



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 Sillaro

Dicembre 2025

Metadata

Titolo	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Monografia Sillaro
Descrizione	Il presente documento è la Monografia del fiume Sillaro 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 Sillaro
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_Sillaro
Formato	pdf
Relazioni	Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli, Conca Marecchia e al bacino del Fissero Tartaro Canalbianco (D. Lgs.152/2006 art.64, c.1 lett. b, numeri da 2 a 7). Relazione generale; Progetto di variante al PAI Po: estensione ai bacini idrografici del Reno, Romagnoli e Conca Marecchia. Fasce Fluviali. Relazione Tecnica.
Licenza	Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0) 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 Sillaro, Versione 01 del 2025-12-10

Indice

1	Premessa	1
2	L'ambito fluviale in esame	2
3	Analisi morfologica	6
4	Idrologia di piena: portate ed eventi di riferimento	8
5	La geometria del modello 2D	14
6	Stima della capacità di portata nel tratto arginato	17
6.1	Condizioni al contorno	17
6.1.1.	Portate	17
6.1.2.	Condizioni di valle	17
6.2	Scabrezze	17
6.3	Simulazioni e risultati ottenuti	18
7	Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile	19
7.1	Le condizioni contorno	19
7.1.1.	Portate	19
7.1.2.	Condizioni di valle	19
7.2	Scabrezze	19
7.3	Simulazioni e risultati ottenuti	19
7.3.1.	Evento T50	22
7.3.2.	Evento T200	29
7.3.3.	Evento T500	32
7.4	Valutazioni dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento	33
7.4.1.	Ambito montano, collinare, pedecollinare e di pianura non arginato	33
7.4.2.	Tratto arginato di pianura	33
7.5	Scenari di rotta arginale	36
8	Linee di assetto	37
8.1	L'assetto del torrente Sillaro	37
8.1.1.	Tratto collinare tra Sassoleone e Castel San Pietro Terme	37
8.1.2.	Tratto tra il ponte della linea ferroviaria BO-AN e la confluenza del canale Correcchio	37
8.1.3.	Tratto arginato classificato di pianura	38
8.2	Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento	39
8.3	Quadro degli interventi	40
8.4	Valutazioni dei franchi dei ponti e criticità idrauliche rispetto alle linee di assetto	40
9	Portate di piena di riferimento	42

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 Sillaro che, nell'ambito delle attività di studio descritte nella relazione tecnica, è stato analizzato per il tratto compreso tra Sassoleone a confluenza Reno, per circa 63 km. Lo stesso tratto è oggetto del presente progetto di variante e di delimitazione di fasce fluviali, secondo il metodo del PAI Po.

2 L'ambito fluviale in esame

Il Sillaro nasce sulle pendici di cima Tre Poggioli (966 m s.m.) nel territorio di Firenzuola, Provincia di Firenze. Lo sviluppo complessivo è di circa 75 km, dei quali i primi 6 in Toscana.

Il bacino idrografico del Sillaro si chiude alla confluenza del canale Correcchio, poco a monte di Sesto Imolese (superficie del bacino 246 km², lunghezza dell'asta sottesa circa 53 km). Dalla confluenza del Correcchio, il Sillaro si sviluppa arginato in modo continuo fino a Reno ed è privo di apporti significativi.

Il principale affluente del Sillaro, torrente Sellustra, confluisce a valle dell'A14, nel territorio di Castel Guelfo di Bologna.

Nella porzione appenninica del corso d'acqua, circa 26 km fino a Marzocchina, il corso d'acqua presenta elevata naturalità con pressione antropica molto modesta. Da Marzocchina l'ambito fluviale si amplia progressivamente in un contesto collinare fino a Castel San Pietro Terme (11 km).

Dal ponte della via Emilia al ponte della SP 30 (circa 8 km) il Sillaro assume andamento sub-rettilineo, piegando progressivamente verso est e riceve gli apporti del suo principale affluente, torrente Sellustra. Tra la via Emilia e l'A 14, i piani goleali sono stati interessati da diverse attività estrattive.

Tra il ponte SP 30 e la confluenza del canale Correcchio (8 km) il Sillaro disegna alcuni meandri e sono presenti arginature a ridosso dell'alveo attivo a difesa dei coltivi retrostanti; tali opere, solo nei primi 2 km, fino a via Nuova, si sviluppano su sedime demaniale.

Da confluenza Correcchio, il Sillaro è arginato in modo continuo da opere classificate di II categoria fino a confluenza Reno, circa 22 km.

I comuni interessati dal presente progetto di variante sono: Argenta, Casalfiumanese, Castel Guelfo di Bologna, Castel San Pietro Terme, Conselice, Dozza, Imola, Massa Lombarda, Medicina, Monterenzio, Mordano.

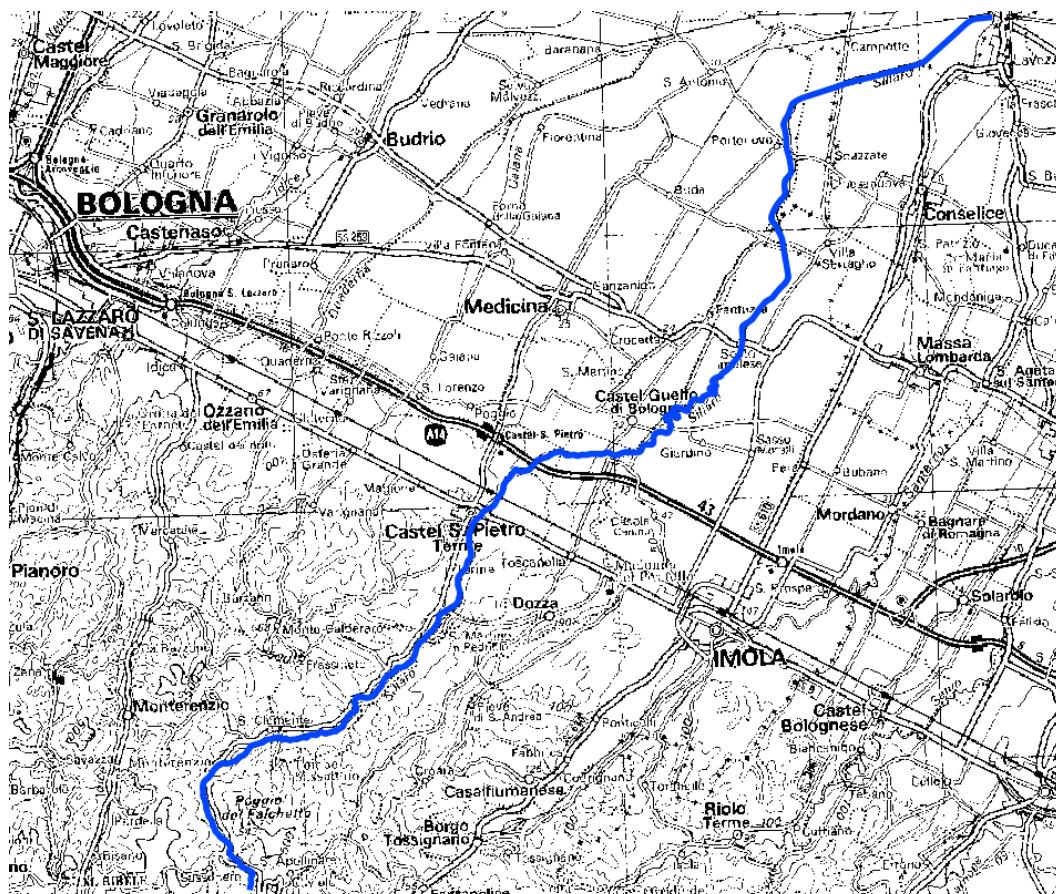


Fig. 1 Inquadramento complessivo del tratto fluviale del torrente Sillaro oggetto di studio

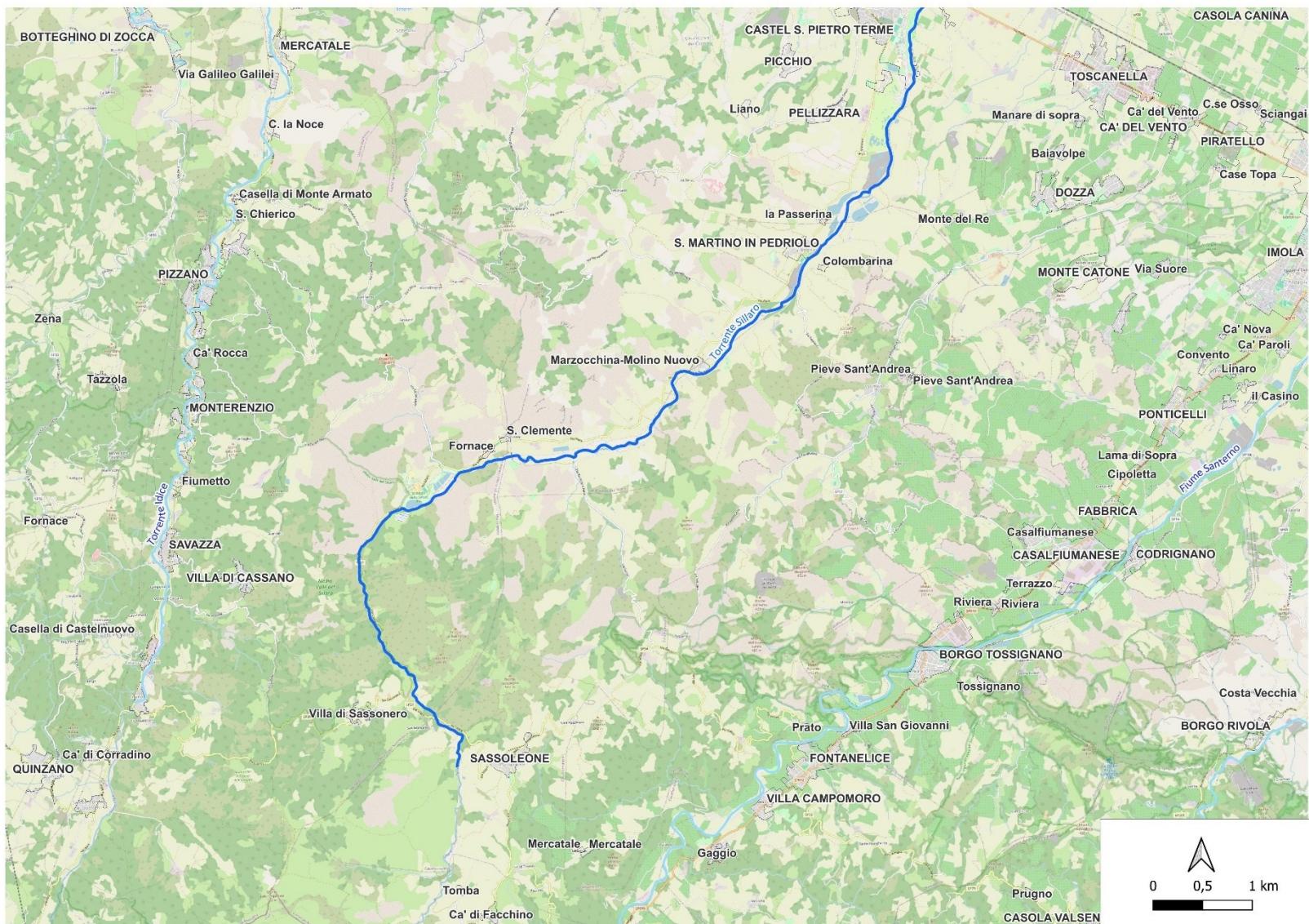


Fig. 2 Inquadramento cartografico dell'ambito di studio del torrente Sillaro: da Sassoleone a San Martino in Pedriolo

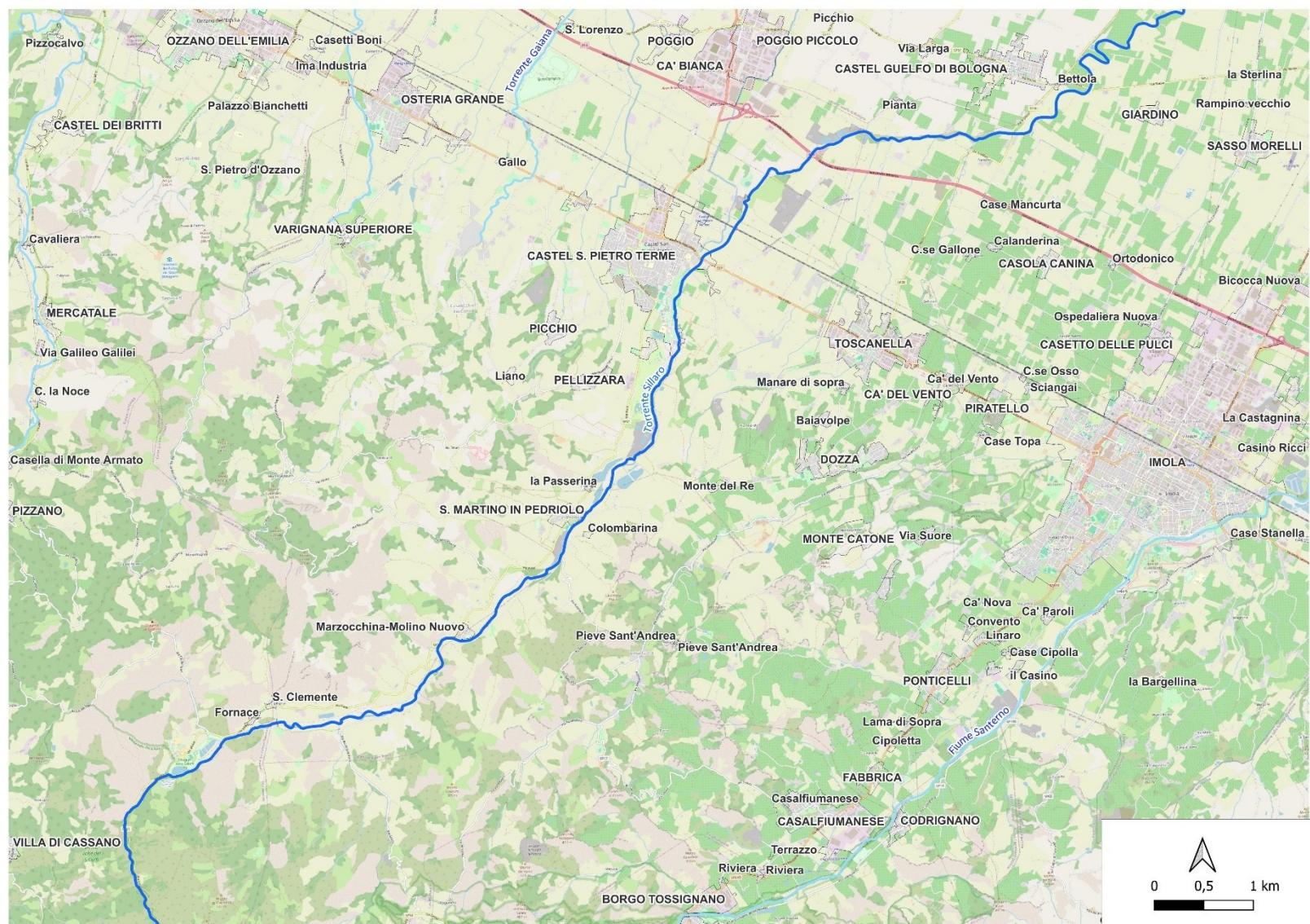


Fig. 3 Inquadramento cartografico dell'ambito di studio del torrente Sillaro: da San Martino in Pedriolo a Castel Guelfo di Bologna

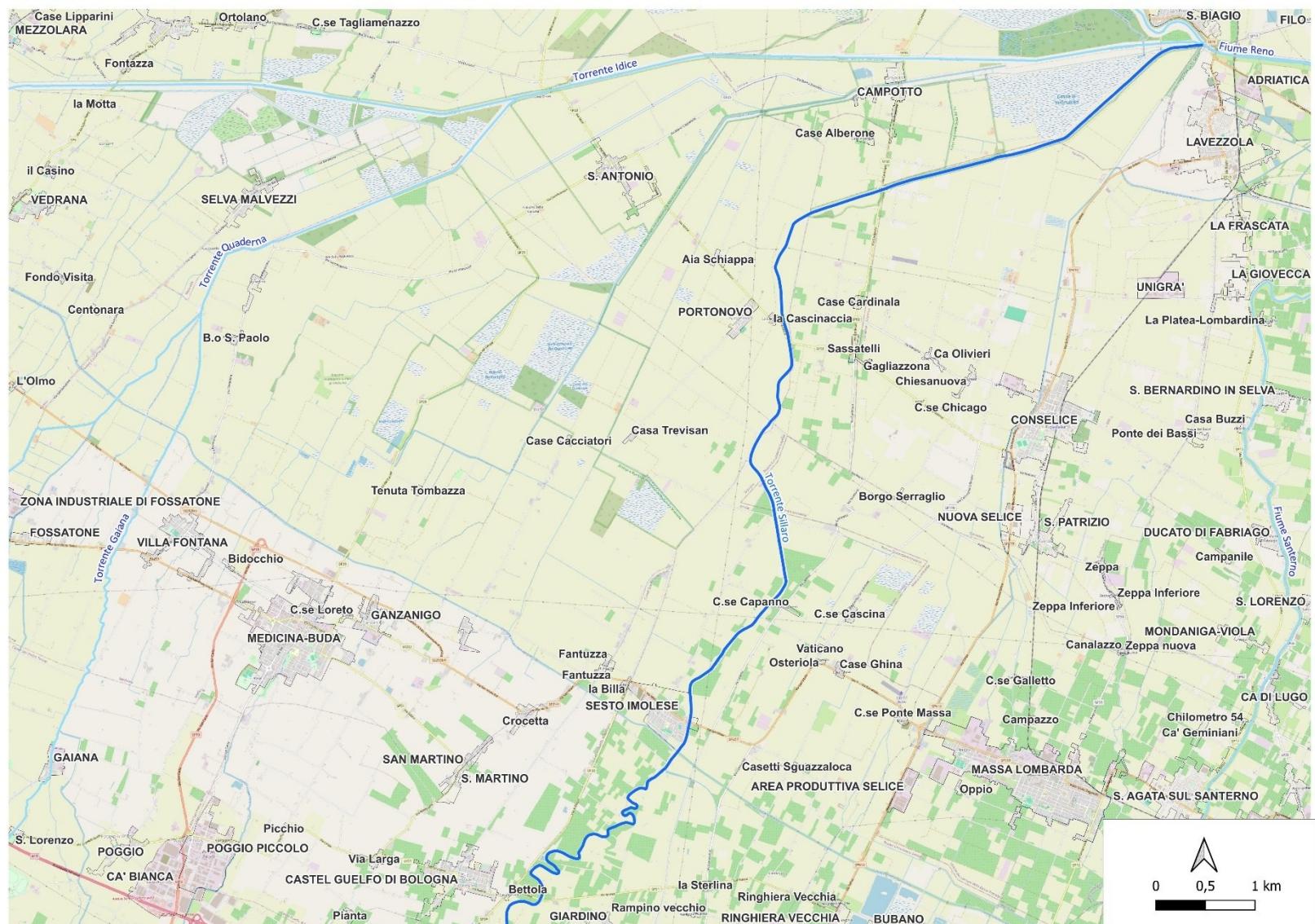


Fig. 4 Inquadramento cartografico dell'ambito di studio del torrente Sillaro: da Castel Guelfo di Bologna a confluenza Reno

3 Analisi morfologica

Il settore montano e collinare del torrente Sillaro è caratterizzato da un alveo a barre alternate semi confinato, con un progressivo restringimento del canale attivo ed un aumento del grado di sinuosità; la morfologia cambia da un andamento a rami intrecciati (braided) ad uno di tipo wandering con la presenza di isole parzialmente vegetate, fino alla tipologia a canale unico.

I principali apporti di sedimenti in Sillaro avvengono grazie ai rii tributari che scorrono lungo i ripidi versanti del tratto montano del bacino, dove predominano le formazioni ad argilliti e siltiti che favoriscono l'erosione e il trasporto del materiale tramite fenomeni di colata detritica verso il fondo valle del Sillaro.

Da Molino di Sassoleone a San Martino in Pedriolo sono presenti quasi in continuità fenomeni erosivi di sponda intensi, rilevati a seguito dei recenti eventi alluvionali, con una dinamica planimetrica del corso d'acqua elevata. Il tasso di arretramento medio annuo del limite di sponda, calcolato per un intervallo temporale degli ultimi 25 anni, varia da 0,5 m a oltre 2 m all'anno.

Le opere qui presenti sono una serie di briglie e soglie all'altezza dei principali attraversamenti e lungo il corso d'acqua, di controllo dell'erosione del profilo di fondo; sono inoltre presenti brevi tratti di difese longitudinali e trasversali (pennelli), a protezione dei fenomeni erosivi più accentuati. In generale le opere appaiono in dissesto strutturale generalizzato a seguito dei numerosi eventi alluvionali susseguitesi negli ultimi anni.

In particolare, in questo tratto si segnala l'aggiramento in sinistra idrografica del sistema di briglie poste a monte della località Cà Briglie, in comune di Monterenzio (BO).

Dall'analisi delle variazioni altimetriche tra il DTM 2024 e il DTM 2009 a valle della briglia dei laghi di San Martino in Pedriolo si registra un significativo abbassamento del fondo alveo, subito a valle dell'opera fino a località Molinetto.

L'indice di qualità morfologica ricade nella classe "Buono" ed "Elevato" ad eccezione di un paio di tratti in cui è "Moderato o Sufficiente".

Il sistema di controllo del profilo di fondo tramite briglie (Loc. Marzocchina) continua fino a giungere alla traversa La Chiusa, posta a monte dello stabilimento termale di Castel San Pietro Terme, con derivazione parziale delle acque nel canale Medicina, in sinistra idrografica.

Nel tratto collinare-montano, fino a Castel San Pietro Terme, l'evento del 2 maggio 2023 ha sollecitato intensamente il fondovalle determinando criticità ed esondazioni in corrispondenza delle porzioni più depresse, prospicienti il corso d'acqua, dei centri di San Martino in Pedriolo e Castel San Pietro Terme.

Negli eventi 2024 le principali erosioni sono avvenute in corrispondenza delle spallette di alcuni ponti principali: ponte della Mingardona, di Molino Nuovo, di Fiagnano e passerella pedonale in corrispondenza del parco lungo Sillaro all'interno del capoluogo di Castel San Pietro Terme.

Tra Castel San Pietro Terme e il ponte della SP30, presso Località Fornace, le esondazioni hanno interessato le aree perifluivali.

Nel tratto a valle della traversa La Chiusa, il corso d'acqua costeggia la città di Castel San Pietro Terme e nel tratto medio terminale riceve da destra, nei pressi di Castel Guelfo di Bologna, i suoi due principali affluenti, ossia il rio Sabbioso e il torrente Sellustra.

Dall'analisi delle variazioni altimetriche tra il DTM 2024 e il DTM 2009 a valle del ponte ferroviario BO-AN il corso d'acqua ha ripreso a divagare planimetricamente con fenomeni intensi di erosione di sponda.

Il sistema arginale comincia appena a monte di Castel Guelfo di Bologna, fino a foce Reno, con rilevati che man mano aumentano di quota in sommità, fino a raggiungere l'altezza di 5 m rispetto al piano campagna, con localizzata presenza di banche di rinforzo lato campagna.

Il tratto a valle di Castel Guelfo di Bologna, per la progressiva diminuzione della pendenza del fondo alveo passa a un andamento meandriforme con anse accentuate fino alla confluenza in destra idrografica dello scolo consorziale Correcchio, a monte di Sesto Imolese.

L'indice di qualità morfologica ricade nella classe "Moderato o Sufficiente" tra San Clemente fino a monte di Castel San Pietro Terme, "Buono" ed "Elevato" tra Castel San Pietro Terme fino a Castel Guelfo di Bologna, e si riduce ridurre la classe a "Moderato o Sufficiente" nel tratto tra Castel Guelfo di Bologna e Sesto Imolese.

Nel tratto arginato classificato di II categoria, da confluenza canale Correcchio presso Sesto Imolese a Reno, si sono verificate due rotte nell'evento alluvionale del 2 maggio 2023:

- in sinistra, in via del Tiglio località Olmi Secchi, le esondazioni hanno interessato i coltivi circostanti e alcuni insediamenti sparsi;
- in destra in località via Merlo, circa 2 km a monte del ponte di Portonovo, rilevanti volumi d'acqua sono fuoriusciti coinvolgendo un ampio areale tra Sillaro e scolo Zaniolo, raggiungendo la periferia di Conselice.

L'evento del 16 maggio 2023 ha replicato le dinamiche riscontrate nel primo evento nel tratto collinare montano. Nel tratto tra il ponte della SP30 e la confluenza del canale Correcchio sormonti diffusi e locali cedimenti hanno determinato esondazioni significative, nuovamente tra Sillaro e Correcchio in prossimità dell'impianto idrovoro, le cui problematiche di funzionamento hanno indotto esondazioni nella zona di Sasso Morelli. Nel tratto arginato di valle, in corrispondenza della zona di rottura in destra presso via Merlo, nuove rilevanti esondazioni hanno interessato i territori circostanti raggiungendo il centro abitato di Conselice.

Successivamente Il Sillaro passa a destra di Sesto Imolese ed entra per un breve tratto nel comune di Conselice, in provincia di Ravenna. Da qui, deviato in un alveo artificiale in seguito ai lavori di bonifica in epoca moderna si dirige verso nord ed entra nel territorio del comune di Argenta, in provincia di Ferrara.

Il suo corso da questo momento segna il confine tra le province di Ravenna e di Ferrara, nella quale il Sillaro diventa parte delle Valli di Campotto andando ad alimentare, con le sue acque in eccesso, la Cassa di espansione di Valle Santa, in destra idrografica. Poco dopo aver lambito la sua cassa di colmata, conclude il suo corso confluendo da destra nel fiume Reno in località La Bastia, fra Lavezzola e San Biagio di Argenta; la sua confluenza avviene praticamente insieme con quella del torrente Idice, anch'esso affluente del Reno, ed è regolata dalla chiavica Bastia - Via Beccaria Nuova - Loc. Molino Bastia, Argenta (FE).

Nel settore terminale per il calcolo dell'IQM sono stati individuati 5 tratti omogenei, ricadenti tutti nella classe "Moderato o Sufficiente", ad eccezione di un tratto in corrispondenza di Case Alberone che ricade in classe "Buono".

4 Idrologia di piena: portate ed eventi di riferimento

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

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

Tab. 1 Portate di piena per il torrente Sillaro

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	Sillaro	12	Sassoleone	30,2	80	105	120	
Reno	Sillaro	32	San Martino in Pedriolo	129,4	240	335	405	Marzocchina
Reno	Sillaro	44	confl. Sellustra	200,7	325	440	520	
Reno	Sillaro	53	confl. Correcchio	246,0	330	450	535	Sesto Imolese

In Fig. 5, per la sezione di Sesto Imolese, 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 preesistente pianificazione;
- “WP3” (indicatori arancioni): valori di massima piena di riferimento dallo studio WP3²;
- “Risultati della simulazione ARF” (indicatori verdi): massime portate al colmo ottenute dal modello idrologico allestito per il presente studio, con applicazione del coefficiente ARF.

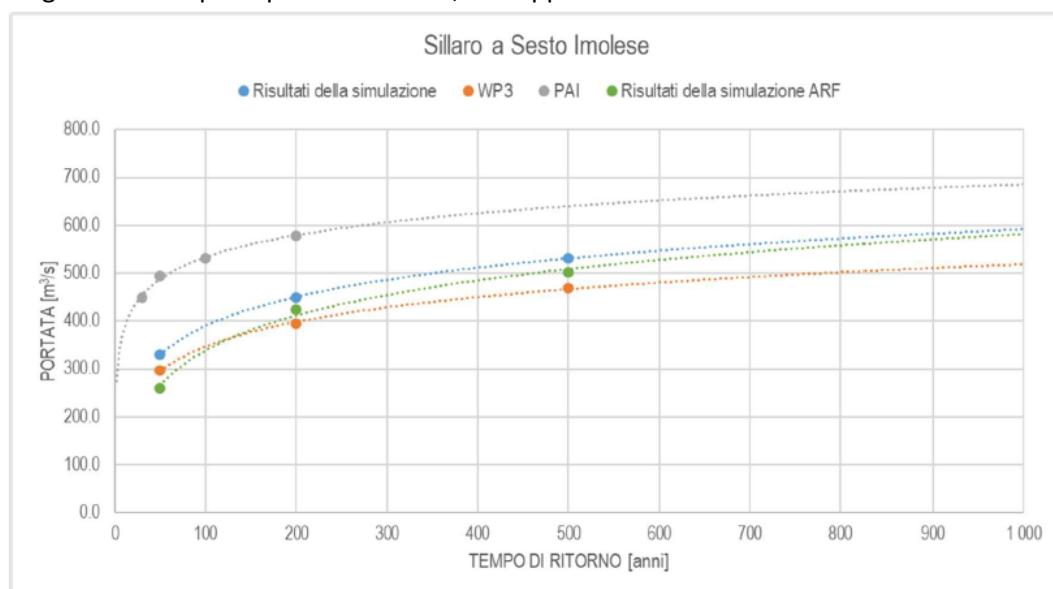


Fig. 5 Sesto Imolese - confronto delle portate al colmo con preesistente PAI e WP3

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

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)

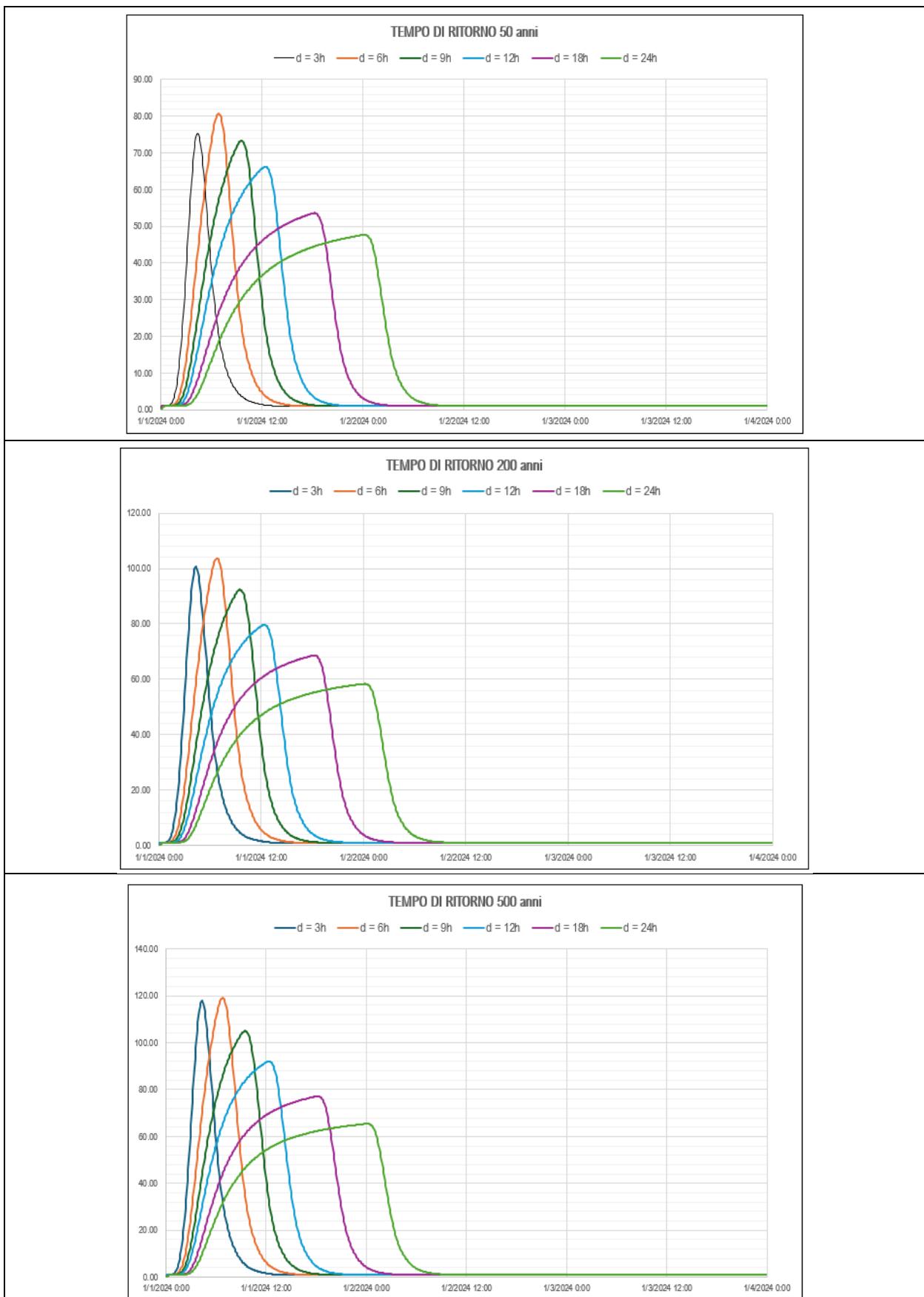


Fig. 6 Torrente Sillaro a Sassoleone: idrogrammi (m^3/s) di riferimento T50, T200 e T500

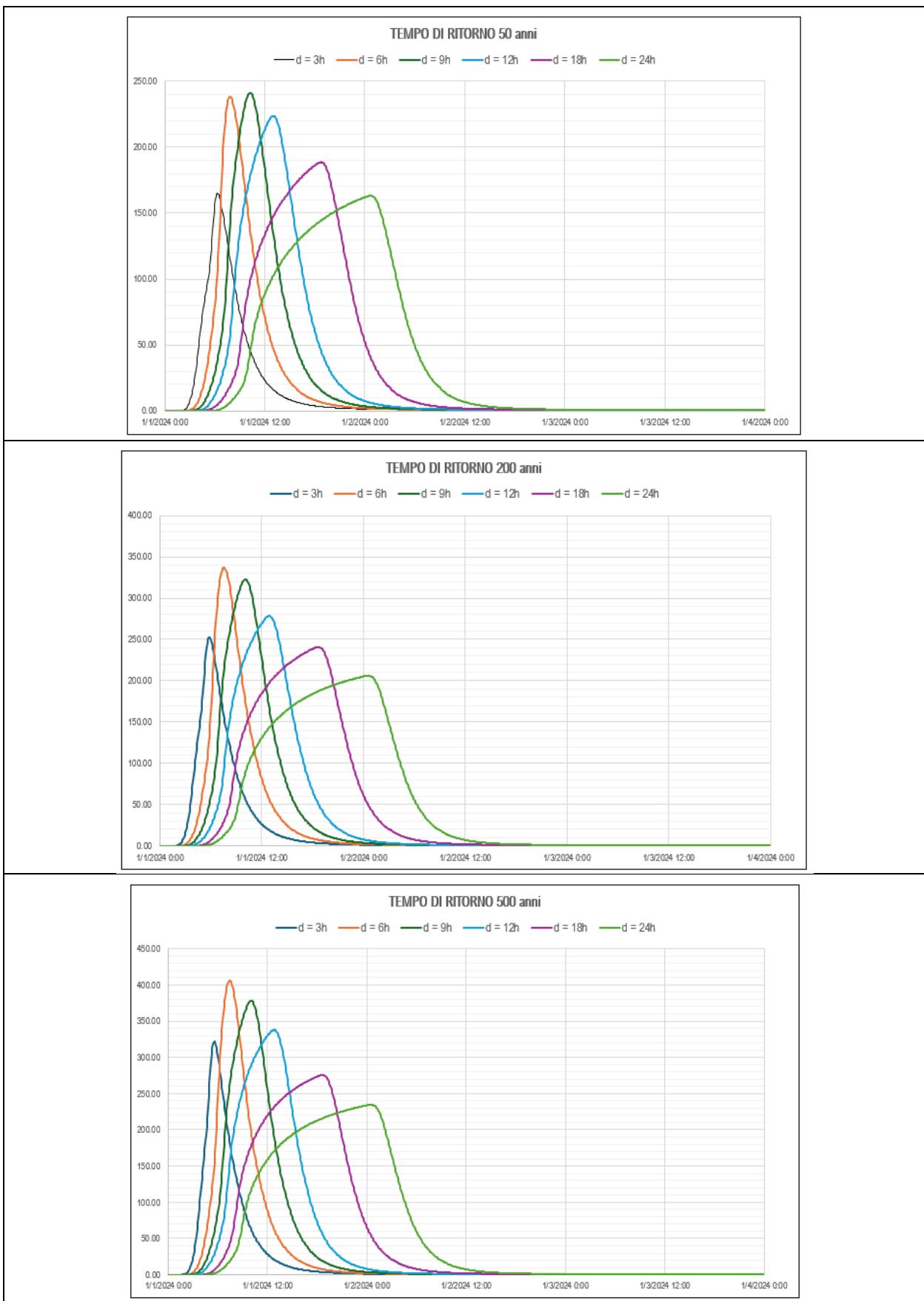


Fig. 7 Torrente Sillaro a San Martino in Pedriolo: idrogrammi (m^3/s) di riferimento T50, T200 e T500

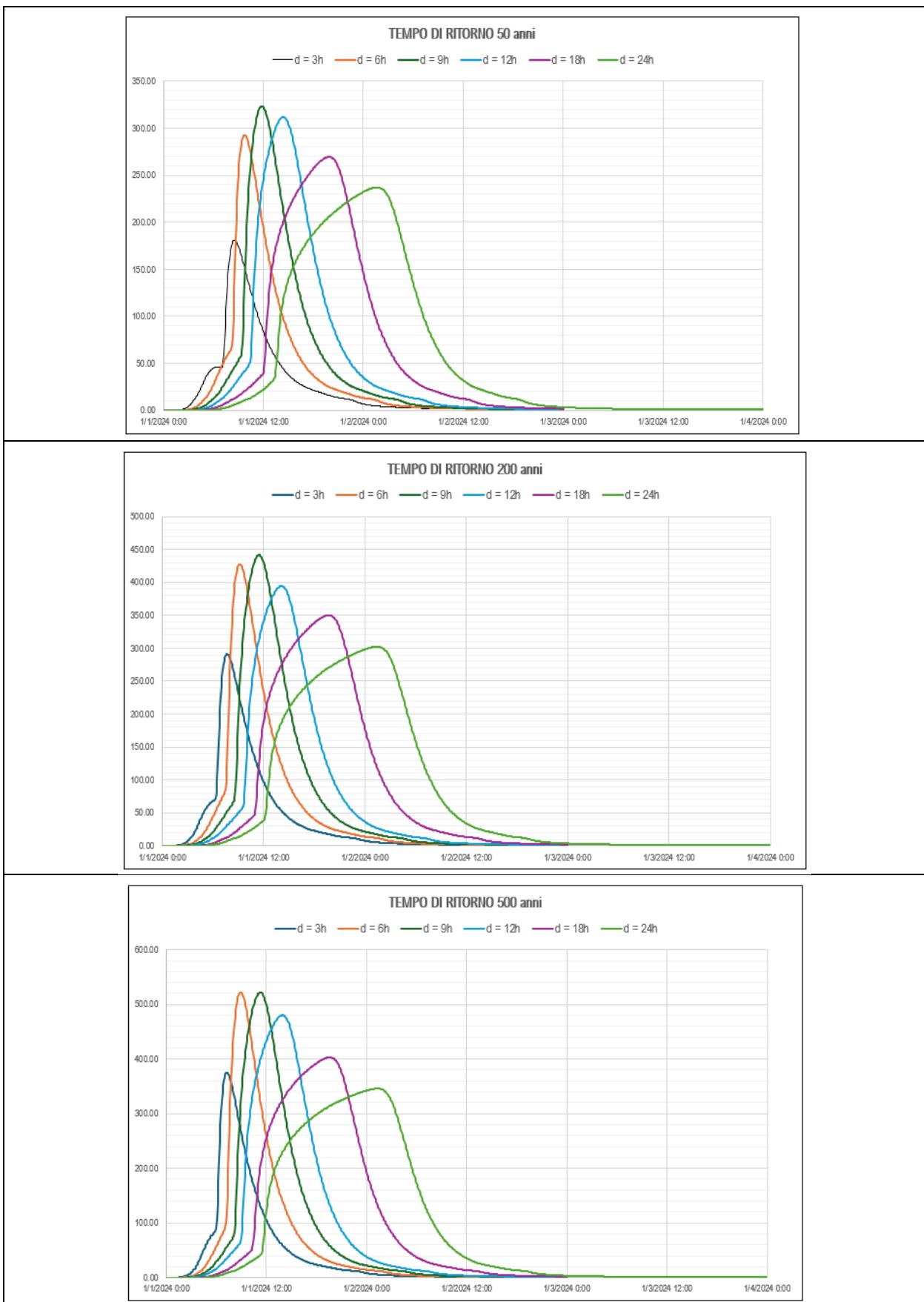


Fig. 8 Torrente Sillaro a valle Sellustra: idrogrammi (m^3/s) di riferimento T50, T200 e T500

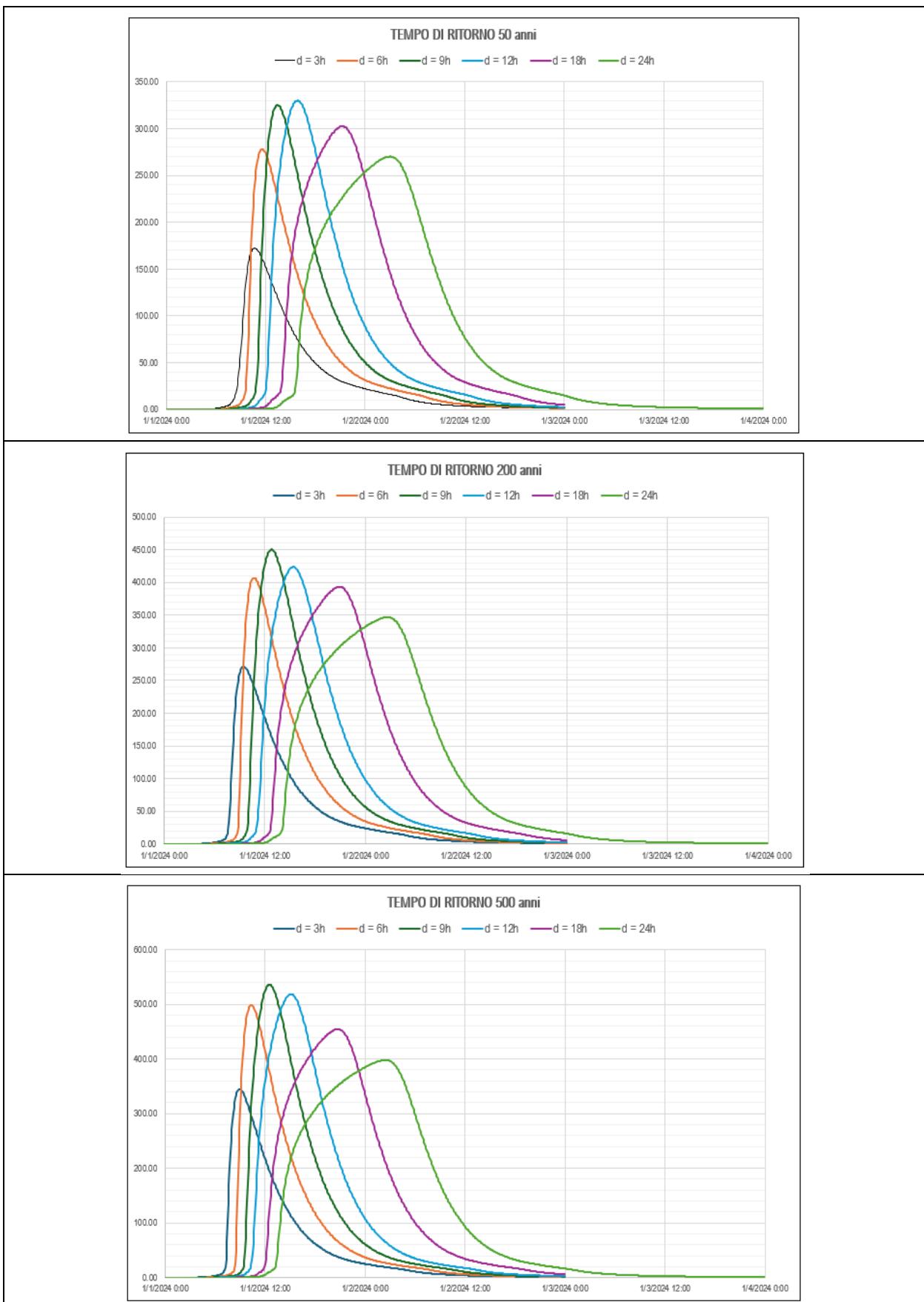


Fig. 9 Torrente Sillaro a confluenza Correcchio: idrogrammi (m^3/s) di riferimento T50, T200 e T500

Nell'ambito dell'analisi idrologica è stata inoltre eseguita la ricostruzione degli idrogrammi di piena potenziali degli eventi gravosi più recenti (2023-2024). Per quanto concerne la stima di questi ultimi, a causa dell'assenza di stime affidabili di portata agli idrometri, si è resa necessaria l'esecuzione di molte simulazioni idrauliche in moto vario volte al confronto tra i reali effetti al suolo verificatisi e quelli simulati usando come forzante gli idrogrammi stimati. Tale confronto, seppur nel quadro complessivo delle incertezze in cui si inserisce, è stato finalizzato alla valutazione della bontà delle stime idrologiche e ad una loro eventuale revisione qualora i risultati modellistici non fossero soddisfacenti.

In Fig. 10 è proposto il confronto, nelle diverse sezioni di chiusura del bacino, tra le portate massime idrologiche ottenute per i 4 eventi simulati e le portate di riferimento calcolate per i diversi tempi di ritorno nelle medesime sezioni.

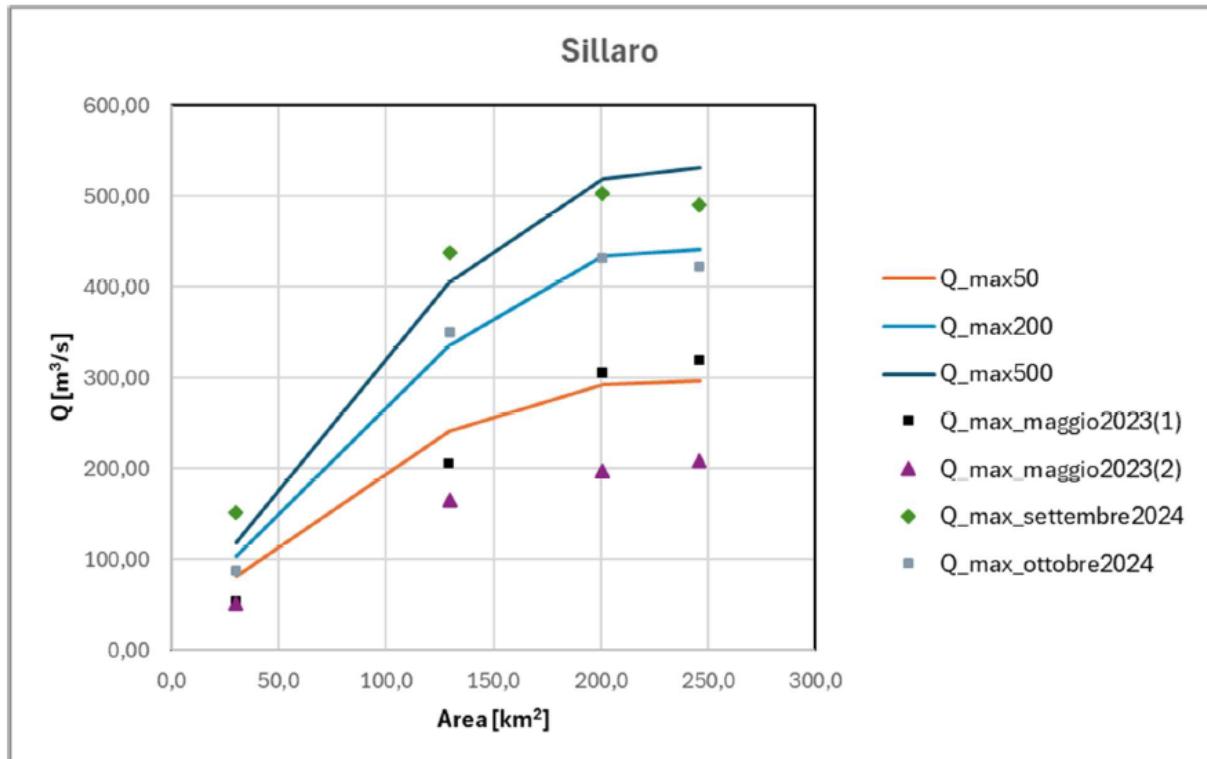


Fig. 10 Torrente Sillaro: confronto tra le portate al colmo idrologiche degli eventi reali e le portate di riferimento

5 La geometria del modello 2D

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

- lungo l'asta del Sillaro, 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);
- 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 rilevabile attraverso il sistema Lidar, sono state utilizzate le sezioni topografiche rilevate nell'ambito tra maggio e luglio 2024 ed eventuali ulteriori sezioni d'alveo recenti disponibili. Attraverso tali dati è stato generato un modello digitale del terreno della porzione di alveo posta al di sotto del pelo libero. Tale attività è stata effettuata nei tratti in cui l'incidenza della porzione sommersa di alveo inciso (in condizioni di regime ordinario – alla data del rilievo) è risultata rilevante rispetto alla sezione di deflusso di piena e dove il DTM risultava particolarmente "disturbato" da quote relative a elementi di vegetazione o a interpolazioni non corrette conseguenti all'attività di rimozione delle strutture di attraversamento.

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

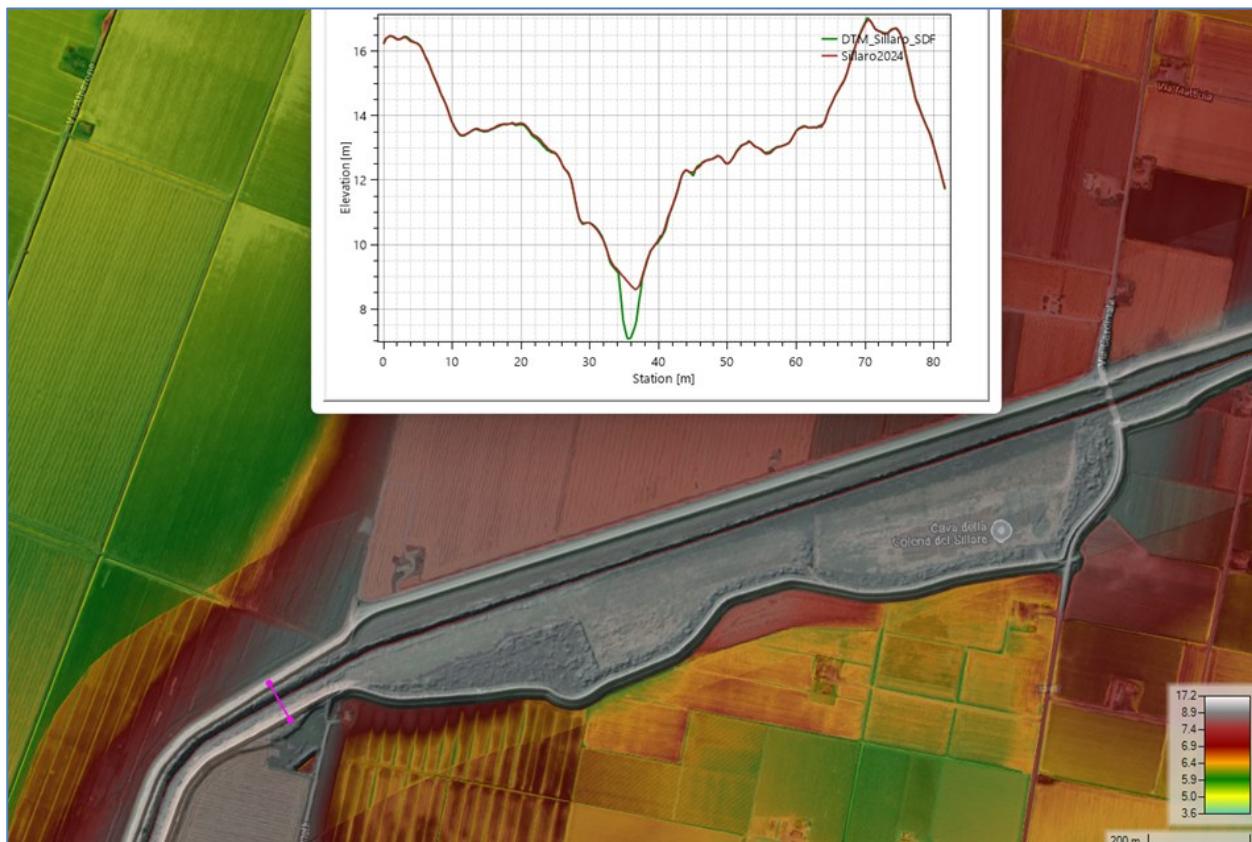


Fig. 11 – Torrente Sillaro: esempio di batimetria del modello 2D a confronto con il DTM originale

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

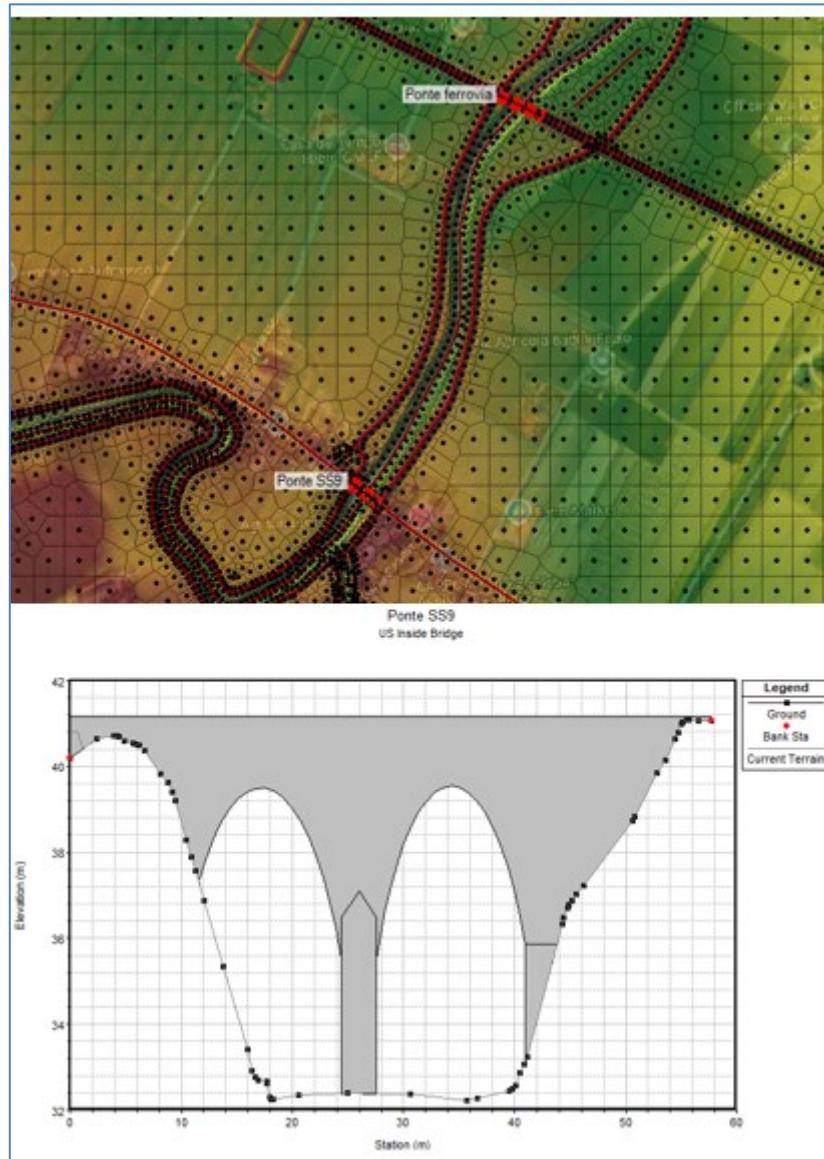


Fig. 12 Torrente Sillaro, esempio di geometria di un attraversamento

Per l'implementazione dello schema bidimensionale, la descrizione geometrica utilizzata è a maglie di calcolo del tipo flexible mesh, adatte a discretizzare in maniera dettagliata le varie geometrie da ricostruire con particolare interesse per le arginature e le opere interferenti il deflusso della piena sia in alveo sia nelle aree di esondazione.

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di 450.760. La schematizzazione 2D flexible mesh ha consentito di definire celle variabili sia in dimensione sia in forma. La dimensione della maglia principale è costituita da celle 50X50 m; con l'inserimento delle breaklines di dettaglio, il dominio di calcolo è passato a celle anche di 1x1 m nei punti in cui si è discretizzato al massimo il dettaglio delle discontinuità morfologiche del terreno con particolare interesse alle zone in prossimità delle viabilità, arginature, rialzi morfologici e canali.

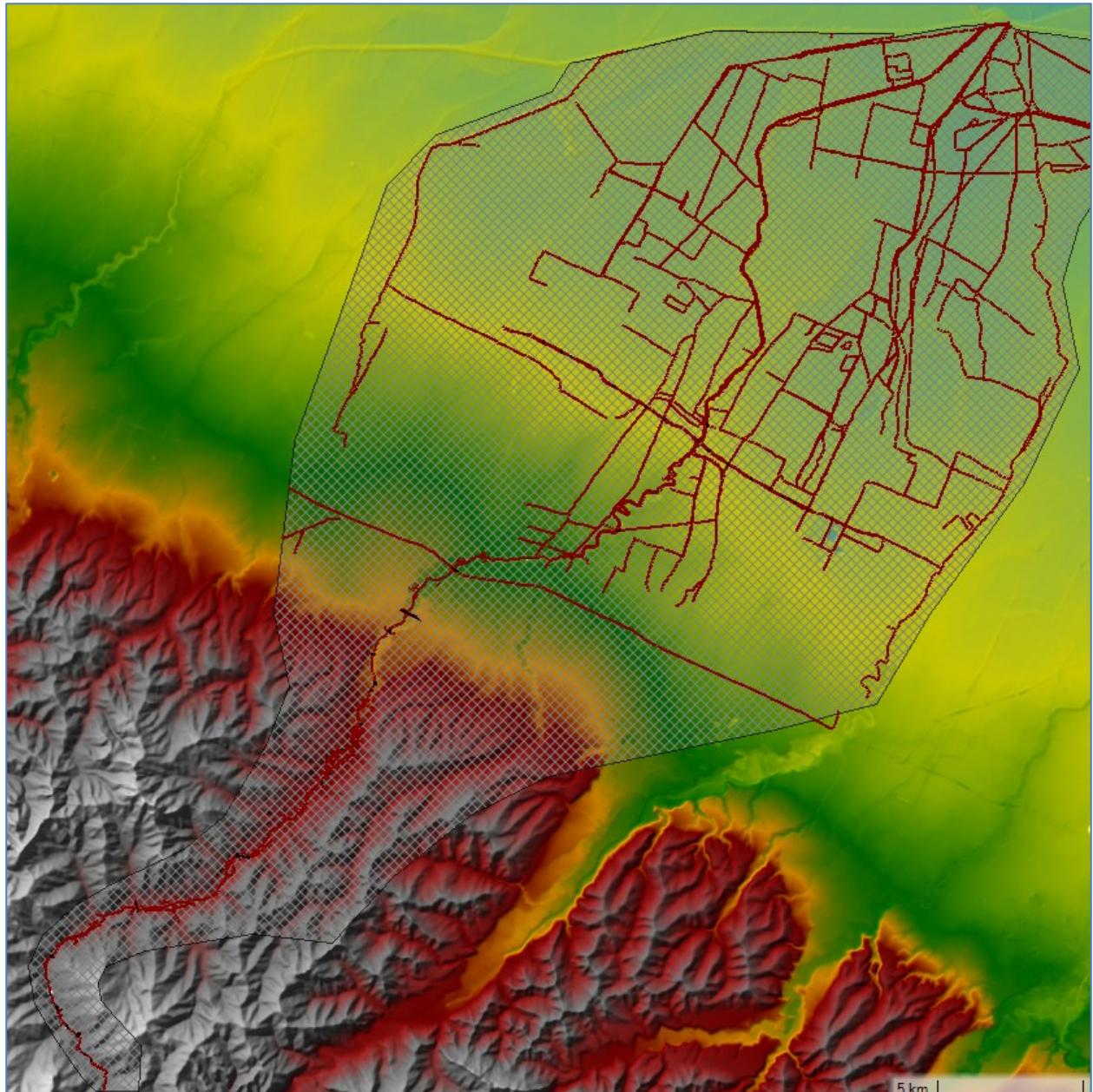


Fig. 13 Torrente Sillaro: inquadramento planimetrico della mesh di calcolo e delle breaklines

6 Stima della capacità di portata nel tratto arginato

Una prima fase di lavoro è stata finalizzata a stimare la capacità di portata attuale, ancorché con franchi limitati, del tratto arginato da confluenza Correcchio (presso Sesto Imolese) a confluenza Reno. Tale valore di portata rappresenta la portata limite attuale.

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

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

6.1 Condizioni al contorno

6.1.1. Portate

I valori di portata di riferimento sono stati definiti a partire dalla portata con tempo di ritorno 50 anni individuata nell'analisi idrologica; sono state simulate diverse portate incrementando e decrementando Q50 (330 m³/s) di un valore stimato a partire dal 30% (Q200-Q50).

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

Tab. 2 Portate di moto permanente

Q (m ³ /s)	80	130	180	230	280	330	380
-----------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

6.1.2. Condizioni di valle

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

6.2 Scabrezze

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

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

Uso suolo	Scabrezza (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
Insediamenti produttivi o commerciali / Tessuto residenziale rado / Impianti	8,7
Boschi	4,5
Tessuto residenziale urbano/ Tessuto residenziale compatto e denso	4,3

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

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

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

6.3 Simulazioni e risultati ottenuti

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

Tab. 4 Classi di valutazione del franco idraulico sulle arginature

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

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

Tab. 5 Classi di valutazione del franco idraulico sui ponti

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

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

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

L'analisi di sensitività eseguita sulle scabrezze ha confermato come in alvei arginati a sezione regolare sia rilevante l'incidenza di tale parametro 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 compatibile per tratti omogenei considerando la scabrezza definita in funzione dell'uso del suolo, in quanto più cautelativa e rappresentativa dell'assetto attuale. I valori puntuali dei franchi idraulici relativi a tutti gli scenari di scabrezza considerati sono stati condivisi con l'autorità idraulica competente (Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile della Regione Emilia-Romagna) e con la Regione Emilia-Romagna.

Tab. 6 Portata compatibile del torrente Sillaro – scenario scabrezza da uso del suolo

ID	Tratto	Q compatibile (m^3/s)
1	Sestolmoleseldrometro-ChiavicalerMerlo	180
2	ChiavicalerMerlo-PonteCardinala	80
3	PonteCardinala-Reno	180

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

7 Condizioni di pericolosità idraulica per eventi a differente frequenza probabile

Le analisi in moto vario hanno interessato il fiume Sillaro da Sassoleone a confluenza Reno, circa 63 km.

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

7.1 Le condizioni contorno

7.1.1. Portate

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

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

In ingresso al modello sono stati inseriti gli idrogrammi corrispondenti alla sezione di chiusura posta in corrispondenza di Sassoleone. Nel tratto compreso tra Sassoleone e San Martino in Pedriolo è stato inserito distribuito il contributo del sottobacino sotteso, nel tratto compreso tra San Martino in Pedriolo e confluenza torrente Sellustra è stato inserito il contributo distribuito del bacino sotteso, l'apporto del torrente Sellustra è stato inserito come contributo concentrato e infine, nel tratto tra confluenza torrente Sellustra e confluenza canale Correcchio, il contributo del bacino sotteso è stato inserito in modo distribuito.

7.1.2. Condizioni di valle

Come condizione al contorno di valle è stato imposto il livello di Reno pari a 9,44 m s.m.. Tale condizione è coerente con il preesistente PAI che indica 9,0 m s.m. alla confluenza. La condizione è stata individuata a partire dai livelli registrati all'idrometro di ponte Bastia (posto poco a valle confluenza Idice-Sillaro); in particolare, si è fatto riferimento alla soglia arancione pari a 10,70 m corrispondenti a un livello idrico di 9,44 m s.m..

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

7.2 Scabrezze

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

Alle diverse forme di uso del suolo, sono state associate le scabrezze riassunte nella Tab. 3 desunte da letteratura.

7.3 Simulazioni e risultati ottenuti

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

Preliminarmente a tali simulazioni sono state indagate le possibilità di calibrare il modello allestito rispetto agli eventi reali recenti (1-4 e 16-18 maggio 2023, settembre e ottobre 2024); per tali eventi, assai gravosi nel loro complesso, non sono disponibili idrogrammi di portata misurati ma solo alcune stime puntuali approssimate di valori di portata al colmo. Questa condizione impedisce di fatto una taratura diretta del modello; calibrazione che sarebbe comunque stata possibile solo per gli eventi dove gli effetti al suolo

non avessero completamente alterato la propagazione verso valle dell'onda. In particolare, lungo il Sillaro, gli eventi di Maggio 2023 hanno determinato diverse rotte, con conseguenti rilevanti esondazioni, e tracimazioni.

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

Pur con tutti i limiti intrinseci nell'approccio proposto, gli idrogrammi così ricostruiti sono stati applicati ai modelli numerici idrodinamici allestiti; in particolare, sul Sillaro, è stato simulato l'evento di ottobre 2024. Tali simulazioni sono state eseguite con diversi valori di scabrezza da letteratura, al fine di indagare la possibilità di riprodurre nell'analisi i livelli e gli andamenti idrometrici misurati (fonte ARPAE). Tali analisi hanno mostrato come l'incertezza sulle portate in ingresso sia tale da non permettere valutazioni affidabili sulle scabrezze.

In tali condizioni, si è optato per un approccio cautelativo sulla scabrezza che prevede di utilizzare la perimetrazione di dettaglio delle forme di uso del suolo, alle quali sono stati associati i valori di scabrezza da letteratura riportati in Tab. 3.

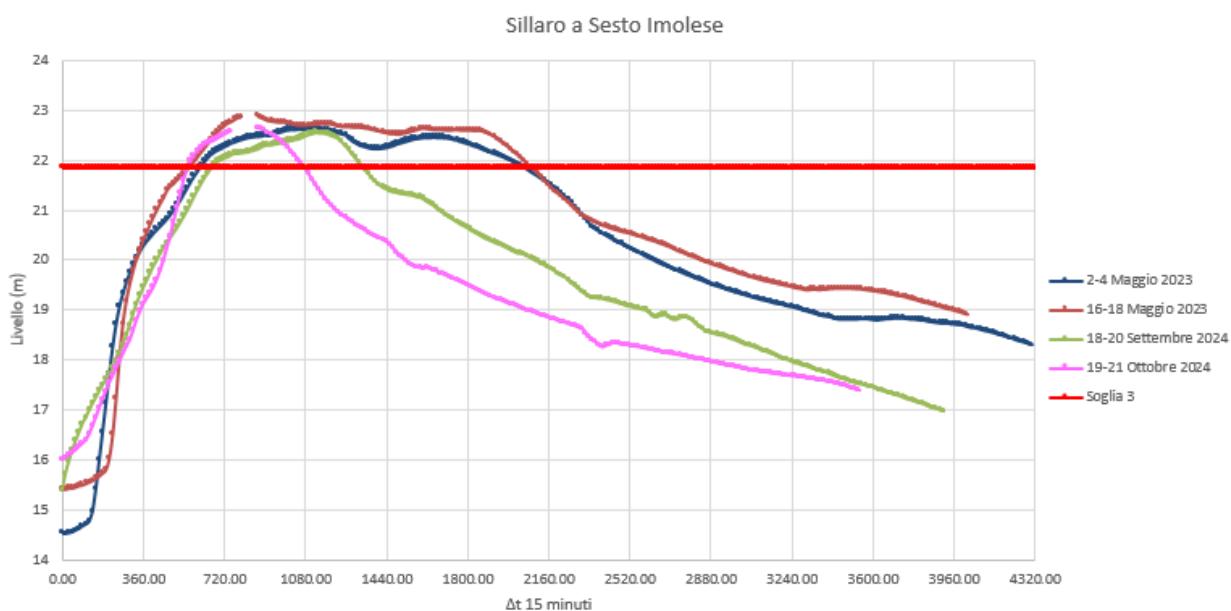


Fig. 14 Torrente Sillaro a Sesto Imolese: livelli idrometrici ARPAE degli eventi 2023 e 2024

Si osservi in Fig. 15, per l'evento ottobre 2024, l'ottima corrispondenza tra i risultati del modello numerico e le aree inondate tra A14 e Sesto Imolese (fonte Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile).

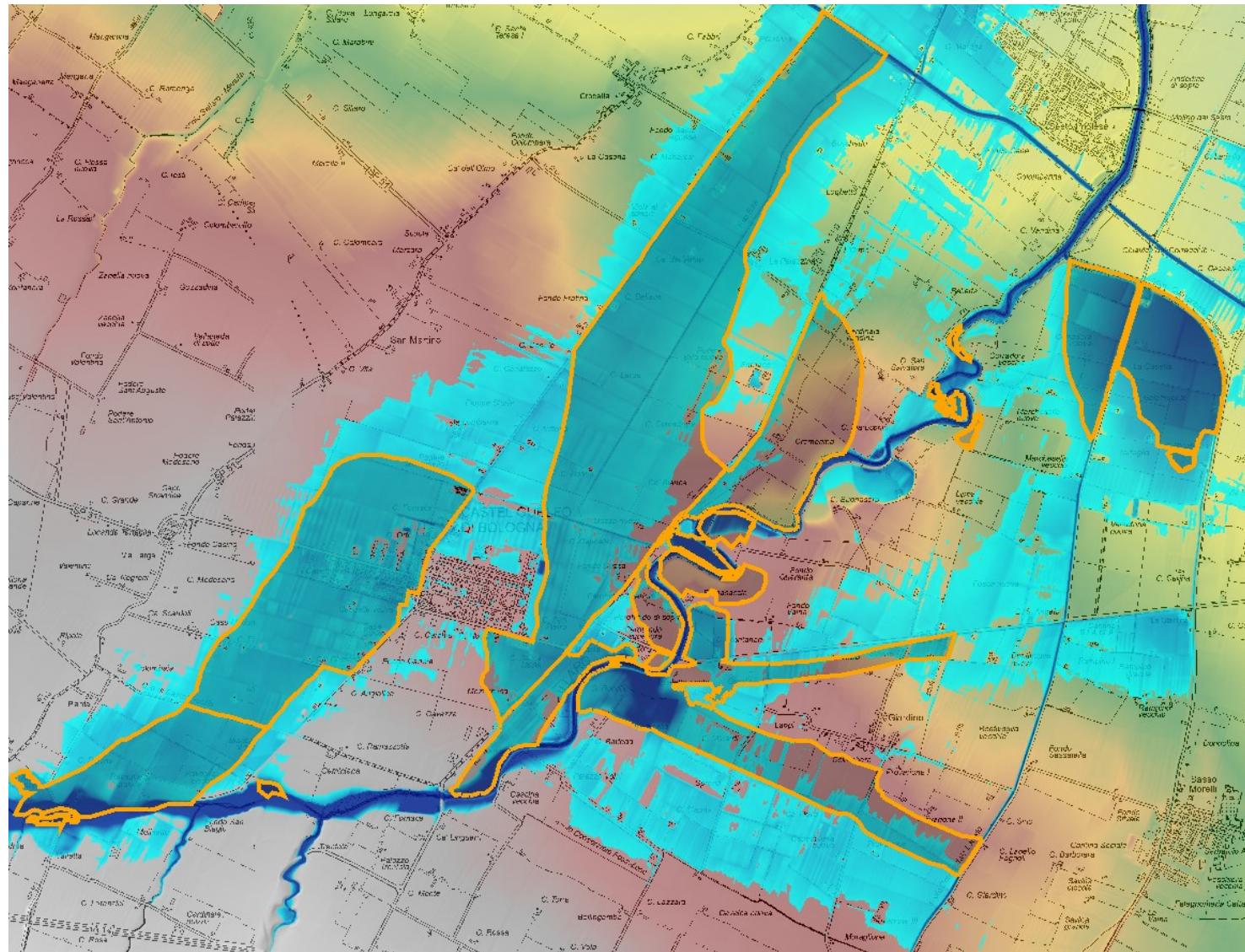


Fig. 15 Torrente Sillaro, evento ottobre 2024: aree inondate, tra A14 e Sesto Imolese, Agenzia Regionale Protezione Civile confrontate con evidenze modello numerico

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

- evento T50: perimetrazione P3 PGRA 2021 che riprende le *Aree ad alta probabilità di inondazione* (art.16 preesistente PAI, aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 50 anni);
- evento T200: perimetrazione P2 PGRA 2021.

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

7.3.1. Evento T50

In tutto il tratto appenninico, fino a località Marzocchina, il transito di eventi di piena anche severi non determina criticità per fenomeni di esondazione. Locali azioni erosive laterali, anche intense, sono sempre possibili ma la pressione antropica è modesta: localmente solo la viabilità pare poter essere coinvolta.

In corrispondenza di San Martino in Pedriolo le aree perifluivali prospicienti il corso d'acqua possono essere interessate dalle esondazioni che in sinistra minacciano gli insediamenti sportivi e gli edifici tra SP 21 e il corso d'acqua.

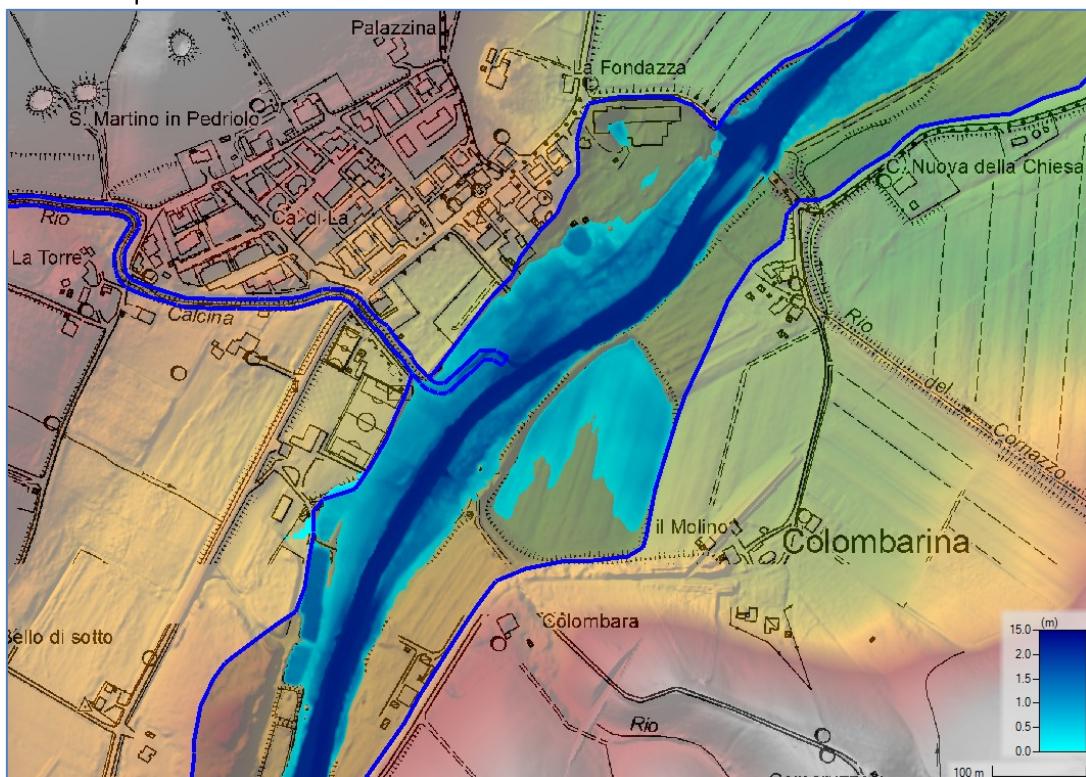


Fig. 16 Torrente Sillaro, T50: massimi tiranti presso S. Martino in Pedriolo (in blu P3 PGRA 2021)

Tra S. Martino e Castel San Pietro Terme, diverse attività estrattive hanno interessato i piani golenali. L'evento T50 transita nell'alveo a piene rive senza coinvolgere insediamenti o infrastrutture.

Nell'attraversamento di Castel San Pietro Terme la morfologia naturale aiuta il contenimento dei livelli che confermano nella sostanza la perimetrazione P3 PGRA 2021 (cfr. Fig. 17).

Solo a monte del ponte della via Emilia, alcuni insediamenti sul terrazzo basso, prospiciente il corso d'acqua, possono essere coinvolti.

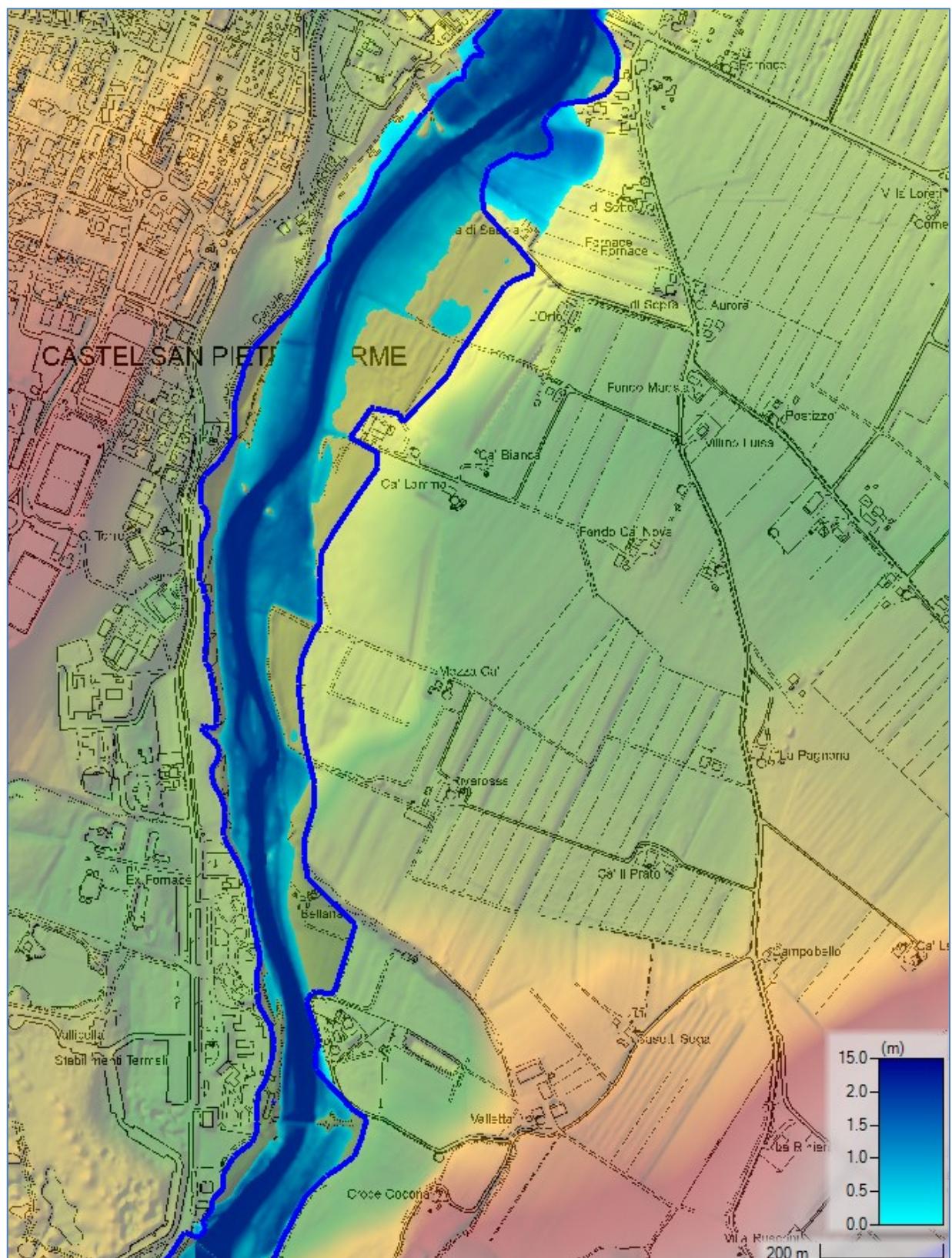


Fig. 17 Torrente Sillaro, T50: massimi tiranti presso Castel San Pietro Terme (in blu P3 PGRA 2021)

Tra l'attraversamento della linea ferroviaria BO-AN e il ponte dell'A14 i piani goleinali del Sillaro sono stati interessati da attività estrattive più o meno recenti; tuttavia, la morfologia attuale limita gli effetti di laminazione (cfr. Fig. 18).

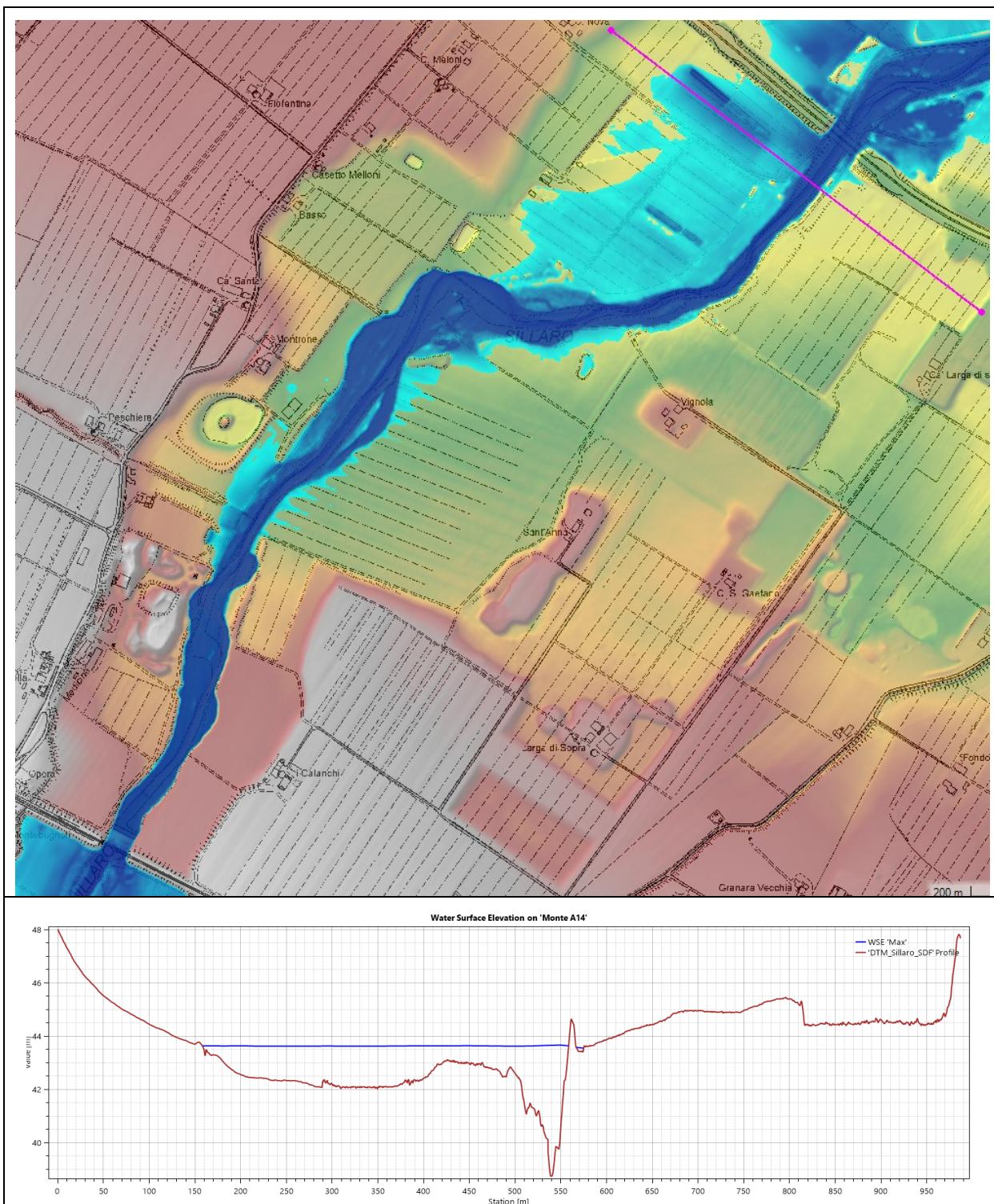


Fig. 18 Torrente Sillaro, T50: massimi tiranti tra FF SS BO-AN e autostrada A14

Immediatamente a valle dell'A14 il Sillaro piega verso est e riceve gli apporti di diversi affluenti, tra i quali il rio Sabbioso e il torrente Sellustra. In questo tratto, già per eventi frequenti, i livelli idrici raggiungono il piano campagna in sinistra determinando il coinvolgimento dell'abitato di Castel Guelfo di Bologna, come avvenuto sia nel 2023 che nel 2024 (cfr. Fig. 19).

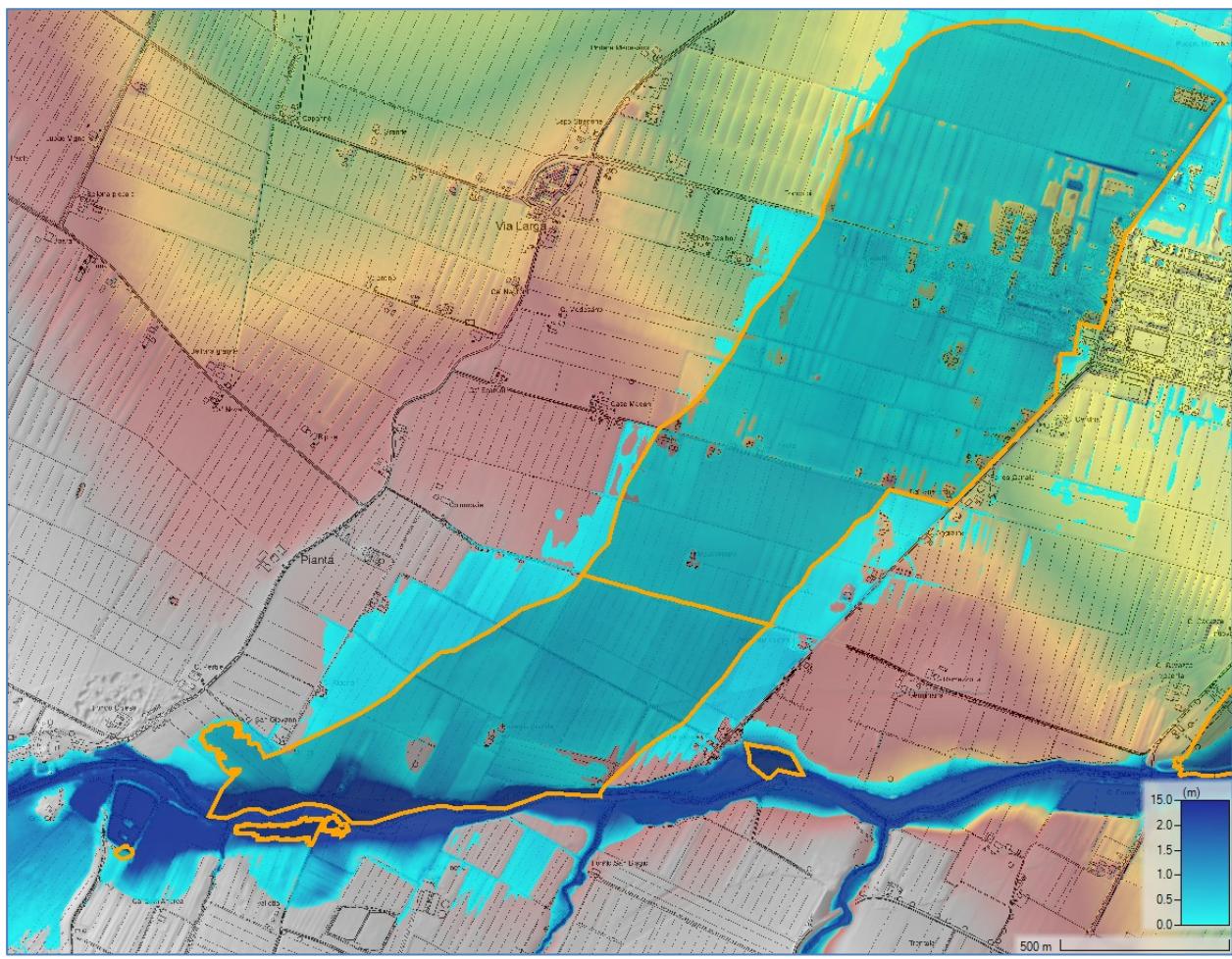


Fig. 19 Torrente Sillaro T50: esondazioni in sinistra tra A14 e confluenza Sellustra (in arancione evento ottobre 2024)

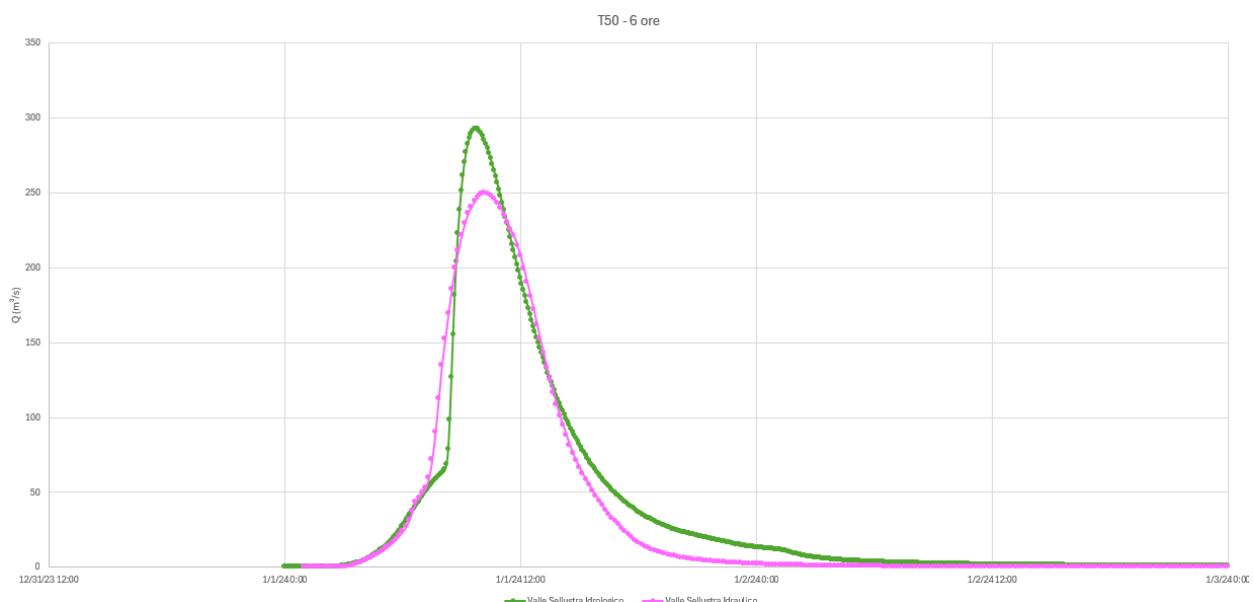


Fig. 20 Torrente Sillaro, T50 - 6 ore: confronto delle portate da modello idrologico e idraulico a valle della confluenza del Sellustra

Si osservi come la laminazione naturale in tutto il tratto tra Sassoleone e confluenza del torrente Sellustra (circa 32 km) sia complessivamente modesta, nonostante le esondazioni tra A14 e Sellustra (cfr. Fig. 20).

Ricevute le acque del Sellustra, tra il ponte della SP 30 e il ponte di strada Nuova (SP 51), arginature a ridosso dell'alveo attivo caratterizzano il Sillaro, tanto in destra quanto in sinistra. Già per eventi frequenti tale sistema difensivo è sormontato con rilevanti esondazioni (cfr. Fig. 21):

- in sinistra le acque interessano il concentrato di Castel Guelfo di Bologna e procedono poi verso valle fino a Sesto Imolese;
- in destra raggiungono lo Scolo Ladello, interessando la frazione di Giardino e il sedime della SP 51.

Tra il ponte di strada Nuova (SP 51) e la confluenza del Correcchio, nuove esondazioni si riscontrano in particolare in destra (località Corradora) dove raggiungono le arginature dello scolo consortile, come accaduto negli eventi 2023 e 2024, e coinvolgono anche areali, prevalentemente agricoli, più a nord verso Massa Lombarda e Conselice.

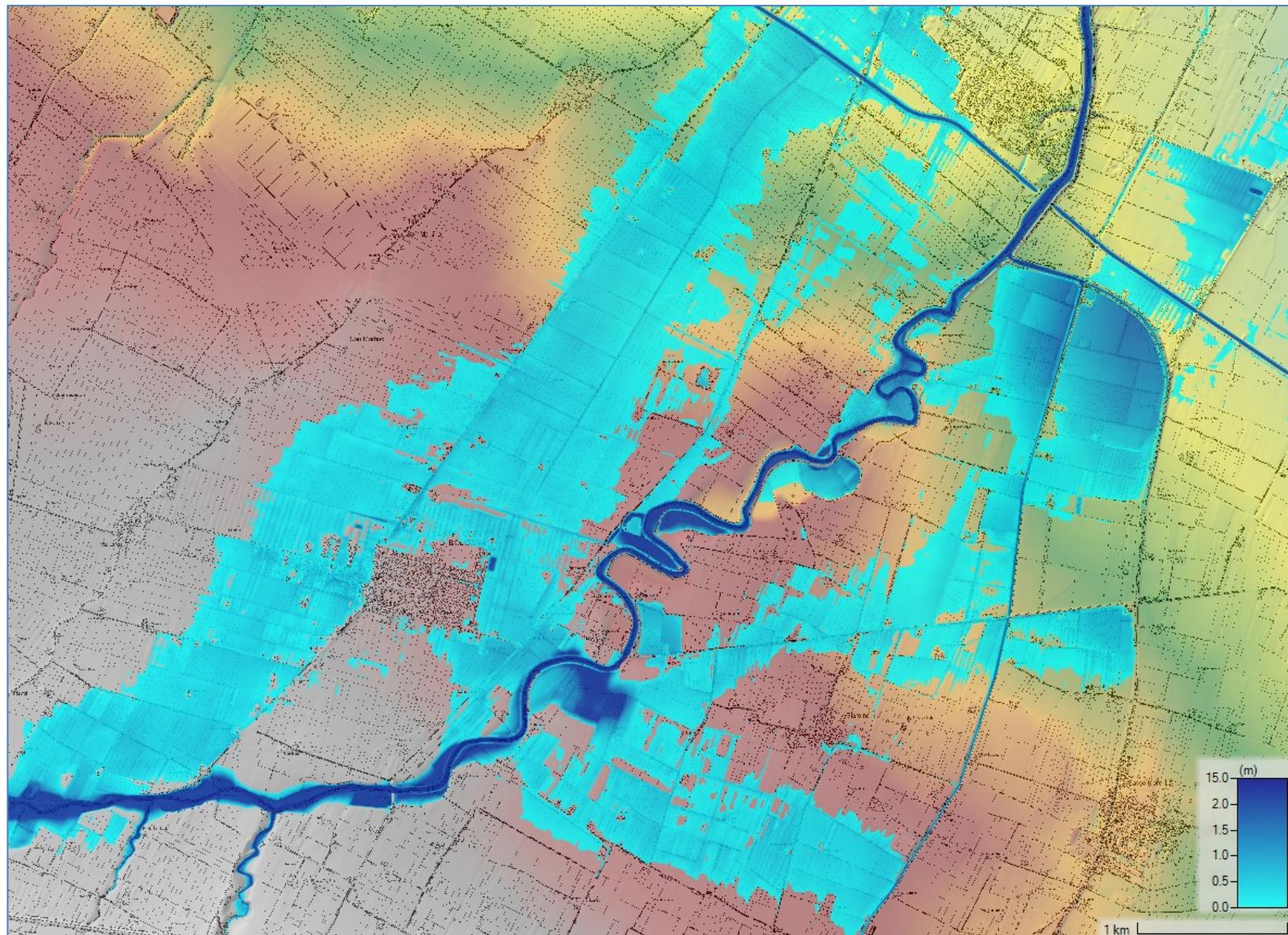


Fig. 21 Torrente Sillaro, T50 - 12 ore – Esondazioni tra Sellustra e confluenza Correcchio

A partire da Sesto Imolese, in ragione delle rilevanti esondazioni di monte, l'evento T50 procede verso il Reno contenuto dal sistema difensivo, ad eccezione del tratto a valle del ponte di Portonovo dove locali sormonti in sinistra finiscono per coinvolgere l'abitato.

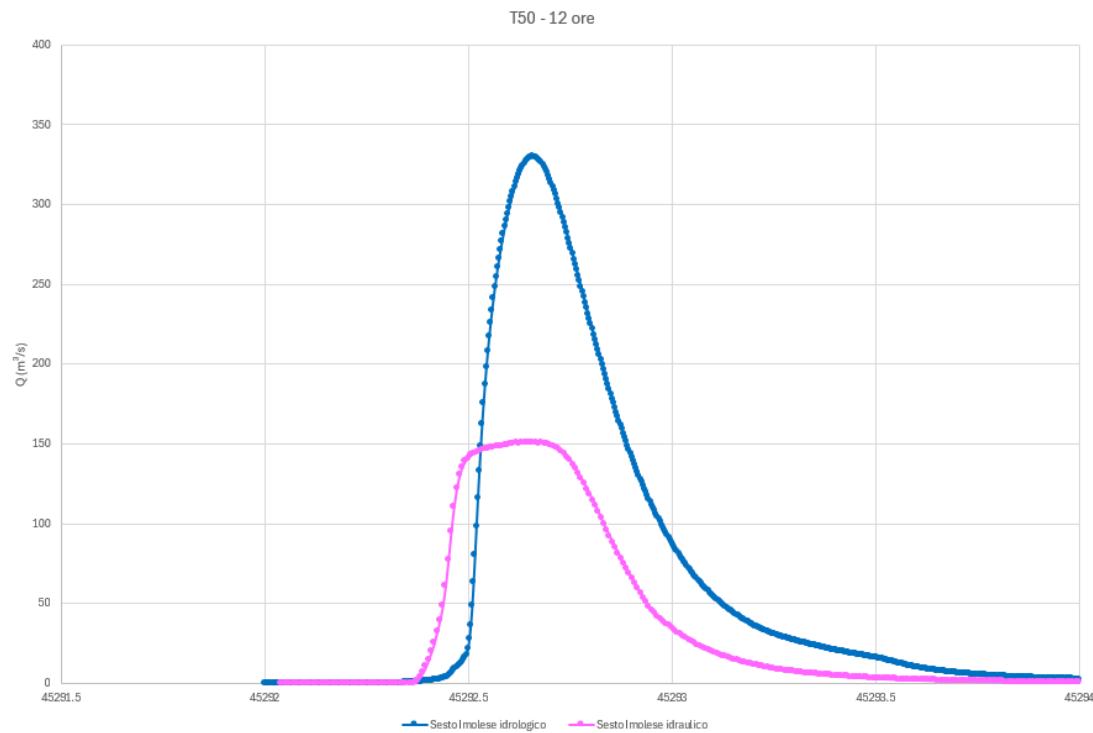


Fig. 22 Torrente Sillaro, T50 - 12 ore – Confronto delle portate da modello idrologico e idraulico a Sesto Imolese

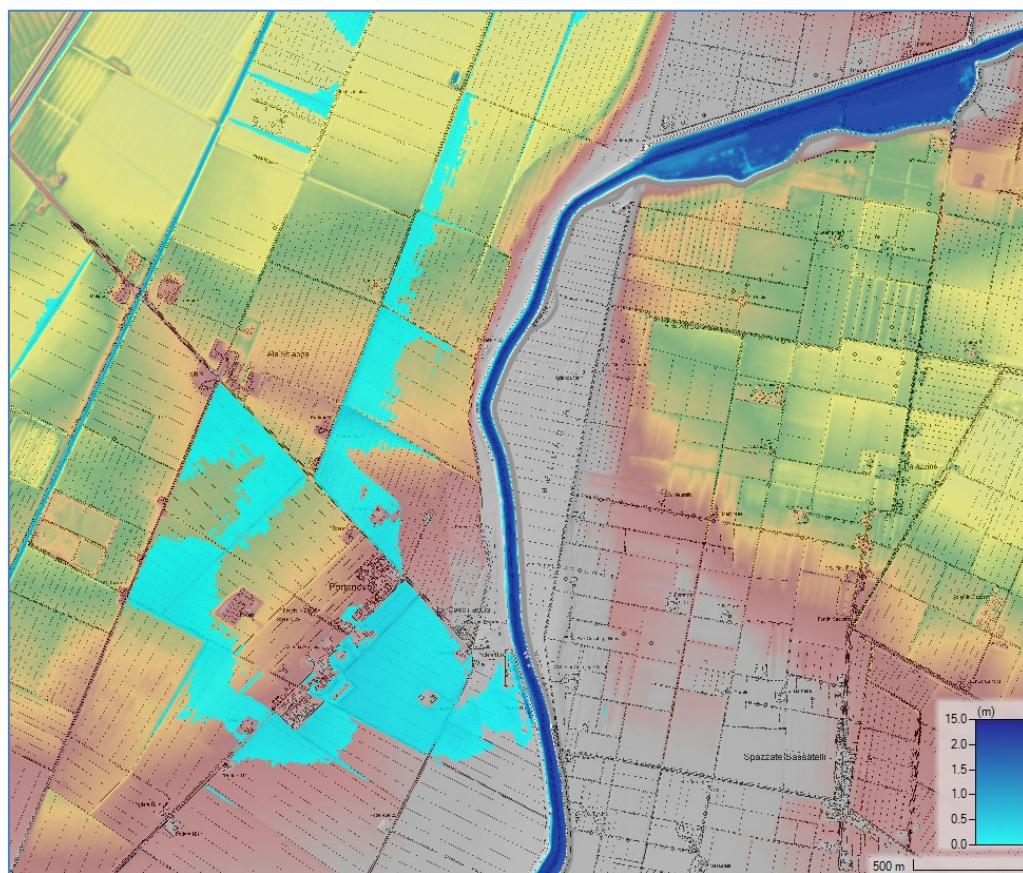


Fig. 23 Torrente Sillaro, T50 - 12 ore – Esondazioni presso Portonovo

Il confronto tra gli idrogrammi a monte A14, Sesto Imolese e Portonovo evidenzia le esondazioni descritte (volumi dell'ordine di 360.000 m³ tra A14 e Sesto Imolese e di 120.000 m³ presso Portonovo); la portata nel tratto arginato è dell'ordine di 140-150 m³/s.

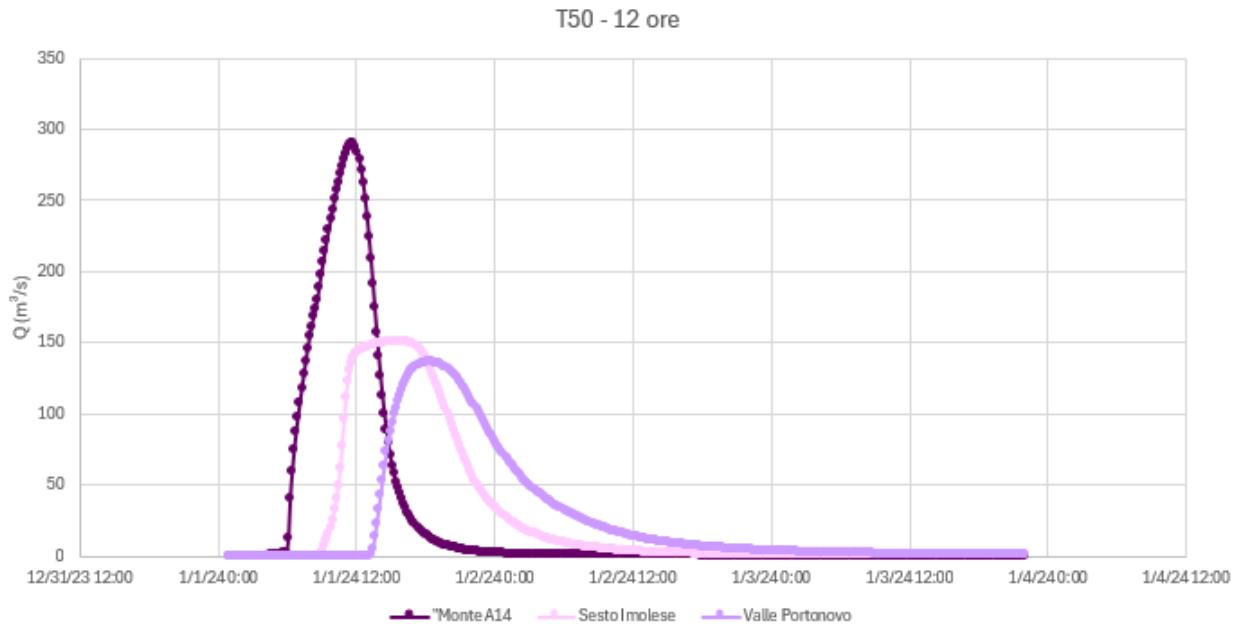


Fig. 24 Torrente Sillaro, T50 - 12 ore – idrogrammi a ponte A14, Sesto Imolese e Portonovo

7.3.2. Evento T200

In tutto il tratto appenninico, fino a Marzocchina, si confermano le dinamiche e le caratteristiche già evidenti per l'evento T50. Presso l'abitato, in destra, alcune cascine sul terrazzo basso possono essere interessate dalle esondazioni.

Procedendo verso valle, in corrispondenza del centro di San Martino in Pedriolo, il transito dell'evento T200 coinvolge la fascia goleale sia in destra che in sinistra: l'area degli impianti sportivi, alcuni edifici a monte dell'attraversamento e gli insediamenti in località Colombarina sono interessati (cfr. Fig. 25).

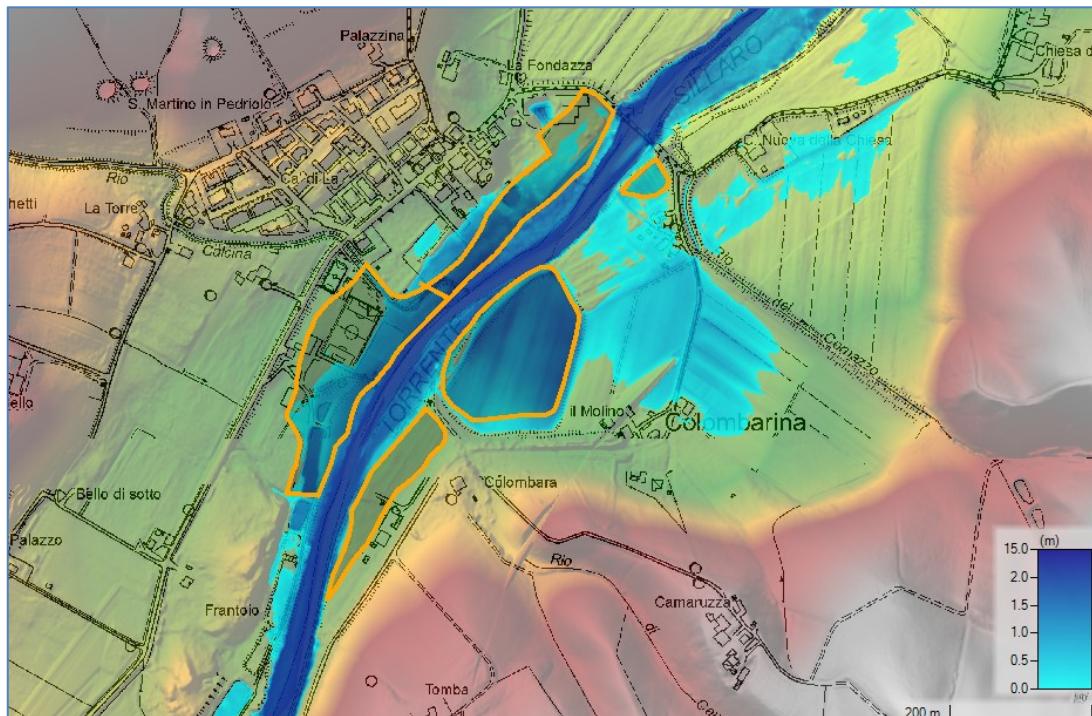


Fig. 25 Torrente Sillaro, T200: esondazioni presso San Martino in Pedriolo (in arancione evento settembre 2024)

All'altezza di Castel San Pietro, alcune criticità emergono sia in corrispondenza delle Terme che a monte della via Emilia, dove alcuni insediamenti sono interessati dalle esondazioni.

Tra l'A14 e Sesto Imolese l'evento T200 acuisce le dinamiche già chiare per l'evento T50 (cfr. Fig. 26):

- tra A14 e il ponte della SP 30, i livelli idrici raggiungono il piano campagna in sinistra determinando esondazioni ampie che raggiungono l'abitato di Castel Guelfo di Bologna;
- tra il ponte della SP 30 e il ponte di via Nuova (SP 51), in sinistra, il Sillaro sormonta i rilevati arginali esistenti; le acque, unite alle esondazioni di monte, finiscono per interessare un'ampia fascia tra via Molino e la SP 30 fino al CER e all'abitato di Sesto Imolese, per poi proseguire ulteriormente verso nord nelle aree agricole tra Idice e Sillaro;
- sempre a monte del ponte via Nuova (SP 51), anche in destra i rilevati arginali esistenti sono sormontati ma l'areale impattato è meno ampio, confinato almeno in parte dallo scolo Ladello;
- tra il ponte di via Nuova (SP 51) e confluenza Correcchio, nuove esondazioni interessano in particolare la destra tra lo scolo consortile e il corso d'acqua. Tali esondazioni si propagano poi verso nord-est oltre il CER impattando areali prevalentemente agricoli nel territorio di Massa Lombarda.

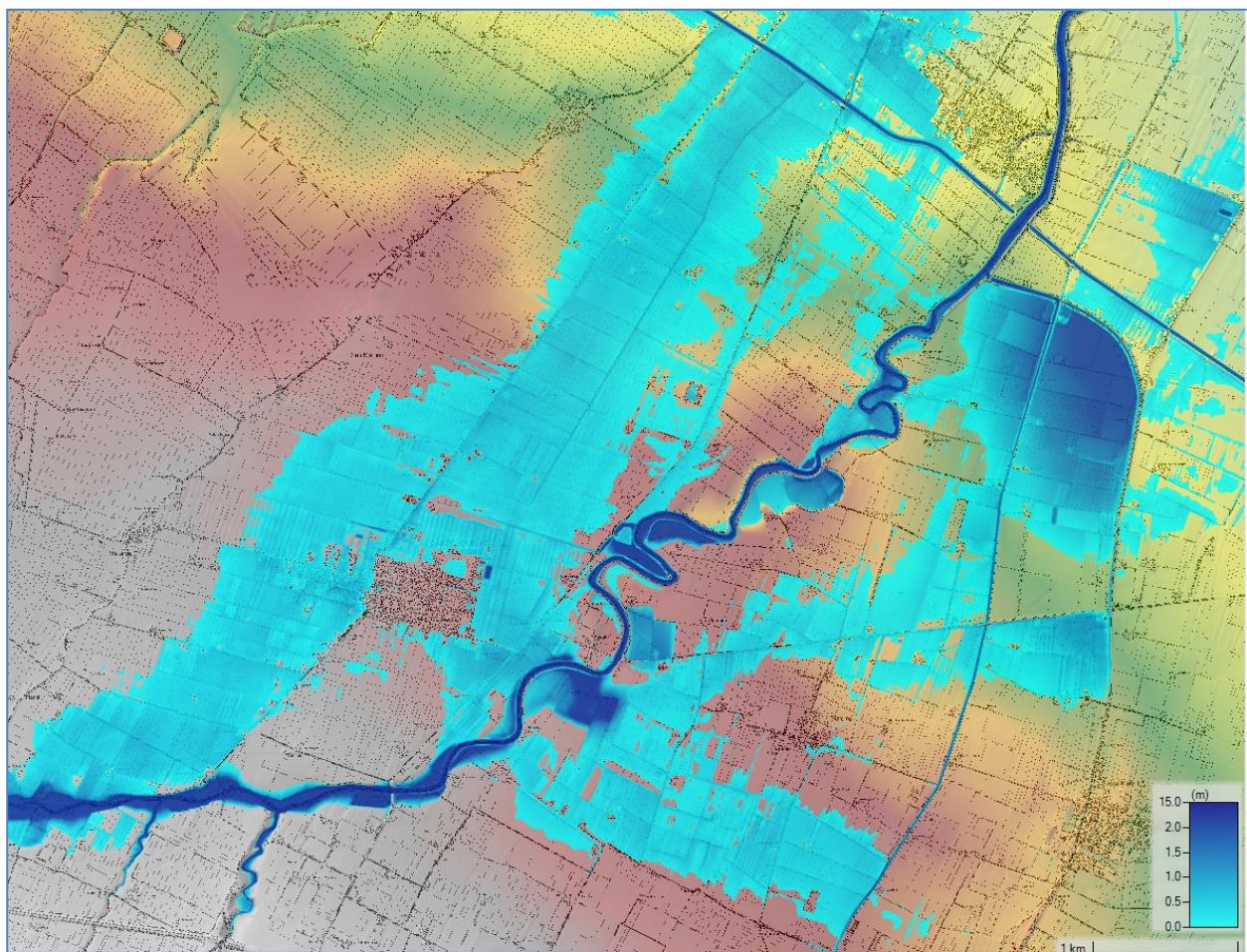


Fig. 26 Torrente Sillaro, T200 - 12 ore – Esondazioni tra Sellustra e confluenza Correcchio

Anche l'evento T200, a partire da Sesto Imolese, defluisce contenuto dal sistema arginale esistente ad eccezione del tratto in corrispondenza di Portonovo, dove locali sormonti finiscono per determinare il coinvolgimento dell'abitato.

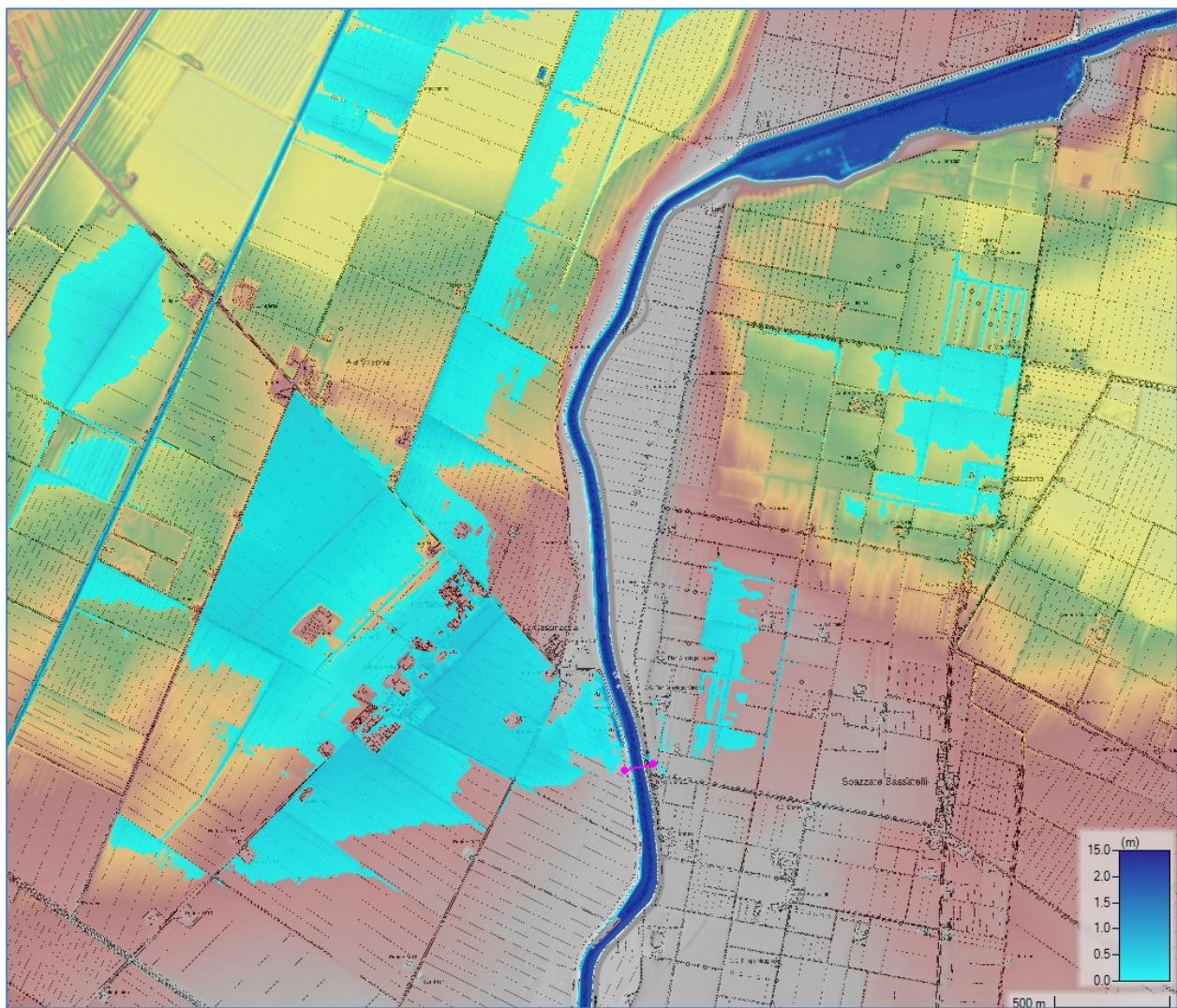


Fig. 27 Torrente Sillaro, T200 - 12 ore – Esondazioni presso Portonovo

Il confronto (cfr. Fig. 28) tra gli idrogrammi a monte A14, a Sesto Imolese e Portonovo evidenzia le esondazioni descritte (volumi dell'ordine di 1.860.000 m³ tra A14 e Sesto Imolese e di 320.000 m³ presso Portonovo); la portata nel tratto arginato è, analogamente a eventi più frequenti, dell'ordine di 140-150 m³/s.

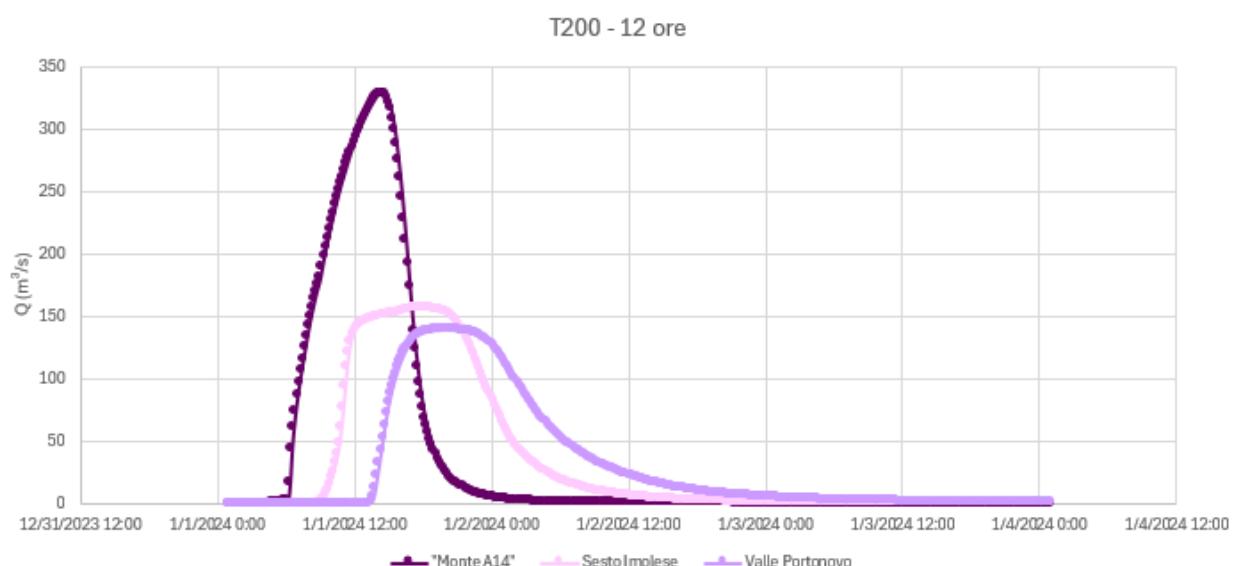


Fig. 28 Torrente Sillaro, T200 - 12 ore – idrogrammi a ponte A14, Sesto Imolese e Portonovo

Si osservi come anche il confronto tra idrogramma idrologico e idraulico a Sesto Imolese evidenzi la rilevanza dei volumi di esondazione a valle dell'A14.

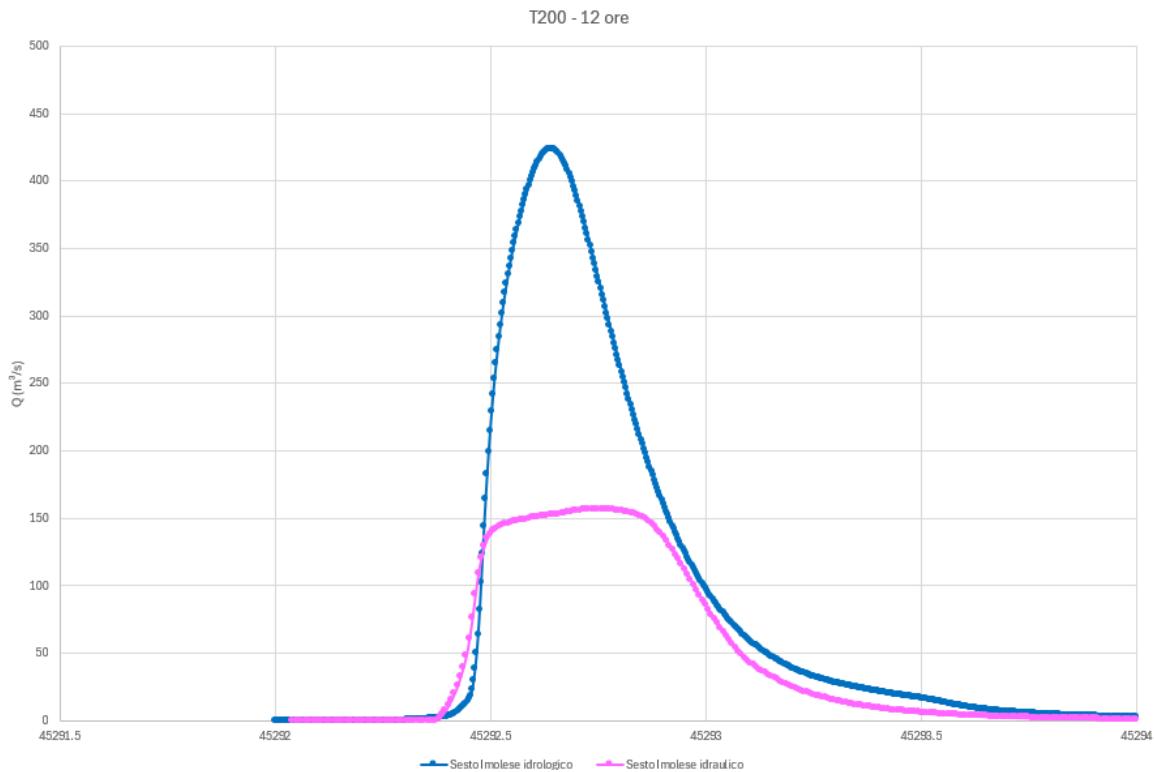


Fig. 29 Torrente Sillaro, T200 - 12 ore – confronto delle portate da modello idrologico e idraulico a Sesto Imolese

7.3.3. Evento T500

Il transito dell'evento T500, tra Sassoleone e Castel San Pietro Terme, sollecita l'intero ambito fluviale con dinamiche e areali interessati del tutto analoghi all'evento duecentennale.

A Castel San Pietro, in sinistra, l'areale delle Terme è impattato in modo più gravoso rispetto all'evento T200; anche a monte della via Emilia, in sinistra, la porzione di abitato ad ovest di via Oriani, morfologicamente più deppressa rispetto al nucleo storico del paese, è interessata dalle esondazioni.

Tra l'attraversamento dell'A14 e la confluenza del Correcchio, le dinamiche di esondazione sono analoghe a quelle illustrate per eventi maggiormente frequenti. I volumi più severi dell'evento T500 favoriscono modesti incrementi dei tiranti idrici ma contribuiscono ad ampliare sensibilmente le aree di pianura impattate in particolare in sinistra, a valle di Sesto Imolese, tra Sillaro e Idice.

In Fig. 30 il confronto tra gli idrogrammi all'A14 e a Sesto Imolese evidenzia i rilevanti volumi di esondazione che caratterizzano questo tratto.

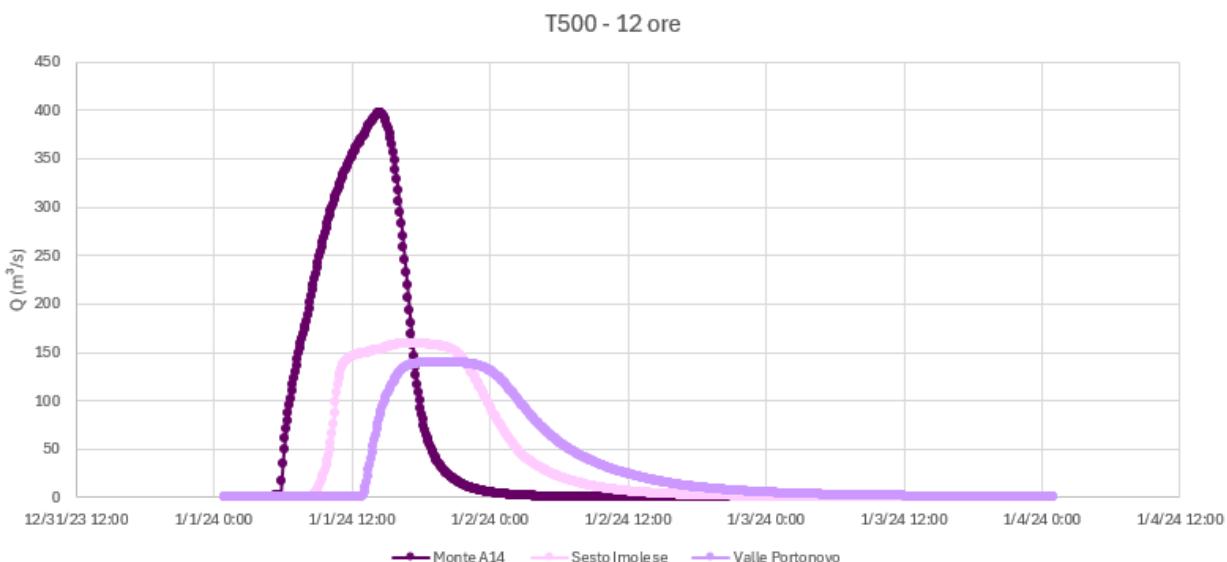


Fig. 30 Torrente Sillaro, T500 - 12 ore – idrogrammi a ponte A14, Sesto Imolese e Portonovo

7.4 Valutazioni dei franchi dei ponti rispetto alla piena di riferimento

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

Le classi di valutazione del franco idraulico sui ponti sono riportate in Tab. 7

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

Tab. 7 Classi di valutazione del franco idraulico sui ponti

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

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

In questo ambito, da Sassoleone a confluenza del canale Correcchio (presso Sesto Imolese), si è fatto riferimento all'evento T200 anni ed in particolare all'inviluppo delle superfici idriche ottenute per le diverse durate di pioggia simulate.

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

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

7.4.2. Tratto arginato di pianura

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

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

I franchi idraulici ottenuti sono riportati nelle seguenti tabelle.

Tab. 8 Torrente Sillaro da Sassoleone a confluenza canale Correcchio: attraversamenti e franchi idraulici T200

ID	ID Ponte	Comune	H200 (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SIIN0001	Ponte Sp21 via di Guadi	Monterenzio	278.16	intradosso piano	284.55	284.55	6.39	6.39	
SIIN0002	Ponte Sp21 via Sillaro (Sassonero)	Monterenzio	265.4	ad arco	271.92	263.23	6.52	-2.17	
SIIN0003	Ponte Sp21 via Sillaro	Monterenzio	201.15	intradosso piano	208.54	208.54	7.39	7.39	
SIIN0004	Ponte di San Clemente	Monterenzio-Castel San Pietro Terme	164.94	intradosso piano	167.84	167.84	2.90	2.90	
SIIN0005	Pass. Pedonale Marzocchina	Castel San Pietro Terme-Casalfiumanese	127.33	intradosso piano	128	128	0.67	0.67	
SIIN0006	Ponte San Martino in Pedriolo	Castel San Pietro Terme-Casalfiumanese	94.18	ad arco	99.42	96.78	5.24	2.60	
SIIN0007	Pass. Pedonale Castel S.Pietro	Castel San Pietro Terme	63.73	ad arco	64.51	64.13	0.78	0.40	
SIIN0008	Ponte SS9 Via Emilia	Castel San Pietro Terme	60.92	ad arco	64.61	61.3	3.69	0.38	
SIIN0009	Ponte FFSS BO-AN	Castel San Pietro Terme	55.19	ad arco	59.6	58.18	4.41	2.99	
SIIN0010	Ponte A14	Castel San Pietro Terme	43.57	intradosso piano	45.4	45.4	1.83	1.83	
SIIN0011	Ponte SP30(Fornace)	Imola	34.54	ad arco	35.76	33.08	1.22	-1.46	
SIIN0012	Ponte Bettola via Nuova	Imola	30.49	ad arco	30.4	30.16	-0.09	-0.33	Estradosso a 31.44 m s.m.

**Tab. 9 Torrente Sillaro da confluenza canale Correcchio a foce Reno: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata compatibile dei singoli tratti
(scenario Ks uso suolo)**

<i>ID</i>	<i>ID Ponte</i>	<i>Comune</i>	<i>Q comp. (m³/s)</i>	<i>H comp. (m s.m.)</i>	<i>Tipologia ponte</i>	<i>H chiave (m s.m.)</i>	<i>H appoggio min (m s.m.)</i>	<i>FR chiave (m)</i>	<i>FR appoggio (m)</i>	<i>Note</i>
SIIN0013	Ponte SP253 (Sesto Imolese)	Imola	180	22.11	intradosso piano	23.12	23.12	1.01	1.01	
SIIN0014	Ponte via del Tiglio	Imola	180	20.71	intradosso piano	21	21	0.29	0.29	
SIIN0015	Ponte di Portonovo via Bassa	Medicina	80	16.62	ad arco	18.48	17.8	1.86	1.18	
SIIN0016	Ponte della Cardinala SP80	Argenta-Conselice	80	13.16	intradosso piano	14.84	14.84	1.68	1.68	

7.5 Scenari di rotta arginale

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

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

Tab. 10 Localizzazione dei punti di rotta arginale simulati

ID Rotta	Località	Comune	Criterio di individuazione	Sponda
01	Sesto Imolese	Imola	Abitati – Sesto Imolese	SX
02	Sesto Imolese	Imola	Abitati	DX
03	Case Capanno	Imola	Abitati – Conselice	DX
04	Prato Cardinali	Imola	Rotta maggio 2023	SX
05	Chiavica del Merlo	Imola	Rotta maggio 2023	DX
06	Spazzate Sassatelli	Imola	Sormonto T50	DX
07	La Cascinaccia	Medicina	Sormonto T50	SX

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

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

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

8 Linee di assetto

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

8.1 L'assetto del torrente Sillaro

L'asta del torrente Sillaro, oggetto di delimitazione delle fasce fluviali e interessata dalla definizione delle linee di assetto, è compresa tra Sassoleone e confluenza Reno (63 km).

L'ambito in esame può essere suddiviso nei seguenti tratti:

- tra Sassoleone e Castel San Pietro Terme (presso il ponte della linea ferroviaria BO-AN), circa 26 km complessivi, il Sillaro si sviluppa in ambito collinare con un fondovalle caratterizzato da numerose attività estrattive pregresse; alcune ampie aree goleinali sono oggi disconnesse dalle dinamiche di piena;
- tra il ponte della linea ferroviaria BO-AN e la confluenza del canale Correcchio, presso Sesto Imolese, circa 15 km, il contesto morfologico muta: il corso d'acqua raggiunge la pianura, piega verso est e riceve gli apporti in destra del rio Sabbioso e del torrente Sellustra; l'alveo diviene via via maggiormente sinuoso fino a disegnare alcuni meandri presso Castel Guelfo di Bologna;
- a partire dalla confluenza del canale Correcchio, il Sillaro è arginato in modo continuo (argini seconda categoria) fino a confluenza Reno, circa 22 km.

8.1.1. Tratto collinare tra Sassoleone e Castel San Pietro Terme

Il tratto, in particolare da San Clemente verso valle, è stato caratterizzato da una progressiva evoluzione verso forme morfologiche maggiormente vincolate, rispetto all'alveo a canali intrecciati che caratterizzava storicamente il corso d'acqua; l'approfondimento del profilo di fondo alveo è evidente.

In questo contesto il Sillaro palesa oggi una rilevante capacità di portata a piene rive: al transito dell'evento di riferimento le criticità connesse al coinvolgimento di aree abitate sono limitate.

L'assetto proposto persegue, in generale, il recupero dell'assetto morfologico pregresso, favorendo interventi mirati alla riconnessione delle fasce goleinali con le dinamiche di piena e al miglioramento della capacità di laminazione naturale del corso d'acqua. Tali tipologie di interventi sono in particolare previste tra San Martino in Pedriolo e Pellizzara.

8.1.2. Tratto tra il ponte della linea ferroviaria BO-AN e la confluenza del canale Correcchio

Ad inizio tratto, a monte e a valle dell'attraversamento dell'A14, è prevista, in destra, la realizzazione di una cassa di laminazione fuori linea, priva di opere di regolazione in alveo e attuata con ribassamenti dei piani goleinali. Il volume utile complessivo è stimato in 3.200.000 m³. L'intervento può essere attuato anche realizzando due opere distinte, una a monte e una a valle dell'infrastruttura.

Il sistema di opere dovrà essere dimensionato per garantire a valle una portata al colmo dell'ordine di 180 m³/s al transito dell'evento di riferimento.

Il contenimento dei livelli idrici in corrispondenza dell'abitato di Castel Guelfo di Bologna è garantito da due nuovi sistemi arginali:

- un primo rilevato arginale si sviluppa, in direzione est da via Medesano, località Colombaia, lungo la viabilità poderale esistente, fino al rilevato della SP 30;
- un secondo sistema difensivo per il contenimento dei livelli idrici si sviluppa parallelo alla SP 30, da località Cascina Cavazza, verso nord per poi piegare a est lungo via Nuova e raccordarsi al rilevato di accesso al Ponte della Bettola.

Nel tratto tra il ponte della SP 30 e il ponte della Bettola si prevede la dismissione funzionale del sistema di rilevati esistenti a ridosso dell'alveo attivo.

Tra il ponte della Bettola e la confluenza del canale Correcchio sono previsti i seguenti interventi:

- in sinistra il sistema arginale del Sillaro sarà esteso verso monte a difesa dell'abitato di Sesto Imolese; in particolare un nuovo rilevato arginale si svilupperà dalla SP 30 presso località Cà Bianca, inizialmente a ridosso dell'alveo attivo per poi piegare in direzione nord-est fino a località Cascina San Salvatore, dove l'opera si raccorderà al rilevato esistente lungo via Chiesa di Sesto; tale rilevato sarà interessato dagli opportuni interventi di adeguamento e potenziamento fino all'inizio dell'attuale tratto arginato classificato;
- in destra, tra via Nuova e la confluenza del canale Correcchio, il contenimento dei livelli idrici sarà garantito dall'adeguamento e potenziamento dell'arginatura esistente destra dello scolo consortile. A monte di via Nuova è inoltre previsto sia realizzato un nuovo sistema arginale, lungo via Correcchio, fino a Sasso Morelli, funzionale alla protezione del concentrico.

Si osservi che l'abitato di Giardino, in destra, può essere interessato da esondazioni già per eventi frequenti; a difesa di tale abitato saranno possibili interventi pubblici di mitigazione locale del rischio per gli scenari di piena maggiormente frequenti, in ragione della consistenza degli elementi esposti presenti e nel rispetto del principio di non trasferire il rischio nelle aree adiacenti.

8.1.3. Tratto arginato classificato di pianura

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

Tab. 11 Portata limite attuale del tratto arginato del torrente Sillaro

ID	Tratto	Q compatibile (m ³ /s)
1	Sestolmoleseldrometro-ChiavicadelMerlo	180
2	ChiavicadelMerlo-PonteCardinala	80
3	PonteCardinala-Reno	180

La portata limite di progetto del tratto arginato del torrente Sillaro è definita in 180 m³/s (Tab. 12).

A tal fine sono previsti i seguenti interventi:

- nel tratto 2, tra la Chiavica del Merlo e il ponte della Cardinala, sia in destra che in sinistra si prevede l'adeguamento in quota e sagoma del sistema arginale esistente, regolarizzando locali depressioni e consolidando strutturalmente le arginature. Gli interventi saranno più rilevanti e diffusi tra località Sassatelli e case Cardinala, circa 2 km in corrispondenza del ponte di Portonovo, e garantiranno nell'intero tratto una portata compatibile di 180 m³/s.

Tab. 12 Portata limite attuale del tratto arginato del torrente Sillaro

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)	Q limite progetto (m ³ /s)
1	Sestolmoleseldrometro-ChiavicadelMerlo	180	180
2	ChiavicadelMerlo-PonteCardinala	80	180
3	PonteCardinala-Reno	180	180

8.2 Valutazioni su eventi di piena superiori a quello di riferimento

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

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

Tab. 13 Portate di piena per torrente Sillaro

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	T200 CC (m ³ /s)
Sillaro	12	Sassoleone	30,2	80	105	120	130
Sillaro	32	San Martino in Pedriolo	129,4	240	335	405	460
Sillaro	44	confl. Sellustra	200,7	325	440	520	595
Sillaro	53	confl. Correcchio	246,0	330	450	535	600

Si osservi che l'incremento idrologico del colmo a confluenza canale Correcchio è dell'ordine del 33%.

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

Nel tratto collinare il transito dell'evento citato non determina variazioni significative delle aree inondabili.

Il sistema di casse presso l'A14 esaurisce la propria capacità di laminazione; le maggiori portate veicolate verso valle determinano i seguenti incrementi di livello in corrispondenza del sistema difensivo:

- argine in sinistra a difesa di Castel Guelfo di Bologna: + 40 - 50 cm;
- argine in sinistra lungo SP 30: +50 - 70 cm;
- argine in sinistra a monte di Sesto Imolese: +10 - 20 cm
- argine in destra lungo il canale Correcchio: +150 cm

Si evidenzia come, in linea generale, sia comunque necessario che le opere arginali siano progettate e realizzate per evitare il collasso in caso di sormonto, in particolare il tratto in destra compreso tra via Nuova e confluenza canale Correcchio.

Gli effetti delle significative esondazioni in destra tra confluenza Sellustra e canale Correcchio si concretizzano in un forte abbattimento del colmo di piena verso valle che transita poi a Reno senza ulteriori rilevanti criticità.

8.3 Quadro degli interventi

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

Tab. 14 Localizzazione e modalità attuative dei limiti B di progetto

N.	Comune	Progressiva (km)	Sponda	Localizzazione	Tipologia intervento
1	Castel San Pietro Terme	31-33	SX-DX	Cava Monticino	Recupero morfologico
2	Castel San Pietro Terme/ Dozza	39-41	DX	Monte A14	Cassa di laminazione
3	Castel Guelfo BO /Dozza	42-44	SX	Confl. Sellustra	Contenimento livelli idrici
4	Castel Guelfo BO /Dozza	45-47	SX	Castel Guelfo BO	Contenimento livelli idrici
5	Imola	48-53	SX	Sesto Imolese	Contenimento livelli idrici
6	Imola	46-53	DX	Canale Correcchio	Contenimento livelli idrici

Il quadro degli interventi previsti è completato dalle seguenti opere:

- interventi di rizezionamento e di adeguamento del sistema arginale alla portata limite di progetto in destra e sinistra tra Chiavica del Merlo e ponte della Cardinale.

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

Infine, occorre predisporre il Programma generale di gestione dei sedimenti quale strumento conoscitivo, gestionale e di programmazione di interventi, relativi all'assetto morfologico del corso d'acqua, mediante il quale disciplinare le attività di manutenzione degli alvei, delle opere e di gestione dei sedimenti. Il riferimento per la definizione dell'impostazione metodologica del Programma generale è la Direttiva sedimenti del PAI Po. Tale programma dovrà tenere in considerazione gli esiti degli approfondimenti svolti nell'ambito dell'analisi morfologica.

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

In Tab. 15 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti tra Sassoleone e la confluenza del canale Correcchio per l'evento T200 nella configurazione definita dalle linee di assetto.

In Tab. 16 sono riportate le valutazioni sui franchi idraulici degli attraversamenti presenti nel tratto arginato di pianura rispetto alla portata limite di progetto.

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

Gli attraversamenti della Bettola (SIIN0012) e di Portonovo (SIIN0015) sono fortemente critici rispetto alle linee di assetto.

Palesano criticità rilevanti anche i ponti di via del Tiglio (SIIN0014) e della Cardinale (SIIN0016).

Tab. 15 Torrente Sillaro da Sassoleone a confluenza canale Correcchio: attraversamenti e franchi idraulici T200 rispetto alle linee di assetto

ID	ID Ponte	Comune	H200 (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SIIN0001	Ponte Sp21 via di Guadi	Monterenzio	278.16	intradosso piano	284.55	284.55	6.39	6.39	
SIIN0002	Ponte Sp21 via Sillaro (Sassonero)	Monterenzio	265.4	ad arco	271.92	263.23	6.52	-2.17	
SIIN0003	Ponte Sp21 via Sillaro	Monterenzio	201.15	intradosso piano	208.54	208.54	7.39	7.39	
SIIN0004	Ponte di San Clemente	Monterenzio-Castel San Pietro Terme	164.94	intradosso piano	167.84	167.84	2.90	2.90	
SIIN0005	Pass. Pedonale Marzocchina	Castel San Pietro Terme-Casalfiumanese	127.33	intradosso piano	128	128	0.67	0.67	
SIIN0006	Ponte San Martino in Pedriolo	Castel San Pietro Terme-Casalfiumanese	94.18	ad arco	99.42	96.78	5.24	2.60	
SIIN0007	Pass. Pedonale Castel S.Pietro	Castel San Pietro Terme	63.73	ad arco	64.51	64.13	0.78	0.40	
SIIN0008	Ponte SS9 Via Emilia	Castel San Pietro Terme	60.92	ad arco	64.61	61.3	3.69	0.38	
SIIN0009	Ponte FFSS BO-AN	Castel San Pietro Terme	55.19	ad arco	59.6	58.18	4.41	2.99	
SIIN0010	Ponte A14	Castel San Pietro Terme	43.22	intradosso piano	45.4	45.4	2.18	2.18	
SIIN0011	Ponte SP30(Fornace)	Imola	34.62	ad arco	35.76	33.08	1.14	-1.54	
SIIN0012	Ponte Bettola via Nuova	Imola	30.56	ad arco	30.4	30.16	-0.16	-0.40	Estradosso a 31.44 m.s.m.

Tab. 16 Torrente Sillaro da confluenza canale Correcchio a foce Reno: attraversamenti e franchi idraulici rispetto alla portata limite di progetto (scenario Ks uso suolo)

ID	ID Ponte	Comune	Q limite (m³/s)	H limite (m s.m.)	Tipologia ponte	H chiave (m s.m.)	H appoggio min (m s.m.)	FR chiave (m)	FR appoggio (m)	Note
SIIN0013	Ponte SP253 (Sesto Imolese)	Imola	180	22.11	intradosso piano	23.12	23.12	1.01	1.01	
SIIN0014	Ponte via del Tiglio	Imola	180	20.71	intradosso piano	21	21	0.29	0.29	
SIIN0015	Ponte di Portonovo via Bassa	Medicina	180	18.35	ad arco	18.48	17.8	0.13	-0.55	
SIIN0016	Ponte della Cardinala SP80	Argenta-Conselice	180	14.65	intradosso piano	14.84	14.84	0.19	0.19	

9 Portate di piena di riferimento

Nelle condizioni attuali, in Tab. 17 sono riportate le portate di piena al colmo di riferimento nelle sezioni di chiusura a monte del tratto arginato classificato. In **nero** le portate idrologiche, in **blu** quelle ottenute dalla modellazione idraulica bidimensionale. In entrambi i casi è indicato il valore massimo tra tutte le durate di pioggia simulate (3, 6, 9, 12, 18 e 24 ore).

Tab. 17 Torrente Sillaro stato attuale– Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)	T50 (m ³ /s)	T200 (m ³ /s)	T500 (m ³ /s)
Sillaro	12	Sassoleone	30,2	80	105	120			
Sillaro	32	San Martino in Pedriolo	129,4	240	335	405	240	335	405
Sillaro	44	confl. Sellustra	200,7	325	440	520	255	300	325
Sillaro	53	confl. Correcchio	246,0	330	450	535	155	160	160

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

Tab. 18 Torrente Sillaro linee di assetto – Portate di riferimento a monte del tratto arginato classificato (T200 durata 18 ore)

Corso d'acqua	Progr (km)	Sezione	Sup. (km ²)	T200 (m ³ /s)
Sillaro	44	confl. Sellustra	200,7	220
Sillaro	53	confl. Correcchio	246,0	160

Per il tratto arginato classificato del torrente Sillaro, nella tabella seguente sono infine riportate le portate limite nello stato attuale (pur con franchi limitati) e nello stato definito dalle linee di assetto.

Tab. 19 Portata limite attuale e di progetto del tratto arginato del torrente Sillaro

ID	Tratto	Q limite attuale (m ³ /s)	Q limite progetto (m ³ /s)
1	Sestolmoleseldrometro_ChiavicalMerlo	180	180
2	ChiavicalMerlo_PonteCardinala	80	180
3	PonteCardinala_Reno	180	180