

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

**VALUTAZIONE MODELLISTICA
DELL'EFFETTO COMBINATO
DELLA SUBSIDENZA PREVISTA PER I CAMPI DI
ALFONSINE E LONGANESI SULLA
RETE SCOLANTE DI SUPERFICIE**

Relazione Tecnica

Giovanni Isotton
Paolo Polo
Carlo Janna
Massimiliano Ferronato
Pietro Teatini

Padova, Ottobre 2018

Indice

| | |
|---|----|
| 1. Introduzione | 1 |
| 2. Modello idrologico del comprensorio di bonifica..... | 3 |
| 2.1 Identificazione della geometria del sistema | 3 |
| 2.2 Set-up del modello | 9 |
| 2.3 Risultati delle simulazioni..... | 13 |
| 3. Modello idraulico della rete scolante | 16 |
| 3.1 Definizione della geometria del sistema | 16 |
| 3.2 Configurazione del modello idraulico..... | 18 |
| 3.3 Scenari simulati..... | 19 |
| 3.4 Risultati delle simulazioni idrauliche..... | 26 |
| 3. Conclusioni | 40 |
| Bibliografia | 41 |



1. Introduzione

La presente relazione tecnica fornisce una descrizione delle attività aventi come oggetto la realizzazione di un modello idrologico-idraulico per quantificare gli eventuali effetti sulla rete di scolo degli spostamenti attesi dalle attività minerarie sui giacimenti di Alfonsine e Longanesi. In particolare, si sono valutate le eventuali modificazioni al deflusso idrico (livelli e velocità), in riferimento all'evento meteorologico significativo e rappresentativo del sistema stesso, causate dagli innalzamenti e abbassamenti del piano campagna a seguito delle attività minerarie previste.

La presente relazione descrive la metodologia utilizzata per la valutazione del comportamento idraulico del sistema drenante del comprensorio di bonifica "Destra Reno", localizzato a sud dell'omonimo canale tra i comuni di Lugo, Fusignano, Bagnacavallo e Alfonsine in provincia di Ravenna (Figura 1).

I dati di base per lo studio sono stati i rilievi topografici d'alveo trasmessi dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale e gli studi idrologici concessi in visione dal Consorzio stesso per quanto riguarda l'analisi delle portate e delle condizioni al contorno del sistema. Le simulazioni sono state condotte mediante la costruzione di un modello idrologico tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC-HMS e di un modello idraulico tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS. Con quest'ultimo, sono state verificate le diverse configurazioni geometriche in relazione all'elevazione del piano campagna e, di conseguenza, della rete di scolo: allo stato attuale (ovvero con le quote fornite dai rilievi messi a disposizione dal consorzio di bonifica) e allo stato modificato dalla subsidenza/innalzamento a causa delle attività minerarie sui due giacimenti. Sono stati determinati i profili idrici della corrente in moto vario lungo le aste dei canali e confrontati i valori ottenuti nelle diverse configurazioni.

Il modello non è da intendersi a verifica del funzionamento della rete di canali o dell'efficienza idraulica degli stessi, ma solamente per valutare le differenze tra la situazione attuale e quella con le modifiche di quota indotte dalle attività minerarie previste per i campi di Alfonsine e Longanesi. In Figura 1 è riportato un inquadramento territoriale del sito oggetto di indagine, con sovrapposti alla traccia dei campi di Alfonsine e Longanesi gli assi dei canali esaminati mediante modello idrologico-idraulico, e indicati i nomi dei canali principali del sistema investigato. Si deve infine far presente che:

- 1) i modelli idrologico-idraulico sono i medesimi sviluppati negli studi condotti nel 2017 (Isotton et al., 2017a, 2017b) nei quali è stato analizzato il solo effetto indotto dal giacimento di Alfonsine;
- 2) le mappe di variazioni di quota previste per il giacimento di Longanesi sono state fornite dal committente dello studio.

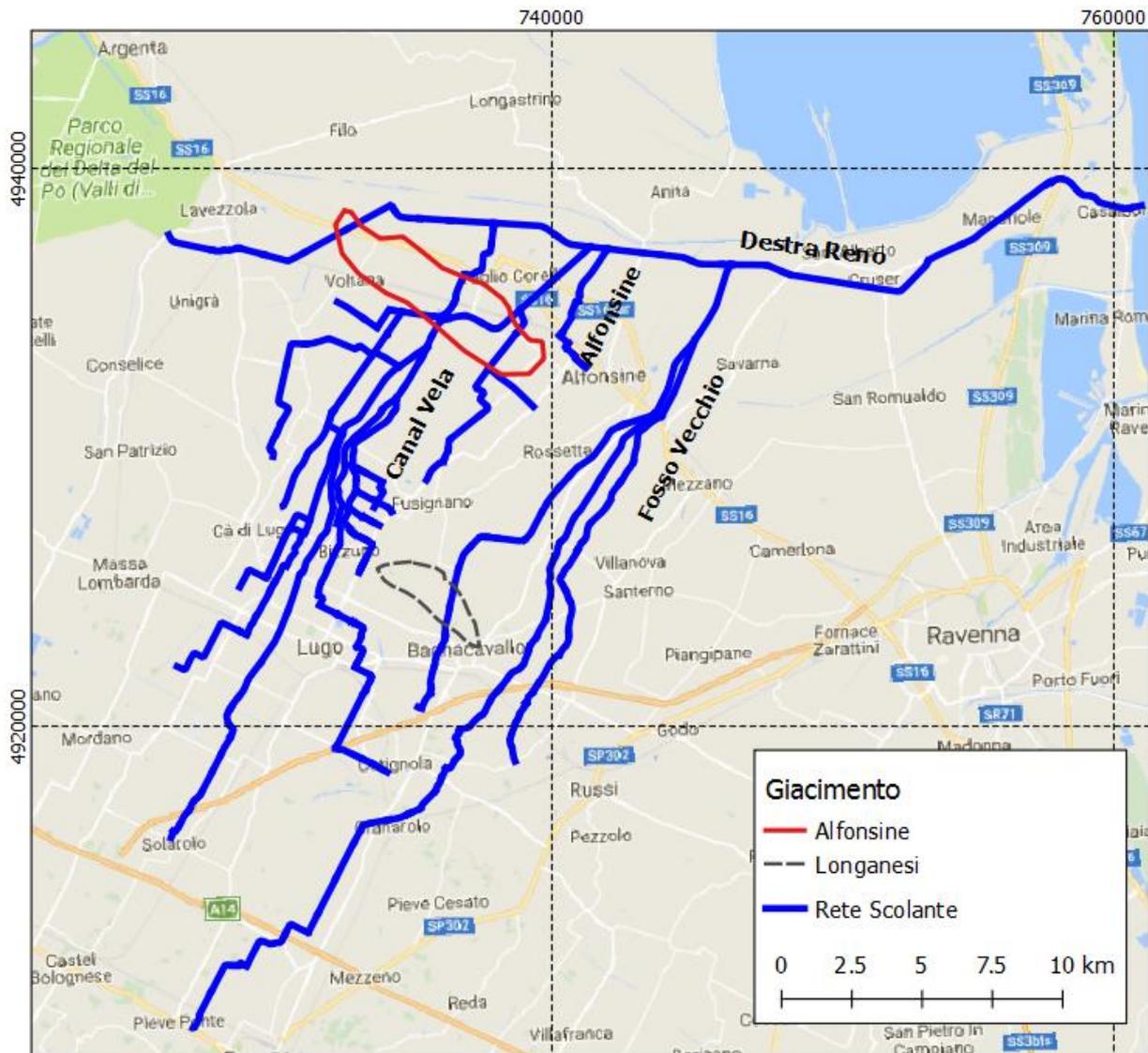


Figura 1 Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia dei giacimenti di Alfonsine e Longanesi (coordinate in sistema UTM 32, WGS84).

2. Modello idrologico del comprensorio di bonifica

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

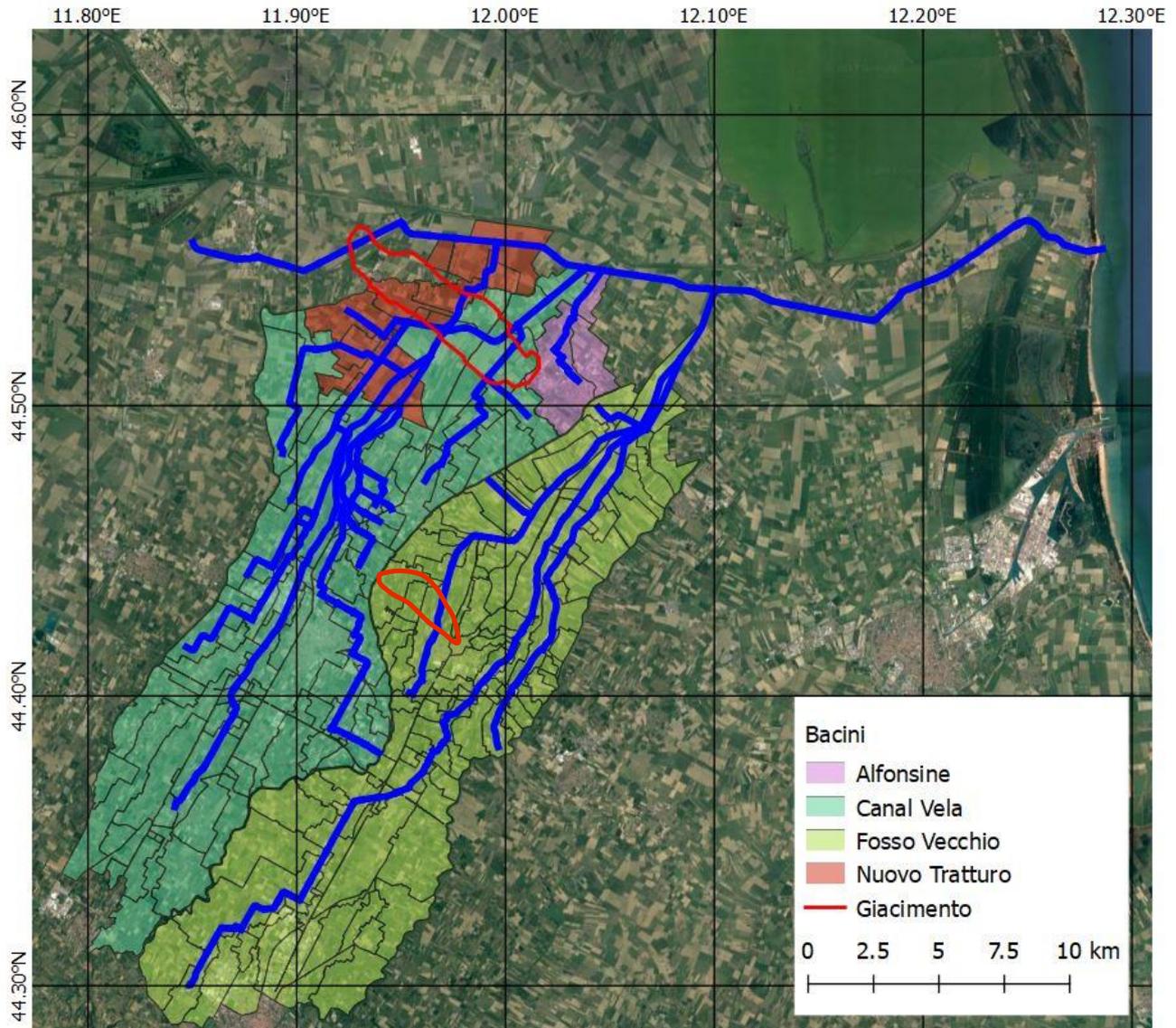


Figura 2 Bacini idrografici principali del comprensorio di bonifica.

2.1 Identificazione della geometria del sistema

La suddivisione in sottobacini è stata fatta sulla base della rete di bonifica, considerando i quattro principali scoli affluenti al canale collettore Destra Reno, asse portante del sistema di drenaggio della

Bonifica. Secondo i dati forniti dal Consorzio, la Figura 2 riportata la suddivisione in sottobacini, per gli scoli Nuovo Tratturo, Canal Vela, Alfonsine, e Fosso Vecchio.

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

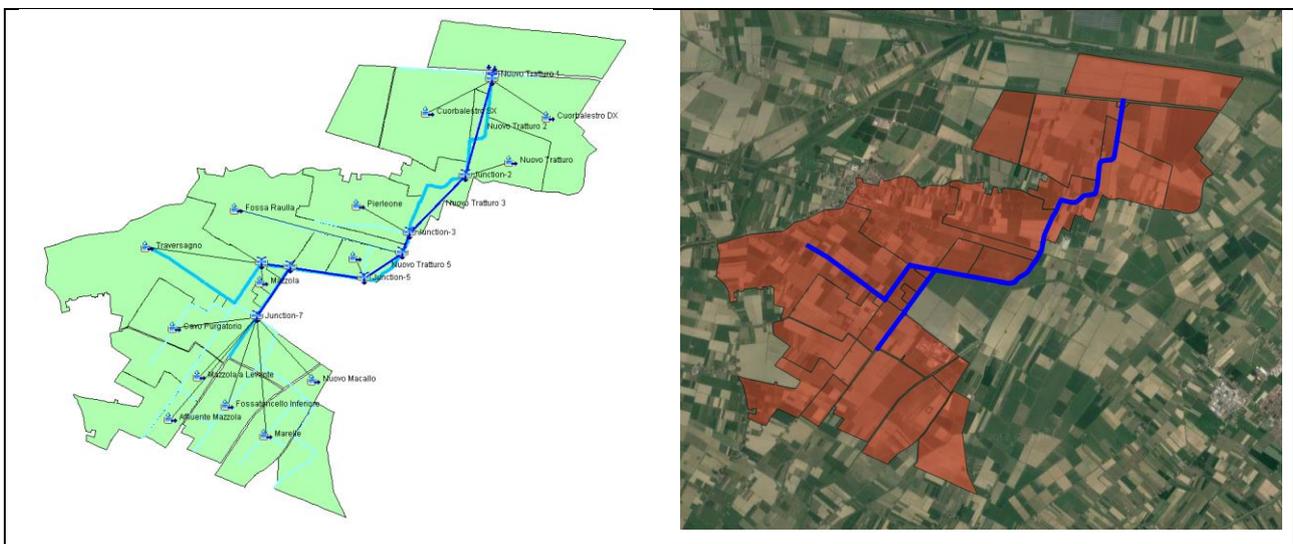


Figura 3 Schematizzazione del Nuovo Tratturo nel modello HEC-HMS.

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

Tabella 1 Estensione areale dei sottobacini del bacino Nuovo Tratturo.

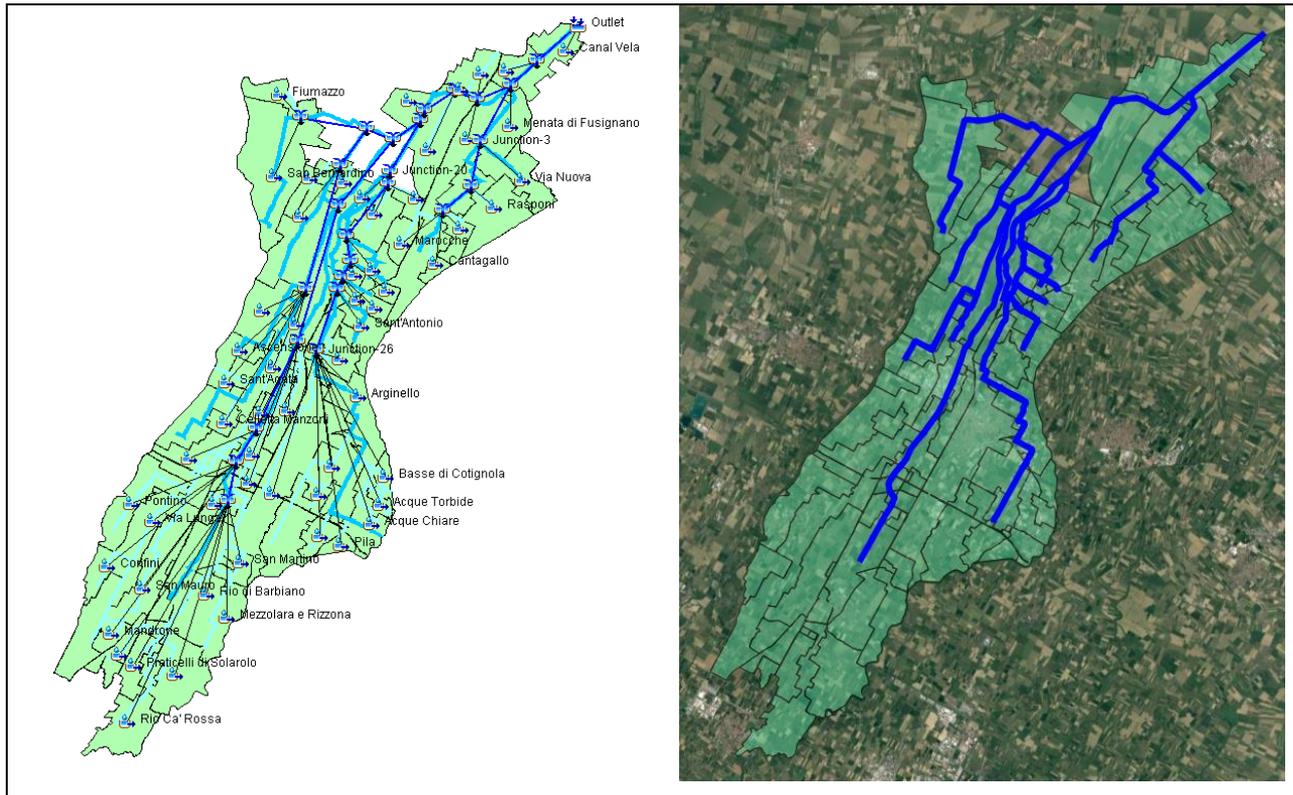


Figura 4 Schematizzazione del Canal Vela nel modello HEC-HMS.

| NOME SOTTOBACINO | Area [km²] | NOME SOTTOBACINO | Area [km²] |
|-------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| ACQUE CHIARE | 1.7 | MANDRONE | 1.0 |
| ACQUE TORBIDE | 0.6 | MAROCCHE | 1.5 |
| AFFLUENTE DESTRA DANE | 3.9 | MAZZOLA A PONENTE | 1.1 |
| ARGINELLO | 10.1 | MENATA DI FUSIGNANO | 7.7 |
| ASCENSIONE | 1.9 | MENATA DI RUNZI | 1.9 |
| BALLIRANA | 4.6 | MEZZOLARA E RIZZONA | 2.5 |
| BASSE DI COTIGNOLA | 0.9 | PILA | 0.8 |
| BEDAZZO | 1.3 | PONTINO | 3.9 |
| BRIGNANI VIVO | 9.6 | PRATI DI SOLAROLO | 1.8 |
| CANAL VELA | 3.8 | PRATICELLI DI SOLAROLO | 1.7 |
| CANAL VELA ABBANDONATO | 1.4 | RASPONI | 4.0 |
| CANALETTA DI BUDRIO | 6.5 | RIO CA' ROSSA | 4.9 |
| CANALETTA DI ZAGONARA | 3.2 | RIO DI BARBIANO | 3.5 |
| CANALETTO | 1.7 | SAN MARTINO | 1.0 |
| CANTAGALLO | 1.1 | SAN MAURO | 5.0 |
| CASALE | 11.7 | SAN SAVINO | 1.4 |
| CAVALLINE | 0.8 | SANT'AGATA | 0.8 |
| CELLETTA MANZONI | 0.8 | SANT'ANTONIO | 2.1 |
| COCORRE | 1.1 | SANTA LUCIA | 1.9 |

| NOME SOTTOBACINO | Area [km²] | NOME SOTTOBACINO | Area [km²] |
|--------------------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| COCORRETTO | 0.2 | SECCHETTO | 1.7 |
| CONFINI | 1.7 | TAGLIO CORELLI | 2.1 |
| FIUMAZZO | 1.4 | TAGLIO CORELLI INFERIORE | 0.3 |
| FONDAGNOLO | 3.4 | TOMBA A LEVANTE | 1.7 |
| FOSSATONCELLO A PONENTE | 1.1 | TRATTURO | 8.4 |
| FOSSATONE DI SAN BERNARDINO | 9.9 | VIA DI BUDRIO | 0.8 |
| FRASSONA MAGGIORE | 0.6 | VIA LUNGA A PONENTE | 2.8 |
| FRASSONA MINORE | 0.5 | VIA LUNGA O CONDOTTELLO DI BAGNARA | 8.2 |
| GAIANO | 4.5 | VIA NUOVA | 3.1 |
| GESUITA | 0.8 | VIA NUOVA NEL CASALE | 3.0 |
| MACALLO | 2.4 | ZAGONARA | 0.5 |
| MACERI | 1.4 | TOTALE | 175.97 |

Tabella 2 Estensione areale dei sottobacini del bacino Canal Vela.

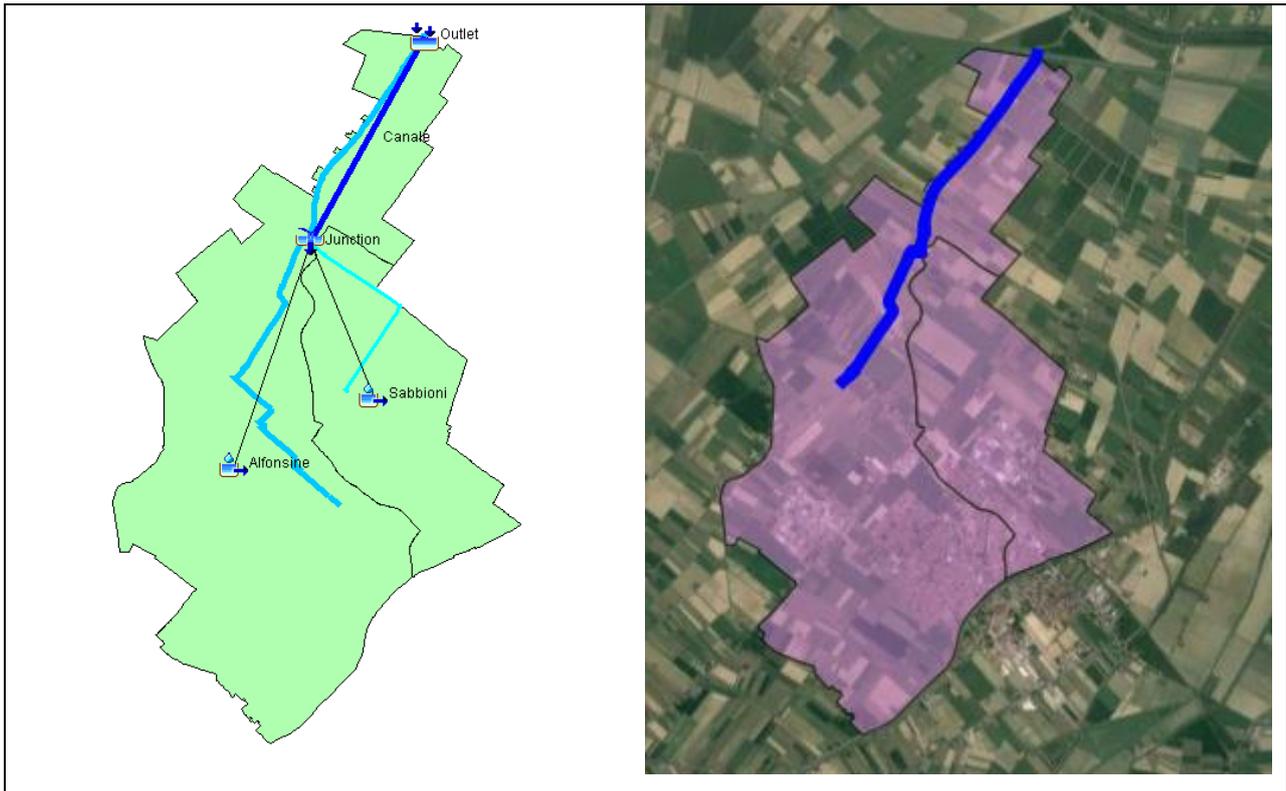


Figura 5 Schematizzazione dello Scolo Alfonsine nel modello HEC-HMS.

| NOME SOTTOBACINO | Area [km²] |
|-------------------------|------------------------------|
| ALFONSINE | 8.62 |
| SABBIONI | 3.01 |
| TOTALE | 11.63 |

Tabella 3 Estensione areale dei sottobacini del bacino Alfonsine.

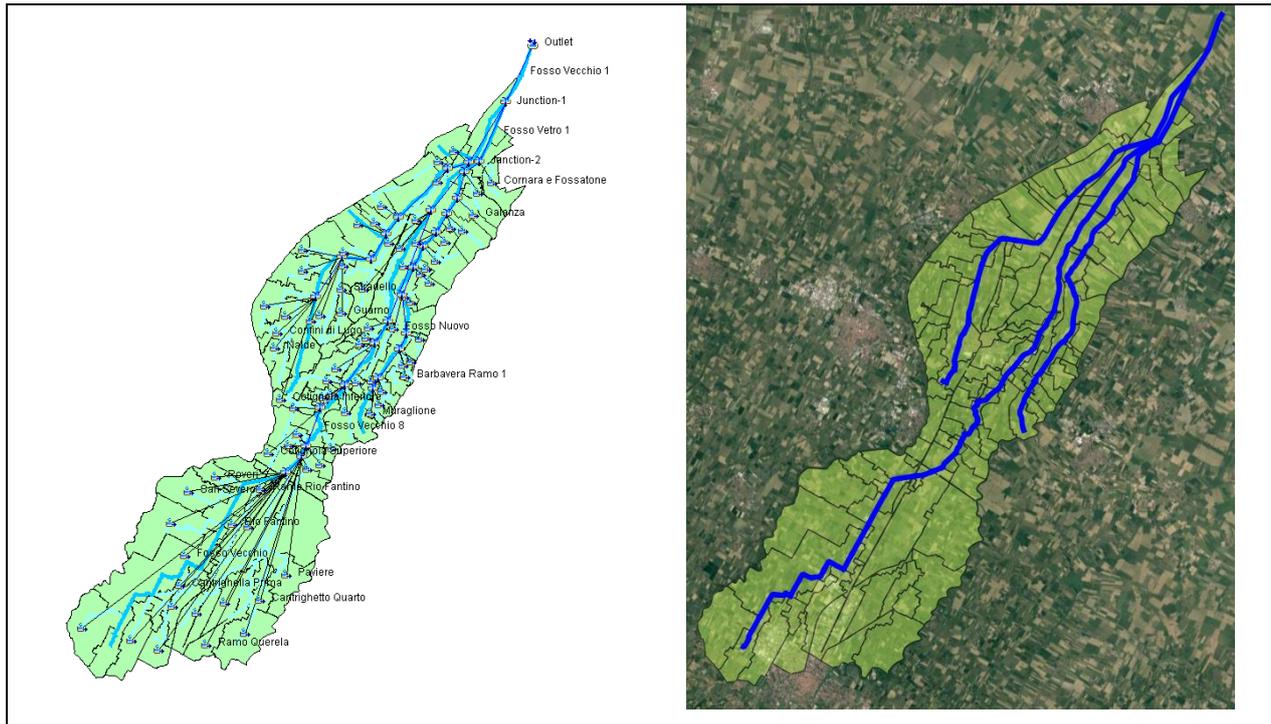


Figura 6 Schematizzazione del Fosso Vecchio nel modello HEC-HMS.

| NOME SOTTOBACINO | Area [km²] | NOME SOTTOBACINO | Area [km²] |
|--------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| AGUTA INFERIORE | 0.04 | GABINA A DESTRA | 0.71 |
| AGUTA SUPERIORE | 0.37 | GABINA A SINISTRA | 0.61 |
| ALBERGONE | 0.65 | GALANZA | 1.51 |
| ALFONSINE | 2.37 | GUARNO | 1.61 |
| BARBAVERA | 1.20 | MADRARA A DESTRA | 0.89 |
| BARBAVERA 1 RAMO | 0.29 | MADRARA A SINISTRA | 0.41 |
| BARBAVERA 2 RAMO | 0.14 | MASIERA INFERIORE | 0.80 |
| BONCELLINO | 2.36 | MASIERA SUPERIORE | 1.87 |
| BRUNELLO INFERIORE | 0.89 | MONTANARI | 0.43 |
| BRUNELLO SUPERIORE | 2.32 | MURAGLIONE | 0.48 |
| CANALA DI CASSANIGO | 6.07 | NALDE | 0.92 |
| CANTRIGHELLA PRIMA O TABACCA | 0.65 | PARADOSSO | 2.48 |
| CANTRIGHELLA SECONDA O DI MERLASCHIO | 9.07 | PARTITA GRANDE O VIAZZA NUOVA | 1.08 |
| CANTRIGHETTO PRIMO | 4.74 | PAVIERE | 3.57 |
| CANTRIGHETTO QUARTO | 1.00 | PIEVE | 2.41 |
| CANTRIGHETTO QUINTO DI GRANAROLO | 6.51 | PRIMO DELLA ROSSETTA | 1.26 |
| CANTRIGHETTO SECONDO | 3.46 | PUNTA DI FUSIGNANO | 0.40 |

| NOME SOTTOBACINO | Area [km²] | NOME SOTTOBACINO | Area [km²] |
|--|------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| CANTRIGHETTO TERZO O CANTRIGHELLA DI SAN SILVESTRO | 3.03 | RAMO FORMELLINO | 4.33 |
| CAPUCCINI | 1.63 | RAMO MEZZENO | 2.68 |
| CERCHIA | 1.43 | RAMO QUERELA | 1.90 |
| COCCHI INFERIORE DESTRO | 0.03 | RAMO REDA | 0.11 |
| COCCHI SUPERIORE A DESTRA | 1.50 | RAMO RIO FANTINO | 0.10 |
| COCCHI SUPERIORE A SINISTRA | 0.14 | RAMO STRADELLO | 0.20 |
| COLOMBARONE | 2.02 | REDA | 0.73 |
| CONFINI DI LUGO | 0.75 | REDINO | 1.79 |
| CORNARA E FOSSATONE | 1.98 | RIO FANTINO | 1.94 |
| CORSINI | 1.95 | ROVERI | 1.42 |
| COTIGNOLA | 1.95 | SAN GERVASIO | 0.74 |
| COTIGNOLA INFERIORE | 0.61 | SAN POTITO | 2.99 |
| COTIGNOLA SUPERIORE | 0.81 | SAN SEVERO | 3.79 |
| ERCOLINE | 0.39 | SANT'ANTONIO | 3.02 |
| FIUME VETRO | 3.75 | SECONDO DELLA ROSSETTA | 1.31 |
| FOSETTA A DESTRA | 3.05 | STRADELLO | 0.71 |
| FOSETTA A SINISTRA | 2.90 | TRATURO | 1.75 |
| FOSETTE RIUNITE | 0.32 | TRAVERSARA | 0.54 |
| FOSSO MUNIO | 9.29 | VALLETTA | 0.79 |
| FOSSO NUOVO | 1.56 | VIA CHIARA | 2.48 |
| FOSSO VECCHIO | 26.64 | VIAZZA INFERIORE | 2.23 |
| FOSSO VETRO | 9.89 | VIAZZA SUPERIORE | 0.32 |
| FUMAROLO | 0.50 | ZIA | 0.42 |
| | | TOTALE | 175.97 |

Tabella 4 Estensione areale dei sottobacini del bacino Fosso Vecchio.

2.2 Set-up del modello

Il codice HMS mette a disposizione diversi metodi per la trasformazione afflussi-deflussi. Nella presente analisi sono stati utilizzati:

- il Metodo SCS (Soil Conservation Service, sviluppato dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti) per il calcolo del volume efficace (Soil Conservation Service, 1972). Sono state trascurate le perdite per evapotraspirazione ed il deflusso profondo in quanto gli eventi di piena hanno luogo principalmente durante i mesi invernali quando le temperature sono limitate e il grado di saturazione (falda freatica) relativamente elevato;

- il Metodo dell'idrogramma unitario di Clark (1945), per la determinazione dell'idrogramma del deflusso superficiale;
- il Metodo cinematico, per la traslazione delle onde di piena all'interno dei canali, implementato sulla base delle caratteristiche fisiche del tratto di canale specifico (lunghezza, pendenza, sezione, scabrezza).

Per la generazione dell'evento su cui valutare le variazioni indotte dalla subsidenza si è partiti dalla portata massima nominale delle elettropompe installate presso l'impianto idrovoro di Tratturo a servizio del comprensorio di Bonifica, strutturato su sei elettropompe, per una portata massima nominale complessiva pari a 10.8 m³/s. Le acque sollevate dalle idrovore vengono convogliate dal Nuovo Tratturo nel canale Destra Reno, secondo livelli di avvio e spegnimento forniti dal Consorzio. Ipotizzando che, come usualmente avviene nell'ambito della gestione della bonifica nell'area costiera padana, la portata delle pompe sia stata dimensionata per un evento con tempo di ritorno 30 anni, si è quindi cercato di generare un evento pluviometrico con Tr=30 anni che determinasse una portata al colmo di 10.8 m³/s, utilizzata come riferimento per la taratura del parametro CN per la definizione della pioggia efficace. Il parametro CN così identificato (CN=63) è stato poi applicato anche agli altri bacini presi in esame. Il tempo di corrivazione dei bacini simulati è stato calcolato con la formula di Pasini (Da Deppo et al., 2004):

$$t_c = \frac{0.0045}{\sqrt{i}} \sqrt[3]{SL}$$
$$\sqrt{i} = \frac{\sum l}{\sum \frac{l_n}{\sqrt{i_n}}}$$

dove t_c è il tempo di corrivazione in giorni, S la superficie del bacino in km² ed L la lunghezza del collettore in km, l_n e i_n rispettivamente lunghezza e pendenza dei diversi tratti del collettore. La Tabella 5 mostra i tempi di corrivazione ottenuti per ciascun bacino:

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

Tabella 5 Tempi di corrivazione per bacino.

Per l'intensità di pioggia si è fatto riferimento allo "Studio idrologico ed idraulico del Canale di Bonifica in Destra di Reno (collettore generale di tutti i Comparti di scolo del Consorzio) in condizioni di piena eccezionale: verifica del sistema nello stato di fatto attuale e delle configurazioni progettuali prospettate per il miglioramento della capacità di trasferimento idrico nel cavo" (Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale di Lugo, 2001) e allo studio di Todini (1990). Questi lavori hanno fornito la curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno di interesse, ottenuta sulla base di studi di regionalizzazione comprendenti il territorio indagato focalizzati alla determinazione della precipitazione intensa per eventi di varia durata. La Tabella 6 mostra la precipitazione per il tempo di ritorno di 30 anni in funzione della durata di interesse (pari ai tempi di corrivazione sopra identificati).

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

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

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

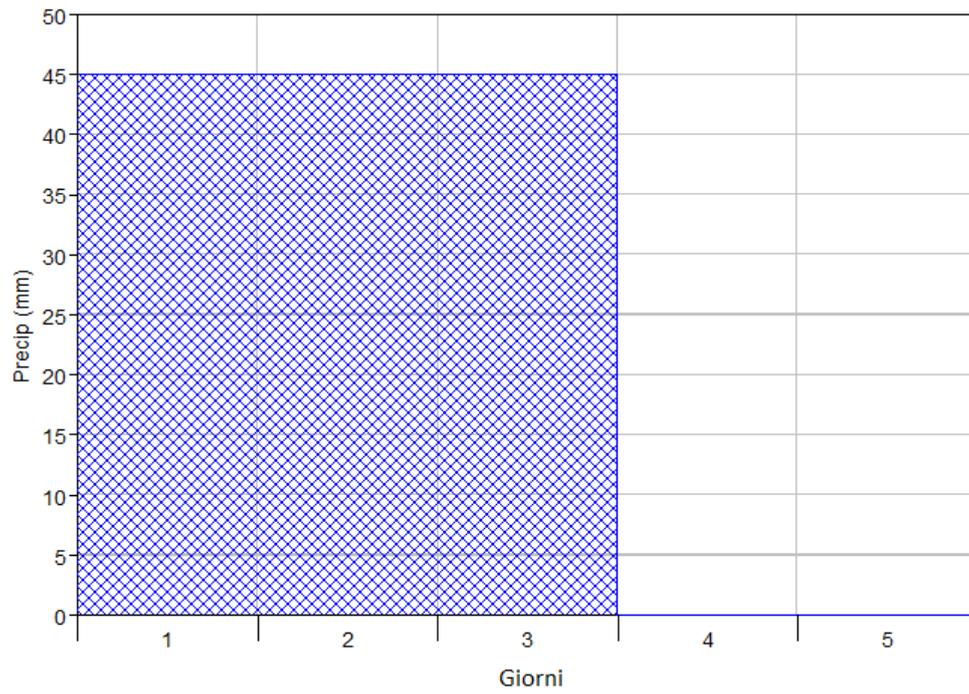


Figura 7 Fosso Vecchio e Canal Vela: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

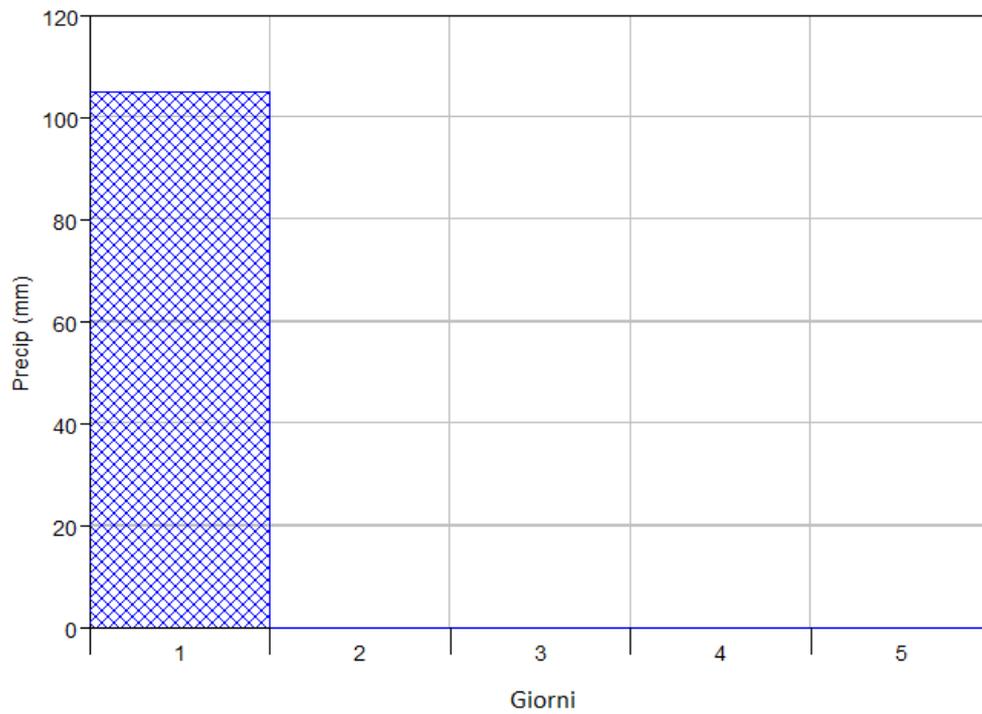


Figura 8 Scolo Alfonsine: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

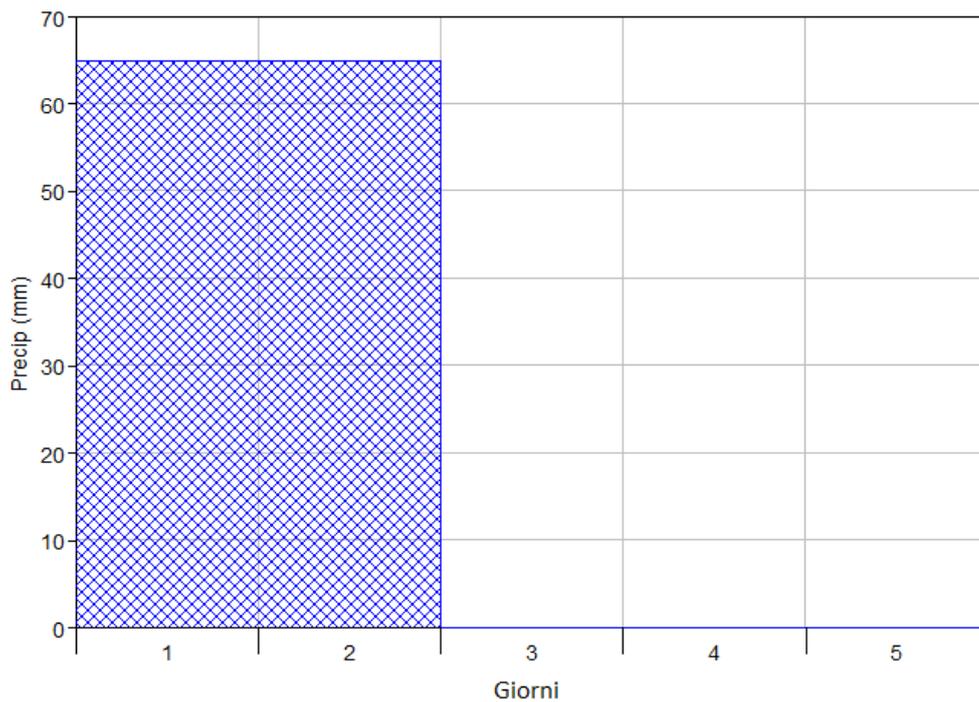


Figura 9 Scolo Nuovo Tratturo: ietogramma utilizzato per la simulazione idrologica.

2.3 Risultati delle simulazioni

Le simulazioni effettuate hanno fornito come risultato l'idrogramma di piena per ognuno dei sottobacini in cui sono stati discretizzati i quattro sistemi analizzati. Tali idrogrammi, distribuiti lungo la rete, costituiscono la condizione al contorno per la successiva modellazione idraulica. A titolo esemplificativo in Figura 10 - Figura 13 si riportano gli idrogrammi risultanti alla sezione di chiusura dei quattro modelli. Da notare che la forma degli idrogrammi mostra per i bacini più estesi il ramo di discesa più ripido della parte di salita, il che rappresenta un comportamento inusuale; tale andamento è diretta conseguenza delle assunzioni fatte che prevedono, come sopra menzionato, che il deflusso profondo (ovvero la parte che si infiltra e va indirettamente e quindi con ritardo a formare l'onda di piena) sia trascurato. La forma dell'idrogramma risulta pertanto influenzata dall'impostazione seguita, che tuttavia non inficia l'affidabilità dei risultati ottenuti, che per il tipo di analisi richiesta sono focalizzati sull'entità del picco di piena. Il valore dei picchi di piena ottenuti risulta essere in linea con quelli calcolati nel già citato studio del Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale di Lugo (2001): per il Canal Vela e il Fosso Vecchio, che sono i bacini più significativi, i risultati

delle simulazioni idrologiche condotte mostrano portate al colmo di circa $51 \text{ m}^3/\text{s}$ per entrambi, da confrontare con le portate stimate dal Consorzio, pari rispettivamente a 48 e $52 \text{ m}^3/\text{s}$.

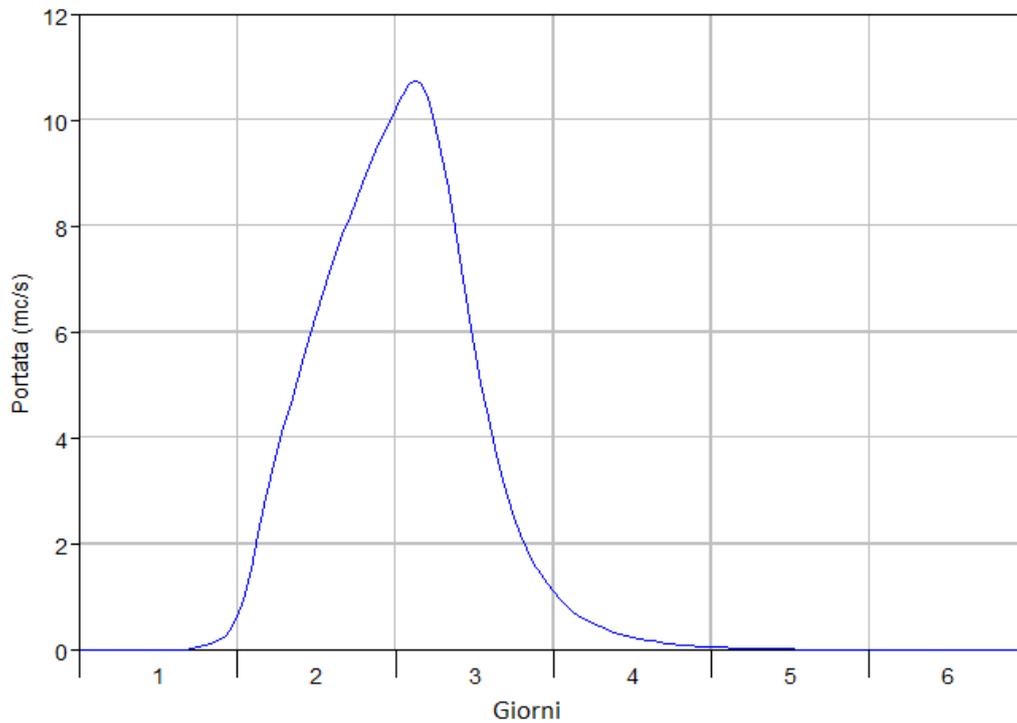


Figura 10 Nuovo Tratturo: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

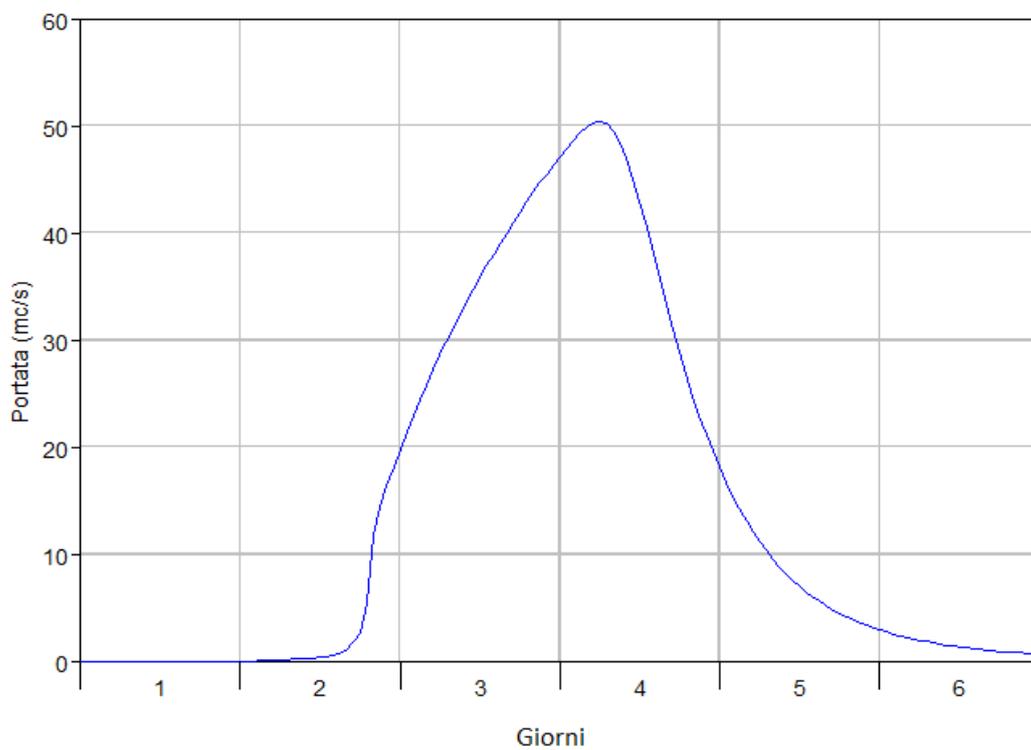


Figura 11 Canal Vela: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

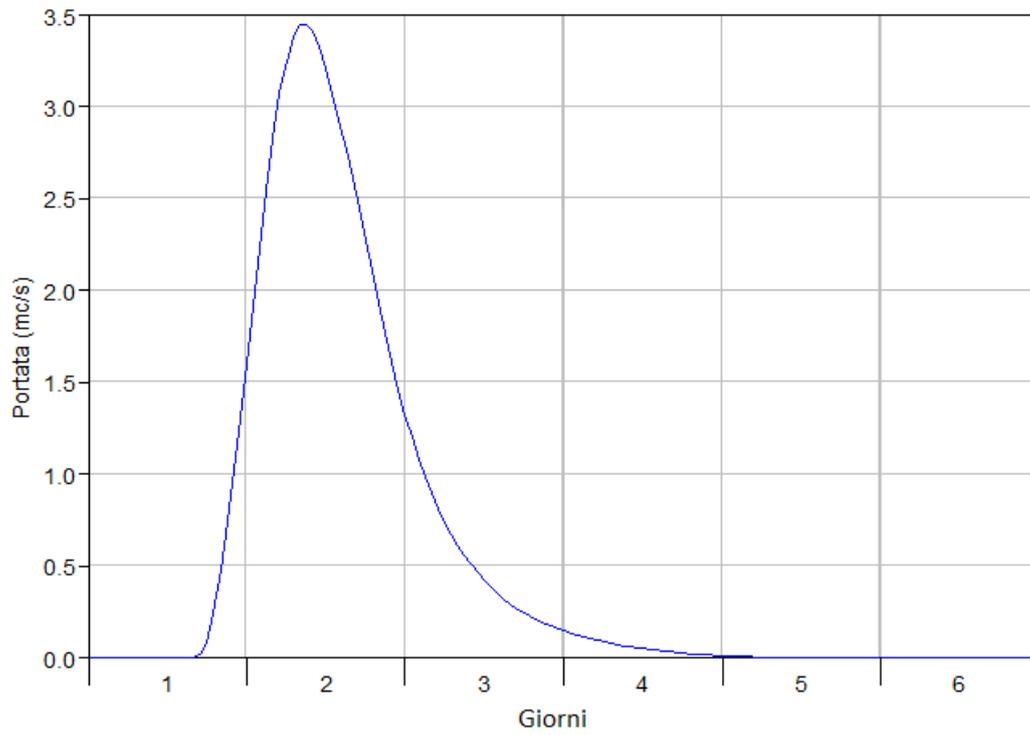


Figura 12 Scolo Alfonsine: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

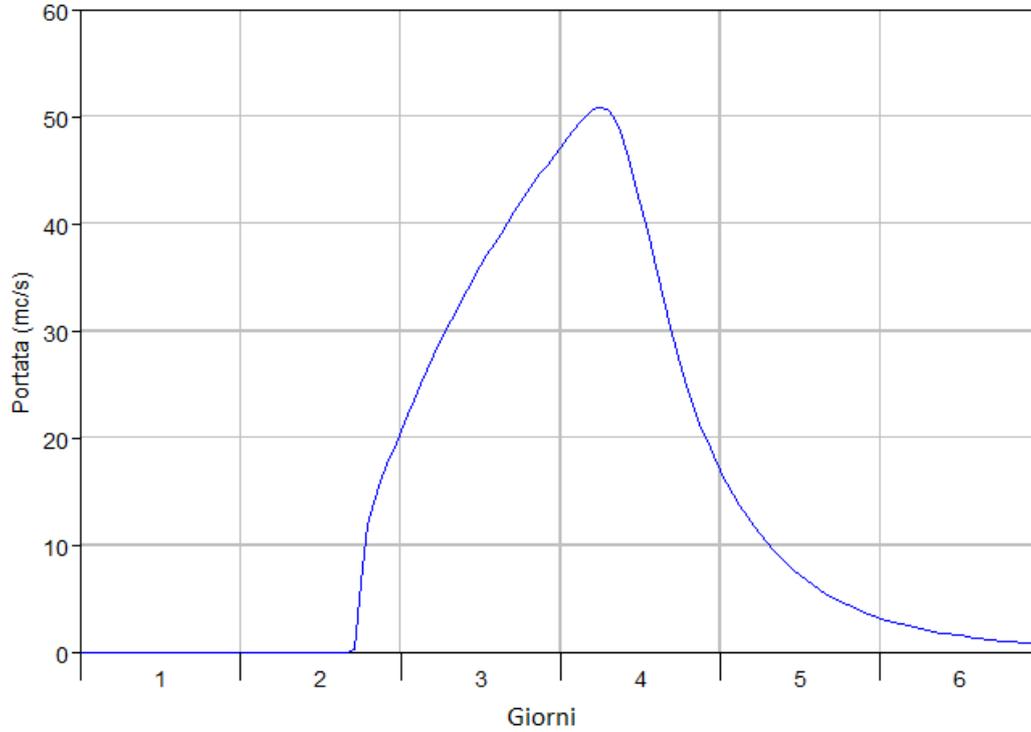


Figura 13 Fosso Vecchio: idrogramma risultante alla sezione di chiusura.

3. Modello idraulico della rete scolante

Il modello idrologico del comprensorio in fase di studio è stato realizzato con il codice HEC-RAS (River Analysis System) sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center (USACE-HEC, 2016).

3.1 Definizione della geometria del sistema

La descrizione della topografia del sistema di drenaggio è fatta attraverso la definizione delle sue sezioni trasversali. Le sezioni di rilievo messe a disposizione dal Consorzio coprono la maggior parte dei tratti da modellare; tuttavia poiché alcuni tratti sono mancanti e altri non completamente sviluppati, si è reso necessario un lavoro di interpolazione e di ricostruzione delle sezioni sulla scorta dei dati cartografici e di fotointerpretazione di immagini satellitari.

Per i tratti per i quali la topografia è disponibile, si rileva che le informazioni hanno date tra loro diverse, coprendo un intervallo che va dagli anni 1970 agli anni più recenti; pertanto molti dati di rilievo sono quantomeno datati e, con ogni probabilità, non rappresentativi della situazione attuale reale. Tuttavia, poiché lo scopo di questa analisi è quello di mettere a confronto il sistema nelle configurazioni pre- e post-avvio delle attività di minerarie (produzione primaria su Longanesi e stoccaggio/iniezione in Alfonsine), la non-contemporaneità dei rilievi a disposizione ha un effetto marginale.

I risultati dunque devono essere interpretati alla luce della presente analisi, non tanto come verifica idraulica del sistema di drenaggio dal punto di vista dell'efficienza idraulica o meno, piuttosto una ordinaria messa a confronto dei profili idrici nei diversi scenari analizzati e descritti in dettaglio nel seguito.

Nel modello sono stati schematizzati i seguenti canali:

- Canale Destra Reno,
- Scolo Nuovo Tratturo,
- Scolo Traversagno,
- Canal Vela,
- Tratturo,
- Casale,
- Fossatone di San Bernardino,

- Via Lunga a Ponente,
- Via Nuova nel Casale,
- Ascensione,
- Arginello,
- Menata di Runzi,
- Santa Lucia,
- Frassona Maggiore,
- Cocorre,
- Sant'Antonio,
- Menata di Fusignano,
- Via Nuova,
- Scolo Alfonsine,
- Fosso Vecchio,
- Fosso Vetro,
- Fosso Munio.

In Figura 14 è riportato lo schema idraulico utilizzato.

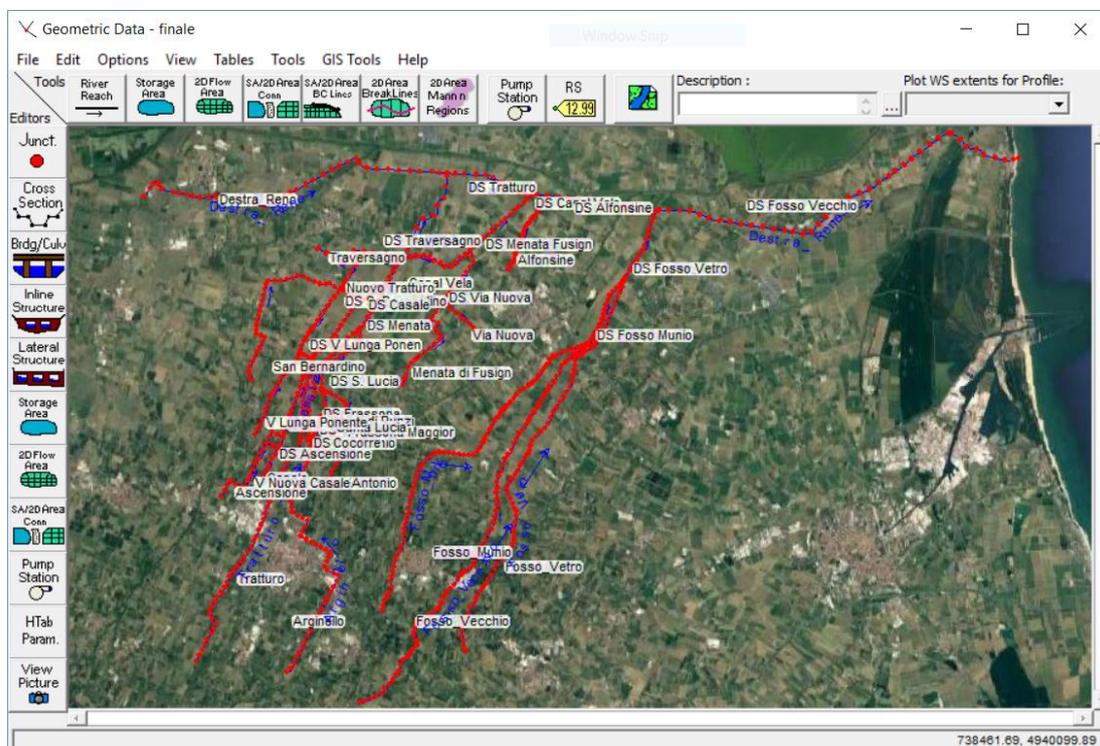


Figura 14 Schematizzazione del comprensorio di bonifica nel modello HEC-RAS.

Per l'impianto idrovoro Tratturo sono a stati messi a disposizione i dati relativi al numero e la portata delle pompe, con indicazione delle quote di avviamento e arresto. Sulla base di queste informazioni si è ipotizzato un funzionamento dell'impianto idrovoro come schematizzato in Tabella 7.

| Pompa n. | portata [m ³ /s] | Quota avvio [m slm] | Quota arresto [m slm] |
|-----------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 2.5 | -0.43 | -0.65 |
| 2 | 2.5 | -0.38 | -0.53 |
| 3 | 2.5 | -0.23 | -0.43 |
| 4 | 2.5 | 0.12 | 0.02* |
| 5 | 0.5 | -0.48 | -0.73 |
| 6 | 0.3 | -0.68 | -0.88* |

Tabella 7 Schema di funzionamento dell'impianto idrovoro simulato nel modello (* valori invertiti rispetto a quanto fornito dal consorzio per ovvie ragioni di funzionamento "quota avvio > quota arresto").

Gli altri tre canali principali (Canal Vela, Scolo Alfonsine e Fosso Vecchio) confluiscono le acque in Destra Reno a semplice gravità.

3.2 Configurazione del modello idraulico

L'input al modello è determinato dai risultati del modello idrologico: ogni sottobacino schematizzato in HMS determina la portata di input per il relativo canale, portata che viene distribuita come afflusso di testa o laterale lungo i tratti di canale modellati. Alcuni contributi laterali relativi a scoli minori non inclusi nella rete idraulica modellata sono gestiti mediante idrovore; per tali contributi, pur considerati tra le condizioni al contorno, gli impianti idrovori sono stati trascurati nell'implementazione del modello, considerando la porta recapitata immediatamente al ricettore di valle.

Per quanto riguarda il Canale Destra Reno, sulla base di dati di riferimento è stata imposta una portata di 50 m³/s a monte delle immissioni considerate nel modello. A valle, in foce del canale Destra Reno, è stato posto un livello medio mare pari a 0.5 m s.l.m.

Per quanto riguarda il coefficiente di scabrezza n , secondo la formulazione di Manning, sono stati considerati i seguenti valori:

- $n=0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$ per la parte golenale;
- $n=0.025 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$ per le parti di alveo attivo del canale Destra Reno;

- $n=0.030 \text{ m}^{-1/3}\text{s}^{-1}$ per le parti di alveo attivo per gli altri canali consortili.

3.3 Scenari simulati

Il modello HEC-RAS è stato utilizzato per verificare le seguenti la variazione rispetto allo stato attuale delle caratteristiche del deflusso nella rete scolante in relazione ad alcuni di subsidenza / innalzamento previsti dagli studi geomeccanici condotti per i giacimenti di Alfonsine (Isotton et al., 2017c) e Longanesi (Eni, 2010). In particolare, per Alfonsine sono stati considerate le medesime mappe di variazione altimetrica dello studio Isotton et al. (2017b) riportate in Figura 15. Per Longanesi sono state considerate le mappe di subsidenza al 2040 ottenute negli scenari “Cmax-Kmin” e “Cmin-Kdef” che forniscono rispettivamente il cono di subsidenza più ampio e quello con gli abbassamenti maggiori (Figura 16).

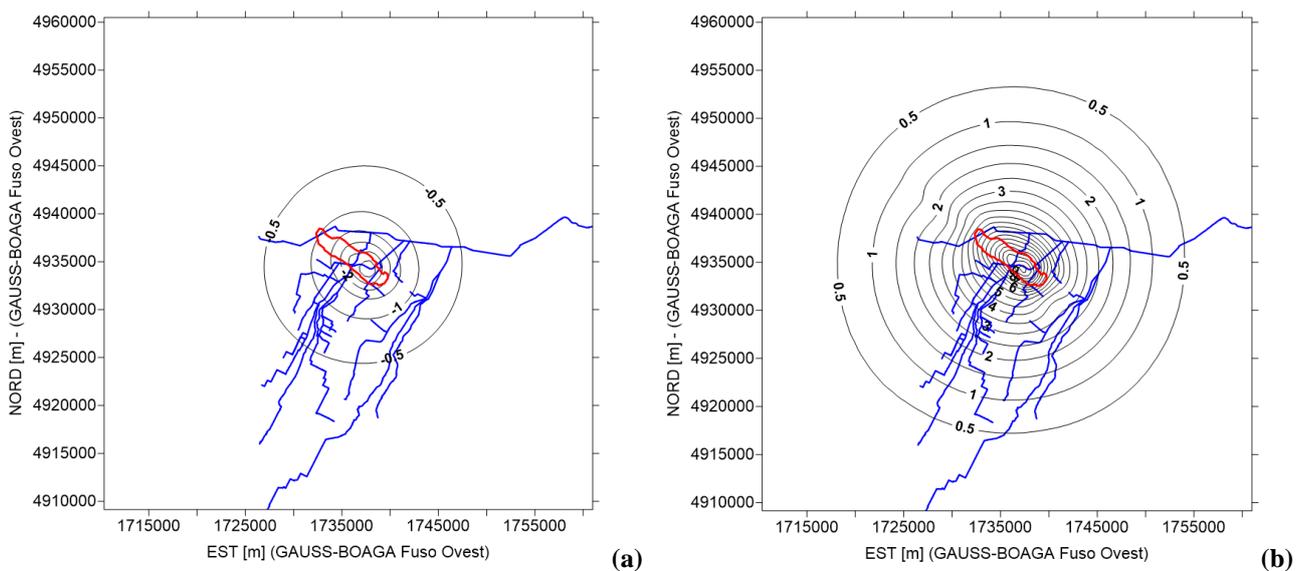


Figura 15 Mappe degli spostamenti (in cm) causati dalle attività minerarie su Alfonsine e considerati negli scenari B1-B2 (a) e C1-C2 (b). E' riportata in blu la traccia della rete di bonifica.

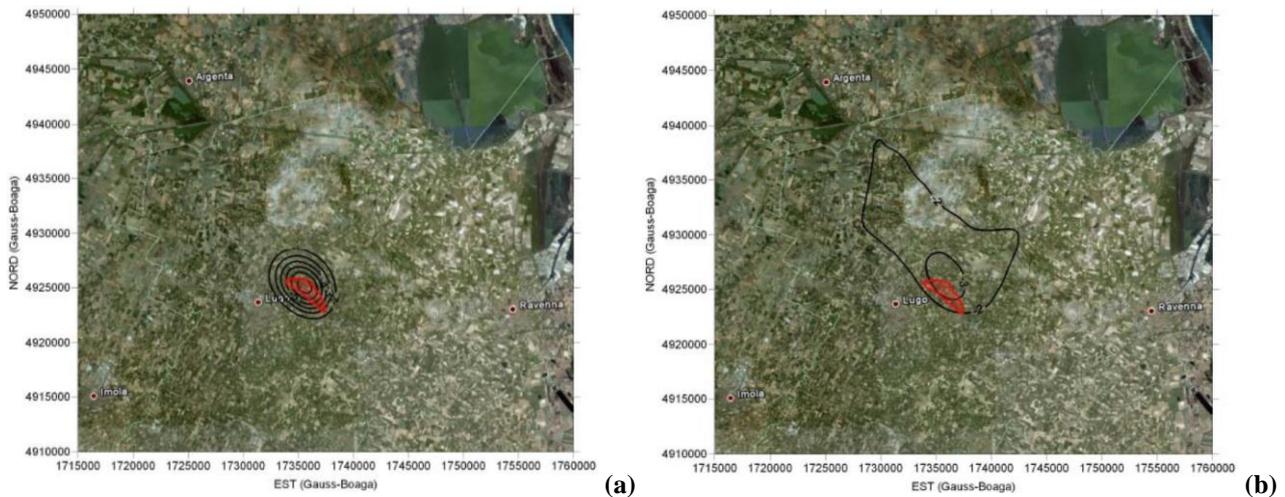


Figura 16 Mappe degli spostamenti (in cm) causati al 2040 dalle produzioni di Longanesi secondo gli scenari Eni “Cmax-Kmin” (a) e “Cmin-Kdef” (b).

Le mappe dello spostamento complessivo sono state ottenute come sovrapposizione di quelle prodotte dagli studi su Alfonsine e Longanesi. In particolare sono stati considerati i seguenti scenari:

- scenario A: nello stato “attuale”, ovvero quello definito sulla base delle quote dei rilievi topografici forniti dal Consorzio;
- scenario B1: stato di “massima erogazione” Alfonsine (Figura 15a) + Longanesi con massimo abbassamento e minima estensione del cono (Figura 16a). La mappa degli spostamenti complessivi è fornita in Figura 17;
- scenario B2: stato di “massima erogazione” Alfonsine (Figura 15a) + Longanesi con minimo abbassamento e massima estensione del cono (Figura 16b). La mappa degli spostamenti complessivi è fornita in Figura 18;
- scenario C1: stato di “massimo stoccaggio” Alfonsine (Figura 15b) + Longanesi con massimo abbassamento e minima estensione del cono (Figura 16a). La mappa degli spostamenti complessivi è fornita in Figura 19;
- scenario C2: stato di “massimo stoccaggio” Alfonsine (Figura 15b) + Longanesi con minimo abbassamento e massima estensione del cono (Figura 16b). La mappa degli spostamenti complessivi è fornita in Figura 20.

In relazione ad Alfonsine, gli Scenari B prevedono quindi che la quota dei corpi idrici simulati si abbassi a seguito di una completa fase di erogazione; negli Scenari C è stato preso in considerazione l’innalzamento previsto quando si passa dalla pressione attuale a $P = P_i$ (massima pressione di stoccaggio).

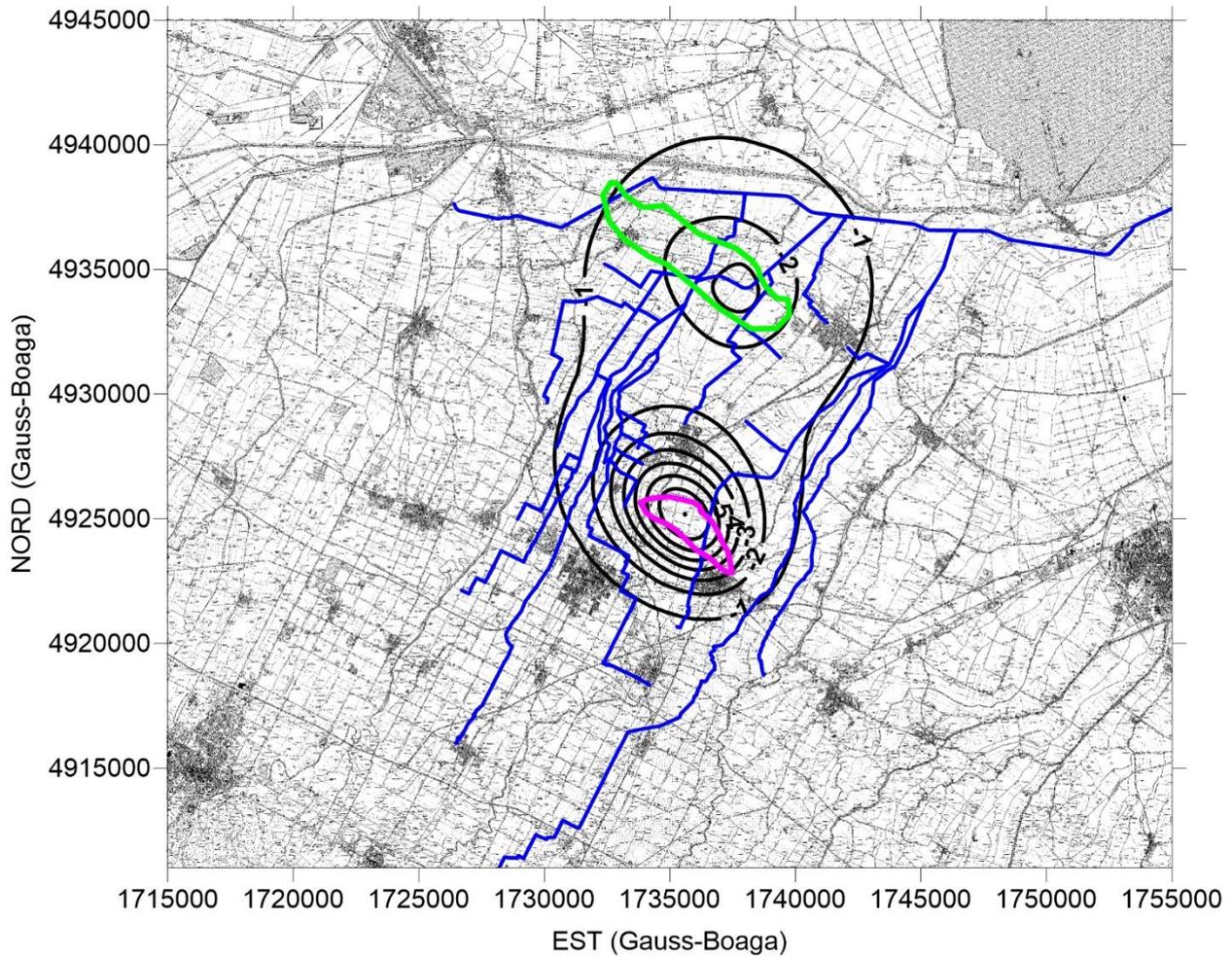


Figura 17 Variazione di elevazione del piano campagna (in cm) analizzato nello scenario B1.

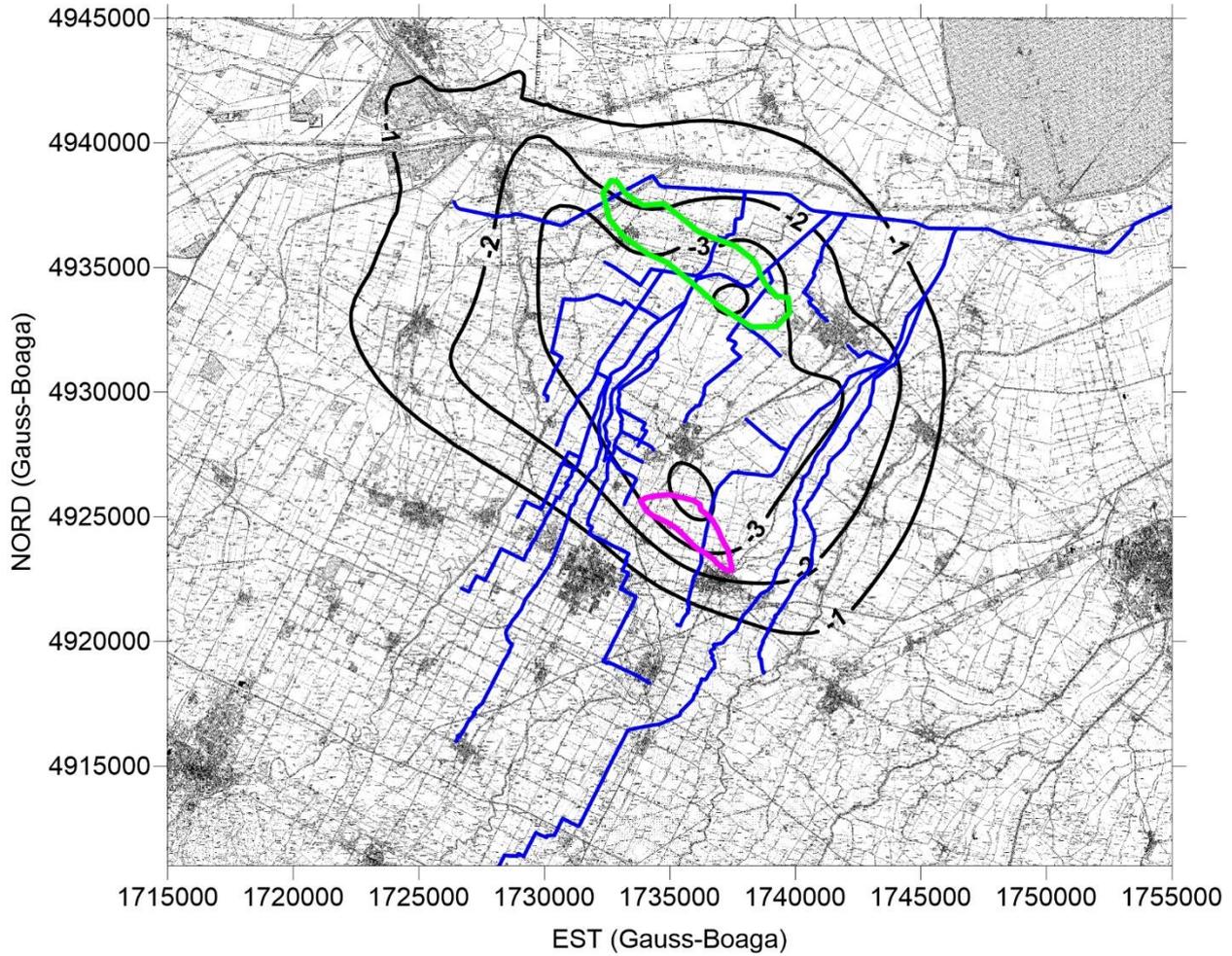


Figura 18 Variazione di elevazione del piano campagna (in cm) analizzato nello scenario B2.

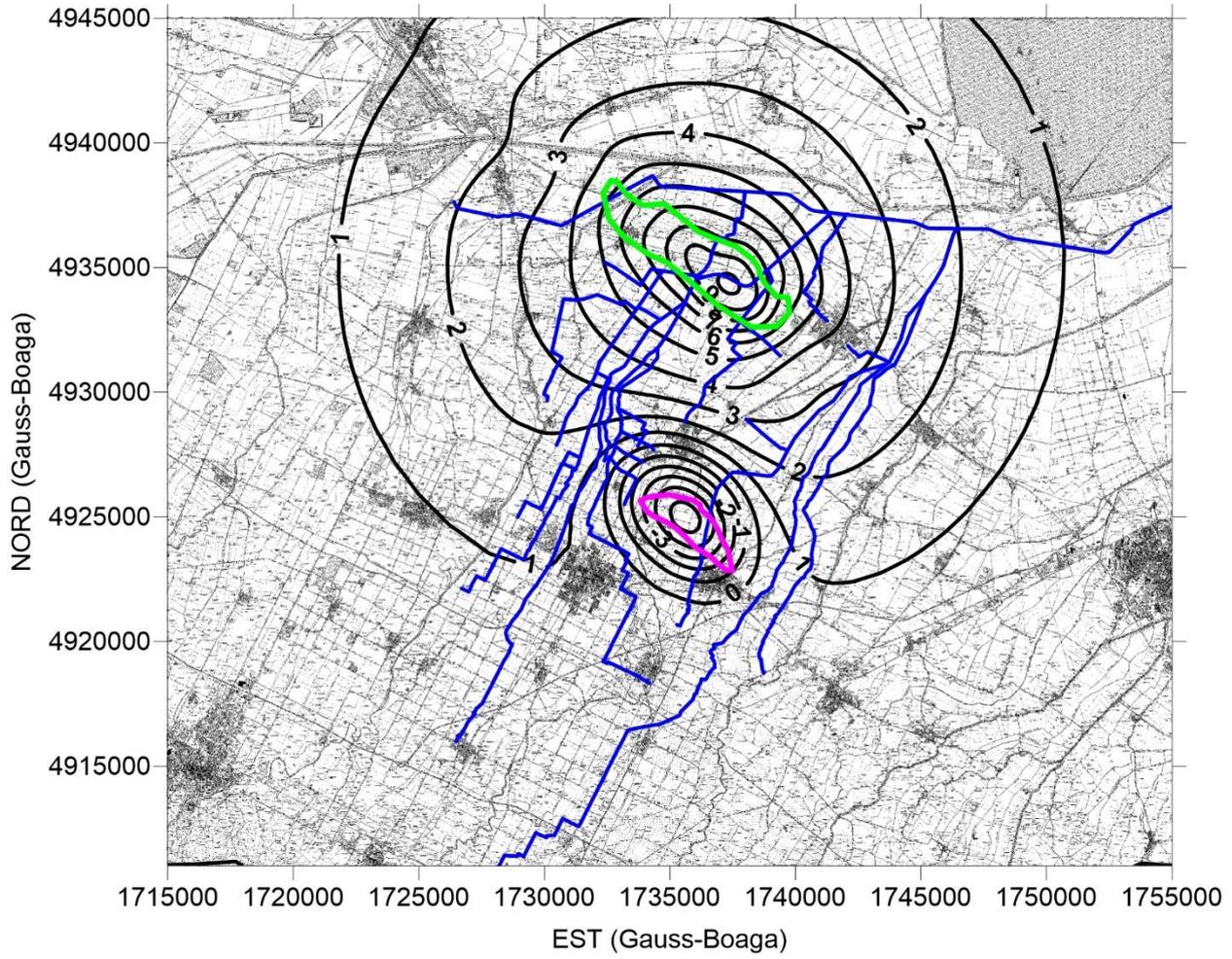


Figura 19 Variazione di elevazione del piano campagna (in cm) analizzato nello scenario C1.

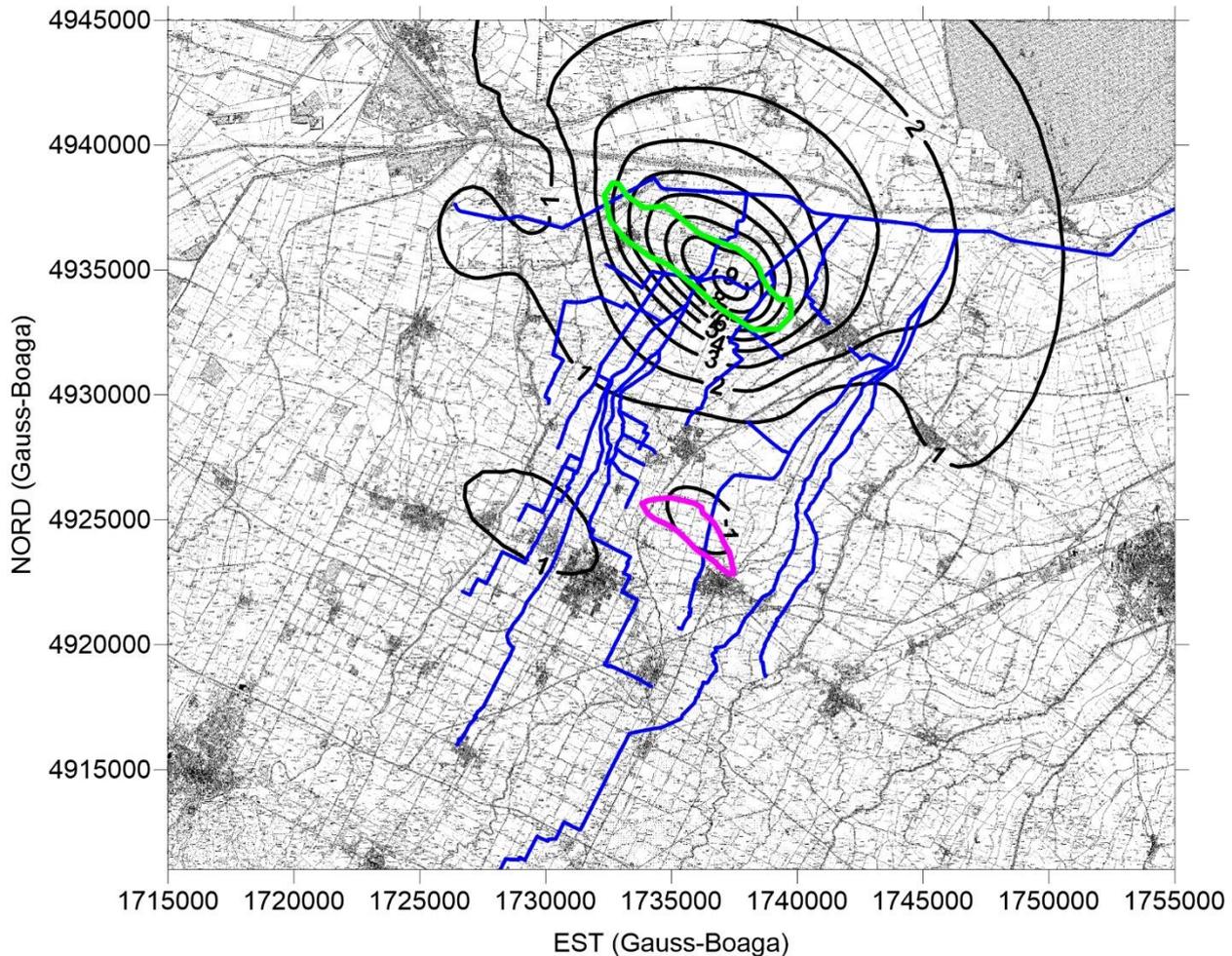


Figura 20 Variazione di elevazione del piano campagna (in cm) analizzato nello scenario C2.

Sulla base dei risultati dei modelli geomeccanici sono state determinate le variazioni altimetriche in corrispondenza delle sezioni schematizzate nel modello ed è stata definita una geometria relativa ad ogni scenario. Le tabelle seguenti riportano per ogni bacino il massimo abbassamento e massimo innalzamento nei canali per ogni scenario. I risultati nelle tabelle evidenziano come il canale che subisce le maggiori variazioni altimetriche in seguito della coltivazione dei giacimenti Alfonsine e Longanesi sia il canale Munio in cui per tutti gli scenari si ha il massimo abbassamento, con un valore minimo di -1.4 cm nello scenario C2 e massimo di -7.1 cm per lo scenario B1. Gli innalzamenti massimi si hanno invece nel Canale Vela, pari a 10.1 cm nello scenario C1 e 9.4 cm nello scenario C2. Negli scenari B1 e B2 non si hanno innalzamenti del terreno.

| Canale | Scenario B1 | | Scenario B2 | | Scenario C1 | | Scenario C2 | |
|----------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] |
| Destra Reno | -1.6 | - | -3.3 | - | - | 6.1 | - | 5.8 |

Tabella 8. Variazioni altimetriche Canale Destra Reno

| Canale | Scenario B1 | | Scenario B2 | | Scenario C1 | | Scenario C2 | |
|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] |
| Nuovo Tratturo | -2.8 | - | -3.8 | - | - | 9.5 | - | 8.8 |
| Traversagno | -1.9 | - | -3.6 | - | - | 7.2 | - | 5.8 |

Tabella 9. Variazioni altimetriche Bacino Nuovo Tratturo

| Canale | Scenario B1 | | Scenario B2 | | Scenario C1 | | Scenario C2 | |
|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] | max abb. [cm] | max inn. [cm] |
| Canal Vela | -3.2 | - | -4.0 | - | - | 10.1 | - | 9.4 |
| Tratturo | -2.1 | - | -3.7 | - | - | 6.9 | - | 5.3 |
| Casale | -1.6 | - | -3.8 | - | - | 5.4 | - | 3.3 |
| Fossatone di San Bernardino | -1.4 | - | -3.8 | - | - | 5.2 | - | 2.8 |
| Via Lunga a Ponente | -1.2 | - | -3.3 | - | - | 3.3 | - | 1.1 |
| Via Nuova nel Casale | -1.5 | - | -2.3 | - | - | 1.6 | - | 1.1 |
| Ascensione | -1.4 | - | -2.0 | - | - | 1.5 | - | 1.1 |
| Arginello | -2.7 | - | -3.7 | - | - | 7.0 | - | 5.5 |
| Menata di Runzi | -2.4 | - | -3.6 | - | - | 4.6 | - | 2.4 |
| Santa Lucia | -3.6 | - | -3.6 | - | - | 2.5 | -0.1 | 0.8 |
| Frassona Maggiore | -3.8 | - | -3.8 | - | -0.1 | 1.4 | -0.1 | 0.3 |
| Cocorre | -3.8 | - | -3.5 | - | -0.4 | 0.9 | -0.1 | 0.2 |
| Sant'Antonio | -4.7 | - | -3.2 | - | -1.8 | 0.6 | -0.2 | 0.3 |
| Menata di Fusignano | -3.0 | - | -3.9 | - | - | 9.0 | - | 8.2 |
| Via Nuova | -2.6 | - | -3.9 | - | - | 7.8 | - | 6.6 |

Tabella 10. Variazioni altimetriche Bacino Canal Vela

| Canale | Scenario B1 | | Scenario B2 | | Scenario C1 | | Scenario C2 | |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | max abb. [cm] | max inn. [cm] |
| Alfonsine | -1.8 | - | -2.7 | - | - | 5.8 | - | 4.9 |

Tabella 11. Variazioni altimetriche Bacino Alfonsine

| Canale | Scenario B1 | | Scenario B2 | | Scenario C1 | | Scenario C2 | |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | max abb. [cm] | max inn. [cm] |
| Fosso Vecchio | -1.1 | - | -3.0 | - | - | 2.9 | -0.5 | 2.2 |
| Fosso Vetro | -1.0 | - | -2.7 | - | - | 2.8 | -0.4 | 2.2 |
| Fosso Munio | -7.1 | - | -4.0 | - | -4.6 | 3.1 | -1.4 | 1.2 |

Tabella 12. Variazioni altimetriche Bacino Fosso Vecchio

3.4 Risultati delle simulazioni idrauliche

Per ognuna delle 4 configurazioni sopra descritte sono state effettuate le simulazioni idrauliche utilizzando come input i risultati della modellazione idrologica. I livelli massimi per ogni scenario sono stati confrontati con quelli dello Scenario A, definito come “attuale”.

Le variazioni massime dei livelli idrici nei vari corsi d'acqua analizzati sono riportate in Tabella 13 - Tabella 17. Dal confronto con le tabelle che riportano le variazioni di quota (Tabella 8 - Tabella 12) si evince che la variazione dei livelli è uguale o inferiore a quella indotta dalla subsidenza antropica, pertanto il franco di bonifica rimane invariato o al più aumenta.

| Canale | Scenario B1 | Scenario B2 | Scenario C1 | Scenario C2 |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] |
| Destra Reno | -0.8 | -1.6 | 3.4 | 2.9 |

Tabella 13. Variazioni di livello rispetto allo Scenario A - Canale Destra Reno

| | Scenario B1 | Scenario B2 | Scenario C1 | Scenario C2 |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Canale | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] |
| Nuovo Tratturo | -2.0 | -3.8 | 7.4 | 6.9 |
| Traversagno | -1.9 | -2.4 | 7.4 | 6.9 |

Tabella 14. Variazioni di livello rispetto allo Scenario A - Bacino Nuovo Tratturo

| | Scenario B1 | Scenario B2 | Scenario C1 | Scenario C2 |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Canale | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] |
| Canal Vela | -0.8 | -1.0 | 2.5 | 2.3 |
| Tratturo | -2.1 | -3.4 | 4.2 | 2.6 |
| Casale | -1.5 | -3.3 | 3.8 | 2.6 |
| Fossatone di San Bernardino | -1.2 | -3.4 | 4.5 | 2.7 |
| Via Lunga a Ponente | -1.2 | -3.2 | 3.6 | 1.6 |
| Via Nuova nel Casale | -1.5 | -2.6 | 1.6 | 1.1 |
| Ascensione | -1.5 | -2.4 | 1.5 | 1.1 |
| Arginello | -2.6 | -3.6 | 3.1 | 2.3 |
| Menata di Runzi | -2.4 | -3.4 | 3.5 | 2.3 |
| Santa Lucia | -3.6 | -3.7 | 2.5 | 0.8 |
| Frassona Maggiore | -3.5 | -3.7 | 1.5 | 0.3 |
| Cocorre | -3.7 | -3.5 | 1.1 | 0.2 |
| Sant'Antonio | -4.1 | -3.4 | 0.7 | 0.2 |
| Menata di Fusignano | -1.9 | -3.8 | 5.8 | 4.8 |
| Via Nuova | -1.7 | -2.8 | 4.9 | 4.3 |

Tabella 15. Variazioni di livello rispetto allo Scenario A - Bacino Canal Vela

| | Scenario B1 | Scenario B2 | Scenario C1 | Scenario C2 |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Canale | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] |
| Alfonsine | -0.4 | -1.0 | 0.8 | 0.9 |

Tabella 16. Variazioni di livello rispetto allo Scenario A - Bacino Alfonsine

| | Scenario B1 | Scenario B2 | Scenario C1 | Scenario C2 |
|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Canale | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] | max var. [cm] |
| Fosso Vecchio | -1.1 | -2.5 | 2.3 | 1.6 |
| Fosso Vetro | -0.8 | -2.3 | 1.8 | 1.5 |
| Fosso Munio | -6.7 | -4.0 | 2.3 | 1.6 |

Tabella 17. Variazioni di livello rispetto allo Scenario A - Bacino Fosso Vecchio

Il confronto tra le velocità massime nei diversi scenari evidenzia variazioni non apprezzabili, inferiori a 1 cm/s.

In Figura 21 - Figura 42 sono riportati, per ogni canale, i profili dei livelli massimi dello scenario A confrontato con lo scenario di massimo abbassamento e massimo innalzamento per quel canale.

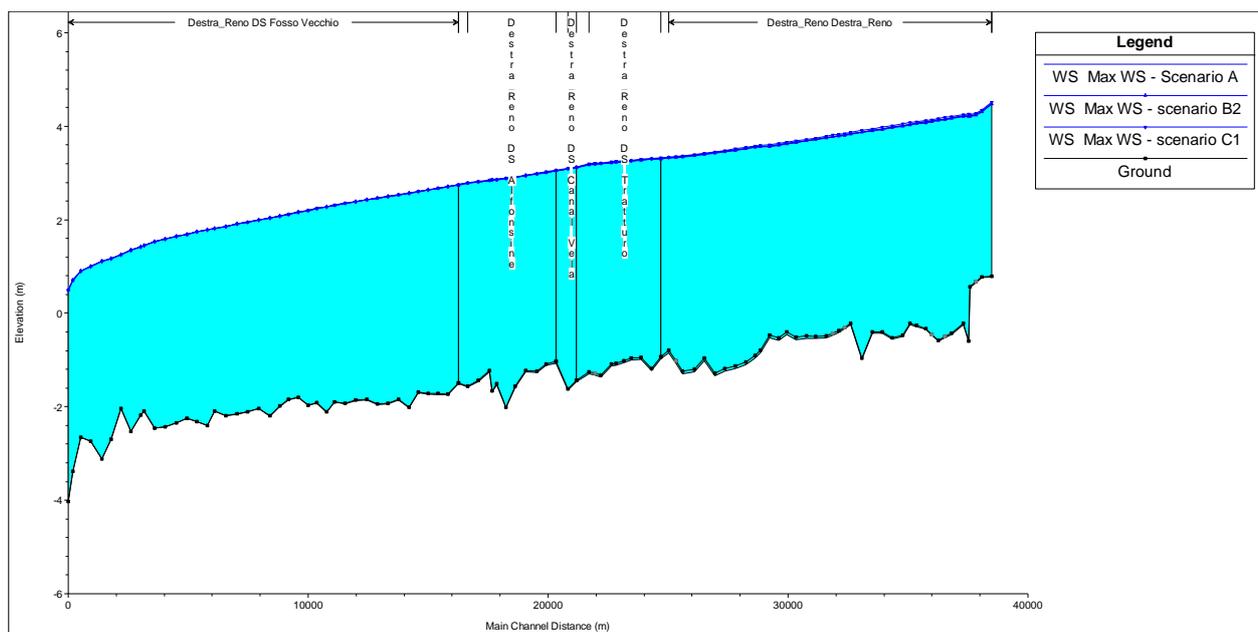


Figura 21 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

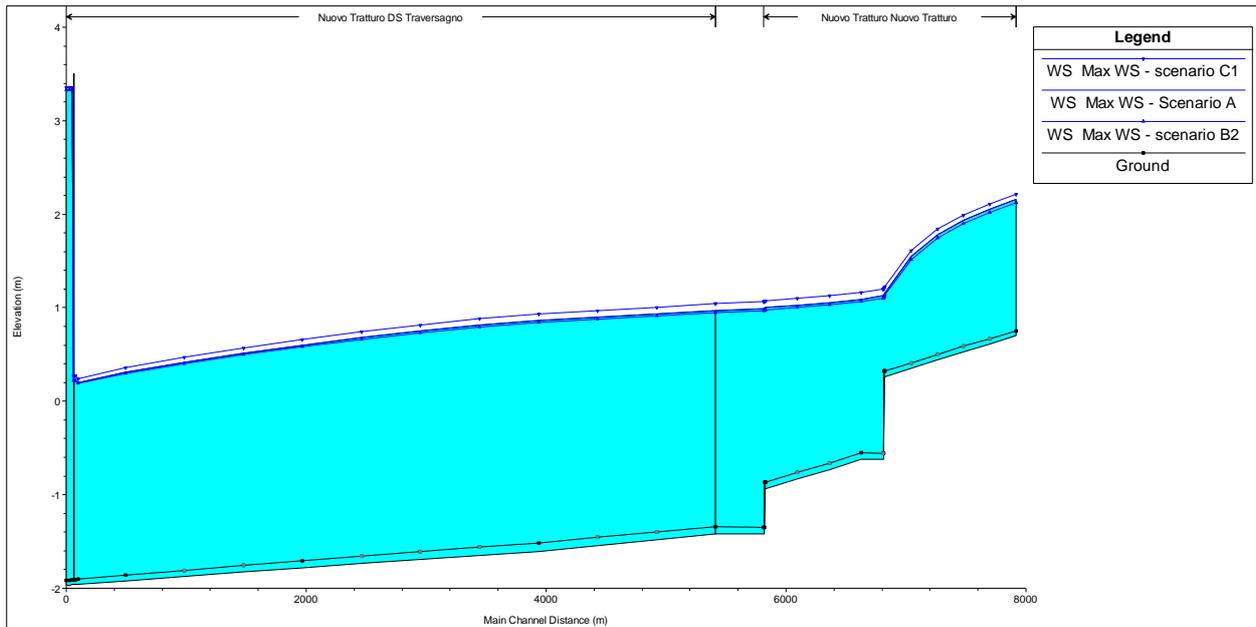


Figura 22 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

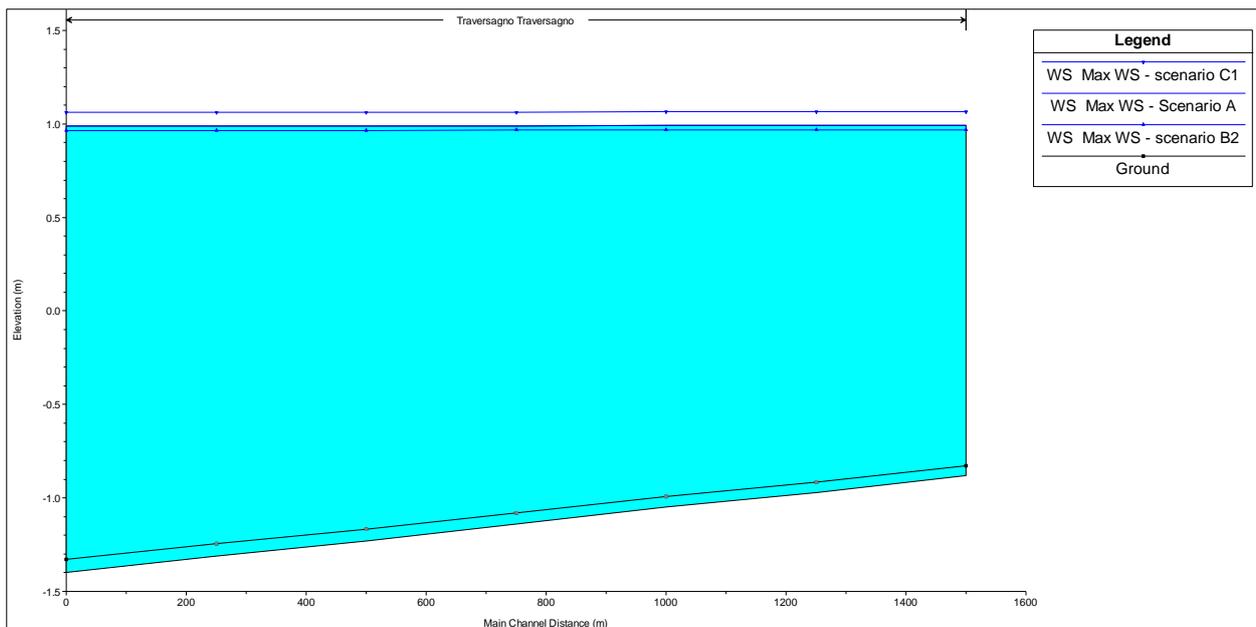


Figura 23 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Traversagno per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

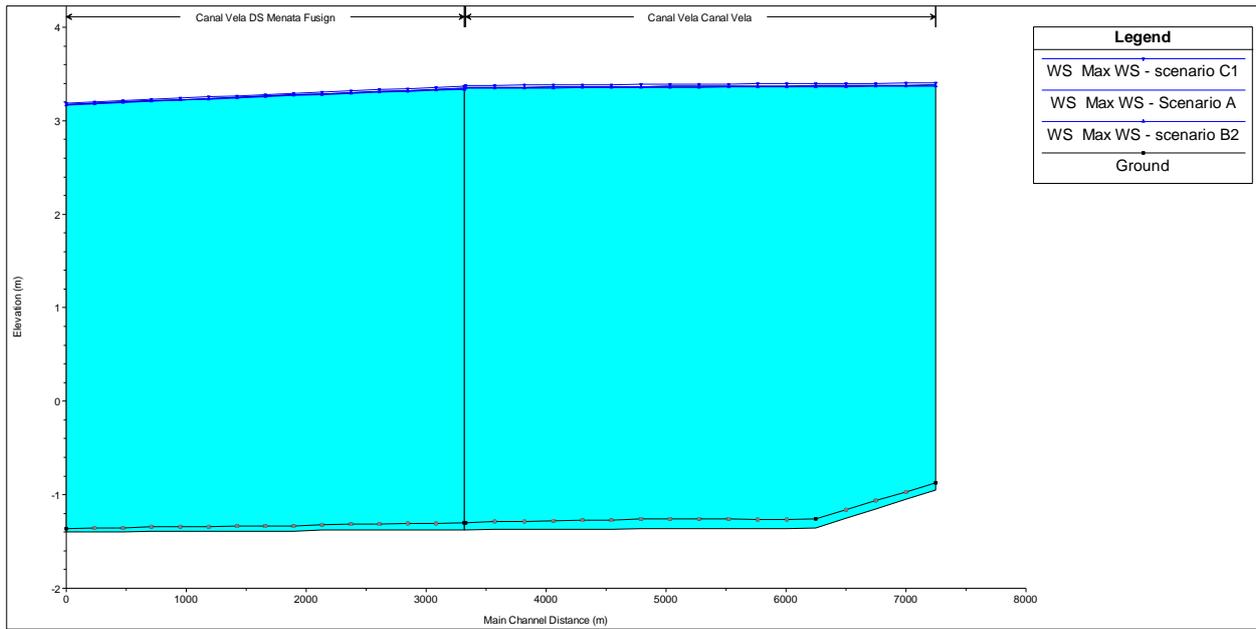


Figura 24 Confronto dei livelli massimi lungo il Canal Vela per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

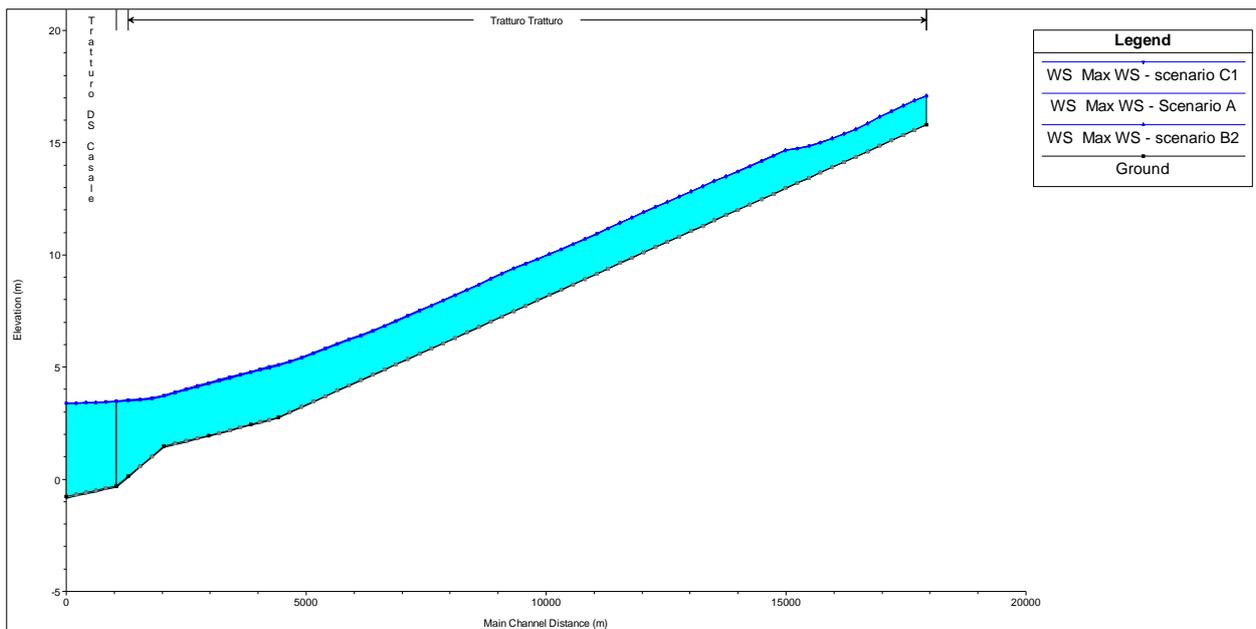


Figura 25 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Tratturo per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

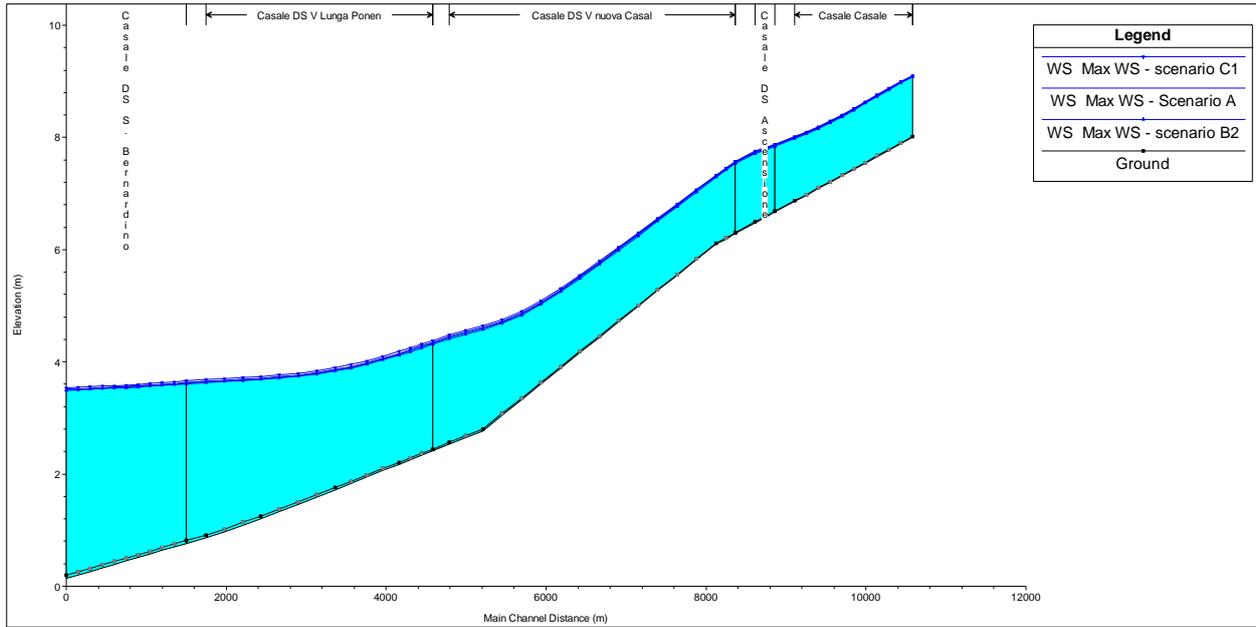


Figura 26 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Casale per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

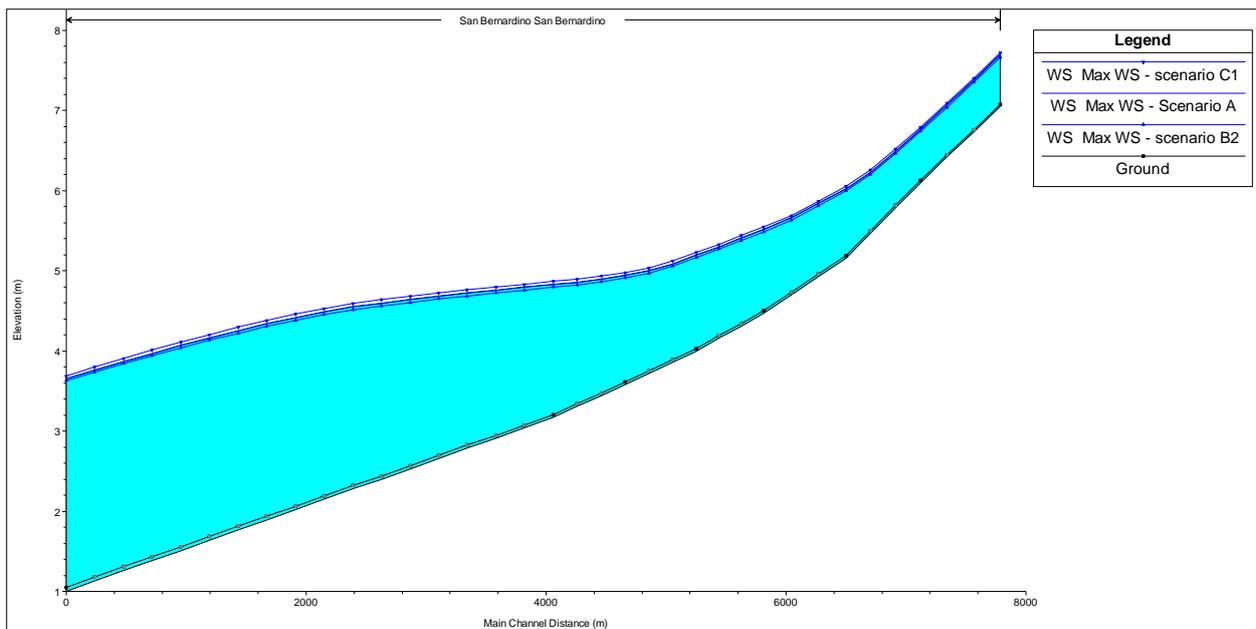


Figura 27 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Fossatone di San Bernardino per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

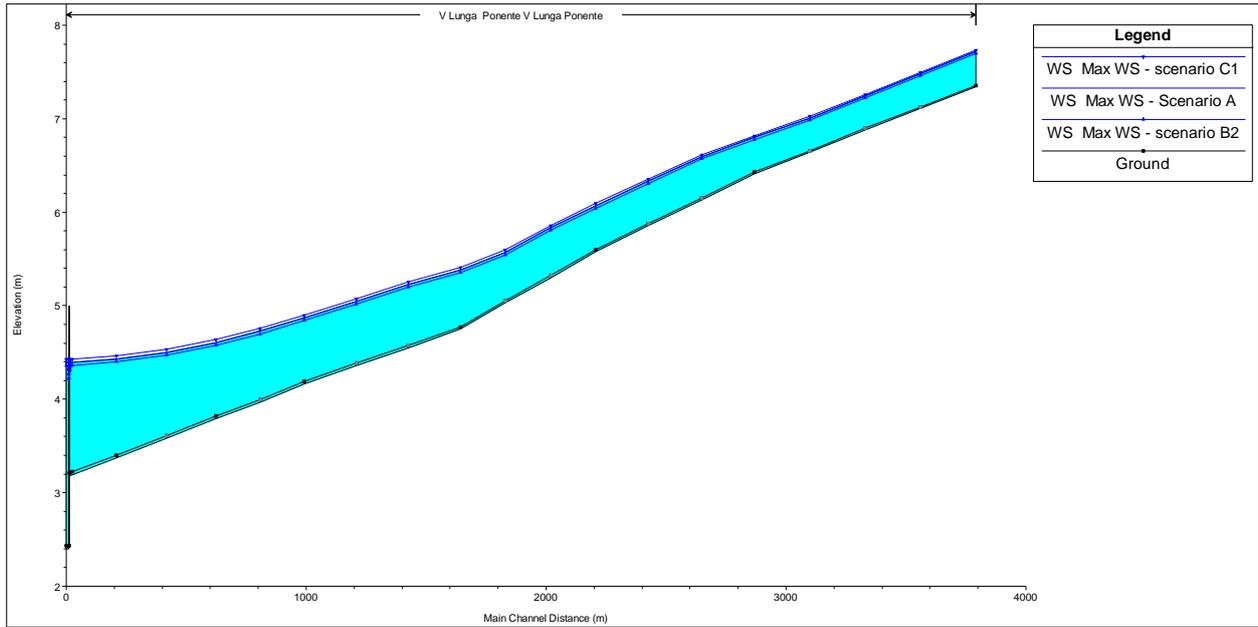


Figura 28 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Via Lunga a Ponente per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

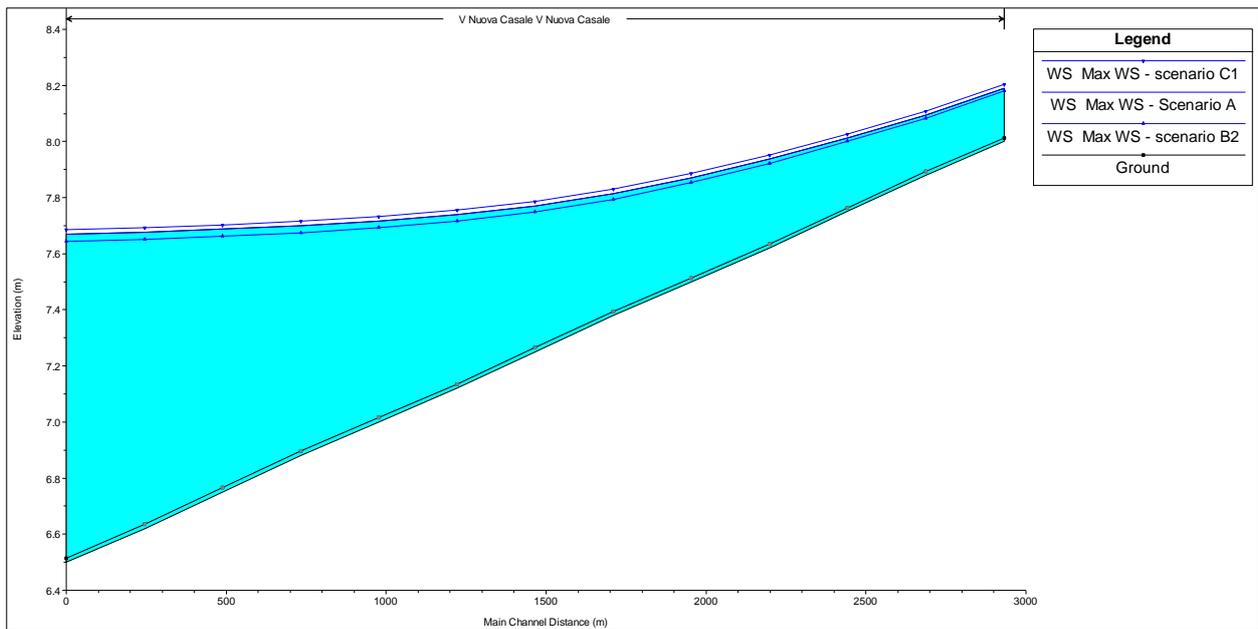


Figura 29 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova nel Casale per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

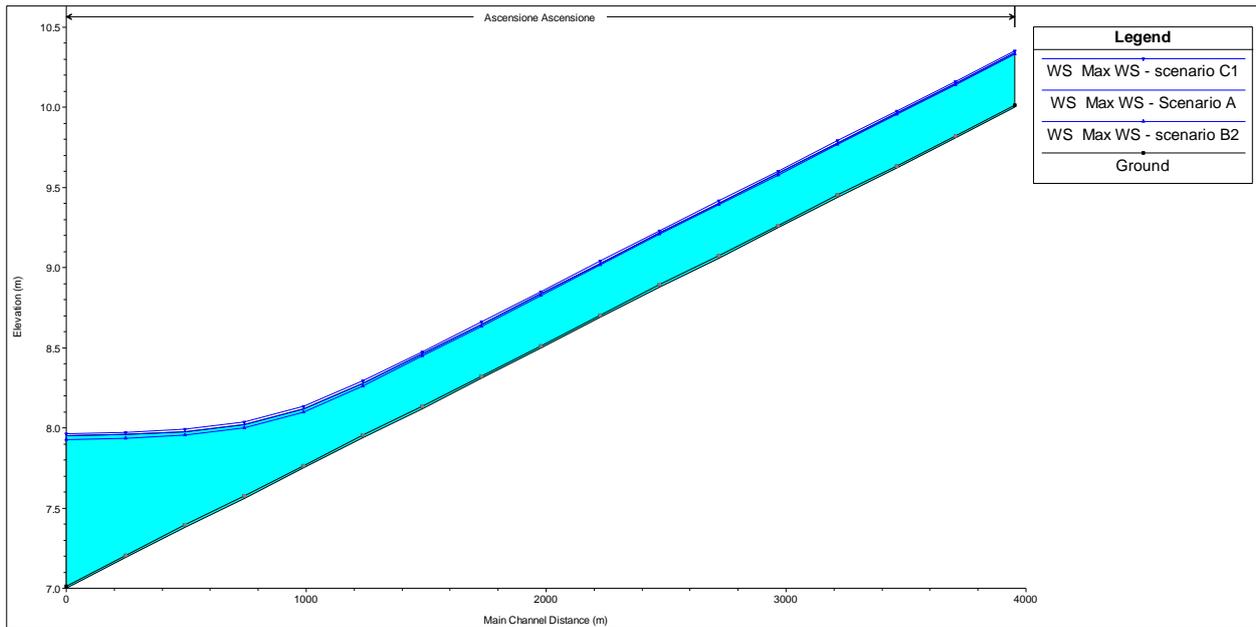


Figura 30 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Ascensione per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

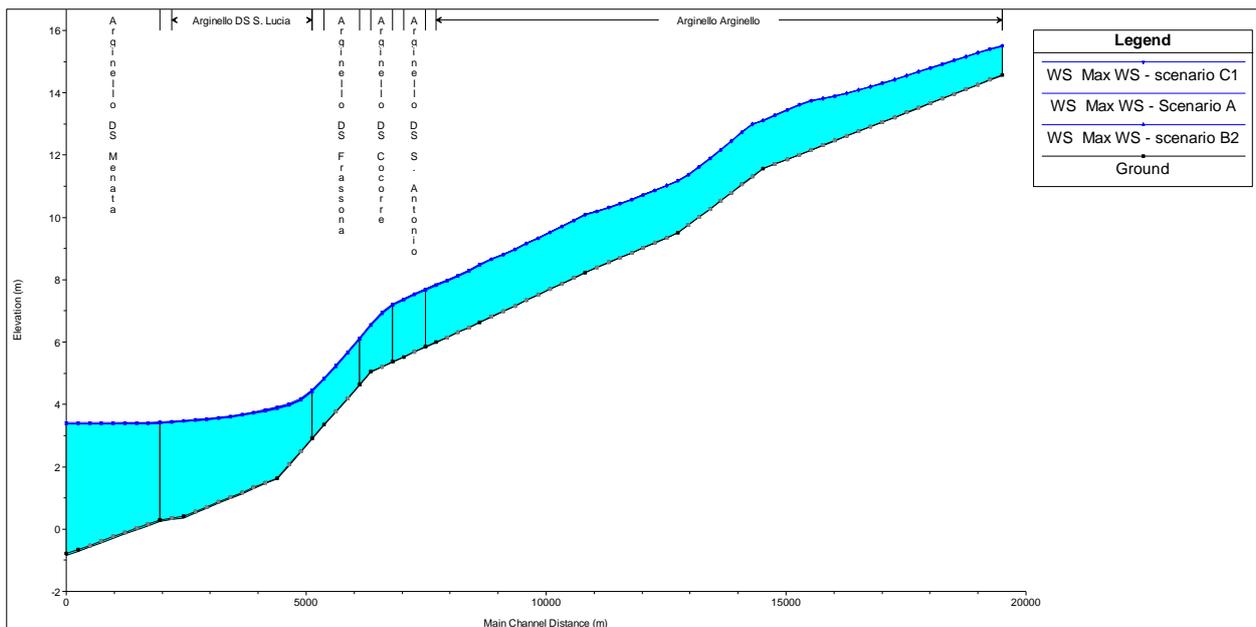


Figura 31 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Arginello per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

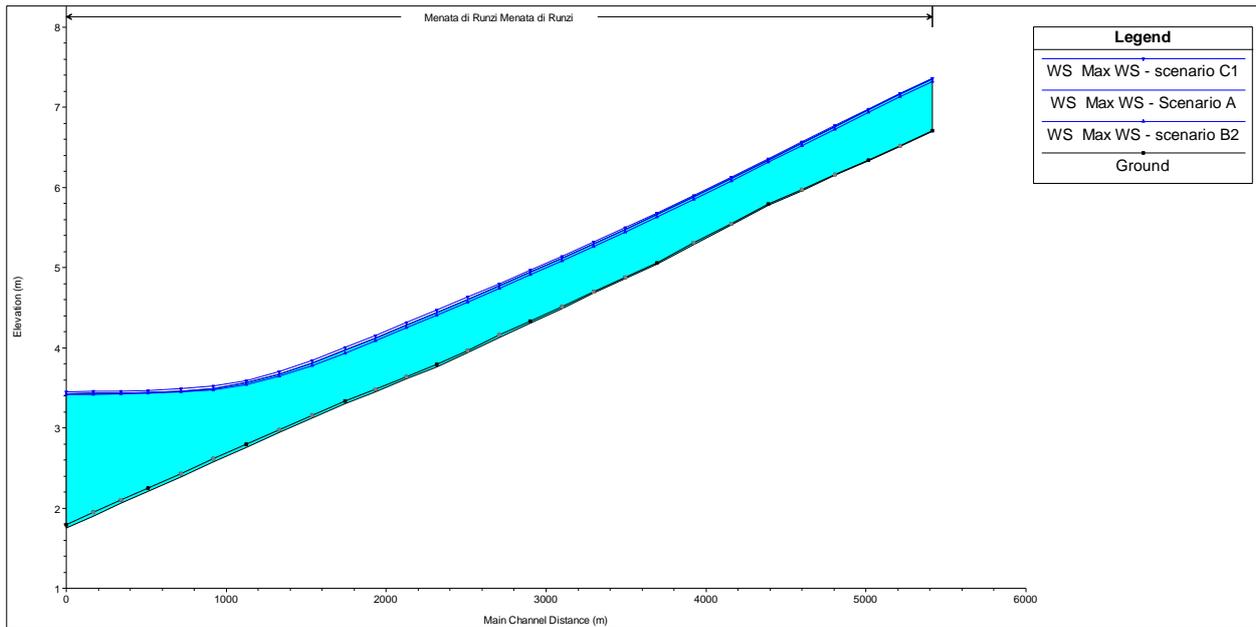


Figura 32 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Menata di Runzi per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

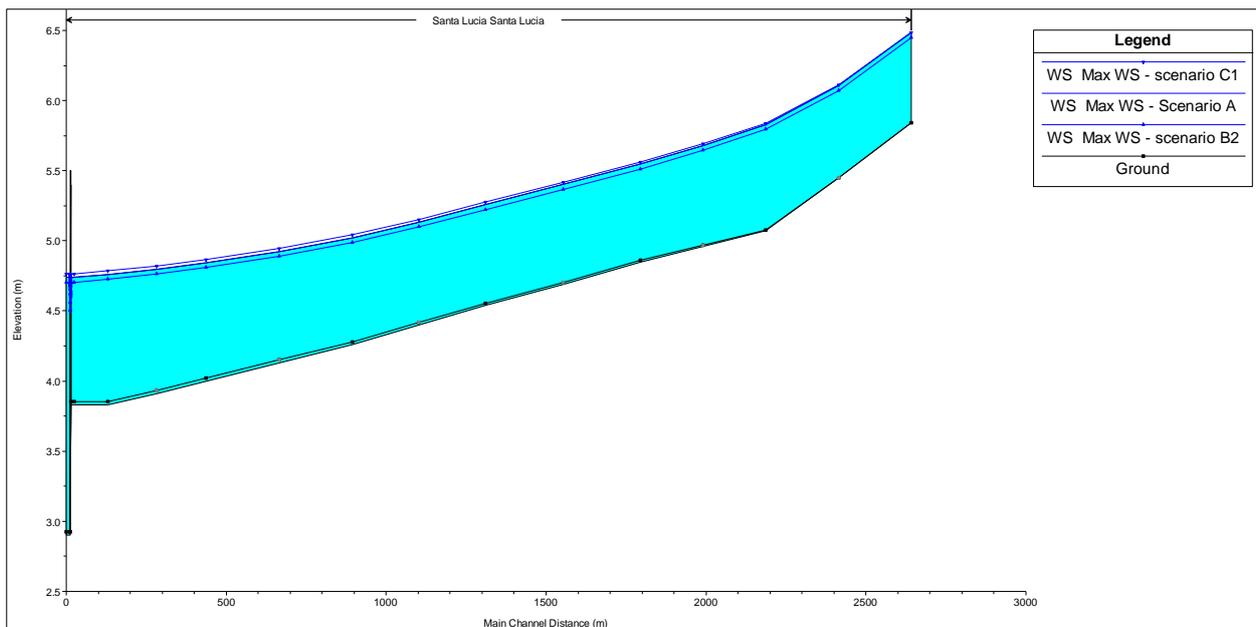


Figura 33 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Santa Lucia per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

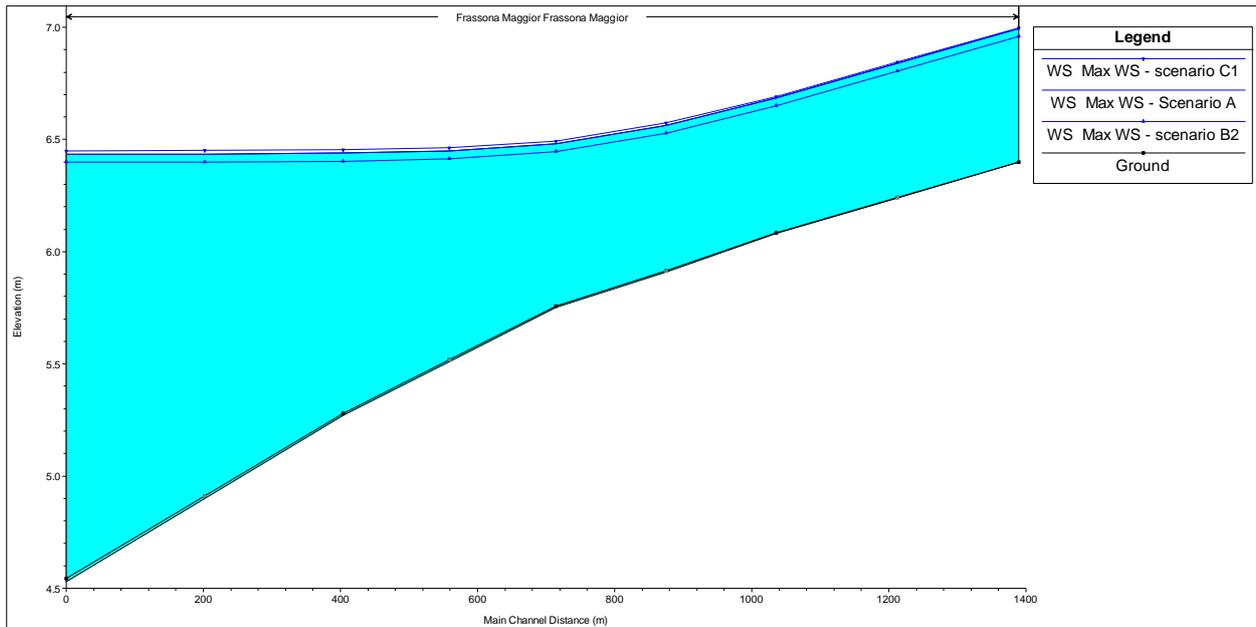


Figura 34 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Frassona Maggiore per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

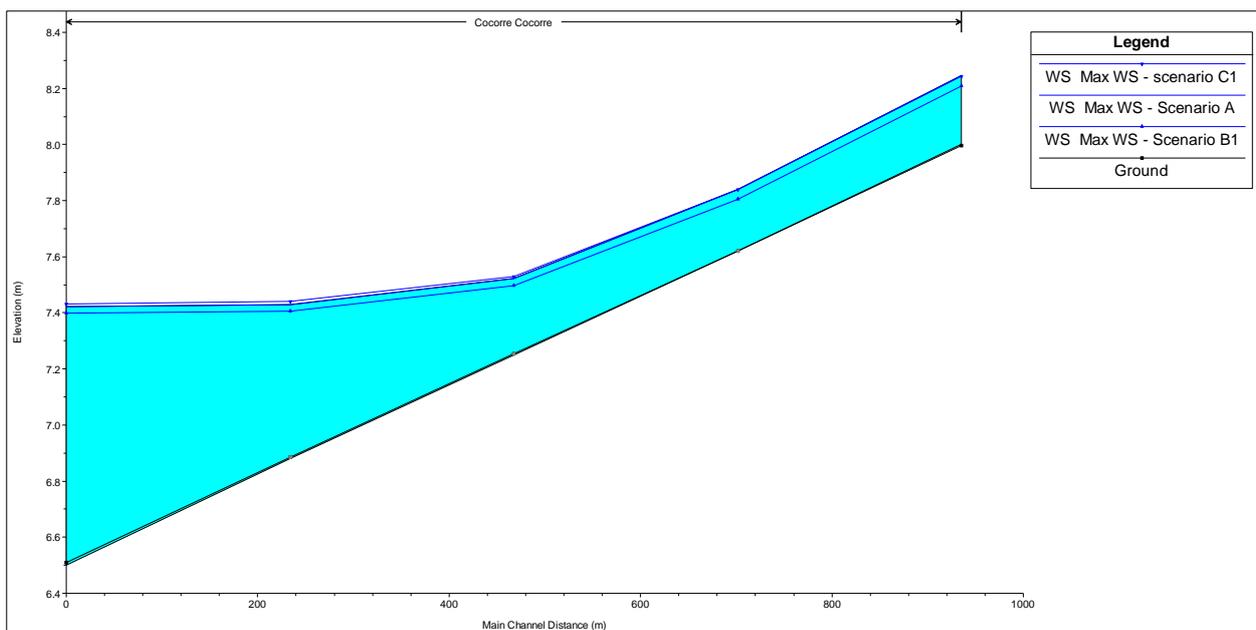


Figura 35 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Cocorre per gli Scenario A, Scenario B1 e Scenario C1

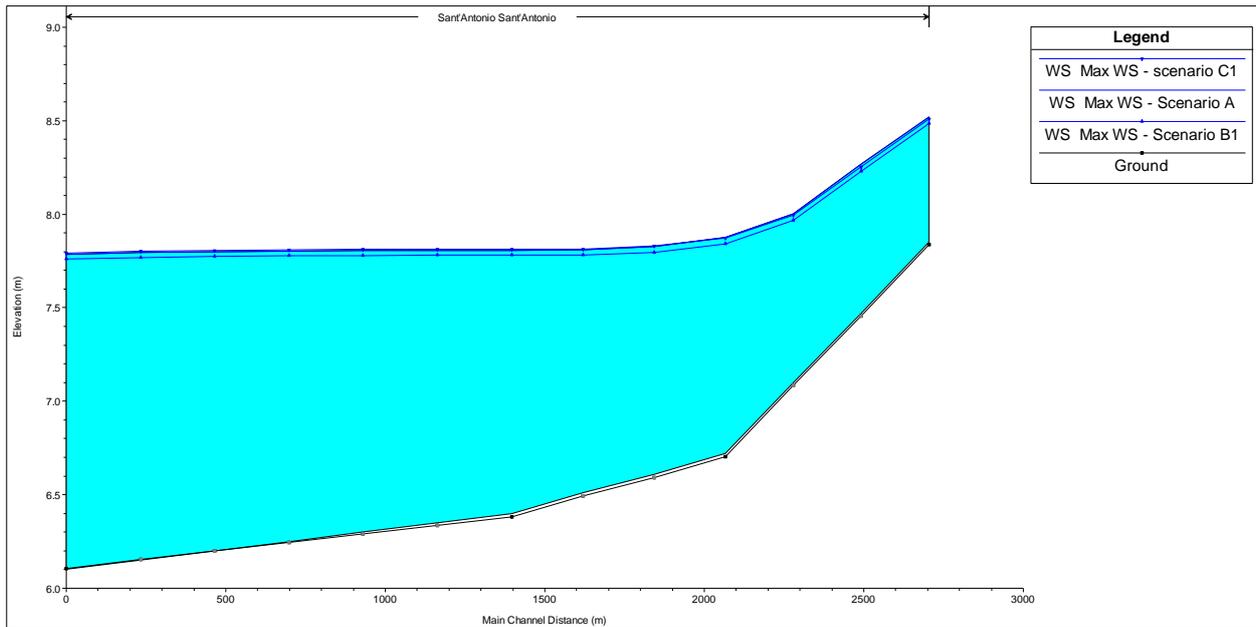


Figura 36 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Sant'Antonio per gli Scenario A, Scenario B1 e Scenario C1

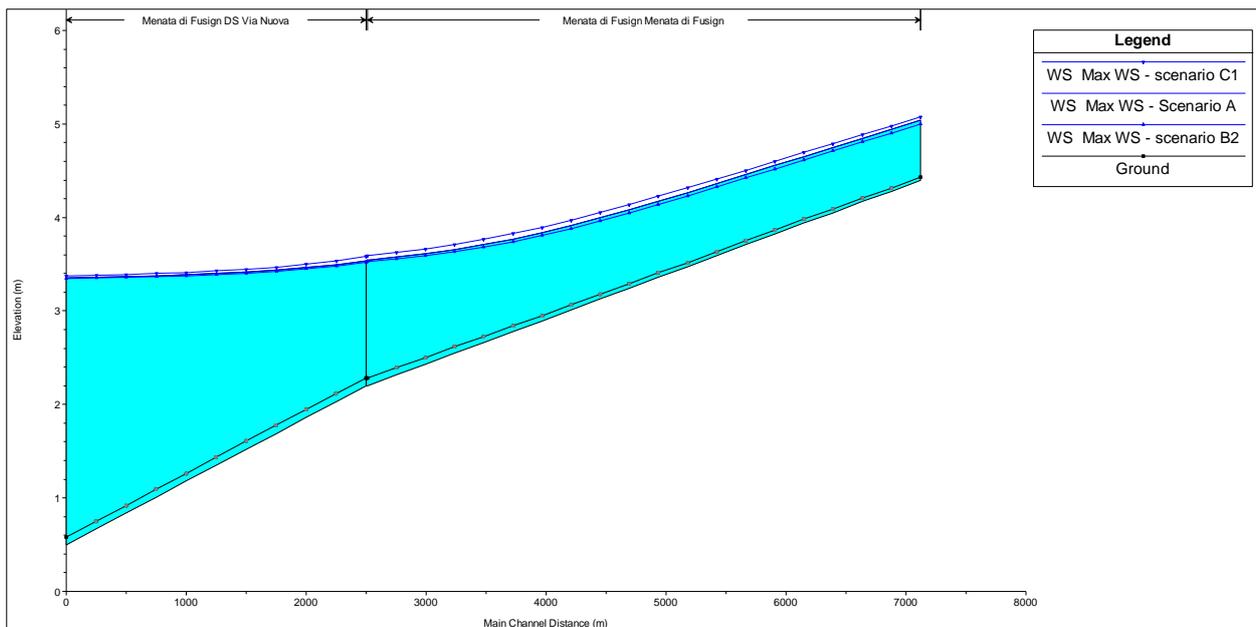


Figura 37 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

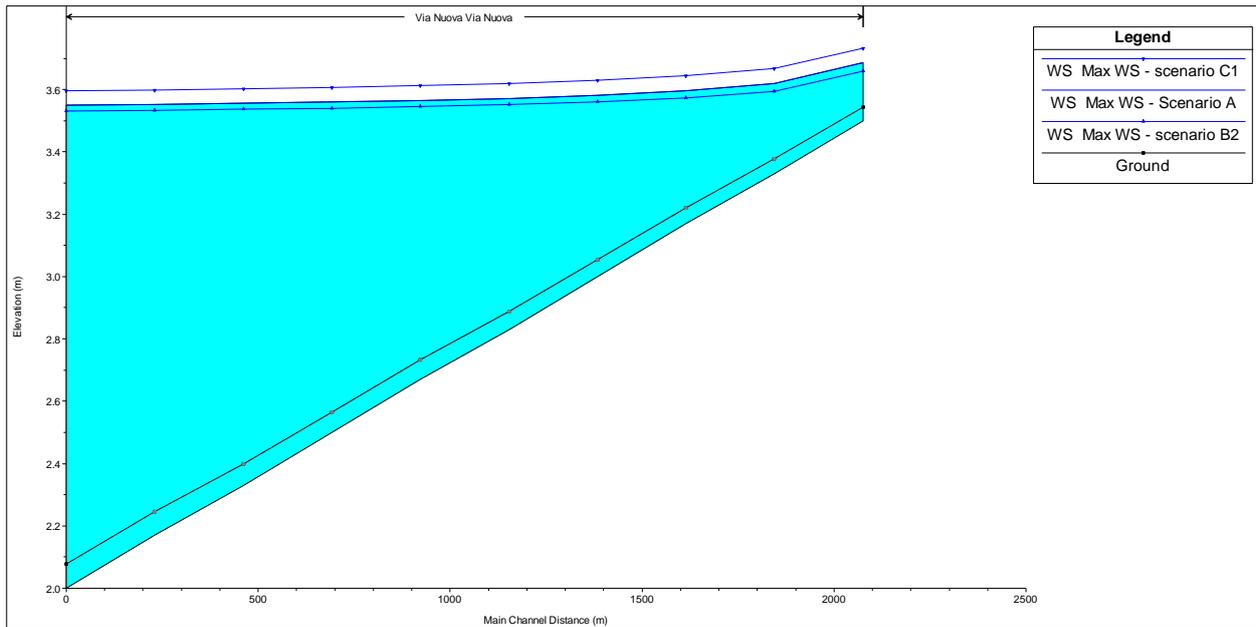


Figura 38 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Via Nuova per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

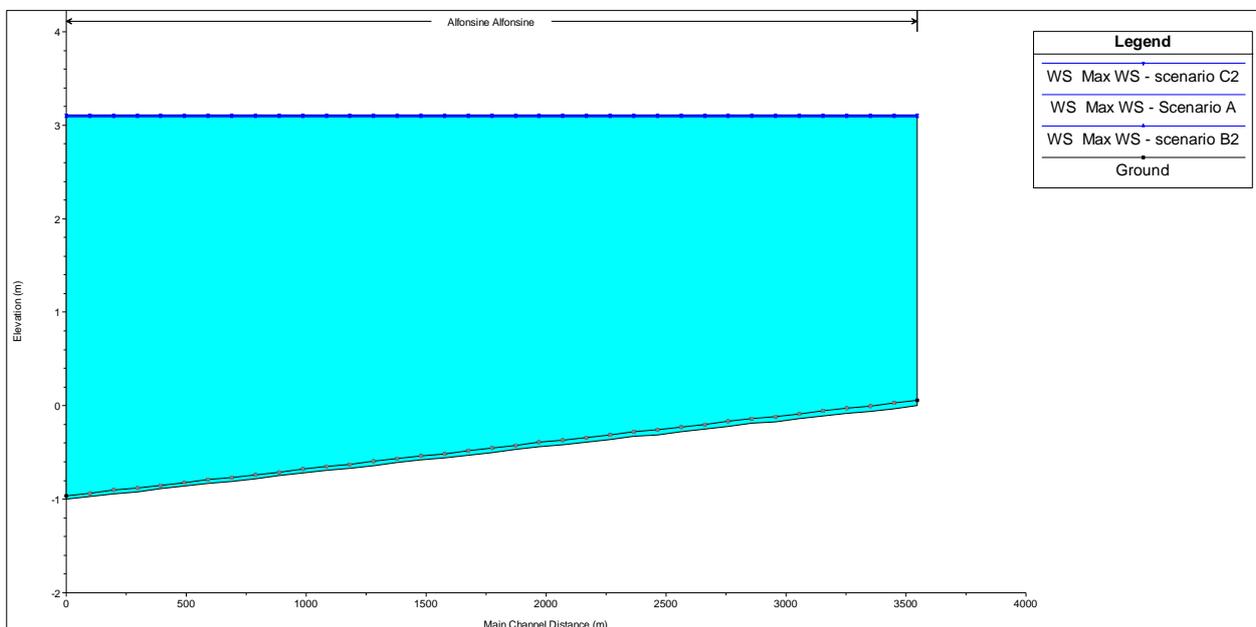


Figura 39 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C2

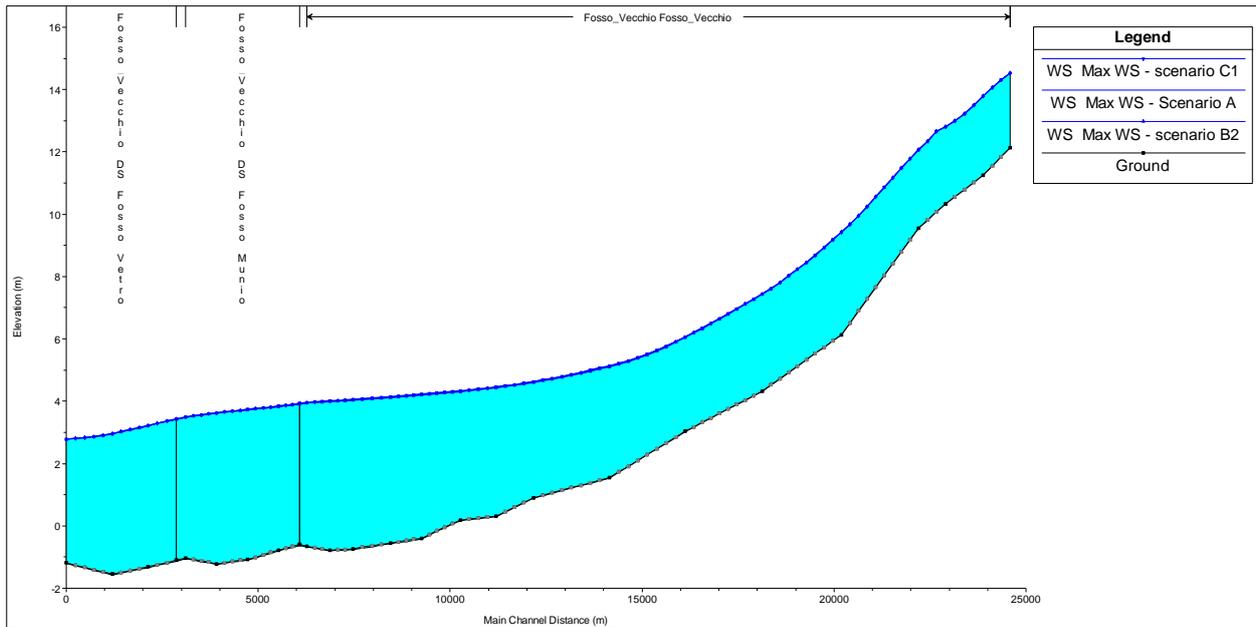


Figura 40 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

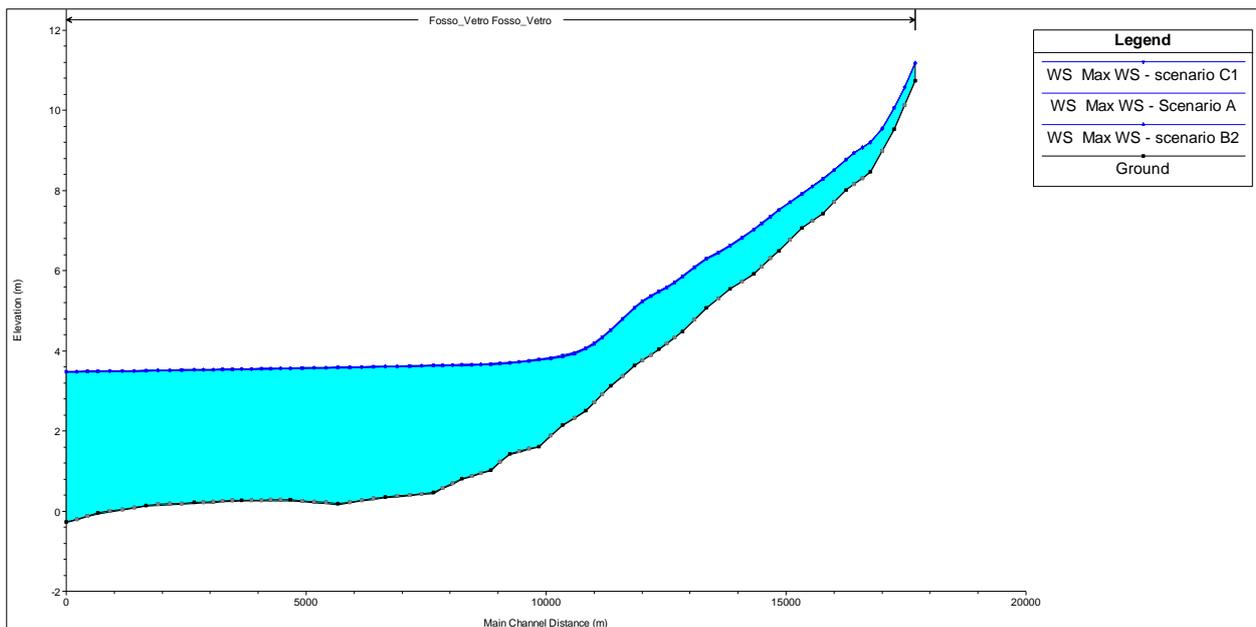


Figura 41 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro per gli Scenario A, Scenario B2 e Scenario C1

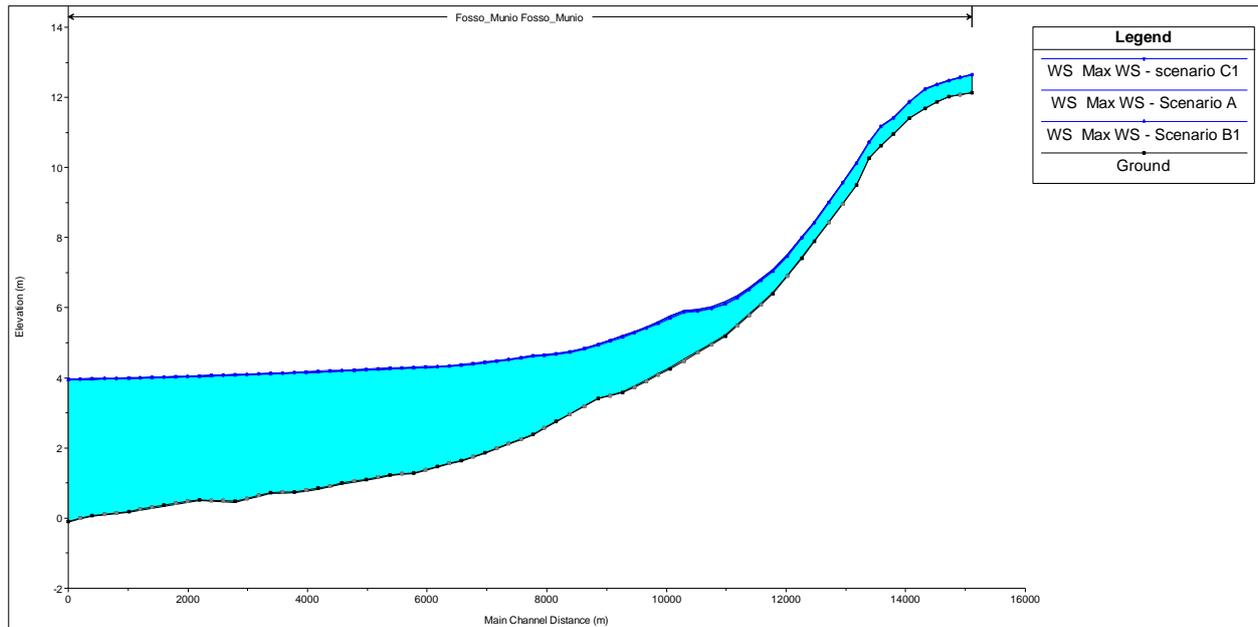


Figura 42 Confronto dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio per gli Scenario A, Scenario B1 e Scenario C1

L'impianto idrovoro si muove solidamente con il terreno, per cui il livello di avvio e stacco delle pompe si alza di 5 cm, come i livelli monte valle impianto durante l'evento di piena, per cui non si hanno apprezzabili variazioni di funzionamento delle pompe. L'effetto della subsidenza non modifica i volumi d'acqua in arrivo all'impianto idrovoro, non modificandosi sostanzialmente nemmeno i dislivelli tra monte e valle, il consumo di energia si può ritenere del tutto simile a quello della situazione attuale.

3. Conclusioni

I codici HEC-HMS e HEC-RAS sono stati utilizzati per sviluppare un modello idrologico e idraulico del comprensorio di bonifica possibilmente interessato dagli spostamenti in superficie causati dagli attesi sviluppi minerari dei giacimenti di Alfonsine e Longanesi.

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

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

È stata quindi sviluppata un'analisi modellistica per valutare il comportamento idraulico dei canali di bonifica affluenti al canale Destra Reno influenzati dagli abbassamenti ed innalzamenti conseguenti alle previste attività minerarie e quantificati con i modelli geomeccanici. Sono stati considerati 4 scenari di spostamento sovrapponendo le mappe di subsidenza/innalzamento calcolate per i due giacimenti.

I risultati del modello di deflusso hanno evidenziato che

- la sovrapposizione degli spostamenti prodotti dallo sviluppo dei due campi è trascurabile. Ciò a seguito della distanza tra i due giacimenti, pari a 7-8 km, e del fatto che quando i due coni di spostamento sono caratterizzati dalla massima estensione, il segno dello spostamento è opposto (innalzamento per Alfonsine e subsidenza per Longanesi) risultando in una riduzione del valore assoluto del movimento;
- a seguito della considerazione precedente, si è verificato che i risultati del modello idrologico-idraulico condotto nel 2017 per il solo campo di Alfonsine rimangono sostanzialmente invariati quando si prendano in considerazione anche gli abbassamenti previsti dalla produzione primaria di Longanesi;

- gli spostamenti hanno un impatto trascurabile sull'efficienza della rete di bonifica analizzata. L'intera rete scolante analizzata rimane funzionale come nelle condizioni attuali, con locali limitate variazioni dei livelli massimi.

Bibliografia

- Clark, C. O. (1945). Storage and the unit hydrograph. Transactions of the American Society of Civil Engineers. 110(1), 1419-1446.
- Da Deppo, L., Datei, C., Salandin, P. (2004). Sistemazione dei corsi d'acqua. Libreria Cortina Ed, Padova, Italy.
- Eni (2010). Campo di Longanesi-Abbadesse. Modello elasto-plastico di subsidenza – Management Summary. Rapporto Tecnico Eni-TERA 03-10, 21 pp.
- Isotton, G., Polo, P., Janna, C., Ferronato, M., Teatini, P. (2017a). Modello idrologico della rete scolante nell'area del campo di Alfonsine. Rapporto Tecnico DICEA-UNIPD, 17 pp.
- Isotton, G., Polo, P., Janna, C., Ferronato, M., Teatini, P. (2017b). Valutazione dell'impatto dei cicli di stoccaggio sul funzionamento della rete scolante nell'area del campo di Alfonsine. Rapporto Tecnico DICEA-UNIPD, 25 pp.
- SOIL CONSERVATION SERVICE (1972). National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.
- Todini, E. (1990). Indagine Statistica sulle piogge intense nel Comprensorio di Bonifica Renana. Rapporto Tecnico, Università di Bologna, Italy.
- USACE-HEC (2010). Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.5 - User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Tech. Report CPD-74A.