

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,  
EDILE E AMBIENTALE**

**MODELLO IDROLOGICO DELLA RETE SCOLANTE  
NELL'AREA DEL CAMPO DI ALFONSINE**

**Relazione Tecnica**

Giovanni Isotton  
Paolo Polo  
Carlo Janna  
Massimiliano Ferronato  
Pietro Teatini

Padova, Ottobre 2017

**DOCUMENTO DI RIFERIMENTO**  
0128-00-BGRV-12538

**ALLEGATO** Punto n.19.1  
Doc. a

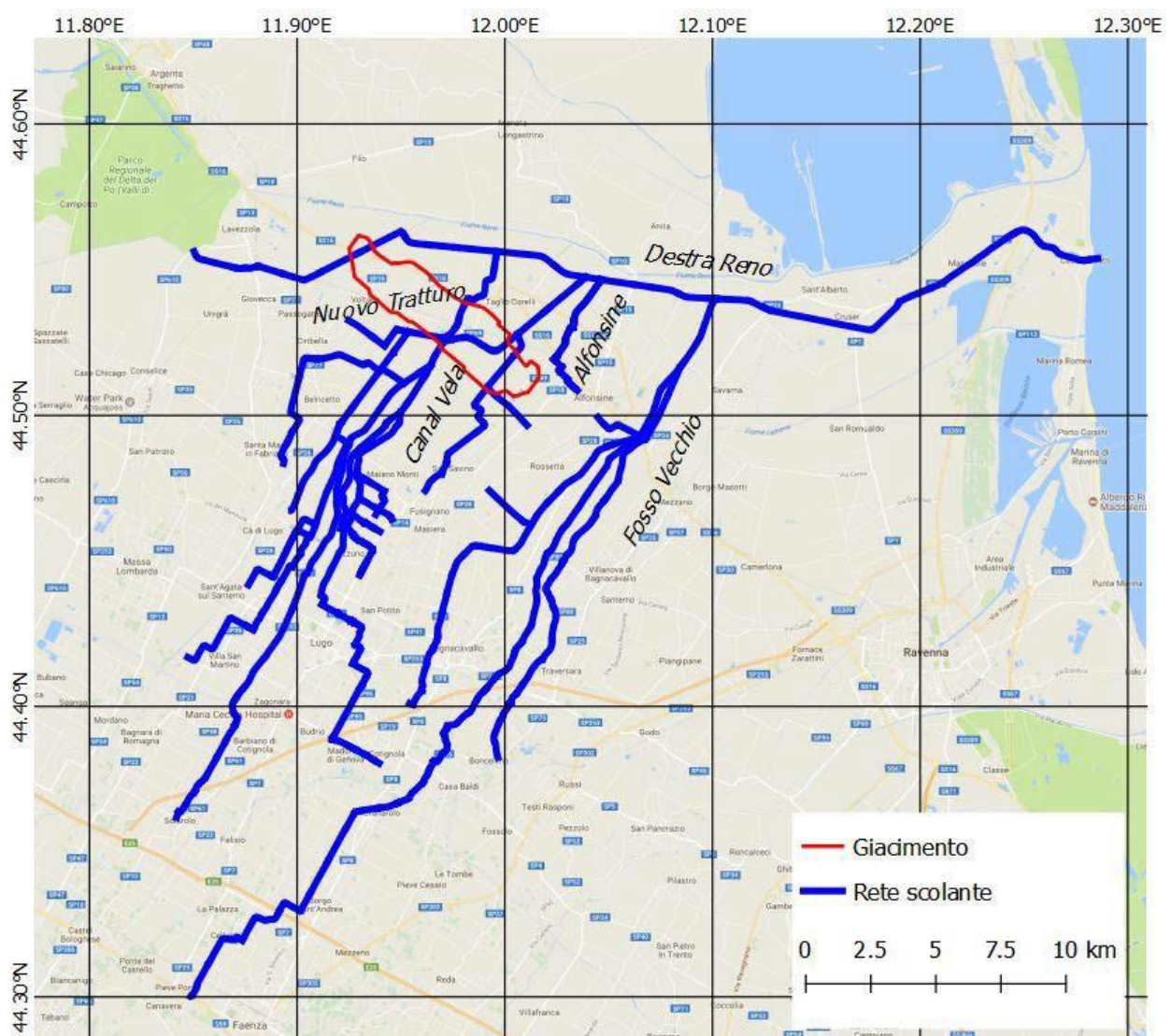
## Indice

1. Introduzione .....	1
2. Modello idrologico del comprensorio di bonifica.....	3
2.1 Identificazione della geometria del sistema .....	3
2.2 Set-up del modello .....	9
2.3 Risultati delle simulazioni.....	13
3. Conclusioni .....	16
Bibliografia .....	17



## 1. Introduzione

La presente relazione tecnica fornisce una descrizione delle attività condotte nell'ambito dell'OdL nr. 7800053424 avente come oggetto la realizzazione di un modello idraulico di superficie che riproduca la struttura dei principali canali dell'area di Alfonsine ed il funzionamento della rete scolante. In particolare, la presente relazione descrive la metodologia utilizzata per la valutazione del comportamento idraulico del sistema drenante del comprensorio di bonifica "Destra Reno", localizzato a sud dell'omonimo canale tra i comuni di Lugo, Fusignano, Bagnacavallo e Alfonsine in provincia di Ravenna (Figura 1).



**Figura 1** Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia del giacimento di Alfonsine (coordinate in sistema UTM 32, WGS84).

I dati di base per lo studio sono stati i rilievi topografici d'alveo trasmessi dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale e gli studi idrologici concessi in visione dal Consorzio stesso per quanto riguarda l'analisi delle portate e delle condizioni al contorno del sistema. Lo studio è stato condotto mediante la costruzione di un modello idrologico-idraulico tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC-HMS.

In Figura 1 è riportato un inquadramento territoriale del sito oggetto di indagine, con sovrapposti alla traccia del campo di Alfonsine gli assi dei canali esaminati mediante modello idrologico-idraulico, e indicati i nomi dei canali principali del sistema investigato.

## 2. Modello idrologico del comprensorio di bonifica

Il modello idrologico del comprensorio in fase di studio è stato realizzato con il codice HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (USACE-HEC, 2010).

### 2.1 Identificazione della geometria del sistema

La suddivisione in sottobacini è stata fatta sulla base della rete di bonifica, considerando i quattro principali scoli affluenti al canale collettore Destra Reno, asse portante del sistema di drenaggio della Bonifica. Secondo i dati forniti dal Consorzio, la Figura 2 riportata la suddivisione in sottobacini, per gli scoli Nuovo Tratturo, Canal Vela, Alfonsine, e Fosso Vecchio.

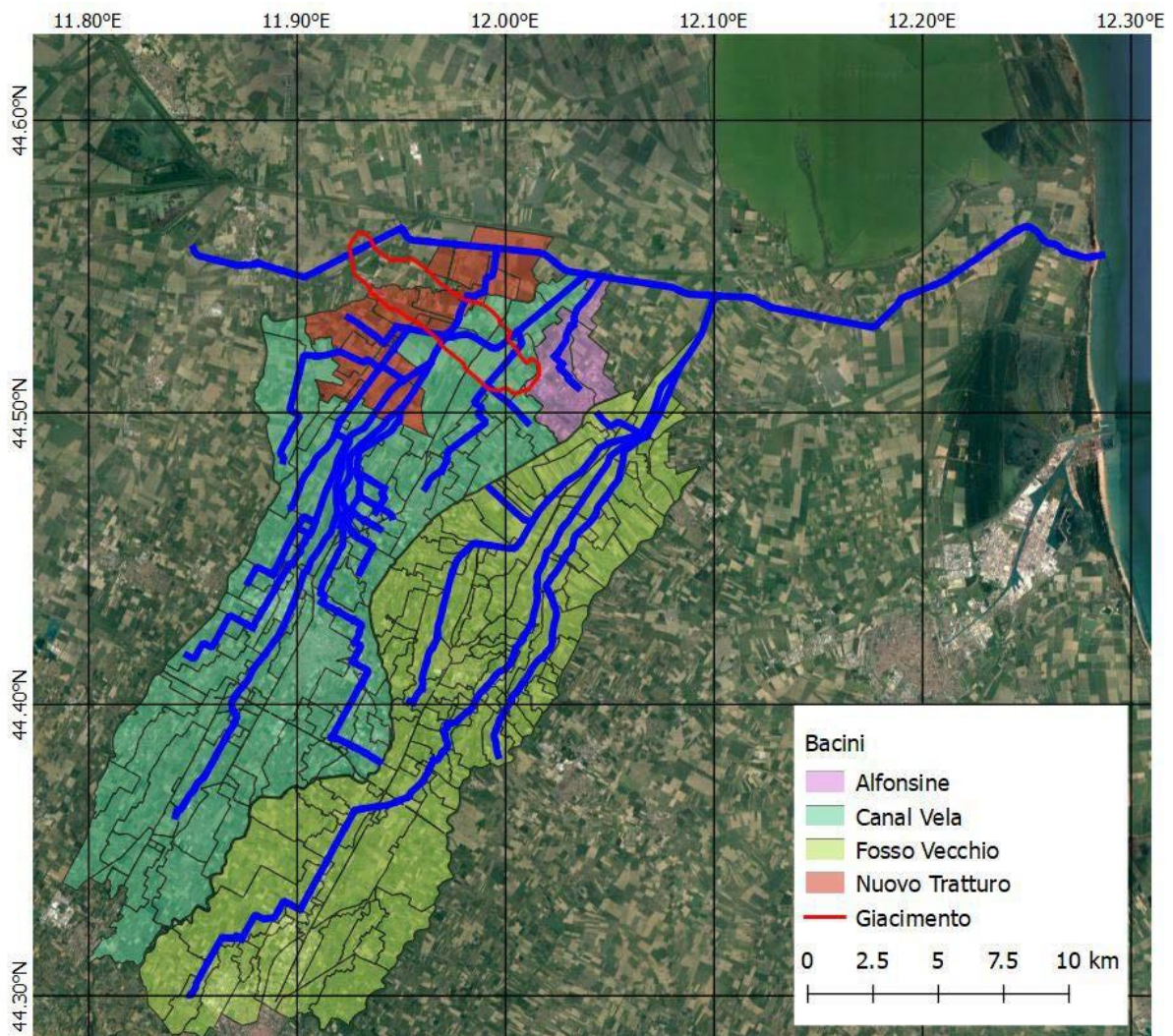
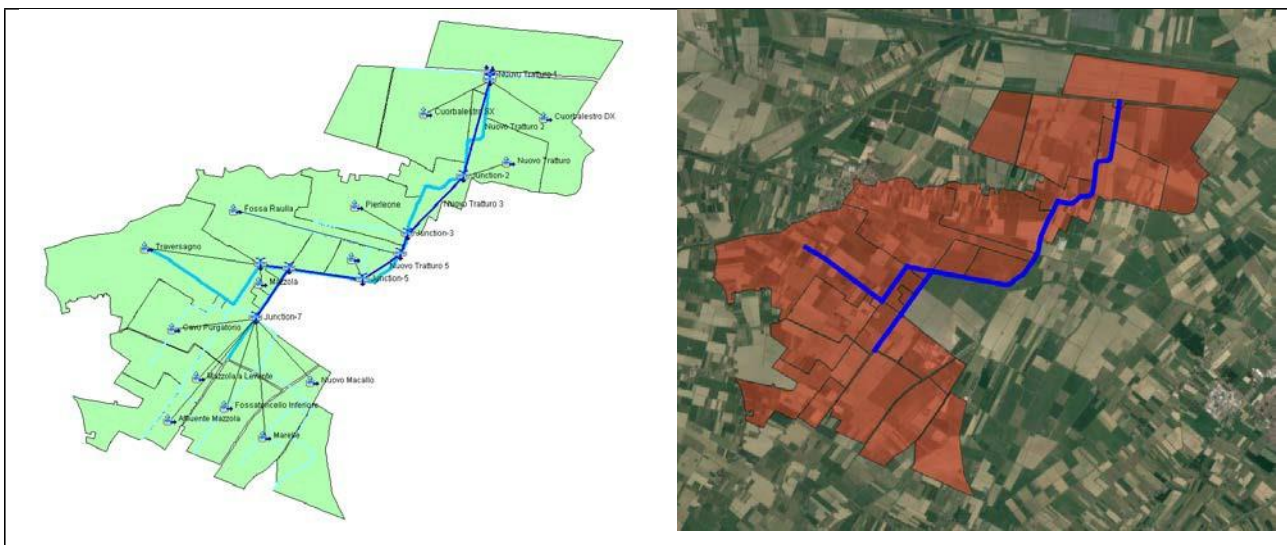


Figura 2 Bacini idrografici principali del comprensorio di bonifica.

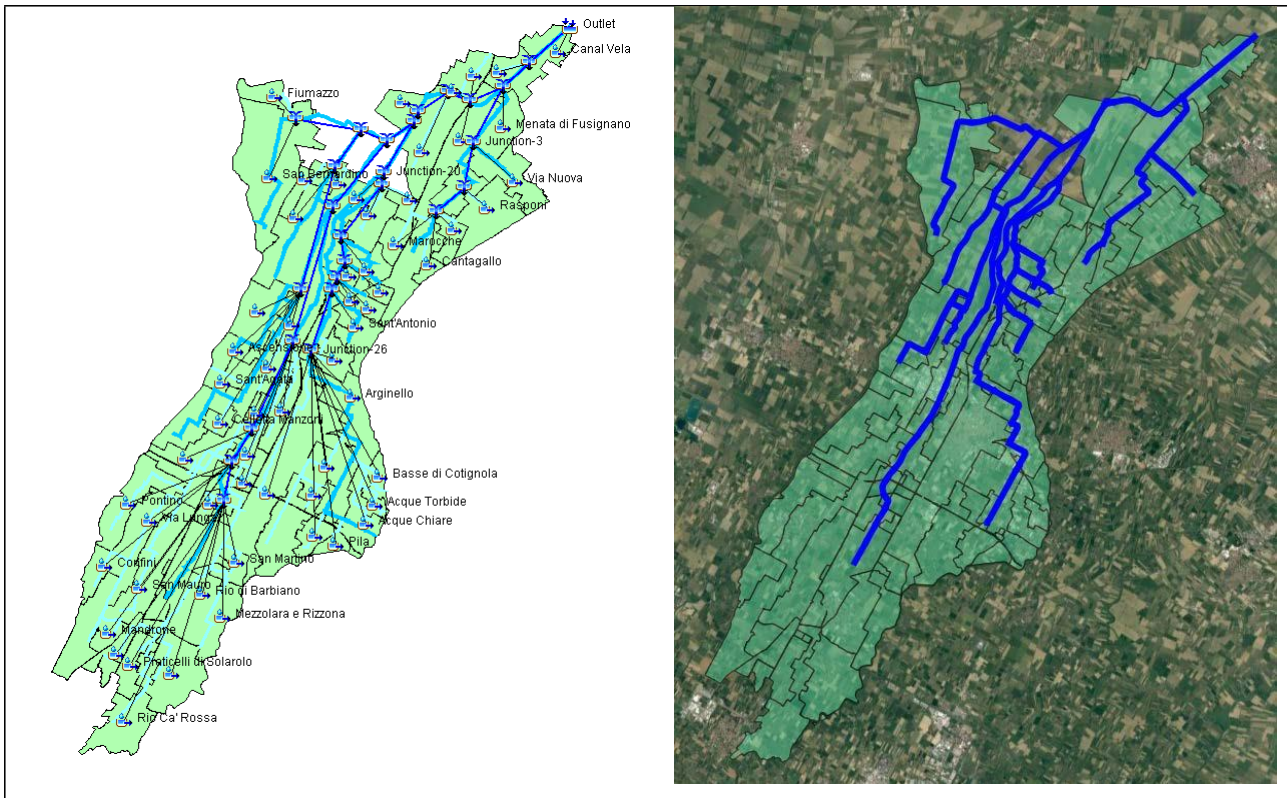
Ognuno dei quattro bacini è stato schematizzato in HMS, ottenendo quattro modelli indipendenti, in grado di fornire le condizioni al contorno per il successivo modello idraulico. Le immagini che seguono (Figura 3 - Figura 6) mostrano la schematizzazione dei quattro bacini, evidenziando l'ulteriore suddivisione in sottobacini principali, canali e sezioni di chiusura, confrontata con l'immagine satellitare dell'area corrispondente; le tabelle (Tabella 1 - Tabella 4) riportano la suddivisione in sottobacini, secondo la nomenclatura del Consorzio, e le rispettive estensioni.



**Figura 3** Schematizzazione del Nuovo Tratturo nel modello HEC-HMS.

NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]	NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]
AFFLUENTE MAZZOLA	0.34	MAZZOLA	0.24
CAVO PURGATORIO	1.84	MAZZOLA A LEVANTE	1.64
CUORBALESTRO DESTRA	1.99	NUOVO MACALLO	2.10
DIVERSIVO RAULLA	0.50	NUOVO TRATTURO	2.65
FOSSA RAULLA	2.53	PIERLEONE	1.55
FOSSATONCELLO INFERIORE	1.34	TRAVERSAGNO	3.97
MARELLE	1.11	CUORBALESTRO SINISTRA	5.02
		<b>TOTALE</b>	<b>26.82</b>

**Tabella 1** Estensione areale dei sottobacini del bacino Nuovo Tratturo.



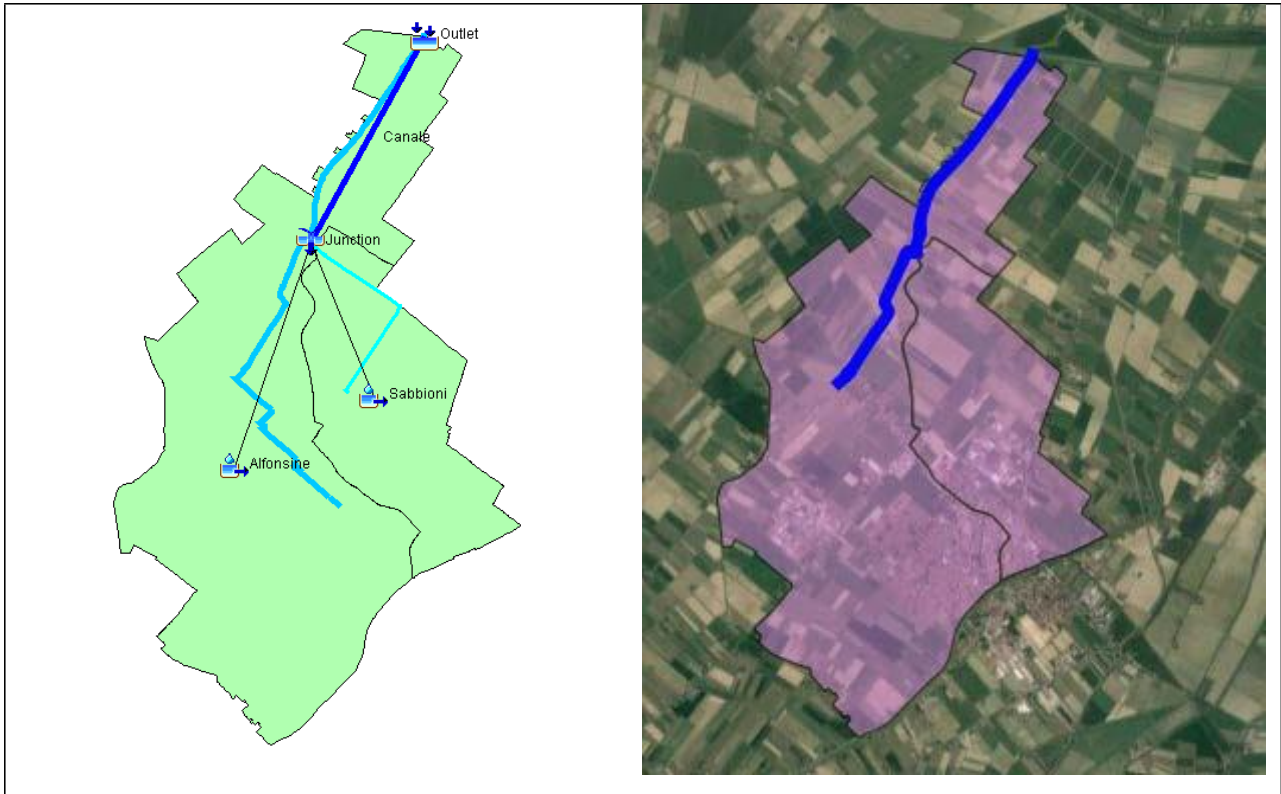
**Figura 4** Schematizzazione del Canal Vela nel modello HEC-HMS.

NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]	NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]
ACQUE CHIARE	1.7	MANDRONE	1.0
ACQUE TORBIDE	0.6	MAROCCHE	1.5
AFFLUENTE DESTRA DANE	3.9	MAZZOLA A PONENTE	1.1
ARGINELLO	10.1	MENATA DI FUSIGNANO	7.7
ASCENSIONE	1.9	MENATA DI RUNZI	1.9
BALLIRANA	4.6	MEZZOLARA E RIZZONA	2.5
BASSE DI COTIGNOLA	0.9	PILA	0.8
BEDAZZO	1.3	PONTINO	3.9
BRIGNANI VIVO	9.6	PRATI DI SOLAROLO	1.8
CANAL VELA	3.8	PRATICELLI DI SOLAROLO	1.7
CANAL VELA ABBANDONATO	1.4	RASPONI	4.0
CANALETTA DI BUDRIO	6.5	RIO CA' ROSSA	4.9
CANALETTA DI ZAGONARA	3.2	RIO DI BARBIANO	3.5
CANALETTO	1.7	SAN MARTINO	1.0
CANTAGALLO	1.1	SAN MAURO	5.0
CASALE	11.7	SAN SAVINO	1.4
CAVALLINE	0.8	SANT'AGATA	0.8
CELLETTA MANZONI	0.8	SANT'ANTONIO	2.1
COCORRE	1.1	SANTA LUCIA	1.9

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
COCORRETTO	0.2	SECCHETTO	1.7
CONFINI	1.7	TAGLIO CORELLI	2.1
FIUMAZZO	1.4	TAGLIO CORELLI INFERIORE	0.3
FONDAGNOLO	3.4	TOMBA A LEVANTE	1.7
FOSSATONCELLO A PONENTE	1.1	TRATTURO	8.4
FOSSATONE DI SAN BERNARDINO	9.9	VIA DI BUDRIO	0.8
FRASSONA MAGGIORE	0.6	VIA LUNGA A PONENTE	2.8
FRASSONA MINORE	0.5	VIA LUNGA O CONDOTTELLO DI BAGNARA	8.2
GAIANO	4.5	VIA NUOVA	3.1
GESUITA	0.8	VIA NUOVA NEL CASALE	3.0
MACALLO	2.4	ZAGONARA	0.5
MACERI	1.4	<b>TOTALE</b>	<b>175.97</b>

**Tabella 2** Estensione areale dei sottobacini del bacino Canal Vela.

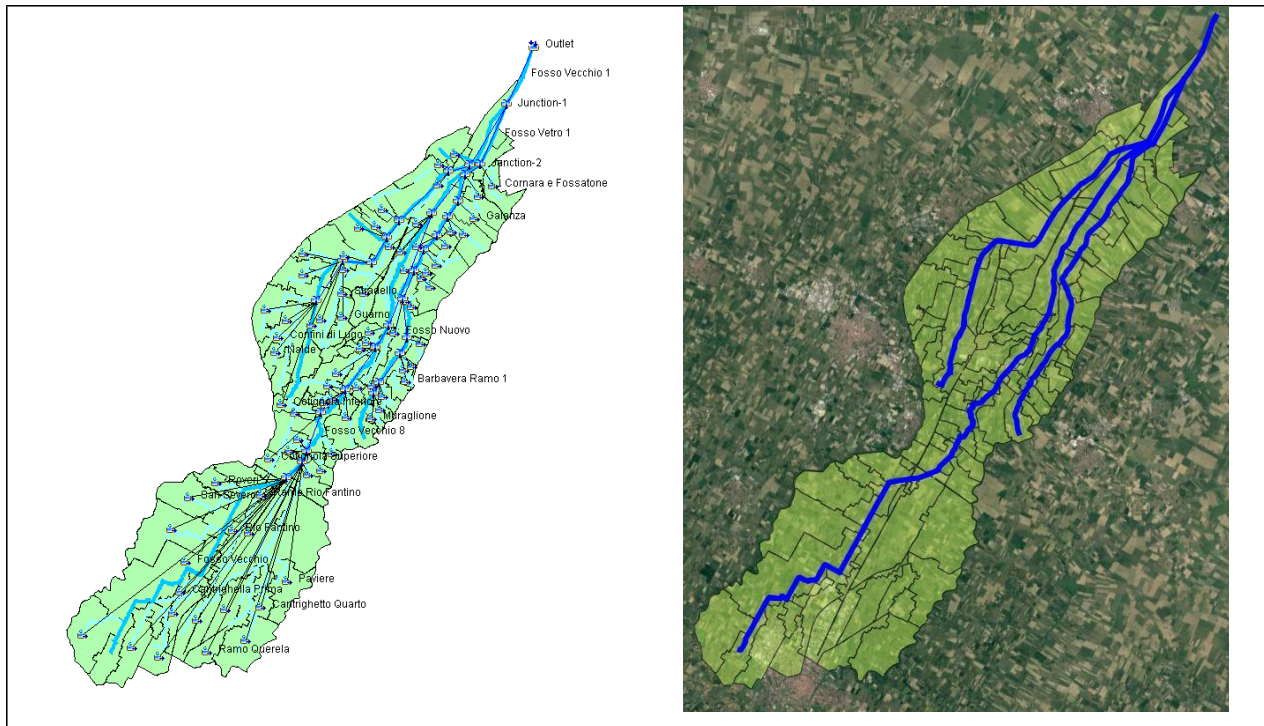




**Figura 5** Schematizzazione dello Scolo Alfonsine nel modello HEC-HMS.

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
ALFONSINE	8.62
SABBIONI	3.01
<b>TOTALE</b>	<b>11.63</b>

**Tabella 3** Estensione areale dei sottobacini del bacino Alfonsine.



**Figura 6** Schematizzazione del Fosso Vecchio nel modello HEC-HMS.

NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]	NOME SOTTOBACINO	Area [km <sup>2</sup> ]
AGUTA INFERIORE	0.04	GABINA A DESTRA	0.71
AGUTA SUPERIORE	0.37	GABINA A SINISTRA	0.61
ALBERGONE	0.65	GALANZA	1.51
ALFONSINE	2.37	GUARNO	1.61
BARBAVERA	1.20	MADRARA A DESTRA	0.89
BARBAVERA 1 RAMO	0.29	MADRARA A SINISTRA	0.41
BARBAVERA 2 RAMO	0.14	MASIERA INFERIORE	0.80
BONCELLINO	2.36	MASIERA SUPERIORE	1.87
BRUNELLO INFERIORE	0.89	MONTANARI	0.43
BRUNELLO SUPERIORE	2.32	MURAGLIONE	0.48
CANALA DI CASSANIGO	6.07	NALDE	0.92
CANTRIGHELLA PRIMA O TABACCA	0.65	PARADOSSO	2.48
CANTRIGHELLA SECONDA O DI MERLASCHIO	9.07	PARTITA GRANDE O VIAZZA NUOVA	1.08
CANTRIGHETTO PRIMO	4.74	PAVIERE	3.57
CANTRIGHETTO QUARTO	1.00	PIEVE	2.41
CANTRIGHETTO QUINTO DI GRANAROLO	6.51	PRIMO DELLA ROSSETTA	1.26
CANTRIGHETTO SECONDO	3.46	PUNTA DI FUSIGNANO	0.40

<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>NOME SOTTOBACINO</b>	<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>
CANTRIGHETTO TERZO O CANTRIGHELLA DI SAN SILVESTRO	3.03	RAMO FORMELLINO	4.33
CAPUCCINI	1.63	RAMO MEZZENO	2.68
CERCHIA	1.43	RAMO QUERELA	1.90
COCCHI INFERIORE DESTRO	0.03	RAMO REDA	0.11
COCCHI SUPERIORE A DESTRA	1.50	RAMO RIO FANTINO	0.10
COCCHI SUPERIORE A SINISTRA	0.14	RAMO STRADELLO	0.20
COLOMBARONE	2.02	REDA	0.73
CONFINI DI LUGO	0.75	REDINO	1.79
CORNARA E FOSSATONE	1.98	RIO FANTINO	1.94
CORSINI	1.95	ROVERI	1.42
COTIGNOLA	1.95	SAN GERVASIO	0.74
COTIGNOLA INFERIORE	0.61	SAN POTITO	2.99
COTIGNOLA SUPERIORE	0.81	SAN SEVERO	3.79
ERCOLINE	0.39	SANT'ANTONIO	3.02
FIUME VETRO	3.75	SECONDO DELLA ROSSETTA	1.31
FOSETTA A DESTRA	3.05	STRADELLO	0.71
FOSETTA A SINISTRA	2.90	TRATURO	1.75
FOSETTE RIUNITE	0.32	TRAVERSARA	0.54
FOSSO MUNIO	9.29	VALLETTA	0.79
FOSSO NUOVO	1.56	VIA CHIARA	2.48
FOSSO VECCHIO	26.64	VIAZZA INFERIORE	2.23
FOSSO VETRO	9.89	VIAZZA SUPERIORE	0.32
FUMAROLO	0.50	ZIA	0.42
		<b>TOTALE</b>	<b>175.97</b>

**Tabella 4** Estensione areale dei sottobacini del bacino Fosso Vecchio.

## 2.2 Set-up del modello

Per il calcolo del volume efficace è stato utilizzato il metodo del Curve Number, sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (Soil Conservation Service, 1972). Per la determinazione dell'idrogramma del deflusso superficiale è stato utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario di Clark. Sono state trascurate le perdite per evapotraspirazione ed il deflusso profondo in quanto gli eventi di piena hanno luogo principalmente durante i mesi invernali quando le temperature sono limitate e il grado di saturazione (falda freatica) relativamente elevato. Per la traslazione dell'onda di piena all'interno dei canali è stato utilizzato il metodo cinematico,

implementato sulla base delle caratteristiche fisiche del tratto di canale specifico (lunghezza, pendenza, sezione, scabrezza).

Per la generazione dell'evento su cui valutare le variazioni indotte dalla subsidenza si è partiti dalla portata massima nominale delle elettropompe installate presso l'impianto idrovoro di Tratturo a servizio del comprensorio di Bonifica, strutturato su sei elettropompe, per una portata massima nominale complessiva pari a 10.8 m<sup>3</sup>/s. Le acque sollevate dalle idrovore vengono convogliate dal Nuovo Tratturo nel canale Destra Reno, secondo livelli di avvio e spegnimento forniti dal Consorzio. Ipotizzando che, come usualmente avviene nell'ambito della gestione della bonifica nell'area costiera padana, la portata delle pompe sia stata dimensionata per un evento con tempo di ritorno 30 anni, si è quindi cercato di generare un evento pluviometrico con Tr=30 anni che determinasse una portata al colmo di 10.8 m<sup>3</sup>/s, utilizzata come riferimento per la taratura del parametro CN per la definizione della pioggia efficace. Il parametro CN così identificato (CN=63) è stato poi applicato anche agli altri bacini presi in esame.

Il tempo di corrivazione dei bacini simulati è stato calcolato con la formula di Pasini (Da Deppo et al., 2004):

$$t_c = \frac{0.0045 \sqrt{SL}}{\sqrt{i}}$$
$$\sqrt{i} = \frac{\sum l}{\sum \frac{l_n}{\sqrt{i_n}}}$$

dove  $t_c$  è il tempo di corrivazione in giorni,  $S$  la superficie del bacino in km<sup>2</sup> ed  $L$  la lunghezza del collettore in km,  $l_n$  e  $i_n$  rispettivamente lunghezza e pendenza dei diversi tratti del collettore. La Tabella 5 mostra i tempi di corrivazione ottenuti per ciascun bacino:

Bacino	Tempo di corrivazione [ore]
Fosso Vecchio	72
Alfonsine	24
Canal Vela	72
Nuovo Tratturo	48

**Tabella 5** Tempi di corrivazione per bacino.

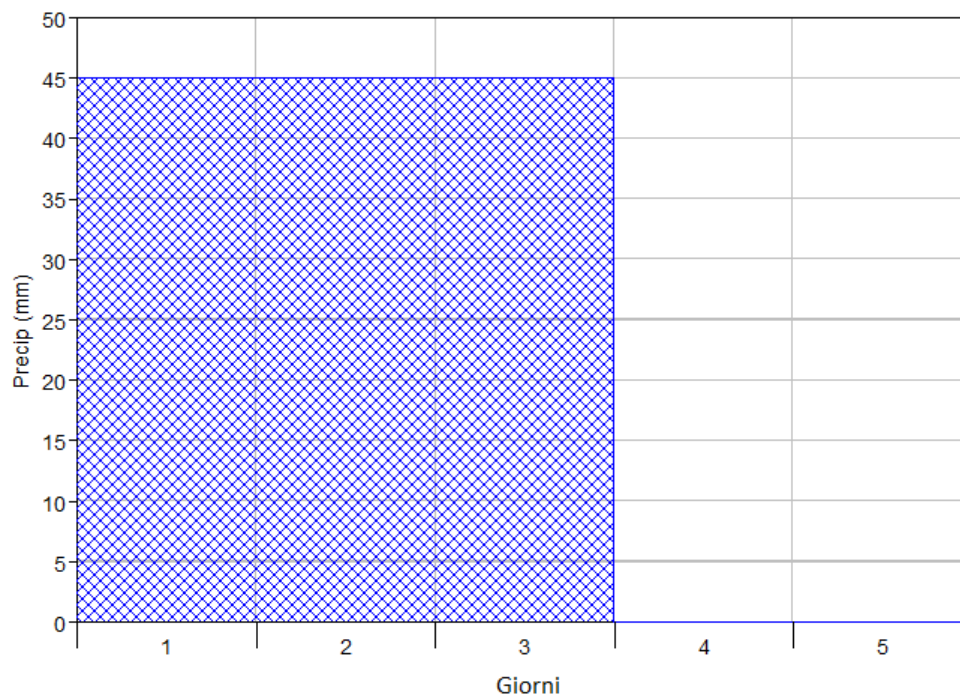
Per l'intensità di pioggia si è fatto riferimento allo "Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in Destra di Reno (collettore generale di tutti i Comparti di scolo del Consorzio) in

condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo” (Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale di Lugo, 2001) e allo studio di Todini (1990). Questi lavori hanno fornito la curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno di interesse, ottenuta sulla base di studi di regionalizzazione comprendenti il territorio indagato focalizzati alla determinazione della precipitazione intensa per eventi di varia durata. La Tabella 6 mostra la precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni in funzione della durata di interesse (pari ai tempi di corrivazione sopra identificati).

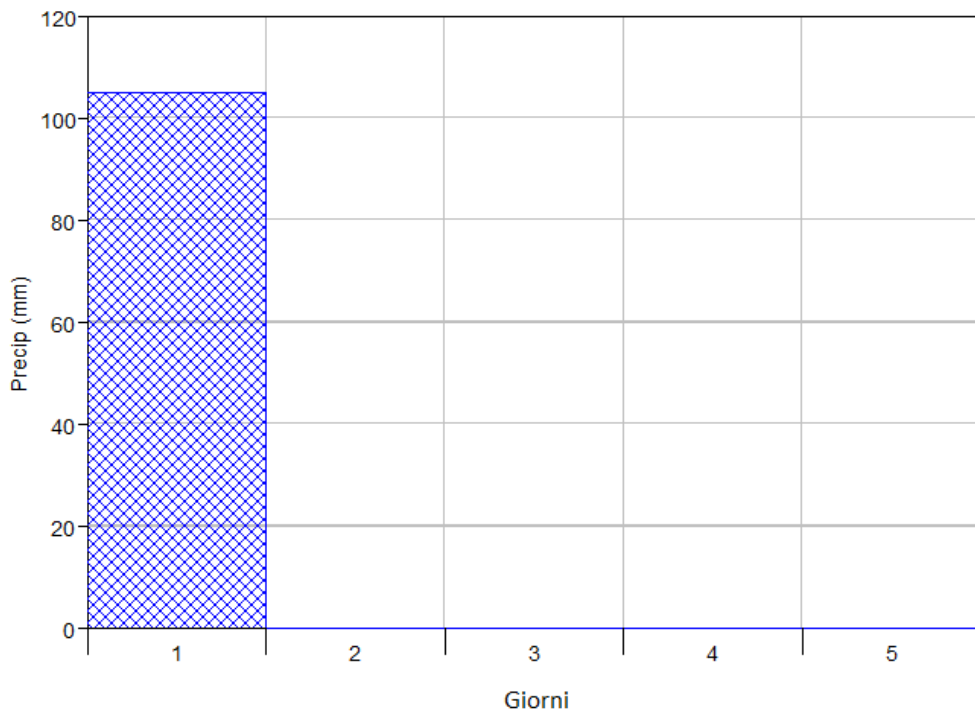
Durata [ore]	Precipitazione [mm]
24	105
48	130
72	135

**Tabella 6** Precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni.

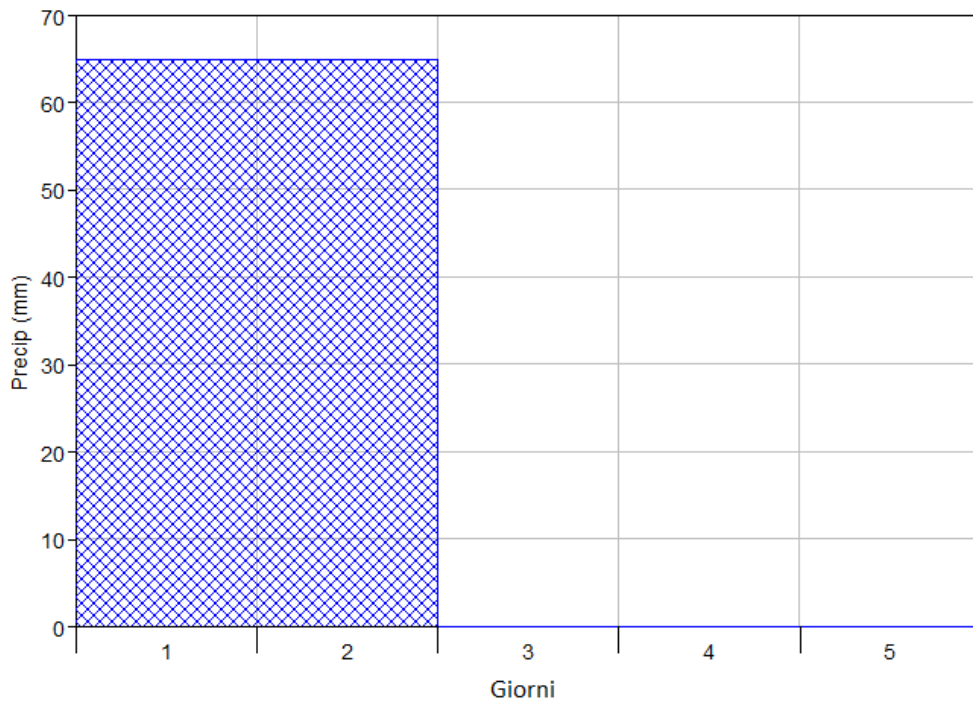
Per ogni bacino, è stato quindi creato un evento pluviometrico della durata pari al tempo di corrivazione e precipitazione cumulata pari a quella di Tabella 6 come mostrato dai grafici di Figura 7- Figura 9.



**Figura 7** Fosso Vecchio e Canal Vela: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.



**Figura 8** Scolo Alfonsine: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

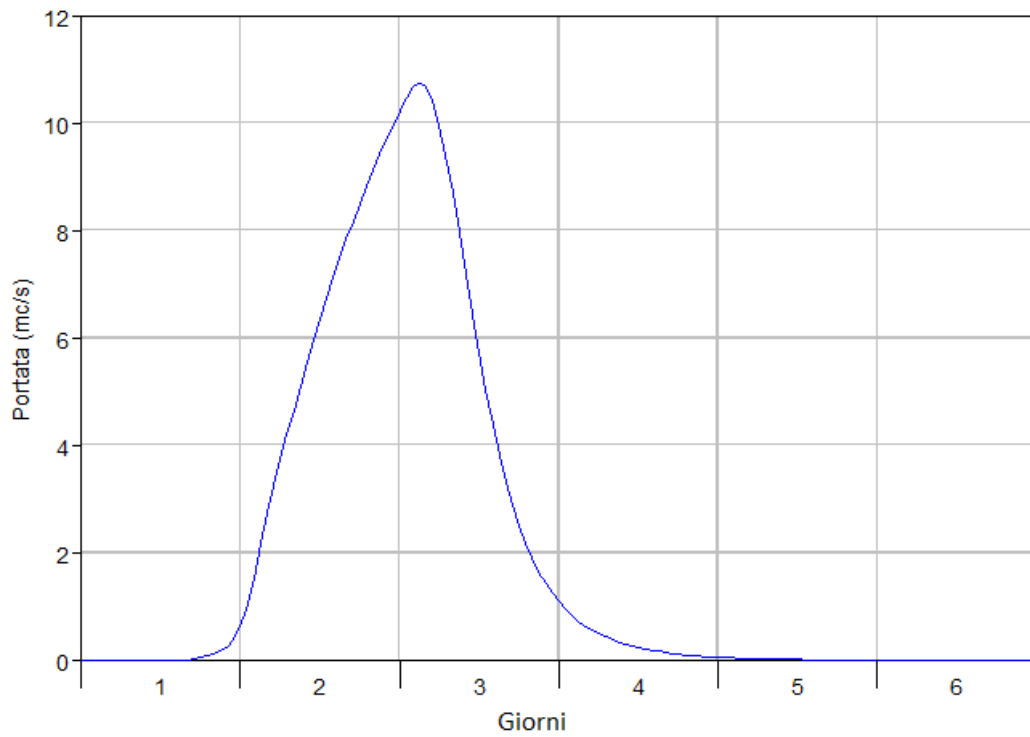


**Figura 9** Scolo Nuovo Tratturo: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

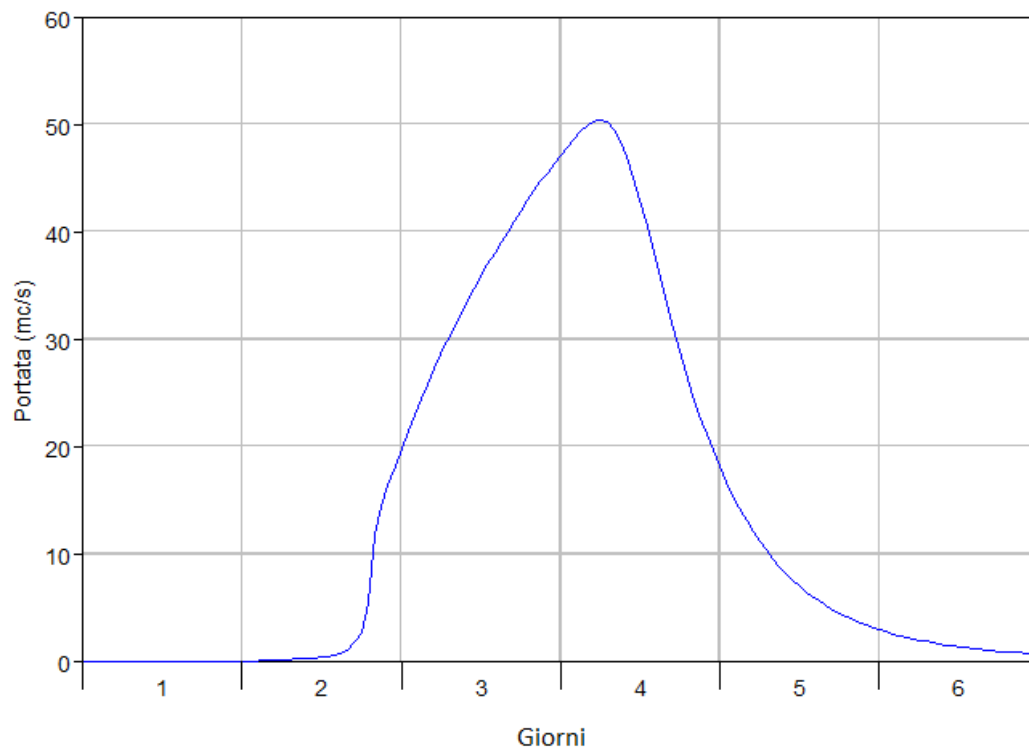
### **2.3 Risultati delle simulazioni**

Le simulazioni effettuate hanno fornito come risultato l'idrogramma di piena per ognuno dei sottobacini in cui sono stati discretizzati i quattro sistemi analizzati. Tali idrogrammi, distribuiti lungo la rete, costituiscono la condizione al contorno per la successiva modellazione idraulica oggetto dell'OdL nr. 7800053425.

A titolo esemplificativo in Figura 10 - Figura 13 si riportano gli idrogrammi risultanti alla sezione di chiusura dei quattro modelli. Da notare che la forma degli idrogrammi mostra per i bacini più estesi il ramo di discesa più ripido della parte di salita, il che rappresenta un comportamento inusuale; tale andamento è diretta conseguenza delle assunzioni fatte che prevedono, come sopra menzionato, che il deflusso profondo (ovvero la parte che si infiltra e va indirettamente e quindi con ritardo a formare l'onda di piena) sia trascurato. La forma dell'idrogramma risulta pertanto influenzata dall'impostazione seguita, che tuttavia non inficia l'affidabilità dei risultati ottenuti, che per il tipo di analisi richiesta sono focalizzati sull'entità del picco di piena. Il valore dei picchi di piena ottenuti risulta essere in linea con quelli calcolati nel già citato studio del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale di Lugo (2001): per il Canal Vela e il Fosso Vecchio, che sono i bacini più significativi, i risultati delle simulazioni idrologiche condotte mostrano portate al colmo di circa 51 m<sup>3</sup>/s per entrambi, da confrontare con le portate stimate dal Consorzio, pari rispettivamente a 48 e 52 m<sup>3</sup>/s.

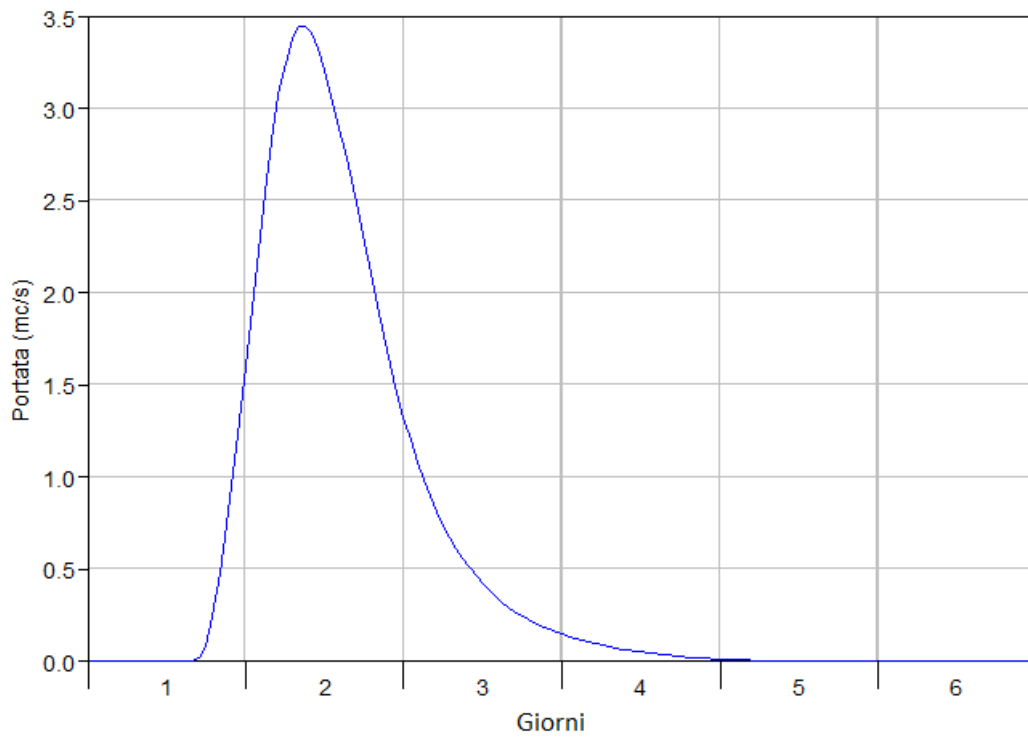


**Figura 10** Nuovo Tratturo: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

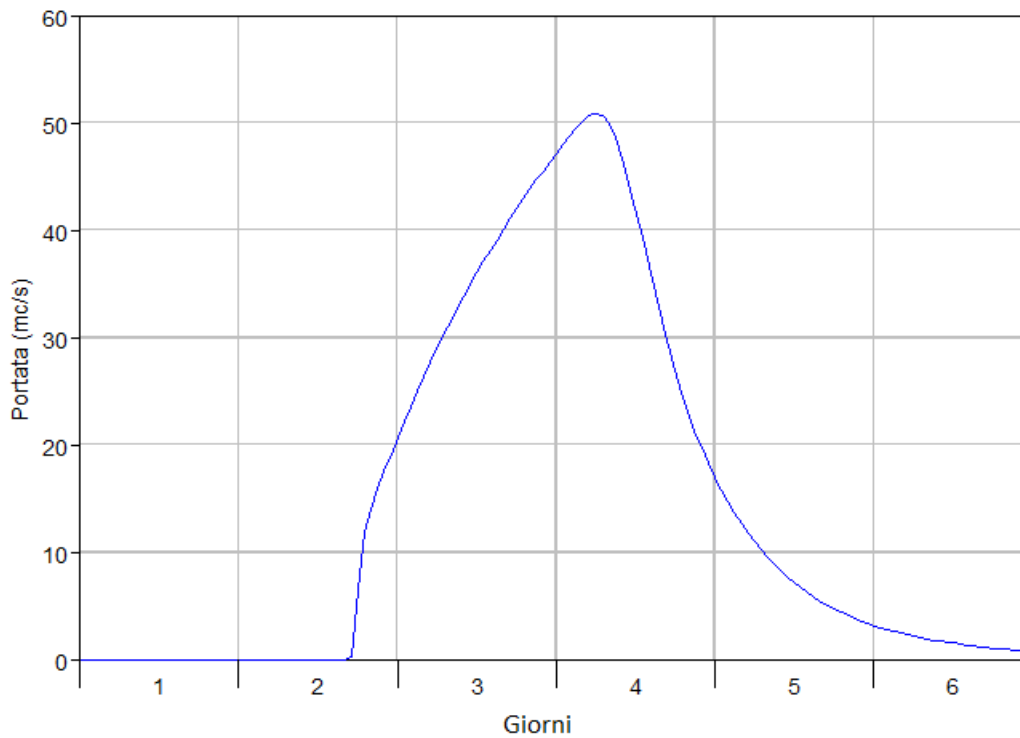


**Figura 11** Canal Vela: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.





**Figura 12** Scolo Alfonsine: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.



**Figura 13** Fosso Vecchio: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

### 3. Conclusioni

Il codice HEC-HMS è stato utilizzato per sviluppare un modello idrologico del comprensorio di bonifica possibilmente interessato dagli spostamenti in superficie causati dalle operazioni di stoccaggio-erogazione nel giacimento di Alfonsine.

Le simulazioni sono state condotte suddividendo l'area di studio nei 4 bacini principali (Scolo Nuovo Trattuto, Canale Vela, Scolo Alfonsine, Fosso Vecchio) che compongono il comprensorio. Utilizzando i dati della rete idraulica forniti dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale e informazioni disponibili nella bibliografia di riferimento, sono stati valutati i tempi di corrivazione dei diversi bacini, la relativa precipitazione con tempo di ritorno pari a 30 anni (usualmente utilizzato come tempo di riferimento per il dimensionamento delle infrastrutture idrauliche delle reti consortili di bonifica).

Il modello ha permesso di individuare l'idrogramma di piena per ognuno dei sottobacini in cui sono stati discretizzati i quattro sistemi analizzati. Tali idrogrammi, distribuiti lungo la rete, costituiscono la condizione al contorno per la successiva modellazione idraulica.

## **Bibliografia**

- Clark, C. O. (1945). Storage and the unit hydrograph. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 110(1), 1419-1446.
- Da Deppo, L., Datei, C., Salandin, P. (2004). Sistemazione dei corsi d'acqua. Libreria Cortina Ed, Padova, Italy.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1972). National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.
- Todini, E. (1990). Indagine Statistica sulle piogge intense nel Comprensorio di Bonifica Renana. Rapporto Tecnico, Università di Bologna, Italy.
- USACE-HEC (2010). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.5 - User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Tech. Report CPD-74A.