



CONSORZIO di BONIFICA dell'EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - www.emiliacentrale.it - direzione@emiliacentrale.it

Tel. 0522443211 Fax 0522443254 CF 91149320359

M - PRG.
18.01

Rev. 1
del
08.02.2011



Progetto: LIFE13 ENV/IT/000169 LIFE RINASCERE Riqualificazione NATuralistica per la Sistemazione integrata idraulico-ambientale dei Canali Emiliani

Azioni "A.2 - Progettazione esecutiva degli interventi" e "B.5 - Intervento di
Riqualificazione della CAVATA ORIENTALE"

Importo: **€ 761.364,10**

Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Preliminare	Definitivo	Esecutivo	Reg.(CE) n. 614/2007	Carpi (MO)

ALLEGATO N. 13		Il Progettista	
Titolo:		Ing. Marco Monaci <i>Marco Monaci</i>	
RELAZIONE IDRAULICA		altre figure professionali: Ing. Matteo Giovanardi <i>Matteo</i> Dott. Agr. Aronne Ruffini <i>Aronne Ruffini</i>	
Tavola:	Oggetto:	Il Responsabile Unico del Procedimento:	
Scala:		Dott. Agr. Aronne Ruffini <i>Aronne Ruffini</i>	

Area progettazione: SAAF	Codice Progetto: 033/16/00	Codice CUP: G31E14000580002	Codice CIG:
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	-------------

Revisione progetto - elaborati				
Data Rev.	Rev.	Descrizione	Redatto	Verificato

Data progetto originale: 15 DIC. 2017	Data Aggiornamento:	
--	---------------------	--

UNI EN ISO 9001:2008	UNI EN ISO 14001:2004	OHSAS 18001:2007
----------------------	-----------------------	------------------



**“MODELLIZZAZIONE DEGLI EFFETTI IDRAULICI DEGLI INTERVENTI
PREVISTI CON LE AZIONI B.3, B.4, B.5, B.6” nell’ambito dell’azione A.1**

**“Approfondimenti idraulici e indagini geologiche, archeologiche e
caratterizzazione terre” del progetto “LIFE RINASCERE Riqualificazione
NAturalistica per la Sistemazione integrata idraulico ambientale dei
Canali Emiliani”**

RELAZIONE FINALE DESCRITTIVA DELLE ATTIVITÀ SVOLTE IN RELAZIONE ALLA FASE DI PROGETTAZIONE DEFINITIVA

CAVATA ORIENTALE

Febbraio 2017

Ing. Sara Pavan



Sommario

PREMESSA.....	3
1 Descrizione del sistema idraulico modellato.....	3
2 Dimensionamento della cassa di espansione.....	6
3 Descrizione dello scolmatore di AIMAG spa.....	9
4 Obiettivi delle simulazioni	11
5 Costruzione del modello idraulico.....	11
6 Verifica del dimensionamento del sistema idraulico “Cavata Orientale riqualificata- Cassa di espansione” e della possibilità di scolo dei terreni agricoli afferenti alla Cavata Orientale e alla cassa di espansione.....	15
6.1.1 Schematizzazione del sistema idraulico considerato	15
6.1.2 Dati in ingresso	15
6.1.3 Risultati ottenuti.....	22
7 Verifica del fosso di guardia del Canale V.....	28
8 Conclusioni	31



PREMESSA

La presente relazione descrive i risultati della modellizzazione idraulica degli interventi descritti nel progetto definitivo-esecutivo *“Intervento di Riqualificazione della CAVATA ORIENTALE”*, ottenuti nello svolgimento dell’incarico di *“MODELLIZZAZIONE DEGLI EFFETTI IDRAULICI DEGLI INTERVENTI PREVISTI CON LE AZIONI B.3, B.4, B.5, B.6”* nell’ambito dell’azione A.1 *“Approfondimenti idraulici e indagini geologiche, archeologiche e caratterizzazione terre”* del progetto *“LIFE RINASCERE Riqualificazione Naturalistica per la Sistemazione integrata idraulico ambientale dei Canali Emiliani”*.

1 Descrizione del sistema idraulico modellato

Il progetto *“Intervento di Riqualificazione della CAVATA ORIENTALE”* si attua nella zona industriale posta a sud est nel comune di Carpi, lungo via Lama, e andrà a comporre un “nodo idraulico” complessivo costituito da:

- Scolmatore con recapito in Cavata Orientale (realizzato da parte di AIMAG SPA)
- Canale Cavata Orientale ampliato e riqualificato (intervento previsto nel progetto LIFE RINASCERE e di competenza del Consorzio)
- Cassa di espansione a fini multipli a servizio della Cavata Orientale (intervento previsto nel progetto LIFE RINASCERE e di competenza del Consorzio)

Il “nodo idraulico”, descritto in Figura 1, avrà il seguente funzionamento:

- Lo **scolmatore** recapiterà le acque di piena del comparto urbano e industriale sud-orientale di Carpi nella Cavata Orientale, subito a valle del ponte di via Lama
- Tali acque in parte scorreranno verso valle lungo il canale e attraverseranno il manufatto di immissione dello scolmatore AIMAG, dotato di una bocca tarata di diametro 600 mm costruita per limitare le portate scolanti verso valle; in parte, in caso di piene più intense, si accumuleranno per rigurgito nella **Cavata Orientale**, risalendo verso monte
- Il canale sarà a tal fine risezionato in modo da poter accogliere un volume superiore di acqua rispetto alla situazione iniziale
- Si provvederà inoltre ad arginare il canale, al fine di assicurare un adeguato franco di sicurezza in caso di piena per le aree limitrofe
- L’intervento sarà completato con la realizzazione di una **cassa di espansione** posta a monte del canale Cavata Orientale: le acque in eccesso che non potranno essere contenute nella Cavata Orientale e che non defluiranno verso valle, entreranno nella suddetta cassa attraverso uno sfioratore posto in sponda destra nella parte iniziale del canale
- Durante l’evento di piena, le acque presenti nella Cavata Orientale defluiranno per gravità verso valle attraverso la già citata bocca tarata di diametro 600 mm posta a valle di via Lama
- Le acque presenti nella cassa di espansione defluiranno, anch’esse a gravità, in parte nella Cavata Orientale, attraversando a ritroso lo sfioratore di ingresso nella Cassa, e in parte verso il Canale V°, e da questo verso il Cavo Lama, attraverso una tubazione di diametro 800 mm che sarà posta sul

lato sud-est della Cassa e che si innesterà nell'attuale condotta di scarico dello scolo Gargallo Inferiore nel Canale V°

- La funzione irrigua ora assicurata dalla Cavata Orientale sarà scissa dalla funzione di scolo attraverso la realizzazione di una tubazione irrigua che affiancherà il canale
- L'intervento sarà completato dal punto di vista ambientale mediante l'incremento della dotazione arboreo-arbustiva e la conservazione ed estensione delle formazioni vegetali elofitiche.

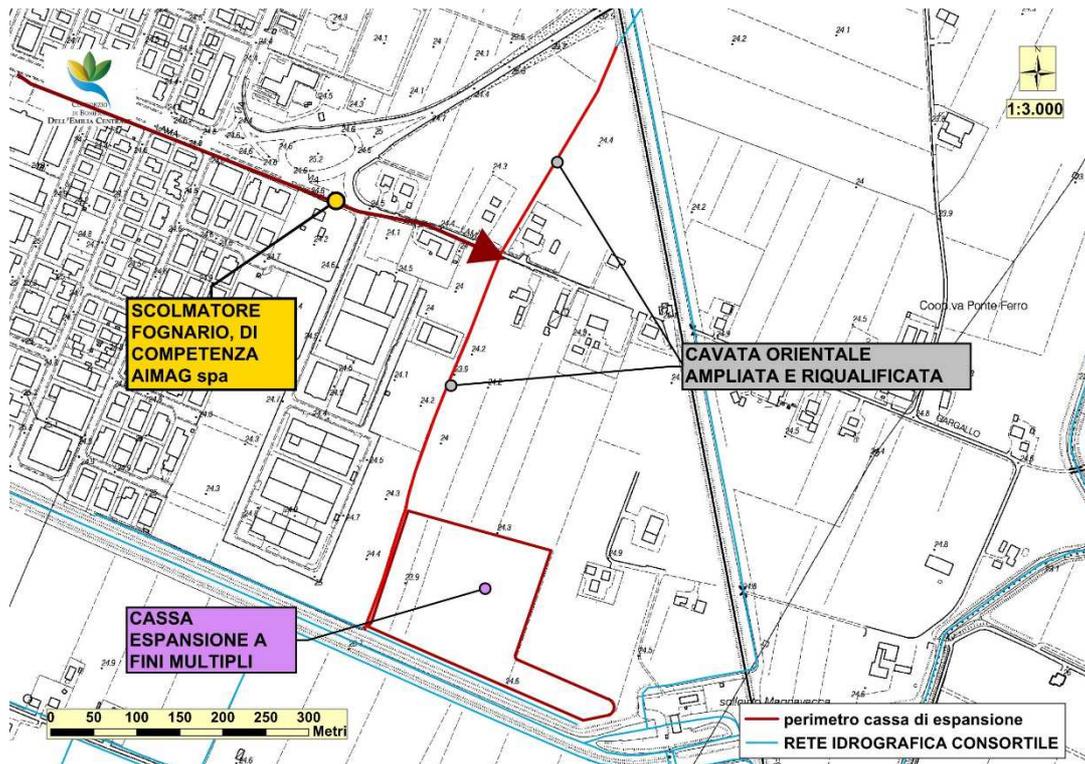


Figura 1: Localizzazione degli interventi lungo la CAVATA ORIENTALE che vanno a costituire il “nodo idraulico” complessivo: Scolmatore su via Lama (di competenza AIMAG SPA spa), CAVATA ORIENTALE AMPLIATA E RIQUALIFICATA e CASSA DI ESPANSIONE a fini multipli (di competenza del Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale).

La realizzazione del rizezionamento della Cavata Orientale comporta la costruzione di un'arginatura in destra idrografica lungo tutta l'asta del canale oggetto di intervento. Tale argine andrà quindi ad intercettare gli scoli dei terreni agricoli che attualmente recapitano nel canale, nonché le scoline e i fossi stradali.

Al fine di permettere un corretto smaltimento delle acque di pioggia dei terreni limitrofi, si prevede che le suddette acque di scolo saranno intercettate mediante un fosso appositamente costruito parallelo all'argine del canale (nelle figure seguenti indicato come “fosso di scolo interpoderale”) e da questo saranno immesse nella Cavata Orientale a valle del ponte di via Lama, attraverso tubazioni dotate di valvola di non ritorno.

La stessa soluzione sarà adottata per i terreni agricoli che attualmente scolano nel fosso di guardia posto a nord del Canale V; una volta costruita la cassa, si provvederà a realizzare un nuovo fosso di guardia a nord ed est dell'argine della Cassa, con recapito mediante tubazione dotata di valvola di non ritorno all'interno della tubazione DN 800 che svuota la cassa verso il Cavo Lama.

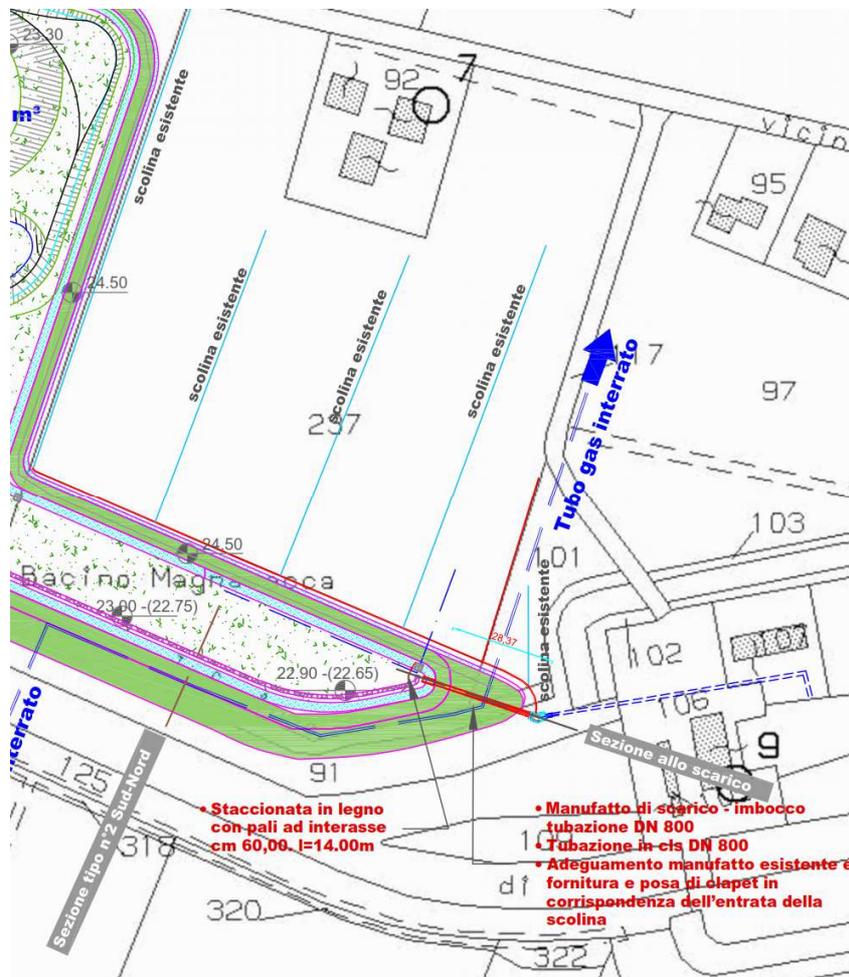
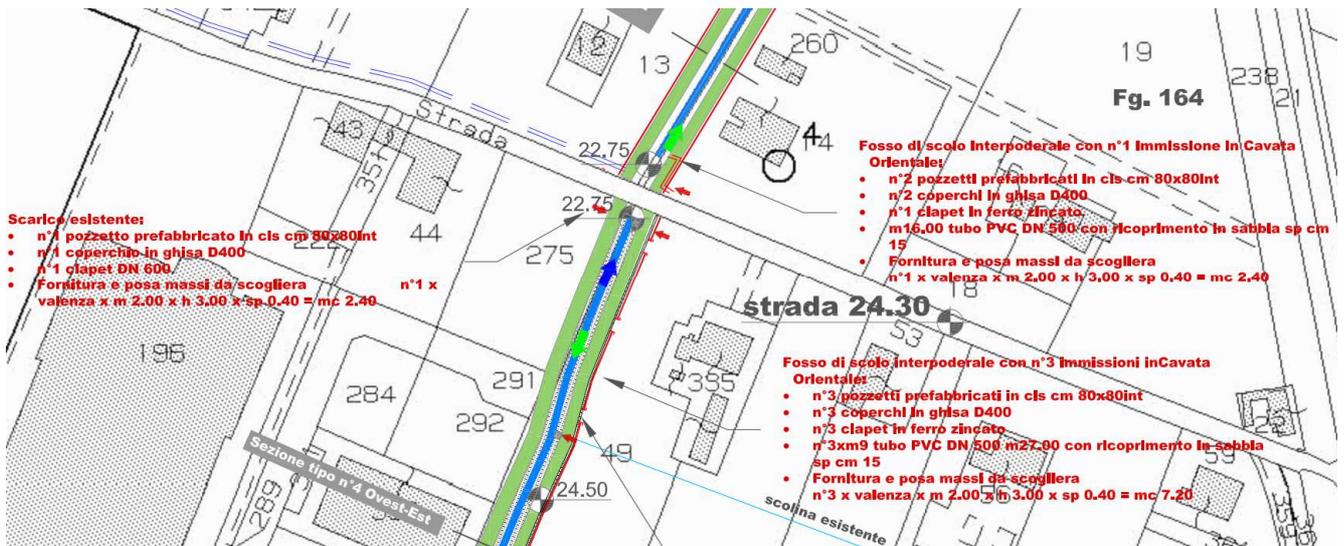


Figura 2 – Localizzazione dei fossi di scolo interpoderali lungo la Cavata Orientale (figura in alto) e a fianco della cassa di espansione (figura in basso)

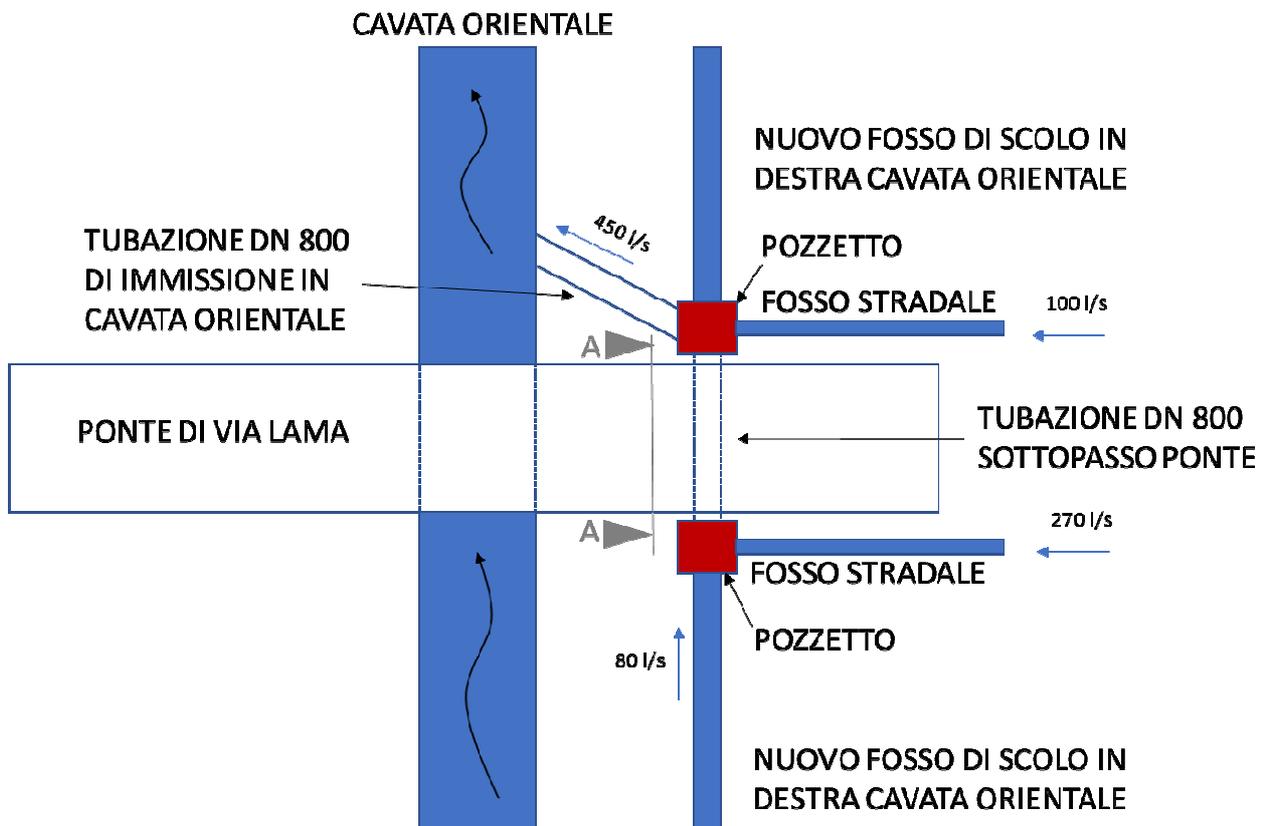


Figura 3 – Schema di sottopasso del nuovo fosso di scolo al di sotto del ponte di via Lama

2 Dimensionamento della cassa di espansione

Le dimensioni della cassa di espansione sopra riportate sono emerse da un lungo lavoro di approfondimento tecnico e di confronto che ha visto impegnati congiuntamente i tecnici del Consorzio di bonifica e quelli di AIMAG spa, essendo strettamente interrelati tra loro il progetto dello scolmatore di AIMAG spa con immissione in Cavata Orientale e quello della cassa.

Già nell'autunno **2007** AIMAG spa ha messo a punto lo studio “*Verifica idraulica del sistema fognario a servizio dei quartieri urbani Sud-Orientali del Comune di Carpi*”, in cui sono stati proposti diversi scenari di intervento per il potenziamento del reticolo fognario all'interno dell'area sud-est di Carpi a rischio idraulico: lo studio ha individuato come soluzione al problema fognario quella di realizzare un nuovo collettore-scolmatore in c.a. lungo Via Lama con scarico finale nella Cavata Orientale.

Successivamente, il Consorzio di Bonifica ha redatto a dicembre **2007** un progetto preliminare di “*Adeguamento della Cavata Orientale alle portate derivanti dalle nuove urbanizzazioni ad Est dell'abitato di Carpi ed interventi di distribuzione irrigua*” nel quale sono state individuate le criticità derivanti dagli interventi di potenziamento sopraccitati e in particolare dall'immissione del nuovo scolmatore nella Cavata Orientale, non adeguata per smaltire l'eccesso di portata generato. Per far fronte a tali problematiche, nell'ambito del succitato progetto preliminare il Consorzio ha valutato la fattibilità di diverse opzioni progettuali, sebbene questo confronto non sia stato esplicitato nel suddetto progetto; le opzioni progettuali indagate prevedevano la realizzazione di una cassa di espansione a servizio della Cavata Orientale, localizzata alternativamente in diversi siti a sud e nord di via Lama, o la realizzazione di un impianto di sollevamento con mandata nella cassa di aspirazione del Canale V° in corrispondenza



dell'impianto di Magnavacca. Da tale confronto è emersa come preferibile la soluzione che prevede la realizzazione di una cassa di espansione a nord di via Lama, a valle della ferrovia Modena-Mantova.

Nel corso degli anni seguenti AIMAG spa e Consorzio di bonifica hanno continuato ad approfondire gli studi precedenti, giungendo a predisporre un nuovo studio nel corso del 2010 denominato "Studio di fattibilità per la sistemazione del sistema fognario e di bonifica a servizio dei quartieri urbani sud-orientali della Città di Carpi".

Lo studio in oggetto individua come soluzione progettuale ideale la realizzazione di una cassa di espansione a servizio della Cavata Orientale posta a sud di via Lama, di volume pari a 31.000 mc.

Per la realizzazione di tale dimensionamento, il regime pluviometrico è stato ricostruito in mancanza di serie storiche delle altezze di pioggia, facendo riferimento alla seguente curva caratteristica di possibilità pluviometrica o climatica di tempo di ritorno T_r :

$$h = a \cdot t_p^n$$

in cui: "h" è l'altezza di pioggia [mm] e "tp" è il tempo di pioggia [ore].

La curva è stata corretta, data l'estensione del comprensorio, con la legge di riduzione dell'intensità di pioggia di Supino, che mette in conto la riduzione dell'intensità di pioggia all'aumentare dell'area del bacino e della distanza dall'ipotetico centro di scroscio. Pertanto i coefficienti "a" e "n" sono corretti dai seguenti valori:

$$a' = a \cdot \left[1 - 0.052 \cdot \frac{A}{100} + 0.002 \cdot \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right]$$

$$n' = n + 0.0175 \cdot \frac{A}{100}$$

dove "A" è l'area del bacino espressa in ettari.

I coefficienti "a" ed "n" per realizzare gli ietogrammi sintetici di pioggia sono stati desunti sia da AIMAG Spa per quanto riguarda il tempo di ritorno "Tr" pari a 10 anni che dal Consorzio di bonifica per tempo di ritorno di 25 anni, per durate di pioggia maggiori di un'ora:

Tabella 1: Parametri delle precipitazioni intense

Fonte e tempo di ritorno	a	n
AIMAG - Tr 10 anni	40,00	0,30
BONIFICA- Tr 25 anni	58,04	0,24

Il tempo di ritorno pari a 10 anni è in particolare utilizzato per la progettazione e verifica di fognature in ambito urbano mentre per il dimensionamento di cavi di scolo artificiali e di opere di espansione ad essi connesse si adottano tempi di ritorno dell'evento di pioggia critico maggiori.

Si riporta di seguito lo ietogramma tipo Chicago avente Tr 10 anni utilizzato nelle simulazioni di progetto per la verifica della rete attuale e la progettazione di nuovi interventi all'interno della città:

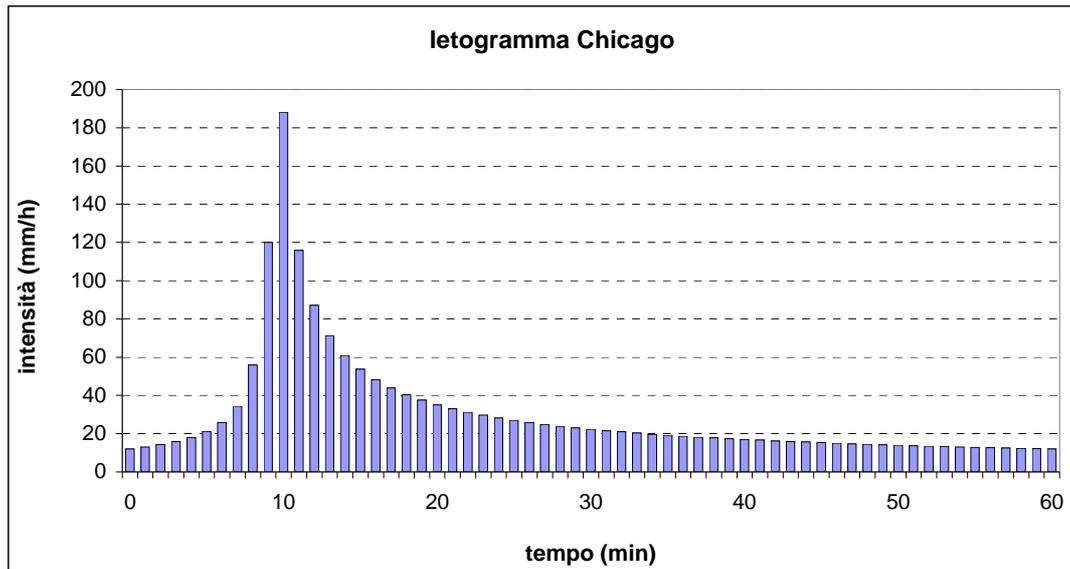


Figura 4: Ietogramma Chicago con Tr10 utilizzato nelle simulazioni di progetto per la verifica della rete attuale

Per quanto attiene la verifica idraulica dello stato attuale della rete in ambito extra urbano è stato utilizzato un tempo di ritorno della pioggia pari a 25 anni.

Lo Ietogramma sintetico utilizzato per il dimensionamento delle opere idrauliche esterne all'abitato è ad intensità istantanea di precipitazione costante, detto anche "rettangolare", di durata 2, 4, 6, 8, 10 ore. Tale Ietogramma è cautelativo per il calcolo di invasi di espansione per il contenimento delle piene in quanto sovrastima il volume di pioggia caduta.

Sulla base di questi dati di input, AIMAG spa in sinergia con il Consorzio di bonifica ha realizzato numerose simulazioni idrologico-idrauliche della rete fognaria di sua competenza nella configurazione di progetto che prevede lo scolmatore lungo via Lama; in tali modellazioni è stata inserita anche la cassa di espansione con la finalità di garantire la compatibilità idraulica tra lo scolmatore ed i cavi di scolo Cavata Orientale e Cavo Lama in gestione al Consorzio di bonifica. Tali simulazioni sono state seguite grazie al software di simulazione "InfoWorks CS", sviluppato dalla società inglese Wallingford Software, opportunamente tarato.

Nel corso del 2013 il confronto tra Comune di Carpi, AIMAG spa e Consorzio ha fatto emergere la possibilità di integrare e modificare le ipotesi di intervento emerse negli anni precedenti, adottando un approccio al problema che andasse nella direzione proposta dalle Direttive Acque 2000/60/CE e Alluvioni 2007/60/CE: alla valenza idraulica degli interventi previsti in precedenza, si è quindi andata ad aggiungere quella ambientale, sviluppando l'idea che fosse possibile affrontare il problema delle esondazioni generate dallo scolmatore AIMAG lungo la Cavata Orientale mediante la riqualificazione ecologica della stessa e della cassa di espansione proposta. È quindi stato deciso di integrare e verificare nuovamente le ipotesi progettuali precedenti, individuando come soluzione preferibile l'allargamento naturalistico della Cavata Orientale e la realizzazione di una cassa di espansione con finalità multiple idrauliche-naturalistiche posta non più a sud ma a nord di via Lama. Tale ipotesi progettuale di massima è entrata infine a far parte di una proposta di finanziamento avanzata alla Commissione Europea nell'ambito del bando LIFE Environment del 2013. Il suddetto progetto, denominato LIFE RINASCE e descritto in premessa, è stato finanziato ed ha visto l'inizio il 2 luglio 2014.

Nel corso del **2015**, nell'ambito del LIFE RINASCE è iniziata la vera e propria progettazione dell'intervento da parte del Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale, che ha visto come momento iniziale il definitivo

Azione A.1 – Approfondimenti idraulici e indagini geologiche, archeologiche e caratterizzazione terre

confronto tra ipotesi progettuali (localizzative, dimensionali e tipologiche) differenti, alla luce dei nuovi input ricevuti dall'impostazione del progetto LIFE: tale analisi ha fatto di nuovo emergere come preferibile la soluzione che prevede di localizzare la cassa di espansione a sud di via Lama e descritta nel presente progetto, confermando localizzazione e dimensioni di massima dello studio del 2010 mediante l'utilizzo del software InfoWorks da parte di AIMAG spa e dei parametri progettuali sopra descritti:

- cassa di espansione a cielo aperto di superficie alla base di 24.000 mq, 31.000 mq di area compresa la fascia di manutenzione, 32.500 mc di volume totale immagazzinabile da localizzarsi nell'area a Sud di Via Lama ed a Nord del Canale V°,
- Cavata Orientale risagomata e ampliata mediante la creazione di una banchina interna allagabile;
- primo scarico della cassa di espansione nel Cavo Lama mediante una tubazione di diametro 800 mm in c.a. che utilizza l'originario ed ora dismesso manufatto di scarico dello Scolo Gargallo Inferiore
- secondo scarico della cassa di espansione in Cavata Orientale, mantenendo inalterato il diametro della tubazione che sottopassa via Lama (Dn 600 mm)

3 Descrizione dello scolmatore di AIMAG spa

In data 14 marzo 2016 AIMAG spa ha inviato al Comune di Carpi il progetto preliminare denominato "Potenziamento del sistema di drenaggio del quartiere di via Lama e scolmatore nella Cavata Orientale" (Codice AIMAG 16-0040), già inserito con codice Atersir 2207 nel "Programma operativo degli interventi del Servizio Idrico Integrato 2014-2017", approvato da Atersir e dal Consiglio locale d'ambito in data 25 marzo 2014.

Il progetto prevede che lo scolmatore in progetto verrà realizzato con un manufatto in opera in grado di sfiorare le acque meteoriche eccedenti in arrivo dal comparto artigianale di via Puglie (scatolare 1400x800 mm) e dai comparti residenziali di via Lama di Quartirolo Interna e via Cattani (scatolare 1500x800 mm).

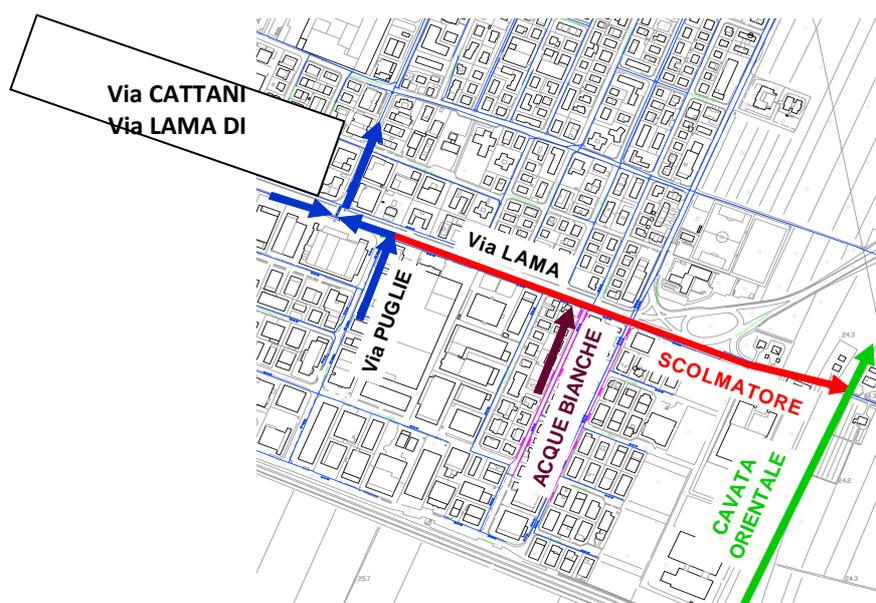


Figura 5: Rete fognaria intercettata dallo scolmatore AIMAG tra via Puglie e l'immissione nella Cavata Orientale

Azione A.1 – Approfondimenti idraulici e indagini geologiche, archeologiche e caratterizzazione terre

Lo scolmatore in progetto verrà realizzato con un manufatto in opera in grado di sfiorare le acque meteoriche eccedenti in arrivo dal comparto artigianale di via Puglie (scatolare 1400x800 mm) e dai comparti residenziali di via Lama di Quartirolo Interna e via Cattani (scatolare 1500x800 mm).

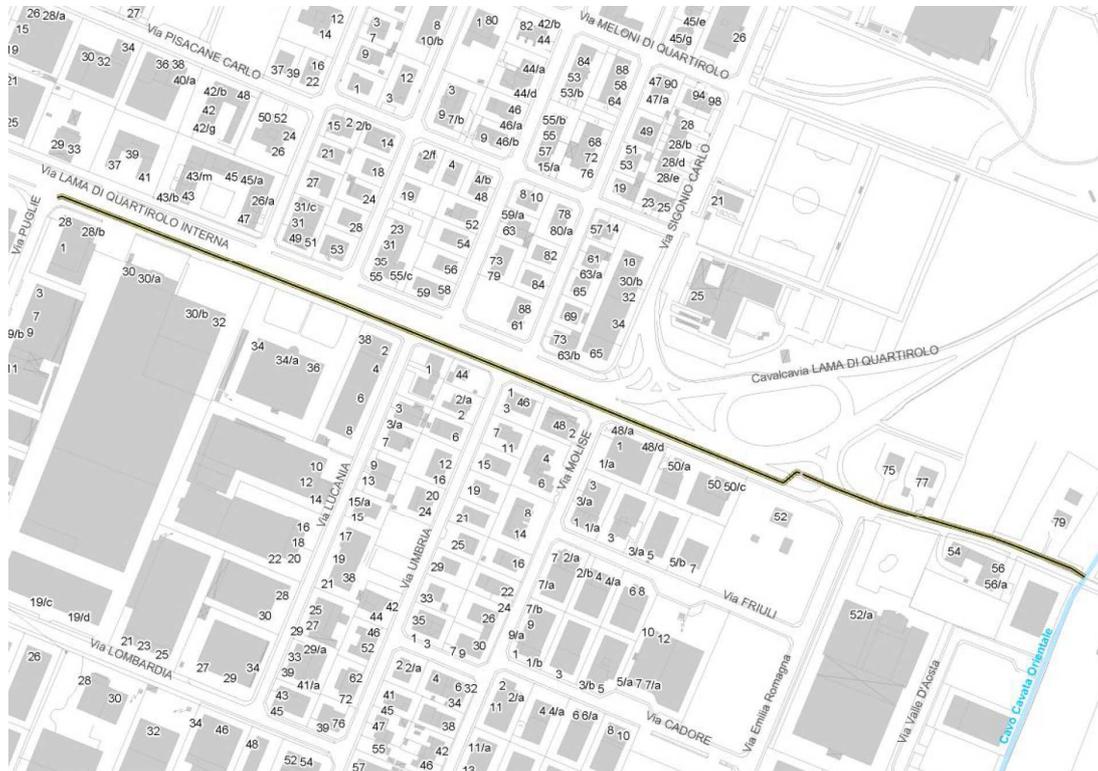


Figura 6: Tracciato dello scolmatore AIMAG

In corrispondenza di via Puglie, il collettore in progetto verrà collegato alla fognatura mista esistente attraverso l'interposizione di una soglia sfiorante posta a 50 cm dal fondo, così da consentire l'allontanamento delle portate meteoriche defluenti dalle aree industriali poste a sud della tubazione, garantendo quindi l'alleggerimento dei collettori di Via Minghetti e successivamente via Alghisi, ubicati a valle dello scolmatore in progetto. Prima di essere scaricate nel fosso Cavata Orientale, le portate meteoriche raccolte verranno sottoposte ad un processo di grigliatura grossolana, che verrà attuato all'interno di una cassa posizionata nell'aiuola spartitraffico all'altezza di Via Emilia Romagna.

Utilizzando la formula di Bazin, per la tubazione scatolare in CLS 2500 x 750, limitato ad un'altezza di 0,70 m si ottiene:

$$Q = \Omega \times K \times \sqrt{R \times i} = 2100 \text{ L/s}$$

Le dimensioni dello scatolare in progetto saranno quindi tali da garantire, con una pendenza del fondo dell'1 ‰, una portata massima di circa 2 m³/s in condizioni di moto uniforme in corrispondenza dello sbocco nella Cavata Orientale. Con un funzionamento in pressione la portata veicolata potrà invece essere superiore ai 3 mc/s.

Come già accennato, lo scolmatore sarà dotato in testa di una soglia di sfioro posta a 50 cm dal fondo.



4 Obiettivi delle simulazioni

Le simulazioni di seguito descritte hanno diversi obiettivi, ovvero:

- verificare l'efficienza della cassa di espansione per i diversi tipi di evento meteorico (precipitazioni intense e concentrate nel tempo o precipitazioni meno intense ma di maggior durata) e in relazione a diversi tempi di ritorno degli stessi
- verificare il grado di sicurezza idraulica lungo il reticolo che sarà interessato dalla costruzione del nuovo scolmatore
- stimare i tempi di permanenza all'interno della cassa delle portate di piena scolmate.

In sostanza si tratta di verificare che le dimensioni della cassa, precedentemente definite congiuntamente con AIMAG SPA, permettano di contenere le portate di piena immesse dallo scolmatore nel sistema idraulico Cavata + cassa, e che non ci siano esondazioni lungo la Cavata.

Verranno inoltre considerate:

- le necessità di scolo dei terreni agricoli confinanti con la cassa e con il tratto di Cavata Orientale che verrà arginato, al fine di valutare l'entità dei deflussi superficiali e le possibili soluzioni per il loro smaltimento
- l'eventuale rigurgito indotto lungo lo Scolo Gargallo che si innesta in testa al canale Cavata Orientale

5 Costruzione del modello idraulico

Il modello idraulico del canale Cavata Orientale è stato costruito sulla base del modello implementato da AIMAG SPA nell'ambito della RELAZIONE TECNICA dello "STUDIO DI FATTIBILITA' PER LA SISTEMAZIONE DEL SISTEMA FOGNARIO E DI BONIFICA A SERVIZIO DEI QUARTIERI URBANI SUD-ORIENTALI DELLA CITTA' DI CARPI". In questo modello viene infatti considerata la confluenza del nuovo collettore AIMAG e la presenza della cassa di espansione nel tratto di monte della Cavata Orientale.

Rispetto a quanto simulato in fase di progettazione preliminare, lo scolmatore di AIMAG recapiterà le sue acque non più a monte del ponte di via Lama ma a valle dello stesso; le portate veicolate dal canale Cavata Orientale a valle dello scolmatore saranno in ogni caso limitate mediante la costruzione di un apposito restringimento di sezione, e da un prolungamento dello stesso tramite una tubazione in PVC dello stesso diametro (Dn 600) lunga 5 m, che replicherà il funzionamento del sottopasso del ponte di via Lama, attualmente costituito da una tubazione con diametro Dn 600.

In questo lavoro si è considerato solo il sistema costituito dal tratto terminale del nuovo collettore AIMAG in progetto, il tratto di Cavata Orientale che va dalla sua origine al tratto tombato di circa 400 m posto a valle della ferrovia, restringimento e tubazione in PVC (Dn 600) a valle dello scolmatore AIMAG, la cassa di espansione collocata in prossimità dell'origine della Cavata Orientale, e lo scarico di connessione tra la cassa e il Canale V°. Di seguito sono descritti i vari elementi che compongono il sistema.

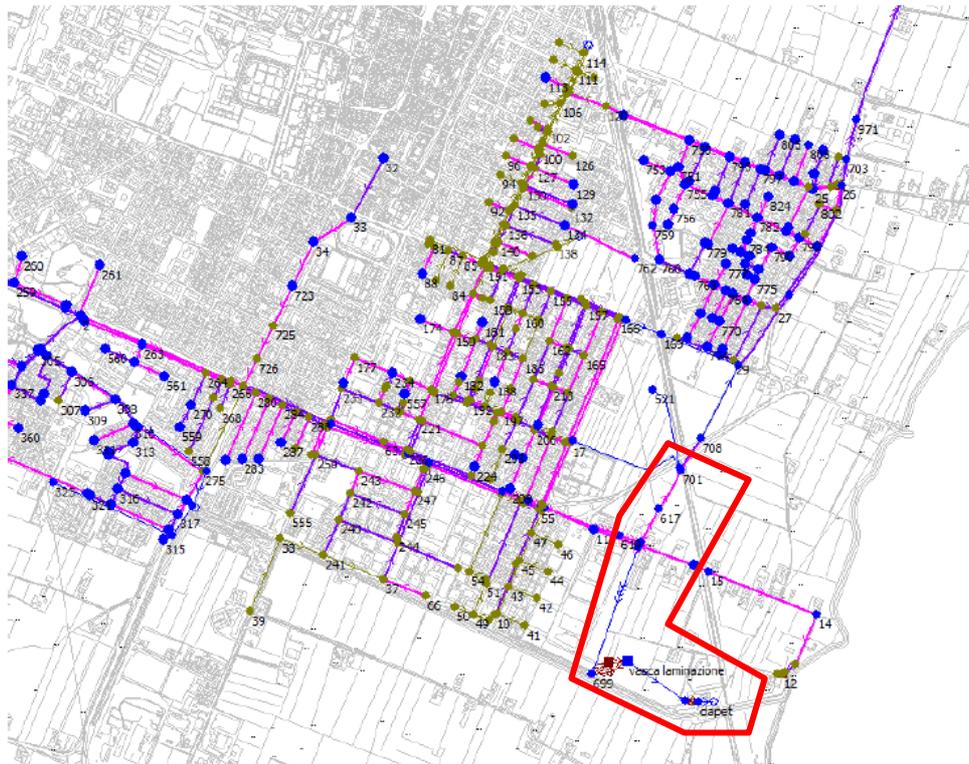


Figura 7: Schema della rete idraulica simulata nel modello di AIMAG. Il riquadro rosso racchiude la porzione di modello che interessa la Cavata Orientale.

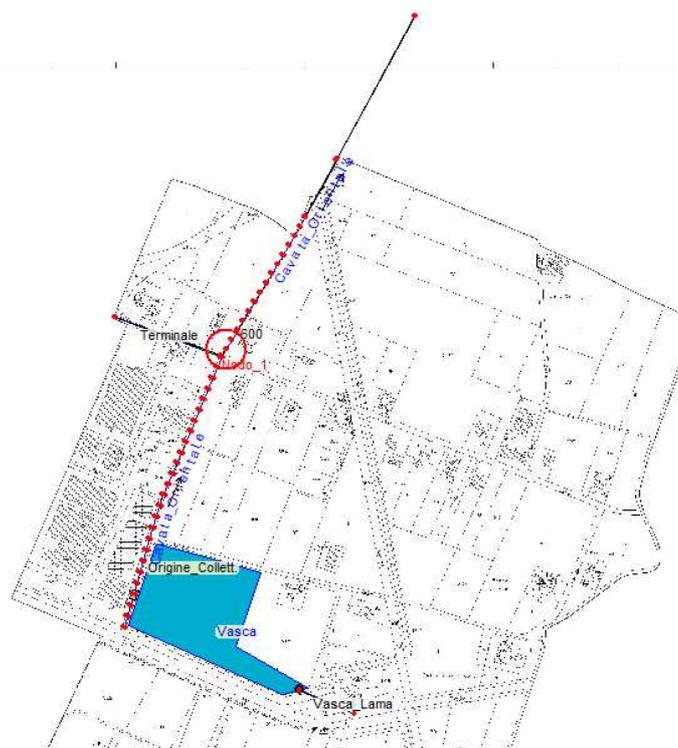


Figura 8: Modello HEC-RAS per la simulazione del funzionamento del sistema Collettore AIMAG-Cavata Orientale-Espansione Cassa di espansione

- **Cavata Orientale:** è stato modellato il tratto che va dall'origine fino a circa 400 m a valle del sottopasso della ferrovia. La sezione è variabile: con riferimento a Figura 9, il tratto a pelo libero a monte di via Lama è stato modellato con le sezioni di progetto (a), il restringimento Dn 600 mm e la successiva tubazione di lunghezza pari a 5 m a valle dello scolmatore AIMAG attraverso un'unica tubazione con Dn = 600 mm (b), il tratto a valle presenta una sezione trapezia a pelo libero per circa 300 m (c) che arriva fino alla ferrovia, dopo la quale seguono nell'ordine un tratto tombato con tubazione circolare in c.a. con Dn = 1200 mm lungo 118 m (d), un tratto tombato in uno scatolare in c.a. 150 x 130 cm per una lunghezza di 297 m (e), un salto di 54 cm in corrispondenza di via Aldo Moro, e un ulteriore scatolare in c.a. 150 x 130 di lunghezza 215 m e pendenza 0.0022 al termine del quale è stata impostata la condizione al contorno di moto uniforme (e).

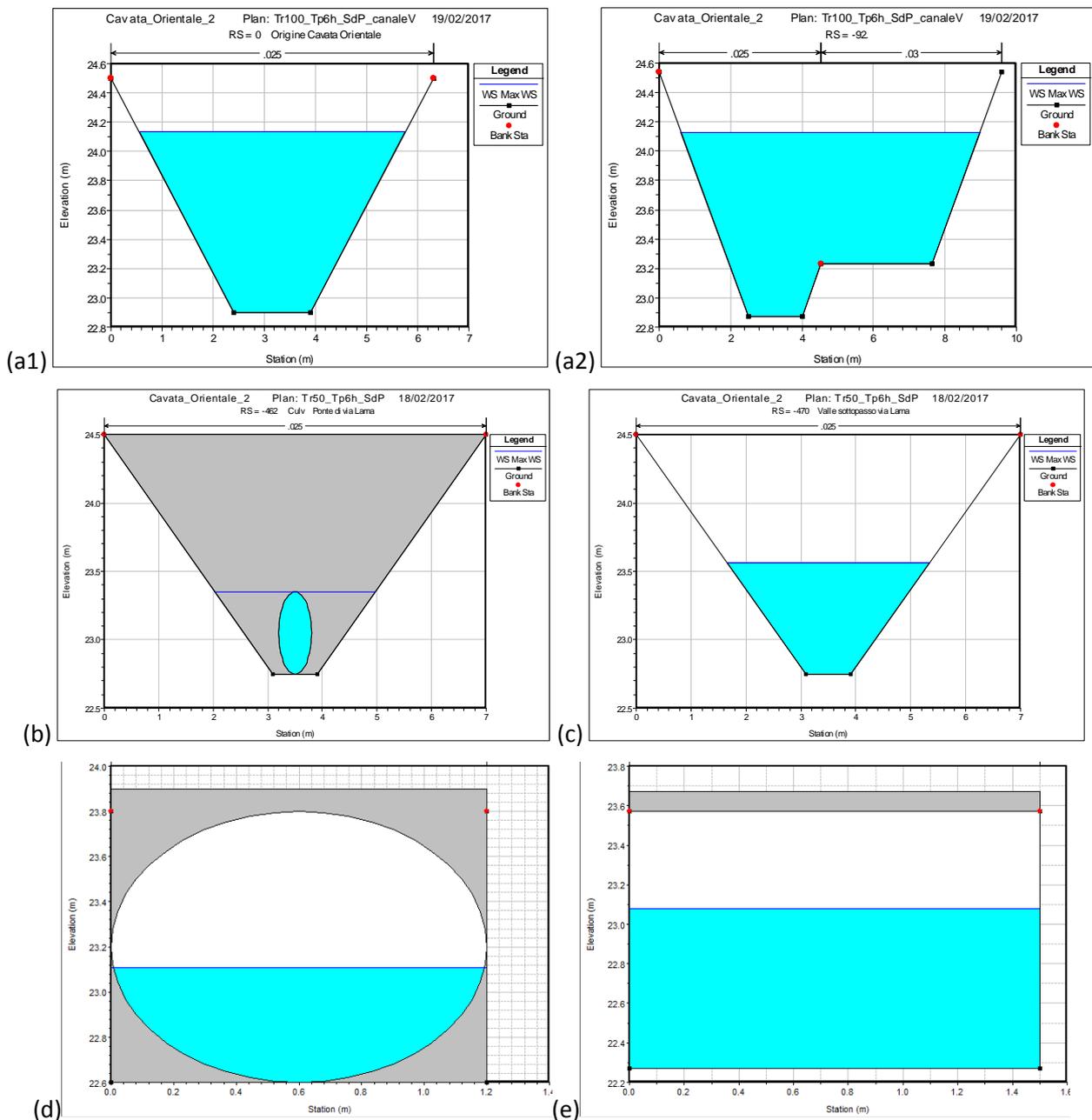


Figura 9: Cavata Orientale: sezioni rappresentative del tratto modellato. (a1) e (a2) sezioni di progetto a monte di via Lama; (b) restringimento a valle dello scolmatore AIMAG mediante una tubazione Dn600; (c) sezione trapezia a valle di via Lama con larghezza del fondo di 80 cm e pendenza delle sponde 1V/1H; (d) tubazione Dn1200 che sottopassa la ferrovia; (e) prosecuzione del tratto tombato con scatolari 150 x 130 cm.

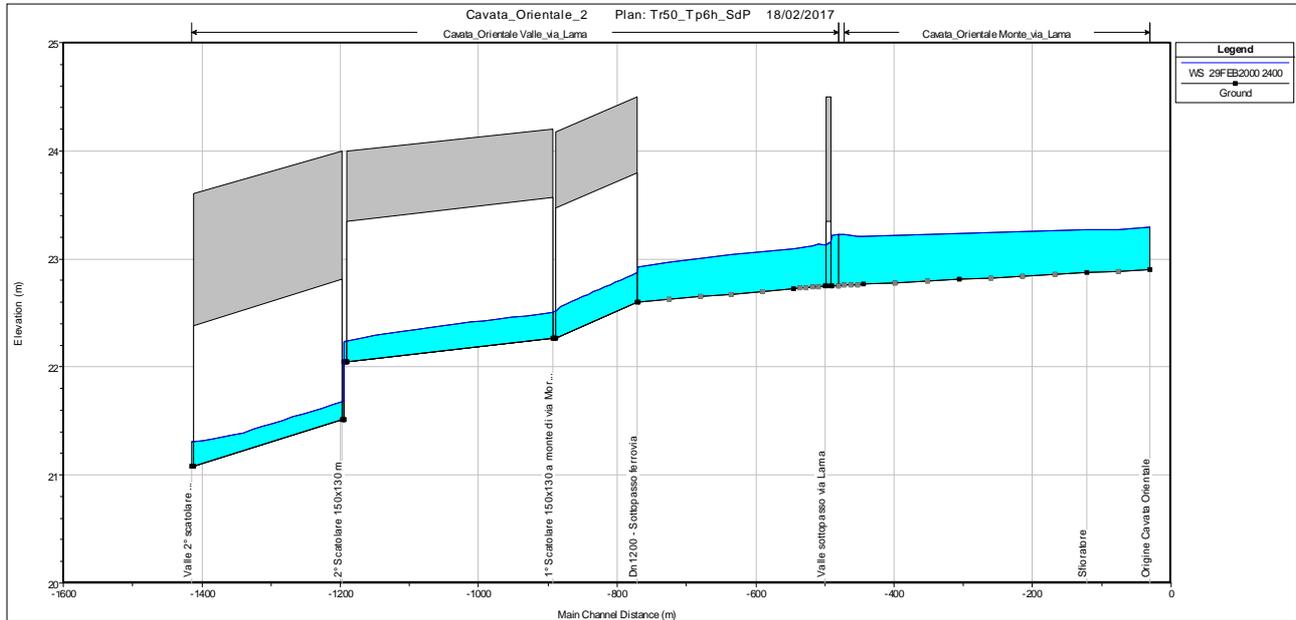


Figura 10: Cavata Orientale: profilo del fondo dall'origine al termine del tratto tombato a valle della ferrovia. Il profilo del pelo libero rappresentato corrisponde ai primi passi di calcolo della simulazione di massima piena, ed è stato raffigurato al fine di mostrare le pendenze del pelo libero nei vari tratti.

- **Nuovo Scolmatore AIMAG:** si tratta in sostanza della condizione al contorno di monte del sistema simulato, ed è stato quindi modellato solamente in relazione al tratto terminale, per una lunghezza di 500 m. La sezione del collettore è rettangolare, alta 0.75 m e larga 2.5 m. All'origine di questo scatolare è prevista una soglia di fondo alta 50 cm, che determina la ripartizione delle portate di piena e quindi la quota parte di deflusso che verrà smaltito nella Cavata Orientale. Lo scolmatore confluisce nella Cavata Orientale poco a valle del sottopasso di via Lama.

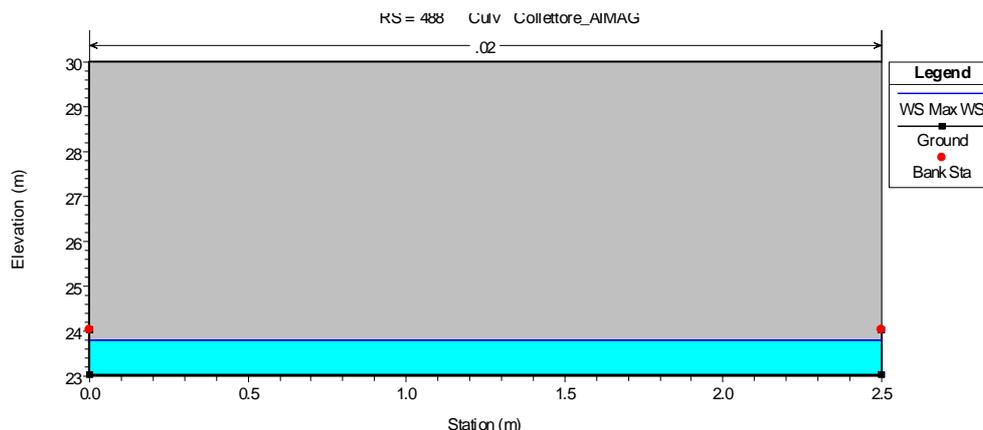


Figura 11: Sezione del nuovo Collettore AIMAG in progetto

- **Cassa di espansione:** è stata schematizzata come una "storage area", ovvero un'area il cui funzionamento è regolato da una curva livello-volume, costruita in base all'estensione dell'area stessa. La cassa è connessa alla Cavata Orientale tramite uno sfiatore laterale, che permette il



riempimento della cassa per effetto di rigurgito quando la Cavata Orientale viene riempita dalla portata in arrivo dallo scolmatore AIMAG. Lo sfioratore è lungo 15 m, e ha quota 23.20 m slm, ovvero circa 30 cm più in alto rispetto al fondo della Cavata in quel tratto. Infine, la cassa è connessa al canale Carpi V° tramite una condotta di diametro 800 mm. Lo sbocco nel Canale V° rappresenta la condizione al contorno di valle del sistema, ed è stato fissato ipotizzando un pelo libero a quota costante pari a 23.20 m slm., ovvero alla quota del pelo libero massima che ci si attende nel canale Carpi V° in caso di piena (la quota irrigua raggiunge invece quota 22,80 m slm.).

6 Verifica del dimensionamento del sistema idraulico “Cavata Orientale riquilificata- Cassa di espansione” e della possibilità di scolo dei terreni agricoli afferenti alla Cavata Orientale e alla cassa di espansione

6.1.1 Schematizzazione del sistema idraulico considerato

La prima analisi eseguita ha riguardato la verifica del dimensionamento del sistema idraulico “Cavata Orientale riquilificata- Cassa di espansione” e della possibilità di scolo dei terreni agricoli afferenti alla Cavata Orientale e alla cassa di espansione.

Il sistema idraulico “Cavata Orientale e Cassa di espansione” modellato prevede le seguenti immissioni:

- Scolmatore AIMAG in ingresso alla Cavata Orientale
- Scolo Gargallo in ingresso a monte della Cavata Orientale
- Tubo di scarico della cassa di espansione a servizio del comparto PP1, collocato nel modello a monte della Cavata Orientale
- Tubo di collettamento e scarico delle portate derivanti dallo scolo dei terreni agricoli posti a monte del ponte di via Lama, collocato nel modello a valle del medesimo come previsto dal progetto Definitivo (Figura 3)
- Tubo di collettamento e scarico delle portate derivanti dallo scolo dei terreni agricoli posti a valle del ponte di via Lama, collocato nel modello nella medesima posizione(Figura 3)
- Scolmatori di piena posti lungo la Cavata Orientale

6.1.2 Dati in ingresso

Le portate veicolate dalle immissioni elencate al paragrafo precedente sono state ricavate come descritto di seguito.

6.1.2.1 Scolmatore AIMAG in ingresso alla Cavata Orientale

Sono state considerate 17 simulazioni corrispondenti a diversi tempi di pioggia e con diversi tempi di ritorno, a metodi idrologici diversi e a un evento reale.

In particolare si sono simulati eventi con tempo di ritorno di 25 e 50 anni nonché un evento reale (2007), corrispondenti ad eventi piovosi critici ma non estremi; per ulteriore sicurezza il sistema idraulico è stato verificato anche in relazione ad eventi estremi molto rari, con tempo di ritorno pari a 100 anni (per ulteriori dettagli si veda più sotto).

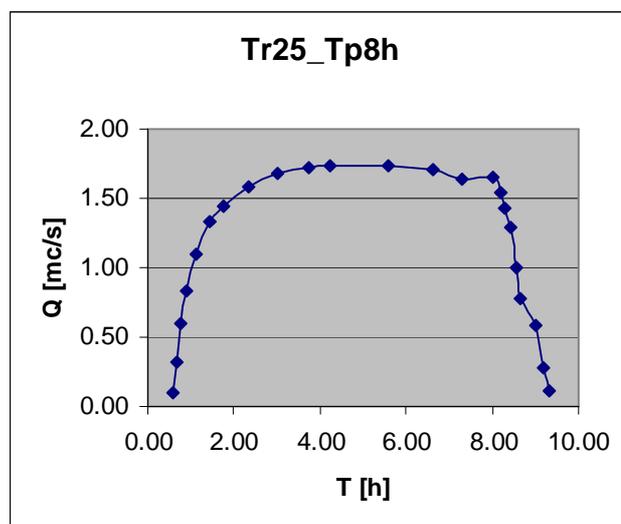
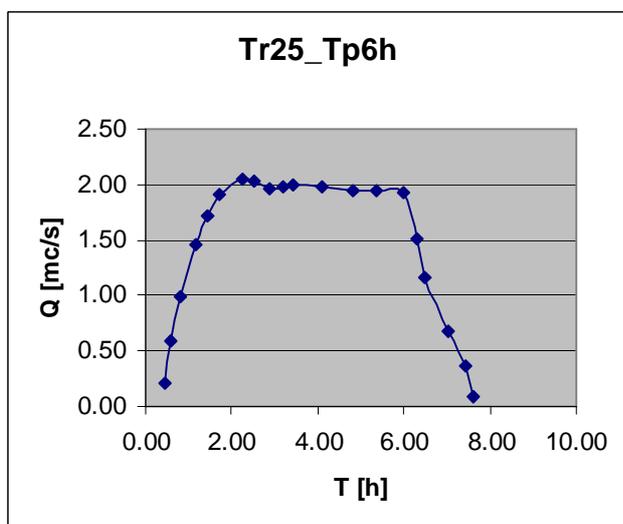
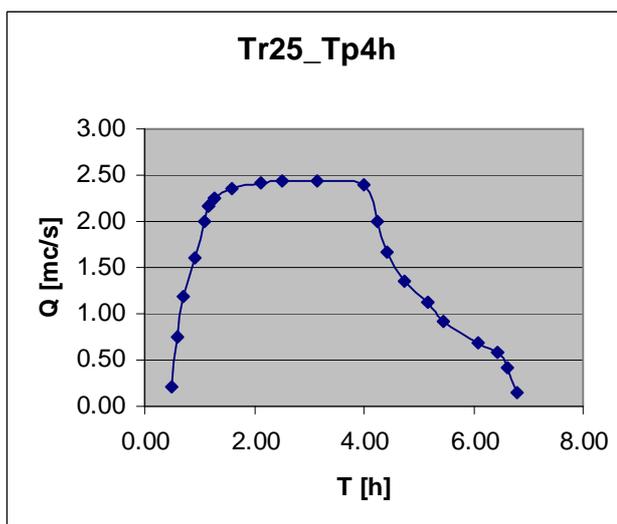
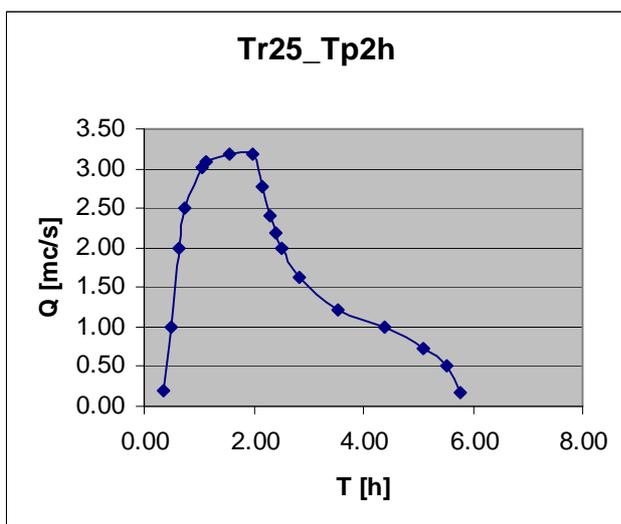


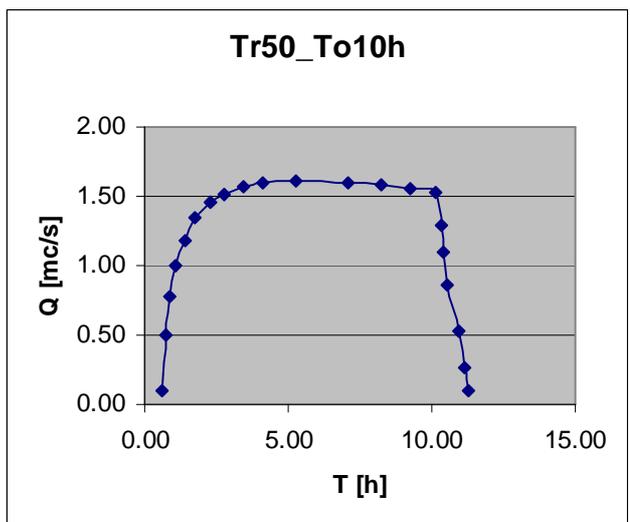
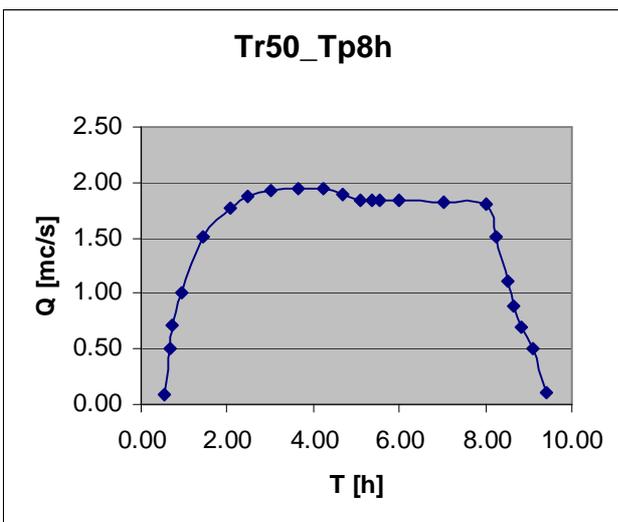
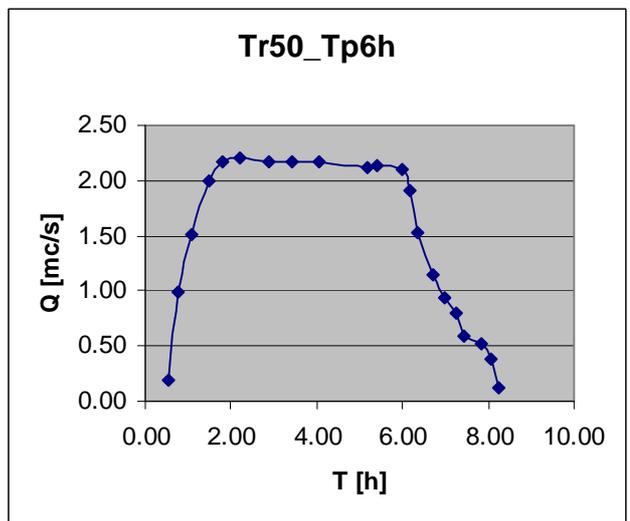
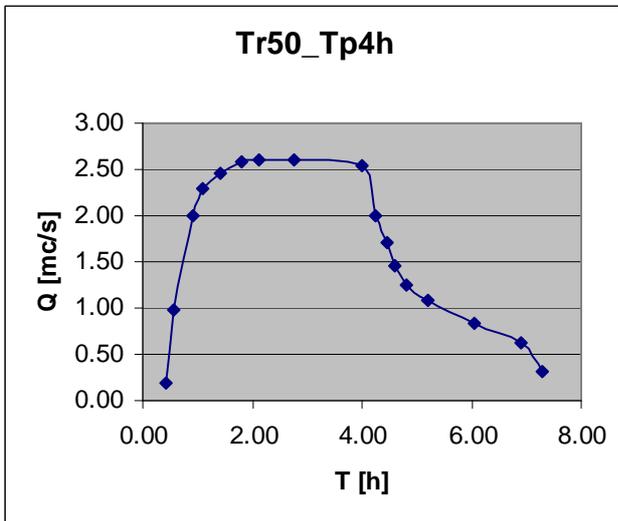
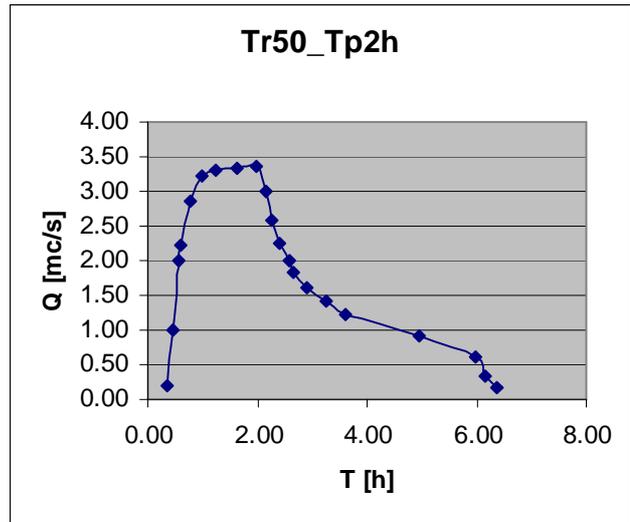
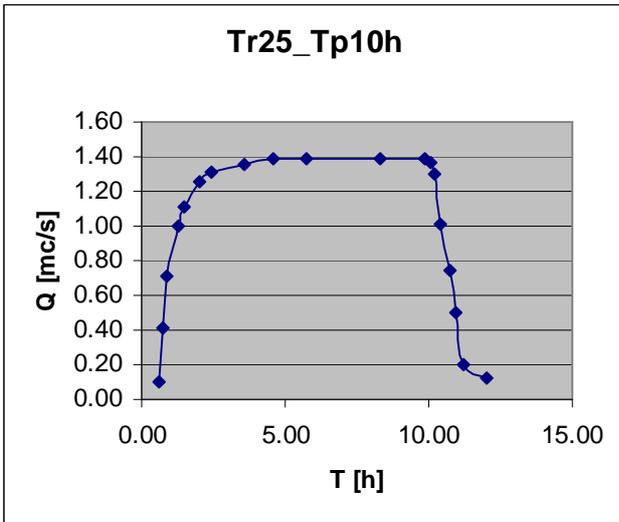
Le simulazioni hanno utilizzato come condizione al contorno di monte la portata in uscita dal nuovo scolmatore AIMAG, fornita da AIMAG SPA come risultato dell'uso del modello complessivo della rete in dotazione (si vedano le figure seguenti).

Gli idrogrammi di piena presi in considerazione sono stati forniti da AIMAG spa con la specificazione che "le simulazioni del reticolo fognario di Carpi... hanno un valore indicativo in quanto eseguite con un modello non tarato e non calibrato".

Il Consorzio ha ritenuto comunque di utilizzare tali informazioni per eseguire ulteriori verifiche del funzionamento del sistema Cassa di espansione-Cavata Orientale, in quanto:

- il modello INFOWORKS utilizzato da AIMAG per ricavare gli idrogrammi di piena dello scolmatore è impiegato dalla stessa per verificare e dimensionare il funzionamento del reticolo fognario gestito
- il dimensionamento dello scolmatore e della cassa di espansione sono stati definiti congiuntamente tra AIMAG e Consorzio grazie all'utilizzo del medesimo software





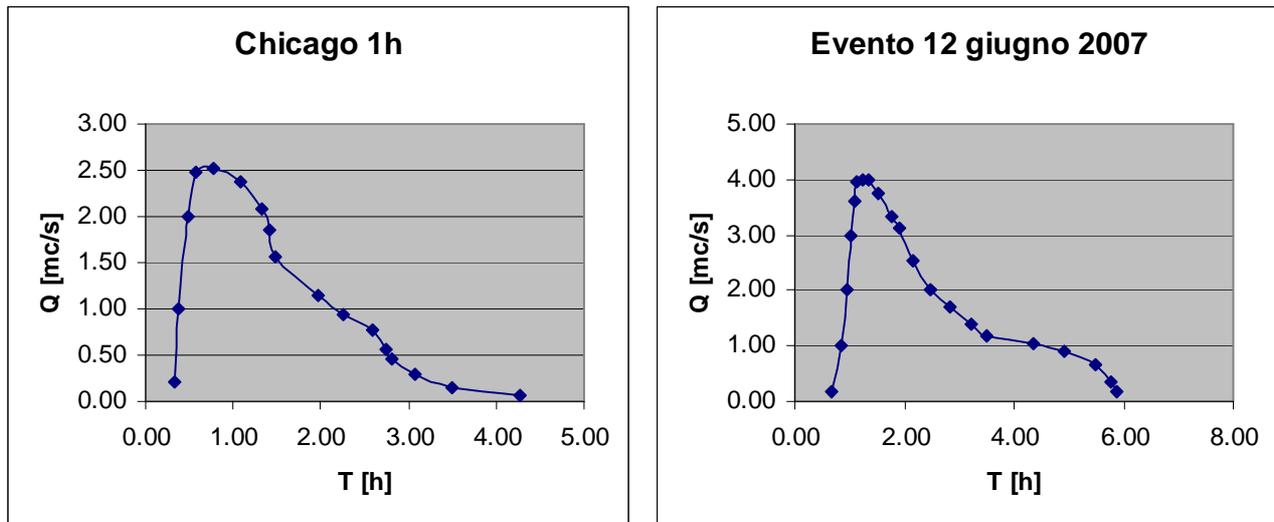


Figura 12: Grafici delle portate in uscita dallo scolmatore AIMAG utilizzate per le simulazioni

Anche per i parametri di scabrezza e la taratura del modello si è fatto riferimento ai risultati AIMAG relativi alle varie componenti del modello.

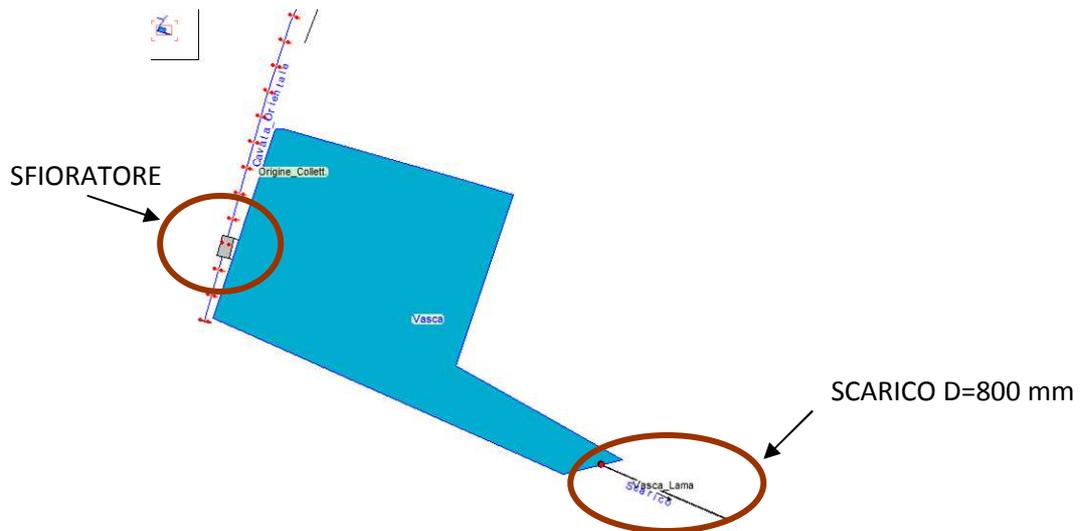


Figura 13: Dettaglio dello schema della cassa di espansione, dello sfiatore e dello scarico nel Canale Carpi V.

Le portate simulate sono state identificate con codici alfanumerici e corrispondono alle seguenti piogge:

- Tempo di ritorno 25 anni:
 - o Tempo di pioggia = 2 ore → Q_Tr25_Tp2h
 - o Tempo di pioggia = 4 ore → Q_Tr25_Tp4h
 - o Tempo di pioggia = 6 ore → Q_Tr25_Tp6h
 - o Tempo di pioggia = 8 ore → Q_Tr25_Tp8h
 - o Tempo di pioggia = 10 ore → Q_Tr25_Tp10h



- Tempo di ritorno 50 anni:
 - o Tempo di pioggia = 2 ore → Q_{Tr50_Tp2h}
 - o Tempo di pioggia = 4 ore → Q_{Tr50_Tp4h}
 - o Tempo di pioggia = 6 ore → Q_{Tr50_Tp6h}
 - o Tempo di pioggia = 8 ore → Q_{Tr50_Tp8h}
 - o Tempo di pioggia = 10 ore → Q_{Tr50_Tp10h}
- Tempo di ritorno 100 anni:
 - o Tempo di pioggia = 2 ore → Q_{Tr100_Tp2h}
 - o Tempo di pioggia = 4 ore → Q_{Tr100_Tp4h}
 - o Tempo di pioggia = 6 ore → Q_{Tr100_Tp6h}
 - o Tempo di pioggia = 8 ore → Q_{Tr100_Tp8h}
 - o Tempo di pioggia = 10 ore → Q_{Tr100_Tp10h}
- Applicazione del metodo Chicago con durata di pioggia pari a 1 ora → Chicago_1h
- Simulazione dell'evento reale del 12 giugno 2007 → Pioggia_12062007

6.1.2.2 *Scolo Gargallo in ingresso a monte della Cavata Orientale*

Si considera una portata costante pari a 100 l/s.

6.1.2.3 *Tubo di scarico della cassa di espansione a servizio del comparto PP1, collocato nel modello a monte della Cavata Orientale*

6.1.2.4 *Tubi di collettamento e scarico delle portate derivanti dallo scolo dei terreni agricoli posti a monte e a valle del ponte di via Lama*

L'analisi del comportamento del sistema idraulico è stata condotta considerando anche i contributi afferenti provenienti dai terreni scolanti direttamente nel canale e nella cassa di espansione a seguito della costruzione dell'area di espansione e gli apporti che si immettono poco a monte del sottopasso della Ferrovia. I primi sono stati ottenuti tramite il software SWMM, utilizzando il modello sviluppato dal Prof. Marinelli nell'ambito dello Studio Idraulico "Analisi del rischio e ottimizzazione delle procedure di regolazione delle portate nella rete intercomprensoriale sottesa dalla presa di Po a Boretto (Province di Reggio Emilia, Modena e Mantova, 2009). Tale modello, sebbene non costruito specificatamente per ricavare le portate sulla Cavata Orientale, include al suo interno l'intera rete dei canali e dei bacini gestiti dal Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale, accuratamente rappresentati dal punto di vista geometrico e dei parametri di scabrezza. Il modello descritto include i contributi dei terreni in destra Cavata Orientale raffigurati in Figura 14.



Figura 14: Aree afferenti alla Cavata Orientale a monte di via Lama. Le linee rosse rappresentano il reticolo modellato con il software SWMM

Queste aree sono state raggruppate nel modello SWMM in modo da riversare il proprio contributo in Cavata Orientale concentrandolo in due punti di ingresso (vedi Figura 15: NODO 1 = Area 6; NODO 2 = Aree 1+2+3+4+5). Il terzo punto di ingresso con $A = 45.6313$ ha apparteneva già al modello SWMM preparato dal Prof. Marinelli, ed essendo a valle del tratto di studio non è stato modificato.

Tutti questi contributi sono stati collocati nel modello in HEC-RAS a valle del ponte di via Lama (Figura 3) (sebbene nel progetto definitivo le aree 5 e 6 continueranno ad essere immesse in corrispondenza della tubazione DN 800 mm di scarico della cassa di espansione)

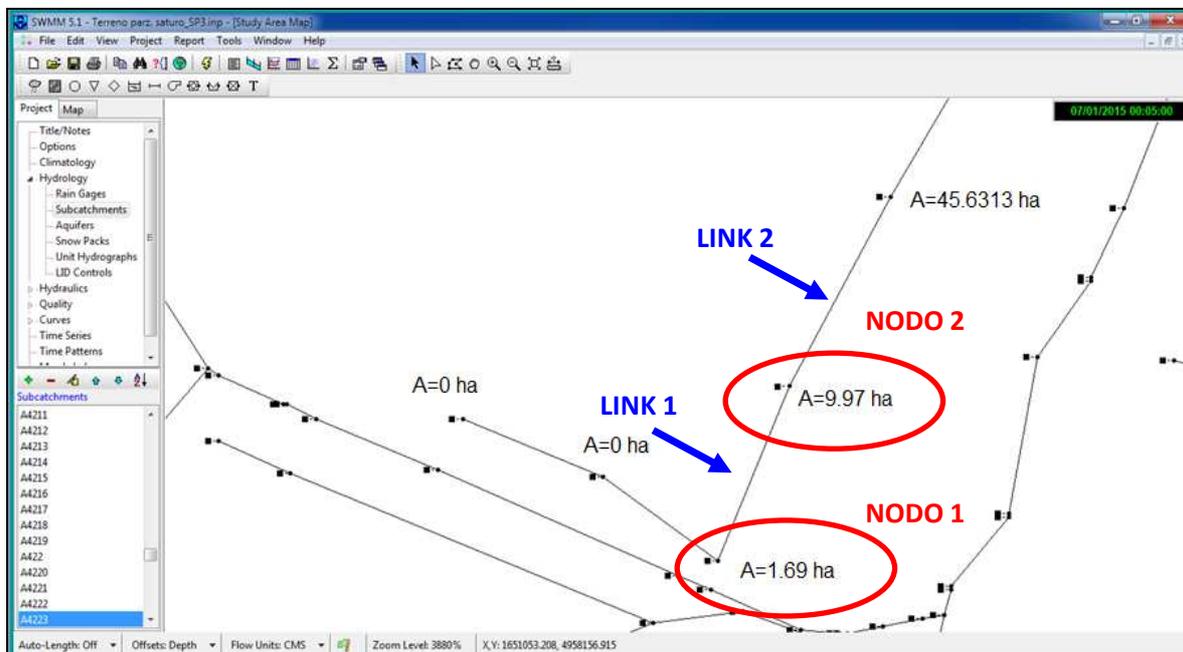


Figura 15: Immissione dei contributi dei terreni in destra Cavata nel modello SWMM. NODO 1 = Area 6; NODO 2 = Aree 1+2+3+4+5.

I contributi sono stati calcolati per le due condizioni più gravose individuate nella prima fase dell'analisi, ovvero Tr pari a 50 e 100 anni, con durata della pioggia pari a 6 ore. Sono stati quindi estratti gli idrogrammi dei tratti LINK 1 e LINK 2 per poterli inserire nel modello Hec-Ras.

Tabella 2: Parametri delle precipitazioni intense e relative altezze e intensità di pioggia utilizzate nel modello SWMM

TR	a	n	t [h]	h [mm]	i [mm/h]
100	73.44	0.23	6.00	110.89	18.5
50	55	0.3	6.00	94.15	15.7

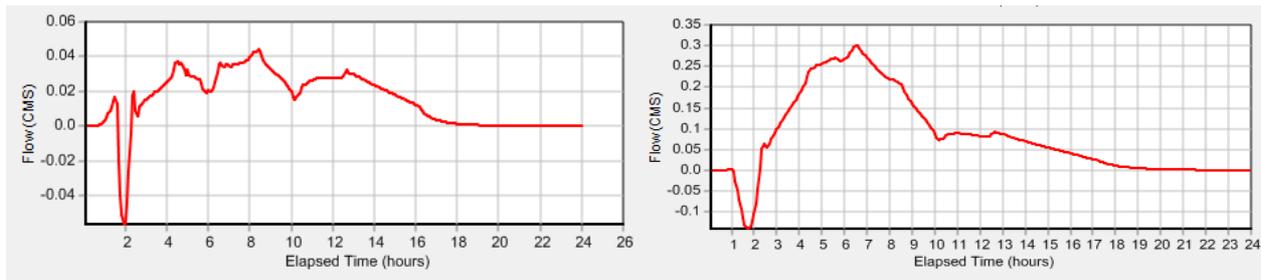


Figura 16: Idrogrammi relativi al LINK 1 e al LINK 2 per Tr=100 anni e durata di pioggia = 6 ore

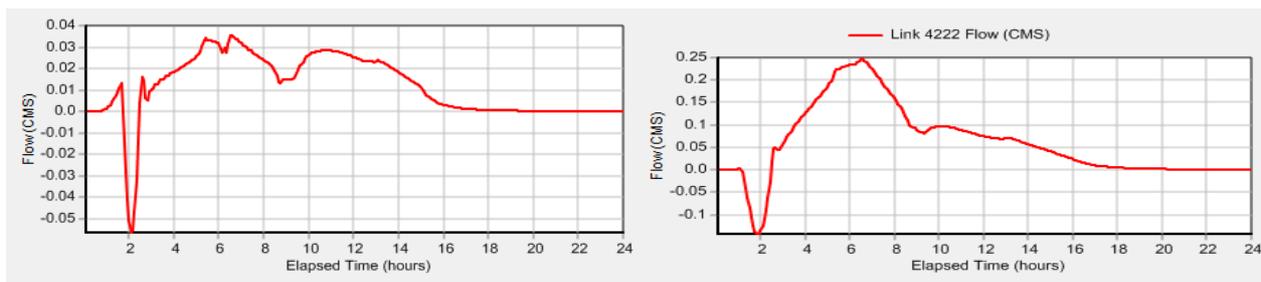


Figura 17: Idrogrammi relativi al LINK 1 e al LINK 2 per Tr=50 anni e durata di pioggia = 6 ore

6.1.2.5 Scolmatori di piena posti lungo la Cavata Orientale

I contributi derivanti dagli scolmatori che si immettono a monte del sottopasso della ferrovia sono stati considerati concentrati in un solo punto tramite un idrogramma trapezoidale con colmo di durata pari a circa 70 minuti e valore al colmo di circa 800 l/s (Figura 10).

Analogamente, poco a monte dell'intersezione con via Aldo Moro, in corrispondenza del salto di fondo, viene immesso un ulteriore idrogramma di forma trapezoidale, con colmo di durata pari a circa 75 minuti e valore al colmo di 780 l/s (Figura 10).

6.1.2.6 Sintesi delle portate in ingresso

Sulla base di quanto sopra esposto, la serie completa delle portate in ingresso al sistema è quindi rappresentata in Figura 18 e Figura 19 con:

- Cavata_Orientale Monte_via_Lama: 0 = immissioni a monte della Cavata Orientale, rappresentate dallo scarico della vasca P11 e dallo scolo Gargallo, considerate con valore costante pari a 200 l/s complessivi
- Cavata_Orientale Valle_via_Lama: -480 = somma dei contributi dei terreni agricoli in destra Cavata Orientale a monte di via Lama ottenuti con il modello SWMM, ma immessi nel modello immediatamente a valle del ponte di via Lama

- Cavata_Orientale Valle_via_Lama: -720 = somma dei contributi che si immettono a monte del sottopasso ferroviario
- Cavata_Orientale Valle_via_Lama: -1192 = somma dei contributi che si immettono a monte dell'intersezione con via Aldo Moro
- Scolmatore AIMAG Terminale: 500 = portata in arrivo dallo scolmatore AIMAG

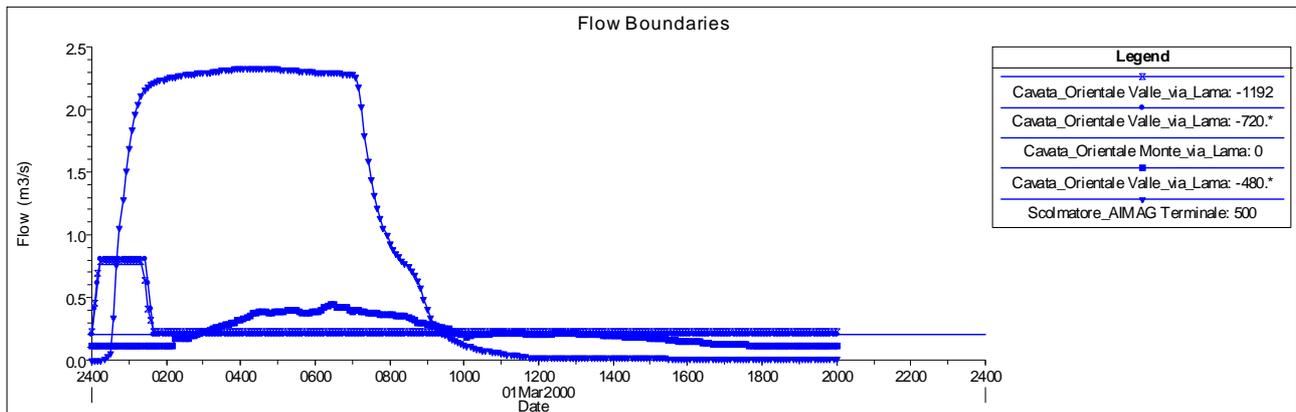


Figura 18: Idrogrammi in ingresso al sistema per $Tr=100$ anni

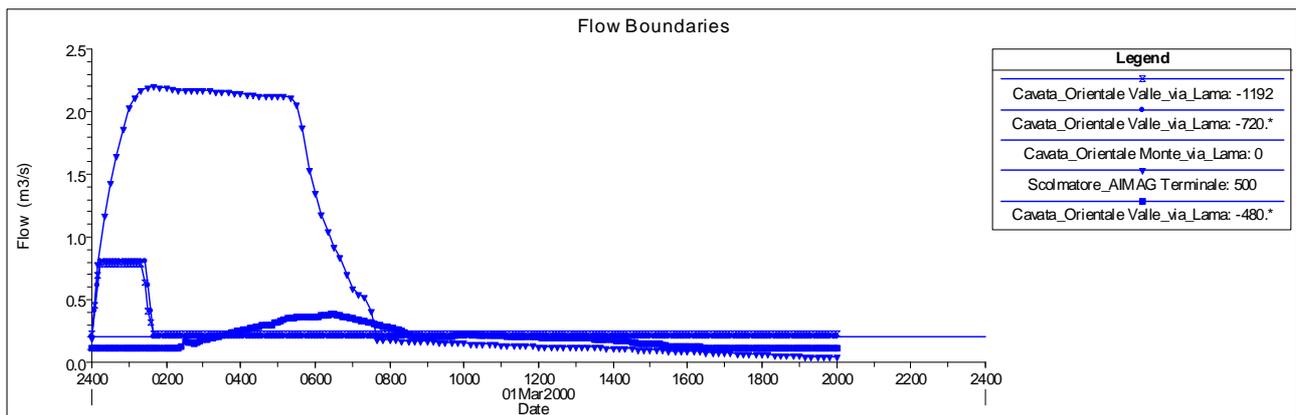


Figura 19: Idrogrammi in ingresso al sistema per $Tr=50$ anni

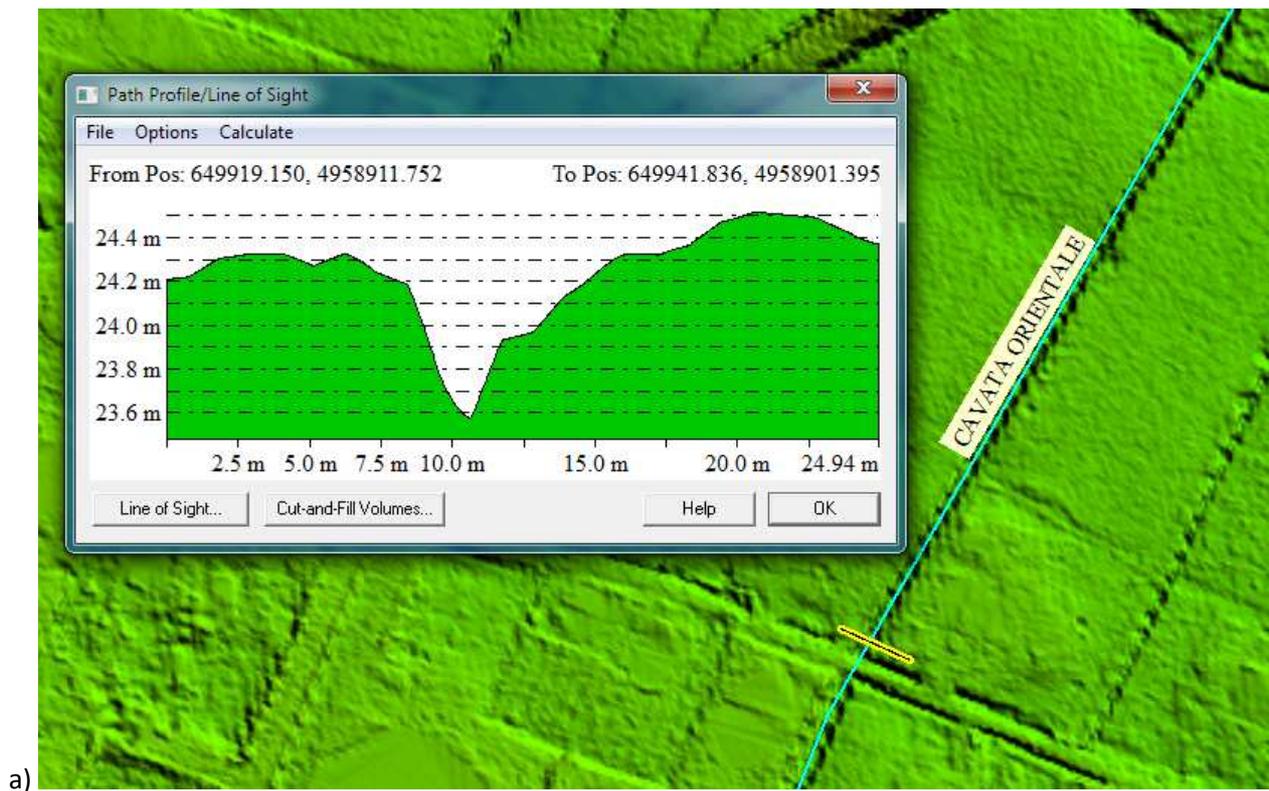
6.1.3 Risultati ottenuti

I risultati delle 17 simulazioni eseguite hanno permesso di valutare il funzionamento del sistema idraulico considerato.

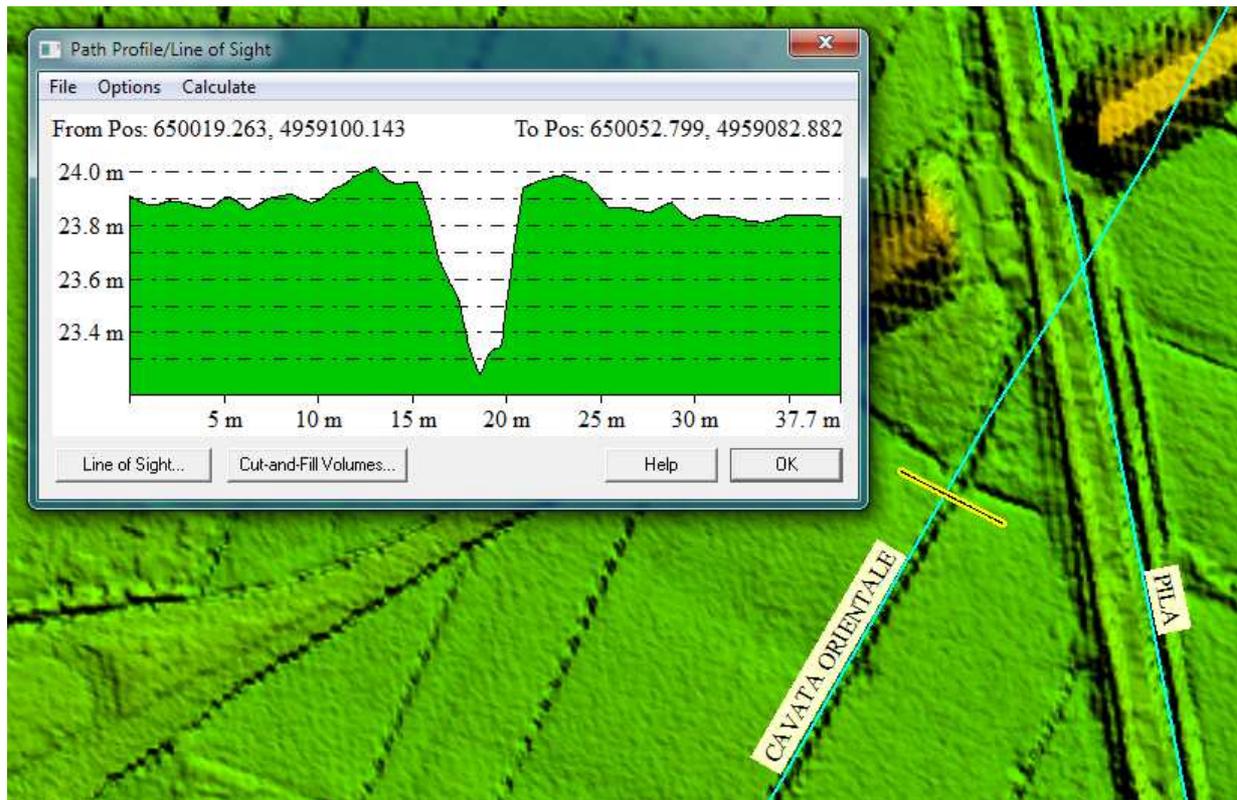
Nel seguito vengono riportati alcuni grafici ritenuti significativi per rappresentare l'andamento delle quote del pelo libero nella cassa di espansione e nel tratto di Cavata Orientale posto a valle del ponte di via Lama. Sono queste infatti le zone maggiormente critiche in cui si è verificato il pericolo di esondazione. Si ricorda che gli argini della cassa di espansione e del tratto di Cavata Orientale a monte di via Lama hanno una quota di 24.5 m slm, mentre i terreni a valle di via Lama hanno quote massime di 24.5 m slm, e minime di circa 24 m slm in prossimità del rilevato ferroviario, come si vede dalle sezioni ricavate dal Modello Digitale del Terreno (DTM) (Figura 20 e Figura 21)



Figura 20: Estratto del DTM in corrispondenza del tratto di Cavata Orientale oggetto di studio



a)



b)

Figura 21: Sezioni estratte dal DTM lungo la Cavata Orientale: a) immediatamente a valle di via Lama; b) nei pressi del sottopasso della ferrovia.

In Tabella 3 sono riportati i livelli massimi raggiunti nella cassa di espansione e nella prima sezione della Cavata Orientale a valle di via Lama. Si può notare che per ogni tempo di ritorno T_r , l'evento che produce il massimo livello nella cassa è quello con durata di pioggia T_p pari a 6 ore, anche se per T_r 25 e T_r 50 lo stesso valore viene raggiunto per un tempo di pioggia pari a 8 ore.

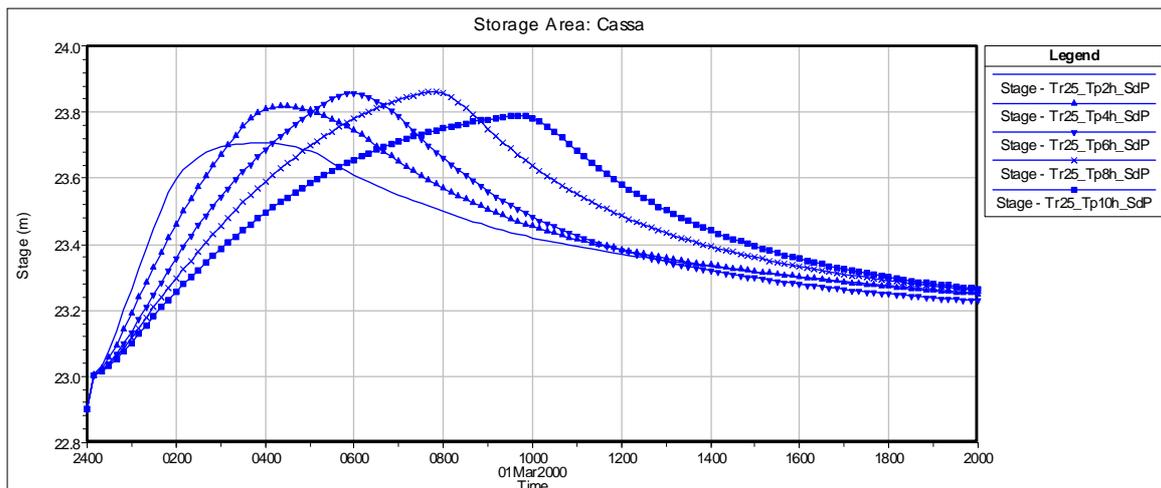


Figura 22: Andamento dei livelli nella cassa per gli eventi pioggia con $T_R = 25$ anni e $T_p = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h$

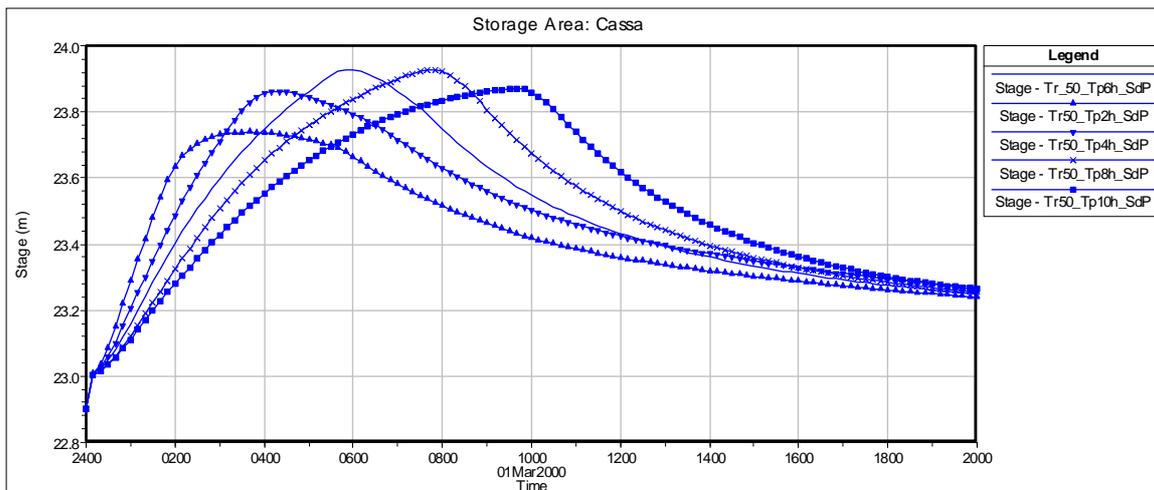


Figura 23: Andamento dei livelli nella cassa per gli eventi pioggia con TR = 50 anni e Tp = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h

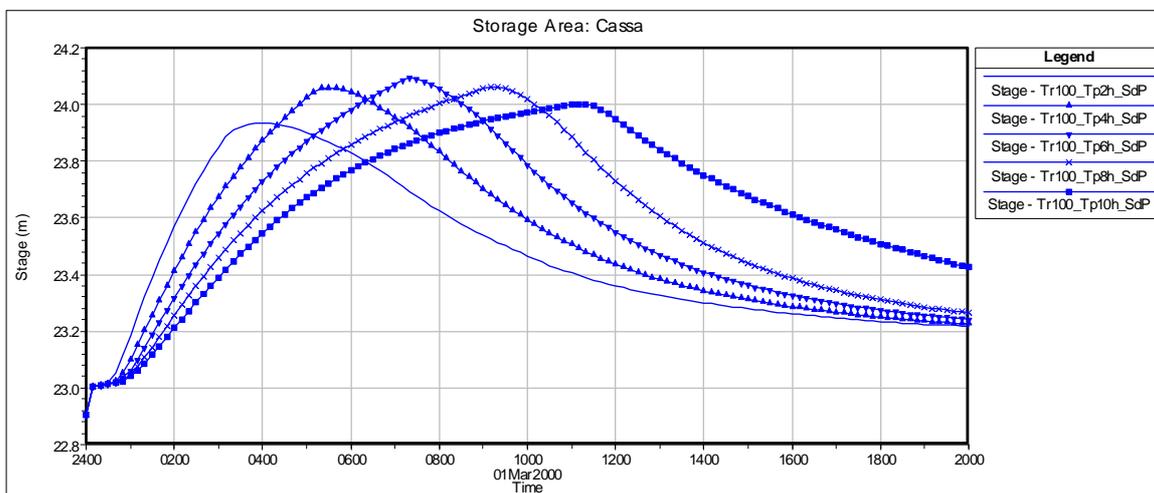


Figura 24: Andamento dei livelli nella cassa per gli eventi pioggia con TR = 100 anni e Tp = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h

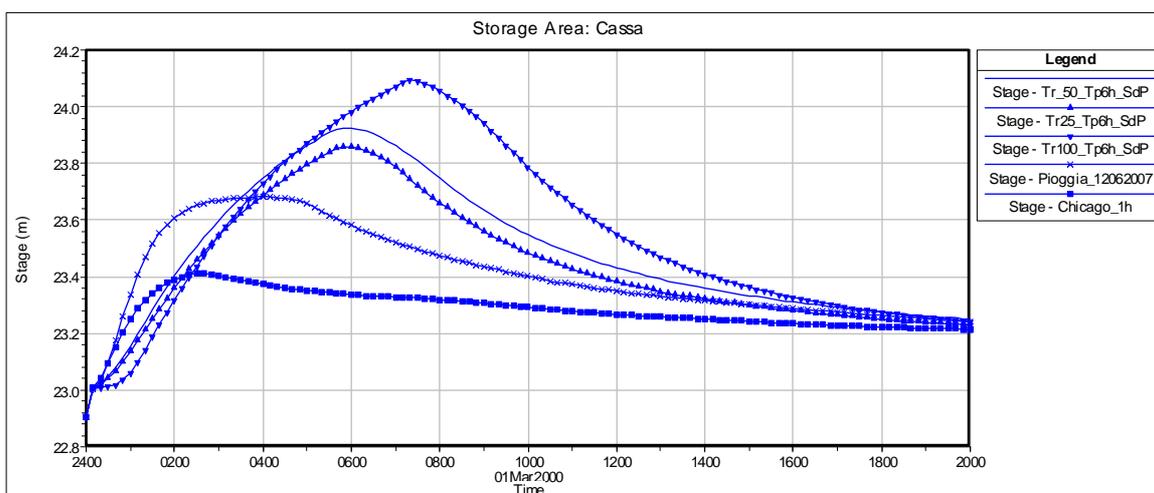


Figura 25: Andamento dei livelli nella cassa per gli eventi pioggia con durata 6 ore e Tr = 25, 50, 100 anni confrontati con l'evento Chicago da 1 ora e la pioggia reale del giugno 2007.

Tabella 3: Livelli massimi nella cassa di espansione e nella Cavata Orientale a valle di via Lama

Simulazione	Livello cassa [m slm]	Livello Cavata a valle di via Lama [m slm]
U_Tr25_Tp2h	23.71	23.48
U_Tr25_Tp4h	23.82	23.52
U_Tr25_Tp6h	23.86	23.55
U_Tr25_Tp8h	23.86	23.55
U_Tr25_Tp10h	23.79	23.51
U_Tr50_Tp2h	23.74	24.49
U_Tr50_Tp4h	23.86	23.53
U_Tr50_Tp6h	23.93	23.56
U_Tr50_Tp8h	23.93	23.56
U_Tr50_Tp10h	23.87	23.53
U_Tr100_Tp2h	23.94	23.57
U_Tr100_Tp4h	24.06	23.60
U_Tr100_Tp6h	24.09	23.61
U_Tr100_Tp8h	24.06	23.59
U_Tr100_Tp10h	24.00	23.56
Chicago_1h	23.41	23.43
Pioggia_12062007	23.68	23.50

Mentre nel caso della cassa i livelli ottenuti con gli eventi di pioggia sintetici sono tutti molto più elevati di quello ottenuto con l'evento di pioggia reale del giugno 2007, a valle di via Lama il comportamento della Cavata Orientale denota una maggiore sensibilità nei confronti degli eventi di pioggia più brevi: le quote ottenute per l'evento reale sono inferiori di soli pochi cm rispetto a quelle massime ottenute per Tr pari a 25 e 50 anni, e soltanto di 11 cm inferiori a quello massimo ottenuto per Tr di 100 anni. Questo è probabilmente dovuto alla vicinanza tra lo sbocco dello scolmatore AIMAG e il sottopasso di via Lama, che non permette alcuna espansione dei picchi molto rapidi e concentrati.

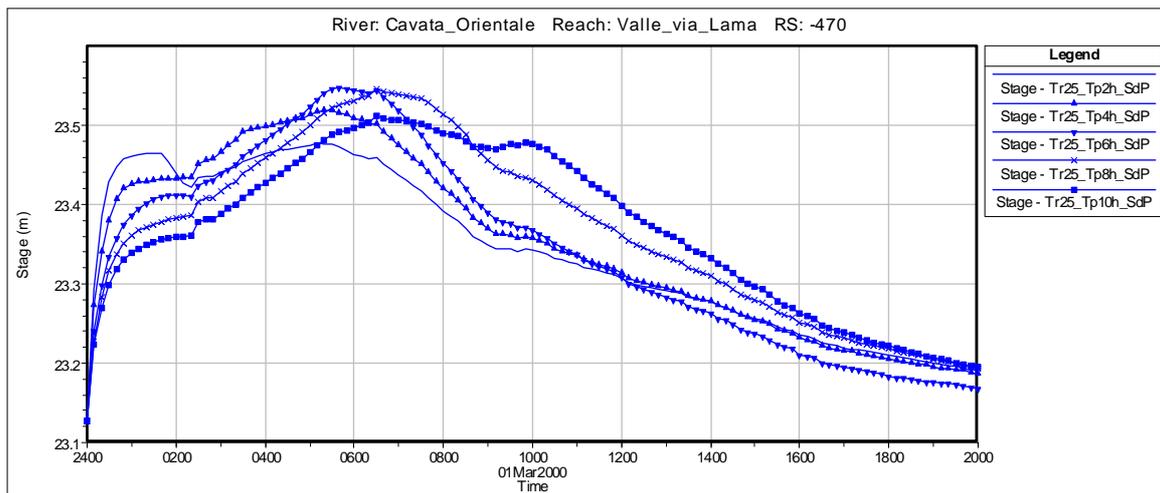


Figura 26: Andamento dei livelli nella Cavata a valle di via Lama per gli eventi pioggia con TR = 25 anni e Tp = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h

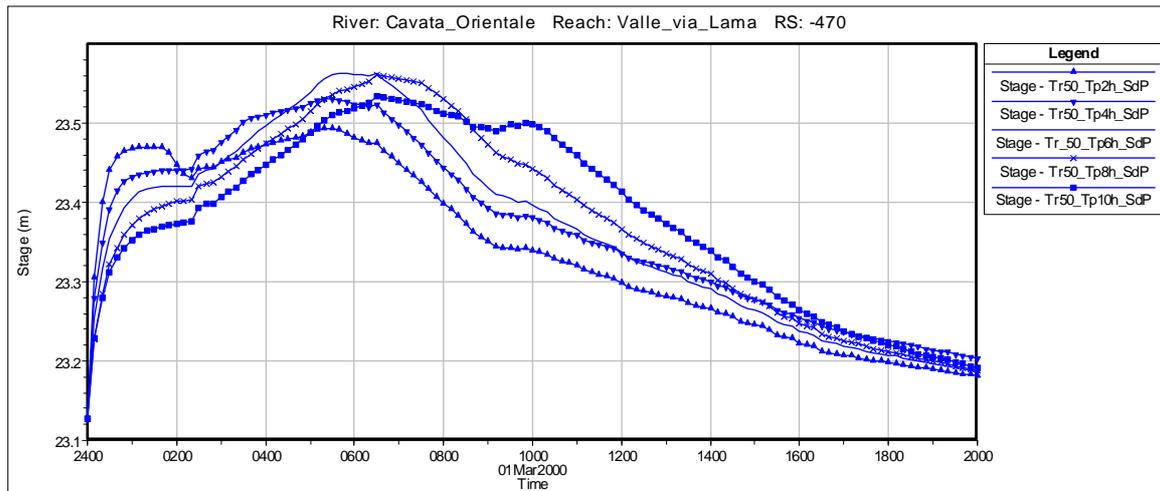


Figura 27: Andamento dei livelli nella Cavata a valle di via Lama per gli eventi pioggia con TR = 50 anni e Tp = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h

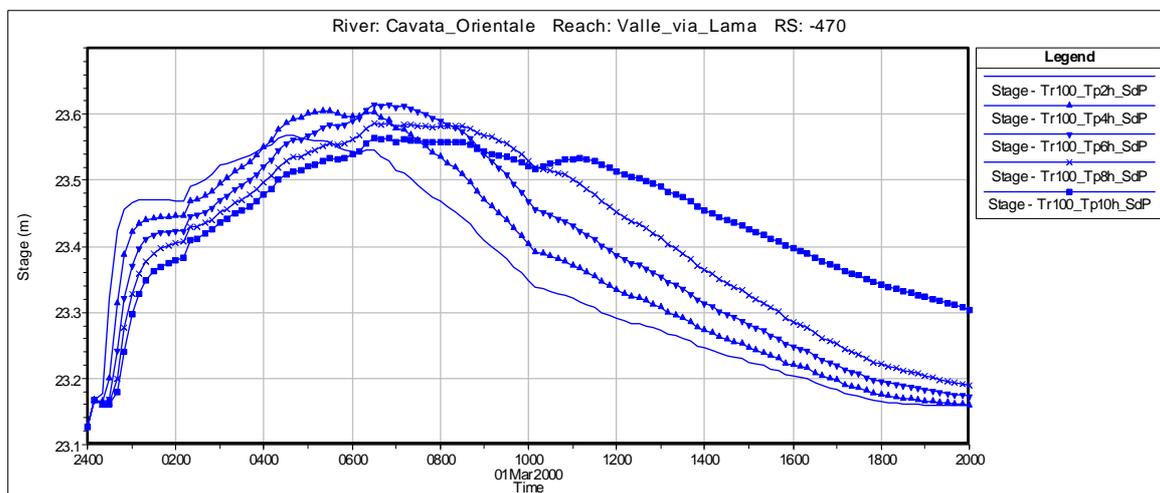


Figura 28: Andamento dei livelli nella Cavata a valle di via Lama per gli eventi pioggia con TR = 100 anni e Tp = 2h, 4h, 6h, 8h, 10h

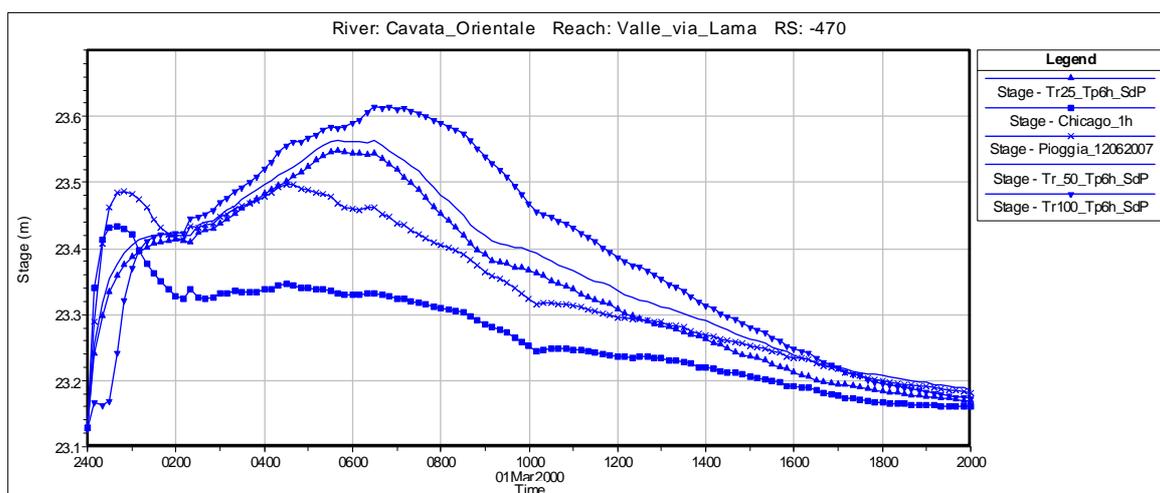


Figura 29: Andamento dei livelli nella Cavata a valle di via Lama per gli eventi pioggia con durata 2 ore e Tr = 25, 50, durata 6 ore e Tr = 100 anni, confrontati con l'evento Chicago da 1 ora e la pioggia reale del giugno 2007.

I risultati di queste simulazioni indicano che non si dovrebbero verificare esondazioni né nella cassa di espansione, né nei tratti di Cavata Orientale posti a monte e a valle di via Lama.

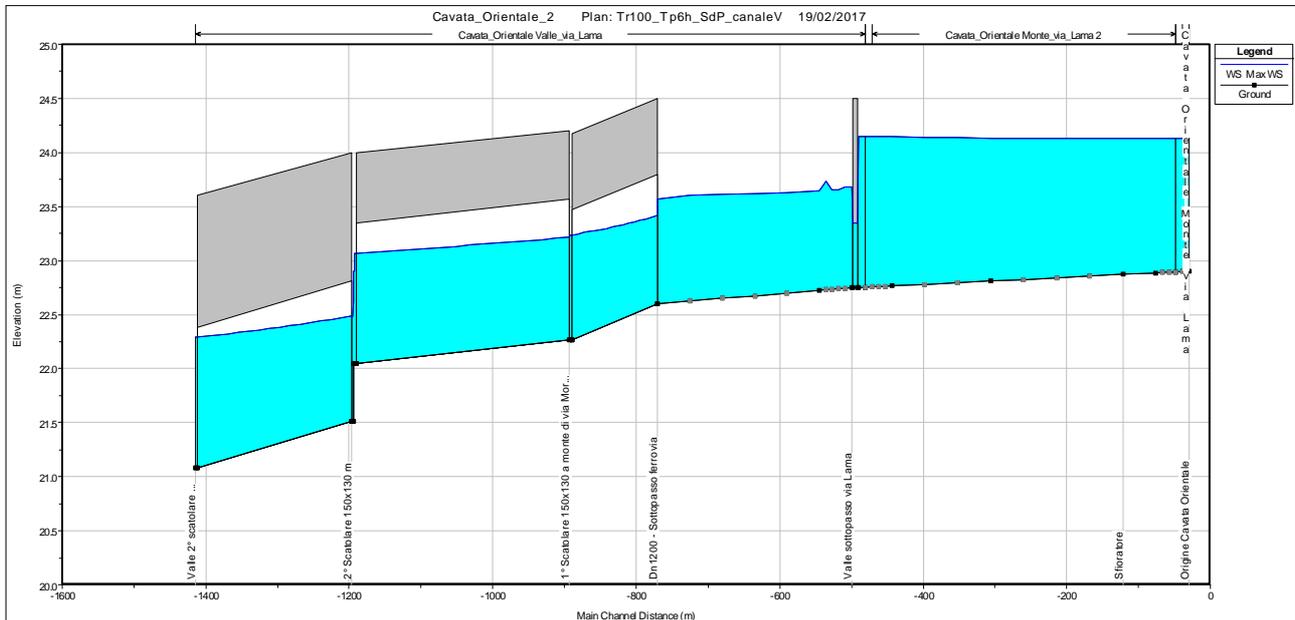


Figura 30: Profilo di massima piena della Cavata Orientale per Tr100 e Tempo di pioggia pari a 6 ore.

7 Verifica del fosso di guardia del Canale V

Un'ultima analisi idraulica riguarda il fosso di guardia del Canale V, che termina nel punto in cui la Cavata Orientale ha origine, per verificare se vi siano effetti di rigurgito durante la fase di riempimento della cassa.

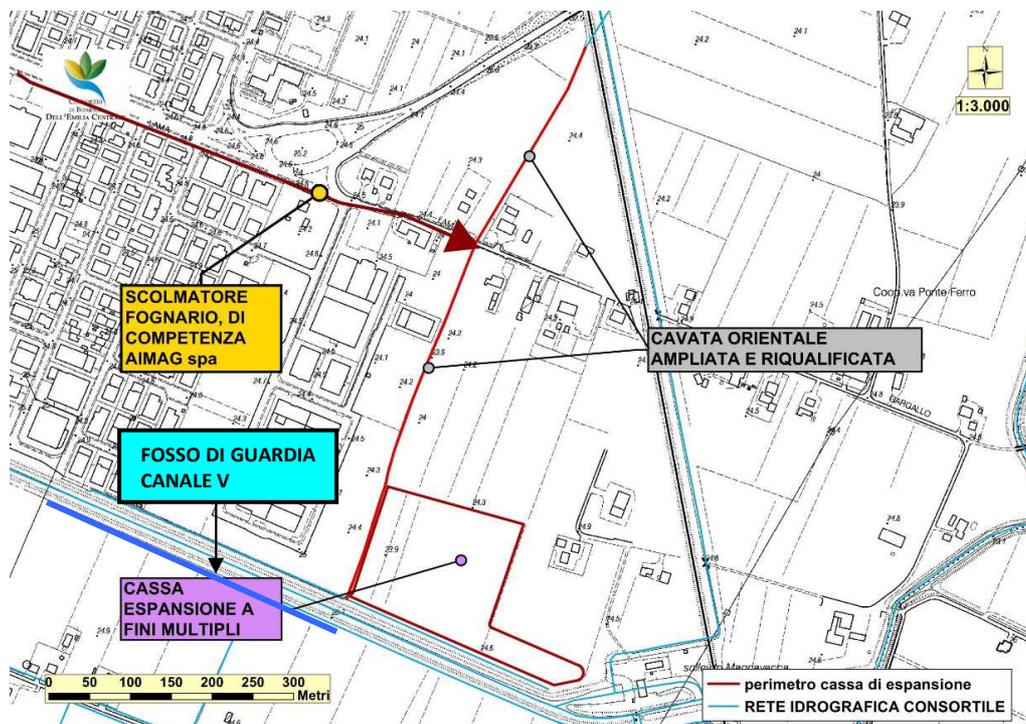


Figura 31: Posizione del fosso di guardia del Canale V e punto di immissione nella Cavata Orientale.

È stato quindi simulato il tratto di fosso di guardia che va dalla Cavata Orientale al tratto tombato da ripristinare con DN600, per una lunghezza di 450 m, con una pendenza di 0.003.

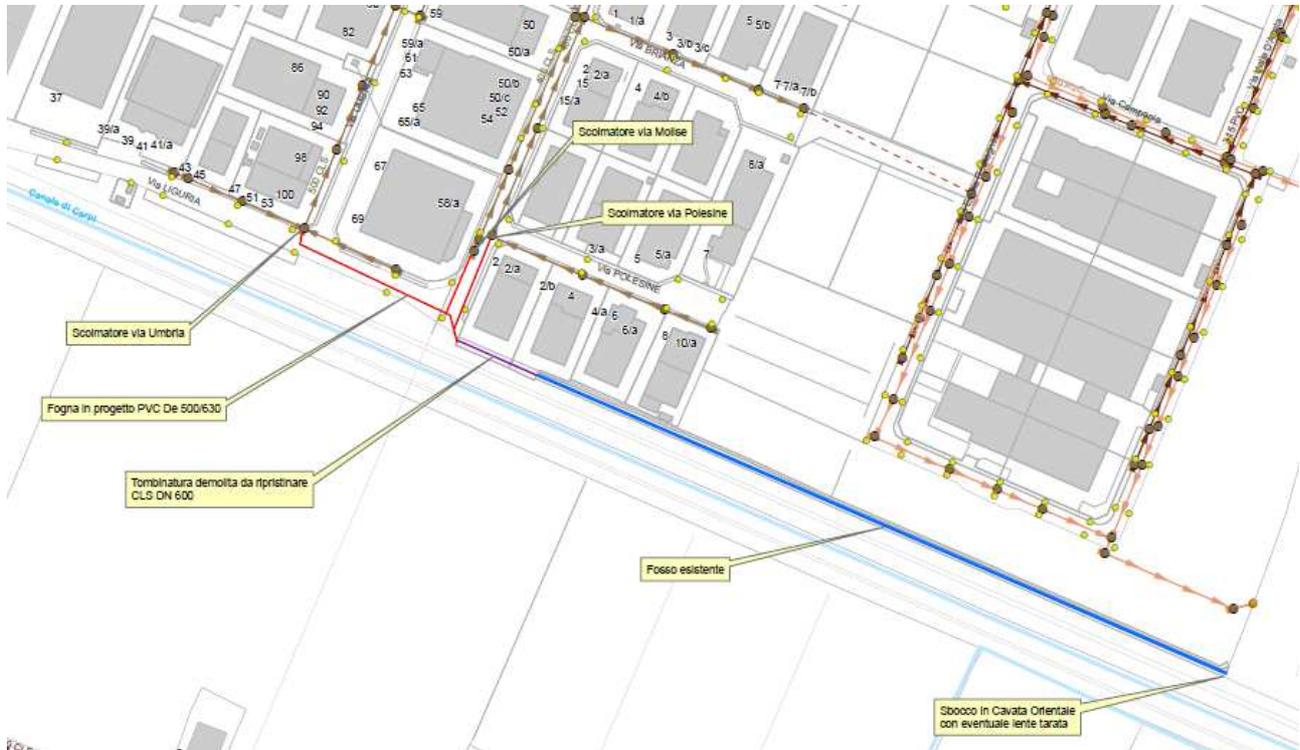


Figura 32: Tratto di fosso di guardia analizzato.

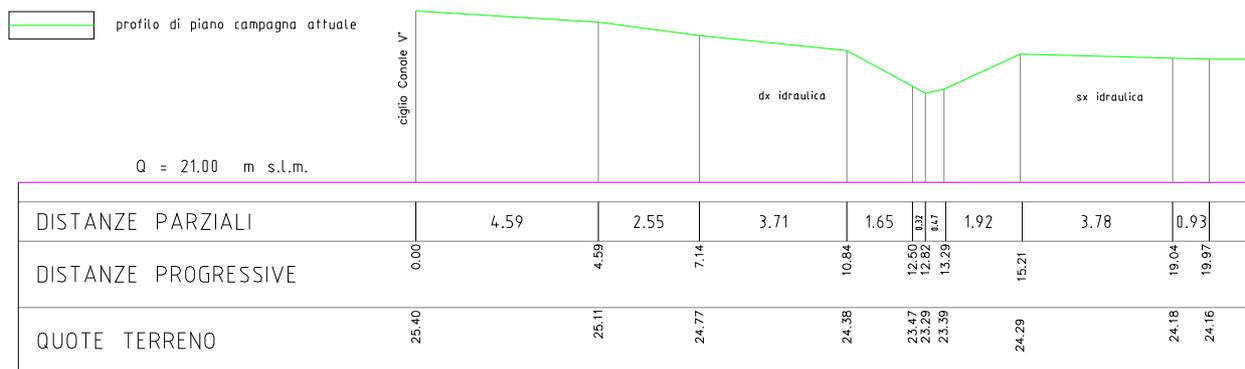


Figura 33: Sezione del fosso di guardia.

La geometria è stata ricavata dalle sezioni rilevate, e la portata massima in ingresso a monte è stata valutata sulla base della capacità massima del DN 600 con una pendenza di 0.0003, ottenendo Q_{fosso} pari circa a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$. In via cautelativa, si è considerata la contemporaneità di questo contributo con il picco di piena in arrivo dallo scolmatore AIMAG.

Il collegamento tra la Cavata e il fosso è stato schematizzato con una tubazione di diametro 0.6m.

Nelle figure che seguono sono riportati i livelli nel fosso di guardia nel punto di immissione nella Cavata Orientale e all'inizio del tratto simulato, in corrispondenza dell'evento più gravoso con $Tr=100$ anni e la sovrapposizione di tutti i contributi massimi. Si può quindi concludere che l'effetto di rigurgito che risale il fosso di guardia non determina esondazioni lungo il suo percorso.

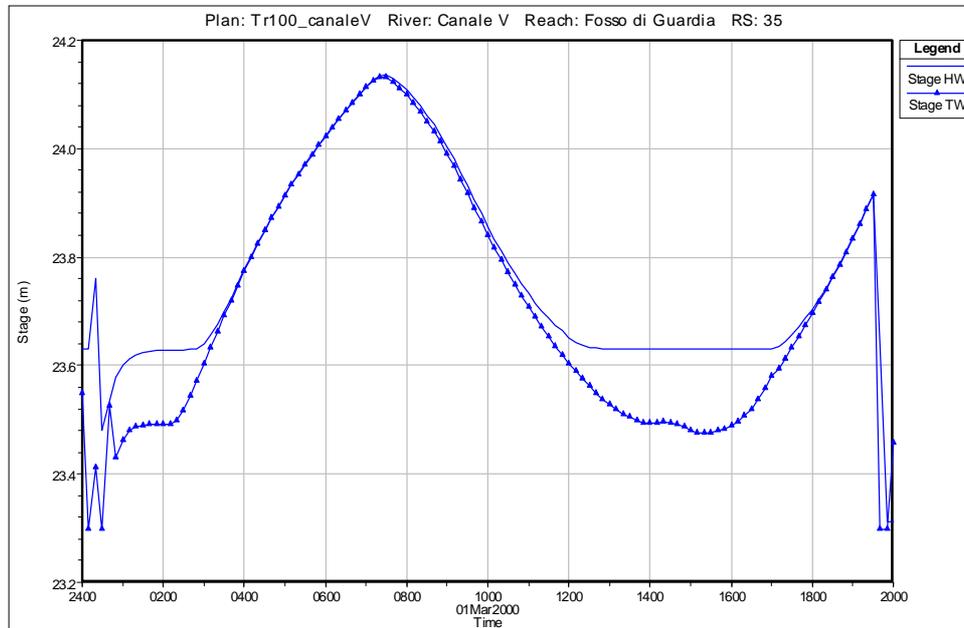


Figura 34: Livelli nel fosso di guardia a monte e a valle del condotto di immissione nella Cavata Orientale. Quota massima pelo libero = 24.13 m slm, quota minima sponda = 24.29 m slm.

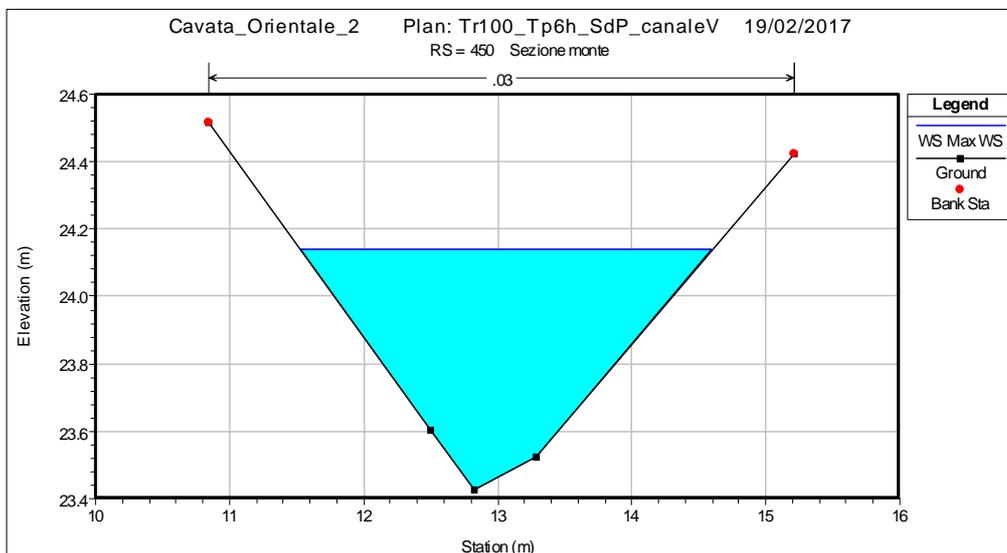


Figura 35: Livello massimo nel fosso di guardia immediatamente a valle del tratto tombato. Quota massima pelo libero = 24.14 m slm, quota minima sponda = 24.425 m slm.



8 Conclusioni

Le simulazioni effettuate permettono di concludere che:

- Per eventi simili a quello realmente verificatosi nel giugno del 2007, e per eventi con tempo di ritorno pari a 25 o 50 anni, non si verificano esondazioni nel sistema idraulico “Cavata Orientale riqualficata – cassa di espansione”. Si ritiene in ogni caso utile arginare la Cavata Orientale anche a valle del ponte di via Lama, così da portare la quota di tutto il sistema idraulico in progetto (Canale e Cassa di espansione) alla medesima quota di 24.50 mslm
- È mantenuta la possibilità di scolo dei terreni agricoli afferenti alla Cavata Orientale e alla cassa di espansione, spostando il loro recapito a valle del ponte di via Lama come descritto nel progetto definitivo (ad eccezione dei terreni posti a ridosso del punto di scarico della cassa di espansione, che verranno recapitati direttamente all’interno della tubazione di scarico DN 800 mm mediante valvola a clapet, come descritto nel progetto definitivo)
- Non si verificano esondazioni nello Scolo Gargallo nelle situazioni in cui Cavata Orientale e cassa di espansione risultano invasate