



AGENZIA PER LA
SICUREZZA TERRITORIALE
E LA PROTEZIONE CIVILE
REGIONE EMILIA-ROMAGNA



AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

Fonte di finanziamento: Determina Dirigenziale n. 769 del 18/03/2025: Approvazione Programma Triennale 2025-2027 dei lavori pubblici (comprensivi degli interventi finanziati con risorse FSC) e relativo elenco annuale 2025, e dei beni e servizi e relativo elenco annuale 2025 (Agenzia per la sicurezza territoriale e la protezione civile C.F 91278030373) - Annualità 2026 e 2027

Codice intervento: FSCRI_RI_1223

Titolo: Manutenzione straordinaria opere idrauliche/assetto idrogeologico bacino T. Stirone/Aree di Pianura - Intervento sul torrente Ghiara per la mitigazione del rischio idraulico dell'abitato di Salsomaggiore Terme

Importo complessivo del finanziamento: € 1.000.000,00

Comuni: Salsomaggiore Terme (PR)

Coordinate baricentriche WGS84: Lat.: 44.795851° – Long.: 9.978109°

CIG AQ: B86C678827

Contratto attuativo dell'Accordo Quadro:

CUP: F58H23000570001 **CIG derivato:** _____

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

Allegato N° 6	REALAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA	Progetto ☒ Fattibilità ☐ Esecutivo
--------------------------	--	--

Parma, 10/07/2026

Gruppo di progettazione:

Responsabile del progetto:

Ing. Matteo Pianforini (documento firmato digitalmente)

Progettisti:

Ing. Riccardo Benifei (documento firmato digitalmente)

Dott. Roberto Bertinelli (documento firmato digitalmente)

Visto di validazione

(Art. 42, D.Lgs. n. 36/2023)

Il Responsabile Unico del Progetto

Ing. Gabriele Bertozzi

(documento firmato digitalmente)



AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. ANALISI IDROLOGICA	2
2.1. Generalità.....	2
2.2. Individuazione del bacio imbrifero.....	2
2.3. Definizione delle CPP	4
2.4. Modello afflussi-deflussi	5
3. ANALISI IDRAULICA.....	10
3.1. Generalità.....	10
3.2. Costruzione della geometria	11
3.3. Condizioni al contorno e iniziali	14
3.4. Risultati della modellazione idraulica.....	15
3.4.1. Tr = 100 anni	15
3.4.2. Tr = 200 anni	20
3.4.3. Scarico di fondo	20
4. Conclusioni	20

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

1. PREMESSA

L'intervento in oggetto prevede la realizzazione di un invaso di laminazione in orografica destra del torrente Ghiara, immediatamente a monte della cassa di espansione esistente sita in località "Scacciapensieri". L'invaso andrà ad integrare il sistema di difesa idraulica dell'abitato di Salsomaggiore Terme. Tale intervento è stato individuato tra gli interventi più efficaci all'interno dello studio "Revisione delle fasce di esondazione del torrente Ghiara dopo i lavori di sistemazione idraulica avvenuti nel recente passato" commissionato dal Comune di Salsomaggiore Terme allo Studio Telò May Fly Srl di Parma.

L'intervento in oggetto viene finanziato mediante il Programma Triennale 2025-2027 dei lavori pubblici (comprensivi degli interventi finanziati con risorse FSC) e relativo elenco annuale 2025, e dei beni e servizi e relativo annuale 2025 – Annualità 2026 e 2027.

Di seguito vengono presentate le analisi idrologiche e idrauliche utilizzate per progettare l'invaso di laminazione e le opere accessorie.

2. ANALISI IDROLOGICA

2.1. Generalità

La presente analisi idrologica ha come obiettivo l'individuazione delle portate di progetto che sono attese lungo il torrente Ghiara in occasione di eventi di piena lungo il tratto di interesse. Tale stima è stata condotta mediante l'impiego di un modello di trasformazione afflussi-deflussi. Tale metodologia risulta indicata anche nei documenti della *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"*¹, nel seguito *Direttiva PAI*, redatti dall'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po.

Il modello di trasformazione afflussi in deflussi adottato è il metodo dell'onda cinematica che è un metodo afflussi-deflussi fisicamente basato, la precipitazione netta è stata stimata per mezzo del metodo di Green Ampt. Tale metodo è stato implementato all'interno del software HEC-HMS della U.S. Hydrologic Engineer Center (ver. 4.13), utilizzato per la stima delle portate di progetto ai fini della realizzazione della cassa di espansione in oggetto.

2.2. Individuazione del bacino imbrifero

Il bacino imbrifero del torrente Ghiara è stato individuato per mezzo del DTM di risoluzione 2 x 2 m. Per una accurata modellazione del bacino imbrifero e per tenere di conto delle effettive caratteristiche del bacino imbrifero del torrente Ghiara sono stati individuati 26 sottobacini. Tale individuazione è risultata essere coerente con le risultanze dello studio "Indagine idrologica ed idraulica del sistema fluviale Ghiara-Citronia funzionale alla riduzione del rischio idraulico in Salsomaggiore Terme". Di seguito alcune caratteristiche dei sottobacini individuati lungo il torrente Ghiara alla sezione di chiusura posta a monte della tombinatura che sottopassa il centro urbano di Salsomaggiore Terme. Il bacino imbrifero alla sezione di chiusura di cui sopra misura 16,8 km².

¹ <https://pai.adbpo.it/piani/direttiva-2/>

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

Tabella 1. Caratteristiche dei sottobacini utilizzati per la modellazione afflussi-deflussi in HEC-HMS ai fini della stima della portata di progetto con T_r di 100 anni alla sezione di chiusura posta in corrispondenza della tombinatura che sottopassa il centro urbano di Salsomaggiore Terme.

Id.	Id. sottobacino	Area (km ²)	Id.	Id. sottobacino	Area (km ²)
1	1D	1,48	14	8D	0,21
2	2D	1,37	15	7S	0,43
3	1S	1,21	16	9D	1,33
4	3D	0,44	17	10D	0,22
5	2S	0,21	18	8S	0,28
6	4D	0,93	19	11D	1,07
7	5D	0,35	20	12D	0,18
8	3S	0,90	21	9S	2,08
9	4S	0,34	22	13D	0,20
10	5S	1,00	23	10S	0,09
11	6D	0,52	24	11S	0,43
12	6S	0,39	25	14D	0,16
13	7D	0,93	26	12S	0,09

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

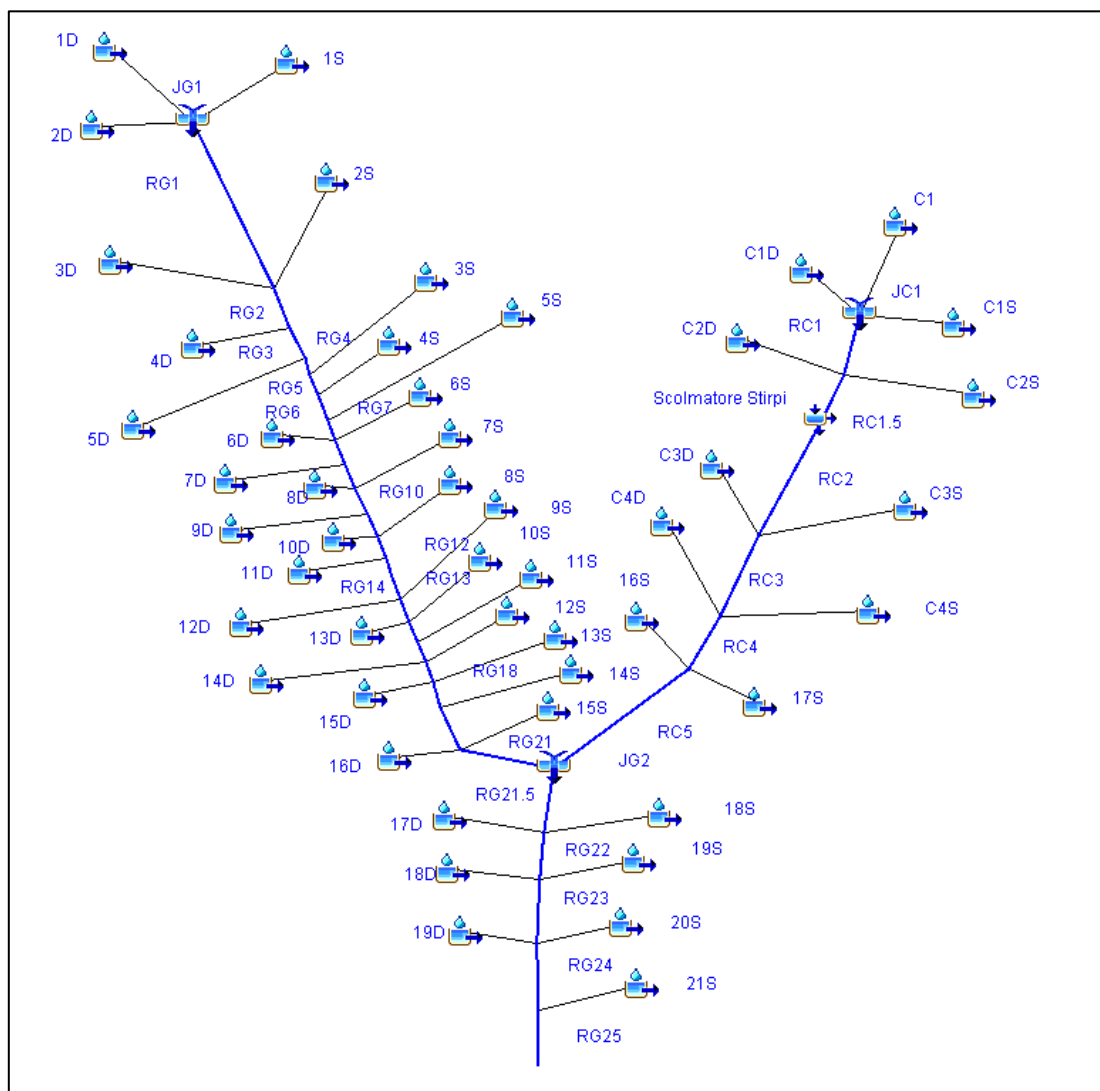


Figura 1 – Discretizzazione del bacino del torrente Ghiara in HEC-HMS in 26 sotto-bacini per un totale di 16,8 km² alla sezione di chiusura posta a monte del tombinamento che sottopassa il centro urbano di Salsomaggiore Terme.

2.3. Definizione delle CPP

La previsione quantitativa delle piogge intense è stata effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica (CPP), cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. L'espressione monomia adottata è la seguente:

$$h_d(T) = ad^n \quad (1)$$

in cui h è l'altezza di precipitazione [mm], d è la durata [ora], a [mm/ora] ed n [-] sono i parametri che dipendono dal tempo di ritorno T considerato. Il parametro n è compreso tra 0 ed 1 e normalmente è caratterizzato da modeste variazioni.

L'equazione (1) permette di effettuare la stima puntuale dell'altezza di precipitazione definendo, dunque, l'evento meteorico di progetto per assegnato tempo di ritorno T e assegnata durata d . Si ricorda che con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.

Per la presente analisi è stata adottata una durata d pari ad 1 ora, valore che tiene di conto sia delle dimensioni ridotte del bacino in analisi, che della caratteristica delle piogge che mettono in crisi i piccoli reticoli come quello del torrente Ghiara. Tale assunzione è confermata dalla ricostruzione degli eventi alluvionali come quello molto severo del 18 settembre 1973. Per quanto riguarda lo ietogramma di progetto, questo è stato assunto con forma rettangolare. La cassa di espansione è stata progettata considerando il tempo di ritorno di 100 anni (Tr_{100}), tuttavia alcune considerazioni sul livello idrico massimo invasabile sono state condotte con considerando il tempo di ritorno di 200 anni. Data la modesta estensione del bacino si è adottata una precipitazione uniforme sull'intera area.

Lungo il torrente Ghiara è presente un misuratore di portata a valle della confluenza con il principale tributario, ovvero il torrente Citronia, per tale motivo non è stato considerato, se non qualitativamente, per la stima delle portate alla sezione di chiusura di interesse. In più, mancano del tutto notizie circa le misure di portata ed i rilievi dell'andamento delle piene, gli unici dati idrologici disponibili sono quindi forniti dalle stazioni pluviometriche poste nelle immediate vicinanze e all'interno del bacino del torrente Ghiara che presentano serie storiche sufficientemente estese da poter considerare un campione attendibile su cui effettuare l'analisi statistica.

L'analisi pluviometrica ha tenuto conto principalmente della sola stazione di Salsomaggiore (quota pari a 170 m s.l.m.), ritenuta maggiormente significativa e dotata di una serie storica sufficientemente consistente.

A partire dalle leggi statistiche per ogni durata e per ogni tempo di ritorno, sono state stimate le altezze di pioggia per la stazione pluviometrica considerata. Dapprima è stata ricostruita la curva di possibilità pluviometria, successivamente sono state stimate le portate di piena per i tempi di ritorno di 100 e 200 anni alla sezione di chiusura di interesse per mezzo di HEC-HMS.

Per la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia in funzione del tempo di ritorno (TR), si fa riferimento alla legge probabilistica che meglio si adatta al campione di dati utilizzato. Nel caso della stazione pluviometrica di Salsomaggiore Terme la determinazione della relazione fra altezza (h) e durata (t) dell'evento di pioggia, in funzione del Tempo di Ritorno (TR), è stata analizzata considerando le seguenti distribuzioni statistiche:

- GEV (Generalized Extreme Value – metodo dei momenti pesati);
- Gumbel (metodo dei momenti)
- Pearson 3 types (metodo dei momenti)

Dai risultati emerge come la distribuzione che più di adatta al campione di dati di pioggia giornalieri con tempo di pioggia di 1 ora (dati di pioggia dal 1937 al 2024) è la distribuzione di GEV con un valore atteso pari a 92,5 mm. Tale valore risulta pertanto essere la portata di progetto per il tempo di ritorno di 100 anni per la realizzazione della cassa di espansione in oggetto. Per il tempo di ritorno di 200 anni, la pioggia di progetto per mezzo della distribuzione statistica GEV risulta essere pari a 111,81 mm.

2.4. Modello afflussi-deflussi

Il modello afflussi/deflussi implementato in HEC-HMS viene applicato per il calcolo degli idrogrammi della piena di riferimento, corrispondenti ai tempi di ritorno di 100 e 200 anni. Alla base di tale determinazione si assume che il tempo di ritorno degli eventi estremi di pioggia corrisponda a quello degli eventi estremi di portata. Tale ipotesi, non sempre corretta, appare accettabile nel caso in esame dove le piene più gravose si riscontrano sempre nella stagione estiva e corrispondono ad uno scroscio molto intenso che interessa

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
 SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

soprattutto la parte montana dello stesso (pluviometro di Salsomaggiore); tale scroscio si verifica in genere dopo un periodo caldo e siccitoso abbastanza prolungato da provocare la quasi totale desaturazione del suolo, a parte le aree irrigue ad uso agricolo. Si può dunque contare su uno stato iniziale quasi costante, che in buona misura giustifica la corrispondenza dei tempi di ritorno fra sollecitazione e risposta idrologica, almeno per gli eventi con frequenza mono e bisecolare.

Si riportano, di seguito, i risultati in termini di idrogrammi di piena in output per il tempo di ritorno di 100 anni del modello idrologico HEC-HMS in corrispondenza del tratto RG18 del torrente Ghiara e in corrispondenza della confluenza con il torrente Ghiara del rio della Baiardina (sottobacino 13S), del rio di monte Germino (sottobacino 15D), del rio dei Sordoni (sottobacino 14S), dell'afflusso in orografica destra e sinistra a monte del tombinamento che sottopassa il tratto urbano di Salsomaggiore Terme (sottobacino 15S e 16D) e infine del torrente Citronia (sottobacino RC5).

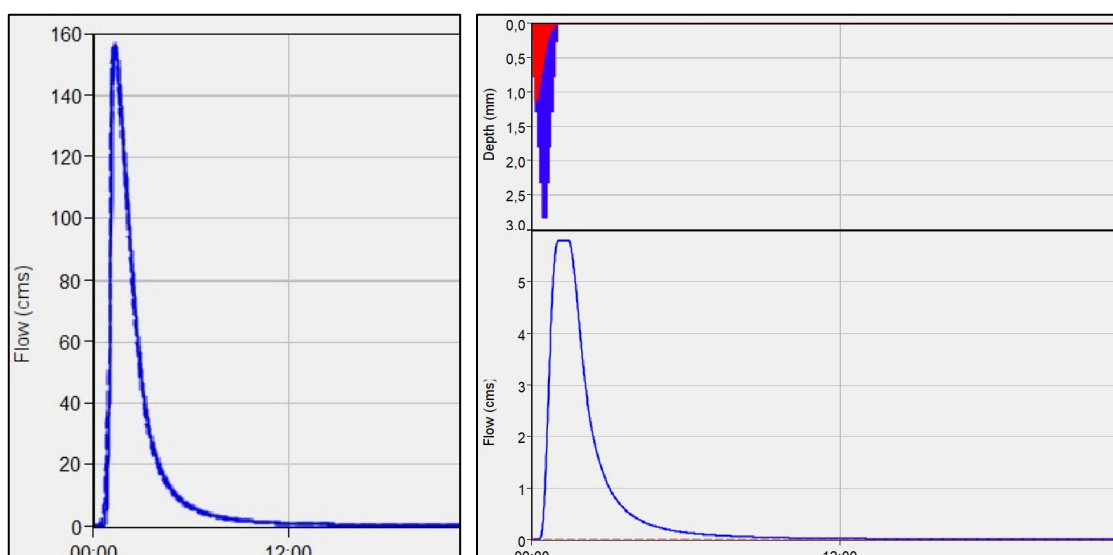


Figura 2. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS alla sezione di chiusura posta nel tratto RG18 (Ghiara asta principale a monte della cassa di espansione in progetto), 13S (rio della Baiardina).

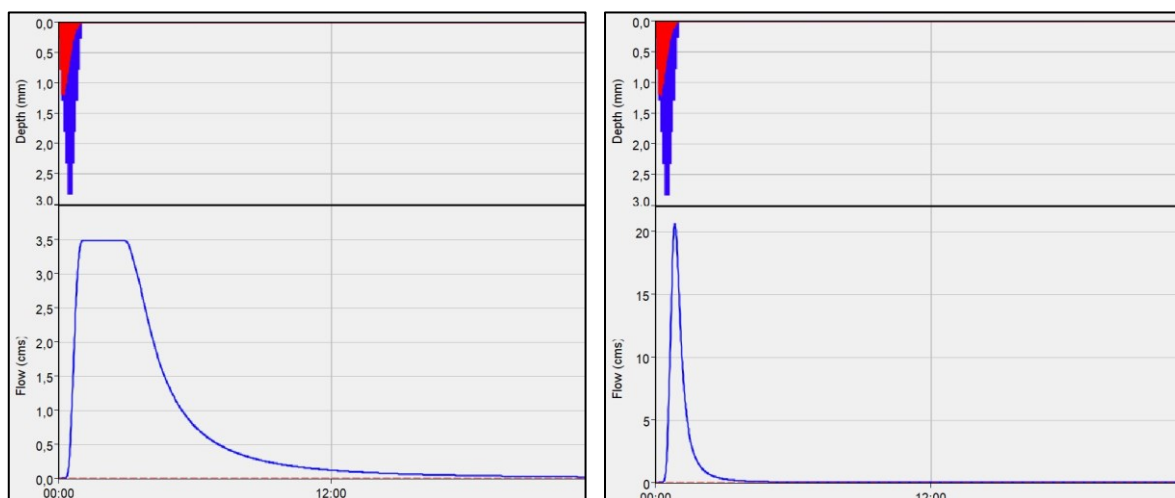


Figura 3. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino 15D (rio di monte Germino) e del sottobacino 14S (rio dei Sordoni).

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

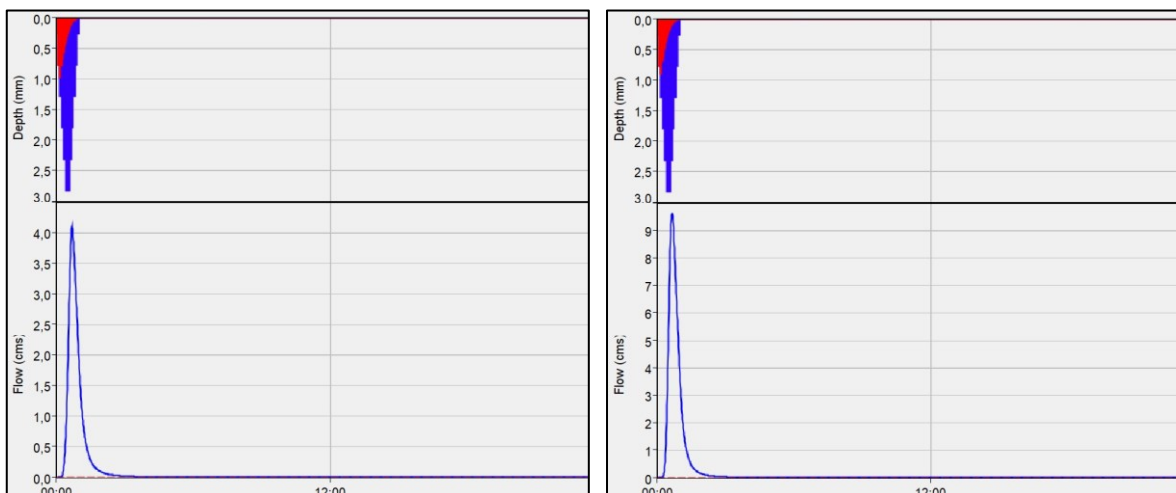


Figura 4. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino 15S (afflusso in orografia destra a monte del tombone) e del sottobacino 16D (afflusso in orografia sinistra a monte del tombinamento).

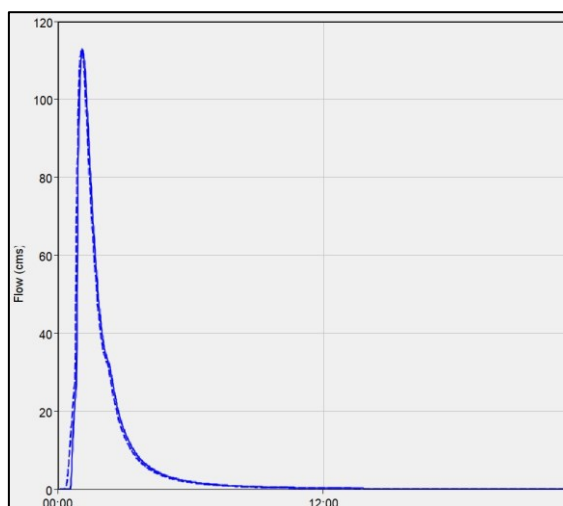


Figura 5. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino RC5 (Citronia alla confluenza).

Si riportano, di seguito, i risultati in termini di idrogrammi di piena in output per il tempo di ritorno di 200 anni del modello idrologico HEC-HMS in corrispondenza del tratto RG18 del torrente Ghiara e in corrispondenza della confluenza con il torrente Ghiara del rio della Baiardina (sottobacino 13S), del rio di monte Germino (sottobacino 15D), del rio dei Sordoni (sottobacino 14S), dell'afflusso in orografia destra e sinistra a monte del tombinamento che sottopassa il tratto urbano di Salsomaggiore Terme (sottobacino 15S e 16D) e infine del torrente Citronia (sottobacino RC5).

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

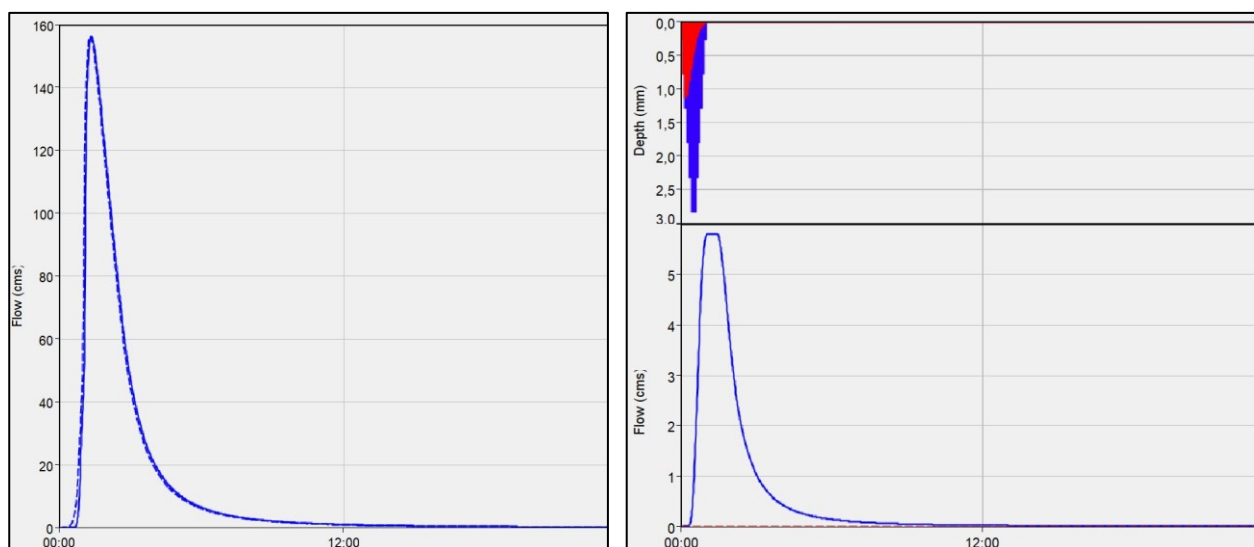


Figura 6. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS alla sezione di chiusura posta nel tratto RG18 (Ghiara asta principale a monte della cassa di espansione in progetto), 13S (rio della Baiardina).

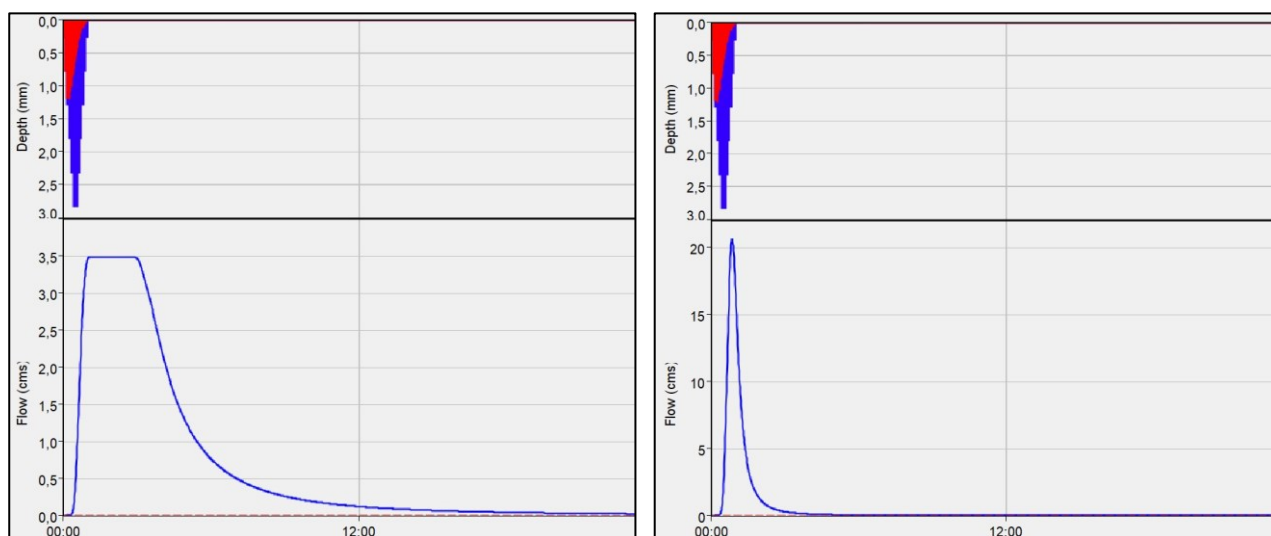


Figura 7. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino 15D (rio di monte Germino) e del sottobacino 14S (rio dei Sordoni).

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

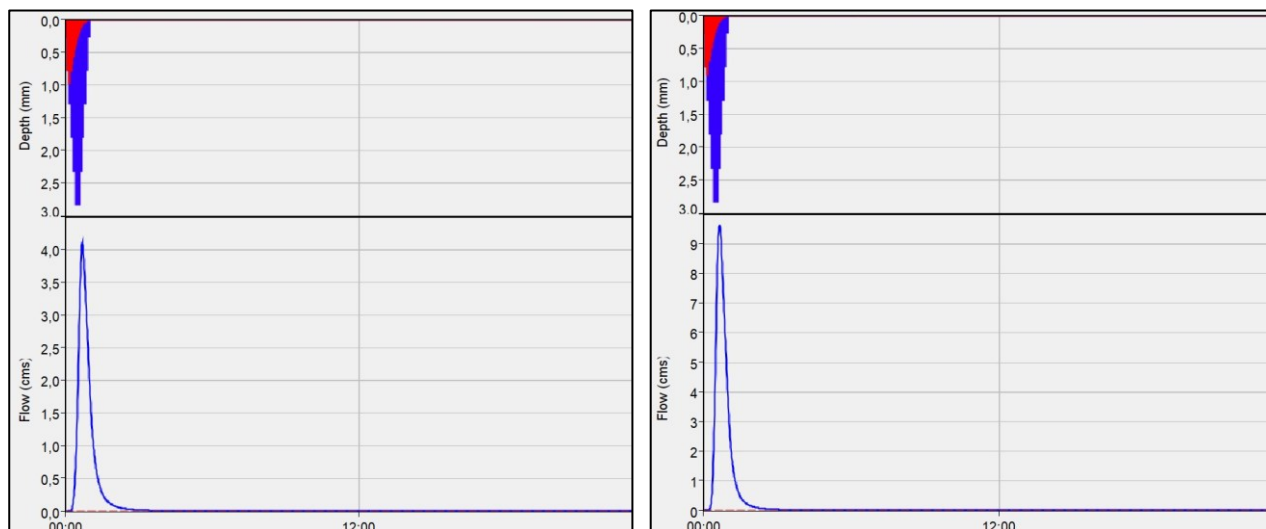


Figura 8. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino 15S (afflusso in orografica destra a monte del tombone) e del sottobacino 16D (afflusso in orografica sinistra a monte del tombinamento).

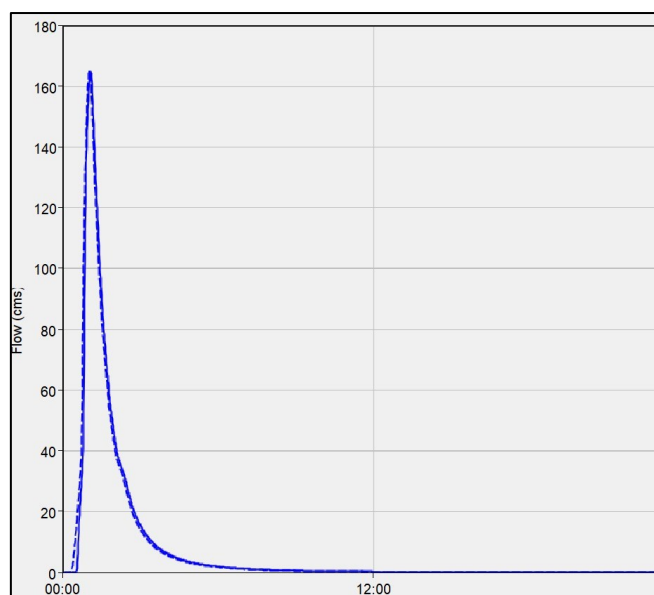


Figura 9. Idrogramma in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS del sottobacino RC5 (Citronia alla confluenza).

Tabella 2. Sintesi delle principali caratteristiche degli idrogrammi in output dal modello afflussi-deflussi HEC-HMS.

Id.	Nome bacino	Tr = 100 anni			Tr = 200 anni		
		Portata colmo [m ³ /s]	Istante colmo [ore]	Volume [10 ³ m ³]	Portata colmo [m ³ /s]	Istante colmo [ore]	Volume [10 ³ m ³]
RG18	Torrente Ghiara	156,3	01:19	1.043	233,1	01:15	1.345
13S	Rio della Baiardina	5,81	01:14	38	8,68	01:09	49
15D	Rio di Monte Germino	3,48	01:23	59	5,26	01:21	75
14S	Rio dei Sordoni	20,61	00:51	49	29,12	00:49	63

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

15S	<i>Orografica dx Ghiara</i>	4,10	00:41	74	5,26	00:40	10
16D	<i>Orografica sx Ghiara</i>	9,62	00:40	76	12,08	00:38	23
RC5	<i>Citronia alla confluenza</i>	112,7	01:05	521	165,0	01:02	653
Totale		Vol. totale [10³ m³]		1.860	Vol. totale [10⁵ m³]		2.218

3. ANALISI IDRAULICA

3.1. Generalità

La presente analisi idraulica ha come obiettivo lo studio della propagazione degli idrogrammi di piena stimati per mezzo del modello idrologico HEC-HMS lungo l'asta principale del torrente Ghiara con assegnato tempo di ritorno. La modellazione idrodinamica, condotta mediante il software HEC-RAS 1D (versione 6.6), ha come scopo la simulazione degli idrogrammi di piena lungo il torrente Ghiara nella conformazione attuale (ANTE OPERAM) e nella conformazione a seguito della realizzazione della nuova cassa di espansione (POST OPERAM), in occasione di eventi centennali (tempo di ritorno di progetto). I risultati delle simulazioni consentono di analizzare l'efficacia degli interventi in progetto in termini di riduzione della pericolosità idraulica lungo il torrente Ghiara e più nel particolare nel tratto più critico, ovvero lungo il tombinamento che sottopassa l'area urbana di Salsomaggiore Terme.

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) è un software sviluppato dallo *U.S. Army Corps of Engineers*² per la modellazione idraulica dei corsi d'acqua. Nella sua configurazione monodimensionale (1D) consente di simulare fenomeni di moto vario o permanente lungo un'asta fluviale, risolvendo le equazioni di De Saint Venant (equazioni di bilancio della quantità di moto e di continuità) mediante un metodo numerico implicito alle differenze finite. Il modello consente di analizzare i profili di piena, valutare gli effetti di opere idrauliche e stimare l'efficacia di interventi di mitigazione del rischio idraulico, come nel caso dell'invaso di laminazione oggetto del presente studio.

Per simulare la propagazione di un'onda di piena il modello richiede una serie di dati di tipo geometrico ed idrologico. In particolare, vengono richieste la geometria del corso d'acqua: sezioni trasversali, geometrie dei manufatti presenti nel reticolo modellato (es. ponti, briglie, sfioratori in ingresso e uscita etc.); nonché le condizioni iniziali e al contorno.

Nel presente studio si è modellata la propagazione delle piene nel tratto di torrente Ghiara a partire da 625 m a monte della cassa di espansione in oggetto fino alla confluenza nel torrente Stirone, per una lunghezza complessiva di circa 9,33 km. Inoltre, si è tenuto di conto del contributo proveniente dagli affluenti significativi del torrente Ghiara, il rio della Biardina, il rio di Monte Germino, il rio dei Sordoni, il contributo in orografica destra e sinistra lungo il tratto tombinato e infine il contributo del torrente Citronia. Questo consente di tenere conto del contributo alla portata di piena lungo il torrente Ghiara dei corsi d'acqua laterali e simulare l'effetto della realizzazione dell'invaso di laminazione in termini di riduzione della pericolosità idraulica nel tratto più critico, ovvero il tratto tombinato nel centro urbano di Salsomaggiore Terme. Nel tratto terminale è stato modellato il funzionamento dello scolmatore esistente in località Ponte Ghiara.

In 10 viene mostrato l'andamento planimetrico del torrente Ghiara così come è stato modellato in HEC-RAS.

² <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

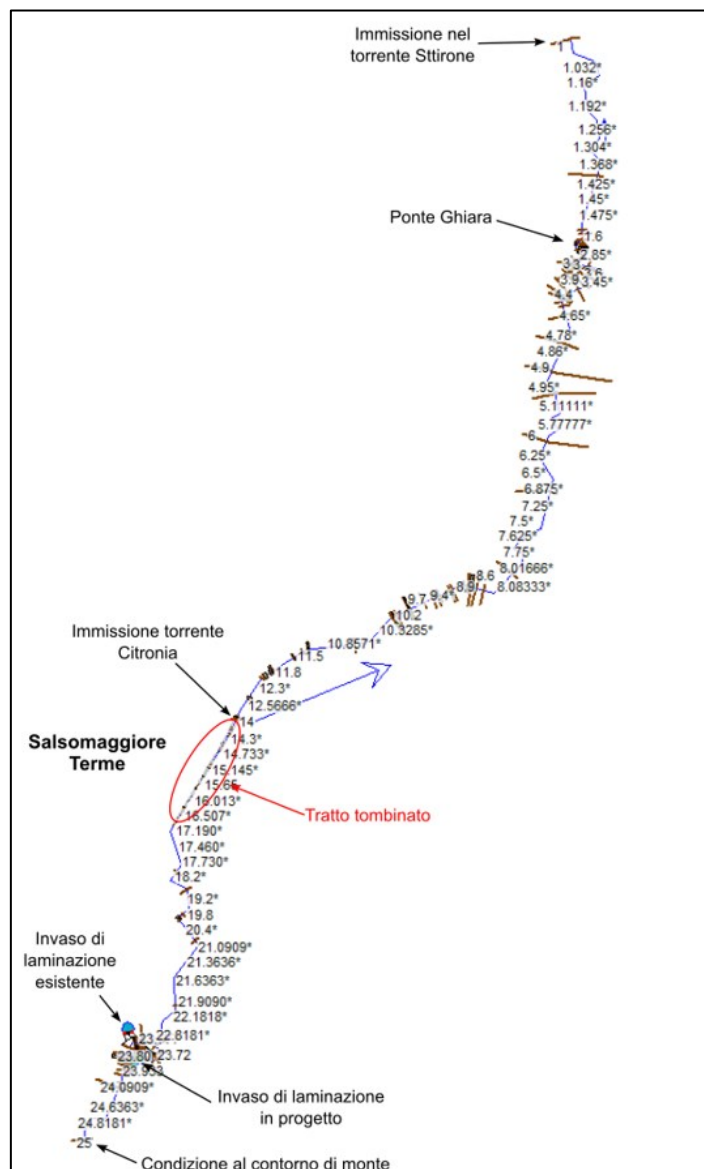


Figura 10 – Geometria adottata nel modello HEC-RAS 1D dalla quale emerge come sia stato modellato il torrente Ghiara da monte della cassa di espansione in oggetto fino alla immissione nel torrente Stirone. È altresì indicato (cerchiato in rosso) il tratto del torrente Ghiara che sottopassa mediante tombinatura l'area urbana di Salsomaggiore Terme.

3.2. Costruzione della geometria

Il primo passo fondamentale per l'implementazione del modello 1D è la definizione delle geometrie del torrente Ghiara nonché delle principali strutture presenti nel tratto in analisi (es. ponti). A tal fine, i dati relativi all'andamento planimetrico del talweg, le sezioni trasversali e le geometrie dei ponti (vedasi Fig.11 per la riproduzione del ponte Ghiara) sono stati inseriti all'interno del modello idrodinamico. Questi dati sono stati ottenuti mediante un rilievo topografico dell'asta dei due corsi d'acqua eseguito in precedenza.

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

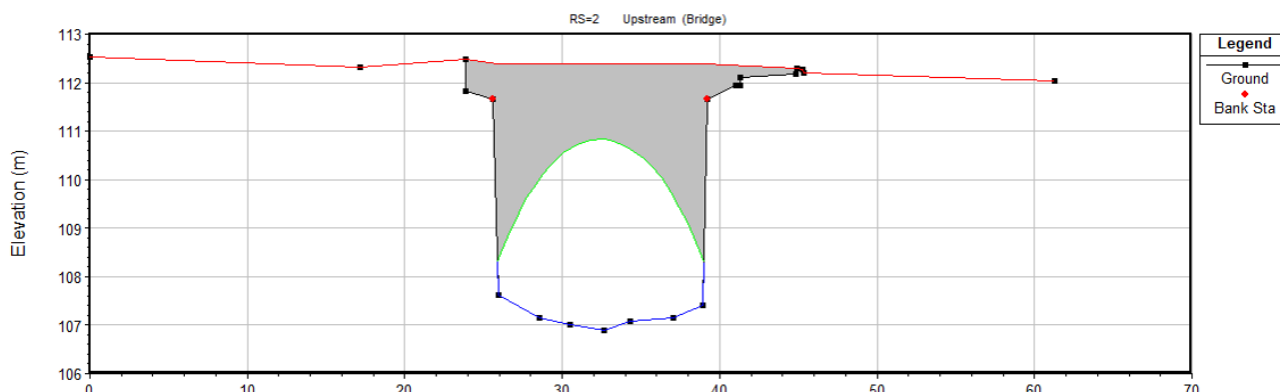


Figura 11. Sezione in HEC-RAS del ponte della SP359R a Ponte Ghiara.

La geometria così creata rappresenta il torrente Ghiara allo stato attuale (ANTE OPERAM) e consente di simulare le condizioni idrauliche antecedenti alla realizzazione della cassa di espansione in oggetto e di conseguenza individuare le principali criticità idrauliche del corso d'acqua.

Successivamente, si è proceduti alla creazione di una seconda geometria (POST OPERAM) in cui è stato inserito anche l'invaso di laminazione localizzato a monte della cassa di espansione esistente in località Scacciapensieri. Le principali caratteristiche geometriche dell'invaso sono riportate in Tab. 3. Il funzionamento dell'invaso è stato modellato utilizzando una *storage area*, la quale richiede la definizione della relazione quota-volume dell'invaso. Tale relazione è stata stimata durante la fase progettuale per mezzo del DTM dell'area ad alta risoluzione (dettaglio pari a 0,5 x 0,5 m).

I valori delle due curve sono riportati in 4.

Questa *storage area* è stata connessa al modello 1D del torrente Ghiara utilizzando una struttura laterale (*lateral structure*) che consente di definire il profilo degli sfioratori superficiali di ingresso e di troppo pieno. La quota dello stramazzo è pari a 185,70 m s.l.m.

Tabella 3. Geometria dell'invaso di laminazione esistente in località "Scacciapensieri" e di progetto.

Invaso	"Scacciapensieri"	In progetto
Volume massimo invaso [m ³]	16.500	24.500
Superficie invaso [m ²]	4.550	10.000
Quota massimo invaso [m s.l.m.]	186,40	191,50
Quota sfioratore in ingresso [m s.l.m.]	185,70	190,00
Quota sfioratore di troppo pieno [m s.l.m.]	186,00	190,50
Quota fondo invaso [m s.l.m.]	180,70	186,70

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

Tabella 4 – Curve delle superfici e dei volumi dei due invasi di laminazione.

Cassa di espansione esistente in località "Scacciapensieri"				Cassa di espansione di nuova realizzazione			
Quota [m s.l.m.]	Altezza [m]	Superficie [m ²]	Volume [m ³]	Quota [m s.l.m.]	Altezza [m]	Superficie [m ²]	Volume [m ³]
180,5	0	0	0	186,7	0	0	0
182,7	2,2	1.232	2.711	186,8	0,1	5.200	520
183,5	3,0	1.629	4.889	190	3,3	6.911	22.807
185,1	4,6	2.347	10.797	191	4,3	6.935	29.823
187,1	6,6	2.906	19.184	192	5,3	6.943	36.800

La geometria di progetto del secondo invaso, nonché delle opere idrauliche accessorie principali (sfioratori superficiali), sono stati implementati nel modello idrodinamico al fine di ottenere la geometria POST OPERAM che consente lo studio del processo di laminazione compiuto dal funzionamento sincrono dei due invasi (invaso in progetto e invaso in località "Scacciapensieri").

Seguendo la metodologia adottata per il primo invaso di laminazione, la cassa in fase di progetto è stata modellata in HEC-RAS usando una *storage area*. La curva delle superfici (relazione h-S) e dei volumi (relazione h-V) sono state determinate mediante l'analisi del DTM ivi disponibile (risoluzione 0,5 m x 0,5 m)

Gli sfioratori superficiali sono stati modellati mediante *lateral structures* al fine di creare il collegamento idraulico tra il corso d'acqua e l'invaso. Per garantire il corretto funzionamento sono stati adottate 2 diverse strutture, come mostrato in Figura 12:

1. sfioratore di ingresso di lunghezza 15 m (Figura 13);
2. sfioratore di uscita (troppo pieno) di lunghezza 15 m (Figura 13).

Lo sfioratore di ingresso ha quota 190.00 m s.l.m. mentre lo sfioratore di uscita ha quota 190,50 m s.l.m..

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

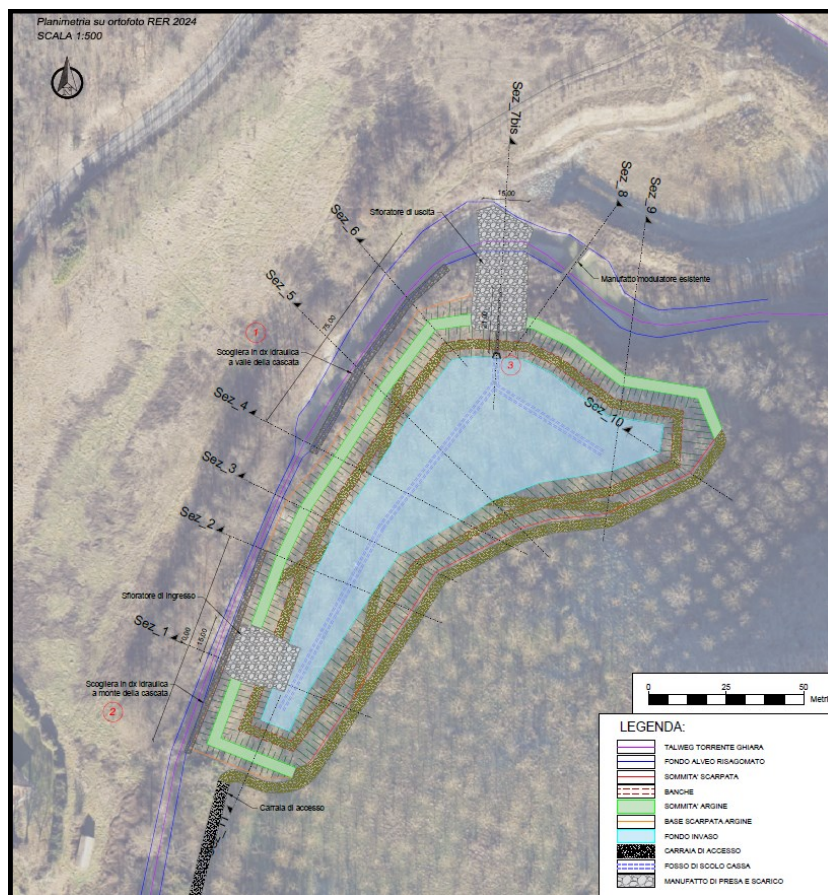


Figura 12 – Invaso di laminazione in fase di progetto. Nella figura sono evidenziati i 2 sfioratori superficiali, di ingresso e di troppo pieno.

3.3. Condizioni al contorno e iniziali

L'obiettivo della presente analisi idraulica è quello di verificare il corretto funzionamento dell'invaso di laminazione in fase di progetto. Di conseguenza, sono state effettuate simulazioni di moto vario delle onde di piena generate dagli idrogrammi con tempo di ritorno 100 e 200 anni, ottenuti dalla precedente analisi idrologica. Si è dunque ipotizzato che l'onda di piena generata da un determinato ietogramma di pioggia abbia lo stesso tempo di ritorno della precipitazione stessa. La Tabella 5 riporta una descrizione della tipologia di apporto di ciascun idrogramma utilizzato, nonché le sezioni trasversali in cui viene imposto.

La condizione al contorno di valle è stata definita in corrispondenza della sezione terminale del modello idrodinamico, in prossimità della confluenza del torrente Stirone. Nella presente analisi è stata implementata la condizione al contorno di valle di profondità di moto uniforme. Si sottolinea come tale ipotesi non influenza i risultati ottenuti dal modello in quanto la sezione terminale è posta sufficientemente a valle rispetto al tratto di corso d'acqua di interesse.

Tabella 5 – Condizioni al contorno del modello HEC-RAS 1D. Le corrispondenti onde di piena per i due tempi di ritorno considerati sono rappresentate da Fig. 2 a Fig. 5 e da Fig. 6 a Fig. 9.

Id.	Tratto in HEC-HMS	Corso d'acqua	Sezione trasversale (HEC-RAS 1D)
Condizioni al contorno di monte (Flow hydrographs)			

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

Id.	Tratto in HEC-HMS	Corso d'acqua	Sezione trasversale (HEC-RAS 1D)
1	RG18	Ghiara	25
2	13S	Rio della Baiardina	24.2727
3	15D	Rio di Monte Germino	24
4	15S	Rio dei Sordoni	18
5	RC5	Citronia	13
<i>Afflusso laterale uniformemente distribuito (Uniform lateral inflow)</i>			
6	15D – 16D	Orografica dx e sx del Ghiara tominato	Da sez 16.6 a 14.5

La condizione iniziale del modello idrodinamico è stata ottenuta mediante una simulazione preliminare di moto permanente considerando una portata in ingresso pari a 15 m³/s lungo il torrente Ghiara che si riduce a 5 m³/s in corrispondenza dello scolmatore e a 10 m³/s per il tratto a valle del Ponte Ghiara

Non avendo a disposizione dati utili per la calibrazione del modello idrodinamico, è stato adottato un valore di letteratura in accordo con gli studi già effettuati lungo il torrente Ghiara nel medesimo tratto oggetto di studio. È stato quindi adottato un valore del coefficiente di Manning pari a 0,05 m^{-1/3}s per l'alveo inciso e di 0,06 m^{-1/3}s per le sponde.

3.4. Risultati della modellazione idraulica

Per il tempo di ritorno di 100 anni sono state simulate le 2 geometrie descritte in precedenza e qui brevemente riassunte:

1. **ANTE OPERAM:** geometria rappresentativa dello stato di fatto attuale del torrente Ghiara, con modellazione della cassa di espansione esistente sita in località "Scacciapensieri";
2. **POST OPERAM:** alla geometria dello stato di progetto, ovvero implementazione del secondo invaso di laminazione che verrà realizzato a monte dell'invaso esistente sito in località "Scacciapensieri" e oggetto del presente progetto.

Di seguito vengono riportati i principali risultati dell'analisi idraulica, suddivisi in base al tempo di ritorno considerato.

3.4.1. Tr = 100 anni

In Fig. 16 si riporta l'andamento del livello idrico massimo raggiunto in occasione dell'evento di piena centennale lungo l'asta del torrente Ghiara nella situazione ANTE OPERAM.

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

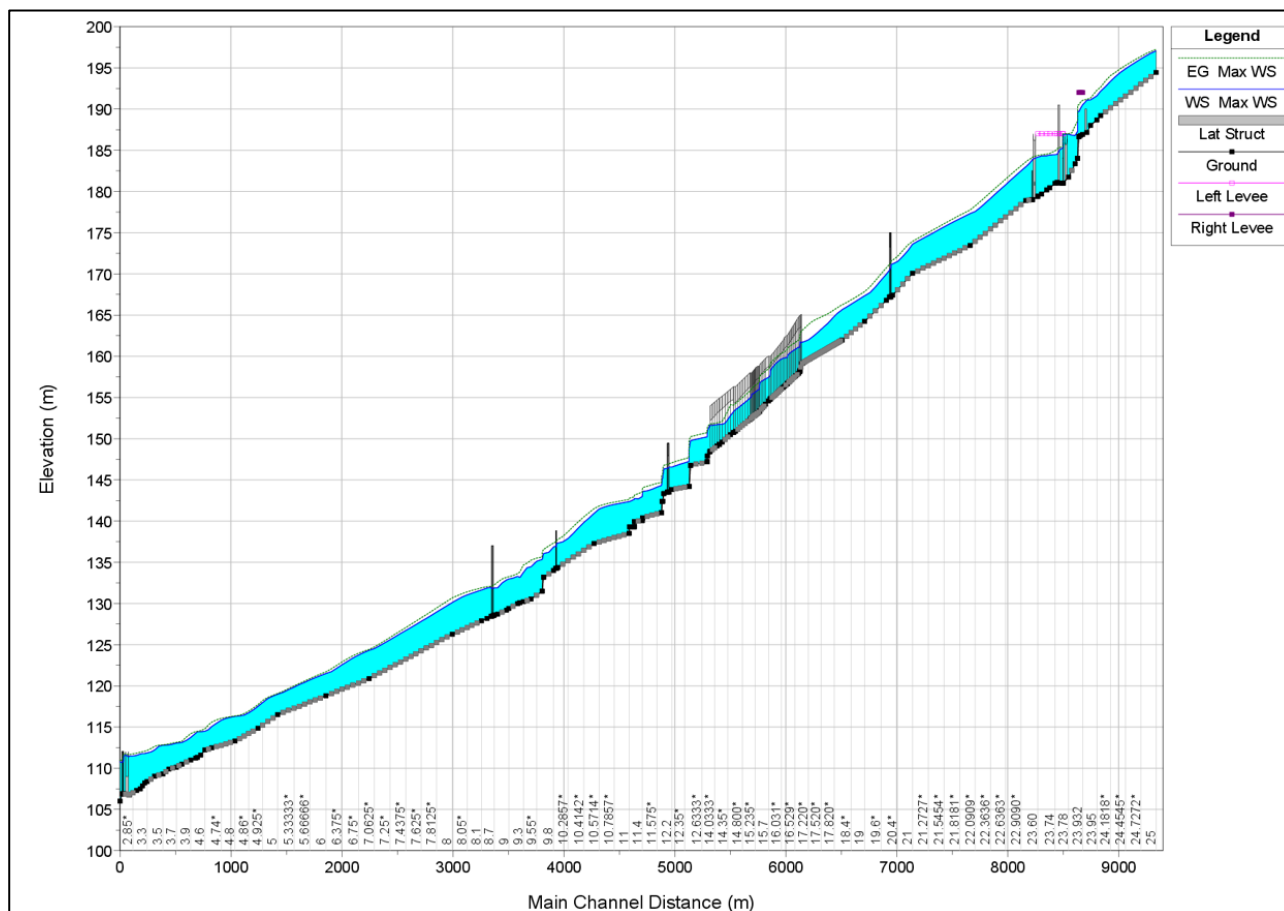


Figura 13. Profilo longitudinale del livello idrico massimo raggiunto lungo il torrente Ghiara per il tempo di ritorno di 100 anni nello stato ANTE OPERAM.

Dai risultati emerge come in occasione di eventi centennali la tombinatura che sottopassa l'area urbana di Salsomaggiore risulta essere in pressione e quindi come la capacità di deflusso della stessa è insufficiente a smaltire la portata di picco a valle, nonostante l'effetto di laminazione della cassa di espansione sita in località "Scacciapensieri".

Nello stato POST OPERAM l'efficacia della cassa di espansione in progetto è stata valutata in termini di ulteriore riduzione del colmo di piena di 15,0 m³/s.

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

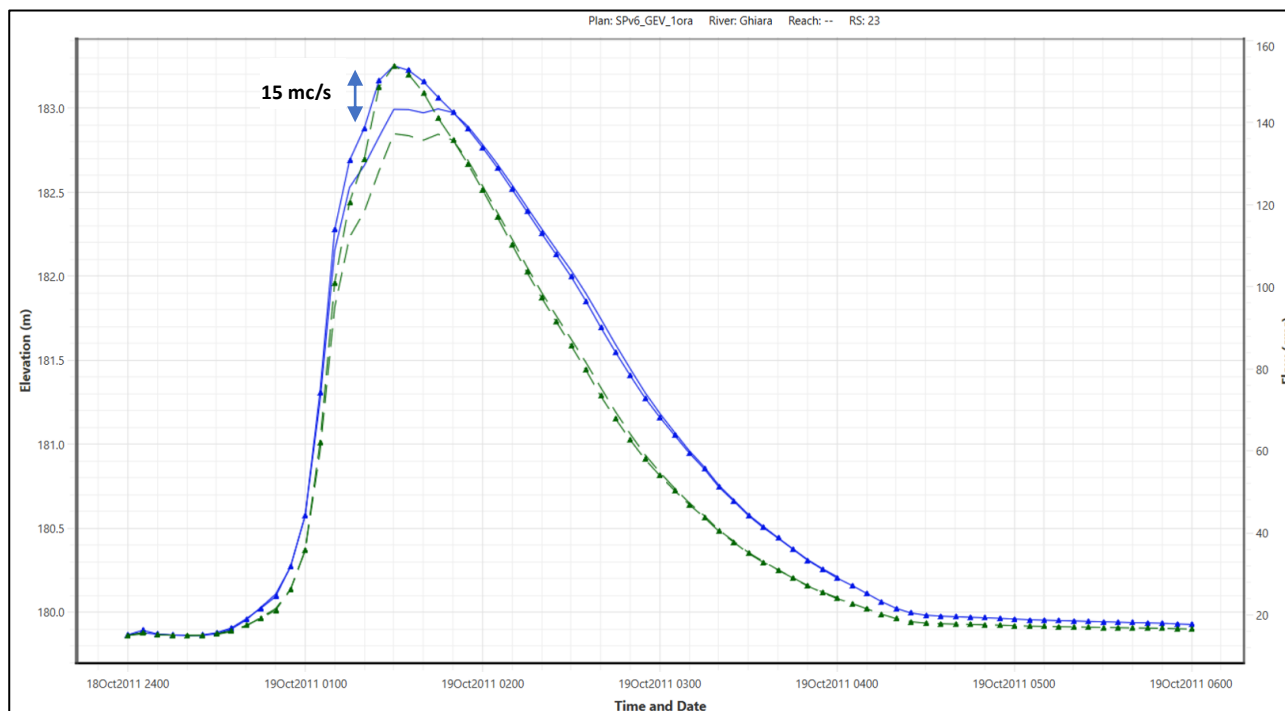


Figura 14. Idrogramma in arrivo e in uscita alla cassa di espansione in progetto in occasione di eventi centennali.

Si riporta di seguito i livelli idrici massimi attesi in occasione di eventi centennali nel tratto da monte dello sfioratore di ingresso alla cassa di espansione in progetto a valle dello sfioratore di troppo pieno esistente della cassa in località "Scacciapensieri" nella configurazione ANTE OPERAM (SF) e POST OPERAM (SP).

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

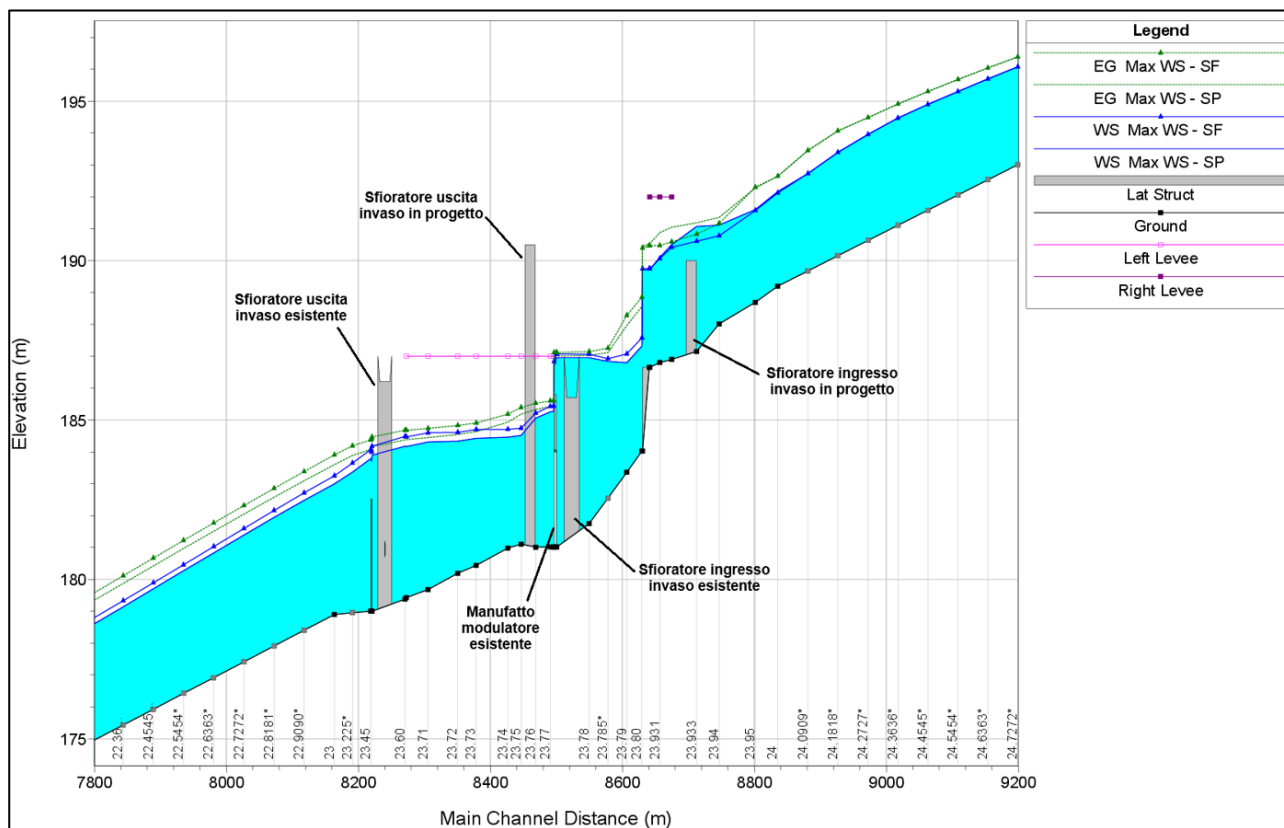


Figura 15. Profilo del livello idrico massimo raggiunto in occasione di eventi centennali nella configurazione attuale (SF) e nello stato di progetto (SP).

I benefici in termini di livelli idrici massimi attesi in occasione di eventi centennali nel tratto tombinato nella configurazione ANTE OPERAM (SF) e POST OPERAM (SP) sono riportati di seguito.

A seguito della realizzazione della cassa di espansione in progetto la tombinatura sarà in grado di smaltire la portata di picco centennale in arrivo senza andare in pressione e garantendo un franco minimo di ca. 40 cm su tutta la lunghezza della tombinatura. Si faccia presente come tale risultanza, tuttavia, non tenga di conto dell'eventuale materiale solido e vegetale trasportato dal torrente Ghiara in tale tratto.

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

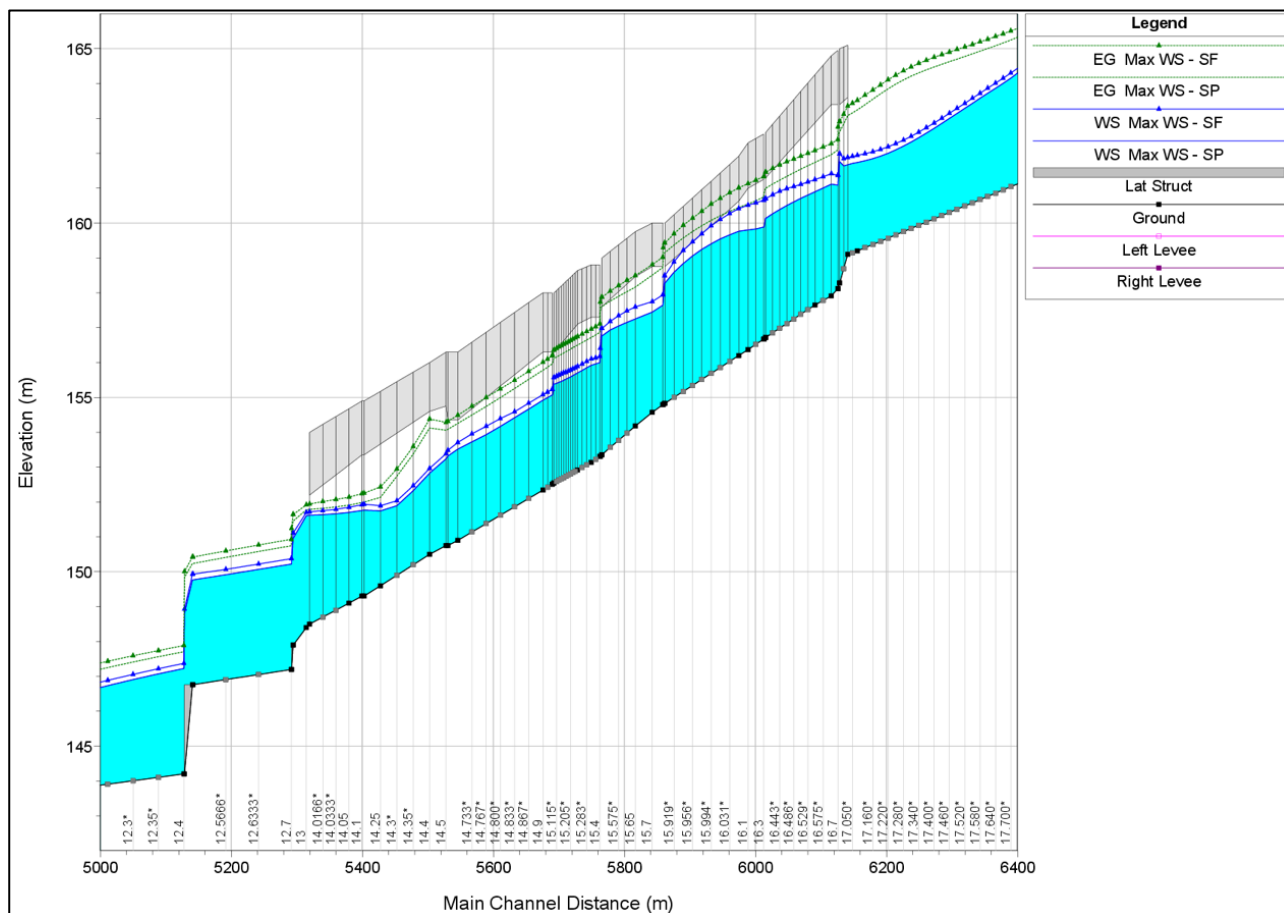


Figura 16. Profilo del livello massimo raggiunto in occasione di eventi centennali nella configurazione attuale (SF) e di progetto (SP).

Tabella 6 – Riassunto dei principali risultati dell'analisi idraulica.

	Tr = 100 anni	
	ANTE OPERAM	POST OPERAM
<i>Invaso di monte (in progetto)</i>		
Livello idrico massimo (quota sfioratori 190 m s.l.m.) [m s.l.m.]	-	190,95
Volume invasato [m ³]	-	29.300
Portata massima scolmata [m ³ /s]	-	15,0
<i>Invaso di valle (località "Scacciapensieri")</i>		
Livello idrico massimo (quota sfioratori 185,7 m s.l.m.) [m s.l.m.]	187,0	186,94
Volume invasato [m ³]	19.000	18.600
Portata massima scolmata [m ³ /s]	28,0	23,0



AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE
SETTORE COORDINAMENTO SICUREZZA TERRITORIALE
UT SICUREZZA TERRITORIALE BACINI IDROGRAFICI TARO-PARMA

3.4.2. $T_r = 200$ anni

La simulazione dell'evento duecentennale è stata condotta per dimensionare le arginature della nuova cassa di espansione in modo che queste siano correttamente dimensionate in modo da poter contenere il livello idrico massimo raggiunto in occasione di tale evento di piena.

3.4.3. Scarico di fondo

Il dimensionamento dello scarico di fondo a servizio della nuova cassa di espansione è stato condotto per mezzo della formulazione di moto uniforme. Questo è risultato essere pari a $D = 600$ mm (diametro interno) di materiale cls prefabbricato. A monte della tubazione sarà prevista una opera di presa in cls. La capacità di deflusso stimata della tubazione è risultata essere pari a $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ in condizioni di massimo invaso. Il tempo di svuotamento risulta essere pari di 3 h per uno svuotamento del 76%.

4. Conclusioni

Lo studio idrologico/idraulico condotto lungo il torrente Ghiara nella situazione ANTE e POST OPERAM consente di valutazione le criticità ad oggi presenti e i benefici attesi a seguito della realizzazione della cassa di espansione in progetto. Dai risultati della simulazione di eventi centennali dello stato ANTE OPERAM emerge come la tombinatura che sottopassa l'area urbana di Salsomaggiore Terme non è in grado di smaltire la portata di picco centennale, andando in pressione.

Dai risultati della simulazione degli eventi centennali nella configurazione POST OPERAM, e quindi a seguito della realizzazione della cassa di espansione in progetto, emerge come a seguito della riduzione del colmo di piena di $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$, la tombinatura risulta in grado di smaltire la portata di picco senza andare in pressione. Si fa presente come, tuttavia, come tale risultanza non tenga di conto dell'eventuale materiale solido e vegetale trasportato dal torrente Ghiara a monte della tombinatura in esame.