

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

**VALUTAZIONE DELL'IMPATTO DEI CICLI DI
STOCCAGGIO SUL FUNZIONAMENTO DELLA
DELLA RETE SCOLANTE
NELL'AREA DEL CAMPO DI ALFONSINE**

Relazione Tecnica

Giovanni Isotton
Paolo Polo
Carlo Janna
Massimiliano Ferronato
Pietro Teatini

Padova, Ottobre 2017

DOCUMENTO DI RIFERIMENTO

0128-00-BGRV-12538

ALLEGATO Punto n.19.1
Doc. b

Indice

1. Introduzione	1
2. Modello idraulico della rete scolante	3
2.1 Definizione della geometria del sistema	3
2.2 Set-up del modello	5
2.3 Scenari simulati.....	6
3. Risultati del modello idraulico della rete scolante	8
3.1 Massima erogazione (Scenario B)	8
3.1.1 Canale Destra Reno.....	8
3.1.2 Bacino Nuovo Tratturo	9
3.1.3 Bacino Canal Vela	9
3.1.4 Bacino Alfonsine.....	13
3.1.5 Bacino Fosso Vecchio.....	13
3.2 Massimo stoccaggio (Scenario C).....	15
3.2.1 Canale Destra Reno.....	15
3.2.2 Bacino Nuovo Tratturo	16
3.2.3 Bacino Canal Vela	17
3.2.4 Bacino Alfonsine.....	21
3.2.5 Bacino Fosso Vecchio.....	22
4. Conclusioni	24
Bibliografia	26



1. Introduzione

La presente relazione tecnica fornisce una descrizione delle attività per la valutazione dei possibili effetti dei cicli di stoccaggio/erogazione sull'efficienza idraulica della rete scolante dell'area di Alfonsine. In particolare, si sono valutate le eventuali modificazioni al deflusso idrico, 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 sul campo di Alfonsine come calcolate sulla base della modellizzazione geomeccanica.

I dati di base per lo studio sono stati i rilievi topografici d'alveo trasmessi dal Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale (planimetrie, profili e sezioni dei canali, schede impianti idrovori) e i risultati del modellizzazione idrologica utilizzati come condizioni al contorno del sistema.

Lo studio è stato condotto mediante la costruzione di un modello idraulico tramite l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS con il quale sono state verificate le diverse configurazioni geometriche: 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 dello stoccaggio/erogazione. 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 il giacimento di Alfonsine.

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

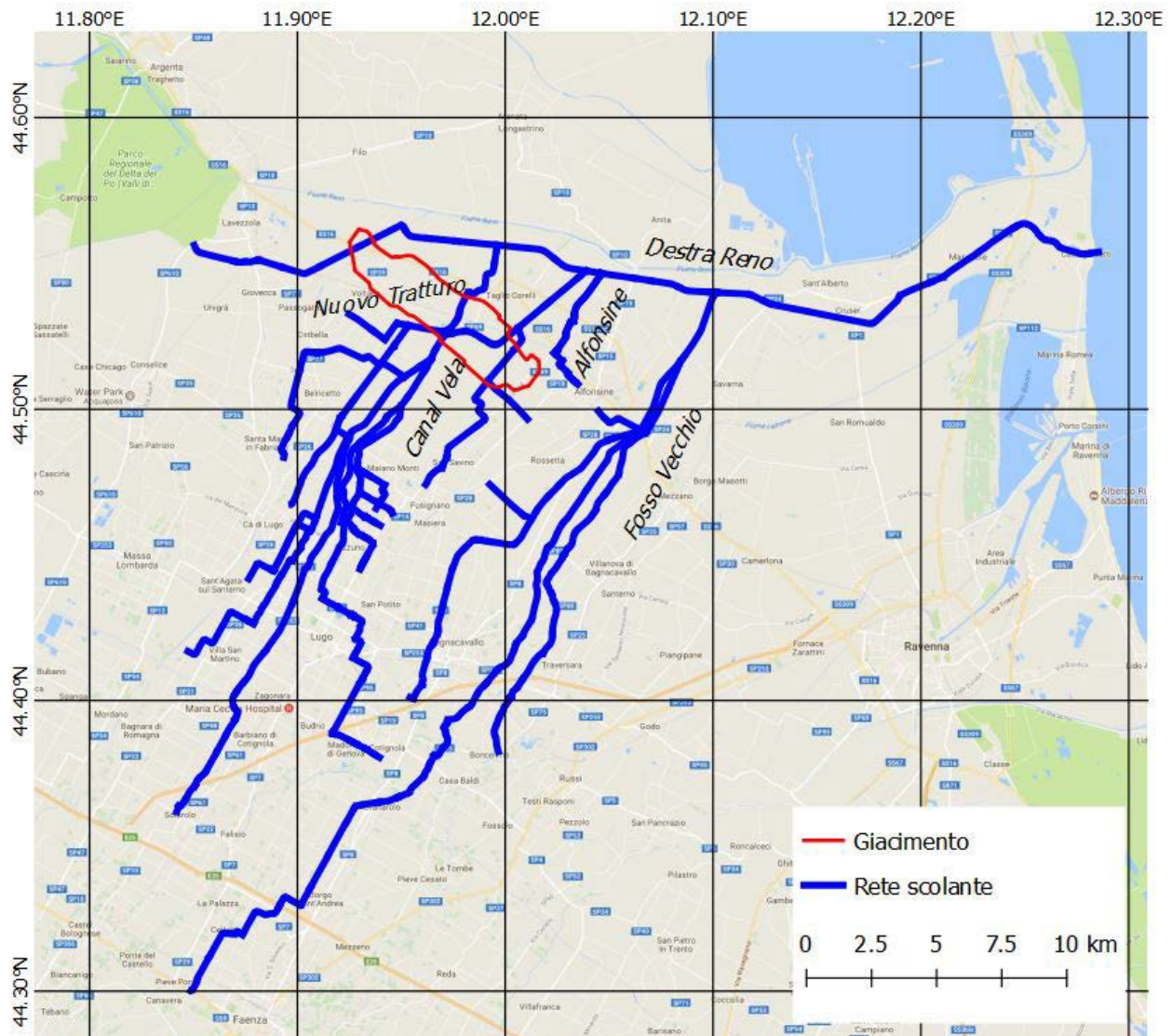


Figura 1 Inquadramento territoriale con indicazione planimetrica della rete scolante e la traccia del giacimento di Alfonsine (coordinate in sistema UTM 32, WGS84).

2. 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).

2.1 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 stoccaggio/iniezione, 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'officiosità 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 2 è riportato lo schema idraulico utilizzato.

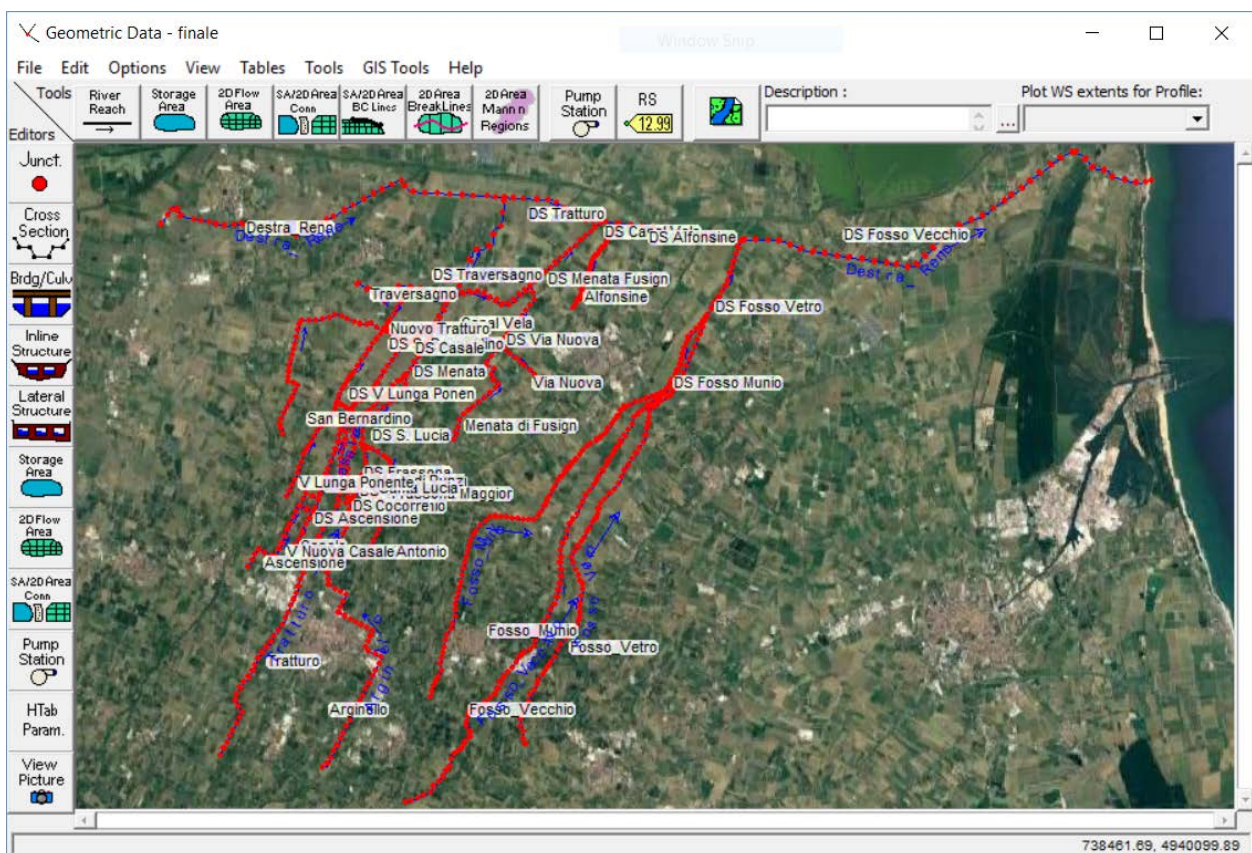


Figura 2 Schematizzazione del comprensorio di bonifica nel modello HEC-RAS.

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 1:

Pompa n.	portata [m³/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 1 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.

2.2 Set-up del modello

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.

2.3 Scenari simulati

Il modello HEC-RAS è stato utilizzato per verificare le seguenti configurazioni geometriche:

1. scenario A: nello stato “attuale”, ovvero quello definito sulla base delle quote dei rilievi topografici forniti dal Consorzio;
2. scenario B: nella condizione di massima “erogazione”. Lo spostamento considerato rappresenta l’abbassamento previsto nel passaggio dalla massima alla minima pressione di esercizio del giacimento per ciascuno dei cicli di stoccaggio/erogazione (Figura 3a);
3. scenario C: nella condizione di massimo “stoccaggio” (Figura 3b).

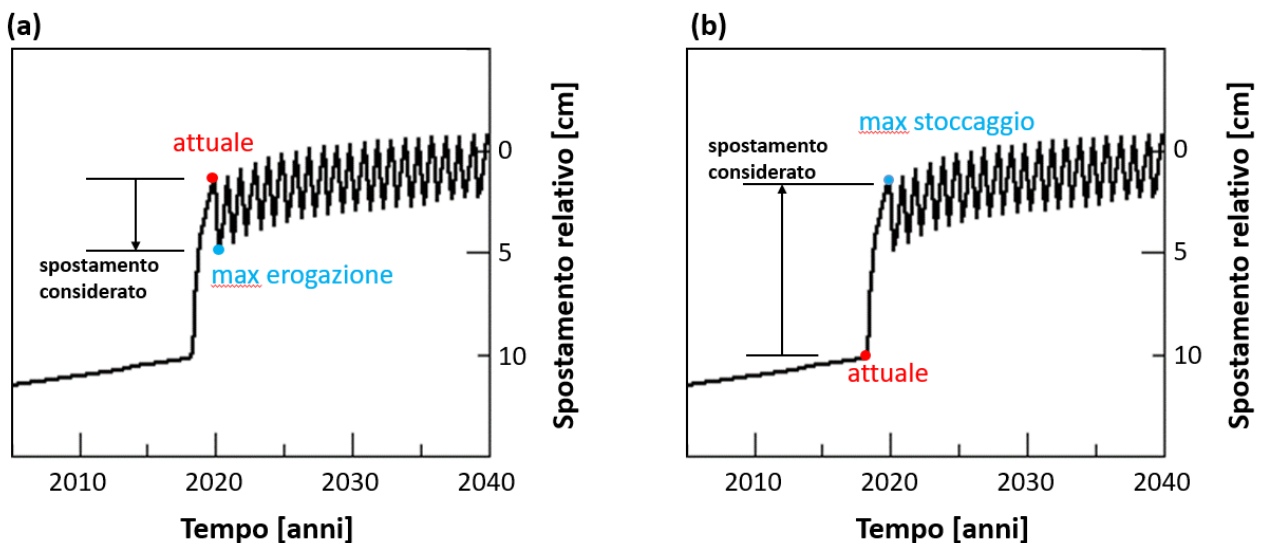


Figura 3 Spostamenti in corrispondenza al culmine del giacimento considerati negli scenari B (a) e C (b).

Lo Scenario B prevede quindi che la quota “attuale” dei corpi idrici simulati si abbassi a seguito di una completa fase di erogazione; la distribuzione degli spostamenti imposti sulle sezioni dei diversi canali è riportata in Figura 4a. Per lo Scenario C, a livello cautelativo è stato preso in considerazione l’innalzamento previsto quando si passa dalla pressione attuale a $P = P_i$ (massima pressione di stoccaggio) (Figura 4b).

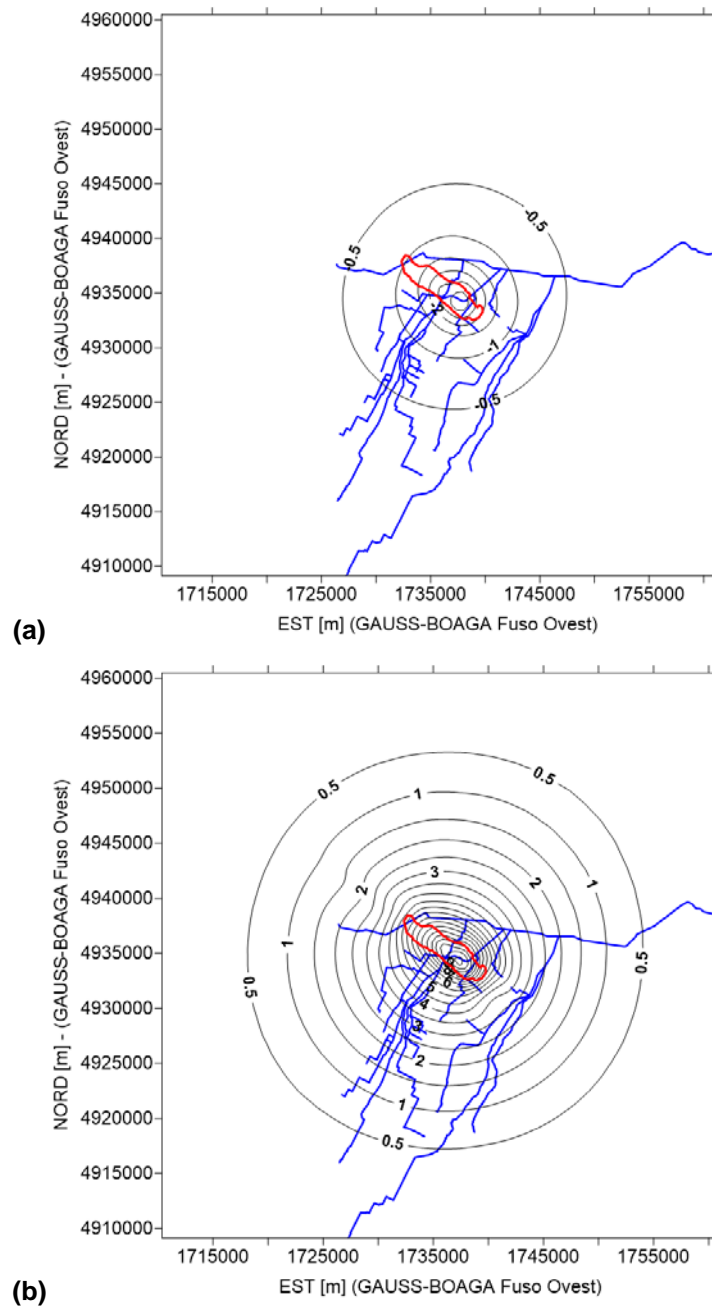


Figura 4 Mappe degli spostamenti considerati (in cm) negli scenari B (a) e C (b) forniti dal modello geomeccanico. E' riportata in blu la traccia della rete di bonifica.

Le mappe di Figura 4 sono state direttamente ottenute dai risultati del modello geomeccanico come differenze tra gli spostamenti calcolati agli istanti temporali di Figura 3. Sulla base di questi risultati sono stati determinati gli abbassamenti/innalzamenti in corrispondenza delle sezioni schematizzate nel modello idraulico ed è stata definita una geometria relativa a ciascun scenario. Ad esempio, in corrispondenza dell'impianto idrovoro Tratturo, rispetto allo Scenario A si ha un abbassamento di 1.5

cm con lo scenario B ed un innalzamento di 6 cm con lo Scenario C. Anche le quote di attacco/stacco delle pompe sono modificate di conseguenza, essendo l'intero impianto solidale con il terreno.

3. Risultati del modello idraulico della rete scolante

I risultati della modellizzazione idraulica sono presentati in termini di confronto tra gli Scenari B e C con lo Scenario A di riferimento. L'esito delle simulazioni evidenzia come l'impatto dell'attività di stoccaggio sulla rete idraulica di superficie risulti trascurabile.

3.1 Massima erogazione (Scenario B)

3.1.1 Canale Destra Reno

Il canale Destra Reno è influenzato dall'abbassamento del terreno, in particolare nel tratto subito a monte della confluenza del Nuovo Tratturo in cui si riscontrano abbassamenti di circa 1.5 cm. Il massimo abbassamento del profilo idrico risulta pari a circa 1 cm. In Figura 5 sono riportati i livelli massimi nelle due configurazioni (Scenario A e Scenario B) analizzate.

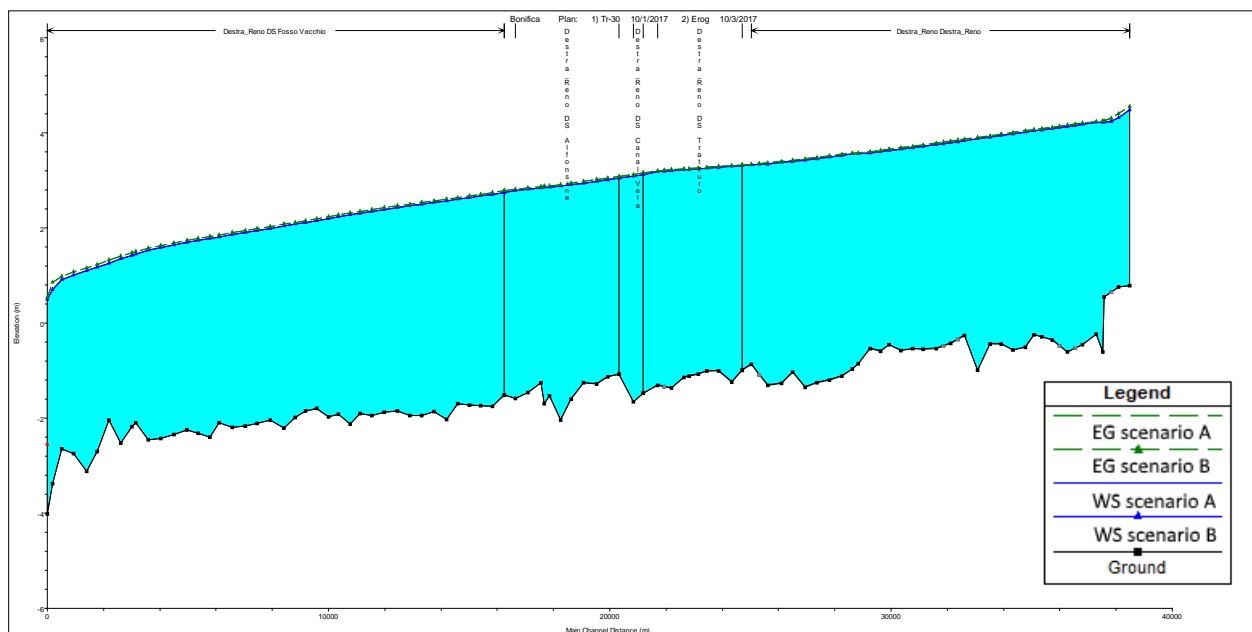


Figura 5 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.1.2 Bacino Nuovo Tratturo

Il bacino del Nuovo Tratturo si trova proprio al di sopra della traccia del giacimento, in particolare nella parte a valle del canale Traversagno; è quindi la parte del comprensorio di bonifica che risente maggiormente degli abbassamenti che raggiungono circa i 3 cm.

I risultati di HEC-RAS mostrano degli abbassamenti massimi dei profili idrici che variano tra 1 e 2 cm lungo il Nuovo Tratturo (Figura 6) e sono di circa 1 cm nell'asta del Traversagno.

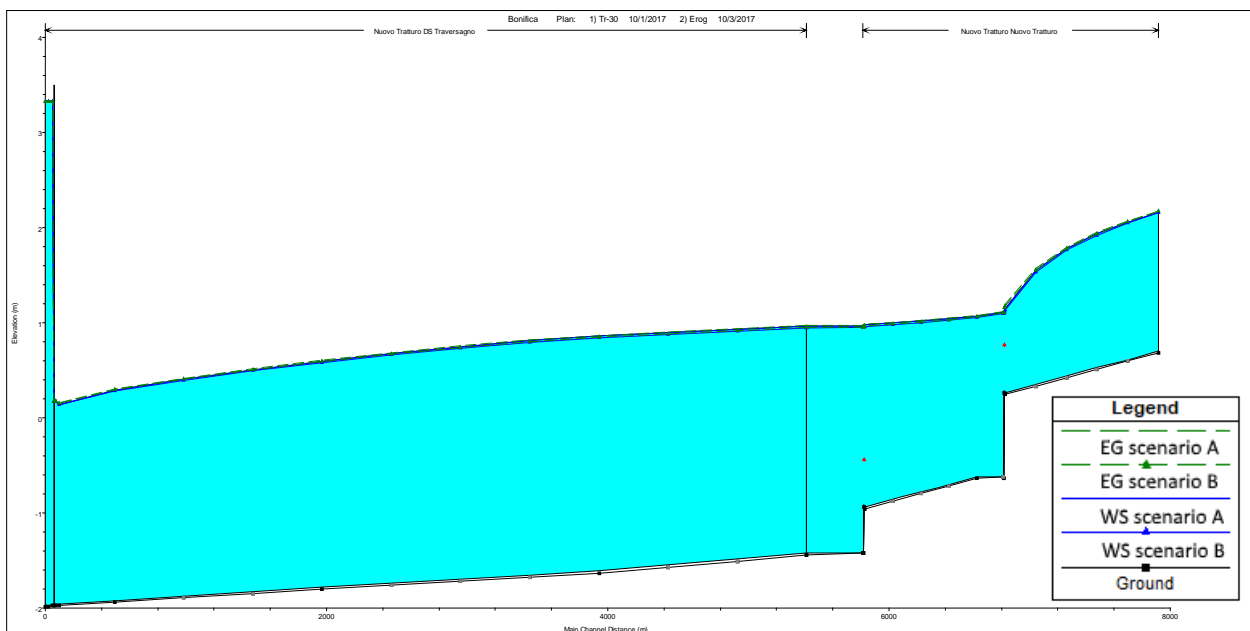


Figura 6 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.1.3 Bacino Canal Vela

Il bacino del Canal Vela nella sua parte di valle è interessato dal cono subsidenziale che provoca abbassamenti massimi di circa 3 cm nel Canal Vela, canale Menata di Fusignano e canale Via Nuova e di circa 2 cm nel canale Tratturo e canale Arginello.

I risultati del modello HEC-RAS mostrano degli abbassamenti massimi del livello idrico pari a 1 cm essendo il sistema “comandato” da valle, in particolare dal livello del Destra Reno. In Figura 7 - Figura 12 sono riportati i profili lungo i canali principali del bacino.

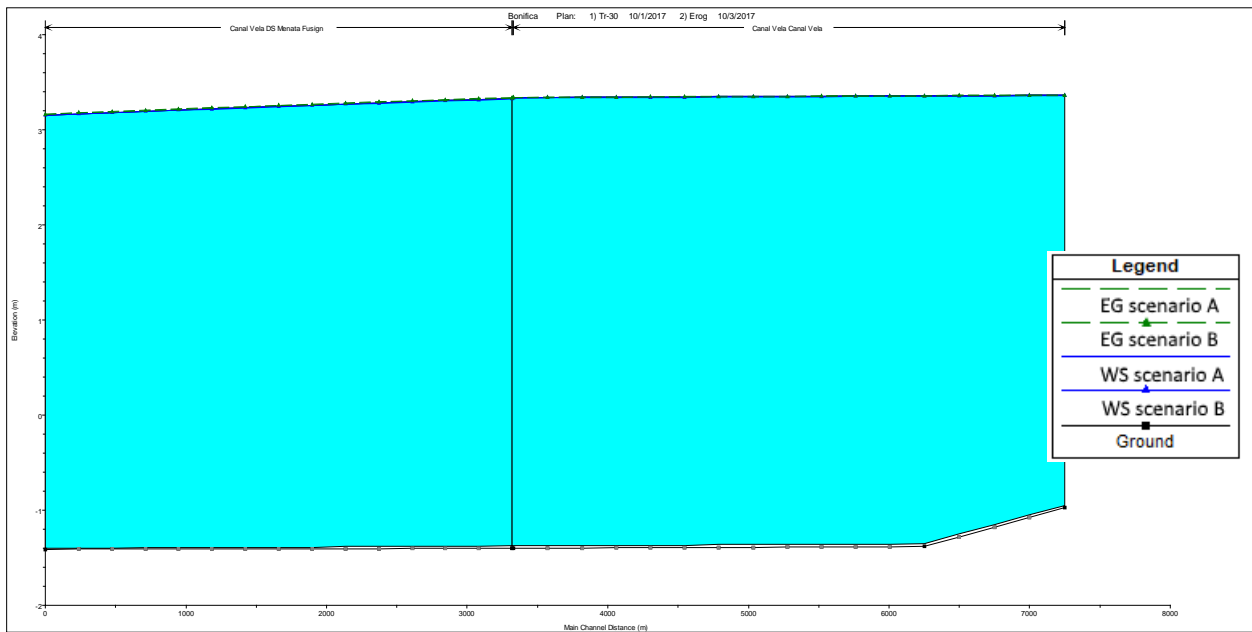


Figura 7 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

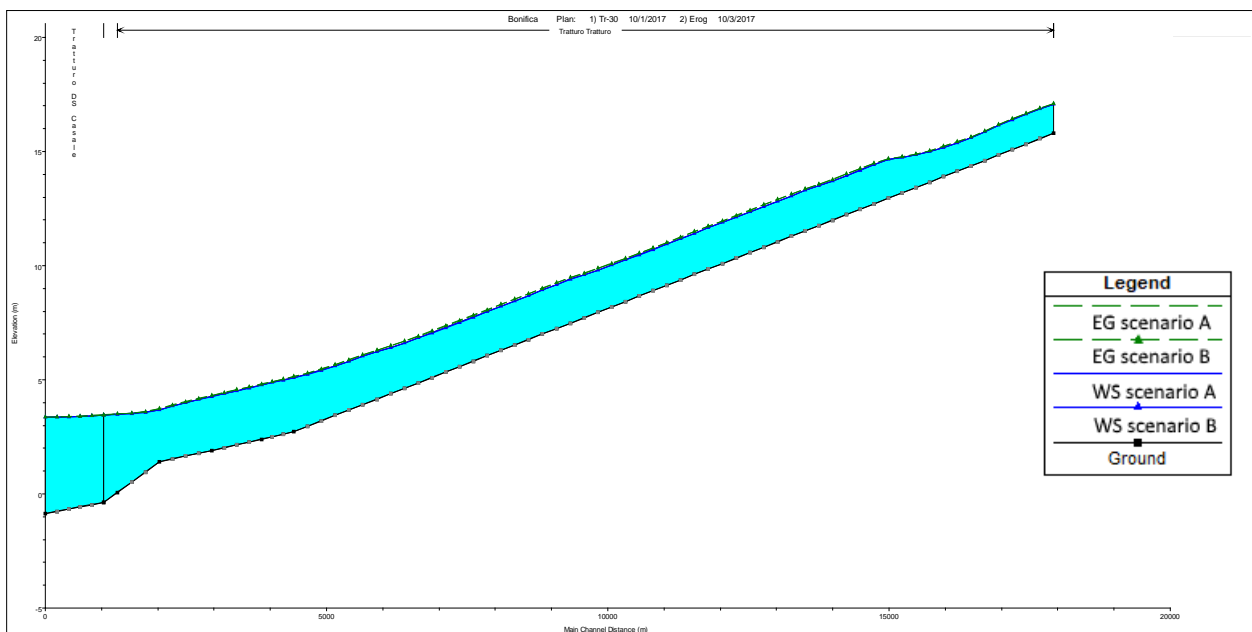


Figura 8 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

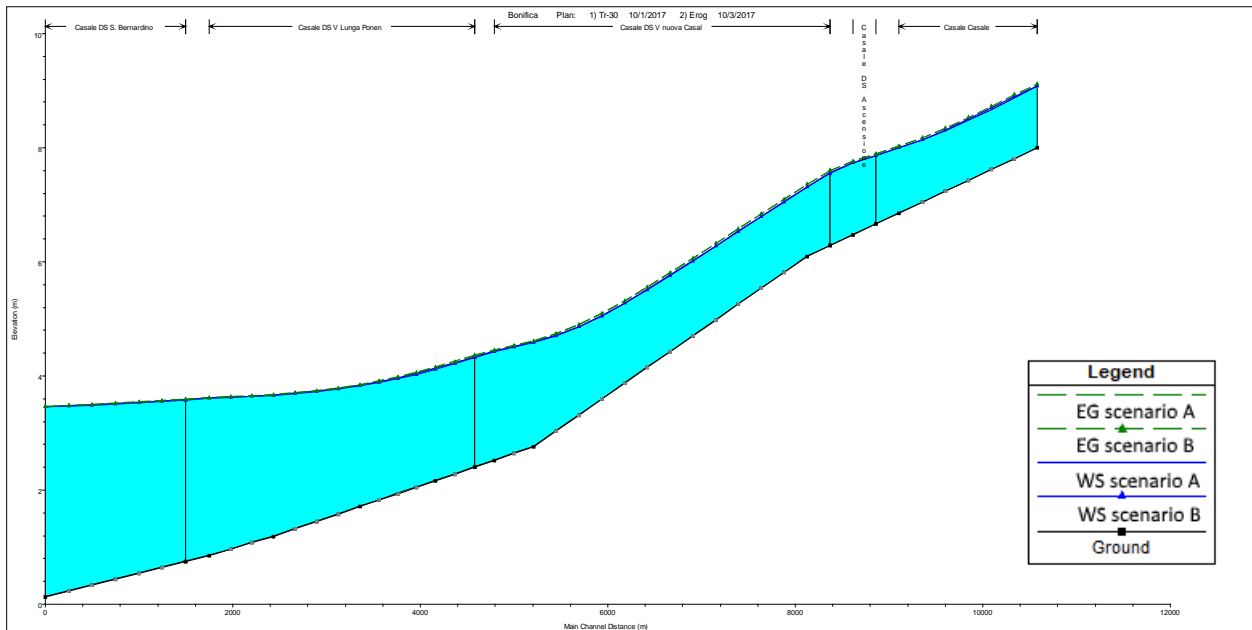


Figura 9 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

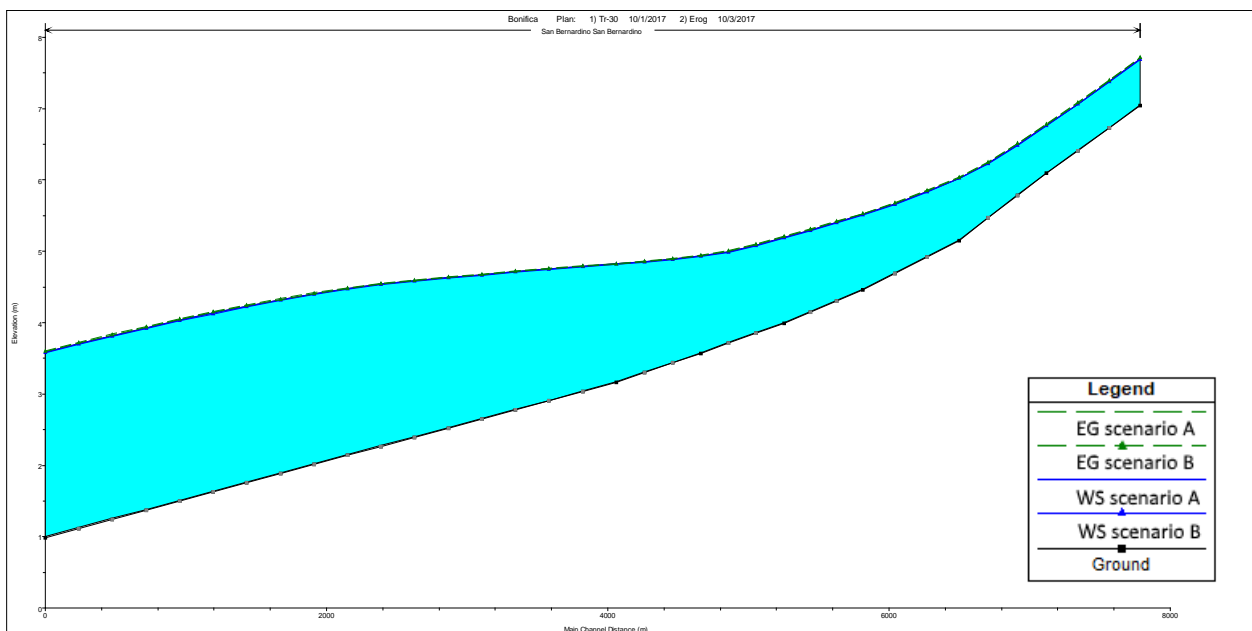


Figura 10 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il Fossatone di San Bernardino rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

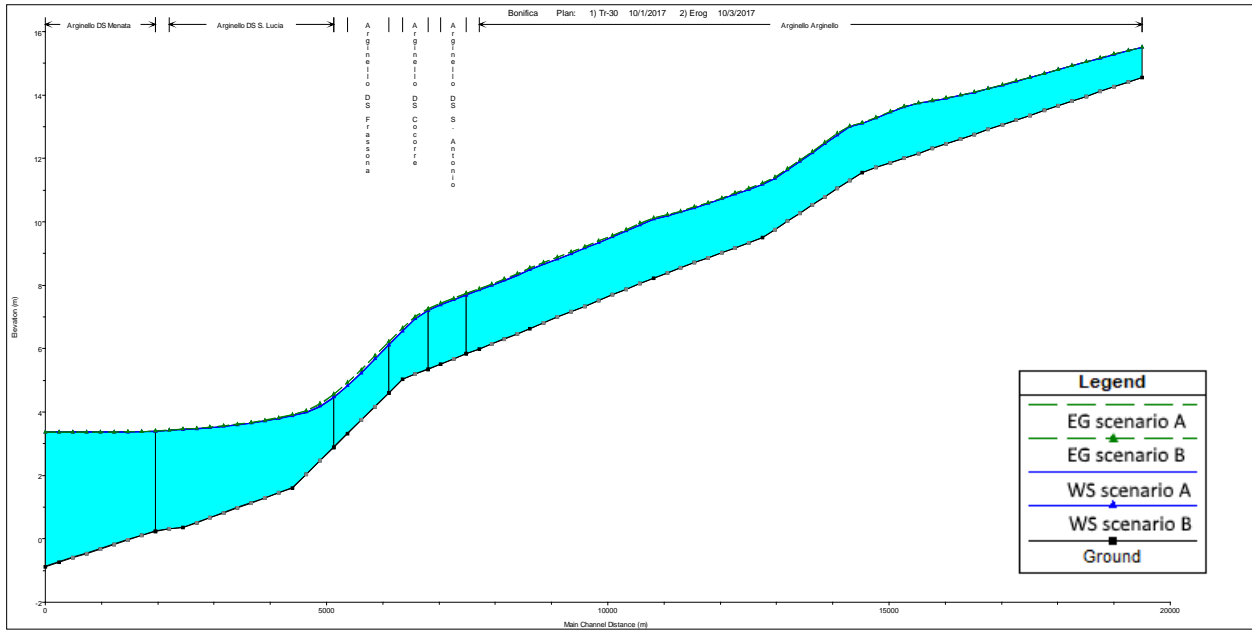


Figura 11 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello da valle confluenza con il canale S. Antonio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

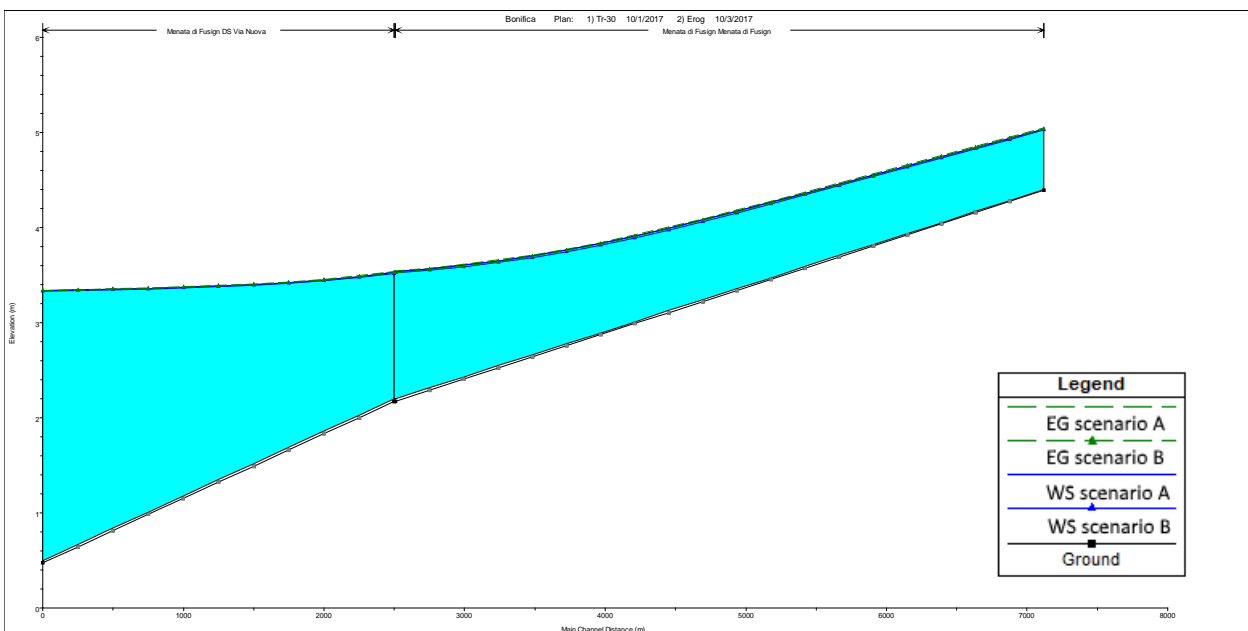


Figura 12 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.1.4 Bacino Alfonsine

Lungo il canale Alfonsine si ha un abbassamento del terreno tra 1 e 2 cm. I risultati del modello HEC-RAS mostrano che i massimi livelli idrici non subiscono variazioni in quanto il tratto schematizzato è interamente rigurgitato dal livello del Destra Reno. La riporta i livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

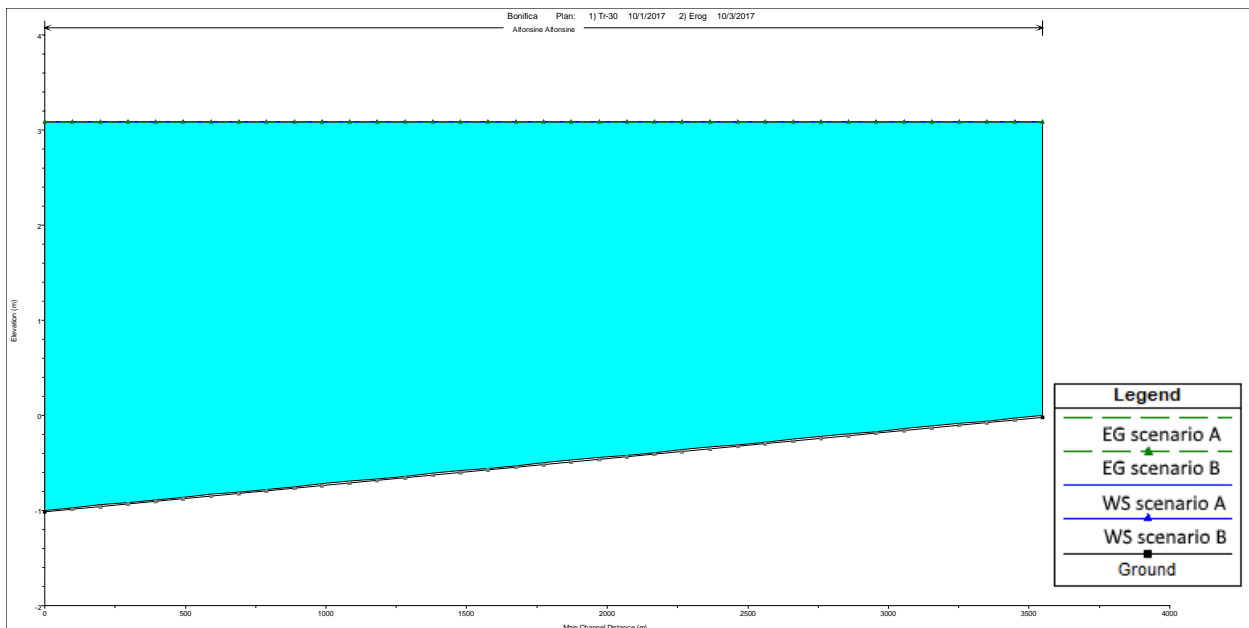


Figura 13 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.1.5 Bacino Fosso Vecchio

Il bacino del Fosso Vecchio è marginalmente interessato dal cono subsidenziale e gli abbassamenti del terreno lungo i suoi canali sono inferiore a 1 cm. Pertanto, le variazioni dei massimi livelli risultano trascurabili (Figura 14 - Figura 16).

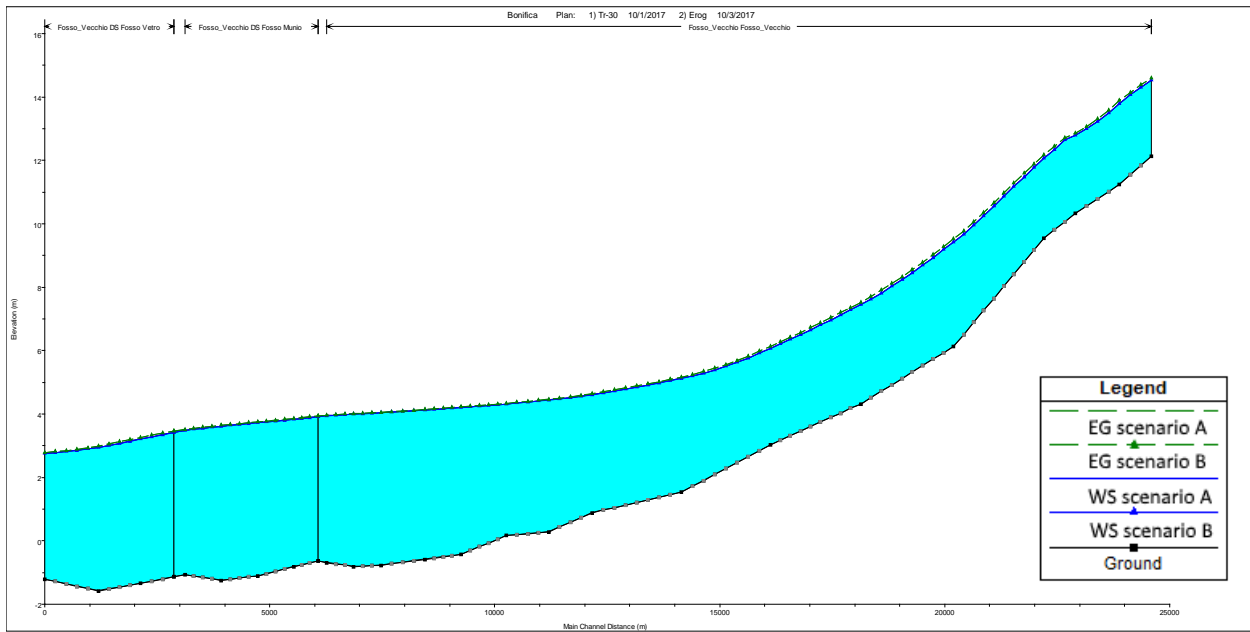


Figura 14 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

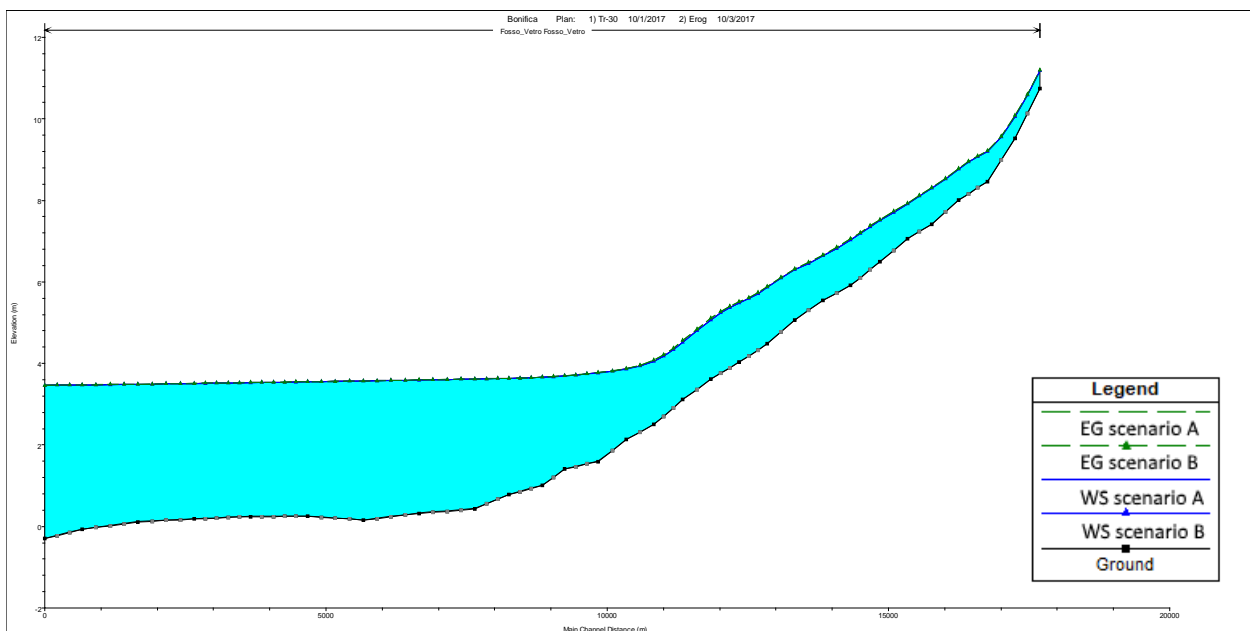


Figura 15 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

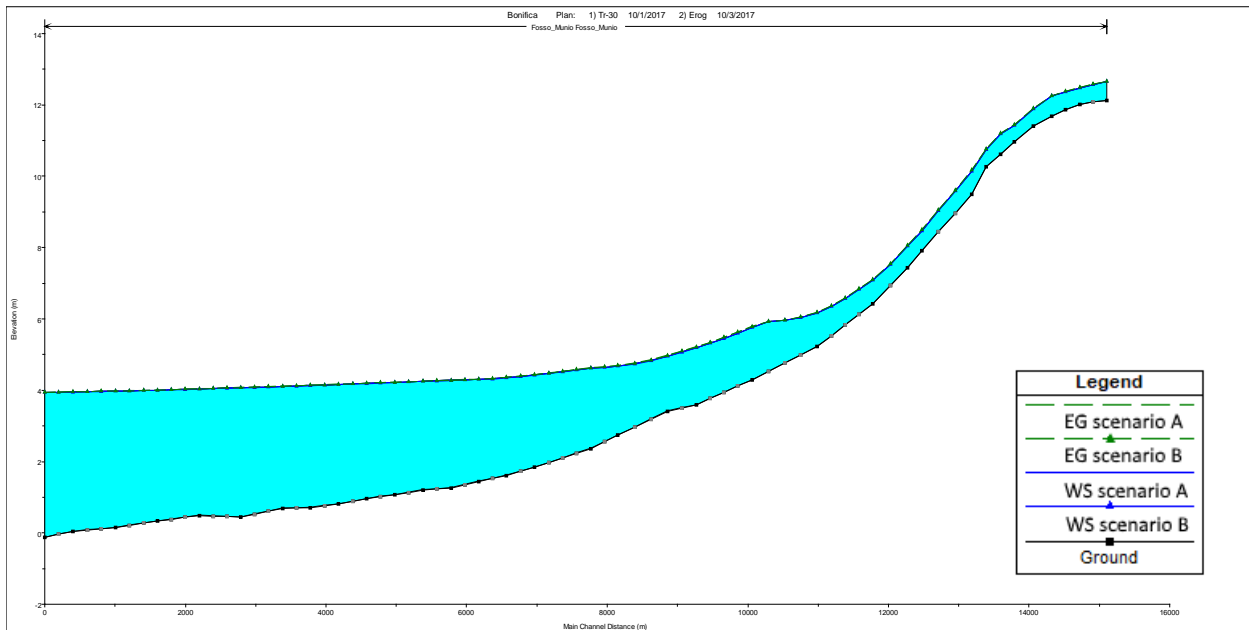


Figura 16 Scenario B: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.2 Massimo stoccaggio (Scenario C)

3.2.1 Canale Destra Reno

Il canale Destra Reno è influenzato dal sollevamento del terreno a seguito dello stoccaggio di gas, in particolare nel tratto subito a monte della confluenza del Nuovo Tratturo in cui si riscontrano innalzamenti dell'ordine dei 6 cm.

I risultati del modello HEC-RAS mostrano che l'innalzamento dei livelli massimi è inferiore rispetto a quella del fondo dei canali, con incremento delle quote idriche che non superano i 3 cm. In Figura 17 sono confrontati i livelli massimi nelle due configurazioni analizzate (Scenario C rispetto a Scenario A).

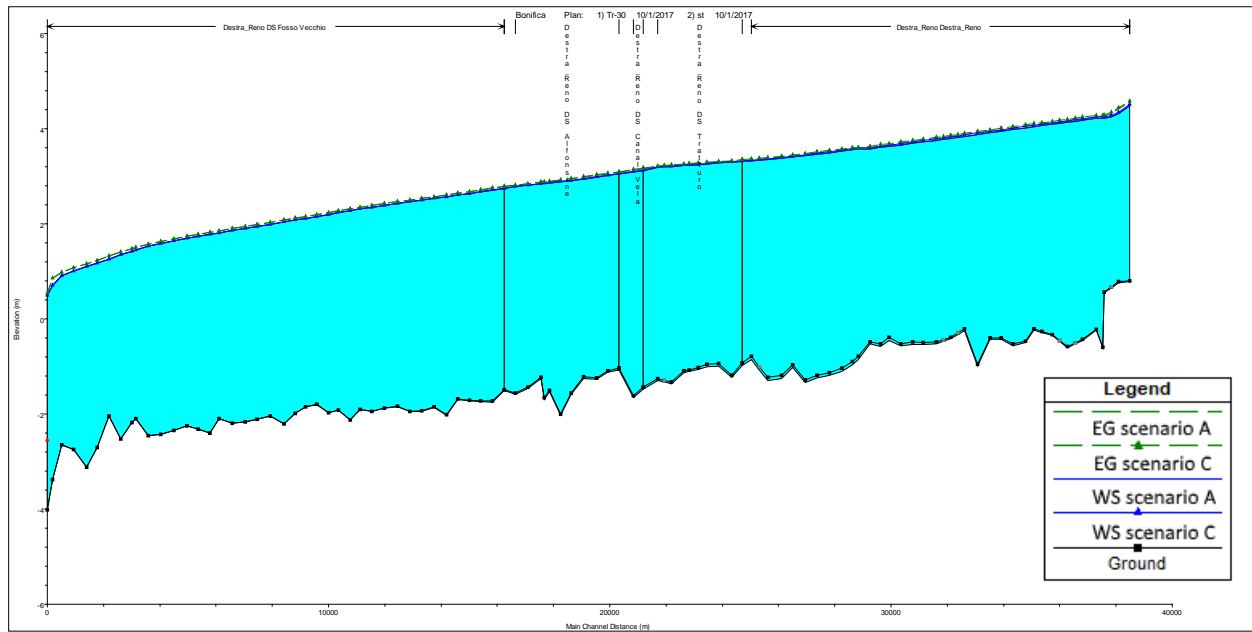


Figura 17 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Destra Reno rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.2.2 Bacino Nuovo Tratturo

Il Nuovo Tratturo, in particolare nella parte a valle del canale Traversagno, è il bacino che risente maggiormente degli innalzamenti conseguenti allo stoccaggio data la posizione proprio al di sopra della traccia del campo.

I risultati del modello HEC-RAS mostrano un innalzamento massimo di circa 10 cm in corrispondenza dell'impianto idrovoro, variazione che si riduce a 9 cm nella prima sezione di monte della schematizzazione del Traversagno e 6 cm nella prima sezione di monte della schematizzazione del Nuovo Tratturo.

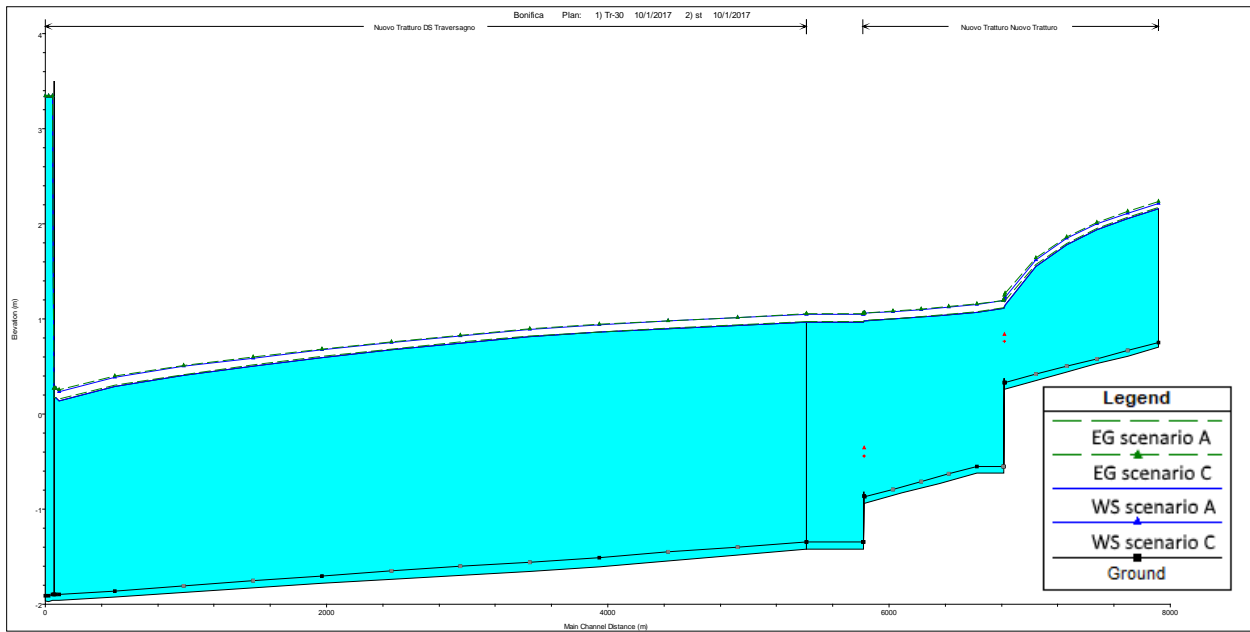


Figura 18 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Nuovo Tratturo rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.2.3 Bacino Canal Vela

Il bacino del Canal Vela è interessato dalle variazioni di quota del terreno principalmente nella sua parte terminale. Un tratto del Canal Vela è interessato dai maggiori innalzamenti del terreno nell'ordine degli 8-9 cm.

I risultati del modello HEC-RAS mostrano che i livelli idrici massimi risentono però in misura minore di questi innalzamenti come si può notare in Tabella 2, dipendendo anche dai livelli che si instaurano alla confluenza con il canale Destra Reno. Gli innalzamenti maggiori dei livelli si hanno sul canale Menata di Fusignano nei pressi della confluenza con il canale Via Nuova, dove si hanno incrementi del livello del suolo dell'ordine degli 8 cm ed un innalzamento massimo dei livelli idrici pari a circa 6 cm.

Canale	Innalzamento minimo [cm]	Innalzamento massimo [cm]
Canal Vela	1	3
Tratturo	1	5
Casale	2	4

Canale	Innalzamento minimo [cm]	Innalzamento massimo [cm]
Fossatone di San Bernardino	3	4
Via Lunga a Ponente	2	3
Via Nuova nel Casale	2	3
Ascensione	1	2
Arginello	0	3
Menata di Runzi	2	4
Santa Lucia	3	3
Frassona Maggiore	3	3
Cocorre	2	4
Sant'Antonio	2	3
Menata di Fusignano	2	6
Via Nuova	5	5

Tabella 2 Scenario C: innalzamenti massimo e minimo rispetto dei livelli idrici massimi nei canali del Bacino Canal Vela rispetto ai valori ottenuti nello Scenario A.

In Figura 19 - Figura 24 sono riportati i profili lungo i canali principali del bacino Canal Vela.

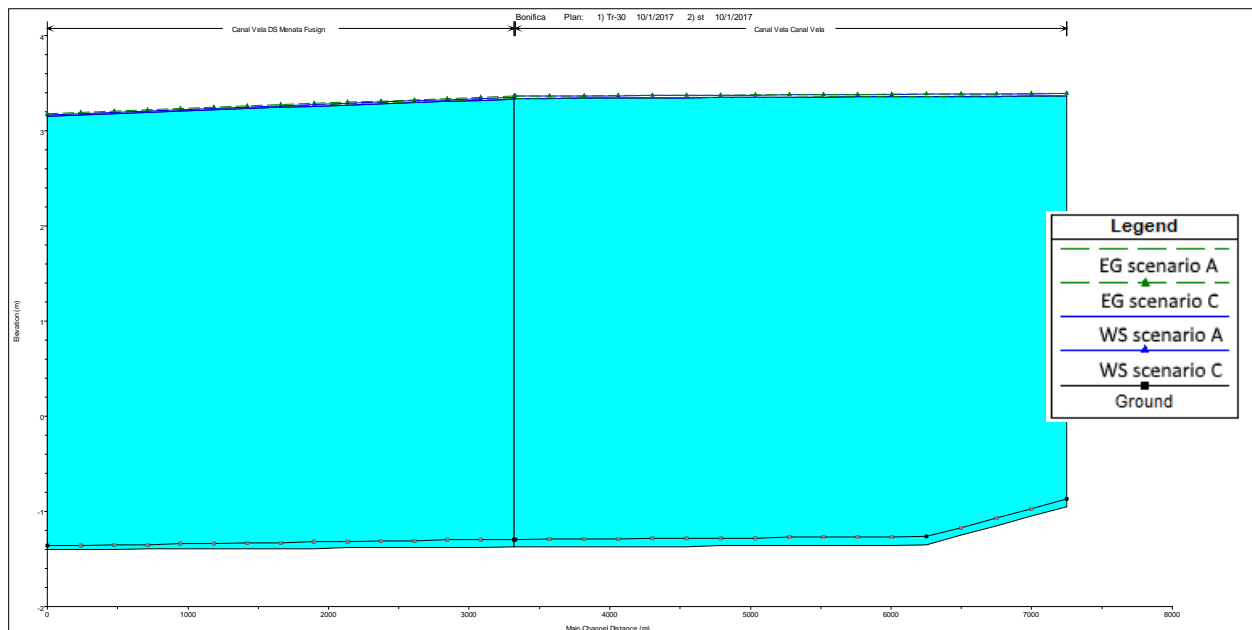


Figura 19 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il Canal Vela rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

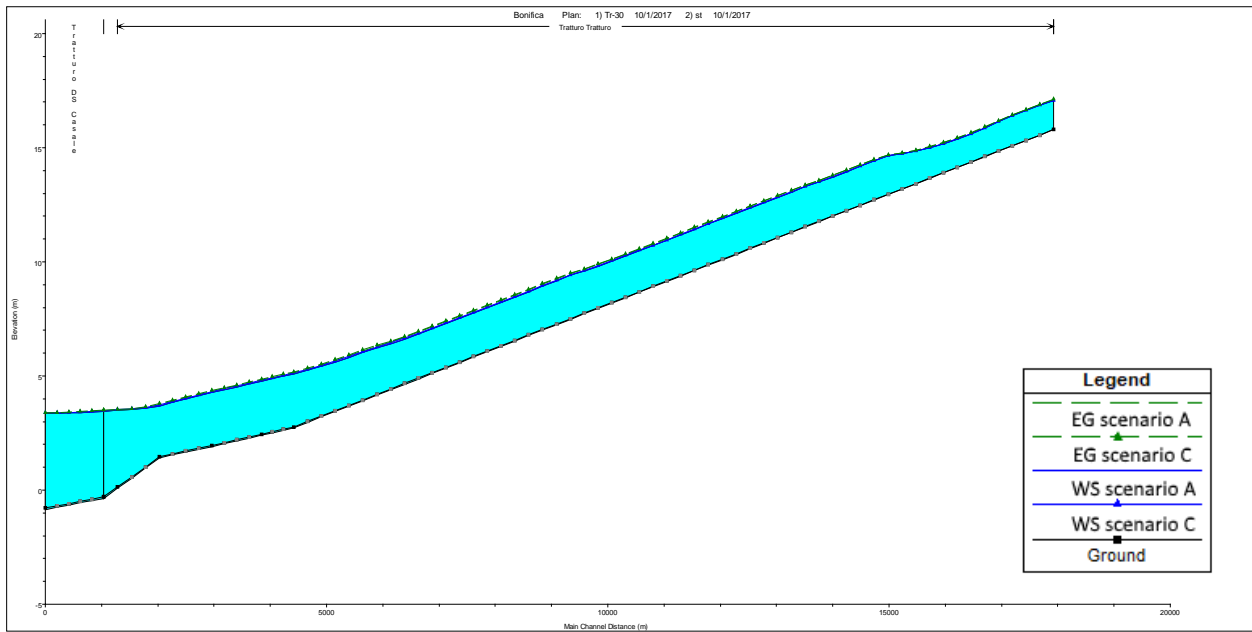


Figura 20 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Tratturo rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

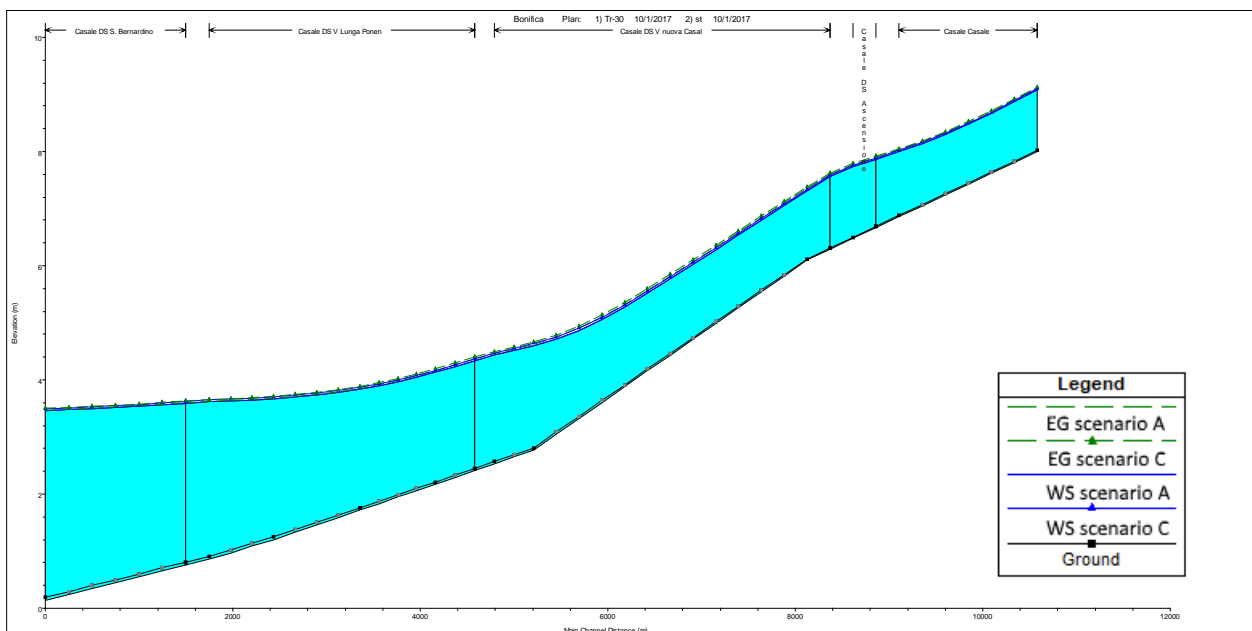


Figura 21 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Casale rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

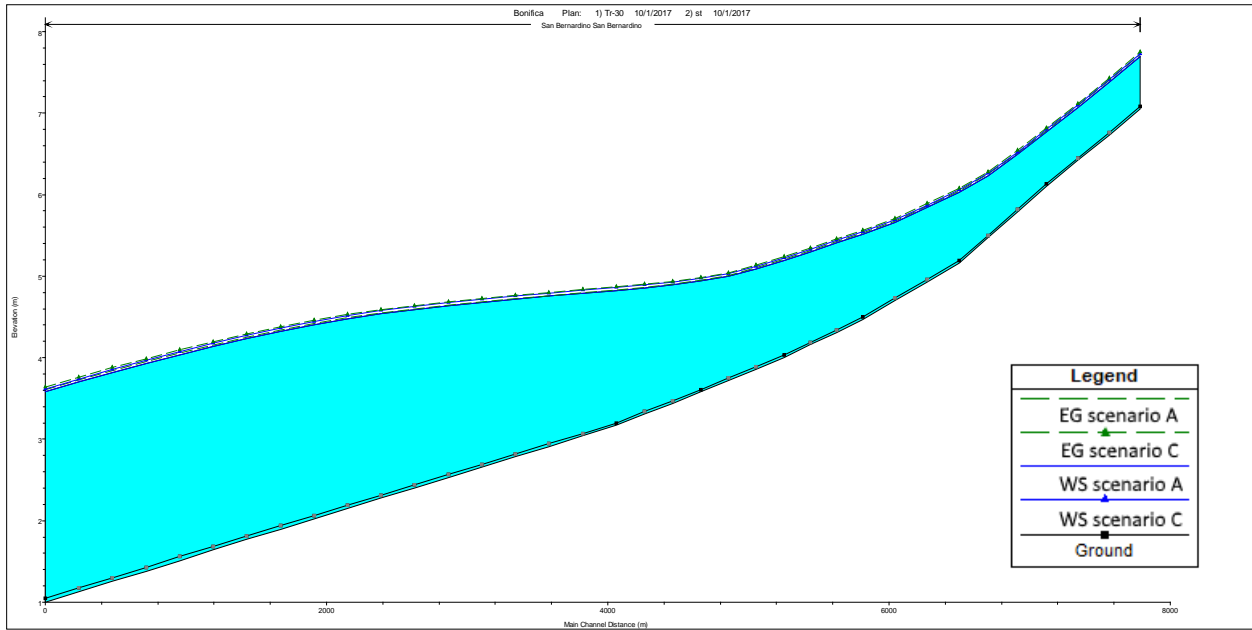


Figura 22 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il Fossatone di San Bernardino rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

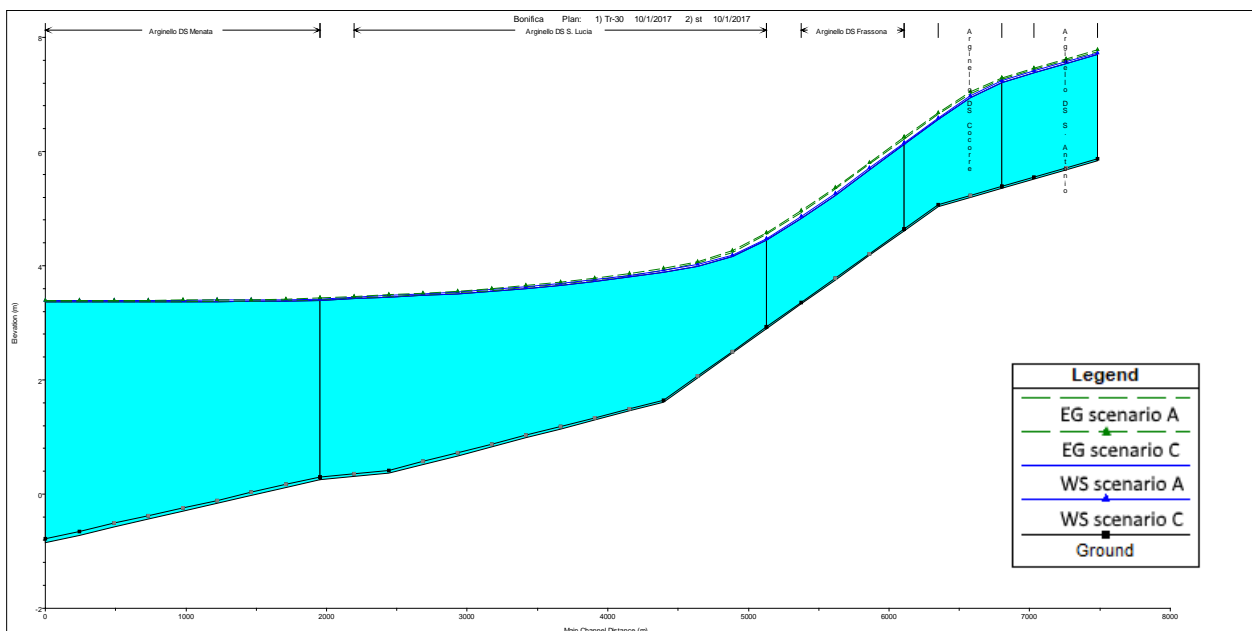


Figura 23 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Arginello da valle confluenza con il canale S. Antonio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

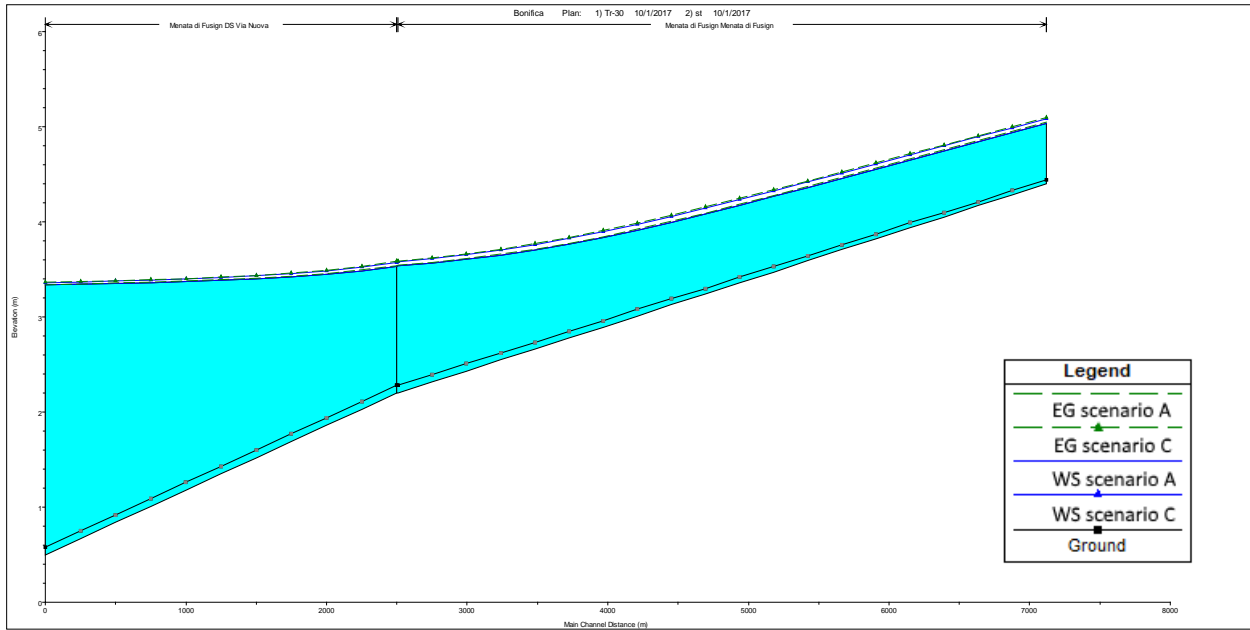


Figura 24 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Menata di Fusignano rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.2.4 Bacino Alfonsine

Lungo il canale Alfonsine l'innalzamento dovuto allo stoccaggio di gas è di 1 cm. Di fatto il tratto schematizzato è interamente rigurgitato dal livello del Destra Reno. La Figura 25 riporta i livelli massimi lungo il canale Alfonsine.

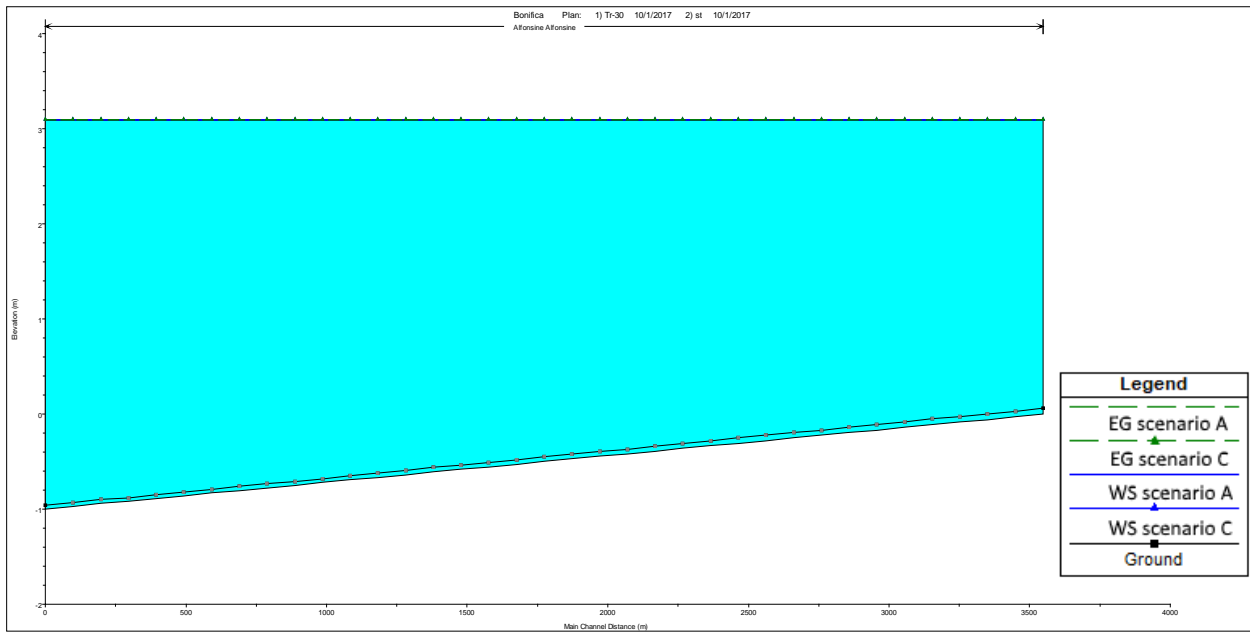


Figura 25 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Alfonsine rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

3.2.5 Bacino Fosso Vecchio

Il bacino del Fosso Vecchio è ubicato in una posizione marginale rispetto all'area interessata dagli spostamenti a seguito dello stoccaggio, con variazioni altimetriche al massimo dell'ordine di 3 cm. I risultati del modello HEC-RAS mostrano che la medesima variazione è riscontrabile anche negli incrementi dei massimi livelli idrici, come si evince dalla Tabella 3. I profili dei massimi livelli idrici sono riportati in Figura 26 - Figura 28.

Canale	Innalzamento minimo [cm]	Innalzamento massimo [cm]
Fosso Vecchio	0	3
Fosso Vetro	0	3
Fosso Munio	0	3

Tabella 3 Scenario C: innalzamenti massimo e minimo rispetto dei livelli idrici massimi nei canali del Bacino Fosso Vecchio rispetto ai valori ottenuti nello Scenario A.

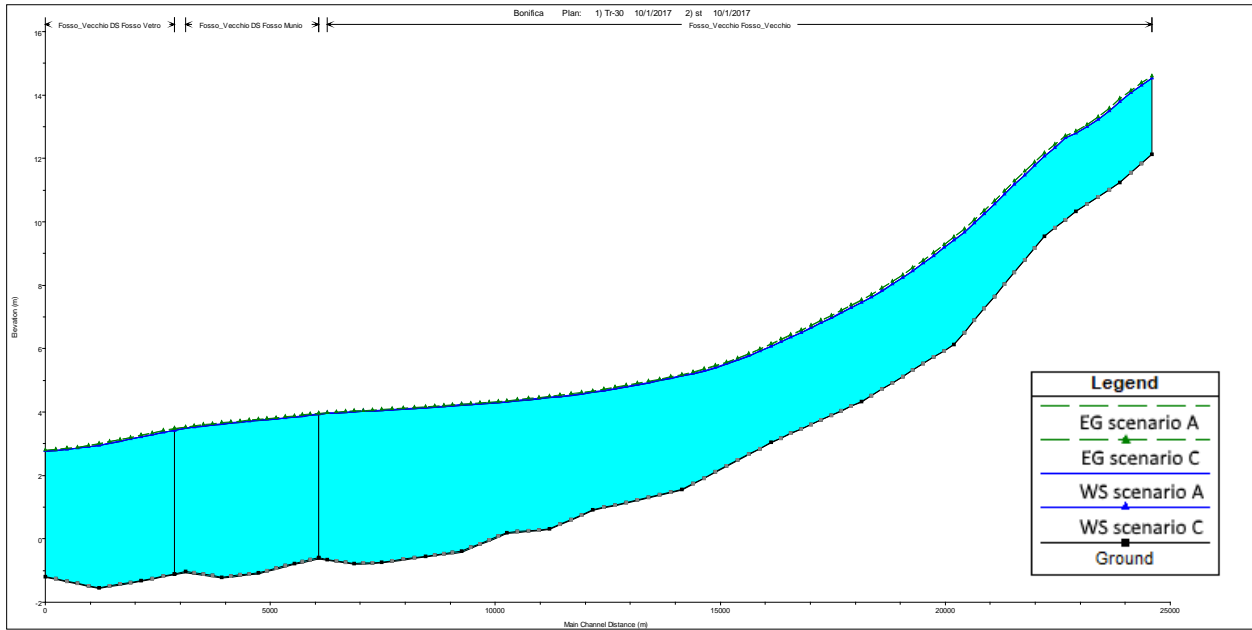


Figura 26 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vecchio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

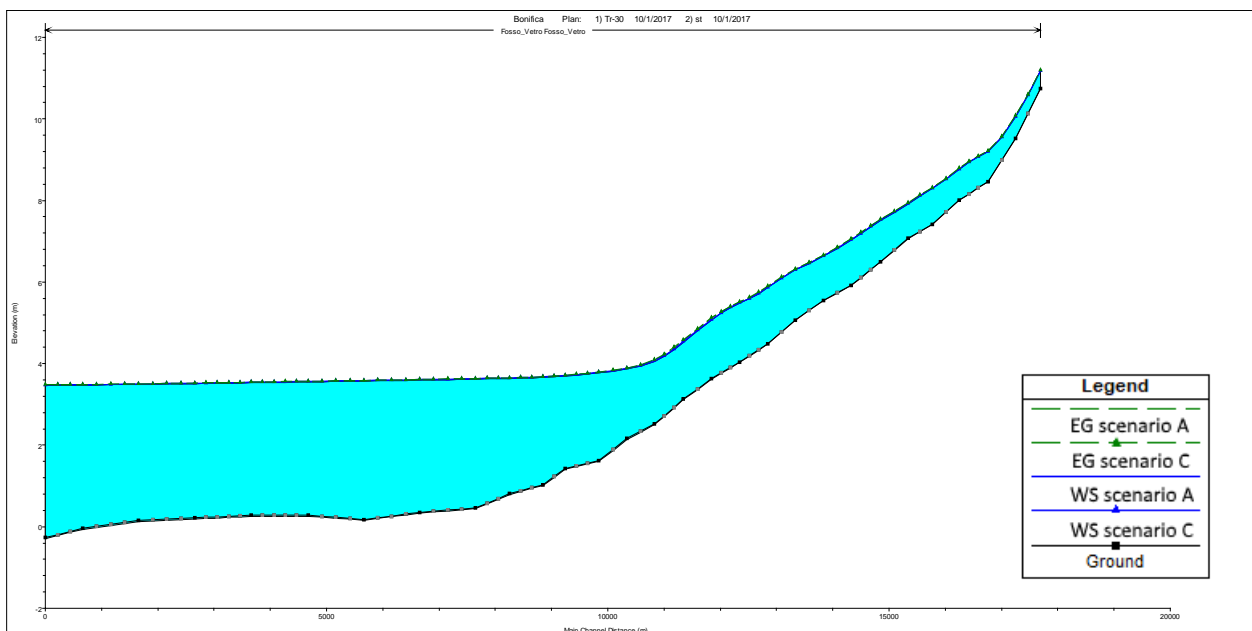


Figura 27 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Vetro rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

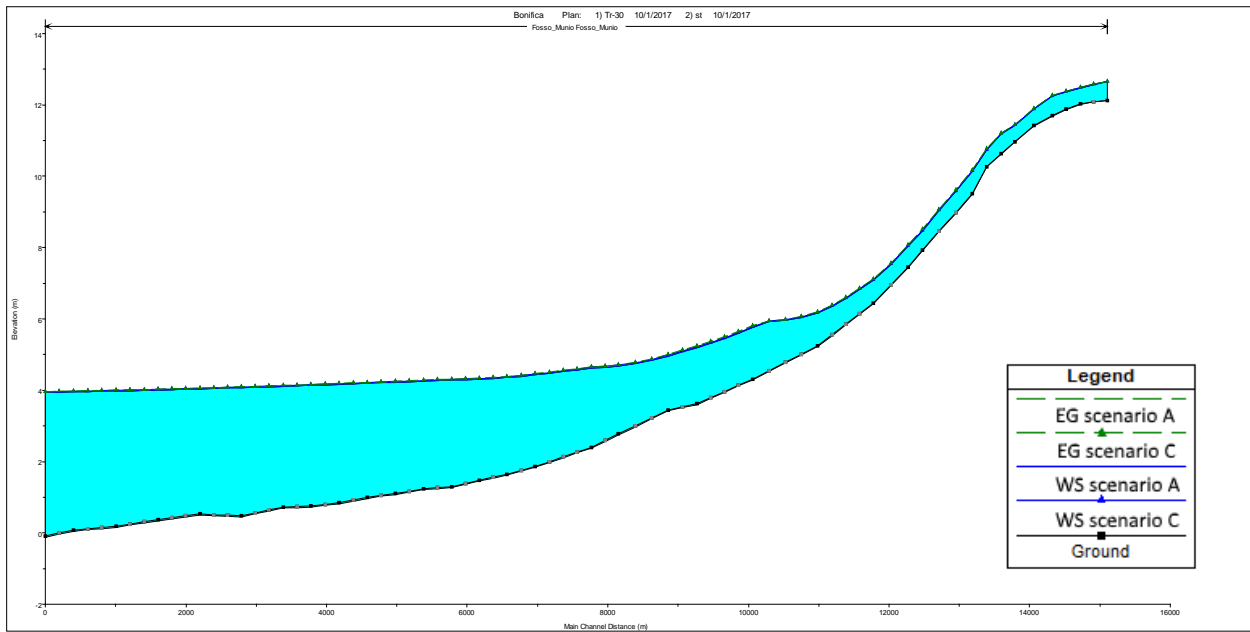


Figura 28 Scenario C: profilo dei livelli massimi lungo il canale Fosso Munio rispetto a quello dello scenario A (EG: Energy; WS: Water Surface).

4. Conclusioni

L'analisi condotta per verificare le variazioni del comportamento idraulico dei canali di bonifica affluenti al canale Destra Reno ed influenzati dagli abbassamenti ed innalzamenti conseguenti alle previste attività di stoccaggio/erogazione nel giacimento di Alfonsine, hanno evidenziato variazioni minime dei livelli idrici nella rete di bonifica. Gli spostamenti del piano campagna sono stati ottenuti direttamente dai risultati del modello geomeccanico.

L'abbassamento rispetto alla condizione attuale dei massimi livelli idrici per l'evento analizzato, caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 30 anni, risulta dell'ordine di al più 1-2 cm durante i normali cicli di erogazione, analogamente alla variazione del fondo alveo. Tali modifiche hanno un impatto trascurabile sull'efficienza della rete di bonifica analizzata. Le medesime conclusioni si ottengono anche per i normali cicli di stoccaggio previsti a $P = P_i$, dove al posto di abbassamenti avranno luogo degli innalzamenti della medesima trascurabile entità.

E' stato anche analizzato il transitorio in cui la pressione in giacimento aumenta dal valore attuale a quello a $P = P_i$. I bacini maggiormente interessati sono quelli del Nuovo Tratturo che è a scolo

meccanico, in cui si hanno innalzamenti del terreno fino a 10 cm, e quello del Canal Vela, per la maggior parte a scolo naturale soprattutto nella sua confluenza con il Destra Reno, in cui le variazioni altimetriche arrivano a 9 cm. I livelli massimi per l'evento analizzato hanno un incremento massimo pari a quello del terreno nel bacino del Nuovo Tratturo, 10 cm, mentre per il bacino del Canal Vela si riducono e hanno un massimo di 6 cm. Il canale Alfonsine pur risentendo di un innalzamento massimo del terreno di 6 cm ha un ridotto incremento dei livelli massimi dell'ordine del centimetro, infatti i suoi livelli massimi sono di fatto quelli del canale Destra Reno nel punto di confluenza. Infine, il bacino del Fosso Vecchio è più decentrato rispetto al giacimento e quindi sia le variazioni altimetriche che quelle dei livelli idrici sono inferiori con massimi dell'ordine dei 3 cm. Si può quindi concludere che anche a seguito degli innalzamenti del terreno previsti in questa fase transitoria di stoccaggio, l'intera rete scolante analizzata rimarrà funzionale con locali variazioni dei livelli massimi.

In conclusione, sulla base degli studi eseguiti, l'impatto dell'attività di stoccaggio sulla rete idraulica di superficie risulta trascurabile.

Bibliografia

USACE-HEC, 2016. River Analysis System, HEC-RAS v5.0 - User's Manual. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Tech. Report CPD-68.

