

**AUTORITÀ DEI BACINI
REGIONALI ROMAGNOLI**

**VALUTAZIONE DELLE POSSIBILITÀ DI
LAMINAZIONE DELLE PIENE NEI CORSI
D'ACQUA PRINCIPALI DELLA ROMAGNA**

RELAZIONE

Prof. Ing. Armando Brath

Collaborazioni:
Ing. Giuliano Di Baldassarre
Ing. Emanuele Ercoli

Ottobre 2006

INDICE

1. INTRODUZIONE	2
2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'	5
3. IL FIUME SAVIO.....	8
4. IL FIUME RONCO	29
4.1. Modello di valle.....	29
4.2. Modello di monte	50
5. IL FIUME MONTONE.....	54
6. IL FIUME RABBI.....	67
7. ANALISI DEI RISULTATI.....	71
8. CONCLUSIONI.....	73

1. INTRODUZIONE

La relazione che segue ha lo scopo di illustrare il lavoro svolto nell'ambito dell'incarico conferito dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli allo scrivente, dal titolo "Approfondimento delle conoscenze per la valutazione delle possibilità di laminazione delle piene nei corsi d'acqua principali della Romagna". Oggetto dell'incarico sono i corsi d'acqua Ronco, Savio, Montone ed i loro affluenti principali.

I temi e le problematiche oggetto dell'incarico si inquadrano nell'ambito delle più generali attività di studio e ricerca finalizzate alla pianificazione di bacino e riguardano, in particolare, la definizione della officiosità dei corsi d'acqua citati nell'ottica di uno sfruttamento ottimale della naturale capacità di laminazione delle aste fluviali e l'individuazione della possibilità di potenziamento della laminazione naturale mediante casse di espansione opportunamente dimensionate.

Lo studio riprende alcuni dei risultati ottenuti nel corso delle indagini condotte nell'ambito dell'incarico per l'espletamento di "Studi idraulici propedeutici alla realizzazione di casse di espansione in alcuni dei corsi d'acqua principali della Romagna", conferito allo scrivente dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli; si rimanda a proposito alla relazione conclusiva di detto incarico, recante la data di ottobre 2005.

Rispetto allo studio precedente, nel corso delle attività previste nel presente incarico sono state condotte le seguenti attività:

1. Messa a punto di un nuovo modello idraulico del tratto d'asta del Fiume Rabbi compreso fra Fiumana e la confluenza nel Montone.
2. Estensione del modello del Fiume Ronco a monte della confluenza con il Torrente Voltre e conseguente aggiornamento della geometria del modello e delle condizioni al contorno.
3. Estensione del modello del Fiume Savio a monte di Borello, fino a Mercato Saraceno, e conseguente aggiornamento della geometria del modello e delle condizioni al contorno.
4. Aggiornamento complessivo dei modelli idraulici dei fiumi Savio, Ronco e Montone e simulazioni di moto vario degli eventi di progetto, a seguito delle attività di cui ai precedenti punti 1, 2 e 3.
5. Revisione complessiva del quadro delle aree di espansione naturale direttamente connesse al corso d'acqua

6. Revisione complessiva del quadro delle casse di espansione precedentemente predisposto, con inserimento di ulteriori casse di espansione di progetto e valutazione del loro effetto in termini di laminazione dell'onda di piena.
7. Individuazione di ulteriori aree di possibile localizzazione di interventi di laminazione / riqualificazione.

La messa a punto del modello del Fiume Rabbi e l'estensione dei modelli del Ronco e del Savio nei rispettivi tratti di monte (punti 1., 2. e 3.), precedentemente non contemplati negli studi condotti, ha richiesto un complesso ed articolato lavoro di analisi. Ciò anche per le difficoltà, già riscontrate in occasione dell'incarico precedente, legate al reperimento e all'organizzazione del database iniziale costituito dai modelli idraulici dei corsi d'acqua oggetto di studio, in possesso del Servizio Tecnico di Bacino e dell'Autorità di Bacino precedentemente allo svolgimento dell'incarico conferito al sottoscritto e messo a disposizione di quest'ultimo da parte dell'Amministrazione. Infatti, per quanto tale metodo di lavoro abbia consentito di semplificare le fasi di introduzione dei dati geometrici del Rabbi e del tratto di monte del Ronco, peraltro piuttosto lunghe e laboriose, la scelta di avvalersi di modelli preesistenti ha comportato nei fatti un sensibile rallentamento delle attività, essendo stato necessario dedicare molto tempo per cercare di comprendere, in assenza di materiale documentale esplicativo, le motivazioni di determinate scelte di schematizzazione adottate e valutare l'opportunità di mantenerle anche in questo studio.

Si vuole qui ricordare, come già riportato nella relazione "Studi idraulici propedeutici alla realizzazione di casse di espansione in alcuni dei corsi d'acqua principali della Romagna" (ottobre 2005), che l'impostazione dei modelli originali, per quanto attiene la schematizzazione del funzionamento idraulico dei fiumi romagnoli è parsa, nel corso dell'incarico precedente, non adatta alle finalità indicate nel Disciplinare di incarico. I modelli, infatti, nati, probabilmente per soddisfare esigenze di studio molto diverse rispetto alle attuali, presentavano per quasi tutto il corso arginato dei fiumi di interesse, strutture di sfioro laterale poste in corrispondenza delle sommità arginali, a volte connesse con aree di invaso, a volte, invece, libere di sfiorare i volumi eccedenti senza alcun vincolo di capacità ricevente, come se fossero collegate ad aree di espansione di superficie infinita. Le sezioni trasversali poste in corrispondenza di tali ultimi tratti risultavano, quindi, tagliate in corrispondenza delle sommità arginali.

Tale schematizzazione non è apparsa però adeguata per le finalità del presente studio. Dunque, assumendo quali dati di base il materiale messo a disposizione, si è reso necessario modificare radicalmente la geometria dei modelli di partenza in modo da renderla più rispondente alle esigenze di studio.

I modelli dei fiumi Savio, Ronco, Montone e Rabbi, messi a punto nel corso del seguente incarico possono costituire un valido supporto alle future necessità di progettazione e di studio, oltre a delinarsi come strumenti facilmente modificabili e affinabili sulla base di nuove acquisizioni topografiche, idrologiche e di nuovi interessi di studio.

2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA'

Le attività di studio si sono concentrate principalmente, secondo quanto convenuto con i Tecnici dell'Autorità di Bacino e come si è brevemente accennato nell'introduzione, sull'analisi idraulica dei quattro corsi d'acqua, Savio, Ronco, Montone e Rabbi nei tratti:

- da Mercato Saraceno alla foce, per il Savio;
- da Gualdo all'abitato di Coccolia, per il Ronco;
- dal centro abitato di Castrocaro a Forlì, per il Montone;
- da Fiumana alla confluenza nel Montone, per il Rabbi.

Per ciascuna asta indagata, le attività di lavoro sono state suddivise nelle seguenti fasi:

- analisi del modello di partenza e suo adattamento alle esigenze dello studio;
- esecuzione di simulazioni in moto vario e con geometria attuale, schematizzando le anse, i meandri e le aree di naturale espansione del corso d'acqua individuate in accordo con i Tecnici dell'Autorità di Bacino;
- ottimizzazione del funzionamento di alcune tra le aree di espansione naturale di cui al punto precedente a seguito della loro trasformazione in aree di laminazione controllata (mediante definizione di una prima ipotesi della quota di scavo, della curva di invaso e dei manufatti di alimentazione); le aree selezionate sono quelle ritenute più efficaci alla laminazione dell'onda di piena, più adatte da un punto di vista morfologico e realizzabili con maggiore facilità e minori investimenti.

Accanto allo sviluppo e al perfezionamento dei modelli idraulici dei tre corsi d'acqua nei tratti descritti, nella presente fase dello studio, si è cercato di individuare e di cartografare, in accordo con i tecnici dell'Amministrazione, anche eventuali ulteriori aree che appaiono idonee all'invaso dei volumi di piena. Queste, campite in colore arancio, sono aree di possibile localizzazione di ulteriori casse di espansione; esse state cartografate ma non inserite nei modelli idraulici, cosa che potrà essere fatta a valle di specifici studi volti ad accertare la loro effettiva fattibilità. Tale mappatura ha quindi lo scopo di fornire un quadro d'insieme delle ulteriori potenzialità di invaso dei tre corsi d'acqua, avendo dimostrato gli studi condotti come le aree ivi individuate non siano, purtroppo, sempre sufficienti a garantire una uniforme e soddisfacente riduzione del rischio idraulico per eventi di piena duecentennali.

A partire dalla prima individuazione svolta, sarà necessario, naturalmente, nelle fasi successive, svolgere ulteriori indagini, sopralluoghi, studi e ricerche allo scopo di verificare

l'effettiva possibilità di utilizzo di tali aree, la loro efficacia per la laminazione delle piene e, in generale, la fattibilità ambientale ed economica degli interventi.

Infine, soprattutto lungo le porzioni di asta poste a monte delle sezioni di partenza della modellazione, a seguito dei sopralluoghi eseguiti sono stati individuati tratti di corsi d'acqua in situazioni di significativo dissesto o sovralluvionamento, che sembrano meritevoli di interventi di riqualificazione fluviale, attraverso i quali sarà in alcuni casi ed in una certa misura possibile reperire ulteriori volumi di invaso. Questi tratti sono indicati con apposita simbologia nelle Tavole allegate alla presente relazione (ad es. Zona Fanante in Tavola C, in cui si hanno significativi fenomeni di sovralluvionamento d'alveo tali da giustificare interventi ad hoc).

Anche per quanto riguarda questi ultimi tratti, individuati come oggetto di possibili interventi di riqualificazione/laminazione, dovranno essere studi specifici ed adeguatamente mirati a chiarire il quadro degli interventi necessari e, in generale, la loro fattibilità economica e sostenibilità ambientale.

Il lavoro svolto, sia per quanto riguarda la modellazione delle aree di invaso naturali e controllate nelle aste di valle, sia per quanto concerne la perimetrazione di massima delle ulteriori aree di laminazione e l'individuazione dei tratti fluviali di possibile localizzazione degli interventi di riqualificazione/ laminazione è sintetizzato nelle tre Tavole allegate alla presente relazione:

- Tavola A: "Aree di espansione naturale e di laminazione controllata lungo l'asta del fiume Savio da Borello alla foce" (scala 1:25.000).
- Tavola B: "Aree di espansione naturale e di laminazione controllata e interventi di riqualificazione lungo le aste dei fiumi Ronco, Montone e Rabbi" (scala 1:25.000).
- Tavola C: "Aree di espansione laterale e di laminazione controllata interventi di riqualificazione lungo l'asta del fiume Savio a monte di Borello" (scala 1:25.000).

La prima Tavola (A) riporta la perimetrazione delle zone prospicienti il corso d'acqua di invaso naturale e delle aree definite di esondazione "*controllata*" (cioè vere e proprie casse di espansione, il cui funzionamento è regolato mediante opportuni manufatti di alimentazione, ottimizzati in base a specifiche leggi di invaso/scavo delle stesse) per il fiume Savio da

Borello alla foce. Entrambe tali due tipologie di aree (naturali e controllate) sono state opportunamente schematizzate nel modello idraulico, come si vedrà nel seguito.

Nella Tavola B si riportano, invece, le aree di invaso per i corsi d'acqua Ronco, Montone e Rabbi. Per tutti e tre i corsi d'acqua le aree di espansione naturali e quelle di espansione controllata sono state studiate mediante modellazione. Sono qui presenti anche ulteriori aree cartografate, precisamente le aree campite in colore arancio. Come detto, si tratta di aree che, per le loro caratteristiche morfologiche, si è ritenuto di individuare come possibili ulteriori zone disponibili per la realizzazione di aree di espansione controllata (casse di espansione); esse sono allo stato solo cartografate ma non schematizzate all'interno del modello. Sono pure presenti alcuni tratti di alveo, indicati con apposita grafia (frece rosse) per i quali, sulla base dei sopralluoghi eseguiti, sono state riscontrate situazioni tali da consigliare interventi di riqualificazione, che possono portare ad un qualche beneficio anche per ciò che riguarda la laminazione delle piene.

La Tavola C, infine, riporta le aree di possibile localizzazione di interventi lungo l'asta del fiume Savio a monte di Borello. E' presente un'area di laminazione controllata, il cui effetto è già preso in conto dal modello, e più aree di possibile localizzazione di interventi di laminazione controllata (campite in colore arancio); come già indicato, queste ultime sono allo stato solo cartografate ma non schematizzate all'interno del modello. Infine, sono stati individuati più tratti meritevoli di interventi di riqualificazione che potranno portare ulteriori benefici alla laminazione delle piene.

Si descrivono, dunque, di seguito, più in dettaglio, le elaborazioni compiute per ciascun corso d'acqua.

3. IL FIUME SAVIO

Tra i corsi d'acqua indagati, il fiume Savio presenta una certa complessità, sia a causa della sua particolare conformazione naturale, caratterizzata dal susseguirsi pressoché continuo di meandri e anse, sia in ragione della coesistenza, nello scenario di progetto, di aree di espansione denominate "naturali", direttamente connesse al corso d'acqua, e, come tali, rappresentate nel modello nella loro attuale geometria, e di zone potenzialmente sfruttabili come vere e proprie casse di espansione, nelle quali, quindi, verificare alcune ipotesi iniziali in merito alla profondità di scavo, altezza arginale, lunghezza e altezza degli sfiori di alimentazione. La complessità denunciata deriva anche dall'elevato numero di aree naturali (33 in tutto, di cui 5 nella porzione di asta a monte di Cesena e 28 in quella a valle) e di aree di progetto (13, di cui 7 a monte di Cesena e 6 a valle) considerate (Tavole A e C).

Il modello idraulico definitivo è costituito di tre parti distinte che rappresentano le tratte:

- Mercato Saraceno - Borello;
- Borello - Cesena;
- Cesena - mare.

Tali tre porzioni non sono state a loro volta unite allo scopo di evitare, stante l'estrema complessità del sistema, che il modello derivante risultasse di gestione difficile, necessitando già ogni simulazione di tempi di calcolo molto lunghi e tali da far risultare lo stesso uno strumento poco pratico. In tal modo, invece, è sufficiente di volta in volta introdurre quale condizione al contorno di monte l'onda in uscita dal modello che precede nella serie.

Alla riorganizzazione della geometria di input del fiume Savio inizialmente fornita allo scrivente dall'Amministrazione, ha fatto seguito, come indicato, una ulteriore revisione della struttura topografica, resasi possibile grazie alla disponibilità di un recentissimo rilievo Lidar che copre tutta l'asta del fiume Savio dalla foce a Cesena. Nel tratto tra Castiglione e Cesena, sono state, dunque, utilizzate due diverse tipologie di informazioni, tra loro complementari:

- il rilievo topografico classico per la parte in alveo;
- il rilievo laser per le porzioni emerse e per le aree prospicienti il corso d'acqua a campagna.

Per la restante parte dell'asta fluviale (da Cesena a Borello), nell'ottica di raggiungere una più spinta e precisa descrizione delle aree golenali, le informazioni topografiche esistenti sono

state integrate con quanto disponibile a livello di rilievi locali effettuati da altri Enti presenti sul territorio.

Tale lavoro di perfezionamento della descrizione del corso d'acqua è stato effettuato senza perdere di vista gli obiettivi in precedenza individuati in accordo con l'Amministrazione.

Tali obiettivi possono così sintetizzarsi:

- individuazione della capacità di laminazione naturale del corso d'acqua, possibile grazie alle numerose anse che si incontrano lungo il suo percorso;
- calcolo dell'ulteriore beneficio realizzabile trasformando alcuni dei meandri esistenti in vere e proprie casse di espansione, potenziandone così la capacità di invaso e l'efficienza della funzione di laminazione.

Tutto ciò con particolare attenzione al nodo critico del sistema, costituito da Castiglione di Cervia, ove il fiume Savio è costretto entro sponde piuttosto strette, con conseguente ridotta capacità di deflusso rispetto al tratto di monte e problemi di possibile esondazione.

La lunghezza complessiva dell'asta indagata ammonta a circa 71 km, mentre i singoli tratti sono di circa 18 km (Mercato Saraceno – Borello), 15 km (Borello – Cesena) e 37.4 km (Cesena – foce).

Come per gli altri corsi d'acqua indagati, descritti nel seguito, l'onda in ingresso nella sezione più a monte del fiume Savio (Mercato Saraceno) è stata ricostruita per similitudine idrologica a partire dall'onda del Fiume Savio a Borello, contenuta nello studio idrologico effettuato per l'Autorità di Bacino dal prof. Franchini. Ciò è stato effettuato assumendo l'ipotesi di invarianza del contributo unitario di piena, al variare dell'area del bacino. Tale ipotesi è stata adottata anche per la ricostruzione dell'apporto laterale del Torrente Borello.

Per l'attribuzione dei valori di scabrezza sono stati assunti i risultati degli studi precedenti condotti dall'Autorità dei Bacini Romagnoli sull'asta del fiume Savio nei quali la calibrazione è stata ottenuta utilizzando un idrogramma di piena osservato in corrispondenza della sezione 104, a Cesena, propagando tale idrogramma lungo l'asta e confrontando i risultati forniti dal modello con le stazioni di Matellica (sezione 55), Castiglione (sezione 38) e Savio (sezione 19) per le quali erano disponibili osservazioni.

Viste, tuttavia, le modifiche apportate al modello nel corso del presente studio, è parso opportuno effettuare qualche ulteriore verifica in merito, anche in virtù dell'acquisizione da parte del Servizio Tecnico di recenti misurazioni inerenti una piena di media entità (probabilmente assimilabile ad un evento caratterizzato da tempo di ritorno inferiore ai trenta anni) verificatesi nei giorni 10, 11 e 12 aprile 2005. Trattandosi di dati non completamente

validati e di misurazioni effettuate non in continuo, la taratura è stata condotta basandosi sul confronto dei tempi di percorrenza dell'asta da parte dell'onda di piena nel modello con i corrispondenti tempi osservati.

I risultati ottenuti sembrano confermare l'adeguatezza dei valori di scabrezza utilizzati, come risulta dalla Tabella 1 ove sono riportati i tempi di percorrenza ricostruiti con l'ausilio del modello per entrambi i tempi di ritorno indagati (30 e 200 anni). L'entità della piena in esame è, come già indicato, inferiore ad una piena trentennale: in ragione di ciò si può ritenere che i tempi di transito di tale onda siano maggiori di quelli della piena 30-ennale. Ciò costituisce ulteriore fattore tale da portare a ritenere l'accordo tra i tempi simulati e quelli osservati soddisfacente.

Tabella 1 – Confronto tra i tempi di percorrenza della piena di aprile 2005 misurati e ricostruiti con l'ausilio del modello idraulico del fiume Savio per i due tempi di ritorno considerati (30 e 200 anni)

	<u>Borello</u>	<u>Cesena</u>	<u>Castiglione</u>	<u>Lidio di Savio</u>
<u>Modello (T = 200 anni)</u>				
t (ore)	0	3.25	8.00	9.50
<u>Modello (T = 30 anni)</u>				
t (ore)	0	3.25	9.00	10.50
<u>Piena 2005</u>				
t (ore)	0	3.00	10.50	12.50

Nelle tavole A e C si riporta la rappresentazione planimetrica schematica delle aree di invaso introdotte nel modello idraulico del fiume Savio, sia naturali che di progetto (casce di espansione), nel tratto da Mercato Saraceno alla foce.

Il fiume Savio è stato in un primo momento verificato mediante modellazione idraulica per piena duecentennale e trentennale nella sua conformazione attuale (*configurazione naturale*): le aree golenali prospicienti l'alveo complessivamente individuate nel tratto tra Borello e Cesena, sono state, cioè, descritte mediante la definizione di specifiche curve di invaso dedotte dai dati topografici a disposizione e costruite in modo da rappresentarne il più fedelmente possibile la geometria attuale. Alcune di tali aree (vedi Tavole A e C), definite, nel seguito, anche come "direttamente connesse", sono state, nella *configurazione di progetto*,

opportunamente modificate, ipotizzando di poter effettuare un certo scavo, compatibile con la quota della falda freatica attualmente nota, con conseguente aumento dei volumi di invaso disponibili: le stesse sono state, inoltre, connesse al corso d'acqua mediante manufatti di alimentazione dimensionati in modo da ottimizzarne il funzionamento (*aree di espansione controllata*).

Nei grafici da Figura 1 a Figura 6 si riportano, da monte verso valle, le curve di invaso nelle due configurazioni “attuale” e di progetto”, calcolate per le aree sulle quali al momento si ritiene prioritario effettuare interventi di potenziamento della capacità di invaso.

Le prime due anse golenali, subito a valle di Borello (denominate C6 e C5) sono state schematizzate, nell'assetto “attuale”, vista la loro conformazione, non come vere e proprie aree di espansione ma come “*ineffective flow areas*” in modo tale che esse contribuiscano, con il loro volume di invaso, allo scambio di massa con le porzioni dell'alveo attivo (rientrando, quindi, nell'equazione di continuità) ma non in termini di moto. L'effetto di tale schematizzazione è quello di ritardare e attenuare il picco dell'onda di piena transitante. Per tale motivo, nella schematizzazione naturale, per esse non deve essere definita una specifica curva di invaso (Figura 1 e Figura 2).

Le due aree denominate C2 e C1, invece, poste immediatamente a valle del centro abitato di Cesena, hanno stessa curva di invaso (Figura 5 e Figura 6) sia nella configurazione attuale che di progetto, in quanto si ipotizza nullo lo scavo: per esse, dunque, è stata solo effettuata una ottimizzazione dei manufatti di alimentazione.

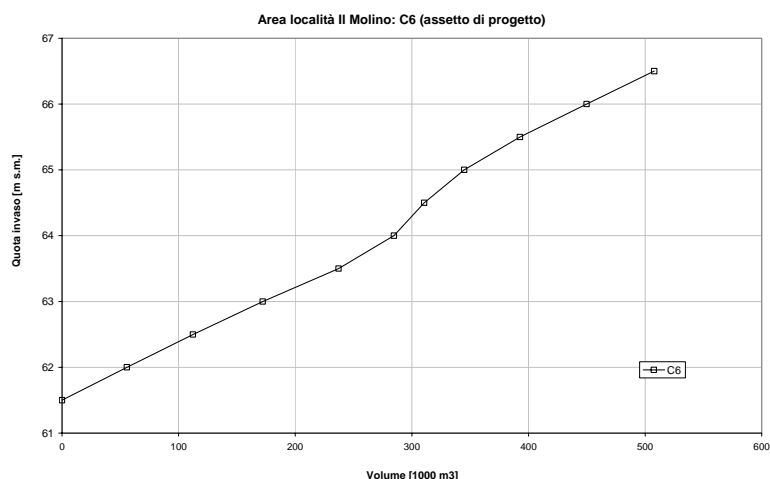


Figura 1 – Curva di invaso dell'area in località Il Molino (Borello), denominata C6, nella configurazione di progetto

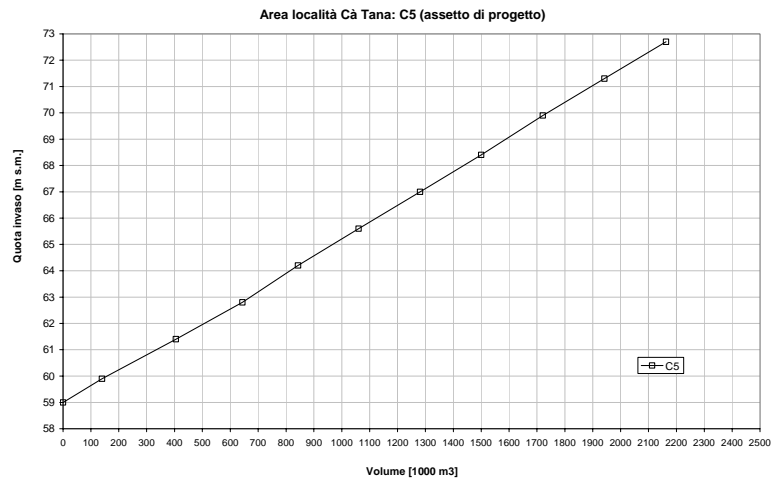


Figura 2 – Curva di invaso dell'area in località Ca' Tana (Borello), denominata C5, nella configurazione di progetto

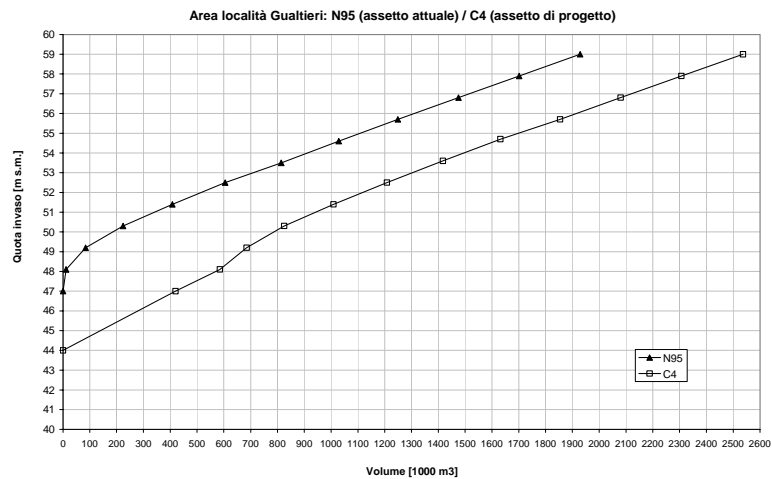


Figura 3 – Curva di invaso dell'area in località Gualtieri, denominata N95 nella configurazione relativa all'assetto attuale del corso d'acqua e C4 in quella di progetto

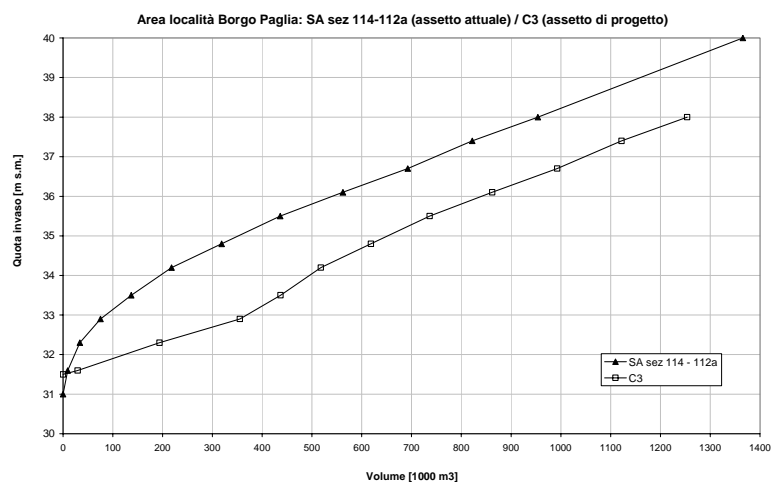


Figura 4 – Curva di invaso dell'area in località Borgo Paglia, denominata SA sez 114-112a nella configurazione relativa all'assetto attuale del corso d'acqua e C3 in quella di progetto

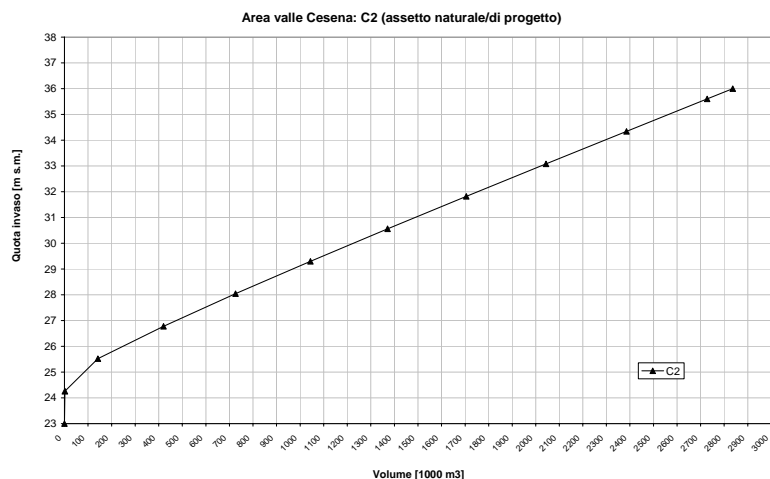


Figura 5 – Curva di invaso dell'area posta immediatamente a valle di Cesena, denominata C2, nelle configurazioni naturale e di progetto

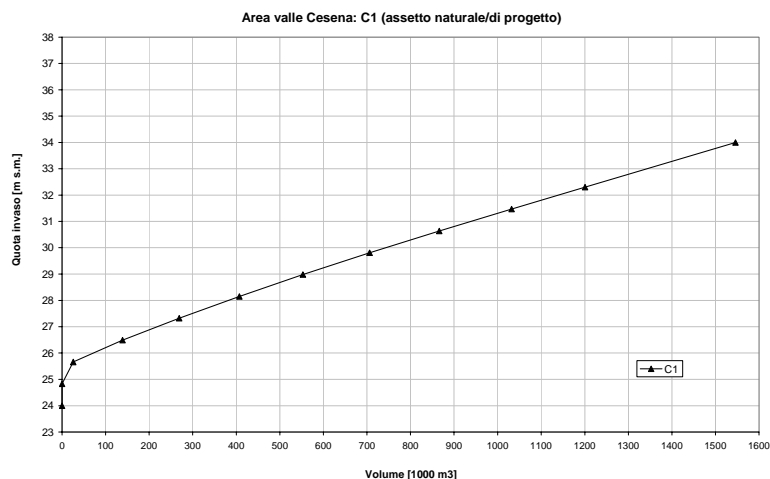


Figura 6 – Curva di invaso dell'area posta immediatamente a valle di Cesena, denominata C1 nelle configurazioni naturale e di progetto

La superficie e la quota del fondo della totalità delle aree studiate sono indicate per il tratto tra Mercato Saraceno e Cesena in Tabella 2 e per il tratto da Cesena alla foce in Tabella 3: in entrambe le tabelle, per le aree di espansione controllata, si riporta la quota di fondo dell'area nella sua attuale conformazione e in quella di progetto.

Tabella 2 – Caratteristiche geometriche delle aree di espansione in studio lungo l'asta del fiume Savio nel tratto a monte di Cesena

Area di invaso	Sup [ha]	Quota fondo min. area [m s.m.]		Tipologia
		Naturale	Progetto	
Borgo Stecchi	20.60	99.5	97.0	Area di espansione controllata
Casone	12.60	65.2	61.0	Area di espansione controllata
C6	11.66	64.8	61.5	Area di espansione controllata
C5	14.39	60.0	59.0	Area di espansione controllata
N95/C4	23.13	47.0	44.0	Area di espansione controllata
Trebbo	48.80	46.0	43.0	Area di espansione controllata
SA sez122	1.84	42.0		Area di espansione naturale
SA sez113a	14.07	22.6		Area di espansione naturale
SA sez112-110°	7.64	30.1		Area di espansione naturale
SA sez112-110b	8.00	30.8		Area di espansione naturale
SA sez 114-112a/C3	20.58	31.0	31.5	Area di espansione controllata
N94	9.89	29.2		Area di espansione naturale

Tabella 3 – Caratteristiche geometriche delle casse di espansione in studio lungo l'asta del fiume Savio nel tratto a valle di Cesena

Cassa	Sup [ha]	Quota fondo media area [m s.m.]		Tipologia
		Naturale	Progetto	
C2	26.86	23	23	Area di espansione controllata
C1	19.87	24	24	Area di espansione controllata
sez94-92	5.80	25.36		Area di espansione naturale
N93	11.25	22.9		Area di espansione naturale
N91	6.08	20.8		Area di espansione naturale
N90	8.53	22.2		Area di espansione naturale
N89	2.05	23.68		Area di espansione naturale
sez86-81b	2.42	24.0		Area di espansione naturale
sez85-sez84	11.85	23.36		Area di espansione naturale
sez86-81	7.3	21.58		Area di espansione naturale
sez82-sez81	8.4	21.18		Area di espansione naturale
N80	10.26	21.36		Area di espansione naturale
N79	6.24	21.73		Area di espansione naturale
Sez77	6.16	21.63		Area di espansione naturale
N76	16.05	21.04		Area di espansione naturale
N75	5.46	21.0		Area di espansione naturale
N74b	2.44	19.80		Area di espansione naturale
N74	5.06	20.67		Area di espansione naturale
N73	12.73	12.88		Area di espansione naturale
Sez70	6.90	18.4		Area di espansione naturale
N72	10.3	19.93		Area di espansione naturale
N65	7.22	20.5		Area di espansione naturale
Sez64	8.11	18.82		Area di espansione naturale
sez64-69	17.83	18.35		Area di espansione naturale
N58	11.02	14.57		Area di espansione naturale
sez64-59	18.66	18.35		Area di espansione naturale
sez53sx	3.26	12		Area di espansione naturale
sez45-43	5.00	12.66	10.5	Area di espansione controllata
sez43-42	5.35	12.1	10.0	Area di espansione controllata
sez42-sez41	7.03	11.72	9.7	Area di espansione controllata
sez40-sez39	1.98	10.87	9.2	Area di espansione controllata
sez10-sez8	29.9	0		Area di espansione naturale
sez6	8.18	0		Area di espansione naturale
sez4-sez2	8.85	1		Area di espansione naturale

Sulla base dei risultati forniti dal modello idraulico del fiume Savio nella sua conformazione attuale (più avanti descritti), gli invasi di progetto sono stati ottimizzati per l'evento di piena di riferimento avente tempo di ritorno pari a 200 anni, cercando, in particolare, di definire le caratteristiche geometriche principali delle soglie di alimentazione (quota e lunghezza) tali da garantire il massimo sfruttamento possibile dei volumi di invaso disponibili e una buona laminazione dell'onda di piena entrante.

I risultati ottenuti dopo molteplici tentativi sono sintetizzati nella Tabella 4, ove si riporta la quota dello sfioro delle vasche e la loro quota fondo media; la lunghezza dei manufatti varia, in generale, tra i 90 e i 100 metri. Naturalmente la configurazione dei manufatti di alimentazione indicata risulta idonea ed efficace solo nel caso si presupponga un funzionamento contemporaneo degli invasi di progetto; nel caso, dunque, nelle fasi successive delle attività, tale assetto venga in qualche modo modificato o si pensi di realizzare le casse secondo una certa scala temporale e di priorità, lo stesso dovrà essere necessariamente riverificato e probabilmente modificato.

Tabella 4 – Caratteristiche geometriche delle casse di espansione controllate lungo l'asta del fiume Savio in seguito ad ottimizzazione

Cassa	Sup [ha]	Quota fondo media area [m s.m.]	Quota sfioro ottimizzato [m s.m.]
Borgo Stecchi	20.60	97.0	105.3
Casone	12.60	61.0	63.5
C6	11.66	61.0	65.2
C5	14.39	59.0	61.8
C4	23.13	44.0	49.9
Trebbo	48.80	46.0	48.2
C3	20.58	31.5	37.8
C2	26.86	23.0	29.8
C1	19.87	24.0	29.5
sez45-43	5.00	10.5	15.2
sez43-42	5.35	10.0	14.8
sez42-sez41	7.03	9.7	14.8
Sez40-sez.39	1.98	9.2	14.5

Passando, invece, ad una analisi dei risultati ottenuti, si riportano, nelle Figure 7-8 le onde fornite dal modello idraulico nelle sezioni più significative dell'asta del fiume Savio: Mercato

Saraceno, Borello, Cesena (sez. 37436.3) e Castiglione di Cervia, per i tempi di ritorno di riferimento pari a 30 e 200 anni, nell'assetto attuale, mentre le figure 9-10 riportano gli stessi nello schema di progetto.

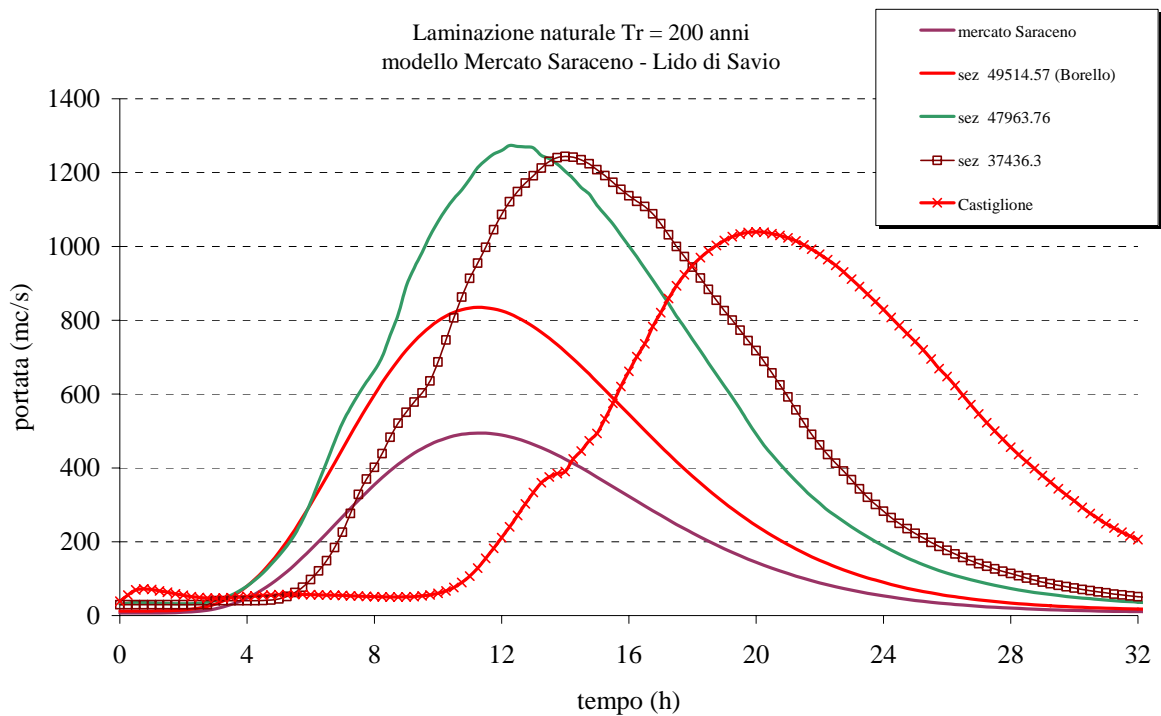


Figura 7 – Onde di piena in alcune sezioni significative dell'asta del fiume Savio per tempo di ritorno pari a 200 anni, con assetto del corso d'acqua naturale.

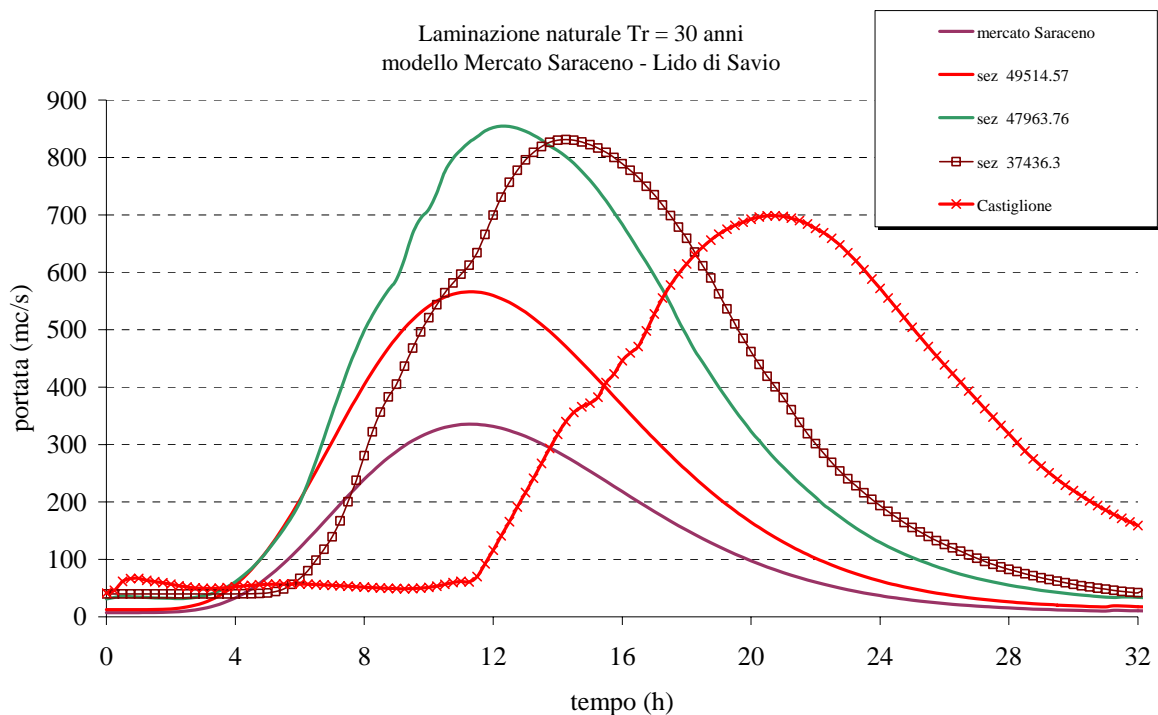


Figura 8 – Onde di piena in alcune sezioni significative dell'asta del fiume Savio, per tempo di ritorno pari a 30 anni, con assetto del corso d'acqua naturale.

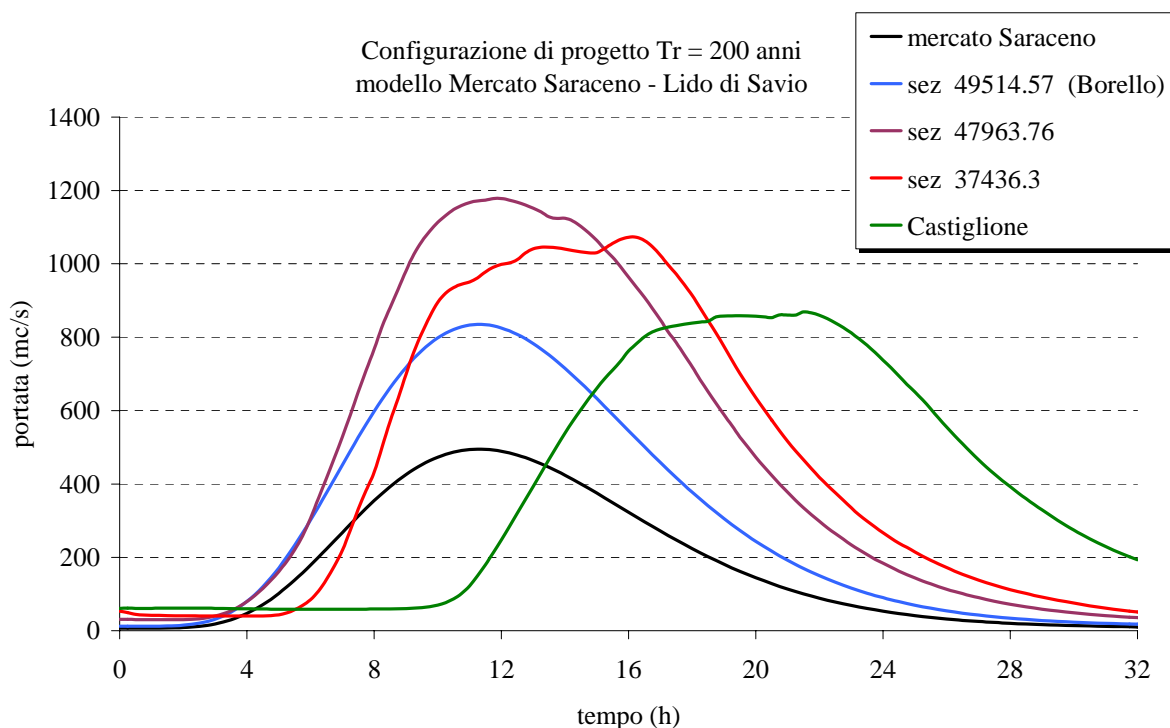


Figura 9 – Onde di piena in alcune sezioni significative dell'asta del fiume Savio, per tempo di ritorno pari a 200 anni, con il sistema di aree di espansione naturali e casse di laminazione di progetto.

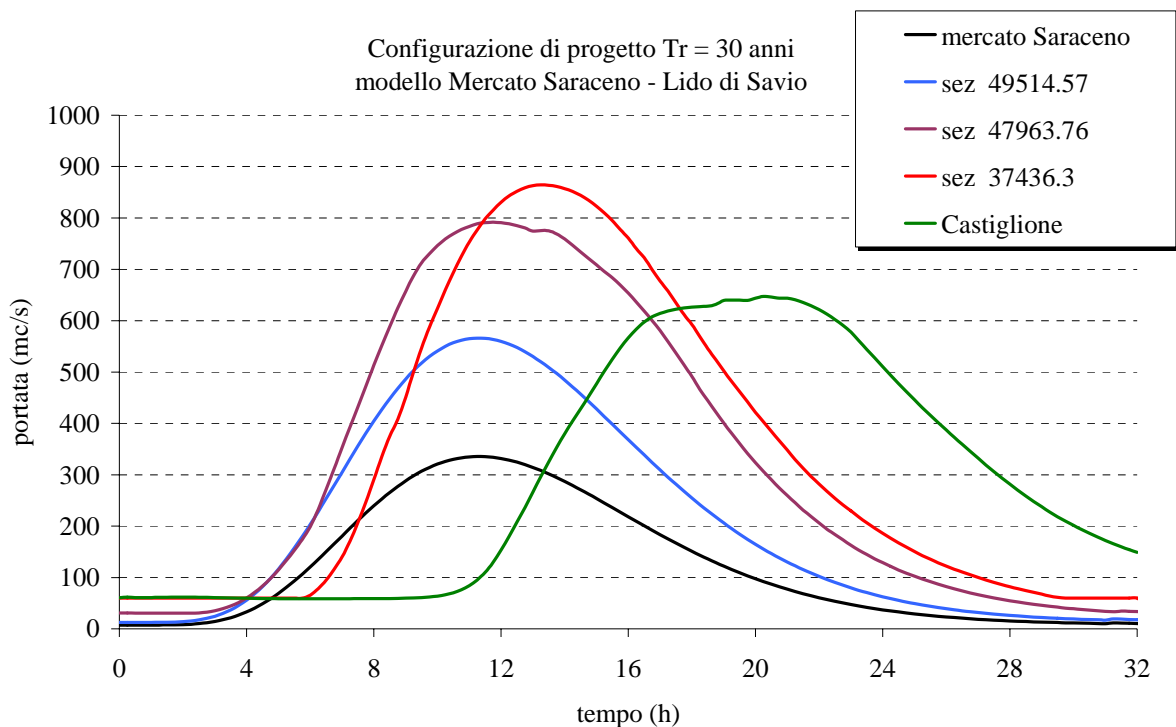


Figura 10 – Onde di piena in alcune sezioni significative dell’asta del fiume Savio, per tempo di ritorno pari a 30 anni, con il sistema di aree di espansioni naturali e casse di laminazione di progetto.

Si può notare che, nella schematizzazione attuale dell’asta del fiume Savio, le aree di spandimento naturale del corso d’acqua consentono una laminazione complessiva, all’altezza di Castiglione di Cervia, pari a circa 220 m³/sec per il tempo di ritorno di 200 anni (Figura 7) e di circa 190 m³/sec per l’evento di piena trentennale (Figura 8); nella configurazione di progetto, invece, per effetto dell’introduzione dei serbatoi artificiali, tale laminazione è valutata in circa 380 m³/sec per un evento di piena di 200 anni (Figura 9) mentre per l’evento trentennale (Figura 10) la laminazione rimane prossima a quella naturale, essendo stato il sistema di casse ottimizzato per l’evento duecentennale.

Nei grafici riportati dalla Figura 11 alla Figura 24 si riportano, al fine di mostrare il comportamento idraulico delle casse di espansione, gli idrogrammi di portata nelle sezioni immediatamente a monte e a valle delle aree di invaso di progetto, per tempo di ritorno pari 200 anni.

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa Borgo Stecchi 2
Tr = 200 anni

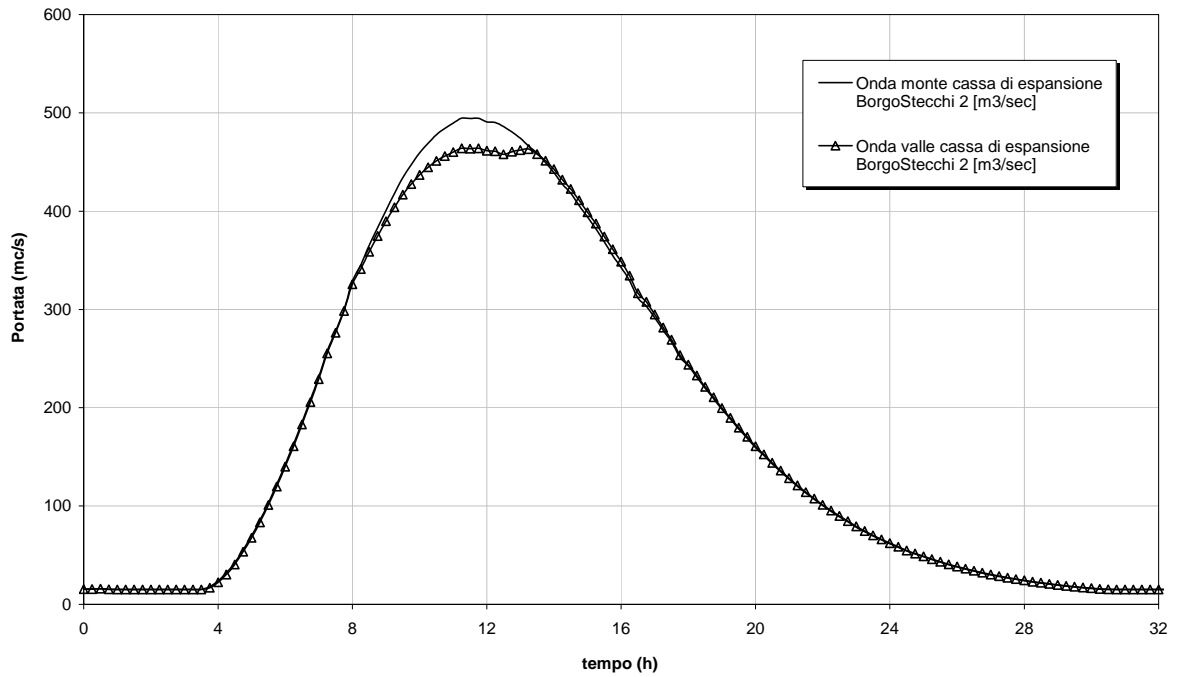


Figura 11 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa denominata Borgo Stecchi 2

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa Borgo Stecchi 1
Tr = 200 anni

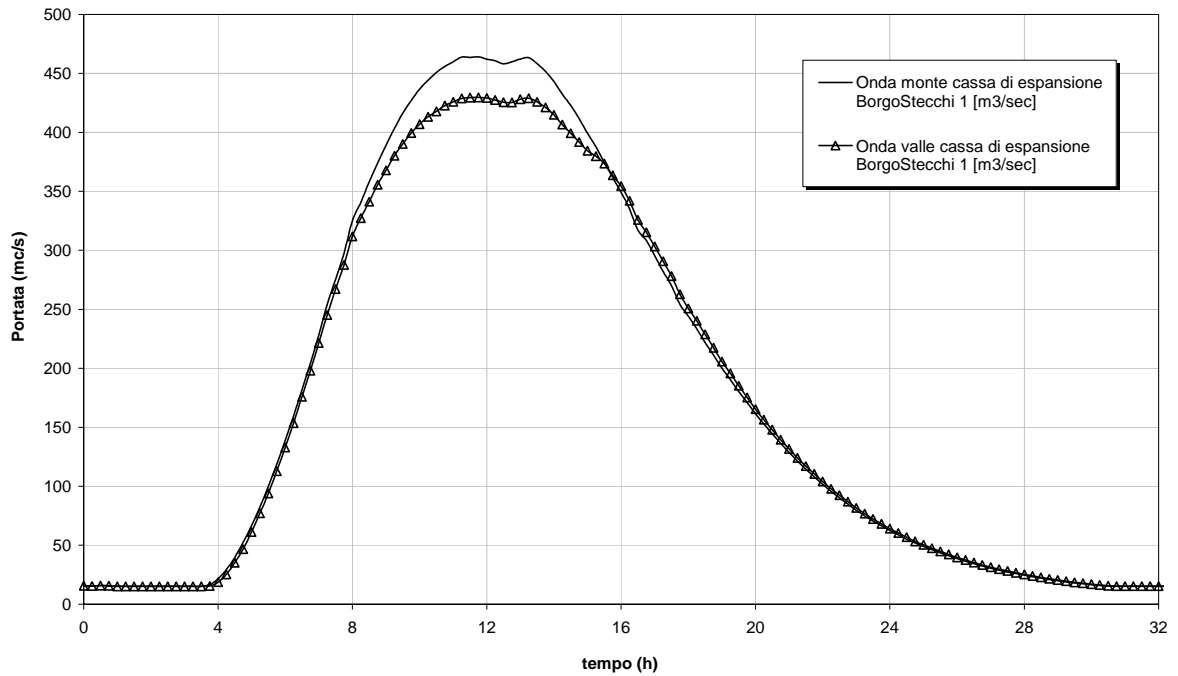


Figura 12 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa denominata Borgo Stecchi 1

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa Casone
Tr = 200 anni

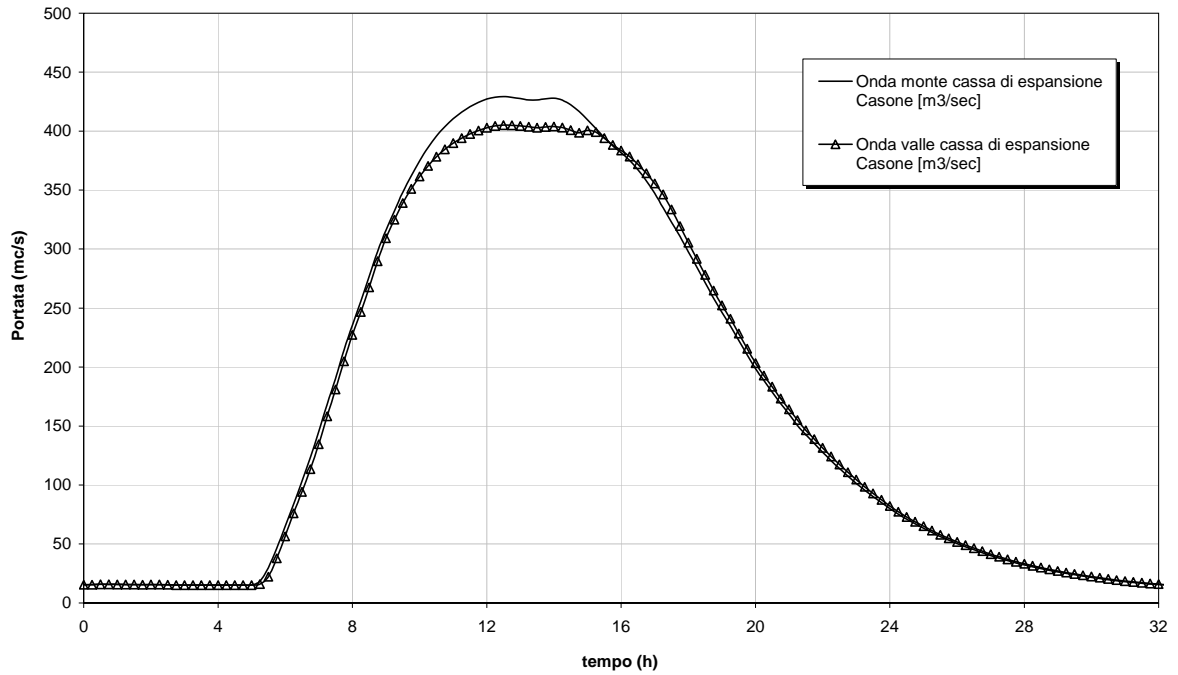


Figura 13 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa denominata Casone

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalle casse C6 e C5
Tr = 200 anni

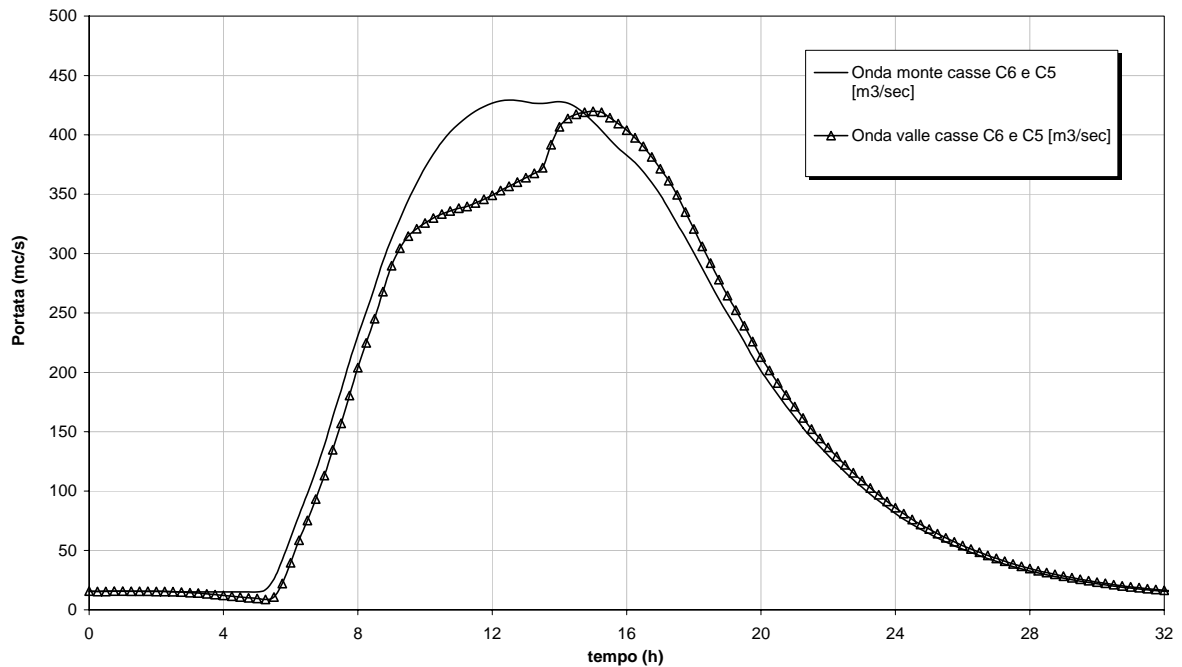


Figura 14 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a valle delle casse denominate C6 e C5

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa C4
Tr = 200 anni

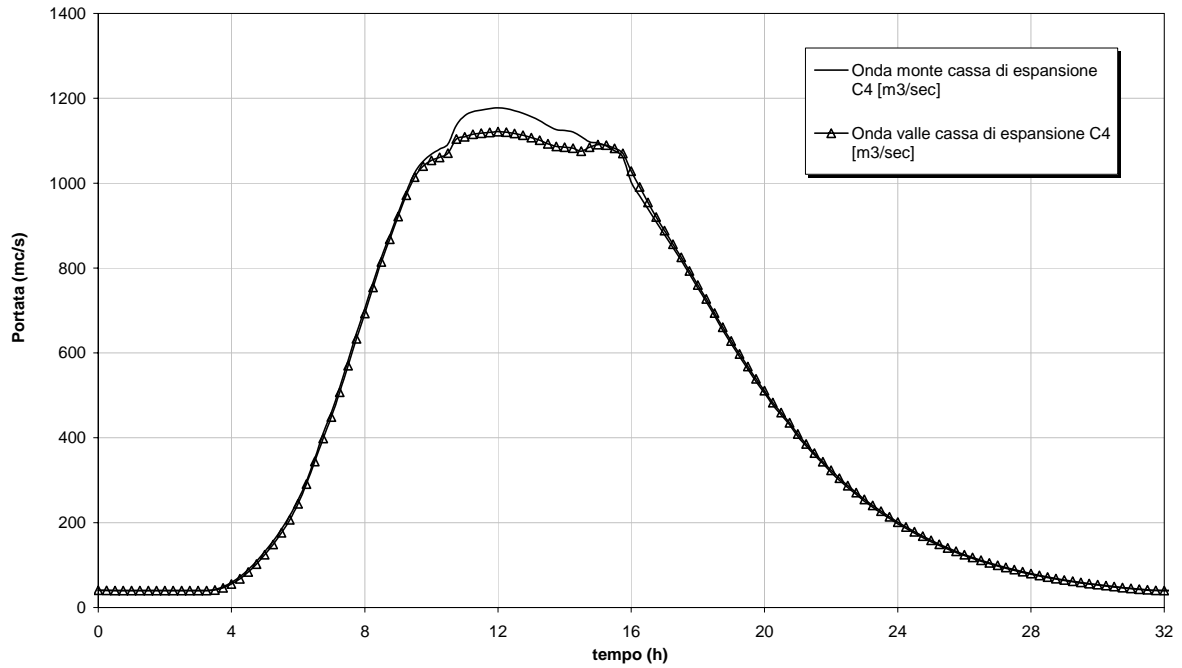


Figura 15 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa denominata C4

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa Trebbo
Tr = 200 anni

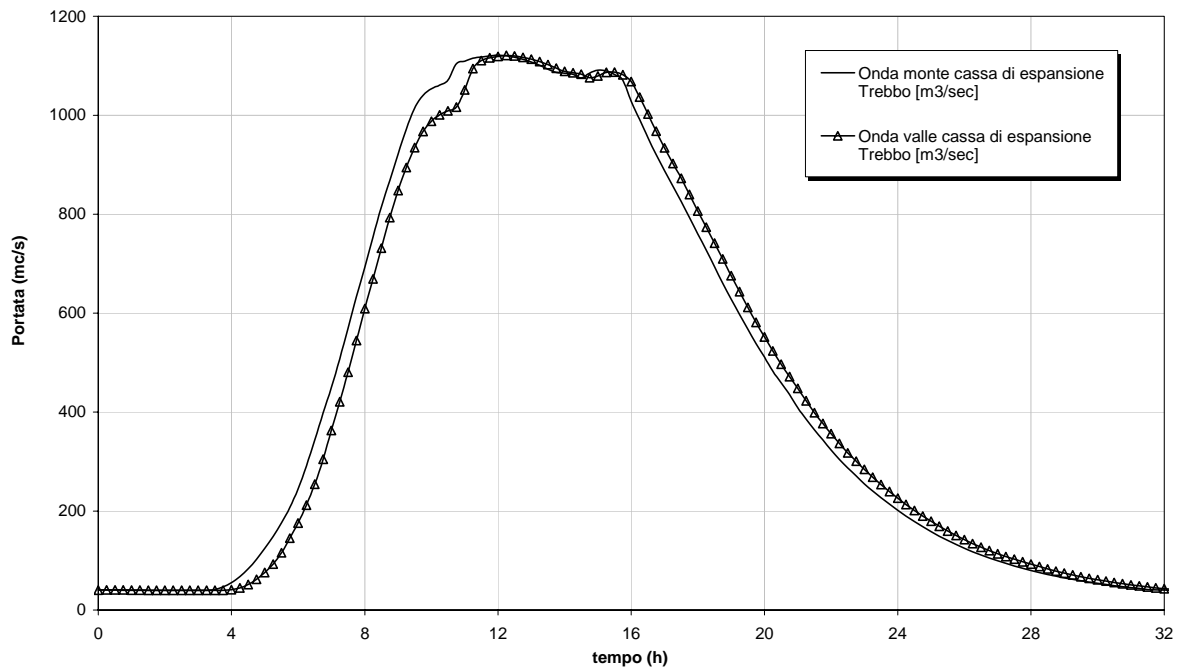


Figura 16 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa Trebbo

Fiume Savio nel tratto Borello - Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa C3
Tr = 200 anni

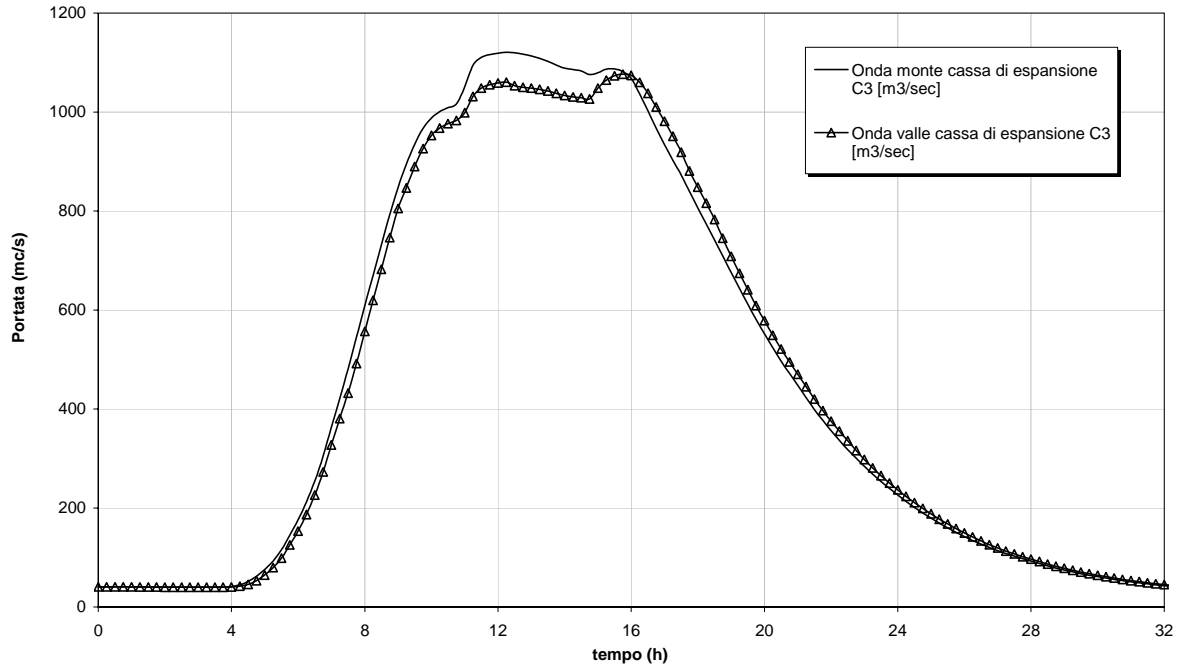


Figura 17 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa C3

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa SA sez 112-110a
Tr = 200 anni

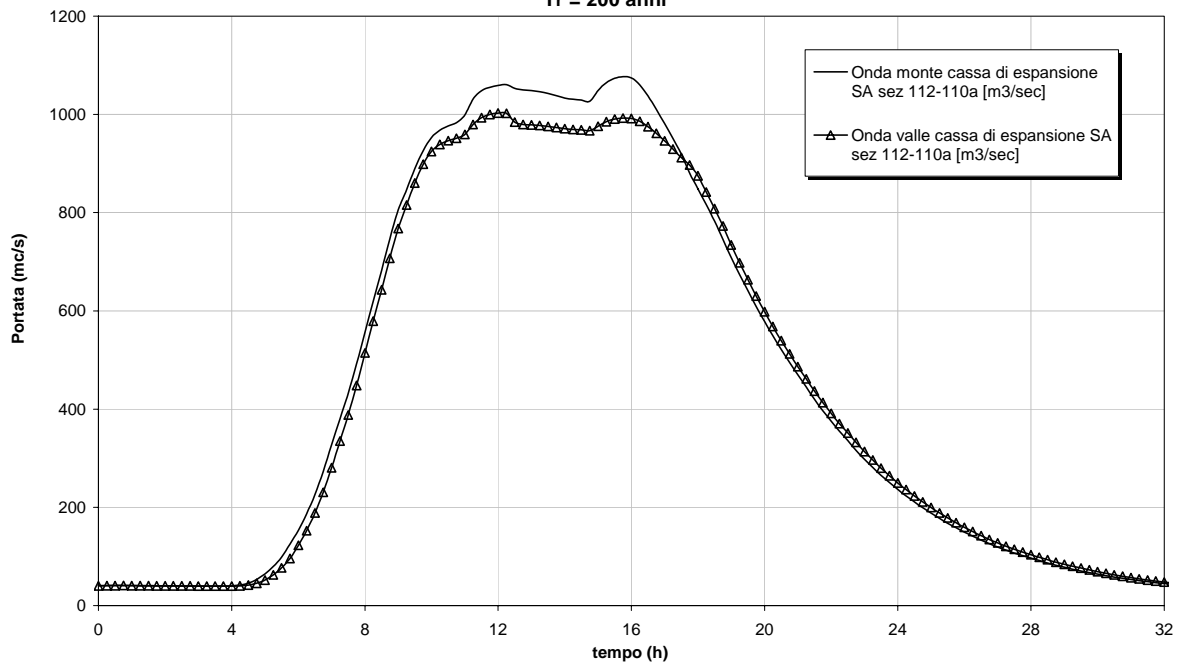


Figura 18 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa sez 112-110

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa C2
Tr = 200 anni

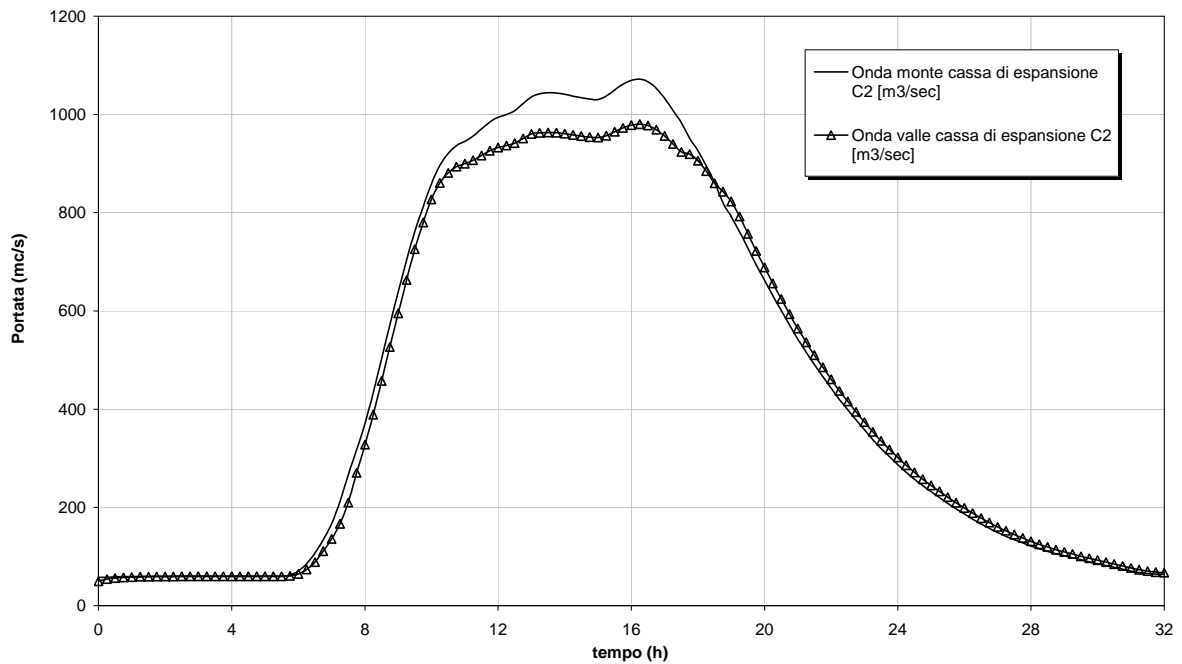


Figura 19 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa C2

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa C1
Tr = 200 anni

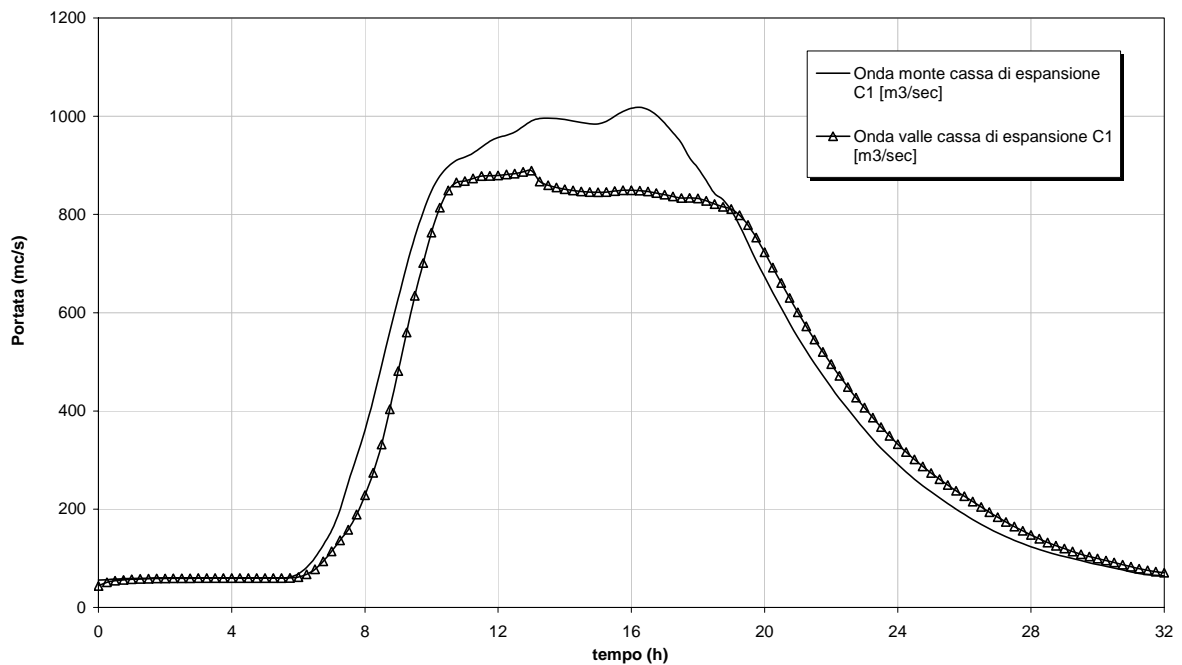


Figura 20 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa C1

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa SA sez 45-43
Tr = 200 anni

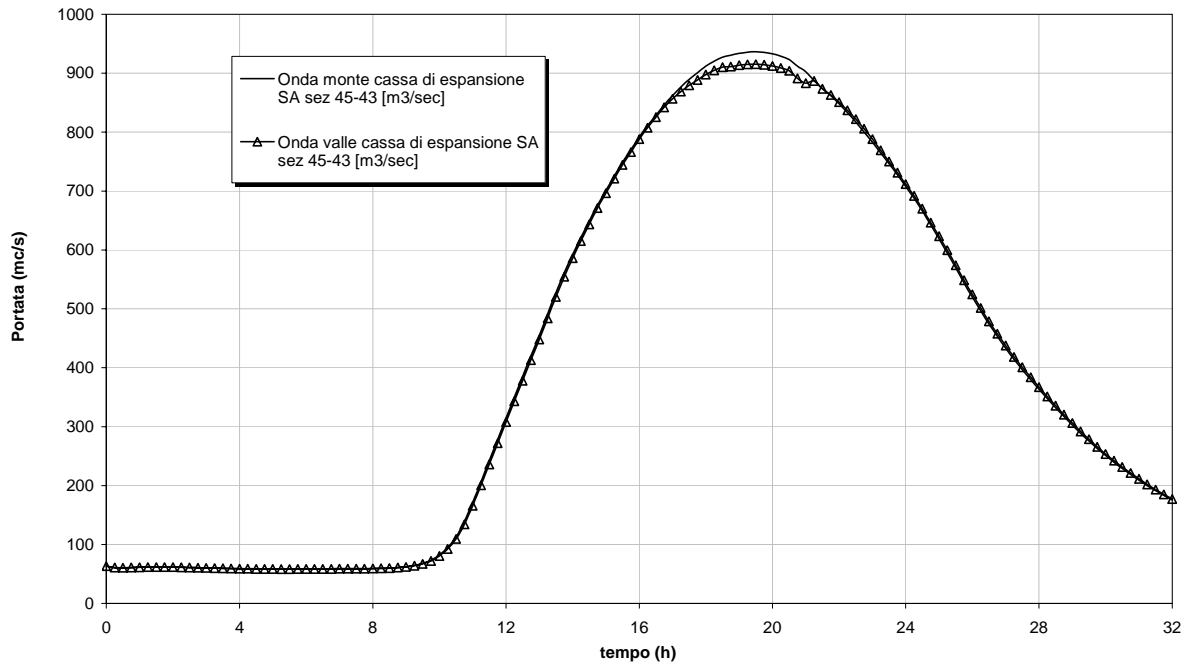


Figura 21 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa SA sez 45-43

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa SA sez 43-42
Tr = 200 anni

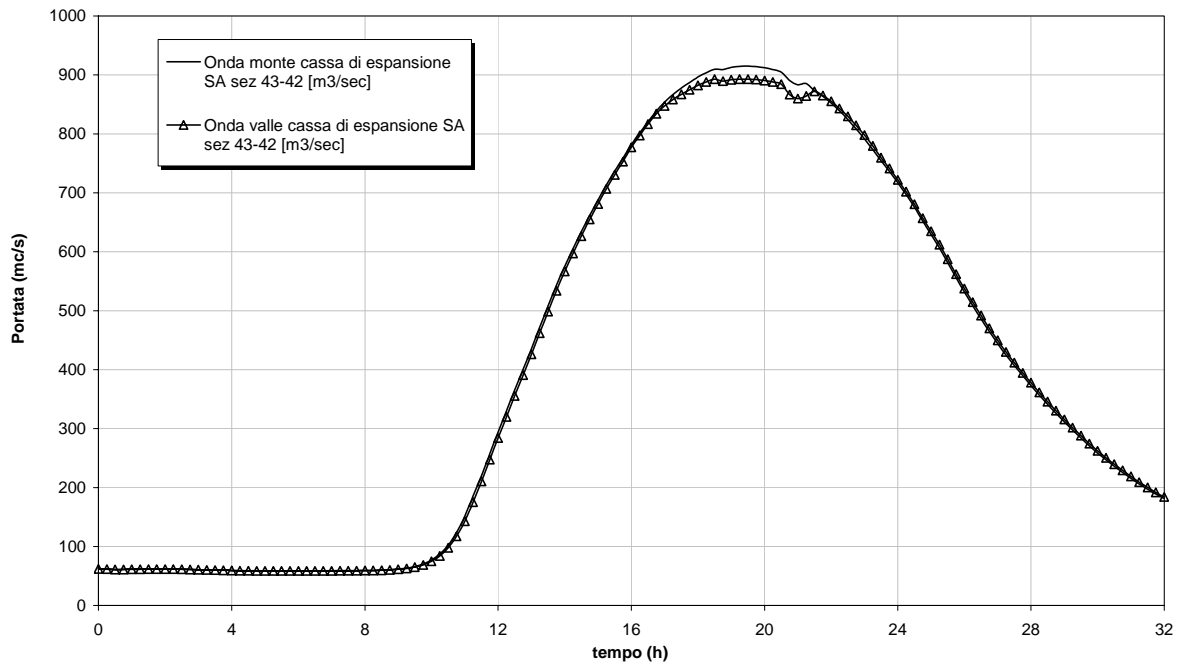


Figura 22 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa SA sez 43-42

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa SA sez 42-41
Tr = 200 anni

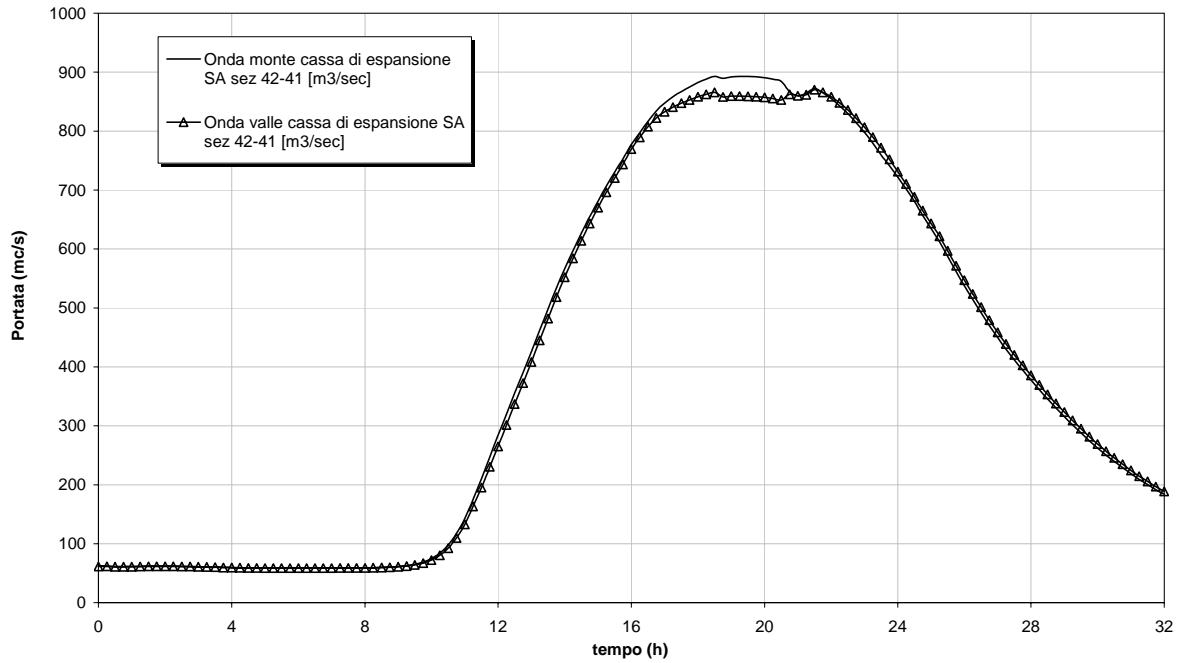


Figura 23 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa SA sez 42-41

Fiume Savio nel tratto a valle di Cesena: effetto di laminazione prodotto dalla cassa SA sez 40-39
Tr = 200 anni

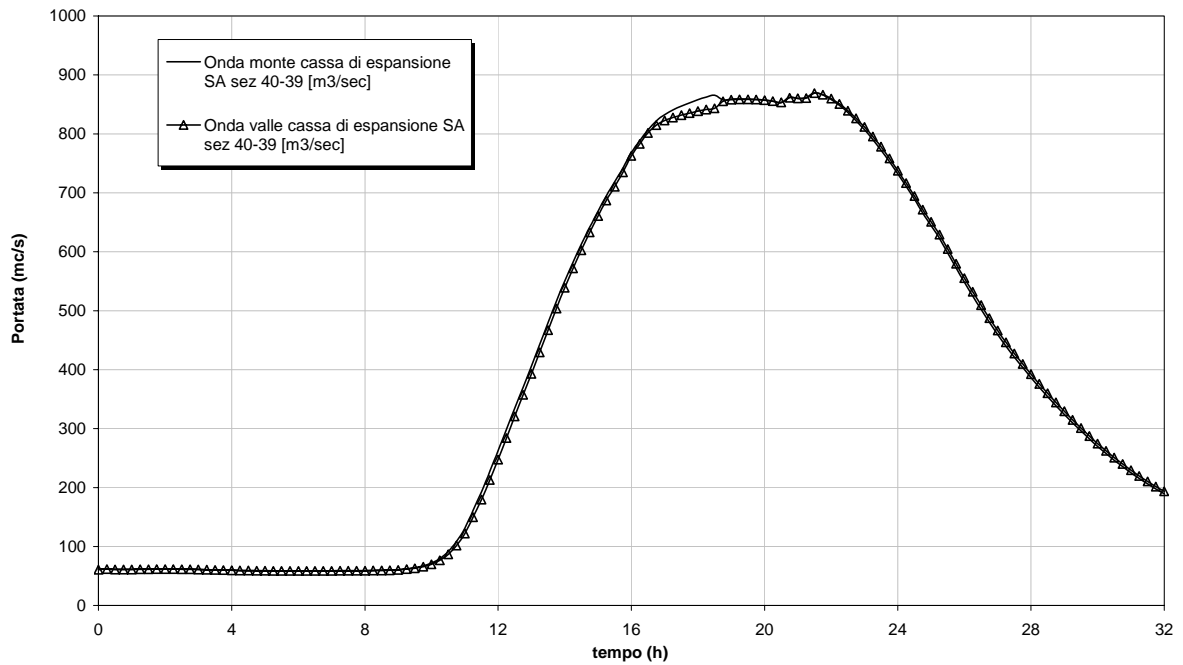


Figura 24 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa SA sez 40-39

Come si può notare dai grafici, le casse di espansione di progetto producono, in occasione della piena duecentennale e nella condizione di funzionamento ottimale, un abbassamento del picco dell'idrogramma di piena variabile tra 15 ed i 60 m³/sec: tali valori, apparentemente modesti, sono soddisfacenti se si tiene conto che la superficie di ciascun invaso risulta molto contenuta, talchè il volume disponibile in ciascuna cassa è alquanto modesto rispetto a quello dell'onda di piena da laminare. Nella valutazione dei risultati della laminazione operata da ciascuna cassa occorre anche considerare che la configurazione geometrica dei manufatti di alimentazione è stata ottimizzata, per l'evento di riferimento duecentennale, in modo tale da garantire il massimo abbattimento del colmo non da parte della singola cassa ma dell'insieme delle casse nel loro complesso. Da segnalare inoltre che le 4 casse di espansione di valle (sez.45-43, sez.43-42, sez.42-41 e sez.40-39) forniscono un contributo particolarmente modesto in termini di laminazione dell'onda di piena.

Per quanto riguarda, invece, l'analisi delle altezze di acqua raggiunte simulando l'evento di piena di tempo di ritorno pari a 200 anni, il modello idraulico ha messo in luce che, nel tratto a monte di Cesena, il fiume Savio riesce, anche grazie anche all'azione svolta dalle casse di progetto che si concentrano in tale tratto, a far defluire la piena duecentennale garantendo un certo franco di sicurezza, a meno di localizzate situazioni di criticità.

La situazione non è altrettanto buona nel tratto di valle, laddove, a meno delle aree C1 e C2, la configurazione adottata non prevede ulteriori zone di espansione controllata. Tutta l'asta del Savio da Cesena alla foce può definirsi in forte sofferenza in occasione dell'evento duecentennale: gli attraversamenti stradali e ferroviari risultano non verificati, con problemi di funzionamento in pressione e, in alcuni casi di sormonto. A Castiglione di Cervia la piena non riesce ad essere contenuta entro l'alveo, manifestandosi superamenti delle quote di sponda di circa 1 m. Occorre in proposito rilevare che per le dette aree C1 e C2 non è stato ipotizzato, al momento, alcun potenziamento del volume di invaso tramite escavazione, in accordo con l'Amministrazione; evidentemente, vista la situazione di sofferenza idraulica segnalata, meriterebbe di essere esplorata con opportuni rilievi topografici, piezometrici e geognostici e con approfondimenti pre-progettuali (studi di fattibilità) o progettuali, la possibilità di rimodellare le quote di fondo delle due casse, abbassandole, in modo da conseguire un maggiore volume di invaso. Inoltre, sarebbe da valutare sempre con approfondimenti progettuali, la possibilità di estendere l'area della cassa C2, annettendo la

limitrofa area campita in arancio (area Comandini), che è stata individuata come ulteriore area di possibile localizzazione di interventi di laminazione controllata (v. Tavola A).

Infine, in figura 25 si riportano: l'idrogramma delle portate nella sezione di Borello, con $Tr = 200$ anni, l'idrogramma delle portate a Castiglione di Cervia ottenuti per simulazione nella configurazione naturale ed lo stesso ottenuto nella configurazione di progetto.

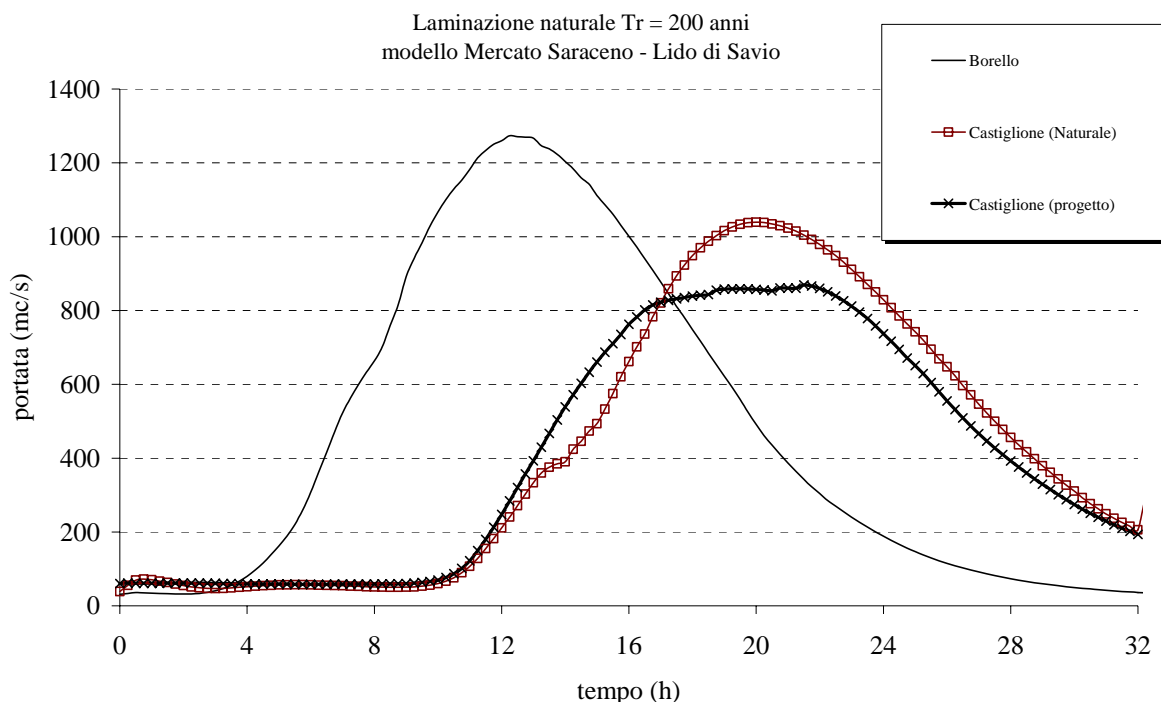


Figura 25 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nella sezione di Borello e nella sezione di Castiglione di Cervia nella configurazione naturale ed in quella di progetto

Può essere interessante osservare che, simulando con il modello idraulico del Fiume Savio l'evento di piena con $Tr = 200$ anni, il valore di portata al colmo ottenuto a Castiglione di Cervia risulta essere pari a 1040 m³/sec nella configurazione naturale e pari a 870 m³/sec nella configurazione di progetto. La percentuale di abbattimento del colmo ottenuta con le aree di espansione di progetto è pertanto pari a circa il 17 %. Risulta quindi evidente il notevole beneficio apportato dal sistema di casse di espansione in progetto.

4. IL FIUME RONCO

Il comportamento idraulico del Fiume Ronco è stato riprodotto attraverso l'utilizzo di due distinti modelli: un primo modello, di monte, per il tratto d'asta fluviale che va da Gualdo alla confluenza del torrente Voltre; un secondo, di valle, per il tratto d'asta fluviale che va dalla confluenza del torrente Voltre a circa 2 km a valle dell'abitato di Coccolia.

4.1. Modello di valle

Il modello idraulico della parte valliva del fiume Ronco considera, come detto, il tratto di asta che va dalla confluenza del torrente Voltre a circa 2 km a valle dell'abitato di Coccolia. Esso deriva dalla unione di due diverse geometrie, facenti parte del modello precedentemente in essere presso il Servizio Tecnico di Bacino, spezzate in corrispondenza della linea ferroviaria Rimini – Bologna.

Il materiale di partenza, su cui è stato impostato il nuovo modello idraulico del fiume Ronco, è stato attentamente esaminato, seguendo le stesse modalità utilizzate per gli altri due corsi d'acqua, Savio e Montone. A seguito di tali analisi, che si è avvalsa anche del supporto dei membri interni del Gruppo Tecnico dotati di una approfondita conoscenza del corso d'acqua, sono state apportate alcune modifiche alla geometria del Ronco, essendo altrimenti il modello risultante profondamente instabile e poco accurato.

In alcuni tratti del corso d'acqua, inoltre, è stato necessario, come anticipato nella introduzione alla presente relazione, estendere le sezioni fluviali di rilievo, riportandole alla loro estensione trasversale originale, essendo state queste, nel modello messo a disposizioni dall'Amministrazione, ridotte alla parte compresa tra gli argini (ove esistenti) o tra i cigli spondali nella precedente impostazione, o, soprattutto a valle della via Emilia, ricostruire la sezione a partire dai dati desunti dalle carte tecniche regionali in scala 1:5000. Tale fase del lavoro si è resa necessaria al fine di non sovrastimare i livelli riprodotti dal modello in alveo laddove le sezioni erano state troncate o erano insufficienti a garantire una corretta riproduzione della propagazione idraulica, essendo, in tal caso, a parità di portata transitante minore la sezione effettiva di deflusso.

Un esempio della metodologia seguita è riportato per la sezione 73, poco a monte dell'immissione dello scolo Cerchia: in Figura 26 è rappresentata la sezione così come rilevata; in Figura 27 la medesima sezione come schematizzata nel modello idraulico

preesistente, ove la sponda sinistra è munita di sfioro laterale libero, cioè non connesso ad alcuna area di accumulo dei volumi esondati; in Figura 28, infine, si riporta la sezione fluviale come introdotta nel modello attuale, con estensione della stessa in sinistra idraulica, mediante integrazione dei punti rilevati con i punti desunti dalla Carta Tecnica Regionale.

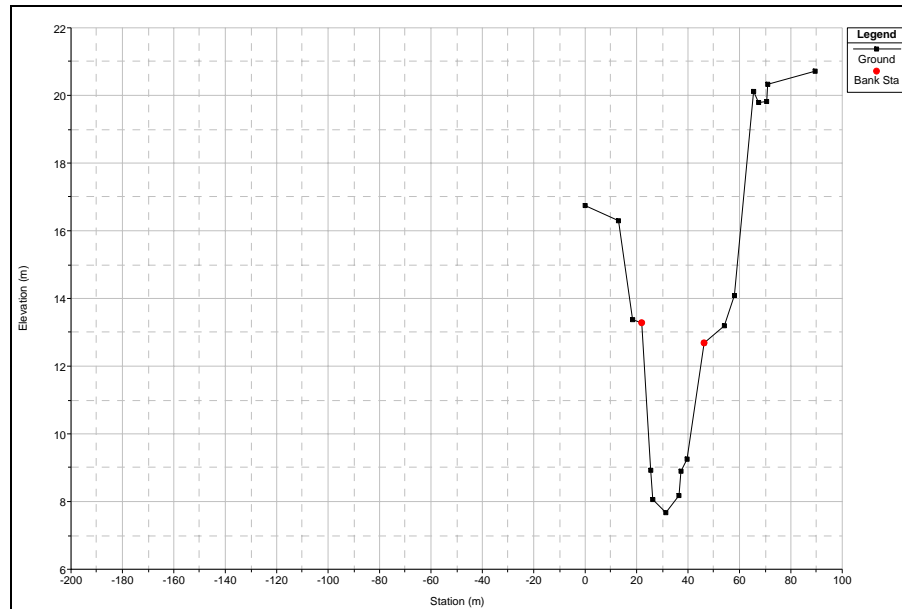


Figura 26 – Sezione 73 del fiume Ronco da rilievo (base dati topografica fornita dall’Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli)

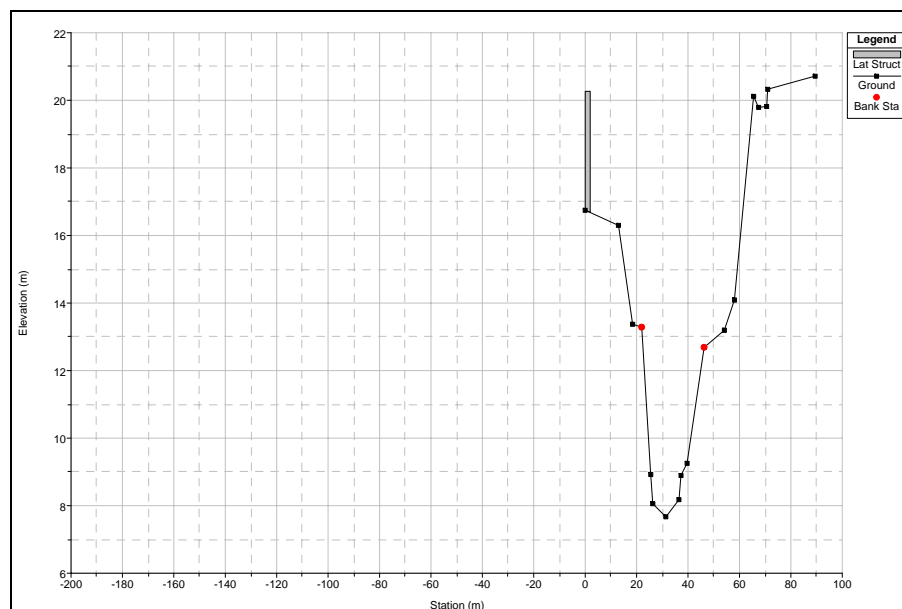


Figura 27 – Sezione 73 del fiume Ronco, come originariamente introdotta nel modello idraulico di partenza, con sfioro laterale in sinistra idraulica

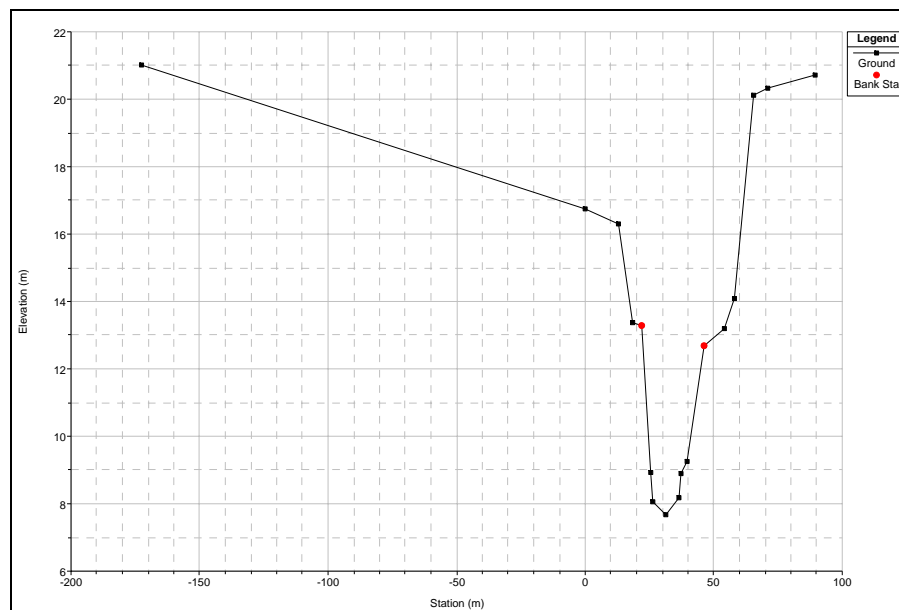


Figura 28 – Sezione 73 del fiume Ronco, estesa nel modello idraulico messo a punto per il presente studio desumendo i dati topografici mancanti da C.T.R. in scala 1:5000

Per quanto il corso d'acqua sia stato schematizzato fino a Coccolia, l'asta di effettivo interesse coincide con la porzione che va dall'estremità di monte (torrente Voltre) alla linea ferroviaria; l'ulteriore parte inserita ha la funzione prevalentemente di posizionare l'ultima sezione fluviale (ove si impone la condizione al contorno di valle) il più possibile lontana dall'area di studio in modo da evitare che il livello imposto (necessariamente approssimato) influenzi l'andamento del profilo liquido a monte. Il sistema di anse naturali e di invasi di progetto ipotizzati dal Gruppo Tecnico, infatti, insiste esclusivamente sul primo tratto; ne deriva che la parte terminale del modello è schematizzata in modo più approssimato rispetto a quella di monte, e che tale geometria sia da sottoporre a revisione e a controlli più accurati nel caso in cui diventi di interesse utilizzare i risultati in tale tratto non più solo per il posizionamento ad adeguata distanza della condizione al contorno, come è stato fatto in questa fase, ma anche a supporto di scelte progettuali e pianificatorie. I risultati relativi a tale tronco, per quanto congruenti, potrebbero di conseguenza subire, in futuro, delle variazioni. Si precisa che in un primo momento il modello era stato esteso a comprendere anche il tratto terminale a valle della confluenza del Montone a formare i Fiumi Uniti, ma che tale strada è stata in seguito abbandonata visto l'appesantimento della struttura del modello e l'allungamento notevole dei tempi di calcolo senza evidenti benefici in relazione agli obiettivi dell'incarico.

4.1.1. Configurazione naturale

La configurazione naturale del corso d'acqua, dal caratteristico percorso meandriforme, formato da un susseguirsi di anse praticamente continue sia in sinistra che in destra idraulica, è schematizzata nel modello idraulico ipotizzando che in tali aree l'acqua possa esondare e che il fenomeno di allagamento sia caratterizzato da velocità molto basse, pressoché nulle, nella direzione longitudinale del moto (verso valle): esse contribuiscono, dunque, con il loro volume di invaso, allo scambio di massa con le porzioni dell'alveo attivo (rientrando, quindi, nell'equazione di continuità) ma non in termini di moto. L'effetto di tale schematizzazione è quello di ritardare e attenuare il picco dell'onda di piena transitante. Tale scelta, condivisa dal Gruppo Tecnico, è giustificata dal fatto che le espansioni golenali del fiume Ronco nel tratto indagato non sono separate dall'alveo ordinario da argini o rilevati: esse risultano in alcuni casi estremamente definite, ma continue rispetto ai cigli dell'alveo. Schematizzarle, quindi, come casse di espansione, collegate al corso d'acqua da sfiori laterali di alimentazione, non sembra garantire una rappresentazione fedele del loro reale comportamento.

Unica eccezione a tale schematizzazione è l'ansa di Meldola che è stata protetta con un arginello per evitare che, nel caso di piena, gli allagamenti interessassero gli immobili posti più vicino al corso d'acqua; in tal caso, le sezioni originali sono state modificate per tener conto della realizzazione del rilevato di protezione, inserendo nella geometria d'alveo una parete verticale con sommità posta ad un'altezza tale da non consentire il sormonto.

In base alla schematizzazione adottata si ottiene che l'onda di piena in ingresso a monte, alla confluenza del torrente Voltre, caratterizzata, per tempo di ritorno pari a 200 anni, da un picco di circa $1055 \text{ m}^3/\text{sec}$ viene ridotta a circa $800 \text{ m}^3/\text{sec}$ immediatamente a valle della linea ferroviaria Rimini – Bologna (Figura 29), con una laminazione del 24% circa; per i 30 anni di tempo di ritorno, l'entità della laminazione è di circa $159 \text{ m}^3/\text{sec}$ (Figura 30).

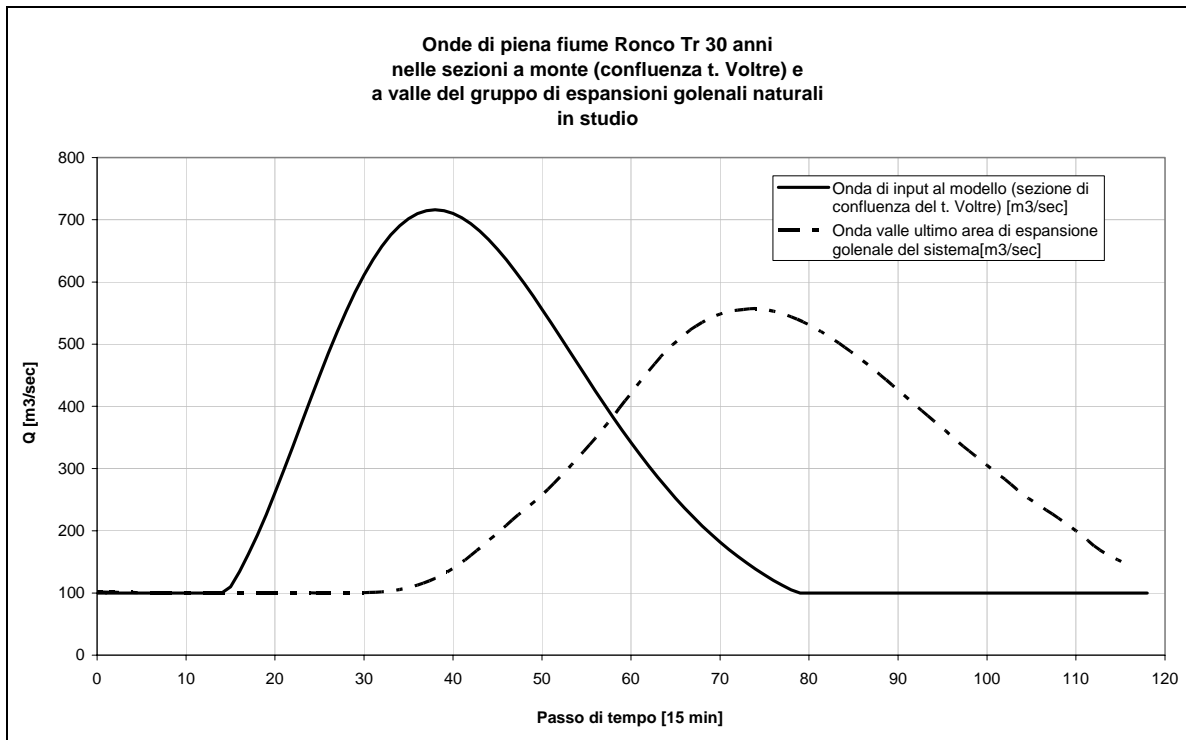


Figura 29 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nella sezione di monte del modello idraulico (confluenza del torrente Voltre) e nella sezione a valle dell'ultima delle espansioni golenali naturali in studio

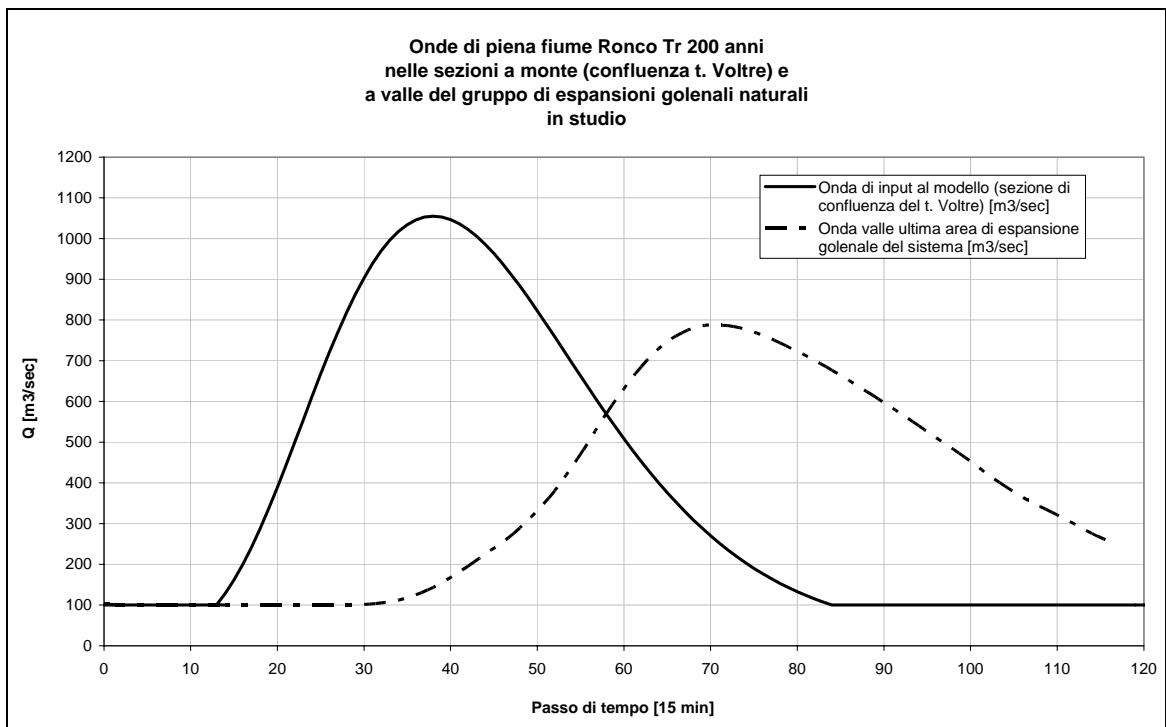


Figura 30 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nella sezione di monte del modello idraulico (confluenza del torrente Voltre) e nella sezione a valle dell'ultima delle espansioni golenali naturali in studio

4.1.2. Configurazione di progetto

Anche in questo caso, come per gli altri corsi d'acqua esaminati, nella prima fase del lavoro, essendo nelle finalità dell'incarico un'analisi preliminare delle possibili soluzioni, le casse di espansione sono state inserite utilizzando una schematizzazione piuttosto semplice: legge di invaso lineare, quota iniziale ipotizzata del fondo cassa posta a circa 2 m sotto il piano golenale, la cui quota media è stata ricavata da C.T.R.. In seguito, invece, alle informazioni di maggior dettaglio fornite dai Tecnici dell'Autorità di Bacino, la perimetrazione delle aree di invaso è stata affinata e la legge di invaso descritta in modo più preciso, mentre la quota di fondo cassa è stata verificata in relazione alla posizione della superficie freatica attualmente nota. Naturalmente tali dati saranno soggetti ad ulteriori affinamenti, anche sulla base di indagini dirette di campo, nelle fasi successive della progettazione. Per quanto riguarda, invece, le aree di invaso, un nuovo esame delle condizioni lungo l'asta ha portato ad eliminare la cassa numero 6, precedentemente considerata, in quanto ritenuta poco sfruttabile data anche la sua conformazione morfologica.

Per quanto riguarda lo sfioro di alimentazione, la geometria è stata impostata in modo tale da avere idealmente un manufatto continuo lungo tutto il tratto di affaccio della cassa lato fiume, in modo da poter ipotizzare di volta in volta, tramite un opportuno ribassamento dello stesso in una zona, una diversa localizzazione della soglia sfiorante, spostandola più a monte o più a valle, a seconda delle quote idriche e del funzionamento complessivo degli invasi.

Il sistema è stato man mano ottimizzato, cercando di far funzionare ciascun invaso al meglio, sfruttando il volume utile disponibile, procedendo da monte verso valle nel definire la geometria degli sfioratori di laminazione. La geometria che si è costruita si presta bene, tuttavia, per essere in seguito modificata in relazione alle ulteriori ipotesi progettuali che l'Amministrazione voglia testare lungo l'asta: vedere, ad esempio, il beneficio di una sola cassa o di un gruppo di casse (e in tal senso le combinazioni possibili sono molteplici), aumentare o abbassare la quota di fondo degli invasi, verificare il beneficio di una diversa configurazione degli sfioratori laterali o, eventualmente, introdurre strutture trasversali in alveo di controllo dei livelli, site a valle degli sfioratori di alimentazione, quali traverse, soglie, venturi.

Nelle immagini dalla Figura 31 alla Figura 35, tratte dal modello idraulico del fiume Ronco, sono rappresentate, schematicamente, le casse di espansione introdotte, da monte verso valle,

lungo l'asta del corso d'acqua, mentre nella Tabella 5 sono indicate le caratteristiche geometriche principali delle aree di invaso.

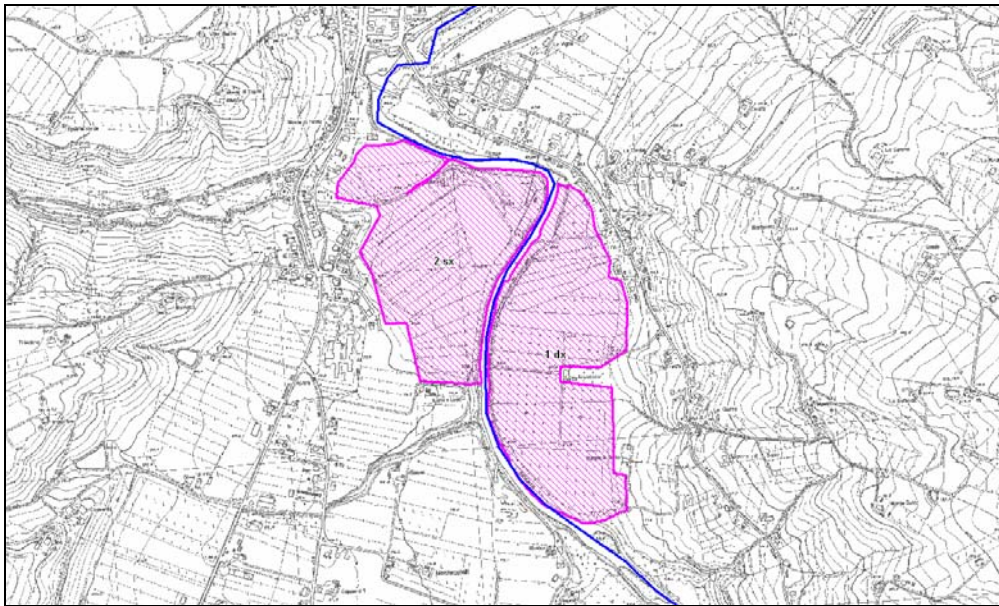


Figura 31 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle casse di espansione denominate “1dx”(prima area retinata lungo l’asta del Ronco, in destra idraulica) e “2sx” (in sinistra idraulica)

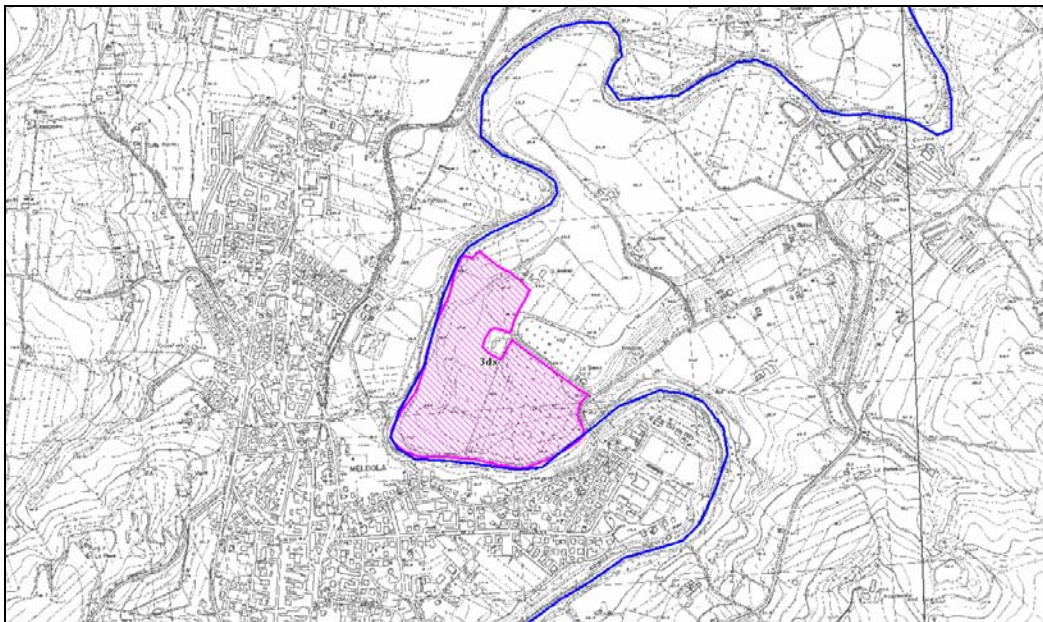


Figura 32 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) della cassa di espansione “3dx” (località La Barca), in prossimità dell’abitato di Meldola. In figura si nota anche l’area a monte dell’invaso, interamente occupata da abitazioni e attività, protetta da argine

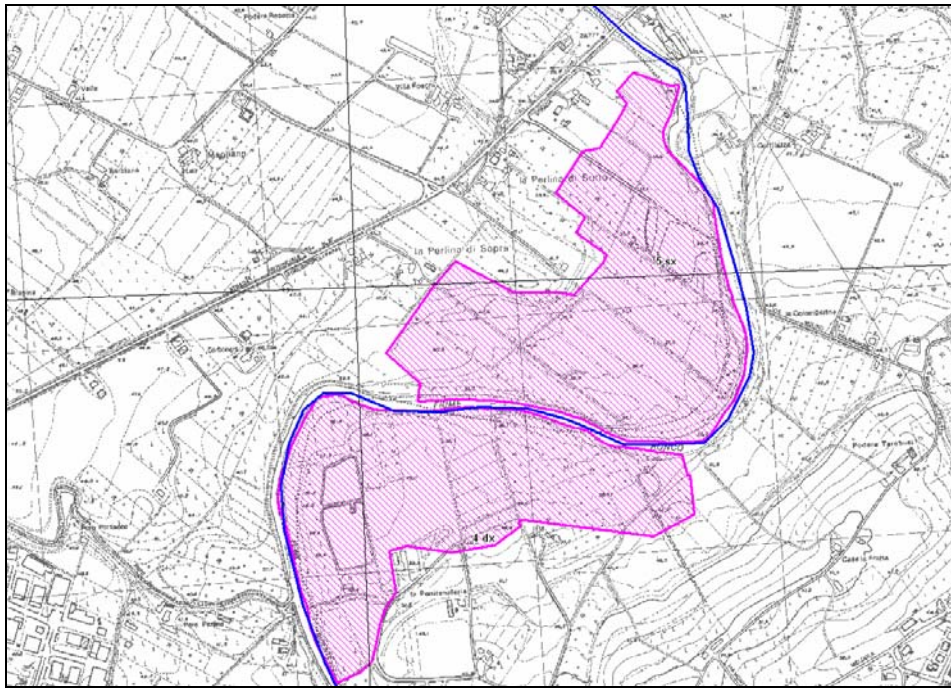


Figura 33 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle casse di espansione “4dx” e “5sx”

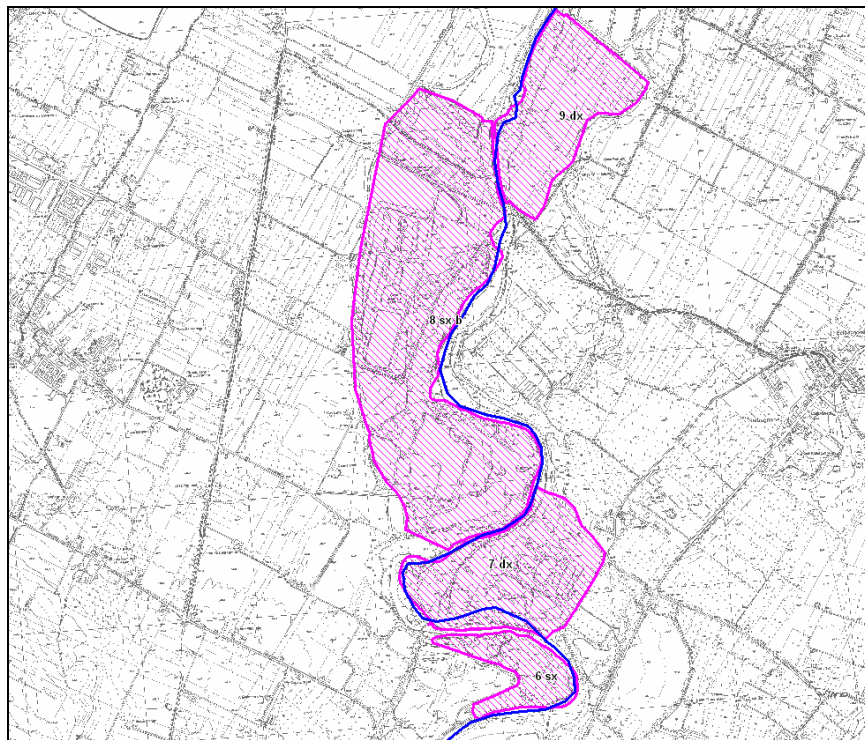


Figura 34 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle casse di espansione “6sx”, “7dx”, “8sx” e “9dx”

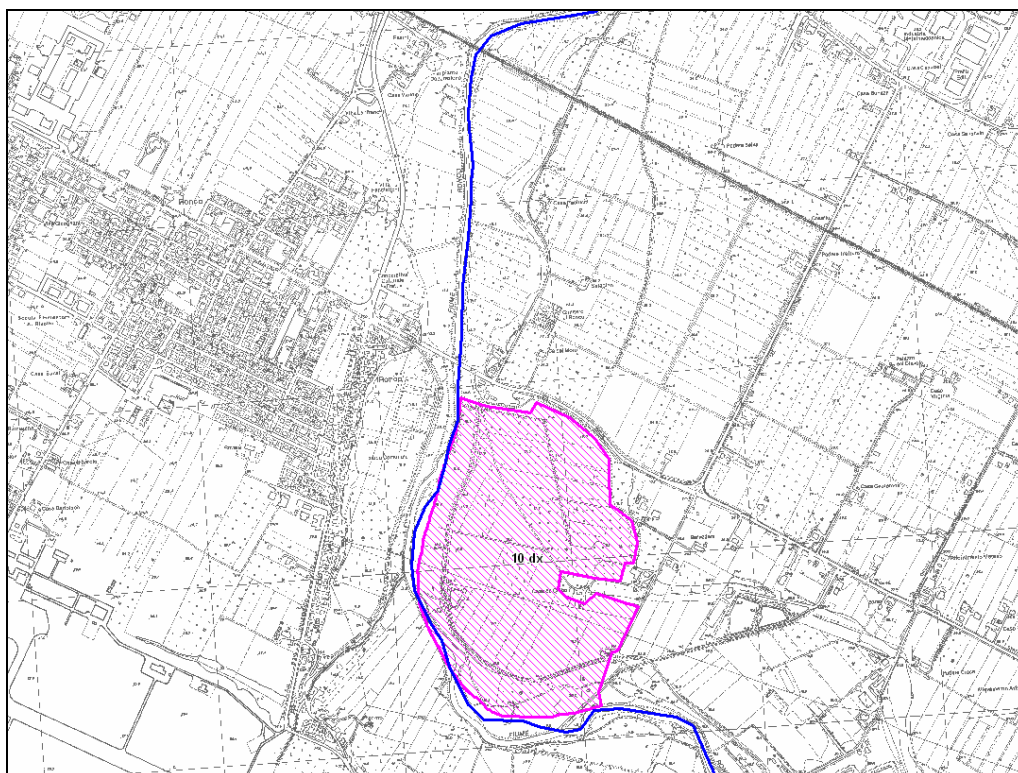


Figura 35 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) di una ulteriore area di possibile localizzazione interventi di laminazione, denominata “10dx”

Tabella 5 – Caratteristiche geometriche delle casse di espansione in studio lungo l’asta del fiume Ronco, tratto di valle: prima configurazione di progetto

Area invaso	Sup [ha]	Quota media piano golenale attuale [m s.m.]	Quota fondo cassa min. [m s.m.]	Quota sfioro progetto [m s.m.]	Località
1dx	22.25	61.27	57.5	64.9	Meldola - Arenaccia
2sx	20.54	59.75	54.9	63.1	Dozza
3dx	15.29	46.20	38.6	47.8	La Barca
4dx	15.02	39.98	34.2	40.9	
5sx	24.30	36.41	31.4	38.5	La Perlina
7dx	23.95	27.24	21.2	28.6	Casa Caiboli
8sx a	23.20	22.47	21.0	27.3	Cava di ghiaia e sabbia
8sx b	50.48	21.02	17.3	24	
9dx	25.13	22.11	18.5	22.9	Fussi

I risultati di cui alle Figura 38 e successive indicano l'effetto di laminazione prodotto da ciascuna cassa di espansione, ipotizzando di sollecitare il sistema con un evento di piena di progetto caratterizzato da tempo di ritorno di 200 anni, mediante confronto tra onda di piena a monte e a valle della stessa, mentre, nella Figura 36 (relativa a tempo di ritorno duecentennale) e nella Figura 37 (relativa a tempo di ritorno trentennale) è evidenziata la laminazione complessiva resa dal sistema di aree di espansione schematizzato nel modello. Tutti i grafici appena citati si riferiscono alla configurazione geometrica degli invasi di laminazione riportata in Tabella 5.

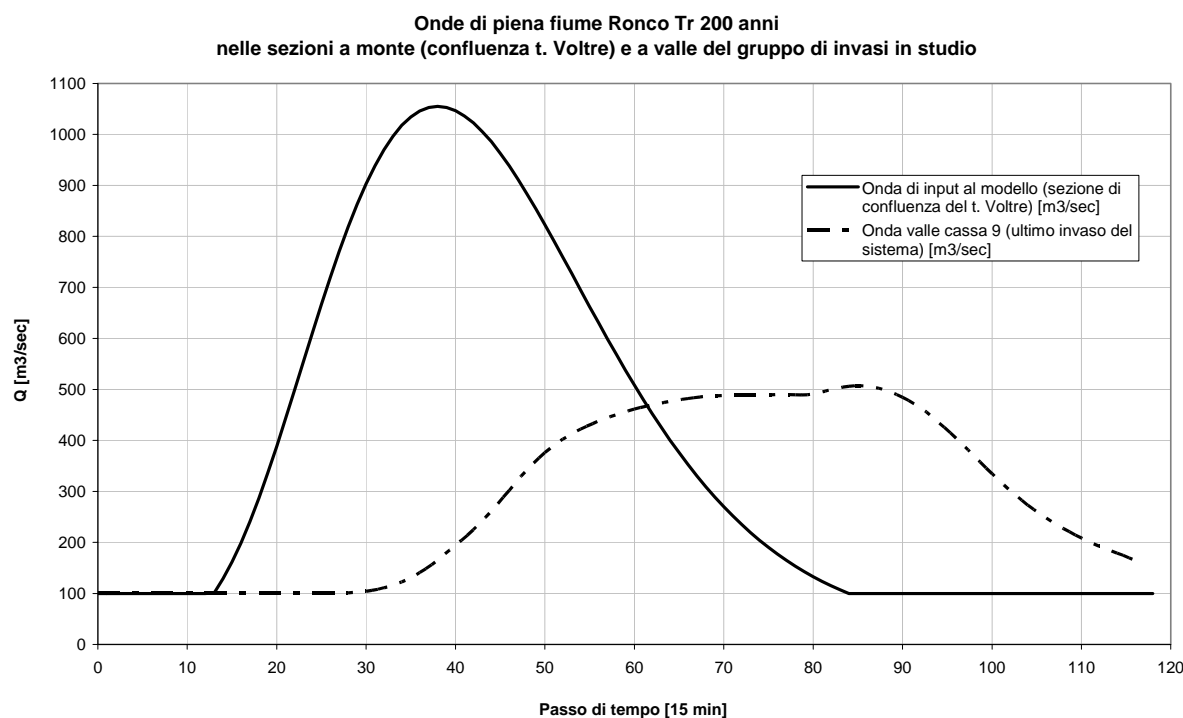


Figura 36 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nella sezione di monte del modello idraulico (confluenza del torrente Voltre) e nella sezione a valle dell'ultima cassa del sistema di invasi in studio (denominata 9dx)

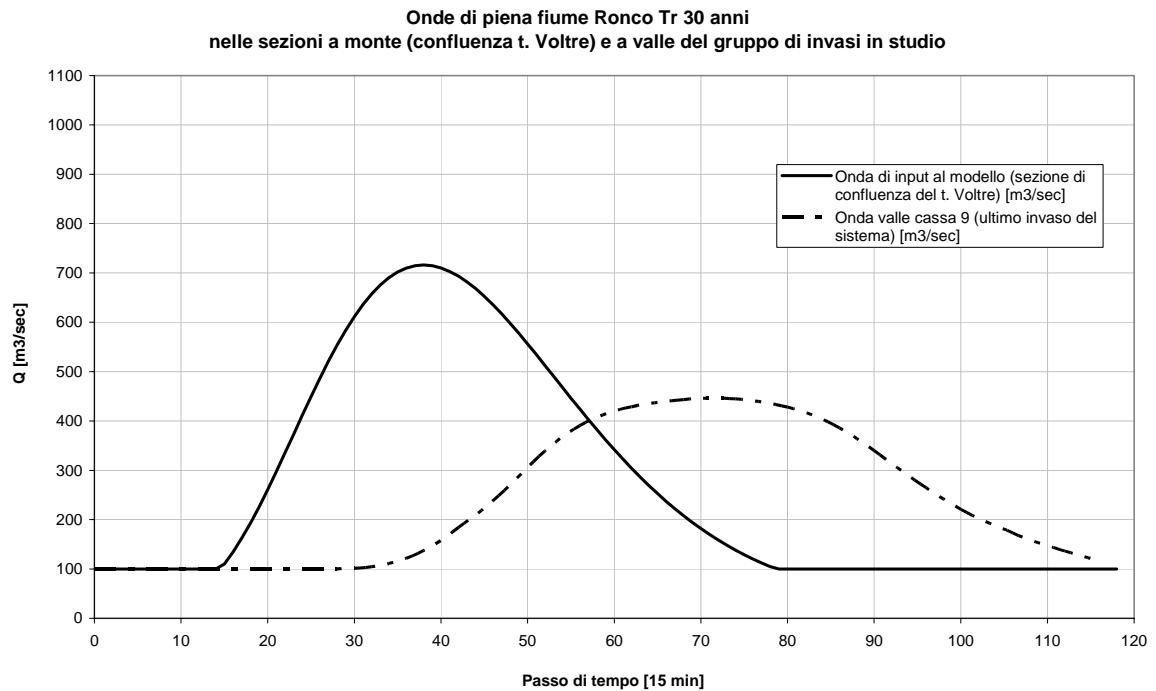


Figura 37 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nella sezione di monte del modello idraulico (confluenza del torrente Voltre) e nella sezione a valle dell’ultima cassa del sistema di invasi in studio (denominata 9dx)

Come si può notare osservando, in particolare, la Figura 36 e la Figura 37, nel complesso il sistema di casse di espansione di progetto appare ben ottimizzato, ottenendo una forte riduzione del picco dell’onda che passa da circa 716 m³/sec a 479 m³/sec per il tempo di ritorno di trenta anni e da 1055 m³/sec a 490 m³/sec per l’evento duecentennale, con una laminazione del 54% circa.

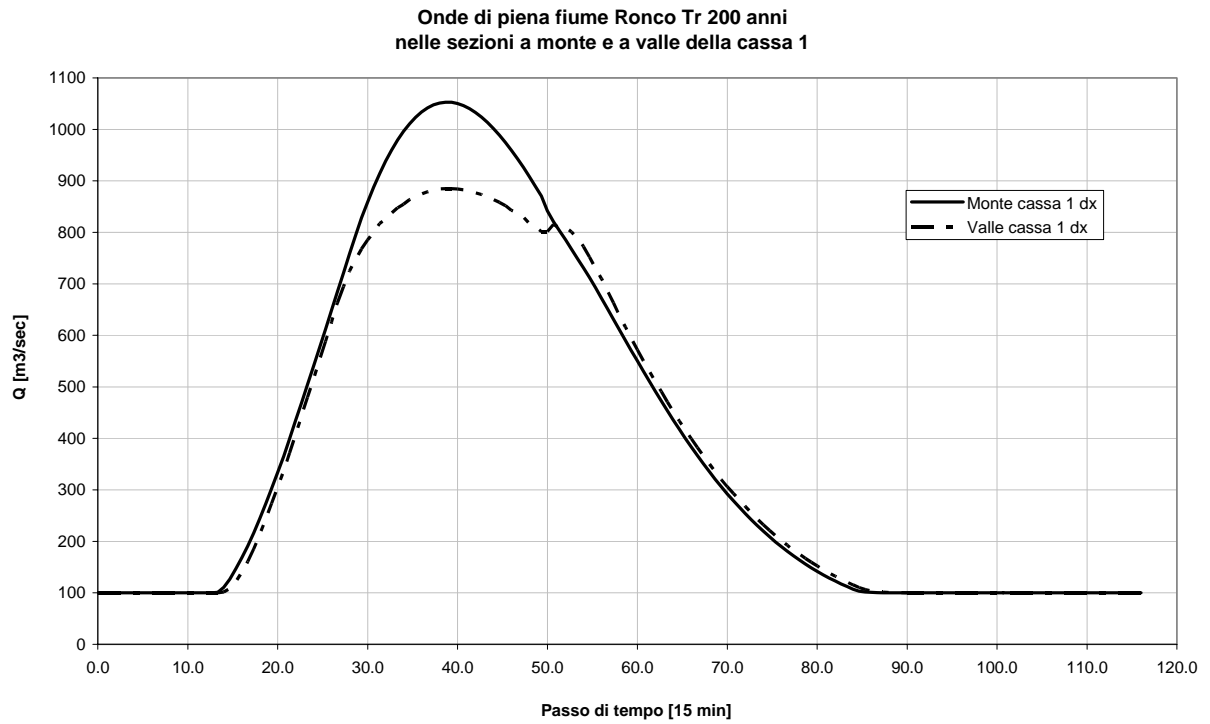


Figura 38 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 1dx

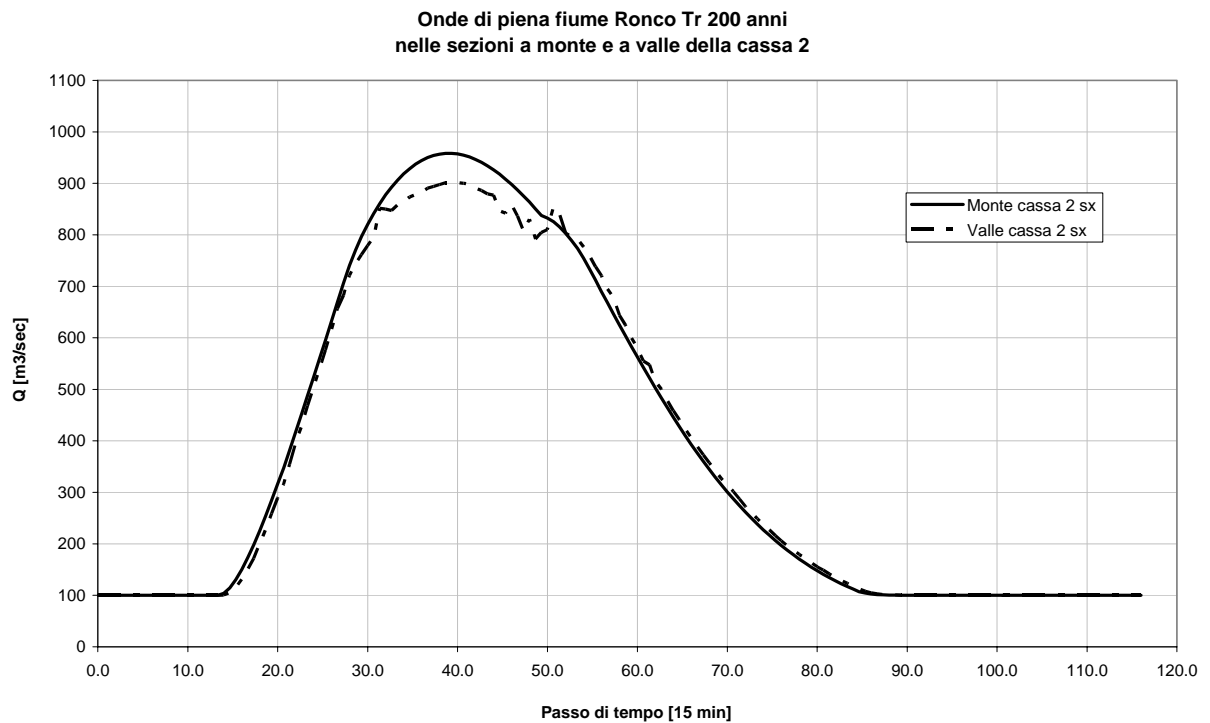


Figura 39 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 2sx

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 3

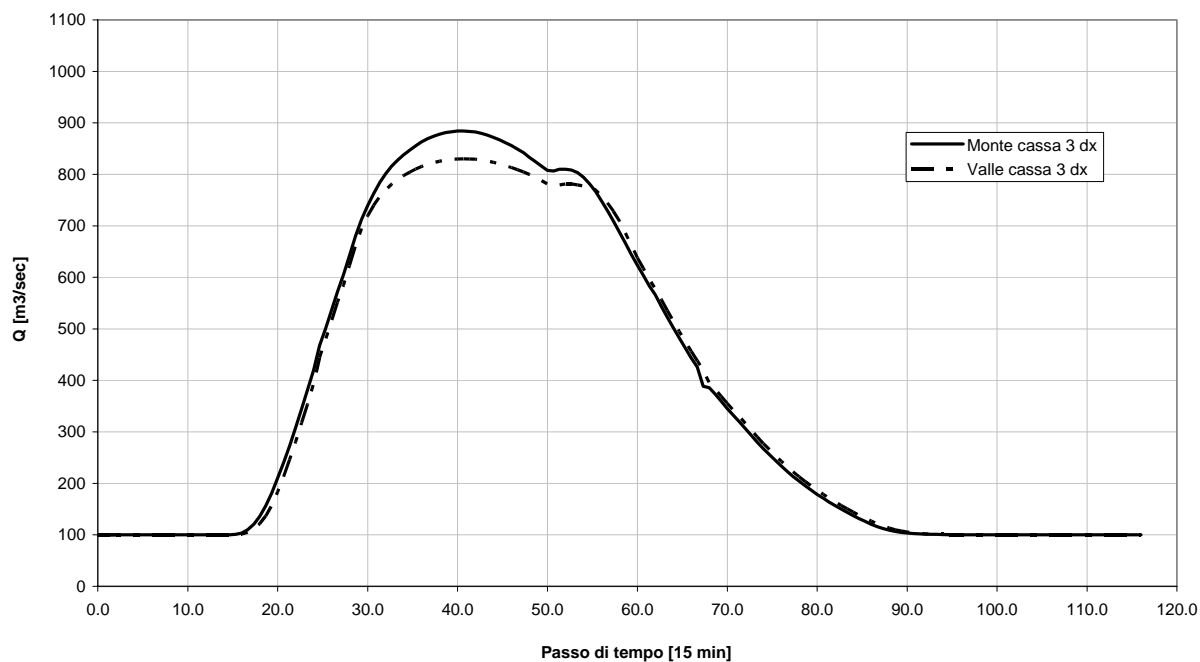


Figura 40 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 3dx

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 4

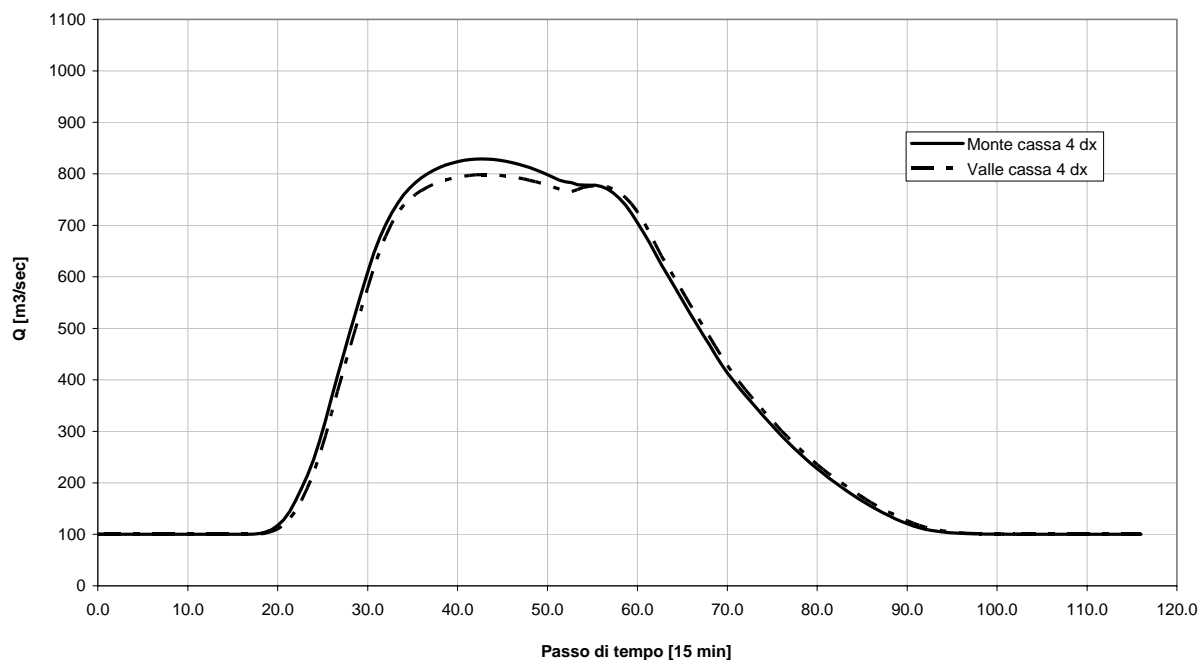


Figura 41 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 4dx

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 5

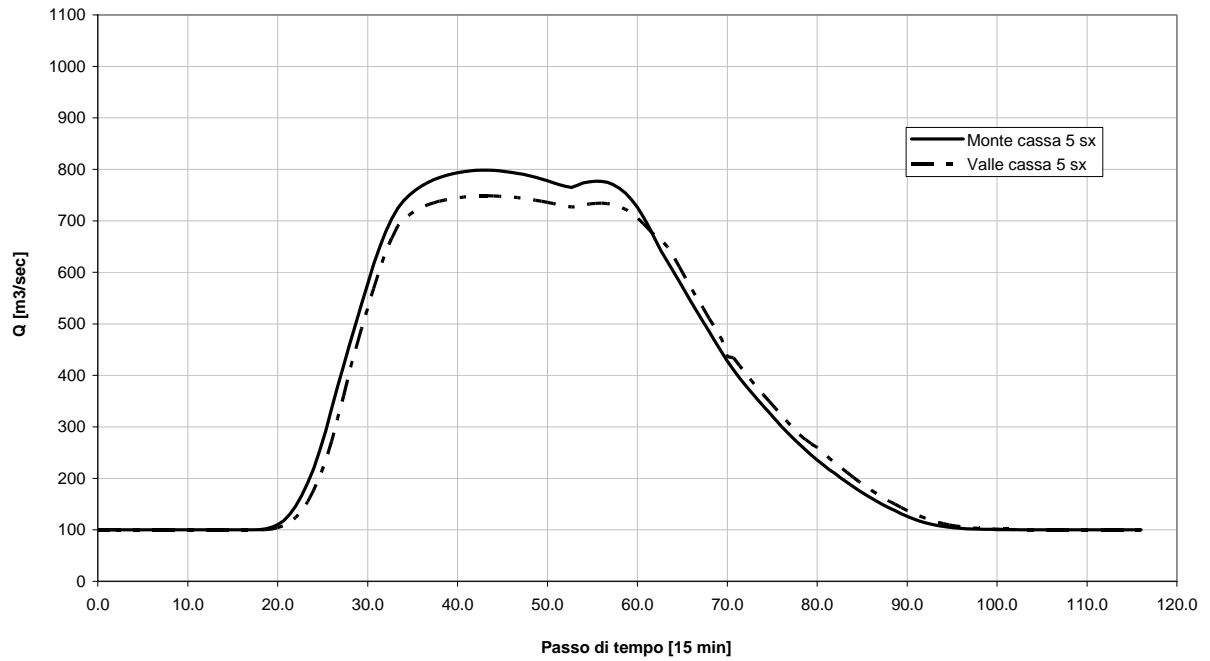


Figura 42 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 5sx

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 7

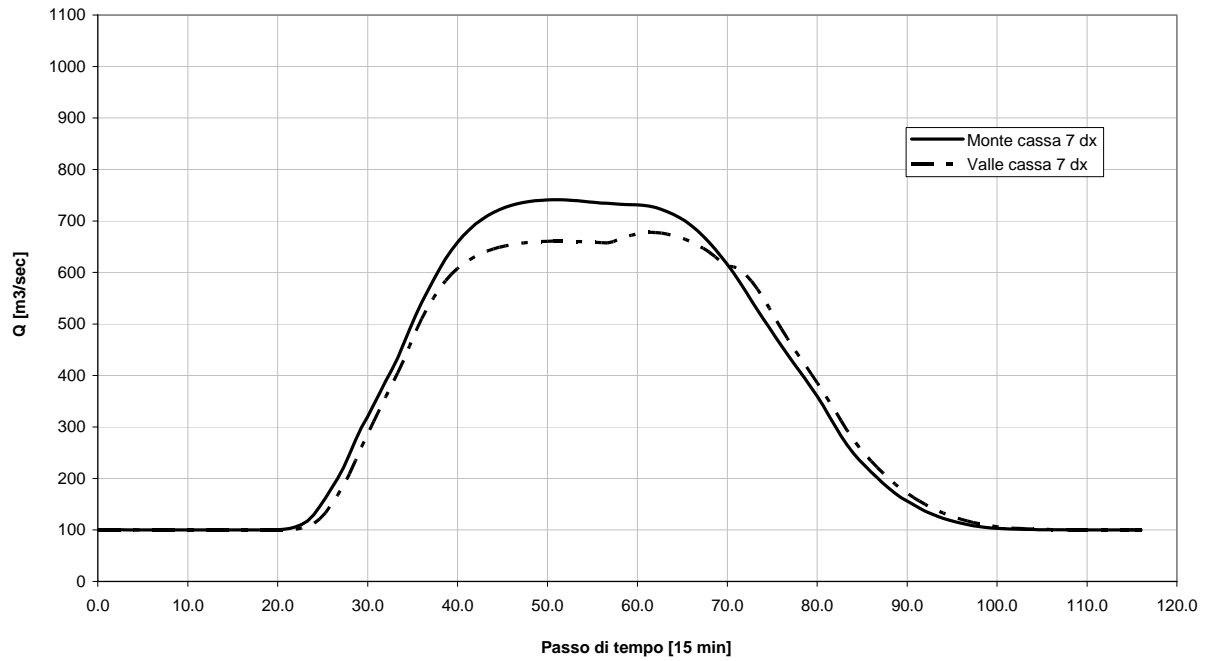


Figura 43 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 7dx

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 8 a

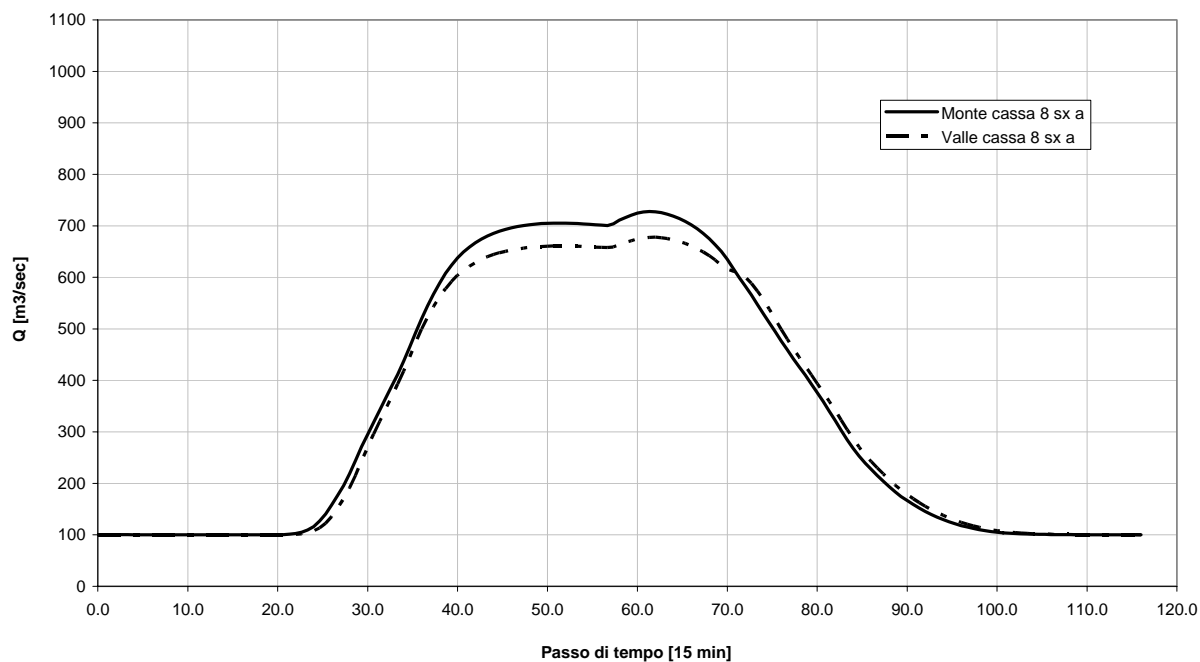


Figura 44 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 8sx a

Onde di piena fiume Ronco Tr 200 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 8 b

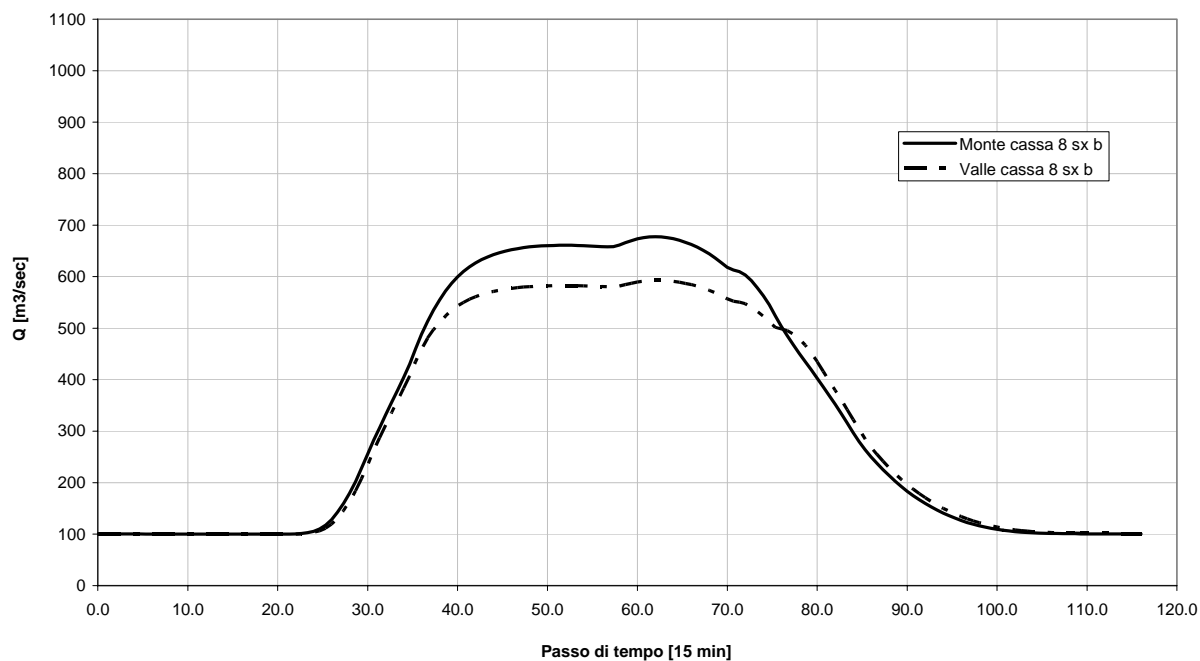


Figura 45 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 8sx b

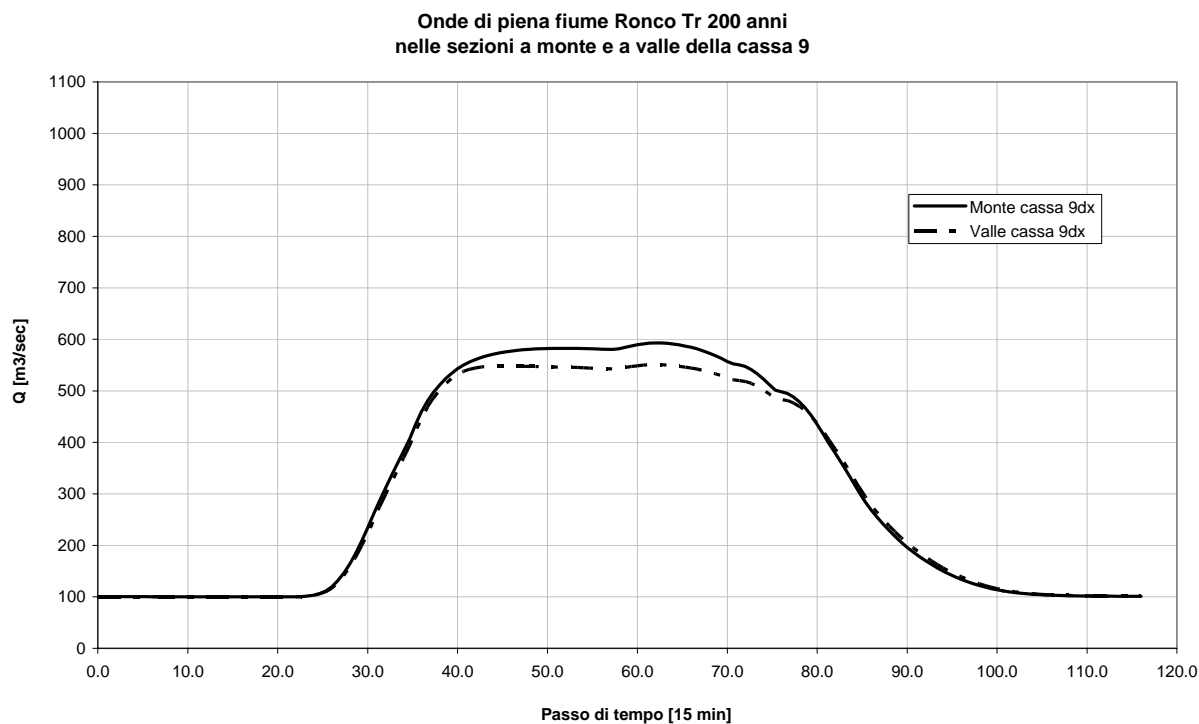


Figura 46 – Onde di piena per T_r pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 9dx

Dall'osservazione del funzionamento di ciascun invaso per $T_r = 200$ anni, ottenibile con la configurazione geometrica adottata, si nota come il maggior contributo alla laminazione dell'onda di piena venga fornito dalla prima cassa (cassa 1), situata più a monte lungo l'asta, che consente una laminazione di circa $168 \text{ m}^3/\text{sec}$, mentre le rimanenti forniscono tutte una laminazione più modesta, con un abbassamento medio del picco valutabile in circa $50 \text{ m}^3/\text{sec}$. Essendo stati gli sfiori ottimizzati per l'evento di piena di riferimento, caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 200 anni, verificando il sistema di invasi per un tempo di ritorno diverso e inferiore, pari a 30 anni, si nota come non tutte le casse entrino in funzione e vengano sfruttate al massimo. In particolare, i primi quattro invasi (casse 1, 2, 3 e 4) non sono interessati dallo spagliamento dei volumi di piena, in quanto le quote degli sfiori di alimentazione sono tali da risultare più alti rispetto ai livelli idrici che si hanno in alveo; a partire dalla cassa 5, invece, come si può notare dai grafici riportati nelle Figure 47-51 si ottiene, comunque, un buon contributo alla laminazione della piena.

Onde di piena fiume Ronco Tr 30 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 5

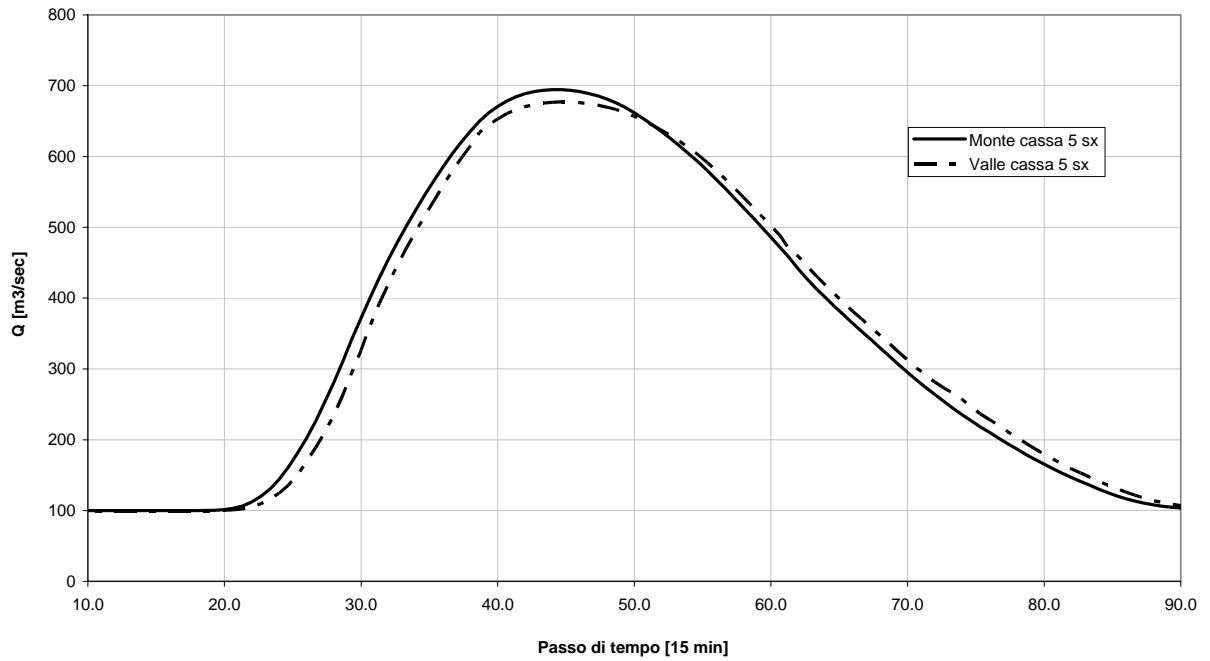


Figura 47 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 5sx

Onde di piena fiume Ronco Tr 30 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 7

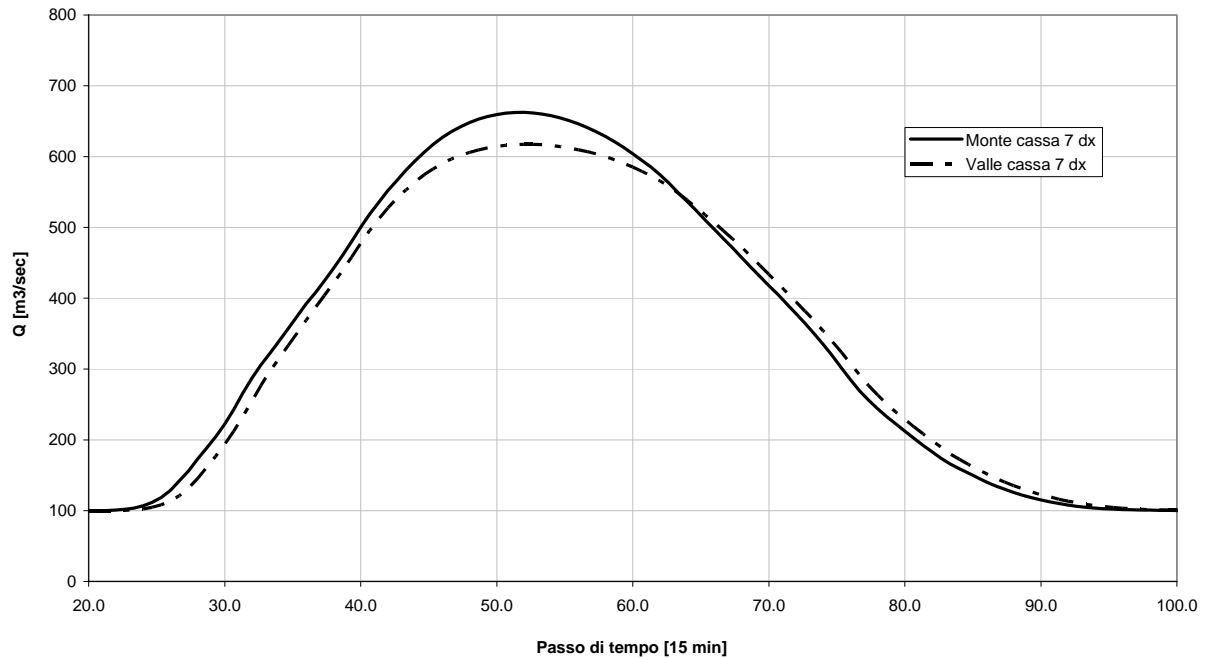


Figura 48 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 7dx

Onde di piena fiume Ronco Tr 30 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 8a

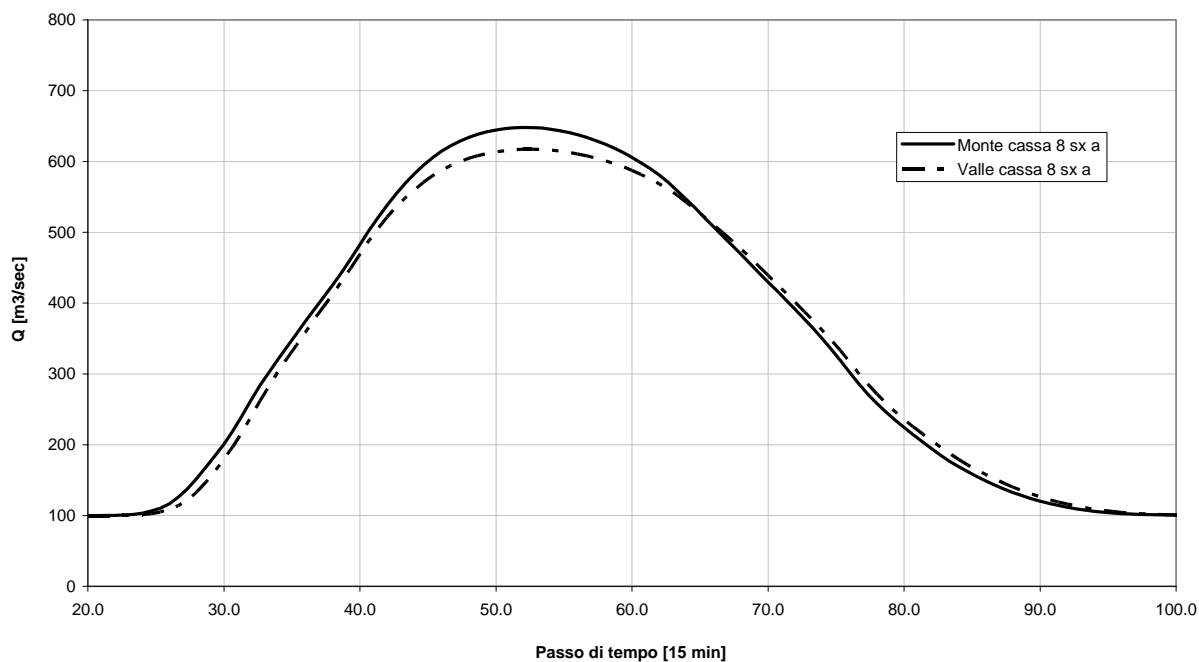


Figura 49 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 8sx a

Onde di piena fiume Ronco Tr 30 anni
nelle sezioni a monte e a valle della cassa 8b

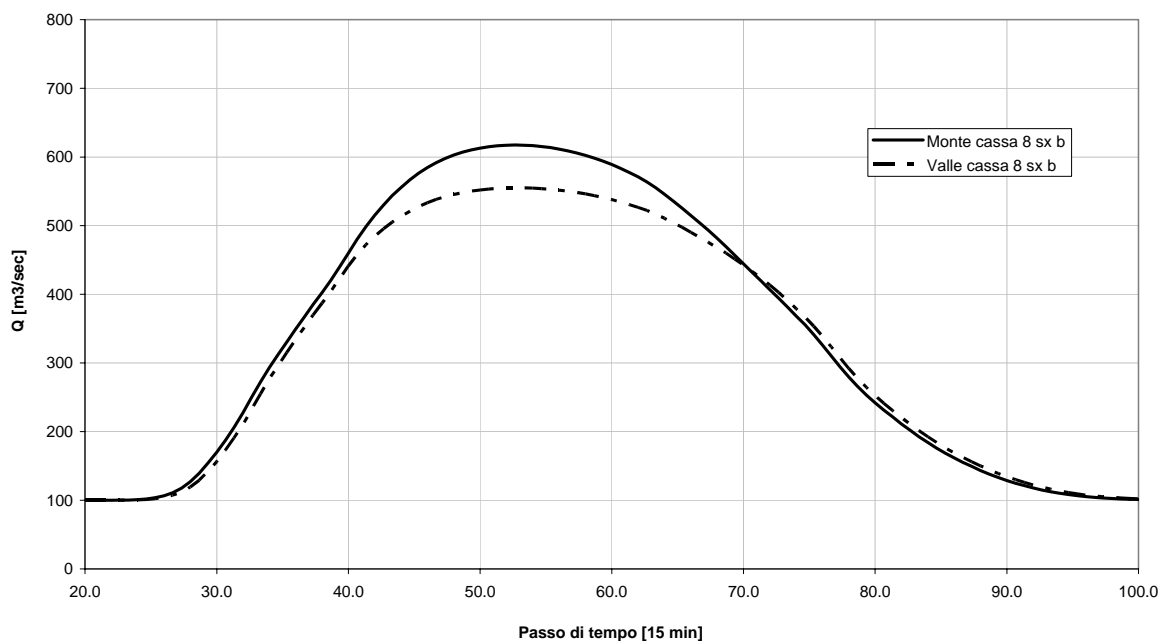


Figura 50 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 8sx b

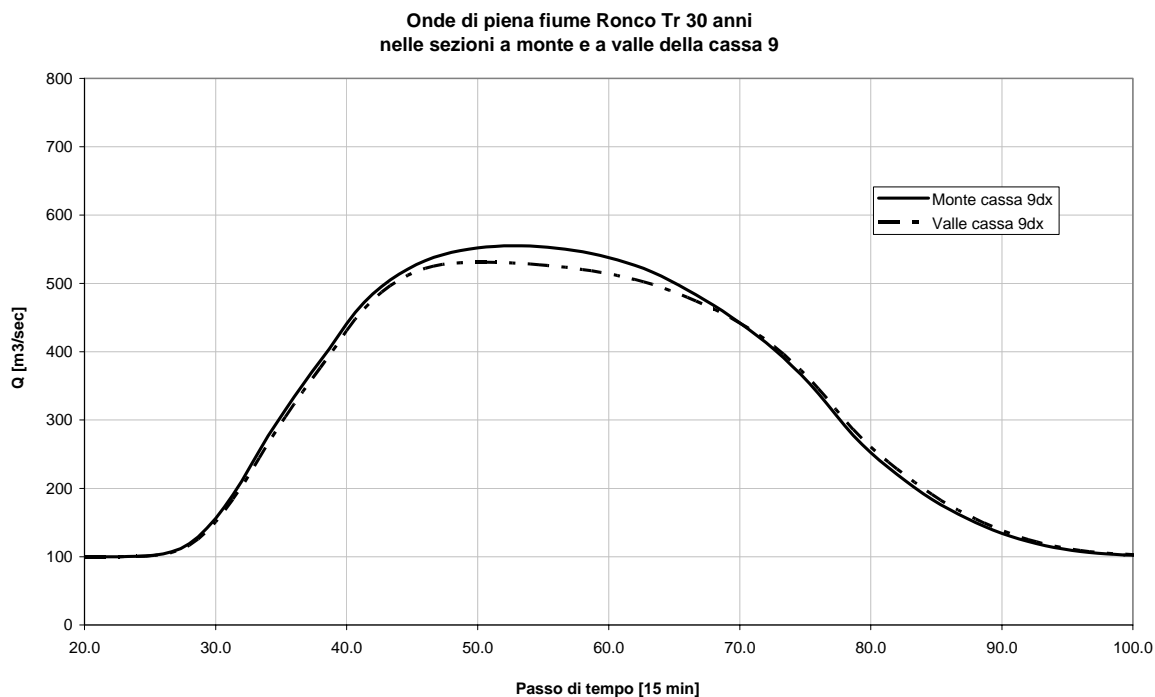


Figura 51 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa 9dx

Il comportamento degli invasi di progetto, così come risulta dalla configurazione proposta derivante dall'ottimizzazione per la piena duecentennale, può essere considerato per certi versi positivo in relazione al verificarsi di eventi più ricorrenti, caratterizzati da valori più modesti del tempo di ritorno. Infatti, nel caso dell'evento trentennale, come detto alcune casse di monte non entrano in funzione e pertanto si ha un minor interessamento del territorio, con la possibilità di lasciare invariata la destinazione d'uso delle aree di monte, in quanto allagabili solo per eventi piuttosto rari. Analoga considerazione potrebbe essere fatta per le casse di valle che potrebbero essere divise in settori, in modo da contenere i minori volumi invasati per eventi più frequenti in zone più limitate. Va però per contro osservato che, anche a causa del mancato funzionamento delle casse più a monte, non risultano risolti i problemi di deflusso che si riscontrano all'altezza di Meldola, ove il ponte manifesta marcate condizioni di sofferenza, funzionando in pressione. Ciò mette in evidenza l'opportunità di cercare, nelle fasi successive di progettazione, una configurazione degli sfiori di alimentazione delle casse poste a monte del ponte di Meldola ottimizzata anche per l'evento trentennale, il che potrebbe ottenersi con soluzioni flessibili (sfioro regolabile).

Al fine di risolvere questo problema, nel presente studio sono state effettuate ottimizzazioni delle soglie di sfioro anche in relazione alla piena trentennale. In base ai risultati forniti dal modello idraulico, le casse 1 e 2 risultano ottimizzate per la piena trentennale abbassando la quota delle soglie di sfioro di circa 1 metro, secondo quanto indicato nella Tabella 6.

Tabella 6 – Quota della soglia di sfioro ottimizzata per l'evento trentennale

Area di invaso	Soglia ottimizzata per l'evento Tr= 200 anni	Soglia ottimizzata per l'evento Tr= 30 anni
Area 1	64.90	63.75
Area 2	63.10	62.15

Nonostante in seguito a tale modifica le due aree invasino al massimo della loro capacità (Figura 52 e Figura 53), riempiendosi completamente in occasione della piena trentennale, il ponte immediatamente a valle di Meldola continua a funzionare in pressione. Tuttavia, vi è un netto miglioramento, in quanto il livello idrico misurato in corrispondenza della struttura subisce, grazie alla funzione svolta dalle casse, un abbassamento di circa mezzo metro.

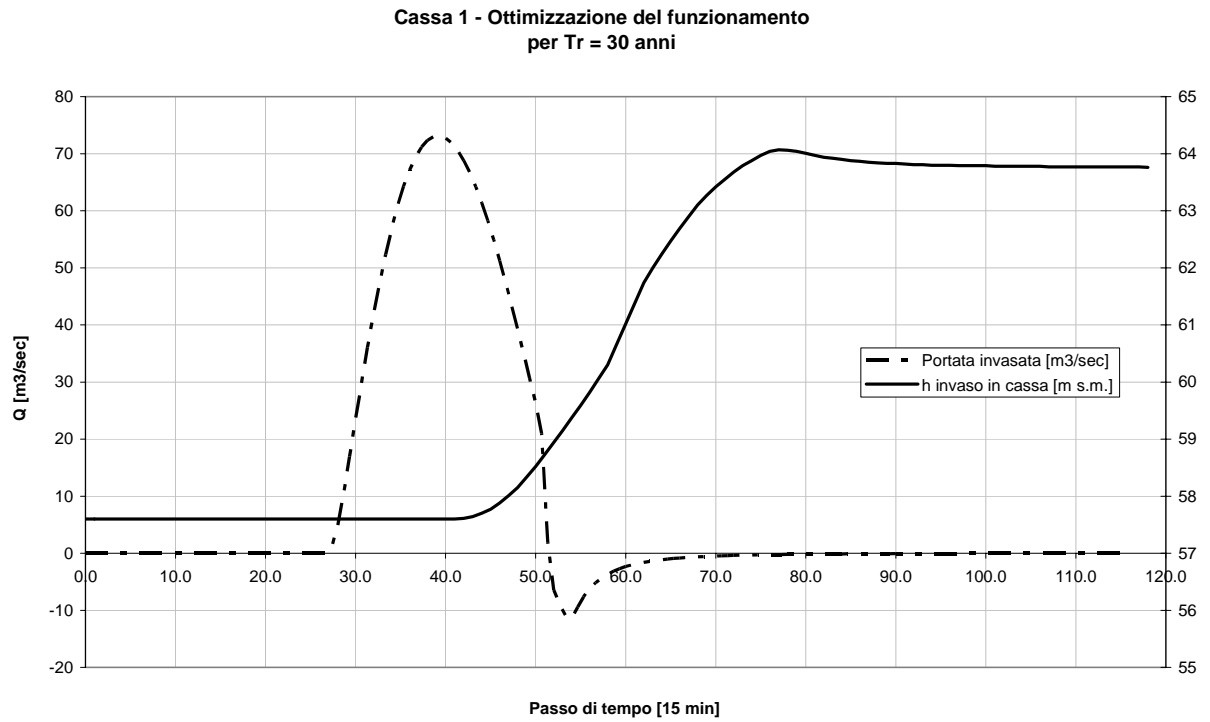


Figura 52 – Portata e livello nella cassa 1 ottimizzata per l'evento Tr = 30 anni

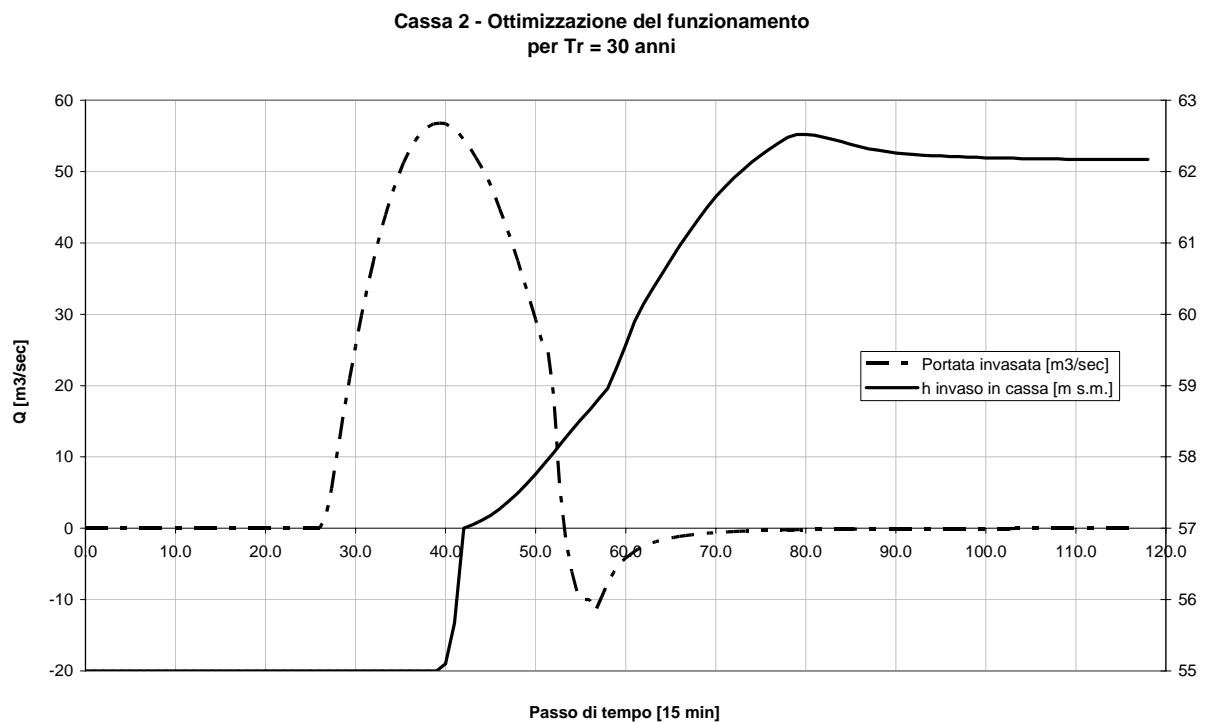


Figura 53 – Portata e livello nella cassa 1 ottimizzata per l'evento Tr = 30 anni

In conclusione, si vuole qui segnalare che, nel tratto di valle del Fiume Ronco, le aree di espansione 7, 8 e 9, forniscono un significativo contributo alla laminazione dell'onda di piena anche nel loro assetto naturale (vedi anche Figure 29 e 30) e che pertanto la loro trasformazione in aree di espansione controllata, anche se inizialmente presa in considerazione, è stata alla fine ritenuta di secondaria importanza; di conseguenza, nella Tavola B tali aree sono state indicate come aree di espansione naturale direttamente connesse al corso d'acqua.

4.2. Modello di monte

Già nell'ambito dello studio precedente, datato ottobre 2005, era stata segnalata la possibilità di utilizzare anche alcune delle aree poste a monte della confluenza del torrente Voltre come aree di espansione controllata. Per tale motivo nel presente studio è stato costruito un modello idraulico di un tratto di monte del Fiume Ronco che va da Gualdo fino alla confluenza con il Voltre. In tale tratto, nella configurazione di progetto, è stato modellato il comportamento idraulico di 5 casse di espansione: Gualdo Ovest, Gualdo, Ricò, Ricò Est e Ponte Berni (Tavola B).

Le soglie di sfioro sono state ottimizzate sia per l'evento con $Tr = 30$ anni che per l'evento con $Tr = 200$ anni. Le caratteristiche geometriche delle 5 casse di progetto sono riportate in Tabella 6b.

Tabella 6b. Caratteristiche delle 5 casse di progetto nel tratto Ronco Monte

Nome Cassa	Area (ha)	Quota fondo cassa (m)	Quota sfioro ottimizzata 30 anni (m)	Quota sfioro ottimizzata 200 anni (m)
Gualdo Ovest	9.2	90.0	96.5	97.3
Gualdo	8.2	84.0	88.5	89.1
Ricò	10.3	82.0	86.5	87.4
Ricò Est	43.9	78.0	82.0	82.8
Ponte Berni	28.9	78.0	82.0	82.9

Le Figure 54-55 riportano gli idrogrammi per tempo di ritorno T_r pari a 30 anni e 200 anni nella sezione iniziale di monte (Gualdo) e nella sezione terminale di valle (confluenza Voltre), del tratto di Fiume Ronco indagato, nella configurazione naturale e di progetto.

Dall'analisi della Figura 62c si osserva come il sistema di casse, con un meccanismo di funzionamento delle soglie sfioranti opportunamente ottimizzato (Tabella 6b), fornisca una significativa laminazione dell'onda di piena duecentennale con una abbattimento del colmo pari a circa il 30%.

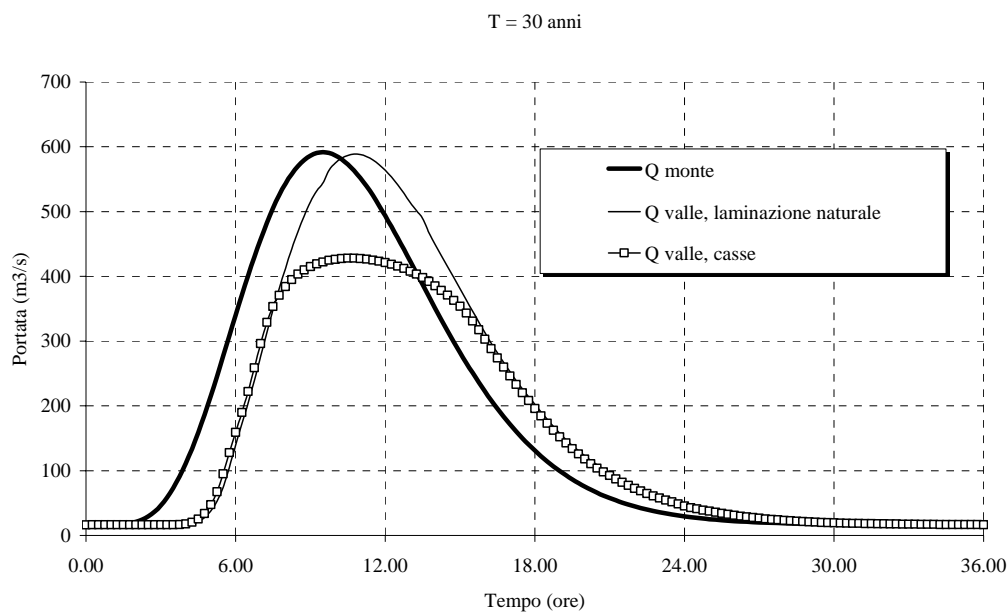


Figura 54 - Onde di piena per tempo di ritorno T_r pari a 30 anni nella sezione di monte e nella sezione di valle del tratto montano di Fiume Ronco indagato, nella configurazione naturale ed in quella di progetto.

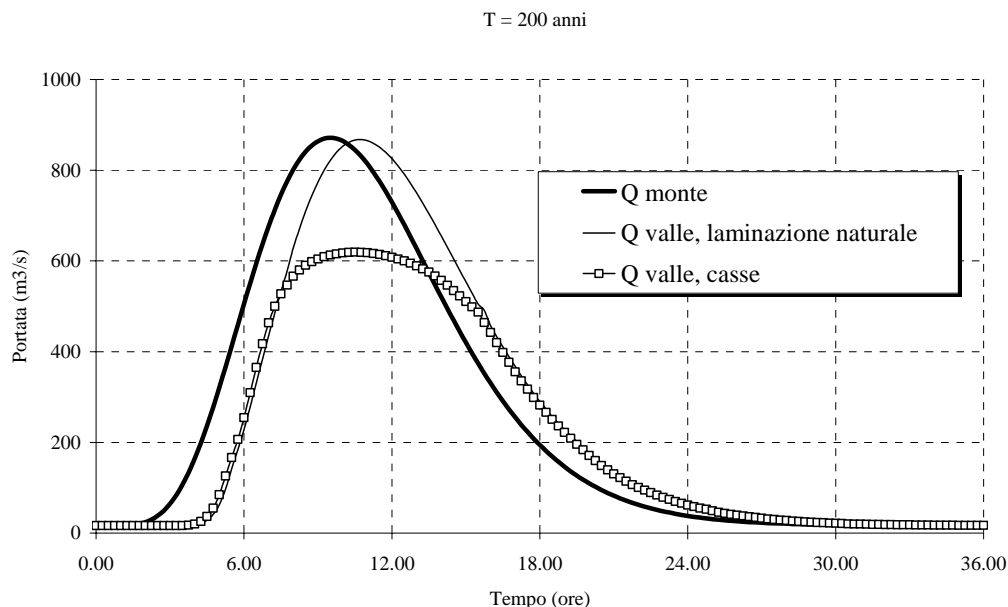


Figura 55 - Onde di piena per tempo di ritorno T_r pari a 200 anni nella sezione di monte e nella sezione di valle del tratto montano di Fiume Ronco indagato, nella configurazione naturale ed in quella di progetto.

Si fa rilevare che nello studio del tratto vallivo è stato considerato che nel tratto montano sussista la condizione attuale (assetto naturale del tratto montano), non considerando la presente alcuna cassa di espansione. Ove si considerassero presenti tali casse di monte, la laminazione nel tratto di valle, già rilevante, risulterebbe ancora maggiore. In tal senso, si riportano nelle seguenti Figure 55a-55b le onde sul Fiume Ronco nei pressi di Meldola nella configurazione naturale e nella configurazione di progetto (casse del tratto montano del Ronco: Gualdo Ovest, Gualdo, Ricò, Ricò Est e Ponte Berni), per $T = 200$ anni, e l'officiosità media del Fiume Ronco nei pressi di Meldola. Tali figure mostrano come la presenza delle casse di monte riduca, per l'evento di piena 200-ennale, la portata al colmo dai 1040 m³/s della configurazione naturale a circa 850 m³/s, fornendo dunque un importante contributo, anche se non ancora sufficiente, alla messa in sicurezza dell'abitato di Meldola.

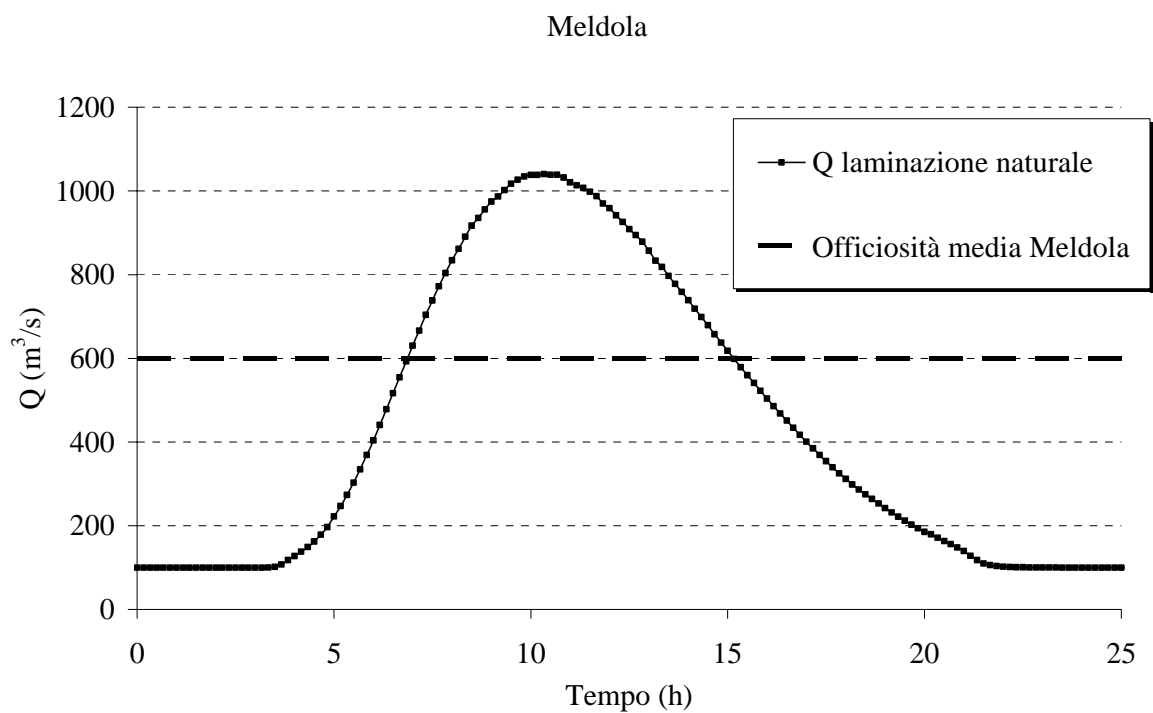


Figura 55a – Fiume Ronco: onde di piena per Tr pari a 200 anni a Meldola nella configurazione naturale; officiosità media nei pressi di Meldola.

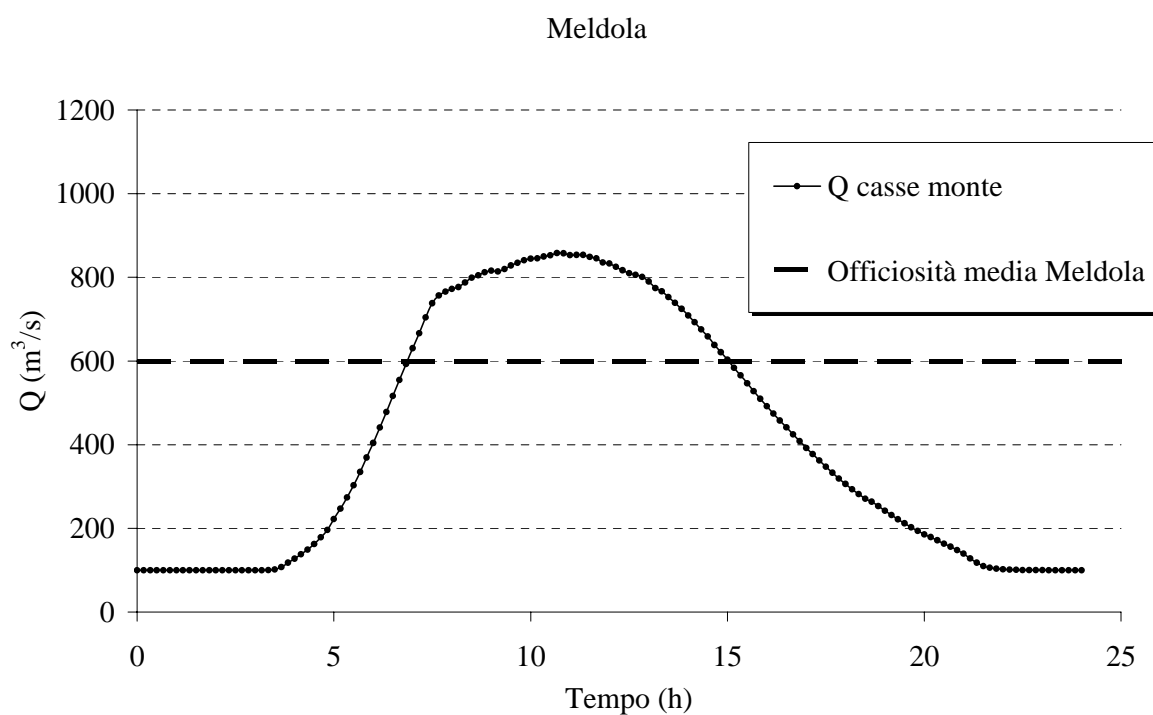


Figura 55b – Fiume Ronco: onde di piena per Tr pari a 200 anni a Meldola nella configurazione di progetto (casse di monte del Ronco); officiosità media nei pressi di Meldola.

5. IL FIUME MONTONE

Il fiume Montone è stato studiato nel tratto che va dalla sezione immediatamente a valle del centro abitato di Castrocaro a circa 2 km a valle dalla confluenza del torrente Rabbi, in corrispondenza della sezione rilevata numero 106, distante circa 270 m da Piazzale di Porta Schiavonia sita nel centro della città di Forlì. L'asta fluviale introdotta nel modello è complessivamente lunga circa 14 km e si spinge più a valle rispetto alla porzione di interesse di circa 2 km allo scopo di posizionare la condizione al contorno sufficientemente lontana dalla zona in studio, onde diminuire la sua influenza sui risultati ottenuti.

A valle del centro abitato di Forlì, il fiume Montone cambia il suo aspetto e rispetto al tratto di monte si presenta per lo più arginato, con sezione piuttosto regolare, con assenza quasi totale di anse e di meandri utilizzabili quali varici di espansione in caso di piena. Nel tratto di monte, invece, si nota un andamento del corso d'acqua marcatamente meandriforme, con presenza di alcune aree di possibile invaso.

Per l'assegnazione dei coefficienti di scabrezza, non disponendo di adeguate osservazioni idrometriche all'interno del tratto, si è fatto riferimento alla taratura effettuata nello studio precedente, utilizzato, come detto nell'introduzione, quale base dell'attuale lavoro, per il tratto di Montone a valle di Forlì, ottenuta dall'analisi delle informazioni ricavate durante le attività di sopralluogo.

Rispetto alle ipotesi fatte nello studio precedente, la configurazione delle aree di invaso è stata modificata: nell'assetto proposto sul Montone, nel tratto indagato con il modello idraulico, è ubicata solo una cassa (denominata Area 5), in cui poter ottimizzare le quote di sfioro e aumentare i volumi di invaso mediante approfondimento della quota di fondo, sempre mantenendo un certo franco rispetto al piano della falda freatica.

Il modello è stato testato in moto vario prima nella sua configurazione attuale, poi con gli invasi di progetto.

**Onde di piena fiume Montone Tr 30 anni
nelle sezioni a valle di Castrocaro e
imm. a monte della confluenza del t. Rabbi**

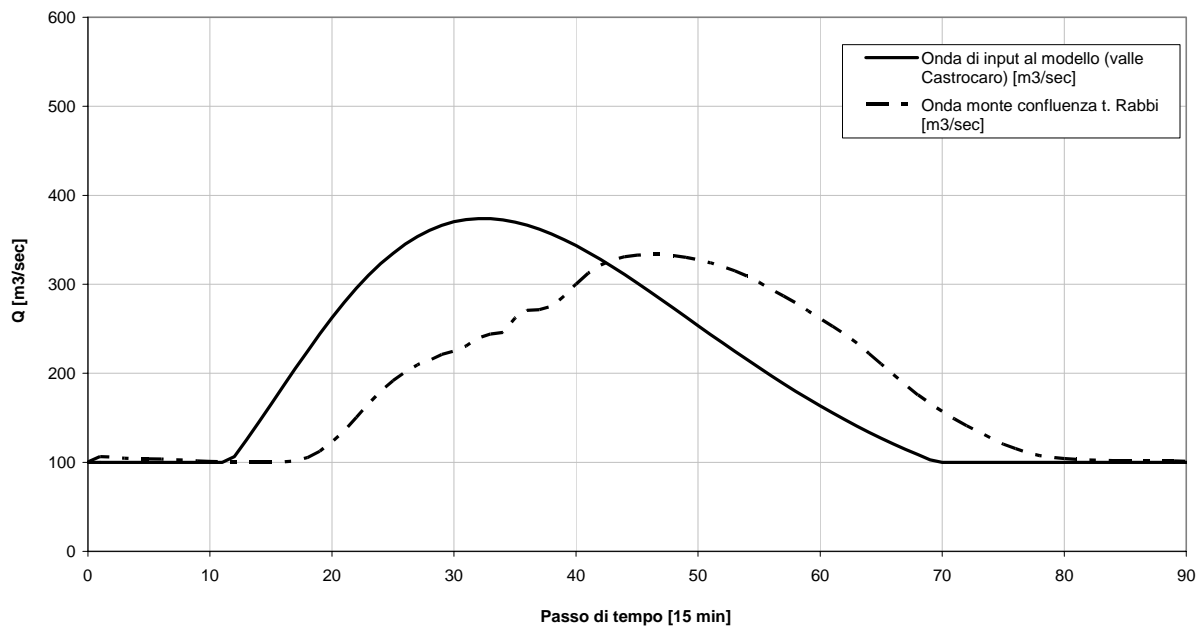


Figura 56 – Onda di piena del fiume Montone alle estremità dell’asta indagata (valle Castrocaro e monte Forlì) nella configurazione naturale, per tempo di ritorno 30 anni

**Onde di piena fiume Montone Tr 200 anni
nelle sezioni a valle di Castrocaro e
imm. a monte della confluenza del t. Rabbi**

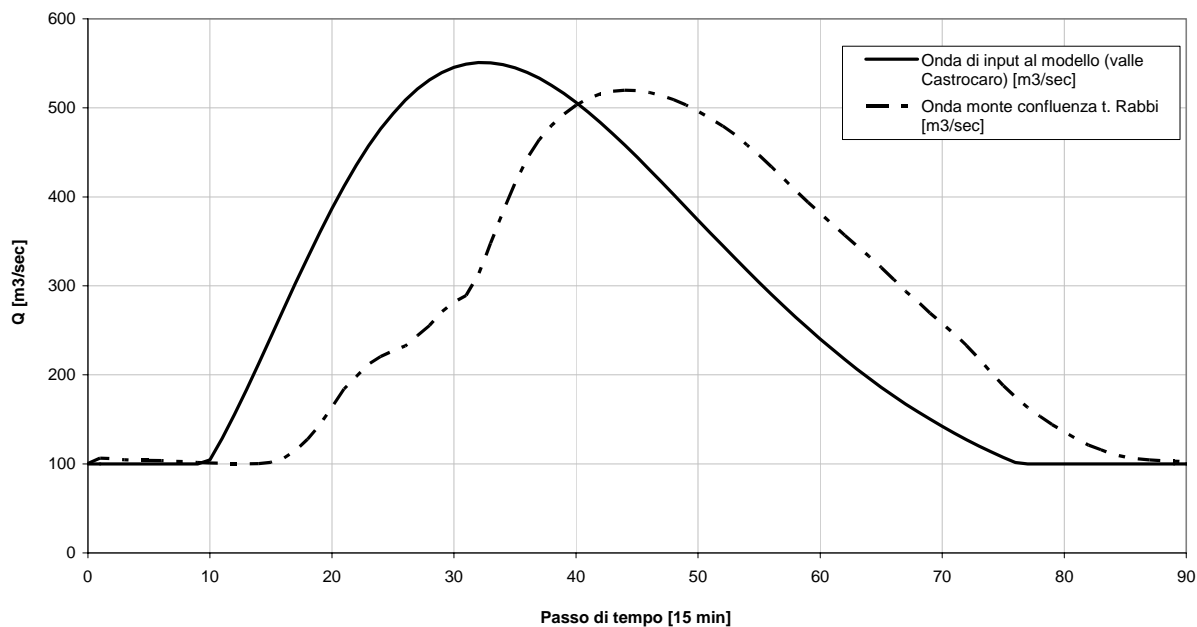


Figura 57 – Onda di piena del fiume Montone alle estremità dell’asta indagata (valle Castrocaro e monte Forlì) nella configurazione naturale, per tempo di ritorno 200 anni

Nell'assetto naturale del corso d'acqua, le espansioni golenali e i meandri sono stati schematizzati come aree di invaso, di superficie e volume desunti dalla conformazione attuale delle zone prospicienti l'alveo, collegate al corso d'acqua mediante sfiori posti alla quota dei rilevati arginali o del ciglio, qualora non esistano veri e propri argini di separazione tra alveo di magra e golenale: l'asta nel tratto indagato presenta complessivamente dieci aree di espansione naturali, le cui caratteristiche salienti sono indicate in Tabella 7. Le caratteristiche geometriche di configurazione delle aree di espansione naturali, da cui sono state desunte le curve di invaso (Figure 58-67), derivano sia dai dati del modello del Fiume Montone precedentemente in essere, sia dall'esame di rilievi topografici esistenti e messi a disposizione dello scrivente.

Come si può notare osservando i risultati forniti dal modello per il sistema di aree di invaso naturali (Figure 56/57), l'effetto del funzionamento del sistema golenale sull'onda di piena in transito nel tronco esaminato è piuttosto modesto, osservandosi a valle del sistema di aree di laminazione solo una lieve diminuzione del picco e una certa traslazione dello stesso. Utilizzando la geometria di calcolo attuale, infatti, si osserva che l'onda di piena introdotta nella sezione a monte trasla fino all'ultima sezione di interesse (monte Forlì), con una lieve diminuzione del picco che passa da 374 a 334 m³/sec per il tempo di ritorno pari a 30 anni (Figura 56) e da 551 m³/sec circa a 520 m³/sec per il tempo di ritorno di 200 anni e (Figura 57).

Pur essendo, infatti, la superficie totale disponibile per l'accumulo dei volumi di piena pari a circa 161 ettari, la portata massima sfiorata, per la quota attuale del manufatto naturale di sfioro costituito dai rilevati arginali golenali è piuttosto modesta, oscillando tra i 10 e i 30 m³/sec; il fenomeno di invaso, inoltre, è accompagnato spesso dal quasi contemporaneo rientro dei volumi in alveo, non appena il rilevato presenta delle discontinuità o dei tratti di minore altezza.

Legge di invaso Area 1

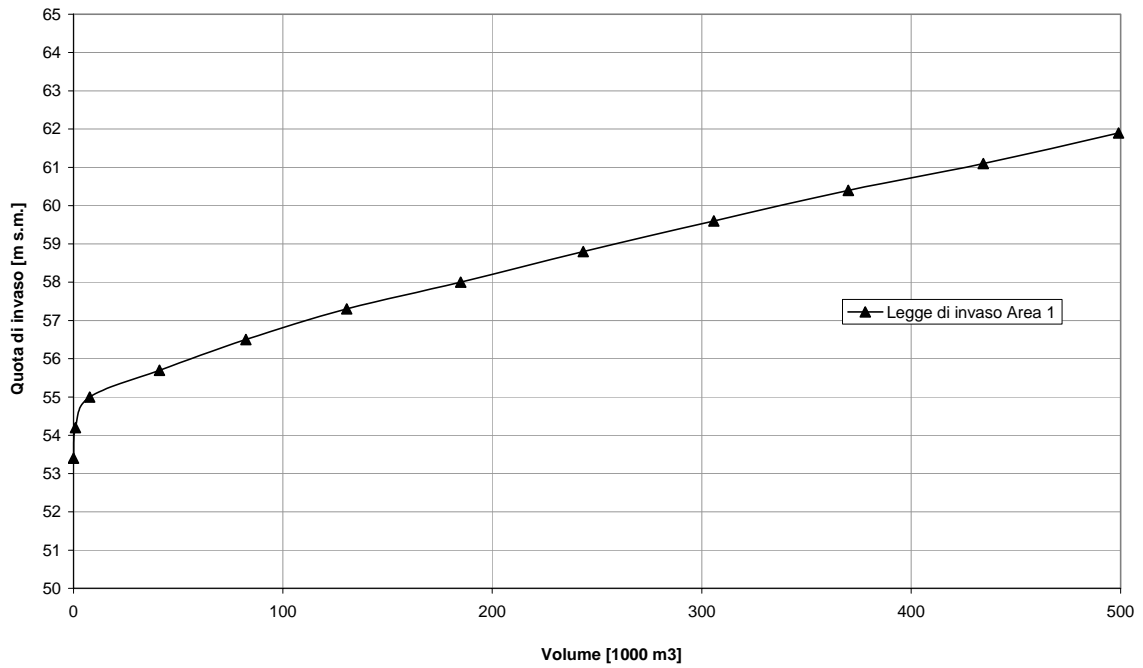


Figura 58 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 1

Legge di invaso Area 0

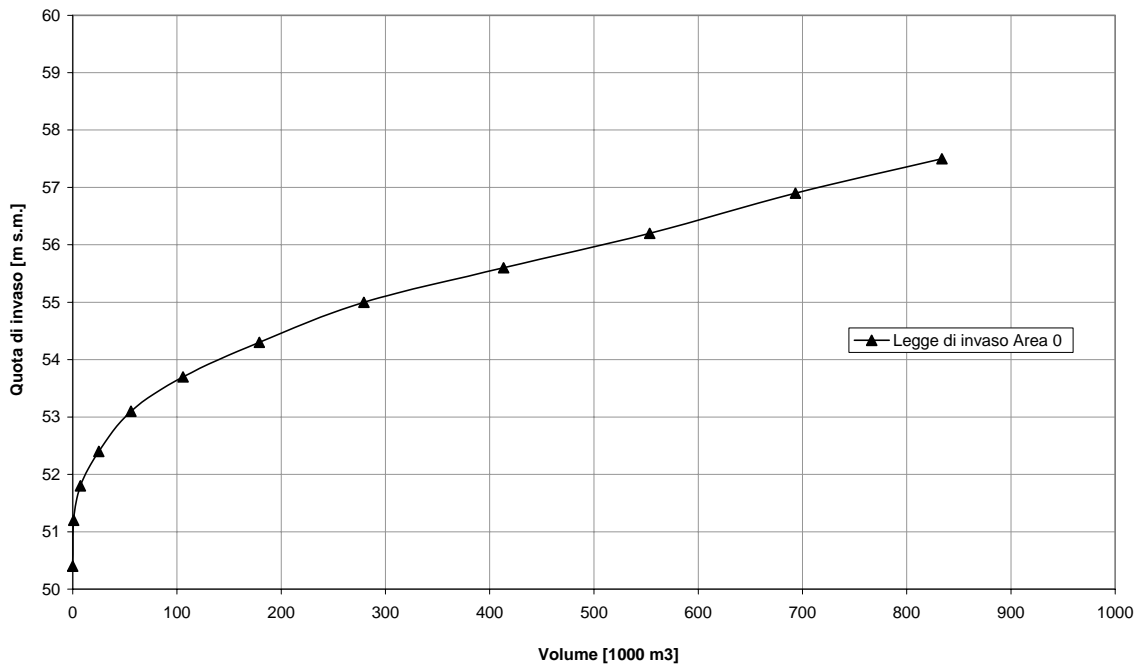


Figura 59 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 0

Legge di invaso Area 2

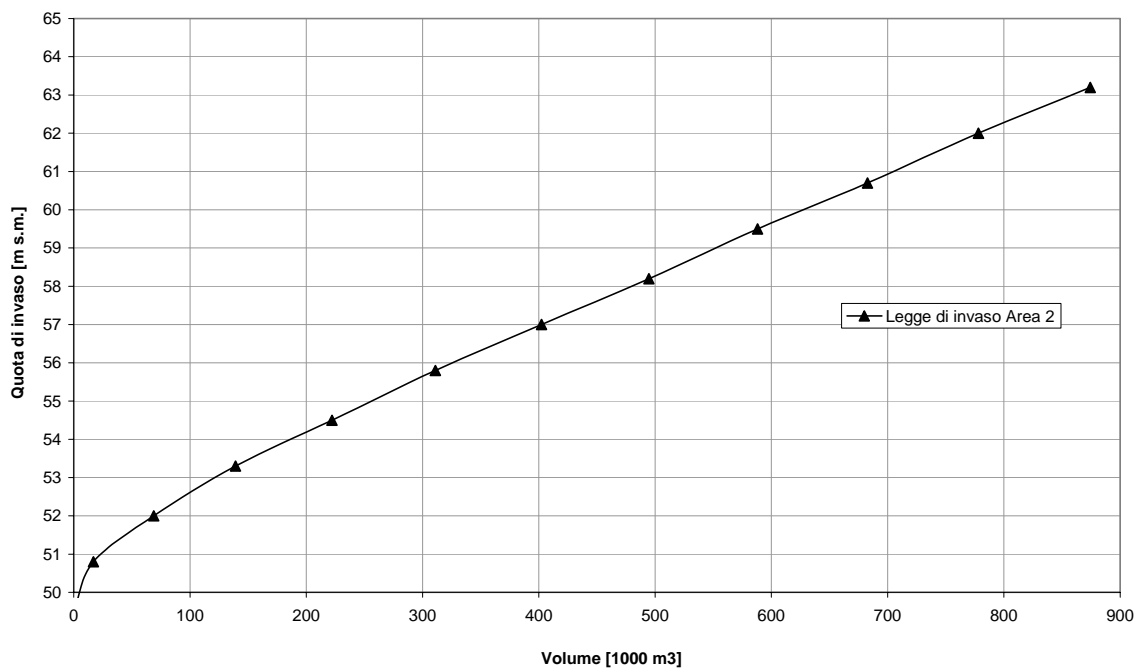


Figura 60 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 2

Legge di invaso Area Rovere

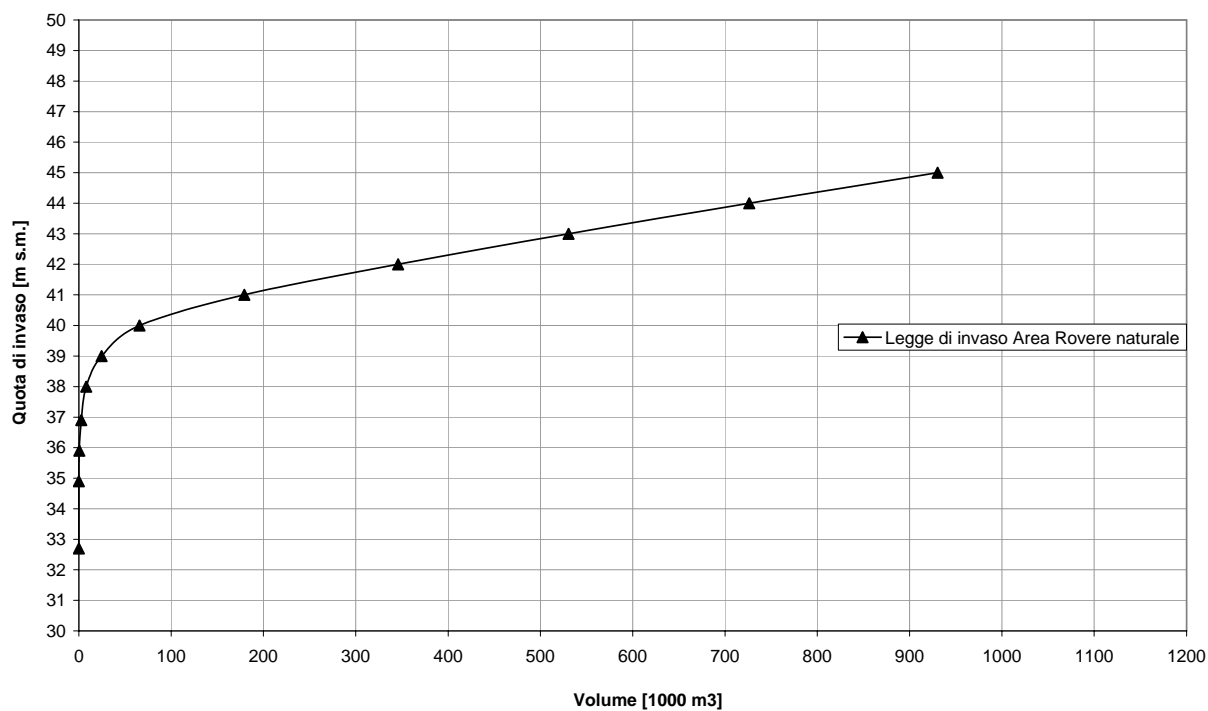


Figura 61 – Legge di invaso della zona di espansione denominata “Rovere”

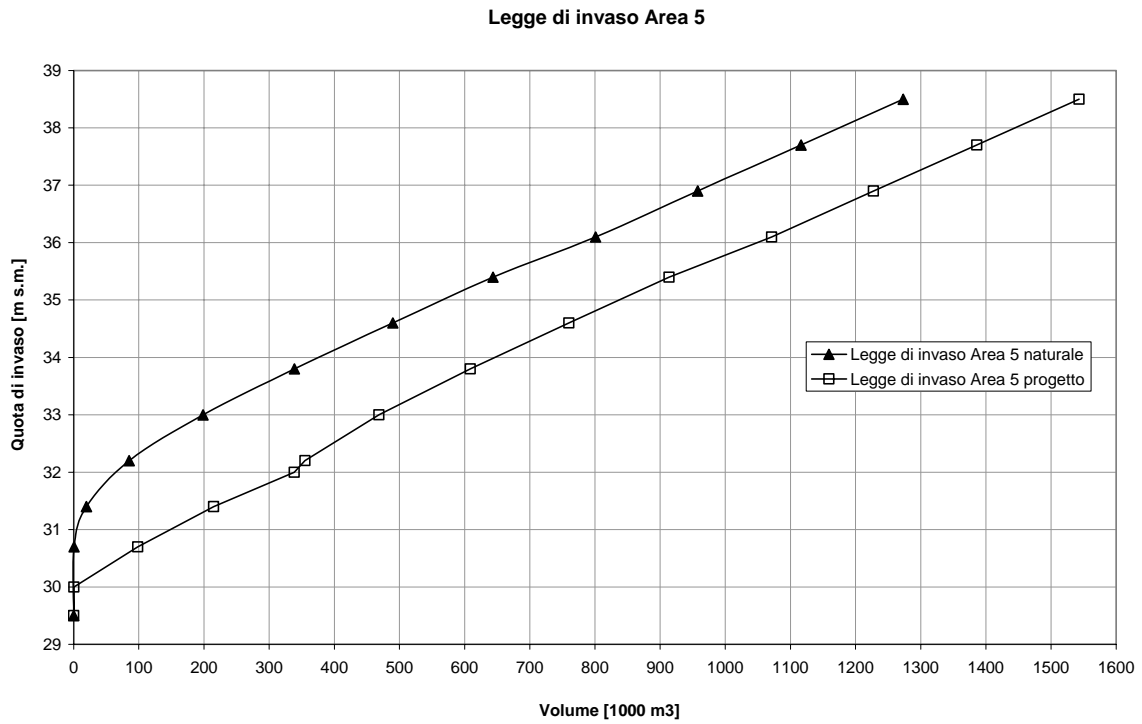


Figura 62 – Legge di invaso della zona di espansione denominata Area 5

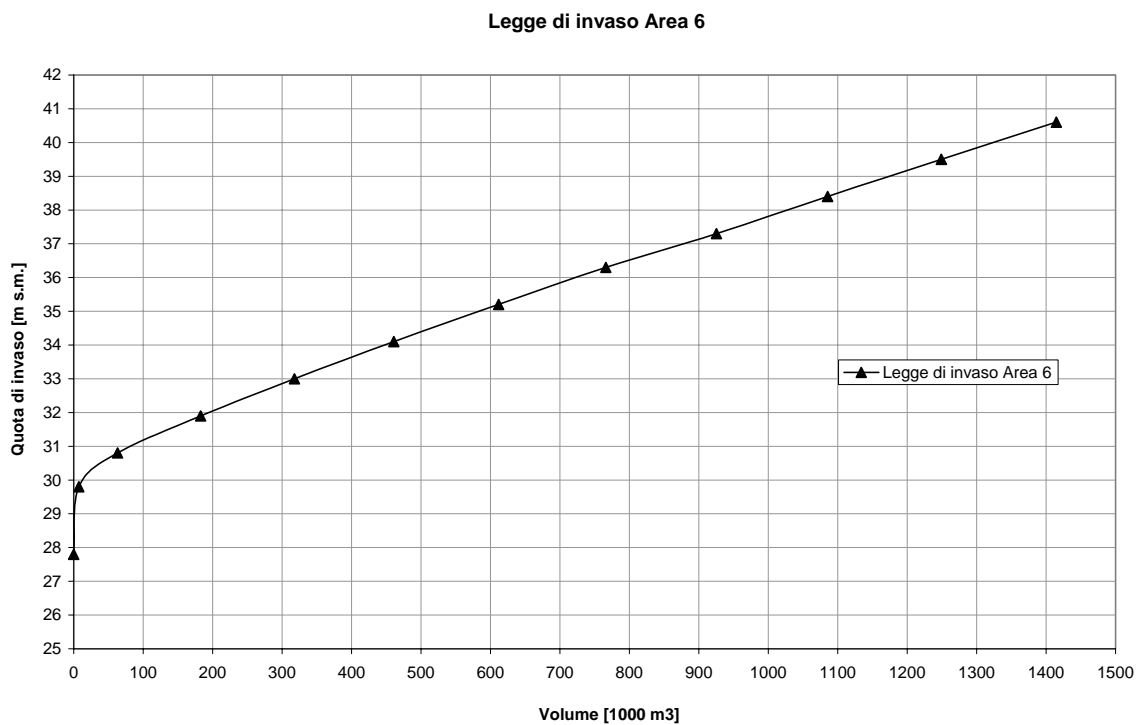


Figura 63 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 6

Legge di invaso Area 8

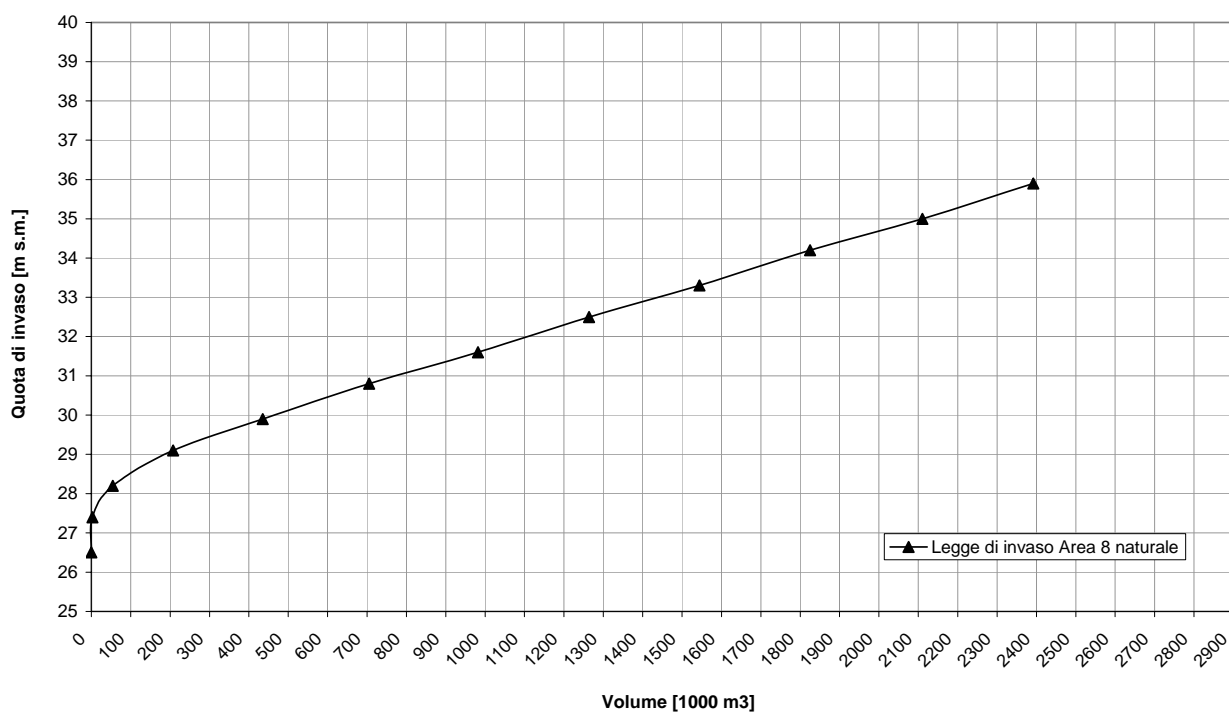


Figura 64 – Legge di invaso della zona di espansione denominata Area 8

Legge di invaso Area 9_1

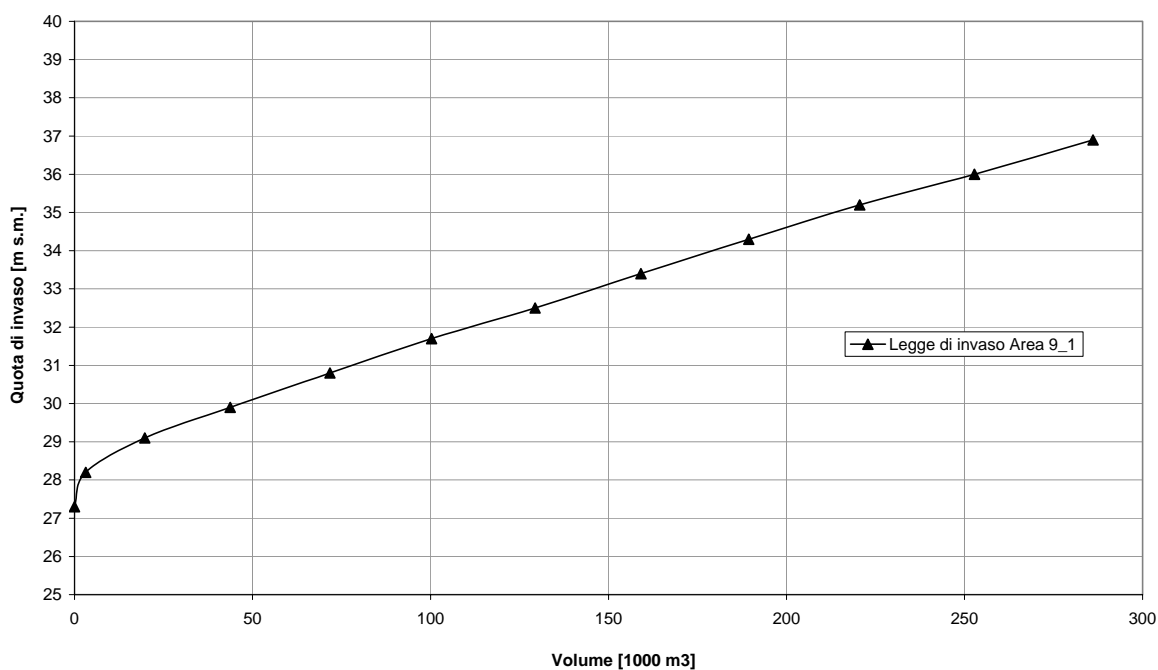


Figura 65 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 9_1

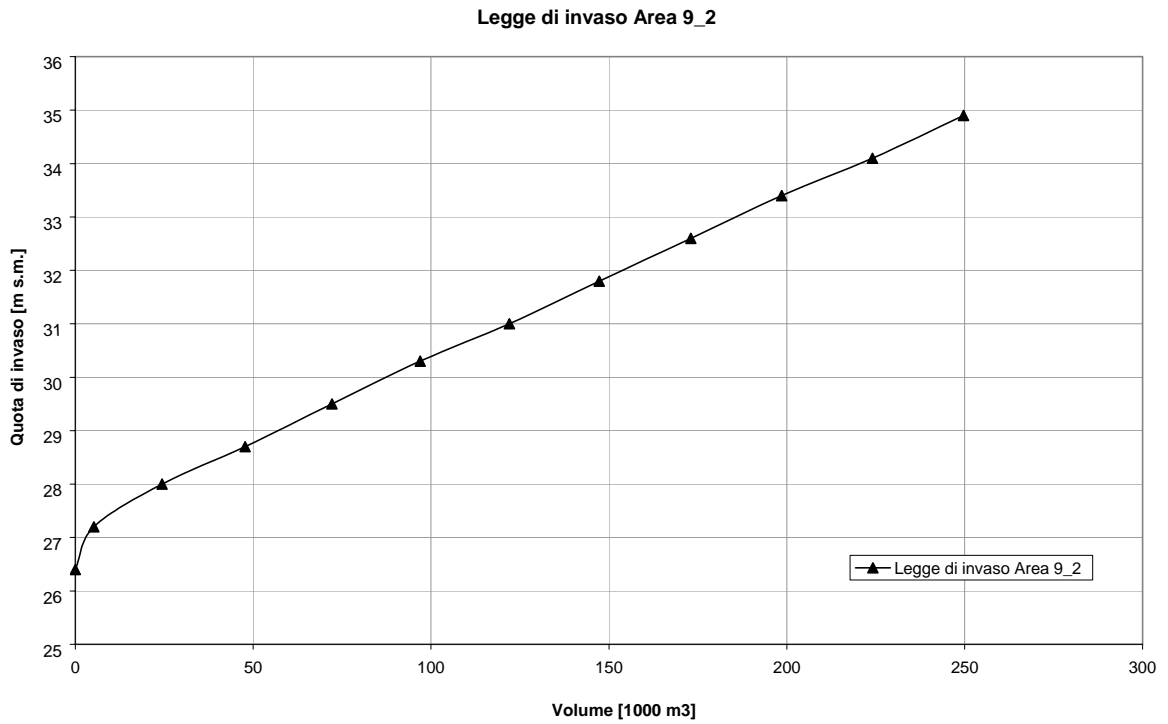


Figura 66 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 9_2

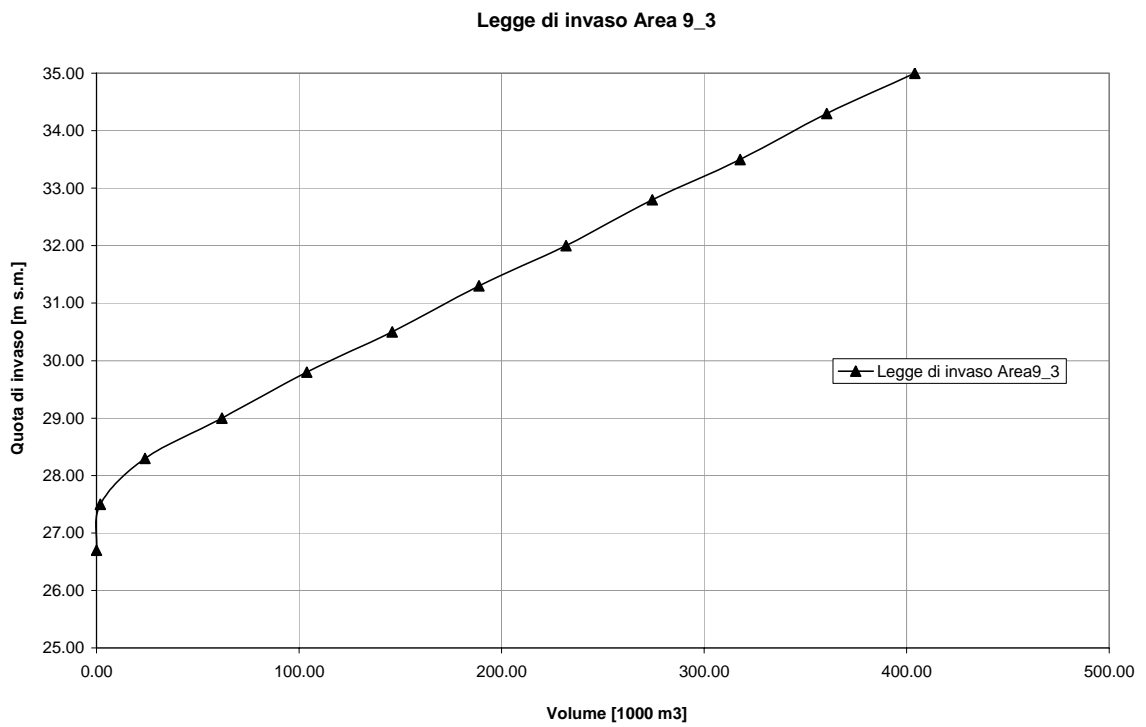


Figura 67 – Legge di invaso della zona di espansione golenale denominata Area 9_3

In accordo con quanto scaturito dalle analisi preliminari e quanto concordato con l'Amministrazione, l'unica cassa di espansione di progetto da considerare lungo l'asta del Montone nel tratto da Castrocaro alla sezione a monte di Forlì è quella denominata "Area 5" (Tavola B).

Tabella 7 – Caratteristiche geometriche delle aree di laminazione di progetto e naturali lungo l'asta del fiume Montone

Area di invaso	Sup [ha]	Quota fondo minima [m s.m.]		Località	Tipologia (tavola B)
		Naturale	Progetto		
Area 1	8.38	53.4			Area di espansione naturale
Area 0	22.34	50.4			Area di espansione naturale
Area 2	7.76	49.5			Area di espansione naturale
Rovere	20.31	32.7		Rovere	<i>Ulteriore possibile area per interventi di laminazione</i>
Area5	20.09	29.5	29.5	Gagliardo	<i>Area di espansione controllata</i>
Area 6	15.51	27.8			Area di espansione naturale
Area8	33.23	26.5		San Varano	Area di espansione naturale
Area9_1	12.96	27.3		Ospedale	Area di espansione naturale
Area 9_2		26.4			
Area 9_3		26.7			

Nelle area di progetto ("area 5") la volumetria naturalmente disponibile è stata potenziata mediante scavo e approfondimento del piano medio di fondo, senza comunque variare la quota minima per compatibilità con i livelli di falda, e le modalità di connessione all'alveo sono state adeguate considerando una nuova quota del fondo, il posizionamento di argini di contenimento e di un manufatto di sfioro finalizzato all'alimentazione degli invasi.

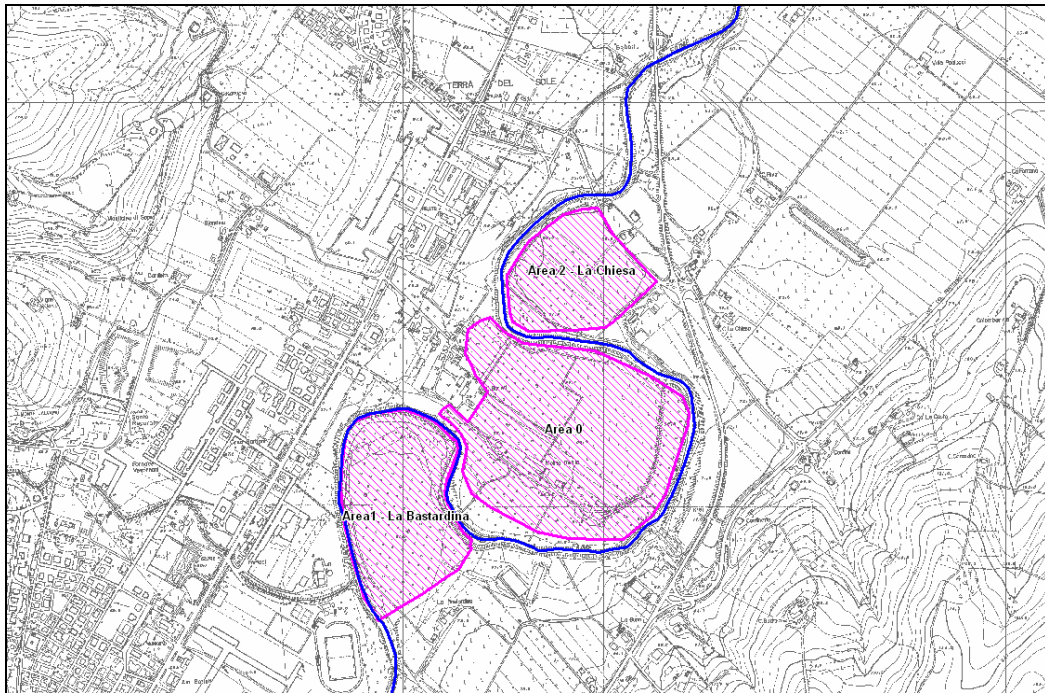


Figura 68 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle aree denominate Area 0, Area 1 ed Area 2

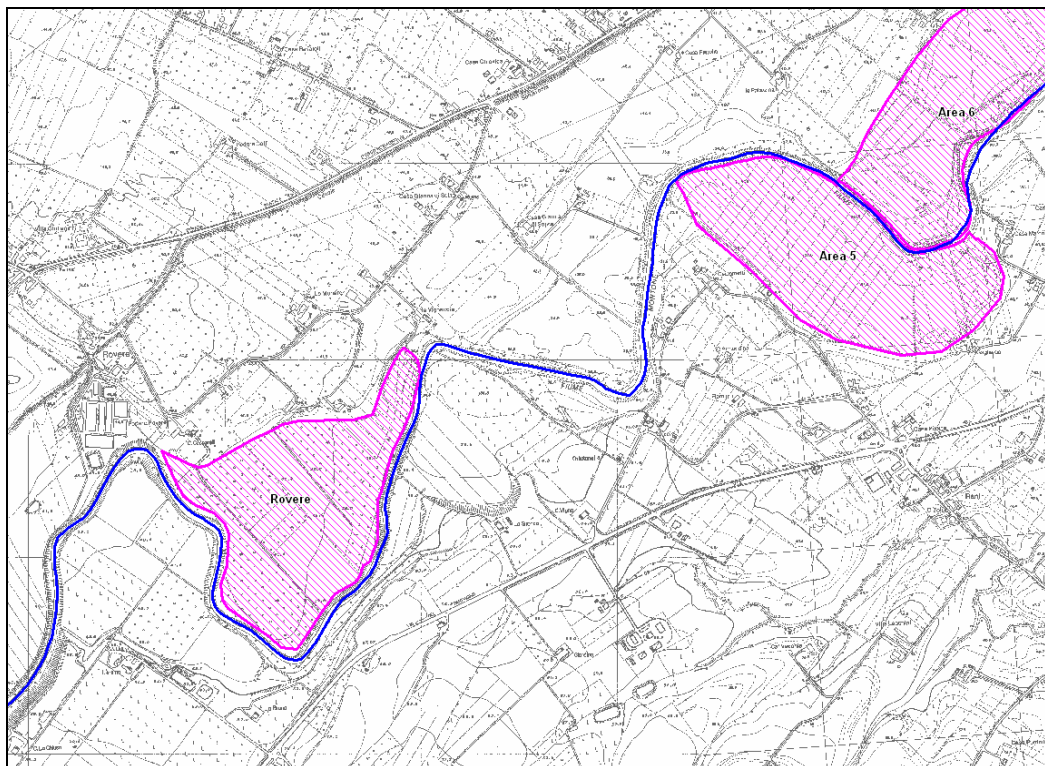


Figura 69 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle aree denominate Rovere (dalla vicina località), Area 5 e Area 6

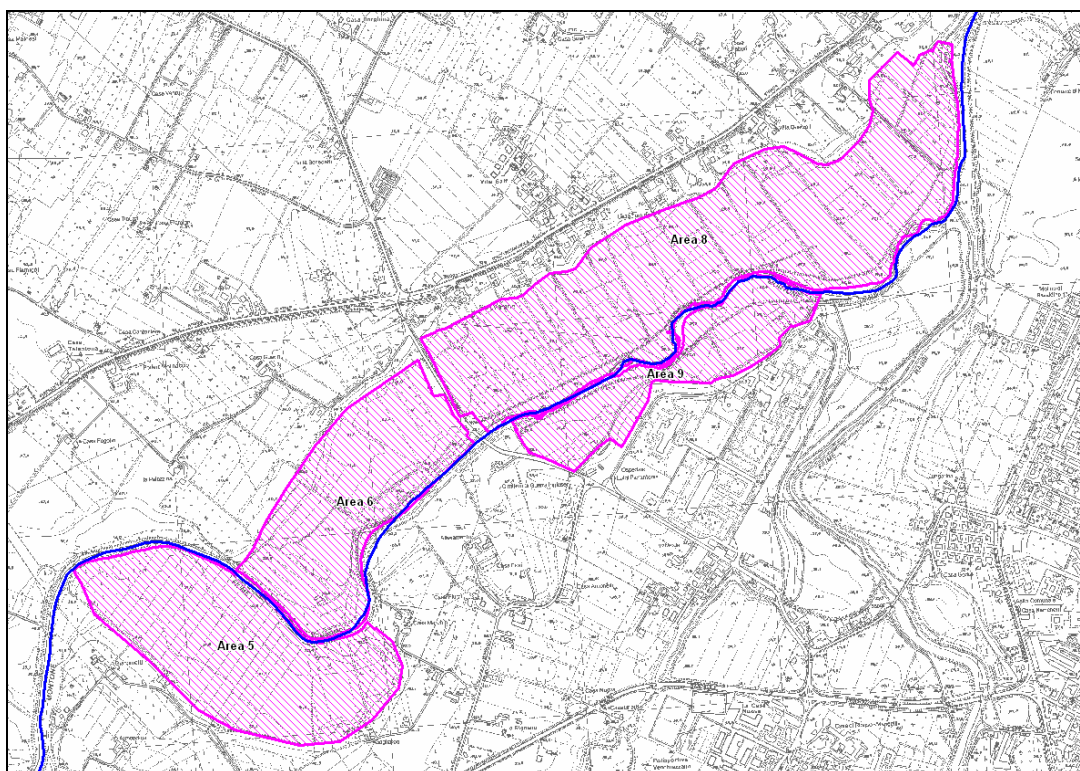


Figura 70 – Rappresentazione planimetrica (su supporto cartografico originariamente in scala 1:5000) delle aree denominate Area 5, Area 6, Area 8 e Area 9

I risultati ottenuti in termini di laminazione dell'onda di piena nelle due sezioni poste all'inizio e alla fine del tratto modellato sono riportati in Figura 71 (per tempo di ritorno pari a 30 anni) e Figura 72 per il tempo di ritorno di duecento anni, mentre nel grafico di Figura 73 è indicata l'onda di piena nelle sezioni immediatamente a monte e a valle delle cassa 5 per $Tr = 200$ anni.

Nonostante la buona laminazione conseguita, in occasione di un evento caratterizzato da tempo di ritorno duecentennale, situazioni localizzate di criticità continuano a registrarsi lungo l'asta, in particolare nel primo tratto, ove il ponte stradale in località Terra del Sole, posto immediatamente a valle di tre aree attualmente considerate come direttamente connesse al corso d'acqua e, quindi, non regolate (Area 1, Area 0, e Area 2), risulta insufficiente al passaggio della piena: tali zone golenali, infatti, nonostante siano caratterizzate da superfici importanti (circa 50 ha ciascuna), non riescono, nella attuale conformazione topografica e geometrica, a intercettare l'onda di piena con la giusta tempistica e non hanno, dunque, effetti apprezzabili sulla laminazione. Tale problema può trovare una soluzione sia ipotizzando un rimodellamento degli argini golenali, in modo da ottimizzarne il funzionamento, senza ipotizzare operazioni di scavo (in tal caso, quindi, le aree manterrebbero di fatto la loro attuale

vocazione), sia trasformando le aree in vere e proprie casse (previe opportune verifiche progettuali) con operazioni di rimodellamento morfologico delle stesse, sia individuando ulteriori superfici di invaso idonee nel tratto a monte di Castrocaro, non soggetto a modellazione evidenziato nella Tavola B allegata alla relazione.

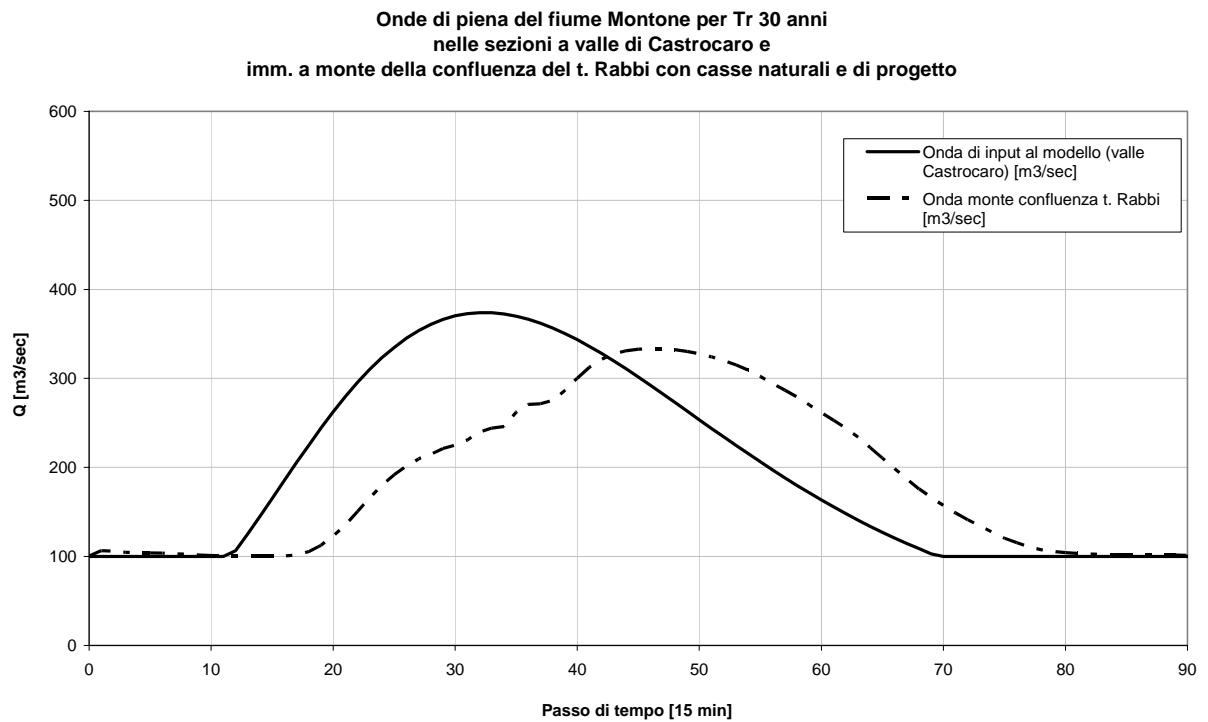


Figura 71 – Onde di piena per Tr pari a 30 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle del sistema di aree di espansioni direttamente connesse e controllate

**Onde di piena del fiume Montone per Tr 200 anni
nelle sezioni a valle di Castrocaro e imm. a monte della confluenza del t. Rabbi
con casse naturali e di progetto**

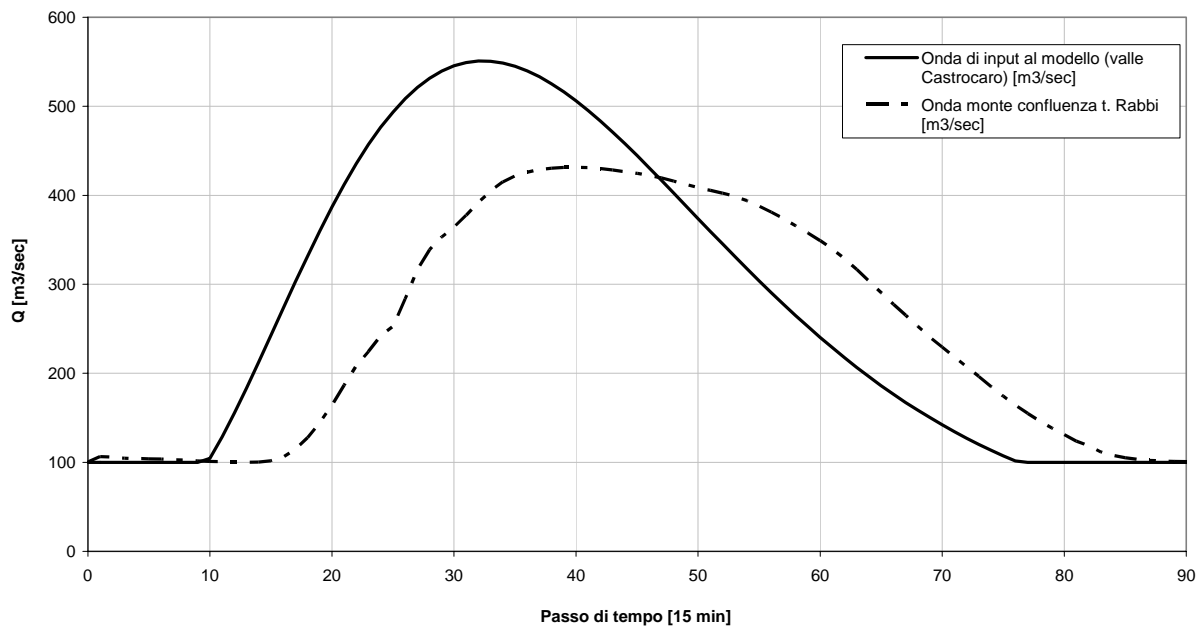


Figura 72 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle del sistema di aree di espansioni direttamente connesse e controllate

**Onde di piena fiume Montone Tr 200 anni
nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa "Area5"**

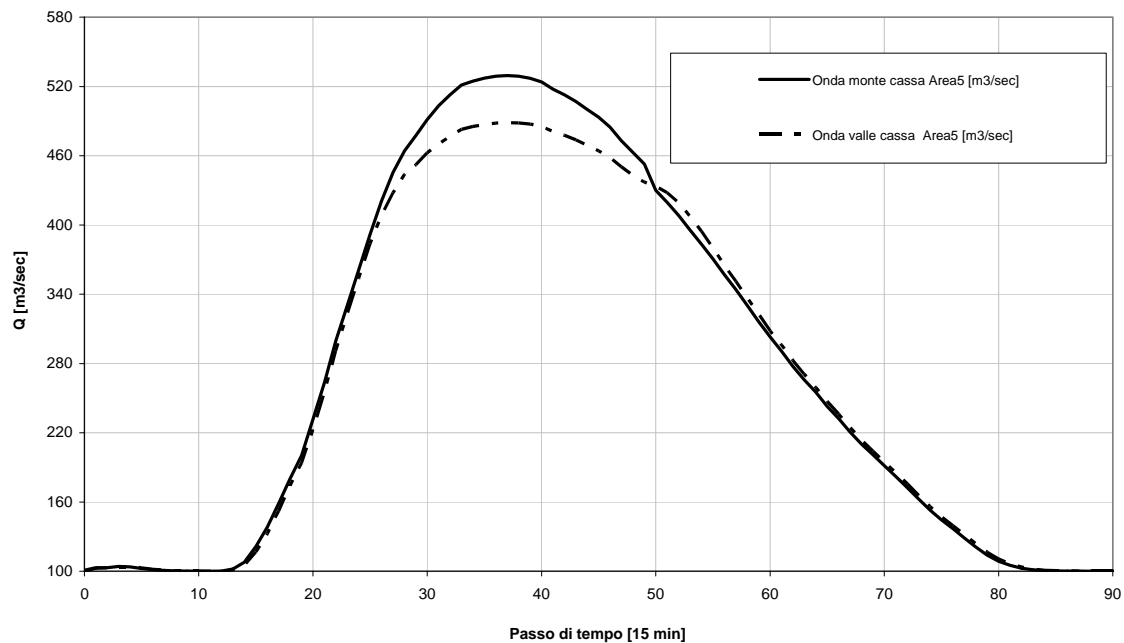


Figura 73 – Onde di piena per Tr pari a 200 anni nelle sezioni immediatamente a monte e a valle della cassa di progetto denominata "Area 5"

6. IL FIUME RABBI

Il fiume Rabbi è stato studiato nel tratto d'asta fluviale, di lunghezza pari a circa 14 km, che va da Fiumana alla confluenza nel Fiume Montone. Come per il Montone, per l'assegnazione dei coefficienti di scabrezza, non disponendo di valori di portata osservati all'interno del tratto, si è fatto riferimento alla taratura effettuata nello studio precedente, utilizzato, come detto nell'introduzione, quale base dell'attuale lavoro. Per quanto riguarda le onde di piena si sono adottate quelle disponibili negli studi pregressi dell'Autorità di Bacino.

Il modello del Rabbi è stato testato in moto vario prima nella sua configurazione attuale, poi con l'inserimento nel modello di una cassa di espansione nei pressi di San Lorenzo (Tavola B). La cassa ha un'estensione di 43.3 ha e la quota fondo cassa minima è pari a 61 m s.l.m. La soglia di sfioro è stata ottimizzata sia per l'evento con $Tr = 30$ anni che per l'evento con $Tr = 200$ anni. Nel primo caso ne è risultata una quota di 66.5 m.s.m. nel secondo una quota di 67.4 m.s.m. La trasformazione in cassa di espansione prevede di rimodellare la superficie topografica con operazioni di asportazione di materiale, mantenendo però la medesima quota di fondo minima dell'assetto attuale. Ciò in assenza di informazioni precise sull'andamento della falda freatica; nelle fasi progettuali successive potrà essere presa in considerazione l'opportunità di abbassare il fondo minimo, ampliando la volumetria della cassa, a valle di specifiche indagini freaticometriche.

Le figure 74/75 riportano le onde di piena per tempo di ritorno Tr pari a 30 anni e 200 anni nella sezione di monte e nella sezione di valle del tratto di Fiume Rabbi indagato, nella configurazione naturale e di progetto.

Dall'analisi della Figura 75 si osserva come la cassa d'espansione di San Lorenzo, con un meccanismo di funzionamento delle soglie sfioranti opportunamente ottimizzato, fornisce una significativa laminazione dell'onda di piena con una percentuale di abbattimento del colmo pari a circa il 25%.

Nella Tavola B sono inoltre indicate ulteriori aree di possibile localizzazione interventi di laminazione - Fiumana, Cellini, Mezzacosta, la Chiusa, il Priori - situate nei pressi di San Lorenzo, individuate a seguito dei sopralluoghi eseguiti. Potrà essere presa in considerazione la trasformazione di alcune di esse in casse di espansione a valle di specifici approfondimenti progettuali.

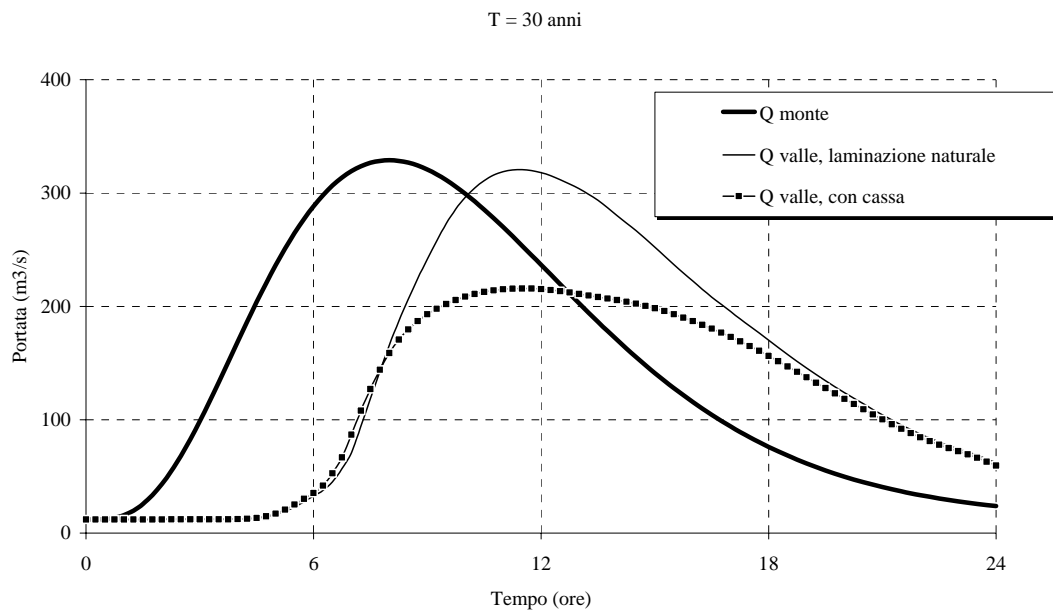


Figura 74 - Onde di piena per T_r pari a 30 anni nella sezione di monte del tratto di Fiume Rabbi indagato (Fiumana) e nella sezione di valle (confluenza in Montone), nella configurazione naturale ed in quella di progetto (realizzazione della cassa di San Lorenzo).

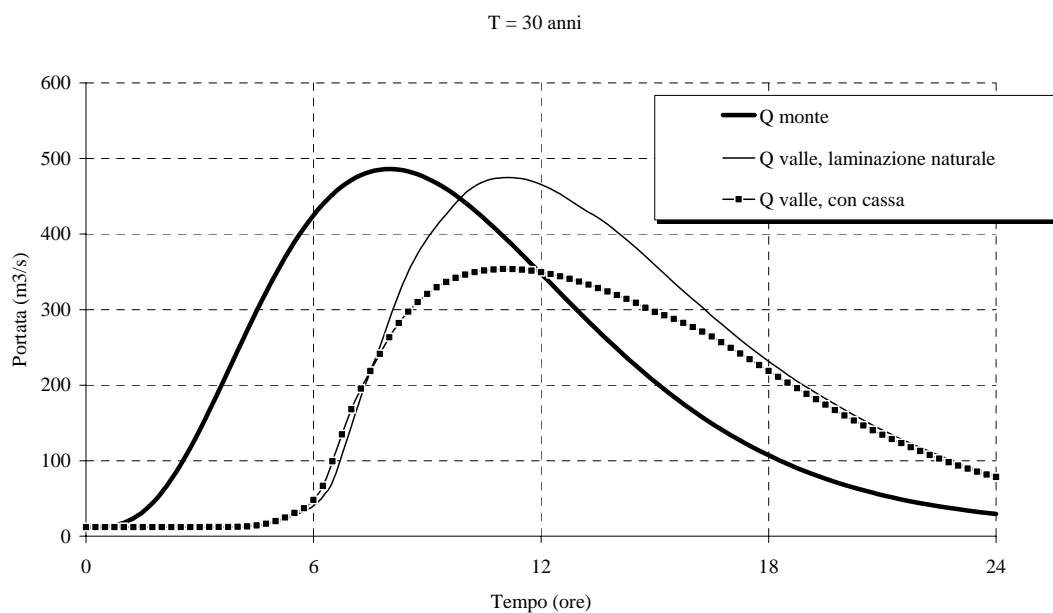


Figura 75 - Onde di piena per T_r pari a 200 anni nella sezione di monte del tratto di Fiume Rabbi indagato (Fiumana) e nella sezione di valle (confluenza in Montone), nella configurazione naturale ed in quella di progetto (realizzazione della cassa di San Lorenzo).

Si fa presente infine che, nello studio del tratto terminale del Fiume Montone, è stato considerato il contributo naturale del Rabbi, prescindendo dalla presenza della cassa di

progetto di San Lorenzo. In realtà, la realizzazione di quest'ultima potrebbe contribuire significativamente a mitigare le situazioni di insufficiente officiosità idraulica (o comunque ad aumentare i franchi di sicurezza) in corrispondenza dell'attraversamento dell'abitato di Forlì. In tal senso, si riportano nelle seguenti Figure 76-77 le onde sul Fiume Montone a valle della confluenza del Rabbi nella configurazione naturale e nella configurazione di progetto (cassa di San Lorenzo), per $T = 200$ anni, e l'officiosità media del Fiume Montone nei pressi di Forlì.

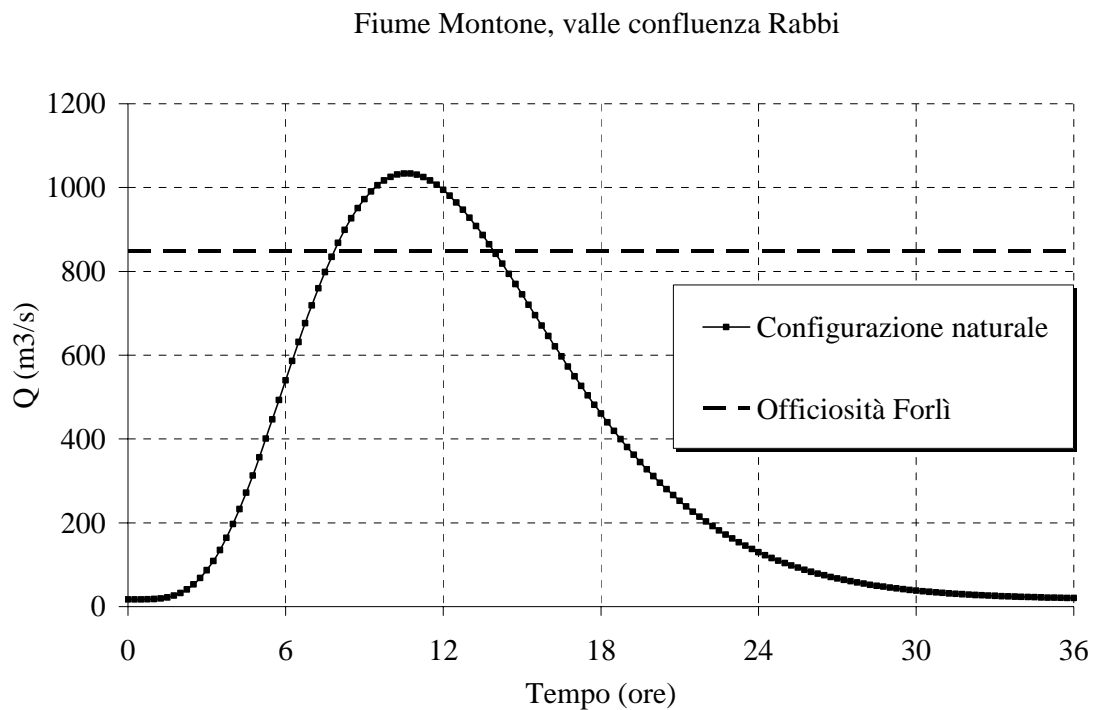


Figura 76 – Fiume Montone: onde di piena per T_r pari a 200 anni nella sezione a valle della confluenza del Rabbi nella configurazione naturale; officiosità media nei pressi di Forlì.

Fiume Montone, valle confluenza Rabbi

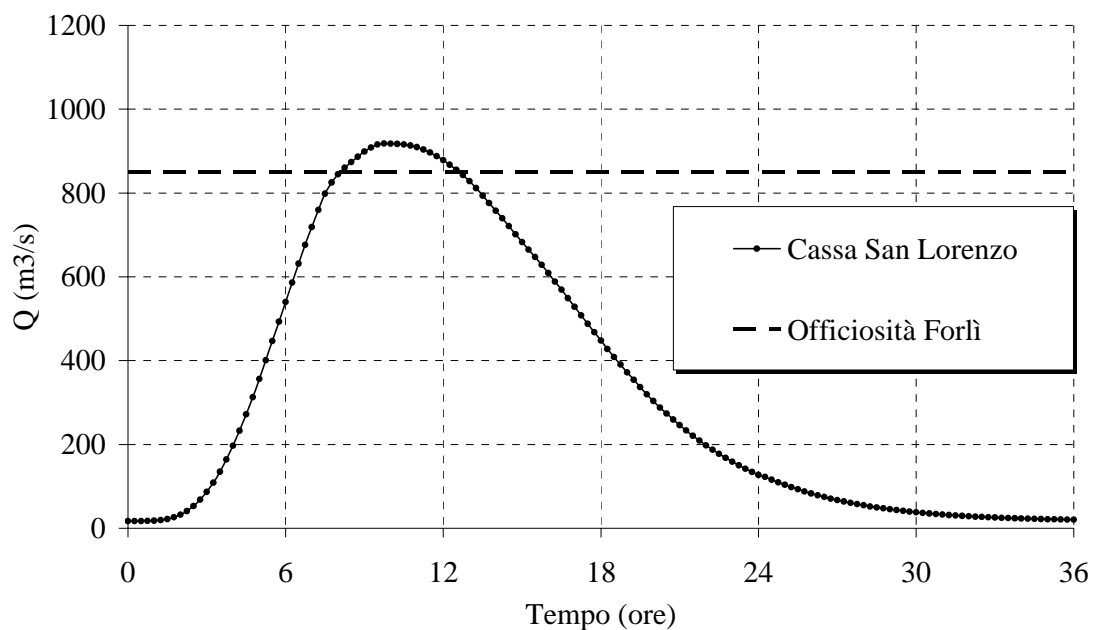


Figura 77 – Fiume Montone: onde di piena per Tr pari a 200 anni nella sezione a valle della confluenza del Rabbi nella configurazione di progetto (realizzazione della cassa di San Lorenzo); officiosità media nei pressi di Forlì.

Le Figure 76-77 mostrano come la presenza della cassa di San Lorenzo riduca, per l'evento di piena 200-ennale, la portata al colmo dai 1050 m^3/s della configurazione naturale a circa 900 m^3/s , fornendo dunque un importante contributo alla messa in sicurezza dell'abitato di Forlì.

7. ANALISI DEI RISULTATI

Nella Tabella 8 sono riportati, per ciascuno dei corsi d'acqua studiati, i valori dei colmi degli idrogrammi di piena in ingresso al modello (Q input), in uscita nella configurazione naturale (Q lam. nat.) e in quella di progetto (Q lam. prog.) relativi all'evento duecentennale e la percentuale di abbattimento (% abbattimento) del colmo ottenibile grazie all'ottimizzazione delle casse di espansione controllata previste (*Superficie casse prog.*).

Tabella 8 – Valori dei colmi degli idrogrammi di piena in ingresso al modello e in uscita per effetto delle aree di invaso naturali e di progetto ($Tr = 200$ anni)

	SAVIO	MONTONE	RONCO VALLE	RONCO MONTE	RABBI
Q input [m^3/sec]	1330	551	1055	871	486
Q output, naturale [m^3/sec]	1039	520	788	867	474
Q output, progetto [m^3/sec]	869	472	490	619	354
% abbattimento	17	9	38	29	25
Superficie totale delle casse di progetto [ha]	116	89	305	100.5	43

Dall'analisi comparativa dei risultati forniti dai modelli idraulici si nota come la laminazione ad opera delle zone di espansione naturale delle acque sia maggiore nel tratto di valle del fiume Ronco (da $1055 m^3/sec$ a $788 m^3/sec$) e nel fiume Savio (da $1330 m^3/sec$ a $1039 m^3/sec$) rispetto al Montone (da $551 m^3/sec$ a $520 m^3/sec$) ed il Rabbi (da $486 m^3/sec$ a $474 m^3/sec$).

Nella configurazione di progetto l'ulteriore abbattimento dovuto agli invasi artificiali è, come era da attendersi, direttamente in relazione alla superficie complessiva degli stessi.

I risultati ottenuti, come già più volte detto nei capitoli precedenti, dipendono da molteplici fattori, alcuni dei quali (abbassamento medio del piano campagna, superficie utile degli invasi, quota di sfioro) definiti nel presente studio sulla base di valutazioni preliminari di massima che dovranno essere affinate nelle fasi successive di analisi, attraverso studi di fattibilità ad hoc e progettazioni degli interventi.

Nel caso, ad esempio, del fiume Savio, per ridurre ulteriormente il picco dell'onda di piena nella sezione terminale di interesse del corso d'acqua considerata nello studio (Castiglione di Cervia), può essere opportuno aumentare il numero di casse di progetto, trasformando alcune delle numerose aree naturali di espansione in zone adibite all'invaso programmato: la scelta e

l'individuazione delle aree più idonee tra quelle esaminate, dal punto di vista morfologico e tecnico, potrà avvalersi dei risultati delle analisi fin qui condotte, essendo il modello idraulico in grado di fornire indicazioni in merito all'attitudine di un'ansa naturale ad invasare temporaneamente i volumi di piena eccedenti la officiosità dell'alveo di magra. Sempre nel caso del fiume Savio, un ulteriore aumento della capacità di laminazione del corso d'acqua può venire dall'utilizzo di parte delle aree individuate a monte di Borello (Tavola C), sia come aree golenali opportunamente modificate per consentire un maggior invaso delle piene che come vere e proprie casse di espansione. Altra opzione per il Savio, è data dalla possibilità di potenziare le casse C1 e C2 rispetto all'assetto qui ipotizzato, rimodellandone il fondo, in modo da conseguire un maggiore volume di invaso. Inoltre, sarebbe da valutare sempre con approfondimenti progettuali, la possibilità di estendere l'area della cassa C2, annettendo la limitrofa area (Comandini), per ora individuata come ulteriore area di possibile localizzazione di interventi di laminazione controllata.

Quanto detto vale, naturalmente con le debite differenze, anche per gli altri corsi d'acqua esaminati per i quali il quadro d'insieme delle potenziali zone destinabili all'espansione delle piene (naturale o controllata) viene fornito nella Tavola B.

8. CONCLUSIONI

Le attività descritte nella presente relazione hanno riguardato lo studio idraulico di quattro corsi d'acqua di competenza dell'Autorità dei Bacini Romagnoli: il fiume Savio, il fiume Ronco, il fiume Montone ed il fiume Rabbi.

Il lavoro è stato condotto avvalendosi di dati topografici e di cartografia e di quattro modelli idraulici relativi alle quattro aste di Savio, Ronco, Montone e Rabbi. Il database di partenza è stato arricchito grazie all'acquisizione di un recente rilievo Lidar del fiume Savio da Cesena alla foce, che ha consentito di affinare la descrizione topografica delle aree prospicienti l'alveo del corso d'acqua e delle zone golenali di invaso, direttamente connesse o controllate.

A conclusione delle attività, il lavoro svolto ha raggiunto i seguenti obiettivi:

- messa a punto, a partire dal materiale disponibile, di quattro modelli idraulici di moto vario rappresentanti il funzionamento, nella configurazione naturale, dei quattro corsi d'acqua oggetto di studio, Savio, Ronco, Montone e Rabbi, con rappresentazione, secondo lo schema di volta in volta ritenuto più idoneo, della geometria attuale degli stessi (aree di invaso golenali esistenti, strutture e manufatti presenti lungo le rispettive aste);
- trasformazione, nei modelli di cui al punto precedente, di alcune delle aree direttamente connesse in aree di espansione “*controllata*” (casse di espansione), in quanto ritenute particolarmente idonee allo scopo ed efficaci ai fini della laminazione. Nel lavoro sono stati definiti i principali elementi dimensionali di tali casse: si tratta di un primo inquadramento, consono alla fase di pianificazione in cui si iscrive il presente studio, che dovrà essere meglio valutato nelle successive attività di approfondimento, vuoi di tipo pianificatorio che di tipo progettuale;
- individuazione sulla base degli esiti dei sopralluoghi eseguiti di ulteriori aree prospicienti i corsi d'acqua esaminati aventi caratteristiche tali da poter essere eventualmente, previa verifiche progettuali, utilizzate quali zone di invaso vere e proprie, controllate da manufatti di alimentazione opportunamente dimensionati, o quali zone naturalmente allagabili, se del caso leggermente adeguate e modificate al fine di migliorarne il funzionamento in corso di piena e di fornire un significativo contributo alla laminazione della stessa.

Tali aree sono state oggetto di analisi preliminari, basate in particolare sull'analisi delle caratteristiche morfologiche delle stesse e sono rappresentate, unitamente alle aree di

espansione naturale ed a quelle di espansione controllata, nei tre elaborati cartografici allegati alla presente relazione (Tavola A, Tavola B e Tavola C).

La molteplicità degli invasi, fra naturali e controllati, presenti su ciascuna delle aste fluviali indagate rende il numero di variabili in gioco elevato e le possibili scelte di pianificazione altrettanto vaste.

I modelli costruiti sono piuttosto complessi, perché altrettanto complessa è la geometria dei corsi d'acqua: le anse sono spesso continue, a volte affacciate le une alle altre.

Le grandezze progettuali determinanti nel caso delle aree ad espansione controllata sono poi numerose: la profondità dell'eventuale scavo, la lunghezza dei manufatti di alimentazione, la loro posizione lungo il rilevato che confina il meandro lato fiume, l'altezza dello sfioro, la legge di invaso. Ogni variazione di tali elementi comporta un diverso funzionamento degli invasi, modificando la tempistica di entrata in funzione degli stessi, l'entità dei volumi sottratti alla piena e quindi in definitiva la laminazione finale dell'onda.

La configurazione fornita, quindi, non deve essere considerata definitiva e rigida, ma esplorativa delle potenzialità offerte dal sistema nel suo complesso.

Per quanto, infatti, si siano effettuate, per ciascun corso d'acqua e per ciascun invaso, le necessarie operazioni di ottimizzazione delle caratteristiche geometriche, nel tentativo di raggiungere le condizioni di funzionamento migliori in termini di sfruttamento del volume di invaso disponibile e di abbattimento del picco dell'onda di piena, alcune scelte sono al momento non possibili e rimangono indeterminate, essendo legate non solo e non tanto agli aspetti più propriamente tecnici quanto alla effettiva disponibilità dei luoghi, alla sostenibilità economica, ambientale e sociale degli interventi e alle strategie di pianificazione del territorio.

Il sistema costituito dai modelli idraulici di Savio, Ronco, Montone e Rabbi si configura, comunque, come uno strumento efficiente, potente e completo che l'Amministrazione può utilizzare a supporto delle diverse e varie attività di progettazione e di verifica che potranno essere sviluppate da qui in avanti.

Bologna, ottobre 2006

Prof. Ing. Armando Brath