



CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - www.emiliacentrale.it - protocollo@pec.emiliacentrale.it
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.
18.01

Rev. 3
del
01.04.2019

Titolo: Legge n°205/2017 art.1 comma 518. Primo Stralcio del Piano Nazionale degli interventi nel settore idrico – sezione "invasi"

REALIZZAZIONE DI UNA CASSA DI ESPANSIONE PER LAMINAZIONE DELLE PIENE E ACCUMULO IDRICO A SCOPO IRRIGUO CAVO BONDENO IN COMUNE DI NOVELLARA (RE) - CODICE 518/5

Importo: €. 10.000.000,00

Ente Finanziatore: Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Tipologia Progetto				Riferimento Legislativo	Comune
Fattibilità	Definitivo	Esecutivo	Contabilità	Legge n.205/2017 e Legge n. 145/2018	NOVELLARA (RE)
	X				

ALLEGATI:

Allegato n.	Titolo:
2	RELAZIONI SPECIALISTICHE
Tavola:	Oggetto:
.7	RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA DEL CAVO BONDENO
Scala:	

Il Progettista Generale:
Dott. Ing. Matteo Giovanardi



mgiovanardi@emiliacentrale.it

Collaboratori alla Progettazione:

Geom. Andrea Autunni **Dott. Ing. Elena Mocci**
Geom. Stefano Bernardi **Dott. Agr. Aronne Ruffini**
Geom. Riccardo Nicolini **Dott. Ing. Preti Valentina**
P.I. Mauro Bigliardi **Dott. Agr. Baricca Matteo**
P.I. Guido Ruini **Dott. Geol. Alessandro Fontanesi**
P.I. Roberto Pinotti

Il Responsabile del Procedimento:
Dott. Ing. Pietro Torri



ptorri@emiliacentrale.it

Area Progettazione: SLPP	Codice Progetto: 105/18/00	Codice CUP: G33H18000060001	Codice CIG:
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------	--------------------

Redatto:	Verificato:	Nome File:	Note:

Data Progetto Originale: 16-12-2019	Data Aggiornamento: REV.01 - 12/03/2021
--	--

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

OHSAS 18001:2007



SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	2
2.1	Caratterizzazione del Bacino idrografico.....	4
2.1.1	<i>BACINO DEL CAVO BONDENO A OVEST DEL CANALAZZO TASSONE</i>	5
2.1.2	<i>BACINO DEL CAVO BONDENO A EST DEL CANALAZZO TASSONE</i>	8
3	MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	11
3.1	Tipologia di analisi idrologica	11
3.1.1	<i>PERDITE IDROLOGICHE</i>	11
3.1.2	<i>AFFLUSSI-DEFLUSSI</i>	13
3.1.3	<i>FLUSSO DI BASE</i>	15
3.1.4	<i>MODALITÀ DI TRASPORTO.....</i>	15
3.1.5	<i>MODELLO METEOROLOGICO.....</i>	15
3.2	Modello idrologico	18
3.2.1	<i>SCHEMATIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO</i>	18
3.2.2	<i>MODELLAZIONE EVENTI PLUVIOMETRICI.....</i>	26
4	MODELLAZIONE IDRAULICA	42
4.1	Modello digitale del terreno	42
4.2	Geometria del modello nello stato di fatto.....	43
4.2.1	<i>PERCORSO DELL'ALVEO</i>	44
4.2.2	<i>SEZIONI TRASVERSALI</i>	45
4.2.3	<i>PONTI E STRUTTURE IN ALVEO.....</i>	47
4.2.4	<i>STRUTTURE LATERALI</i>	54
4.2.5	<i>AREE BIDIMENSIONALI</i>	56
4.3	Modifiche alla geometria nello stato di progetto	57
4.4	Condizioni al contorno	63
4.4.1	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO NELLO STATO DI PROGETTO.....</i>	66
4.5	Taratura della catena modellistica	68
4.6	Risultati delle simulazioni.....	69
4.6.1	<i>STATO DI FATTO CON TEMPO DI RITORNO 25 ANNI.....</i>	72
4.6.2	<i>STATO DI FATTO CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI.....</i>	76
4.6.3	<i>STATO DI FATTO CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI.....</i>	81
4.6.4	<i>STATO DI PROGETTO CON TEMPO DI RITORNO 25 ANNI.....</i>	87
4.6.5	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa al Cavo Bondeno che costituisce uno dei principali collettori di Acque Alte del comprensorio di bonifica dell'Emilia Centrale ed il cui bacino scolante ha una estensione di circa 8.000 Ha all'interno della provincia di Reggio Emilia.

Data l'importanza del cavo, lo studio si pone l'obiettivo di adeguare il corso d'acqua ad eventi di piena originati da eventi di pioggia aventi tempo di ritorno 100 anni.

Lo studio si è sviluppato secondo i seguenti passaggi:

- 1) definizione del comportamento idrologico del bacino idrografico sotteso mediante calibrazione con eventi di piena realmente accaduti,
- 2) analisi idraulica nello stato di fatto con transito nel cavo di portate generate da piogge con tempi di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni e conseguente rilievo della pericolosità,
- 3) definizione degli interventi strutturali di progetto lungo l'asta del Bondeno per la protezione idraulica del territorio da eventi di piena con tempi di accadimento di 100 anni.

Gli interventi strutturali di cui al punto 3) consistono nella realizzazione di un invaso di pianura con funzione di cassa di espansione delle piene del cavo e accumulo idrico ad uso irriguo e ambientale e in rialzi della sommità arginale a valle della chiusura del bacino.

Il massimo volume di piena stoccabile nella cassa è di 1.000.000 di mc.

Si precisa che nel presente progetto definitivo, si prevede la realizzazione della sola cassa di espansione.

Lo studio è stato effettuato con l'utilizzo del software di modellazione idrologica HEC-HMS e per la parte idraulica di HEC-RAS 1D e 2D.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il bacino idrografico di interesse è situato interamente all'interno del comprensorio della Bonifica dell'Emilia Centrale la quale ha competenza su un territorio compreso, in pianura, tra il torrente Enza e il fiume Secchia e, come territorio montano, l'intero Appennino Reggiano, una limitata parte di quello Parmense e un esiguo appezzamento sconfinante in territorio della provincia di Massa-Carrara. Una prima suddivisione importante all'interno del comprensorio stesso è riconducibile alle porzioni di territorio scolanti nei cavi di "acque alte" e quelli definiti "acque basse". Con questa partizione si indicano due reticoli idrografici minori completamente separati (tranne in rare occasioni) i quali drenano appunto aree a quote altimetriche differenti: quelle più a sud, poste a quote più elevate, e le parti più depresse a nord.

Il Cavo Bondeno ha origine a Nord -Est dell'abitato di Reggio Emilia. Di lunghezza complessiva pari a 25 km circa e con un tracciato in direzione Nord-Ovest, scarica le portate idrologiche nel Cavo Parmigiana Moglia in comune di Reggiolo.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Il cavo sottende un bacino imbrifero di circa 8.046 ha (80.46 km²), di cui 1.300 ha costituiti dall'area urbana ricadente in Provincia di Reggio Emilia nei comuni di Cadelbosco Sopra, Bagnolo in Piano e la zona Nord di Reggio Emilia.

Il bacino scolante ha termine con l'ingresso del Diversivo Bresciana, a cui fa capo un'area di 4.500 Ha.

La sua delimitazione geografica è avvenuta in parte tramite le informazioni già in possesso al Consorzio o da altri studi già commissionati dallo stesso.

Il tracciamento del bacino è avvenuto cercando di produrre le isolinee di quota per la parte di pianura del comprensorio di bonifica e quindi anche della zona di interesse per lo studio idrologico. Si è dovuto quindi reperire un modello digitale del terreno (fonte NASA) che riproducesse il più fedelmente possibile le pendenze e i dossi presenti in tutta l'area di pianura del comprensorio.

Il modello digitale del terreno su cui valutare le quote ha una risoluzione spaziale di 40 metri ed è rilevata attraverso tecnologie satellitari. L'estrazione delle curve di livello è stata praticata poi attraverso il software open source Qgis. Anche se queste ultime forniscono già preziose informazioni sulla condizione plano-altimetrica della pianura e quindi della direzione di scolo delle acque, la delimitazione dei bacini e sottobacini non può dirsi ancora conclusa. Intervengono infatti altre caratteristiche che modificano l'estensione delle diverse aree conferenti le acque meteoriche nella fitta rete di scolo secondaria di bonifica. Queste sono principalmente di origine antropica come arginature, strade con rilevati, fossi, edifici e gli stessi cavi e canali irrigui in gestione al Consorzio. Infine si deve essere consapevoli che in alcune limitate aree urbanizzate lo scolo delle acque avviene in fognature miste e che in seguito vengono ricevute da un reticolo idrografico differente da quello di Bonifica attraverso l'azionamento di organi scolmatori.

. In figura 1 è possibile visualizzare l'estensione dell'intero bacino scolante del Bondeno all'interno del comprensorio di bonifica.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

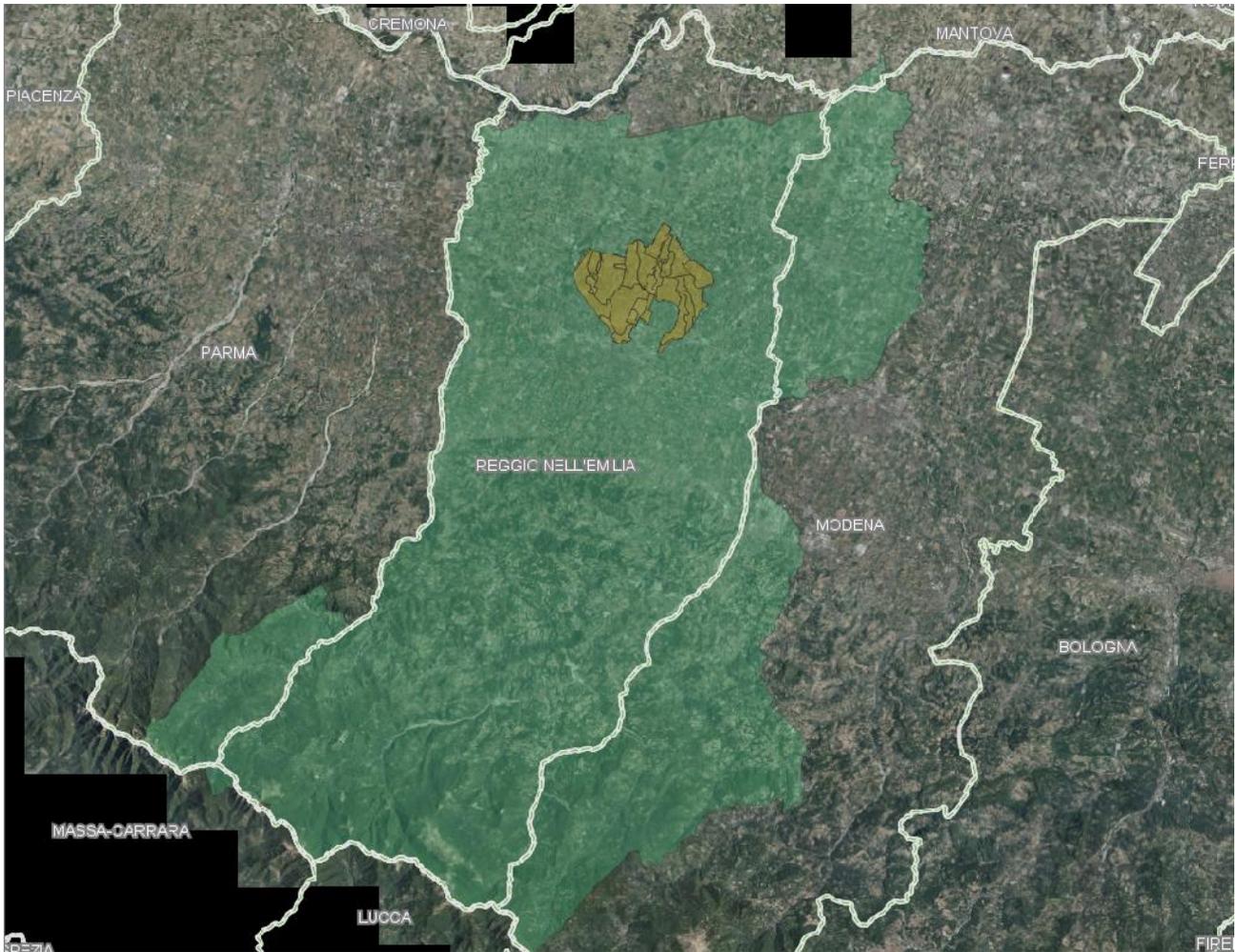


Figura 1. Inquadramento dell'intero bacino idrografico del Cavo Bondeno all'interno del comprensorio di bonifica e dei territori provinciali.

2.1 CARATTERIZZAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

La suddivisione del bacino idrografico del Bondeno, certificata dalle analisi su modello digitale del terreno ed elementi antropici descritte precedentemente, porta a suddividere lo stesso in due parti principali che a loro volta sono ripartiti in aree scolanti di estensione inferiore.

La principale suddivisione a cui si farà riferimento nel seguito è praticata in riferimento al Torrente denominato Canalazzo Tassone, il quale divide il bacino principale del Bondeno in una parte orientale e in una occidentale.

Il torrente Tassone è un corso d'acqua naturale e possiede un bacino di scolo esterno al comprensorio di bonifica, tuttavia per un tratto di discreta lunghezza coincide con il canale di Reggio III. Quest'ultimo appartiene alla rete irrigua del comprensorio e viene invasato nella stagione estiva con acque fatte risalire dalla derivazione da Po di Boretto attraverso impianti di pompaggio interconnessi. La continuità idraulica dei due comprensori di scolo divisi dalle arginature del Canalazzo Tassone viene ripristinata dal diversivo Bresciana, affluente del Bondeno, il quale, con una botte, sottopassa il Tassone nei pressi della località di Villa

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Argine. Sempre nello stesso luogo è posto un impianto di pompaggio che può trasferire fino a 4 m³/s dal Diversivo Bresciana al Canalazzo Tassone.

L'intera area scolante considerata a occidente del Tassone conferisce le acque nel Diversivo Bresciana. Nella parte orientale lo scolo affluisce invece in 3 ricettori principali. Uno di questi è sempre il Diversivo Bresciana nel tratto che vadallabotte fino alla sezione di chiusura dell'intero bacino. Procedendo sempre da Ovest verso Est si trovano la Fossetta della Pieve e il Canale di Reggio III, scolanti l'area urbana di Bagnolo in piano ed il tratto del cavo Bondeno a monte della chiusa Buenos Aires. In tali ricettori confluiscono a loro volta le acque di altri cavi che scolano aree definite come sottobacini. Questi vengono individuati a seconda della differente copertura del suolo, tipologia di urbanizzazione e posizione altimetrica.

La chiusura del bacino del Cavo Bondeno è in corrispondenza dell'ingresso del Diversivo Bresciana localizzato a pochi metri dalla chiusa denominata Buenos Aires.

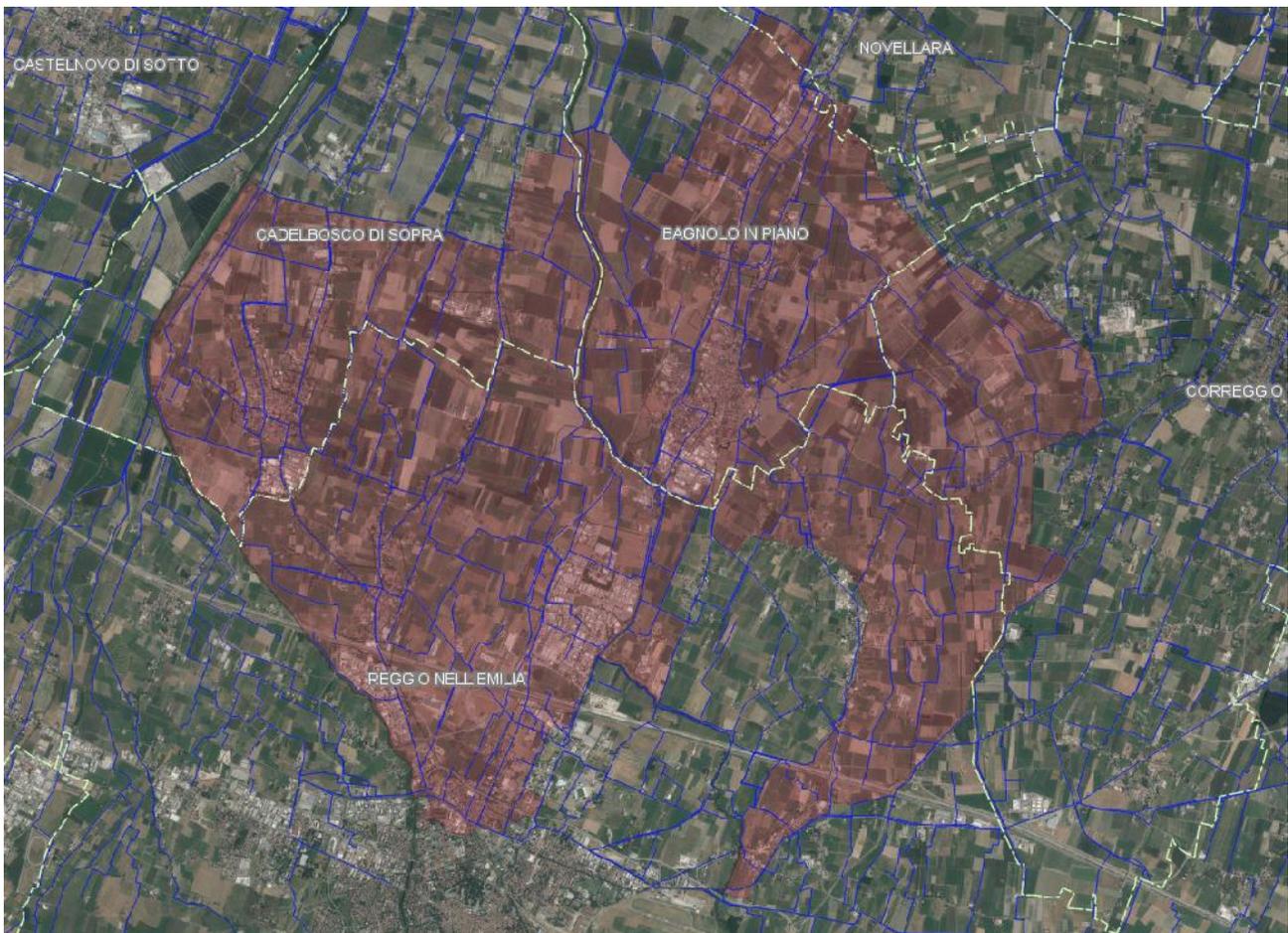


Figura 2. Inquadramento del bacino scolante del Cavo Bondeno all'interno dei confini comunali interessati e della rete idrografica in gestione al Consorzio.

2.1.1 Bacino del Cavo Bondeno a Ovest del Canalazzo Tassone

Come si è già avuto modo di dire, in questa parte del bacino l'intera area scolante è afferente al Diversivo Bresciana, evidenziato in verde in figura 3. Sempre in figura 3 sono individuabili altresì, procedendo da Ovest verso Est, i principali affluenti di quest'ultimo correlati alle proprie aree afferenti: il Cavo Barisello, il Cavo

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Dugara, il Cavo Bresciana e il Dugale San Michele. Nelle aree sottese ai Cavi di scolo sono stati individuati dei sottobacini che saranno poi considerati in sede di modellazione idrologica.

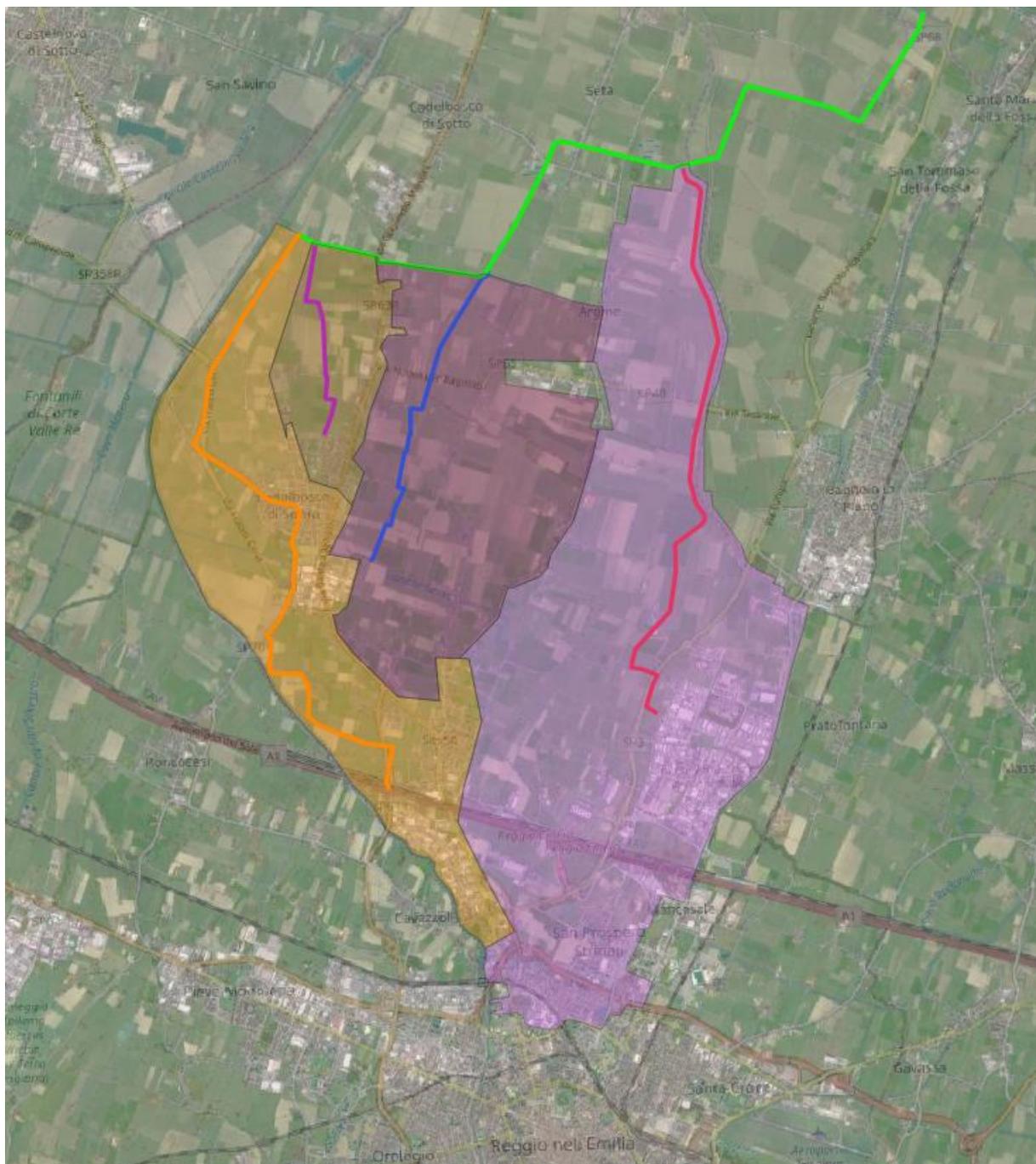


Figura 3. Aree afferenti nel bacino del Bondeno ad Ovest del Canalazzo Tassone.

2.1.1.1 Area afferente al Cavo Barisello

L'origine del Cavo Barisello può essere posizionata attualmente all'interno del villaggio industriale Crostolo in prossimità dell'autostrada A1, la quale è sottopassata insieme alla ferrovia ad alta velocità in sezione chiusa. Nel suo percorso lambisce poi l'area industriale di Cadelbosco Sopra e attraversa quest'ultimo in sezione chiusa, per poi uscire dal centro abitato e confluire nel Diversivo Bresciana in località Molino

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Traghetino. La sua lunghezza complessiva è riconosciuta in 8602 metri e drena un'area stimata di quasi 10 Km². I sottobacini individuati che conferiscono le acque di scolo al Cavo Barisello comprendono:

- villaggio industriale Crostolo: area stimata in circa 0.91 Km² prettamente urbanizzata con edifici industriali e conseguente elevata impermeabilità. Vi è da considerare in questo caso tuttavia che durante eventi pluviometrici di una certa rilevanza una quota parte delle acque piovane convogliate nella rete fognaria locale viene recapitata dagli organi scolmatori nel Torrente Crostolo. La presenza di tali scolmatori è accertata nelle mappe della rete fognaria urbana ma è difficile ciò nonostante quantificare in modo preciso la quota parte di volume d'acqua piovana che viene trasferita al reticolo idrografico esterno principale.
- Sottobacino del Cavo Barisello: area stimata di circa 7.2 Km² in gran parte agricola e in parte urbana residenziale comprendendo l'abitato della frazione di Sesso.
- Zona industriale Cadelbosco Sopra: area stimata di circa 0.16 Km² prevalentemente urbanizzata con edifici industriali ed elevata impermeabilità.
- Area urbana Cadelbosco: area stimata di circa 1 Km² prevalentemente urbana con edifici di tipologia abitativa.

2.1.1.2 Area afferente al Cavo Dogara

Il Cavo Dogara inizia, in sezione chiusa, nella parte settentrionale dell'abitato di Cadelbosco. Uscendo dall'area con insediamento abitativo continua il percorso a cielo aperto per circa 2.5 Km² fino all'immissione nel Diversivo Bresciana dopo 220 metri circa la confluenza del Barisello nello stesso. Vengono considerate due aree scolanti nel Cavo differenziate per tipologia di copertura del suolo:

- Sottobacino agricolo del Cavo Dogara: area stimata di circa 2 Km² prettamente destinata alle attività agricole.
- Sottobacino urbano di Zurco: area considerata di circa 0.48 Km² comprendente quartieri residenziali di Cadelbosco e della frazione di Zurco lungo Via Colombo.

2.1.1.3 Area afferente al Cavo Bresciana

Il Cavo Bresciana, di lunghezza totale quantificata in 3.800 metri, prende origine in una zona agricola ad Est di Cadelbosco e riceve le acque del Fosso Vialato Alto, suo affluente, il quale scola una parte dell'area a Nord dell'abitato di Sesso. Per via della generale omogeneità di tipologia agricola che si riscontra nella partizione di territorio drenata dal Cavo Bresciana, verrà considerato un unico sottobacino di estensione 9.41 Km².

2.1.1.4 Area afferente al Dugale San Michele

Il maggiore affluente del Diversivo Bresciana è il Dugale San Michele in termini di superficie scolante. Quest'ultimo ha una lunghezza di oltre 7 Km e ha origine, in tratto tombinato, nell'area industriale di Mancasale in comune di Reggio Emilia da cui ne esce a cielo aperto ad Ovest di essa. Si inserisce nel Diversivo Bresciana poco prima della botte sottopassante il Torrente Tassone costeggiandone per un tratto il suo argine in sinistra idraulica. Lungo il suo percorso il Dugale San Michele riceve, in destra, i contributi del Cavo Baggiovara e del Cavo Pistarina. Il Cavo Baggiovara scola un'area della periferia Nord di Reggio compresa l'area in prossimità del casello autostradale e una porzione limitata dell'area industriale di Mancasale e si immette nel Dugale San Michele in prossimità del suo sbocco a cielo aperto da Mancasale. Nel Cavo Baggiovara si immette a sua volta anche lo scolo Due Madonne il quale drena indicativamente l'area attorno

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

al centro commerciale Ariosto, ulteriormente urbanizzata negli ultimi anni. Il Cavo Pistarina prende origine in sezione a cielo aperto in prossimità dell'impianto di depurazione delle acque di Mancasale dal quale riceve parte dei reflui depurati. Inoltre sono recapitate in esso le acque bianche della stessa zona industriale e possiede un sottobacino afferente estremamente impermeabilizzato. Il Cavo Pistarina confluisce nel Dugale San Michele dopo 2.460 m in prossimità di una cassa di laminazione. Vi è da segnalare che, nelle vicinanze di quest'ultimo, è possibile recapitare parte delle acque del Dugale San Michele nel torrente Tassone attraverso una chiavica di svaso e compatibilmente con i suoi livelli idrometrici. In sinistra idraulica, quasi 900 metri a valle da dove il Dugale San Michele esce a cielo aperto da Mancasale, confluisce in questo ultimo la Fossetta Matta la quale drena un'area in gran parte rurale ed urbana a est dell'abitato di Sesso e a Nord dell'autostrada A1. In sintesi i sottobacini individuati che conferiscono le acque di scolo al Dugale San Michele comprendono:

- Sottobacino Reggio Nord: area stimata in circa 0.80 Km² prettamente urbanizzata da edifici residenziali, strutture commerciali e svincoli in accesso e in uscita della tangenziale Nord di Reggio Emilia.
- Sottobacino Mancasale Sud: area stimata in poco più di 1 Km² con percentuale di impermeabilizzazione elevatissimo. Il sottobacino è individuato nella parte meridionale della zona industriale di Mancasale a Sud dell'inizio (in tratto tombinato) del Dugale San Michele in cui confluiscono direttamente le acque di scolo.
- Sottobacino Mancasale Nord: area stimata in 1,65 Km² e anch'esso, essendo adibita a zona industriale, possiede un'elevatissima impermeabilità includendo inoltre il complesso del depuratore di Mancasale. Si differenzia dal sottobacino Mancasale Sud essendo a Nord del tratto tombinato del Dugale San Michele e scolando principalmente nel cavo Pistarina.
- Sottobacino Dugale San Michele di monte: area considerata di circa 9.55 Km². Quest'ultima include interamente il perimetro del bacino di monte del Dugale San Michele a monte dell'immissione in destra idraulica del Cavo Pistarina, di Via Prandi e dell'immissione nel Dugale San Michele della fossetta Sacchetto, piccolo cavo di scolo secondario e di lunghezza limitata. Da questa area scolante sono ovviamente esclusi i già citati sottobacini di Reggio Nord e di Mancasale poiché aventi caratteristiche di copertura di suolo molto differenti. Il sottobacino in questione è infatti prettamente rurale a parte l'asse viario comprendente la ferrovia ad alta velocità, la parallela autostrada A1 con svincolo annesso e il plesso aziendale del gruppo Max Mara.
- Sottobacino Dugale San Michele di valle: area stimata in circa 5,02 Km². Quest'ultima superficie scolante è rappresentata dalla parte altimetricamente più bassa dell'intero bacino del Dugale San Michele ed è delimitata a Sud dalla sua parte di monte dagli elementi elencati al punto precedente. Al suo interno è presente un'immissione in sinistra idraulica al Dugale San Michele del Fosso Santa Giustina. A Nord vi è la chiusura del bacino con l'immissione di quest'ultimo nel Diversivo Bresciana. Le condizioni della copertura del suolo non si differenziano di molto dalla sua parte di monte, vi è tuttavia una maggiore quota parte di aree permeabili.

2.1.2 Bacino del Cavo Bondeno a Est del Canalazzo Tassone

Come già descritto precedentemente la suddivisione del bacino complessivo del Cavo Bondeno a Est del Canalazzo Tassone è praticata considerando quattro principali aree afferenti a tre corrispettivi tratti di cavi collettori. In figura 4 si rintracciano oltre al Diversivo Bresciana evidenziato sempre in verde e procedendo da Ovest verso Est: Il Cavo Ariolo, Canale di Reggio III, Fossetta Pieve e Cavo Bondeno.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

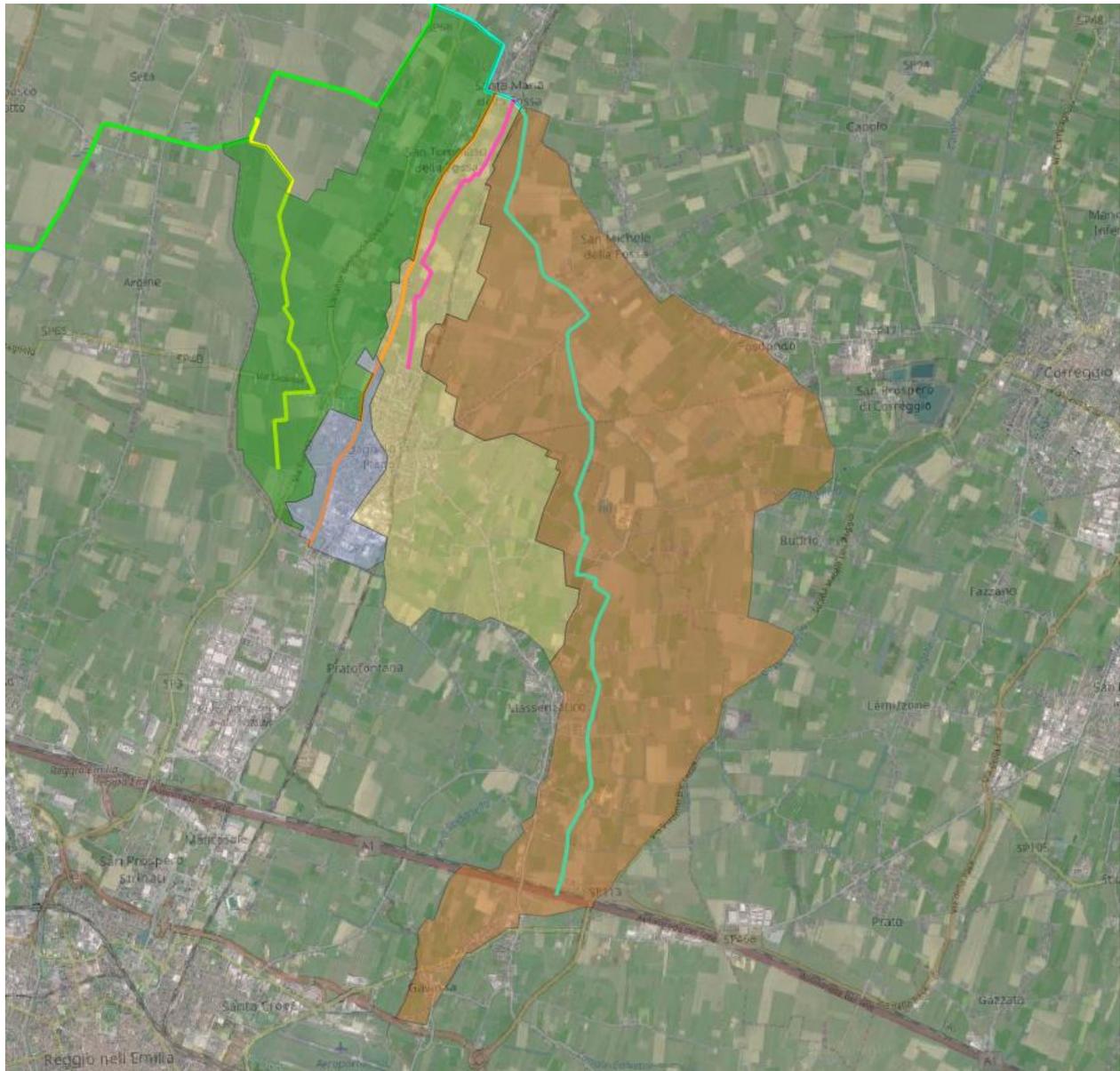


Figura 4. Aree afferenti nel bacino del Bondeno a Est del Canalazzo Tassone.

2.1.2.1 Area afferente al Diversivo Bresciana

Nel tratto del Diversivo Bresciana considerato tra la botte sottopassante il Canalazzo Tassone e l'immissione nel Cavo Bondeno sono considerati due principali sottobacini:

- Sottobacino Cavo Ariolo: estensione stimata di circa 4.69 Km². Il sottobacino in oggetto è afferente al Cavo Ariolo il quale confluisce nel Diversivo Bresciana circa 530 metri dopo che quest'ultimo ha sottopassato il Tassone. La lunghezza del Cavo Ariolo è di 5.166 metri e ha origine in un'area compresa tra le arginature del Canalazzo Tassone a Ovest e l'abitato di Bagnolo in Piano a Est. Durante il suo percorso confluiscono i cavi di scolo secondari Fosso Torto in destra idraulica e Scolo Pansa in sinistra. La tipologia di questo sottobacino è da considerarsi prettamente agricolo con edifici adibiti ad abitazione o casa rurale.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

- Sottobacino Fosso Nuovo: l'area stimata ha un'estensione di circa 3,41 Km² e le cui acque di scolo confluiscono in destra idraulica nel Diversivo Bresciana attraverso lo Scolo Via Salvi e il Fosso Nuovo. Anche questo sottobacino risulta di tipologia prevalentemente agricola con una bassa impermeabilità.

2.1.2.2 Area afferente alla Fossetta della Pieve

La Fossetta della Pieve si immette nel Bondeno 240 metri circa a monte in cui il Cavo Bondeno e il Canale di Reggio si uniscono per formare un tratto promiscuo in prossimità dell'abitato di Santa Maria della Fossa. La Fossetta della Pieve si estende per 3739 metri e nasce dalla confluenza dello Scolo Badia, in sinistra idraulica, con il Cavo Bagnoletto nuovo in destra. La sua area afferente è considerata suddivisa nei seguenti sottobacini:

- Sottobacino Fossetta della Pieve di valle: area stimata di 1.74 Km². A 2.5 Km a monte della confluenza con il Bondeno della Fossetta della Pieve confluisce in destra idraulica la Fossetta Rossa. Si riscontra che tale sottobacino è di natura prevalentemente agricola.
- Sottobacino Fossetta della Pieve di monte: Si trova a monte del precedente, possiede un'estensione di circa 1.51 Km² e si differenzia marcatamente dal precedente per via della diversa natura della copertura di suolo. Quest'ultimo è infatti di tipo urbano comprendendo una buona parte di Bagnolo in Piano e, quindi, altamente impermeabile.
- Sottobacino del Cavo Bagnoletto: è quello di maggior estensione tra i sottobacini afferenti alla Fossetta della Pieve misurando circa 4.57 Km². Si localizza a Est di Bagnolo in Piano ed è prevalente una copertura del suolo di tipo agricola.

2.1.2.3 Area afferente al Canale di Reggio III

Il Canale di Reggio è uno tra i più importanti vettori irrigui del Comprensorio di Bonifica ed è utilizzato per recapitare le acque che provengono dalla derivazione da Po di Boretto fino a lambire la periferia Nord e Est di Reggio Emilia attraverso il Cavo Parmigiana-Moglia, prima, e i sollevamenti meccanici lungo il canale stesso poi. Tuttavia si rintraccia la presenza di un sottobacino di tipo urbano il quale conferisce le acque meteoriche di scolo direttamente nel Canale di Reggio rendendolo un canale promiscuo anche se prevalentemente irriguo. Tale sottobacino è individuabile in una porzione urbana lato Ovest dell'abitato di Bagnolo in Piano e che non scola nella Fossetta della Pieve. La sua estensione è riconosciuta in circa 1.55 Km².

2.1.2.4 Area afferente al Cavo Bondeno

Come illustrato precedentemente i sottobacini elencati in seguito saranno quelli afferenti nel tratto del Cavo Bondeno a monte dell'immissione in quest'ultimo della Fossetta della Pieve e fino alla sua origine, identificata all'altezza dell'Autostrada del Sole nei pressi dell'abitato di Gavassa. Si ritiene infatti che solo un limitato appezzamento di terreno a monte dell'autostrada recapiti le acque di scolo nel Bondeno. L'intero tratto ora analizzato ha una lunghezza di circa 10.8 Km. In sintesi si individuano i seguenti sottobacini:

- Sottobacino Cavo Bondeno alto: estensione stimata di circa 5.65 Km². Si riconosce quest'ultimo sottobacino nella parte altimetricamente più elevata del tratto di Cavo in oggetto ricevendo anche, come già detto, le acque di scolo di parte dei terreni intorno a Gavassa e a Est di Massenzatico. L'area afferente è di natura prevalentemente agricola con una bassa percentuale di suolo impermeabile.
- Sottobacino Cavo Bondinella Alta: area identificata in circa 2,38 Km². Le acque di scolo di tale sottobacino vengono recapitate nel Cavo Bondinella Alta, primo affluente del Bondeno in destra

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

idraulica in cui si immette 250 metri circa a valle del sottopassaggio del Canale dei Ronchi. La tipologia di copertura del suolo non differisce significativamente dal sottobacino al punto precedente.

- Sottobacino Cavo Bondanella: area stimata di circa 4.24 Km². Ricettore delle acque di scolo di questo sottobacino è il Cavo Bondanella, affluente in destra idraulica del Cavo Bondeno 1.45 Km a valle della confluenza con il Cavo Bondinella alta. Anche quest'ultimo sottobacino possiede caratteristiche prevalentemente rurali.
- Sottobacino Scolo Rabbioso: estensione di circa 4.22 Km². Lo scolo Rabbioso confluisce nel Cavo Bondeno sempre in destra idraulica 1.4 Km a valle della precedente immissione del Cavo Bondinella alta. Lo Scolo Rabbioso riceve a sua volta le acque scolanti provenienti dalle aree circostanti la frazione di Fosdondo attraverso la Fossetta Fosdondo e il Dugale di Fosdondo, affluente di quest'ultimo. La tipologia del sottobacino in oggetto non varia sostanzialmente dai precedenti.
- Sottobacino Cavo Bondeno basso: area stimata di circa 4.58 Km². Si riconosce tale sottobacino nella parte altimetricamente più depressa del tratto di Cavo analizzato, ossia tra l'immissione dello Scolo Rabbioso e quello della Fossetta Pieve. Anche quest'ultimo sottobacino dell'area afferente è tipicamente di tipologia agricola adibita a coltivazione.

3 MODELLAZIONE IDROLOGICA

In seguito allo studio globale del bacino idrografico complessivo del Cavo Bondeno e alla sua suddivisione in aree afferenti e sottobacini si è proceduto a creare un modello che simulasse il suo comportamento se sollecitato da eventi di pioggia. Le precipitazioni si configurano come l'input del modello mentre gli output si configurano come idrogrammi di piena in uscita dai vari sottobacini e dai rami che schematizzano il trasporto di corrente. Tra tutti questi, in particolare, il più importante è l'idrogramma in uscita alla sezione di chiusura del bacino (confluenza del Diversivo Bresciana) complessivo il quale rappresenta, a sua volta, l'input per il modello idraulico che verrà descritto più avanti.

3.1 TIPOLOGIA DI ANALISI IDROLOGICA

In seguito si descrivono in via generale i metodi utilizzati nell'analisi idrologica e la tipologia di parametri atti a schematizzare i processi di afflussi-deflussi e le perdite idrologiche del bacino oggetto di studio. La modellazione è stata eseguita utilizzando il software Hec-Hms dell'Army Corps of Engineers.

3.1.1 Perdite idrologiche

Per la stima delle perdite idrologiche per ogni sottobacino individuato si è fatto uso del metodo del Soil Conservation Service (SCS) Curve Number (CN) il quale calcola la quota parte di precipitazione che compone il deflusso come funzione della copertura ed uso del suolo, condizioni di umidità del terreno preesistenti e precipitazione totale cumulata attraverso la formula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Dove:

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

P_e : precipitazione totale in eccesso al tempo t

P : precipitazione totale al tempo t

I_a : perdita iniziale

S : massima ritenzione potenziale, ossia la capacità del bacino di immagazzinare al suo interno quota parte dell'afflusso meteorico.

P_e e I_a sono stimati attraverso le correlate formule empiriche:

$$I_a = 0.2S$$

$$P_e = \frac{(P - S)^2}{P + 0.8S}$$

A sua volta la massima ritenzione S è ricavata attraverso la relazione empirica:

$$S = \frac{25400 - 254C}{C}$$

Il valore di CN (Curve Number) riassume l'attitudine specifica del bacino di produrre deflusso. Con valori di CN uguali o prossimi allo 0 si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna" cioè viene assorbita e trattenuta la totalità della precipitazione. Con valori di CN uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente in deflusso creando l'evento di piena. Per quanto concerne la natura del suolo, l'SCS ha individuato quattro classi di permeabilità: A, B, C e D.

- Gruppo A: capacità di infiltrazione molto elevata, scarsa potenzialità di deflusso; molto permeabile.
- Gruppo B: elevata capacità di infiltrazione, moderata potenzialità di deflusso; poco permeabile.
- Gruppo C: scarsa capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso moderatamente alta; quasi impermeabile.
- Gruppo D: scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione, potenzialità di deflusso elevata; impermeabile.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità antecedenti la precipitazione, sempre l'SCS ha definito 3 classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti:

Tabella 1

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti (mm)
I Terreno secco	$0 < P < 50$
II Umidità media	$50 < P < 110$
III Terreno da mediamente umido a saturo	$P > 110$

Tenendo conto delle classi AMC e della stagione in cui ricade l'evento in esame si hanno le seguenti espressioni per la valutazione del CN:

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

$$C(I) = \frac{4.2 \cdot C(II)}{10 - 0.058 \cdot C(II)}$$

$$C(II) = \frac{23 \cdot C(I)}{10 + 0.13 \cdot C(I)}$$

Il valore di CN(II) lo si può rintracciare in figura 5.

Tipologie di uso del suolo	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88	81-91
Pascoli	39-68	61-79	74-86	80-89
Prati	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77	83
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione è sottobosco	25	55	70	77
Aree a parco e di fruizione ricreativa:				
- con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74	80
- con copertura erbacea dal 50 al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabili per il 185%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con percentuale media impermeabile:				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi, aree coperte (impermeabili)	98	98	98	98
Strade:				
- asfaltate	98	98	98	98
- inghiaiata	76	85	89	91

Figura 5. Handbook of Hydrology D.R. Maidment, 1992.

3.1.2 Trasformazione afflussi-deflussi

Per la modellazione della trasformazione afflussi-deflussi, è stato utilizzato il metodo dell'idrogramma unitario di Clark, un modello di trasformazione lineare che rappresenta esplicitamente i

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

processi fisici di della traslazione e della laminazione del deflusso superficiale. Il modello si basa sullo schema di invaso lineare. In particolare si avvale dell'equazione di continuità:

$$\frac{d S_t}{d t} = I_t - O_t$$

In cui S_t rappresenta il volume d'acqua accumulato al tempo t ed I_t e O_t rispettivamente l'afflusso e il deflusso nello stesso istante, e dell'equazione dell'invaso lineare:

$$S_t = R O_t$$

Dove R è la costante di invaso. Come noto, il modello dell'invaso lineare è definito implicitamente da un diagramma Area-tempo. Nella modellazione in oggetto sarà fatto uso di una funzione semplificata adattata ad una caratteristica relazione Area-Tempo utilizzata dal codice di calcolo idrologico Hec-Hms:

$$\frac{A_t}{A} = 1.414 \left(\frac{t}{t_c} \right)^{1.5} \text{ per } t \leq \frac{t_c}{2}$$

$$\frac{A_t}{A} = 1 - 1.414 \left(1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} \text{ per } t > \frac{t_c}{2}$$

Dove A_t è il contributo d'area di bacino al tempo t , A è l'area totale del bacino e t_c è il suo tempo di corrivazione. Il metodo applicato per stimare il tempo di corrivazione T_c è proposto nel capitolo 15 del Hydrology National Engineering Handbook secondo la relazione:

$$T_c = \frac{l^{0.8} (S + 1)^{0.7}}{1140 \cdot Y^{0.5}}$$

Dove:

l : è definita come il percorso più lungo che il flusso d'acqua percorre per arrivare alla chiusura del bacino. Tale grandezza può essere stimata attraverso misure su mappa anche con i softwares GIS oppure attraverso la relazione empirica (Mockus, USDA 1973) :

$$l = 209 A^{0.9}$$

Dove la lunghezza l è espressa in piedi e l'area A in acri. E' stata utilizzata quest'ultima formulazione per ricavare il tempo di corrivazione.

Y : è la pendenza media del bacino.

S : massima ritenzione potenziale stimata attraverso la relazione:

$$S = \frac{1000}{c} - 10$$

c : è identificato come fattore di ritardo ma può essere ragionevolmente assimilato al Curve Number del sottobacino che si sta modellando.

Per quanto riguarda la scelta della **costante di invaso R** questa deve ricadere su un valore che ben rappresenti il tempo caratteristico di risposta del bacino. All'aumentare di R si simulano bacini progressivamente bacini più grandi e con maggiori capacità di invaso e laminazione. In alcune formulazioni si ritiene fondato correlare la costante di invaso al tempo di corrivazione. In seguito a numerose riscontri e tarature Mignosa e Paoletti propongono la relazione:

$$R = 0.7T_c$$

3.1.3 Flusso di base

Per approssimare il tipico comportamento osservato in un bacino idrografico di esaurimento dell'onda di piena si è fatto uso nella presente modellazione del metodo della recessione. Quest'ultimo richiede la conoscenza di 3 valori: la portata iniziale, la costante di recessione ed il rapporto di esaurimento rispetto al picco. La portata iniziale viene computata attraverso la capacità di deflusso per unità di area caratteristica del bacino espressa in $m^3/s/Km^2$. La costante di recessione descrive la velocità con cui la portata effluente decresce nel ramo di esaurimento dell'idrogramma di piena. Ovvero è identificata come il rapporto tra l'efflusso base ad un tempo t e il suo valore un giorno prima. Infine, quando il rapporto di esaurimento tra la portata all'istante t e la portata al colmo scende al di sotto di un determinato valore stabilito dall'utente viene ripristinato il deflusso di base originale del bacino.

3.1.4 Modalità di trasferimento dell'onda di piena

Per quanto riguarda le modalità di trasferimento dell'onda di piena all'interno dei rami del bacino idrografico del Cavo Bondeno si è scelto il metodo di **Muskingum-Cunge**, estensione di quello di Muskingum. Quest'ultimo infatti, per quanto popolare e di facile utilizzo, include parametri non fisicamente basati e difficili da stimare oltre a discernere da assunzioni che spesso nei corsi d'acqua non sono totalmente verificate. Tali limitazioni si ritengono superate dal metodo di Muskingum-Cunge il quale è fondato sulla combinazione delle leggi della conservazione di massa e del momento. Inoltre viene utilizzato un metodo a coefficienti variabili ricalcolando i parametri nelle equazioni del modello ad ogni istante temporale sulla base delle proprietà geometriche del ramo di canale e del suo tirante idrico, rappresentando così l'attenuazione dell'onda di piena. Il modello di Muskingum-Cunge è particolarmente adatto a configurazioni di canali con pendenza minima, situazione questa in cui il presente studio rientra completamente. Vengono quindi richieste la lunghezza dei rami, la loro pendenza, il coefficiente di scabrezza di Manning e la forma geometrica. Si può schematizzare il canale con varie forme: quelle utilizzate sono prevalentemente di forma trapezoidale e con sezioni ad otto punti.

3.1.5 Modello meteorologico

Il modello meteorologico si configura come la schematizzazione dell'input iniziale di un modello idrologico afflusso-deflussi, ossia le piogge. Già da subito va fatta distinzione tra la **modellazione di un evento di pioggia reale passato** o previsto ed uno sintetico risultante da uno studio probabilistico precedente e quindi da curve di possibilità pluviometrica. Nel primo caso si è scelto di utilizzare il metodo della media pesata sul bacino dei pluviometri sul territorio limitrofo che registrano gli eventi di pioggia.

Si fa quindi esplicito riferimento al metodo dei topoi di Thiessen suddividendo l'area di studio in zone di influenza per ogni pluviometro. Il peso di un pluviometro su un determinato sottobacino è infatti fornito dal rapporto tra l'area di intersezione del topoi e del sottobacino e l'area totale di quest'ultimo.

Per quanto riguarda invece la simulazione di un evento di pioggia derivante da curve di possibilità climatiche si inserisce un unico pluviometro fittizio correlato a tutti i sottobacini con parità di peso a cui afferisce una quantità di pioggia ragguagliata sull'intera area di interesse. I pluviometri gestiti dal Consorzio di Bonifica

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

dell'Emilia Centrale i cui topoieti ricadono all'interno del bacino idrografico del Cavo Bondeno sono quelli di Villa Argine, S.Maria, Correggio, San Martino in Rio, Masone, Reggio Emilia (Sede CBEC) e le Rotte.

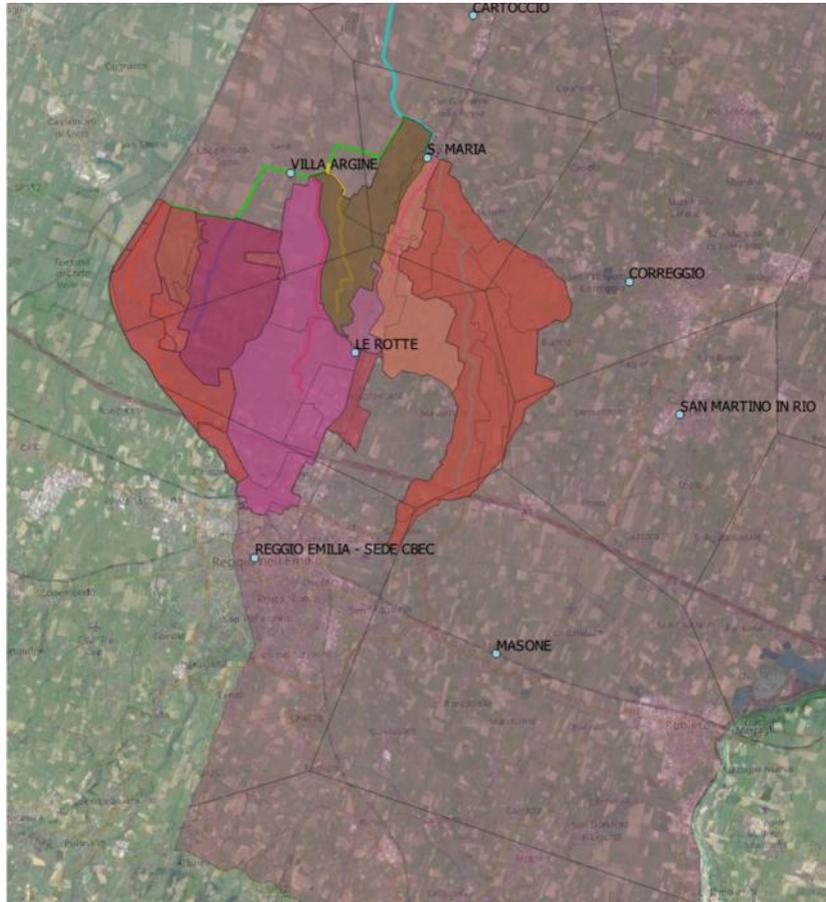


Figura 6. Topoiets con le aree afferenti dei pluviometri del Consorzio e sottobacini del Bondeno.

In tabella 2 si elencano i pesi dei pluviometri considerati all'interno di tutti i sottobacini.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Tabella 2. Pesi dei pluviometri per ogni sottobacino.

Sottobacino	Pluviometri						
	Correggio	Masone	Reggio Emilia	Rotte	S.Maria	S.Martino in Rio	Villa Argine
Fossetta Pieve monte	0	0	0	0.19522	0.80478	0	0
Fossetta Pieve valle	0	0	0	0.96684	0.033162	0	0
Ariolo	0	0	0	0.52488	0.052408	0	0.42271
Canale di Reggio III	0	0	0	1	0	0	0
Cavo Bagnoletto	0	0	0	1	0	0	0
Cavo Bondanella	0.61288	0	0	0.27233	0	0.11479	0
Cavo Bondeno alto	0	0.053529	0.0381906	0.90828	0	0	0
Cavo Bondeno basso	0.011274	0	0	0.1545	0.83423	0	0
Cavo Bondinella alta	0	0.01178	0	0.000214	0	0.98801	0
Cavo Bondinella bassa	0	0	0	0.37463	0.62537	0	0
Cavo Bresciana	0	0	0	0.50216	0	0	0.49784
Cavo Dogara	0	0	0	0	0	0	1
DugaleS.Michele monte	0	0	0.20694	0.79306	0	0	0
DugaleS.Michele valle	0	0	0	0.42859	0	0	0.57141
Fosso Nuovo	0	0	0	0	0.88879	0	0.11121
Mancasale monte	0	0	0	1	0	0	0
Mancasale valle	0	0	0	1	0	0	0
Reggio nord	0	0	0.96994	0.030057	0	0	0
Scolo Rabbioso	0.16913	0	0	0	0.83087	0	0
Cavo Barisello	0.12049	0	0	0	0.4274	0	0.45211
Villaggio Crostolo	0	0	1	0	0	0	0
Cadelbosco	0	0	0	0.43987	0	0	0.56013
Cadelbosco area industriale	0	0	0	1	0	0	0
Zurco	0	0	0	0	0	0	1

3.2 MODELLO IDROLOGICO

In seguito si descriverà come è stato costruito il modello afflussi deflussi con l'utilizzo del software Hec-Hms anche a valle delle informazioni elencate nei paragrafi precedenti. Tale modello appartiene alla tipologia a parametri concentrati.

3.2.1 Schematizzazione del bacino idrografico

I sottobacini rintracciati e descritti al capitolo 2 sono stati inseriti nel modello idrologico fornendogli, oltre all'area già misurata precedentemente, i parametri il cui significato è descritto nel precedente paragrafo. Nella schematizzazione ogni sottobacino è collegato ad un collettore ("reach") il quale determina le caratteristiche del trasporto di portata a seconda dei parametri e delle grandezze descritte al paragrafo 3.1.4. Le portate all'interno dei collettori si sommano quando questi si incontrano in una giunzione ("junction") oppure alla chiusura del bacino idrografico. La junction 11 è definita come il termine dello schema di bacino del Cavo Bondeno e quindi dove si può stimare la portata totale in uscita da questo. La junction 11 è localizzata geograficamente all'altezza del sostegno Buenos Aires o alla confluenza del Diversivo Bresciana. Ovviamente per quanto riguarda i reach, pur essendo obbligatoria una schematizzazione piuttosto spinta, si cerca di inserire grandezze come la lunghezza, la forma e la pendenza che siano analoghe a quelle dei cavi di scolo realmente presenti sul territorio.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

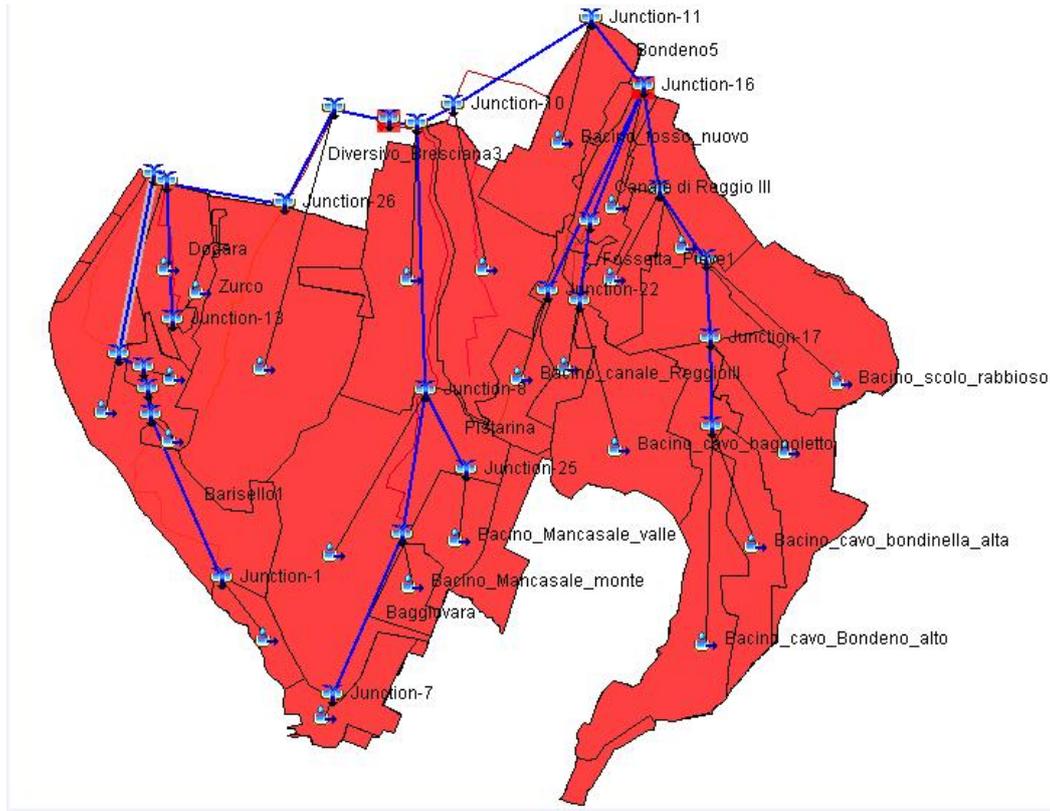


Figura 7. Schematizzazione del bacino idrografico del Cavo Bondeno in Hec-Hms.

3.2.1.1 Perdite idrologiche

In seguito, attraverso la tabella 3, si elencheranno per ogni sottobacino i valori dei parametri richiesti dal metodo SCS Curve Number, brevemente descritto al paragrafo 3.1.1

Tabella 3. Parametri del metodo SCS Curve Number per ogni sottobacino.

Sottobacino	Perdita iniziale	Curve number (CN)	Superficie impermeabile (%)
Cavo Barisello	10.405	83	4.6325
Villaggio Crostolo	5.0242	91	40.0529
Cadelbosco area industriale	3.8237	93	54.8145
Cadelbosco	6.9273	88	43.0674
Cavo Dogara	11.916	81	2.36
Zurco	8.2698	86	32.9064
Cavo Bresciana	14.328	78	0.982
Dugale San Michele monte	14.328	78	1.272
Reggio nord	6.2787	89	45.4661
Mancasale monte	5.6444	90	44.0867
Mancasale valle	5.6444	90	44.087

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Dugale San Michele valle	14.328	78	1.272
Cavo Ariolo	15.174	77	0.4922
Cavo Bondeno alto	15.174	77	0.274
Cavo Bondinella alta	16.042	76	0.0113
Cavo Bondanella	15.174	77	0.7847
Scolo Rabbioso	15.174	77	0.4601
Cavo Bondeno basso	14.328	78	1.2176
Cavo bondinella bassa	16.933	75	0.0574
Cavo Bagnoletto	15.174	77	0
Fossetta Pieve monte	5.6444	90	44.3307
Fossetta Pieve valle	15.174	77	0.6899
Canale Reggiolli	5.6444	90	41.2994
Fosso nuovo	15.174	77	0.6976

3.2.1.2 Trasformazione afflussi deflussi

Come specificato nel paragrafo 3.1.2 il metodo utilizzato nella trasformazione afflussi deflussi è quello di Clark. Si devono quindi rintracciare per ogni sottobacino il tempo di corrivazione e la costante di invaso, derivanti a loro volta dai valori di Curve Number, lunghezza percorso più lungo dell'acqua e pendenza media dei sottobacini. Questi ultimi due valori sono elencati in tabella 4. Il valore delle lunghezze di percorso è espressa sia in piedi, come nella formulazione utilizzata al paragrafo 3.1.2 sia in metri per una più agevole comprensione di chi legge. In tabella 5 sono invece elencati i correlati tempi di corrivazione e costanti di invaso.

Tabella 4. Valori di pendenza e lunghezza percorso più lungo del flusso d'acqua per ogni sottobacino.

Sottobacino	<i>l (ft)</i>	<i>l (m)</i>	<i>Y (%)</i>
Cavo Barisello	18650.56	8602	0.2
Villaggio Crostolo	3280.84	1000	0.132
Cadelbosco area industriale	328.084	100	0.2
Cadelbosco	6233.596	1900	0.2
Cavo Dogara	8764.53	2411	0.2
Zurco	1820.87	555	0.2
Cavo Bresciana	21885.25501	6670.25	0.2
Bacino Dugale San Michele monte	22070.23	6727	0.127
Reggio nord	7990.129	3814	0.0169
Mancasale monte	5743.014	2435.39	0.03

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Mancasale valle	7702.59	2347.75	0.03
Dugale San Michele valle	15019.66	4578	0.1276
Cavo Ariolo	14411.78	4392.71	0.0719
Cavo Bondeno alto	16111.397	4910.75	0.16448
Cavo Bondinella alta	9596.903	2925.136	0.1884
Cavo Bondanella	13568.55	4135.695	0.1449
Scolo Rabbioso	13525.412	403.985	0.1036
Cavo Bondeno basso	14205.925	4329.97	0.0638
Cavo bondinella bassa	7504.63	2287.411	0.1148
Cavo Bagnoletto	14187.588	4324.37	0.1832
Fossetta Pieve monte	7312.72	2228.918	0.197
Fossetta Pieve valle	7951.096	2423.494	0.2
Canale Reggiolli	7414.652	2259.986	0.127
Fosso nuovo	11907.709	3629.47	0.1664

Tabella 5. Tempo di corrivazione e costante di invaso per ogni sottobacino.

Sottobacino	Tc (h)	R
Cavo Barisello	11.168	7.8174
Villaggio Crostolo	2.5389	1.7772
Cadelbosco area industriale	0.2992	0.20944
Cadelbosco	3.8894	2.7225
Cavo Dogara	6.5148	4.5604
Zurco	1.5651	1.0955
Cavo Bresciana	14.86574	10.406
Bacino Dugale San Michele monte	18.781	13.147

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Reggio nord	4.9639	3.4747
Mancasale monte	2.7479	1.9235
Mancasale valle	4.6304	3.2413
Dugale San Michele valle	13.772	9.6401
Cavo Ariolo	18.288	12.801
Cavo Bondeno alto	13.20616	9.2443
Cavo Bondinella alta	8.4037	5.8826
Cavo Bondanella	12.276	8.5929
Scolo Rabbioso	14.481	10.136
Cavo Bondeno basso	18.627	13.039
Cavo bondinella bassa	9.1026	6.3718
Cavo Bagnoletto	11.314	7.9197
Fossetta Pieve monte	4.0965	2.8676
Fossetta Pieve valle	6.8136	4.7695
Canale Reggion III	5.1811	3.6268
Fosso nuovo	10.319	7.2232

3.2.1.3 Modellazione flusso di base

In tabella 6 sono elencati parametri numerici che vengono utilizzati per quantificare il flusso di base attraverso il metodo di portata unitaria di area e delle recessione costante come descritto al paragrafo. Per semplicità tutti e 3 i parametri sono stati considerati uguali in ogni sottobacino anche se non si esclude possano esserci alcune differenze in merito alla portata unitaria per chilometro quadrato soprattutto tra i sottobacini posti più a monte e quelli più a valle verso la bassa pianura.

Tabella 6. Parametri inseriti per la modellazione del flusso di base in uscita dai sottobacini.

Portata iniziale (m ³ /s/Km ²)	Costante di recessione(-)	Rapporto di esaurimento(-)
0.0124	0.9	0.15

3.2.1.4 Modalità di trasferimento dell'onda di piena

Si elencano in questo sottoparagrafo le caratteristiche dei collettori inseriti nello schema del bacino del Cavo Bondeno all'interno del modello idrologico in Hec-Hms in cui viene fatto uso del metodo di Muskingim-Cunge. I collettori che schematizzano i cavi di scolo vengono numerati da monte verso valle. Vi è da aggiungere che un limitato tratto del Cavo Barisello scorre a sezione circolare chiusa al di sotto dell'abitato di Cadelbosco con diametro di 1.4 m.

Tabella 7. Caratteristiche geometriche e di scabrezza dei collettori schematizzati nel modello idrologico.

Sottobacino	Lunghezza (m)	Pendenza (%)	numero di Manning	Forma	Diametro (m)	Larghezza fondo (m)
Barisello1	2853	0.0003	0.0333	Trapezoidale		2
Barisello2	372	0.0003	0.0333	Trapezoidale		2
Barisello3	499	0.00005	0.0166667	Circolare	1.4	

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Barisello4	469	0.0003	0.0166667	Circolare	1.4	
Barisello5	3412	0.000314654	0.0333333	Trapezoidale		2
Diversivo_Bresciana1	195	0.0086359	0.0333333	Otto punti		
Dogara	2397	0.0037484	0.0333333	Trapezoidale		1.8
Diversivo_Bresciana2	1884	0.000298248	0.0333333	Otto punti		
Diversivo_Bresciana3	1909	0.000263594	0.0333333	Otto punti		
Diversivo_Bresciana4	504	0.000257341	0.0333333	Otto punti		
Diversivo_Bresciana5	599	0.000352588	0.0333333	Otto punti		
Baggiovara	3227	0.0012092	0.0333333	Trapezoidale		1.5
Dugale_S.Michele1	2385	0.0010742	0.0333333	Trapezoidale		1.5
Pistarina	2458	0.0015134	0.0333333	Trapezoidale		0.9
Dugale_S.Michele2	4471	0.0012709	0.0333333	Trapezoidale		2.5
Diversivo_Bresciana7	648	0.00035108	0.0333333	Otto punti		
Diversivo_Bresciana8	3289	0.000418729	0.0333333	Otto punti		
Bondeno1	1450	0.0012542	0.0333333	Trapezoidale		1.7
Bondeno2	1410	0.000888369	0.0333333	Trapezoidale		2.5
Bondeno3	1418	0.000903738	0.0333333	Trapezoidale		2
Bondeno4	1743	0.000762306	0.0333333	Otto punti		
Fossetta_Pieve1	1410	0.00077156	0.0333333	Trapezoidale		1
Fossetta_Pieve2	2508	0.000674203	0.0333333	Trapezoidale		2
Canale di Reggio III	5999	0.000572312	0.0333333	Trapezoidale		1.5
Bondeno5	1950	0.0017858	0.0333333	Otto punti		

Per quanto riguarda i tratti di collettori la cui sezione è schematizzata con la possibilità di inserire otto punti le caratteristiche geometriche derivano appunto dalla scelta della posizione di questi ultimi.

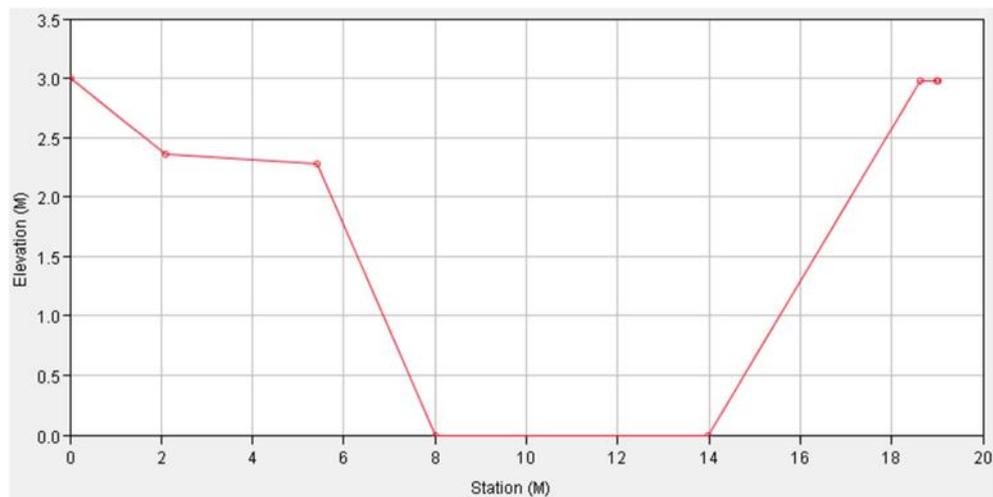


Figura 8. Sezione a 8 punti per il collettore Diversivo Bresciana 1.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

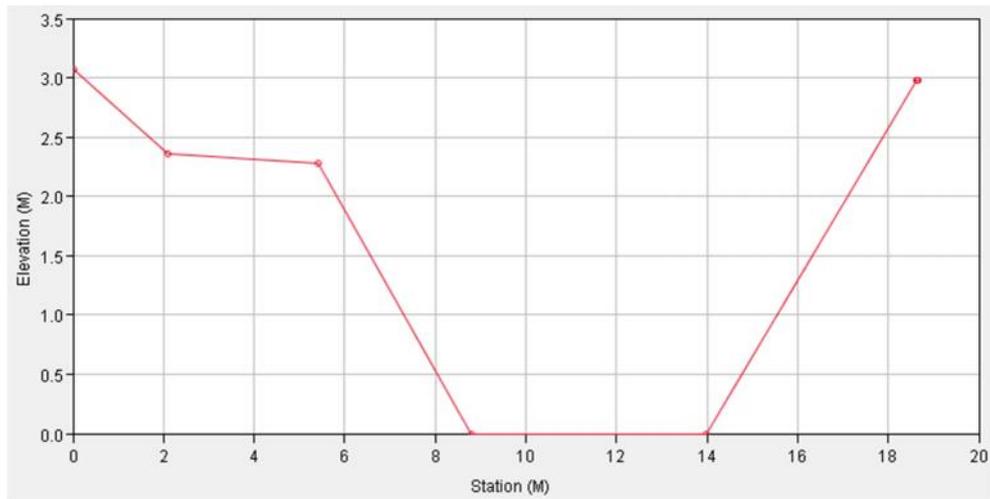


Figura 9. Sezione a 8 punti per il collettore Diversivo Bresciana 2 e 3.

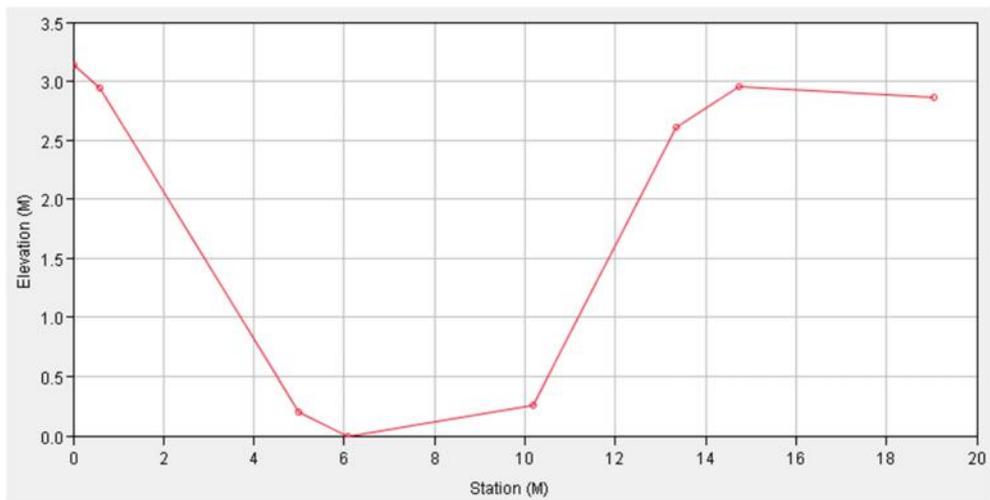


Figura 10. Sezione a 8 punti per il collettore Diversivo Bresciana 4 e 5.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

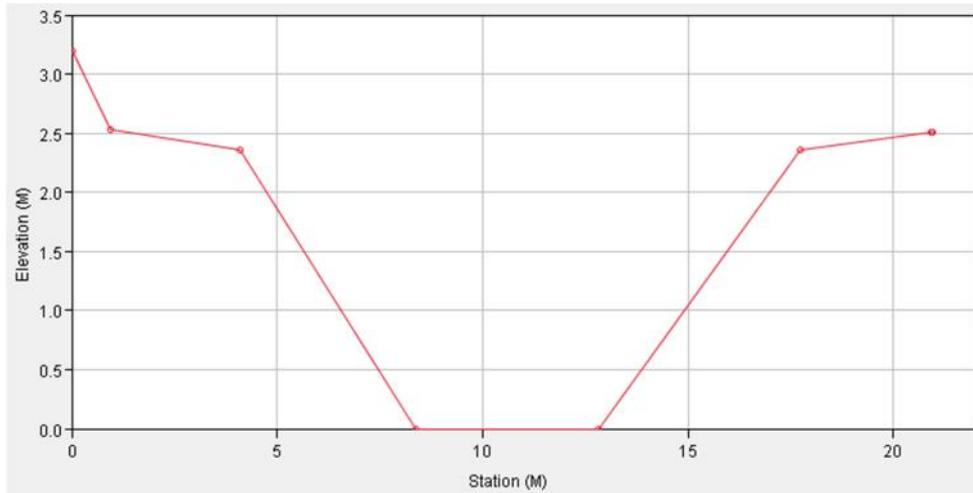


Figura 11. Sezione a 8 punti per il collettore Diversivo Bresciana 6.

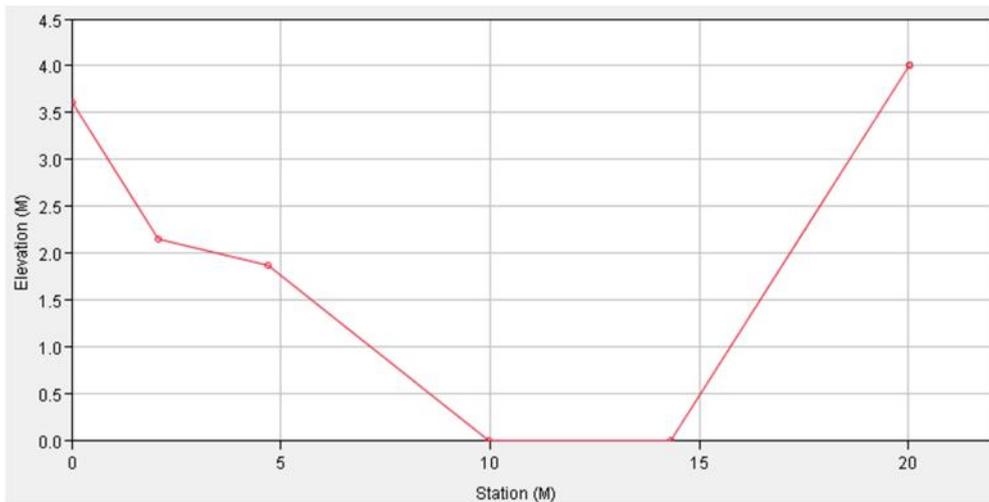


Figura 12. Sezione a 8 punti per il collettore Diversivo Bresciana 7.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

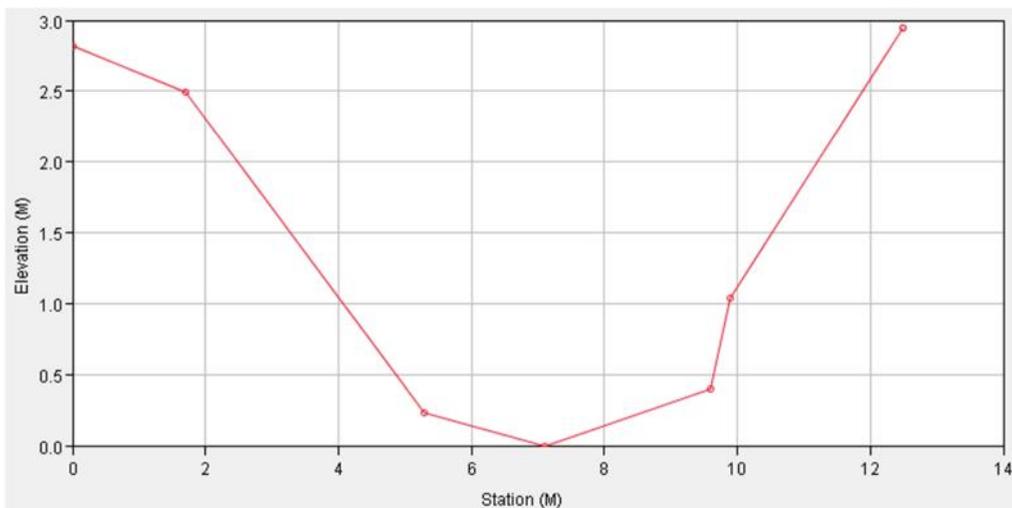


Figura 13. Sezione a 8 punti per il collettore Bondeno 4.

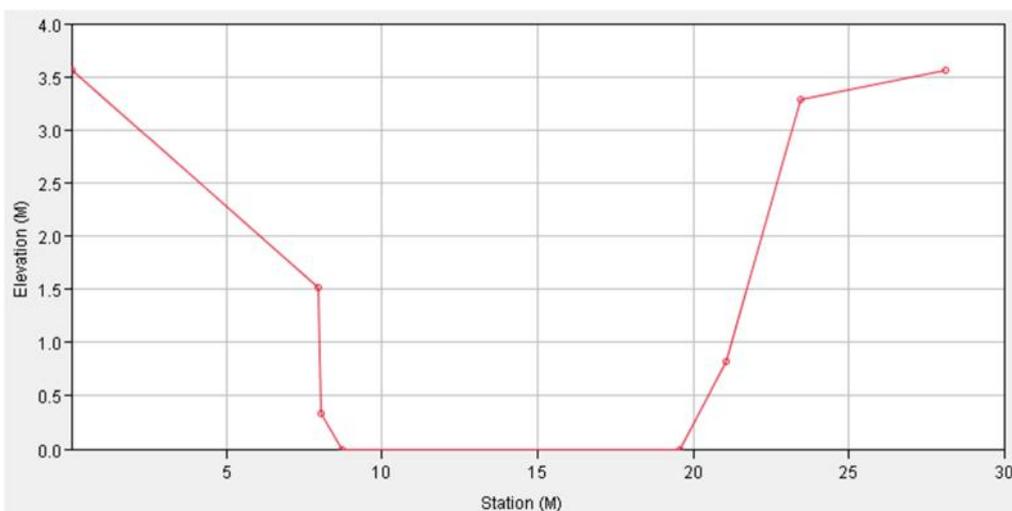


Figura 14. Sezione a 8 punti per il collettore Bondeno 5.

3.2.2 Modellazione eventi pluviometrici

Come già accennato nella presente modellazione sono inserite precipitazioni di eventi passati realmente registrate ai pluviometri a disposizione ed eventi di pioggia ricreati con un determinato tempo di ritorno attraverso le curve di possibilità pluviometrica.

3.2.2.1 Curve di possibilità pluviometrica

Precedenti studi statistici sulle precipitazioni storiche registrate alle stazioni pluviometriche del Consorzio di Bonifica dell'Emilia centrale hanno permesso di estrapolare delle curve di possibilità pluviometriche per vari comparti del comprensorio. In particolare, si farà uso di una curva di possibilità pluviometrica stimata per il bacino del Cavo Bondeno. La forma di quest'ultima è quella di un'espressione esponenziale monomia a due parametri nella forma:

$$h = at^n$$

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

dove h e t rappresentano rispettivamente l'altezza in millimetri e la durata in ore della pioggia mentre a ed n sono due parametri statistici di cui il primo è funzione del tempo di ritorno dell'evento di pioggia.

Tabella 8. Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometriche per diversi tempi di ritorno nel bacino del Bondeno (A.Marinelli 2005).

T (anni)	a (mm)	n (-)
5	36.24	0.18
10	41.58	0.18
20	46.68	0.17
25	48.3	0.17
50	53.29	0.17
100	58.23	0.16
200	63.15	0.16
500	69.24	0.16

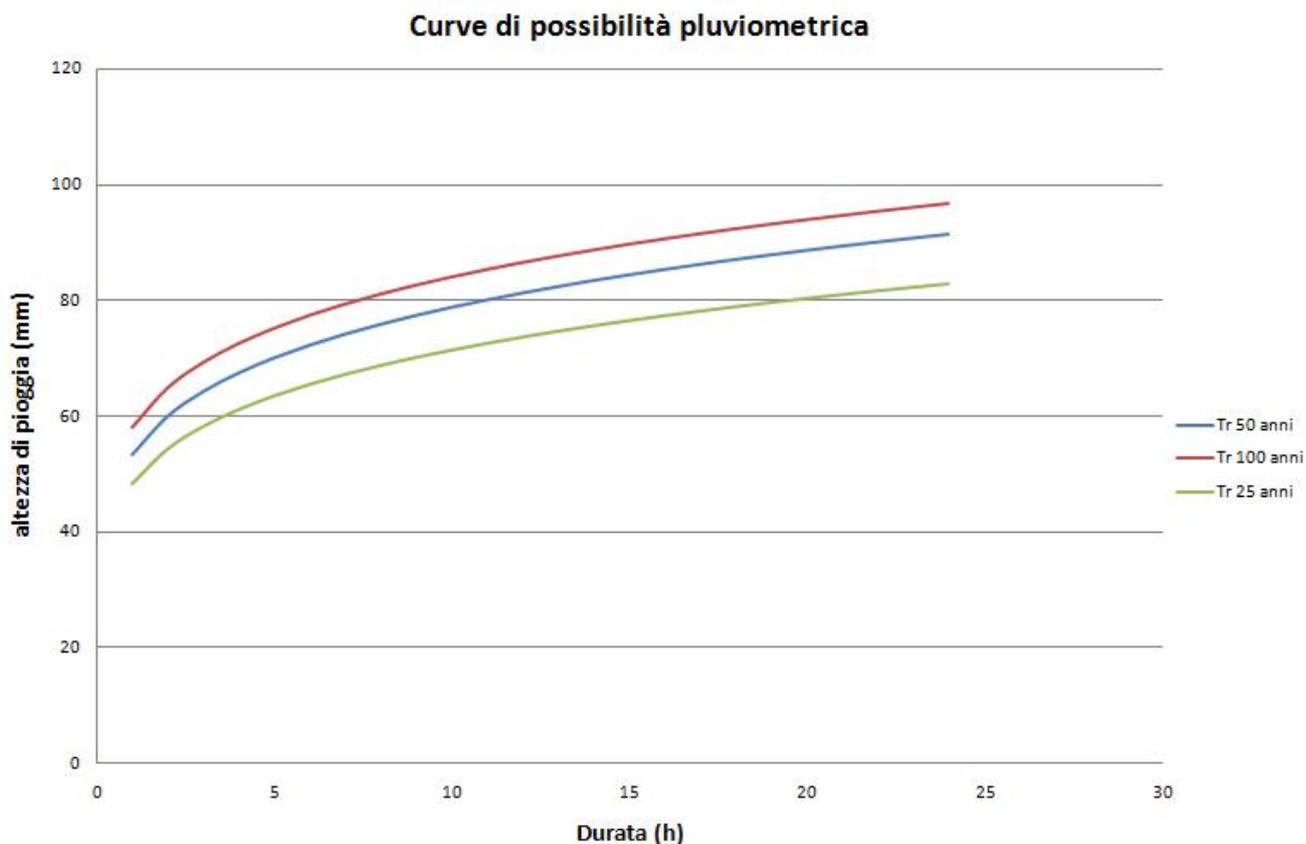


Figura 15. Curve di possibilità pluviometrica stimate per il bacino del Bondeno con 25, 50 e 100 anni di tempo di ritorno.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

3.2.2.2 Tempo critico di pioggia

Il tempo critico di pioggia per un bacino idrografico è la durata di precipitazione tale per cui la portata in uscita alla chiusura di quest'ultimo raggiunge il massimo colmo di piena. Durate di pioggia inferiori o maggiori hanno infatti portate al colmo inferiori.

Per lo studio in oggetto il tempo di pioggia critico del bacino del Cavo Bondeno è stato ricercato inserendo come input piogge di intensità costante con differenti durate.

Le intensità con scansione oraria inserite sono date dall'accumulo totale calcolato con la formula monomia della curva di possibilità pluviometrica scelta diviso per il totale di ore della durata della precipitazione. Le piogge inserite nel modello sono calcolate attraverso la curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno 25 anni. Si precisa che l'intervallo temporale della modellazione è scelto tra le 00:00 del 12 novembre 2018 e le 24:00 del 18 novembre 2018 non ha motivazioni di particolare importanza. Si sono analizzati i diagrammi di portata in uscita derivanti da piogge che hanno durate dalle 15 alle 26 ore. Si illustrano nelle figure 16, 17 e 18 seguenti alcuni grafici di Hec-hms rappresentanti gli istogrammi inseriti.



Figura 16. Istogramma costante di durata 15 ore.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

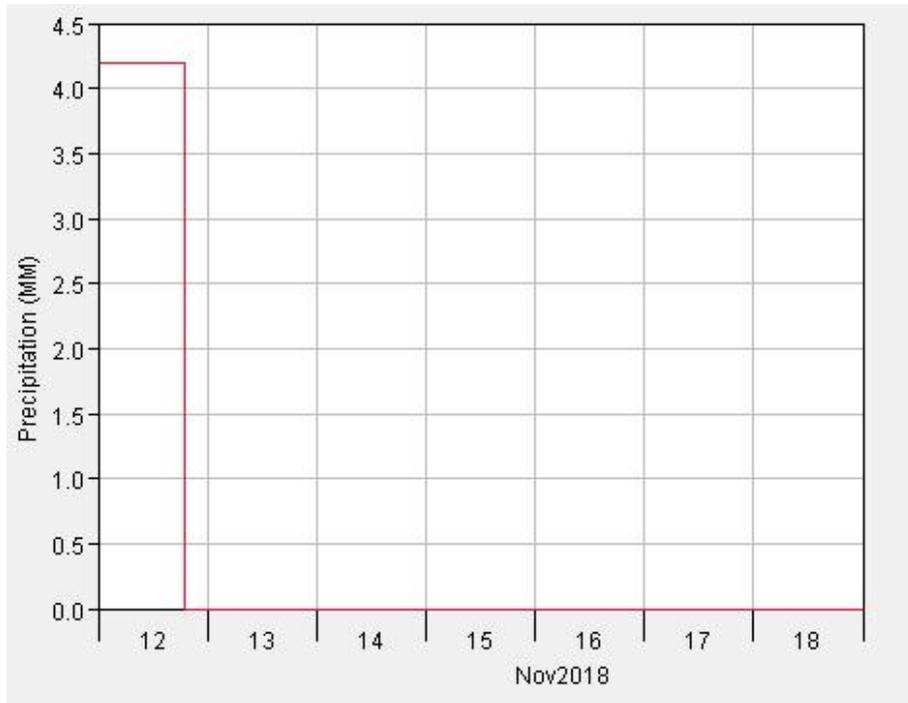


Figura 17. Ietogramma costante di durata 19 ore.

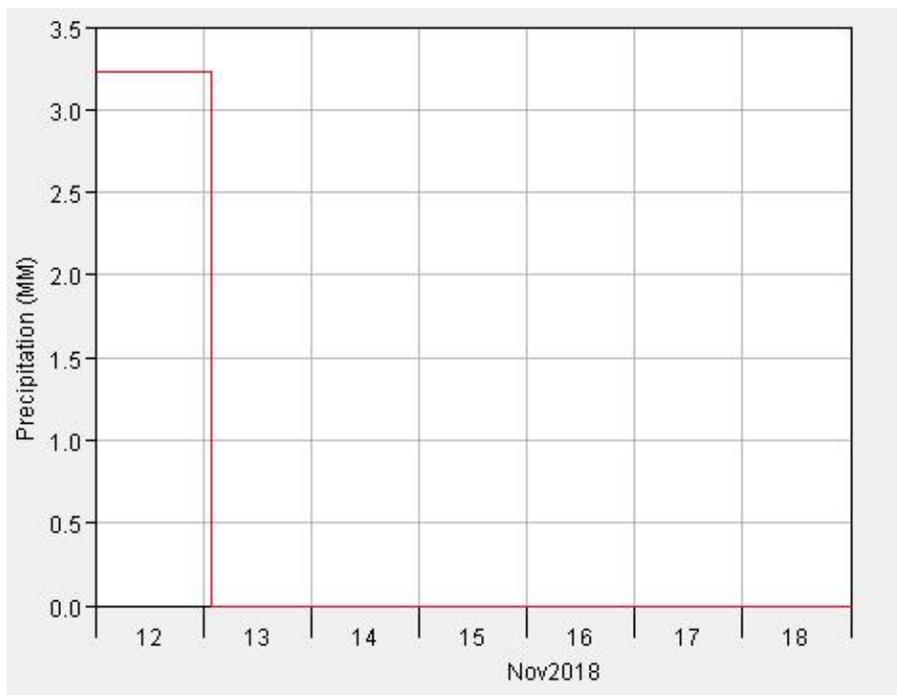


Figura 18. Ietogramma costante di durata 26 ore.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

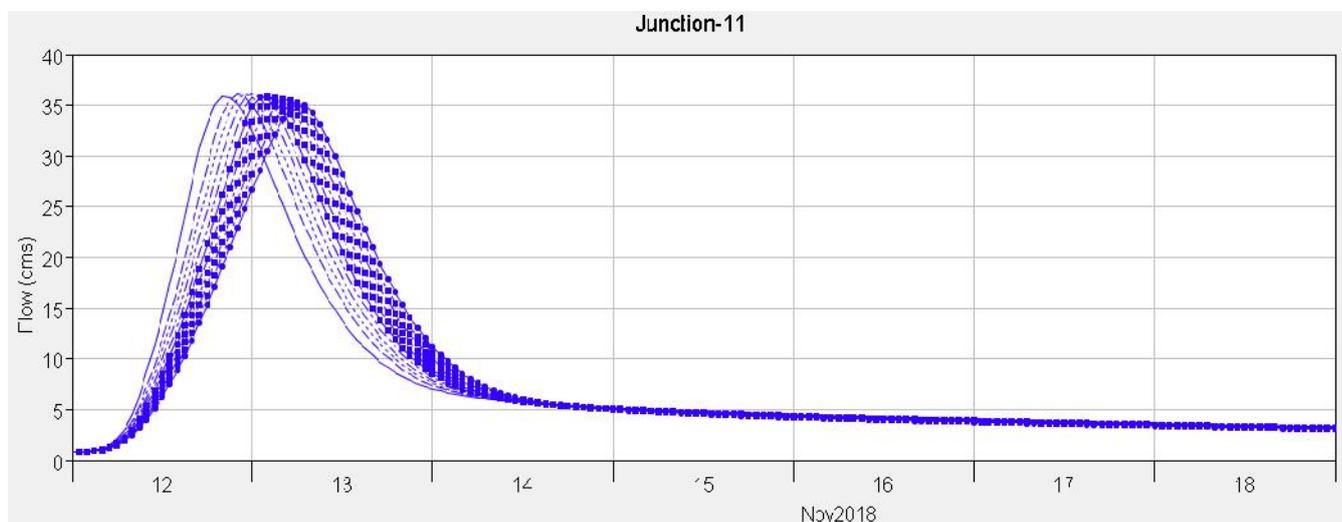


Figura 19. Involuppo degli idrogrammi di piena con piogge di durata da 15 a 26 ore e tempo di ritorno 25 anni.

Tra gli idrogrammi di piena rappresentati nel grafico di figura 19 quello con la portata al colmo più elevata è quello risultante da un input di pioggia di durata 19 ore.

Sempre in figura 19 si può osservare il ramo di esaurimento degli idrogrammi di piena, modulato dai parametri immessi definiti al paragrafo 3.2.1.3 per la modellazione del flusso di base. La portata al colmo raggiunta dalla pioggia costante di durata 19 ore è di $36.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.2.3 Modellazione eventi idrologici reali

Attraverso il modello idrologico costruito si è cercato di riprodurre alcuni eventi di piena passati. Vi è da considerare che gli unici dati storici a disposizione totalmente completi sono quelli riguardanti le altezze di piogge registrate ai pluviometri di interesse. Gli idrometri di interesse per il presente studio sono quelli di Villa argine, S.Maria e Sirona, dove sono posizionati gli omonimi pluviometri. Un'altra stazione idrometrica importante al di fuori del bacino idrografico del Bondeno è anche quella di ponte Testa, 2.8 Km circa a valle dell'immissione del Bondeno nel Cavo Parmigiana Moglia. Questo idrometro è di fondamentale importanza per avere informazioni riguardanti i livelli del Cavo Parmigiana Moglia e quindi anche l'entità del rigurgito che risale il Cavo Bondeno. Vi è da osservare che le registrazioni storiche sui dati idrometrici non sono così complete come quelle dei dati pluviometrici essendo affette da lacune temporali piuttosto lunghe. Fortunatamente alcuni colmi di piena di interesse sono stati registrati e quindi si hanno a disposizione almeno i massimi livelli idrometrici raggiunti in tali eventi. Non sono presenti nell'area oggetto di studio misuratori di portata anche se si può ragionevolmente auspicare un aumento di tali dispositivi in un futuro non troppo remoto. Gli eventi storici reali di cui si hanno dati registrati e sono:

- dalle 00:00 del 3 novembre 1999 alle 24:00 del 22 novembre 1999
- dalle 00:00 del 12 dicembre 2002 alle 24:00 del 23 dicembre 2002
- dalle 00:00 del 31 ottobre 2003 alle 24:00 del 14 novembre 2003
- dalle 00:00 del 25 ottobre 2004 alle 24:00 del 18 novembre 2004
- dalle 00:00 del 3 novembre 2005 alle 24:00 del 22 novembre 2005

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Nelle figure seguenti si mostrano gli idrogrammi di portata stimata in uscita alla chiusura del bacino del Bondeno individuato alla confluenza con il Diversivo Bresciana (sostegno Buenos Aires).

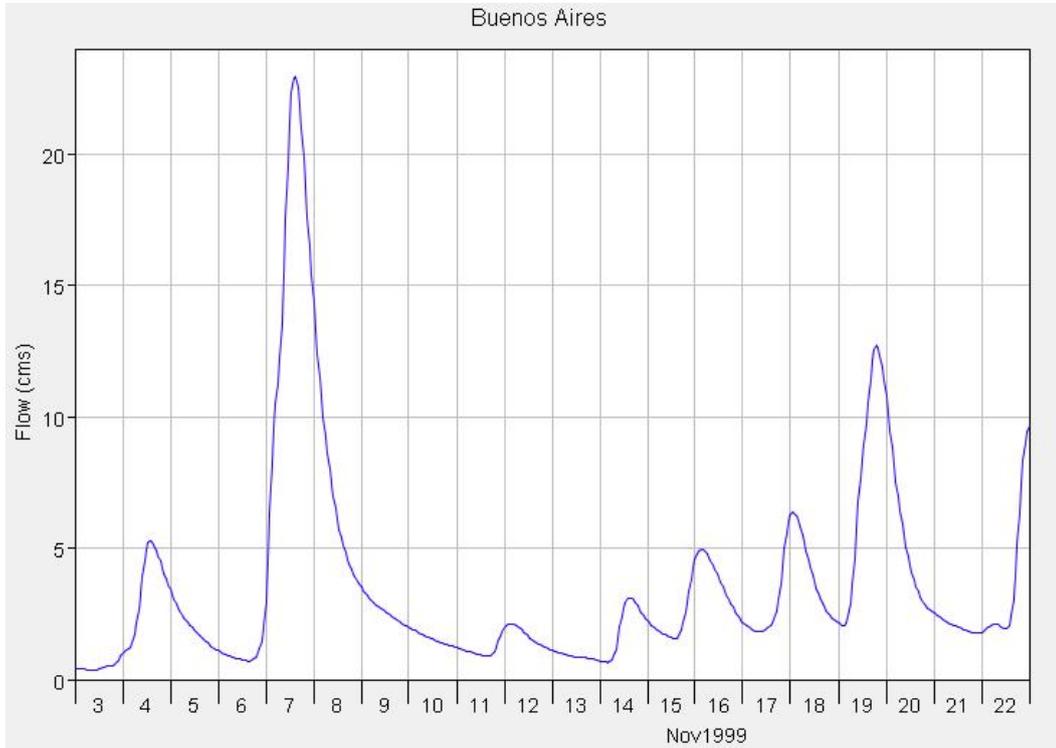


Figura 20. Idrogramma di piena stimata in uscita dal bacino scolante del Bondeno nell'evento del 1999.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

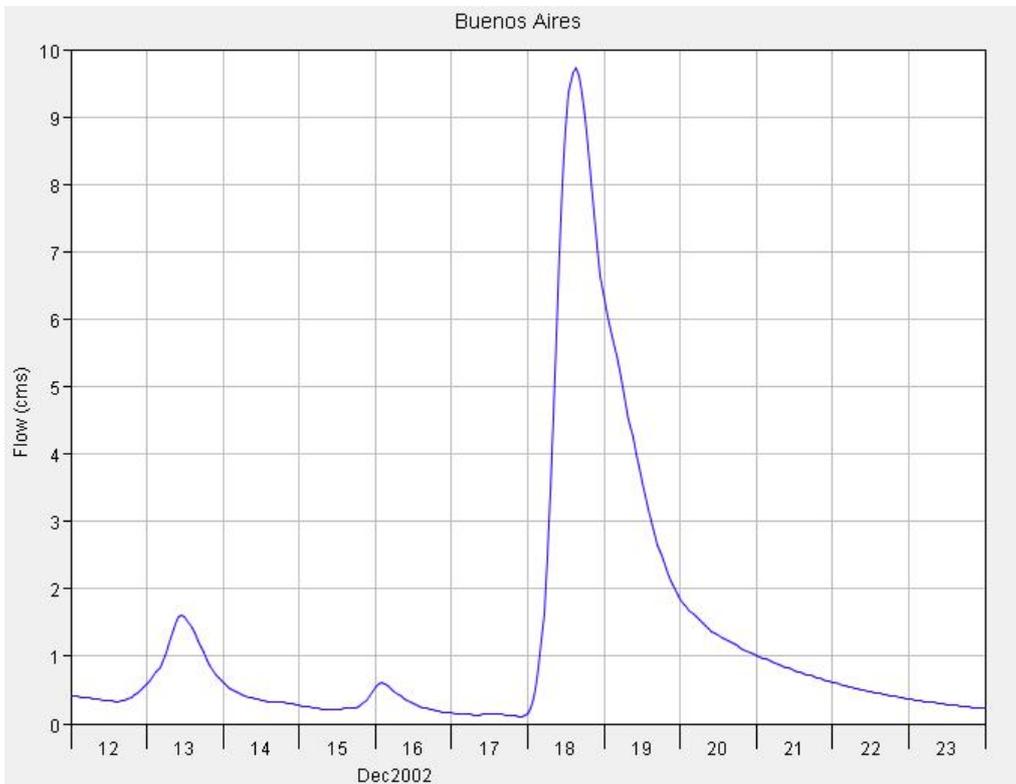


Figura 21. Idrogramma di piena stimata in uscita dal bacino scolante del Bondeno nell'evento del 2002.

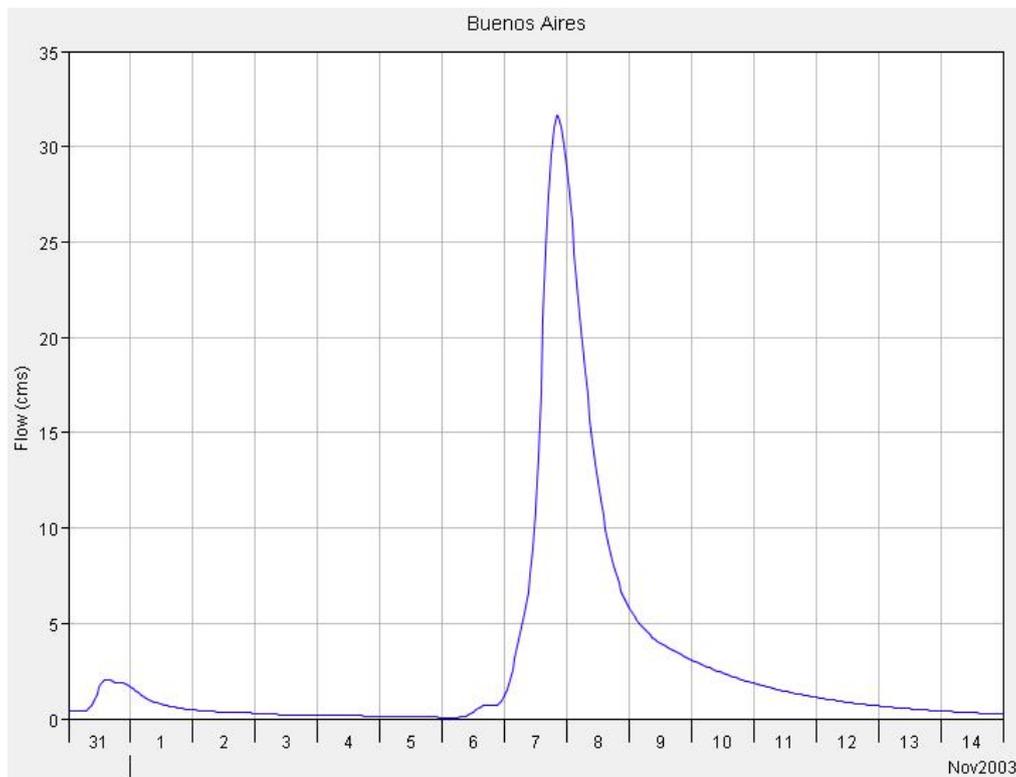


Figura 22. Idrogramma di piena stimata in uscita dal bacino scolante del Bondeno nell'evento del 2003.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

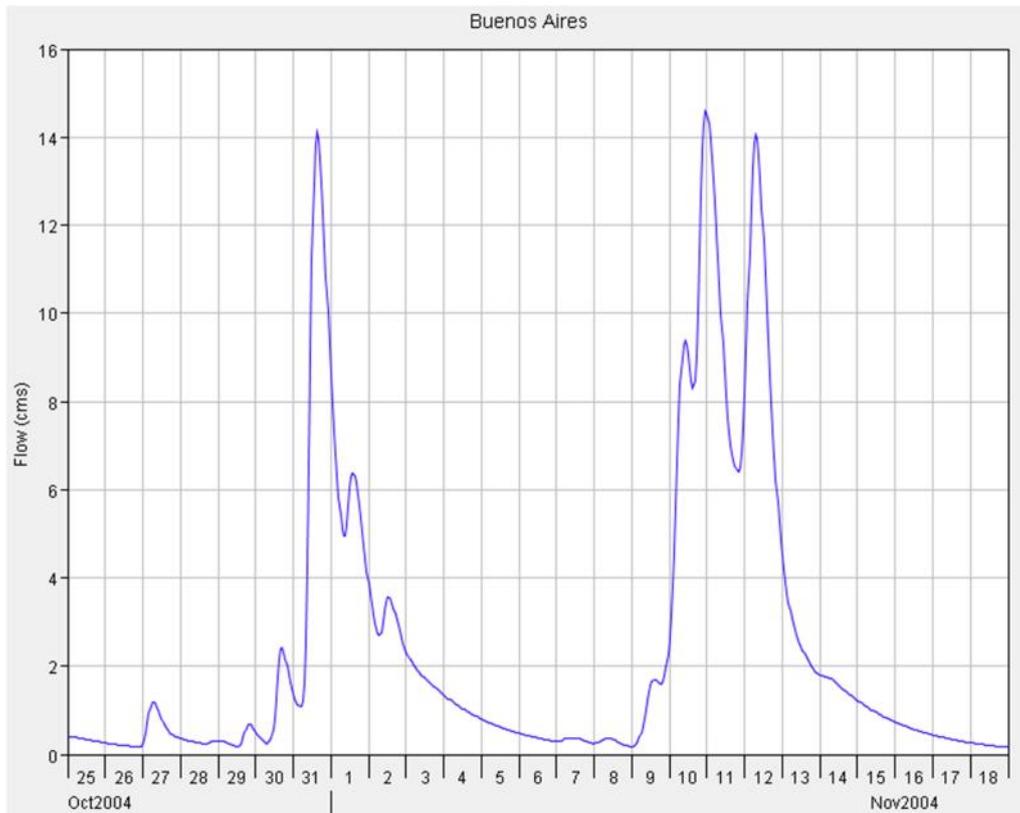


Figura 23. Idrogramma di piena stimata in uscita dal bacino scolante del Bondeno nell'evento del 2004.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

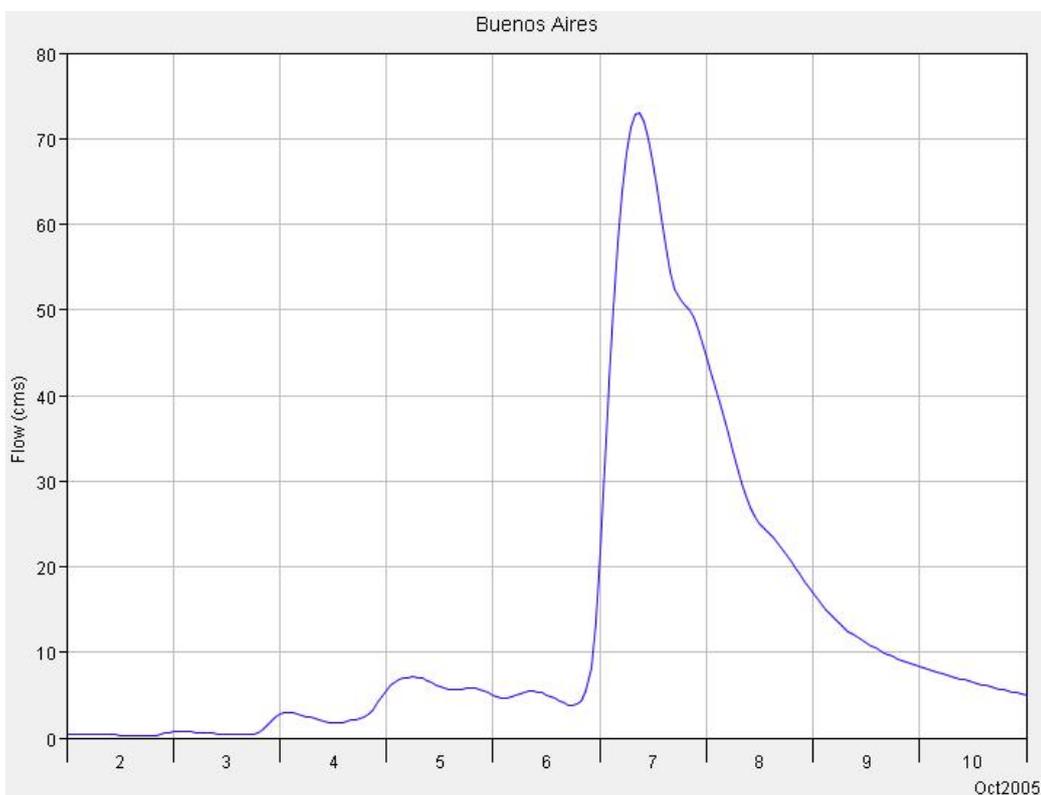


Figura 24. Idrogramma di piena stimata in uscita dal bacino scolante del Bondeno nell'evento del 2005.

Dalla figura 24 appare subito come l'evento dell'ottobre 2005 sia stato estremamente gravoso con una portata al colmo in uscita dal bacino stimata in 73.1 m³/s. Nelle figure seguenti si illustrano i grafici degli ietogrammi di pioggia registrati alle stazioni pluviometriche di interesse per quest'ultimo evento.

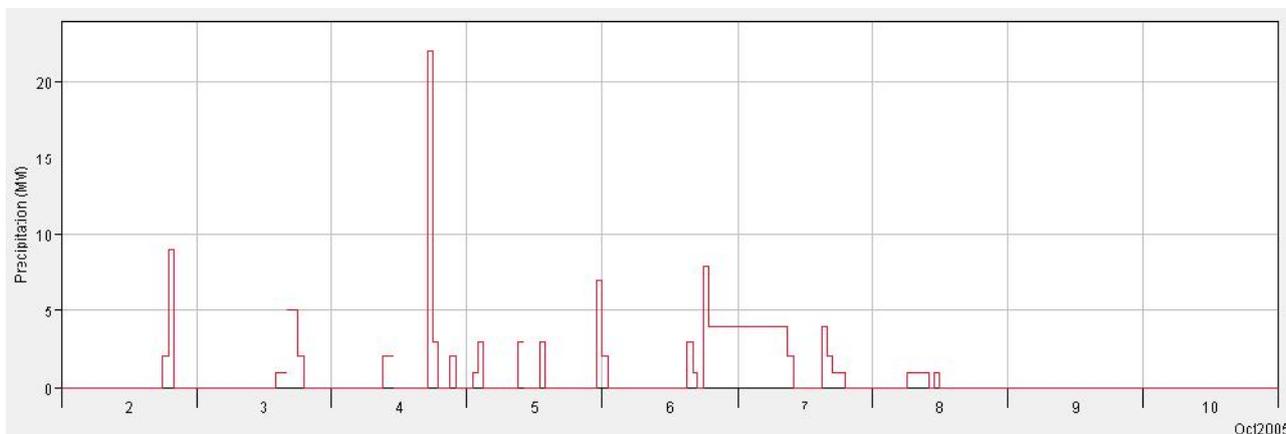


Figura 25. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di Correggio.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

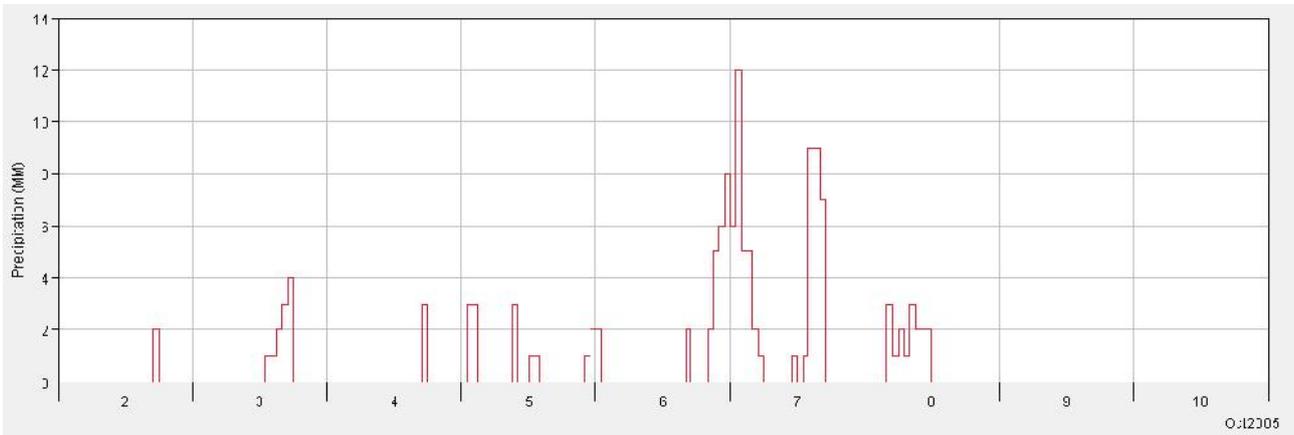


Figura 26. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di Masone.

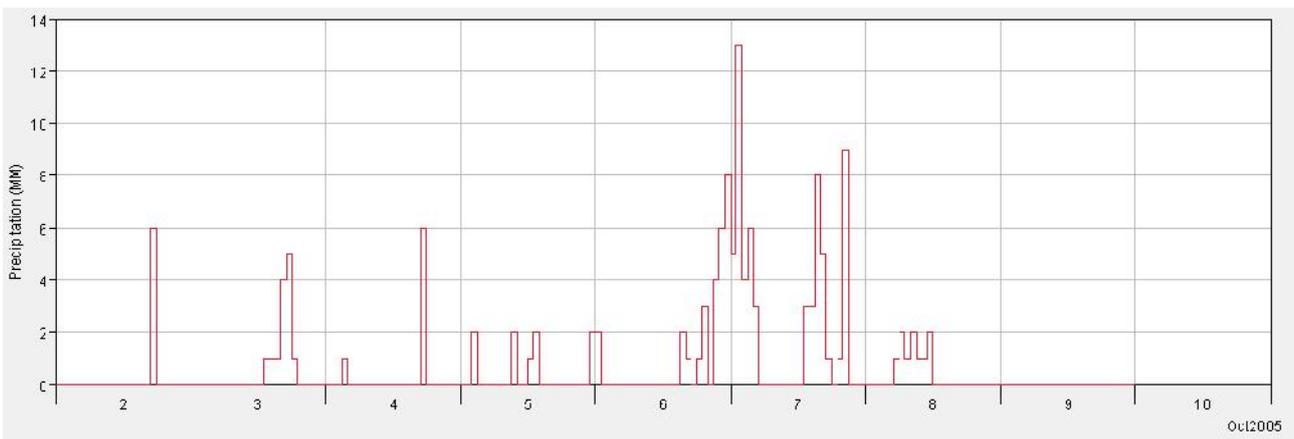


Figura 27. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di Reggio Emilia (sede CBEC).

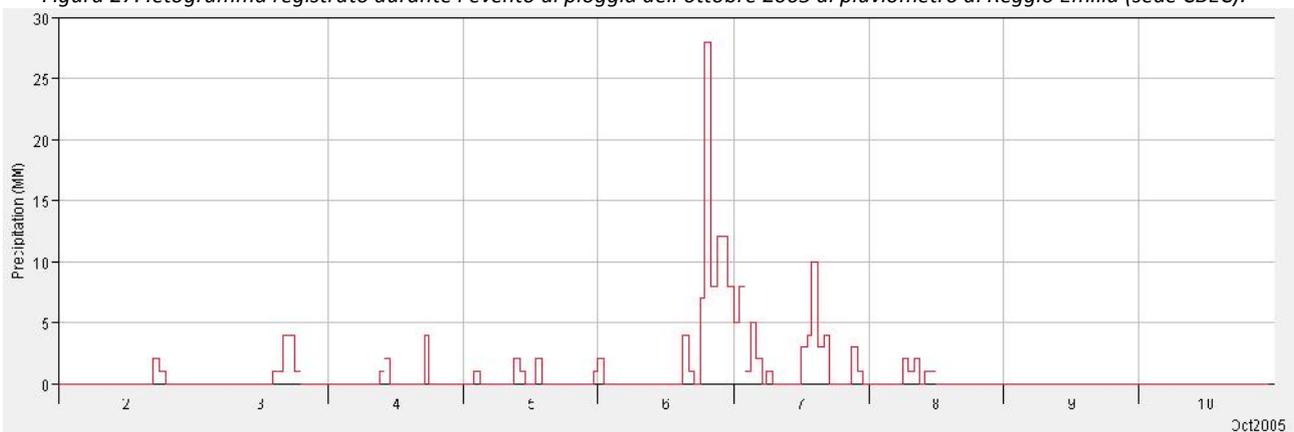


Figura 28. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro delle Rotte.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

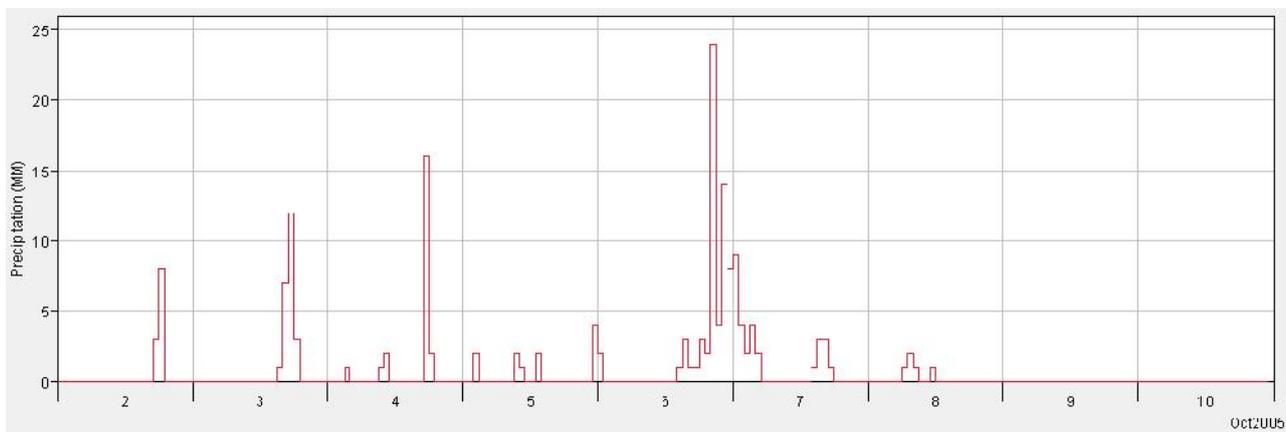


Figura 29. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di S.Maria.

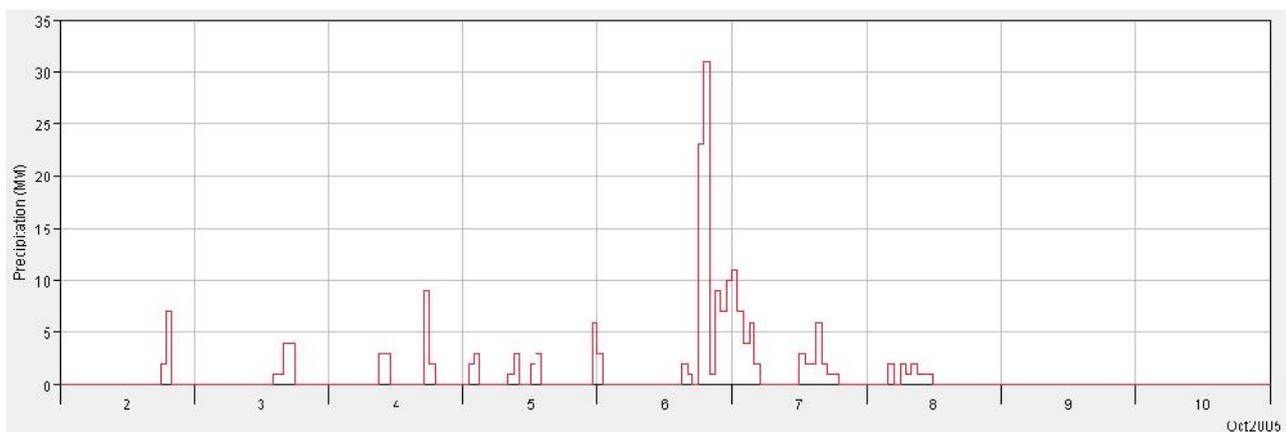


Figura 30. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di San Martino in Rio.

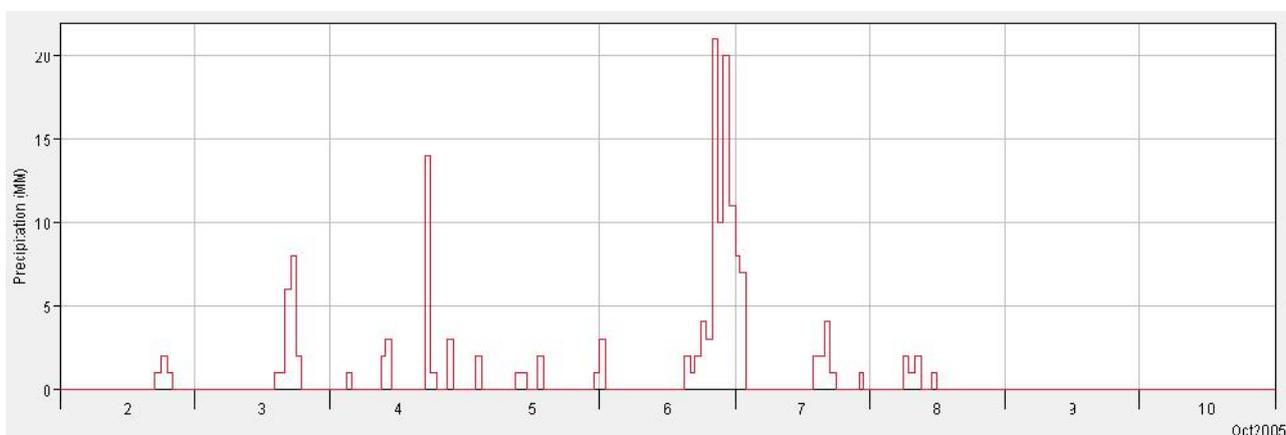


Figura 31. Ietogramma registrato durante l'evento di pioggia dell'ottobre 2005 al pluviometro di Villa Argine.

Nella modellazione idraulica, descritta nei successivi paragrafi, si sono simulati gli eventi di piena derivanti dalle portate stimate alla chiusura del bacino dell'ottobre 2005 e del novembre 1999. Il primo è già stato evidenziato come molto gravoso in cui si sono verificate fuoriuscite d'acqua dal Cavo Bondeno in numerosi

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

tratti. Si sono operati anche alcuni confronti tra la documentazione fotografica di questo evento e i risultati forniti dal modello idraulico. Per quanto riguarda invece l'evento del novembre 1999 si è apprezzata una maggiore ricchezza di dati idrometrici registrati nelle stazioni di interesse con una minore quantità di lacune. E' per questa ragione che si è scelto tale evento come riferimento per una taratura del modello idrologico e idraulico. Si vedrà infatti successivamente che è stato prodotto un raffronto tra i livelli storici registrati a Sirona e quelli calcolati alla stessa sezione del Cavo Bondeno tramite modello idraulico.

3.2.2.4 Modellazione eventi pluviometrici derivanti da curve climatiche

Le curve di possibilità pluviometrica (o climatiche) definite al paragrafo 3.2.2.1 e gli ietogrammi da cui derivano sono stati utilizzati come input nel modello idrologico per definire degli idrogrammi di piena in uscita dal bacino con diversi tempi di ritorno. Tutti gli ietogrammi utilizzati hanno intensità costante e una durata di 19 ore poiché, come già affermato al paragrafo 3.2.2.2, quest'ultimo intervallo di tempo è stato stimato essere il tempo critico di pioggia per il bacino del Bondeno. In sintesi si sono prodotti gli idrogrammi stimati di piena in uscita con tempo di ritorno di **25, 50 e 100 anni**. In figura 32 e 33 vengono raffigurati rispettivamente lo ietogramma con le perdite non contribuenti al deflusso e l'idrogramma di piena con tempo di ritorno 25 anni. In figura 34, 35, 36 e 37 vengono rappresentati lo stesso tipo di diagrammi ma per tempi di ritorno di 50 e 100 anni.

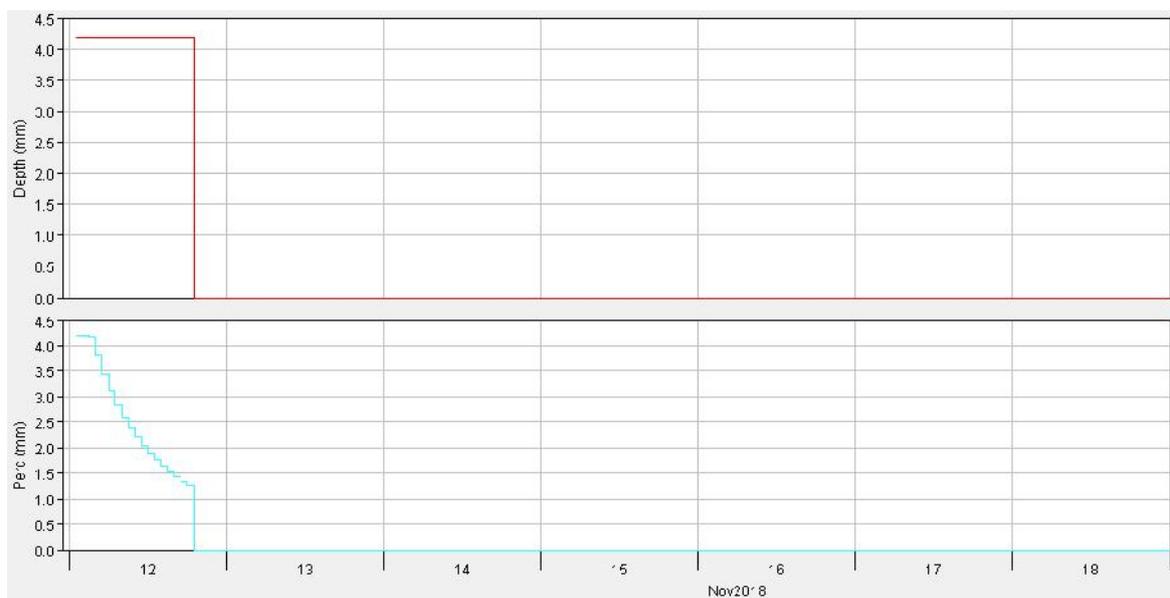


Figura 32. Ietogramma costante e correlate altezze orarie di pioggia infiltrata per tempo di ritorno 25 anni.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

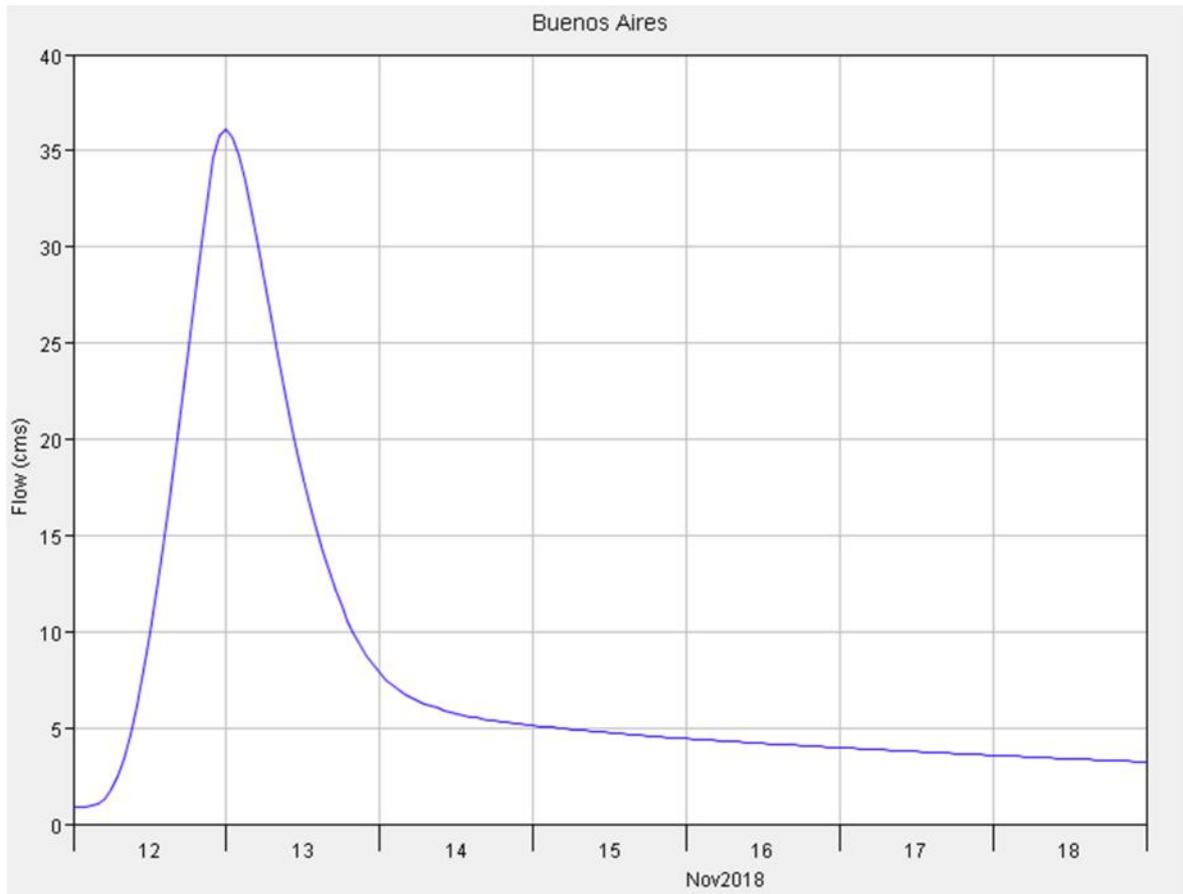


Figura 33. Idrogramma di piena stimato in uscita dal bacino del Bondeno con tempo di ritorno 25 anni.

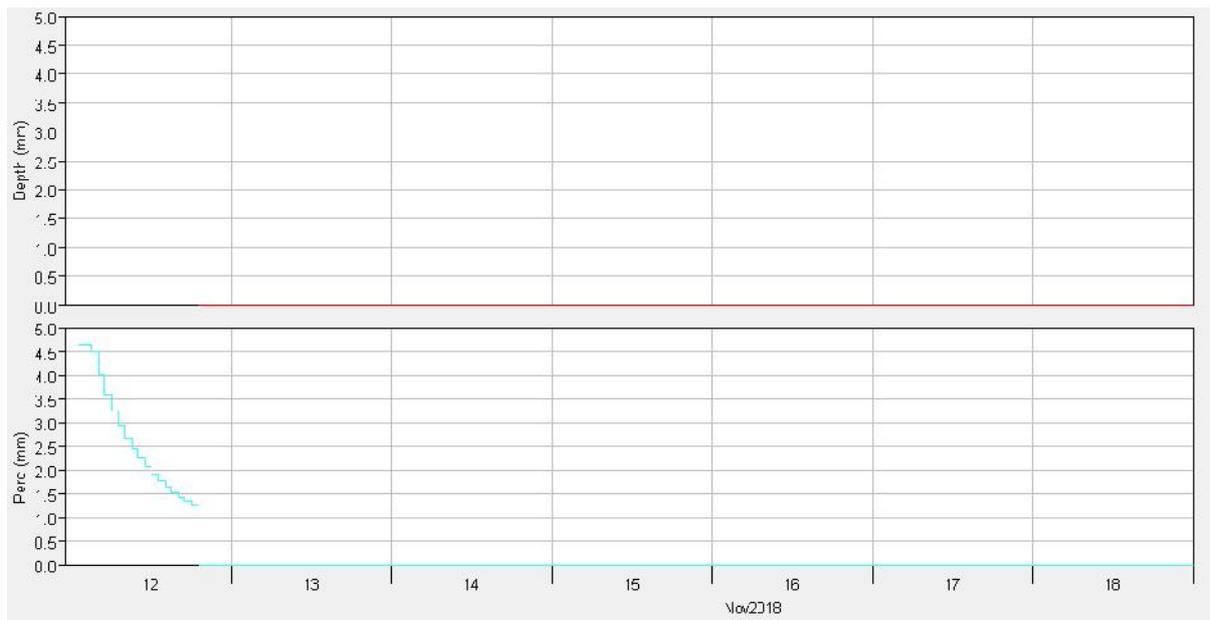


Figura 34. Ietogramma costante e correlate altezze orarie di pioggia infiltrata per tempo di ritorno 50 anni.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

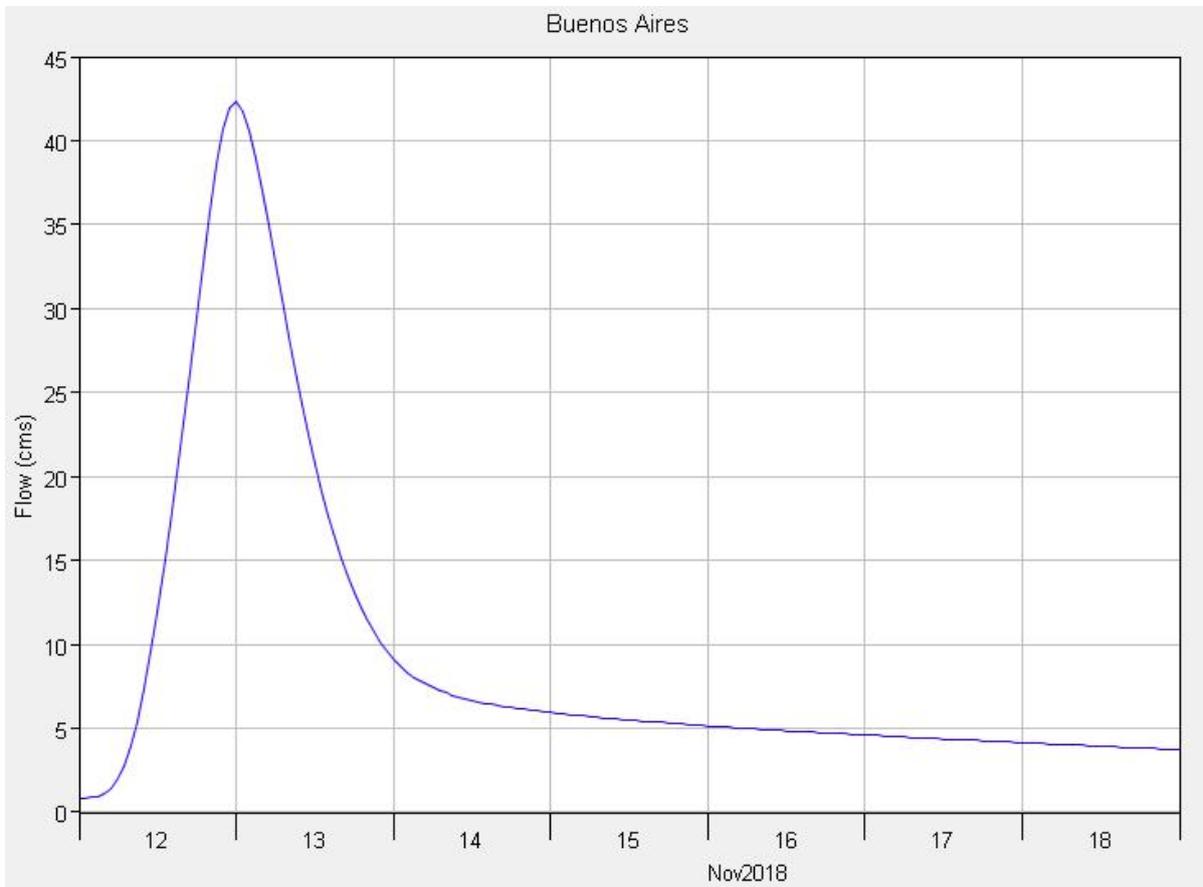


Figura 35. Idrogramma di piena stimato in uscita dal bacino del Bondeno con tempo di ritorno 50 anni.

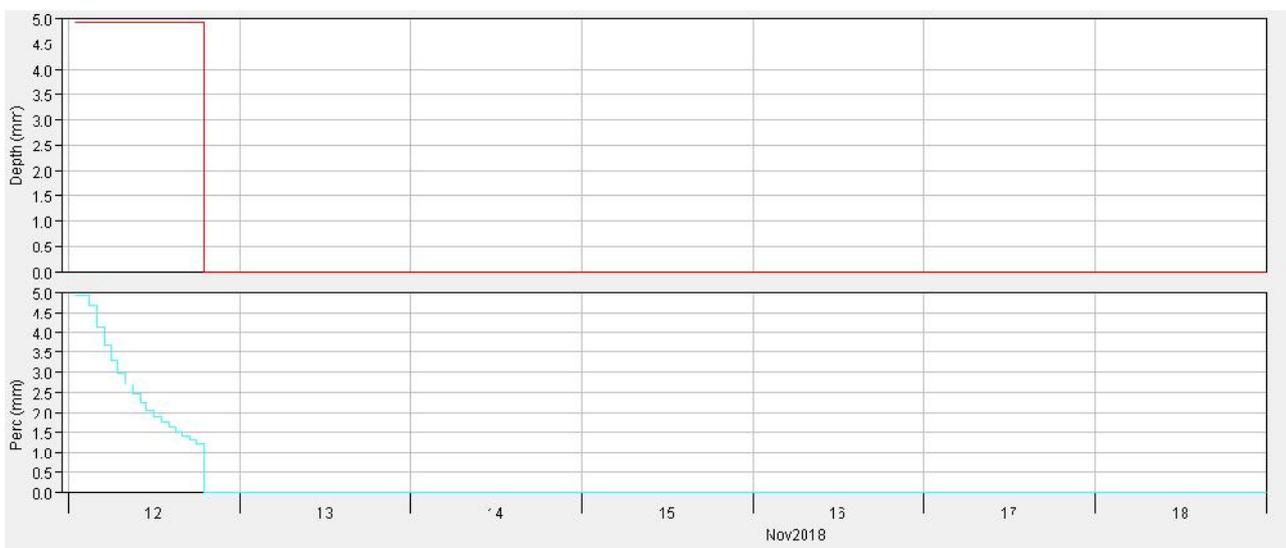


Figura 36. Ietogramma costante e correlate altezze orarie di pioggia infiltrata per tempo di ritorno 100 anni.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

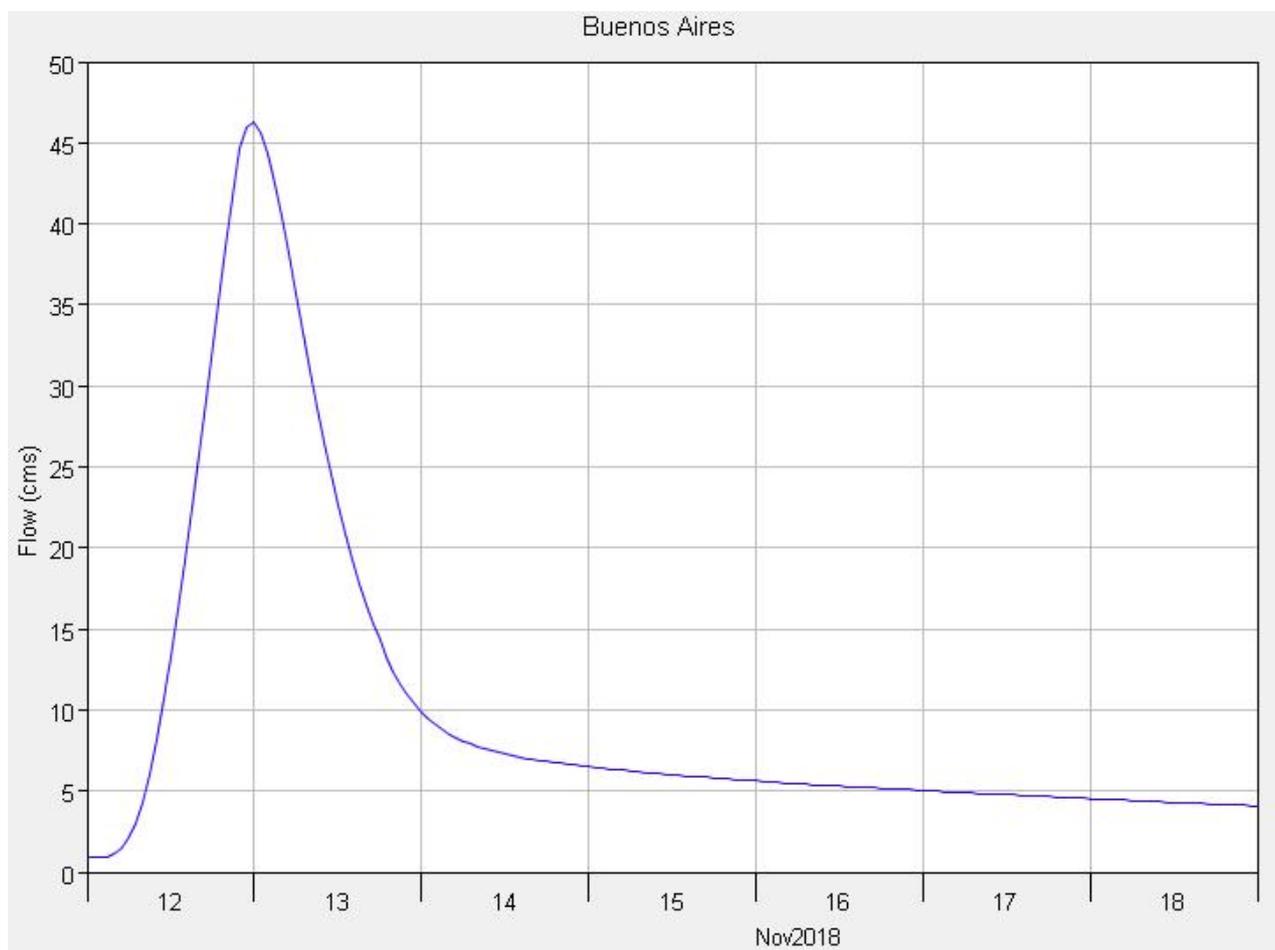


Figura 37. Ietogramma costante e correlate altezze orarie di pioggia infiltrata per tempo di ritorno 100 anni.

La portata al colmo per l'idrogramma di piena stimato con tempo di ritorno 25 anni è di $36.1 \text{ m}^3/\text{s}$, con 50 anni $42.3 \text{ m}^3/\text{s}$ e con 100 anni $46.2 \text{ m}^3/\text{s}$. In figura 38 è operato un confronto grafico tra i 3 idrogrammi.

I relativi coefficienti udometrici dati dal rapporto tra le portate e la superficie del bacino sono:

- Tr 25 anni – $u = 4,5 \text{ l/sxha}$
- Tr 50 anni – $u = 5,3 \text{ l/sxha}$
- Tr 100 anni – $u = 5,7 \text{ l/sxha}$

A tali valori si mette a confronto il coefficiente utilizzato negli anni '20 per la sistemazione del cavo; esso è pari a 3 l/sxha .

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

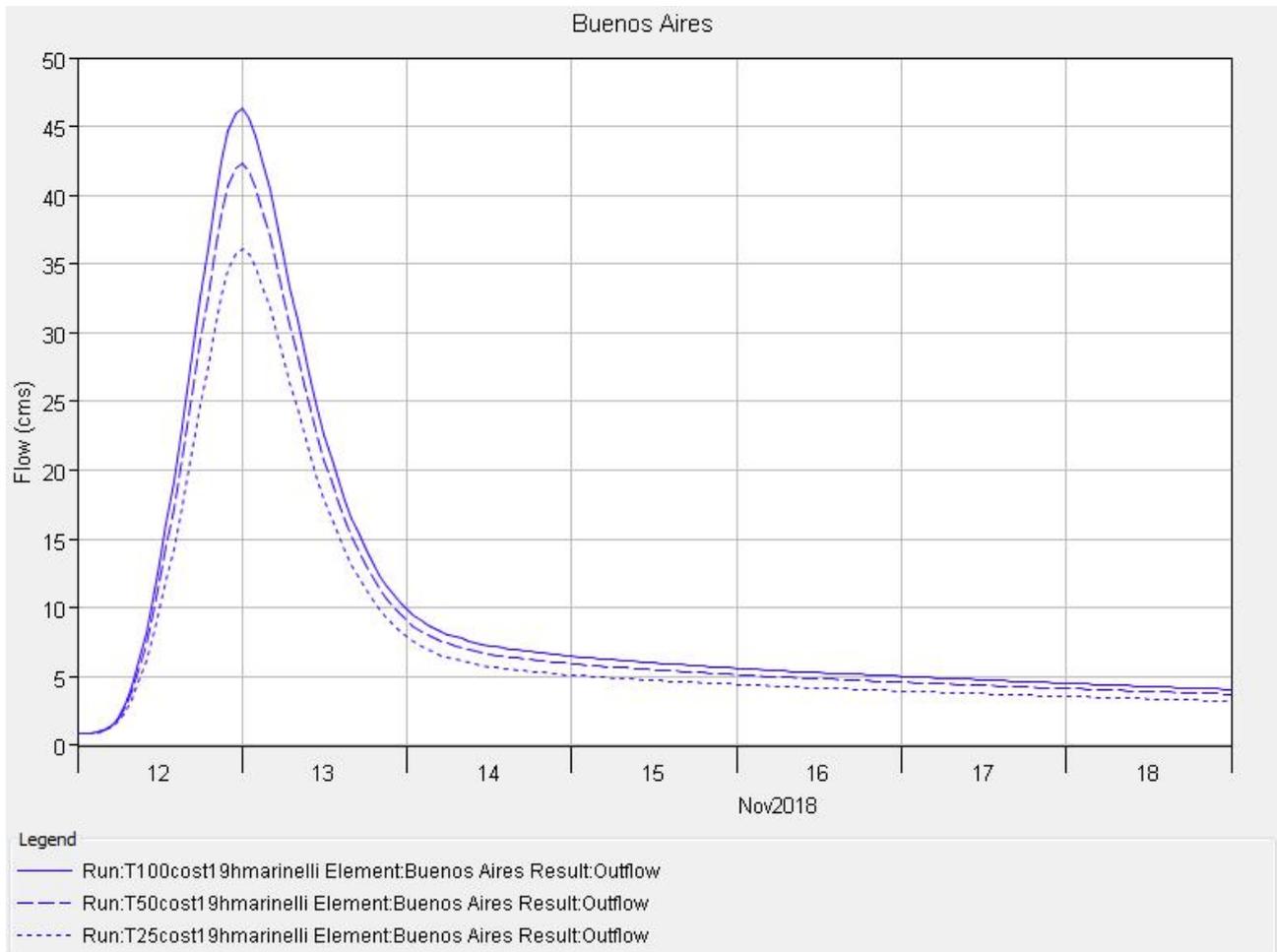


Figura 38. Confronto grafico tra idrogrammi stimati in uscita dal bacino del Bondeno con tempi di ritorno di 25, 50 e 100 anni.

4 MODELLAZIONE IDRAULICA

Come già fatto presente precedentemente l'onda di piena stimata in uscita dal modello idrologico del bacino del Cavo Bondeno è utilizzata come input per il modello idraulico servendosi del software di calcolo statunitense HEC-RAS, dell'Army Corp of Engineers. Quest'ultimo rappresenta il comportamento idraulico degli ultimi 12 Km circa di Cavo Bondeno a partire dalla chiusa Buenos Aires fino alla confluenza nel Cavo Parmigiana Moglia. In questo tratto il Cavo è costantemente arginato e non riceve ulteriori apporti. Sono stati costruiti due distinti modelli idraulici: uno per rappresentare la condizione attuale, o stato di fatto, ed un altro per valutare le condizioni in presenza di una cassa di laminazione arginato posto per un tratto parallelamente al Cavo. In seguito, verrà descritta la geometria utilizzata nel modello nei due casi.

4.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Per la costruzione dei modelli si è ritenuto utile utilizzare un modello digitale del terreno messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare con risoluzione 1 metro. Tale DTM (Digital Terrain Model) è stato assemblato tramite volo Lidar. In realtà non tutto il tratto del Cavo Bondeno modellato ricade all'interno dell'area rilevata dal volo Lidar. I primi 2 Km circa partendo da monte sono infatti privi di questa copertura. La modellazione in oggetto è di tipo 1D/2D, ovvero si è optato per modellare l'alveo del Bondeno all'interno delle arginature in 1D ossia generalmente attraverso sezioni trasversali al percorso del Cavo. Sfruttando poi le recenti innovazioni del software è poi stata utilizzata una maglia di calcolo con celle non regolari per valutare la propagazione della corrente nei casi in cui questa esce dalle arginature o per eventi di piena gravosi simulati nello stato di fatto o per l'immagazzinamento dell'acqua nell'area deputata ad invaso nello stato di progetto. Per il tratto di Cavo modellato in cui non è presente il DTM si è operata una classica modellazione monodimensionale. Il Modello Digitale del Terreno è uno strumento molto potente e di grande aiuto per la modellazione idraulica tuttavia si hanno alcuni limiti di cui è bene essere consapevoli. L'estrapolazione delle sezioni geometriche del cavo dal DTM deve essere compiuta avendo cura che le quote di fondo siano corrette. Si osserva infatti che il Lidar non riesce a misurare i punti del terreno al di sotto di specchi d'acqua ma fermandosi alla loro superficie. Per questo motivo, nella presente modellazione, si è in prima battuta fatto un confronto tra le quote di fondo del Cavo con le quote presenti nel DTM evidenziando una notevole differenza, segnale che quando è stata effettuata la rilevazione era presente un battente d'acqua rilevante all'interno del Bondeno. Il software dà la possibilità di interpolare le sezioni battute con metodi tradizionali in possesso del Consorzio e unire poi la superficie così interpolata con il DTM a disposizione. Stessa procedura, anche se per scopi differenti, è stata utilizzata per modellare il bacino di accumulo idrico, risezionamenti arginali e le nuove arginature di progetto della cassa.



Figura 39. Modello digitale del terreno nella zona della casa di guardia di Sirona (stato di fatto).



Figura 40. Modello digitale del terreno nella zona della casa di guardia di Sirona (stato di progetto).

4.2 GEOMETRIA DEL MODELLO NELLO STATO DI FATTO

La geometria del modello idraulico è composta principalmente dal percorso spaziale dell'alveo (river), dalle sezioni trasversali (cross sections), ponti, strutture in alveo e strutture laterali. Annesse a queste ultime tre sono presenti anche luci di diversa forma geometrica dotate o meno di paratoie mobili.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4.2.1 Percorso dell'alveo

Il percorso si estende per una lunghezza di circa 12.5 Km partendo, come già detto, dal punto in cui il Diversivo Bresciana si immette nel Bondeno fino allo sbocco in Parmigiana Moglia.

La prima struttura a ponte ad essere attraversata dopo circa 370 metri è quello di Via Vandelli o Ponte Rami.

Il secondo è invece 890 metri a valle di quest'ultimo ed è un ponte a servizio di mezzi agricoli detto "Fabbrici".

Il Cavo attraversa poi la frazione di Minghella dove è presente il sostegno di Via Levata e prosegue, attraversato da altri impalcati da ponte rispettivamente e in successione il ponte di Via Pennella e l'impalcato di Via Boschi, fino all'Allacciante Cartoccio il quale lo sottopassa attraverso una botte.

Da questo punto in poi il percorso prosegue quasi perfettamente rettilineo incrociando la strada provinciale n. 42 Novellara Guastalla, la ferrovia Reggio-Guastalla e, pochi metri a valle, sovrapassando Il Cavo Acque Basse Reggiane (C.A.B.R).

L'alveo viene poi attraversato dalla strada comunale Sculazzo (ex SP 84), 2.530 metri circa dalla confluenza con la Parmigiana Moglia, e in seguito dal ponte Riva 820 metri circa a monte della confluenza. Nelle figure seguenti (fig. 41 e 42) si rappresentano rispettivamente il percorso del Cavo Bondeno sopra il layer di Google Hybrid e con solo il modello digitale del terreno utilizzato. Come si può osservare una sua minima parte non interseca il modello digitale del terreno.

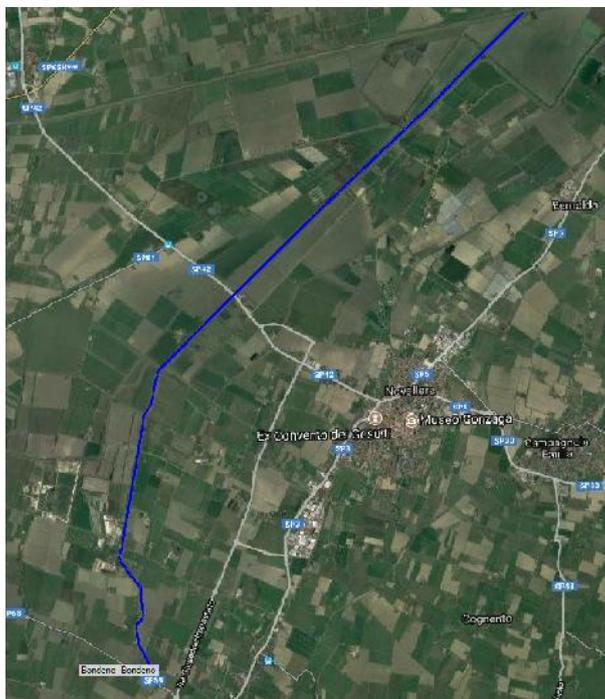


Figura 41. Percorso del Cavo Bondeno con il layer di Google Hybrid.

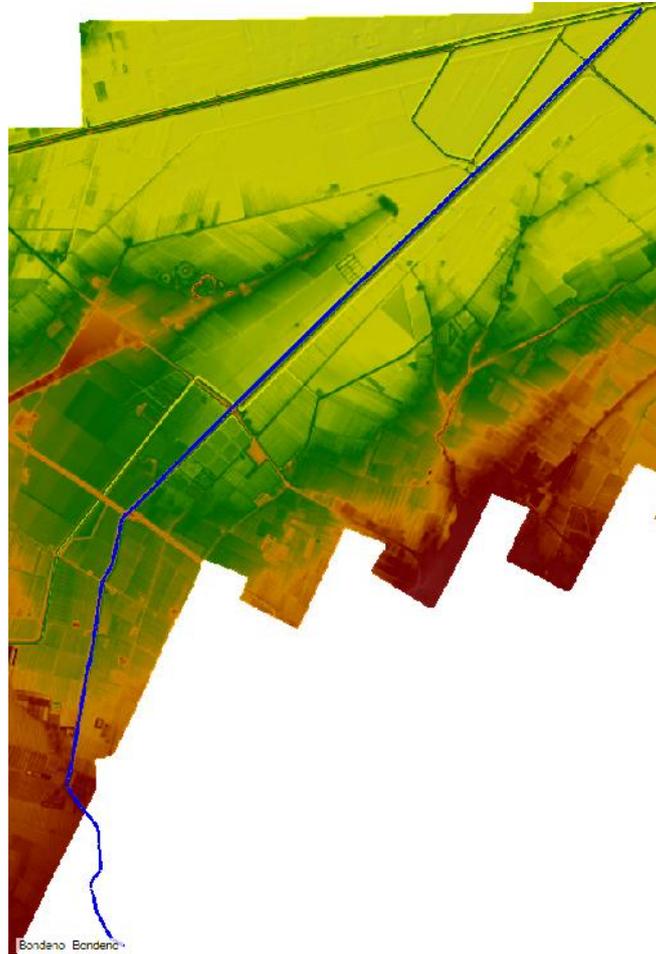


Figura 42. Percorso del Cavo Bondeno con il DTM a disposizione.

4.2.2 Sezioni trasversali

Come già esposto prima le sezioni trasversali sono state tracciate riferendosi sia al DTM a disposizione che alla forma e alle quote del fondo alveo e a sezioni battute. In particolare nel tratto dove vi è assenza del DTM si è potuto fare uso solo di queste ultime. E' chiaro quindi che, anche interpolando le sezioni battute, vi è una minore precisione del tratto in oggetto. Da qui ne discende l'estrema utilità dei modelli digitali del terreno. La quota di fondo dell'intero tratto modellato varia tra i 20.42 m. s.l.m. all'altezza del sostegno Buenos Aires fino ai 16.49 m. s.l.m. del fondo alveo alla confluenza del Bondeno con una pendenza media lungo tutto il tratto di circa 0.0003. In figura 43 e 44 si possono osservare rispettivamente la prima e l'ultima sezione del tratto modellato. In HEC-RAS vige la convenzione di numerare le sezioni avviene da valle verso monte.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

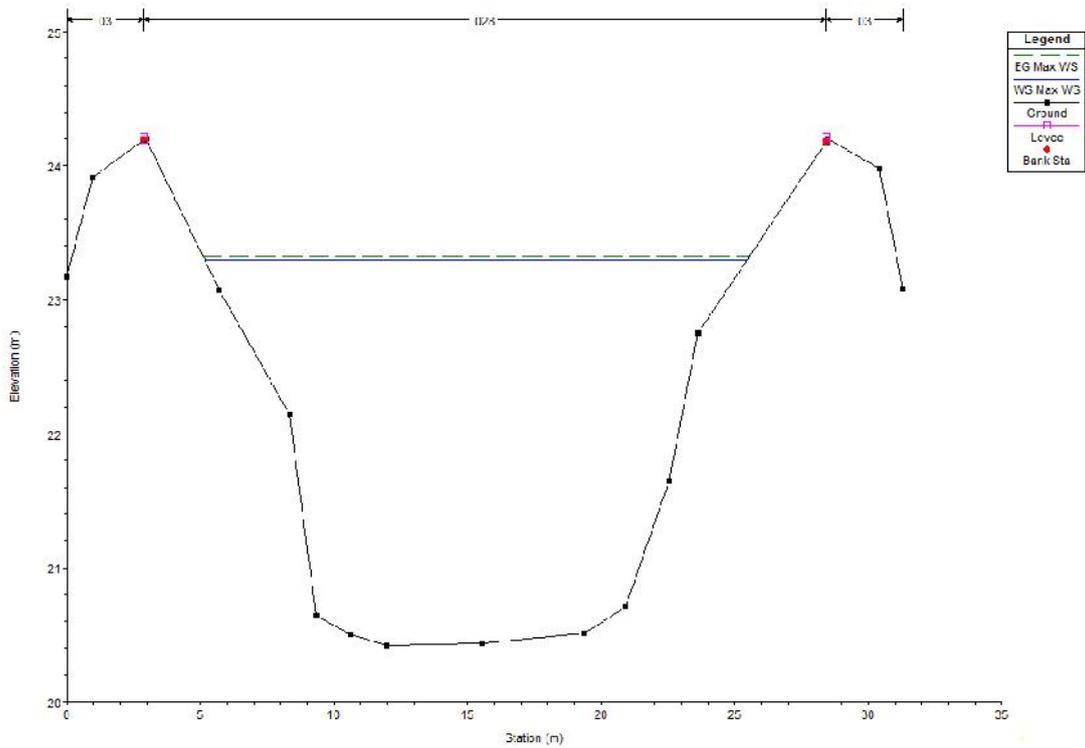


Figura 43. Sezione 12510.

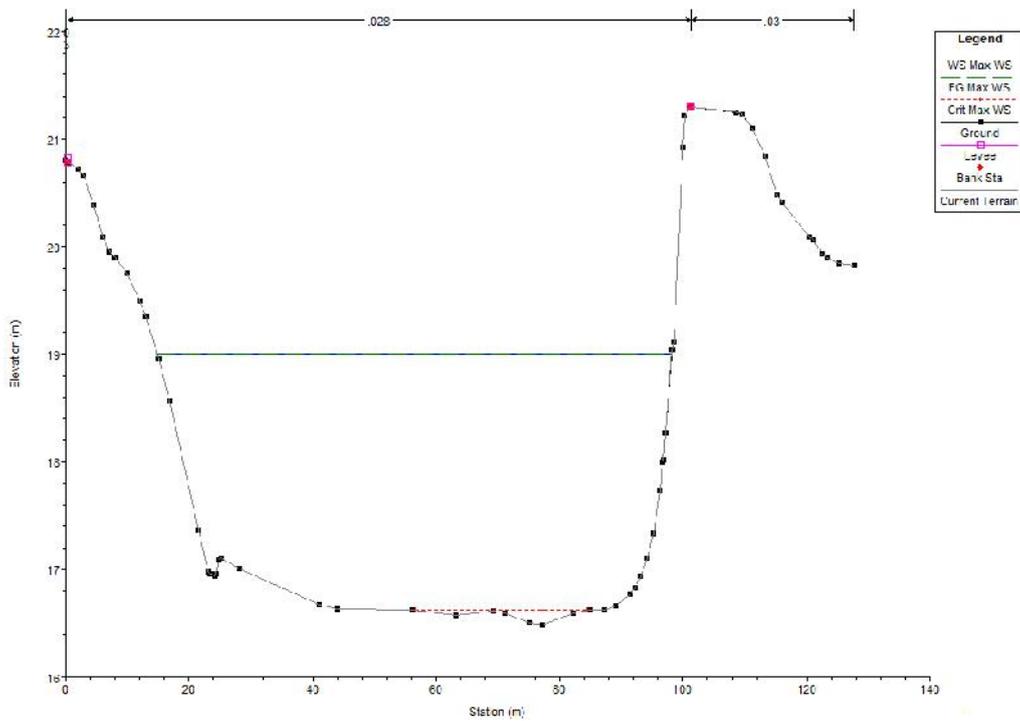


Figura 44. Sezione 22.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Nelle sezioni trasversali vengono visualizzate, oltre alla sua geometria, anche altre importanti informazioni in seguito alla calcolo del software. Si possono infatti visualizzare la linea dei carichi totali, la linea del pelo libero, dell'altezza critica e il terreno il quale nel nostro caso coincide con la geometria della sezione. Si possono inoltre visualizzare e modificare di posizione importanti punti come i Levee o le Bank stations. I primi servono per definire le quote, a destra e a sinistra, e le posizioni fino a che la corrente idrica rimane all'interno delle sommità arginali. Le Bank stations servono invece per suddividere le sezioni trasversali in porzioni con scabrezza differente. Nel presente caso si è deciso di utilizzare una scabrezza, espressa dal numero di Manning, di 0.028 all'interno delle sommità arginali e 0.03 al di fuori. In figura 45 viene rappresentato il profilo longitudinale del tratto di Cavo modellato con argini o levees di destra e di sinistra e fondo alveo.

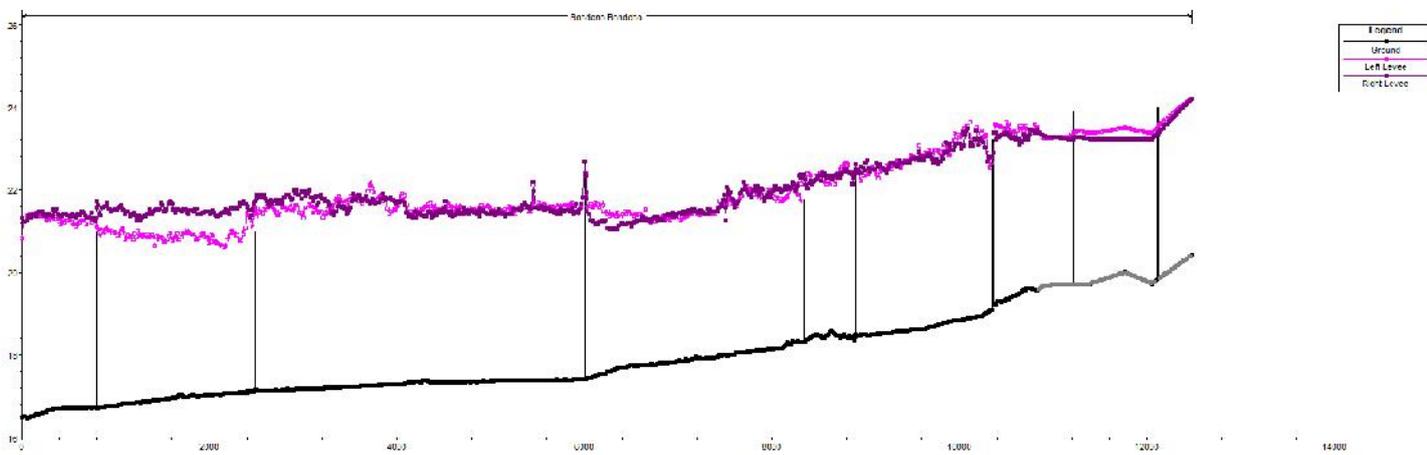


Figura 45. Profilo longitudinale stato di fatto.

4.2.3 Ponti e strutture in alveo

Nella presente modellazione si annoverano 8 ponti ed una struttura in alveo. Quest'ultima non si tratta altro che di un ponte, tra l'altro molto simile ai primi due provenendo da monte, ma che è dotata di paratoie mobili. Dove Via Levata sopra passa il Bondeno è infatti presente una struttura con luci ad arco a cui sono montate le paratoie sdoppiabili che in periodo irriguo vengono abbassate per alzare il tirante idrico e rendere disponibile l'acqua per alcune condotte irrigue. Nelle figure seguenti vengono proposte le schematizzazioni nel modello idraulico di tali strutture.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

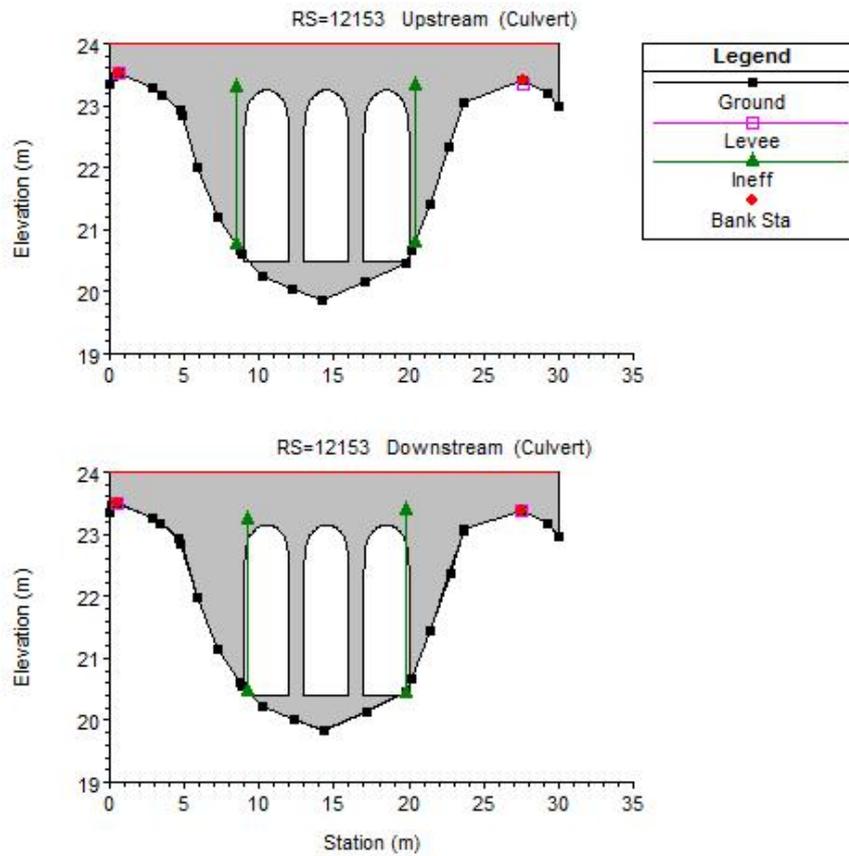


Figura 46. Schema del ponte Rami o di Via Vandelli.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

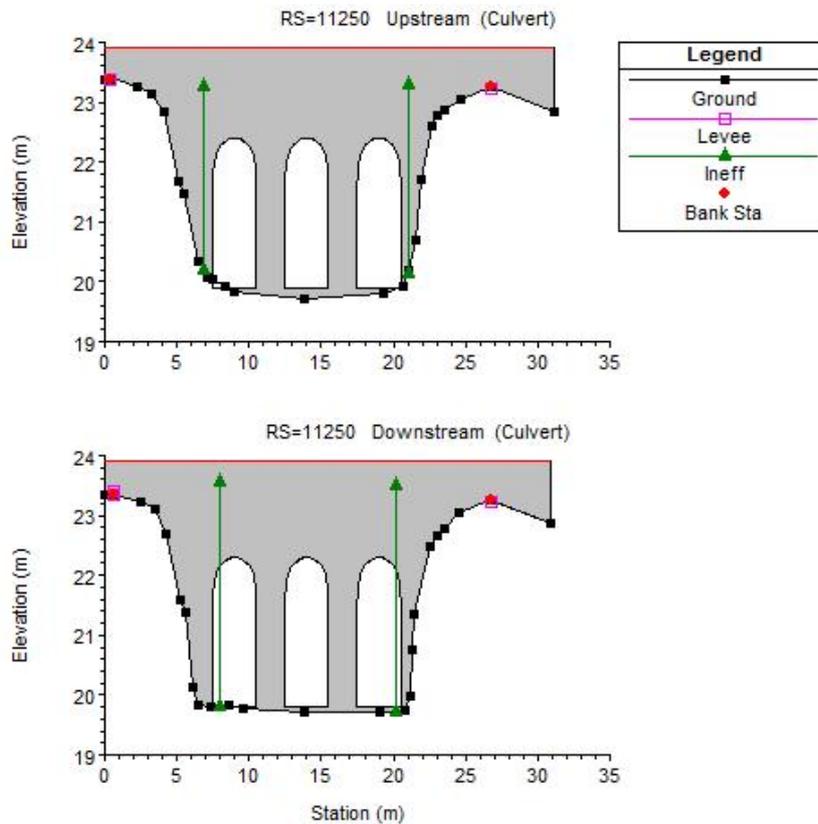


Figura 47. Schema del ponte Fabbrici o Casaletto.

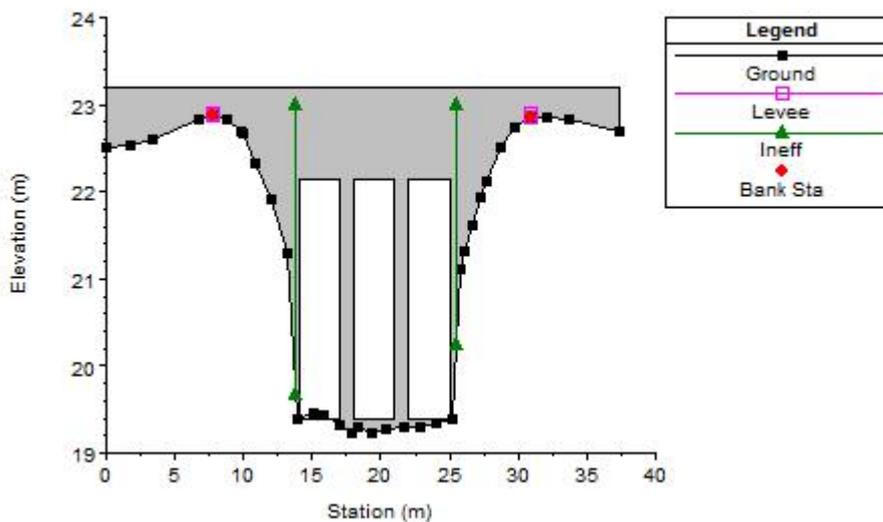


Figura 48. Schema del sostegno di Via Levata.

Al sostegno di Via Levata (fig. 48) sono presenti tre luci identiche di altezza 2.75 metri e 3 metri di larghezza.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

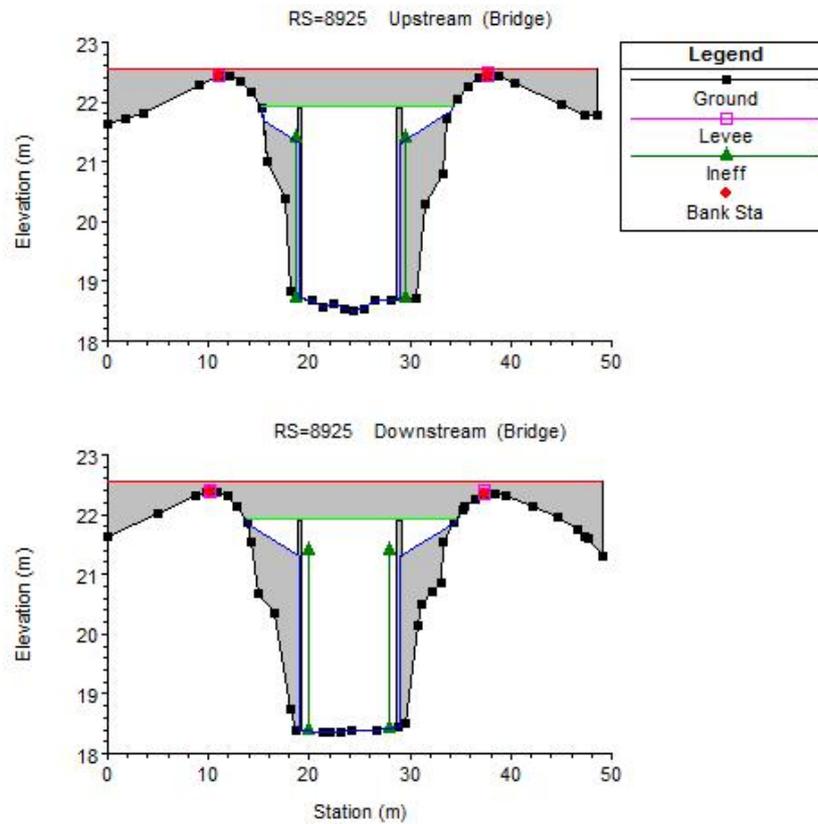


Figura 49. Schema del ponte di Strada Pennella.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

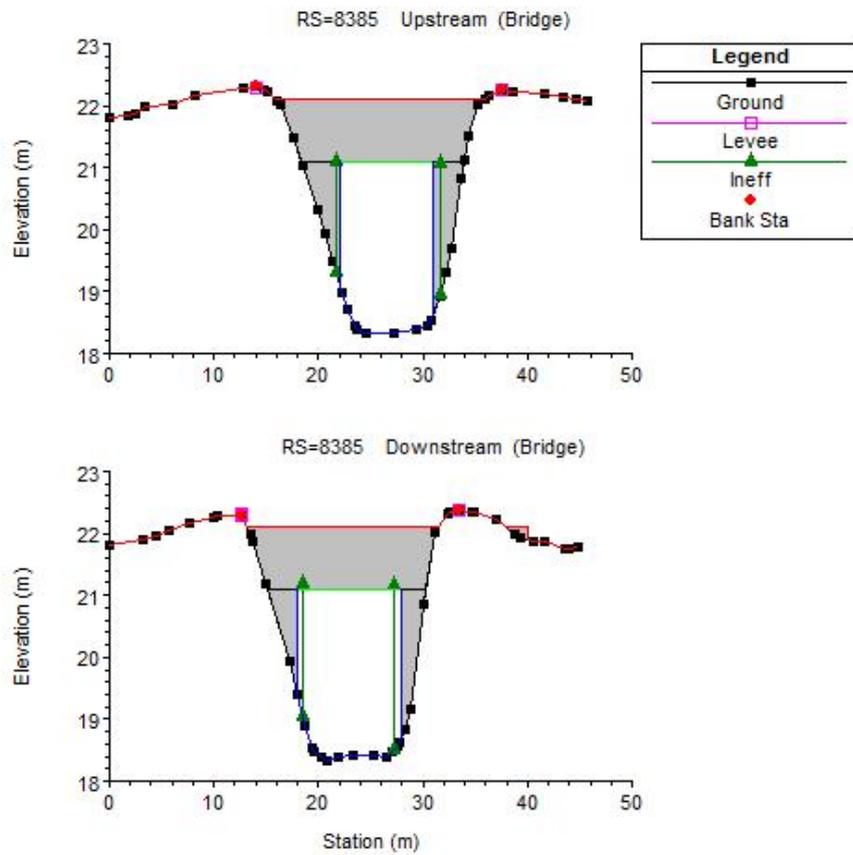


Figura 50. Schema del ponte di Via Boschi.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

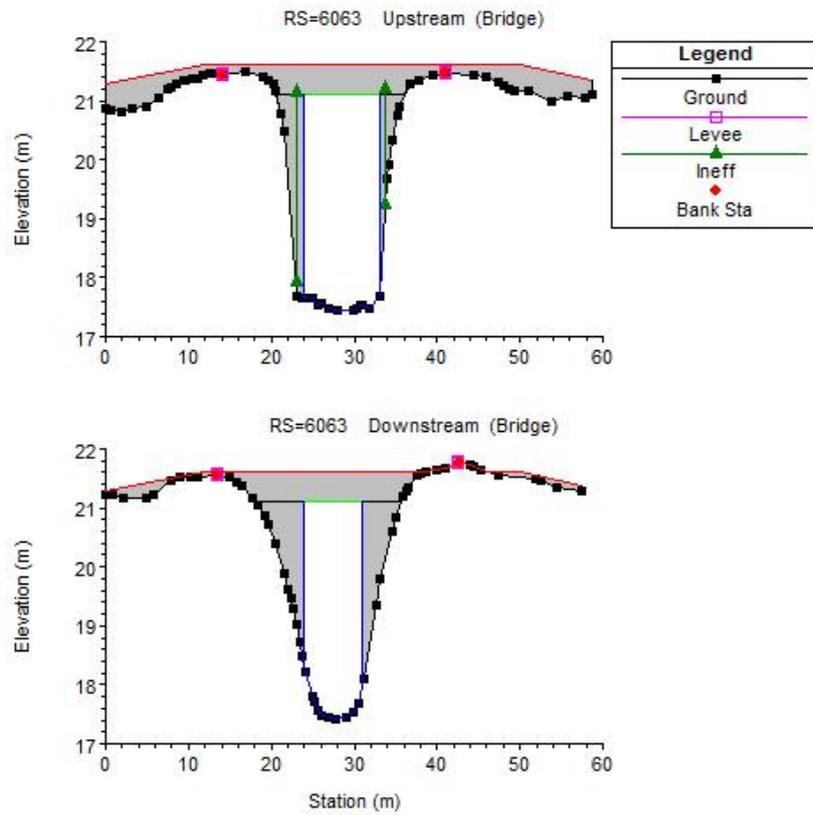


Figura 51. Schema del ponte della ferrovia Reggio Guastalla.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

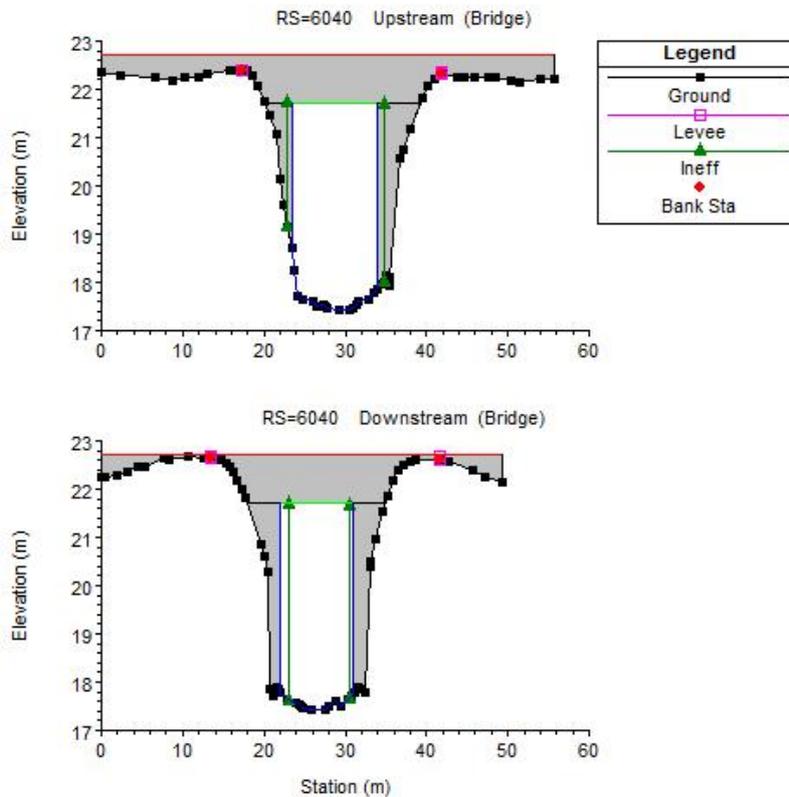


Figura 52. Schema del ponte della SP42 Novellara Guastalla.

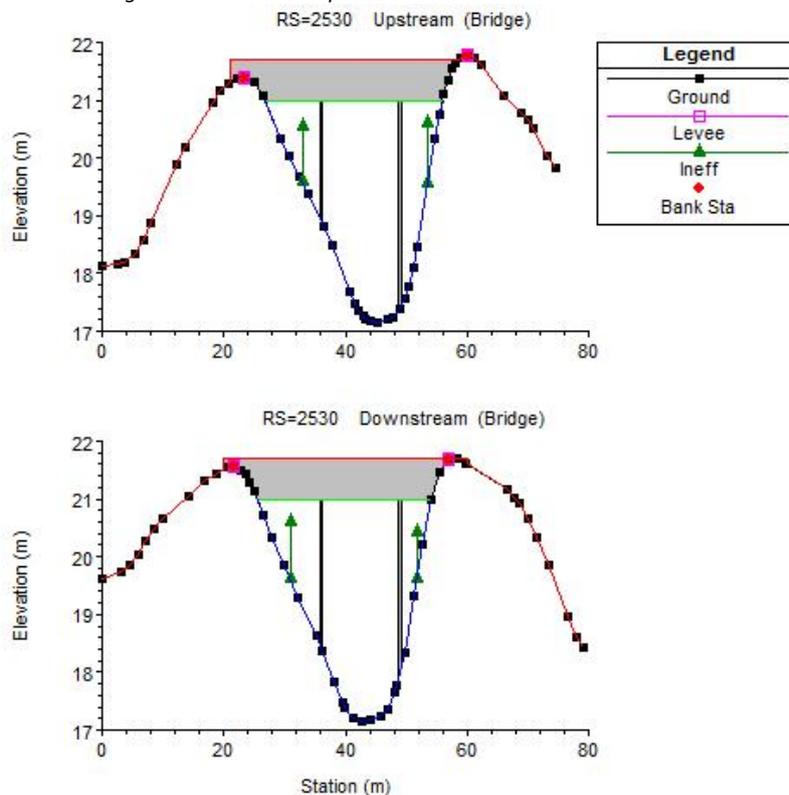


Figura 53. Schema ponte Sculazzo o della SP 82.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

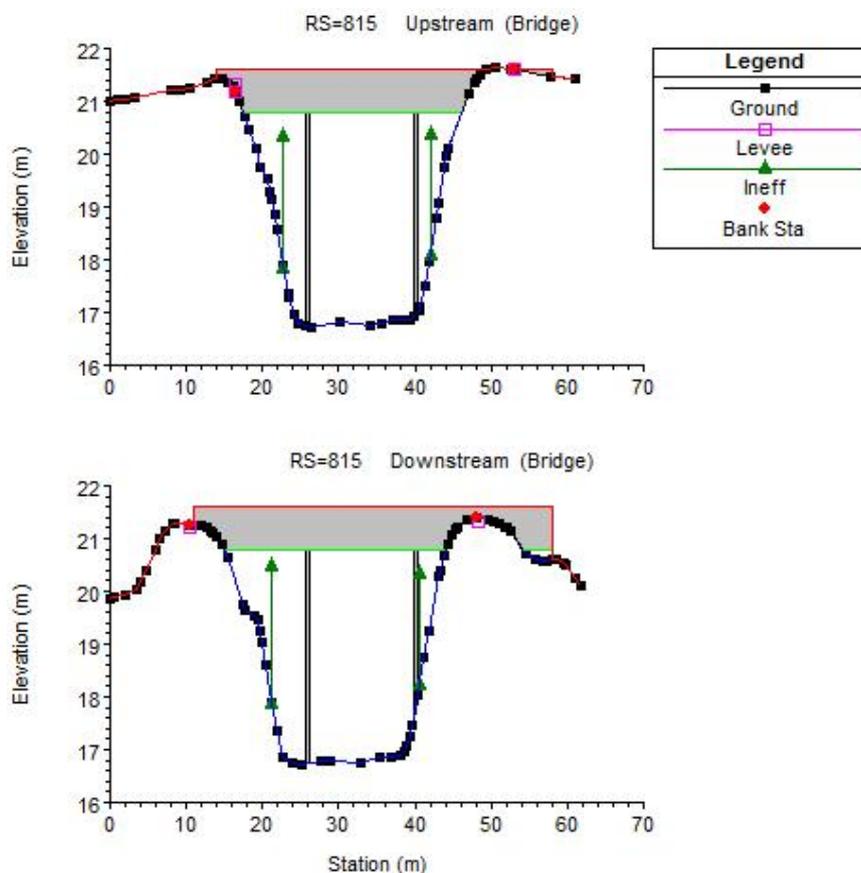


Figura 54. Schema di ponte Riva.

Si segnala che gli impalcati dei ponti della ferrovia Reggio Guastalla e la strada SP 42 Novellara Guastalla sono estremamente ravvicinati. Inoltre l'impalcato del ponte della ferrovia è estremamente ribassato rispetto a quello della provinciale. Tale condizione può ragionevolmente portare a vistosi effetti di rigurgito a monte della ferrovia stessa ed a un aumento della velocità della corrente tra i due impalcati. I profili di corrente in moto vario attraverso gli impalcati dei ponti avviene attraverso modalità differenti a seconda che la corrente affluisca a pelo libero o in pressione. Nella presente modellazione sono impostate come equazioni risoltrici per il caso di corrente a pelo libero quelle dell'energia, in caso di corrente lenta, o quelle del momento in caso di risalti idraulici e correnti accelerate.

4.2.4 Strutture laterali

Le strutture laterali (lateralstructures) sono inserite nel modello idraulico per fungere da confine tra la parte monodimensionale all'interno dell'alveo e la parte bidimensionale all'esterno delle sommità arginali. Le strutture laterali ripercorrono quindi interamente le arginature in destra e sinistra idraulica ricalcando anche il profilo sommitale di tali argini. Una volta che il tirante idrico all'interno di una o più sezioni oltrepassa la quota di sommità dell'argine (levee) il flusso viene passato alle celle di calcolo dell'area bidimensionale.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

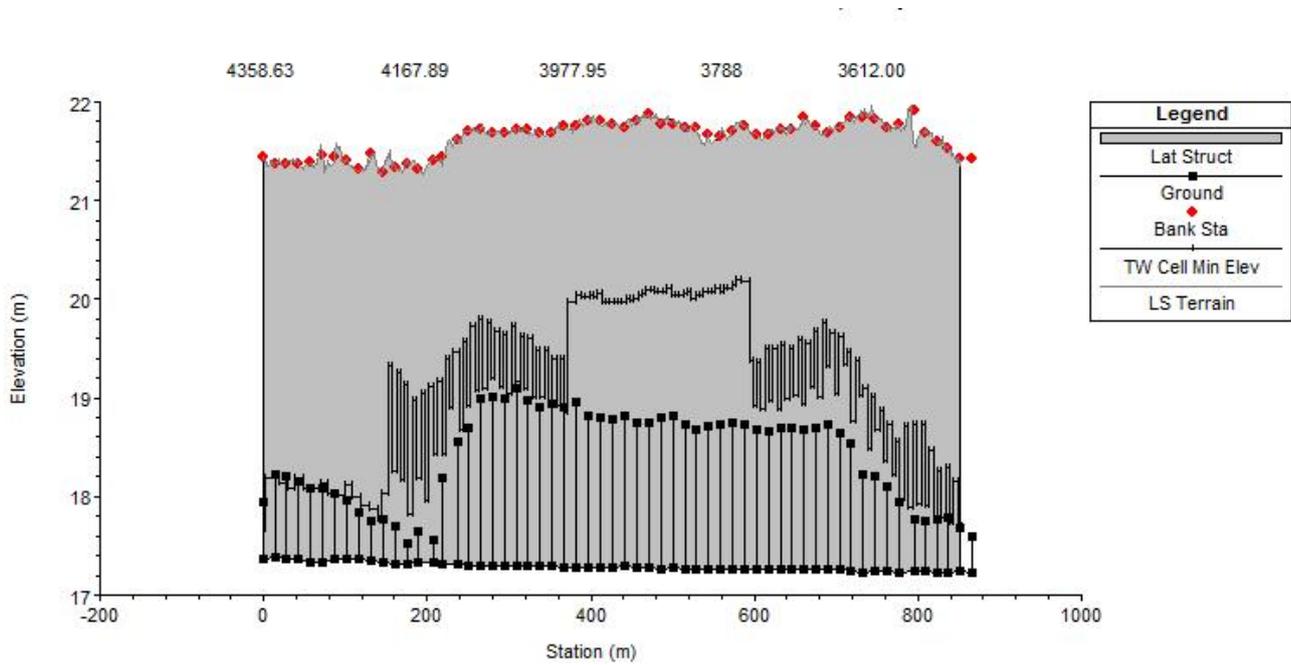


Figura 55. Esempio di struttura laterale.

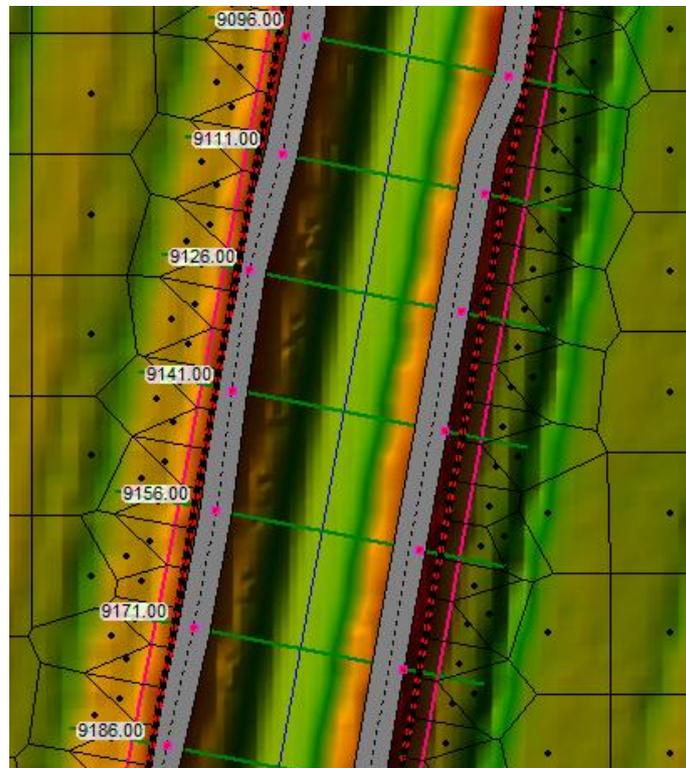


Figura 56. Strutture laterali collegate alle aree bidimensionali.

4.2.5 Aree bidimensionali

Il perimetro delle aree bidimensionali di calcolo è tracciato sul modello digitale del terreno. Le celle di calcolo sono state raffittite generalmente lungo i rilevati arginali che creano un ostacolo in elevazione alla corrente idrica. Per questo motivo il passo delle celle di calcolo è impostato su 15 metri e diminuito fino ad 1 metro nelle zone appena elencate. Si deve tenere conto che è opportuno valutare il giusto compromesso tra l'estensione delle aree 2D, il raffittimento della griglia e i tempi di calcolo del modello idraulico. E' bene quindi scegliere con criterio dove apporre i raffittimenti delle celle senza aumentare troppo l'estensione delle aree bidimensionali. Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza, rappresentato dal numero di Manning, il software imposta di default un valore di 0.06 per tutte le aree 2D inserite. Sono state perimetrare due differenti aree bidimensionali di calcolo: una in destra e l'altra in sinistra idraulica del Cavo Bondeno.

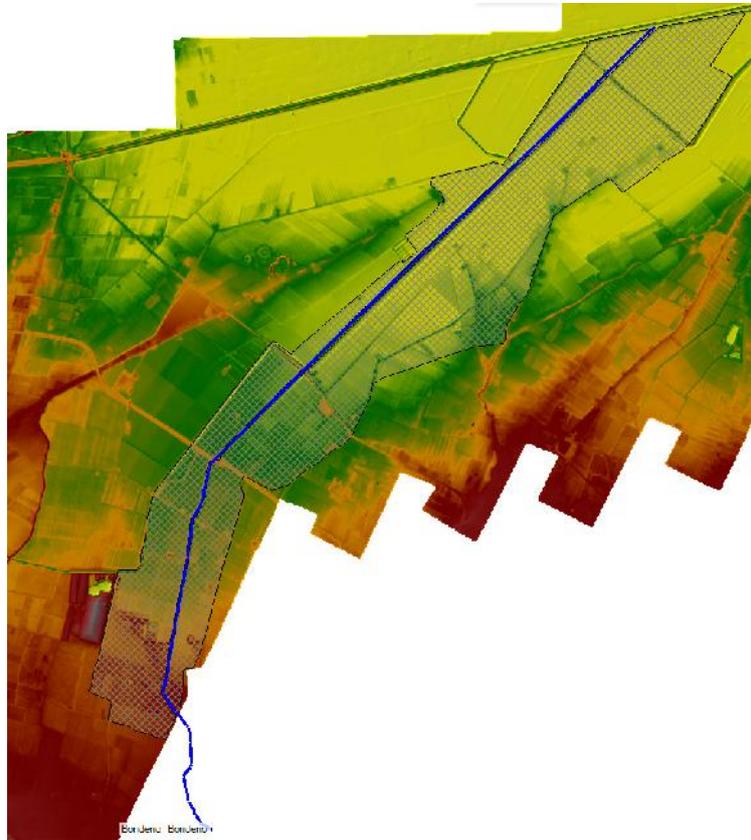


Figura 57. Griglie di calcolo in destra e sinistra idraulica del Bondeno.

4.3 MODIFICHE ALLA GEOMETRIA NELLO STATO DI PROGETTO

In seguito alla modellazione idraulica con una geometria del modello che ricalcasse il più similmente possibile la condizione dello stato di fatto è stato creato un secondo modello idraulico con una geometria differente dalla prima e che rappresentasse lo stato di progetto.

Il progetto di edificazione della cassa a usi plurimi lungo il Cavo Bondeno in prossimità della casa di guardia di Sirona in comune di Novellara comporta l'edificazione di un bacino di accumulo idrico con una capacità massima di 1.000.000 m³.

Tale volume utile è raggiunto attraverso l'edificazione di arginature in terra con sommità arginale a quota 21.5 m. s.l.m. ricavato dallo scavo di una profondità parallelamente al Cavo Bondeno ed allargando così il fondo del Cavo Baciocca, appartenente al reticolo idrografico delle acque basse ed affluente nel C.A.B.R.

In figura 58 e 59 sono presenti le sezioni trasversali rispettivamente nella parte di monte e di valle della cassa. Tali sezioni sono praticate con le quote dei punti presenti nel DTM opportunamente modificato. Il fondo della cassa venutosi a creare con l'allargamento del fondo alveo della Baciocca è in leggera pendenza essendo posto a quota 17 m. s.l.m. nella parte più a monte e a 16.5 m. s.l.m. nella parte più a valle.

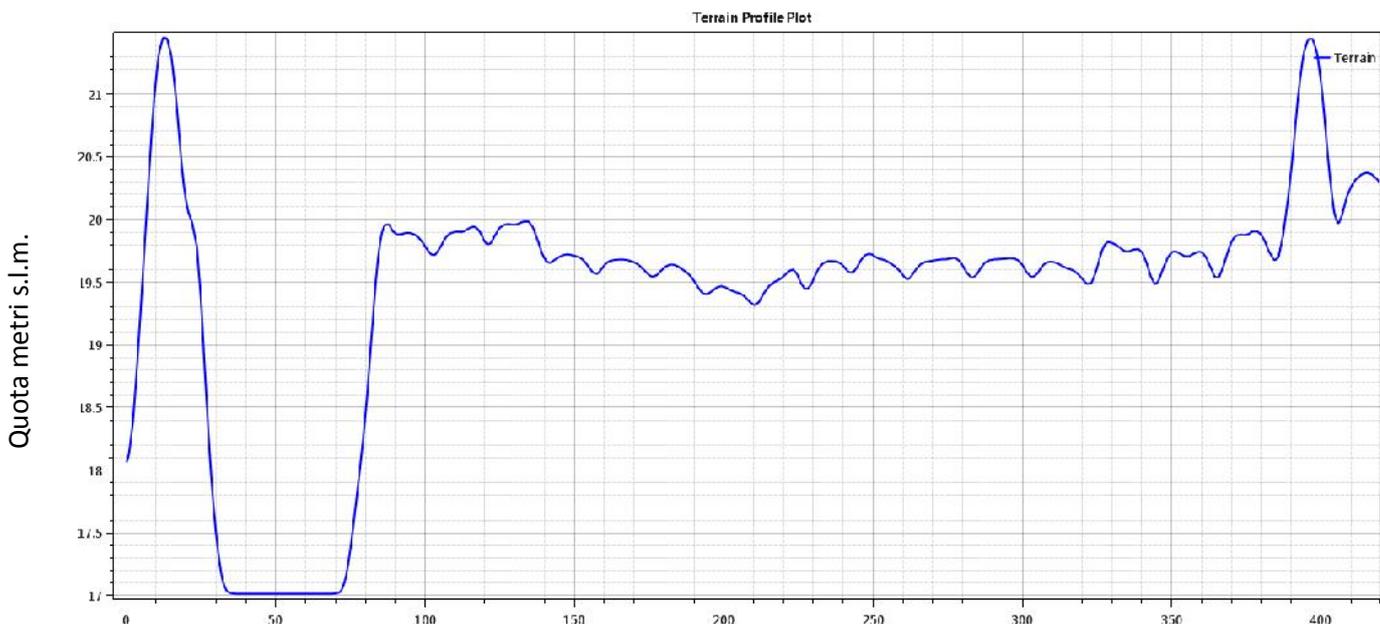


Figura 58. Profilo del terreno nella sezione trasversale Est-Ovest di monte della cassa.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

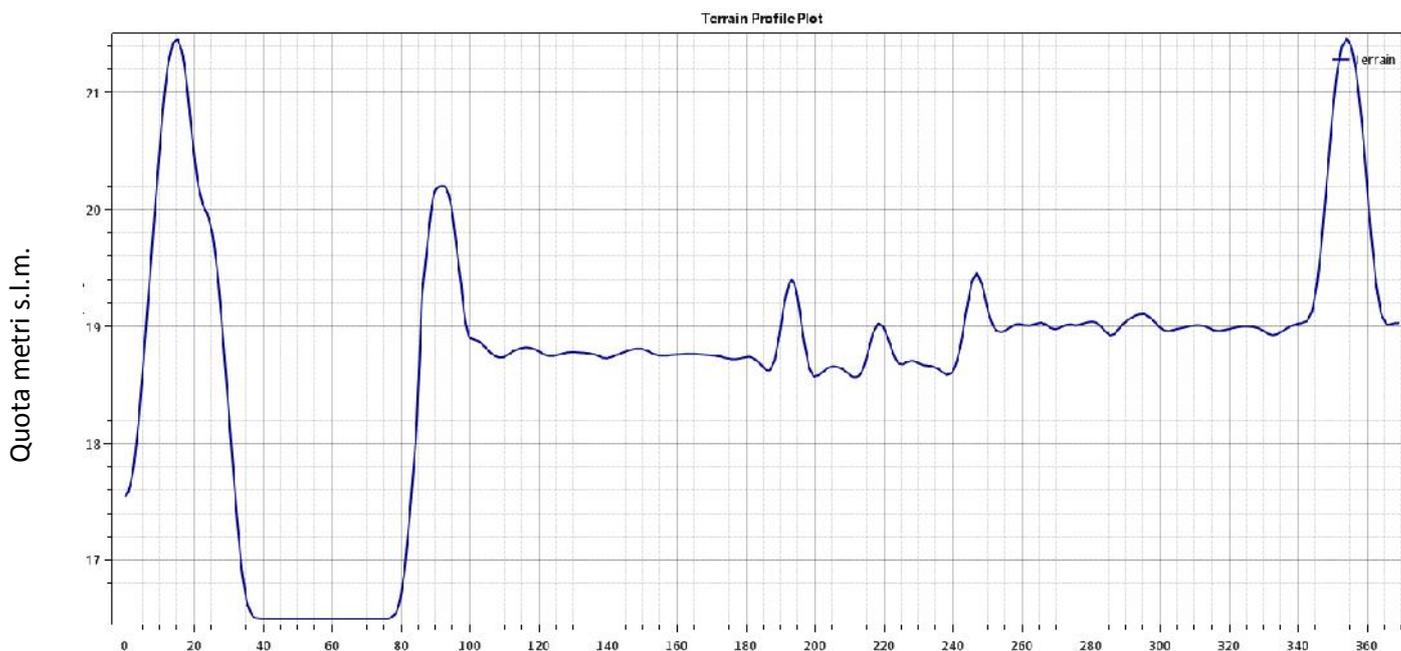


Figura 59. Profilo del terreno nella sezione trasversale Est-Ovest di monte della cassa.

Oltre alle nuove arginature costruite parallelamente a Via della Vittoria e alla SP 42 Novellara Guastalla è stata prevista una leggera risagomatura in fregio alla vasca dei rilevati arginali in destra e sinistra idraulica del Bondeno in modo tale da migliorare l'efflusso della portata nel Bondeno a monte della strozzatura praticata dagli impalcati dei ponti della ferrovia Reggio Guastalla e della SP 42, oltre a livellare tutta la sommità arginale a quota 21.5 m.s.l.m.

Come visibile in figura 40 è poi presente nello stato di progetto del modello digitale del terreno una ulteriore partizione della cassa nella parte Nord-Ovest tramite arginello in terra che viene sormontato quando viene superata quota 20.20 m. s.l.m. di tirante idrico. Tali modifiche sono state previste e modellate il più fedelmente possibile alla realtà progettuale andando a modificare il modello digitale del terreno a disposizione.

Oltre a ciò si sono schematizzati i manufatti con annessi le chiaviche di invaso e di svaso della cassa d'espansione a funzione rispettivamente del riempimento e dello svuotamento del bacino. Nel modello il manufatto di invaso è schematizzato praticando due luci di forma geometrica identica (fig.58) nella parte iniziale della struttura laterale che divide l'area della cassa dal Cavo Bondeno. A tali luci è data la possibilità di essere parzializzate fino ad essere completamente aperte od occluse attraverso paratoie mobili (Gates). Il manufatto adibito allo svaso del bacino di accumulo è previsto non lontano da dove l'alveo del Cavo Baciocca sottopassa i rilevati della ferrovia, della strada provinciale e del piazzale annesso alla casa di guardia di Sirona. L'ultima versione aggiornata del software HEC-RAS 5.0.6 permette di apporre manufatti (inlinestructures) che possiedono organi mobili come paratoie anche all'interno di aree di calcolo bidimensionali.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

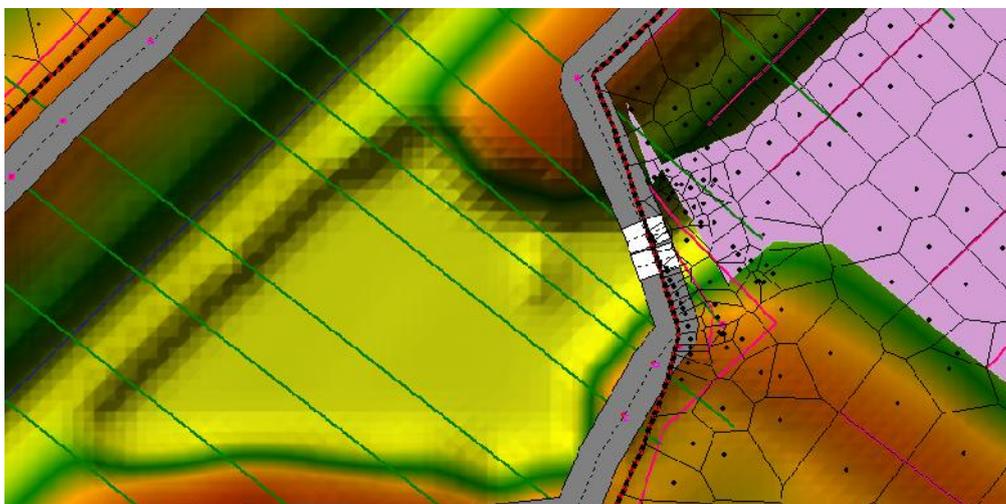


Figura 60. Schematizzazione del manufatto di invaso alla cassa nella geometria dello stato di progetto.

In figura 58, oltre allo schema nel manufatto di invaso, è presente una zona nell'area 2D di colore viola. Al suo interno si è modificato il valore di scabrezza determinato dal numero di Manning modificandolo dal valore di default di 0.06 a 0.03. Sempre da figura 58 è possibile come si è modificato il modello digitale del terreno in modo tale da sagomare l'alveo del Bondeno per rendere più facile e naturale l'entrata della corrente idrica all'interno del bacino di accumulo attraverso il manufatto di invaso. Le 2 luci di quest'ultimo misurano 4.10 metri in altezza e 2.5 metri di larghezza cadauna. La quota di fondo di tali luci sono poste a 17.4 m. s.l.m.

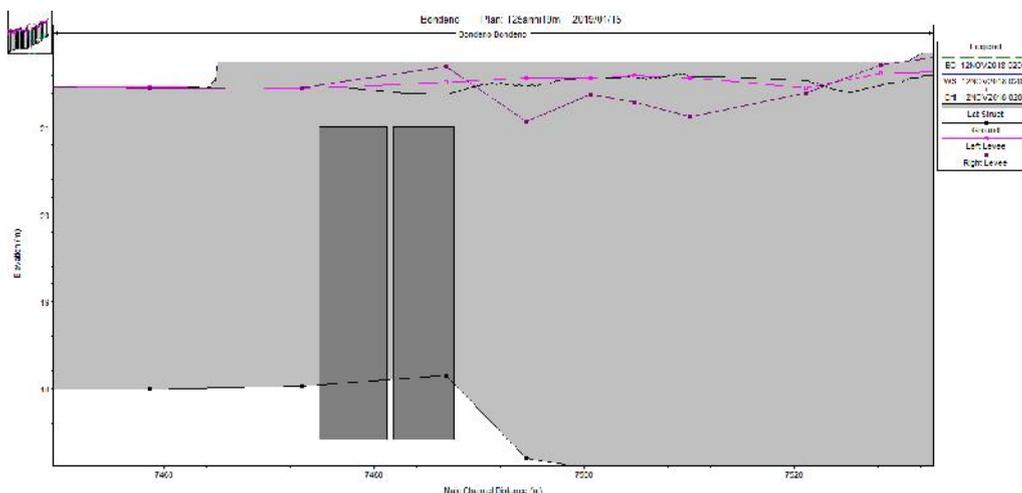


Figura 61. Schema del manufatto di invaso praticato sulla struttura laterale con paratoie abbassate.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI
Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

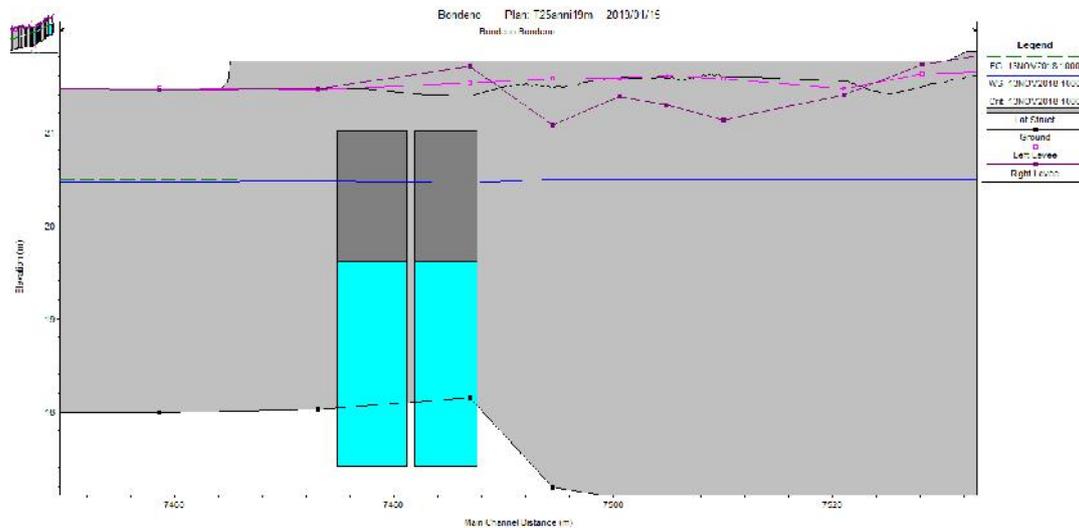


Figura 62. Schema del manufatto di invaso praticato sulla struttura laterale con paratoie alzate.

In figura 61 viene visualizzato nella geometria del modello dello stato di progetto l'area in prossimità del manufatto di svaso posto direttamente all'interno della griglia di calcolo bidimensionale sul modello digitale del terreno. figura 62 viene illustrato invece lo schema trasversale del manufatto di svaso.

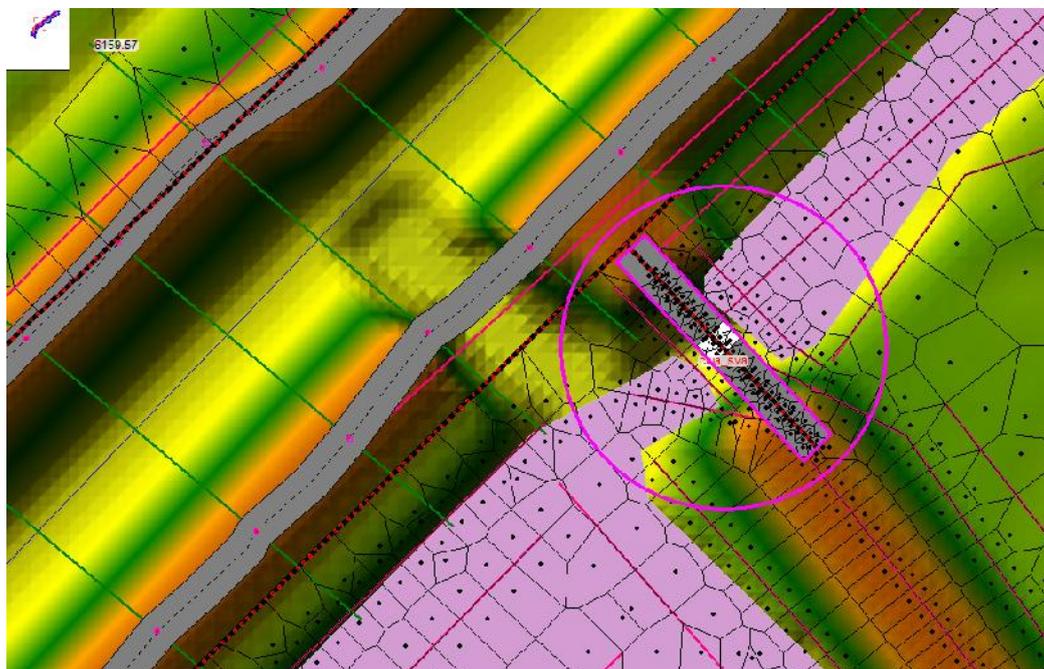


Figura 63. Schematizzazione di manufatto di invaso alla cassa nella geometria dello stato di progetto.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

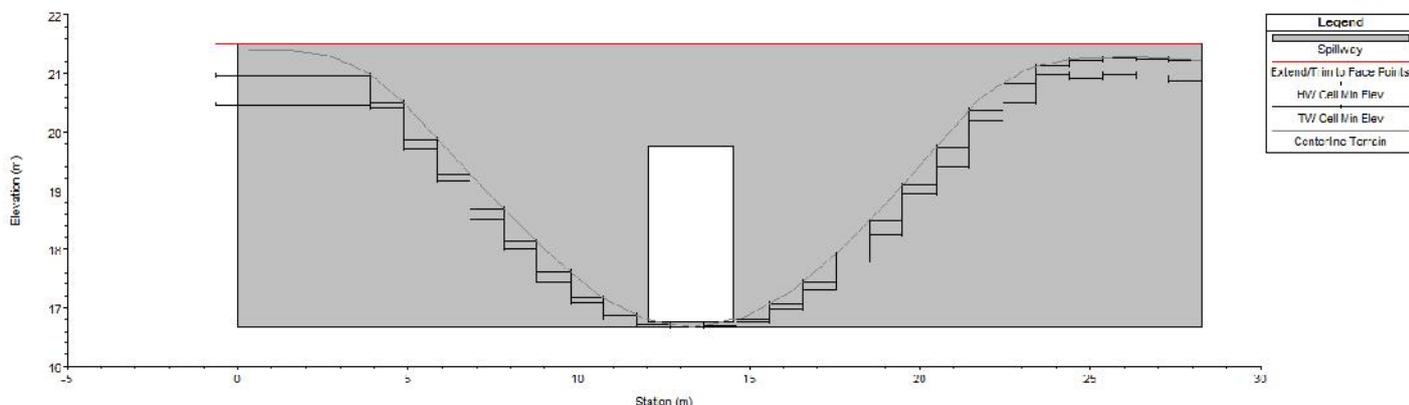


Figura 64. Schema del manufatto di svaso in sezione trasversale.

Il manufatto scatolare in c.a. che veicola le acque di scarico della cassa dalla chiavica di svaso di progetto possiede un'altezza di 3 metri e una larghezza di 2.5 metri con quota di fondo posta a 16.75 m.s.l.m. All'uscita dello scatolare in oggetto la corrente idrica viene passata dopo pochi metri di percorso ad una apertura a forma circolare che schematizza la tubazione veicolante le acque del Cavo Baciocca al di sotto del piazzale antistante la casa di guardia di Sirona, le quali in uscita da suddetta apertura si immettono nel C.A.B.R. In figura 65 e 66 si illustra lo schema di tale manufatto nella geometria bidimensionale e come sezione trasversale.

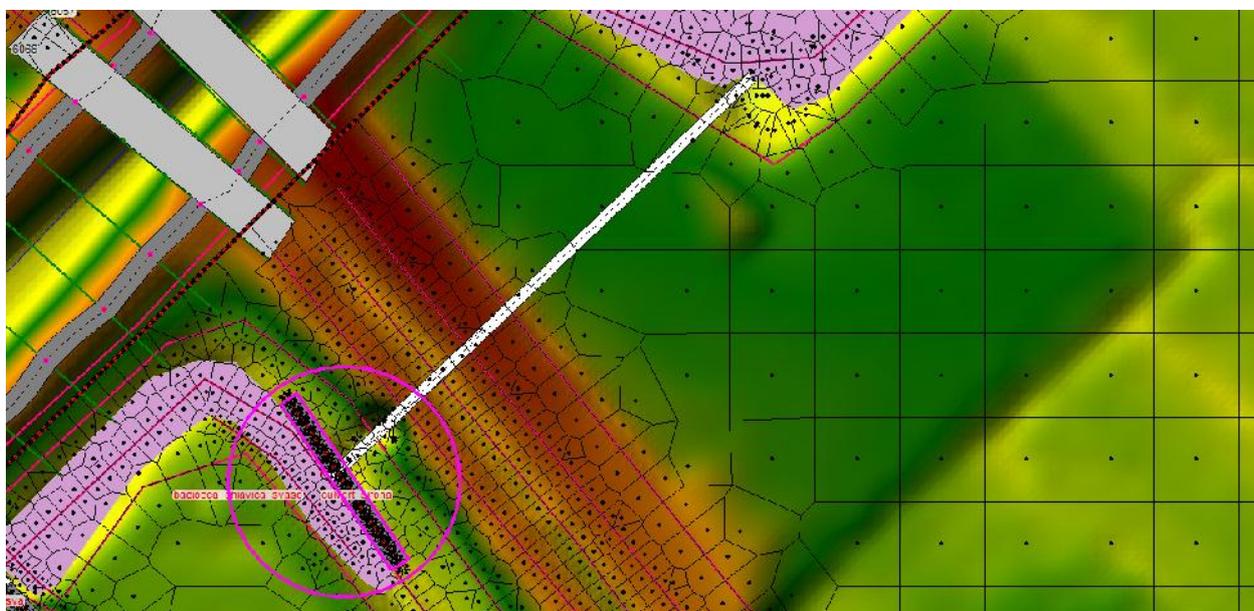


Figura 65. Schematizzazione dell'apertura circolare sottopassante la zona della casa di guardia a Sirona nello stato di progetto.

L'apertura di forma circolare in sezione chiusa nel modello possiede un diametro di 2 metri con una quota di fondo di partenza di 16.35 m. s.l.m. e una quota in uscita di 16.1 m. s.l.m.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

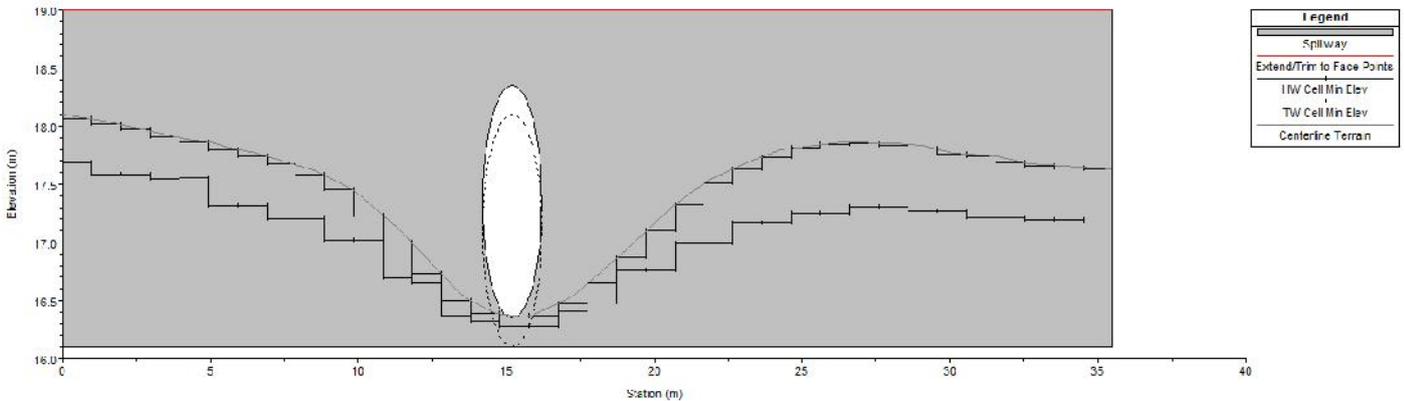


Figura 66. Schematizzazione dell'apertura circolare in sezione trasversale.

In seguito al passaggio per l'apertura in sezione chiusa appena descritta la portata effluente, regolata dall'apertura della chiavica di svaso della cassa, viene recapitata nell'alveo del C.A.B.R. definito dal modello digitale del terreno a disposizione. In questo frangente la modellazione idraulica avviene unicamente in modo bidimensionale trasferendo la portata effluente attraverso la griglia di calcolo appoggiata sull'alveo del C.A.B.R. Si è osservato infatti che le sue quote di fondo definite dal DTM non differiscono apprezzabilmente dalle quote definite dalle originali calcolazioni dei canali di bonifica, al contrario di quanto avviene all'interno dell'alveo del Cavo Bondeno. Il valore della scabrezza all'interno del C.A.B.R. è sempre stato considerato con un valore del numero di Manning pari a 0.03 contornando opportunamente l'area dell'alveo nella geometria bidimensionale (fig. 67).

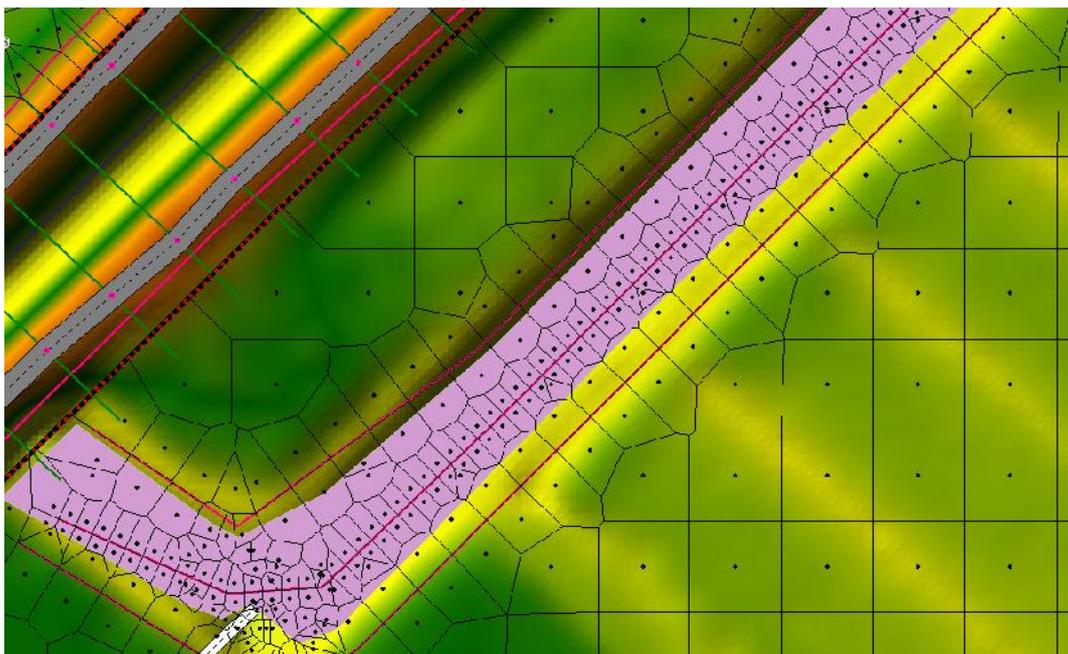


Figura 67. C.A.B.R. nella geometria bidimensionale subito a valle dello sbocco della tubazione in sezione chiusa.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Dopo la costruzione della geometria dei modelli idraulici che schematizzino il più fedelmente possibile sia lo stato di fatto che lo stato di progetto si passa all'inserimento delle informazioni di partenza (input) che vengono poi trasformati in output e delle condizioni al contorno nelle sezioni particolari e lungo determinati tratti di perimetro della griglia di calcolo.

Il principale input che si inserisce nella prima sezione di monte è ovviamente l'idrogramma temporale che risulta essere l'output del modello idrologico precedentemente descritto.

Nella sezione terminale del Cavo Bondeno, alla confluenza della Parmigiana Moglia che in questa sede non è stata modellata, vengono poi inserite le quote idrometriche raggiunte nel tempo da quest'ultima.

Tale condizione di valle molto importante regola in modo fondamentale le altezze idrometriche di tutte le sezioni a monte fino a circa il sostegno di Via Levata.

Nelle simulazioni di piena derivanti da idrogrammi con una stima del tempo di ritorno tali altezze sono state impostate fisse nel tempo (19 m. s.l.m. e 20 m. s.l.m.) mentre per gli eventi di piena storici, come già asserito, sono stati inseriti i dati idrometrici rilevati a Ponte Testa interpolando i valori delle quote mancanti. L'inserimento di tutte le condizioni al contorno con scansione temporale è stato effettuato costruendo dei files esterni .dss coadiuvati da opportuno software elaborato sempre dalla HEC di nome HEC-DSS. L'arco temporale utilizzato, tra il 12 e il 18 novembre 2018, è lo stesso del modello idrologico e non possiede un significato importante nella valutazione della modellazione se non puramente indicativo delle tempistiche in cui si svolgono gli eventi di piena. Sia nello stato di progetto che nello stato di fatto la condizione imposta alle paratoie del sostegno di Via Levata (fig.68) è quella di una apertura costante per tutta la modellazione in quanto si vogliono stimare gli effetti delle onde di piena in periodo non irriguo.

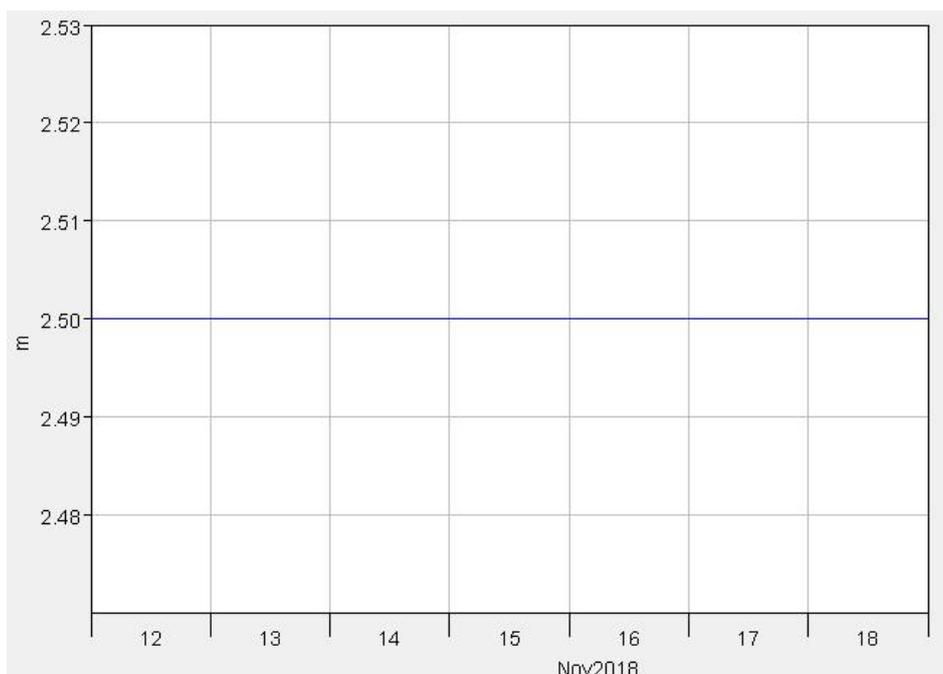


Figura 68. Livello di apertura costante alle paratoie del sostegno di di Via Levata.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Come rappresentato in figura 68 l'apertura delle luci in Via Levata è considerata costante per tutti gli eventi simulati ma anche per gli eventi storici. Le luci in oggetto sono quindi parzializzate in modo costante con una luce libera di altezza 2.5 metri. In figura 69 si osserva la confluenza del Cavo Bondeno, modellato con sezioni trasversali, e la Parmigiana Moglia. Le quote idrometriche deputate ad essere condizioni al contorno di valle si inseriscono nella sezione 22, ovvero quella posta più a valle.

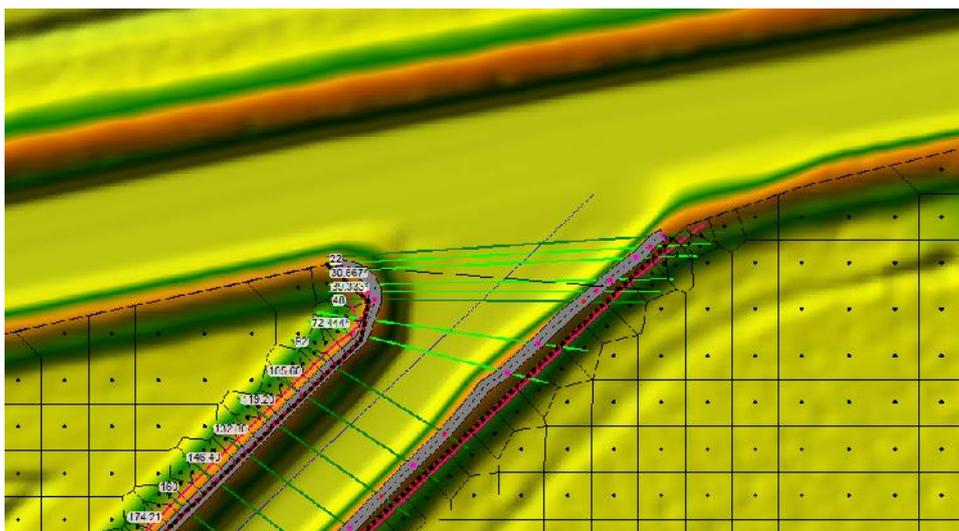


Figura 69. Confluenza del Cavo Bondeno nella Parmigiana Moglia rilevata dal DTM.



Figura 70. Quote idrometriche sul livello del mare registrate e interpolate a ponte Testa durante l'evento del 2005.

In figura 69 si può apprezzare su grafico i livelli idrometrici misurati a ponte Testa durante l'evento gravoso del 2005. Fino a circa le 01:00 del 16 ottobre non vi sono valori registrati e quindi si è proceduto ad inserire per tutti gli step temporali mancanti una quota costante di 18 m. s.l.m. in accordo con i primi valori memorizzati all'idrometro. Si ricorda che tali quote sono poste nella sezione 22 come condizione al contorno. In figura 71 si ha invece il grafico delle quote idrometriche registrate raggiunte sempre allo stesso idrometro durante l'evento di piena occorso tra il 3 ed il 22 novembre 1999. Anche in questo caso sono presenti

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

intervalli temporali, anche lunghi, in cui i valori idrometrici non sono presenti. In figura 72 è presentato il grafico con l'aggiunta di valori interpolati per lo stesso evento.

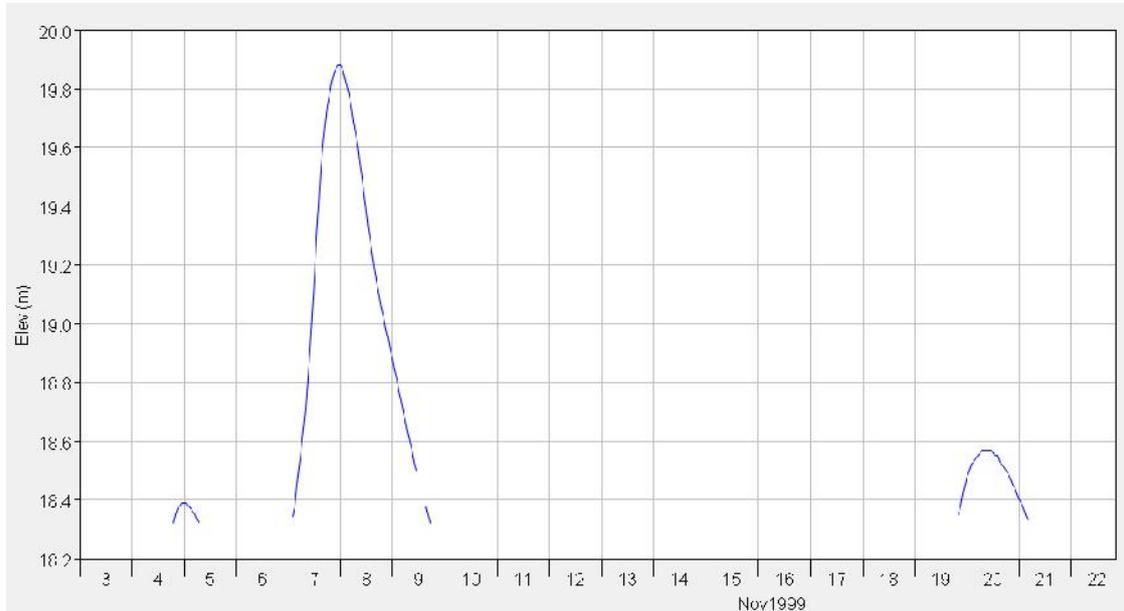


Figura 71. Quote idrometriche sul livello del mare registrate a ponte Testa durante l'evento del 1999.

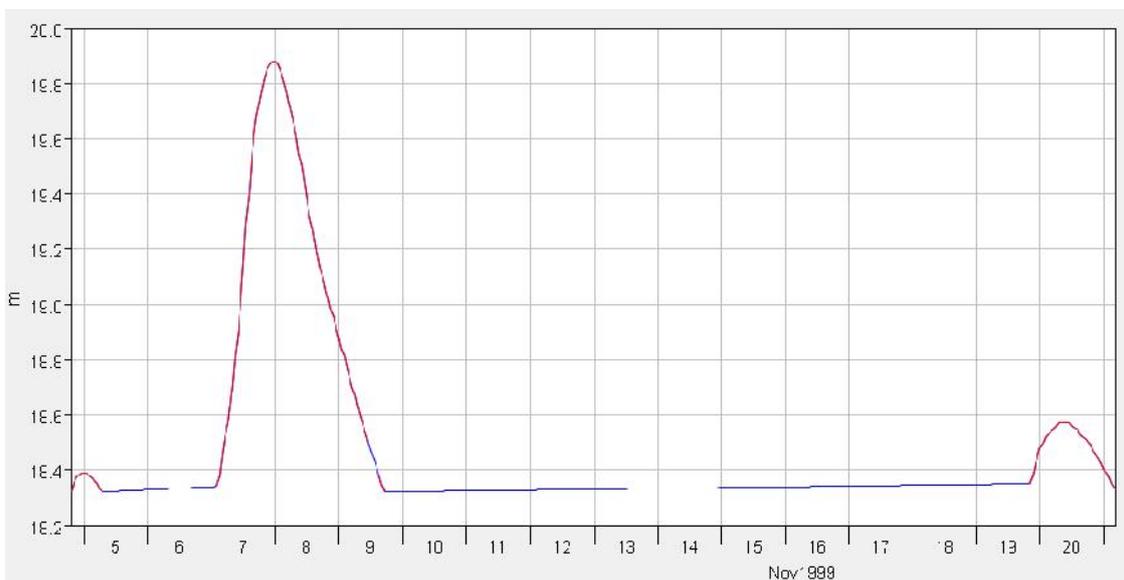


Figura 72. Quote idrometriche registrate (in rosso) e interpolate (in blu) sul livello del mare a ponte Testa per l'evento del 1999.

In figura 73 e 74 sono presenti in formato grafico le condizioni al contorno date per le modellazioni degli eventi di piena con tempi di ritorno differenti nello stato di fatto e nello stato di progetto, ossia i livelli idrometrici costanti alla sezione 22 di 19 m. s.l.m. e 20 m. s.l.m.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

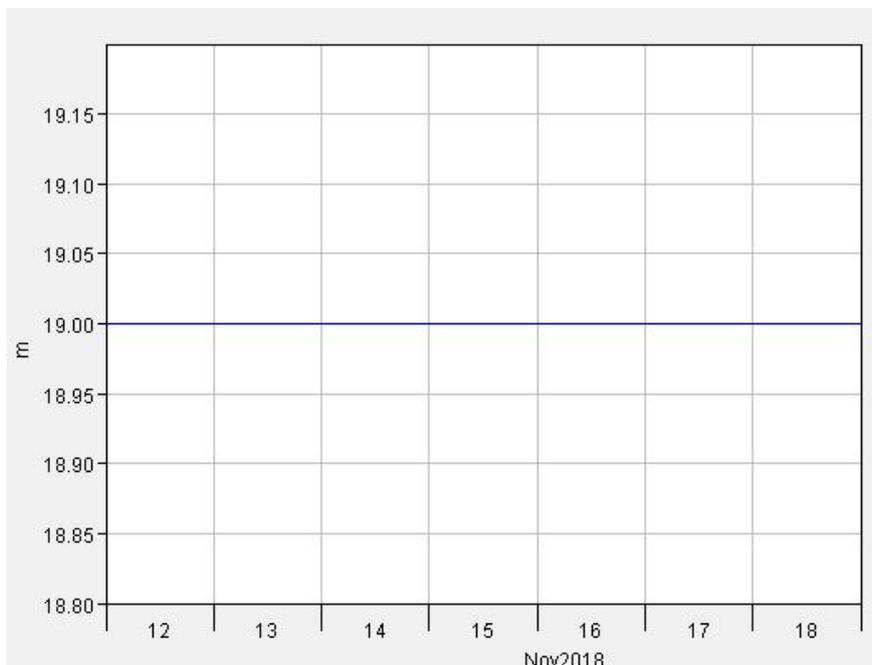


Figura 73. Quota idrometrica costante di 19 m. s.l.m. alla sezione 22.

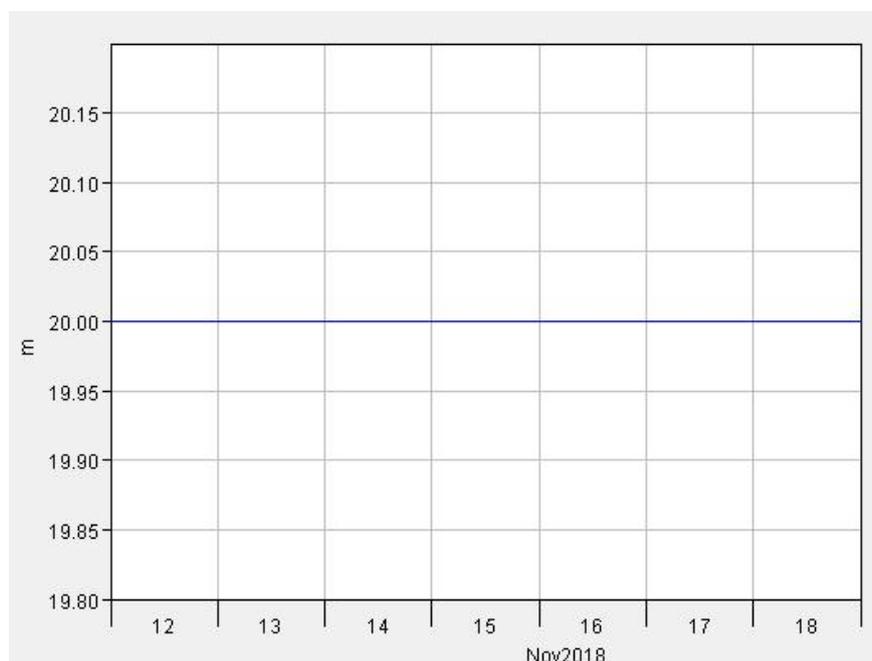


Figura 74. Quota idrometrica costante di 20 m. s.l.m. alla sezione 22.

4.4.1 Condizioni al contorno nello stato di progetto

Oltre all'idrogramma in ingresso, all'apertura delle paratoie al sostegno di Via Levata e alle quote idrometriche alla sezione 22 nel modello idraulico dello stato di progetto è richiesto di inserire anche le altezze di apertura delle paratoie delle chiaviche di invaso e svasso del bacino di accumulo idrico durante l'intervallo temporale di simulazione. Oltre a questi valori espressi in metri ad ogni orario durante la

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

modellazione si inserisce anche come condizione al contorno (Boundary condition) il valore di pendenza in uscita dalla griglia bidimensionale di calcolo dove l'alveo del C.A.B.R. incontra il perimetro esterno di quest'ultima. Tale pendenza è stimata in 0.0003. In figura 75 (in basso a destra) si raffigura l'area della geometria bidimensionale in cui è fissata quest'ultima condizione al contorno.



Figura 75. Condizione al contorno per la pendenza del C.A.B.R. lungo il perimetro dell'area 2D di calcolo.

Il grado di apertura delle due paratoie della chiavica di invaso e di quella per il manufatto di svaso sono sempre inserite nella modellazione attraverso file .dss. Si riportano nelle figure 76 e 77 le loro aperture nell'intervallo di simulazione utilizzato sempre in formato grafico come in precedenza. Tali gradi di apertura sono stati valutati tentando di ottimizzare il rapporto di laminazione e l'efficienza della cassa conoscendo la forma dell'onda in arrivo alla cassa. Si precisa a riguardo che non si esclude che si possano raggiungere differenti valori di efficienza idraulica e rapporti di laminazione della cassa in occasione di manovre sulle paratoie operate con onde in ingresso reali previste dal modello idrologico e quindi con forme e volumi differenti da quelle di progetto.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

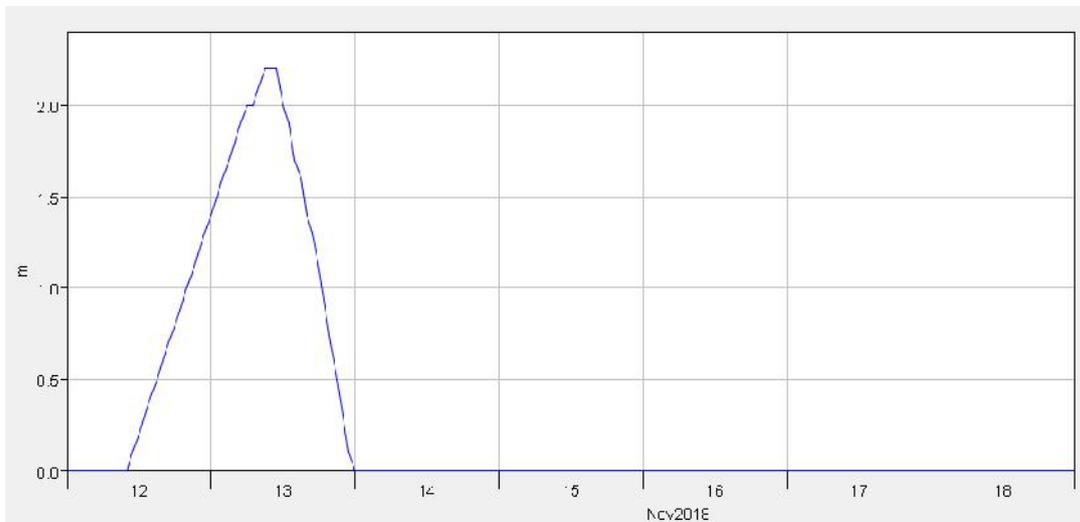


Figura 76. Grado di apertura delle paratoie della chiavica di invaso durante le simulazioni di progetto.

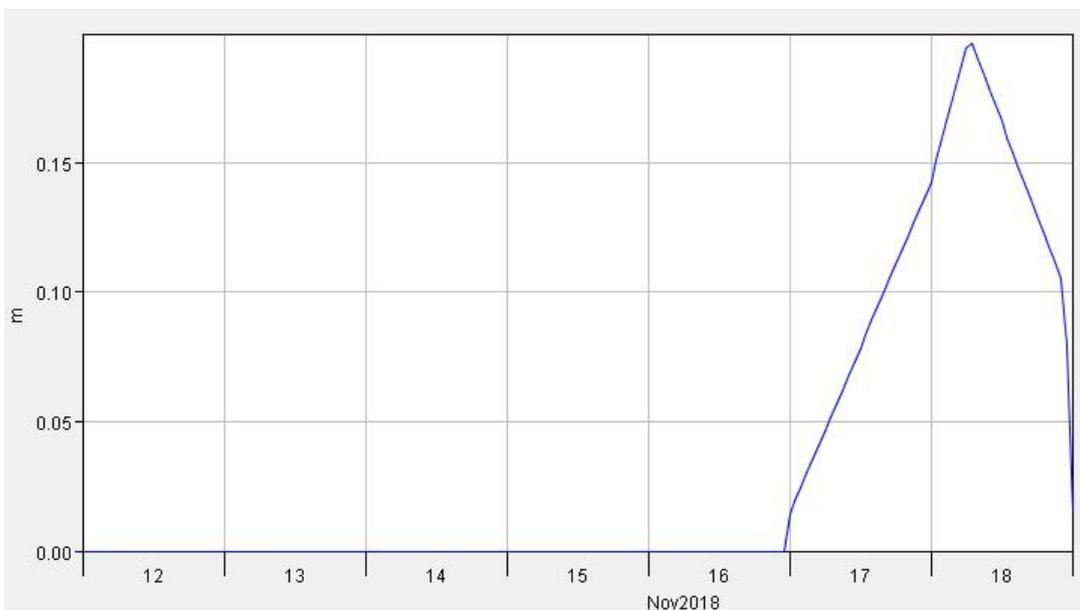


Figura 77. Grado di apertura della paratoia della chiavica di svaso durante le simulazioni di progetto.

4.5 TARATURA DELLA CATENA MODELLISTICA

In seguito alla costruzione del modello idrologico e del modello idraulico dello stato di fatto si può denominare la coppia dei due modelli una catena modellistica. L'output in uscita dal modello idrologico è infatti utilizzato come input dal modello idraulico. Si è voluto saggiare la validità di questa catena modellistica simulando un evento di pioggia, e quindi di piena, realmente occorso. Per la quantità delle rilevazioni idrometriche e pluviometriche disponibili si è valutato di operare questa validazione con l'evento dell'ottobre del 1999. Si è voluto quindi verificare che, partendo dall'immissione delle reali quantità di pioggia cadute ai pluviometri di interesse, le quote idrometriche raggiunte alla stazione di misura della casa di guardia di Sirona sul Cavo Bondeno fossero paragonabili ai livelli idrometrici derivanti dal modello idraulico dello stato di fatto

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

nella medesima sezione. Si ricorda che quest'ultima è posizionata appena a valle del ponte della SP 42 Novellara Guastalla. In figura 78 sono raffigurati in un grafico i risultati di tale sovrapposizione.

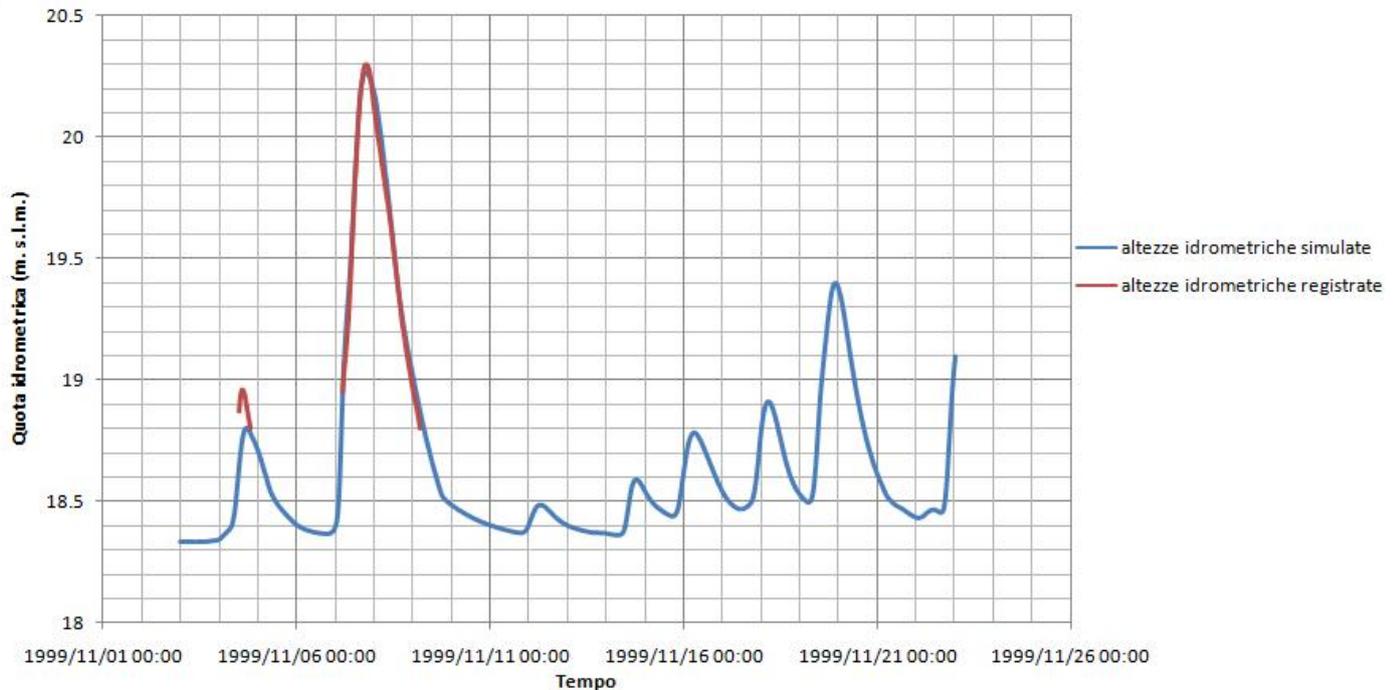


Figura 78. Confronto tra altezze idrometriche registrate (in rosso) e simulate (in blu).

Seppur sia visibile la scarsità di valori registrati si può osservare che i primi due colmi di piena rilevati sono praticamente contemporanei a quelli simulati. Inoltre l'aderenza degli stessi valori idrometrici nel secondo picco, il quale è sicuramente il più significativo, rende soddisfacente la taratura dell'intera catena modellistica. Per quanto riguarda invece il primo colmo tale aderenza pare essere meno performante. I dati idrometrici registrati riportano a riguardo valori di 10/15 cm più alti. Tale scostamento è da attribuire principalmente alle condizioni iniziali fornite nel modello idrologico. Anche piccole variazioni dell'umidità iniziale, deflusso di base, perdita iniziale ecc. possono modificare sostanzialmente la portata effluente stimata nei primi intervalli temporali di simulazione. Queste ultime variabili si modificano di anno in anno e sono condizionate in modo pesante dalle condizioni atmosferiche precedenti all'evento di piena le quali dovrebbero essere conosciute in modo completo.

4.6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI

Nei seguenti paragrafi si propongono i risultati derivanti dalle simulazioni eseguite con i modelli idraulici costruiti e precedentemente descritti rispettivamente nello schema di stato di fatto e di progetto per i tempi di ritorno di 25, 50 e 100 anni. Tutte le modellazioni sono effettuate in presenza della condizione al contorno sui livelli idrometrici costanti del Cavo Parmigiana Moglia con 19 m. s.l.m. e 20 m.s.l.m. . Nello schema dello stato di fatto, per quanto riguarda le altezze idrometriche raggiunte e i valori di portata in m^3/s si fa riferimento alla sezione sul Cavo Bondeno operata nel modello digitale del terreno in prossimità della casa

di guardia di Sirona dove è posizionato l'idrometro. Nella figura 79 si rappresenta dove è allocata tale sezione nel modello digitale del terreno e con il layer Google Hybrid (fig.80).



Figura 79. Sezione di riferimento di Sirona nel modello digitale del terreno.

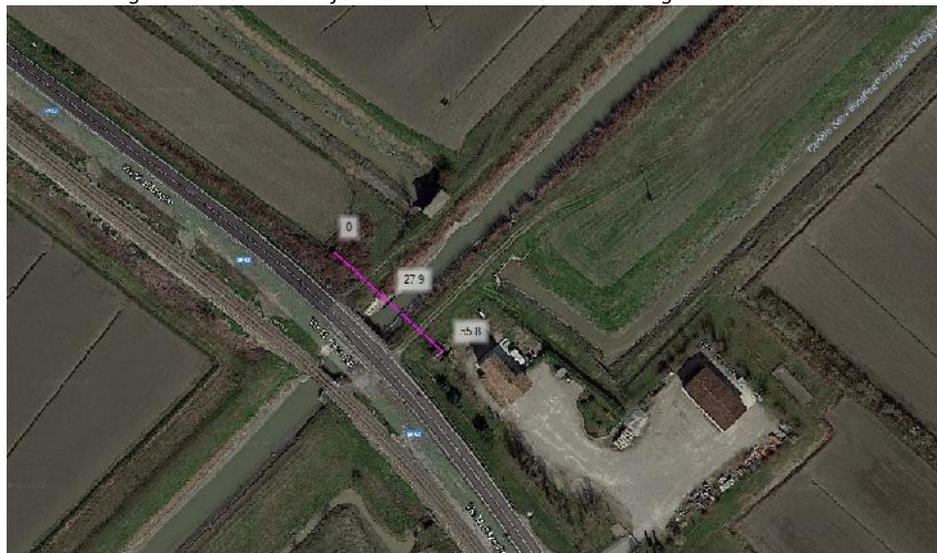


Figura 80. Sezione di riferimento a Sirona con il layer di Google Hybrid.

Nello stato di progetto viene fatto riferimento, oltre alla sezione nei pressi della casa di guardia di Sirona, ad altre 2 principali sezioni praticate nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno delle quali viene illustrata la posizione nelle figure 81, 82. Tramite queste ultime si visualizzano le quote idrometriche raggiunte e si pratica il confronto tra gli idrogrammi di portata nelle sezioni prima e dopo il manufatto di invaso del bacino di laminazione. Inoltre, viene posta attenzione all'idrogramma in uscita dalla cassa scaricata nel C.A.B.R. con la sezione raffigurata in figura 83.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

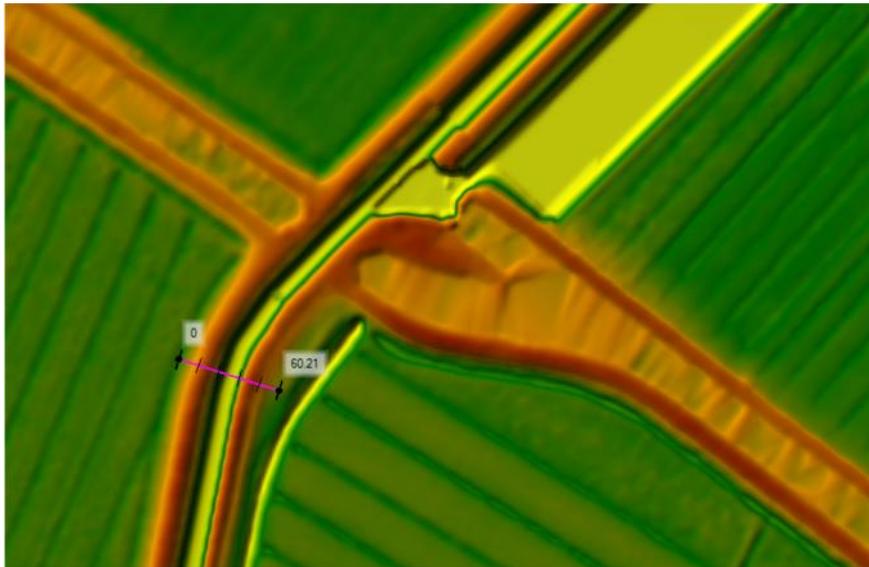


Figura 81. Sezione a monte del manufatto di invaso nella geometria del modello digitale del terreno.



Figura 82. Sezione intermedia alla cassa d'espansione.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Figura 83. Sezione d'interesse sul C.A.B.R.

4.6.1 Stato di fatto con tempo di ritorno 25 anni

Nei seguenti sottoparagrafi si descrivono i risultati della modellazione con un idrogramma di piena in ingresso stimato con 25 anni di tempo di ritorno.

4.6.1.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 84 si illustra il profilo longitudinale con i massimi tiranti idrici raggiunti.

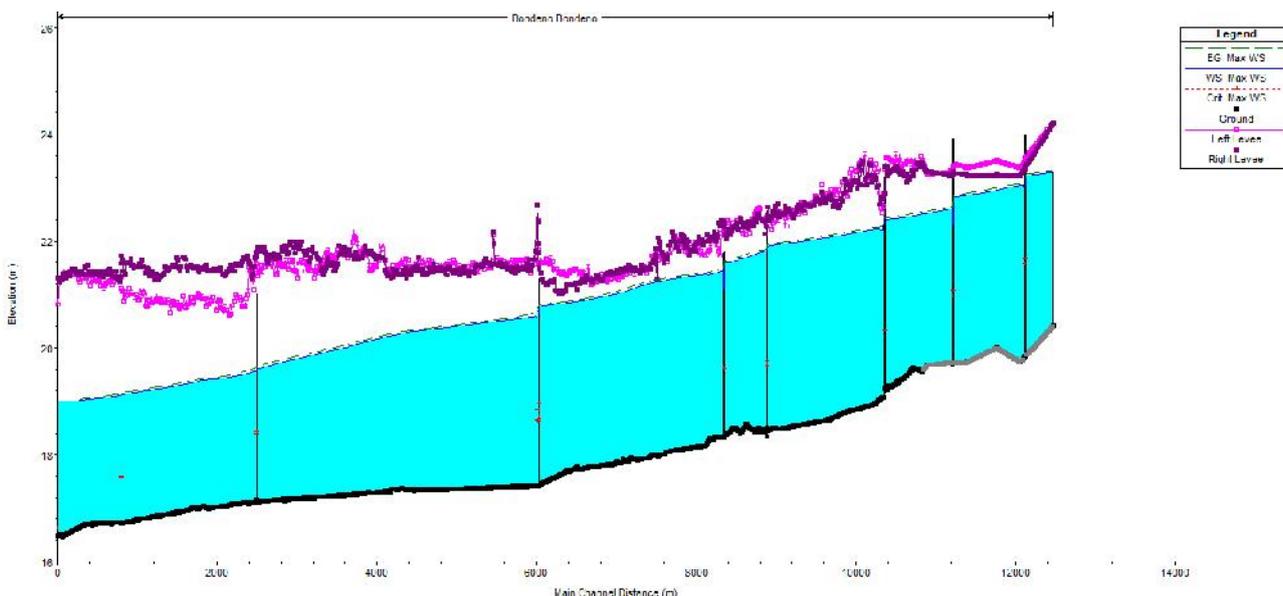


Figura 84. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 85 sono sempre rappresentati i massimi livelli idrici raggiunti nel cavo Bondeno nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno nella zona dove è in previsione il sorgere della cassa.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

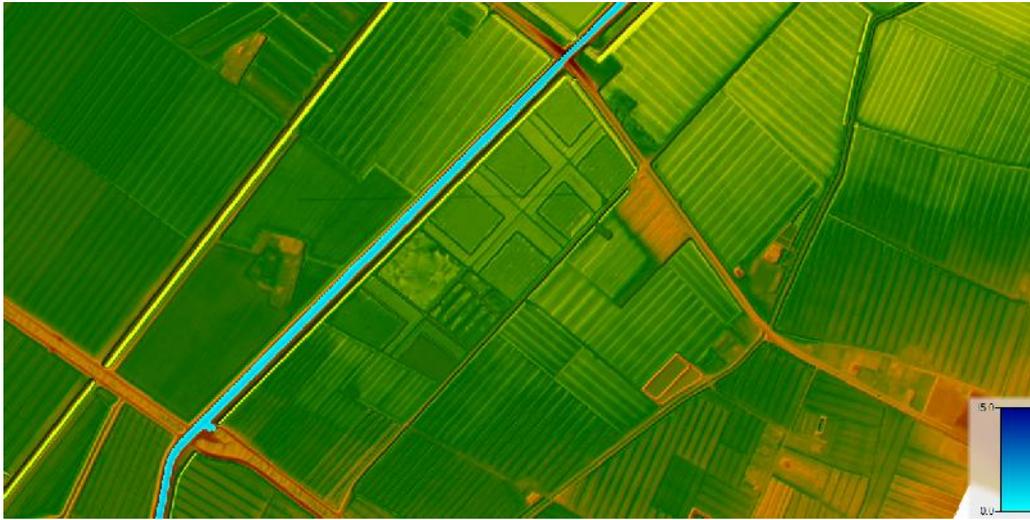


Figura 85. Massimi livelli idrici raggiunti nel DTM.

Viene riportato, in figura 86, il massimo tirante idrico raggiunto alla sezione di Sirona e , in figura 87, l'idrogramma di piena che affluisce nello stesso punto.

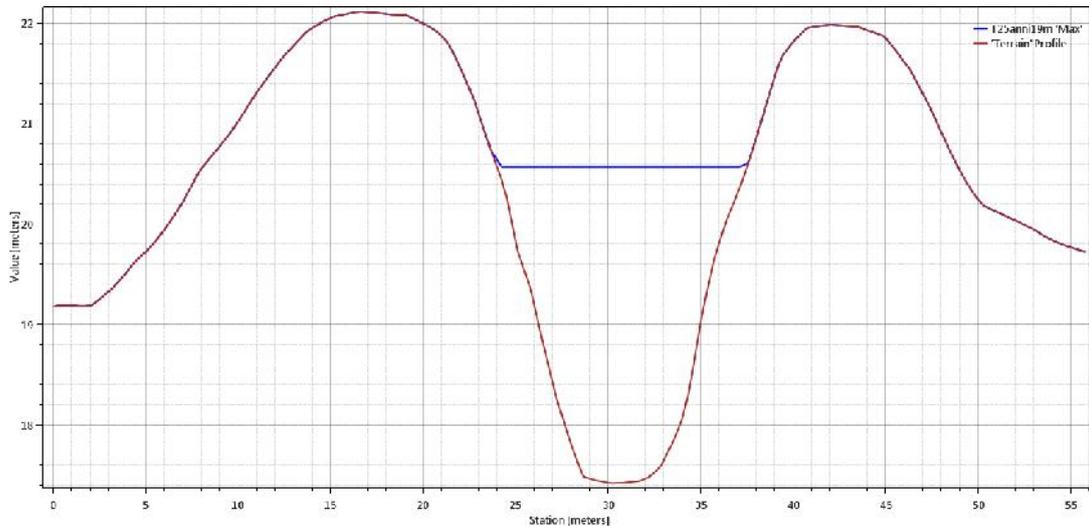


Figura 86. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

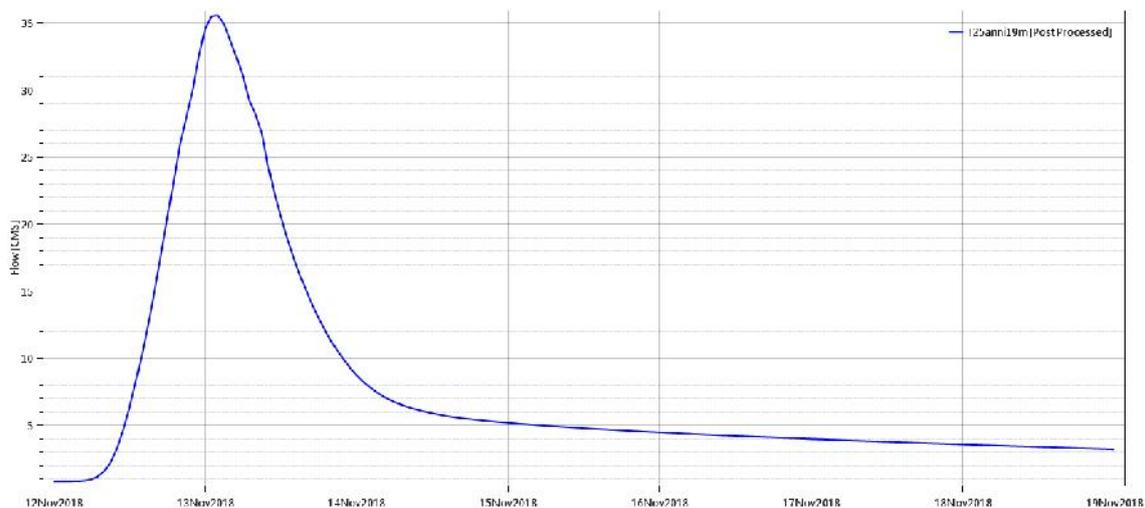


Figura 87. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

Il massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona è di 20.57 m. s.l.m. mentre la portata al colmo calcolata è di 35.58 m³/s.

4.6.1.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 88, 889 e 90 si ripropongono sempre il profilo longitudinale del tratto modellato del Bondeno con i massimi tiranti idrici raggiunti e i risultati di altezza idrometrica massima e idrogramma di portata alla sezione di Sirona con una quota costante della Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m. .

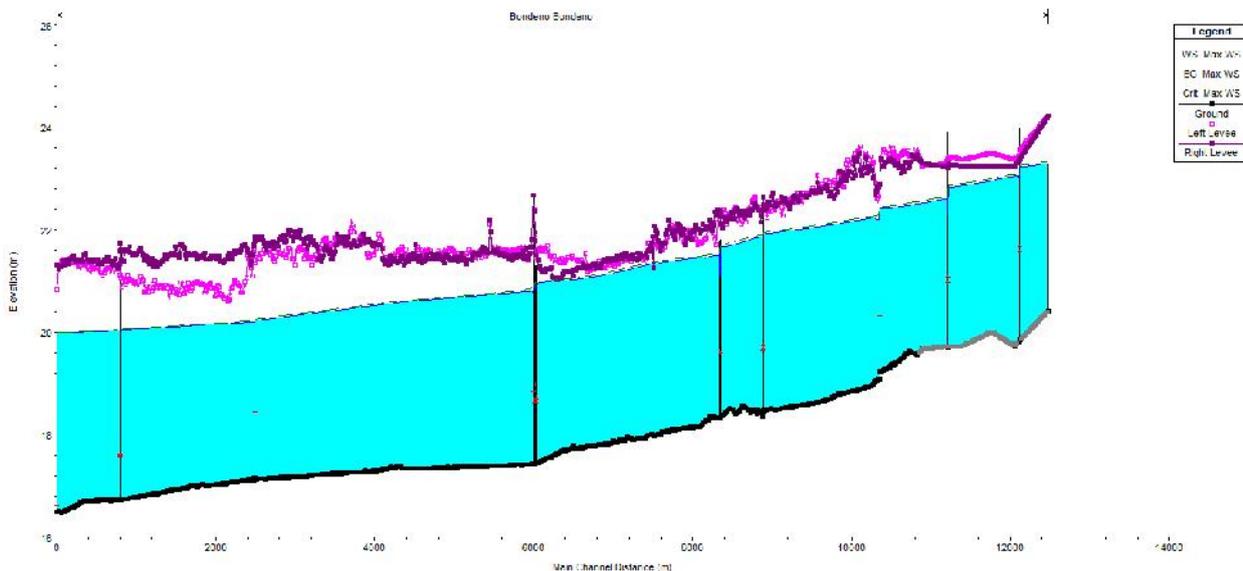


Figura 88. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

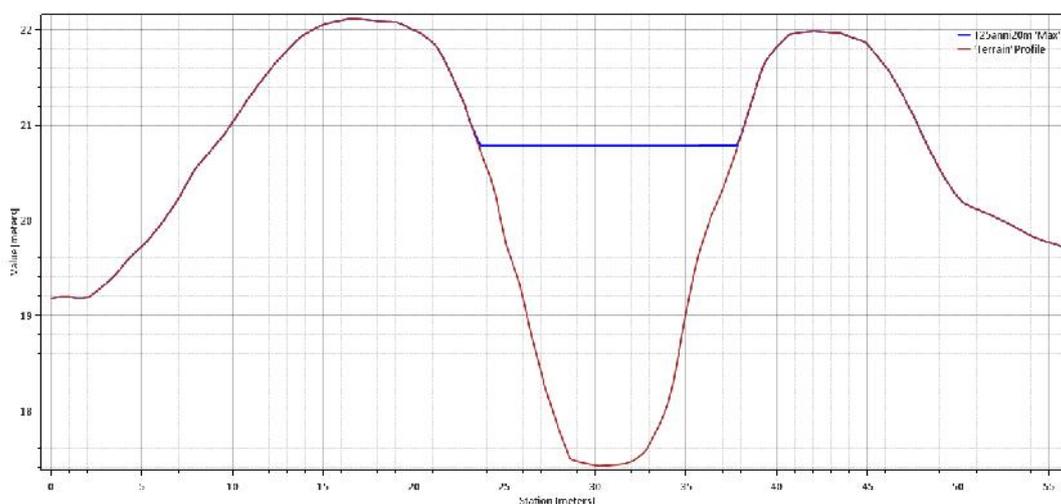


Figura 89. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

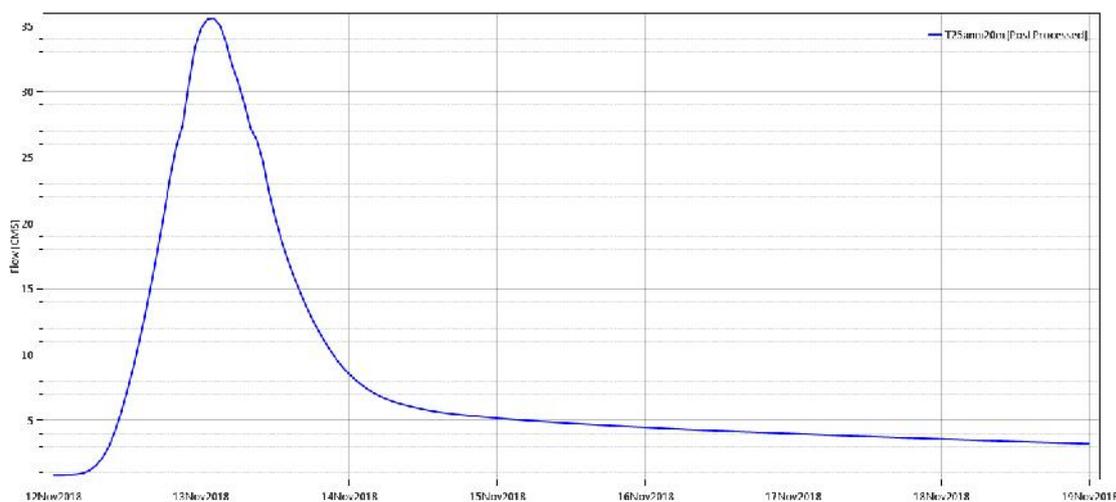


Figura 90. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

Alla sezione di Sirona risulta una portata al colmo di $35.57 \text{ m}^3/\text{s}$ e una altezza idrometrica massima di 20.78 m. s.l.m. In figura 91 si può osservare che in questa simulazione si verifica all'interno della geometria bidimensionale una fuoriuscita della corrente dall'alveo del Bondeno poco meno di 300 metri a monte della stazione idrometrica della Sirona. In questo punto l'acqua esce dall'arginatura solo in destra idraulica nell'area individuata per l'edificazione del bacino di laminazione ed è causata in gran parte dal fenomeno di rigurgito provocato dal notevole restringimento della sezione d'alveo praticato dai ponti della ferrovia Reggio-Guastalla e della SP42, come percepibile anche in figura 88. Tuttavia, il limitato volume di acqua fuoriuscita in questo caso viene intercettata dal Cavo Baciocca che scorre parallelamente all'arginatura ed entrando quindi nel reticolo idrografico secondario delle acque basse.



Figura 91. Fuoriuscita di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale del terreno.

4.6.2 Stato di fatto con tempo di ritorno 50 anni

In questo paragrafo si descrivono gli effetti dell'idrogramma di progetto stimato con tempo di ritorno 50 anni sulla stessa geometria dello stato di fatto utilizzata al paragrafo precedente. Anche per quanto riguarda i valori idrometrici e di portata si fa riferimento alle medesime sezioni illustrate al paragrafo 4.6.2.

4.6.2.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 92 si illustra il profilo longitudinale con i massimi tiranti idrici raggiunti.

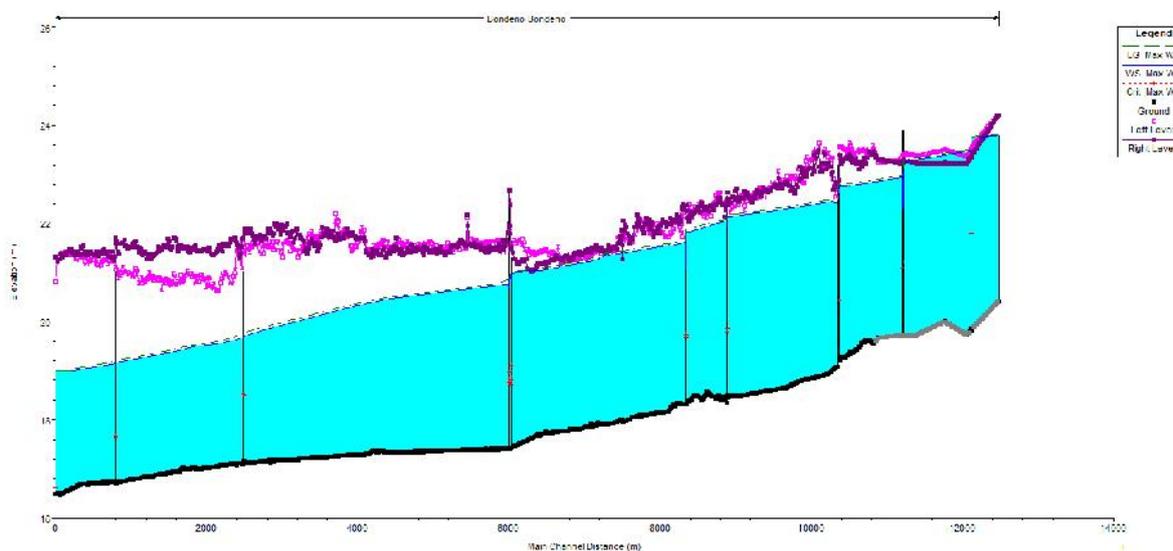


Figura 92. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

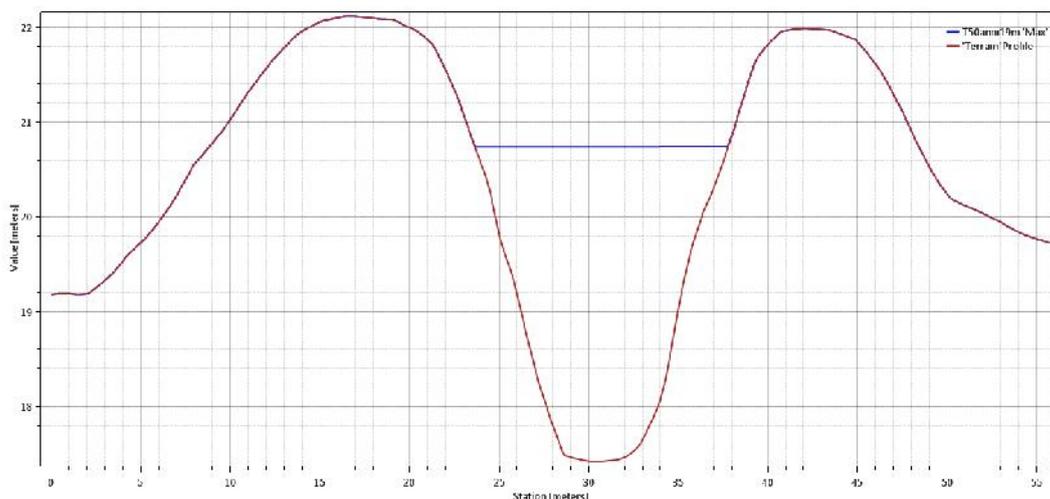


Figura 93. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

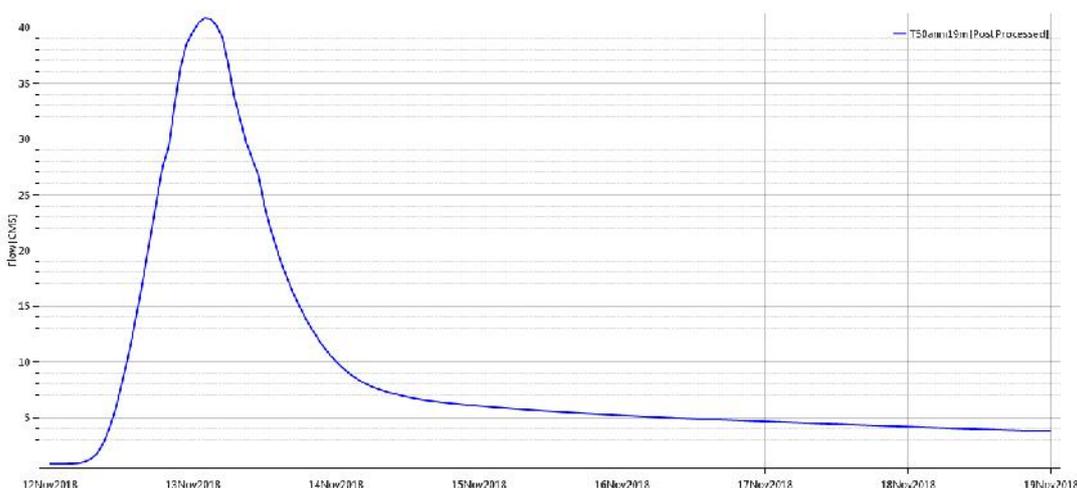


Figura 94. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

L'altezza idrometrica massima raggiunta a Sirona in questo caso è stimata in 20.74 m. s.l.m. mentre la portata al colmo risulta essere 40.85 m³/s. Già dal profilo longitudinale dei massimi tiranti idrici si può osservare che in numerose sezioni nella parte più a monte, dove non è presente il modello digitale del terreno, le sommità arginali in destra e sinistra idraulica sono sormontate. Da come visibile meglio in figura 95 anche nella zona a monte della ferrovia Reggio Novellara avvengono sormonti arginali più vistosi in destra idraulica ma anche in sinistra.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

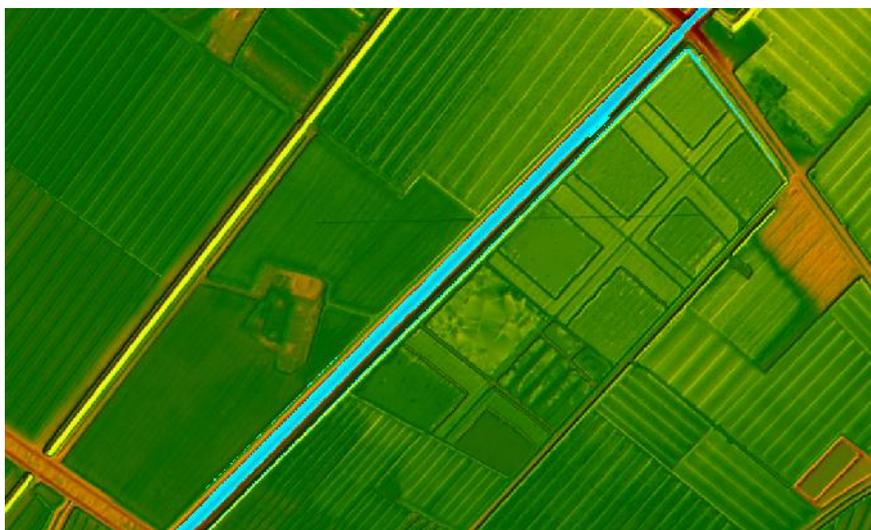


Figura 95. Fuoriuscita di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale del terreno.

In figura 96 è rappresentato un zoom del profilo longitudinale dei massimi tiranti idrici tra il ponte di Via Boschi e i ponti ferroviario e stradale (provinciale SP12) in zona Sirona.

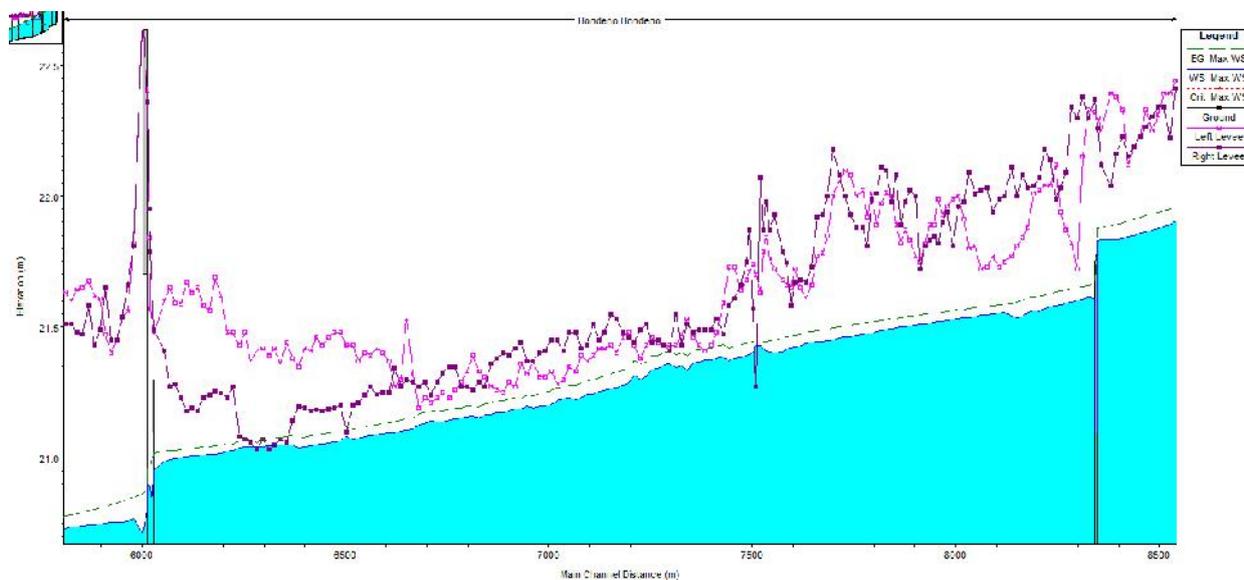


Figura 96. Profilo dei massimi tiranti idrici tra il ponte di Via Boschi e la Sirona.

4.6.2.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 97 si illustra il profilo longitudinale con i massimi tiranti idrici raggiunti.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

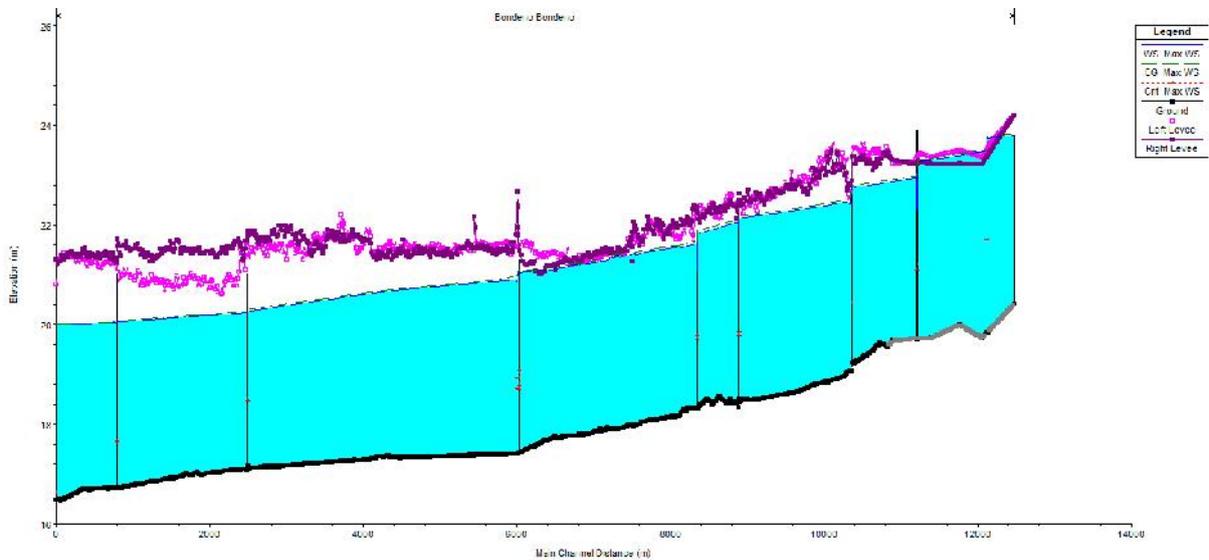


Figura 97. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

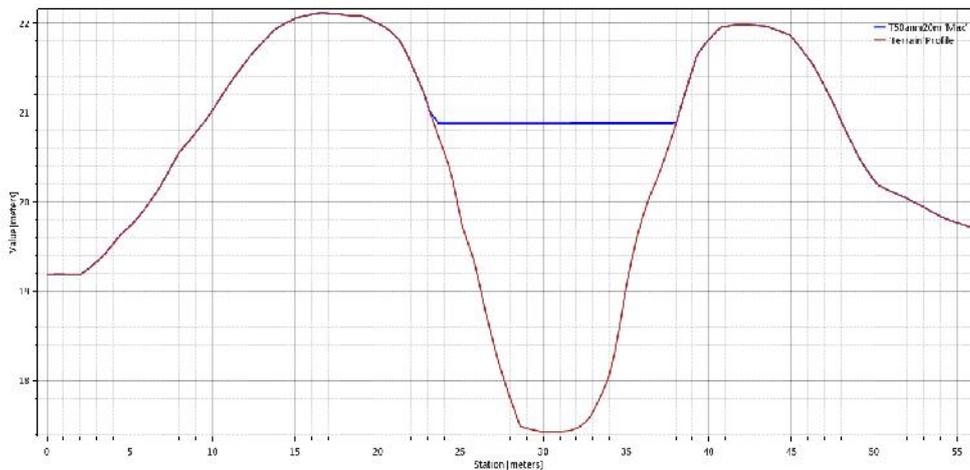


Figura 98. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

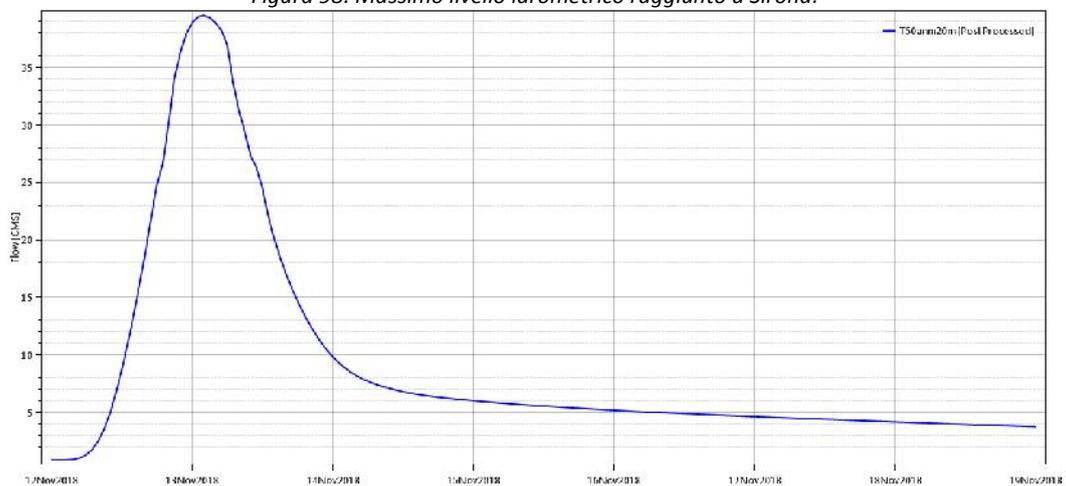


Figura 99. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Alla sezione di Sirona l'altezza idrometrica massima raggiunge i 20.88 m. s.l.m. mentre la portata al colmo tocca i 38.9 m³/s. Con le presenti condizioni di simulazione le fuoriuscite dalle arginature sono più copiose e frequenti, come riportato nella seguente figura 100. L'attuale portata al colmo risulta leggermente più bassa proprio in ragione dei sormonti che avvengono prima della sezione di Sirona.

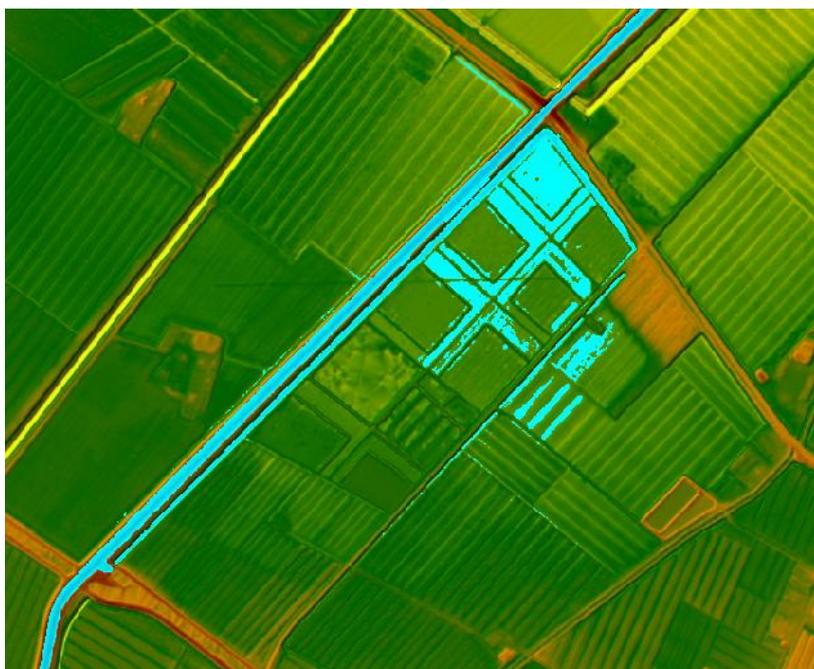


Figura 100. Fuoriuscita di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale del terreno.

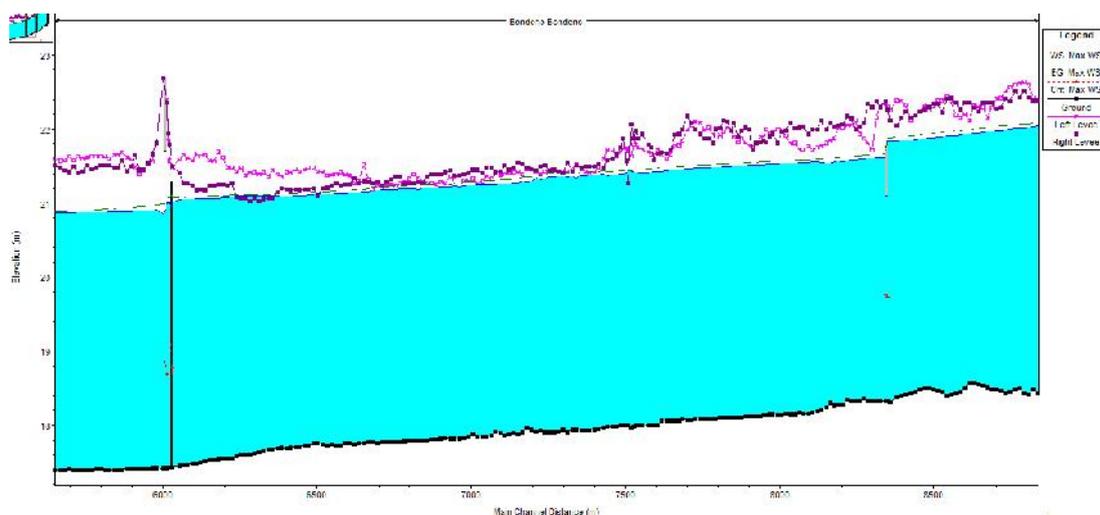


Figura 101. Profilo dei massimi tiranti idrici tra il ponte di Via Boschi e la Sirona.

In figura 101 si mostra il profilo longitudinale nello stesso tratto di figura 93.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4.6.3 Stato di fatto con tempo di ritorno 100 anni

In questo paragrafo si descrivono gli effetti dell'idrogramma di progetto stimato con tempo di ritorno 100 anni sulla stessa geometria dello stato di fatto utilizzata al paragrafo precedente. Anche per quanto riguarda i valori idrometrici e di portata si fa riferimento alle medesime sezioni illustrate al paragrafo 4.6.2.

4.6.3.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 93 si illustra il profilo longitudinale con i massimi tiranti idrici raggiunti.

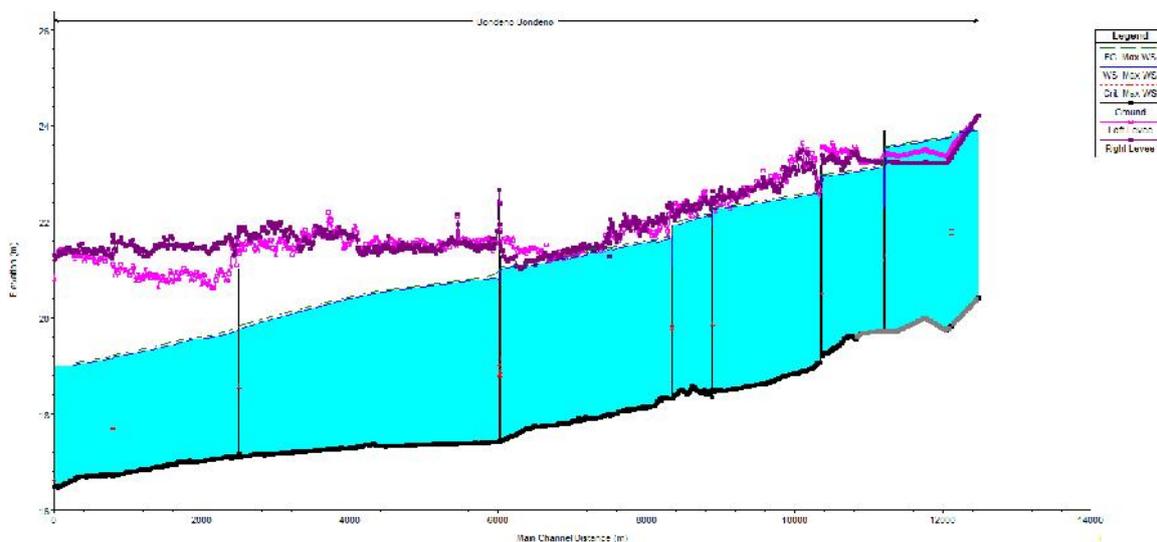


Figura 102. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

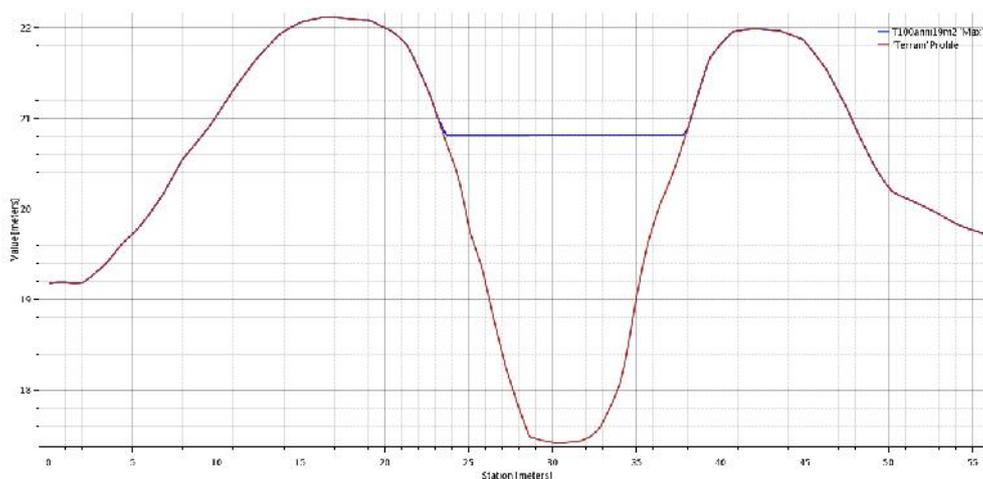


Figura 103. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

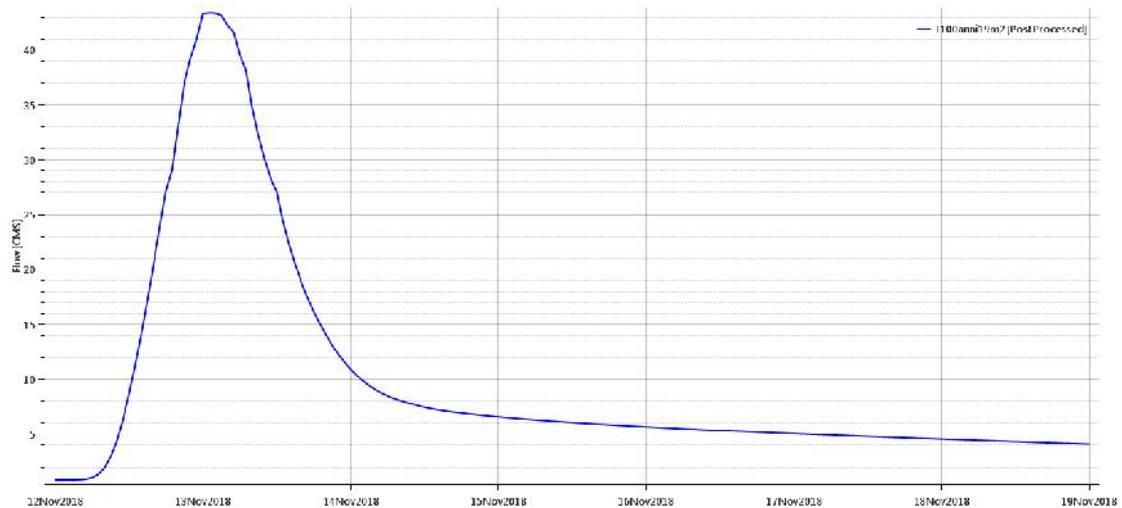


Figura 104. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

Alla sezione di Sirona l'altezza idrometrica massima raggiunge i 20.81 m. s.l.m. mentre la portata al colmo tocca i 43.4 m³/s. In figura 105 sono rappresentate le fuoriuscite di acqua nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno dall'alveo le quali avvengono in questo caso non più solo tra l'intersezione con l'Allacciante Cartoccio e Sirona ma anche più a monte.



Figura 105. Fuoriuscite di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale del terreno.

Nelle prossime figure (106, 107 e 108) si pratica un ingrandimento sulle zone della geometria bidimensionali dove avvengono i sormonti arginali. Viene inserito in queste ultime il layer di Google Hybrid.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

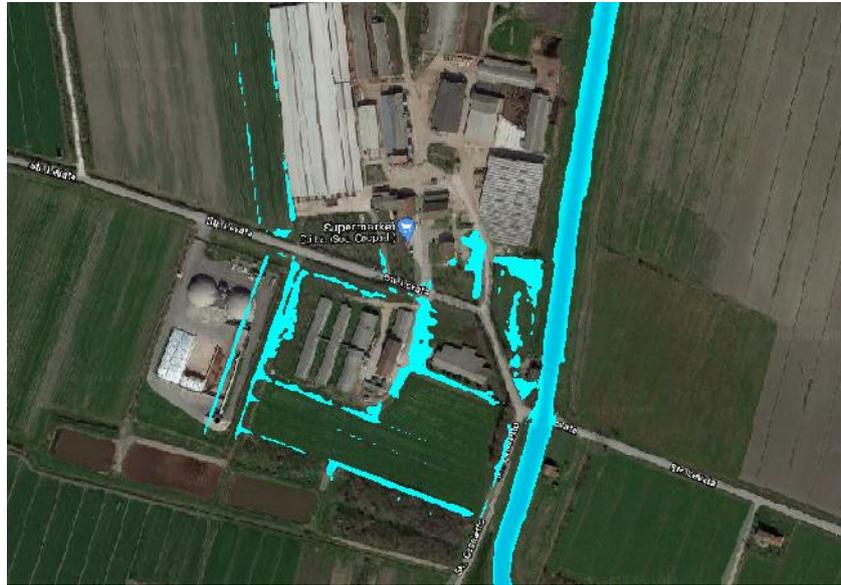


Figura 106. Fuoriuscita di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale nella zona di Via Levata.

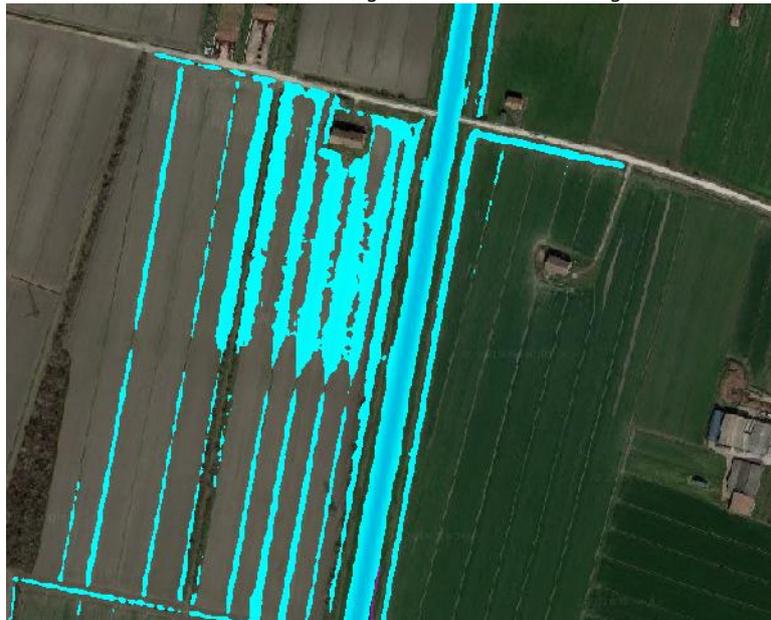


Figura 107. Fuoriuscite di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale nella zona del ponte di Via Pennella.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)



Figura 108. Fuoriuscite di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale nella zona di Sirona.

Per quanto riguarda la zona di Via Levata si può osservare che il sormonto arginale avviene in sinistra idraulica e a valle del ponte. In figura 109 viene rappresentato il profilo longitudinale dei massimi tiranti idrici nell'intorno quest'ultimo.

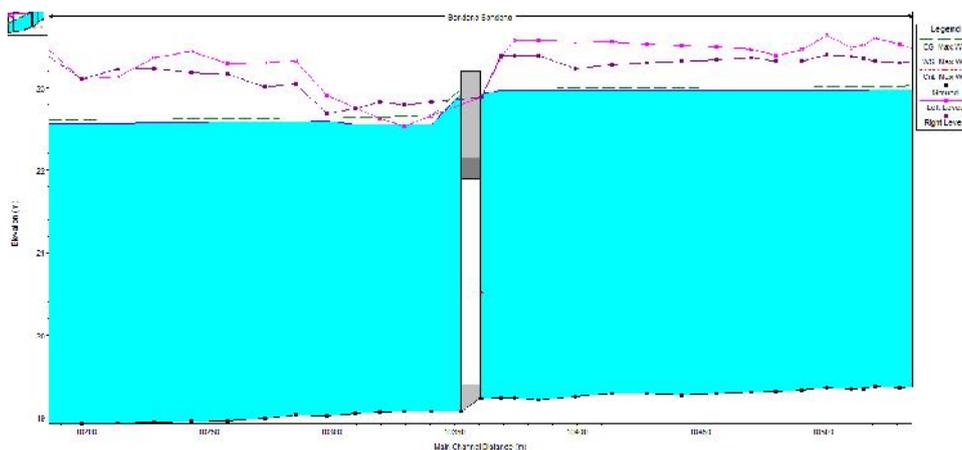


Figura 109. Profilo dei massimi tiranti idrici nell'intorno del sostegno di Via Levata.

4.6.3.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 110 si illustra il profilo longitudinale con i massimi tiranti idrici raggiunti.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

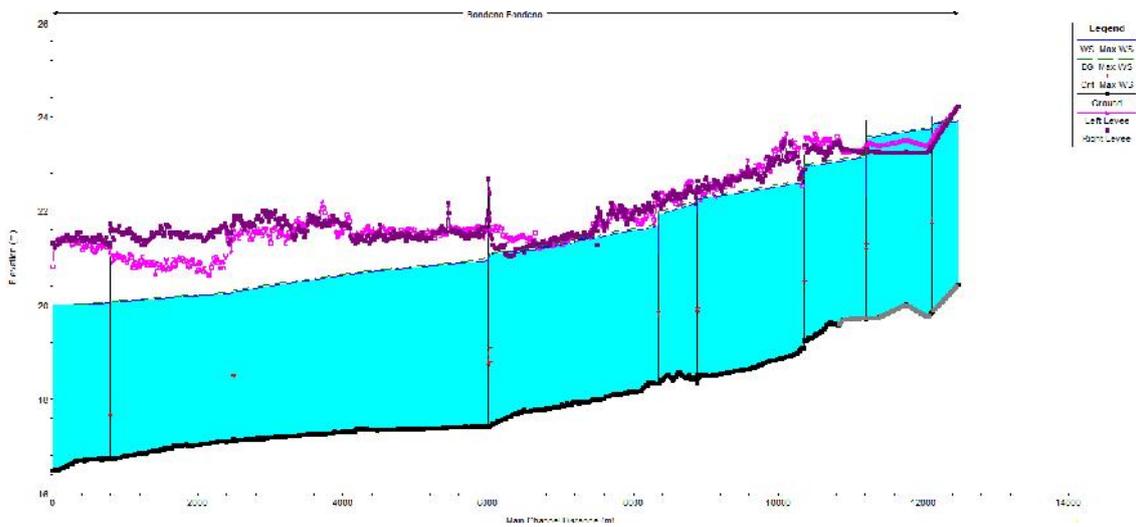


Figura 110. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

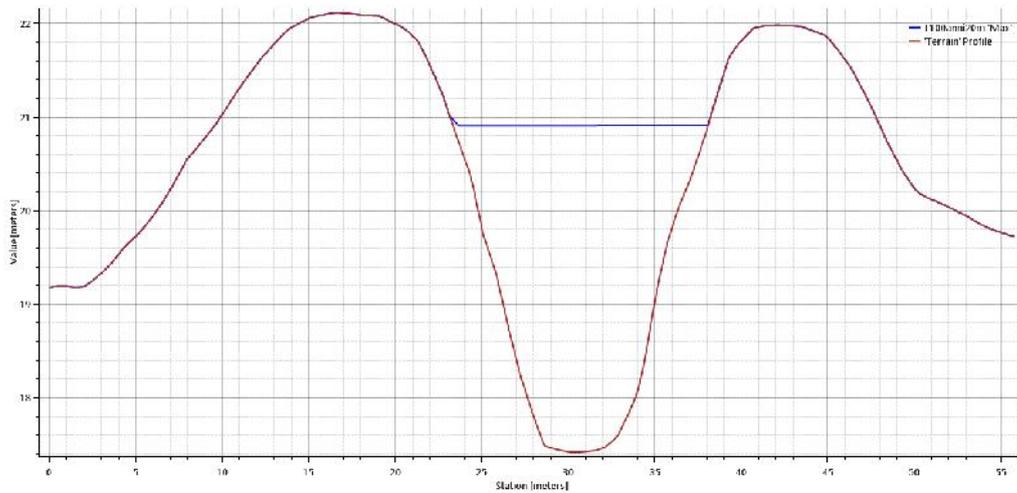


Figura 111. Massimo livello idrometrico raggiunto a Sirona.

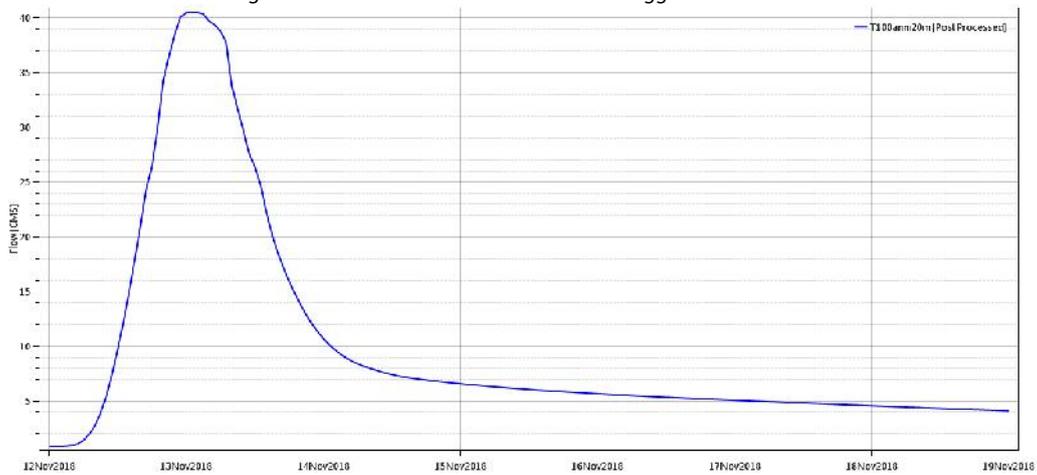


Figura 112. Idrogramma di piena alla sezione di Sirona.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Alla sezione di Sirona l'altezza idrometrica massima raggiunge i 20.91 m. s.l.m. mentre la portata al colmo arriva a 40.52 m³/s. Quest'ultima portata è inferiore a quella del paragrafo precedente in quanto sono presenti maggiori fuoriuscite a monte da come è percepibile nella seguente figura 113.



Figura 113. Fuoriuscite di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale del terreno.

I sormonti arginali avvengono anche con tali condizioni a valle di Via Levata, a monte del ponte di Strada Pennella e, in maniera copiosa e frequente a monte della Sirona.

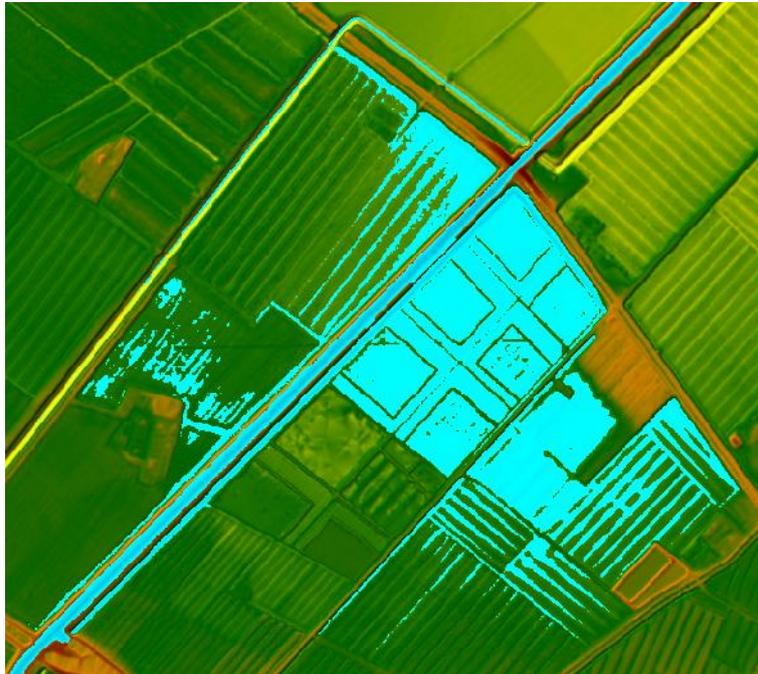


Figura 114. Fuoriuscite di corrente dall'alveo nella geometria del modello digitale nella zona di Sirona.

4.6.4 Stato di progetto con tempo di ritorno 25 anni

Nel presente paragrafo si presentano i risultati delle simulazioni con idrogramma di piena di 25 anni di tempo di ritorno nella geometria dello schema di progetto sempre attraverso le quote della Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m. e 20 m. s.l.m.

4.6.4.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 115 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

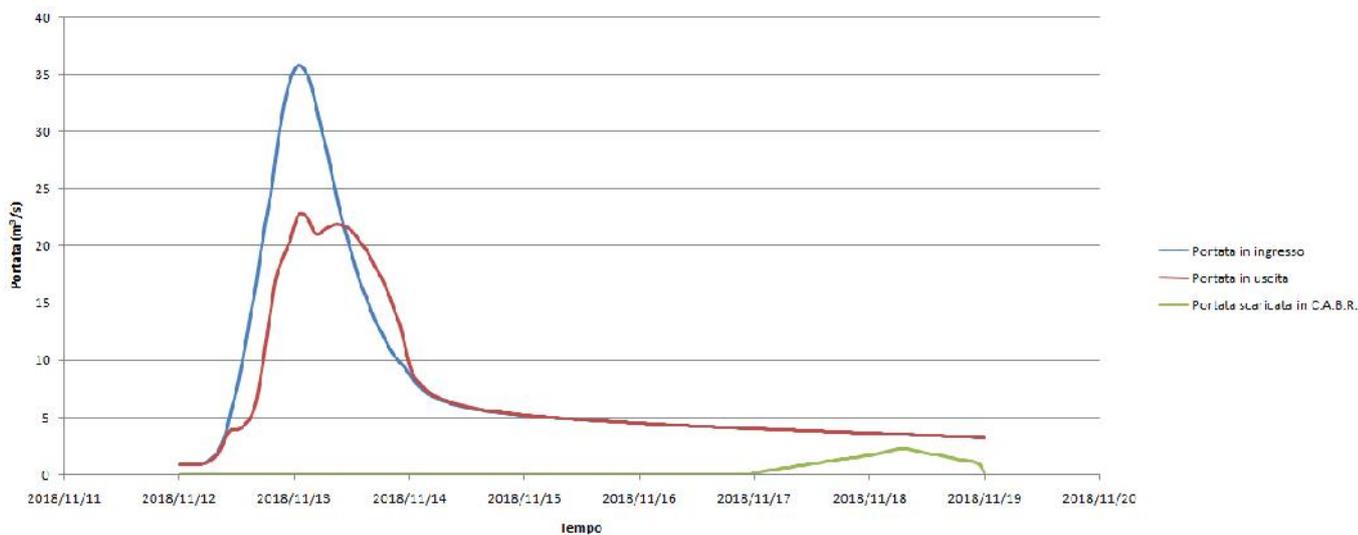


Figura 115. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa $35.8 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in quasi $22.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. non più di circa $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

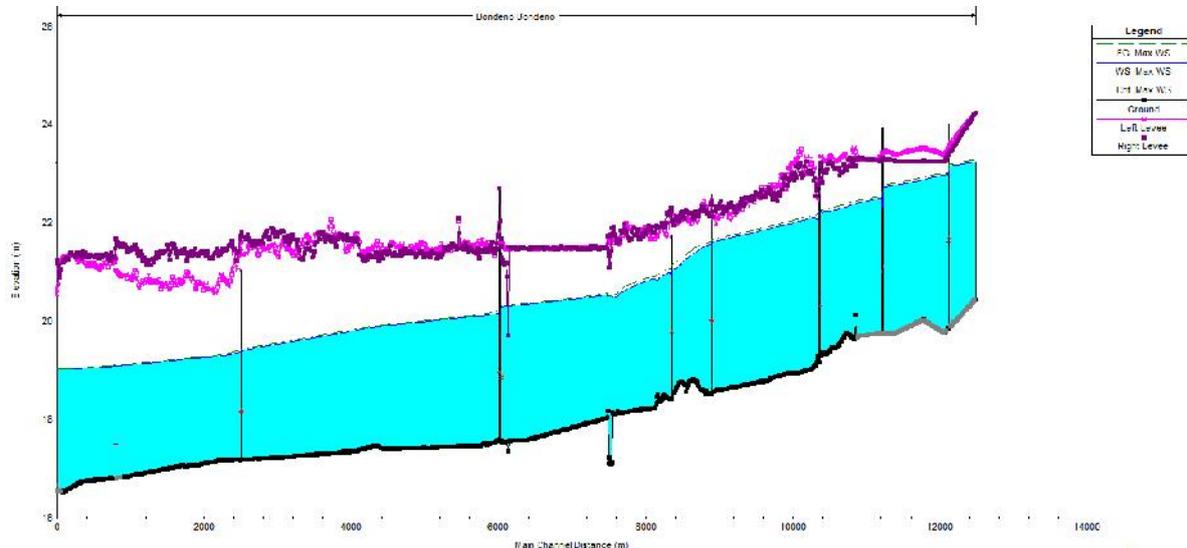


Figura 116. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

Da come visibile in figura 116 le sommità arginali in destra ed in sinistra idraulica sono state livellate a quota 21.5 m. s.l.m. In figura 117 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all'interno della cassa nella sezione di interesse la cui posizione è stata illustrata precedentemente.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

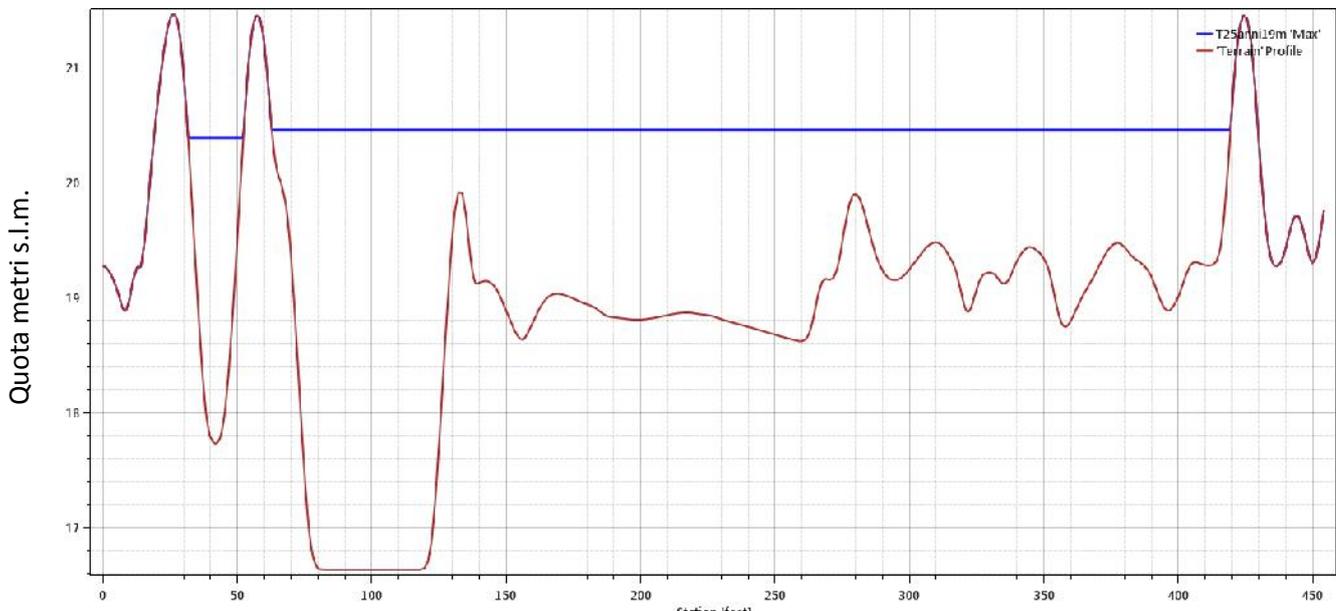


Figura 117. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.46 m. s.l.m. il quale, in figura 118, è rappresentato nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno modificato per lo schema di progetto.

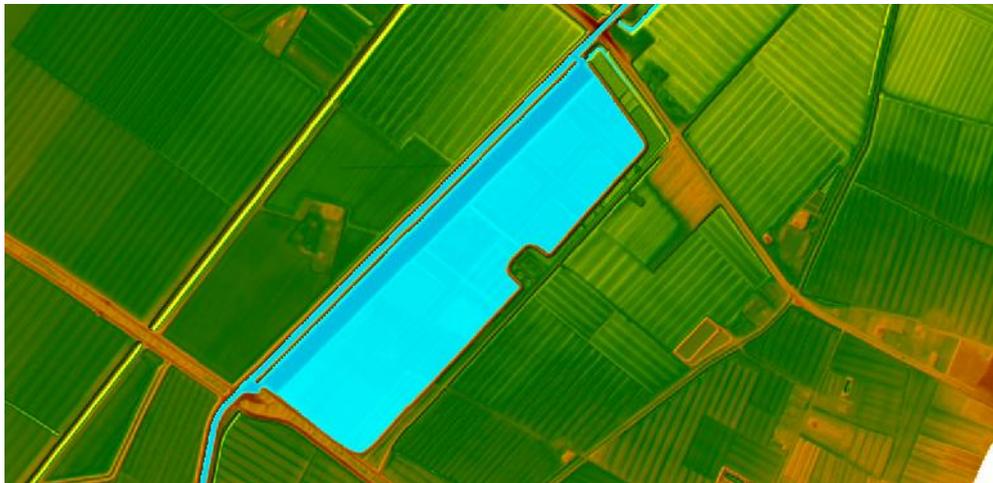


Figura 118. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale dello schema di progetto.

4.6.4.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 119 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

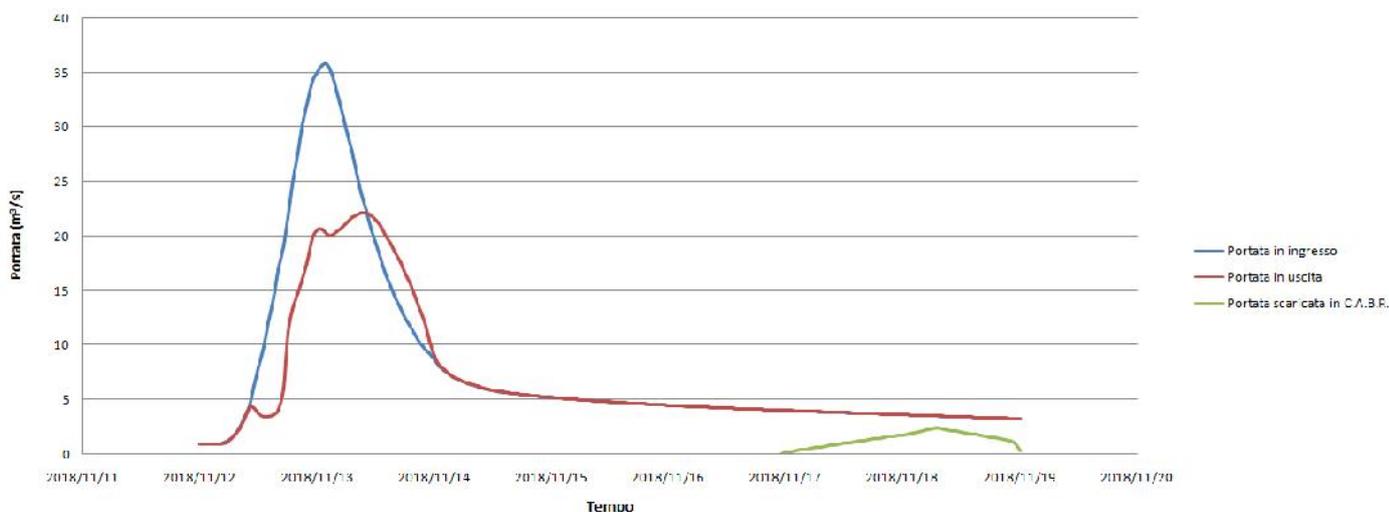


Figura 119. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa $35.8 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in quasi $22 \text{ m}^3/\text{s}$. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. quasi $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

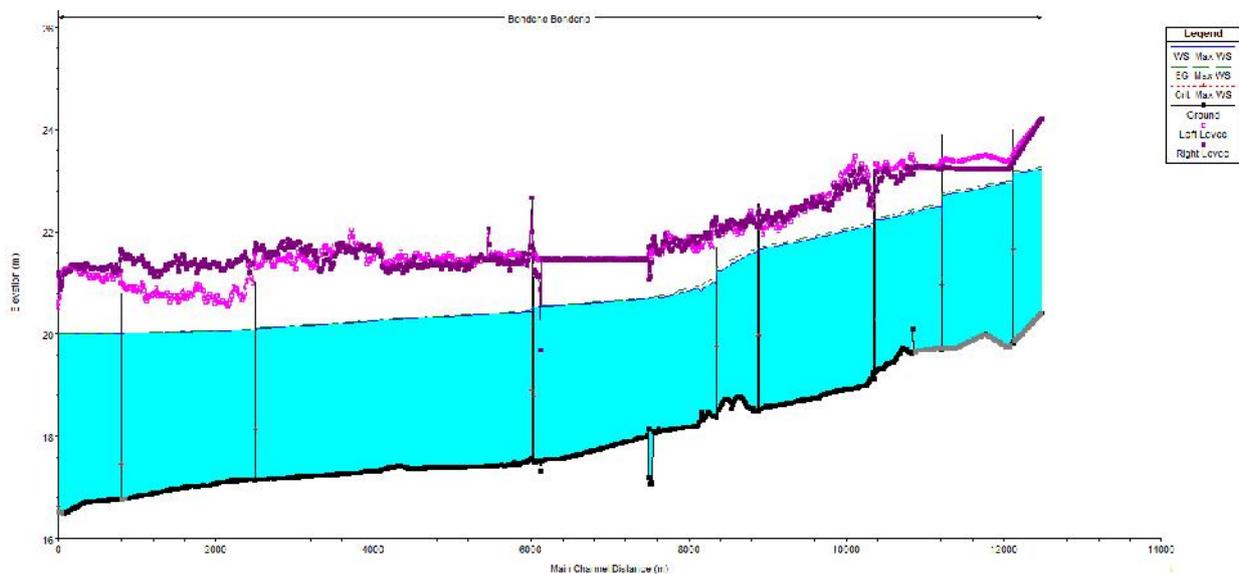


Figura 120. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 121 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all'interno della cassa nella sezione di interesse.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

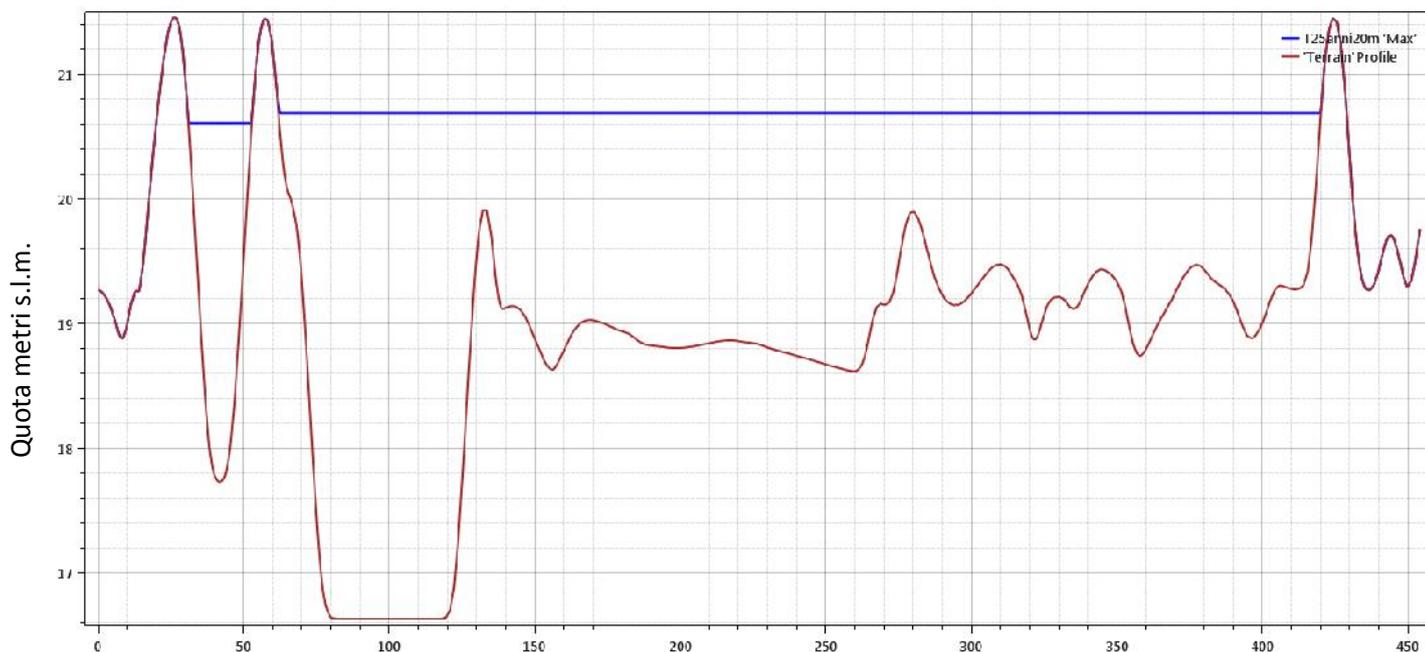


Figura 121. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.69 m. s.l.m. il quale, in figura 122, è rappresentato nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno modificato per lo schema di progetto.

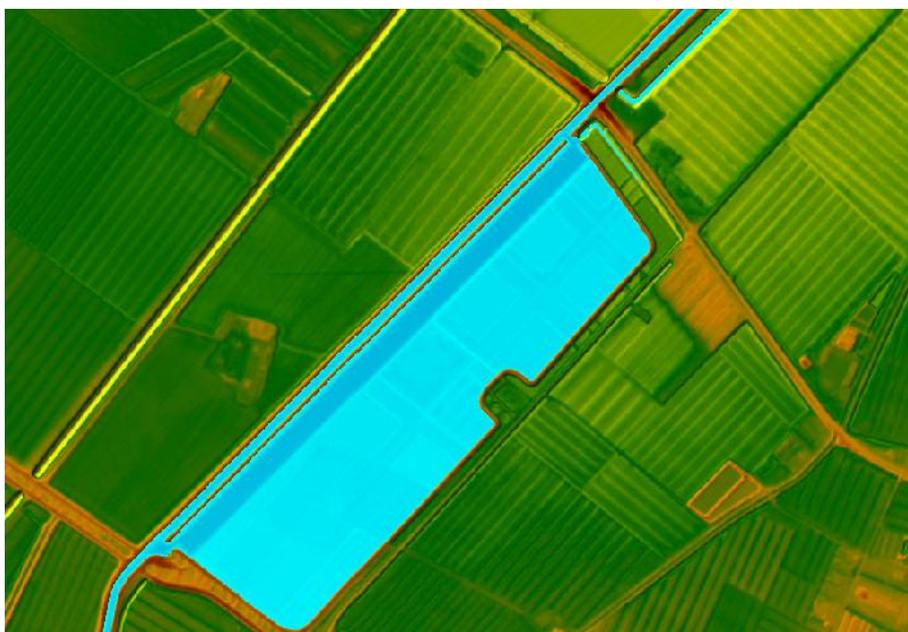


Figura 122. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale dello schema di progetto.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

4.6.5 Stato di progetto con tempo di ritorno 50 anni

Nel presente paragrafo si presentano i risultati delle simulazioni con idrogramma di piena di 50 anni di tempo di ritorno nella geometria dello schema di progetto sempre attraverso le quote della Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m. e 20 m. s.l.m.

4.6.5.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 123 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

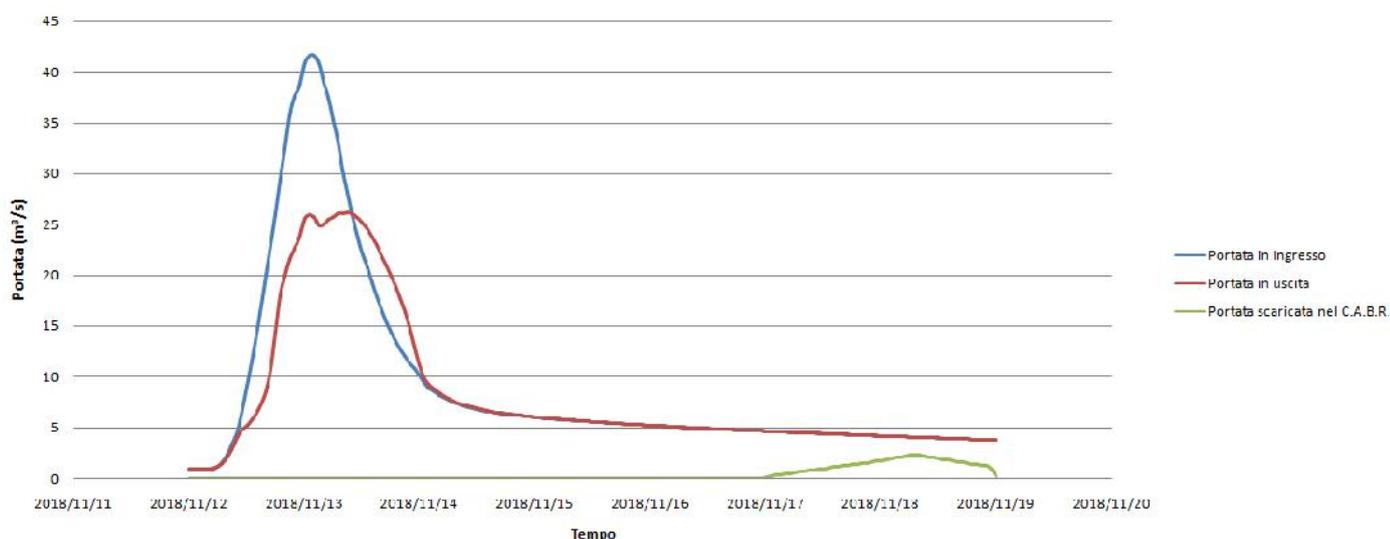


Figura 123. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa $41.6 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in $26.2 \text{ m}^3/\text{s}$. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. quasi $2.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

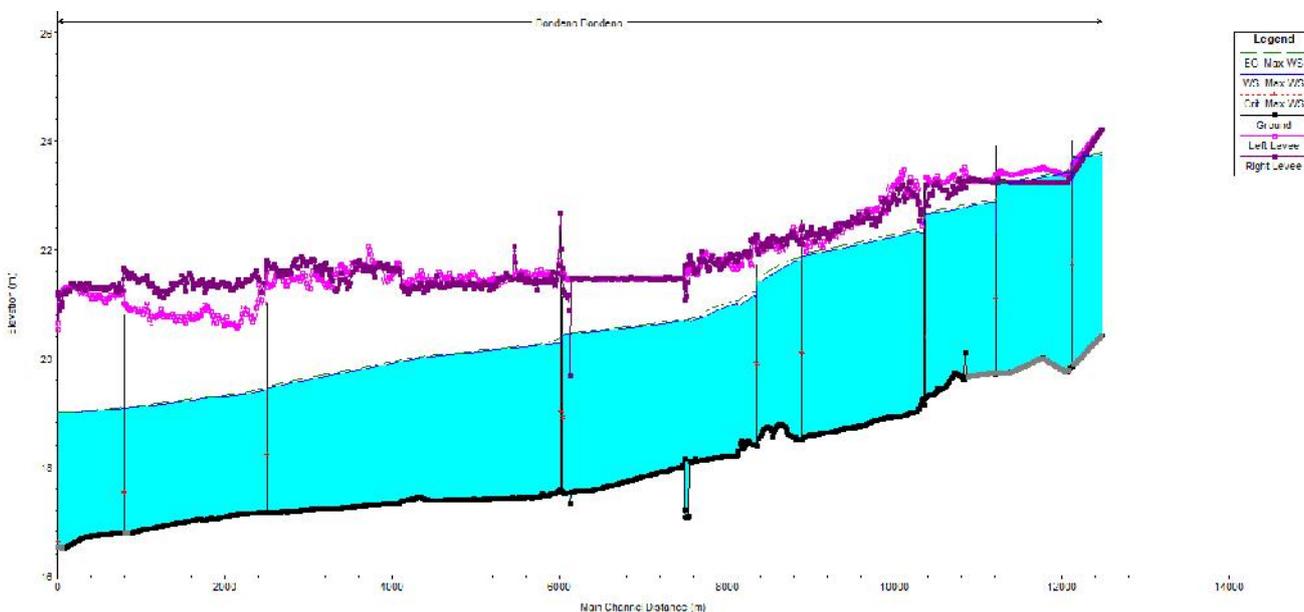


Figura 124. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 125 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all'interno della cassa nella sezione di interesse.

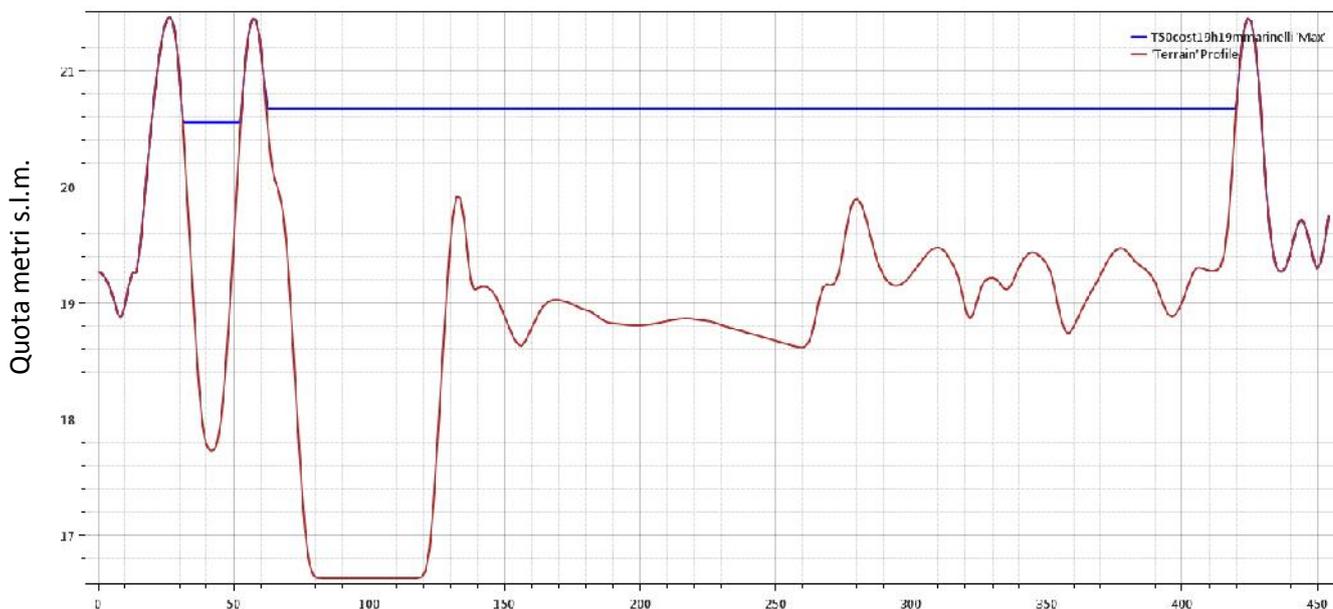


Figura 125. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.67 m. s.l.m. il quale, in figura 126, è rappresentato nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno modificato per lo schema di progetto con il layer delle immagini satellitari.

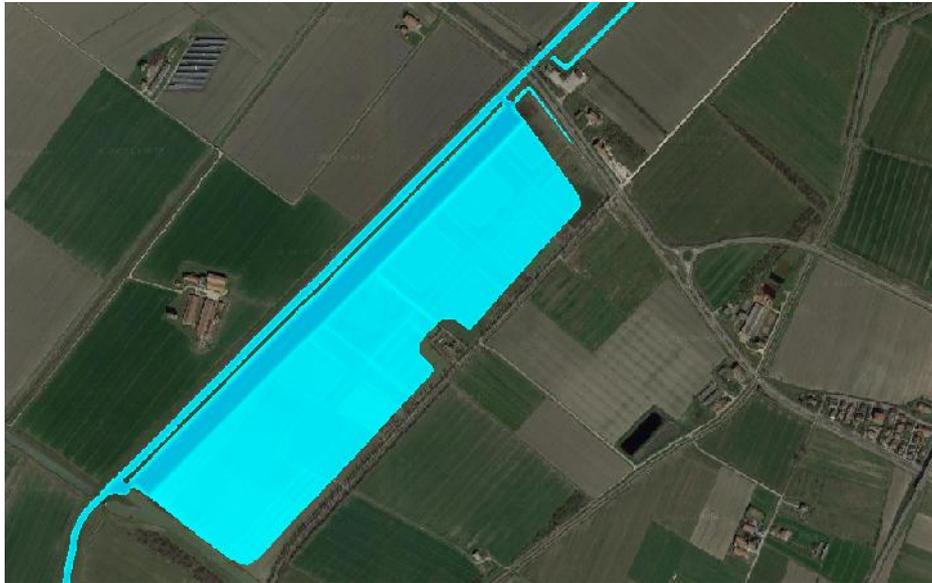


Figura 126. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale con layer del satellitare dello schema di progetto.

4.6.5.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 127 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

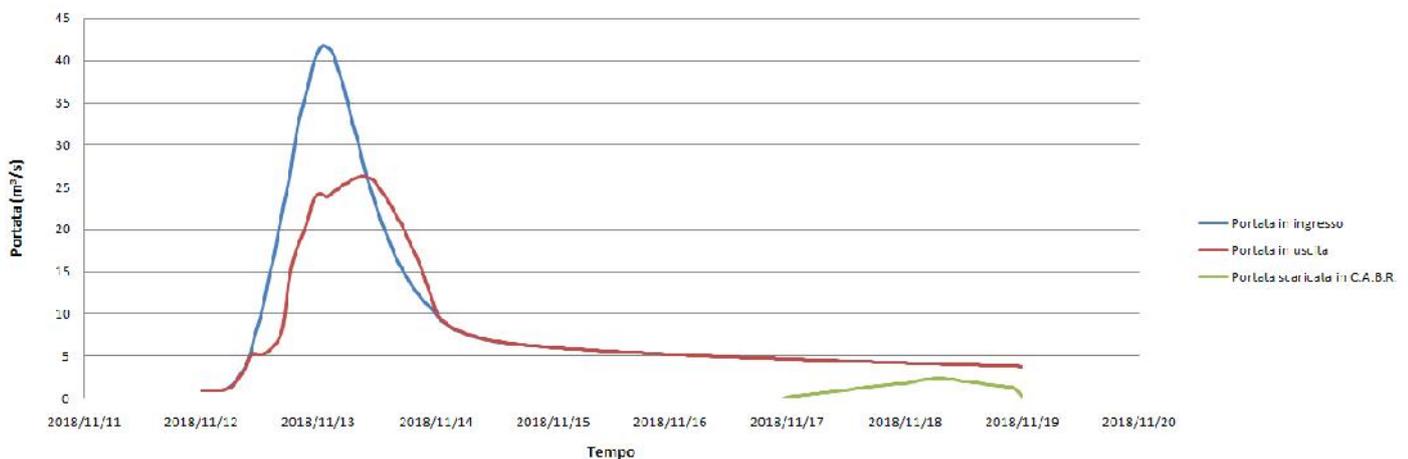


Figura 127. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa 41.7 m³/s mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in quasi 25.8 m³/s. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. quasi 2.4 m³/s.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

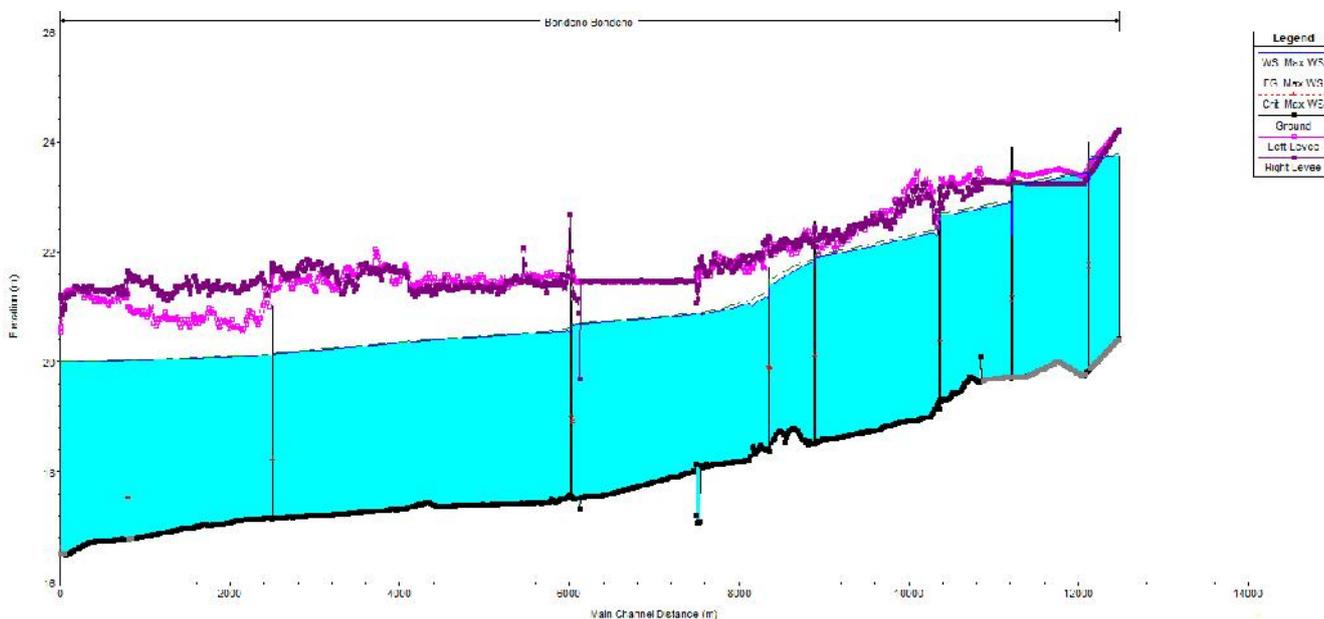


Figura 128. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 129 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all’interno della cassa nella sezione di interesse.

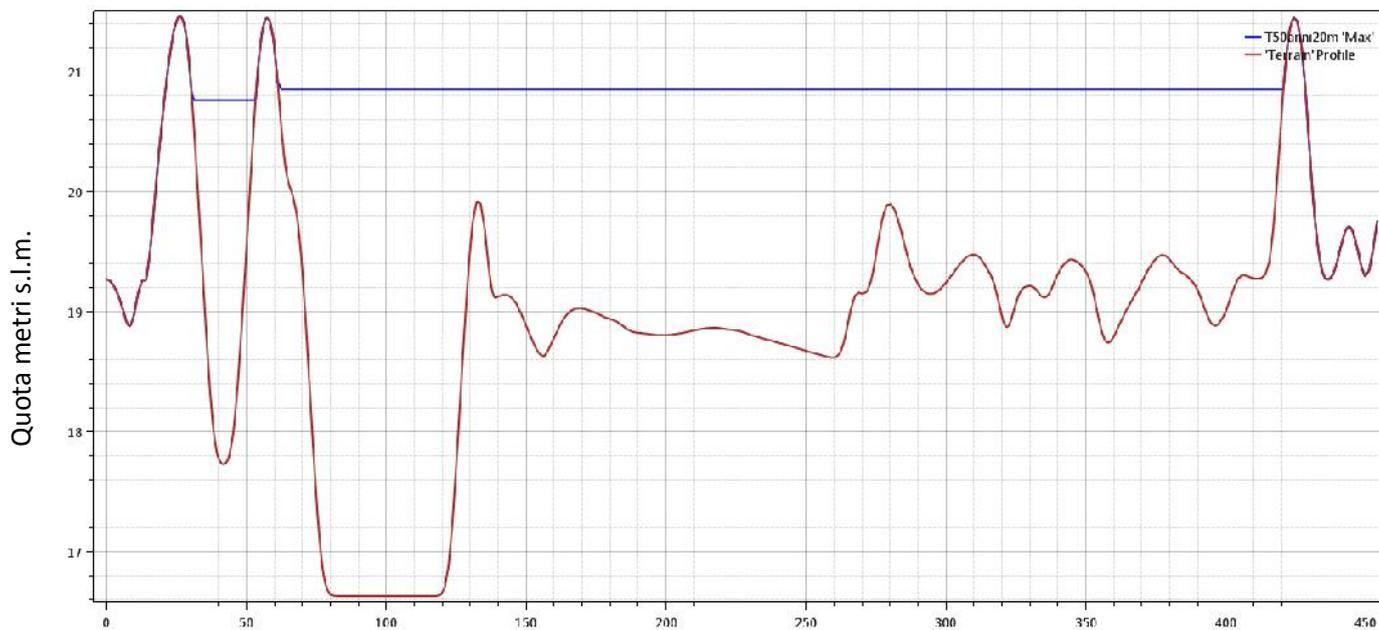


Figura 129. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.86 m. s.l.m. il quale, in figura 129, è rappresentato nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno modificato per lo schema di progetto.

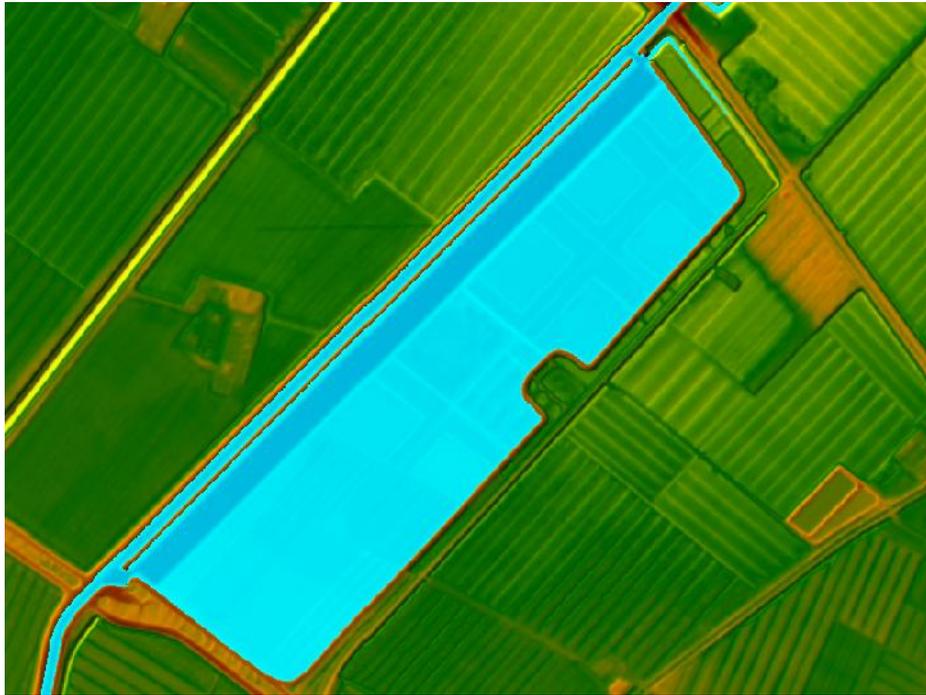


Figura 130. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale dello schema di progetto.

4.6.6 Stato di progetto con tempo di ritorno 100 anni

Nel presente paragrafo si presentano i risultati delle simulazioni con idrogramma di piena di 100 anni di tempo di ritorno nella geometria dello schema di progetto sempre attraverso le quote della Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m. e 20 m. s.l.m.

4.6.6.1 Quota Parmigiana Moglia a 19 m. s.l.m.

In figura 131 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

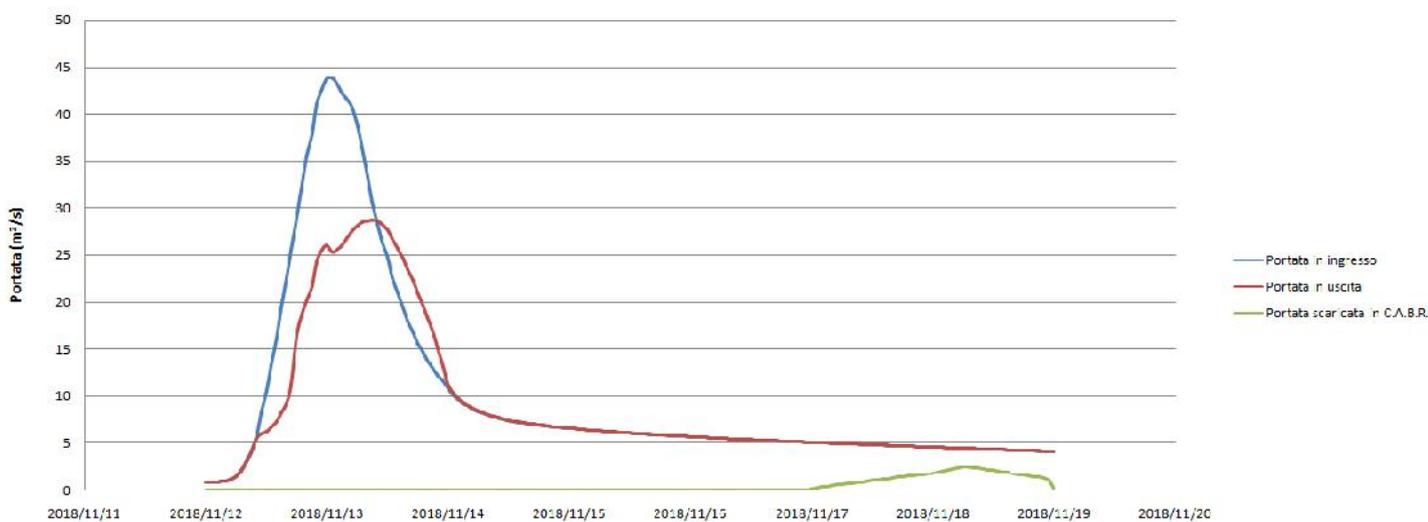


Figura 131. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa 43.8 m³/s mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in 28.7 m³/s. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. quasi 2.4 m³/s.

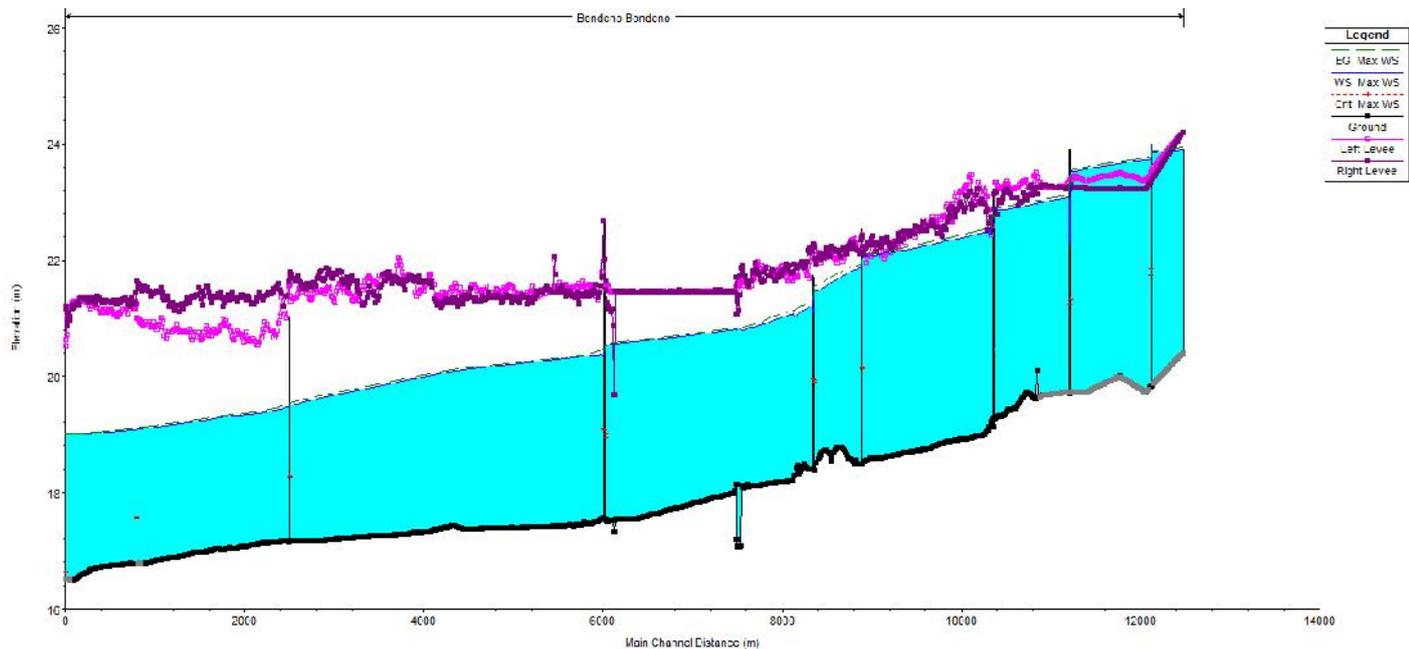


Figura 132. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 133 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all'interno della cassa nella sezione di interesse.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

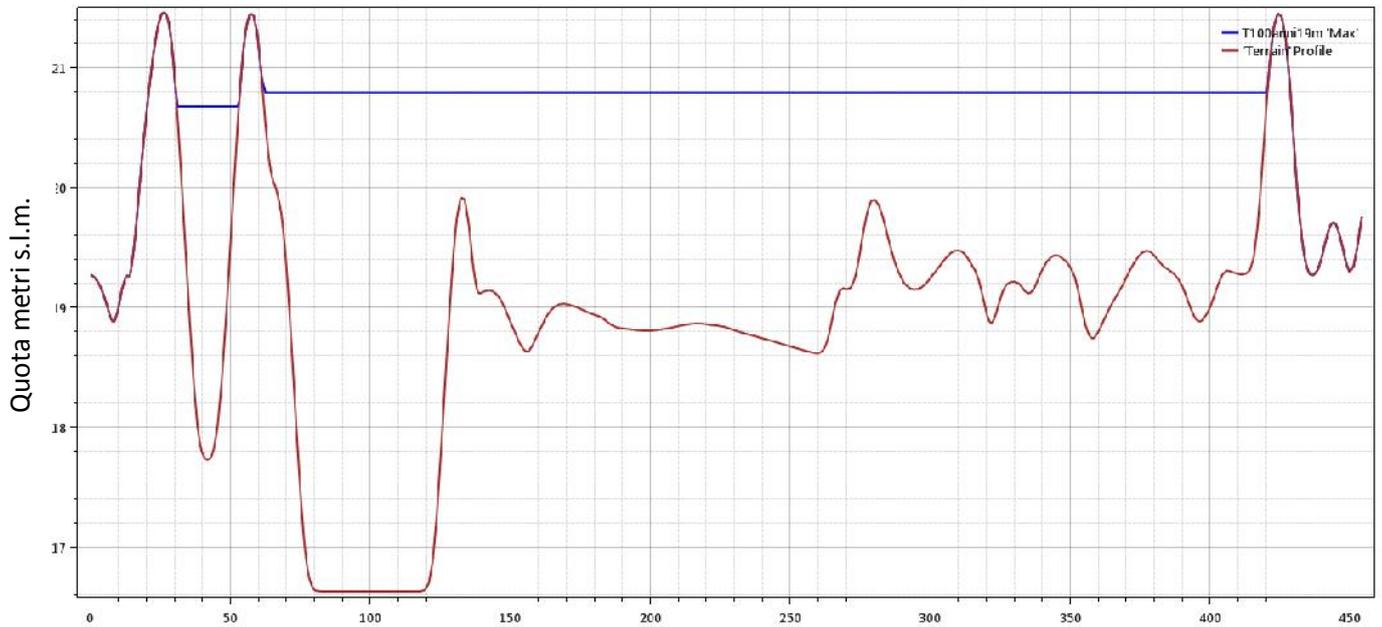


Figura 133. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.79 m. s.l.m. In figura 134, sono rappresentati nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno i massimi tiranti idrici raggiunti.



Figura 134. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale dello schema di progetto.

4.6.6.2 Quota Parmigiana Moglia a 20 m. s.l.m.

In figura 135 si illustra nello stesso grafico l'idrogramma di piena alla sezione immediatamente a monte del manufatto di invaso, alla sezione di Sirona e l'idrogramma in uscita dalla cassa della portata scaricata nel C.A.B.R.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

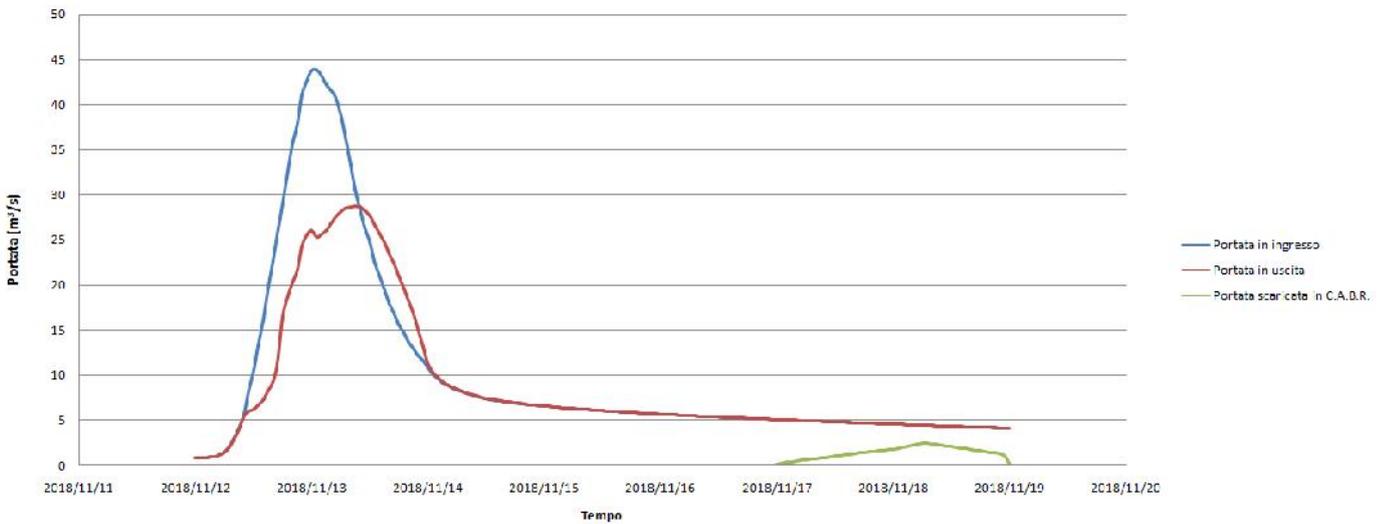


Figura 135. Idrogrammi alle sezioni di interesse.

L'onda di piena entrante ha un colmo di circa $43.8 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre alla sezione di Sirona si verifica un picco stimato in $28.7 \text{ m}^3/\text{s}$. Nella parte finale della simulazione viene scaricato nel C.A.B.R. circa $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

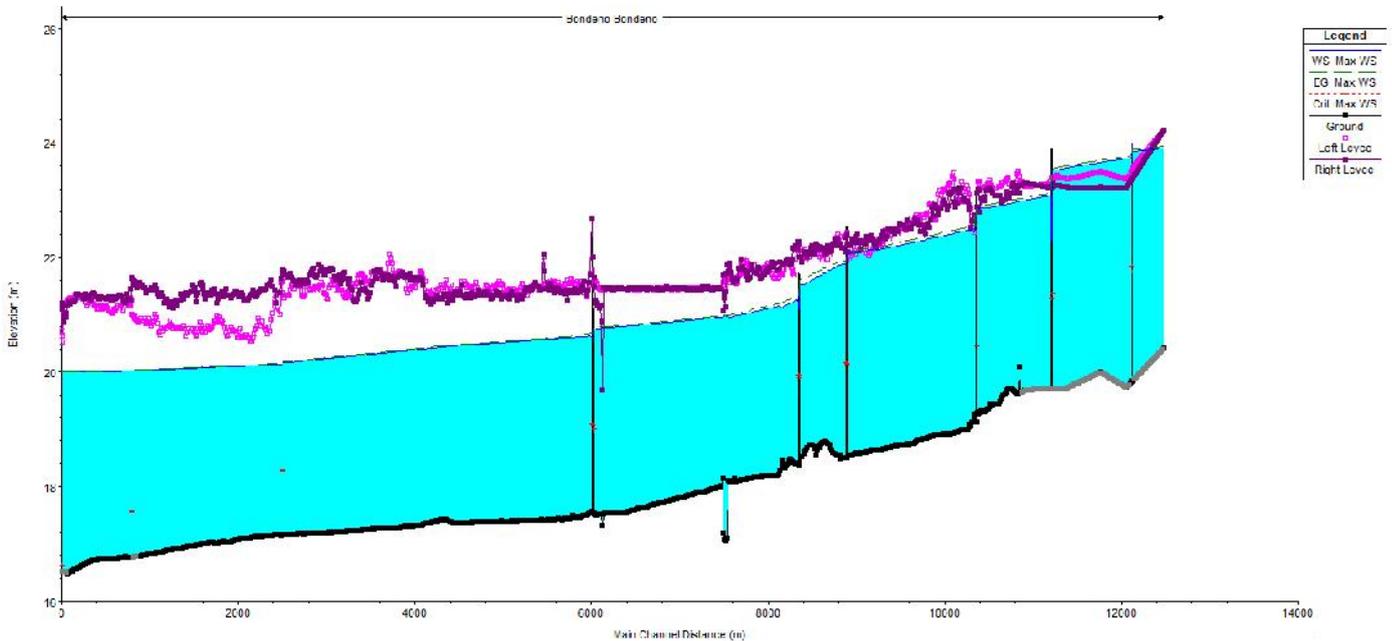


Figura 136. Profilo longitudinale dei massi livelli idrici raggiunti.

In figura 137 viene visualizzata il massimo tirante idrico raggiunto all'interno della cassa nella sezione di interesse.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

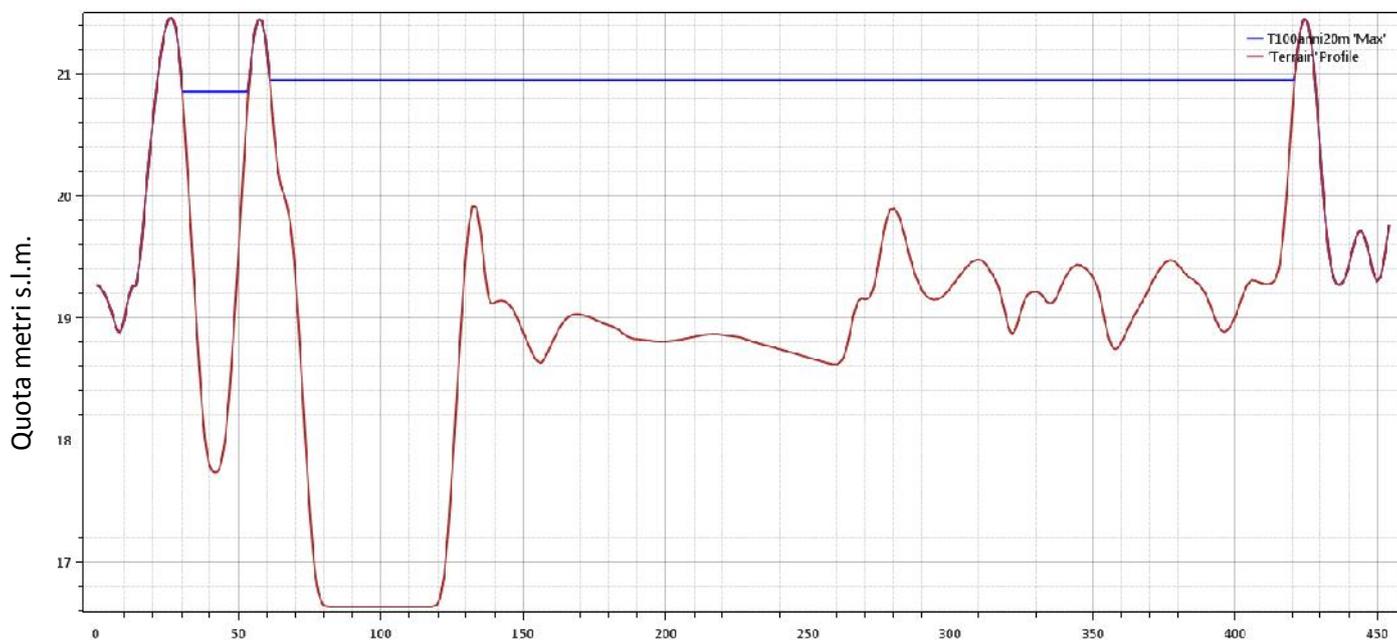


Figura 137. Massimo tirante idrico nella sezione della cassa praticata nella geometria bidimensionale.

Il massimo tirante idrico in questo caso raggiunge i 20.95 m. s.l.m. In figura 138, sono rappresentati nella geometria bidimensionale del modello digitale del terreno i massimi tiranti idrici raggiunti.

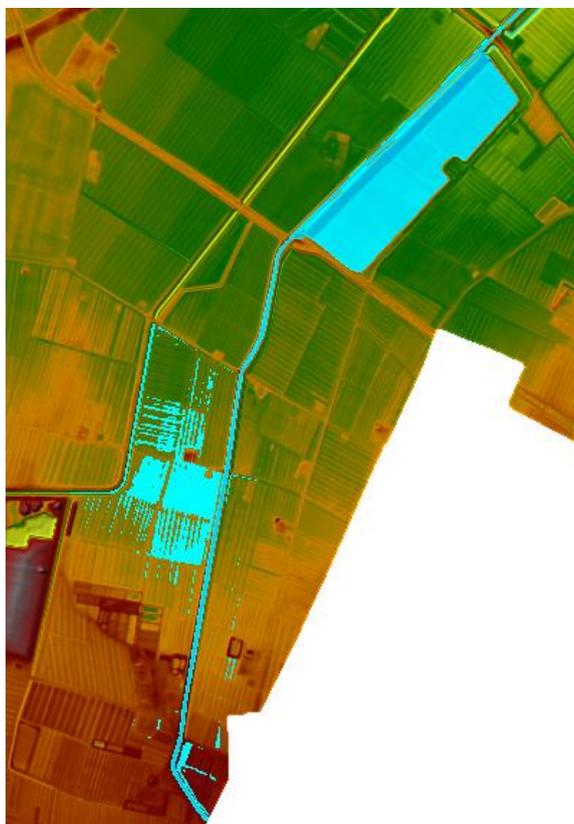


Figura 138. Massimi tiranti idrici raggiunti nella geometria bidimensionale dello schema di progetto.

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

5 CONCLUSIONI

Il presente progetto ha esaminato dal punto di vista idrologico ed idraulico lo stato attuale del Cavo Bondeno ed indicato gli interventi strutturali necessari per il suo adeguamento in relazione ad eventi di piena aventi tempo di ritorno 25, 50 e 100 anni.

Il modello idrologico ha calibrato i relativi parametri del bacino imbrifero con reali eventi di piena di cui si hanno le registrazioni sia di piogge che di altezze idrometriche presso le stazioni di rilevamento.

Eseguita la taratura del modello idrologico, si è proceduto a veicolare nell'asta del cavo le portate generate da eventi di pioggia sintetici ad intensità costante di diverse durate e tempi di ritorno.

Nello stato di fatto per tempi di accadimento di pioggia pari a 50 anni, il Cavo Bondeno, immediatamente a monte della ferrovia Reggio-Guastalla e S.P. 42 Reggio Emilia Guastalla, non riesce a contenere i volumi di piena provocando allagamenti. Le aree allagate si estendono se si considerano gli effetti di un evento pluviometrico avente tempo ritorno 100 anni, localizzandosi infatti anche nel tratto tra Ponte Rami e Via Levata e a monte di Strada Pennella.

Le cause di questa insufficienza sono da ricercare nel sottodimensionamento degli attraversamenti stradali e ferroviari, in alcuni "andamenti anomali" delle quote arginali, nella diminuzione della pendenza di fondo a valle della SP 42 e dal rigurgito dovuto alle quote del canale recettore Cavo Parmigiana Moglia.

Le aree allagabili indicate nella cartografia di piano e confermate nel progetto in oggetto, contengono elementi infrastrutture viarie e ferroviarie e edifici a servizio all'attività di bonifica fondamentali per le attività di protezione civile e la gestione della rete consorziale durante le piene, edifici residenziali e case coloniche, estesi terreni destinazioni a coltivazioni miste di cereali e altri seminativi nonché, in prossimità dello scarico finale, il SIC-ZPS delle Valli di Novellara.

Tali aree esigono una protezione idraulica notevolmente maggiore rispetto ai primi decenni del secolo scorso e di conseguenza è stato opportuno prevedere interventi che garantissero un grado di sicurezza compatibile con la vulnerabilità di quanto esposto.

A seguito di questa analisi idrologica ed idraulica, ne consegue che per il contenimento di eventi di piena con diversi tempi di ritorno, l'adeguamento complessivo del Cavo Bondeno a valle del Diversivo Bresciana (ovvero dalla chiusura del bacino allo scarico) prevede i seguenti interventi strutturali:

- *Tempo di ritorno 25 anni*
 - Cassa di espansione in località Sirona di capacità massima di 1.000.000 mc di invaso.

- *Tempo di ritorno 50 anni*
 - Cassa di espansione in località Sirona di capacità massima di 1.000.000 mc di invaso.
 - rialzo arginale tra la confluenza Diversivo Bresciana e Via Levata,
 - rialzo arginale a partire da 970 m. circa a monte di strada Pennella fino alla strada stessa.

- *Tempo di ritorno 100 anni*
 - Cassa di espansione in località Sirona di capacità massima di 1.000.000 mc di invaso.
 - rialzo arginale tra la confluenza Diversivo Bresciana e Via Levata,
 - rialzo arginale a partire da 970 m. circa a monte di strada Pennella fino alla strada stessa.

PRIMO STRALCIO DEL PIANO NAZIONALE PER GLI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO – SEZIONE INVASI

Codice intervento 518/5

Realizzazione di una cassa di espansione per laminazione delle piene e accumulo idrico a scopo irriguo Cavo Bondeno
Comune di Novellara (RE)

Si precisa che nel presente progetto definitivo, si prevede la realizzazione della sola cassa di espansione.

Essa consente di ottenere, per tutti gli eventi di piena causati da piogge con tempi di ritorno da 25 a 100 anni ed a valle del manufatto di invaso, una portata laminata compatibile con la potenzialità idraulica del cavo di bonifica, transitante con franchi di sicurezza di circa 80 cm.

La laminazione della piena apporta un beneficio anche in termini di quote idrometriche massime a monte del manufatto di invaso e più precisamente fino a Via Levata.

Infatti, per tempo di ritorno pari a 100 anni, l'abbassamento del livello dovuto al funzionamento della vasca è variabile tra 10 cm presso Via Levata e 50 cm circa in corrispondenza della chiavica di invaso.

Questa riduzione di portata a valle dell'opera alleggerisce la rete di valle ed in particolare il Cavo Parmigiana Moglia e di tutti i suoi affluenti posti a valle dello sbocco del Bondeno.

Si riporta la seguente tabella riassuntiva dove si evince il notevole abbattimento del colmo di piena a valle del manufatto di invaso della cassa:

Tempo di ritorno della pioggia	Q max a monte cassa lungo il Bondeno [mc/s]	Q max valle cassa lungo il Bondeno [mc/s]	Rapporto di laminazione $e = Q_{\text{valle}}/Q_{\text{monte}}$	Efficienza di laminazione $\varepsilon = 1-e$	Q max allo scarico nel Dugale della Vittoria [mc/s]
25 anni	36	23	0,63	0,37	2,3
50 anni	41	26	0,64	0,36	2,3
100 anni	43,5	29	0,67	0,33	2,4