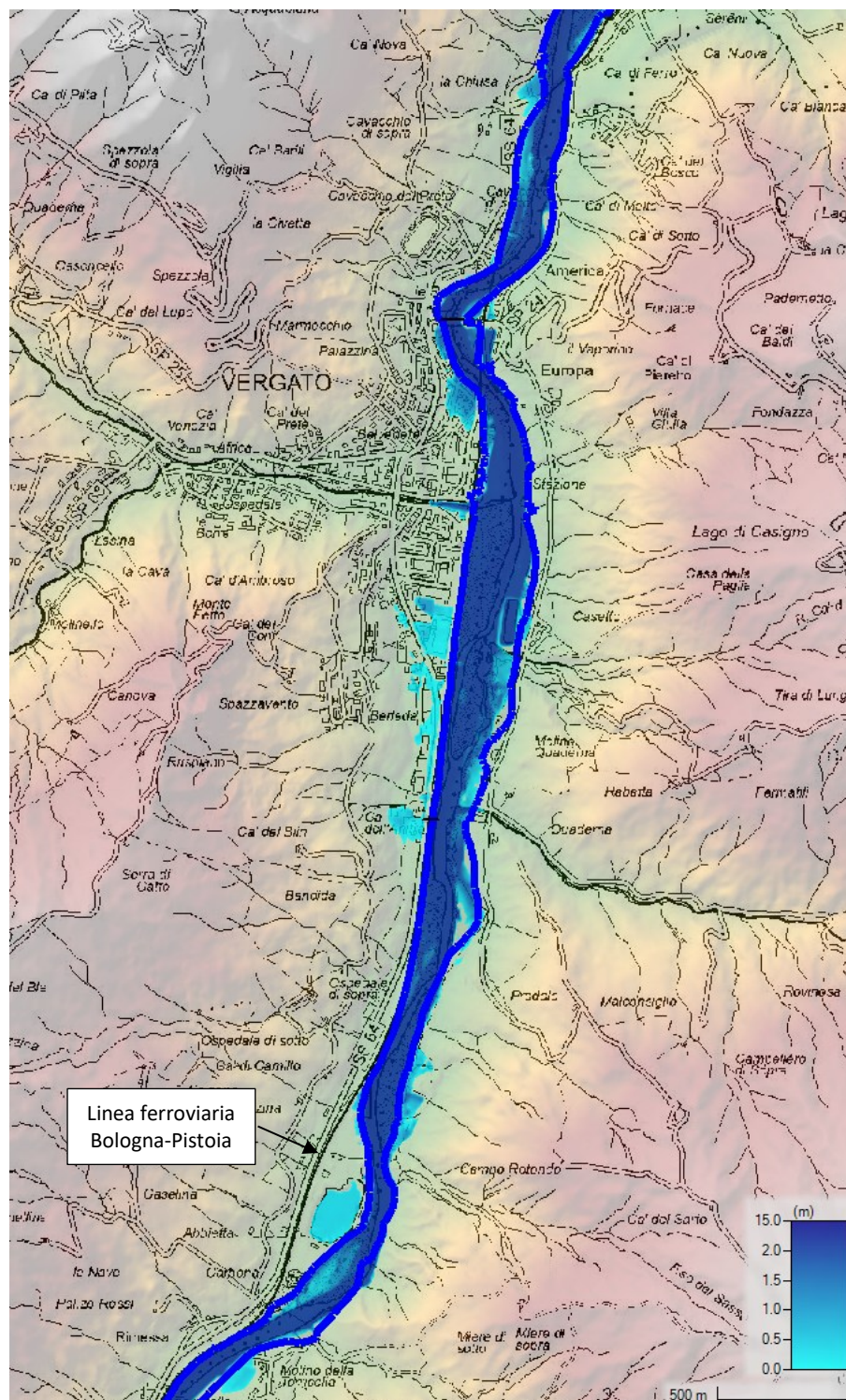


Fig. 37 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi di Vergato (in blu P3 PGRA 2021).

Il tratto nei pressi di Pioppe di Salvaro presenta un'esondazione che interessa solamente aree agricole e coincide con la perimetrazione P3 PGRA 2021; mentre nei pressi dell'abitato di Sibano l'estensione delle aree allagate in sponda sinistra è maggiore della perimetrazione P3 PGRA 2021, andando ad interessare dei caseggiati (vedi Fig. 38). La sponda sinistra è sormontata di circa 2,00 m.

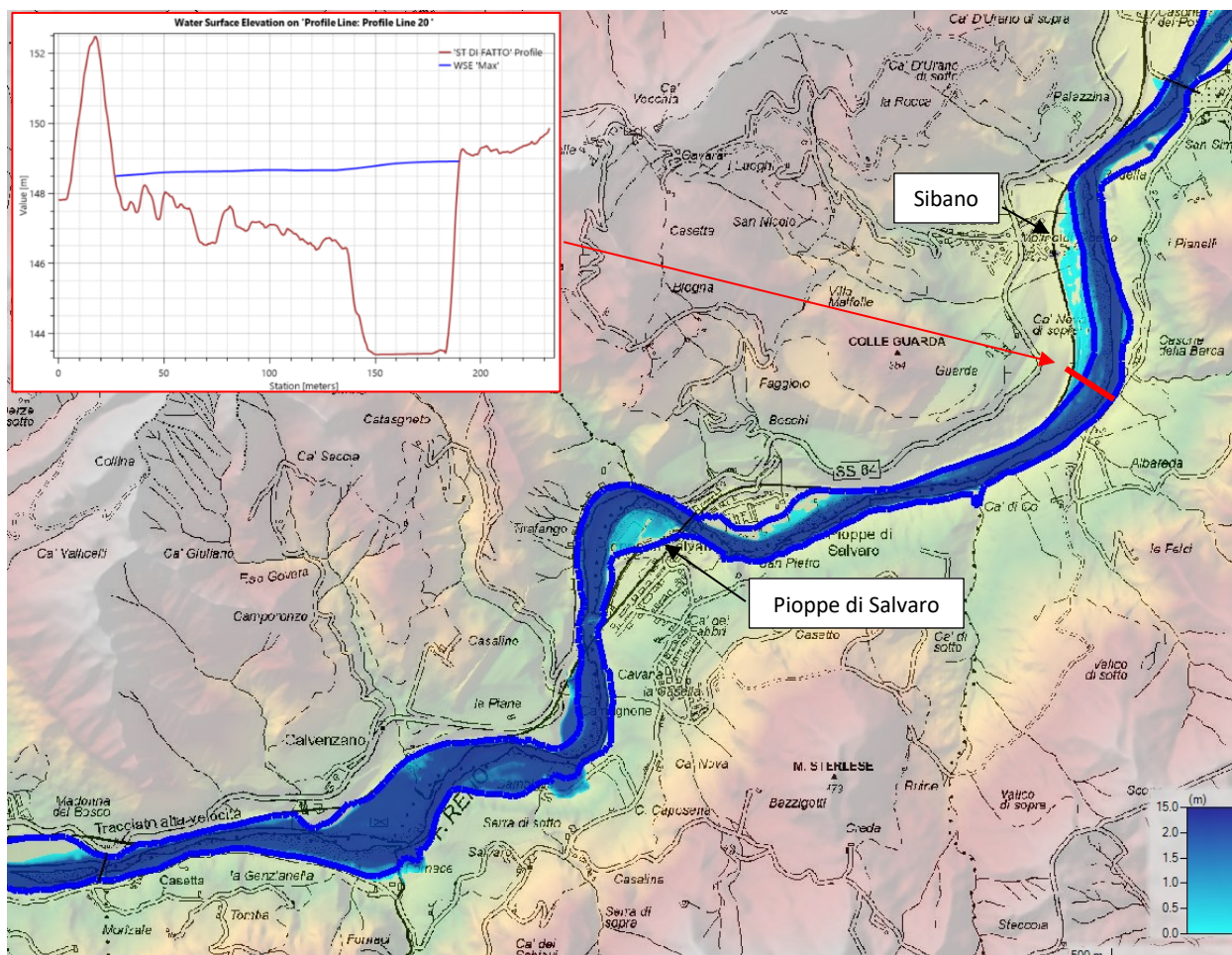


Fig. 38 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi degli abitati di Pioppe di Salvaro e Sibano (in blu P3 PGRA 2021).

Anche nell'abitato di Marzabotto si osservano esondazioni nell'area urbana dovute al passaggio dell'acqua attraverso i sottopassi della linea ferroviaria Bologna-Pistoia (vedi Fig. 39). L'allagamento avviene per sormonto di circa 1,00 m della sponda sinistra a monte dell'arginello ubicato lungo il lago Duria (Sez. A in Fig. 39).

A valle del sistema arginale non continuo, l'esondazione si propaga nell'area delle cave per rientrare nell'alveo e fuoriuscire nuovamente sormontando la difesa arginale in sponda destra di circa $0,45 \div 0,50$ m sia a valle che nei pressi dell'abitato di Lama di Reno (Sez. B e C in Fig. 39). Come evidenziato nella sezione esemplificativa (Sez. C) in Fig. 39, a valle del ponte di via Lama di Reno si ha il sormonto di entrambe le sponde arginate (0,55 m in sponda destra e 0,65 m in sponda sinistra) che provoca l'allagamento di un'area abitata con estensione maggiore rispetto alla perimetrazione P3 PGRA 2021.

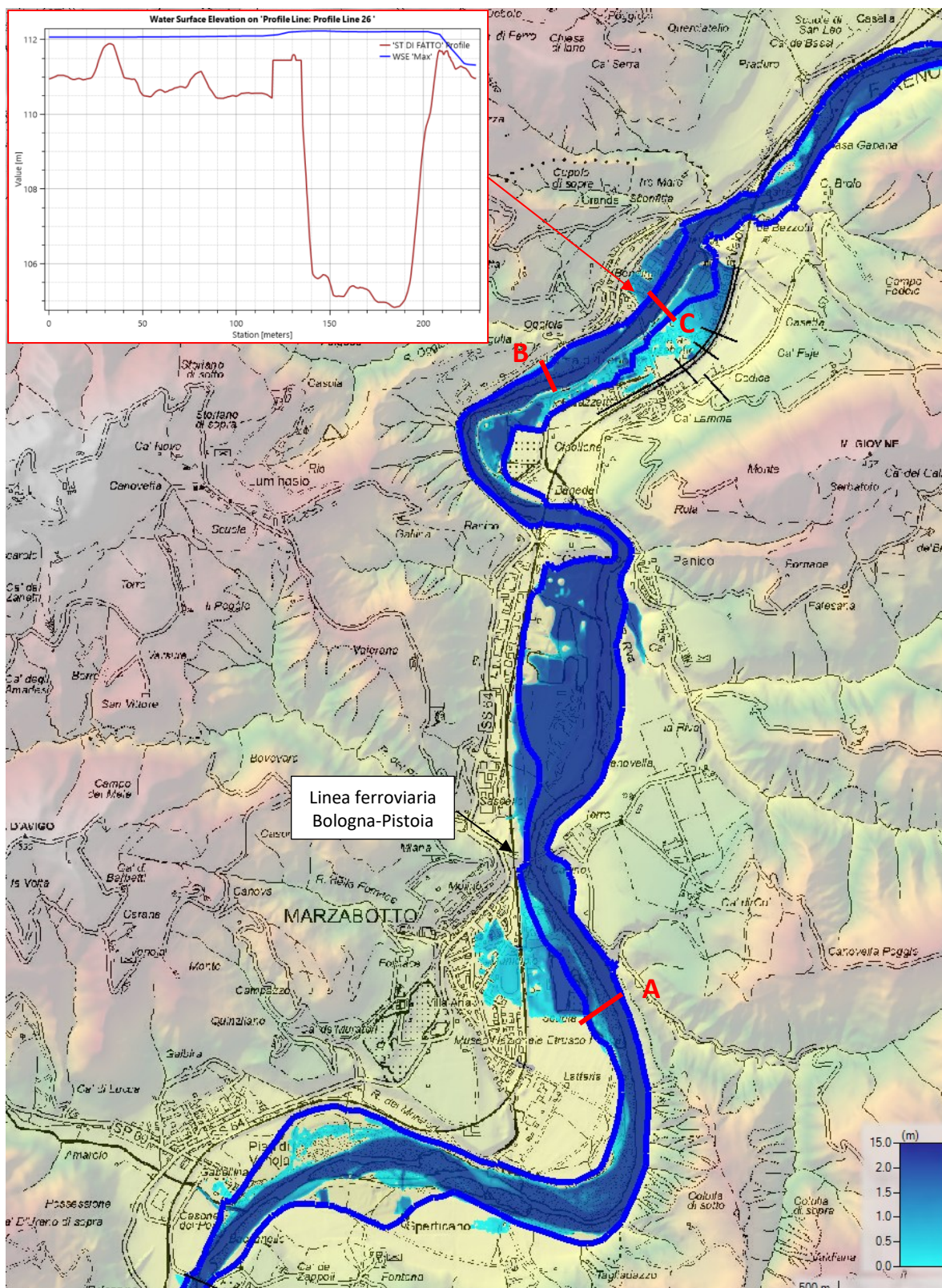


Fig. 39 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi degli abitati di Marzabotto e Lama di Reno (in blu P3 PGRA 2021).

Nei pressi della confluenza del Setta (vedi Fig. 40) e a valle di essa (vedi Fig. 41) l'esondazione coincide sostanzialmente con la perimetrazione P3 PGRA 2021 e interessa principalmente aree agricole con alcuni casolari e zone in cui sono presenti laghi di cava adiacenti all'alveo del Reno nei pressi di Borgonuovo.

Si osservano sormonti spondali nei pressi dell'abitato di Sasso Marconi (da 0,50 a 2,00 m) che danno luogo ad allagamenti in sponda sinistra nella zona del depuratore e nell'area dei laghetti di Porziola. Il colmo

The map displays the Sasso Marconi area, highlighting the Reno river and its tributaries. Key locations labeled include Sasso Marconi, Fontana, Monte Mario, and various smaller settlements like San Leo and Praduro. A blue line represents the river, and a yellow line indicates the boundary of the 'Zona protezione falde idriche' (aquifer protection zone). A scale bar and a north arrow are also present.

58

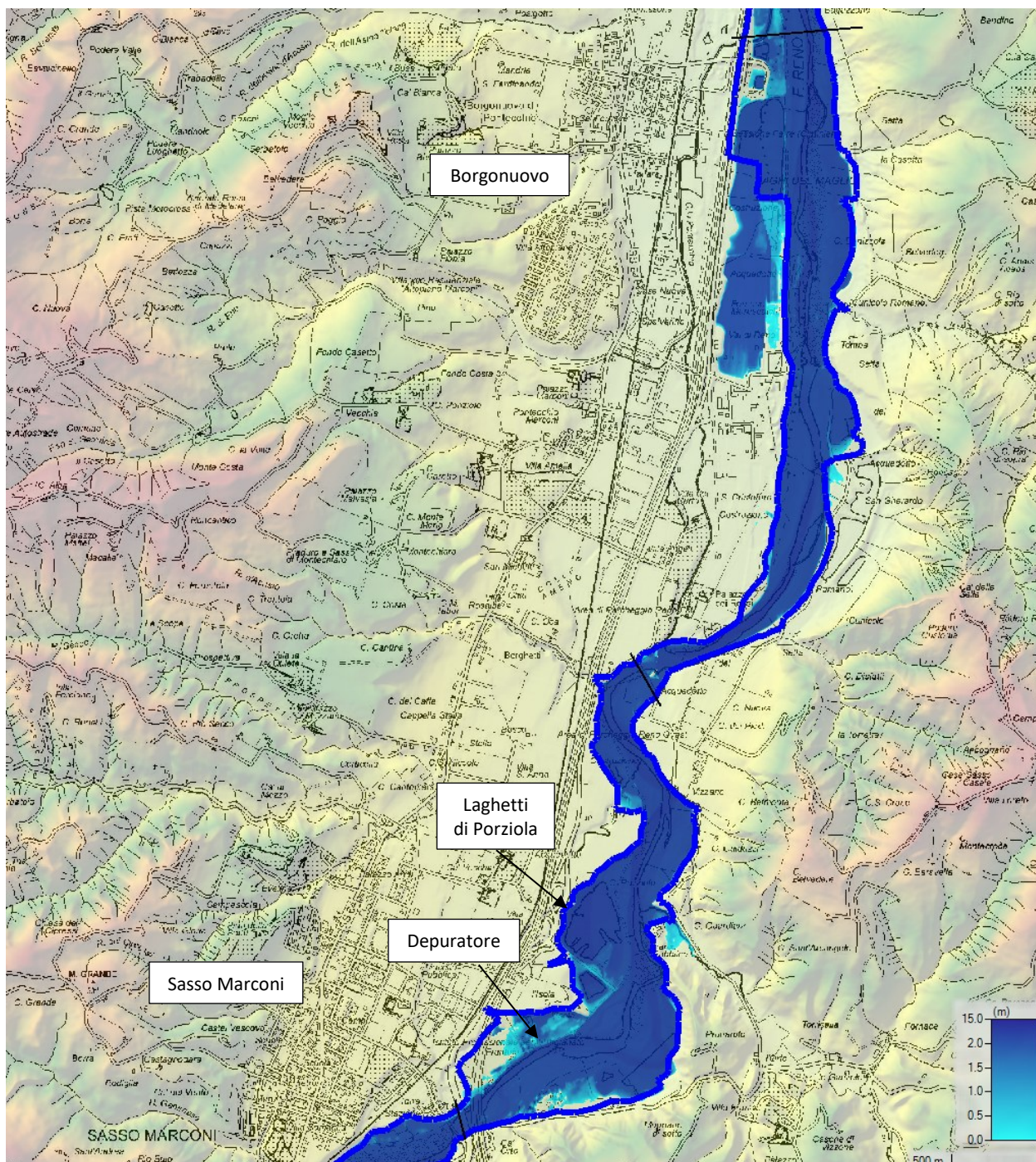


Fig. 41 TR50 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi degli abitati di Sasso Marconi e Borgonuovo (in blu P3 PGRA 2021).

7.5.1.3 Evento TR200

In generale l'evento di durata 9 ore con il tempo di ritorno 200 anni presenta esondazioni coerenti con la perimetrazione P2 PGRA 2021 (ad es. v. Fig. 43). Per la maggior parte dei casi gli allagamenti si propagano in aree coltivate o boschive; ci sono però casi in cui vengono interessati, pur limitatamente, i centri abitati.

Nei pressi di Porretta Terme (vedi Fig. 42) si osservano sormonti della sponda destra o di entrambe le sponde in cui non sono presenti le difese spondali, come già indicato per il TR50, dell'ordine però di 1,00÷2,00 m.

Nei pressi dell'abitato di Vergato (Fig. 44), anche per questo evento, l'allagamento è dovuto al flusso di acqua passante attraverso i sottopassi della linea ferroviaria Bologna-Pistoia; il colmo dell'idrogramma di porta diminuisce di circa 30 m³/s a causa di queste fuoriuscite. Anche nei pressi di Pioppe di Salvaro si

osservano esondazioni nel centro abitato con sormonti delle sponde dove non sono presenti le difese spondali a valle del ponte della linea ferroviaria.

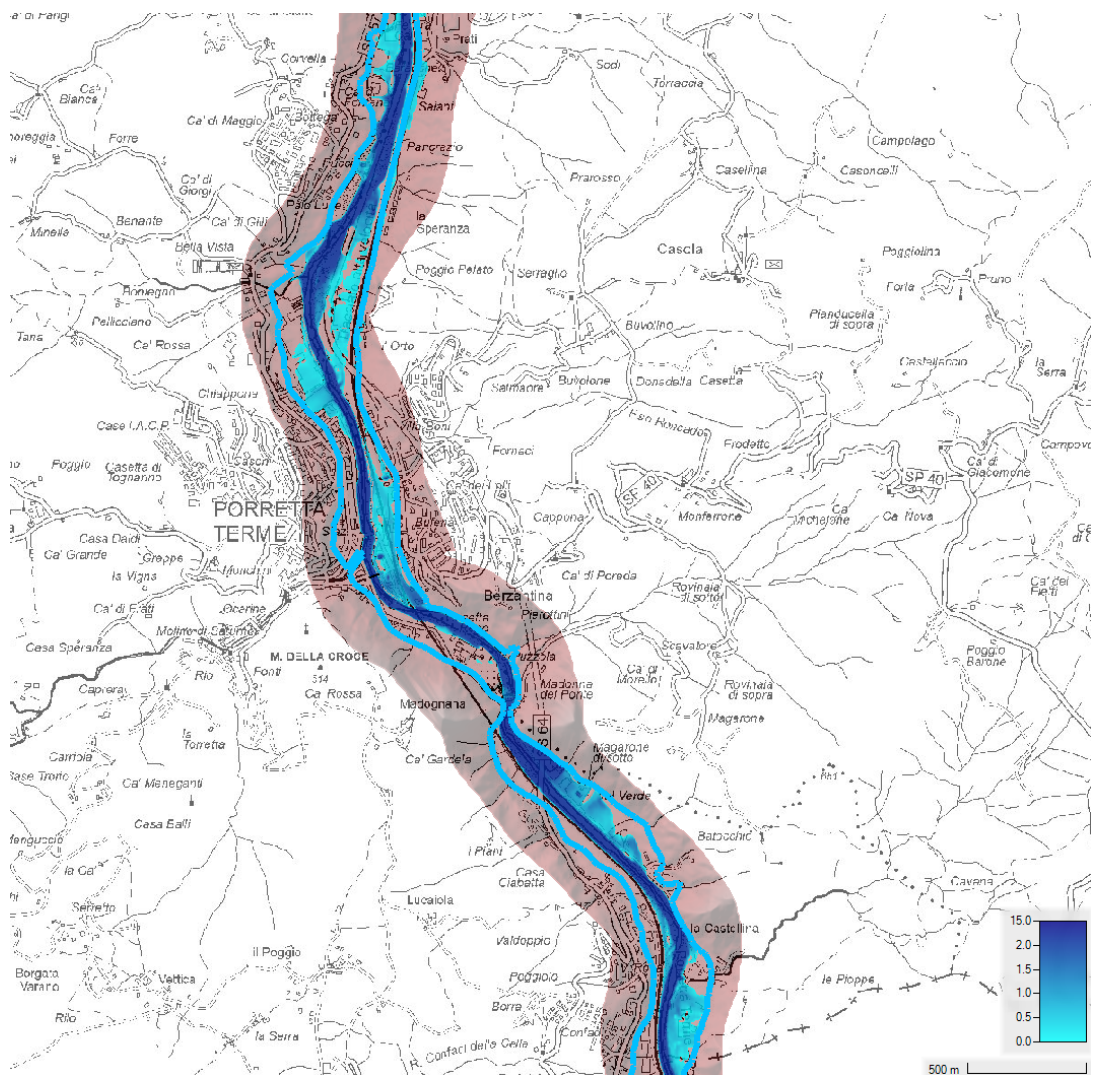


Fig. 42 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti presso Porretta Terme (in [azzurro](#) P2 PGRA 2021).

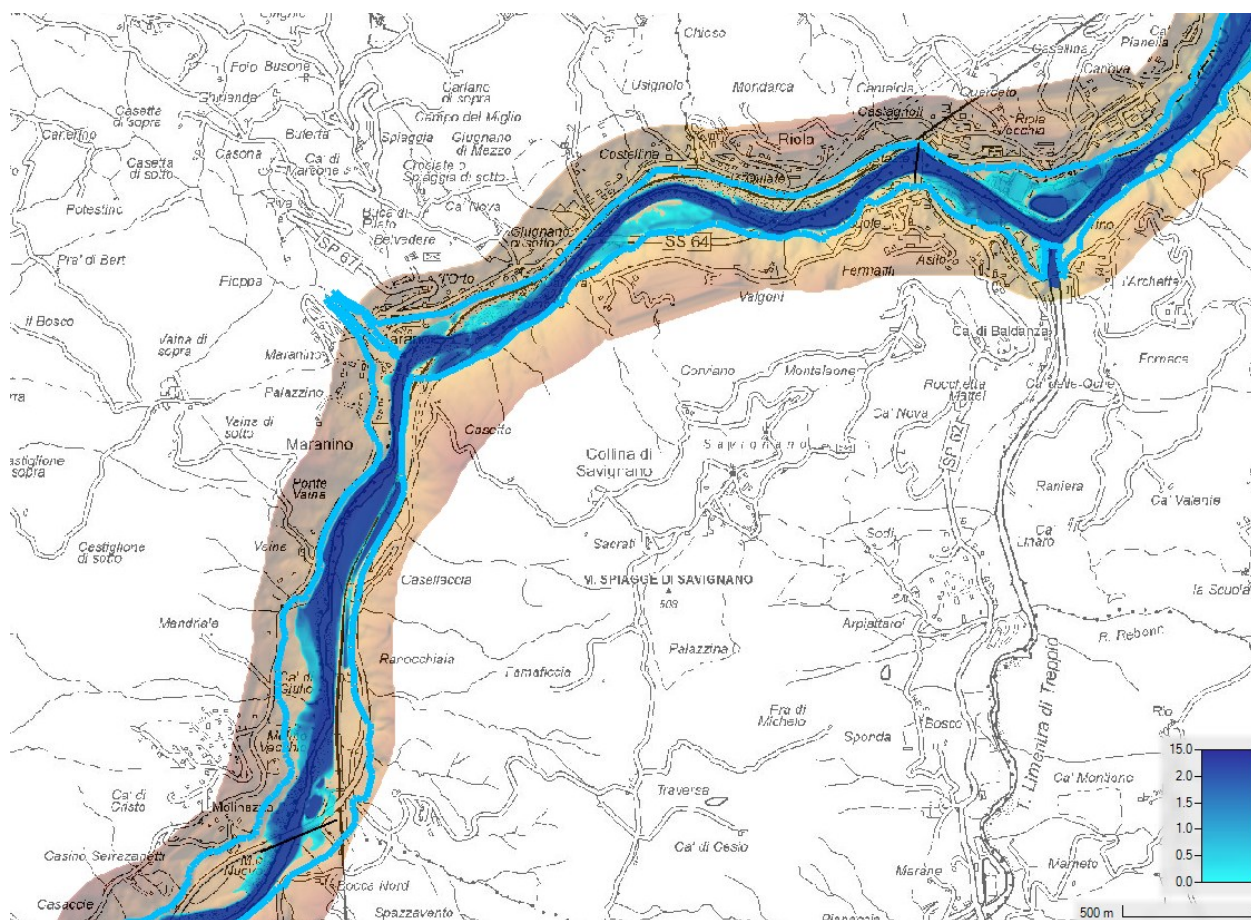


Fig. 43 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti a monte della confluenza a monte del torrente Limentra di Treppio (in **azzurro** P2 PGRA 2021).

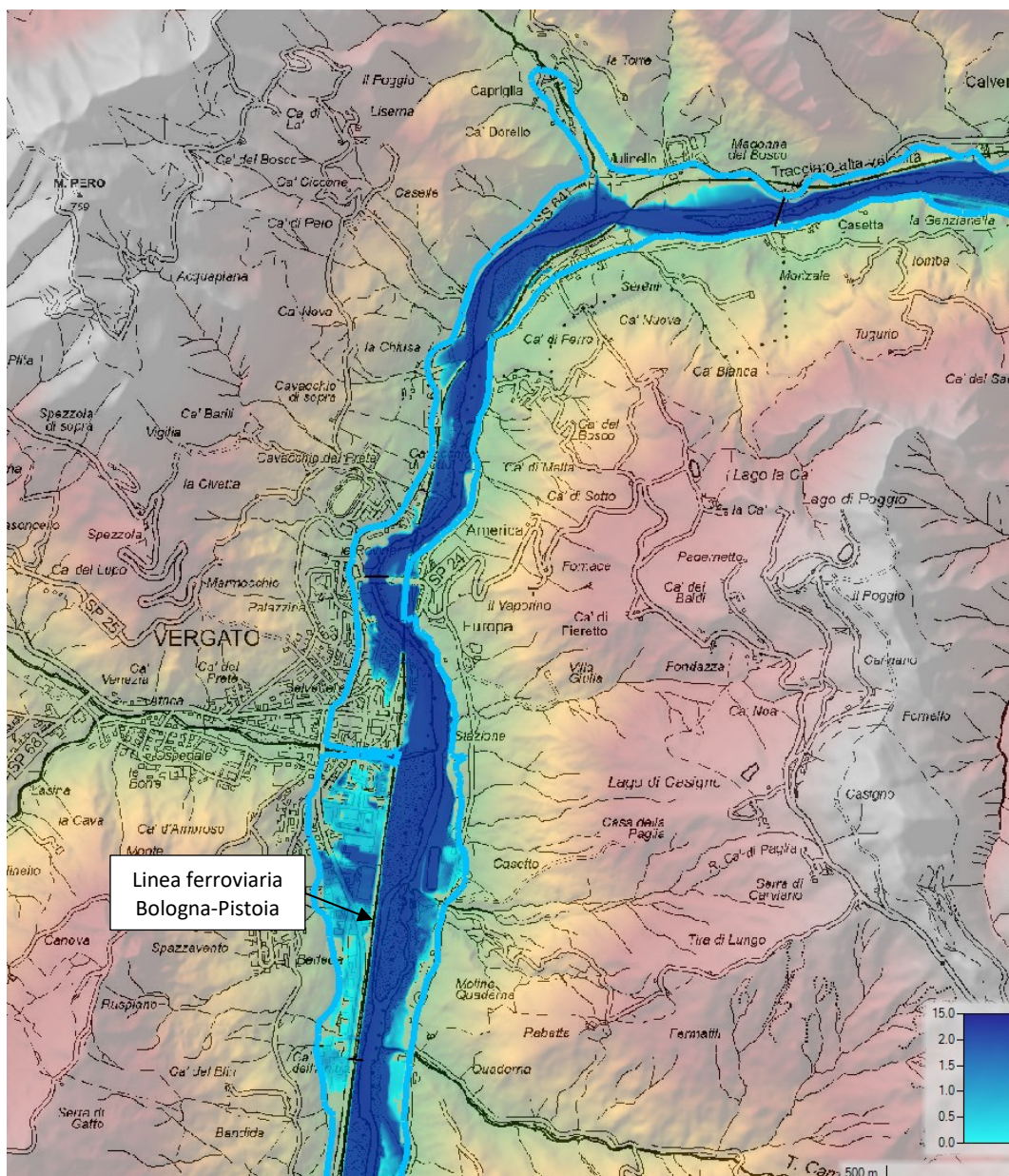


Fig. 44 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi di Vergato (in azzurro P2 PGRA 2021).

A Marzabotto si osservano sormonti a monte del sistema arginale di circa 4,00 m che provocano l'allagamento del centro abitato in quanto il flusso esondato attraversa i sottopassi della linea ferroviaria Bologna-Pistoia (Sez. A in Fig. 45).

A valle del sistema arginale non continuo l'esondazione si propaga nell'area delle cave per rientrare nell'alveo e fuoriuscire nuovamente sormontando la difesa arginale in sponda destra di circa 1,00÷1,50 m sia a valle che nei pressi dell'abitato di Lama di Reno (Sez. B, C e D in Fig. 45). Come evidenziato nella sezione esplicativa (Sez. D) in Fig. 45, a valle del ponte di via Lama di Reno si ha il sormonto di entrambe le sponde arginate di circa 2,50 m che porta all'allagamento dell'area abitata.

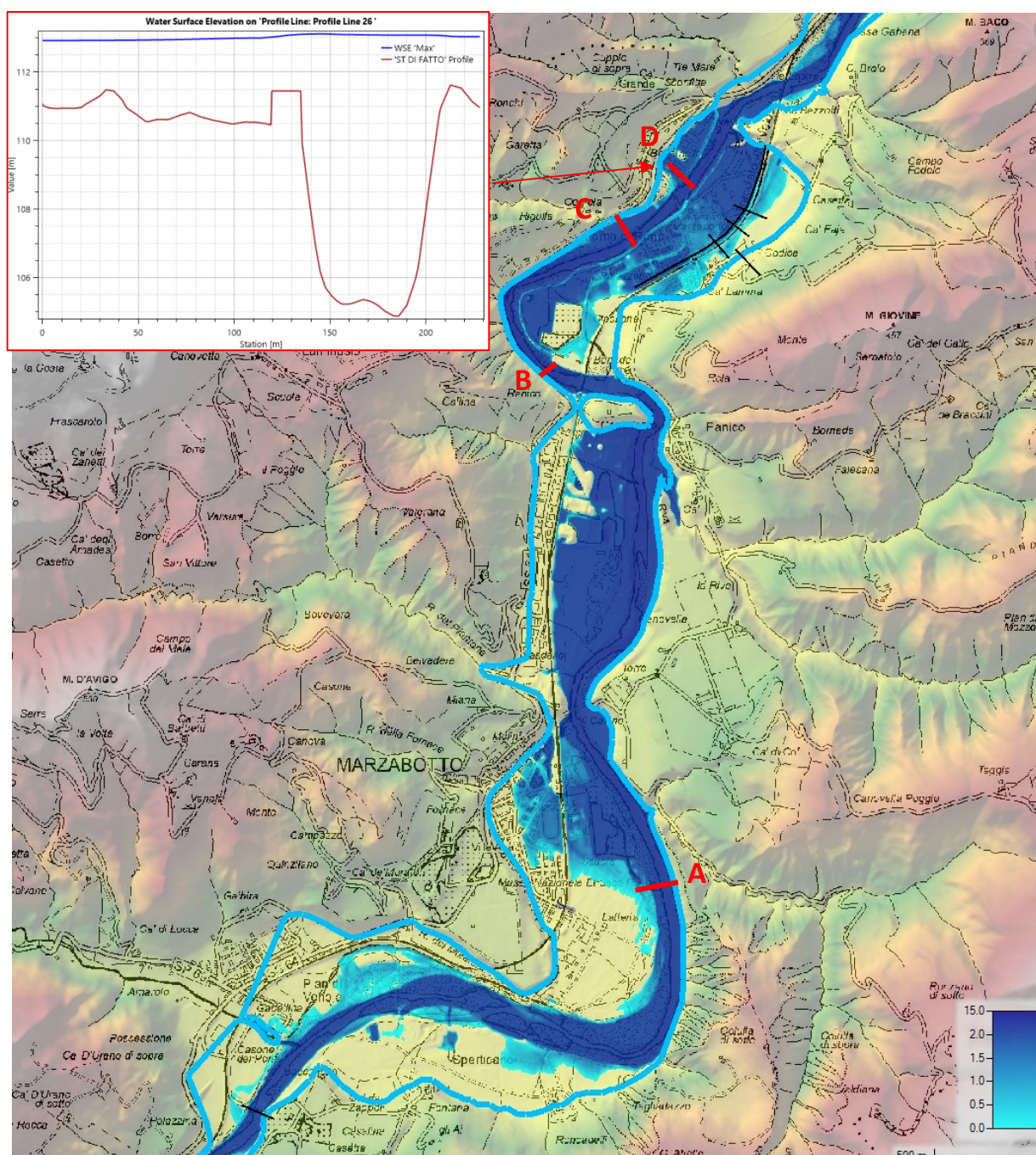


Fig. 45 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi degli abitati di Marzabotto e Lama di Reno (in azzurro P2 PGRA 2021).

Nei pressi della confluenza del Setta (vedi Fig. 46) e a valle di essa (vedi Fig. 47) l'esondazione coincide con la perimetrazione P2 PGRA 2021 e interessa principalmente aree agricole con alcuni casolari e zone in cui sono presenti laghi di cava adiacenti all'alveo del Reno nei pressi di Borgonuovo.

Si osservano sormonti del tratto a monte delle difese spondali e nel tratto arginato nei pressi dell'abitato di Sasso Marconi (da 1,00 a 2,00 m) che danno luogo ad allagamenti in sponda sinistra nella zona del depuratore e nell'area dei laghetti di Porziola, come già osservato per il TR50.

Il colmo dell'idrogramma di portata diminuisce di circa $75 \text{ m}^3/\text{s}$ nel tratto finale del Reno di monte che va dalla confluenza del torrente Setta (colmo di portata di circa $1850 \text{ m}^3/\text{s}$) a fine tratto, poco a monte della Chiusa di Casalecchio (colmo di portata di circa $1775 \text{ m}^3/\text{s}$) per effetto delle espansioni golenali.

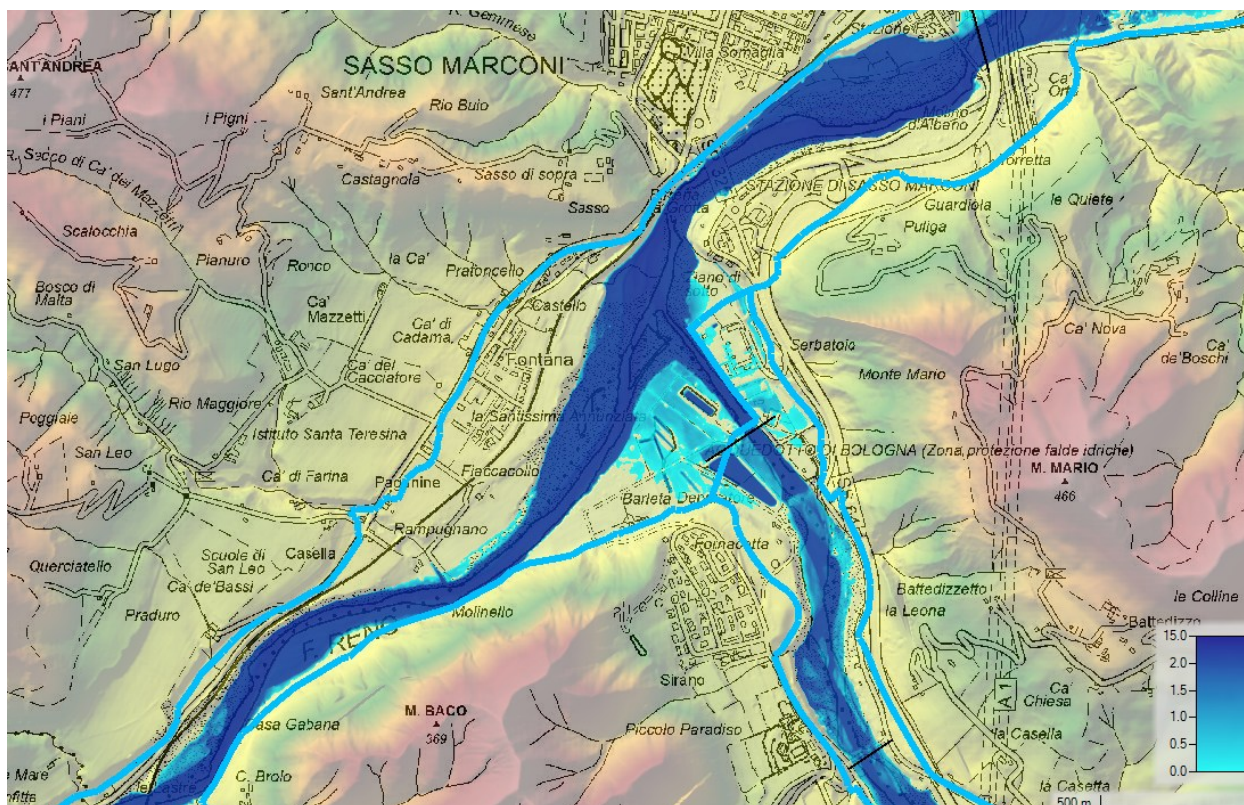


Fig. 46 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi della confluenza con il fiume Setta (in **azzurro** P2 PGRA 2021).

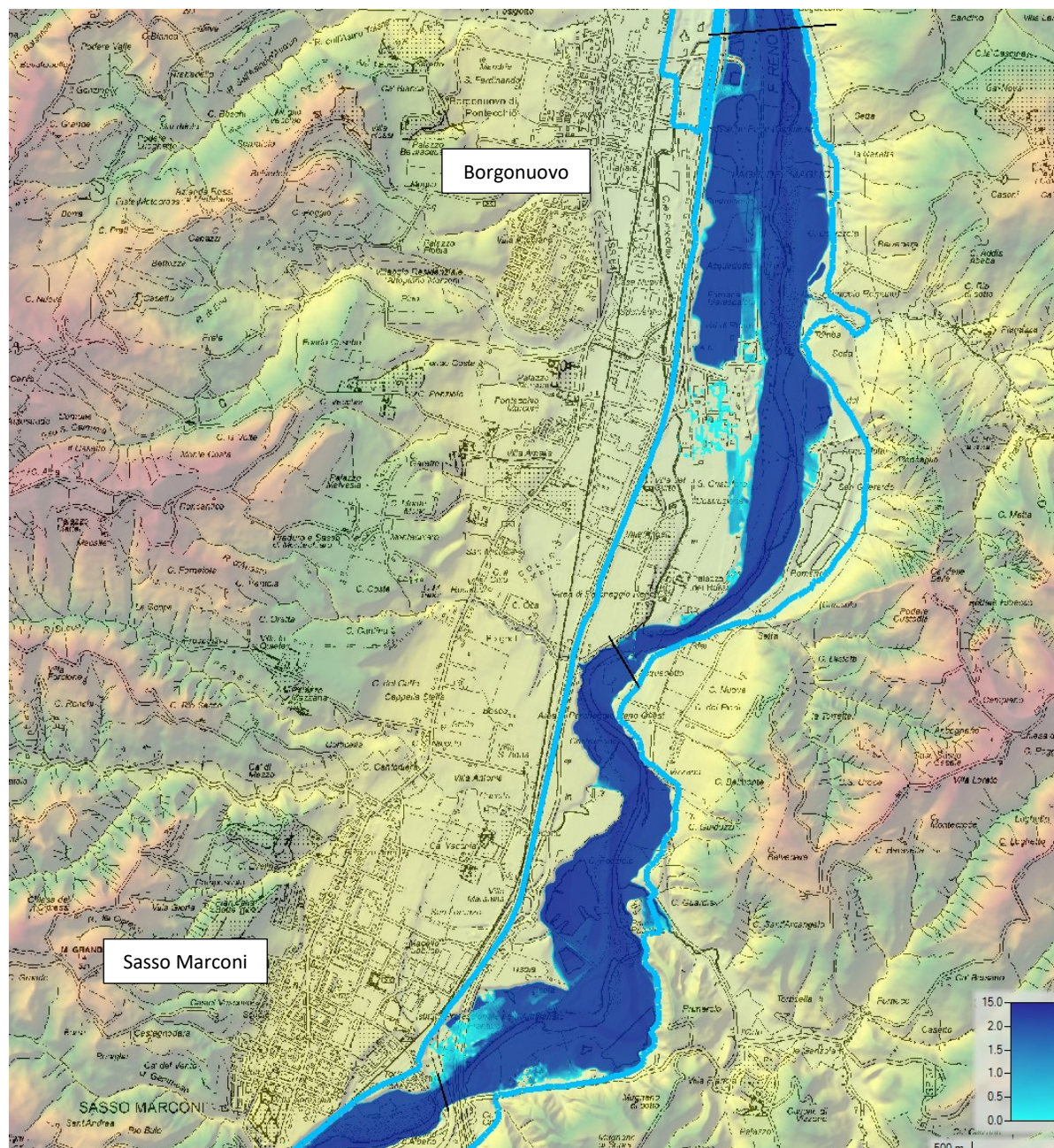


Fig. 47 TR200 durata 9 ore: massimi tiranti nei pressi degli abitati di Sasso Marconi e Borgonuovo (in azzurro P2 PGRA 2021).

7.5.1.4 Evento TR500

L'evento con il tempo di ritorno 500 anni presenta dinamiche di esondazione e areali interessati pressoché analoghi all'evento duecentennale. In generale, dato il coinvolgimento di volumi maggiori, si osservano allagamenti caratterizzati da massimi tiranti più elevati anche nei centri abitati.

A monte di Porretta Terme si osservano nuovi sormonti della sponda sinistra che interessano anche abitazioni, mentre a monte di Borgonuovo gli allagamenti vengono ad interessare la zona industriale già parzialmente allagata dall'evento TR200. Nei pressi di Vergato le esondazioni si propagano nel centro includendo qualche quartiere in più rispetto all'evento di piena duecentennale.

7.5.2. Fiume Reno (da valle confluenza Setta a monte confluenza Idice)

7.5.2.1 Eventi 2024

Di seguito vengono descritti i risultati delle simulazioni 2D degli eventi di settembre e ottobre 2024 per il tratto di Reno “intermedio” (da valle confluenza Setta a monte confluenza Idice). Le mappe estratte dal modello mostrano le superfici interessate da allagamenti (massime altezze d’acqua sul p.c.) relative all’evento di settembre in quanto le estensioni delle esondazioni ottenute sono le stesse per entrambi gli eventi, con tiranti idrici generalmente maggiori per settembre. Le segnalazioni di allagamento occorse per il tratto di Reno in esame sono poche e riguardano il riempimento delle casse di espansione nel tratto tra Longara e Bagno di Piano e quelle poste alla confluenza del Samoggia; sono ben comparabili con i risultati dell’evento simulato. Dove possibile, i risultati sono stati confrontati con i dati di livello in alveo misurati agli idrometri nel corso degli eventi reali.

In Fig. 49 è rappresentato l’idrogramma di portata estratto dal modello idraulico presso la sezione dell’idrometro di Casalecchio di Reno (derivante dall’input di monte del modello del bacino montano, maggiorato del contributo distribuito del bacino residuo) a confronto con quello ricostruito dal modello idrologico (v. attività 1.6) per l’evento di **settembre 2024**. Gli andamenti sono pressoché analoghi, con un colmo di portata per il modello idraulico inferiore di soli 20 m³/s circa.

In Fig. 50 è rappresentato lo stesso confronto tra gli idrogrammi di portata della figura precedente considerando l’evento di ottobre 2024. Anche in questo caso gli andamenti sono pressoché analoghi, con un colmo di portata per il modello idraulico inferiore di soli 35 m³/s circa.

Per entrambi gli eventi, a monte della Chiusa di Casalecchio si riscontrano fuoriuscite di portata per sormonto in sinistra e in destra che provocano allagamenti delle aree verdi lambendo le aree urbane.

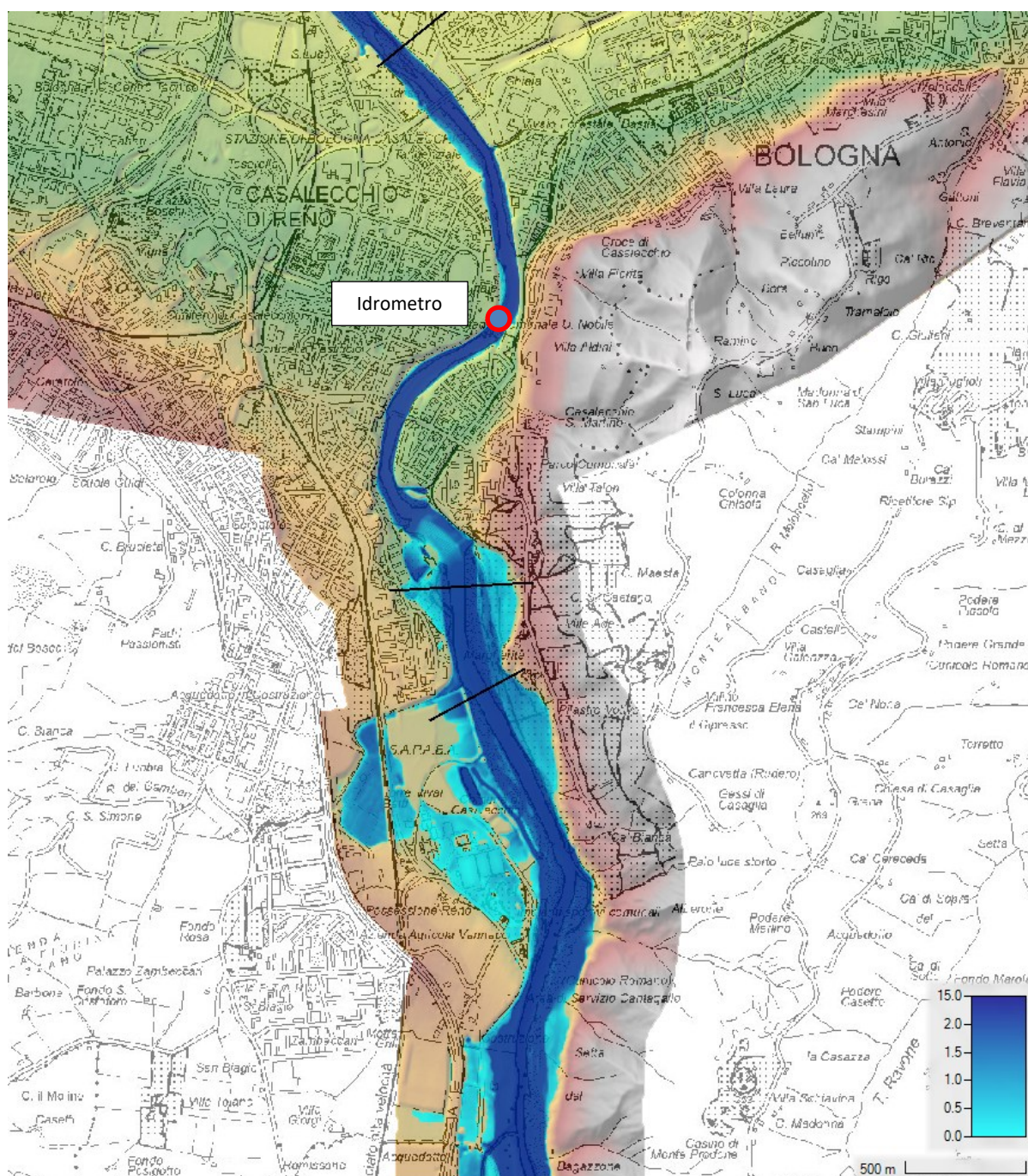


Fig. 48 Evento settembre 2024: Massimi Tiranti tra valle confluenza Setta e Casalecchio e identificazione dell'idrometro di Casalecchio

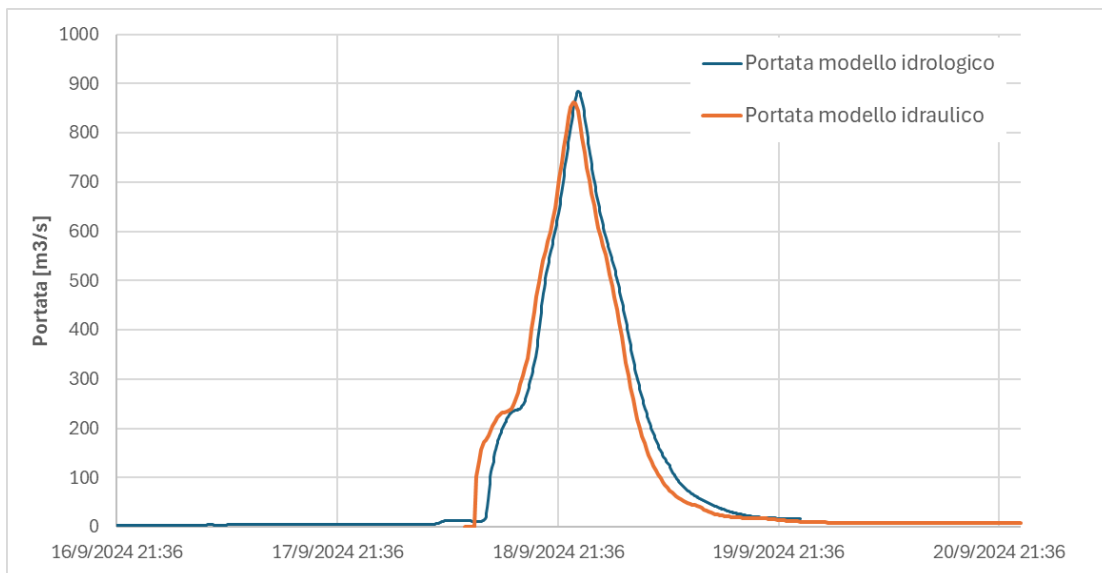


Fig. 49 - Confronto idrogrammi di portata idraulico e idrologico all'idrometro di Casalecchio di Reno per l'evento di settembre 2024.

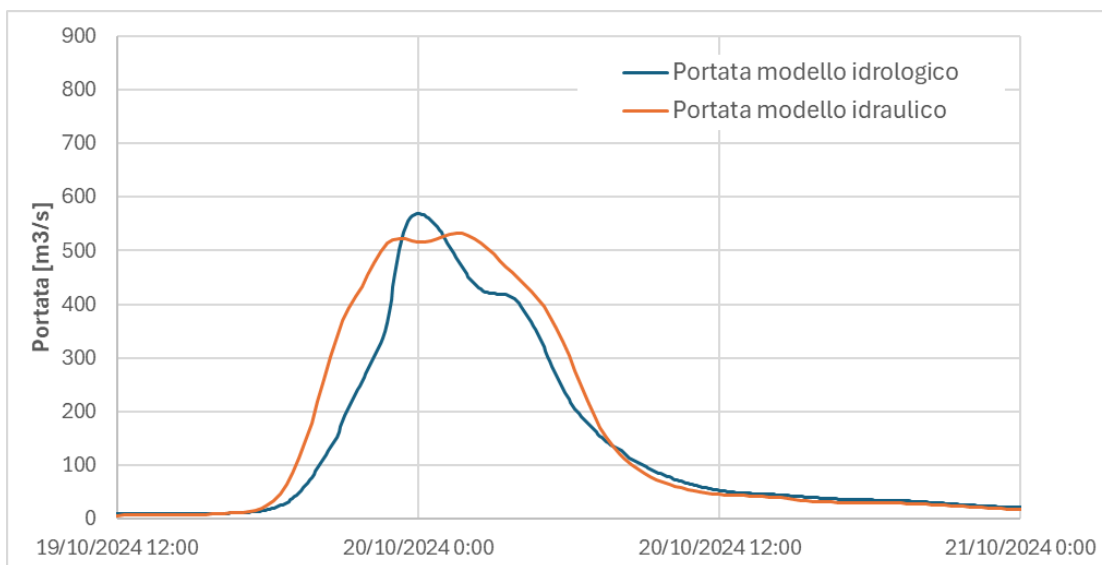
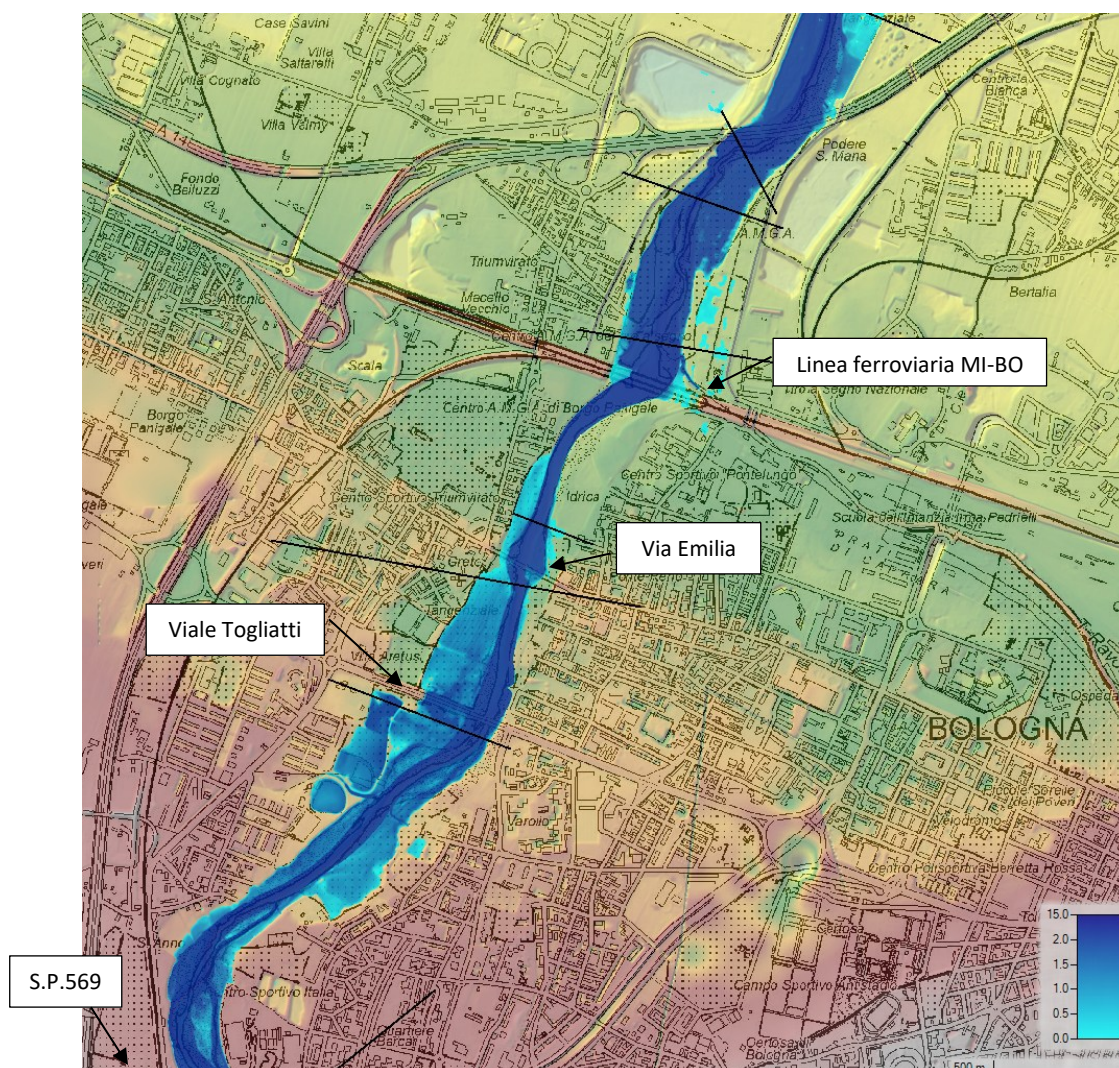


Fig. 50 - Confronto idrogrammi di portata idraulico e idrologico all'idrometro di Casalecchio di Reno per l'evento di ottobre 2024.



Anche nel tratto tra la SP 569 e viale Togliatti la ricostruzione degli eventi mostra allagamenti delle aree golenali prospicienti l'area urbana, andando a interessare pressoché solo aree verdi.

Analoghe espansioni laterali si riscontrano tra la via Emilia e la ferrovia MI-BO, poco a monte dell'incile del tratto arginato.

Nei tratti successivi invece i deflussi sono completamente contenuti dagli argini per tutto lo sviluppo.



Fig. 52 – Evento settembre 2024: Massimi Tiranti dalla A14 a Longara

Le Fig. 53 e Fig. 54 mostrano come nella simulazione dell'evento di settembre 2024 entrino in funzione le casse di laminazione esistenti (Bonconvento e Boschetto) e si allaghino le aree di espansione golenale poste tra Trebbo e Bagni di Piano. La stessa dinamica di esondazione accade anche per la simulazione dell'evento di ottobre.

L'effetto in termini di laminazione dell'idrogramma è notevole per l'evento di settembre (Fig. 55), dimezzando sostanzialmente il colmo da circa 750 m³/s a circa 375 m³/s; la differenza tra i due idrogrammi, corrispondente al volume invasato, è pari a circa 1,98 Mm³.

Nella simulazione dell'evento di ottobre, per l'effetto di laminazione delle casse (Fig. 56) si ha una diminuzione del colmo di portata da circa 545 m³/s a circa 340 m³/s; la differenza tra i due idrogrammi, corrispondente al volume invasato, è pari a circa 0,99 Mm³.

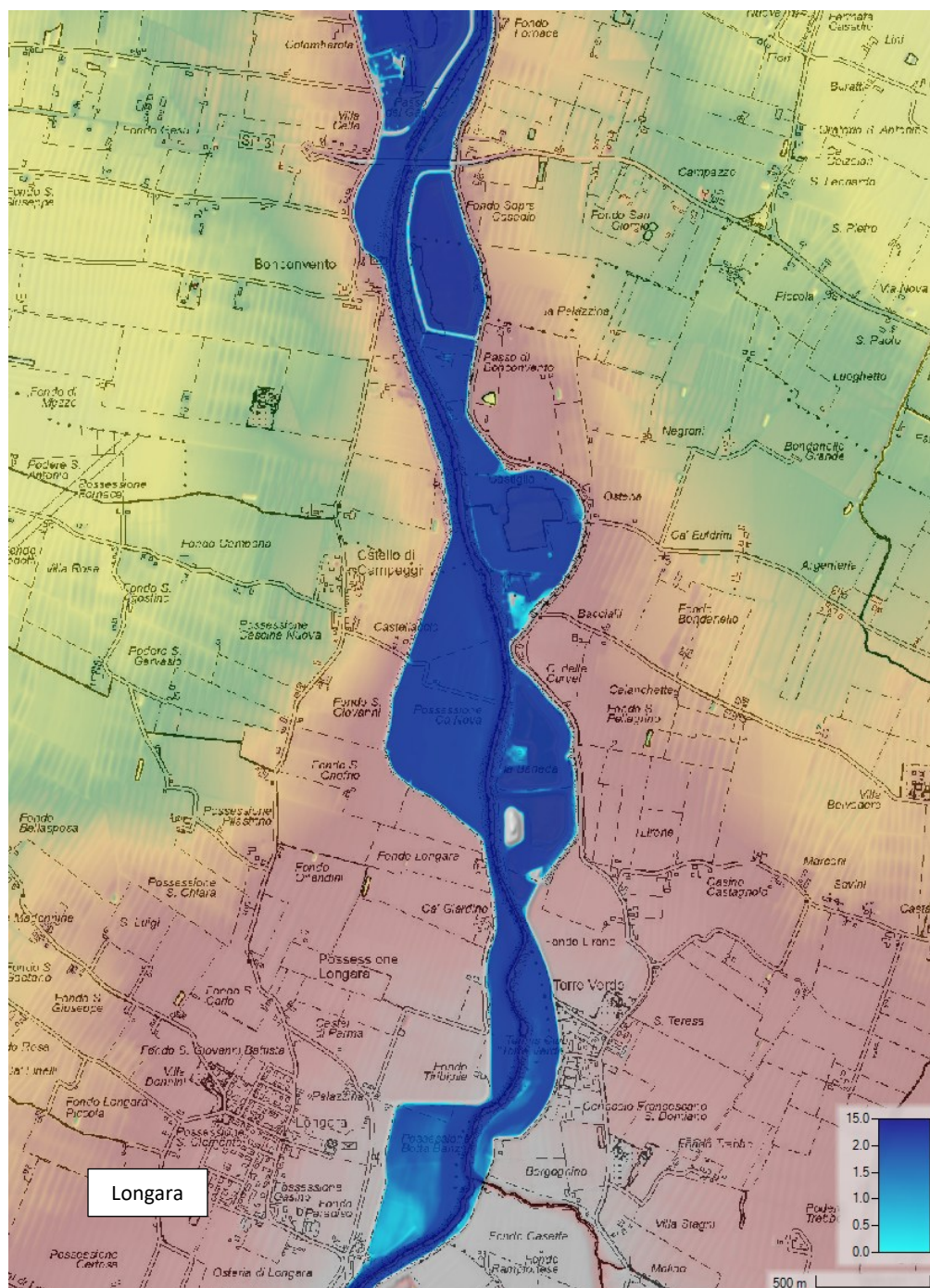


Fig. 53 – Evento settembre 2024: Massimi Tiranti da Longara alla cassa di Boschetto

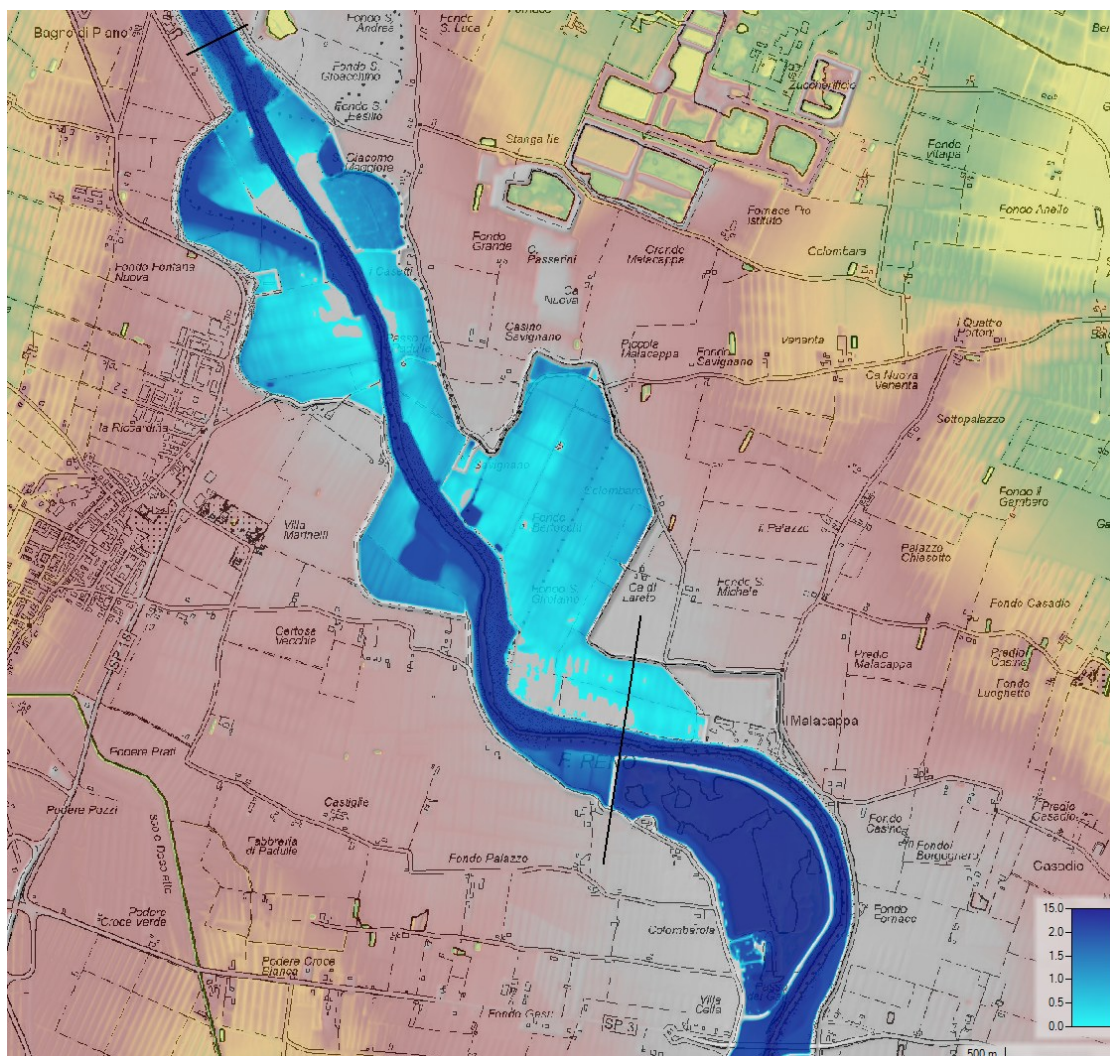


Fig. 54 - Evento settembre 2024: Massimi tiranti dalla cassa di Boschetto a Bagni di Piano.

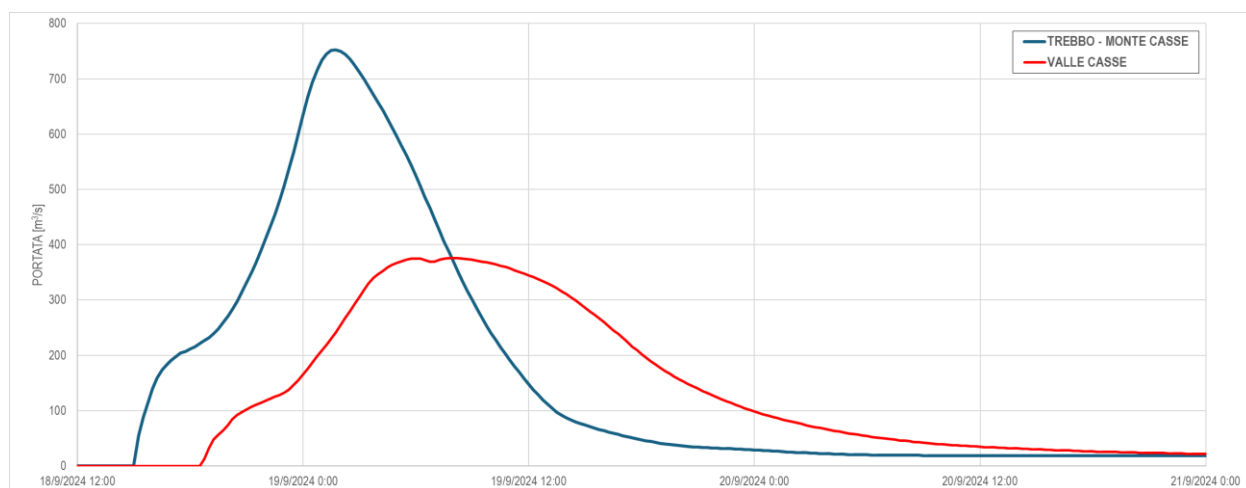


Fig. 55 - Evento settembre 2024: Idrogrammi a monte e a valle del sistema di casse di laminazione e aree di espansione tra Trebbo e Bagni di Piano.

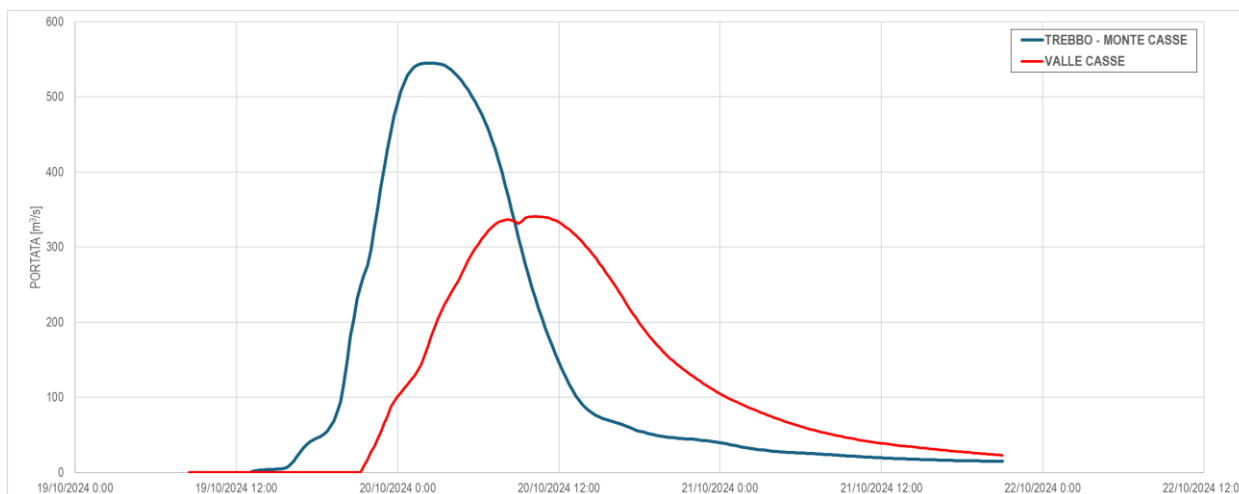


Fig. 56 - Evento ottobre 2024: Idrogrammi a monte e a valle del sistema di casse di laminazione e aree di espansione tra Trebbo e Bagni di Piano.

Per entrambi gli eventi, anche a valle della confluenza Samoggia si ha un allagamento delle aree golenali presenti nel primo breve tratto, dopodiché la portata si incanala fino a raggiungere l'Opera Reno all'imbocco del Cavo Napoleonico (Fig. 57 e Fig. 58).

In questa sezione non è stata simulata la reale modalità di esercizio della struttura in corso di evento, perché non nota, bensì sono state rappresentate le 3 luci di derivazione come libere, ovvero con paratoie completamente aperte.

Si verifica pertanto una derivazione nel Cavo di una portata massima di poco più di $40 \text{ m}^3/\text{s}$, con riduzione delle portate defluenti a valle a un massimo di poco più di $250 \text{ m}^3/\text{s}$ per entrambi gli eventi (Fig. 61 e Fig. 62). Nella realtà una diversa modalità di esercizio della derivazione potrebbe aver causato la presenza di maggiori portate defluenti verso lo sfioratore del Gallo.

Rispetto alle portate immediatamente a valle di confluenza Samoggia (colmo di $530 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'evento di settembre e colmo di $590 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'evento di ottobre) si riscontra una ulteriore riduzione del colmo rispetto a quanto sottratto dal Cavo, ad opera dell'effetto di laminazione proprio del tratto (Fig. 61 e Fig. 62).

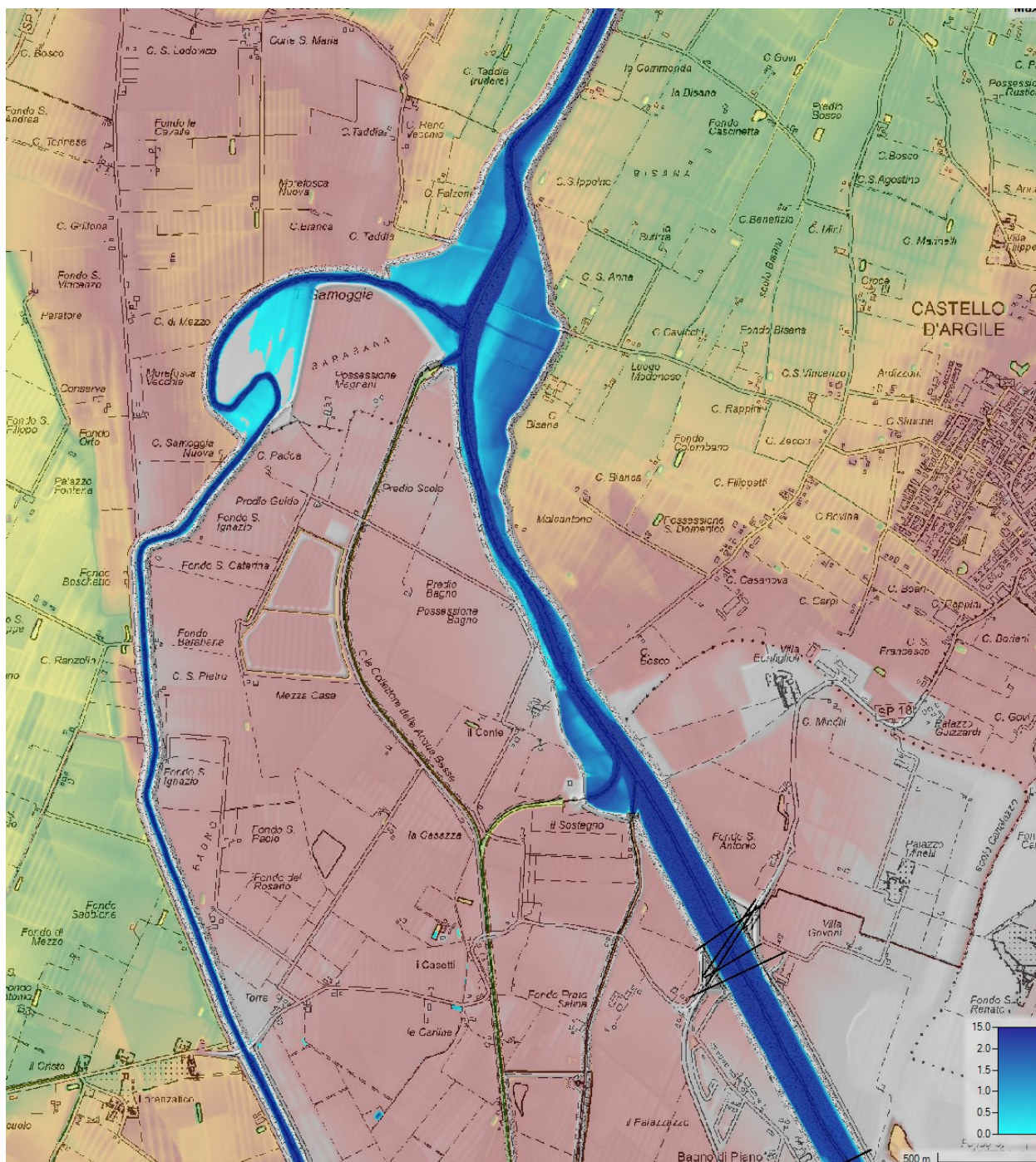


Fig. 57 - Evento settembre 2024: massimi tiranti da Bagni di Piano a valle confluenza Samoggia.



Fig. 58 - Evento settembre 2024: massimi tiranti da valle confluenza Samoggia (Cento) al Cavo Napoleonico.

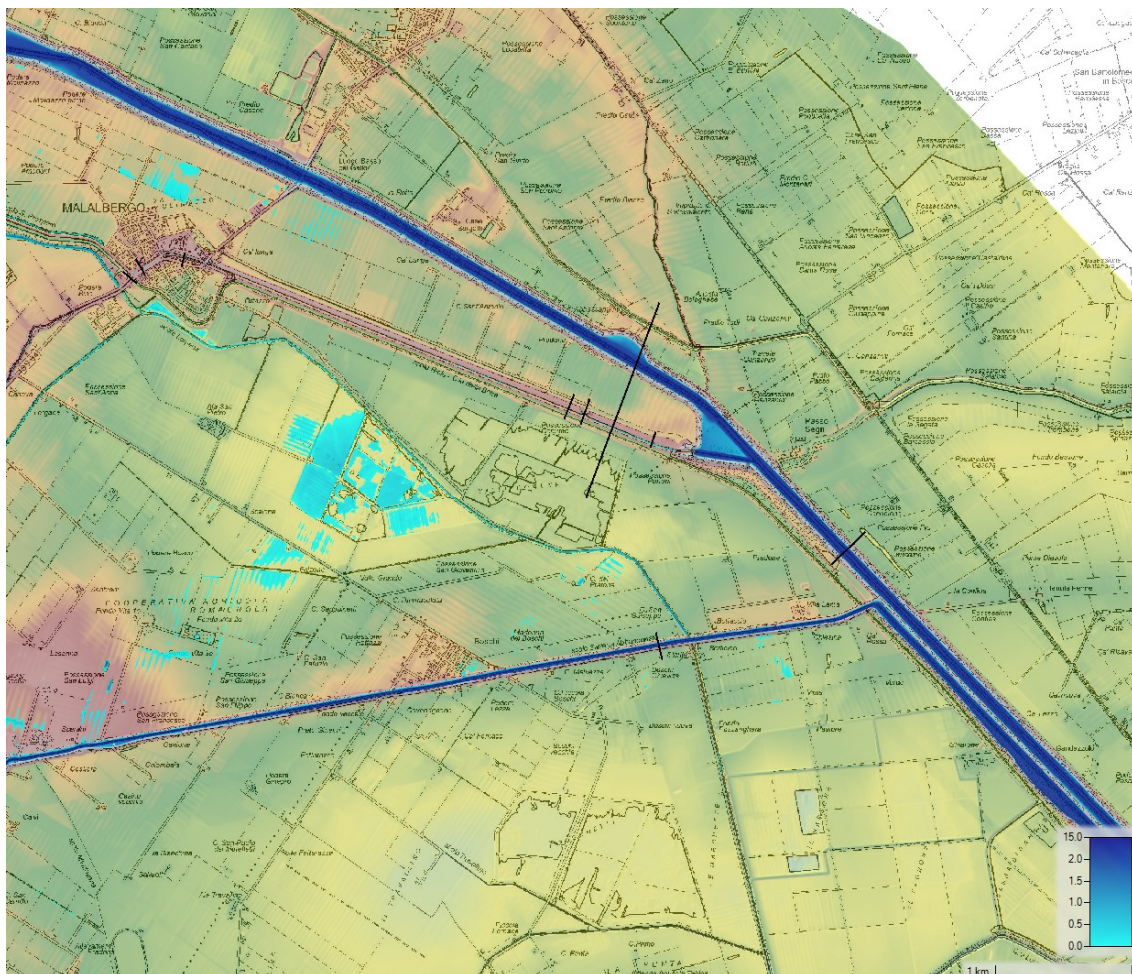
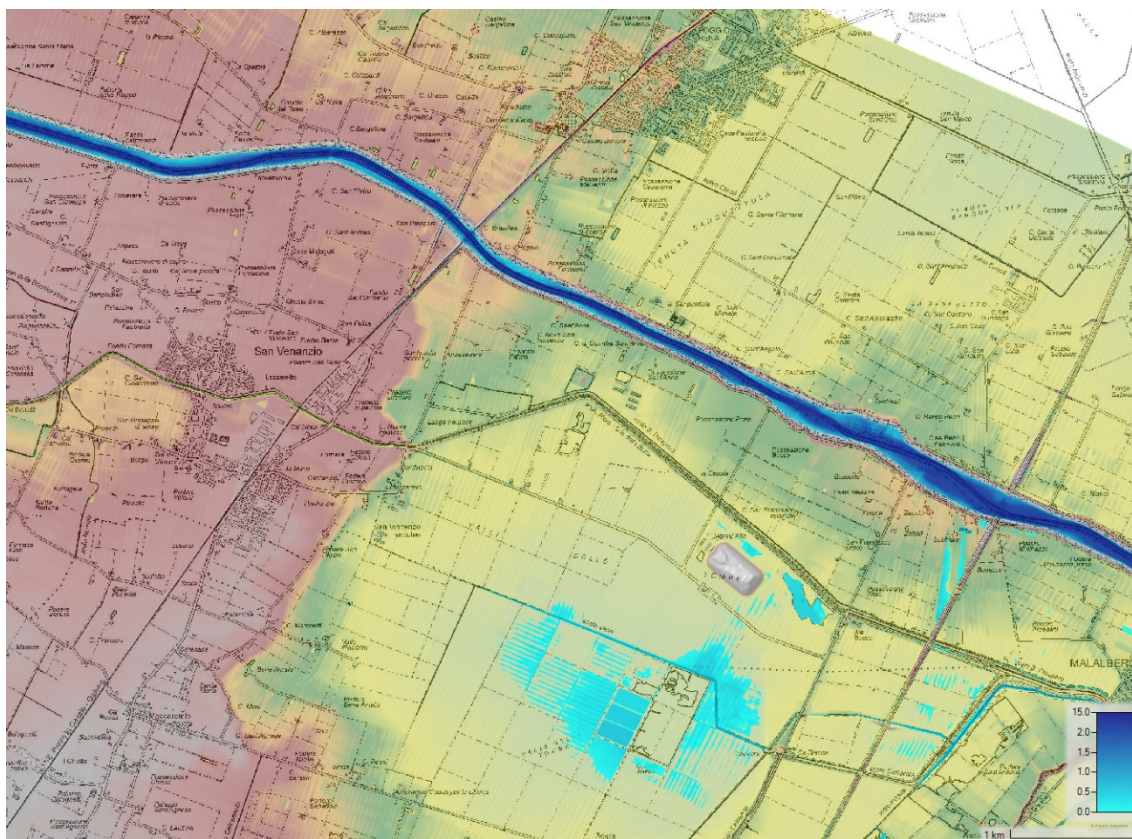


Fig. 59 – Evento settembre 2024: Massimi Tiranti da valle Cavo Napoleonico a confluenza Navile

Presso la confluenza del Navile, in destra Reno, non si riscontrano particolari allagamenti in quanto entrambi gli eventi sono stati simulati chiudendo la chiavica di immissione in Reno come verosimilmente avvenuto nel corso degli eventi reali (Fig. 59).

Non si riscontrano ulteriori allagamenti nel tratto che va dalla confluenza del Savena Abbandonato al torrente Idice.

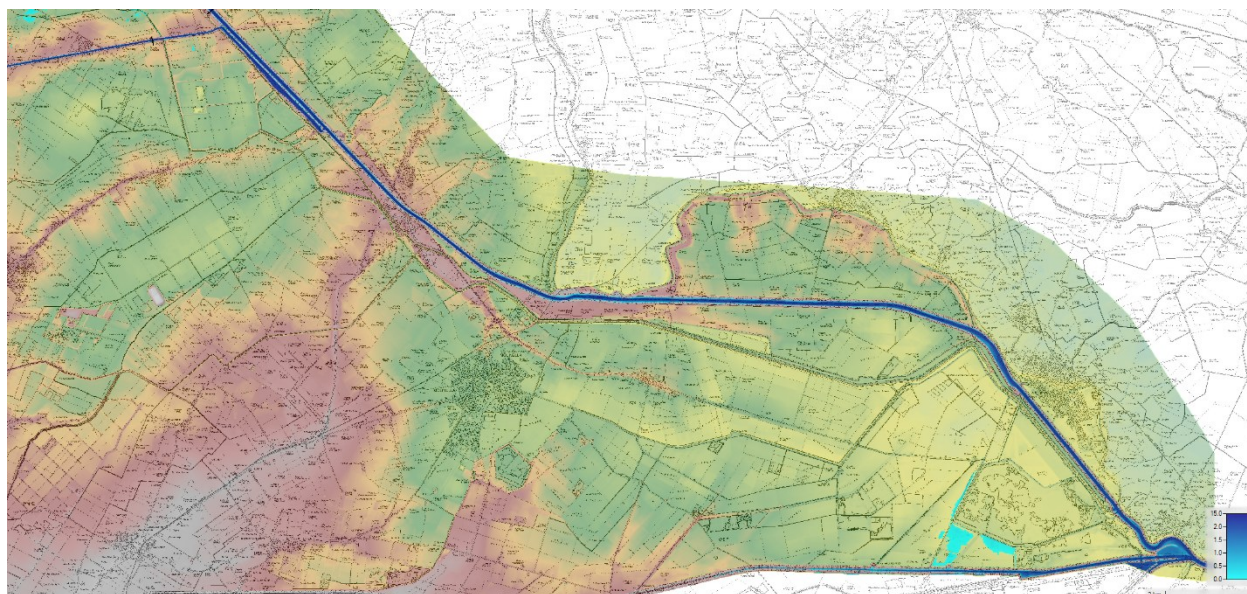


Fig. 60 – Evento settembre 2024: Massimi tiranti da valle confluenza Navile a monte confluenza Idice

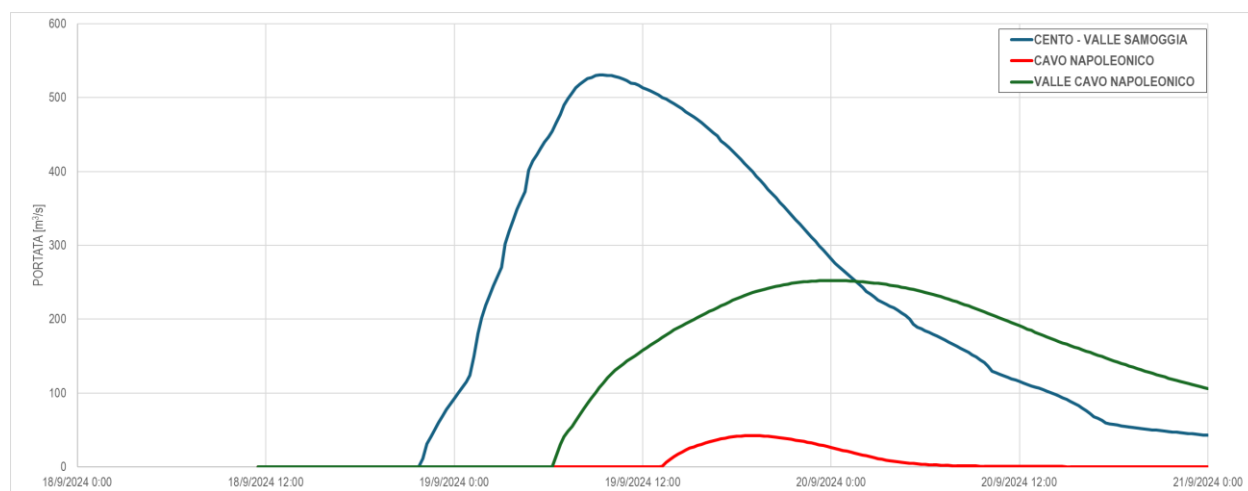


Fig. 61 – Evento settembre 2024: idrogrammi a monte e valle del Cavo Napoleonico.

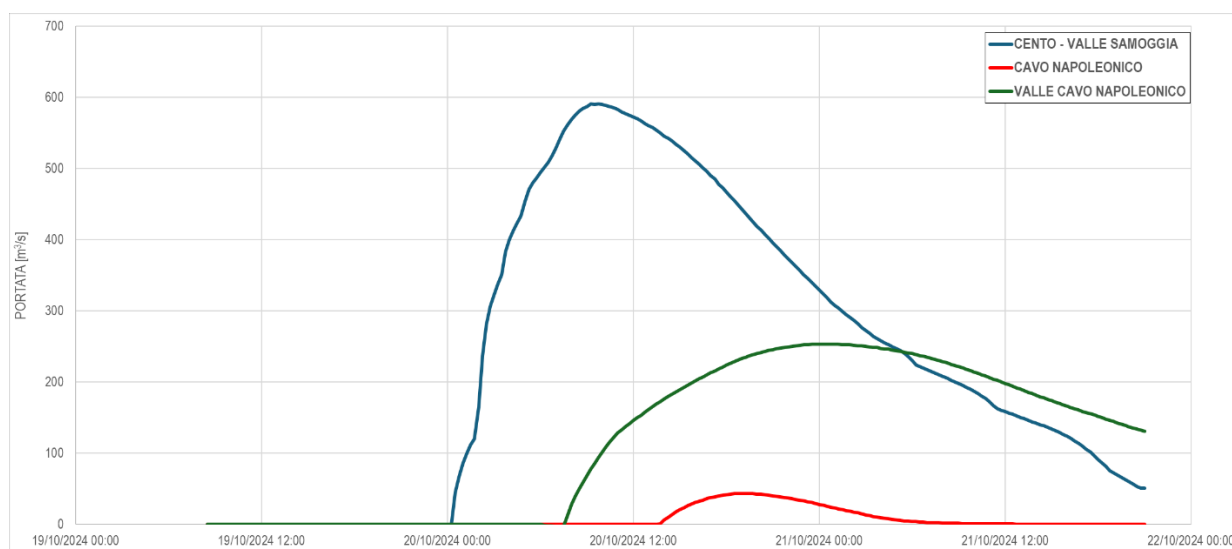


Fig. 62 – Evento ottobre 2024: idrogrammi a monte e valle del Cavo Napoleonico.

Per riscontro della rappresentatività degli andamenti idrodinamici rappresentati in entrambi gli eventi, sono stati condotti confronti tra l'andamento dei livelli restituiti dal modello e quelli misurati dai principali idrometri ARPAE, i cui dati sono stati acquisiti dal sistema Dexter di ARPAE. Si tratta dell'unico dato disponibile, non essendo state restituite le corrispondenti portate.

Per l'evento di settembre 2024, per l'idrometro di Casalecchio si riscontra una soddisfacente descrizione del colmo di piena ma una sottostima dei volumi defluiti. Il dato misurato tuttavia mostra qualche stranezza, in relazione alla modesta escursione di livello riscontrata (circa 2,5 m in tutto), a fronte di una ben più ampia variabilità nel modello, in coerenza con gli idrogrammi in input (Fig. 49 e Fig. 63).

Andamenti molto più prossimi al misurato sono invece riscontrabili presso tutti gli idrometri di valle, ovvero:

- Bonconvento, in prossimità dell'omonima cassa di espansione (Fig. 64);
- Cento, poco a valle di confluenza Samoggia (Fig. 65);
- Dosso, poco a monte del Cavo Napoleonico (Fig. 66);
- Gallo, poco a valle dell'omonimo sfioratore (Fig. 67).

Tale buona corrispondenza è indice di una discreta rappresentatività complessiva dell'insieme dei due modelli (idrologico e idraulico).

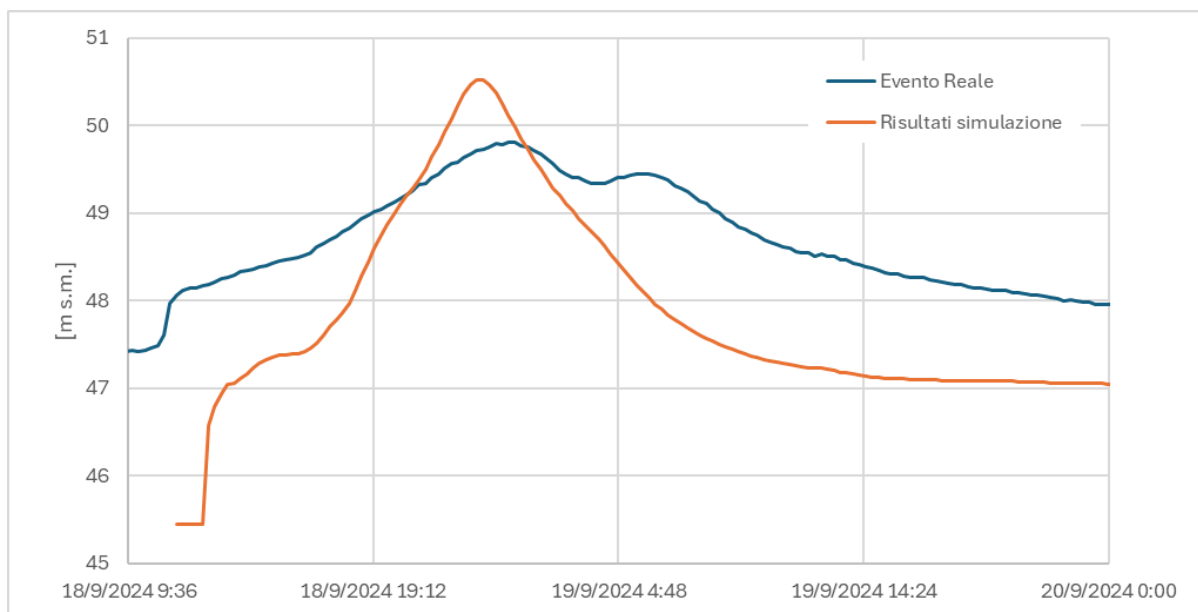


Fig. 63 – Confronto livelli per l'idrometro di Casalecchio Tiro al Volo per l'evento di settembre 2024.

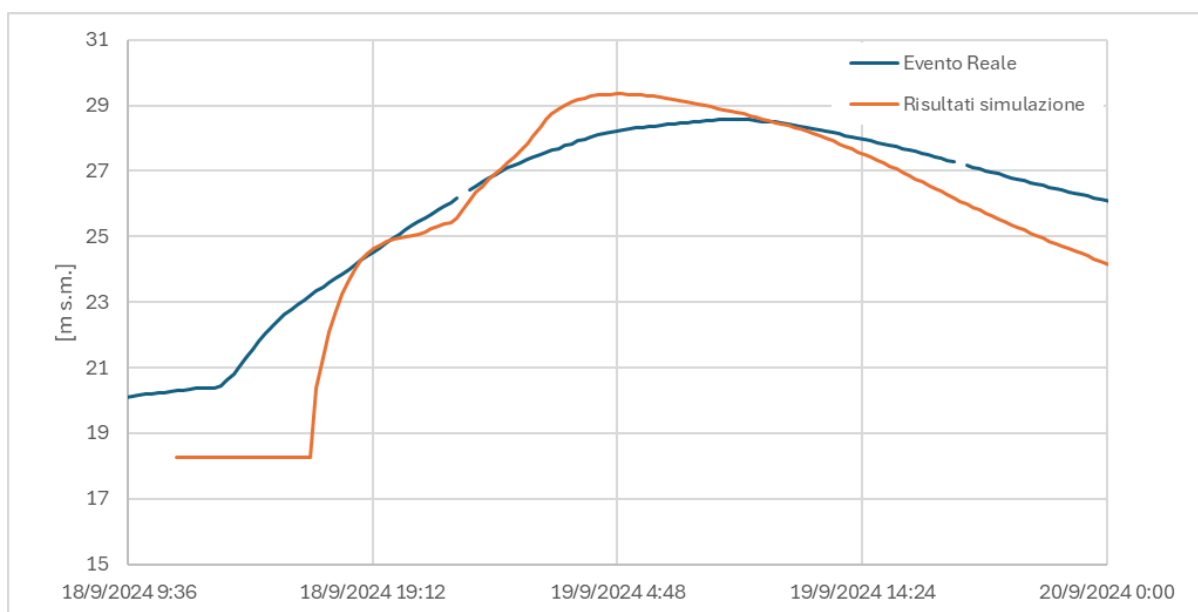


Fig. 64 – Confronto livelli per l'idrometro di Bonconvento per l'evento di settembre 2024.

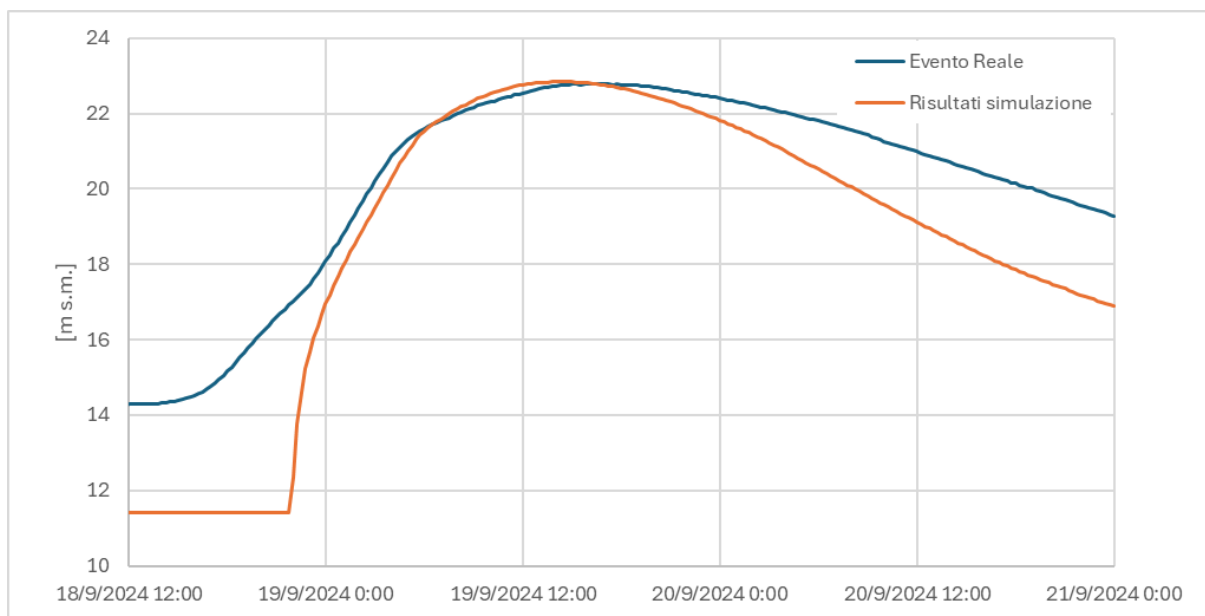


Fig. 65 – Confronto livelli per l'idrometro di Cento per l'evento di settembre 2024.

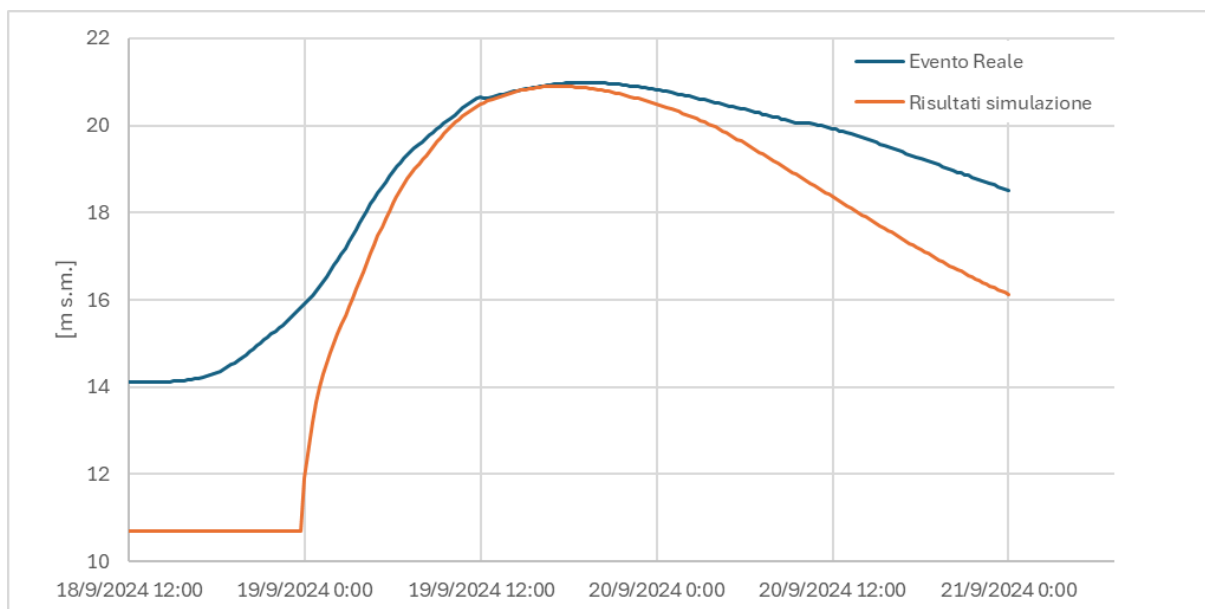


Fig. 66 – Confronto livelli per l'idrometro di Dosso per l'evento di settembre 2024.

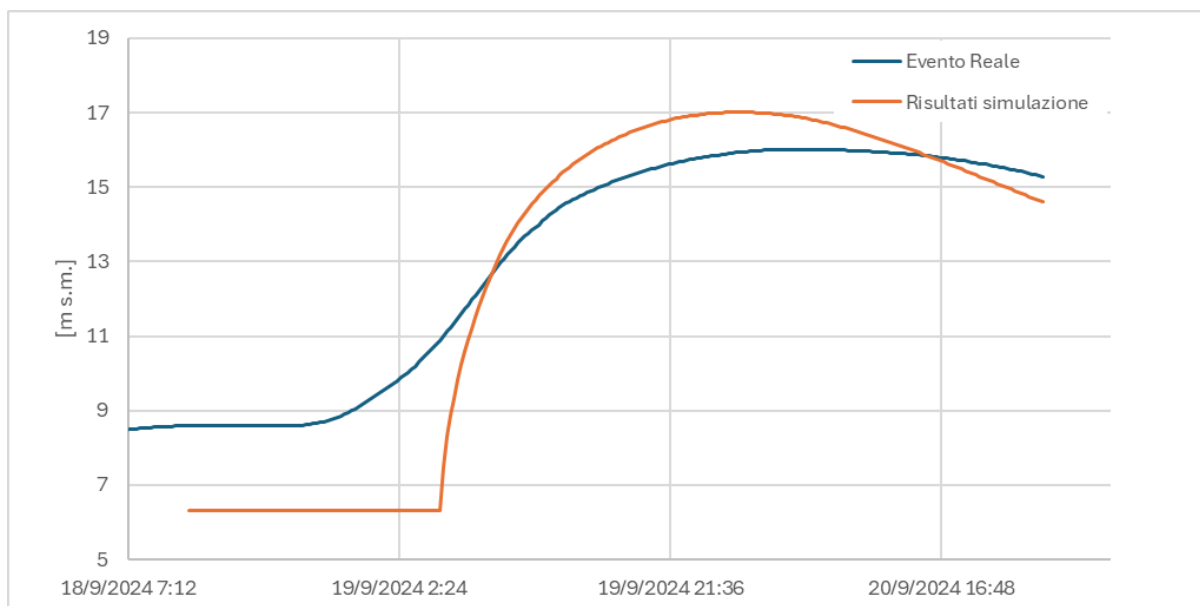


Fig. 67 – Confronto livelli per l'idrometro di Gallo per l'evento di settembre 2024.

Per l'evento di **ottobre 2024**, per l'idrometro di Casalecchio si riscontra una soddisfacente descrizione del colmo di piena ma una sottostima dei volumi defluiti. Come già osservato per l'evento di settembre, il dato misurato mostra qualche stranezza, in relazione alla modesta escursione di livello riscontrata (circa 2,0 m in tutto), a fronte di una ben più ampia variabilità nel modello, in coerenza con gli idrogrammi in input (Fig. 50 e Fig. 68).

Andamenti molto più prossimi ai valori misurati sono invece riscontrabili presso l'idrometro di Bonconvento, in prossimità dell'omonima cassa di espansione (Fig. 69), mentre per gli idrometri di valle si osservano delle sottostime dei livelli di circa 1 m, ovvero in:

- Cento, poco a valle di confluenza Samoggia (Fig. 70);
- Dosso, poco a monte del Cavo Napoleonico (Fig. 71);
- Gallo, poco a valle dell'omonimo sfioratore (Fig. 72).

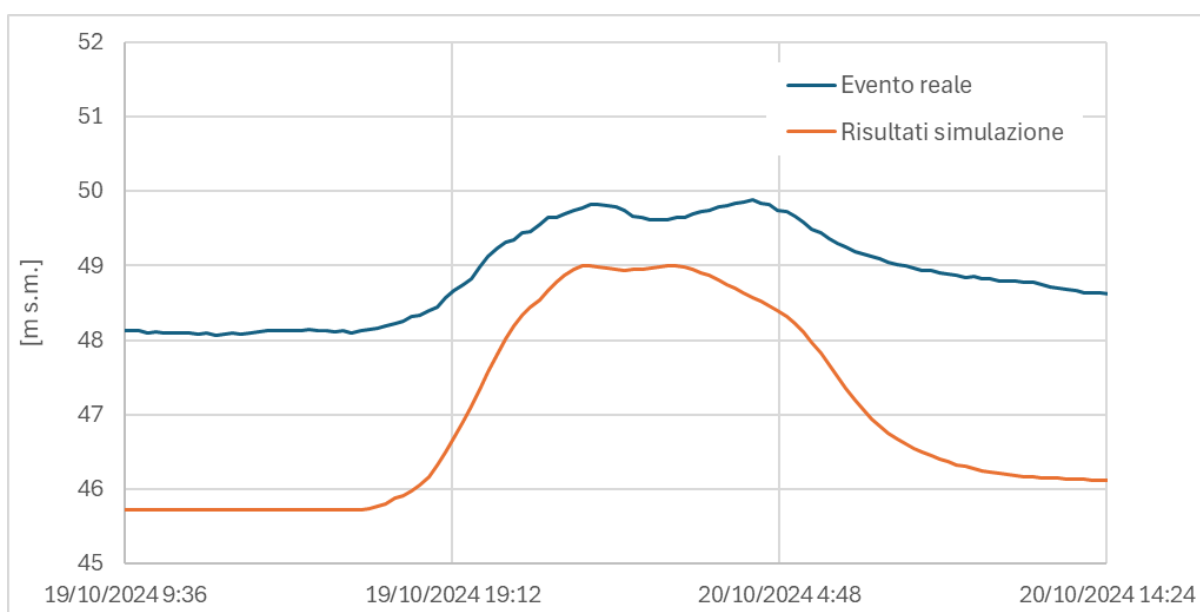


Fig. 68 – Confronto livelli per l'idrometro di Casalecchio Tiro al Volo per l'evento di ottobre 2024.

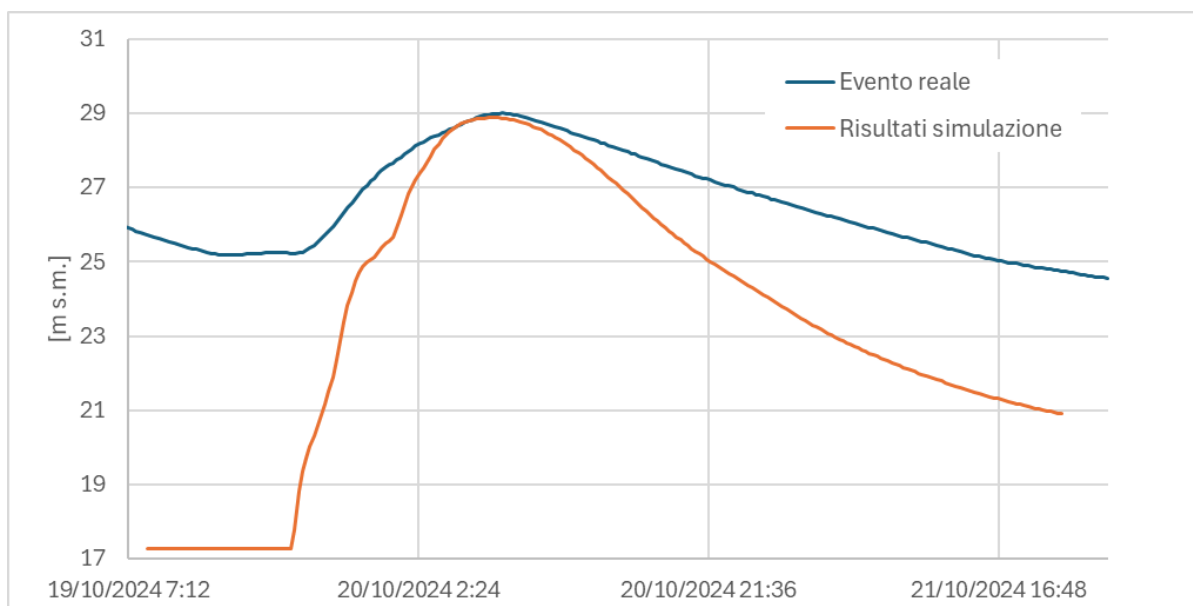


Fig. 69 – Confronto livelli per l'idrometro di Bonconvento per l'evento di ottobre 2024.

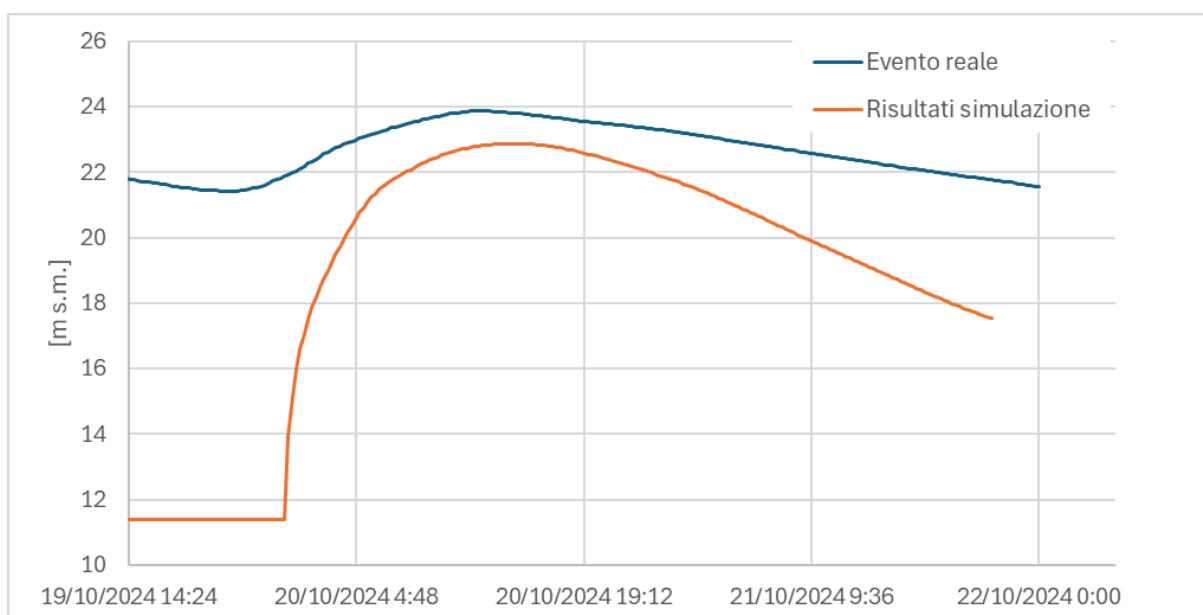


Fig. 70 – Confronto livelli per l'idrometro di Cento per l'evento di ottobre 2024.

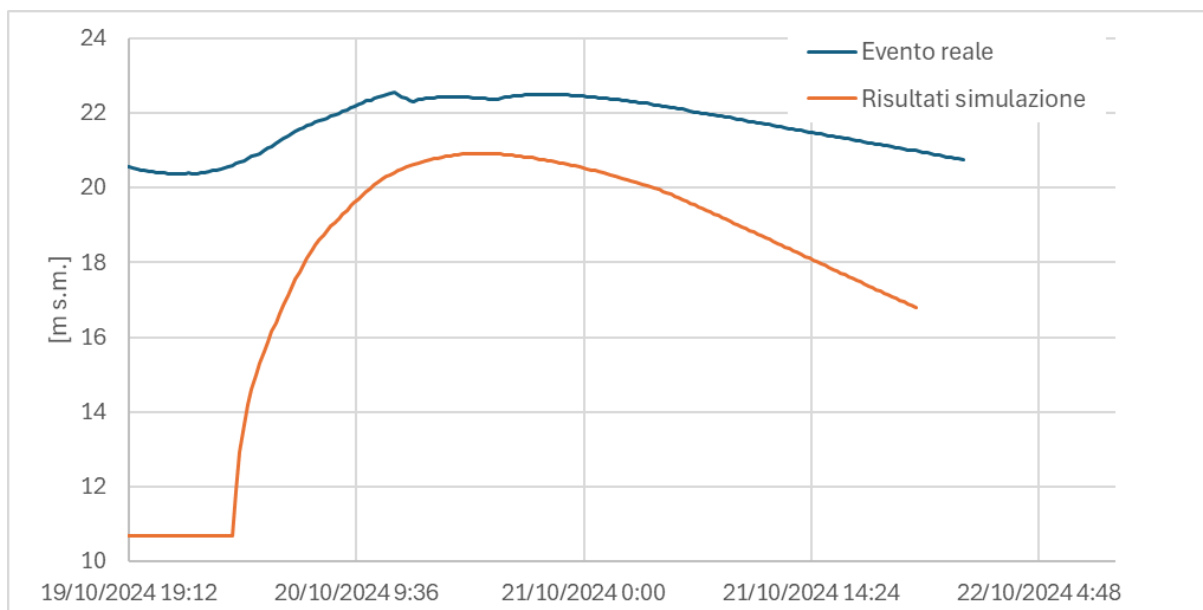


Fig. 71 – Confronto livelli per l'idrometro di Dosso per l'evento di ottobre 2024.

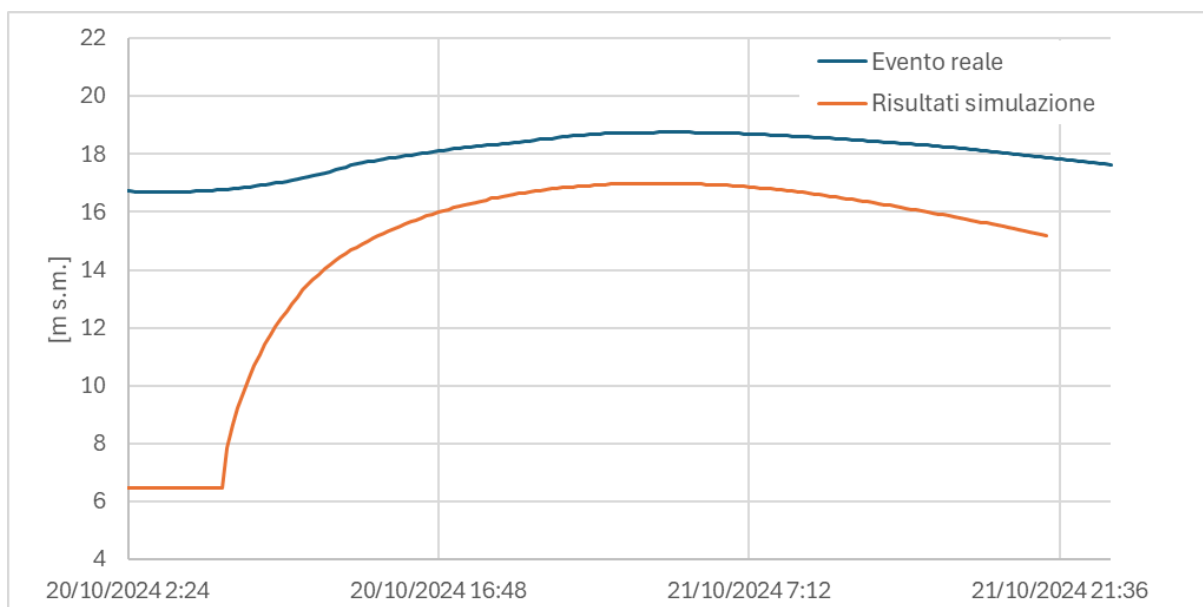


Fig. 72 – Confronto livelli per l'idrometro del Gallo per l'evento di ottobre 2024.

7.5.2.2 Evento TR50

Nel presente capitolo vengono analizzati i risultati della simulazione con tempo di ritorno 50 anni e con durata di precipitazione pari a 18 ore, la quale risulta particolarmente rappresentativa in ragione dei maggiori volumi potenzialmente esondabili e dei tempi di propagazione che portano i contributi degli affluenti a sommarsi maggiormente in fase. I risultati della simulazione vengono confrontati con la perimetrazione del PGRA relativa alla perimetrazione P3 al fine di valutare la coerenza degli allagamenti.

La Fig. 73 mostra il tratto del fiume Reno compreso tra la confluenza Reno-Setta e Casalecchio di Reno.

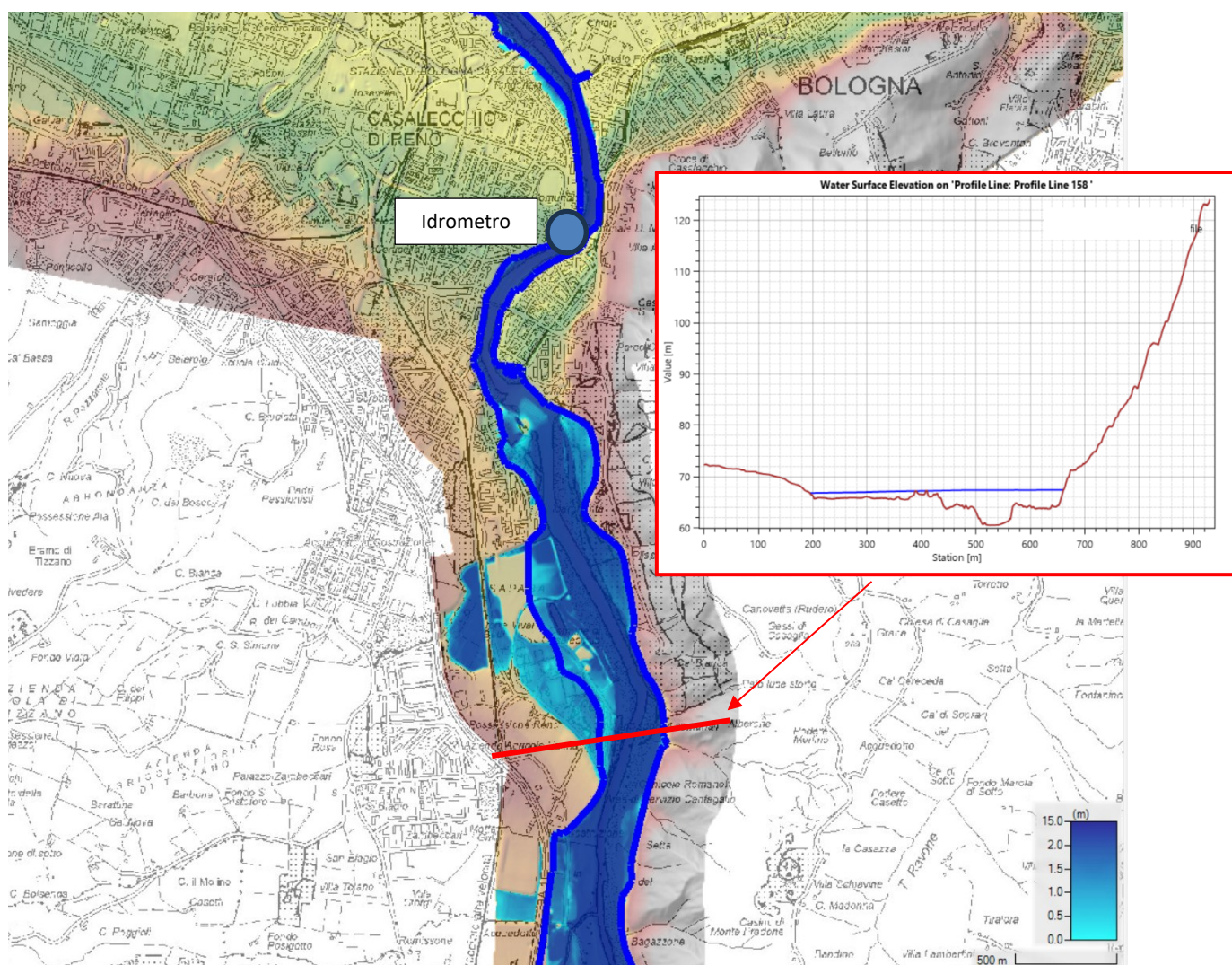


Fig. 73 – Evento T50: Massimi Tiranti tra valle confluenza Setta e Casalecchio e identificazione dell'idrometro di Casalecchio (in blu P3 PGRA 2021)

In questo tratto si verificano allagamenti tra i comuni di Borgonuovo e Casalecchio di Reno a monte della Chiusa di Reno (rif. sezione in Fig. 73), come già riscontrato per l'evento del settembre 2024.

Più a valle nel tratto le esondazioni sono sostanzialmente coerenti con la perimetrazione della perimetrazione P3 del PGRA.

In Fig. 74 è rappresentato l'idrogramma di portata estratto dal modello idraulico presso la sezione dell'idrometro di Casalecchio di Reno a confronto con quello di riferimento per T50 restituito dal modello idrologico: la riduzione del colmo che si verifica per l'effetto delle dinamiche idrauliche è rilevante (circa 250 m³/s fino a circa 1.350 m³/s).

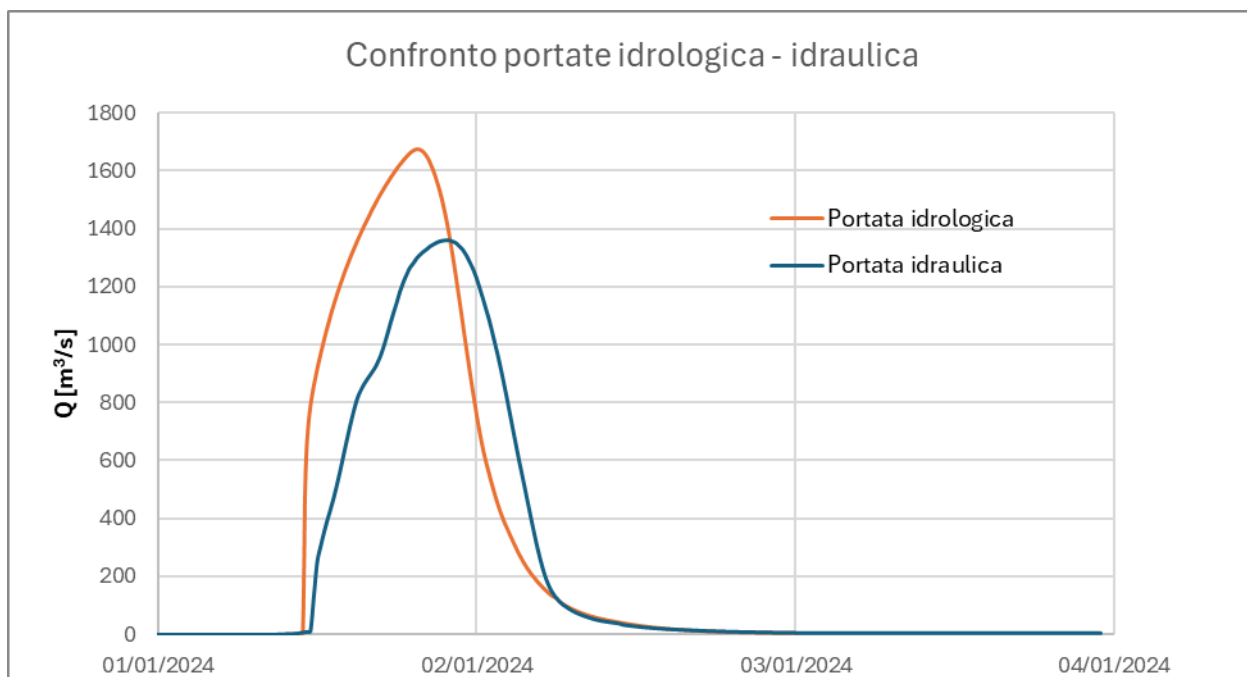


Fig. 74 – Evento T50: confronto idrogrammi idraulico e idrologico all'idrometro di Casalecchio.

Nel tratto tra Casalecchio e la A14 (Fig. 75) si verificano alcune modesti allagamenti in destra e sinistra idraulica, poco a monte di viale Palmiro Togliatti, coerenti con la perimetrazione P3 del PGRA.

Si osserva come tra viale Togliatti e la via Emilia l'allagamento del nucleo urbano in sinistra sia impedito, con franchi prossimi a 1 m, da un rilevato che non risulta classificato come argine di seconda categoria.

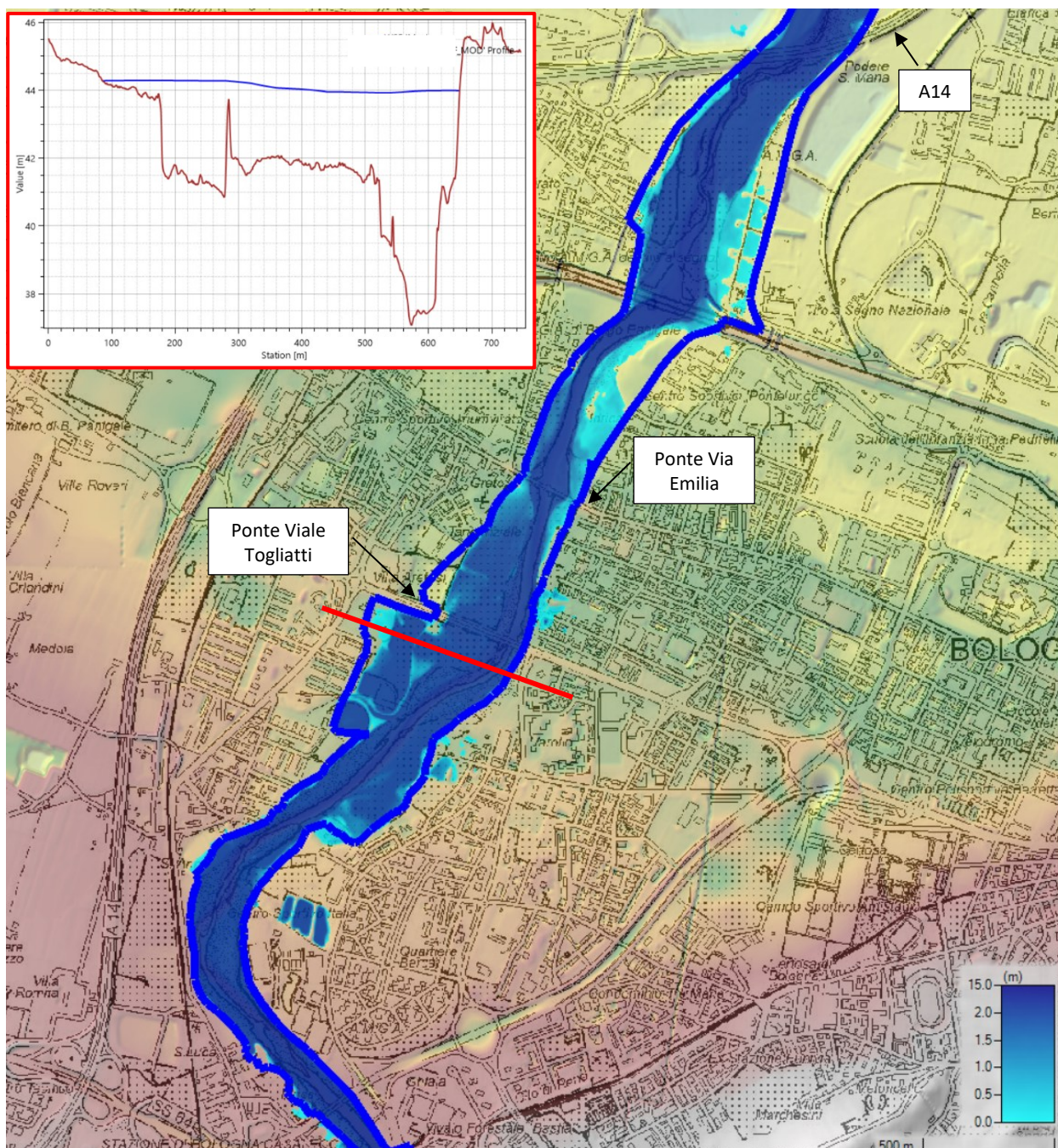


Fig. 75 – Evento T50: Massimi tiranti da Casalecchio alla A14 (in blu P3 PGRA 2021)

A valle della linea ferroviaria MI-BO ha origine il tratto arginato. Dopo appena 1,5 km, tuttavia si ha un'importante riduzione della larghezza della sezione, presso la strettoia di Trebbo (Fig. 76).

Il rigurgito indotto da essa provoca il sormonto delle arginature immediatamente a monte, come esplicitato nella sezione di Fig. 76 .

La cospicua fuoriuscita di portata causa estese esondazioni su entrambe le sponde che si propagano verso Nord, in sinistra fino alla località I Casetti, a Sala Bolognese, mentre in destra la propagazione è più estesa e raggiunge le località di Galliera – San Venanzio poco a Sud del Cavo Napoleonico.

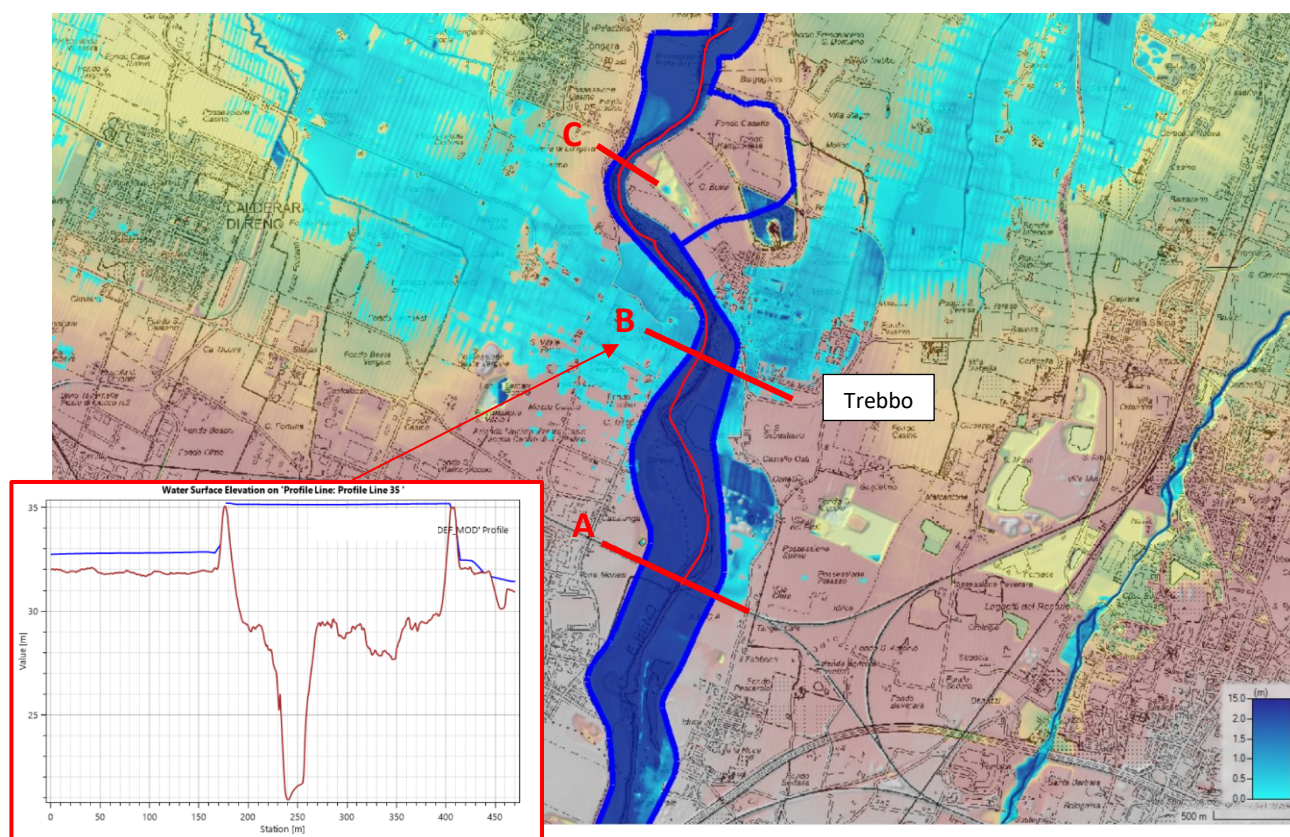


Fig. 76 – Evento T50: Massimi tiranti da A14 a Longara (in blu P3 PGRA 2021)

La Fig. 77 rappresenta il massimo profilo idrico tra le due sezioni rosse “A” e “C” in Fig. 76 , che evidenzia il sovrizzo di livello generato dalla strettoia del Trebbo.

La Fig. 78 pone a confronto gli idrogrammi di portata nelle sezioni “A” e “C”: si riscontra complessivamente una fuoriuscita di una portata massima dell’ordine dei 400 m³/s.

In particolare, le portate al colmo dell’onda di piena passano da un valore al colmo di circa 1350 m³/s a poco meno di 970 m³/s, corrispondente a una differenza di volumi in alveo di circa 8,95 Mm³.

La portata massima che riesce a superare la strettoia, in condizioni di tracimazione, è quindi poco inferiore a 1.000 m³/s.

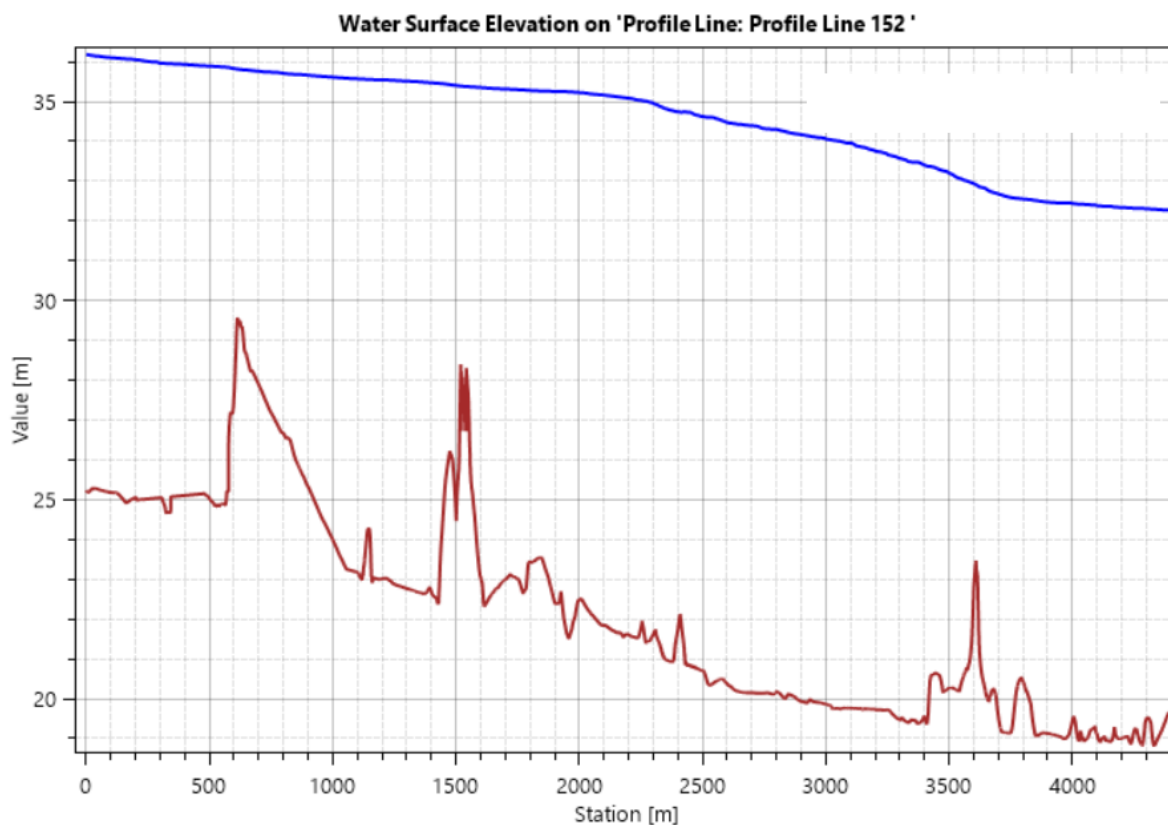


Fig. 77 – Evento T50 – Massimo profilo idrico in corrispondenza della strettoia di Trebbo

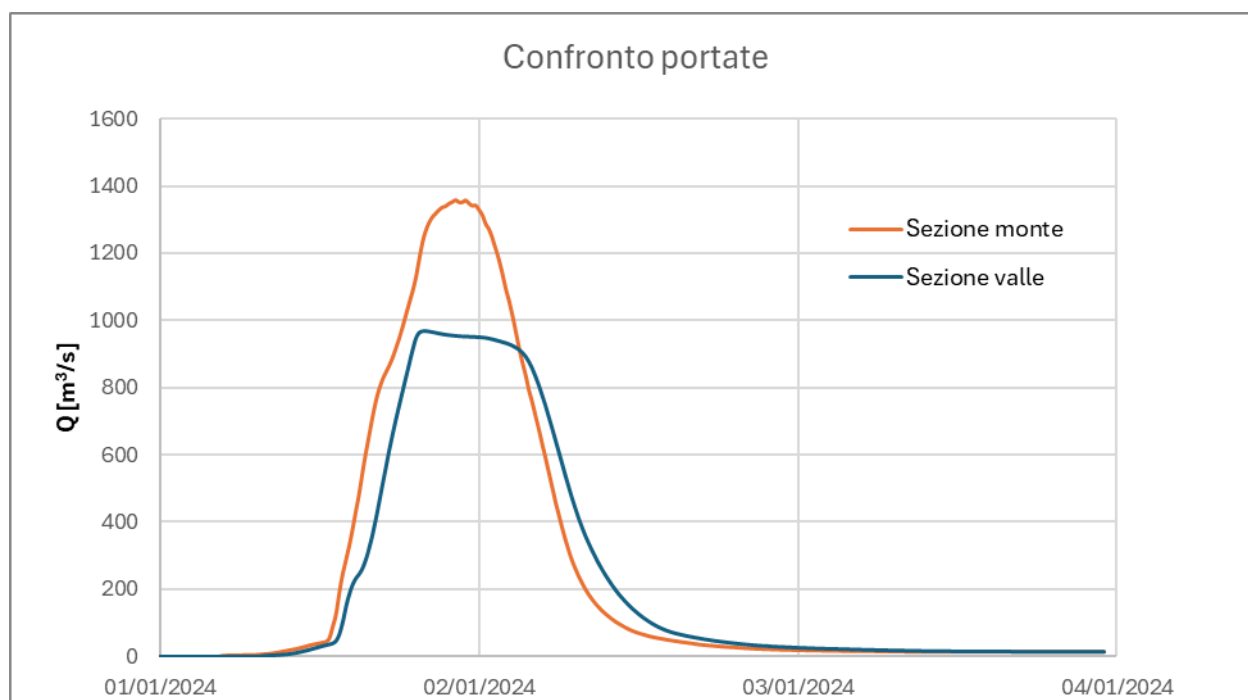


Fig. 78 – Evento T50 - Idrogrammi a monte e valle dell'esondazione presso la strettoia di Trebbo

Proseguendo verso valle la portata residua risulta contenuta dalle arginature; in Fig. 79 si può contestualmente osservare la propagazione esterna delle esondazioni precedentemente descritte.

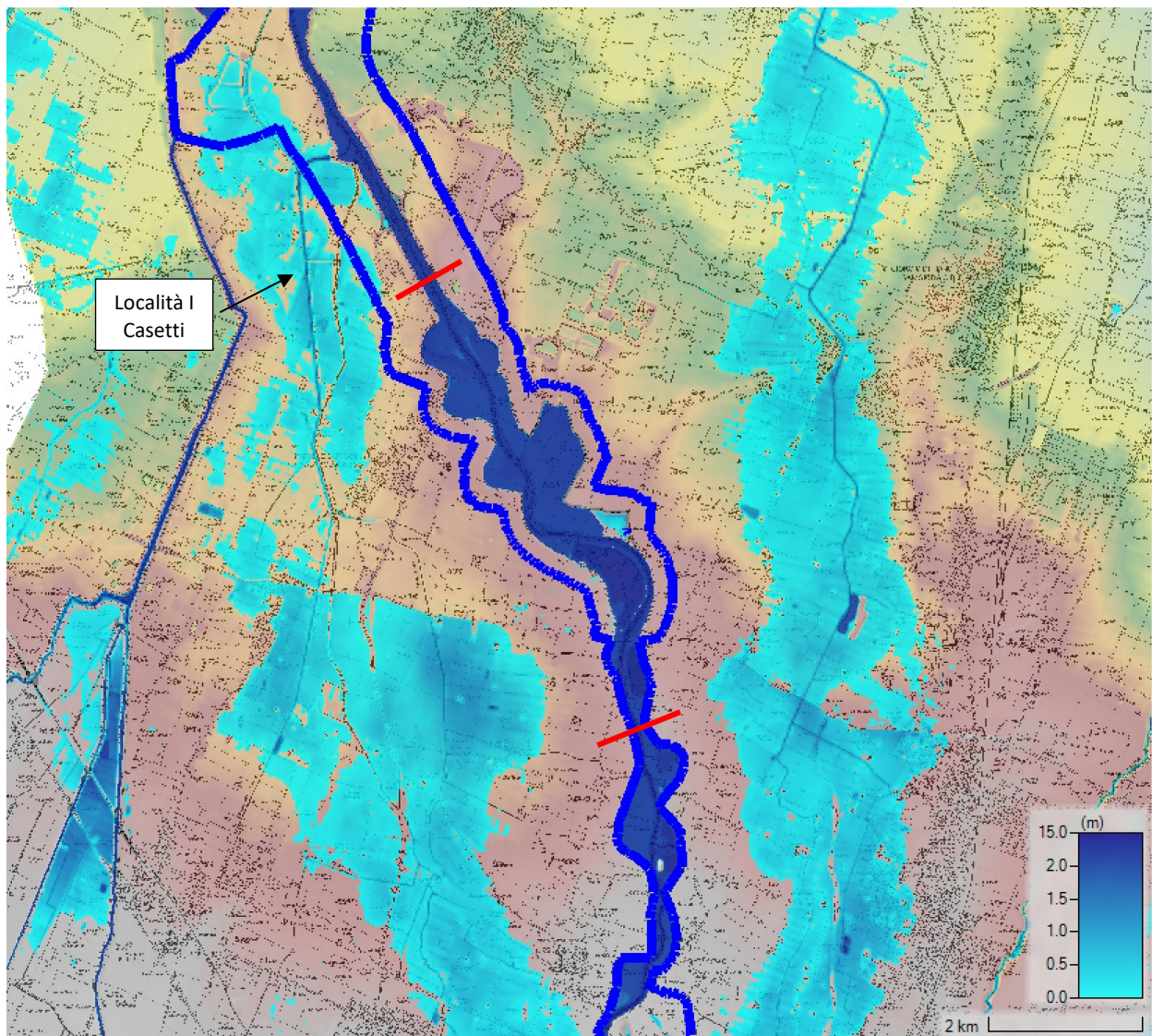


Fig. 79 – Evento T50: Massimi tiranti da Longara a Bagno di Piano (in blu P3 PGRA 2021)

Nel tratto tra Longara e Bagno di Piano entrano in funzione le casse di laminazione esistenti (Bonconvento e Boschetto) e si allargano le aree di espansione golenale.

Come rappresentato in Fig. 82 (confronto degli idrogrammi estratti presso le due sezioni rosse di Fig. 79), questo comporta una riduzione del picco di portata di circa $240 \text{ m}^3/\text{s}$ (da un colmo di circa $965 \text{ m}^3/\text{s}$ a un colmo di circa $725 \text{ m}^3/\text{s}$) che corrisponde a un volume di invaso complessivo di $6,76 \text{ Mm}^3$.

La portata massima che giunge a confluenza Samoggia si è pertanto circa dimezzata rispetto al valore osservato a Casalecchio.

L'apporto del Samoggia, come da Fig. 81, non provoca un incremento del colmo per la durata in esame, ma un incremento del volume dell'idrogramma.

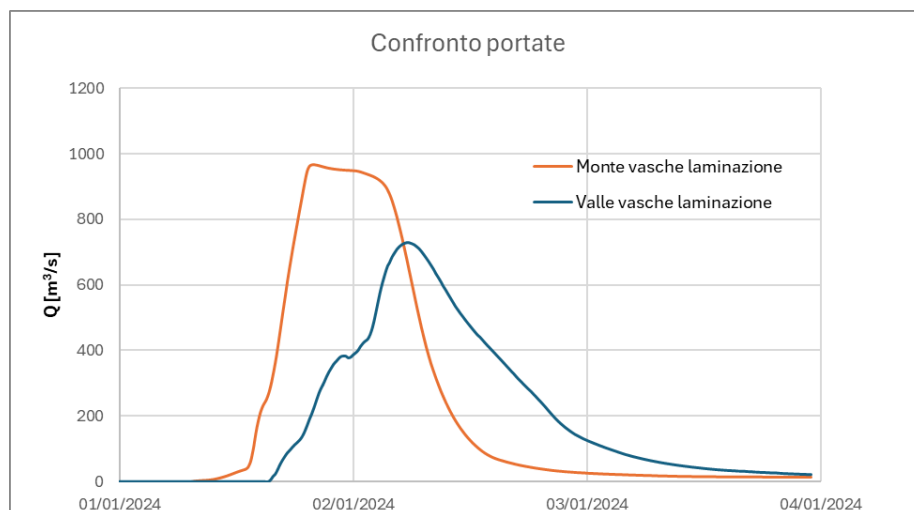


Fig. 80 – Evento T50 - Effetto delle casse di laminazione e delle aree di espansione golenale tra Trebbo e Bagno di Piano sulla portata in alveo

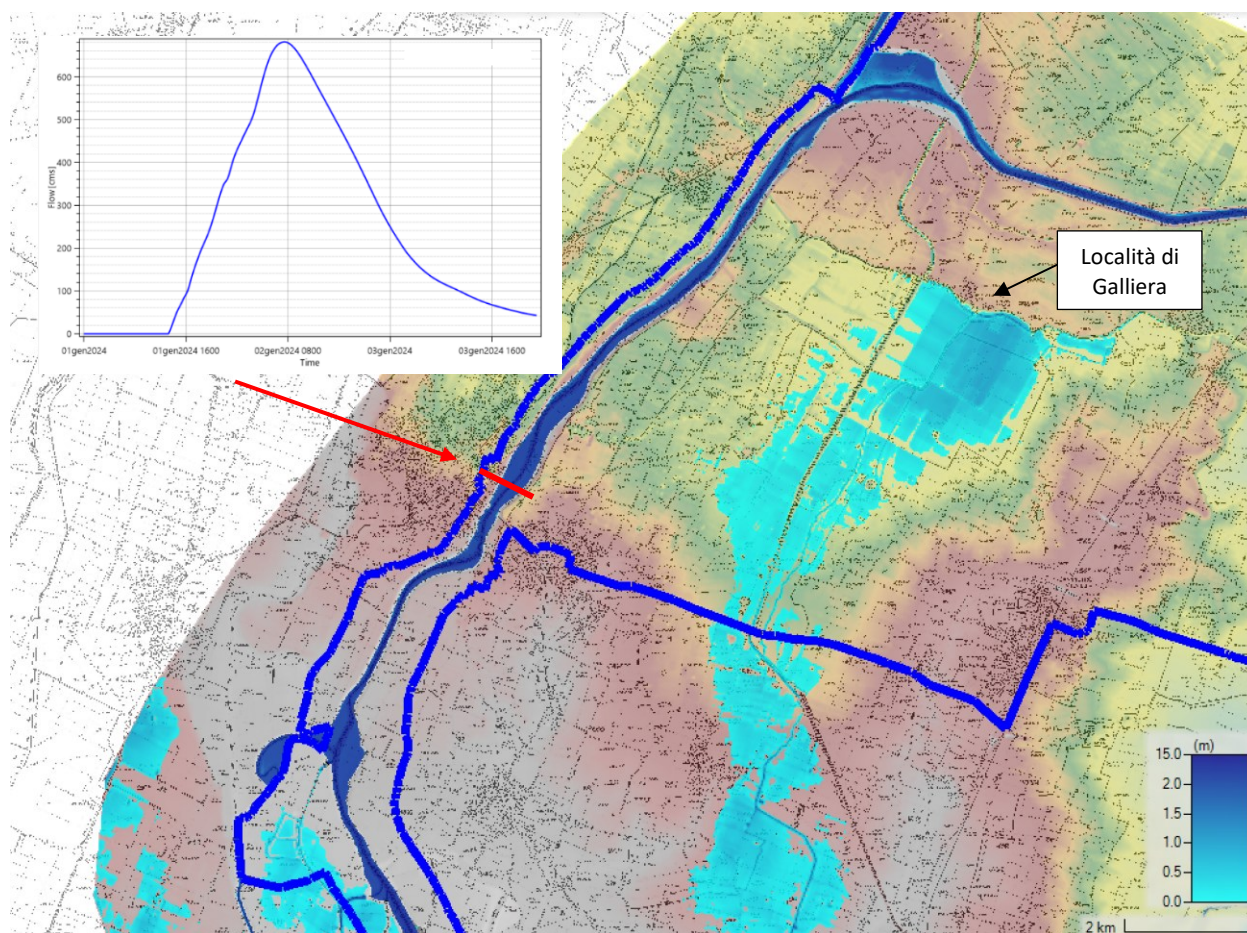


Fig. 81 – Evento T50: Massimi tiranti da confluenza Samoggia a valle Cavo Napoleonico e idrogramma sul Reno a valle della confluenza Samoggia (in blu P3 PGRA 2021)

La portata massima che raggiunge l'Opera Reno, mantenendosi contenuta negli argini, è pertanto pari a circa 700 m³/s.

Anche in questo caso la struttura di derivazione del Cavo Napoleonico è stata ipotizzata a immissione libera al di sopra delle soglie delle 3 luci, non sezionate dalle paratoie, così da verificare la massima derivazione possibile.

A fronte di un livello in alveo presso l'opera di presa pari a circa 21,5 m s.m., si riscontra la derivazione di una portata massima poco inferiore a 200 m³/s, corrispondente a un volume di circa 11,33 Mm³ (curva verde in Fig. 82).

Si nota come il tratto tra confluenza Samoggia e Opera Reno sia in grado di esercitare un effetto di laminazione non trascurabile, che porta a quasi 300 m³/s la riduzione complessiva del colmo.

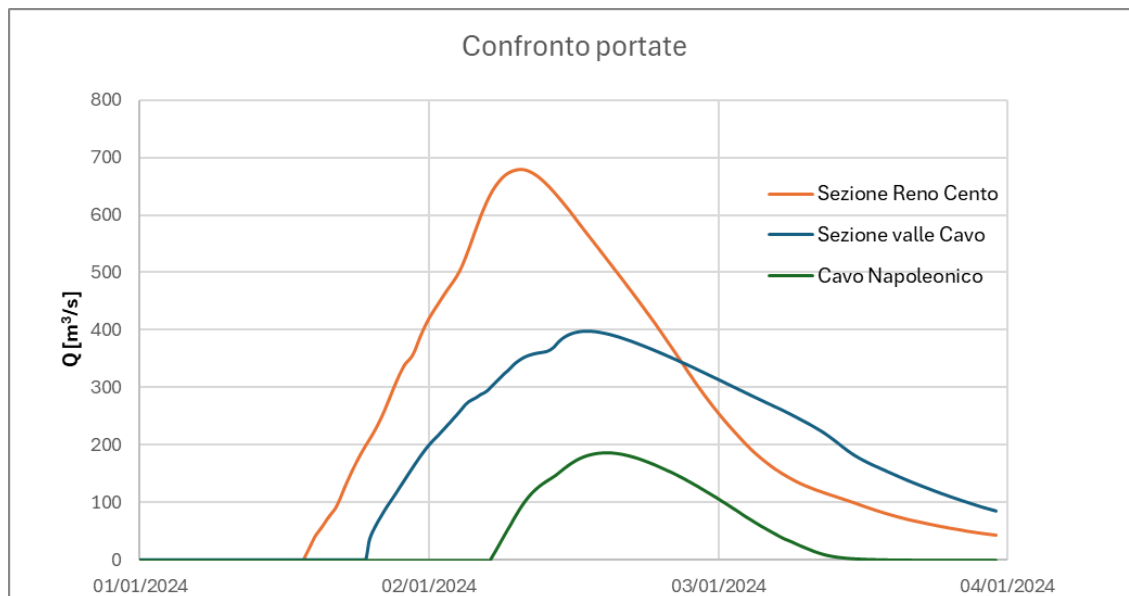


Fig. 82 – Evento T50: confronto tra idrogrammi sul Reno a Cento e a valle del Cavo Napoleonico, oltre che della portata derivata dal Cavo stesso.

La portata massima che defluisce nel Reno a valle del Cavo Napoleonico risulta quindi pari a circa 400 m³/s.

L'idrogramma si propaga fino a confluenza Idice sempre contenuto dagli argini. Alla sezione dello sfioratore del Gallo il livello massimo raggiunto è pari a 17,4 m s.m., circa 1 m al di sotto della soglia.

La derivazione di una minore portata attraverso il Cavo Napoleonico, oltre ad esercitare un minor effetto di richiamo che riduce i livelli nel tratto di monte, porterà a maggiori valori di portata nell'alveo a valle, con livelli al Gallo più prossimi alla quota di sfioro (18,35 m s.m.).

Le Fig. 86 e Fig. 87 rappresentano il tratto a valle del Cavo Napoleonico fino alla confluenza dell'Idice.

Anche in questo caso, avendo simulato la chiavica di confluenza come aperta, nel tratto terminale del Navile si riscontrano allagamenti che sono causati dall'immissione di portata del Reno nell'affluente a motivo della differenza di livello dei due corsi d'acqua (Fig.62). Tali allagamenti si estendono nei campi compresi tra il Navile e il Reno fino all'abitato di Malalbergo. L'effetto del rigurgito si risente nel Navile anche nel tratto più a monte e ciò causa l'allagamento di estese zone in sinistra idraulica, nel territorio compreso tra Malalbergo e la località Valla delle Tombe (Fig. 87 Fig. 86).

In Fig. 84 è rappresentato il profilo idrico di massima piena nel Navile in corrispondenza della confluenza con il Reno, mentre in Fig. 85 è riportato l'idrogramma di portata entrante in Navile dal Reno.

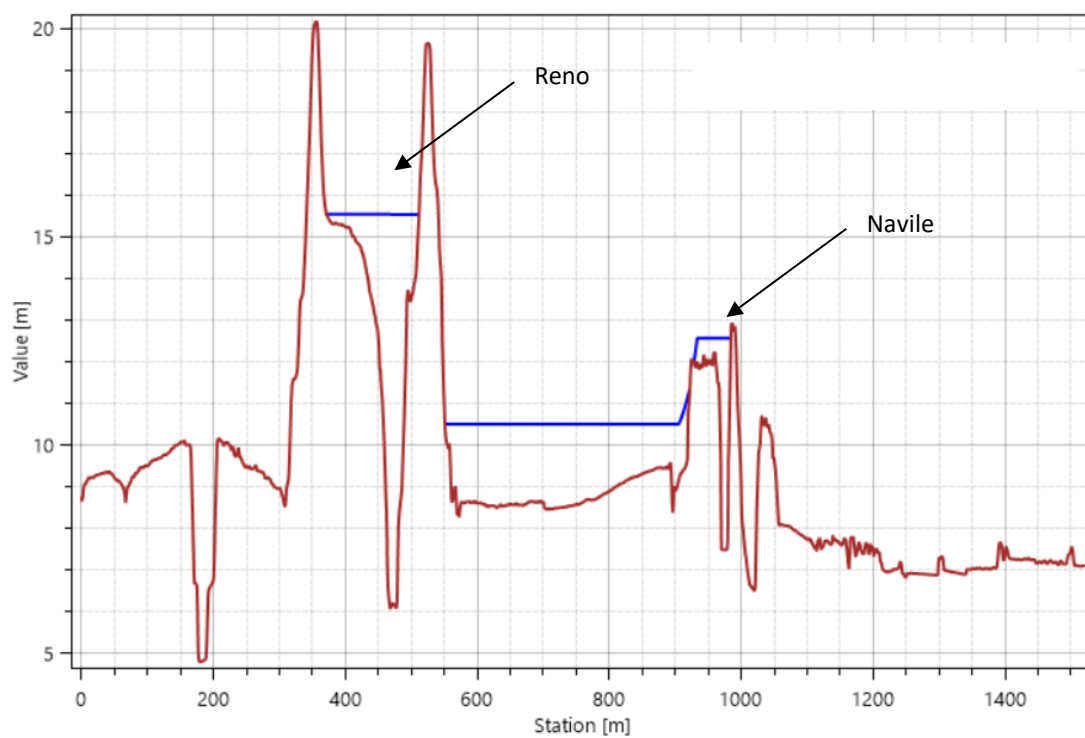


Fig. 83 - Evento T50: sezione trasversale con massimi tiranti di Reno e Navile

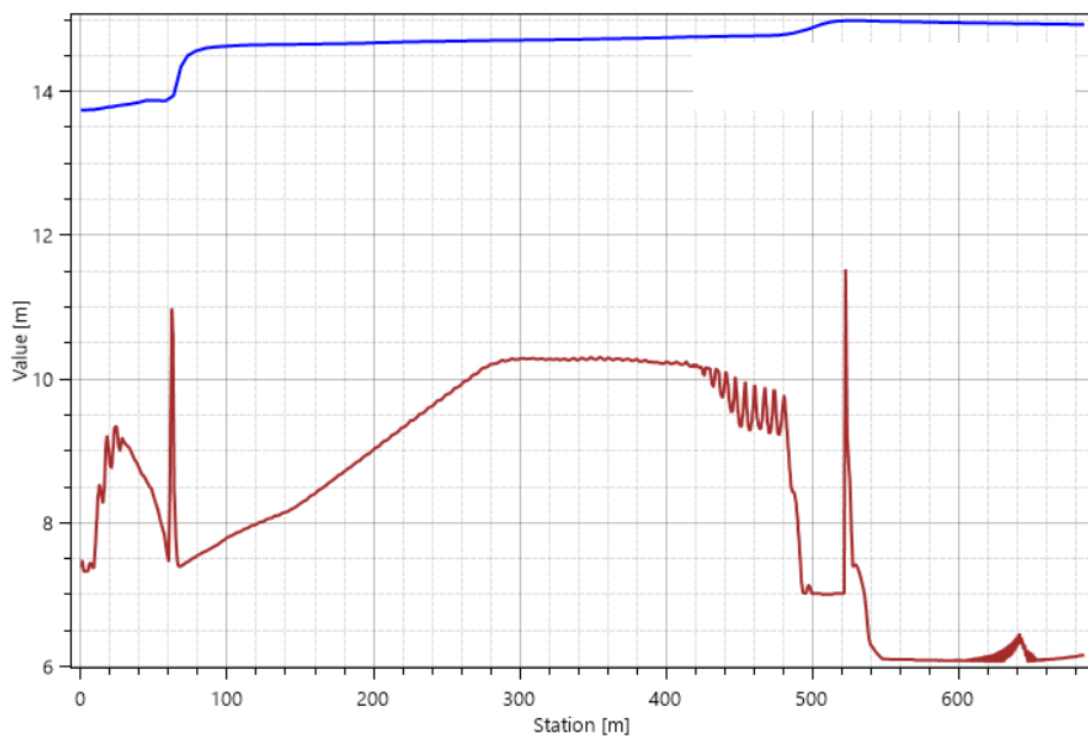


Fig. 84 - Evento T50: massimo profilo idrico sul Navile da confluenza Reno

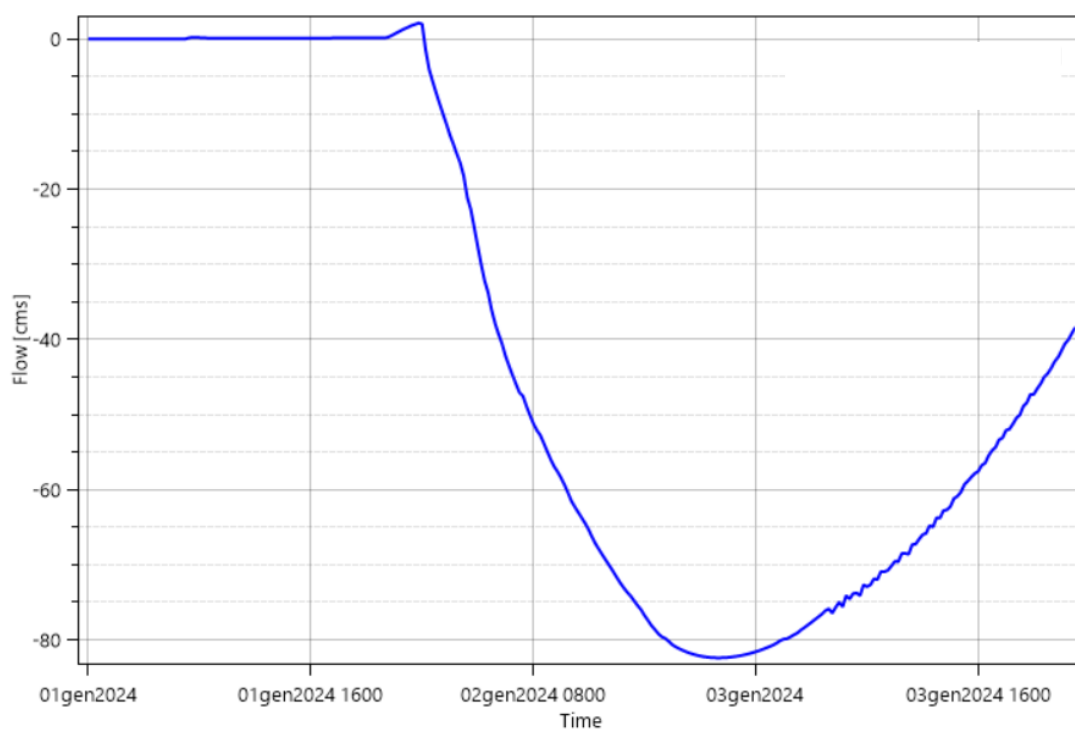


Fig. 85 - Evento T50: portata nel Navile presso confluenza Reno

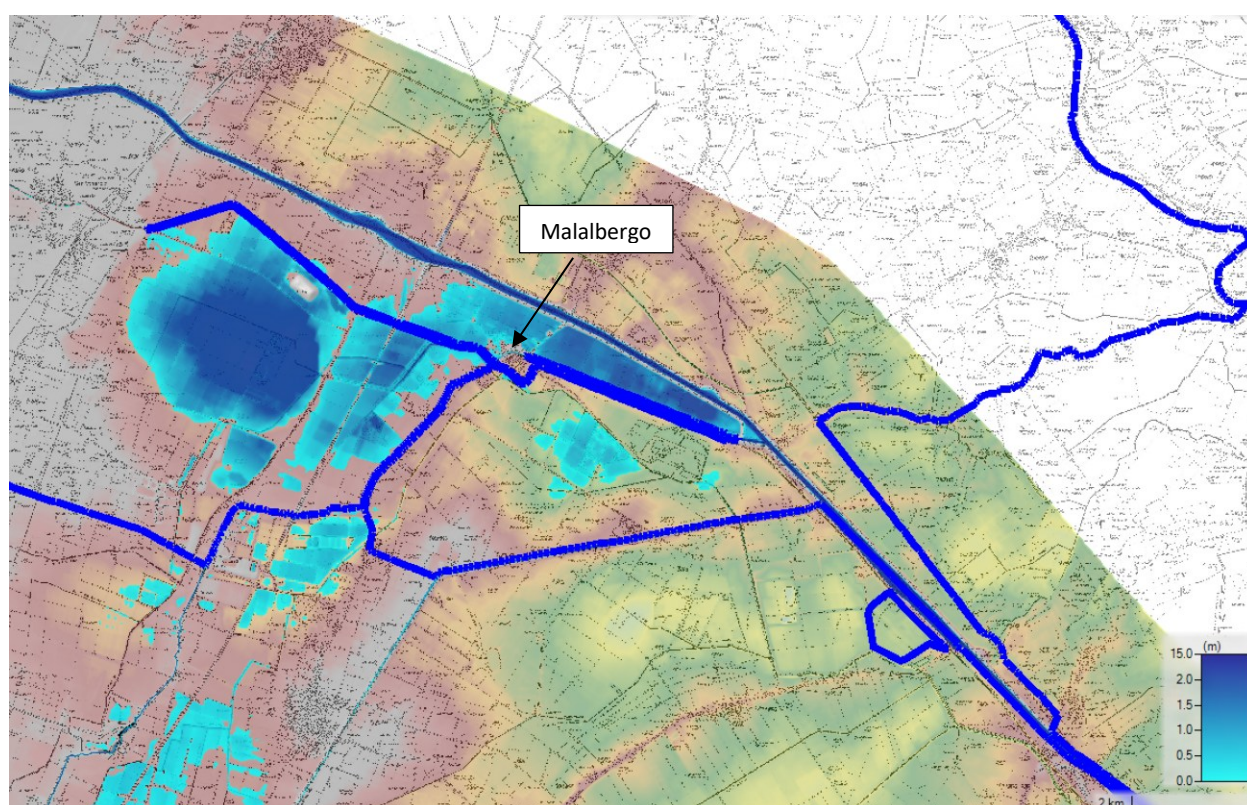


Fig. 86 – Evento T50: Massimi tiranti da valle Cavo Napoleonico a confluenza Navile (in blu P3 PGRA 2021)

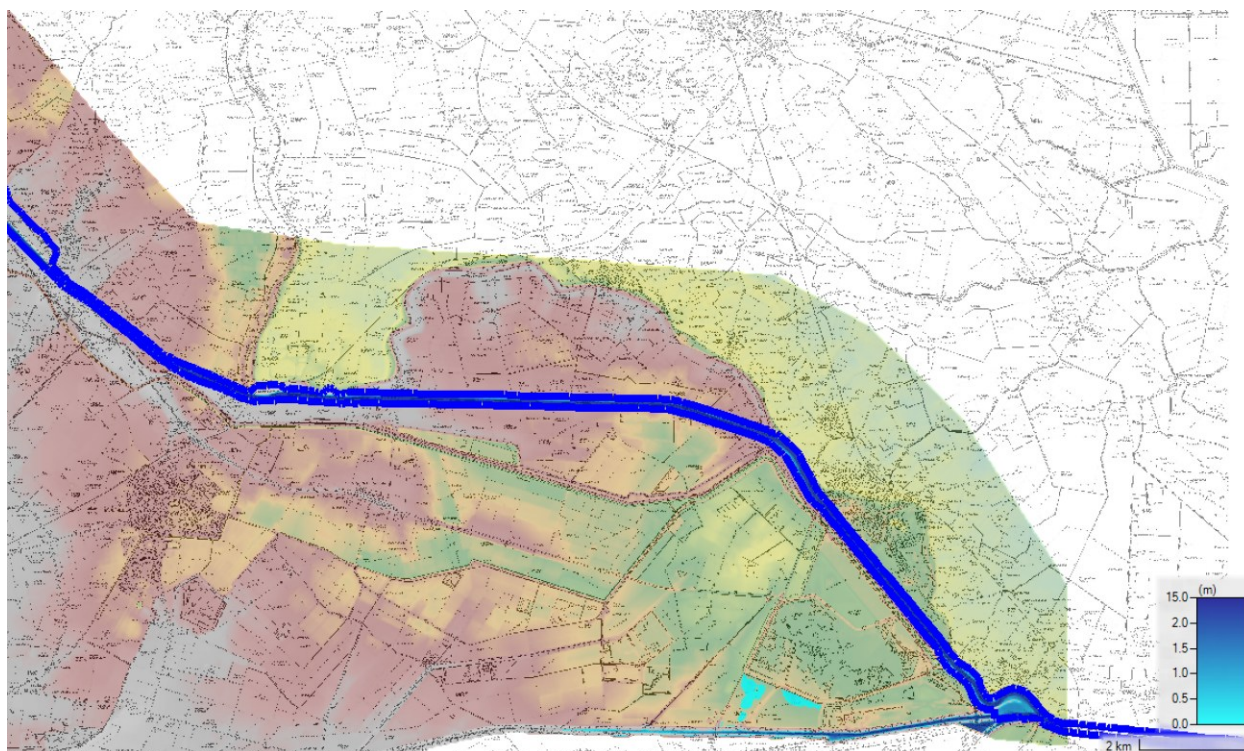


Fig. 87 – Evento T50: Massimi tiranti da valle confluenza Navile a monte confluenza Idice (in blu P3 PGRA 2021)

7.5.2.3 Evento TR200

Nel presente capitolo vengono analizzati i risultati della simulazione con tempo di ritorno 200 anni e con durata di precipitazione pari a 18 ore, in analogia al capitolo precedente. I risultati della simulazione vengono confrontati con la perimetrazione P3 del PGRA al fine di valutare la coerenza degli allagamenti.

La Fig. 88 mostra il tratto del fiume Reno compreso tra la confluenza Reno-Setta e Casalecchio di Reno.

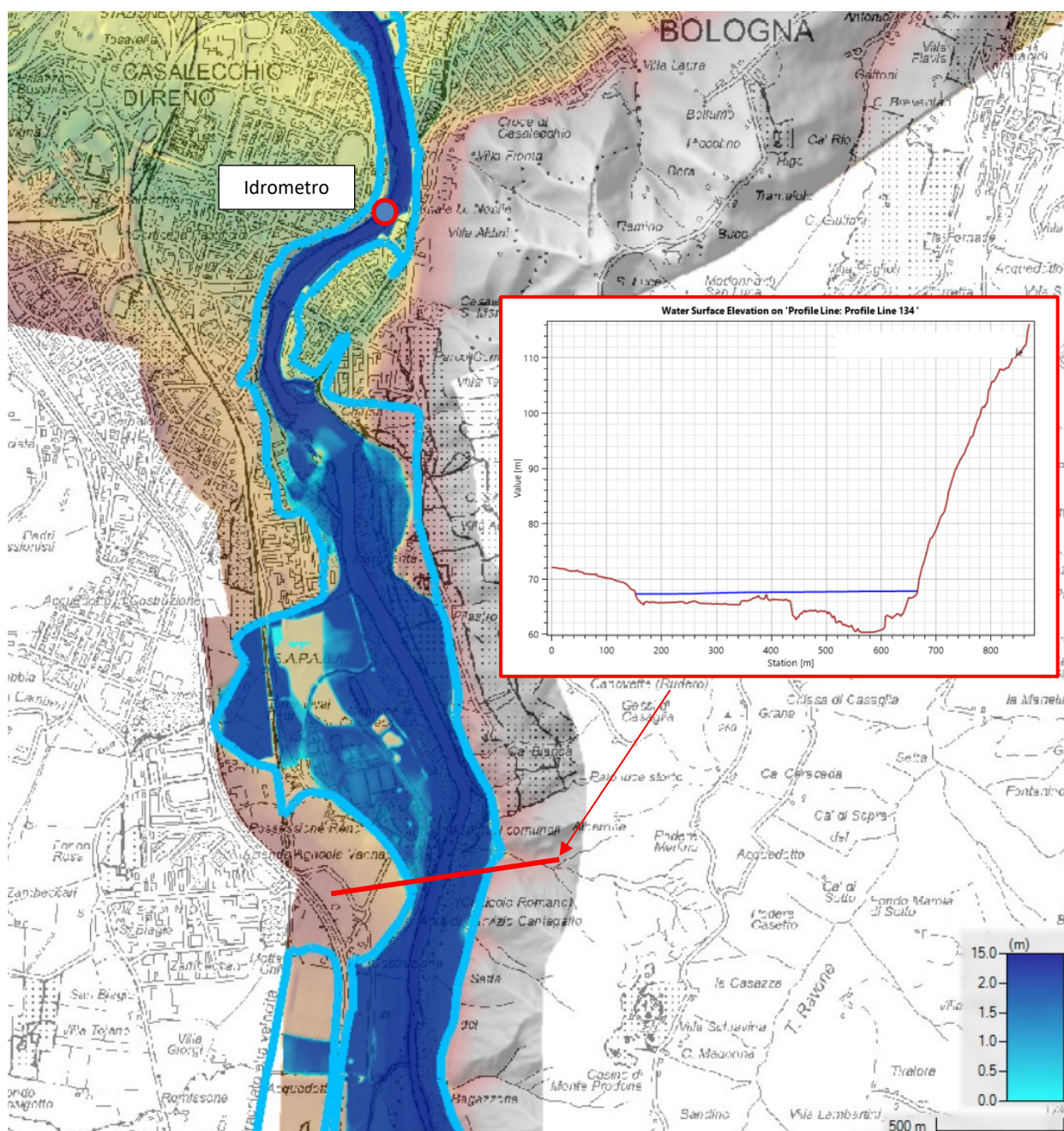


Fig. 88 – TR200: Massimi Tiranti tra valle confluenza Setta e Casalecchio e identificazione dell'idrometro di Casalecchio (in [azzurro](#) P2 PGRA 2021)

In questo tratto si verificano allagamenti tra i comuni di Borgonuovo e Casalecchio di Reno a monte della Chiesa di Reno (rif. sezione in Fig. 88), come già riscontrato per gli eventi precedentemente descritti.

Risultano interessate da allagamenti sostanzialmente le stesse aree già allagate nella simulazione T50, anche se in questo caso si raggiungono altezze d'acqua maggiori.

Le esondazioni sono coerenti con la perimetrazione della perimetrazione P2 del PGRA.

In Fig. 89 è rappresentato l'idrogramma di portata estratto dal modello idraulico presso la sezione dell'idrometro di Casalecchio di Reno (derivante dall'input di monte del modello del bacino montano, maggiorato del contributo distribuito del bacino residuo e ridotto dalle esondazioni di cui sopra) a confronto con quello di riferimento per T200 restituito dal modello idrologico (v. attività 1.6): la riduzione del colmo che si verifica per l'effetto delle dinamiche idrauliche è rilevante (circa 350 m³/s fino a circa 1750 m³/s).

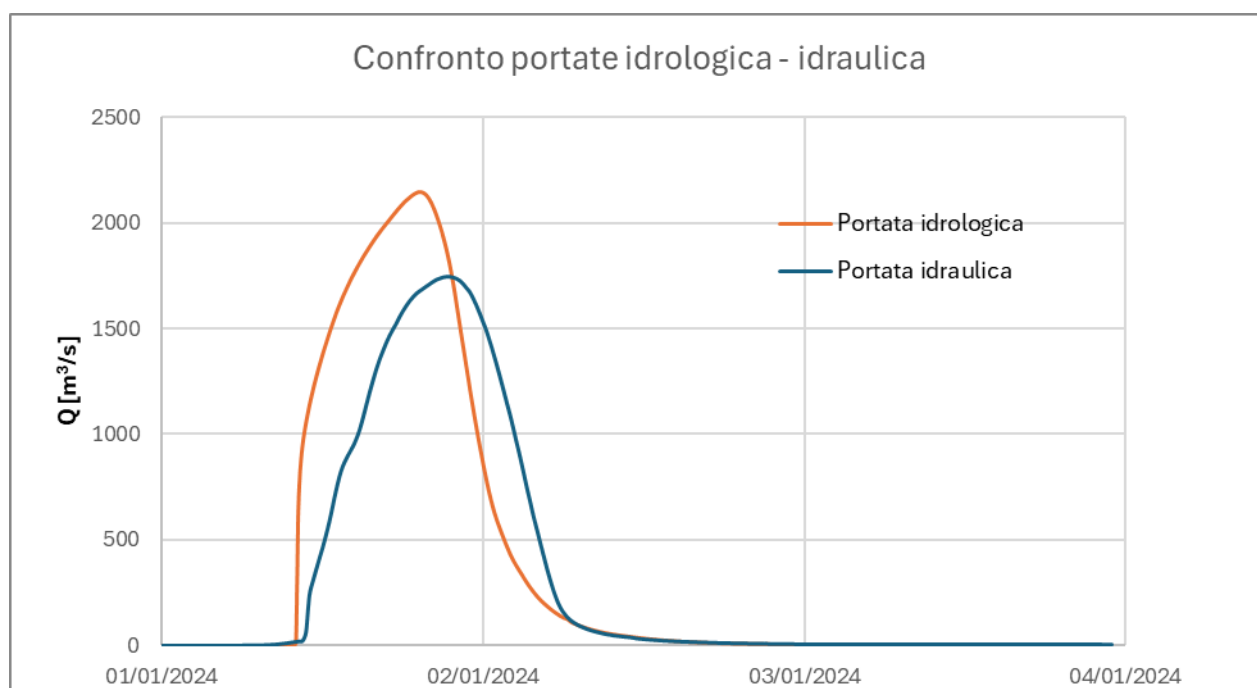


Fig. 89 – Confronto portate idraulica e idrologica

La Fig. 90 mostra le aree allagate nell'area urbana tra Casalecchio e Bologna. Rispetto alle dinamiche descritte per l'evento T50 si rileva un ulteriore sormonto della sponda destra presso il quartiere Barca di Bologna, che si avvia per portate poco inferiori a $1.700 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sezione "A" in Fig. 90). Tale fuoriuscita è esterna alla perimetrazione P2 del PGRA.

In analogia all'evento T50 si riscontrano (Fig. 90) alcuni modesti allagamenti in destra e sinistra idraulica, poco a monte di viale Palmiro Togliatti, coerenti con la perimetrazione P2 del PGRA (sezione "B" in Fig. 90).

Si osserva come tra viale Togliatti e la via Emilia l'allagamento del nucleo urbano in sinistra sia impedito, con franchi inferiori a 1 m, da un rilevato che non risulta classificato come argine di seconda categoria.

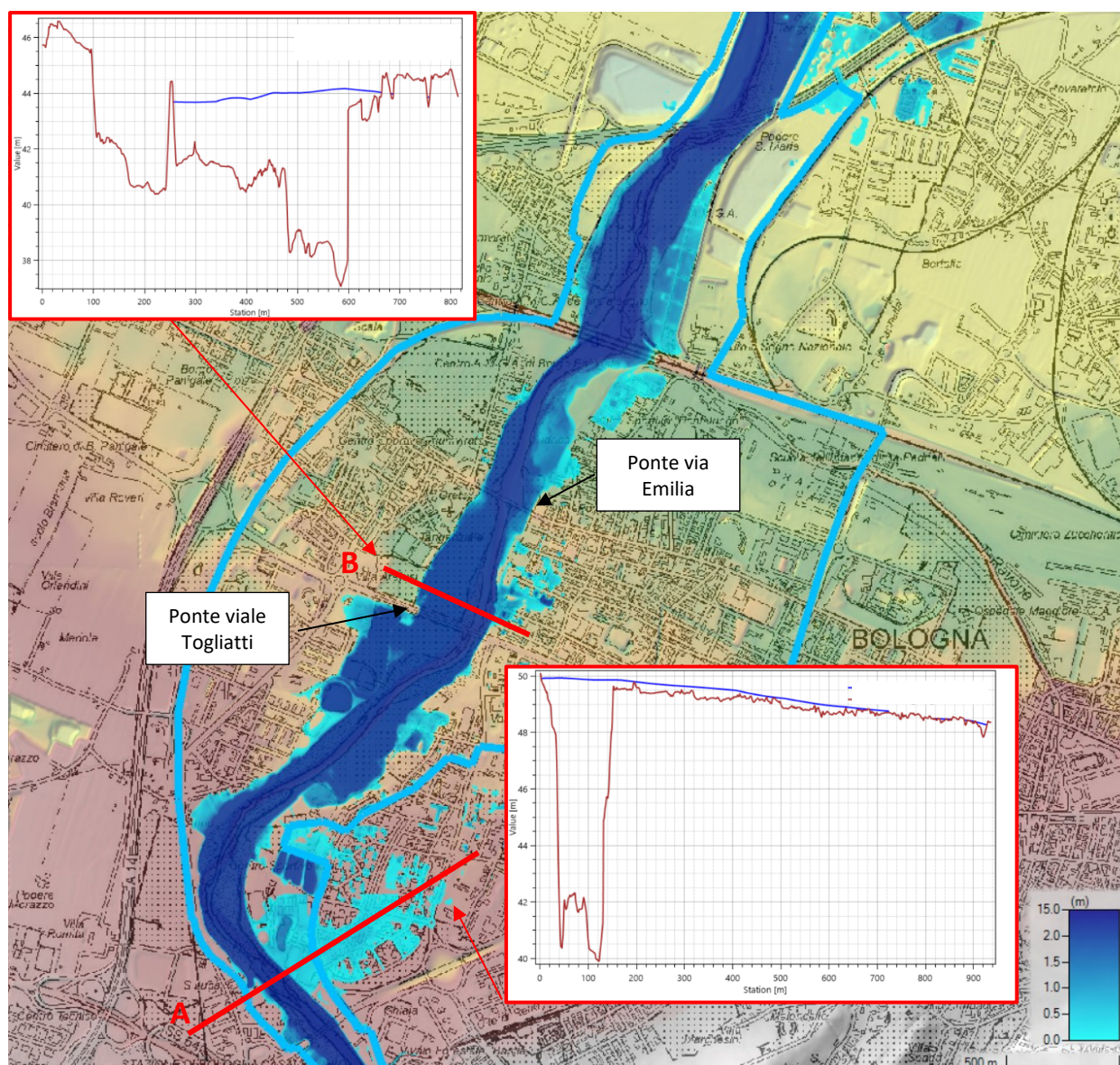


Fig. 90 – TR200: Massimi Tiranti da Casalecchio alla A14 (in azzurro P2 PGRA 2021)

A valle della linea ferroviaria MI-BO ha origine il tratto arginato. Dopo appena 1,5 km, tuttavia, si ha un'importante riduzione della larghezza della sezione, presso la strettoia di Trebbo (Fig. 91).

Il rigurgito indotto da essa provoca il sormonto delle arginature immediatamente a monte, come esplicitato nella sezione di Fig. 91 .

La cospicua fuoriuscita di portata causa estese esondazioni su entrambe le sponde che si propagano verso Nord, in sinistra fino alla località I Casetti, a Sala Bolognese, mentre in destra la propagazione è più estesa e raggiunge le località di Galliera – San Venanzio poco a Sud del Cavo Napoleonico.

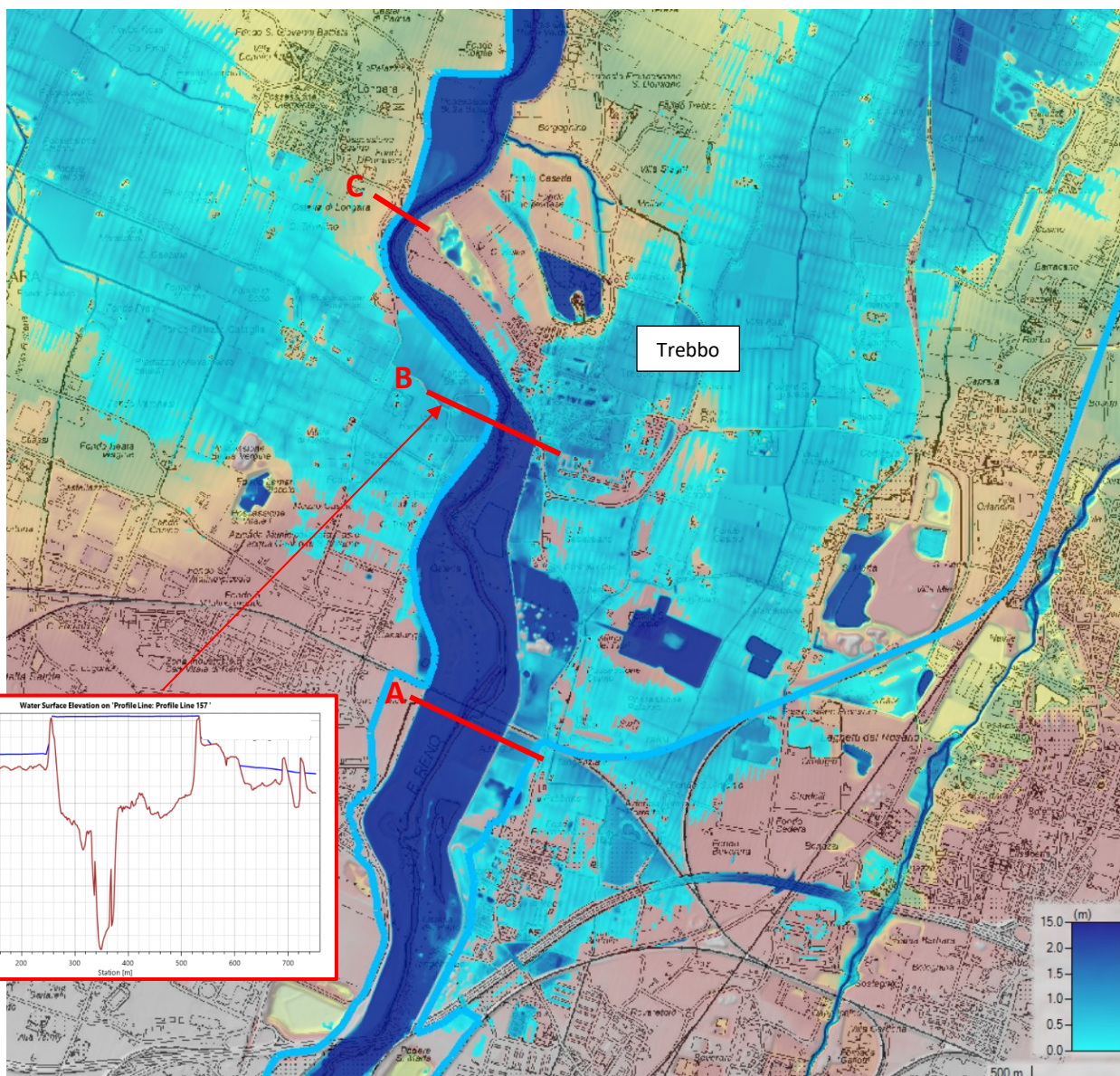


Fig. 91 – TR200: Massimi Tiranti da A14 a Longara (in **azzurro P2 PGRA 2021)**

La Fig. 92 pone a confronto gli idrogrammi di portata nelle sezioni “A” e “C”: si riscontra complessivamente una fuoriuscita di una portata massima dell’ordine dei 700 m³/s.

In particolare, le portate al colmo dell’onda di piena passano da un valore al colmo di circa 1650 m³/s a poco meno di 970 m³/s, corrispondente a una differenza di volumi in alveo di circa 22,17 Mm³.

La portata massima che riesce a superare la strettoia, in condizioni di tracimazione, è quindi poco inferiore a 1.000 m³/s come già riscontrato per l’evento T50.

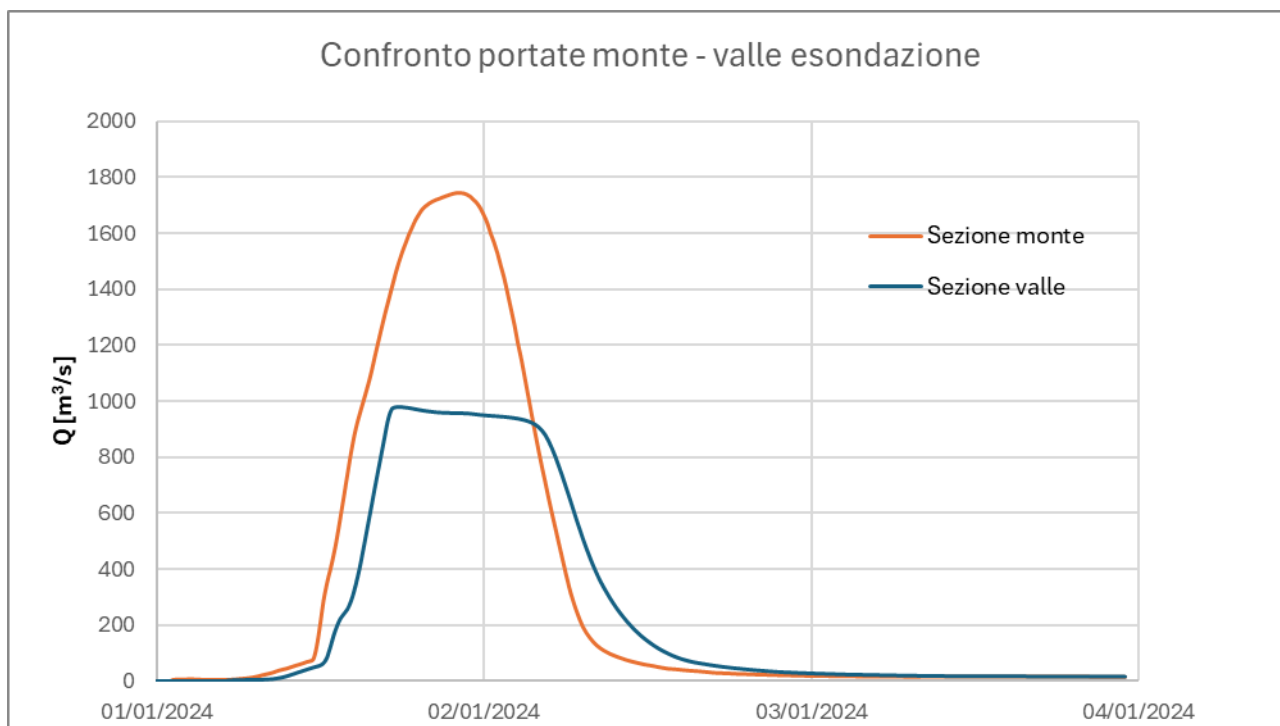


Fig. 92 – Idrogrammi a monte e valle dell'esondazione nella strettoia di Trebbo

Proseguendo verso valle la portata residua risulta contenuta dalle arginature; in Fig. 91 si può contestualmente osservare la propagazione esterna delle esondazioni precedentemente descritte.

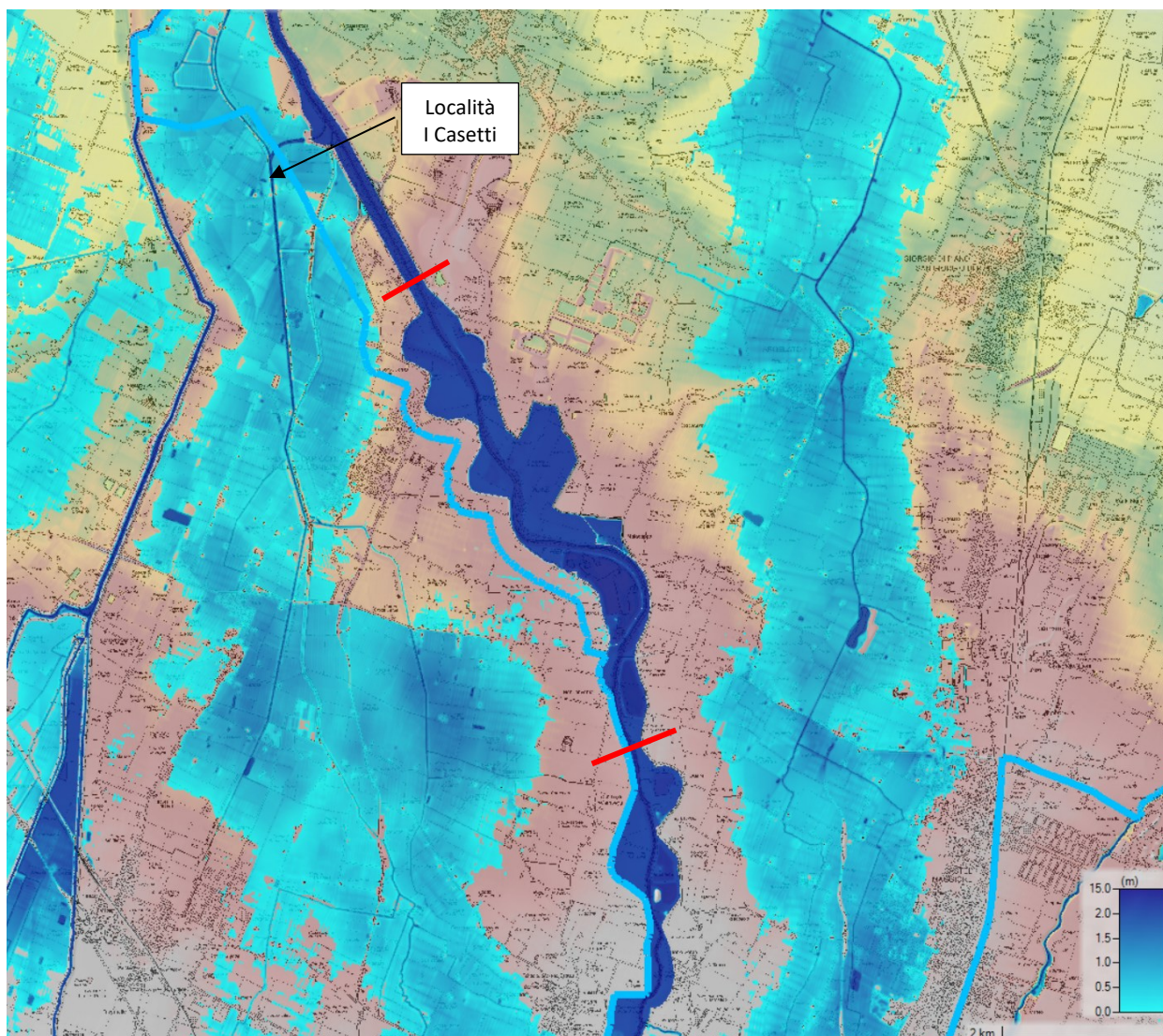


Fig. 93 – TR200: Massimi Tiranti da Longara a Località I Casetti (in azzurro P2 PGRA 2021)

Nel tratto tra Longara e Bagno di Piano entrano in funzione le casse di laminazione esistenti (Bonconvento e Boschetto) e si allagano le aree di espansione golenale.

Come rappresentato in Fig. 96 (confronto degli idrogrammi estratti presso le due sezioni rosse di Fig. 91 questo comporta una riduzione del picco di portata di circa $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (da un colmo di circa $975 \text{ m}^3/\text{s}$ a un colmo di circa $775 \text{ m}^3/\text{s}$) che corrisponde a un volume di invaso complessivo di $7,07 \text{ Mm}^3$.

La portata massima che giunge a confluenza Samoggia si è pertanto circa dimezzata rispetto al valore osservato a Casalecchio.

L'apporto del Samoggia, come da Fig. 95, non provoca un percepibile incremento del colmo per la durata in esame, ma un incremento del volume dell'idrogramma.

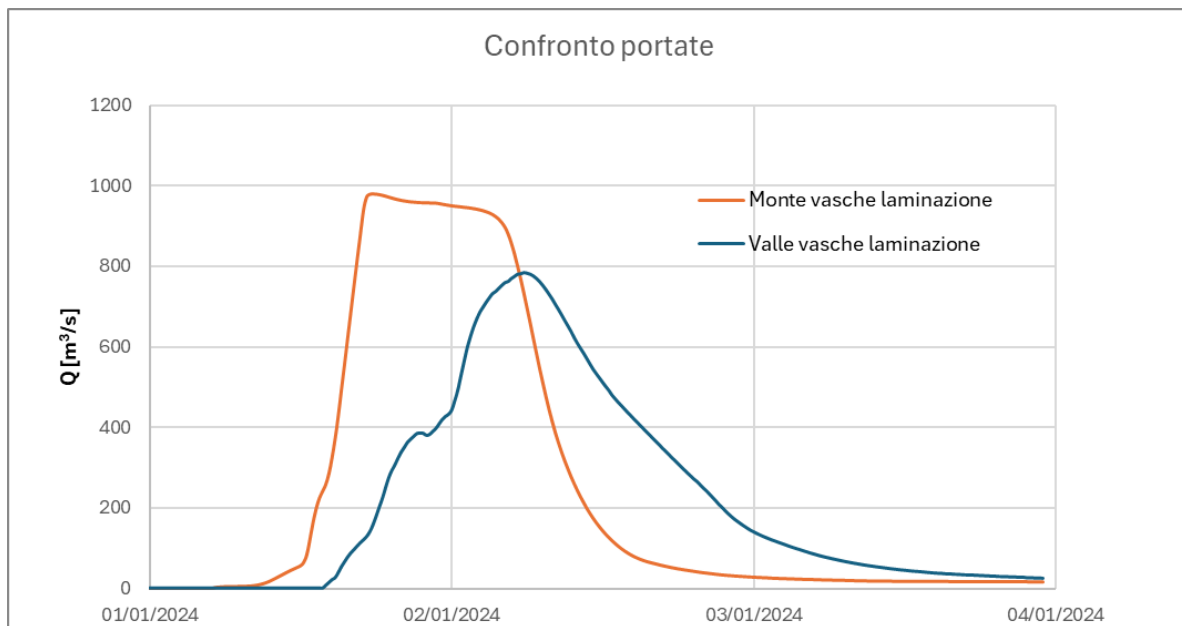


Fig. 94 – Effetto delle casse di laminazione sulla portata in alveo

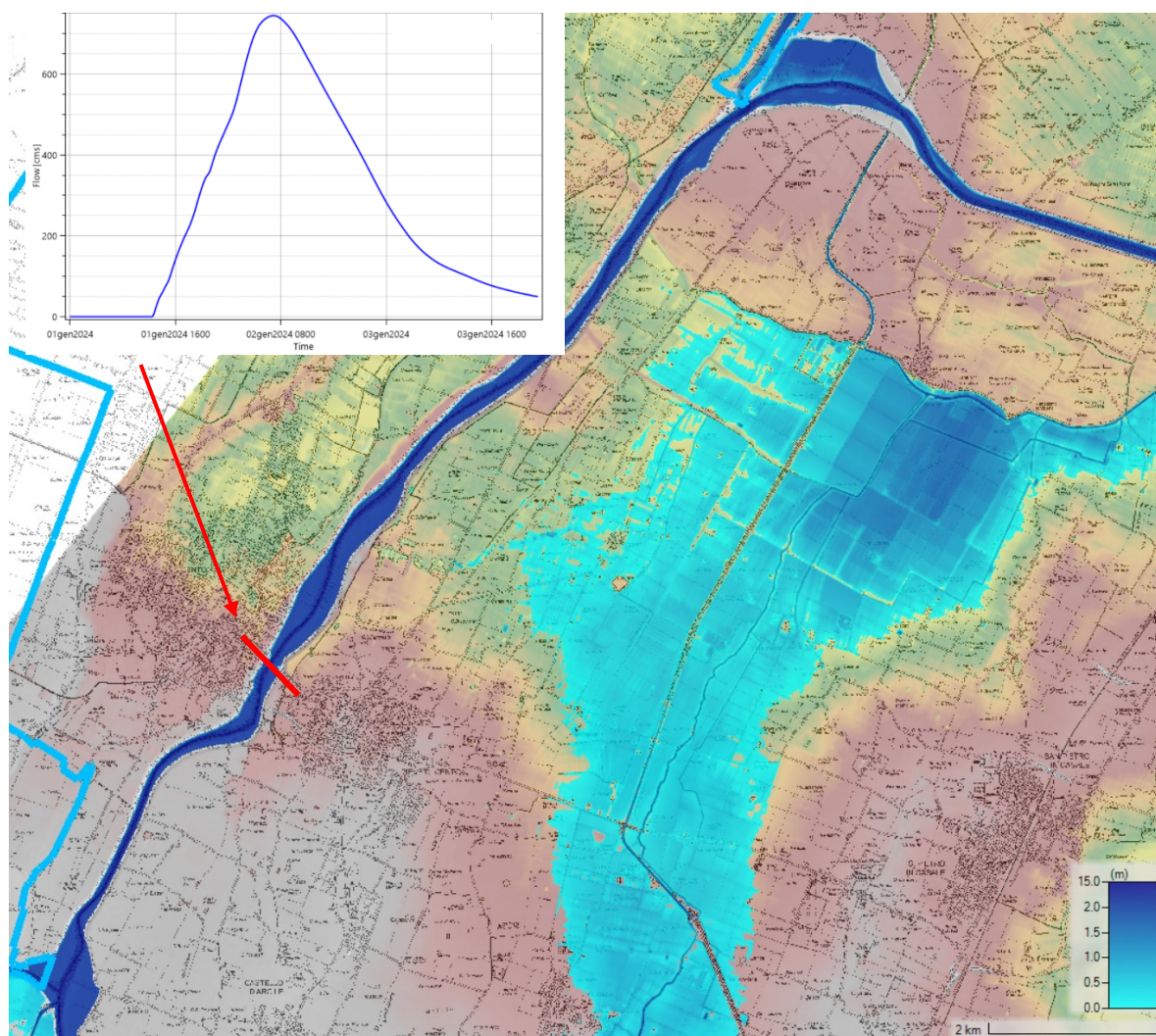


Fig. 95 - TR200: Massimi Tiranti da Sala Bolognese (confluenza Samoggia) a valle Cavo Napoleonico e idrogramma Reno a valle della confluenza Samoggia (in azzurro P2 PGRA 2021)

La portata massima che raggiunge l'Opera Reno, mantenendosi contenuta negli argini, è pertanto pari a circa $700 \text{ m}^3/\text{s}$.

Anche in questo caso la struttura di derivazione del Cavo Napoleonico è stata ipotizzata a immissione libera al di sopra delle soglie delle 3 luci, non sezionate dalle paratoie, così da verificare la massima derivazione possibile.

A fronte di un livello in alveo presso l'opera di presa pari a circa 21,7 m s.m., si riscontra la derivazione di una portata massima poco superiore a $200 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente a un volume di circa $14,8 \text{ Mm}^3$ (curva verde in Fig. 96).

Si nota come il tratto tra confluenza Samoggia e Opera Reno sia in grado di esercitare un effetto di laminazione non trascurabile, che porta a quasi $300 \text{ m}^3/\text{s}$ la riduzione complessiva del colmo.

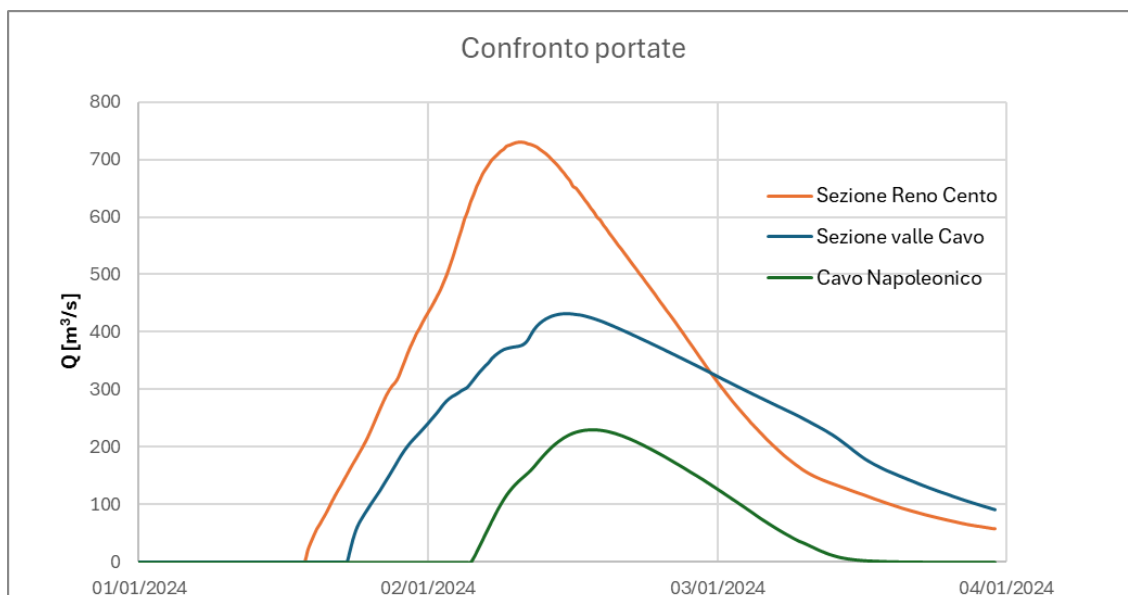


Fig. 96 – Evento T200: confronto tra idrogrammi sul Reno a Cento e a valle del Cavo Napoleonico, oltre che della portata derivata dal Cavo stesso.

La portata massima che defluisce nel Reno a valle del Cavo Napoleonico risulta quindi poco superiore a 400 m³/s.

L'idrogramma si propaga fino a confluenza Idice sempre contenuto dagli argini. Alla sezione dello sfioratore del Gallo il livello massimo raggiunto è pari a 17,6 m s.m., circa 0,8 m al di sotto della soglia.

Anche in questo caso l'eventuale scelta di derivare una minore portata attraverso il Cavo Napoleonico, oltre ad esercitare un minor effetto di richiamo che riduce i livelli nel tratto di monte, porterà a maggiori valori di portata nell'alveo a valle, con livelli al Gallo più prossimi alla quota di sfioro (18,35 m s.m.).

Le Fig. 100 e Fig. 101 rappresentano il tratto a valle del Cavo Napoleonico fino alla confluenza dell'Idice.

Presso la confluenza del Navile si riscontrano anche in questo caso allagamenti che sono causati dall'immissione di portata del Reno nel Navile a motivo della differenza di livello dei due corsi d'acqua (Fig. 97). Tali allagamenti si estendono nei campi compresi tra il Navile e il Reno fino all'abitato di Malalbergo. L'effetto del rigurgito si risente nel Navile anche nel tratto più a monte e ciò causa l'allagamento di estese zone in sinistra idraulica, nel territorio compreso tra Malalbergo e la località Valla delle Tombe (Fig. 100).

In Fig. 98 è rappresentato il profilo longitudinale del Navile in corrispondenza della confluenza con il Reno, mentre in Fig. 99 è riportato l'idrogramma di portata entrante in Navile dal Reno.

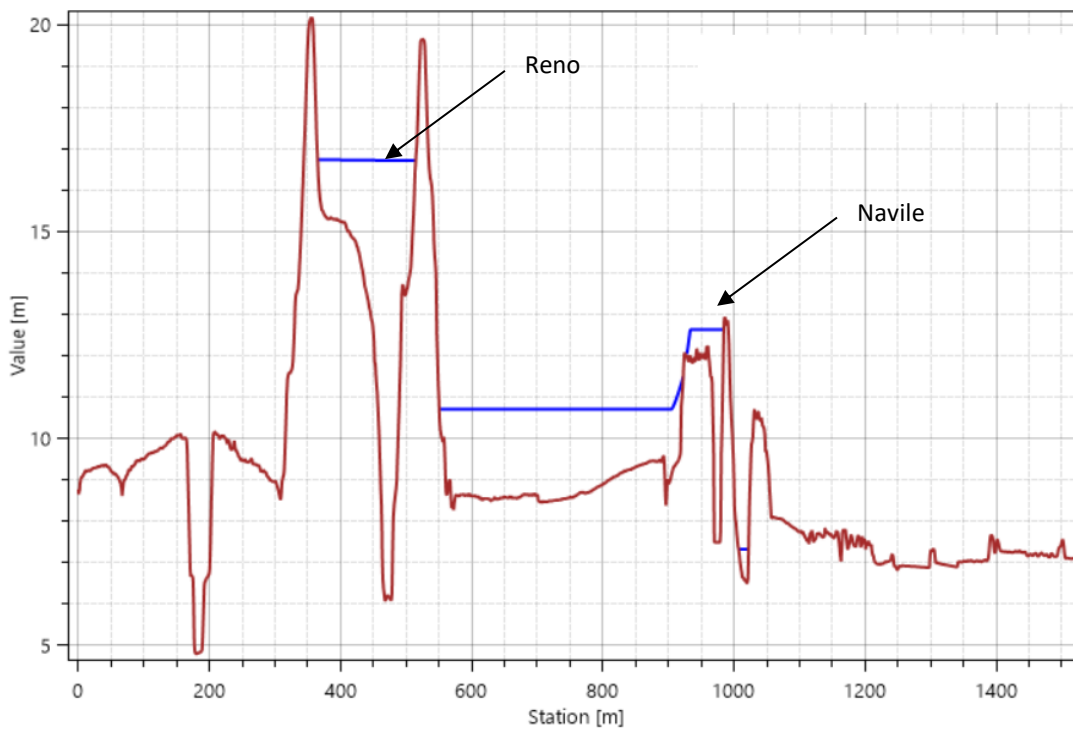


Fig. 97 - Evento T200: sezione trasversale con massimi tiranti di Reno e Navile

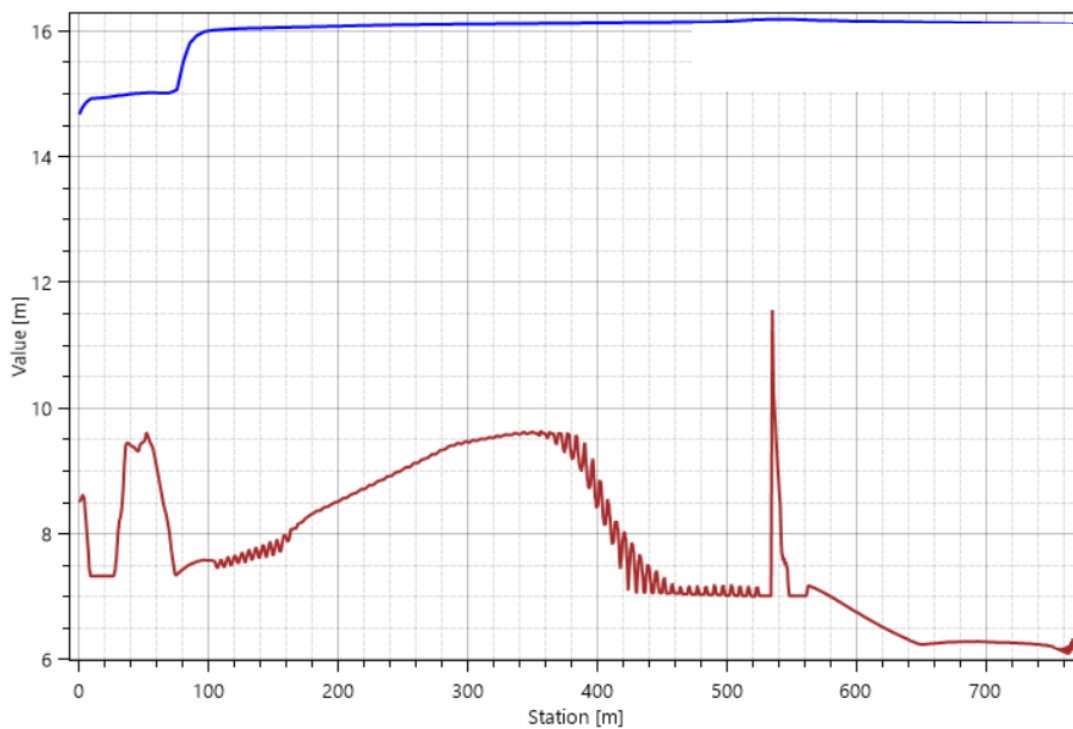


Fig. 98 - Evento T200: profilo idrico massimo sul Navile da confluenza Reno

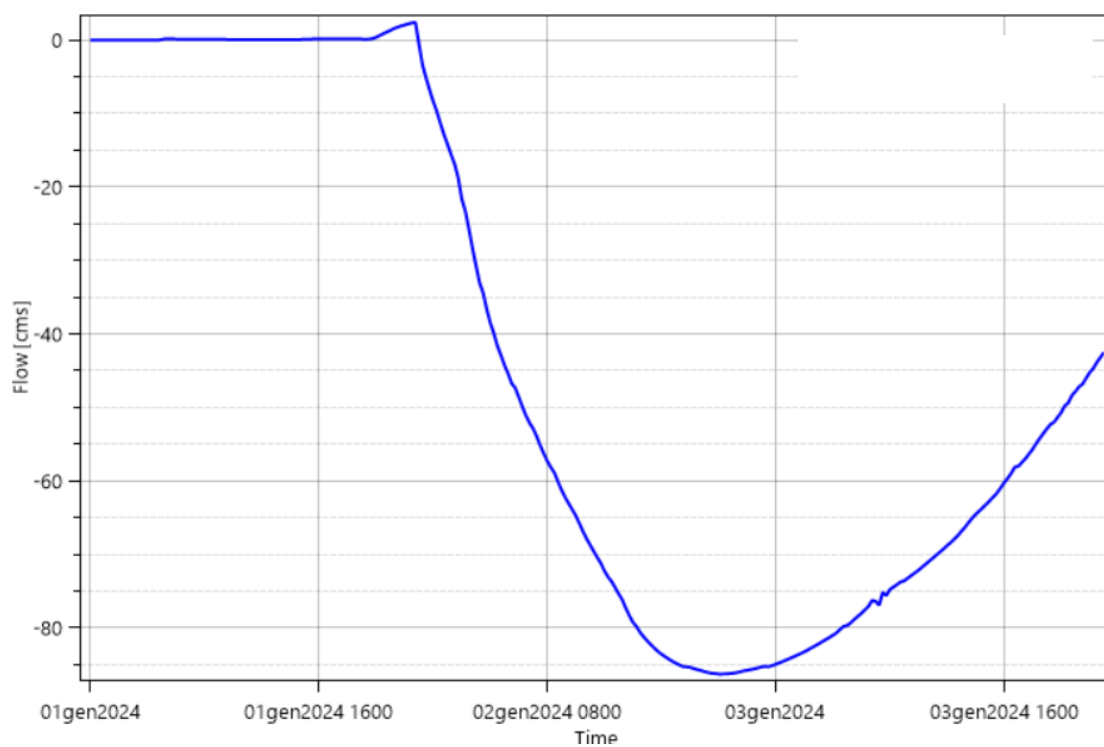


Fig. 99 - Evento T200: portata defluente nel Navile a confluenza Reno

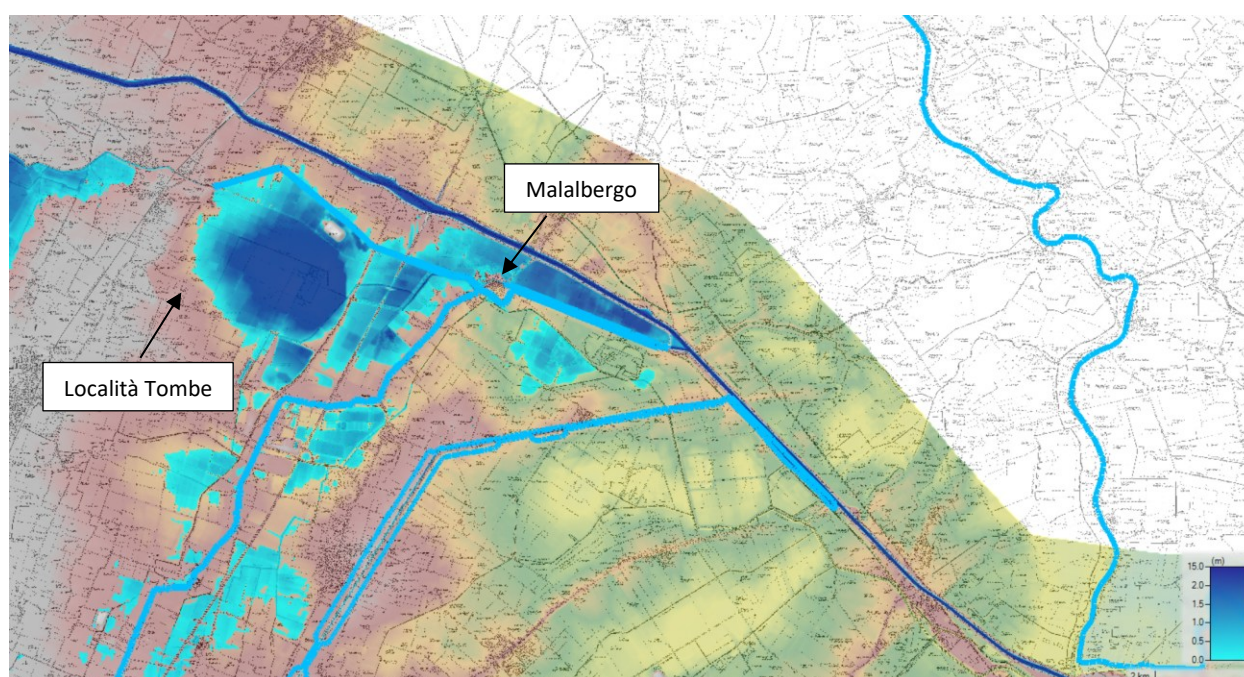


Fig. 100 – TR200: Massimi Tiranti da valle Cavo Napoleonico a confluenza Navile (in azzurro P2 PGRA 2021)

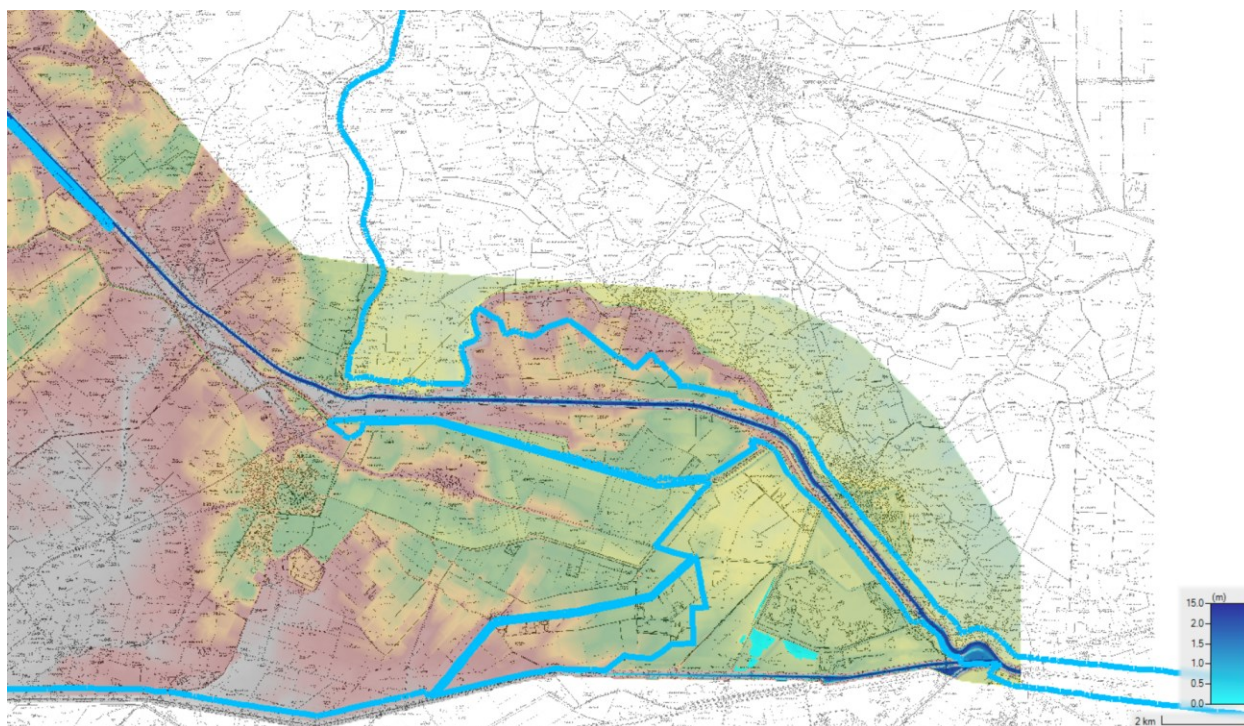


Fig. 101 – TR200: Massimi Tiranti da valle confluenza Navile a monte confluenza Idice (in azzurro P2 PGRA 2021)

7.5.2.4 Evento TR500

L'evento con il tempo di ritorno 500 anni presenta dinamiche di esondazione e areali interessati pressoché analoghi all'evento duecentennale. In generale, dato il coinvolgimento di volumi maggiori, si osservano allagamenti caratterizzati da massimi tiranti più elevati anche nei centri abitati.

A titolo di esempio si menzionano in seguito alcune aree abitate che risentono maggiormente delle esondazioni in quanto, dati i volumi maggiori in gioco, presentano degli areali allagati maggiori rispetto all'evento TR200: i quartieri di Bologna in destra idrografica Barca e Noce, la zona di Bologna compresa tra Viale Togliatti e Via Emilia e, andando verso valle, il paese di Venezzano, frazione del Castello d'Argile.

7.5.3. Fiume Reno (da confluenza Idice a mare)

7.5.3.1 Evento TR50

Il tratto terminale del fiume Reno, circa 35 km, da confluenza Idice a mare ripercorre l'antico ramo del Po di Primaro. La capacità di portata è limitata a circa 700 m³/s tra le confluenze di Idice/Sillaro e Santerno per poi crescere a 1100 m³/s da Santerno a mare.

L'evento T50, in ragione delle dinamiche di monte sia sull'asta principale del Reno che sugli affluenti, non determina criticità.

Nell'immagine seguente sono riportati gli idrogrammi in transito nelle seguenti sezioni:

- valle confluenza Idice/Sillaro;
- valle confluenza Santerno;
- valle confluenza Senio.

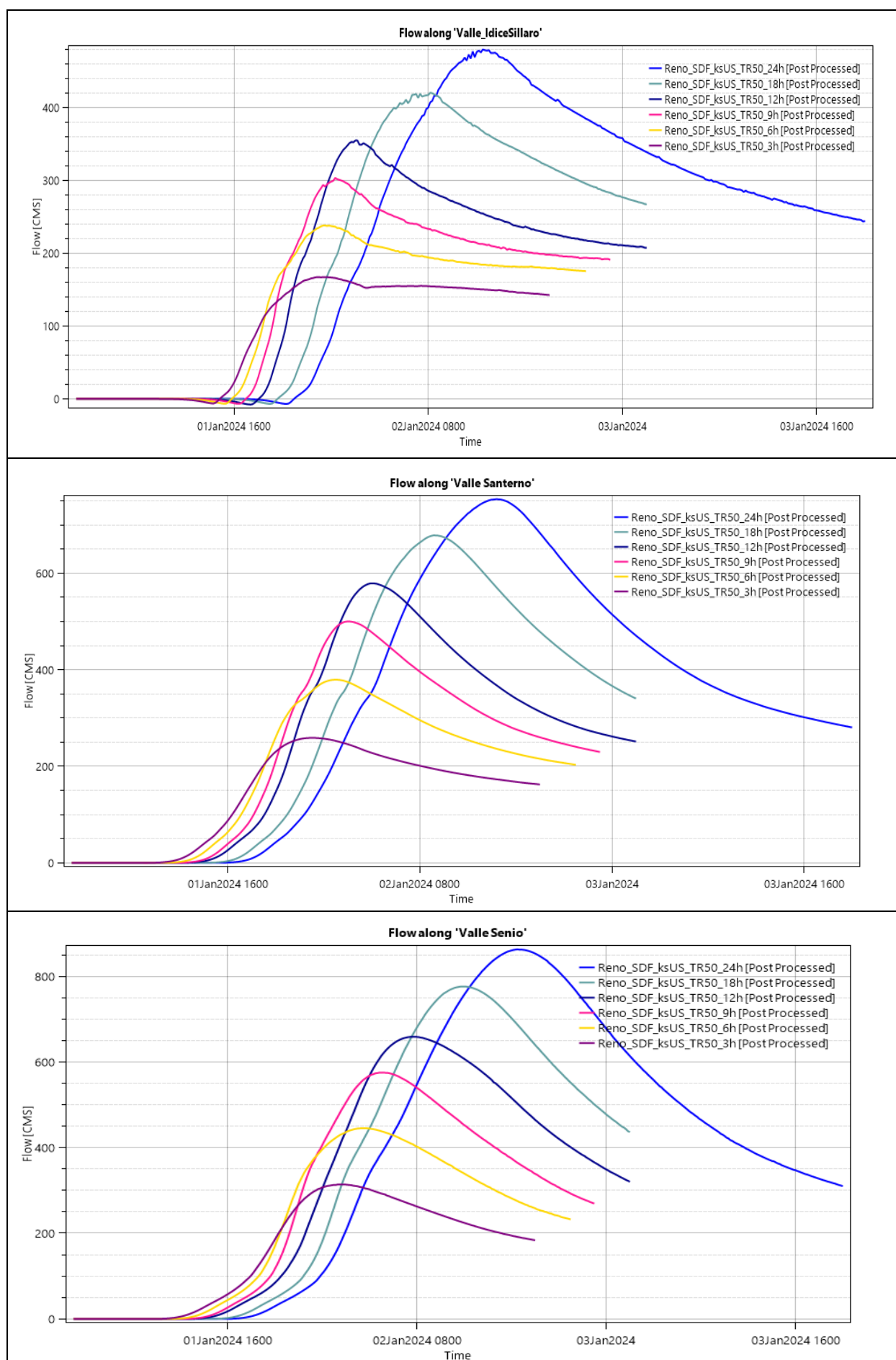


Fig. 102 Idrogrammi T50 valle confluenze Idice/Sillaro, Santerno e Senio

La massima portata in transito nelle tre sezioni è pari a:

- valle confluenza Idice/Sillaro: 480 m³/s;
- valle confluenza Santerno: 755 m³/s;
- valle confluenza Senio: 860 m³/s.

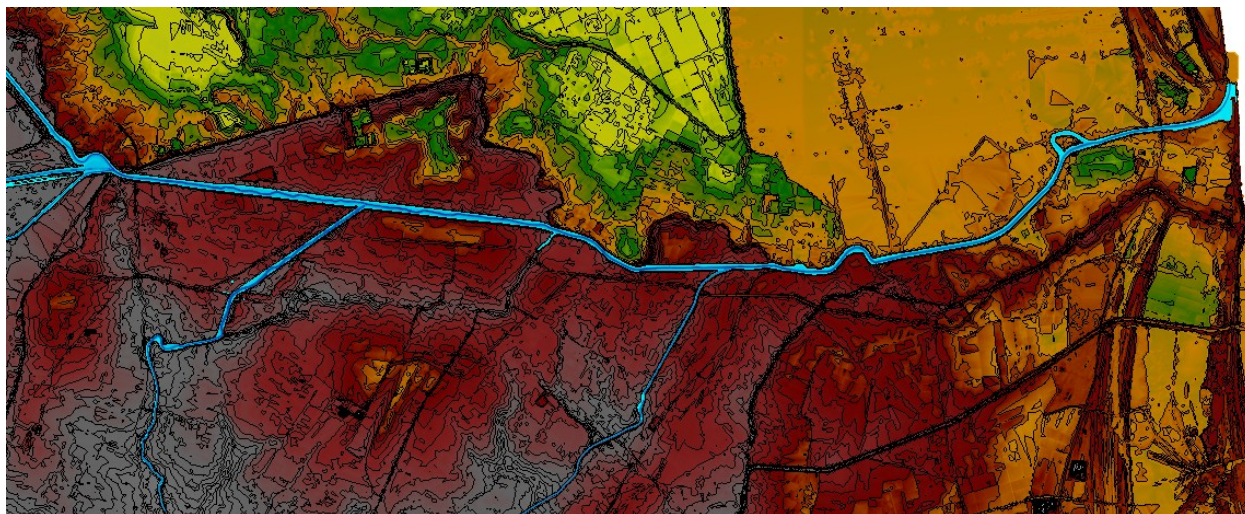


Fig. 103 T50 durata 24 h: massimi tiranti

7.5.3.2 Evento TR200

Anche per eventi più gravosi, i limiti delle capacità di portata dei tratti a monte di Reno e affluenti condizionano gli apporti al tratto in esame. Le portate al colmo non si discostano in modo significativo dall'evento T50.

La massima portata in transito nelle tre sezioni è infatti pari a:

- valle confluenza Idice/Sillaro: 500 m³/s;
- valle confluenza Santerno: 795 m³/s;
- valle confluenza Senio: 915 m³/s.

In Fig. 104 sono riportati gli idrogrammi in transito a valle confluenza Idice/Sillaro, Santerno e Senio.

Non si riscontrano criticità da confluenza Idice a mare.

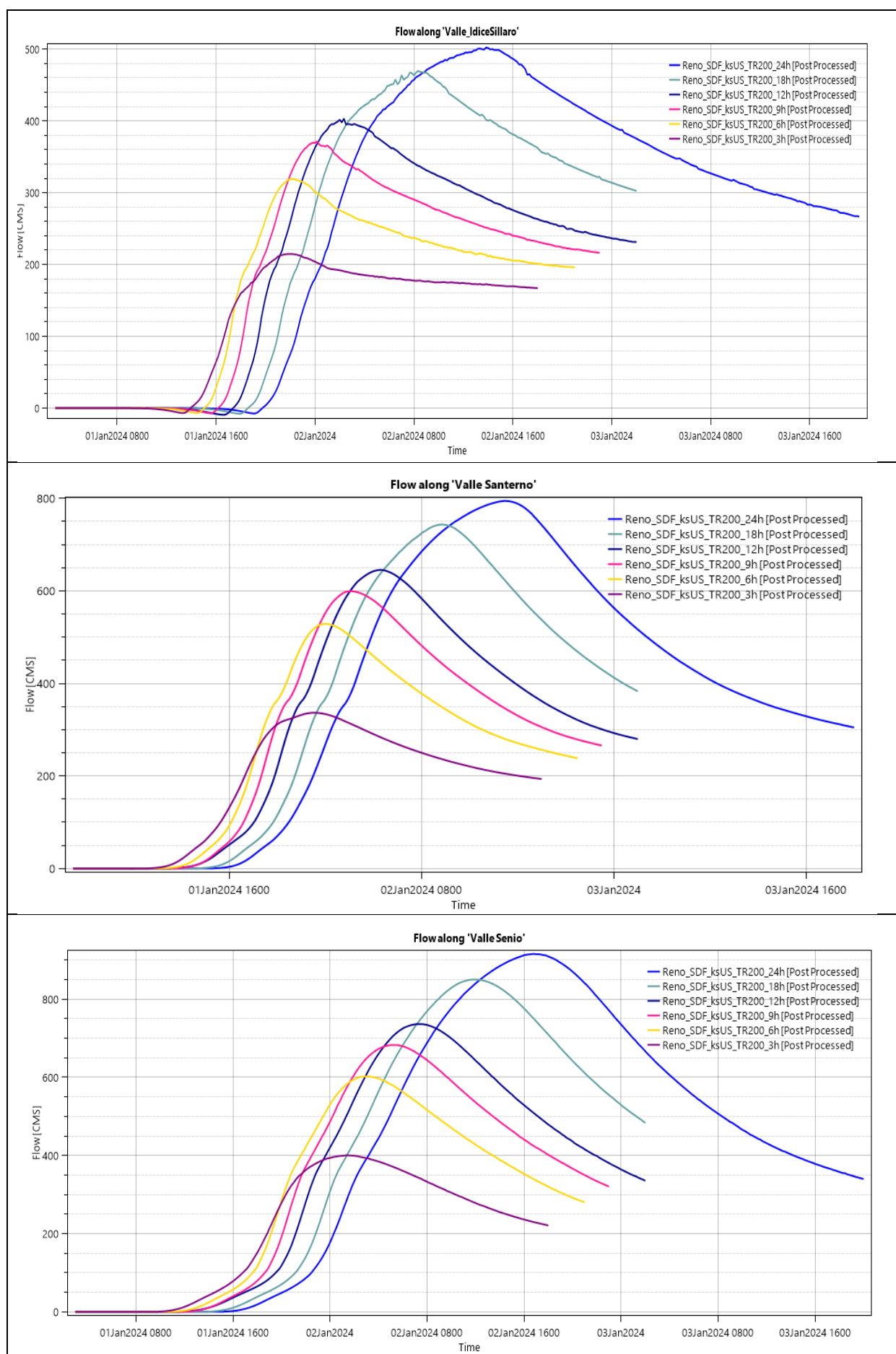


Fig. 104 Idrogrammi T200 valle confluenze Idice/Sillaro, Santerno e Senio

7.5.3.3 *Evento TR500*

Il transito dell'evento T500 è anch'esso condizionato dalla capacità di portata dei tratti di monte di Reno e affluenti; le portate al colmo sono analoghe all'evento T200.

La massima portata in transito nelle tre sezioni è infatti pari a:

- valle confluenza Idice/Sillaro: 510 m³/s;
- valle confluenza Santerno: 805 m³/s;
- valle confluenza Senio: 930 m³/s.

In sono riportati gli idrogrammi in transito a valle confluenza Idice/Sillaro, Santerno e Senio.

Non si riscontrano criticità da confluenza Idice a mare.

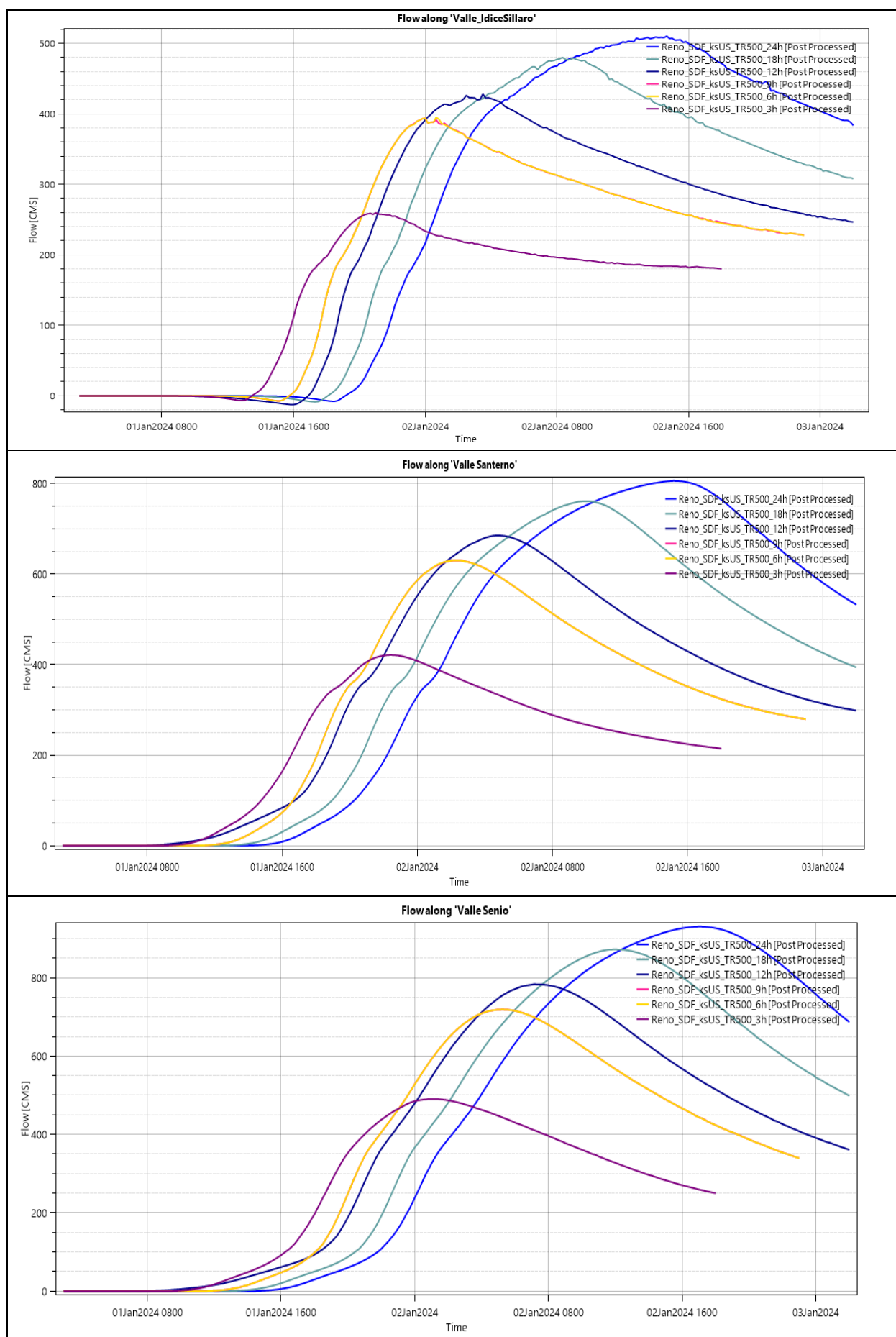


Fig. 105 Idrogrammi T500 valle confluenze Idice/Sillaro, Santerno e Senio

7.5.4. Fiume Setta

7.5.4.1 Evento TR50

Il fiume Setta è strettamente vincolato dall'orografia e anche il transito di eventi intensi non determina esondazioni rilevanti, se non qualche area periferica in genere interessata da coltivi; in generale, la dinamica di esondazione e la sua estensione è analoga a quella risultata nell'evento TR200 al quale si rimanda, in quanto sono state riportate le immagini dei massimi tiranti idrici lungo l'alveo del fiume Setta (Fig. 108, Fig. 109, Fig. 110).

In generale le esondazioni ottenute per l'evento di durata 9 ore sono coerenti con le perimetrazioni della perimetrazione P3 PGRA 2021. Si osservano delle estensioni maggiori dell'esondazione rispetto alla perimetrazione P3 PGRA 2021 nell'abitato di Allocco, con un sormonto della sponda sinistra a valle della difesa spondale di circa 0,15 m, che porta all'allagamento di alcuni caseggiati (vedi Fig. 106), e nei pressi della confluenza in Reno con sormonto della sponda sinistra a monte della briglia e allagamento dell'area agricola adiacente alla sponda. In Fig. 107 si osserva l'immagine dei massimi tiranti idrici e la sezione trasversale all'alveo in cui si nota il sormonto della sponda sinistra di circa 0,25 m.

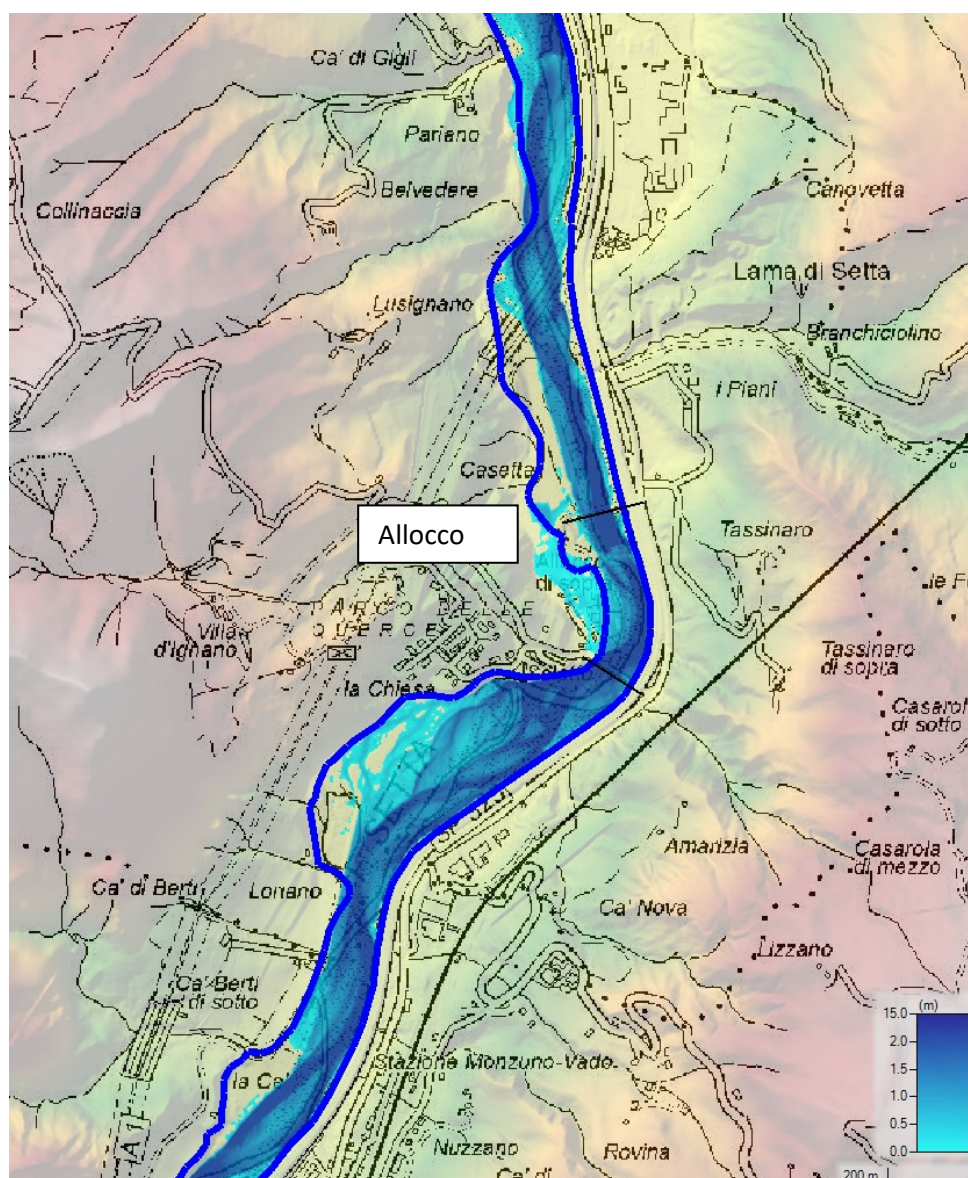


Fig. 106 TR50 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P3 PGRA 2021 nei pressi dell'abitato di Allocco

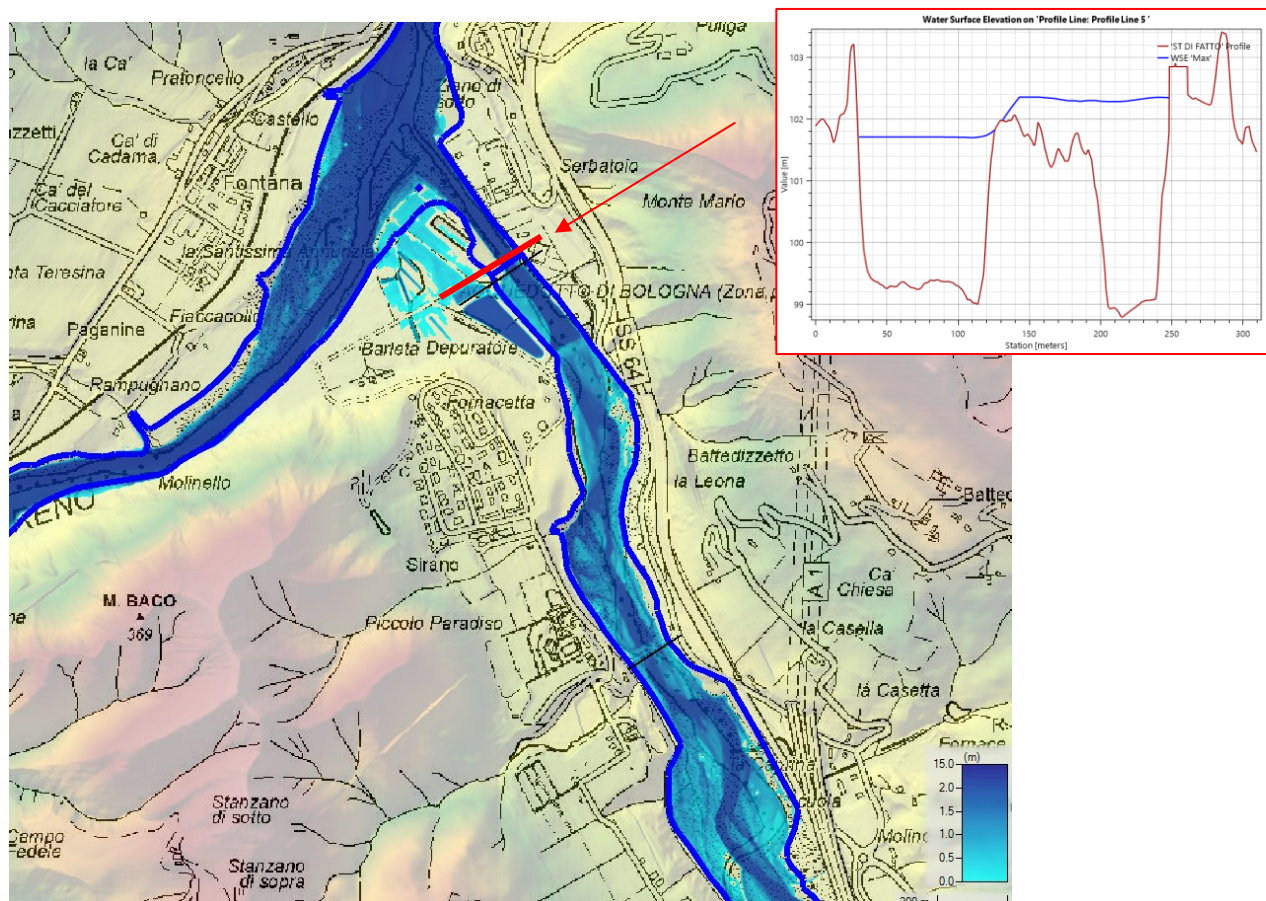


Fig. 107 TR50 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P3 PGRA 2021 nei pressi della confluenza in Reno e sezione trasversale all'alveo (in rosso)

7.5.4.2 Evento TR200

In generale anche l'evento di durata 9 ore con tempo di ritorno di 200 anni non determina esondazioni rilevanti, se non qualche area periferica in genere interessata da coltivi e le aree allagate sono coerenti con le perimetrazioni della perimetrazione P2 PGRA 2021. In Fig. 108, Fig. 109 e Fig. 110 sono riportate alcune immagini dei risultati dei massimi tiranti idrici; si osserva come per la maggior parte del tratto studiato il flusso è contenuto nell'alveo e la perimetrazione P2 PGRA 2021 sia molto più estesa delle esondazioni che ne risultino.

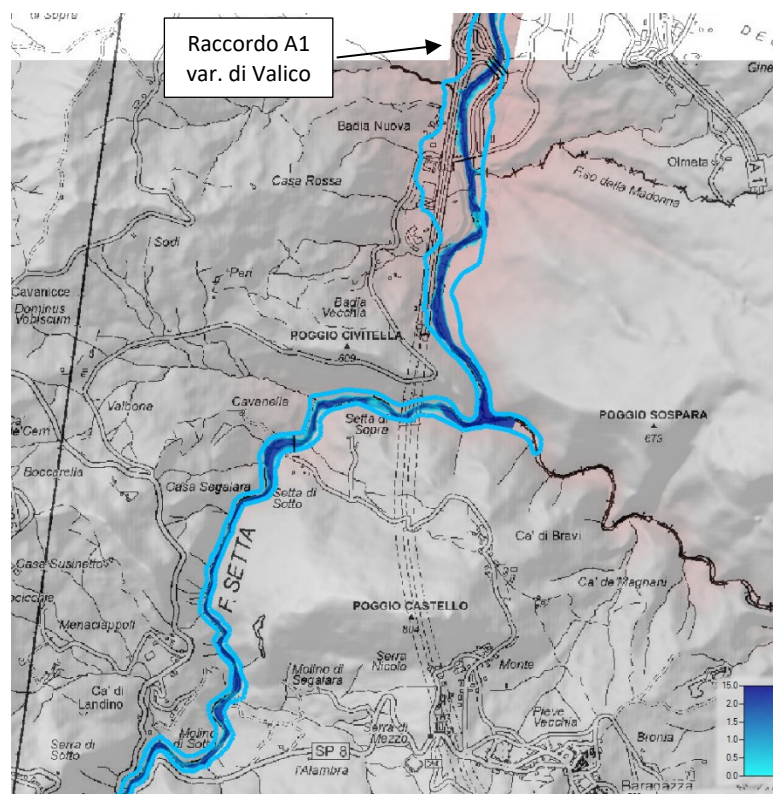


Fig. 108 T200 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P2 PGRA nel primo tratto fino al raccordo A1 variante di Valico.

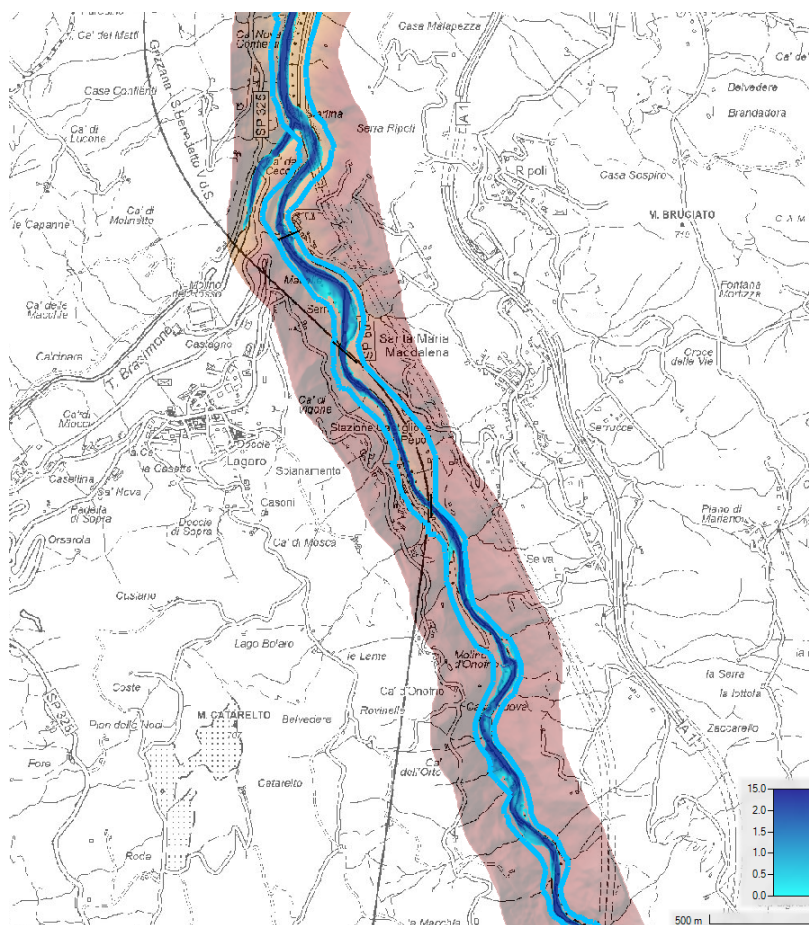


Fig. 109 T200 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P2 PGRA nel tratto presso la confluenza con il torrente Brasimone.

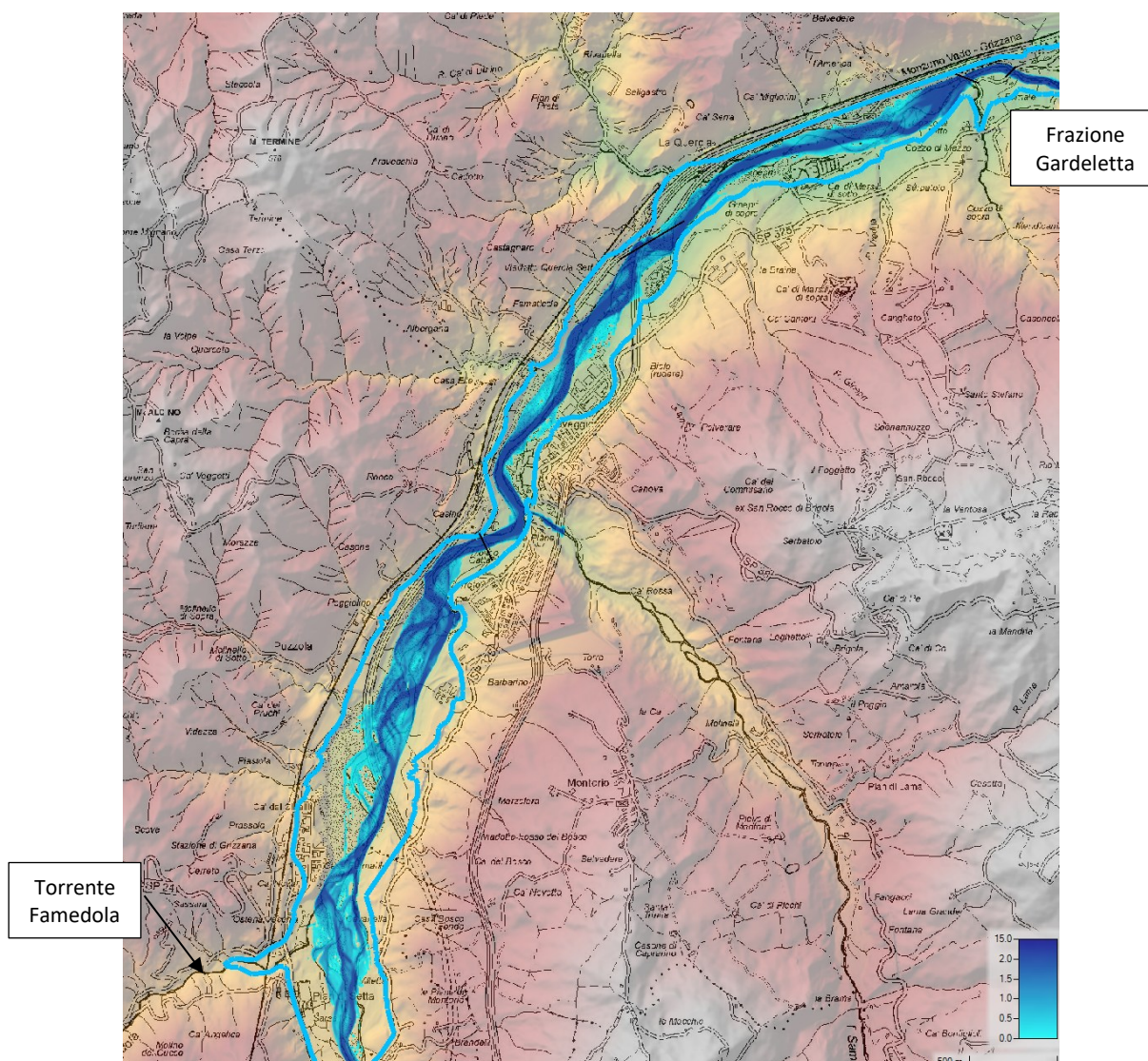


Fig. 110 T200 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P2 PGRA 2021 nel tratto tra la confluenza con il torrente Famedola e la frazione Gardeletta.

Si noti in Fig. 111 che, come già osservato per il tempo di ritorno 50 anni, nell'abitato di Allocco il sormonto di circa 0,30 m della sponda sinistra (Sez. A in Fig. 111), in cui non sono presenti difese spondali, allaga un'area abitata a monte del ponte di via Allocco; quest'area risulta già inclusa nella perimetrazione P2 PGRA 2021.

A monte della confluenza in Reno, si osserva un sormonto di entrambe le sponde (circa 0,35 m per la sponda sinistra e 0,15 m per la sponda destra) che comporta, oltre che all'allagamento di aree agricole, anche l'allagamento del depuratore posto sulla sponda destra; anche quest'area è già inclusa nella perimetrazione P2 PGRA (vedi Fig. 103).

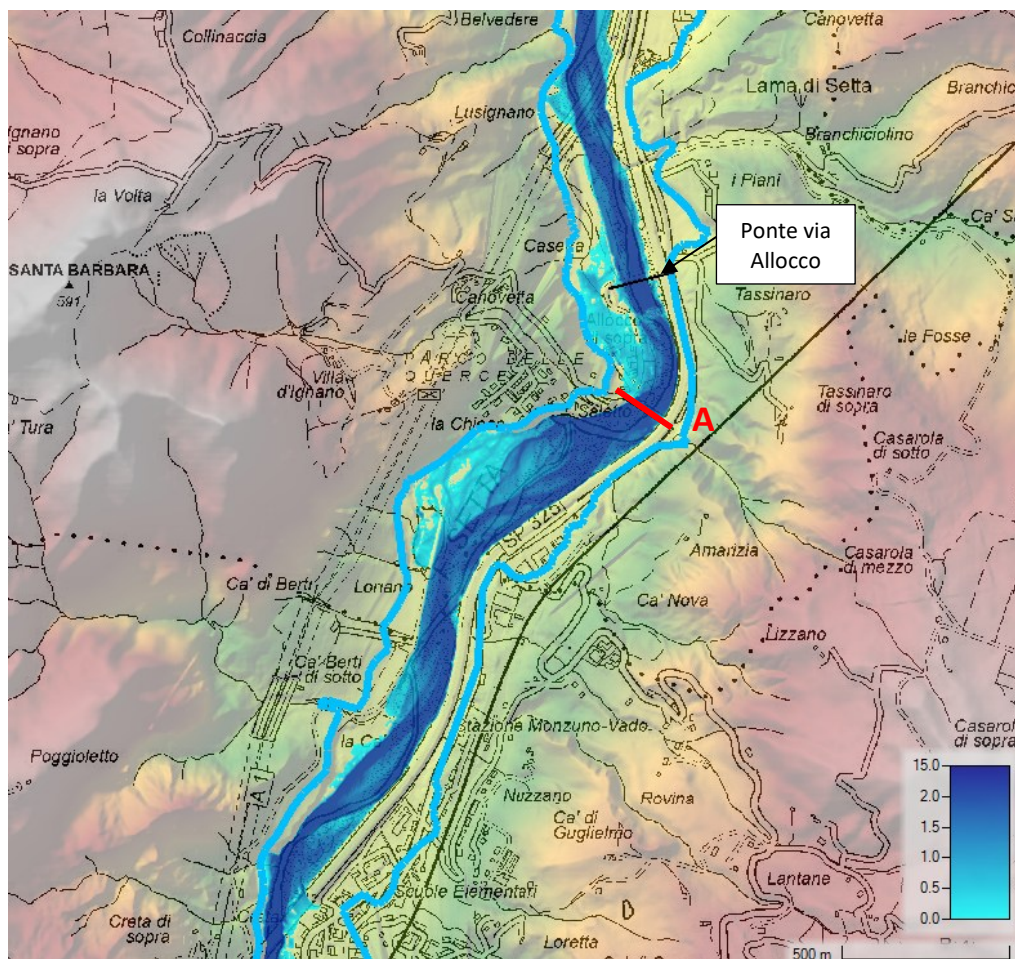


Fig. 111 T200 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P2 PGRA 2021 nei pressi dell'abitato di Allocco.

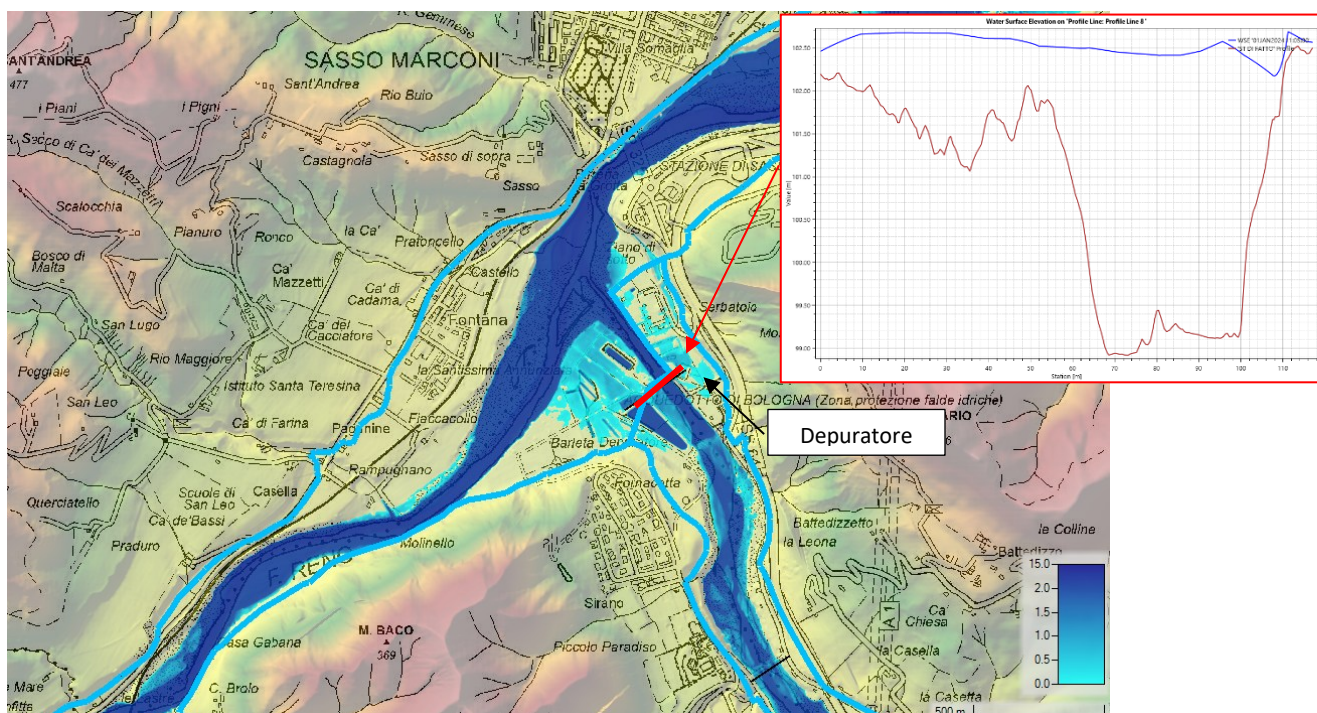


Fig. 112 T200 9 ore: tiranti massimi sovrapposti alla perimetrazione P2 PGRA 2021 nei pressi della confluenza in Reno e sezione trasversale all'alveo (in rosso).

7.5.4.3 Evento TR500

Dato che il flusso del fiume Setta è vincolato dall'orografia del territorio circostante, per l'evento di piena con tempo di ritorno di 500 anni non si riscontrano particolari variazioni delle aree esondate rispetto a quelle già descritte per l'evento TR200 per tutto il tratto di studio; i massimi tiranti idrici sono mediante più elevati.

7.6 Valutazione dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento

Nel seguito sono illustrate, nelle condizioni di stato attuale, alcune valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nei tratti fluviale oggetto di analisi.

Le classi di valutazione del franco idraulico sui ponti sono riportate nella tabella sottostante.

Per tutti i ponti il franco idraulico è stato calcolato sulla base dell'evento di piena duecentennale di riferimento, considerando la quota massima e la quota di riferimento dell'intradosso. Quest'ultima corrisponde alla quota minima di intradosso per i ponti con impalcato piano (intesi come quelli il cui intradosso non mostra variazioni di quota superiori a 0,5 m) e alla quota minima calcolata sui 2/3 della luce per i ponti ad arco o con elevata variabilità della quota di intradosso.

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
-----------	-------------------	--------------------	---------------------	----------------------	-------------

7.6.1. Fiume Reno

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

In questo ambito, dalla località Ponte della Venturina all'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna, si è fatto riferimento all'evento TR200 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 Tab. 9.

7.6.1.2 Tratto arginato di pianura

Nel tratto arginato di pianura, dall'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna allo sbocco a mare, si è fatto riferimento, nella valutazione dei franchi idraulici, alle portate massime individuate a monte dei singoli ponti in riferimento all'evento TR200 anni.

I livelli idrici sono i massimi riscontrabili in riferimento all'inviluppo delle superfici idriche ottenute per le diverse durate di pioggia simulate, nella sezione immediatamente a monte del ponte.

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nella Tab. 10.

Tab. 9 Reno dalla località Ponte della Venturina all'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	Ponte, Località	Comune	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR massimo	FR riferimento	Note
			(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0003	ponte Madonna del ponte	Alto Reno Terme	362,33	ad arco	362,49	361,51	0,16	-0,82	Estradosso a 364,71
REIN0004	ponte FS monte Porrettana Terme	Alto Reno Terme	354,60	intradosso piano	353,91	353,78	-0,69	-0,82	Estradosso a 358,47
REIN0005	passerella via Don Giovanni Minzoni	Alto Reno Terme	350,22	intradosso piano	351,99	351,92	1,77	1,70	
REIN0006	ponte viale stazione	Alto Reno Terme	348,12	ad arco	351,22	351,04	3,10	2,92	
REIN0009	ponte via Passo del Soldato	Alto Reno Terme	325,30	intradosso piano	328,58	326,36	3,28	1,06	
REIN0011	ponte SS 64 località Casalino	Castel di Casio	289,72	intradosso piano	295,66	293,19	5,94	3,47	
REIN0012	ponte SS 64 località Serrazanelli	Castel di Casio	283,55	intradosso piano	288,02	287,27	4,47	3,72	
REIN0013	ponte SS 64 località Molinazzo	Castel di Casio	279,29	intradosso piano	285,83	284,60	6,54	5,31	
REIN0014	ponte SS 64 località Maranino	Grizzana Morandi	265,82	ad arco	269,34	268,98	3,52	3,16	
REIN0015	ponte FS località San Pietro Capofiume	Gaggio Montano	264,99	intradosso piano	266,33	266,22	1,34	1,23	
REIN0016	ponte SS 64 località Marano	Gaggio Montano	260,46	ad arco	268,53	266,44	8,07	5,98	
REIN0019	ponte SP 62 località Riola	Grizzana Morandi	247,74	ad arco	248,36	246,67	0,62	-1,07	Estradosso a 250,53
REIN0020	ponte ferrovia località Lissano	Vergato	231,43	ad arco	232,92	231,62	1,49	0,19	
REIN0023	ponte ferroviario località Malpasso	Vergato	217,78	intradosso piano	219,11	218,55	1,33	0,77	
REIN0024	ponte località Carboncina	Grizzana Morandi	213,24	intradosso piano	214,48	214,45	1,24	1,21	
REIN0025	ponte ferrovia località Vergato	Grizzana Morandi	191,81	ad arco	191,79	190,81	-0,02	-1,00	Estradosso a 193,81
REIN0026	ponte SP 24 località America	Grizzana Morandi	190,63	ad arco	191,51	190,35	0,88	-0,28	Estradosso a 193,05
REIN0027	ponte ferrovia località America	Grizzana Morandi	188,71	ad arco	189,18	188,48	0,47	-0,23	Estradosso a 190,52
REIN0028	ponte ferrovia Cà di Ferro	Vergato	183,31	intradosso piano	183,62	183,48	0,31	0,17	
REIN0029	ponte ferrovia Mulinello	Vergato	178,04	ad arco	180,41	179,70	2,37	1,66	

ID	Ponte, Località	Comune	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR massimo	FR riferimento	Note
			(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0030	ponte ferrovia Madonna del Bosco	Vergato	175,63	intradosso piano	180,00	180,00	4,37	4,37	
REIN0031	ponte ferrovia Cà Mugnone	Grizzana Morandi	164,59	ad arco	164,42	163,82	-0,17	-0,77	Estradosso a 166,59
REIN0032	ponte ferrovia Pioppe di Salvaro	Grizzana Morandi	156,46	ad arco	160,15	159,60	3,69	3,14	
REIN0033	ponte via Pioppe Berleta	Grizzana Morandi	156,15	intradosso piano	158,26	158,15	2,11	2,00	
REIN0034	ponte via Sperticano	Marzabotto	141,15	intradosso piano	143,44	143,00	2,29	1,85	
REIN0035	Ponticella-ponte delle Streghe	Marzabotto	126,04	intradosso piano	130,20	130,20	4,16	4,16	
REIN0036	ponte via S. Silvestro	Marzabotto	123,97	ad arco	126,02	123,53	2,05	-0,44	Estradosso a 130,50
REIN0037	ponte ferrovia Barleda	Marzabotto	116,86	ad arco	120,66	118,29	3,80	1,42	
REIN0038	ponte via Lama di Reno	Marzabotto	113,18	intradosso piano	111,27	111,27	-1,91	-1,91	Estradosso a 112,70
REIN0039	ponte ferrovia valle Lama di Reno	Marzabotto	108,40	ad arco	113,50	113,50	5,10	5,10	
REIN0040	viadotto Leonardo da Vinvi	Sasso Marconi	98,18	ad arco	121,43	113,45	23,25	15,27	
REIN0041	ponte via ponte Albano	Sasso Marconi	96,03	intradosso piano	100,83	100,83	4,80	4,80	
REIN0042	ponte SS 64 var località Lama di reno (ex viadotto A1)	Sasso Marconi	95,02	intradosso piano	108,85	107,28	13,83	12,25	
REIN0045	ponte Vizzano	Sasso Marconi	86,67	intradosso piano	88,25	88,25	1,58	1,58	
REIN0085	Passerella via della lana e della seta	Casalecchio di Reno	67,53	intradosso piano	66,00	66,00	-1,53	-1,53	Estradosso a 66,90
REIN0046	ponte sul Reno	Casalecchio di Reno	55,83	ad arco	59,66	58,53	3,83	2,70	
REIN0048	passerella sul Reno	Casalecchio di Reno	51,77	intradosso piano	52,62	51,75	0,85	-0,02	Estradosso minimo a 50,52
REIN0049	ponte Asse Attrezzato Sud-Ovest BO	Bologna	50,96	intradosso piano	49,80	49,80	-1,16	-1,16	Estradosso a 51,99
REIN0050	ponte viale Palmiro Togliatti	Bologna	44,43	intradosso piano	44,62	44,62	0,19	0,19	

Tab. 10 Reno dall'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna alla foce: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	Ponte, Località	Comune	Q200	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR massimo	FR riferimento	Note
			(m³/s)	(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0052	ponte FS MI-BO_1	Bologna	1747	40,04	intradosso piano	44,1	44,1	4,06	4,06	
REIN0055	ponte passerella Borgo Panigale	Bologna	1750	38,66	intradosso piano	40,19	40,19	1,53	1,53	
REIN0056	ponte A14 Borgo Panigale	Bologna	1751	38,47	intradosso piano	39,63	39,63	1,16	1,16	
REIN0058	ponte FS valle A14	Bologna	1680	36,20	ad arco	40,33	38,5	4,13	2,30	
REIN0061	ponte trasversale di pianura (ponte SP 3)	Argelato	943	30,54	intradosso piano	30,08	29,45	-0,46	-1,09	Estradosso a 32,15
REIN0064	ponte via Padullese (ponte SP 18)	Sala Bolognese	778	28,40	intradosso piano	28,72	28,01	0,32	-0,39	Estradosso a 30,97
REIN0065	ponte SP Centenese (ponte Nuovo)	Cento	735	25,52	intradosso piano	25,4	24,97	-0,12	-0,55	Estradosso a 27,09
REIN0066	ponte Cento (ponte Vecchio)	Cento	731	25,24	intradosso piano	25,7	25,44	0,46	0,20	
REIN0067	ponte di Dosso	Pieve di Cento	698	22,95	intradosso piano	25,59	25,1	2,64	2,15	
REIN0068	ponte SP 61	Pieve di Cento	503	21,97	intradosso piano	23,13	23,11	1,16	1,14	
REIN0069	ponte SP Galliera (ponte SP 4)	Galliera	417	20,08	intradosso piano	21,15	20,55	1,07	0,47	
REIN0070	ponte FS Bologna_Padova	Galliera	416	19,92	intradosso piano	20,98	20,95	1,06	1,03	
REIN0071	ponte A13	Galliera	403	18,53	ad arco	21,93	21,73	3,40	3,20	
REIN0072	ponte SS Porrettana (ponte SS 64)	Malalbergo	400	17,93	intradosso piano	18,93	18,93	1,00	1,00	
REIN0073	ponte Savena (ponte Bailey sul Fiume Reno a Passo Segni)	Baricella	400	16,45	intradosso piano	18,99	18,95	2,54	2,50	
REIN0074	ponte S. Maria Codifiume (ponte SP 49)	Molinella	400	13,85	intradosso piano	17,17	17,1	3,32	3,25	
REIN0075	ponte via Zenzalino (ponte di Traghetto SP7)	Argenta	400	14,70	intradosso piano	15,7	15,46	1,00	0,76	
REIN0076	ponte FS Bo-Portomaggiore	Argenta	400	14,54	intradosso piano	16,21	16,11	1,67	1,57	

ID	Ponte, Località	Comune	Q200	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR massimo	FR riferimento	Note
			(m³/s)	(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0077	ponte via Morgone	Argenta	400	14.01	intradosso piano	17.99	17.2	3.98	3.19	
REIN0079	Ponte della Bastia	Argenta	700	12.05	intradosso piano	13.09	13.09	1.04	1.04	
REIN0080	Ponte FS FE-RI	Conselice	700	11.72	intradosso piano	11.8	11.8	0.08	0.08	
REIN0081	Ponte SP Raspona	Alfonsine	1100	8.41	intradosso piano	10.3	10.3	1.89	1.89	
REIN0082	Passerella-Ponte canale monte ponte SS Romea	Ravenna	1100	2.30	intradosso piano	4.22	4.22	1.92	1.92	
REIN0083	Ponte SS Romea	Ravenna	1100	2.26	intradosso piano	4.69	4.69	2.43	2.43	

7.6.2. Fiume Setta

7.6.2.1 Ambito montano, collinare e pedecollinare non arginato

In questo ambito, da ponte SP8 alla confluenza in Reno, si è fatto riferimento all'evento TR200 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

Tab. 11 Setta da ponte SP8 alla confluenza in Reno: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	Ponte, Località	Comune	H200	Tipologia ponte	H chiave	H (min o 2/3)	FR chiave	FR (min o 2/3)	Note
			(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
SEIN0003	ponte via Setta	Castiglione dei Pepoli	489,25	intradosso piano	487,46	487,46	-1,79	-1,79	Estradosso a 488,96
SEIN0007	ponte via della Badia	Castiglione dei Pepoli	435,94	intradosso piano	438,50	438,24	2,56	2,30	
SEIN0008	ponte Rampa Variante di Valico_1	Castiglione dei Pepoli	432,94	intradosso piano	442,79	441,20	9,85	8,26	
SEIN0009	ponte Rampa Variante di Valico_2	San Benedetto Val di Sambro	432,63	intradosso piano	451,41	444,85	18,78	12,22	
SEIN0010	ponte Rampa Variante di Valico_3	San Benedetto Val di Sambro	431,82	intradosso piano	445,10	443,82	13,28	12,00	
SEIN0015	ponte Str. di Servizio Variante di Valico	Castiglione dei Pepoli	417,70	intradosso piano	420,22	420,18	2,52	2,48	
SEIN0019	ponte ferrovia monte Stazione S.Benedetto VS	Castiglione dei Pepoli	310,51	ad arco	315,79	314,07	5,28	3,55	
SEIN0020	ponte ferrovia valle Stazione S.Benedetto VS	Castiglione dei Pepoli	300,01	ad arco	312,40	310,00	12,39	9,99	
SEIN0021	ponte SP60	Castiglione dei Pepoli	291,91	ad arco	297,62	296,33	5,71	4,42	
SEIN0025	ponte SP326 Locatello	Grizzana Morandi	256,78	ad arco	263,81	259,73	7,03	2,95	
SEIN0028	ponte via Cattani	Monzuno	222,84	intradosso piano	225,78	225,31	2,94	2,47	
SEIN0030	ponte Variante di Valico A1_13	Marzabotto	204,98	intradosso piano	212,98	212,49	8,00	7,51	
SEIN0031	ponte via Gardelletta_1 (Gardelletta)	Marzabotto	189,06	intradosso piano	190,76	190,68	1,70	1,62	
SEIN0032	ponte via Gardelletta_2 (Gardelletta)	Marzabotto	186,73	ad arco	187,08	185,19	0,35	-1,54	Estradosso a 191,26
SEIN0033	ponte ferrovia Vado	Monzuno	157,64	intradosso piano	160,75	159,60	3,11	1,96	
SEIN0034	ponte via Gardelletta (Vado)	Monzuno	157,63	intradosso piano	161,22	160,31	3,59	2,69	
SEIN0036	ponte via Allocco_1	Marzabotto	143,09	intradosso piano	145,07	144,40	1,98	1,31	
SEIN0037	ponte via Allocco_2	Marzabotto	137,76	intradosso piano	140,40	140,35	2,64	2,59	
SEIN0040	ponte via Sirano-via Setta (Sirano)	Marzabotto	108,72	intradosso piano	114,34	114,09	5,62	5,37	
SEIN0041	Passerella	Marzabotto	102,17	intradosso piano	102,67	102,64	0,50	0,47	

7.7 Scenari di rotta arginale

Il modello numerico allestito è stato applicato anche per analizzare potenziali (ipotetici) scenari di rotta arginale. La localizzazione delle rotte è stata definita in funzione dei seguenti criteri.

- Punti di sormonto per l'evento TR50: 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 TR200: ulteriori punti sono aggiunti se distanti dai precedenti almeno 3-5 km.
- Criticità geometriche locali individuate dalle analisi in moto 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 delle brecce è stata valutata in modo tale da ottenere un allagamento del comparto il più uniforme e il 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, e prediligendo il posizionamento delle stesse 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.

In Tab. 12 è riportato il dettaglio delle rotte arginali dall'inizio del tratto arginato alla confluenza con il torrente Idice, mentre in , viene riportato il dettaglio delle rotte per il tratto di fiume Reno che va dalla confluenza Idice fino a mare.

Tab. 12 Localizzazione punti di rotta arginale simulati dall'inizio del tratto arginato alla confluenza del torrente Idice.

ID Rotta	Località	Comune	Criterio individuazione	Sponda
01	Loc. Noce	Bologna	Sormonto T50	DX
02	Trebbo	Calderara di Reno	Sormonto T50	SX
03	Trebbo	Castel Maggiore	Sormonto T50	DX
04	Nei pressi della Cassa di Barleda	Castel Maggiore	Punto aggiuntivo per potenziali allagamenti	DX
05	Nei pressi della Cassa di Barleda	Calderara di Reno	Punto aggiuntivo per potenziali allagamenti	SX
06	A valle della cassa di Boschetto	Sala Bolognese	Punto aggiuntivo per potenziali allagamenti	SX
07	A valle della cassa di Boschetto	Argelato	Punto aggiuntivo per potenziali allagamenti	DX
08	A monte confluenza Samoggia	Castello d'Argile	Abitati - Castello d'Argile e Pieve di Cento	DX
09	A valle confluenza Samoggia	San Giovanni in Persiceto	Abitati - San Matteo della Decima e Cento	SX
10	Cento	Cento	Abitati - Cento e Dosso	SX
11	A monte confluenza Cavo Napoleonico	Pieve di Cento	Punto aggiuntivo per potenziali allagamenti	DX
12	A valle confluenza Cavo Napoleonico	Terre del Reno	Abitati - Sant'Agostino	SX
13	Loc. Fiaccarovere	Galliera	Abitati - San Venanzio	DX
14	C. Brandani	Poggio Renatico	Abitati - Poggio Renatico	SX
15	Sfioratore del Gallo	Poggio Renatico	Abitati - Gallo	SX

ID Rotta	Località	Comune	Criterio individuazione	Sponda
16	Santa Maria Codifiume	Molinella	Abitati - Santa Maria Codifiume	SX
17	Santa Maria Codifiume	Molinella	Abitati - Alberino	DX
18	Cosandolo	Molinella	Abitati - Cosandolo	SX
19	Marmorta	Molinella	Abitati - Marmorta	DX

Tab. 13 Localizzazione punti di rotta arginale simulati da confluenza Idice fino a mare

ID Rotta	Località	Comune	Criterio individuazione	Sponda
01	S. Biagio	Alfonsine	Copertura areale	SX
02	Lavezzola	Alfonsine	Copertura areale	DX
03	Voltana	Alfonsine	Copertura areale	DX
04	Longastrino	Alfonsine	Copertura areale	SX
05	Madonna Boschi	Argenta	Copertura areale	SX
06	Taglio Corelli	Alfonsine	Copertura areale	DX
07	S.Alberto	Ravenna	Copertura areale	DX
08	Mandriole	Ravenna	Copertura areale	DX
09	S.Alberto	Argenta	Copertura areale	SX
10	Mandriole	Ravenna	Copertura areale	SX
11	Cippo A.Garibaldi	Ravenna	Copertura areale	DX
12	Cippo A.Garibaldi	Ravenna	Copertura areale	SX

Per ogni punto di rotta dall’inizio del tratto arginato fino a confluenza Idice sono stati simulati gli eventi TR50, TR200 e TR500 per la durata di pioggia di 18 ore, mentre nel tratto da Idice a mare, sono stati simulati i medesimi eventi con durata di pioggia pari a 24 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 inderodibili, 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. Di seguito si riportano le linee di assetto del solo fiume Reno in quanto per il torrente Setta non sono definite linee di assetto specifiche oltre quelle generali descritte in Relazione Tecnica.

8.1 L'assetto del fiume Reno

L'asta del fiume Reno, oggetto di delimitazione delle Fasce Fluviali e interessata dalla definizione delle linee di assetto, è compresa tra l'abitato di Vergato e la foce (circa 160 km). L'ambito in esame può essere suddiviso nei seguenti tratti:

- tra l'abitato di Vergato e la Chiusa di Casalecchio (circa 35 km), il Reno si sviluppa in uno stretto fondovalle fino a confluenza Setta. A valle della confluenza l'alveo si amplia su di un ampio terrazzo alluvionale con la presenza di siti estrattivi in gran parte non più attivi o trasformati in impianti di lavorazione inerti, allagabili durante gli eventi di piena. L'ambito collinare di fondovalle viene interessato da esondazioni fino ai limiti morfologici naturali in occasione di eventi intensi;
- tra la Chiusa di Casalecchio e l'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna (circa 6 km), il Reno si sviluppa in un alveo morfologicamente ben definito in cui non sono presenti opere idrauliche di II categoria; tale tratto riveste particolare importanza idraulica, avendo funzione di raccordo fra il regime torrentizio del bacino montano e il regime fluviale del corso arginato di valle;
- a partire dall'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna il Reno è arginato in modo continuo con argini II categoria fino alla foce, circa 125 km.

8.1.1. *Tratto tra Vergato e la Chiusa di Casalecchio*

Nel tratto montano/collinare che va dall'abitato di Vergato alla confluenza con il torrente Setta si prevede l'adeguamento e il potenziamento del sistema difensivo per il contenimento dei livelli idrici in corrispondenza dei seguenti centri abitati:

- Vergato in sponda sinistra, dalla località Ospedale di Sopra all'attraversamento SP24 località America-Europa, seguendo per gran parte il tracciato ferroviario; si tratta in particolare di rendere adeguato il corpo ferroviario al contenimento dei livelli, andando anche a impedire l'ingressione di portata attraverso alcuni varchi di attraversamento presenti;
- Sibano in sponda sinistra, in corrispondenza del tracciato ferroviario, secondo i medesimi criteri sopra elencati;
- Marzabotto in sponda sinistra, dal sito archeologico etrusco all'attraversamento Ponticella di via Canovella, anche in questo caso seguendo il tracciato ferroviario con i criteri di cui sopra;
- Lama di Reno sia in sponda sinistra, dall'attraversamento via Lama di Reno per circa 500m, che in sponda destra, dal ponte ferroviario nei pressi di via Barleda a circa 500 m a valle dell'attraversamento di via Lama di Reno.

8.1.2. *Tratto tra la Chiusa di Casalecchio e l'attraversamento FFSS MI-BO*

Nel tratto di raccordo tra il regime torrentizio del bacino montano e il regime fluviale del corso arginato, a monte dell'attraversamento ferroviario FFSS Milano-Bologna, sono previsti interventi di riprofilatura a carattere discontinuo di entrambe le sponde del fiume Reno tramite interventi di rialzo in quota a difesa di alcuni quartieri di Bologna.

Nello specifico si prevede la chiusura altimetrica di finestre presenti in corrispondenza:

- della sponda destra nel tratto compreso tra i ponti asse attrezzato della SP569 e Linea ferroviaria MI-BO, a difesa del quartiere Barca di Bologna;

- della sponda sinistra nel tratto compreso tra i ponti SS9 e Linea ferroviaria MI-BO, a difesa del quartiere Birra di Bologna.

8.1.3. Tratto arginato classificato di pianura: da attraversamento FFSS MI-BO a confluenza Idice

La portata limite attuale del tratto arginato del fiume Reno, definita secondo i criteri illustrati nei precedenti capitoli, è riportata in Tab. 14.

Tab. 14 Portata limite attuale del tratto arginato del fiume Reno

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)
1	Da FFSS MI-BO a ponte A14	>950
2	Da ponte A14 a cassa Boschetto	700
3	Da cassa Boschetto a confluenza Samoggia	600
4	Da cassa Samoggia a loc.Dosso (ponte via Verdi)	600
5	Da loc. Dosso a Cavo Napoleonico	500
6	Da Cavo Napoleonico allo sfioro del Gallo	420
7	Dallo sfioro del Gallo a S.Maria Codifiume (ponte S.P.49)	420
8	Da S.Maria Codifiume (ponte SP49) ad Argenta	420

Il tratto maggiormente critico è quello compreso tra il ponte autostradale A14 e la cassa di Boschetto, in quanto si osserva un'importante riduzione della portata compatibile ad opera della strettoia di Trebbo, e conseguentemente esondazioni da entrambe le sponde.

Gli interventi proposti in particolare sono stati definiti nel tratto arginato tra l'attraversamento ferroviario MI-BO fino a valle della Cassa di Boschetto e sono stati dimensionati alla piena T200.

L'obiettivo principale è quindi quello di potenziare la capacità di deflusso e di laminazione di questo tratto consentendo alle portate afferenti di giungere senza esondazioni al sistema di casse di laminazione di valle già parzialmente esistente.

Quest'ultimo è stato potenziato rispetto a quanto previsto dal preesistente PAI, ampliando lato Sud la superficie destinata alla cassa di Trebbo e realizzando una nuova cassa di analoghe dimensioni in sinistra (Longara). Si prevede inoltre di realizzare gli interventi di laminazione già in pianificazione (e in parte realizzati), ottimizzandone le caratteristiche dimensionali in modo da realizzare un sistema coerente e sinergico in grado di ridurre significativamente le portate al colmo di piena.

Nel tratto a monte di Trebbo, considerate le piuttosto limitate aree disponibili, si prevede di ottenere la massima laminazione possibile mediante realizzazione di una cassa di minori dimensioni e con un arretramento degli argini nel tratto a valle dell'aeroporto.

In corrispondenza della confluenza del Samoggia è prevista dal preesistente PAI una cassa di laminazione di ampie dimensioni, ovvero la cassa di Bagnetto, già a oggi parzialmente realizzata per quanto riguarda le arginature di contenimento perimetrale. Essa è in grado di derivare portate sia di Samoggia che di Reno, ma è soprattutto per quest'ultimo fiume che risulta rilevante nell'assetto di progetto.

Poiché il sistema di interventi previsto nell'area più a monte, precedentemente descritto, è tale da consentire di limitare, per lo scenario di riferimento TR200 attuale, il colmo di piena a un valore compatibile con la capacità di portata del tratto fino all'opera di presa del Cavo Napoleonico, ma non con quella del tratto a valle di quest'ultima, nel presente schema di intervento si è ipotizzato di ottimizzare lo sfioratore di alimentazione della cassa di Bagnetto così da mitigare le criticità residue dei tratti di valle e fornendo il necessario margine per gestire anche eventi di gravosità superiore a quelli considerati per il dimensionamento delle opere in progetto.

In seguito, si descrivono con maggior dettaglio le linee di assetto:

- nel tratto che va dall'attraversamento ferroviario FFSS MI-BO al ponte autostradale A14 si prevede in sponda destra una cassa di espansione di nuova realizzazione (Cassa Pescarola) in località Borgo Panigale tra la linea ferroviaria MI-BO e l'autostrada A14. Il volume utile complessivo dell'opera risulta pari a circa 2.350.000 m³. La portata di progetto che defluisce in questo tratto a valle della cassa ha un colmo pari a circa 1730 m³/s, mantenendo il franco di 1 m rispetto al sistema arginale.
- Sulla sponda destra nel tratto tra l'attraversamento A14 e la località Noce, mentre per la sponda sinistra dall'attraversamento A14 alla località Lippo si prevede l'adeguamento in quota a carattere locale e sporadico degli argini esistenti in frodo per entrambe le sponde, ad ottenere un franco idraulico di 1,0 m sulla piena di riferimento TR200.
- Arretramento degli argini esistenti per entrambe le sponde a cavallo dell'attraversamento ferroviario di smistamento, accompagnato dalla ricalibratura dei piani golenali al fine di ridurre il rigurgito indotto verso monte. In sponda destra nel tratto che va dalla località Noce all'abitato di Trebbo e in sponda sinistra nel tratto che va dalla località Lippo a San Vitale Reno. L'effetto di aumento della capacità di deflusso dell'alveo di piena potrà essere incrementato tramite l'adeguamento idraulico dell'attraversamento ferroviario mediante la realizzazione di più scatolari (fornici) nel corpo del rilevato.
- Presso l'abitato di Trebbo, arretramento dell'argine sinistro accompagnato dalla ricalibratura del piano golenale e dell'alveo, in modo da eliminare il forte restringimento della sezione di deflusso favorendo l'abbassamento dei livelli a monte di circa 1,0 m. In sponda destra adeguamento in quota degli argini esistenti in frodo nel tratto adiacente l'abitato di Trebbo, ad ottenere un franco idraulico di 1,0 m sulla piena di riferimento TR200 e adeguamento della Cassa di Trebbo rispetto a quanto già previsto dalla pianificazione preesistente. L'adeguamento della cassa di espansione consiste nell'arretramento dell'argine a fiume esistente con ricalibratura del piano golenale adiacente, nell'abbassamento della quota del previsto sfioro, lasciandone però inalterata l'estensione, e nell'ampliamento dell'invaso lato Sud, andando a comprendere una zona umida attualmente adiacente alla cassa in progetto. In ragione dell'ampliamento previsto il volume della cassa passerebbe da una capacità attualmente prevista di invaso utile alla quota di sfioro pari a circa 5.900.000 m³ a circa 7.800.000 m³. A valle della Cassa di Trebbo si riscontra un colmo di portata di progetto pari a circa 1.330 m³/s.
- A valle della cassa di Trebbo fino a valle della cassa di Boschetto (località di Savigno) è previsto a carattere sporadico l'adeguamento in quota degli argini esistenti in frodo in destra e sinistra, ad ottenere un franco idraulico di 1,0 m sulla piena di riferimento TR200, e interventi di adeguamento sulle casse di espansione già previste e in parte esistenti e di realizzazione di un'ulteriore cassa. Di seguito è riportato il dettaglio degli interventi previsti per le casse di espansione in ordine di ubicazione da monte verso valle, atti a garantire la riduzione del colmo di portata ad un valore di circa 830 m³/s.
 - Realizzazione di una nuova cassa di espansione in sinistra del fiume Reno in località Longara (Cassa di Longara). L'argine perimetrale in golena avrà quote di sommità che si raccordano a quelle dell'arginatura esistente in frodo. La capacità di invaso utile alla quota di sfioro è di pari a circa 10.150.000 m³.
 - Completamento della Cassa di Barleda in destra del fiume Reno. Essa non presenta uno sfioro, ma l'invaso avviene per sormonto degli argini in frodo in sponda destra di Reno. Si prevedono una riprofilatura del fondo per tutta l'estensione della cassa e un adeguamento in quota degli argini perimetrali in golena ad ottenere 1,0 m di franco idraulico sulla piena di riferimento TR200. L'invaso utile della cassa è pari a circa 950.000 m³.
 - Adeguamento e completamento della Cassa di Bonconvento parzialmente realizzata in destra del fiume Reno. Tale invaso di laminazione controllata ha una capacità utile di circa 1.400.000 m³. Per esso si prevede la realizzazione dello sfioratore di alimentazione e l'adeguamento dell'argine

maestro di ritenuta tramite innalzamento in quota ad ottenere 1,0 m di franco idraulico sulla portata di riferimento a tempo di ritorno 200 anni.

- Adeguamento della Cassa di Boschetto in sinistra, già realizzata e attiva. Si prevede un adeguamento dell'argine perimetrale in quota ad ottenere 1,0 m di franco idraulico per la piena di riferimento a tempo di ritorno 200 anni. Il volume utile di invaso, al di sotto della quota dello sfioratore, è pari a circa 5.400.000 m³.

In corrispondenza della confluenza del Samoggia è previsto il completamento della cassa di espansione in fase di realizzazione, denominata Cassa di Bagnetto, tramite il completamento dell'argine di chiusura della cassa e dello sfioratore di alimentazione, del quale si prevede un adeguamento rispetto a quanto previsto in progetto. La capacità utile misurata al di sotto della quota ribassata di sfioro è pari a circa 13.650.000 m³. Tale cassa, nella configurazione che considera contestuali anche gli interventi sull'asta del Samoggia e del Reno, sarebbe in grado di ridurre il colmo di portata duecentennale di Reno a 550 m³/s.

Relativamente a quest'ultimo punto si precisa come allo stato attuale il Cavo Napoleonico risulti adeguatamente efficace nella mitigazione del rischio nonostante l'opera non sia esercibile al massimo delle sue potenzialità (teorici 500 m³/s massimi di portata derivabile e circa 18 Mm³ di volume invasabile), per via di una limitazione del massimo livello idrico dovuta a una serie di fattori:

- la quota e i volumi di invaso sono limitati per la permeabilità dovuta a terreni sabbiosi sotto il canale nel tratto terminale da Bondeno a Po;
- l'interazione con la falda, a quota più alta del fondo del canale, e il deposito di sedimenti che riduce il volume di progetto;
- necessità di tenere conto della capacità di smaltimento delle acque del Cavo Napoleonico in funzione delle condizioni idrometriche del fiume Po.

Data l'importanza di tale opera, nelle presenti linee di assetto è ricompresa la necessità di adeguamento strutturale degli argini del cavo Napoleonico al fine di superare le limitazioni oggi presenti e sopra richiamate.

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

Tab. 15 Portata limite attuale del tratto arginato del fiume Reno

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)	Q limite progetto (m ³ /s)
1	Da FFSS MI-BO a ponte A14	>950	1750
2	Da ponte A14 a cassa Boschetto	700	830
3	Da cassa Boschetto a confluenza Samoggia	600	760
4	Da cassa Samoggia a loc.Dosso (ponte via Verdi)	600	700*
5	Da loc. Dosso a Cavo Napoleonico	500	700*
6	Da Cavo Napoleonico allo sfioro del Gallo	420	420
7	Dallo sfioro del Gallo a S.Maria Codifiume (ponte S.P.49)	420	420
8	Da S.Maria Codifiume (ponte S.P.49) ad Argenta	420	420

*Si noti che nella configurazione di avvenuta realizzazione degli interventi sulle aste del Reno e del Samoggia, con il completamento della cassa di Bagnetto la portata di progetto in questo tratto diminuisce a circa 550 m³/s, valore che consente il deflusso in condizioni accettabili della piena duecentennale presso i ponti in corrispondenza dell'abitato di Cento, che rimangono altrimenti elementi critici nonostante il generale rispetto dei franchi arginali.

8.1.4. Tratto arginato classificato di pianura: da confluenza Idice a mare

La portata limite attuale del tratto arginato del fiume Reno dalla confluenza Idice a mare, definita secondo i criteri illustrati nei precedenti capitoli, è riportata in Tab. 16.

Tab. 16 Portata limite attuale nel tratto arginato del fiume Reno da confluenza Idice a mare

ID	Tratto	Q compatibile (m³/s)
1	Da confluenza Idice-Sillaro a confluenza Santerno	700
2	Da confluenza Santerno a confluenza Senio	1100
3	Da confluenza Senio a mare	1100

Si evidenzia che nel tratto arginato di Reno tra confluenza Idice/Sillaro e lo sbocco a mare, grazie agli interventi di monte su Reno e affluenti e negli altri immissari Idice (e affluenti), Sillaro, Santerno e Senio, non si riscontrano particolari problematiche nel contenimento dei livelli di piena rispetto al sistema difensivo attuale. Pertanto, non sono stati previsti interventi in tale tratto.

Rispetto all'evento di piena di riferimento, considerando le linee di assetto di Reno a monte di tale tratto, tra confluenza Idice-Sillaro e confluenza Santerno, si registra una portata al colmo di 500 m³/s. Nel tratto successivo, tra confluenza Santerno a confluenza Senio la portata al colmo transitante è di circa 800 m³/s. Infine, nell'ultimo tratto da confluenza Senio a mare, si osserva una portata massima transitata di circa 900 m³/s.

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 (TR200 anni attuale), il complesso delle sistemazioni proposte è stato sollecitato considerando anche uno scenario maggiormente critico, pari al più gravoso tra gli eventi reali del 2023-2024 e l'idrogramma idrologico stimato considerando gli effetti attesi del cambiamento climatico.

In Tab. 17 si riporta il confronto tra le portate idrologiche di riferimento del fiume Reno e quella relativa all'evento TR200 che tiene conto degli effetti dei cambiamenti climatici.

Tab. 17 Portate di piena per il fiume Reno

Bacino	Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km²)	TR50 (m³/s)	TR200 (m³/s)	TR500 (m³/s)	TR200 CC (m³/s)
Reno	Reno	0	Ponte della Venturina	99,7	310	390	445	500
Reno	Reno	25,3	Vergato	550,6	1290	1685	1980	2230
Reno	Reno	46,5	Confluenza Setta	986,3	1895	2525	2970	3390
Reno	Reno	60	Casalecchio	1059,0	1900	2550	3000	3410

Si osservi che l'incremento idrologico del colmo di piena a Casalecchio è dell'ordine del 34%.

In termini di volume dell'idrogramma, presso la sezione di Casalecchio l'evento TR200 (durata di pioggia 18 ore) palesa, nello scenario che contempla gli effetti del cambiamento climatico, un incremento del 32%.

Nel tratto montano e collinare di Reno, che va da Porretta Terme a valle della confluenza del torrente Setta, il transito dell'evento citato non determina variazioni significative delle aree inondabili, in quanto l'intero fondovalle è già comunque coinvolto. Presso gli interventi previsti presso gli abitati di Vergato, Sibano e Marzabotto gli incrementi dei tiranti idrici in alveo sono dell'ordine di 1,0 m, per l'abitato di Lama di Reno invece si osservano incrementi dei tiranti idrici in alveo che variano da 0,8 a 1,5 m.

Nel tratto che va dalla Chiusa di Casalecchio all'inizio del tratto arginato (attraversamento ferroviario FFSS MI-BO) in cui sono previsti interventi di chiusura altimetrica di finestre presenti in corrispondenza della sponda, gli incrementi dei tiranti idrici in alveo dati dall'effetto dei cambiamenti climatici per TR200 sono dell'ordine di 0,3-0,8 m.

Nel tratto arginato classificato di pianura l'evento TR200 che tiene conto degli effetti dei cambiamenti climatici provoca inizialmente un'esondazione locale di limitata entità nel tratto in destra presso l'attraversamento autostradale A14, a valle della nuova Cassa Pescaraola che esaurisce la propria capacità di laminazione.

Gli interventi previsti dall'autostrada A14 all'abitato di Trebbo (riguardanti arretramento e adeguamento degli argini) sia in sinistra che in destra riescono a contenere i livelli idrici anche nello scenario con cambiamento climatico. La cassa di Trebbo esaurisce però la propria capacità di laminazione, veicolando verso valle portate che sormontano in più punti il sistema arginale golenale sia in destra che in sinistra nel tratto che si estende fino alla Cassa di Boschetto, con primi sormonti già a monte della nuova cassa di Longara.

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

A valle della Cassa di Boschetto non si riscontrano estreme criticità: grazie alle fuoriuscite di portata avvenute a monte il deflusso viene contenuto in alveo, pur con franco ridotto, con incremento del colmo di portata dell'ordine del 30% rispetto allo scenario di progetto.

8.3 Quadro degli interventi

In Tab. 18 sono riassunte le localizzazioni e le tipologie di intervento previste nei tratti di Fascia B di progetto individuati lungo il fiume Reno. Si evidenzia come nel tratto arginato da confluenza Idice-Sillaro a mare non sono stati previsti interventi di rialzo arginale, bensì sarà comunque opportuno verificare i rilevati esistenti nella loro integrità per garantire la funzionalità idraulica nel contenimento dei livelli di piena.

Tab. 18 Localizzazione e modalità attuative dei limiti B di progetto

N.	Comune	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
1	Vergato	SX	Abitato di Vergato	Contenimento livelli idrici
2	Marzabotto	SX	Abitato di Sibano	Contenimento livelli idrici
3	Marzabotto	SX	Abitato di Marzabotto	Contenimento livelli idrici
4	Marzabotto	SX	Abitato di Lama di Reno	Contenimento livelli idrici
5	Marzabotto	DX	Abitato di Lama di Reno	Contenimento livelli idrici
6	Bologna	DX	Tratto da attraversamento S.P.569 all'attraversamento FFSS MI-BO	Contenimento livelli idrici
7	Bologna	SX	Tratto da attraversamento S.S.9 all'attraversamento FFSS MI-BO	Contenimento livelli idrici
8	Bologna	DX	Tratto da attraversamento FFSS MI-BO all'attraversamento A14	Cassa di laminazione
9	Bologna/Castel Maggiore	DX	Dalla loc. Noce all'abitato di Trebbo	Contenimento livelli idrici
10	Calderara di Reno	SX	loc. Lippo	Contenimento livelli idrici
11	Calderara di Reno	SX	loc. San Vitale di Reno - Fabbriera	Contenimento livelli idrici
12	Castel Maggiore/Calderara di Reno	DX	Abitato di Trebbo	Cassa di laminazione
13	Calderara di Reno	SX	Abitato di Longara	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 l'attraversamento della linea ferroviaria MI-BO fino a valle della Cassa di Boschetto in Loc. Savignano;
- interventi di adeguamento delle casse di laminazione esistenti (in particolare della cassa di Trebbo, Barleda, Bonconvento e Boschetto).

Con riferimento all'analisi idrologica, appare senz'altro opportuno, in virtù degli effetti producibili a valle e particolarmente nel periodo transitorio prima della completa realizzazione degli interventi previsti, poter concordare con il gestore degli invasi di Suviana e Brasimone un adeguato Piano di Laminazione delle piene che possa alleggerire la gravosità degli eventi per l'intera asta del Reno a valle, dedicando a tale scopo una porzione del volume di invaso. Dalle analisi svolte la riduzione del colmo di piena potenzialmente ottenibile a Casalecchio è pari a circa il 10%; l'effetto è chiaramente maggiore per i tratti collinari direttamente sottesi dagli invasi.

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. 19 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nel tratto in cui è previsto il rialzo in quota delle sponde a difesa dei quartieri di Bologna tra il ponte attrezzato Sud-Ovest e l'inizio del tratto arginato, per l'evento TR200 nella configurazione definita dalle linee di assetto.

In Tab. 20 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nel tratto arginato di pianura che va dall'attraversamento ferroviario FFSS MI-BO e l'abitato di Cento, e poi dalla confluenza Idice-Sillaro fino a mare. I risultati delle analisi si riferiscono alla portata risultata dalla simulazione dello scenario di progetto per l'evento TR200.

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 del tratto subito a monte al sistema arginale di pianura (REIN0049 e REIN0050) sono fortemente critici rispetto alle linee di assetto.

Nel primo tratto arginato invece i franchi idraulici dei ponti sono superiori a 1,0 m. Il ponte che si trova tra la Cassa Bonconvento e Boschetto (REIN0061) è fortemente critico rispetto alle linee di assetto, mentre il ponte subito a valle nel Comune di Sala Bolognese (REIN0064) presenta un franco idraulico compreso tra 0,5 e 1,0 m. I ponti situati in corrispondenza dell'abitato di Cento (REIN0065, REIN0065) non rappresentano una particolare criticità idraulica se si fa riferimento allo scenario di avvenuta realizzazione degli interventi su entrambe le aste del Reno e del Samoggia, in quanto il colmo della portata di progetto in questo tratto si riduce a circa 550 m³/s e il franco idraulico è compreso tra 0,5 e 1,5 m. REIN0065 e REIN0065 risulterebbero, invece, critici per la portata di riferimento di progetto pari a 700 m³/s.

Tab. 19 Reno da Asse attrezzato sud-ovest BO a ponte viale Palmiro Togliatti: attraversamenti e franchi idraulici T200 rispetto alle linee di assetto

ID	Ponte, Località	Comune	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR chiave	FR riferimento	Note
			(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0049	ponte Asse Attrezzato Sud-Ovest BO	Bologna	50,88	intradosso piano	49,80	49,80	-1,08	-1,08	Estradosso a 51,99
REIN0050	ponte viale Palmiro Togliatti	Bologna	44,43	intradosso piano	44,62	44,62	0,19	0,19	

Tab. 20 Reno da ponte FS MI-BO fino al ponte della statale Romea: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata limite di progetto (scenario Ks uso suolo)

ID	Ponte, Località	Comune	Q200 PRJ	H200	Tipologia ponte	H massimo	H riferimento	FR massimo	FR riferimento	Note
			(m³/s)	(m s.m.)		(m s.m.)	(m s.m.)	(m)	(m)	
REIN0052	ponte FS MI-BO_1	Bologna	1747	39,96	intradosso piano	44,1	44,1	4,14	4,14	
REIN0055	ponte passerella Borgo Panigale	Bologna	1710	38,48	intradosso piano	40,19	40,19	1,71	1,71	
REIN0056	ponte A14 Borgo Panigale	Bologna	1737	38,29	intradosso piano	39,63	39,63	1,34	1,34	
REIN0058	ponte FS valle A14	Bologna	1700	35,59	ad arco	40,33	38,5	4,74	2,91	
REIN0061	ponte trasversale di pianura (ponte SP 3)	Argelato	860	32,01	intradosso piano	30,08	29,45	-1,93	-2,56	Estradosso a 32,15
REIN0064	ponte via Padullese (ponte SP 18)	Sala Bolognese	753	27,42	intradosso piano	28,72	28,01	1,30	0,59	
REIN0065	ponte SP Centenese (ponte Nuovo)	Cento	544	24,33	intradosso piano	25,4	24,97	1,07	0,64	
REIN0066	ponte Cento (ponte Vecchio)	Cento	542	24,09	intradosso piano	25,7	25,44	1,61	1,35	
REIN0079	Ponte della Bastia	Argenta	700	12.05	intradosso piano	13.09	13.09	1.04	1.04	
REIN0080	Ponte FS FE-RI	Conselice	700	11.72	intradosso piano	11.8	11.8	0.08	0.08	
REIN0081	Ponte SP Raspona	Alfonsine	1100	8.41	intradosso piano	10.3	10.3	1.89	1.89	
REIN0082	Passerella-Ponte canale monte ponte SS Romea	Ravenna	1100	2.30	intradosso piano	4.22	4.22	1.92	1.92	
REIN0083	Ponte SS Romea	Ravenna	1100	2.26	intradosso piano	4.69	4.69	2.43	2.43	

9 Portate di piena di riferimento

Nelle condizioni attuali, in 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. 21 Fiume Reno stato attuale– Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Bacino	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)
Reno	Reno	0	Ponte della Venturina	99,7	310	390	445	-	-	-
Reno	Reno	25,3	Vergato	550,6	1290	1685	1980	1070	1370	1590
Reno	Reno	46,5	Confluenza Setta	986,3	1895	2525	2970	1425	1850	2110
Reno	Reno	60	Casalecchio	1059,0	1900	2550	3000	1360	1745	2010

Per il tratto arginato classificato del fiume Reno, nella tabella seguente sono riportate la portata limite nello stato attuale e nello stato definito dalle linee di assetto.

Tab. 22 Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato del fiume Reno

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)	Q limite di progetto (m ³ /s)
1	Da FFSS MI-BO a ponte A14	>950	1750
2	Da ponte A14 a cassa Boschetto	700	830
3	Da cassa Boschetto a confluenza Samoggia	600	760
4	Da cassa Samoggia a loc. Dosso (ponte via Verdi)	600	700*
5	Da loc. Dosso a Cavo Napoleonico	500	700*
6	Da Cavo Napoleonico allo sfioro del Gallo	420	420
7	Dallo sfioro del Gallo a S.Maria Codifiume (ponte S.P.49)	420	420
8	Da S.Maria Codifiume (ponte S.P.49) ad Argenta	420	420
9	Da confluenza Idice-Sillaro a confluenza Santerno	700	700
10	Da confluenza Santerno a confluenza Senio	1100	1100
11	Da confluenza Senio a mare	1100	1100

* Si osservi che l'incremento della capacità di portata di progetto tra confluenza Samoggia e il cavo Napoleonico è determinato dall'aver fatto riferimento, nello scenario di assetto, ad analisi in moto vario. Non sono previsti interventi di rialzo arginale in questi tratti. Inoltre, si noti che nella configurazione di avvenuta realizzazione degli interventi sulle aste del Reno e del Samoggia, con il completamento della cassa di Bagnetto la portata di progetto in questo tratto diminuisce a circa 550 m³/s, valore che consente il deflusso in condizioni accettabili della piena duecentennale presso i ponti in corrispondenza dell'abitato di Cento, che rimangono altrimenti elementi critici nonostante il generale rispetto dei franchi arginali.