

Comune



Progetto

POLO ESTRATTIVO A1 "OASI DI TORRILE"
LOTTO 1A - 1B - 2

PIANO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE FINALE

PROGETTO ESECUTIVO

**OPERE IDRAULICHE DELLA CASSA DI ESPANSIONE
DEI CANALI LORNO E GALASSO**

Progettista



©I.S.I. Ingegneria e Ambiente
Ing. Gian Lorenzo Bernini - Ing. Rosaria Ragazzini
Via Martiri della Liberazione, 36
43126 Vicoforte (PR) - cod.fisc. e P.I. 02577010347
Tel. 0521 941229 - info@isiingegneriaeambiente.it



Consulenza ambientale



AMBITER S.r.l.
società di ingegneria ambientale



Titolo Elaborato

RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA

Data Emissione Progetto
SETTEMBRE 2019

Scala

Identif. Elaborato

COD. COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPOLOGIA	CAT.OPERA	N.OPERA	PARTE OPERA	N.PROGR.DOC.	REV
POA1	X	E	ST	REL	CE	000	G	002	A

A	30 Settembre 2019	EMISSIONE	M.F.	G.L. Bernini	D. Colucci
Rev	Data	DESCRIZIONE REVISIONE	Redatto	Controllato	Approvato

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
2	AMBITO DI INTERVENTO	6
2.1	Definizione del bacino imbrifero.....	7
2.2	Definizione del reticolo idrografico principale.....	8
3	ANALISI IDROLOGICA	11
3.1	Ietogrammi di progetto.....	12
3.2	Il modello idrologico SWMM	14
3.3	Geometria del modello.....	16
3.4	Parametri principali del modello idrologico	18
3.5	Risultati delle simulazioni idrologiche	18
3.5.1	Calibrazione del modello idrologico	19
3.5.2	Definizione degli idrogrammi per la modellazione idraulica.....	22
3.5.3	Definizione dell'idrogramma TR100 Laminato.....	26
4	ANALISI IDRAULICA.....	28
4.1	Il modello idraulico Hec-Ras	29
4.2	Ipotesi del calcolo idraulico	30
4.3	Caratteristiche geometriche dell'alveo	32
4.3.1	Chiaviche esistenti di regolazione dei livelli.....	32
4.4	Portate di riferimento.....	35
4.5	Risultati delle analisi idrauliche: Stato di fatto.....	36
4.5.1	Sicurezza idraulica dello stato attuale	36
4.5.2	TR20: scenario A1	38
4.5.3	TR50: scenario A1	41
4.5.4	TR100: scenario A1	44
4.5.5	TR100-LAM: scenario A1	47
4.6	Descrizione dello Stato di progetto	50
4.6.1	Sfiori Laterali e scarico di fondo di progetto della cassa d'espansione.....	51
4.7	Risultati delle analisi idrauliche: stato di progetto	52
4.7.1	Portata di non stramazzo.....	53
4.7.2	TR20 Configurazione A: scenario A1	54
4.7.3	TR20 Configurazione A: scenario A3	69

4.7.4	TR20 Configurazione B: scenario B2	84
4.7.5	TR20 Configurazione C: scenario C2	100
4.7.6	TR50 Configurazione A: scenario A1	115
4.7.7	TR100 Configurazione A: scenario A1	130
4.7.8	TR100 LAM Configurazione A: scenario A1	145
4.7.9	TR100-LAM Configurazione A: scenario A3.....	160
4.7.10	TR100 LAM Configurazione B: scenario B1	175
4.7.11	TR100-LAM Configurazione C: scenario C1	190
4.8	Volumi e quote idrometriche dell'invaso in progetto	205

1 PREMESSA

Il presente documento, nel rispetto del recupero naturalistico finale e dei limiti di escavazione (20 m dal piede dei rilevati arginali di Lorno e Galasso) approvati col progetto definitivo “Piano di coltivazione e sistemazione finale – Polo estrattivo A1 Oasi di Torrile – Cava lotti 1A, 1B, 2, podere Aia” del luglio 2016 dell’Impresa Pizzarotti S.p.A., di seguito citato come “Progetto Pizzarotti”, descrive i processi di modellazione idrologica e idraulica funzionali alla definizione del progetto idraulico della cassa d’espansione e dei suoi manufatti.

L’opera in progetto consentirà di migliorare il grado di sicurezza idraulica del territorio in termini di aumento del franco arginale rispetto allo stato attuale, conseguibile utilizzando il volume reso disponibile dalla cava come cassa di laminazione, lasciando impregiudicata ogni altra valenza ambientale prevista.

Infatti, al fine di conciliare al meglio le funzioni di tipo ambientale, come ampliamento dell’adiacente oasi naturalistica LIPU, e idraulica, come cassa di espansione, sono stati progettati i manufatti idraulici di presa in modo che la cassa venga attivata per eventi di piena con tempo di ritorno superiore ai 5 anni.

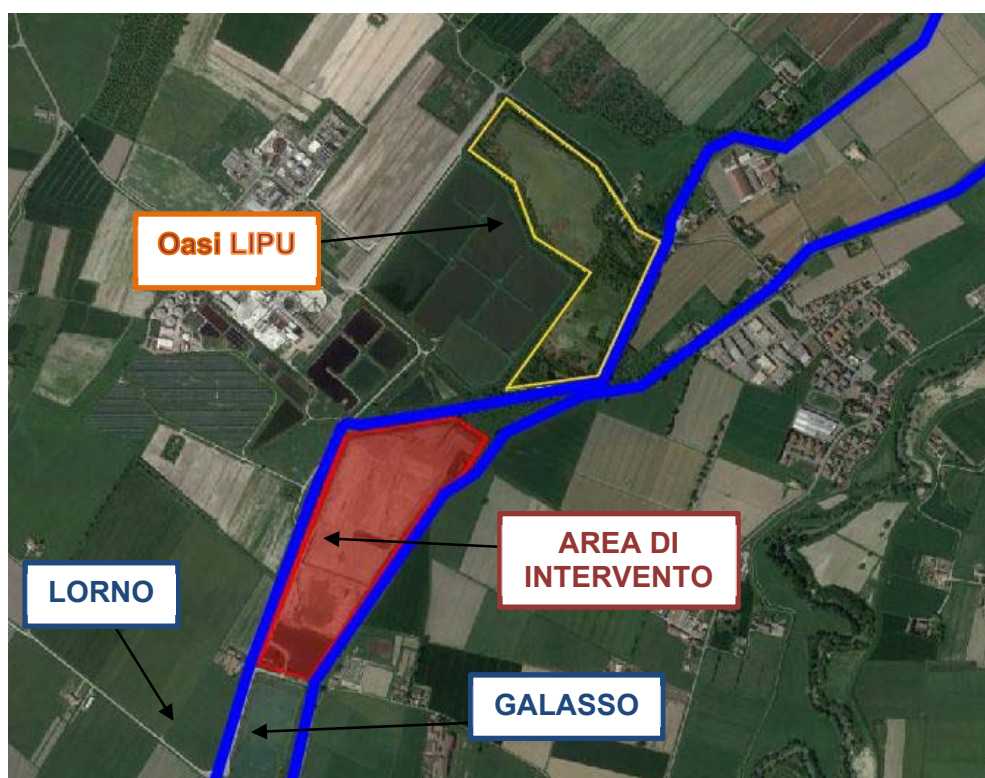


Figura 1 – Inquadramento territoriale: posizione della nuova cassa di espansione.

Il dimensionamento dei manufatti idraulici e dei volumi di cassa è funzionale a garantire la laminazione delle onde di piena dei canali Lorno e Galasso, anche, durante eventi con contemporaneità di piena di Po e Parma che limitano il deflusso delle acque verso valle.

Il progetto idraulico della cassa e dei suoi manufatti è basato sui seguenti elementi:

- Definizione del bacino idrografico dei canali Lorno e Galasso chiuso a foce Parma.

- Determinazione degli idrogrammi di piena che possono sollecitare, con diverso tempo di ritorno, l'asta dei corsi d'acqua interessati dall'intervento.
- Dettagliata descrizione morfologica delle due aste in esame, soprattutto nell'intorno dell'intervento, al fine di meglio calibrare e definire il modello idraulico di propagazione delle piene.

Al fine della calibrazione dei modelli idrologici e idraulici e alla verifica dei risultati sono stati visionati studi pregressi messi a disposizione rispettivamente dell'Impresa Pizzarotti S.p.A. e da AIPO, in particolare:

- Studio idrologico idraulico "Ampliamento oasi di Torrile, attuazione polo A1 – progetto di coltivazione lotto 1A" redatto da Studio Telò nel luglio del 2007 commissionato dall'Industria Laterizi Giavarini S.p.A. (Impresa Pizzarotti), di seguito citato come "Studio Giavarini".
- Progetto "Piano di coltivazione e sistemazione finale – Polo estrattivo A1 Oasi di Torrile – Cava lotti 1A, 1B, 2, podere Aia" commissionato dall'impresa Pizzarotti S.p.A. nel luglio del 2016, di seguito citato come "Progetto Pizzarotti".
- Progetto "Lavori per la riduzione del rischio residuo e per il miglioramento del sistema difensivo del nodo idraulico di Colorno sui canali Lorno, Galasso e torrente Parma nei comuni di Colorno e Torrile (PR)" redatto da Art Ambiente Risorse Territorio nell'ottobre del 2017 per AIPO, di seguito citato come "Progetto AIPO".

L'analisi idrologica dell'area oggetto di studio è stata condotta mediante l'impiego del codice di calcolo SWMM 5.1 (Storm Water Management Model), sviluppato e aggiornato dall'Agenzia Federale Statunitense per la Protezione dell'Ambiente (U.S. E.P.A., United States Environmental Protection Agency), grazie al quale è stato possibile determinare gli idrogrammi di piena generati dai diversi sottobacini e quindi transitanti nelle aste principali dei canali.

Successivamente è stato implementato un modello idraulico in moto permanente e vario dei canali Lorno e Galasso per uno sviluppo di circa 10 km ciascuno fino alla loro confluenza con il torrente Parma. Il codice di calcolo utilizzato è il software HEC-RAS River Analysis System, elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (versione 5.0.7, marzo 2019).

Questo modello ha permesso di analizzare il deflusso delle portate lungo le aste di interesse, e determinare i principali parametri idraulici funzionali al progetto della cassa di espansione e per meglio definire i manufatti idraulici e migliorarne l'efficienza.

2 AMBITO DI INTERVENTO

L'ambito di cava oggetto di intervento è situato nella parte più settentrionale della Provincia di Parma in Comune di Torrile (PR), all'interno di un'area pianeggiante circoscritta dai canali Lorno e Galasso, a circa 6,0 km dalla foce nel torrente Parma.

La necessità di unire la valenza ambientale e idraulica alla sistemazione finale della cava nasce dall'esigenza di aumentare la sicurezza idraulica di un territorio caratterizzato da un nodo idraulico, quello di Colorno, di elevata complessità; in tale nodo si trovano il torrente Parma, a pochi chilometri dalla sua foce in Po, ed i canali Lorno e Galasso, che si uniscono in un unico canale ad alcune decine di metri prima della confluenza nel Parma.

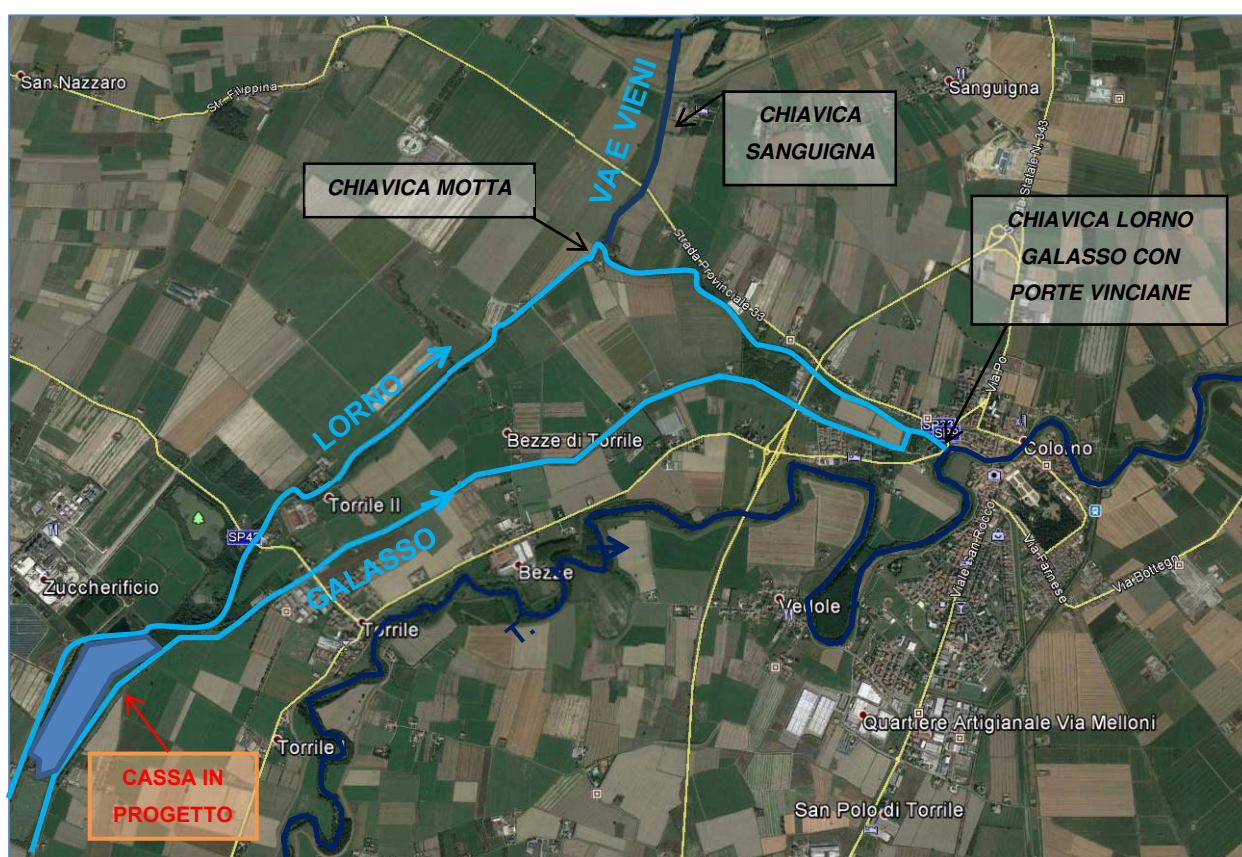


Figura 2 – Inquadramento territoriale: nodo idraulico di Colorno e posizione della cassa di espansione in progetto.

Negli ultimi decenni sono stati realizzati alcuni interventi, di seguito elencati, al fine di migliorare la sicurezza idraulica del nodo Colorno:

1. Adeguamento in quota del tratto arginale del canale Lorno dalla confluenza del Parma per circa 1,5 km a monte, nell'ambito dell'intervento, più articolato, di realizzazione della chiavica con "Porte Vinciane". La quota di testa arginale di riferimento era la quota PAI riferita alla piena con TR200 del torrente Parma in corrispondenza della confluenza stessa, e pari a 32,60 m s.l.m.. Realizzato in sponda sinistra per un tratto di circa 1.750 m.

2. Manutenzione straordinaria della vegetazione ripariale migliorando la sezione utile di deflusso del tratto terminale del Lorno.

Ad oggi, tuttavia, rimangono situazioni di rischio idraulico significativo, così come messo in evidenza dall'evento del febbraio 2016, dove i livelli idrometrici registrati lungo il Lorno hanno provocato lo sfioro in diversi tratti da Ponte Pietra a Colorno e aggravato le condizioni della chiavica Motta, completamente lesionata dopo l'evento. Quest'ultimo manufatto è posto sull'argine di sinistra del canale Lorno a 2,7 km circa dalla confluenza in torrente Parma e mette in collegamento il Lorno direttamente con il fiume Po, mediante un canale detto "Va e vieni" e alla chiavica Sanguigna sull'argine maestro di Po.

Il "Progetto AIPO" del 2018 prevede il rifacimento della chiavica Motta, il completamento di messa in quota arginale del canale Lorno a 32,60 m s.l.m. verso monte fino alla chiavica Motta, per circa 1.100 m in sponda sinistra e 2.350 m in sponda destra, oltre alla manutenzione delle porte Vinciane e della vegetazione ripariale. La cassa di espansione in progetto si inserisce all'interno di questo complesso sistema idraulico contribuendo a ridurre il rischio idraulico del territorio interessato; la funzione principale dell'opera è quella di laminare le portate che defluiscono all'interno dei canali Lorno e Galasso durante gli eventi di piena contenendo le esondazioni utilizzando il volume reso disponibile dalla cava come cassa di laminazione, lasciando impregiudicata ogni altra valenza ambientale prevista e aumentando il franco di sicurezza arginale, soprattutto in corrispondenza e a valle della cassa.

Al fine di conciliare al meglio le funzioni di tipo ambientale, come ampliamento dell'adiacente oasi naturalistica LIPU, e idraulica, come cassa di espansione, sono stati progettati i manufatti idraulici di presa in modo che la cassa venga attivata per eventi di piena con tempo di ritorno superiore ai 5 anni

2.1 DEFINIZIONE DEL BACINO IMBRIFERO

Lo studio idrologico dell'area in esame deve partire da una conoscenza adeguata del territorio in termini di morfologia, pedologia e dell'uso del suolo del sistema idrografico.

Il canale Lorno ha origine da canali secondari e terziari nei pressi della località di Viarolo e il suo bacino include la campagna circostante l'abitato di Ronco Campo Canneto, fino all'argine destro del fiume Taro. Più a valle comprende l'Oasi di Torrile, la zona del bosco di Torrile fino alla S.P.33 e le aree comprese tra Lorno e Galasso.

Il canale Galasso ha origine in prossimità della città Parma e, in prossimità del depuratore Parma Ovest, presenta uno scolmatore laterale che si attiva al di sopra di un fissato livello idrico e che scarica le portate nel cavo Abbeveratoio. Le portate che transitano a valle di questo dispositivo hanno un valore massimo pari a quello di attivazione delle soglie di sfioro; questo punto è stato assunto come estremità di monte del tratto di canale Galasso oggetto del presente studio. Il canale prosegue attraversando la zona aeroportuale e fieristica, quindi per Torrile fino alla confluenza nel canale Lorno, poco più a monte della confluenza col torrente Parma e delle porte vinciane. Durante la caratterizzazione del bacino imbrifero dei canali Lorno e Galasso, sono stati

identificati e caratterizzati 17 sottobacini bacini tributari del sistema idrografico ulteriormente suddivisi in 50 unità per migliorare le modalità di trasferimento del ruscellamento superficiale alla rete dei canali.

Il bacino risultante ha una superficie complessiva di circa 103 km², di cui circa 83,5 km² sottesi dal canale Galasso e circa 19,5 km² attribuiti al canale Lorno, pari rispettivamente a circa l'81% e il 19% del totale.

L'analisi dell'uso del suolo del bacino oggetto di studio ha consentito di classificare come impermeabili circa 13,4 km², pari al 13,1% del totale, di cui circa 2,0 km² attribuiti al Lorno (pari al 10% del relativo bacino imbrifero) e 11,4 km² (pari al 14%) al Galasso, che comprende zone intensamente urbanizzate della città di Parma.

La cassa di espansione in progetto è posizionata in un tratto delle aste dei due canali che sottende un bacino idrografico pari a circa il 78,4% della superficie complessiva; infatti circa 24,2 km² (21,6% del totale) sono tributari delle due aste principali a valle del tratto in cui è prevista la cassa di espansione, secondo una ripartizione che vede il 50,4% del bacino del Lorno (pari a 10,5 km²) e del 15,0% (pari a 13,7 km²) del bacino del Galasso. I bacini posti a valle della cassa rappresentano una superficie impermeabile pari a circa il 2,3% dell'intero bacino tributario. Nella figura seguente è rappresentato il reticolo idrico principale oggetto di studio.

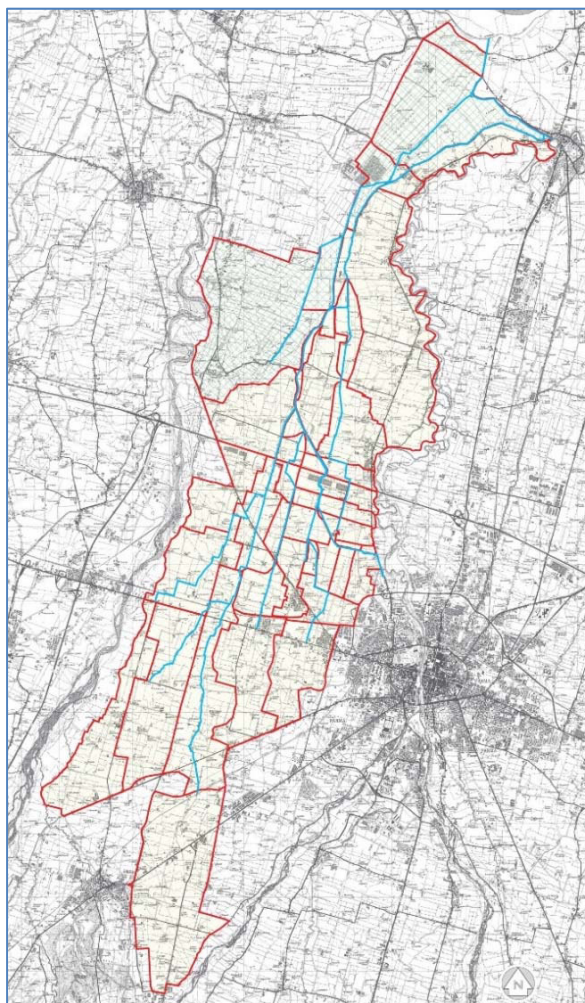


Figura 3 – Bacino idrografico dei canali Lorno e Galasso.

2.2 DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE

Gli elementi principali che compongono il reticolo drenante dell'area oggetto di studio sono i due canali Lorno e Galasso, il Lornetto (scolmatore Galasso/Lorno), la cassa d'espansione di progetto, il diversivo "Vai e Vieni", i manufatti principali di regolazione (porte Vinciane, chiavica Galasso e chiavica Motta).

A di circa 6 km dal nodo Lorno-Galasso, in prossimità dell'oasi Lipu sita in sinistra idraulica del canale Lorno, è prevista la realizzazione della cassa d'espansione nella porzione di territorio compresa fra i due canali, i quali, poco più a valle, tendono ad avvicinarsi fino a correre quasi paralleli per qualche centinaio di metri. Questa configurazione permette lo sfruttamento dell'area di cava fra gli argini del Lorno e del Galasso per la realizzazione della cassa.

In sinistra idraulica del canale Galasso, a circa 11 Km dal nodo Lorno-Galasso-Parma, si dirama il canale Lornetto fino al collegamento con il canale Lorno per uno sviluppo totale di circa 2 Km. Costituendo uno scolmatore del canale Galasso, il Lornetto, durante un evento di piena, ripartisce le portate fra i canali Lorno e Galasso a monte dell'opera in progetto. Se, quindi, a monte del Lornetto, la maggior parte dell'acqua defluita nel reticolo drenante viene raccolta all'interno del canale Galasso, a valle dello scolmatore, e quindi in seguito alla diversione delle portate, gli idrogrammi di Lorno e Galasso assumono un'entità fra loro paragonabile.

A circa 2,7 km dalla confluenza nel torrente Parma, dal canale Lorno si dirama in sinistra idraulica il canale "Vai e Vieni" che prosegue direttamente fino in Po e che ha la funzione di scolmare le acque del canale Lorno nel momento in cui i livelli idrometrici del torrente Parma non consentono un libero scarico delle stesse. Il canale "Va i e Vieni" è regolato dalla chiavica "Motta" che rimane chiusa nel momento in cui le portate nel Lorno hanno libero deflusso nel torrente Parma.

Proseguendo verso valle, il canale Galasso confluisce nel Lorno poco a monte della loro foce nel Parma; poco più a monte della foce è presente una chiavica con "Porte Vinciane" a cui è demandata la funzione di bloccare il rigurgito del Parma all'interno dei canali qual ora all'interno del fiume si verificasse un evento di piena con determinati livelli idrometrici. Questo manufatto, durante le piene di Parma, assume funzione di "modulatore" per la cassa d'espansione in progetto portando al rigurgito delle portate dei canali Lorno e Galasso, effetto che in determinate condizioni si risente fino all'opera in progetto.

Sul canale Galasso, circa 300 m a monte della confluenza con il Lorno, è presente una chiavica per la regolazione delle portate. Fra la chiavica sul Galasso e le Porte Vinciane, in circa 300 m, il fondo subisce un abbassamento di circa 3 m, mentre la pendenza media dei due canali è circa dello 0.0015%.

La geometria dei due canali e della cassa d'espansione è stata definita sulla base dei rilievi topografici disponibili ed effettuati appositamente per questo studio. Le sezioni disponibili sono le seguenti:

- Sezioni "Progetto Giavarini" per il quale sono disponibili i rilievi topografici effettuati a vario titolo da diversi Enti, fino all'aggiornamento dell'Aprile-Maggio 2007 effettuato appositamente per il sopracitato studio, con particolare riferimento ai tratti a monte dei rilievi preesistenti, che interessano prevalentemente la parte terminale dei due canali.

- Sezioni rilevate nel 2017 per il “Progetto AIPO” sui canali Lorno (28 sezioni per uno sviluppo di circa 5.5 Km) e Galasso (21 sezioni per uno sviluppo di circa 4 Km) a valle della cassa oggetto di studio, e sul canale Vai e Vieni (4 sezioni).
- Rilievo effettuato da parte dell’impresa Pizzarotti S.p.A. nel 2019 dell’area di cava oggetto di intervento e dei canali Lorno e Galasso nei tratti in prossimità della stessa (40 sezioni).

Il rilievo è stato restituito attraverso sezioni trasversali d’alveo e profili longitudinali delle quote di sommità arginale dei canali Galasso e Lorno nel tratto di interesse.

La figura seguente mostra l’ubicazione delle sezioni disponibili per le due aste oggetto di studio.

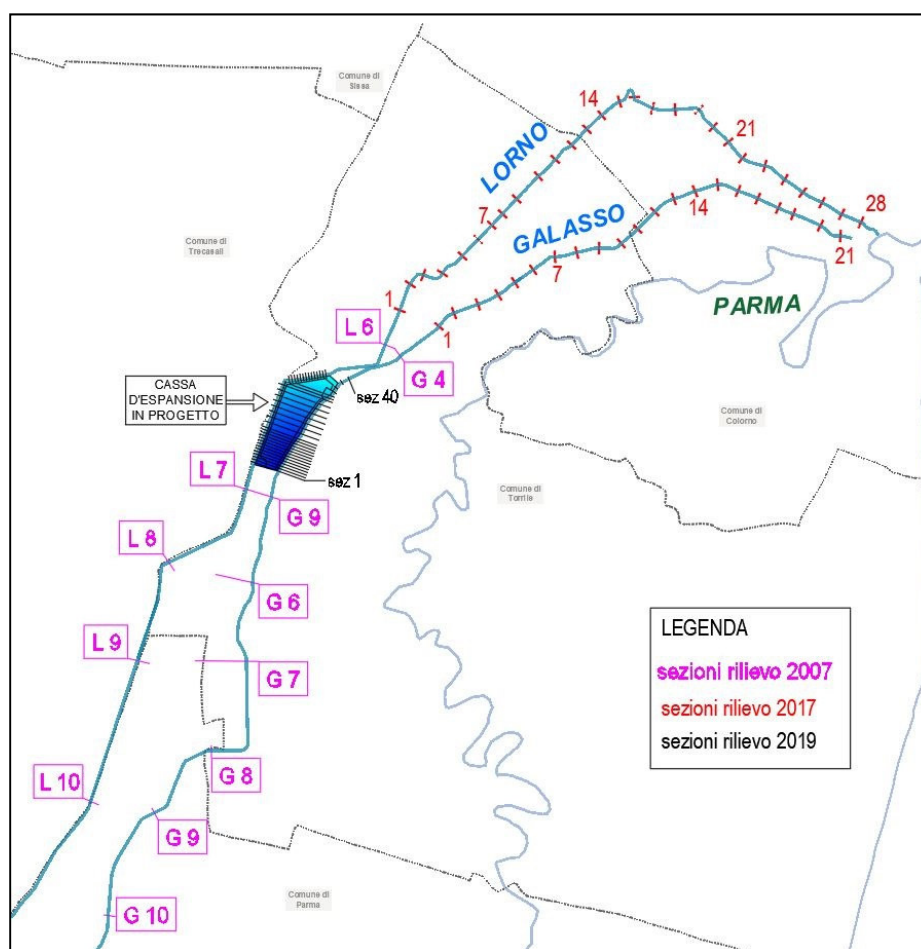


Figura 4 – Planimetria delle sezioni disponibili.

3 Analisi Idrologica

Il progetto idraulico della cassa d'espansione prevede la definizione degli idrogrammi di piena e per tale motivo è stata necessaria un'analisi di tipo idrologico sui bacini dei canali Lorno e Galasso.

In accordo con AIPO e con il Consorzio della Bonifica Parmense, Ente Gestore dei canali, è stato deciso che gli idrogrammi di progetto dovranno essere paragonabili e quelli descritti nella "Progetto AIPO" del 2017.

Per tale motivo nel presente progetto sono state utilizzate le curve di possibilità pluviometrica, definite appositamente da ARPA Emilia Romagna nel "Progetto AIPO", applicando un'analisi statistica con metodo TCEV ai dati misurati nelle stazioni pluviometriche in prossimità del bacino analizzato, aventi numerosità superiore a 9 anni e con aggiornamento serie storiche al 2015. Le analisi sono state effettuate per eventi intensi di durata durate da 1 ora a 24 ore con TR pari a 20, 50 e 100.

La stima degli afflussi/deflussi, sui bacini oggetto di studio, è stata realizzata utilizzando come modello di calcolo il metodo Curve Number elaborato dal Soil Conservation Service (USA). Questo metodo ricava l'altezza di pioggia efficacemente defluita nel bacino in funzione del tipo di suolo, della sua capacità d'immagazzinamento e delle condizioni dello stesso prima dell'evento. L'analisi è stata fatta analizzando i tempi di ritorno delle piogge, e in funzione di questi e del coefficiente di deflusso, dipendente dal tipo di permeabilità e uso del terreno, si sono determinati i valori massimi della portata istantanea al colmo.

Individuato il regime pluviometrico, la determinazione delle portate defluenti nelle sezioni di chiusura delle aree scolanti, ovvero nell'asta principale dei canali Lorno e Galasso, è stata effettuata con l'utilizzo del modello idrologico-idraulico SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato e aggiornato dall'agenzia federale statunitense per la protezione dell'ambiente U.S. E.P.A, che descrive quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sull'area di un bacino imbrifero e quindi in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo la rete idrografica, consentendo di definire le portate in funzione del "tempo di ritorno" (TR) e della durata dell'evento di pioggia.

Il modello idrologico ha permesso di determinare gli idrogrammi di portata che sollecitano i corsi d'acqua durante eventi meteorici con tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni.

Una volta definiti gli idrogrammi di progetto si è proceduto all'implementazione del modello idraulico in moto permanente e vario, con il software HEC-RAS della U.S.A.C.E., sia nella configurazione morfologica attuale che di progetto andando a determinare le principali grandezze idrauliche di riferimento che si instaurano lungo l'asta dei canali e, quindi, in prossimità e all'interno della cassa di espansione in progetto.

Dopo una prima simulazione in moto uniforme, finalizzata alla calibrazione iniziale del modello, con tutti i tempi di ritorno di riferimento, si è stabilito che la massima portata sostenibile dall'asta principale dei canali Lorno e Galasso è rapportabile alla portata al colmo di un evento con un TR20 anni.

Vista la massima portata sostenibile dai corsi d'acqua oggetto di studio, in accordo con il Consorzio della Bonifica Parmense, si è deciso di costruire un idrogramma di progetto che simuli un evento di pioggia con *TR100 laminato* da potenziali futuri manufatti di regolazione a monte dell'intervento in progetto, in modo tale che la portata al colmo sia pari al massimo sostenibile (TR20 anni) dal sistema drenante, ma con durata

maggiore, in modo da mantenere invariato il volume totale dell'idrogramma TR100. Questo idrogramma è stato definito simulando una cassa d'espansione fittizia a monte dell'autostrada A1.

Questa condizione permette di minimizzare gli interventi di rialzo arginale in sponda destra e sinistra dei canali Lorno e Galasso lungo tutto il loro sviluppo e consente di valutare una condizione "realistica" di invaso e funzionamento della cassa di espansione in progetto.

3.1 IETOGRAMMI DI PROGETTO

In accordo con AIPO e con il Consorzio di Bonifica Parmense, Ente Gestore dei canali, è stato deciso che gli idrogrammi di progetto dovranno essere paragonabili e quelli descritti nella "Progetto AIPO" del 2017. Per tale motivo nel presente progetto sono state utilizzate le curve di possibilità pluviometrica, definite appositamente da ARPA Emilia Romagna nel "Progetto AIPO", applicando un'analisi statistica con metodo TCEV ai dati misurati nelle stazioni pluviometriche in prossimità del bacino analizzato, aventi numerosità superiore a 9 anni e con aggiornamento serie storiche al 2015.

Le analisi sono state effettuate per eventi intensi di durata da 1 ora a 24 ore. Di seguito sono riportati i valori a ed n per la caratterizzazione delle curve di possibilità pluviometrica.

Tempo di ritorno T	a	n
20 anni	43,0	0,234
50 anni	51,2	0,251
100 anni	57,3	0,297

Tabella 1 - Parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica.

La definizione delle piogge di progetto avviene tramite le curve di possibilità pluviometrica che caratterizzano le precipitazioni della zona; le curve fanno riferimento ai parametri a , n elencati nella tabella precedente. Le curve risultano quindi espresse dalle seguenti leggi:

$$Tr20 \Rightarrow h = 43,0 \cdot t^{0,234}$$

$$Tr50 \Rightarrow h = 51,2 \cdot t^{0,251}$$

$$Tr100 \Rightarrow h = 57,3 \cdot t^{0,297}$$

Le curve sono state utilizzate per creare ietogrammi di progetto di tipo triangolare così definiti:

- Tempo di ritorno pari a 20, 50 e 100 anni;
- Durata di pioggia pari a 3, 6, 8, 12 ore;
- Intensità di pioggia a metà evento i_{max} pari al doppio dell'intensità della corrispondente pioggia avente uguale durata ma ad intensità costante.

L'intensità di pioggia istantanea è espressa dalle seguenti equazioni:

$$i(t) = 4 \cdot a \cdot t_r^{n-2} \cdot t \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = 4 \cdot a \cdot t_r^{n-2} \cdot (t_r - t) \quad \text{per } t \geq t_r$$

dove t_r è l'istante di tempo in cui si verifica il picco, pari alla metà della durata totale di pioggia.

In questo modo sono stati definiti gli ietogrammi di pioggia per diverse durate e tempi di ritorno, le cui altezze di pioggia cumulata sono riportate nella tabella successiva:

Tempo di ritorno evento	H pioggia evento (mm)			
	3 ore	6 ore	8 ore	12 ore
20 anni	55,61	65,40	69,95	90,46
50 anni	67,41	80,19	86,19	113,49
100 anni	79,41	97,56	106,26	147,24

Tabella 2 - Altezza di pioggia per i diversi eventi simulati.

Le diverse simulazioni condotte hanno permesso di rilevare che i deflussi maggiori, valutati tramite le portate al colmo a monte della confluenza Galasso-Lorno, si formano per eventi di pioggia con durata pari a 8 ore.

Per tale motivo si è assunto come **pioggia critica l'evento di durata pari a 8 ore**.

Nelle figure seguenti si riportano gli ietogrammi di progetto per i diversi tempi di ritorno simulati.

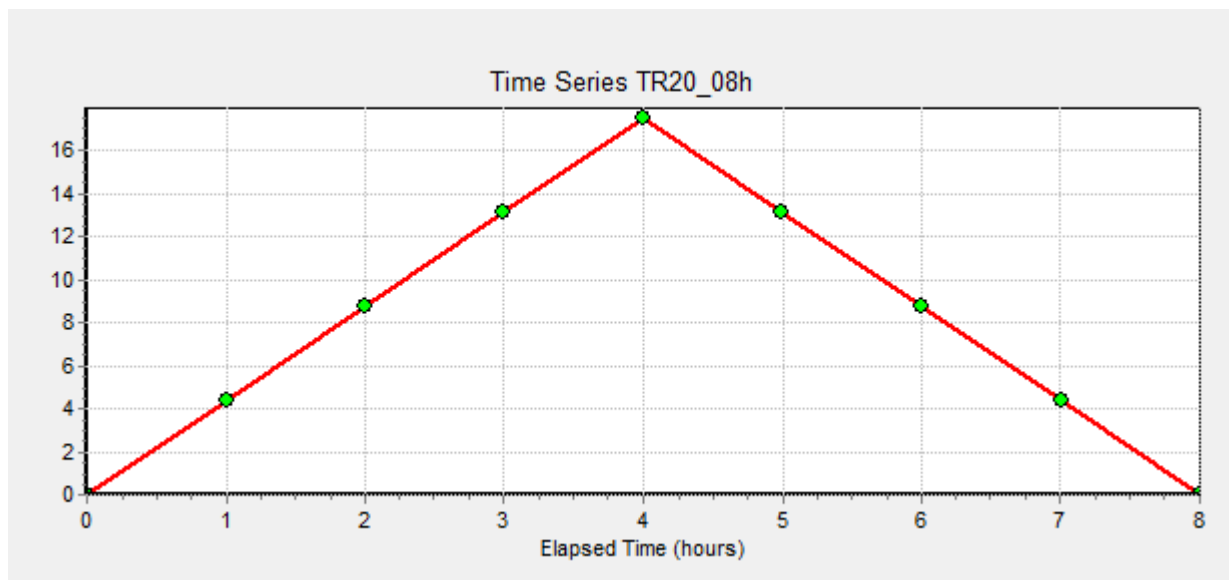


Figura 5 – Ietogramma di progetto per un evento con TR di 20 anni e durata di 8 ore.

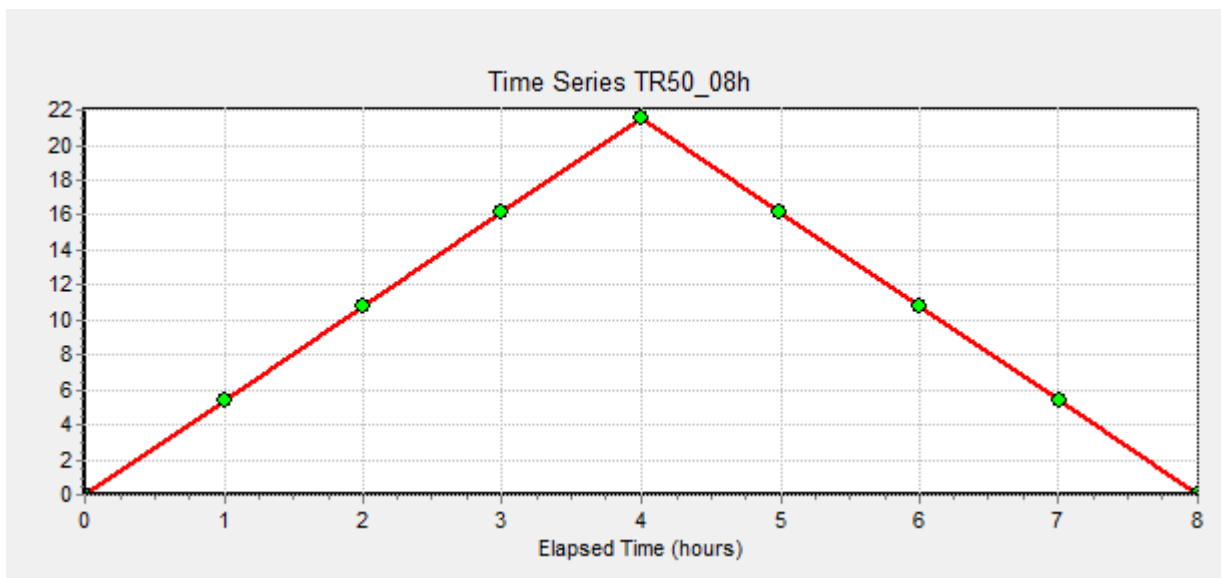


Figura 6 – ietogramma di progetto per un evento con TR di 50 anni e durata di 8 ore.

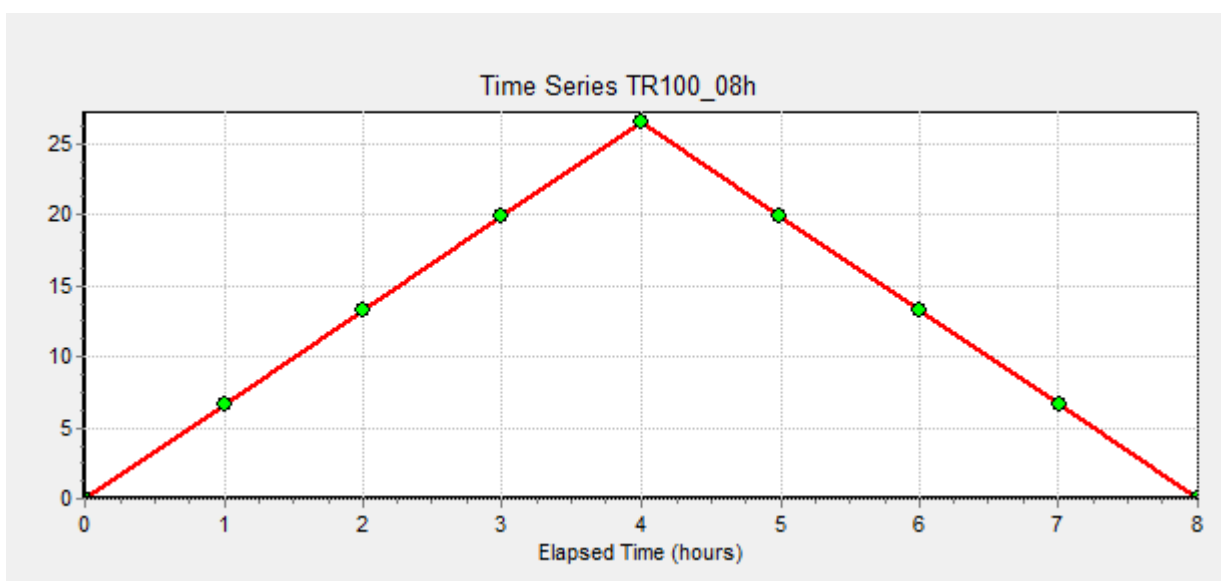


Figura 7 – ietogramma di progetto per un evento con TR di 100 anni e durata di 8 ore.

3.2 IL MODELLO IDROLOGICO SWMM

Il modello SWMM descrive quantitativamente la trasformazione delle piogge in deflussi superficiali sulla estensione di un bacino imbrifero e in correnti idriche che confluiscono e si propagano lungo i suoi collettori drenanti. Fra le varie potenzialità del codice, in questa occasione è stata sfruttata soprattutto quella di valutare la formazione del ruscellamento superficiale e il suo trasferimento al reticolo di correnti monodimensionali lungo i corpi idrici drenanti.

Per quanto riguarda il deflusso di superficie, SWMM considera ogni area elementare utilizzata per la schematizzazione dell'intero bacino come un serbatoio non lineare con un singolo ingresso che rappresenta

le precipitazioni, e con più uscite che rappresentano rispettivamente l'infiltrazione, l'evaporazione ed appunto il deflusso superficiale. La capacità del serbatoio non lineare rappresenta la capacità massima d'accumulo sulle superfici del bacino, fornita principalmente dai micro e macro avvallamenti delle superfici e dal velo d'acqua presente sulle superfici bagnate, d'altezza variabile durante l'evento di pioggia.

Nella logica del modello il deflusso superficiale ha inizio solo quando il volume d'acqua nel serbatoio supera la capacità d'accumulo superficiale, mentre l'infiltrazione (solo nella porzione permeabile della superficie) e l'evaporazione riducono continuamente tale volume accumulato. L'infiltrazione viene modellata secondo il metodo Curve Number, il cui valore è impostato pari a 80, mentre per l'evaporazione viene assegnato un valore giornaliero medio pari a 1mm/gg. Nei casi in cui l'infiltrazione e l'evaporazione risultino potenzialmente superiori alla precipitazione, il deflusso superficiale risulta ovviamente nullo. Non è presente la componente di deflusso ipodermico né quella di base, schematizzate come due serbatoi della regione sotterranea non lineari ed interconnessi fra loro; tale elemento, che può simulare anche gli scambi idrici fra falda freatica e corsi d'acqua, riveste qui una importanza trascurabile nella simulazione di singoli eventi di piena, perché i tempi di risposta dei due serbatoi sotterranei eccedono largamente quelli del ruscellamento superficiale, fornendo un contributo al deflusso totale che diviene significativo solo in regime fluviale di magra.

Il processo appena descritto viene ripetuto per ogni area elementare schematizzata e per ogni passo temporale in cui è necessario discretizzare l'intervallo di tempo durante il quale interessa simulare la trasformazione afflussi-deflussi e la propagazione della conseguente onda di piena lungo il sistema idrografico, tenendo conto delle confluenze secondo la struttura topologica della sua rete.

Matematicamente il processo è rappresentato dalla soluzione di un sistema di equazioni differenziali che governano il bilancio della massa liquida (equazione di continuità) e della corrispondente energia meccanica (equazione del moto) tanto per il deflusso che si sviluppa come lama d'acqua fluente sulla superficie di una area elementare per effetto della saturazione del suolo e del superamento della sua capacità di infiltrazione, quanto del deflusso che si sviluppa come corrente essenzialmente monodimensionale in ciascuno dei tronchi elementari costituenti i collettori drenanti. Oltre tali equazioni differenziali, il modello impone contemporaneamente, attraverso ulteriori equazioni, le condizioni al contorno, ed in particolare l'identità del livello in tutti gli estremi di canali che connettono lo stesso nodo, il legame tra livello raggiunto nei nodi, dimensione fisica delle confluenze e livelli idrici nei canali riceventi.

Le condizioni iniziali nel reticolo vengono invece calcolate sulla base delle condizioni al contorno che riguardano i riceventi e della portata iniziale in ogni condotto.

Dopo aver definito preliminarmente il reticolo drenante superficiale in termini di nodi e tratti fluviali, il modello SWMM viene applicato congiuntamente alle 50 sottounità identificate, specificandone il relativo nodo di afferenza. Tutti gli elementi geometrici e morfologici costituiscono dati di base non suscettibili di variazioni. Rappresentano invece parametri numericamente modificabili il coefficiente CN, legato alla velocità d'infiltrazione, oltre all'altezza della lama d'acqua corrispondente alla detenzione superficiale nelle porzioni

permeabile e non dei bacini imbriferi, al coefficiente di scabrezza del deflusso superficiale sempre distinto per i versanti permeabili e non.

Il reticolo dei collettori drenanti è stato rappresentato con diversa approssimazione per quanto riguarda le aste principali di Lorno e Galasso ed il tratto terminale dei principali affluenti. Occorre premettere che il modello SWMM, a differenza di altri, non interpola linearmente le caratteristiche geometriche di sezioni trasversali consecutive ma le assume costanti a tratti, secondo lunghezze di influenza nella direzione del moto attribuite a ciascuna sezione.

Le due aste principali sono state rappresentate con maggiore precisione rispetto agli affluenti, però con un dettaglio inferiore rispetto a quello consentito dai rilievi topografici. Infatti i tronchi in cui ai fini idrologici risultano segmentati gli alvei di Lorno e di Galasso talora comprendono più sezioni topografiche successive, talaltra cadono a cavallo di una sola sezione che però connette due tratti di caratteristiche geometriche non troppo simili: si è pertanto adottato la loro pendenza longitudinale media ed una geometria media della sezione trasversale come tipologia costante lungo il tratto fra due nodi idrologici consecutivi. Tale circostanza è giustificata dal fatto che dal modello SWMM non ci si attendono le valutazioni di dettaglio circa il comportamento idrodinamico di Lorno e Galasso durante le piene, ma solo le indicazioni generali e preliminari circa l'aggregazione dei deflussi alle progressive confluenze, i tempi di propagazione medi ed i tempi di eventuale sfasamento fra i colmi dei vari idrogrammi in transito ed in ingresso. Le analisi idrauliche più significative vengono svolte mediante un più specifico strumento di simulazione numerica che è in grado di rappresentare con maggiore efficacia e con un maggiore numero di opzioni i fenomeni di propagazione di piena: tale modello fa uso di tutte le sezioni trasversali rilevate lungo l'asta principale e dei risultati del codice SWMM utilizza solo gli idrogrammi entranti da monte (sezione iniziale dei tratti di Galasso e Lorno considerata per la modellazione idraulica, vedi Cap. 4) e dalle varie confluenze, ognuna vista come emissario di uno o più sottobacini imbriferi.

3.3 GEOMETRIA DEL MODELLO

In base alla suddivisione dei bacini descritta al paragrafo 2.1 e alle caratteristiche della rete descritte al paragrafo 2.2, è stata realizzata la geometria del modello. Ogni sottounità del bacino Imbrifero è stata modellata attraverso la creazione di "Subcatchments" ai quali sono attribuite le informazioni utili alla modellazione quali area, pendenza del versante, ietogramma di riferimento, percentuale di area permeabile ed impermeabile e relativo coefficiente di scabrezza, profondità delle depressioni superficiali del terreno e nodo della rete a cui afferiscono i propri deflussi.

Successivamente sono stati inserite le aste dei canali principali e dei relativi affluenti attraverso i comandi "link" e "junction", grazie alle informazioni ottenute dai rilievi disponibili, fino ad ottenere la schematizzazione della rete drenante oggetto di studio.

Di seguito è riportata la schematizzazione della rete modellata.

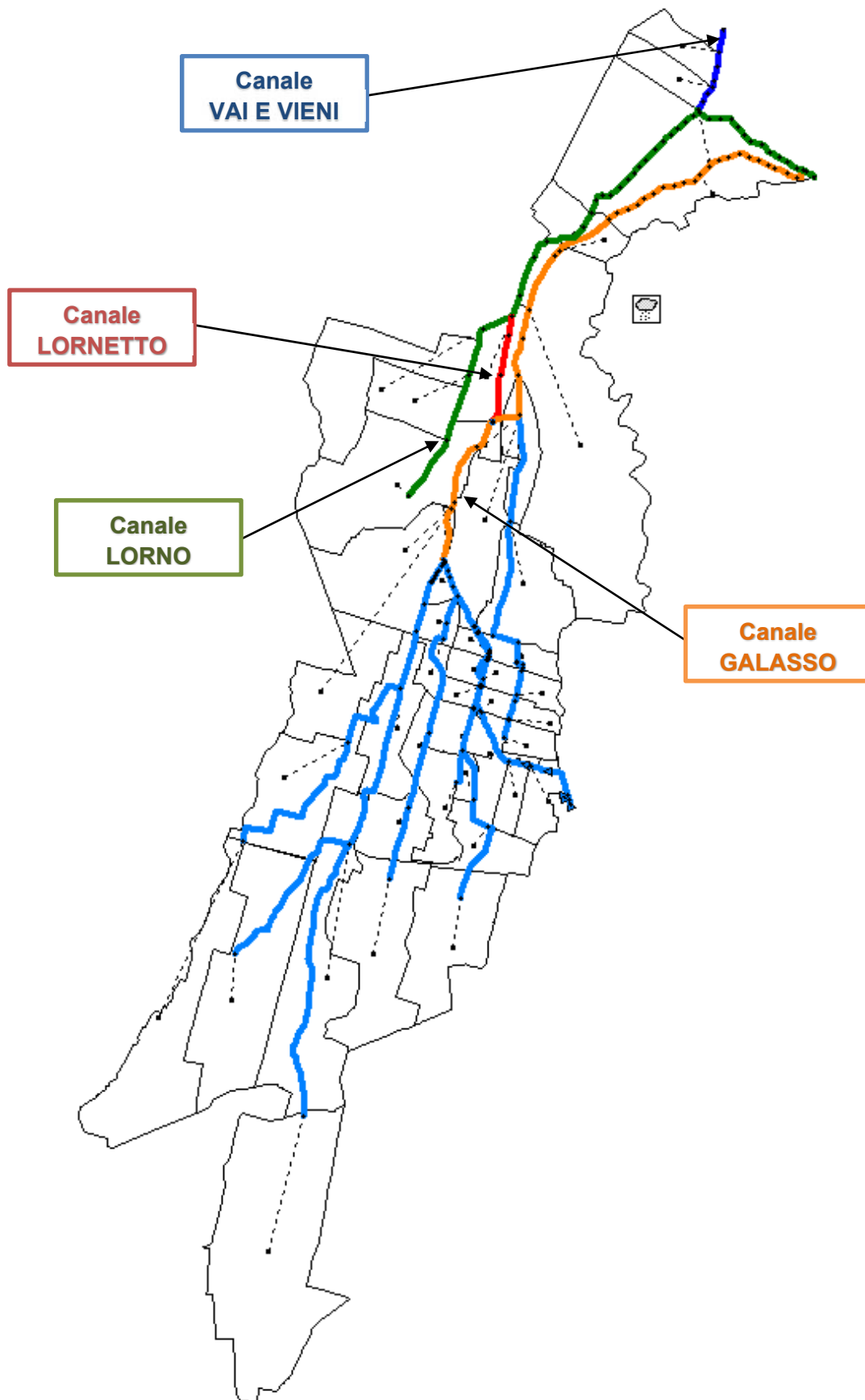


Figura 8 – Schematizzazione del bacino e del reticolo drenante oggetto di studio.

3.4 PARAMETRI PRINCIPALI DEL MODELLO IDROLOGICO

Il modello SWMM utilizza un numero elevato di parametri idrologici e idraulici, distribuiti su ogni sottobacino e collettore drenante; i loro valori numerici dovrebbero essere assegnati sulla base del confronto tra il valore delle grandezze misurate (portate o livelli) in alcuni tratti della rete ed il valore delle medesime grandezze ottenuto come risultato del modello di simulazione, con riferimento ad uno o più eventi di pioggia reali monitorati. I valori dei principali parametri del modello SWMM dopo la calibrazione sono i seguenti:

- Lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo impermeabile (mm): 2,0 (0.6) costante per tutti i sottobacini;
- Lama d'acqua di detenzione superficiale su suolo permeabile (mm): 5,0 (1.0) costante per tutti i sottobacini;
- Coefficiente di scabrezza secondo Manning su suolo impermeabile ($m^{-0,33} s$): 0,011 (0.0167) costante su tutti i sottobacini;
- Coefficiente di scabrezza secondo Manning su suolo permeabile ($m^{-0,33} s$): 0,26 (0.04) costante su tutti i sottobacini;
- Curve Number pari a 80 per terreno naturale/agricolo.

Oltre a fissare i parametri interni di calibrazione del modello d'infiltrazione si sono fatte alcune ipotesi, di seguito riportate, sulla condizione della rete esaminata:

- Il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler è assunto pari a 35 $m^{1/3}/s$ per i canali in terra e pari 68 $m^{1/3}/s$ per le condotte o gli scatoletti in c.a.
- Le condizioni di valle nei punti di uscita dal sistema sono quelle di moto uniforme.
- Per quanto visto nel paragrafo 2.1, il tratto modellato del canale Galasso ha inizio dopo lo scolmatore nel cavo Abbeveratoio che si attiva al di sopra di un fissato livello idrico, mentre le portate che transitano a valle di questo dispositivo rappresentano un ingresso puntuale per il modello: tale portata è stata assunta pari a 1,5 m^3/s .

Il metodo di calcolo utilizzato, per l'implementazione del modello, è il Dynamic Wave, ossia definizione dei parametri idraulici della rete in **moto vario** e quindi tenendo conto sia degli effetti di laminazione che delle condizioni di monte e valle dinamiche in ogni nodo della rete.

3.5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDROLOGICHE

In questo paragrafo verranno esposti i risultati ottenuti dalle simulazioni idrologiche.

Inizialmente, al fine di una migliore calibrazione del modello e di una verifica delle ipotesi iniziali fatte per questo studio, verranno confrontati gli idrogrammi ricavati dalla modellazione con quelli consultabili nella relazione di AIPO. Le sezioni di riferimento per questo tipo di confronto saranno quelle immediatamente a monte della confluenza delle due aste principali.

Successivamente verranno esposti i risultati della simulazione idrologica in termini di idrogrammi presi in corrispondenza dalle sezioni di Lorno (10L) e Galasso (10G), ubicate rispettivamente ad una distanza di

12.50 Km e 11.00 Km a monte della loro confluenza, che costituiranno le condizioni iniziali del modello idraulico per il dimensionamento idraulico della cassa di espansione in progetto.

Come già anticipato precedentemente, le diverse simulazioni condotte hanno permesso di evidenziare che i deflussi si hanno per eventi di durata pari a 8 ore. Per questo motivo si riportano di seguito i risultati della simulazioni eseguite con diverso tempo di ritorno ma aventi tutte una durata pari a 8 ore.

3.5.1 CALIBRAZIONE DEL MODELLO IDROLOGICO

Per poter calibrare il modello idrologico, realizzato appositamente per questo studio, e dunque verificare le ipotesi effettuate, gli idrogrammi in uscita immediatamente a monte della confluenza Lorno-Galasso sono stati confrontati con quelli consultabili nella relazione di AIPO.

La seguente tabella riassume le portate di picco per il Lorno e per il Galasso a monte della loro confluenza per i tempi di ritorno di riferimento:

Portata al colmo (m ³ /s)		
TR	Lorno	Galasso
20	25.78	45.01
50	41.30	59.88
100	63.98	77.26

Tabella 3 – Portata al colmo a monte della confluenza L-G per i tempi di ritorno di riferimento.

Confrontando gli idrogrammi in uscita a monte della confluenza Lorno-Galasso per entrambi i modelli possiamo notare una corrispondenza più che accettabile dell'andamento delle portate per cui è possibile affermare che il modello idrologico realizzato per lo studio in questione vede **confermate le ipotesi fatte e la calibrazione effettuata.**

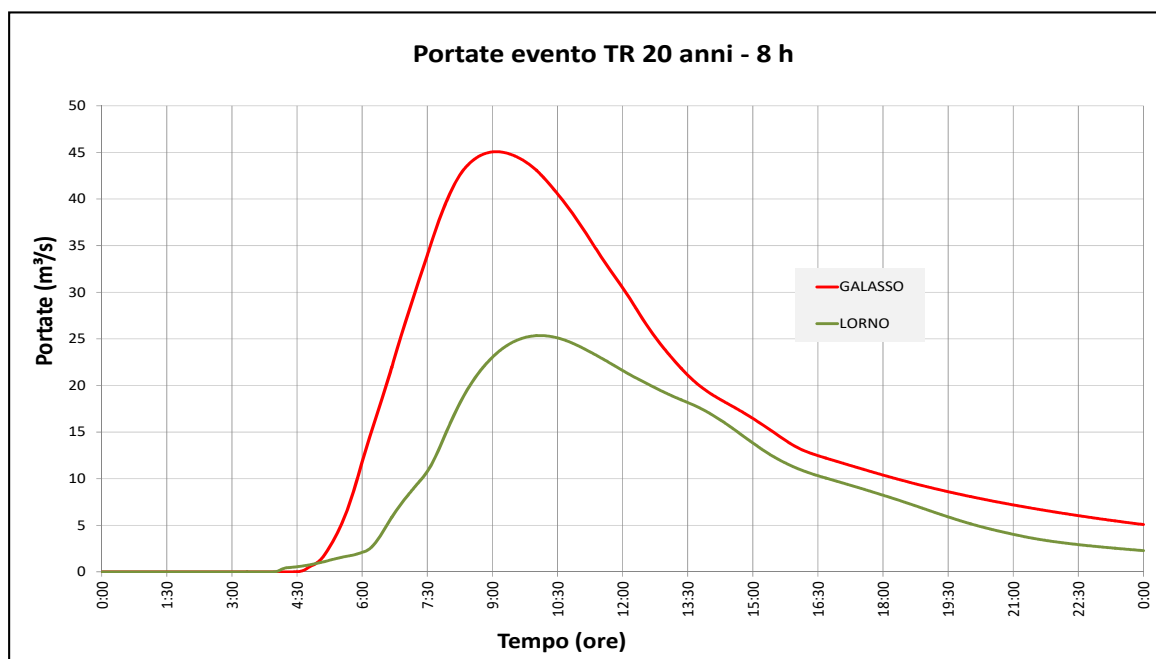


Figura 9 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 20 anni e durata 8 ore. (da "Progetto AIPO").

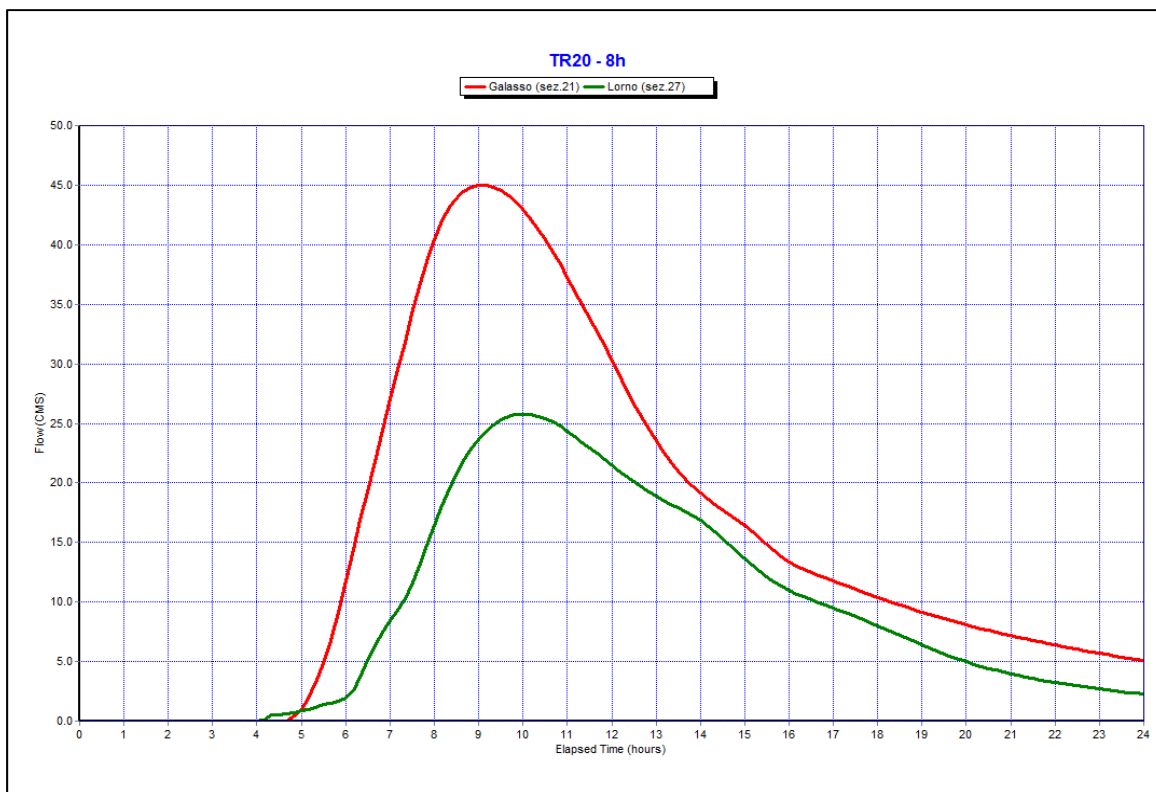


Figura 10 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 20 anni e durata 8 ore. (da modello effettuato appositamente per questo studio).

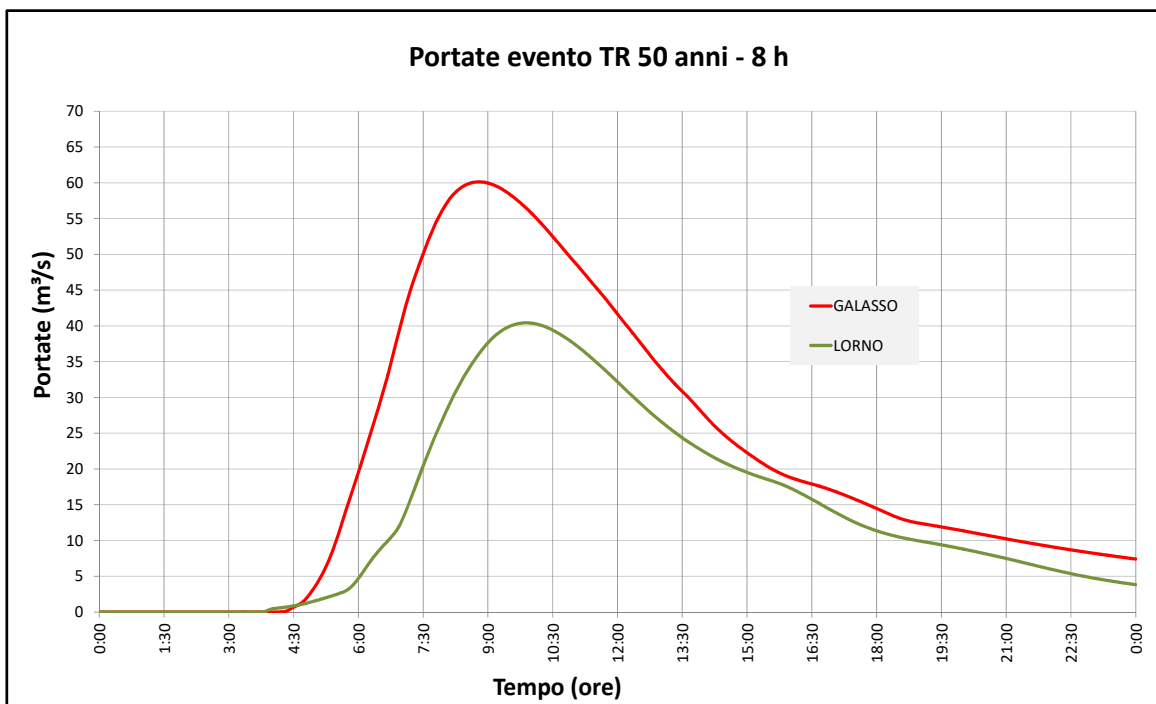


Figura 11 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 50 anni e durata 8 ore. (da “Progetto AIPO”).

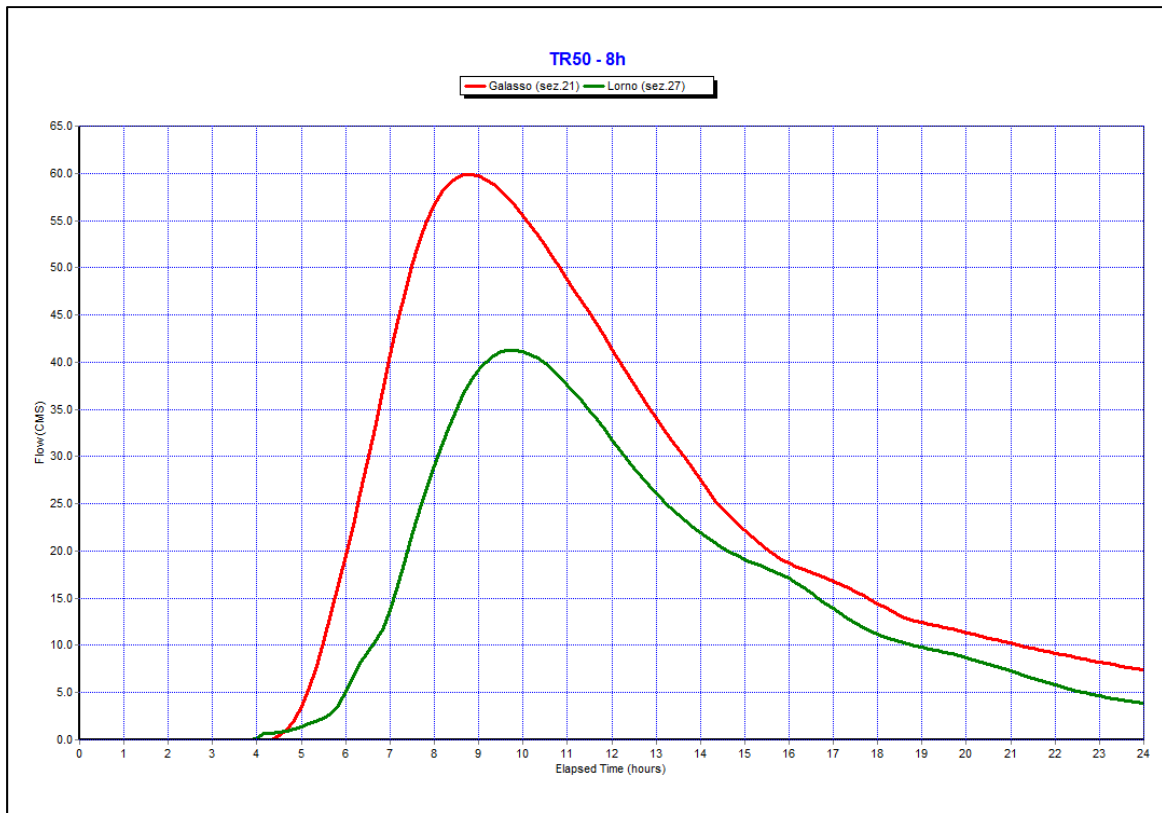


Figura 12 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 50 anni e durata 8 ore. (da modello effettuato appositamente per questo studio).

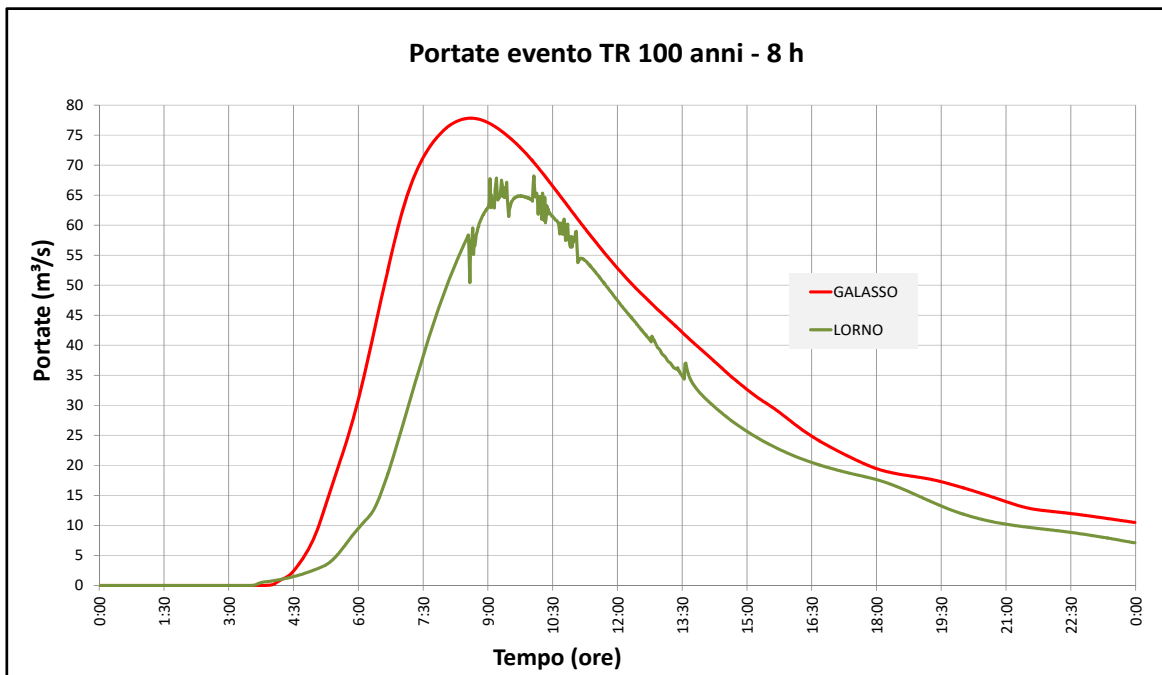


Figura 13 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 100 anni e durata 8 ore. (da “Progetto AIPO”).

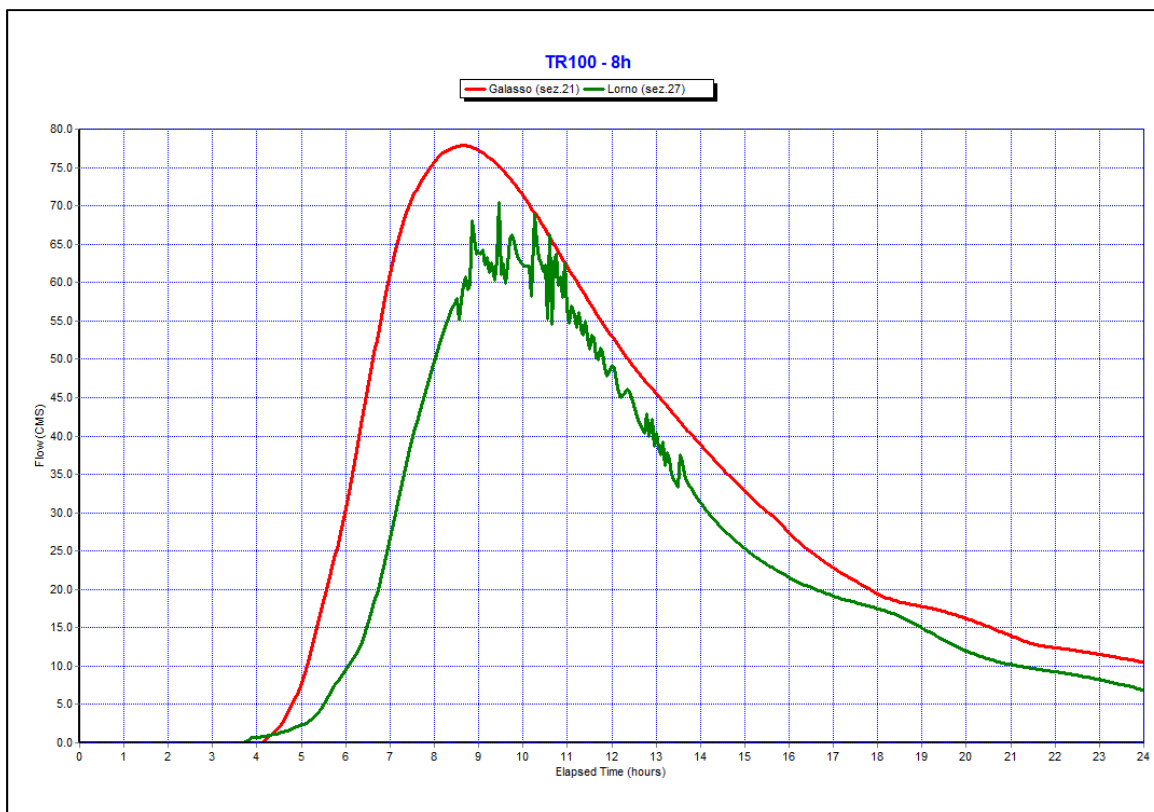


Figura 14 – Idrogramma in uscita prima della confluenza L-G con TR 100 anni e durata 8 ore. (da modello effettuato appositamente per questo studio).

3.5.2 DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA

In questo capitolo verranno esposti i risultati in termini di idrogrammi ricavati dalle sezioni di Lorno (10L) e Galasso (10G), ubicate rispettivamente ad una distanza di 12.50 Km e 11.00 Km a monte della loro confluenza, che costituiranno le condizioni iniziali del modello idraulico.

Di seguito verranno forniti i valori di portata al colmo per le sezioni di Lorno e Galasso, utilizzate come sezioni d'ingresso per il modello idrologico, per i diversi tempi di ritorno e per una durata di 8 ore.

Portata al colmo in ingresso (m ³ /s)		
TR	Lorno	Galasso
20	22.87	40.99
50	36.41	52.77
100	57.89	66.67

Tabella 4 – Portata al colmo alla sezione 10L (Lorno) e alla sezione 10G (Galasso) per i tempi di ritorno di riferimento.

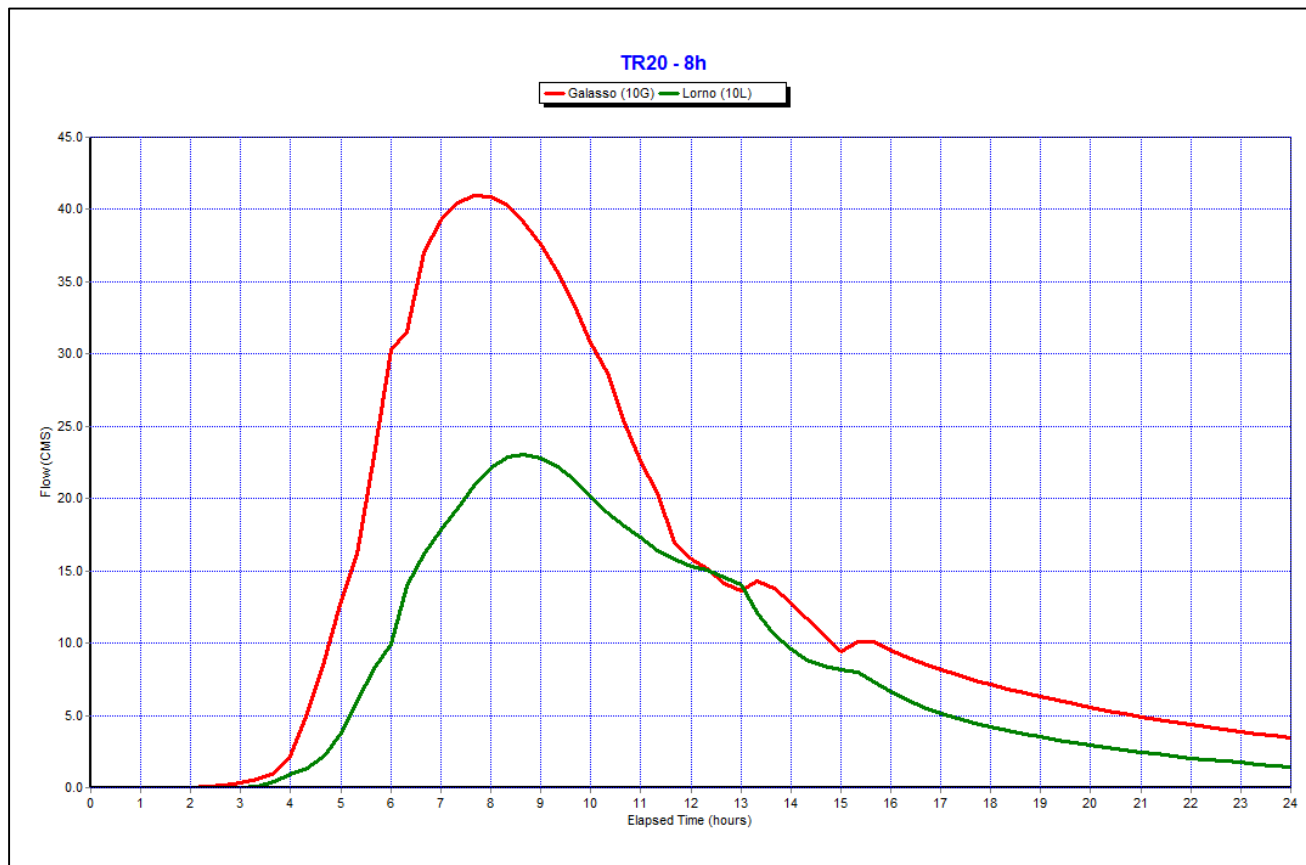


Figura 15 – idrogrammi d’ingresso per il TR di 20 anni.

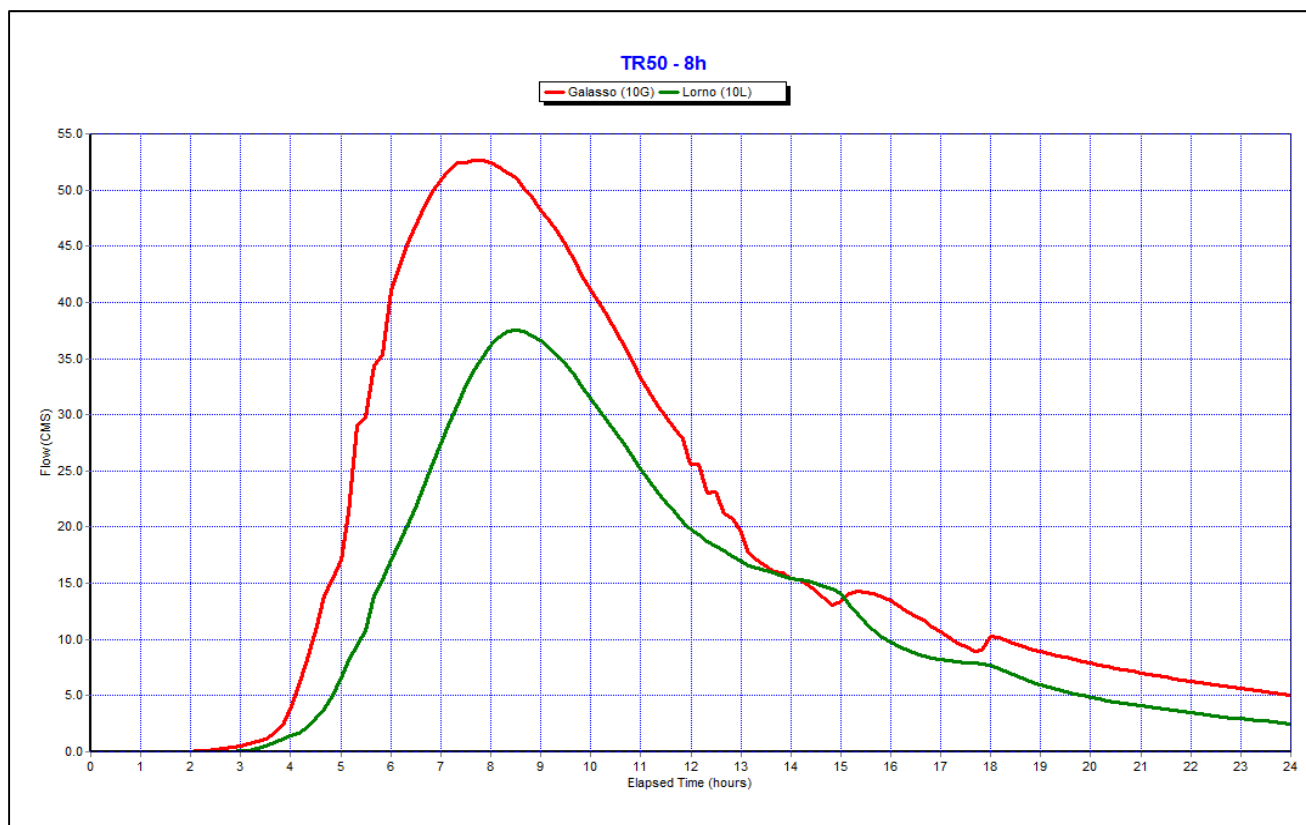


Figura 16 – idrogrammi d’ingresso per il TR di 50 anni.

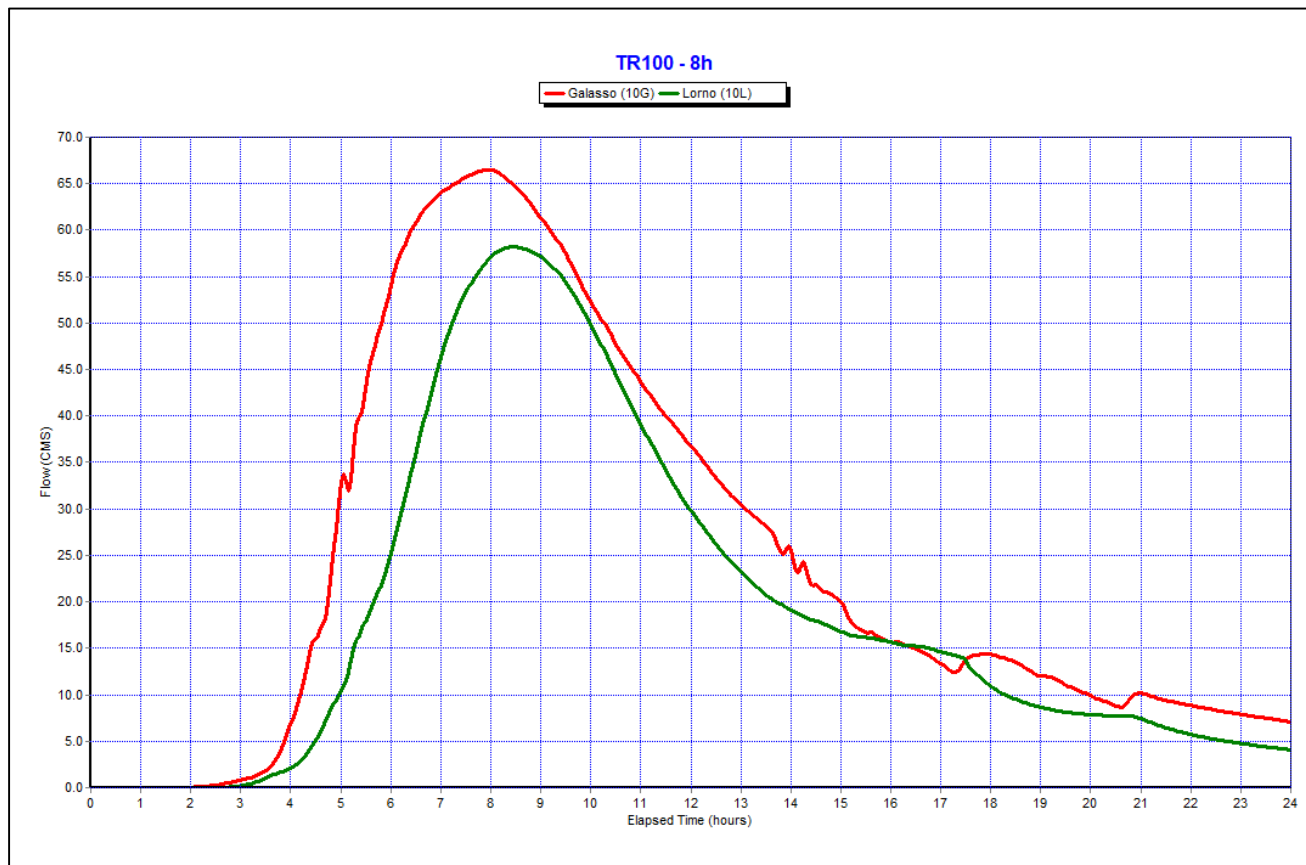


Figura 17 – idrogrammi d’ingresso per il TR di 100 anni.

Inoltre, per tener conto della porzione di territorio a valle delle sezioni di ingresso del modello idraulico e del relativo contributo di deflusso, sarà opportuno considerare, all’interno del modello idraulico, i contributi laterali corrispondenti. Tali valori sono stati ricavati dalla modellazione idrologica ed inseriti come condizioni al contorno della modellazione idraulica.

Le sezioni corrispondenti agli ingressi laterali inseriti nel modello idraulico sono le sezioni 01 e 15 (rilievo del 2017) per quanto riguarda il canale Lorno e le sezioni 6G (rilievo del 2007), 37 (rilievo del 2019) e 11 (rilievo del 2017) per quanto riguarda il canale Galasso.

Di seguito sono riassunte le portate al colmo degli idrogrammi laterali per eventi con i tempi di ritorno di riferimento e durata di 8 ore.

Portata al colmo degli ingressi laterali (m³/s)					
TR	LORNO		GALASSO		
	Sez. 1 (2017)	Sez. 15 (2017)	Sez. 6G (2007)	Sez. 37 (2019)	Sez. 11 (2017)
20	1.20	3.86	5.14	1.12	3.60
50	1.84	5.99	7.24	1.52	5.09
100	2.76	9.20	10.36	2.06	7.09

Tabella 5 – Portata al colmo degli ingressi laterali per i tempi di ritorno di riferimento.

Di seguito sono riportati gli idrogrammi dei contributi laterali.

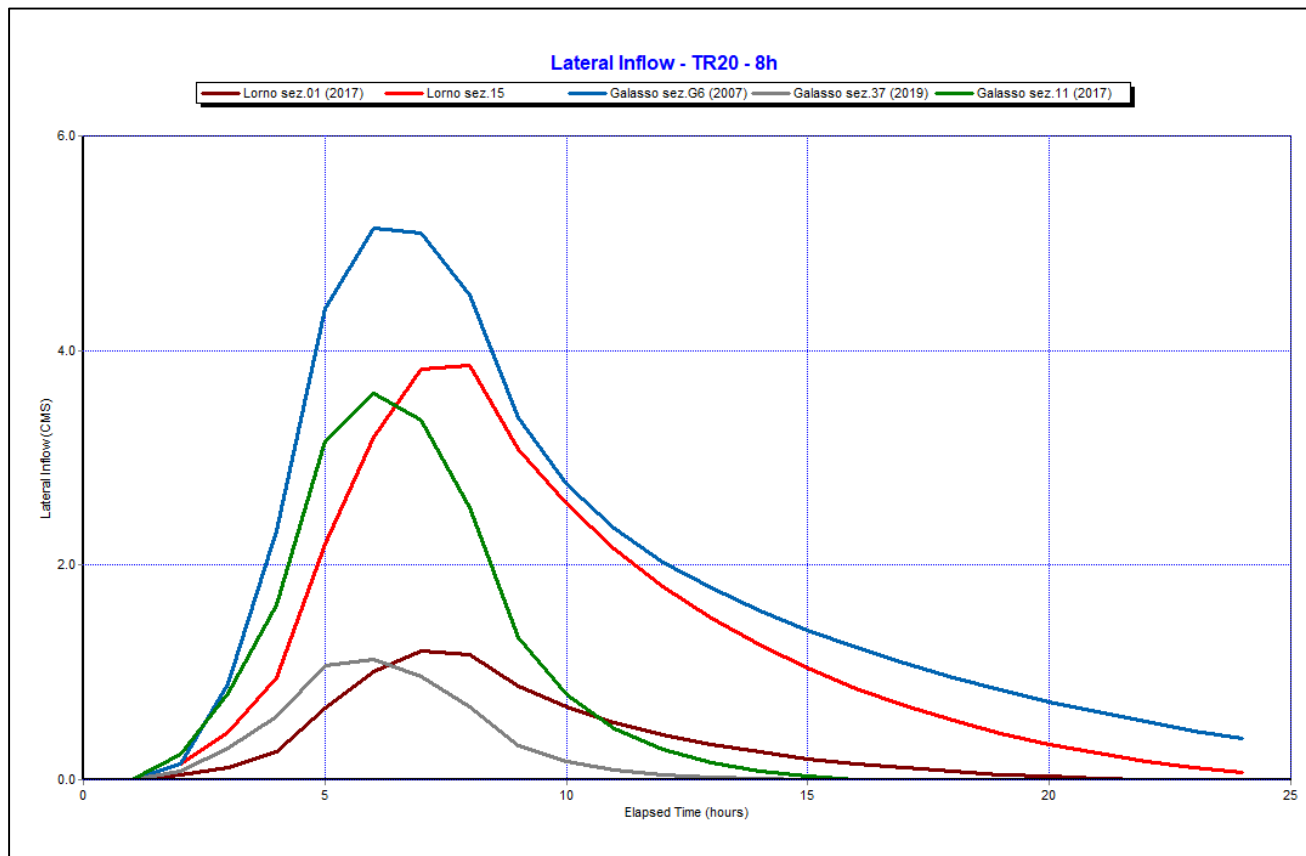


Figura 18 – idrogrammi laterali per il TR di 20 anni.

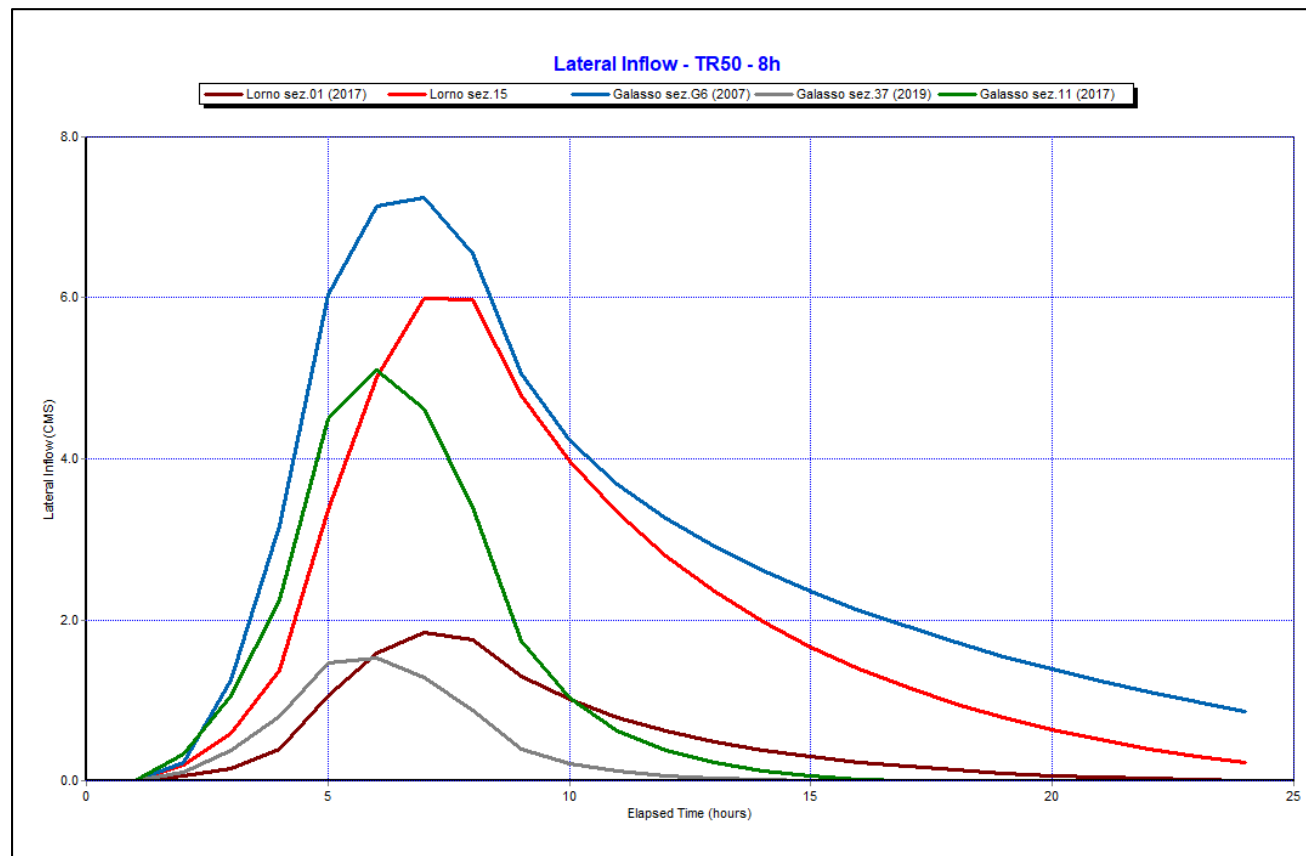


Figura 19 – idrogrammi laterali per il TR di 50 anni.

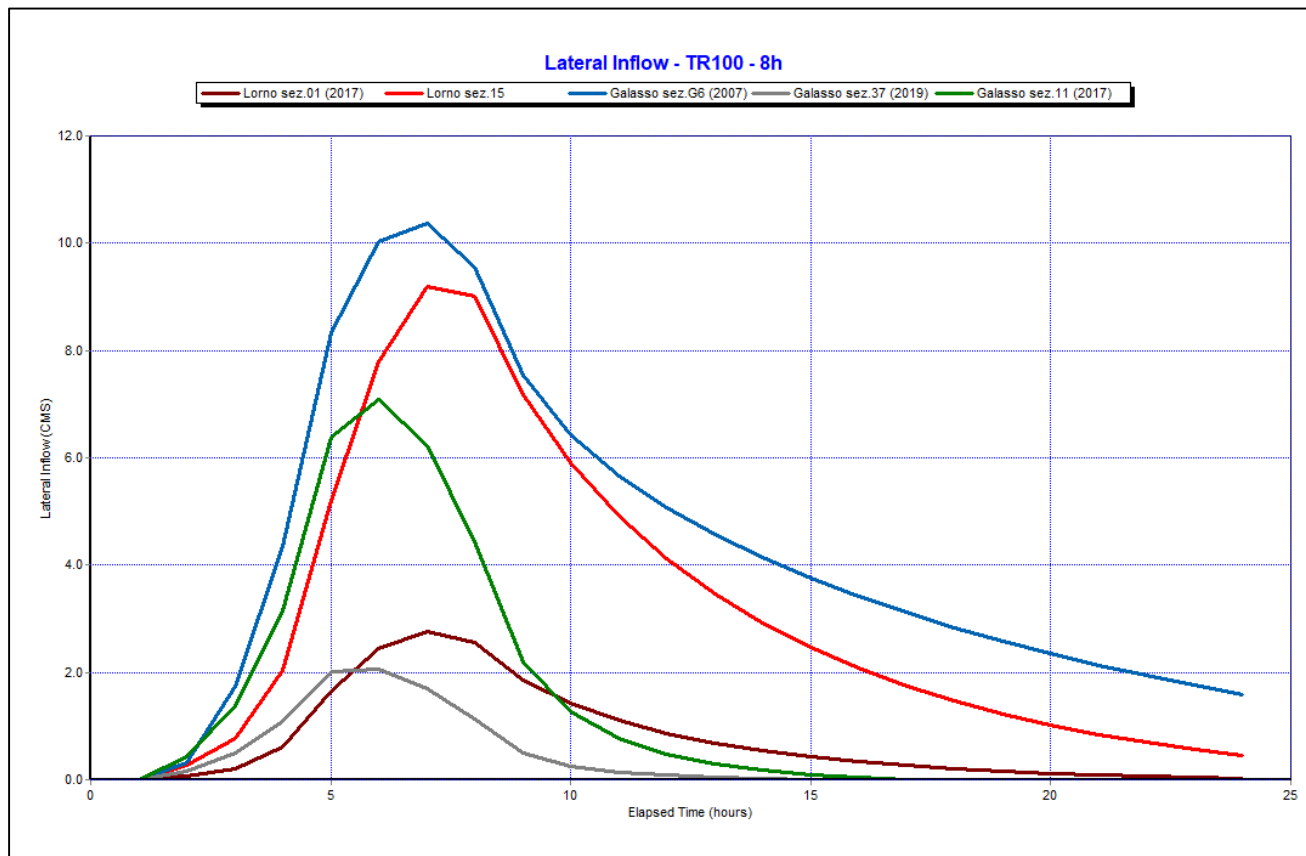


Figura 20 – idrogrammi laterali per il TR di 100 anni.

3.5.3 DEFINIZIONE DELL'IDROGRAMMA TR100 LAMINATO

Per poter affrontare la tematica oggetto di questo capitolo, è opportuno anticipare alcuni risultati della modellazione idraulica. Dopo una prima simulazione in moto uniforme con tutti i tempi di ritorno di riferimento, si è potuto vedere che le due aste principali sono insufficienti a contenere le portate defluite per un TR di 100 anni, sia nello stato attuale che di progetto, senza prevedere un adeguato rialzo arginale, tanto in corrispondenza della cassa, dove in prossimità di corde molli si aggirerebbe intorno agli 80 cm, quanto in tutto il tratto di monte dei due canali. Di fronte all'eventualità di interventi così consistenti, in accordo con il Consorzio di Bonifica Parmense, ente gestore dei canali, si è deciso, partendo da un evento con TR di 100 anni, di definire un idrogramma laminato da eventuali manufatti di regolazione a monte dell'intervento in progetto in modo tale che la portata al colmo sia pari al massimo sostenibile dal sistema drenante ma con una coda molto più distesa, in modo tale da simulare la restituzione delle portate a monte della cassa e di conseguenza mantenendo invariato il volume totale dell'idrogramma in questione rispetto a quello dell'evento con TR di 100 anni. Lo scopo è quello di valutare una situazione sostenibile, evitando esondazioni e permettendo così alla cassa di sfruttare tutta la sua capacità di invaso, essendo una riprofilatura degli argini di difficile realizzazione. Questo tipo di evento può verificarsi solo grazie ad una laminazione delle portate ad opera di organi regolatori posti a monte della zona di intervento. All'interno del modello idraulico si è dunque considerato che a monte

del bacino in esame, l'idrogramma risultante dall'evento con TR di 100 anni venga laminato da opportune organi regolatori e il cui volume invasato venga lentamente restituito dal sistema.

Dopo aver eseguito la simulazione si è potuto ricavare gli idrogrammi risultanti alle sezioni 10G per il Galasso e 10L per il Lorno che verranno utilizzati come condizioni iniziali delle simulazioni idrauliche dell'evento che chiameremo **TR100-LAM**.

In definitiva abbiamo ottenuto due idrogrammi compatibili con la geometria di progetto, ovvero con un picco paragonabile a quello dell'evento con TR di 20 anni, ma con una coda molto più distesa, in modo tale che il volume totale fosse paragonabile a quello calcolato dall'idrogramma con TR di 100 anni.

Questo ci ha permesso di valutare la risposta della cassa ad un evento con TR di 100 anni opportunamente laminato a monte senza prevedere un rialzo arginale troppo impegnativo.

Per il canale Lorno la portata al colmo è di circa 23 mc/s mentre per il canale Galasso la portata al colmo è di circa 37 mc/s. Durante questo evento, gli idrogrammi laterali utilizzati sono quelli con TR di 100 anni in quanto per la porzione di rete che compete a questi ingressi non è stata ipotizzata alcun tipo di laminazione. Di seguito si riportano gli idrogrammi utilizzati per la simulazione idraulica dell'evento con TR100 LAM.

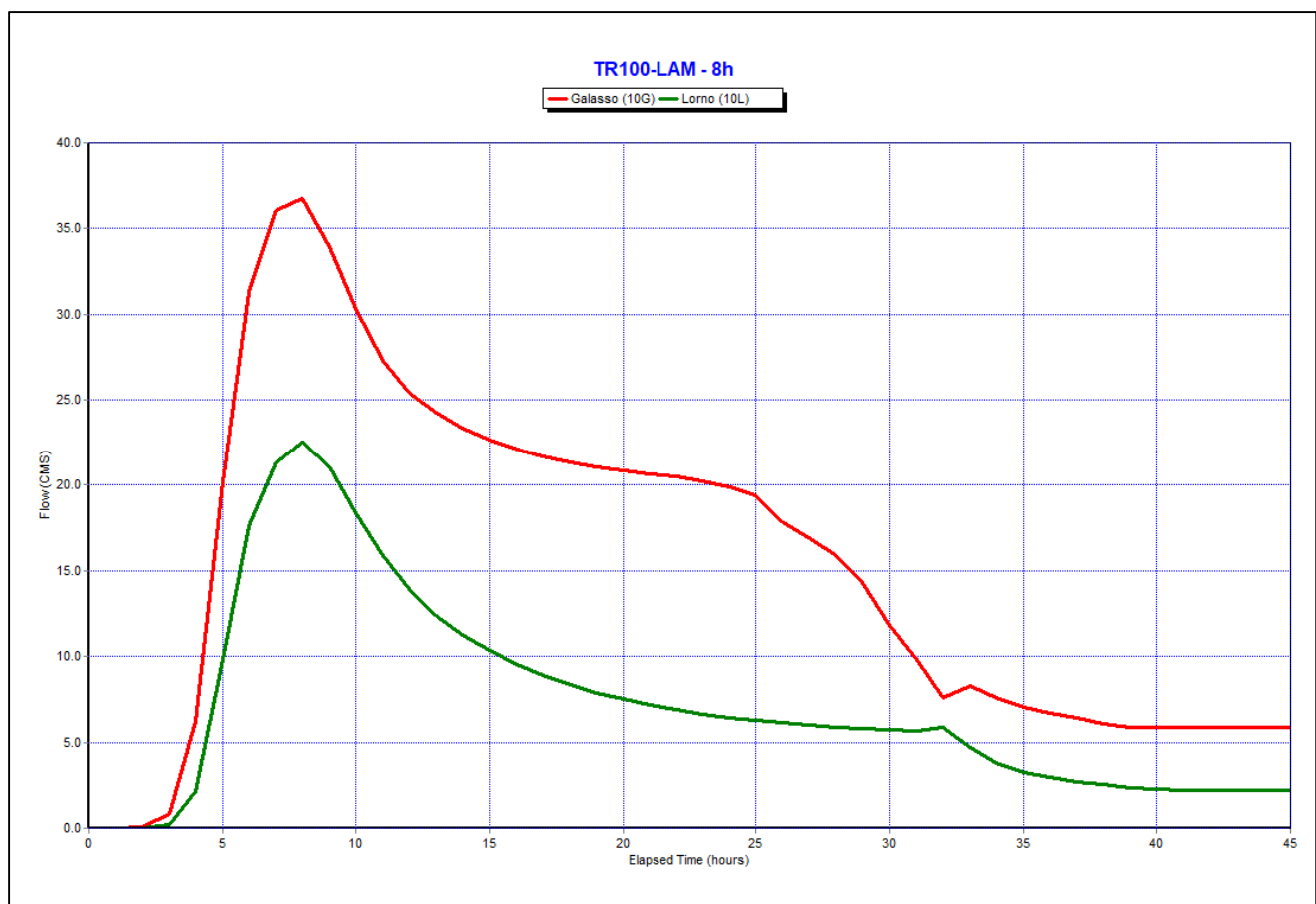


Figura 21 – idrogrammi in ingresso per il TR 100 LAMINATO.

4 Analisi Idraulica

Lo studio è stato impostato sugli elementi morfologici ed idrologici illustrati nei capitoli precedenti, procedendo all'implementazione di un modello numerico di tipo monodimensionale in grado di definire le sollecitazioni idrauliche lungo i tratti in esame dei canali Lorno e Galasso, ed in particolare la risposta del sistema con l'inserimento della cassa di espansione in progetto.

L'obiettivo di tale analisi è di definire i parametri progettuali dei manufatti e della cassa d'espansione in termini di volumi e di tiranti idrometrici al fine di migliorare la sicurezza idraulica delle aste Lorno e Galasso e definirne il migliore funzionamento possibile.

Il modello utilizzato per le simulazioni è HEC-RAS River Analysis System, elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers (versione 5.0.7, marzo 2019).

In prima fase le simulazioni sono state effettuate a moto uniforme per definire le portate di non superamento della soglia di sfioro nei due canali in questione, per poi meglio calibrare il modello grazie alle simulazioni in moto vario. L'arco temporale utilizzato di 2 settimane ha permesso di valutare i tempi di svuotamento della cassa d'espansione a seguito di un evento di piena.

Le analisi idrauliche sono state svolte considerando quattro differenti scenari idrologici di progetto distinti: piena di progetto TR 20, 50, 100 anni e TR100-LAM. In particolare le configurazioni geometriche analizzate sono tre:

- **Configurazione A:** si schematizza il funzionamento idraulico Lorno – Galasso – t. Parma tenendo chiusa la chiavica Motta (f. Po) e porte Vinciane aperte (t. Parma). Per tale scenario sono state simulate tutte le piene di progetto e per differenti livelli del t. Parma.
- **Configurazione B:** prevede l'apertura della chiavica Motta e la chiusura delle porte Vinciane, simulando il canale "Va e Vieni" con scarico diretto libero in Po (moto uniforme). Tale configurazione si basa sull'ipotesi che le porte Vinciane sul t. Parma si attivino per un evento con tempo di ritorno 5 anni e che tale evento non sia correlato ad un evento di piena generato sul canale Lorno/Galasso. In queste condizioni il tempo di ritorno complessivo di una piena simultanea su Lorno e Parma è dato dal prodotto dei tempi di ritorno degli eventi sui due corpi idrici (eventi non correlati), ad esempio una piena di progetto TR 20 anni sul canale Lorno, simultanea ad una piena del t. Parma di 5 anni costituisce un evento complessivo dell'intero sistema stimabile ad un tempo di ritorno di circa 100 anni.
- **Configurazione C:** prevede l'apertura della chiavica Motta e la chiusura delle porte Vinciane, simulando il canale "Va e Vieni" con scarico diretto in Po con livelli idrometrici fissati.

4.1 IL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS

Il modello utilizzato, è HEC-RAS River Analysis System, elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell' US Army Corps of Engineers (versione 5.0.7, marzo 2019).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani.

Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni di portata, tiranti idrometrici, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica in condizioni di moto permanente, per effetto della morfologia dell'alveo, della sua resistenza d'attrito e della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e traverse).

Il modello calcola i profili di moto per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista, ed è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni dei moti permanenti nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), calcolate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta oppure, in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed, eventualmente, in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, oltre alle condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente. L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,
- Z_1, Z_2 quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,
- V_1, V_2 velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,
- α_1, α_2 coefficienti di velocità,
- h_e perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left(\alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- L distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2
- S_f pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2
- C coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito S_f è valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q|Q| / (A^2 R^{4/3})$$

dove n è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche $n=1/c$ con c di Gauckler-Strickler) ed R è il raggio idraulico.

L'equazione differenziale del moto è integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che sono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

4.2 IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO

Le **condizioni iniziali** del modello sono rappresentate dai carichi in termini di portata ricavati dalla modellazione idrologica. Vanno inoltre inseriti gli idrogrammi laterali che rappresentano gli ingressi distribuiti a valle del punto di inizio modellazione ricavati dalla modellazione idrologica. Gli idrogrammi considerati saranno quelli ottenuti dalla simulazione di eventi con **TR di 20, 50 e 100 anni**, oltre all'evento denominato **TR 100-LAM** descritto al capitolo 3.5.3. Per quanto riguarda le **condizioni al contorno di valle** sono state ipotizzate diverse configurazioni: una che consideri portate di magra circolanti nel torrente Parma in cui quindi la condizione al contorno di valle è l'altezza di moto uniforme (A), e una configurazione che consideri il torrente Parma in piena in cui come condizioni al contorno è definito un livello idrometrico del torrente Parma (B). Inoltre, è stata esaminata anche una configurazione più critica che consideri la contemporaneità dei livelli di piena sia nel Parma che nel Po (C). Per quanto riguarda la **scabrezza** dell'alveo è stato considerato un coefficiente di Strickler pari a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, uniforme lungo il contorno bagnato dell'alveo attivo.

Di seguito vengono elencati gli elementi geometrici modellati nelle diverse configurazioni:

- **Configurazione A:** si schematizza il funzionamento idraulico Lorno – Galasso – t. Parma tenendo chiusa la chiavica Motta (f. Po) e porte Vinciane aperte (t. Parma). Per tale scenario sono state simulate tutte le piene di progetto e per differenti livelli del t. Parma.
- **Configurazione B:** prevede l'apertura della chiavica Motta e la chiusura delle porte Vinciane, simulando il canale "Va e Vieni" con scarico diretto libero in Po (moto uniforme). Tale configurazione si basa sull'ipotesi

che le porte Vinciane sul t. Parma si attivino per un evento con tempo di ritorno 5 anni e che tale evento non sia correlato ad un evento di piena generato sul canale Lorno/Galasso. In queste condizioni il tempo di ritorno complessivo di una piena simultanea su Lorno e Parma è dato dal prodotto dei tempi di ritorno degli eventi sui due corpi idrici (eventi non correlati), ad esempio una piena di progetto TR 20 anni sul canale Lorno, simultanea ad una piena del t. Parma di 5 anni costituisce un evento complessivo dell'intero sistema stimabile ad un tempo di ritorno di circa 100 anni.

- **Configurazione C:** prevede l'apertura della chiavica Motta e la chiusura delle porte Vinciane, simulando il canale "Va e Vieni" con scarico diretto in Po con livelli idrometrici definiti dallo "Studio Giavarini" del luglio del 2007.

Nella seguente tabella sono riassunti gli scenari delle configurazioni A, B e C con le evidenziate le diverse condizioni al contorno di valle.

Configurazione		Condizione al contorno t. Parma	Condizione al contorno f. Po
		Porte Vinciane	Chiavica Motta
A	A1	Moto uniforme, pendenza 0.15%	Chiusa
	A2	Livello idrometrico 30,00 m	Chiusa
	A3	Livello idrometrico 30,50 m	Chiusa
	A4	Livello idrometrico 31,00 m	Chiusa
	A5	Livello idrometrico 31,50 m	Chiusa
B	B1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%
	B2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%
	B3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%
	B4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%
C	C1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Livello idrometrico 29,30 m
	C2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Livello idrometrico 30,00 m
	C3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Livello idrometrico 30,50 m
	C4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Livello idrometrico 31,00 m

Tabella 6 – Tabella riassuntiva dei vari scenari simulati.

Ogni scenario è stato simulato con i TR di riferimento (20, 50, 100 e 100-LAM). Inizialmente tutte le simulazioni sono state condotte in moto uniforme per poter definire la portata di non stramazzo e per valutare la portata massima sostenibile utile per definire l'idrogramma di riferimento del TR100-LAM. Successivamente, la modellazione in moto vario ha permesso di meglio calibrare i parametri idraulici dei manufatti e di ottenere risultati più precisi. Tutte le simulazioni menzionate sono state ripetute sia per lo stato di fatto che per lo stato di progetto.

4.3 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'ALVEO

Il modello idraulico è stato realizzato nella **configurazione A** con due aste principali entrambe della lunghezza di circa 10 Km. Esse rappresentano il Galasso, per cui sono state utilizzate 7 sezioni del rilievo del 2007, le 21 sezioni disponibili del rilievo del 2017 oltre alle 36 sezioni del rilievo del 2019 in corrispondenza della cassa, e il Lorno, per cui sono state utilizzate 5 sezioni del rilievo del 2007, le 28 sezioni disponibili del rilievo del 2017 oltre alle 26 sezioni del rilievo del 2019 in corrispondenza della cassa. I due canali hanno una pendenza media dello 0.15% con una quota di fondo che va da 32.15 m s.l.m. a 24.27 m s.l.m. per il Galasso e una quota di fondo che va da 32.70 m s.l.m. a 21.10 m s.l.m. per il Lorno. La confluenza fra Lorno e Galasso è stata modellata con il comando "junction".

Per quanto riguarda le **configurazioni B e C** invece, va aggiunto, a quanto detto per la configurazione A, la modellazione del canale Va e Vieni per cui erano a disposizione 4 sezioni dal rilievo del 2017 che è stato unito al canale Lorno grazie al comando "junction" a circa 2.7 Km dalla foce nel torrente Parma. La pendenza del fondo è stata stimata pari allo 0.15% per uno sviluppo totale di circa 900 m.

Le sezioni di ingresso del modello idraulico saranno rispettivamente la 10G alla progressiva 12.50 Km per il canale Galasso e la sezione 10L alla progressiva 11.00 Km per il canale Lorno.

Durante la modellazione è stato previsto l'inserimento di "levee" che consistono nel prolungamento fittizio in altezza dei corpi arginali al fine di prevenire eventuali esondazioni e considerare la portata interamente compresa all'interno dell'alveo. Inoltre sono state inserite numerose sezioni interpolate al fine di diminuire l'intervallo spaziale di calcolo e ottenere una più precisa risposta del software.

4.3.1 CHIAVICHE ESISTENTI DI REGOLAZIONE DEI LIVELLI

All'interno della porzione di rete in esame insistono diversi manufatti presi in considerazione durante la simulazione per poter meglio comprendere il corretto funzionamento del sistema drenante. I manufatti modellati consistono in 3 chiaviche per la regolazione dei livelli: le Porte Vinciane situata circa 100 m a monte della confluenza nel Parma e 150 m a valle rispetto alla confluenza Lorno-Galasso, la chiavica sul Galasso situata circa 150 m a monte della confluenza Lorno-Galasso e la chiavica Motta situata a circa 60 m dall'inizio del canale Vai e Vieni dal canale Lorno.

La figura seguente mostra l'ubicazione delle confluenze e delle strutture di regolazione nel tratto di valle del sistema drenante considerato.

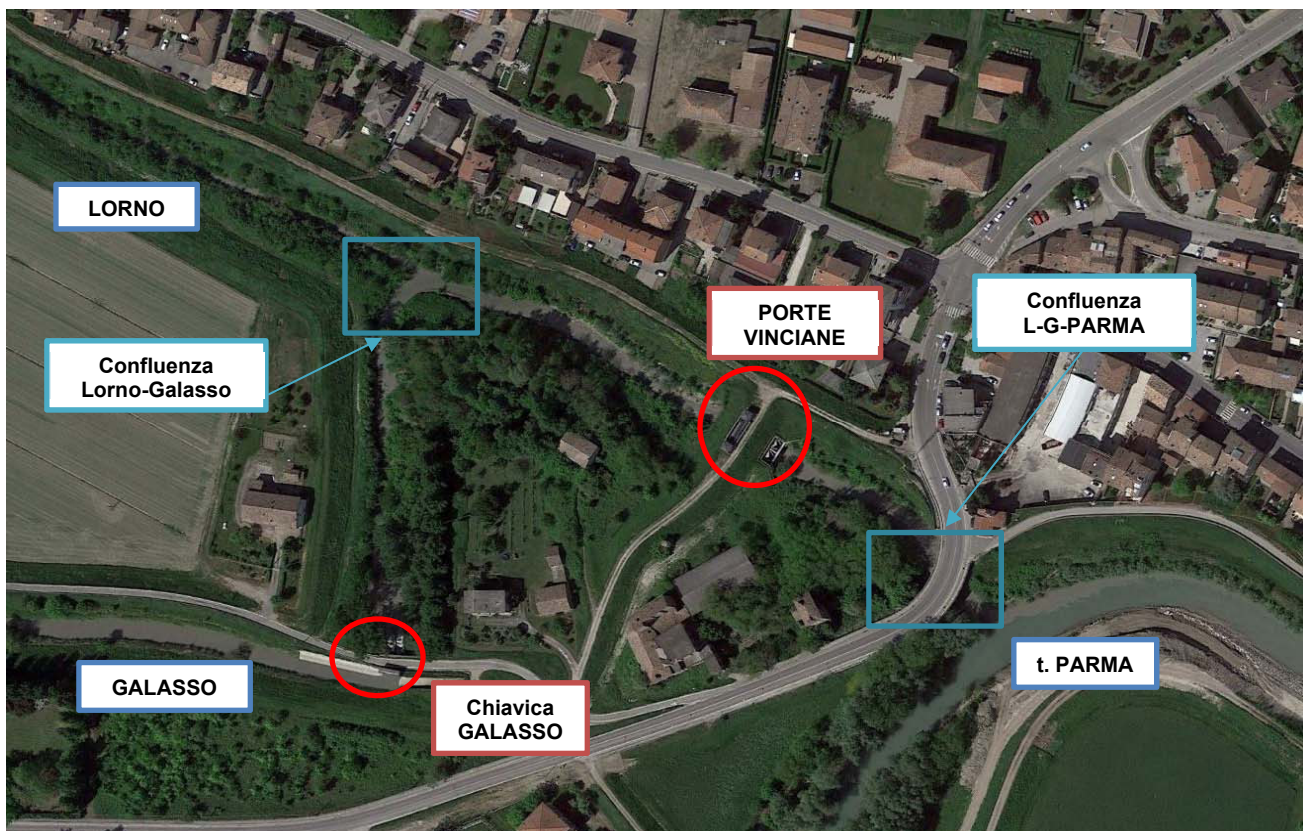


Figura 22 – Dettaglio del nodo idraulico di Colorno

• **Porte Vinciane**

Costituiscono la disconnessione idraulica fra il nodo Lorno-Galasso e il torrente Parma. Sono situate a 100 m a monte della foce nel Parma e a 150 m a valle della confluenza Lorno-Galasso. La chiavica entra in funzione con alti livelli del torrente Parma evitando così rigurgiti all'interno del sistema Lorno-Galasso. Nello stato di progetto costituirà l'organo di modulazione dei livelli per l'invaso della cassa ed è stata modellata come "inline structure" dotata di due paratoie regolabili delle dimensioni di 4,0x4,8 m.

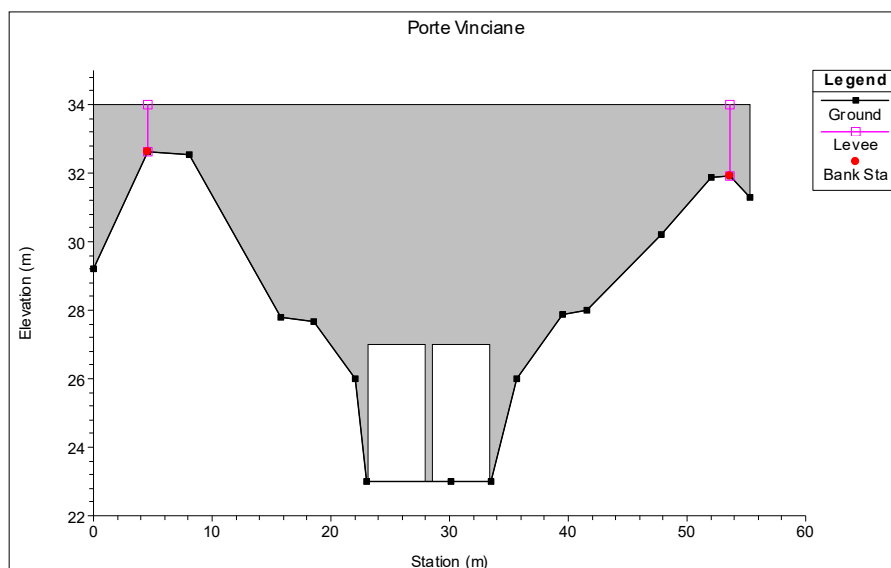


Figura 23 - Porte Vinciane.

• **Chiavica sul Galasso**

Situata a 150 m a monte della confluenza Lorno-Galasso svolge la funzione di regolazione dei livelli del canale Galasso. Dato che, nel caso specifico, non necessita di alcun tipo di regolazione, la struttura è stata modellata come “bridge” a cui è stato associato un “culvert” delle dimensioni di 6,0x1,6 m.

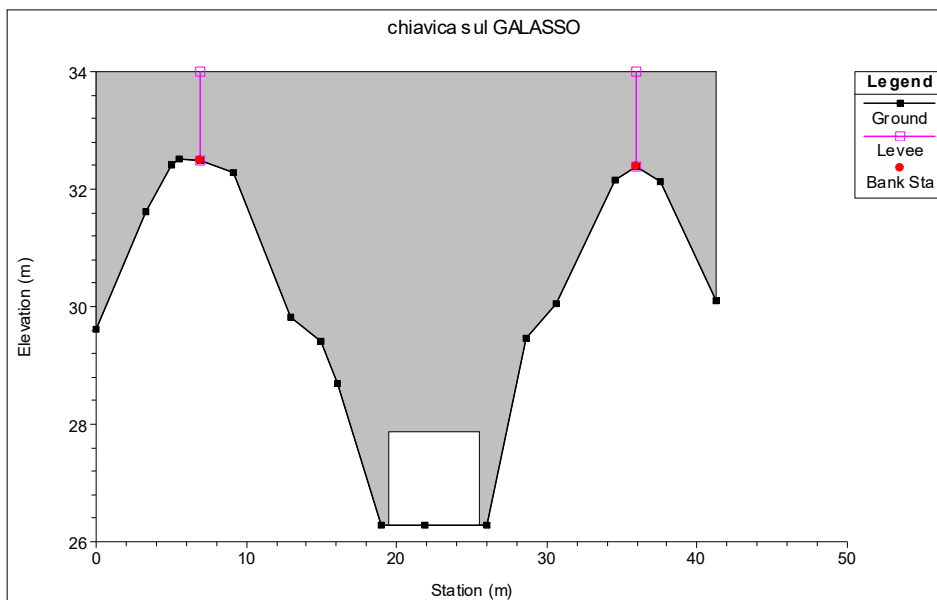


Figura 24 - chiavica sul Galasso.

• **Chiavica Motta**

La chiavica Motta si trova a circa 60 m dall’inizio del diversivo Va e Vieni. Questo canale mette in collegamento il Lorno con il fiume Po ed è in grado di riversarvi le portate in eccesso del sistema di scolo in caso di piena del torrente Parma grazie alla possibilità di regolazione delle paratoie della chiavica Motta che, in condizioni di esercizio con bassi livelli del torrente Parma, resterebbero completamente abbassate. La struttura è stata modellata come una “inline structure” dotata di una paratoia delle dimensioni di 3x2.25 m.

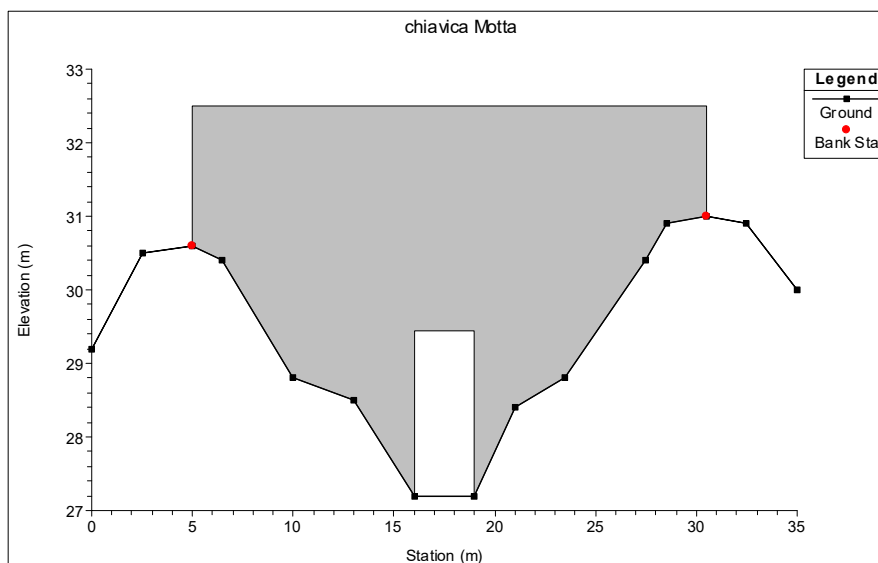


Figura 25 - chiavica Motta.

4.4 PORTATE DI RIFERIMENTO

Gli idrogrammi di portata relativi alle sezioni di ingresso dei due canali costituiscono le condizioni iniziali del modello. Tali valori sono stati ricavati dai risultati della modellazione idrologica e presi in corrispondenza delle sezioni di interesse (10L per il Lorno e 10G per il Galasso). Di seguito si riportano le tabelle riassuntive con le portate al colmo degli idrogrammi di ingresso di Lorno e Galasso per i diversi tempi di ritorno che costituiranno le condizioni iniziali del modello idraulico.

Portata al colmo in ingresso (m³/s)		
TR	Lorno	Galasso
20	22.87	40.99
50	36.41	52.77
100	57.89	66.67
100-LAM	22.55	36.78

Tabella 7 – Portata al colmo alla sezione 10L (Lorno) e alla sezione 10G (Galasso) per i tempi di ritorno di riferimento.

	Lorno		Galasso		
	Valle	Valle	Monte	Cassa	Valle
TR	Sez. 1 (2017)	Sez. 15 (2017)	Sez. 6G (2007)	Sez. 37 (2019)	Sez. 11 (2017)
20	1.20	3.86	5.14	1.12	3.60
50	1.84	5.99	7.24	1.52	5.09
100	2.76	9.20	10.36	2.06	7.09

Tabella 8 – Portata al colmo degli ingressi laterali per i tempi di ritorno di riferimento.

Nei paragrafi seguenti verranno esposti i risultati delle simulazioni in termini di profili di rigurgito, volumi invasati e livelli idrometrici raggiunti all'interno della vasca, per gli scenari e i tempi di ritorno considerati. Il confronto fra lo stato di fatto e lo stato di progetto permetterà di capire l'effetto che l'inserimento della cassa avrà sui profili di rigurgito dei canali Lorno e Galasso.

4.5 RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE: STATO DI FATTO

I risultati della modellazione delle condizioni attuali della rete drenante hanno evidenziato come i canali Lorno e Galasso risultino insufficienti a contenere l'evento di piena con tutti i tempi di ritorno considerati in tutte le configurazioni e gli scenari simulati.

Nello scenario A1, che non prevede la modellazione del canale Vai e Vieni e che utilizza come condizione al contorno di valle l'altezza di moto uniforme, i profili di rigurgito ricavati dalla modellazione superano le quote arginali attuali in corrispondenza della maggior parte dello sviluppo a monte e in prossimità della cassa sia nel canale Lorno che nel canale Galasso, mentre a valle della cassa si riscontrano criticità per eventi con TR di 50 e 100 anni.

Le simulazioni della configurazione A vedono un progressivo innalzamento dei profili passando dallo scenario A2 allo scenario A5, fino a che, nello scenario A5, si riscontrano criticità anche nel tratto a valle della cassa con eventi con TR di 20 anni. Anche nelle configurazioni B e C la simulazione dei diversi scenari evidenzia criticità su tutto il profilo modellato sia per i canali Lorno e Galasso. La chiavica Motta non è sufficiente a permettere il regolare deflusso dell'acqua raccolta all'interno del canale Lorno dopo la chiusura delle Porte Vinciane. Le criticità maggiori si hanno per la configurazione C dove, oltre a diversi livelli di piena del torrente Parma, sono considerati anche diversi livelli di piena del fiume Po. In prossimità della cassa i profili di rigurgito superano le quote arginali attuali in tutti gli scenari delle configurazioni B e C. Per tale motivo di seguito verranno esposti i soli risultati dello scenario A1 che simula le condizioni meno critiche gravanti sul sistema. La configurazione A prevede come condizione al contorno di valle l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza di moto uniforme con pendenza di fondo dello 0.15%.

Le simulazioni sono state effettuate in moto vario per tutti gli scenari considerati e per tutti i tempi di ritorno. Per la determinazione della massima portata sostenibile dal sistema utile per la determinazione dell'idrogramma dell'evento definito TR100-LAM è stata eseguita una simulazione in moto uniforme.

Nei paragrafi seguenti verranno esposti i risultati dello stato di fatto per lo scenario A1 e per i TR di riferimento in termini di profili di rigurgito. Inoltre verranno forniti solo gli idrogrammi delle sezioni a monte dell'opera in progetto, poiché, avendo impostato i "levee" per contenere l'intera portata all'interno dell'alveo dove i livelli idrometrici superano le quote arginali, gli idrogrammi a valle della cassa differiranno dai precedenti solo della laminazione dovuta alla propagazione dell'onda di piena.

4.5.1 SICUREZZA IDRAULICA DELLO STATO ATTUALE

Come già anticipato nel paragrafo 3.5.3, in accordo con il Consorzio di Bonifica Parmense, Ente Gestore dei canali oggetto di studio, si è deciso, di definire un idrogramma che avesse le seguenti caratteristiche: portata al colmo paragonabile alla massima portata sostenibile dai canali oggetto di studio e volume totale paragonabile a quello dell'idrogramma di un evento con TR di 100 anni. Per poter determinare quale fosse la

massima portata sostenibile, anche in relazione all'insufficienza dei rilevati arginali nei tratti di monte all'intervento in progetto, è stata eseguita una prima simulazione a moto uniforme. Tale simulazione ha evidenziato come la massima portata sostenibile dal sistema fosse paragonabile a quella ottenuta da un evento con TR di 20 anni. In particolare, per il canale Lorno la portata al colmo massima sostenibile è di circa 23 mc/s mentre per il canale Galasso tale portata è di circa 37 m³/s.

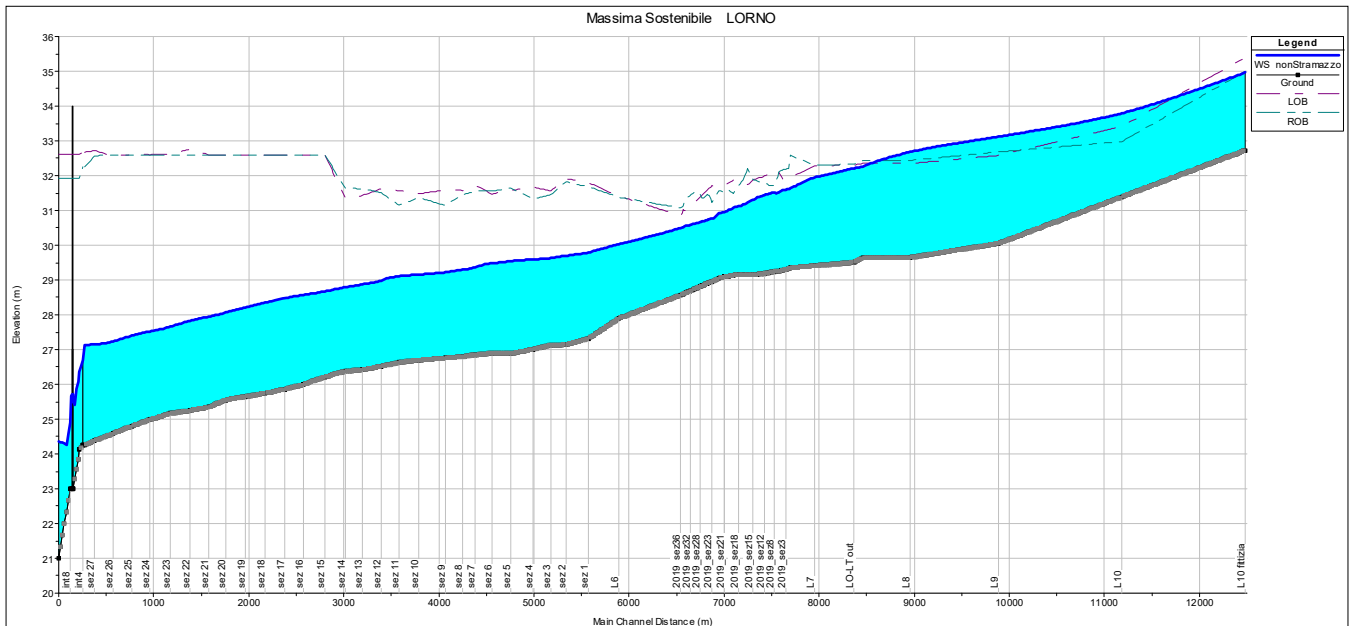


Figura 26 - Profilo di rigurgito nel canale Lorno per la massima portata sostenibile.

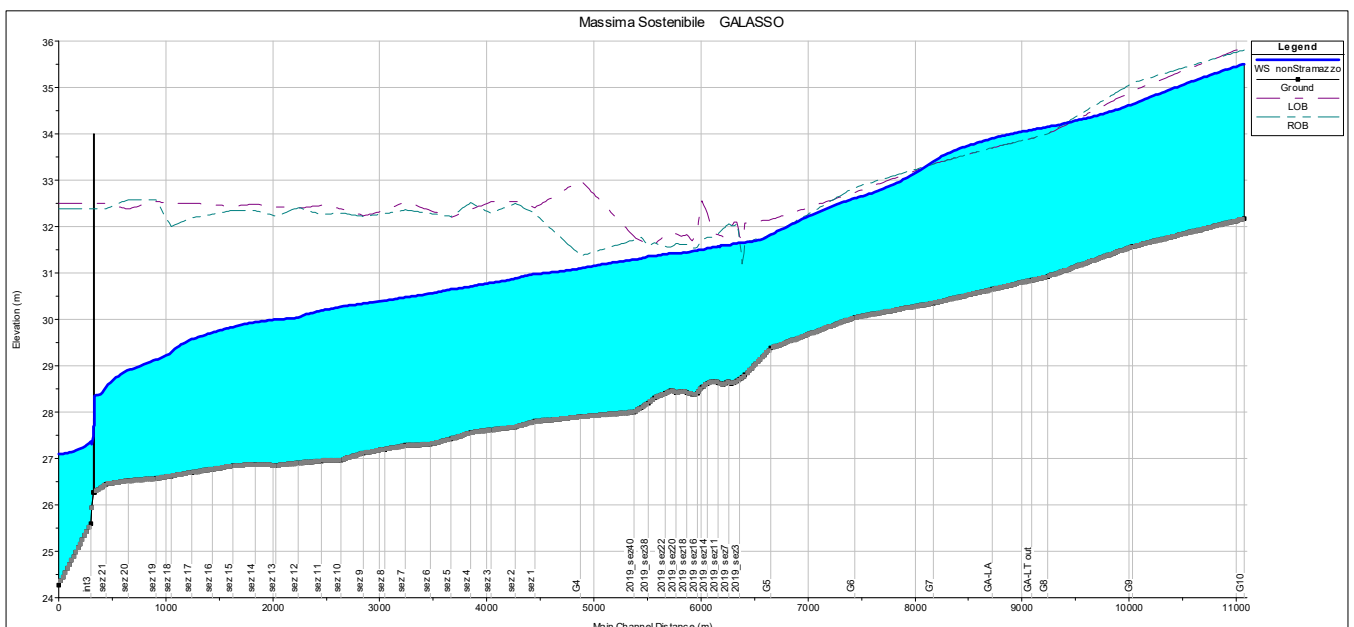


Figura 27 - Profilo di rigurgito nel canale Galasso per la massima portata sostenibile.

4.5.2 TR20: SCENARIO A1

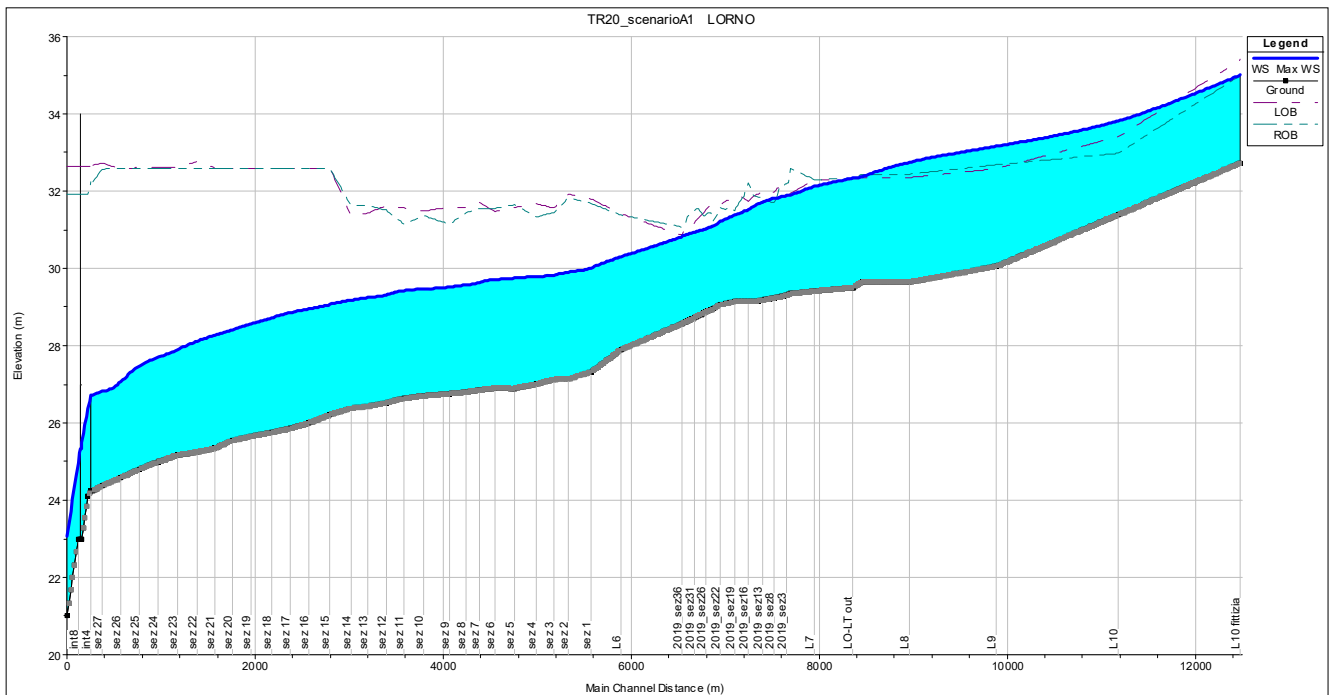


Figura 28 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto.

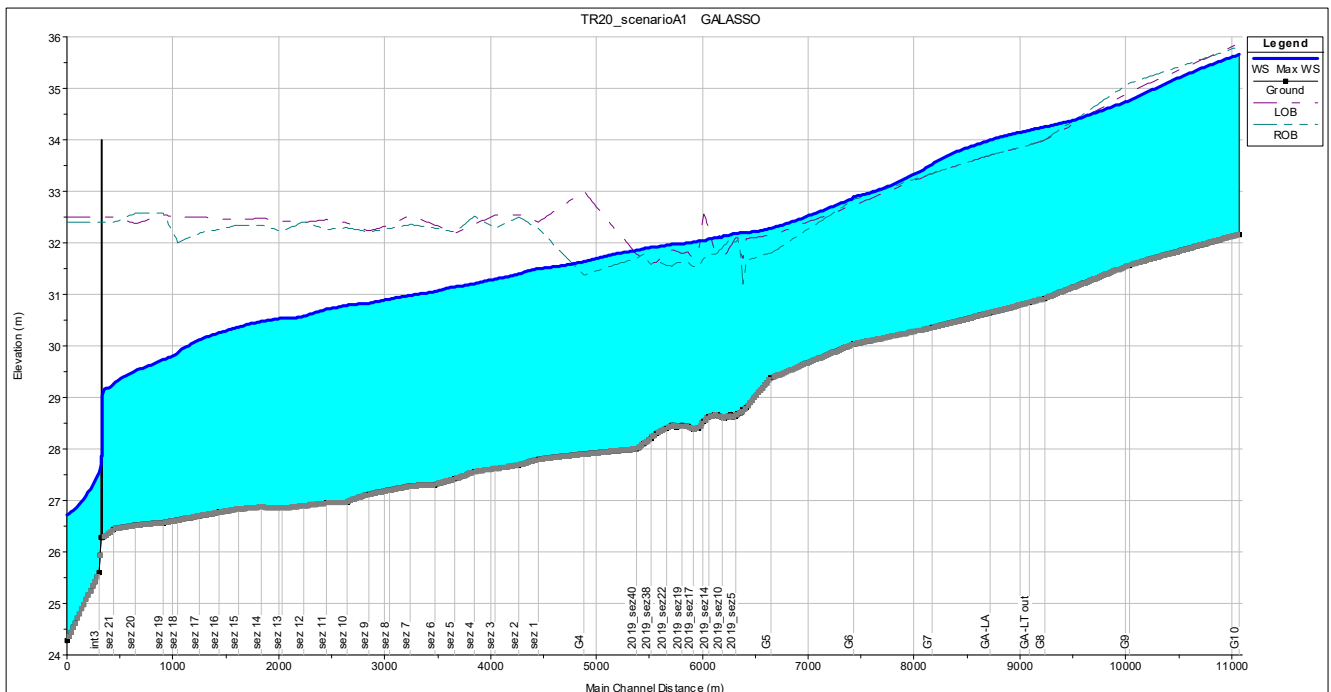


Figura 29 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto.

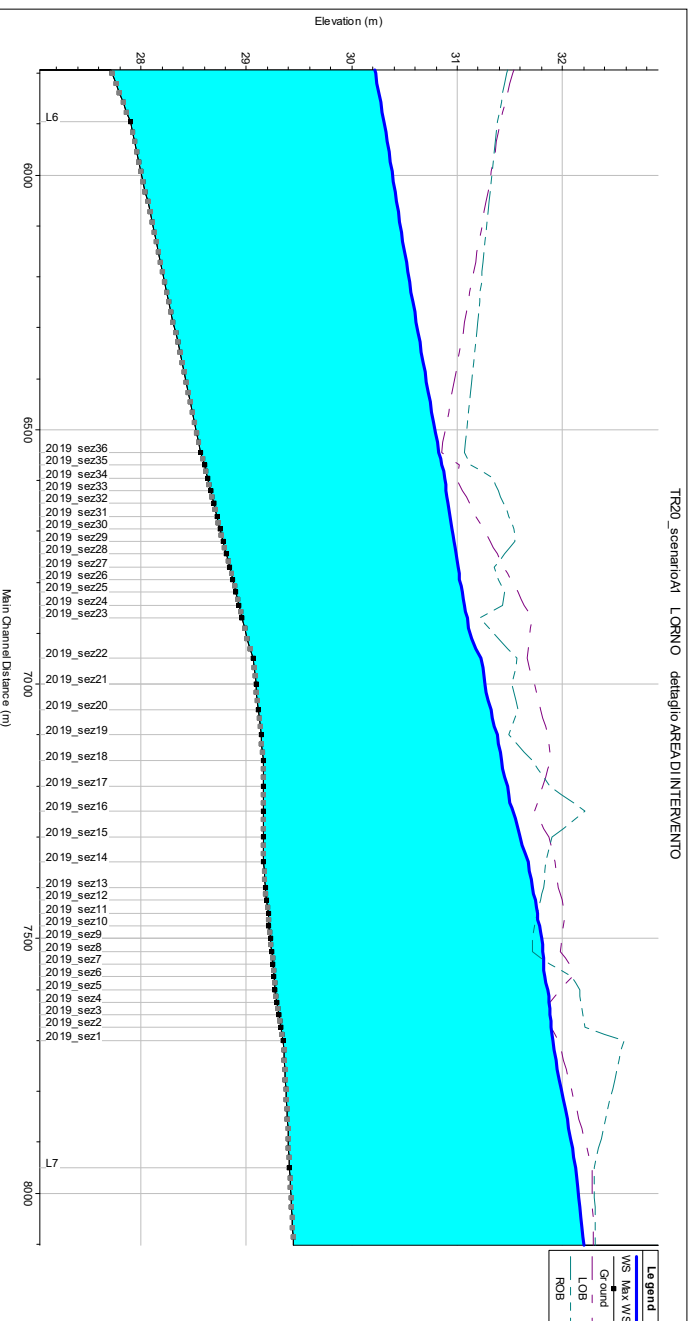


Figura 30 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

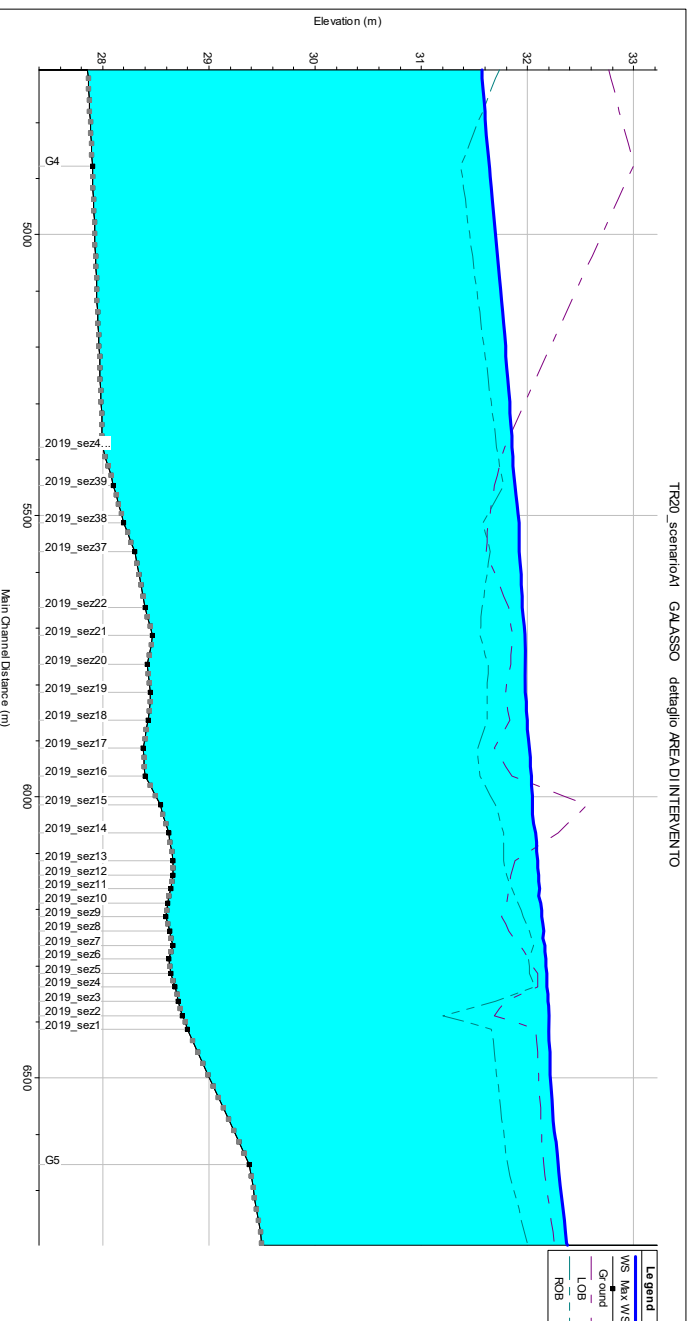


Figura 31 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

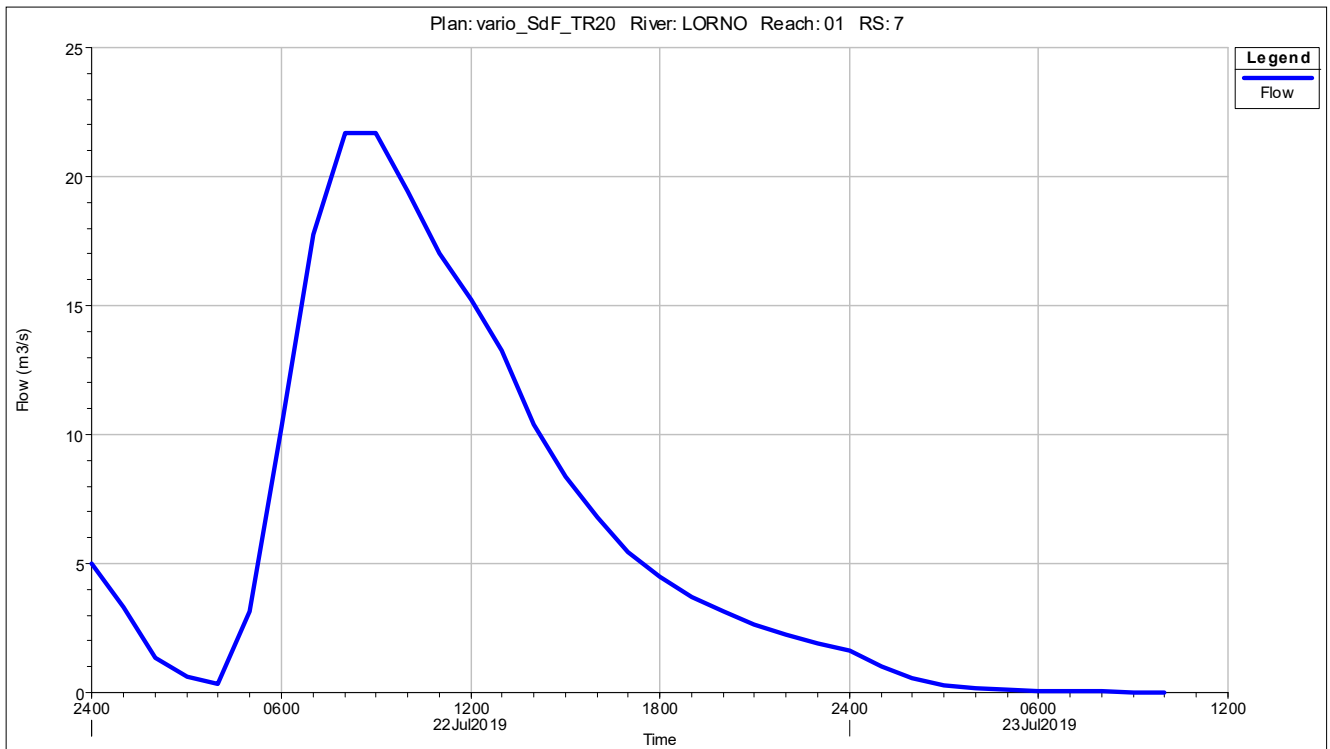


Figura 32 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di fatto.

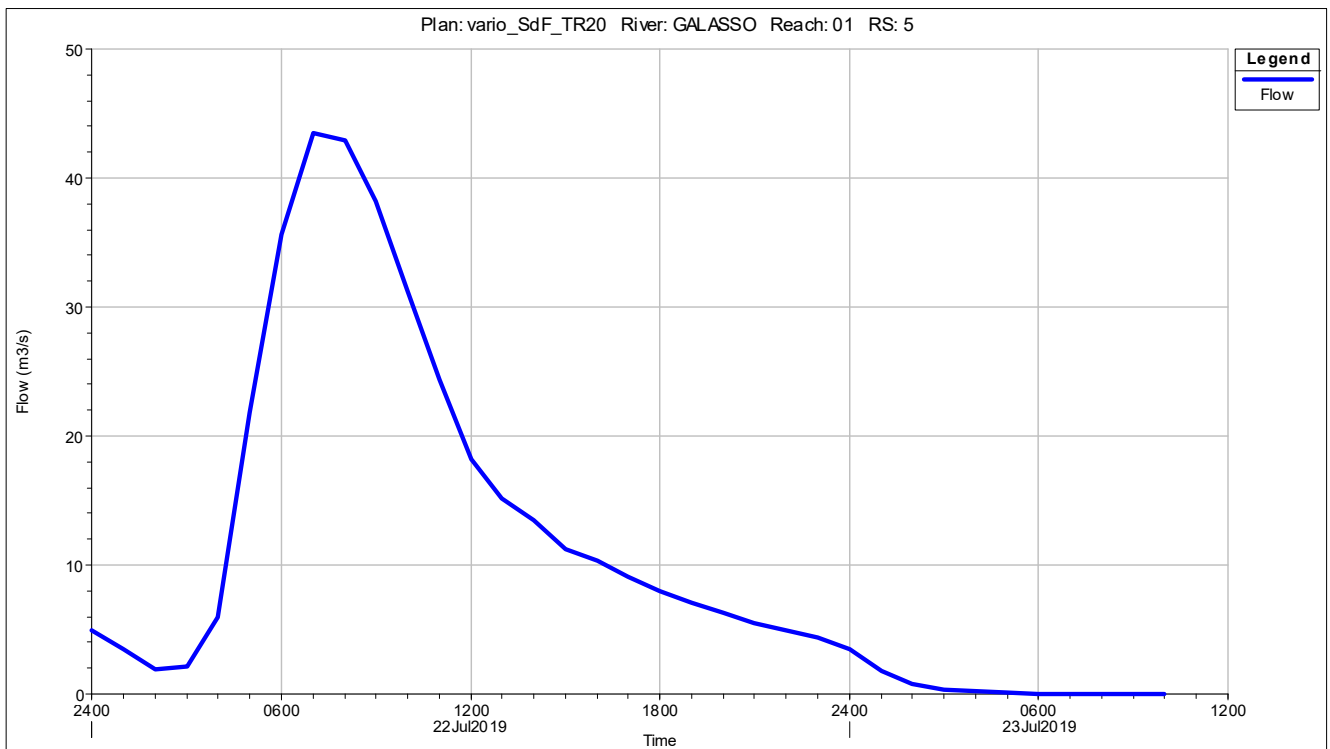


Figura 33 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di fatto.

4.5.3 TR50: SCENARIO A1

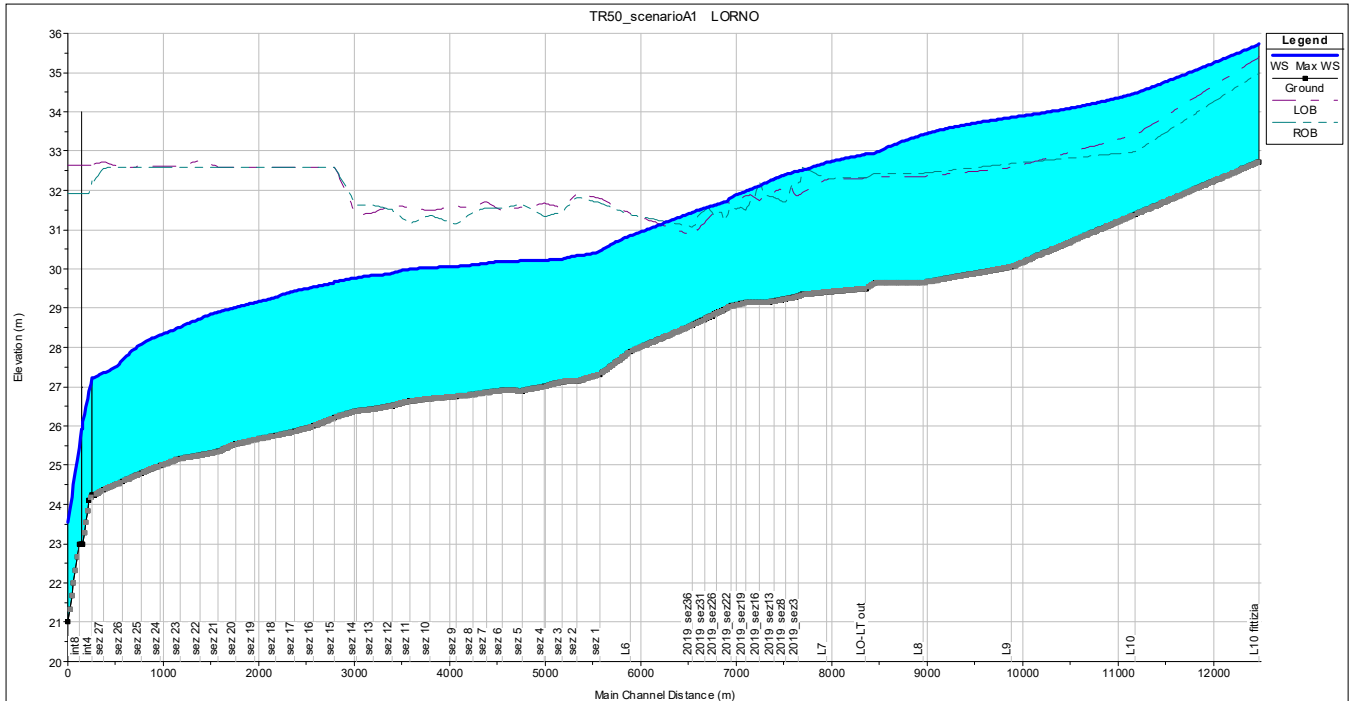


Figura 34 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto.

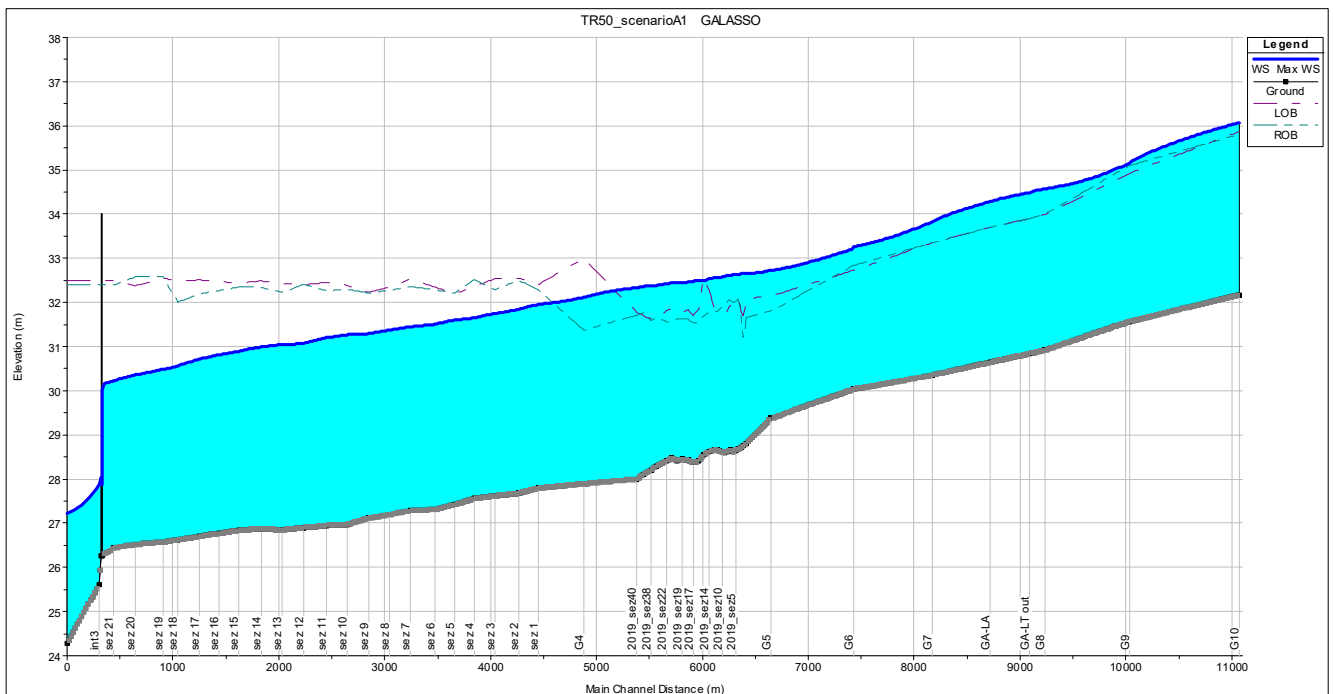


Figura 35 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto.

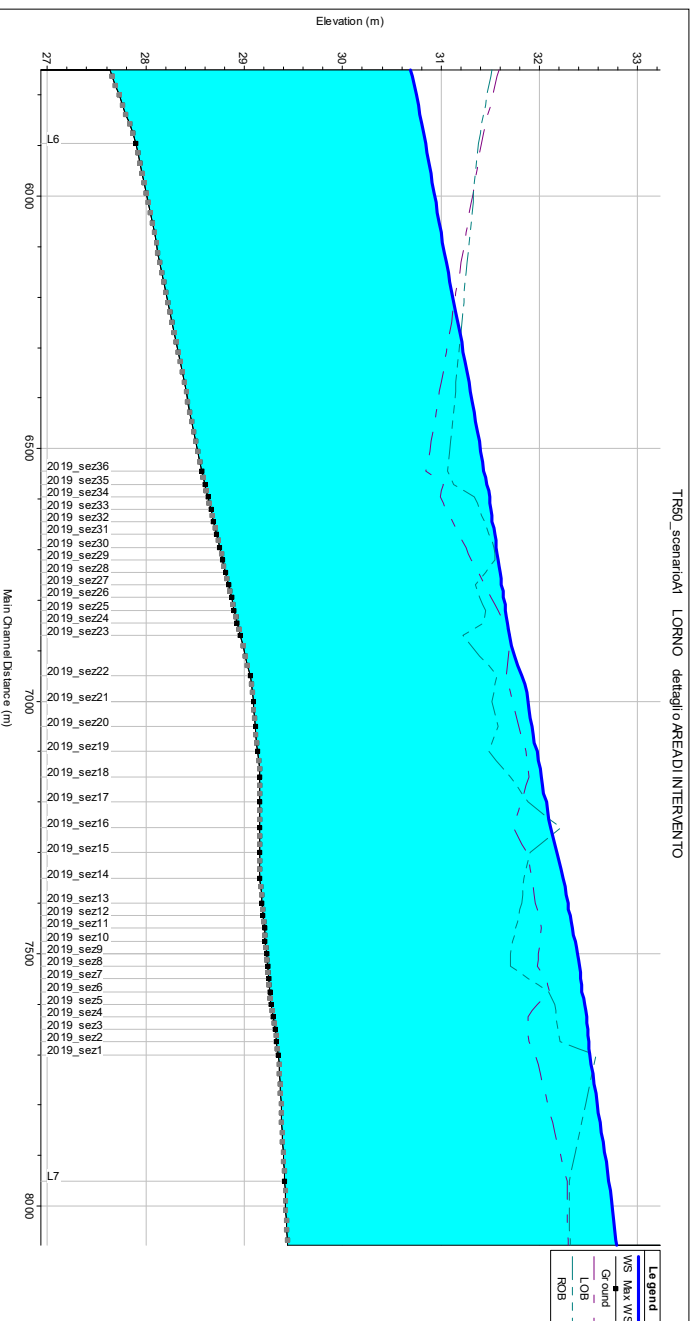


Figura 36 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

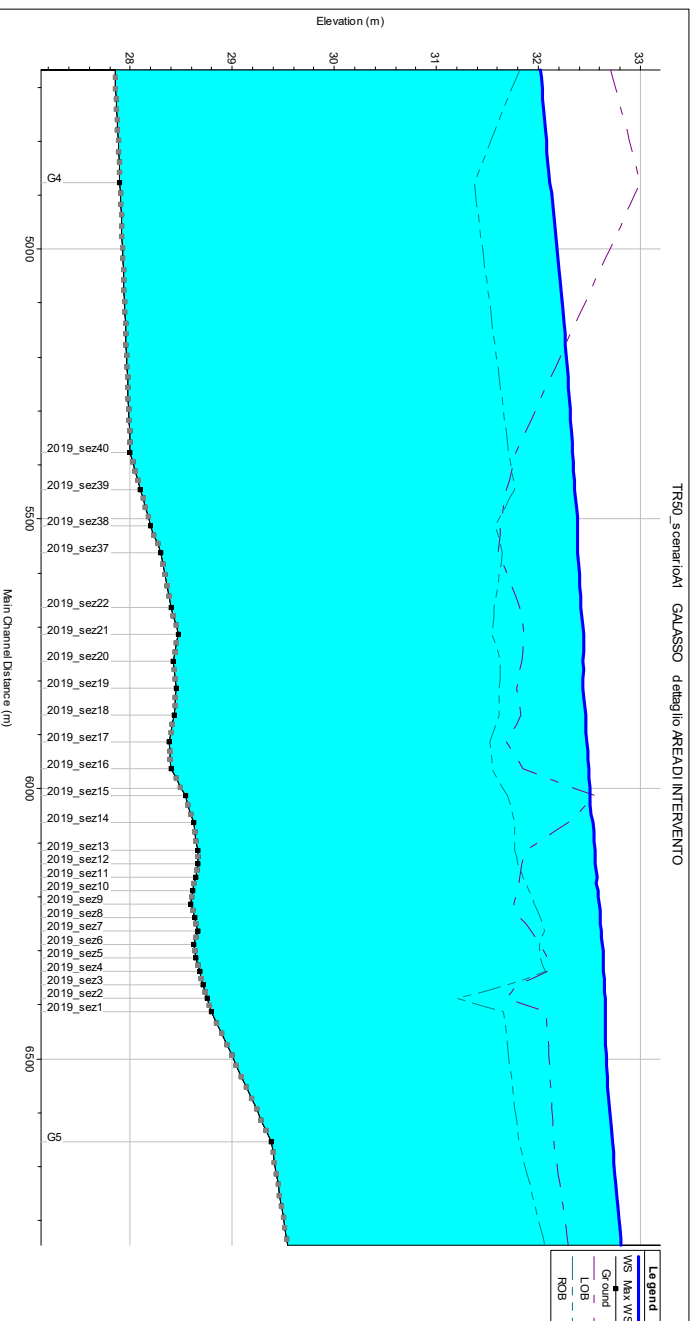


Figura 37 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

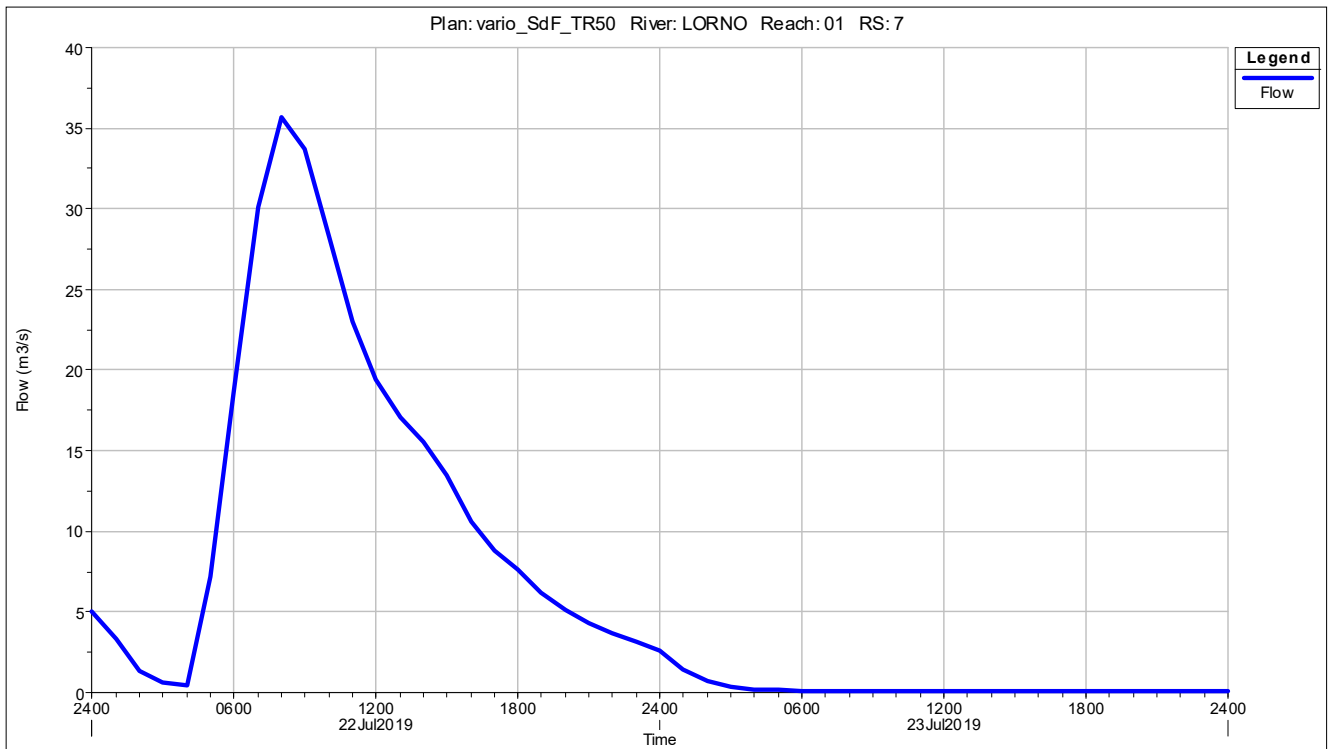


Figura 38 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di fatto.

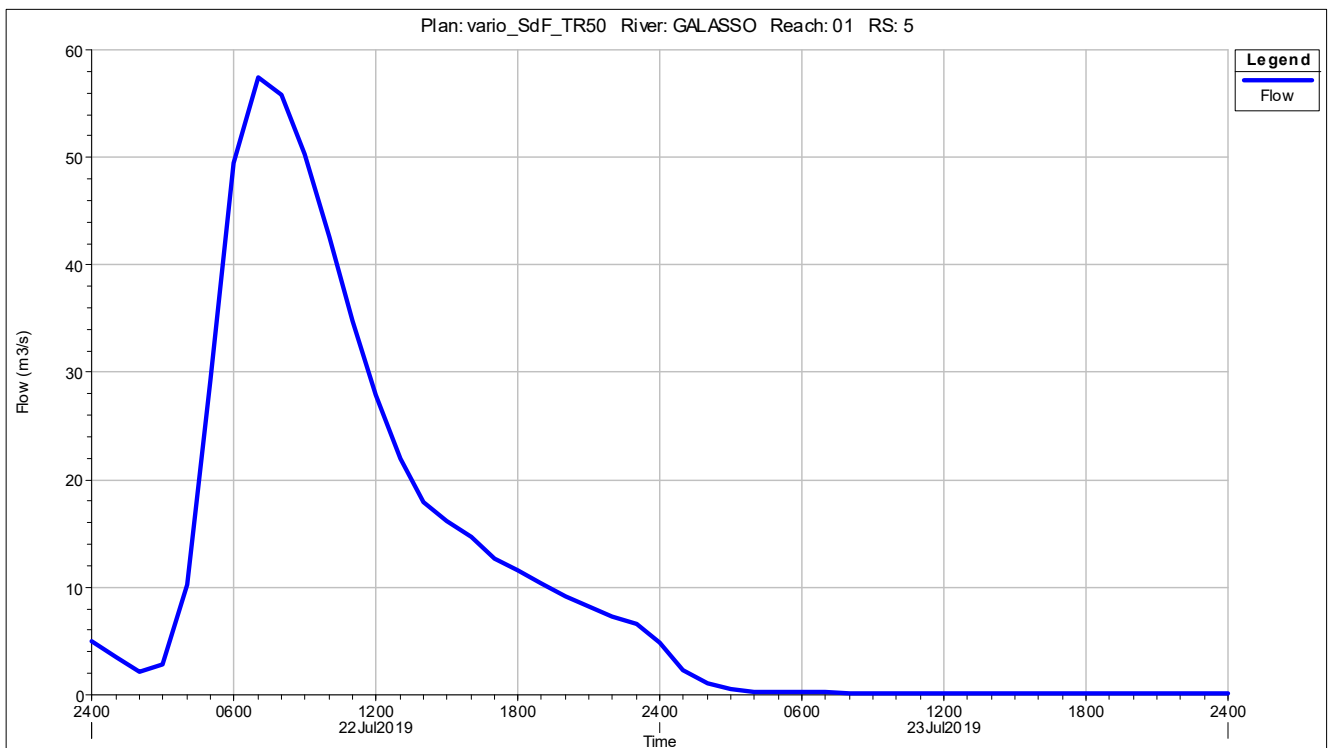


Figura 39 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di fatto.

4.5.4 TR100: SCENARIO A1

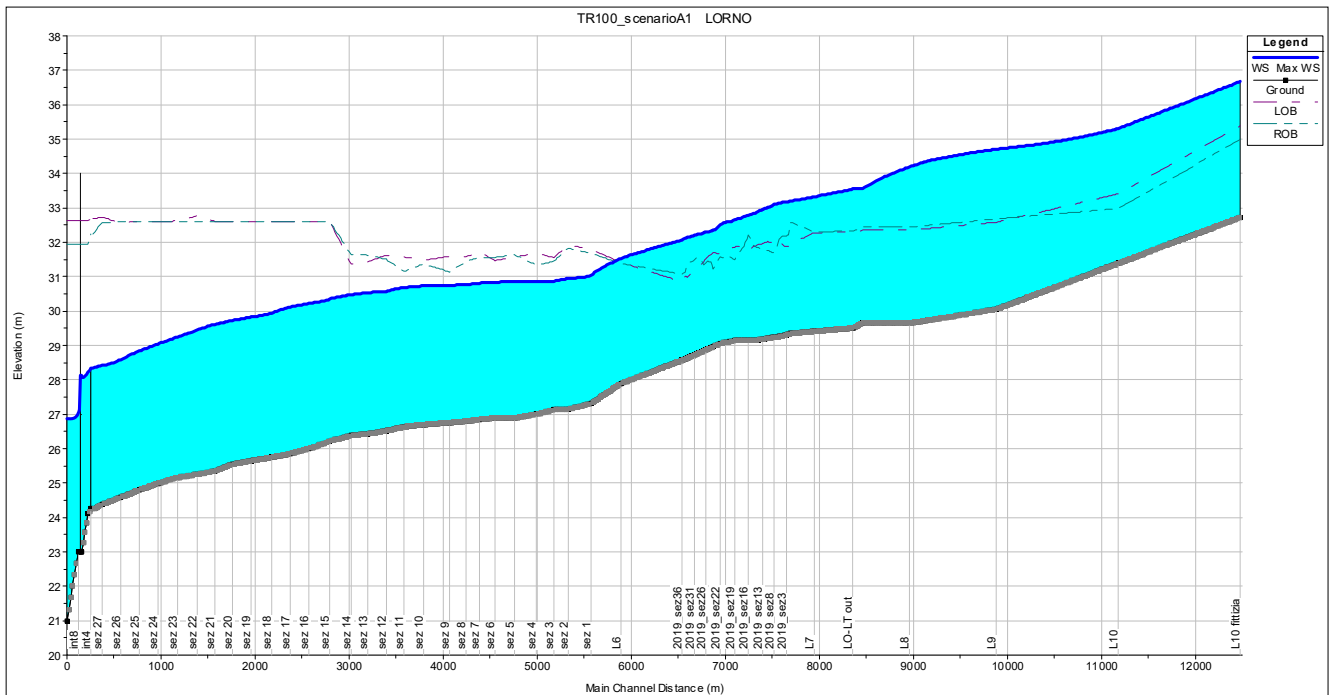


Figura 40 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto.

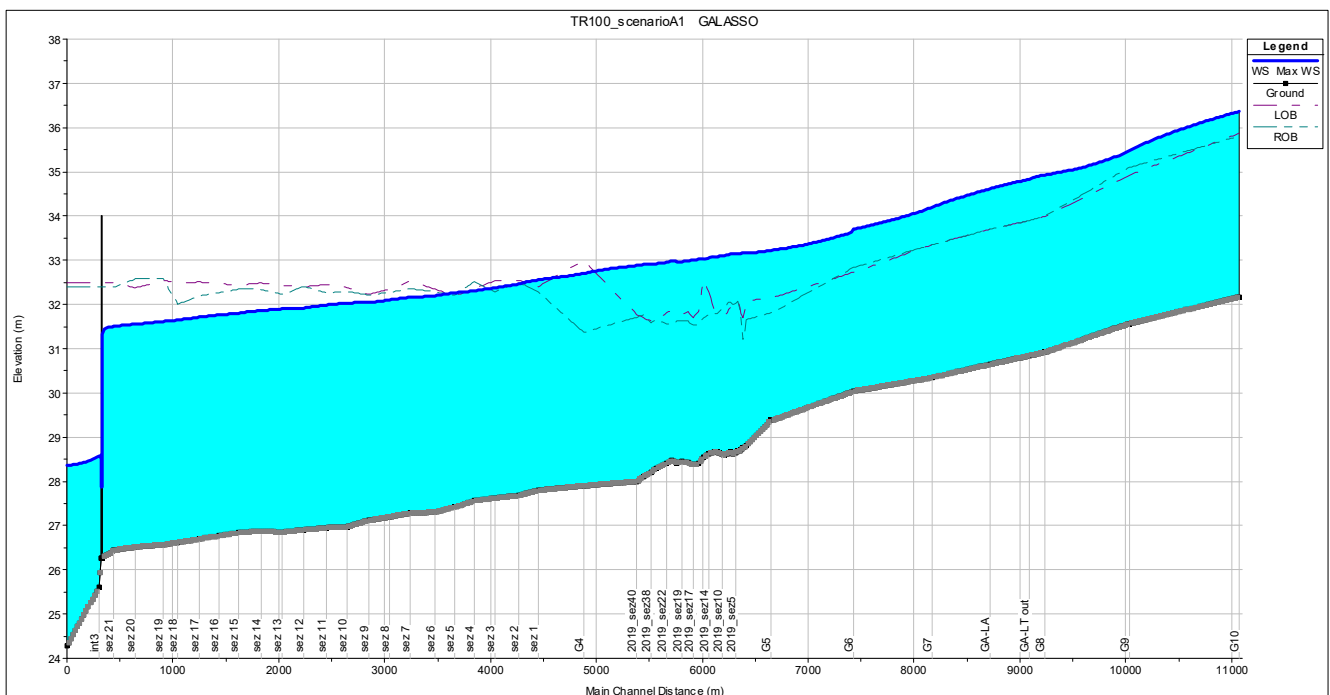


Figura 41 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto.

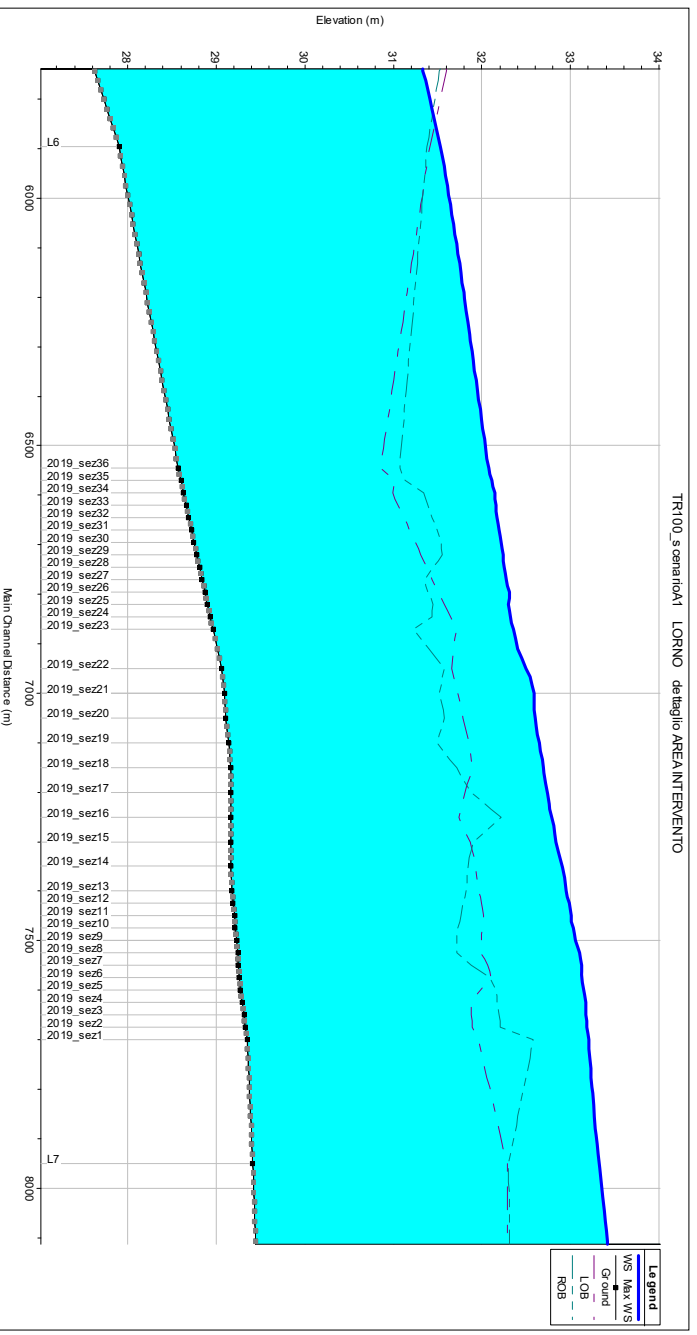


Figura 42 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

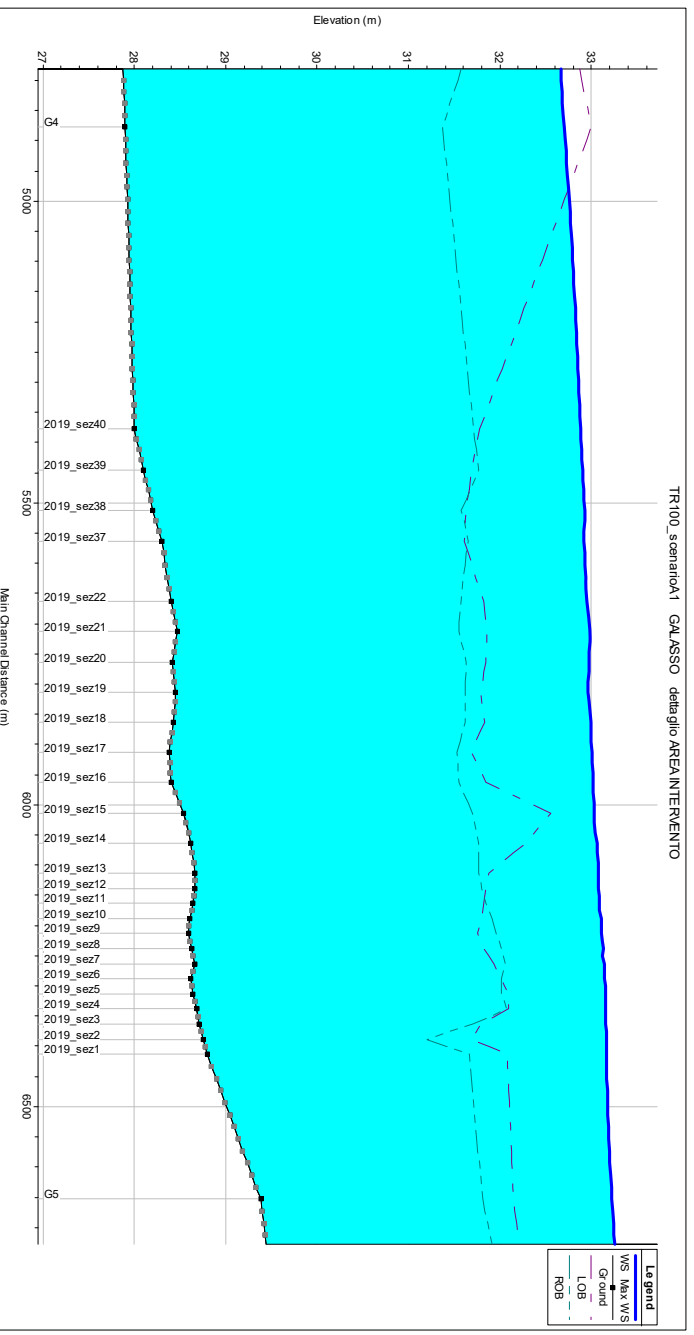


Figura 43 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

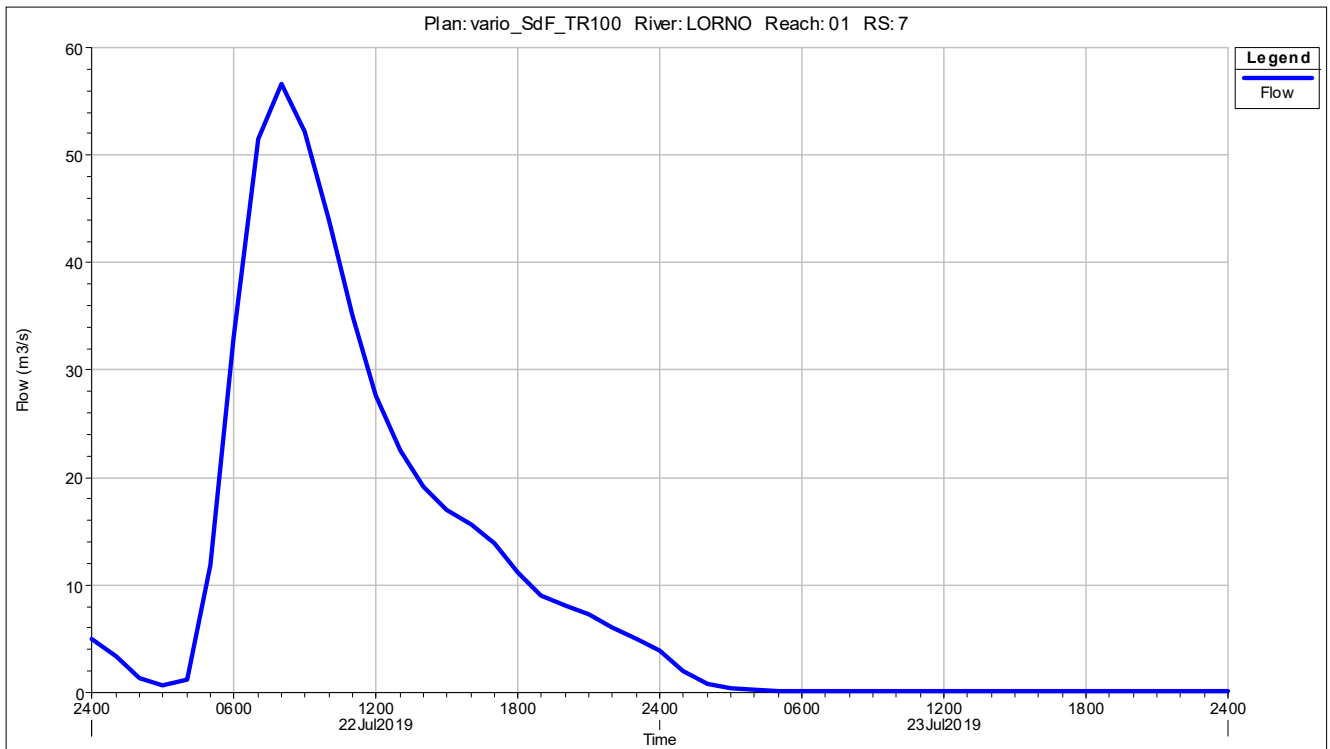


Figura 44 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di fatto.

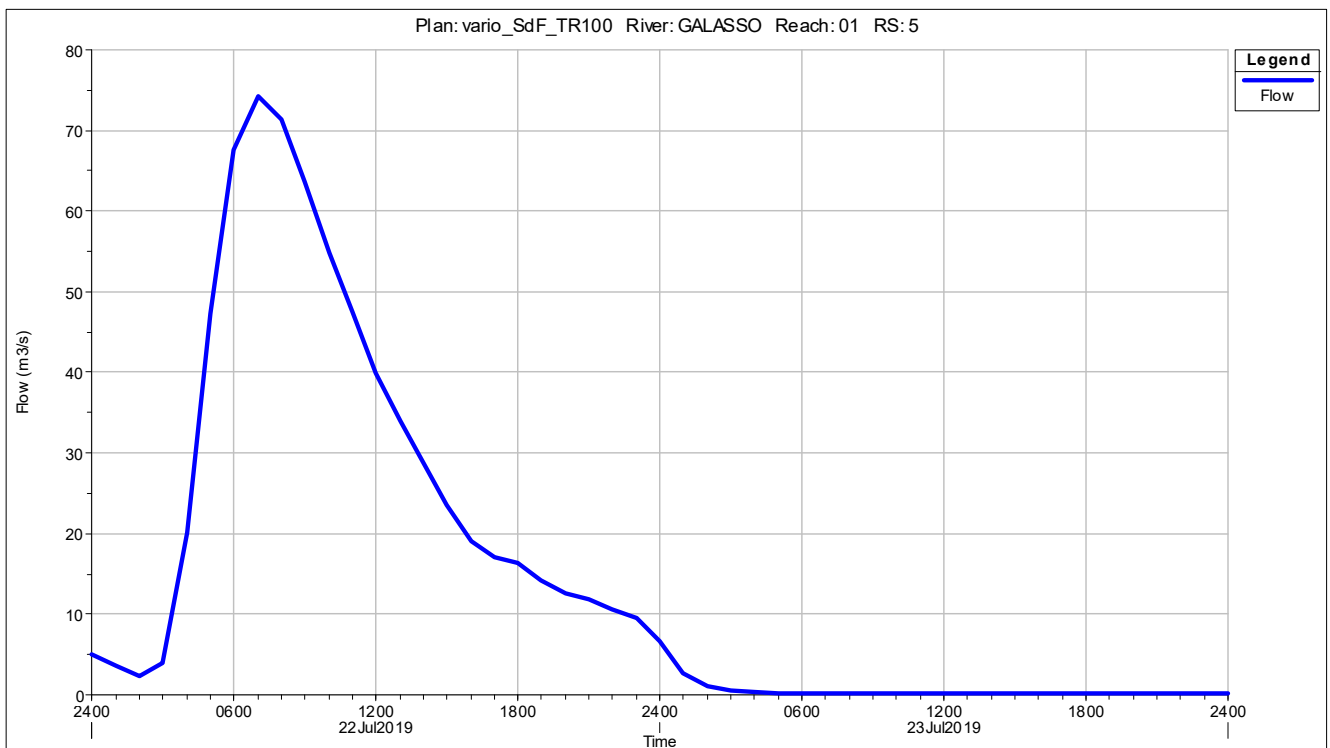


Figura 45 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di fatto.

4.5.5 TR100-LAM: SCENARIO A1

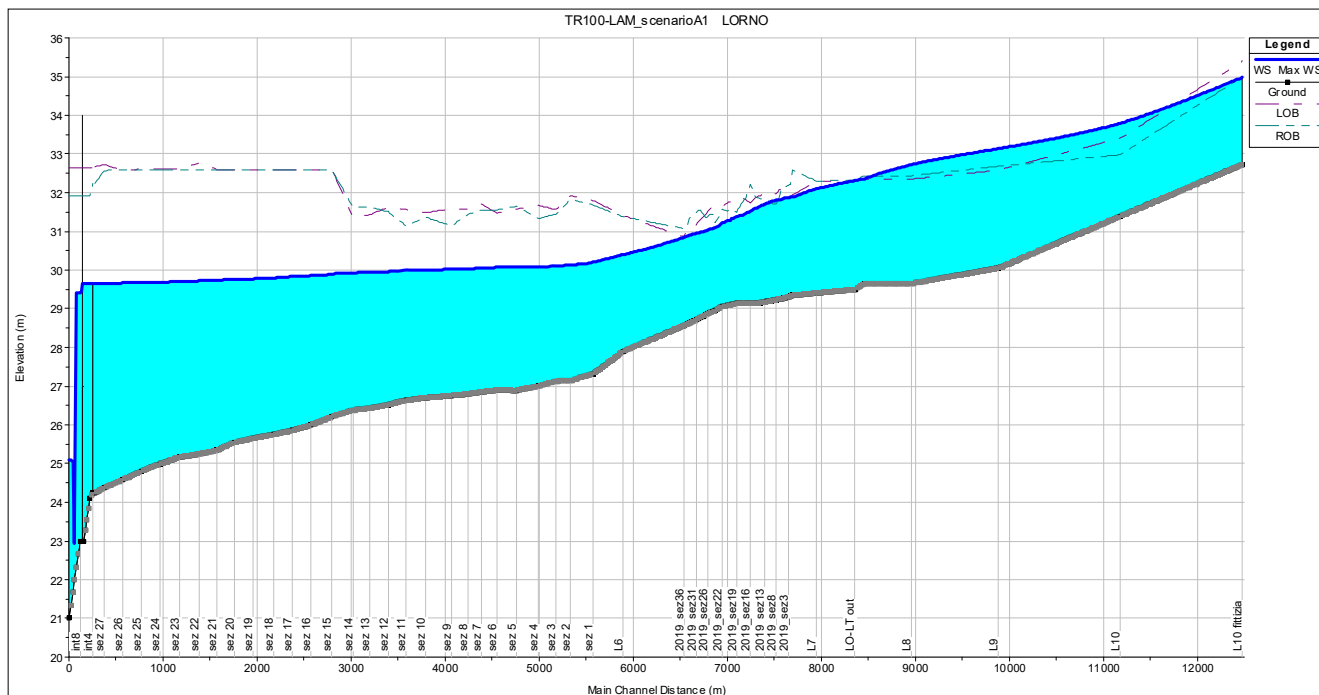


Figura 46 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto.

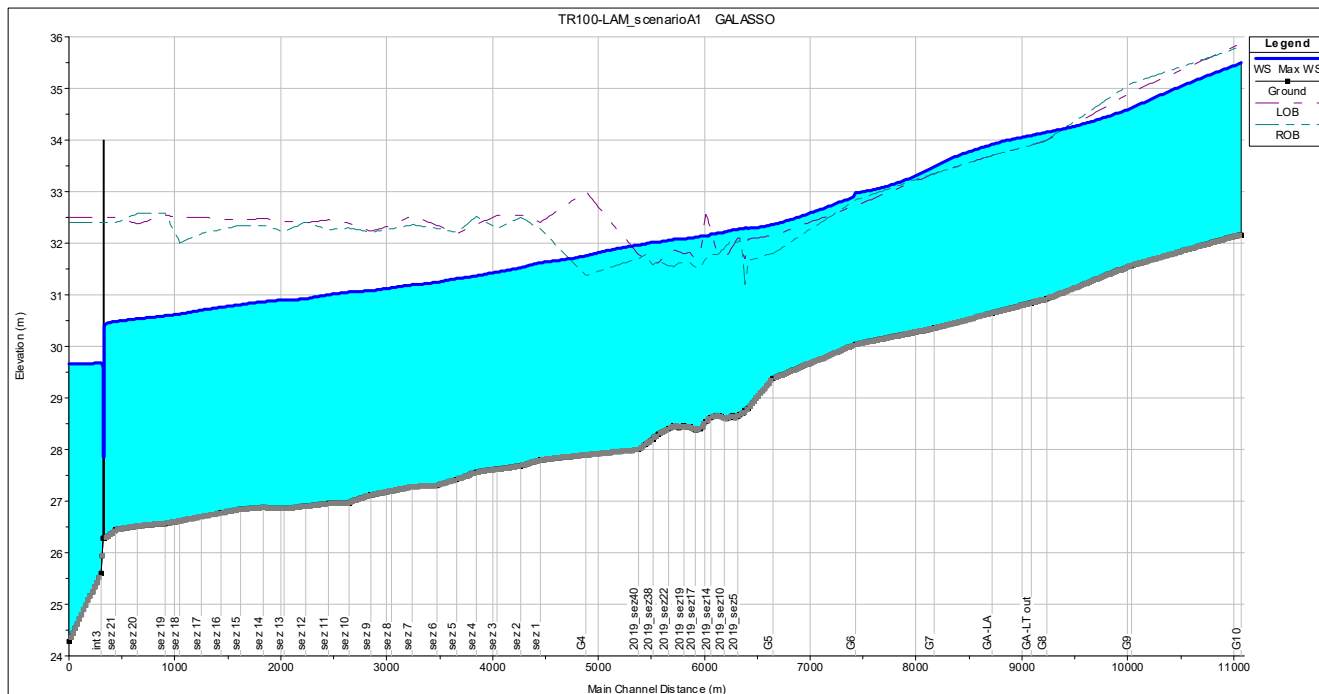


Figura 47 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto.

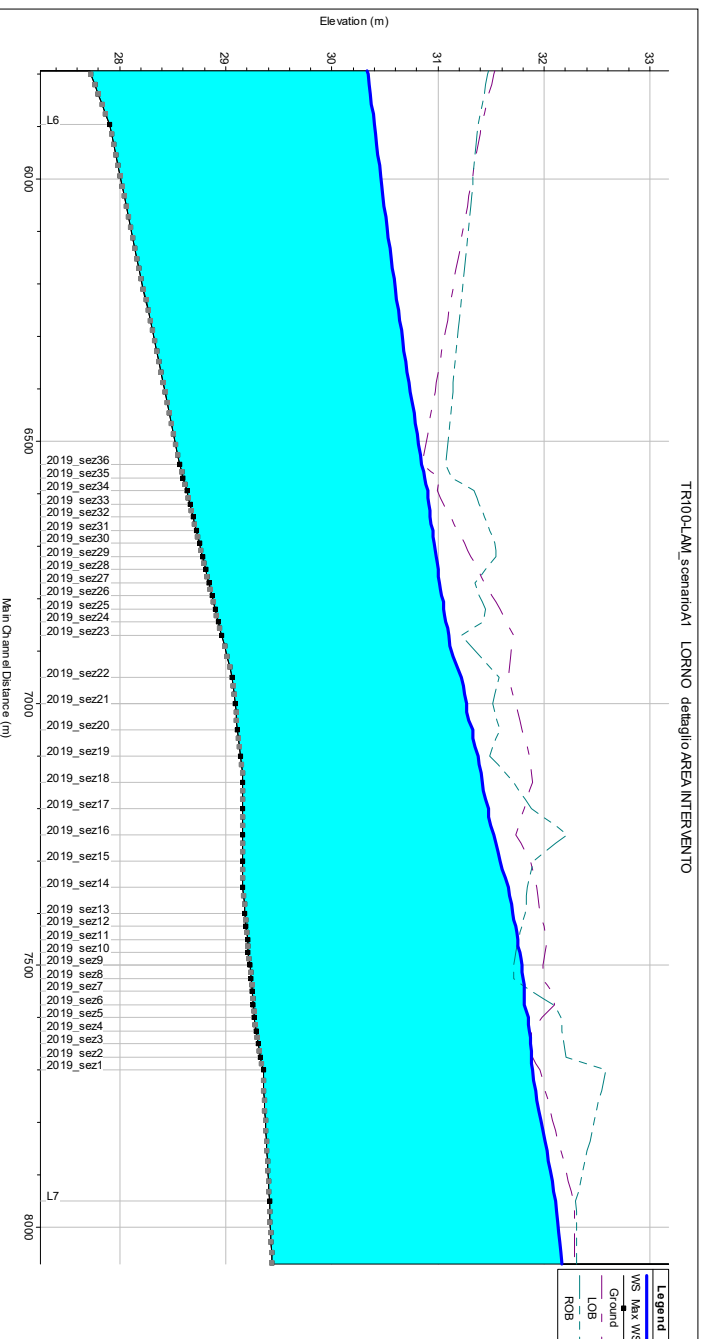


Figura 48 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

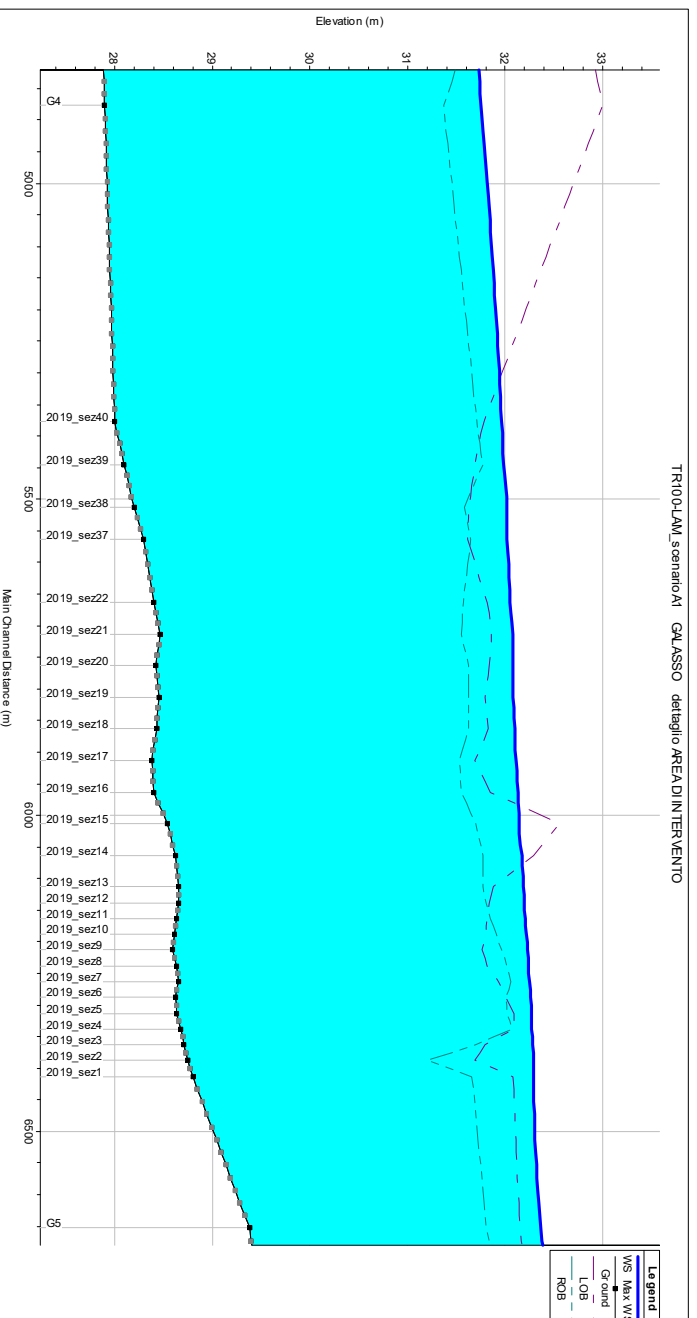


Figura 49 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di fatto. Dettaglio area di intervento.

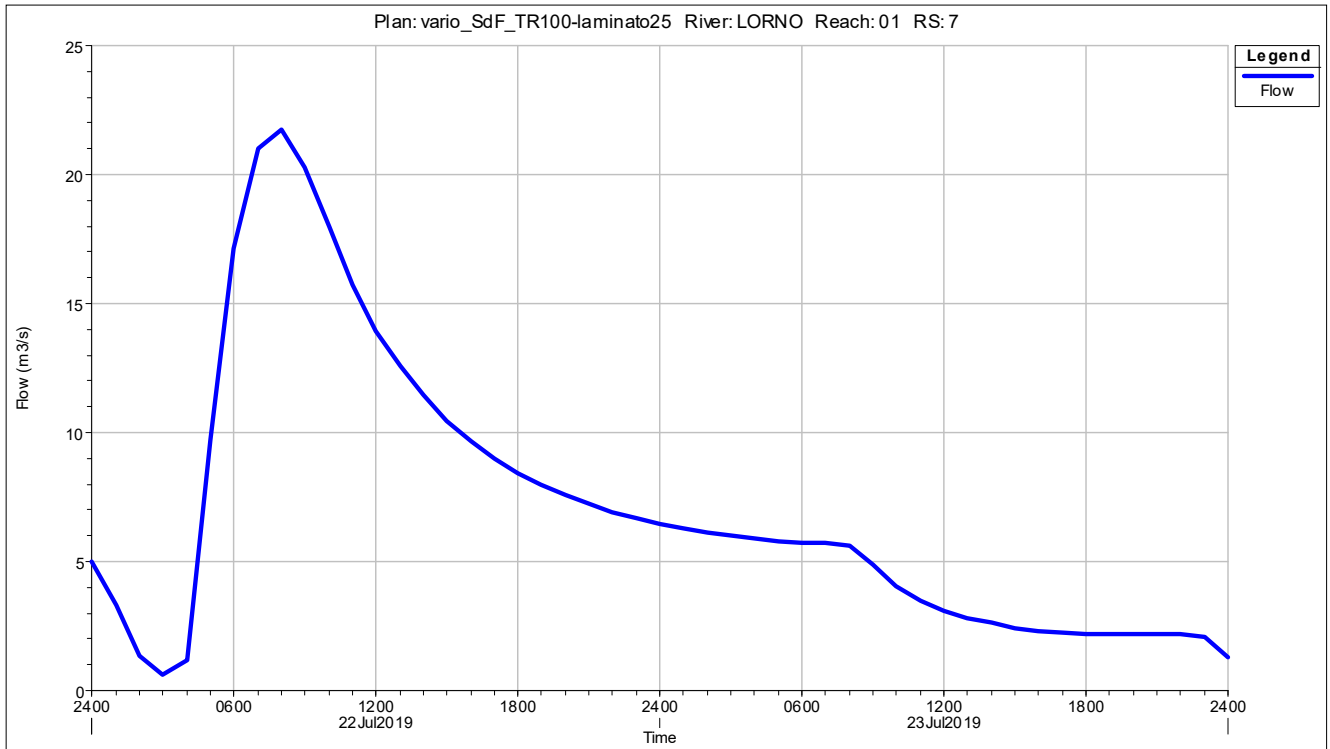


Figura 50 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di fatto.

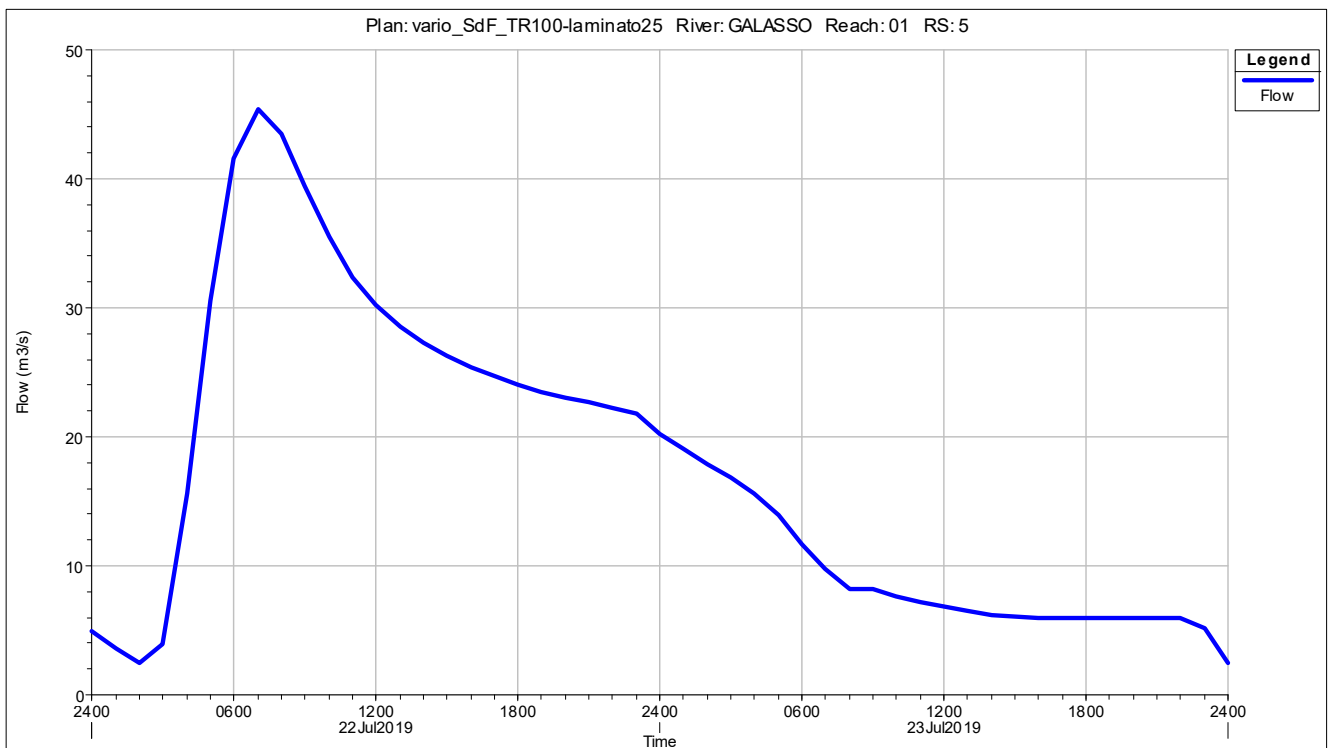


Figura 51 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di fatto.

4.6 DESCRIZIONE DELLO STATO DI PROGETTO

Partendo dalla configurazione geometrica dello stato attuale, lo stato di progetto prevede l'inserimento della cassa d'espansione e la modellazione dei manufatti di sfioro di alimentazione e di restituzione finale dell'invaso di progetto. Inoltre è stata valutata la riprofilatura dei rilevati di contenimento della cassa, ovvero dell'argine destro del Lorno e dell'argine sinistro del Galasso in corrispondenza dell'opera in progetto, ad una quota di 32.20 m s.l.m.. Il progetto prevede la risagomatura degli argini in questione 10 m a monte e 10 m a valle gli sfioro di progetto.

L'opera oggetto di studio consiste in una cassa d'espansione in derivazione ubicata all'interno di un'area circoscritta dai canali Lorno e Galasso, a circa 6 Km dalla foce di questi ultimi nel torrente Parma. La cassa in progetto permetterà di migliorare il grado di sicurezza idraulica del territorio e di prevenire eventuali esondazioni dei canali in questione, in particolar modo in prossimità e a valle della cassa stessa.

Le dimensioni della cassa di espansione sono tali da consentire, in fase di massimo esercizio, un volume di invaso pari a circa 610.000 m³ quantificati tenendo conto delle seguenti condizioni progettuali:

- Configurazione della vasca con deroga ai regolamenti di polizia fluviale, che permette di fissare il perimetro di scavo ad una distanza minima di 20 m dal piede degli esistenti corpi arginali.
- Risezionamento in quota degli argini interni (destra Lorno e sinistra Galasso) alla cassa ad una quota di 32,20 m s.l.m. e imponendo un franco di sicurezza minimo di 30 cm rispetto al massimo invaso di progetto. Nella condizione definitiva di progetto, tutte le arginature dei due canali interessati dall'intervento, andrebbero portate ad una quota pari a 32,50 m s.l.m. per consentire un maggiore sfruttamento in sicurezza dell'invaso.
- Soggiacenza media della falda alla quota di 29,00 m s.l.m. Questo valore è indicato nel "Progetto Giavarini" del luglio del 2007 e confermato dal "Progetto Pizzarotti" del luglio 2016. Anche il progetto di sistemazione ambientale ha considerato come livello di riferimento della falda quota 29,00 m s.l.m...

L'area di invaso è rappresentata dai lotti "1a+1b+2", nella quale l'ingresso dell'acqua di piena avviene, in modo indistinto, attraverso i due sfioratori laterali, realizzati uno per ciascuna asta principale, mentre la restituzione avviene con scarico di fondo 100x100 cm e stramazzo di regolazione dei livelli nel canale Lorno. Nella condizione definitiva e ideale di progetto, tutte le arginature dei due canali interessati dall'intervento, andrebbero portate ad una quota pari a 32,50 m s.l.m. per consentire un maggiore sfruttamento in sicurezza dell'invaso; in tale configurazione si potrebbe invasare un volume pari a circa 630.000 m³ con franco di sicurezza di 50 cm.

Viste le difficoltà oggettive di rialzare tutto il tratto arginale interessato a quota 32,50 s.l.m., nel modello idraulico di progetto è stata prevista una riprofilatura arginale ad una quota di 32,20 m s.l.m.. Per tale motivo le arginature di chiusura della cassa nel tratto di monte e di valle dovranno essere realizzate ad una quota di 32,20 m s.l.m..

Questa condizione di rialzo arginale consente di contenere all'interno dell'alveo e della cassa i livelli idrometrici dei profili di rigurgito risultanti dai diversi scenari simulati, contenendo gli interventi di rialzo arginale.

4.6.1 SFIORI LATERALI E SCARICO DI FONDO DI PROGETTO DELLA CASSA D'ESPANSIONE

I due sfiori laterali di alimentazione si realizzano per permettere la tracimazione delle acque di piena dei canali Lorno e Galasso all'interno dell'invaso. La larghezza di base del manufatto sarà di circa 10 m con pendenza delle sponde 1/4 e quota di sfioro a circa 31.00 m s.l.m. I manufatti di sfioro saranno realizzati in massi di cava non gelivi da 500-1.000 kg, posati a mosaico, intasati con cls magro, inseriti all'interno delle arginature esistenti, prevedendo un abbassamento delle stesse in loro corrispondenza e l'ammorsamento nel corpo arginale. L'intervento è previsto tra le sezioni 5-6 (rilievo 2019) per lo sfioro di alimentazione sul Lorno, in sponda destra, e per lo sfioro di alimentazione sul Galasso, in sponda sinistra, mentre lo stramazzo di restituzione è previsto tra le sezioni 33 e 34 (rilievo 2019) sul canale Lorno in sponda destra. Sul lato di valle dei due stramazzi si dovrà realizzare un bacino di dissipazione prevedendo il rivestimento del piano campagna con massi di cava non gelivi da 500-1.000 kg, posati a mosaico, aventi la funzione di evitare erosioni localizzate dovute alla dissipazione dell'energia cinetica della corrente. Questo rivestimento dovrà essere prolungato fino all'inizio dello scavo di vaso.

La restituzione avviene, oltre che dallo sfioro dei manufatti di ingresso, anche da un manufatto di scarico nel canale Lorno avente stramazzo di regolazione dei livelli idrometrici a quota 31,30 m s.l.m. con pendenza delle sponde di 1/4 e larghezza di base pari a 10 m, e da uno scarico di fondo, sempre nel canale Lorno, posizionato nel tratto terminale di valle della cassa in corrispondenza circa del ponticello pedonale in progetto. Lo scarico di fondo, realizzato con scatolare di luce netta 100x100 cm è in grado in grado di scaricare il volume accumulato dai 3 ai 10 giorni, a seconda dell'evento considerato, e dopo l'esaurimento dell'evento di piena.

In definitiva le opere idrauliche di progetto della cassa di espansione sono:

- Manufatto di ingresso: sfioro laterale di alimentazione dell'invaso in sponda sinistra del canale Galasso. Soglia a quota 31,00 m s.l.m, larghezza alla base di 10 m e pendenza delle sponde 1/4.
- Manufatto di ingresso: sfioro laterale di alimentazione dell'invaso in sponda destra del canale Lorno. Soglia a quota 31,00 m s.l.m, larghezza alla base di 10 m e pendenza delle sponde 1/4.
- Manufatto di uscita: stramazzo di restituzione e scarico di fondo al canale Lorno. Il manufatto sarà realizzato con soglia di sfioro a quota 31,30 m s.l.m., larghezza alla base di 10 m e pendenza delle sponde 1/4 e scarico di fondo realizzato con scatolare di luce netta interna 100x100 cm con quota di fondo a 29,00 m s.l.m..

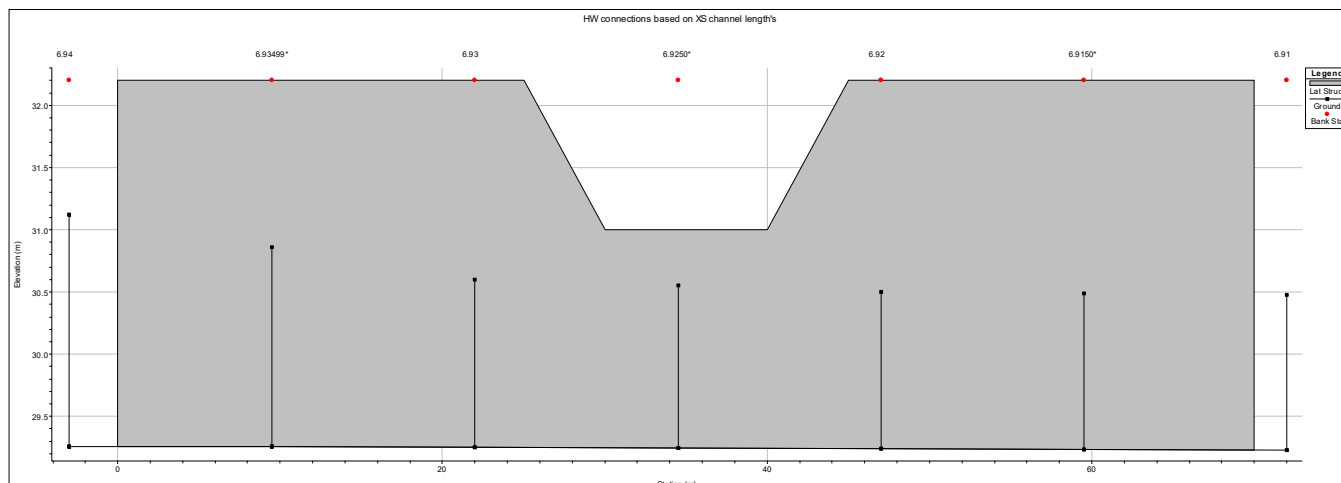


Figura 52 - Sfiore di alimentazione della cassa. Sezioni 5-6 per il canale Lorno. Sezioni 5-6 per il canale Galasso.

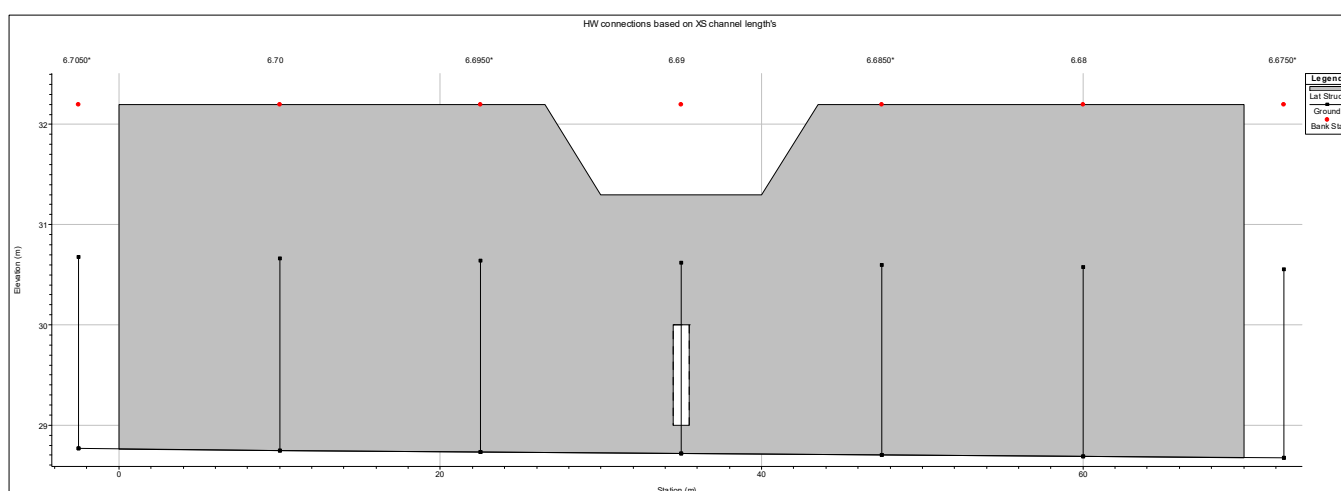


Figura 53 - Stramazzo di restituzione al canale Lorno e scarico di fondo della cassa. Sezioni 33-34.

4.7 RISULTATI DELLE ANALISI IDRAULICHE: STATO DI PROGETTO

Le simulazioni delle condizioni progettuali hanno evidenziato un abbassamento dei profili di rigurgito ottenuto grazie all'effetto laminativo sui volumi trasportati dai due canali oggetto di studio ad opera della cassa d'espansione di progetto. Tuttavia, anche la riprofilatura arginale considerata non è sufficiente a contenere i profili di rigurgito degli eventi con TR di 100 anni. Gli interventi di progetto risultano più efficaci a contenere l'onda di piena generata da eventi con TR di 20 e 50 anni e l'evento con TR 100-LAM. In corrispondenza e a valle della cassa infatti non si verificano esondazioni oltre i corpi arginali dei canali oggetto di studio. Alcuni tratti della zona a monte della cassa invece risultano insufficienti a contenere eventi con TR di 20 e 100-LAM, nonostante i profili di rigurgito risentano dell'effetto della cassa anche a monte della stessa.

Di seguito verranno riportati i profili di rigurgito della simulazione A1, che costituisce la condizione meno gravosa sulla rete idrografica oggetto di studio, per tutti i TR considerati, e i profili di rigurgito delle simulazioni più indicative delle configurazioni B e C per il TR 20 e il TR 100-LAM.

Le simulazioni di tutti gli scenari sono state eseguite in moto vario. La determinazione delle portate di non stramazzo è stata fatta tramite una simulazione in moto uniforme.

4.7.1 PORTATA DI NON STRAMAZZO

Partendo dai valori di portata al colmo per i diversi tempi di ritorno, sono state determinate, per entrambi i canali, le portate relative ad un TR di 5 anni. Tali portate sono state utilizzate per una simulazione a moto uniforme grazie alla quale si è potuto determinare l'altezza minima di sfioro dei manufatti, in modo tale che la cassa in progetto non invasi per eventi con TR uguali, o inferiori, ai 5 anni.

Le portate ricavate sono pari a circa 11 m³/s per il canale Lorno e a circa 21 m³/s per il Galasso.

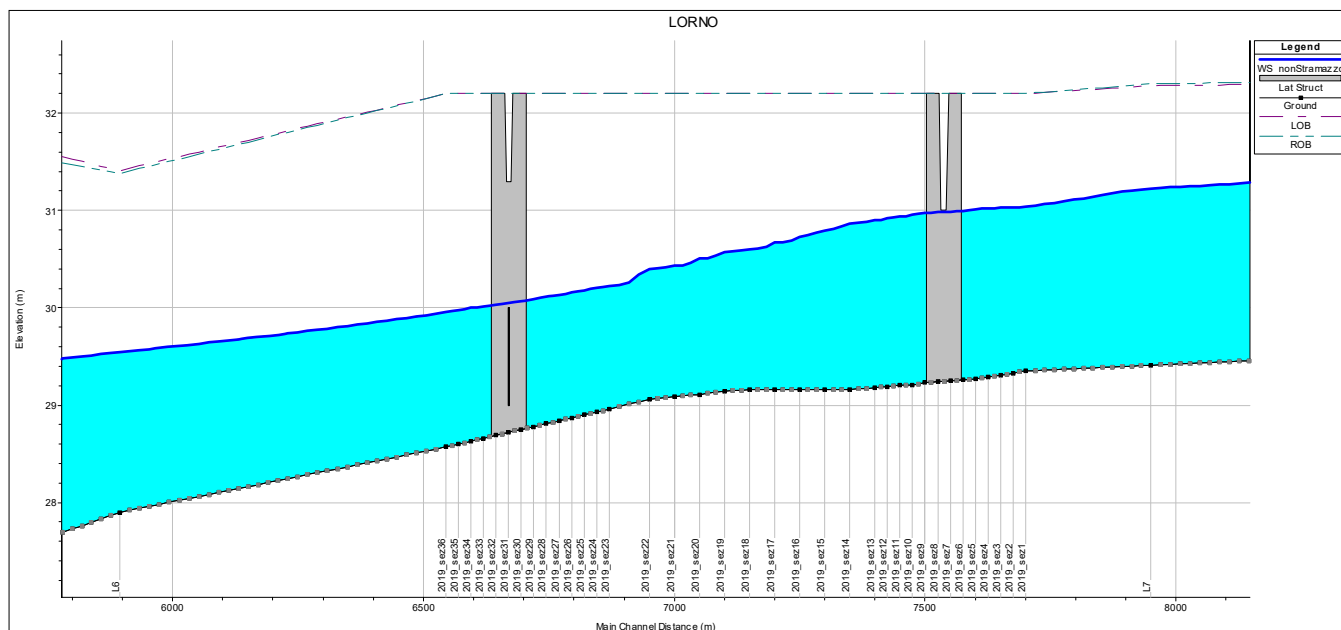


Figura 54 - Profilo di rigurgito nel canale Lorno in corrispondenza della cassa in progetto per la portata di non stramazzo.

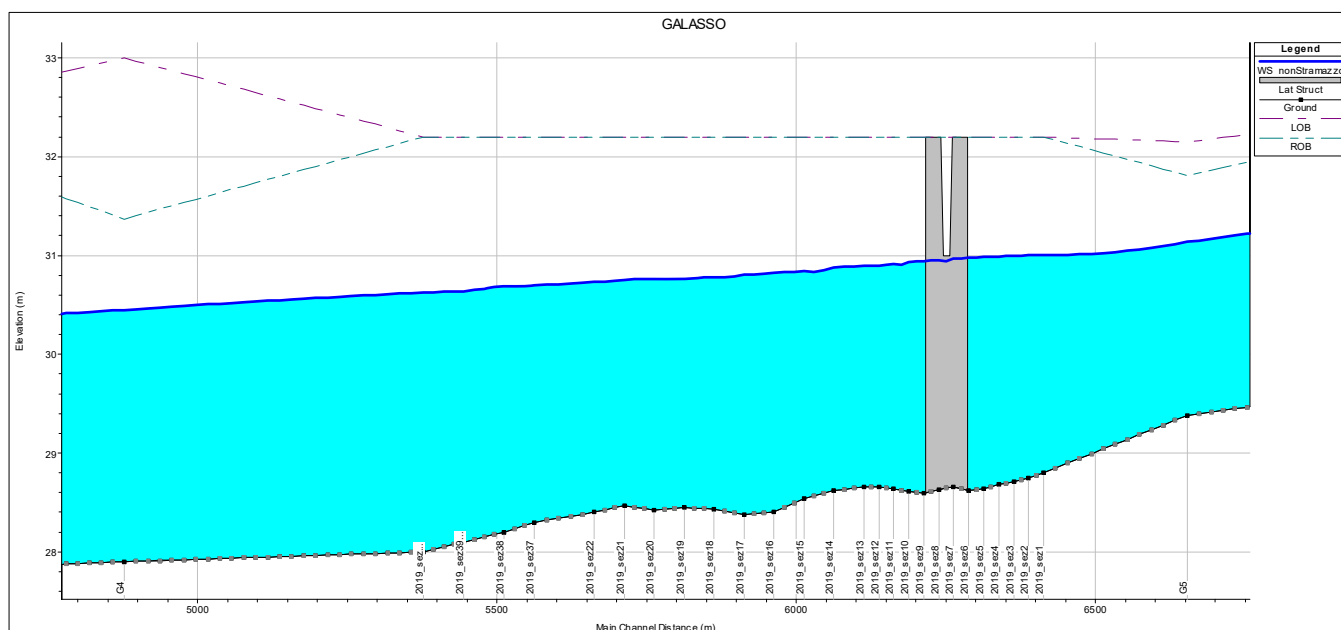


Figura 55 - Profilo di rigurgito nel canale Galasso in corrispondenza della cassa in progetto per la portata di non stramazzo.

4.7.2 TR20 CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A1 e per un TR di 20 anni. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza di moto uniforme con pendenza di fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

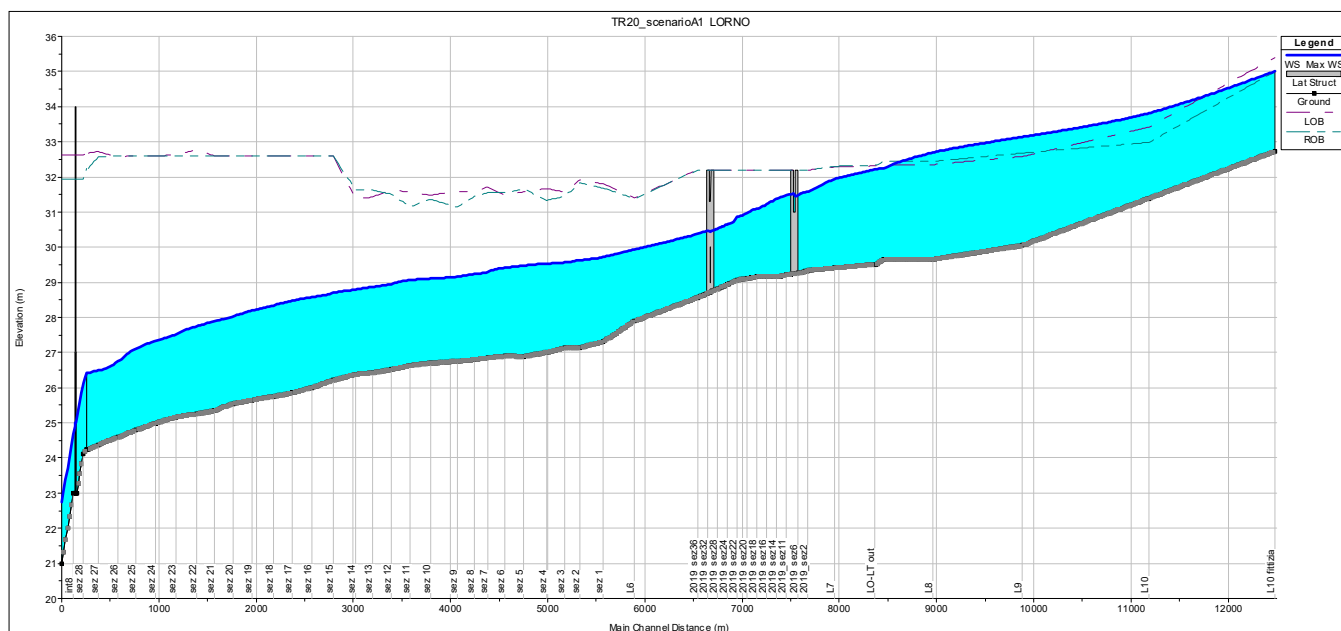


Figura 56 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

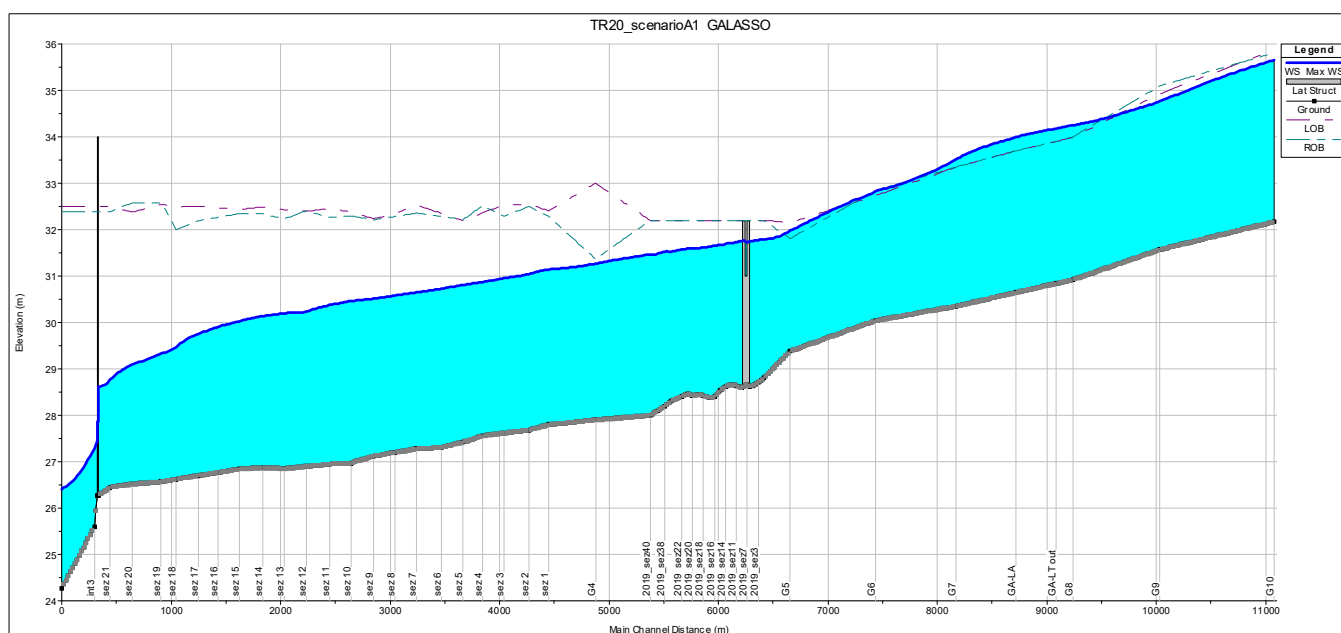


Figura 57 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

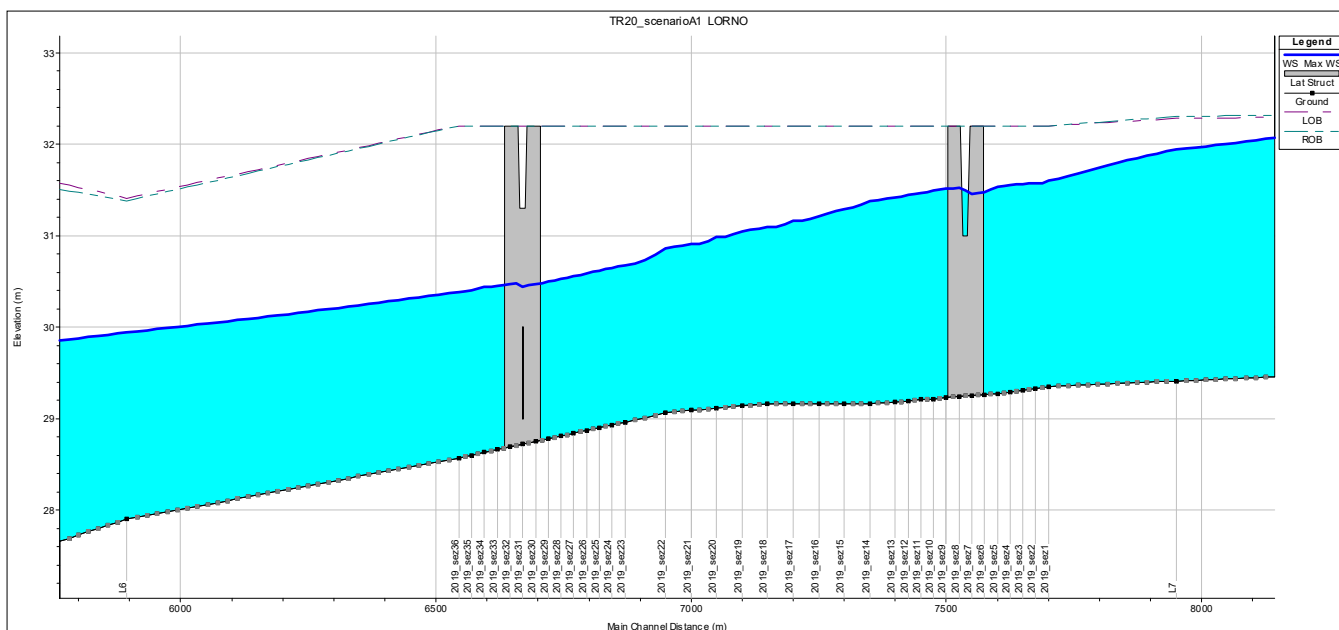


Figura 58 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

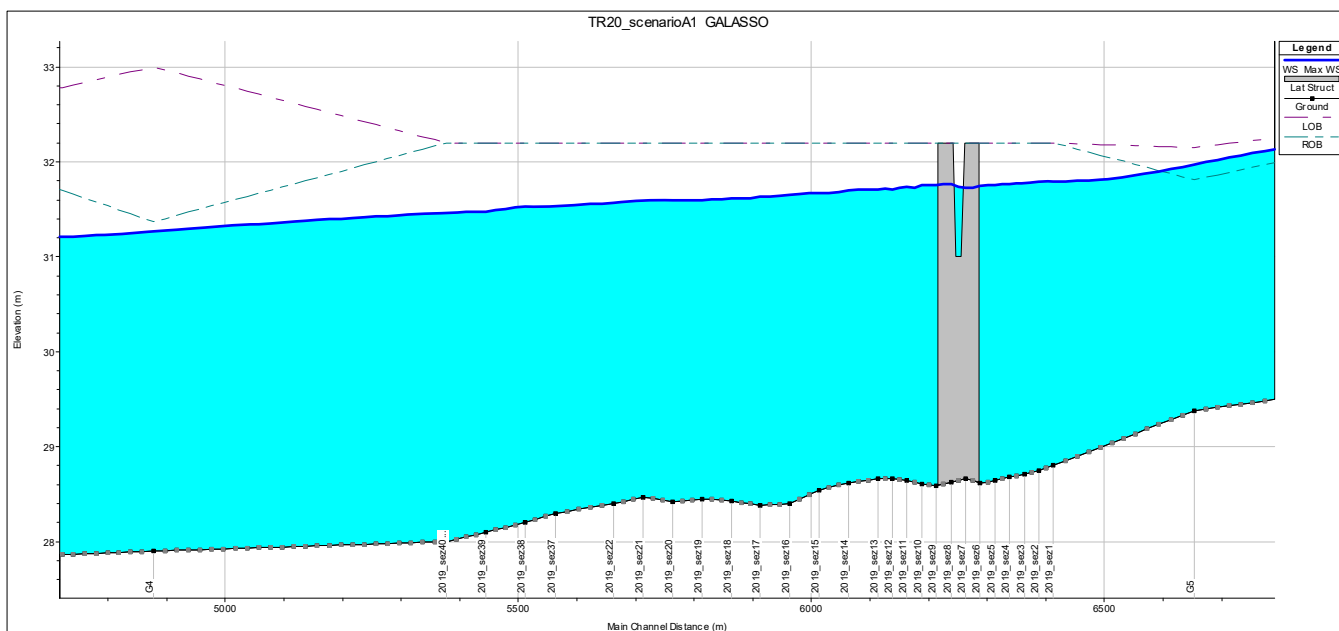


Figura 59 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso.

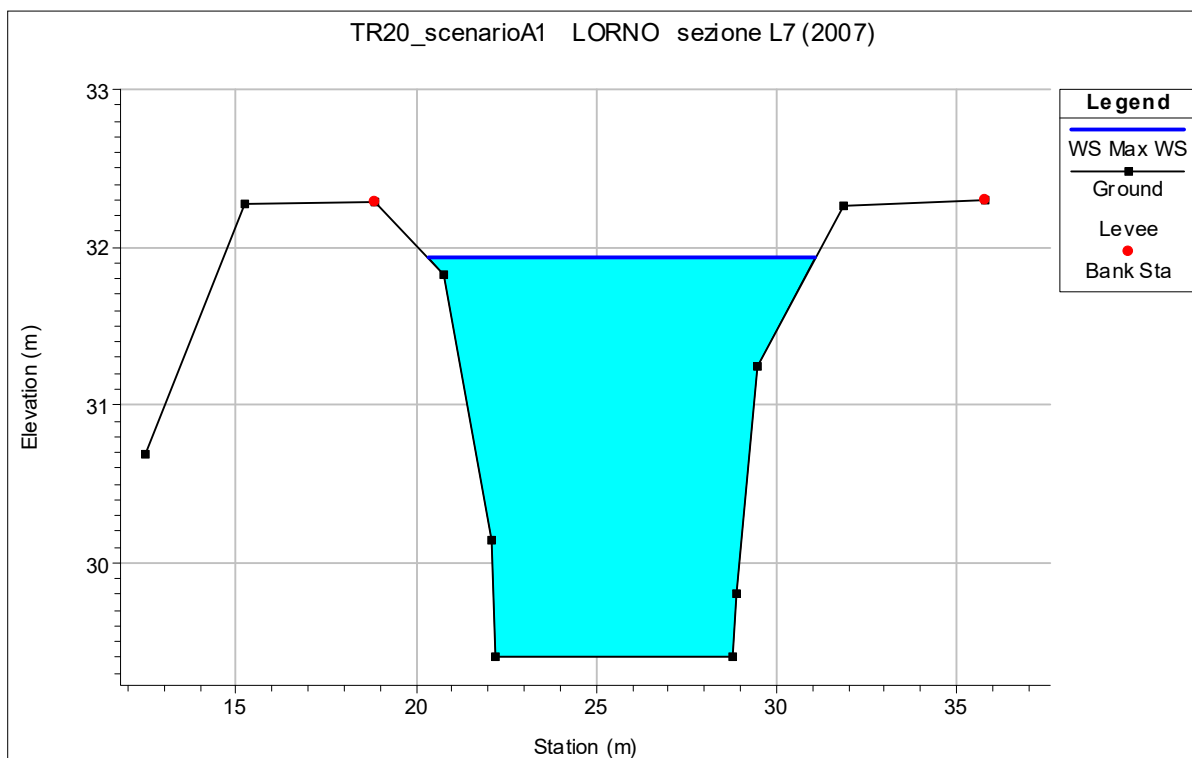


Figura 60 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

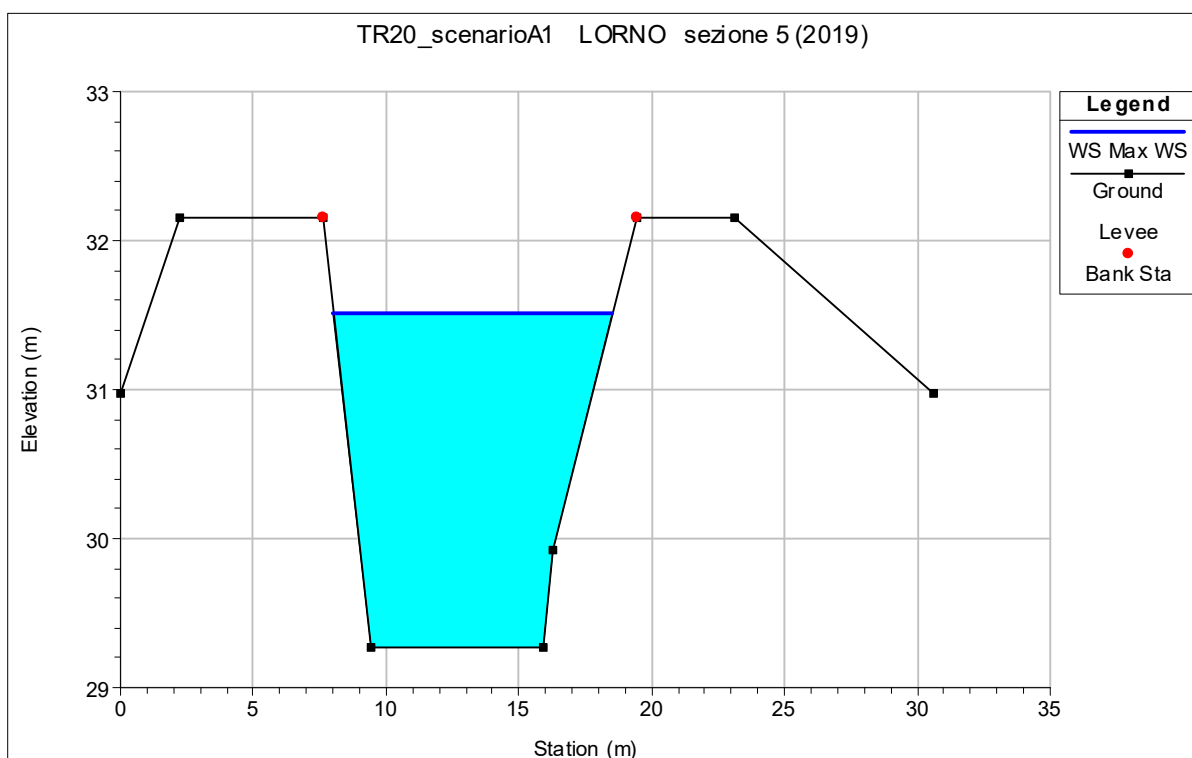


Figura 61 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

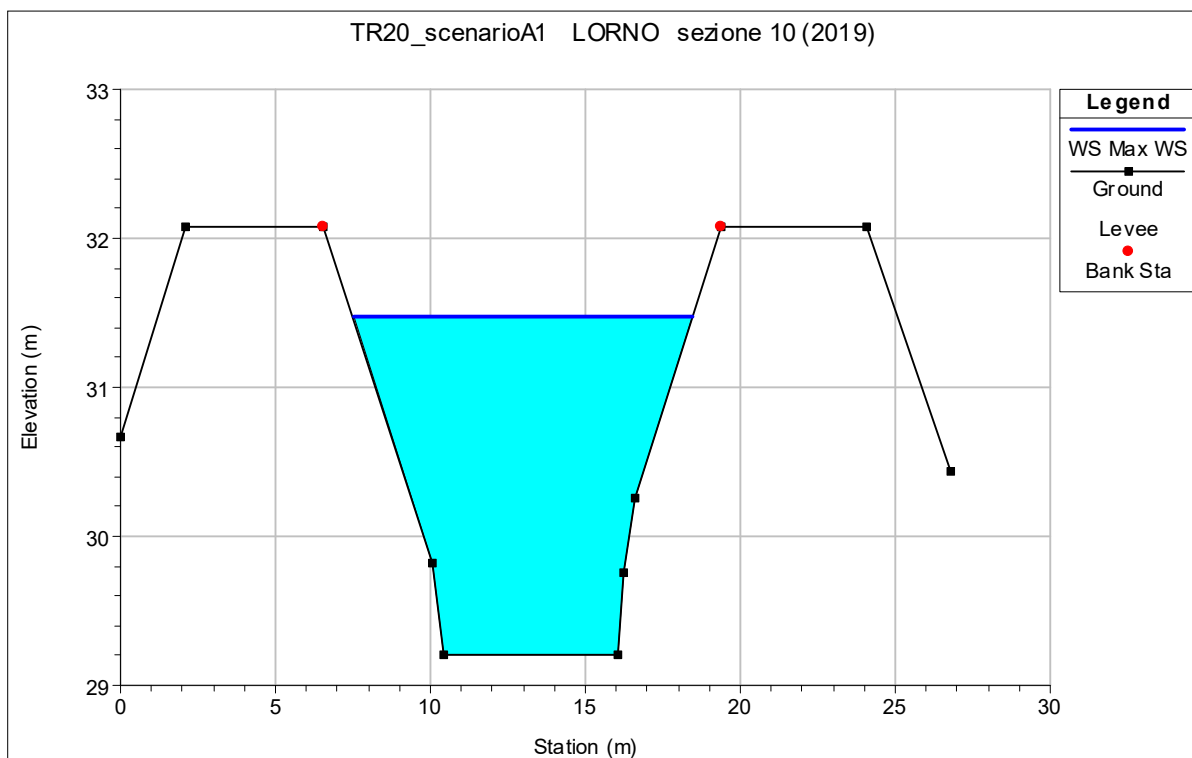


Figura 62 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

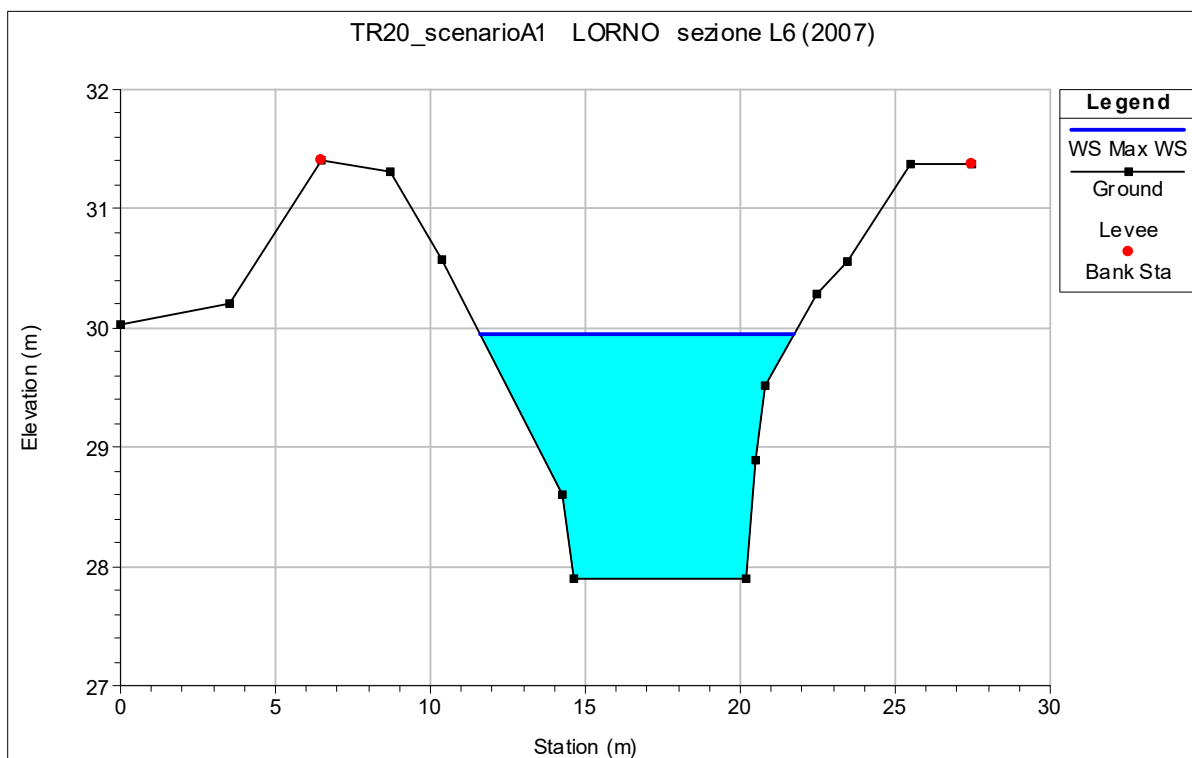


Figura 63 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

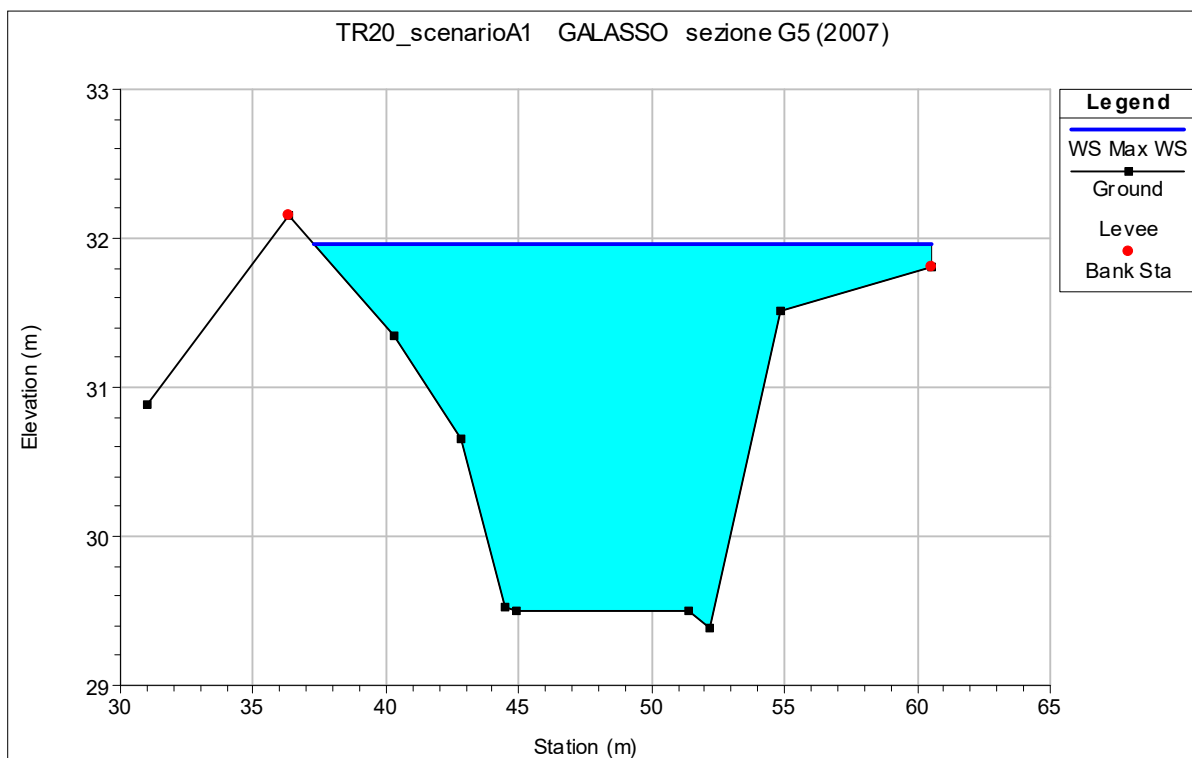


Figura 64 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

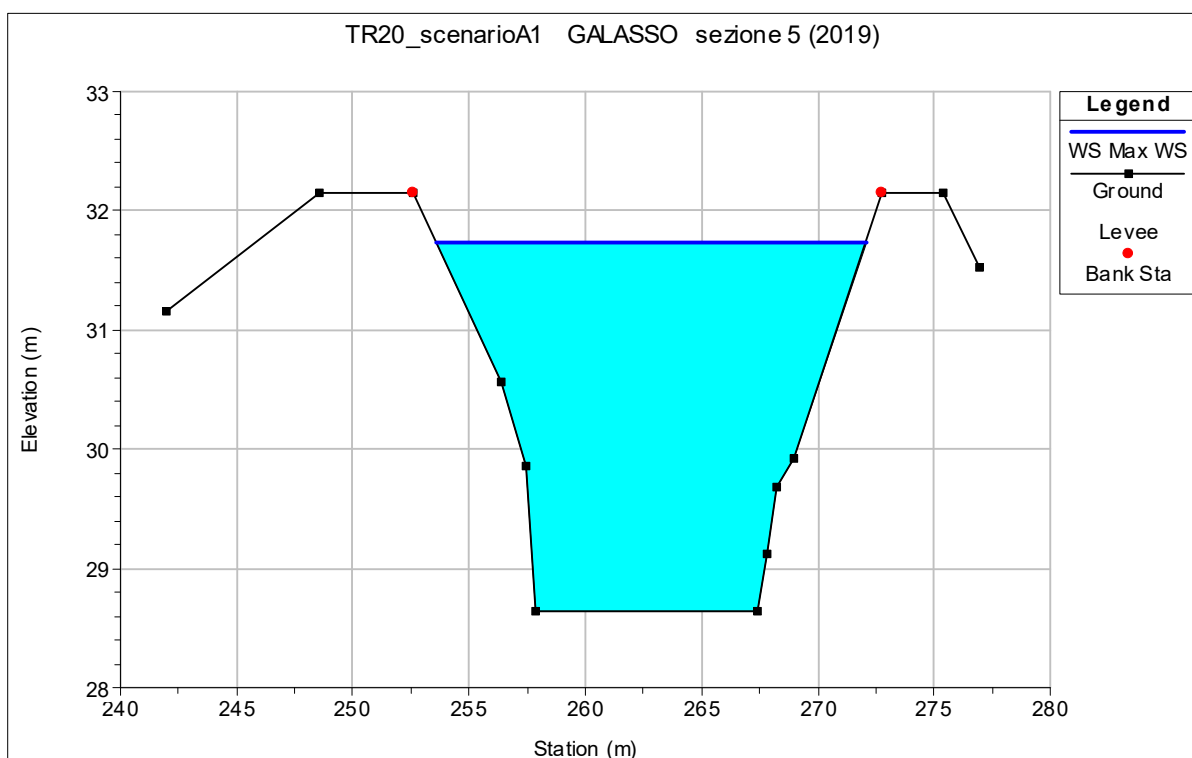


Figura 65 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

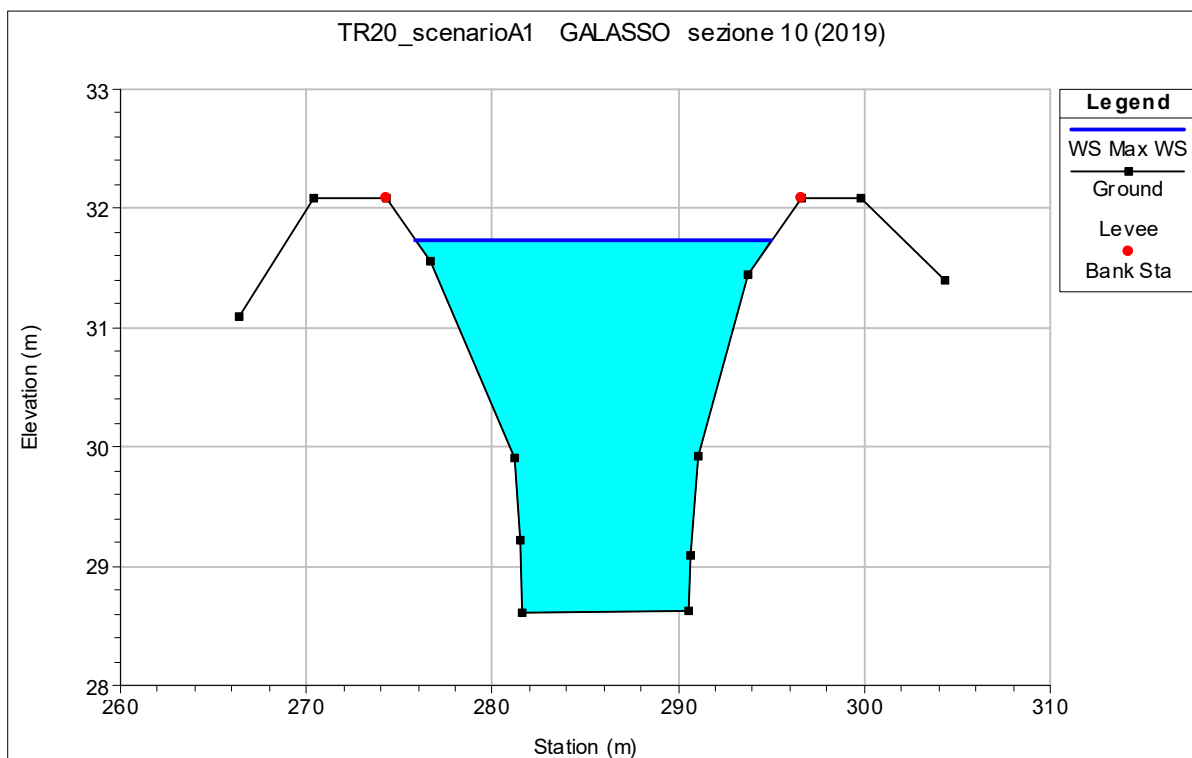


Figura 66 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

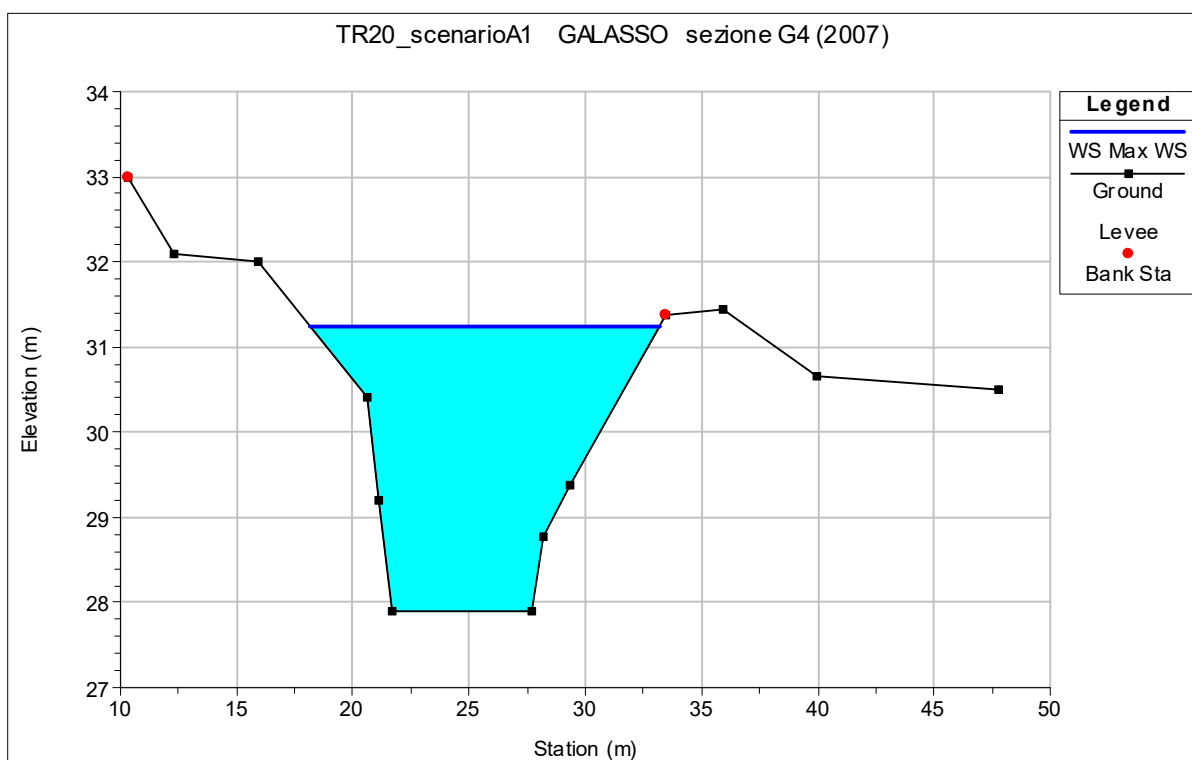


Figura 67 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 5 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 1.70 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 11 m³/s.

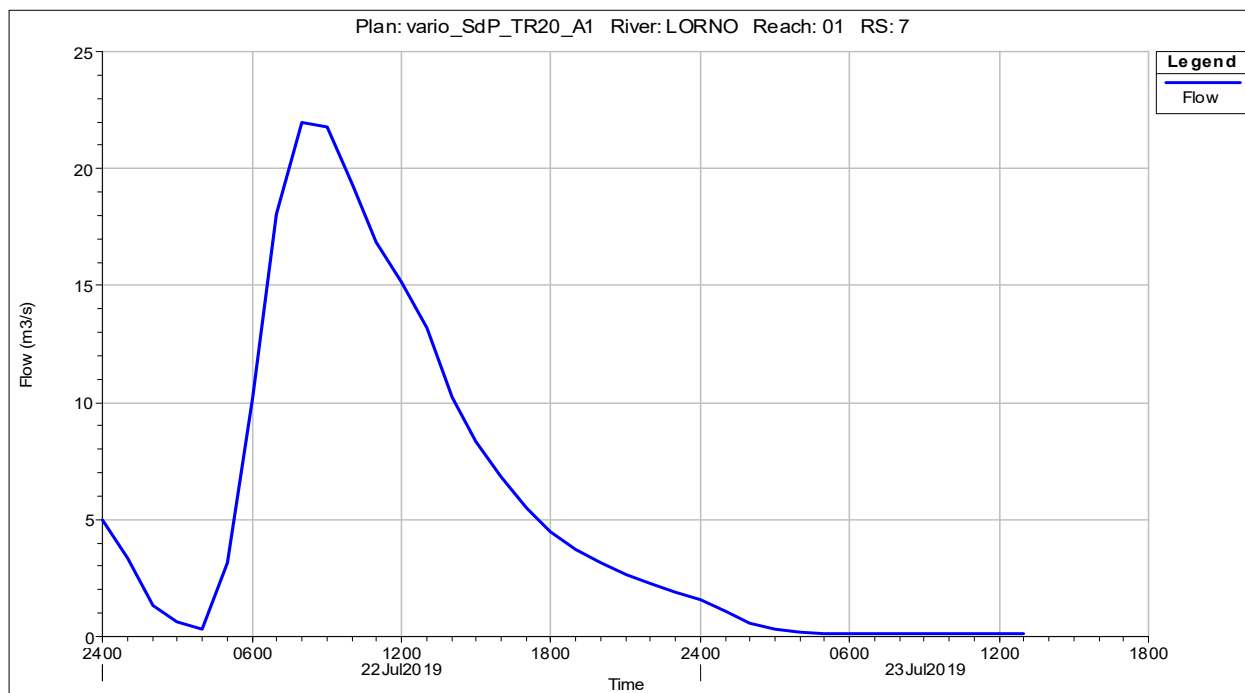


Figura 68 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

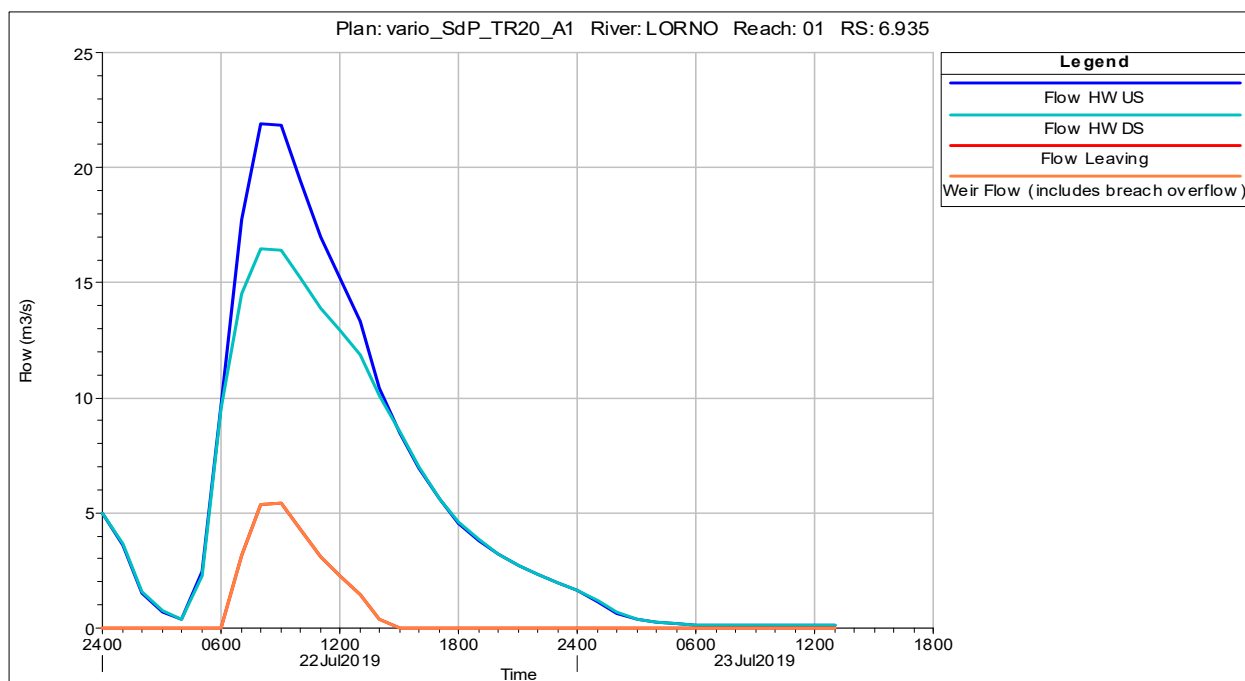


Figura 69 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

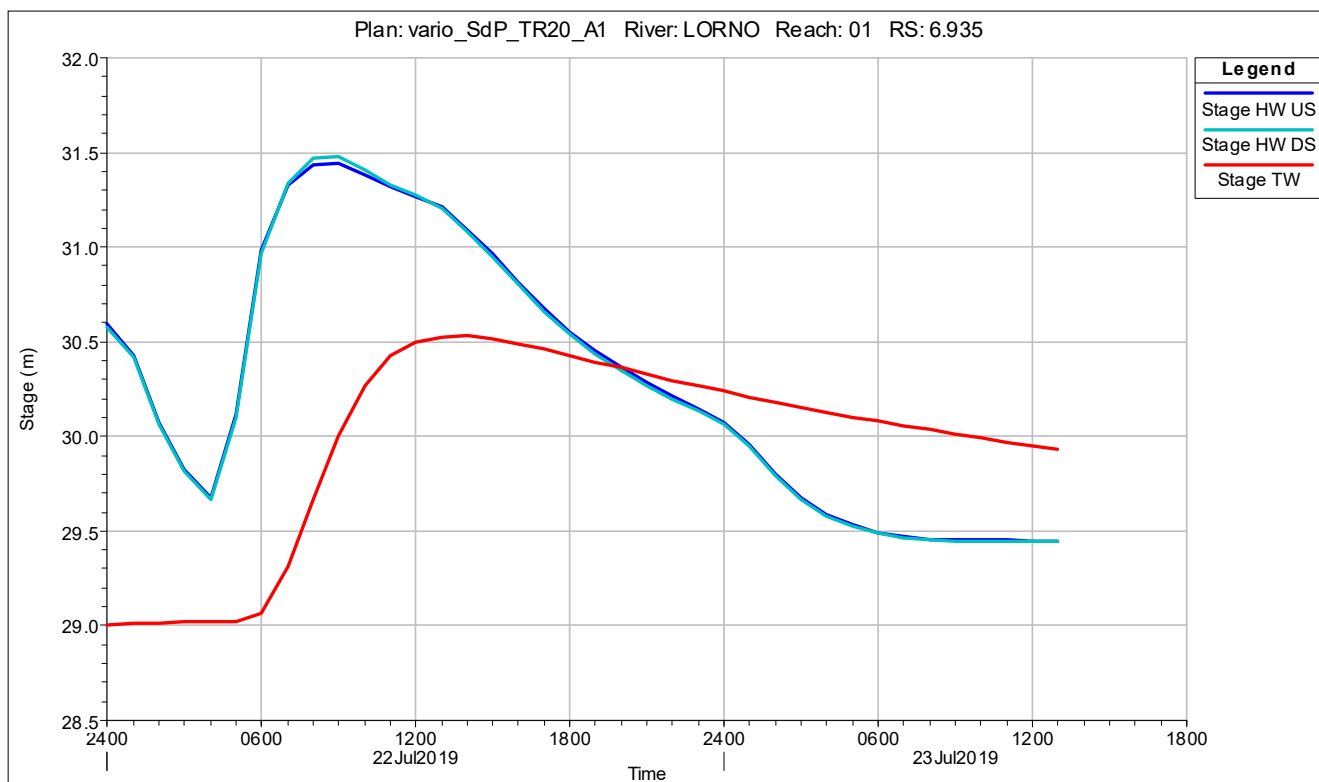


Figura 70 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

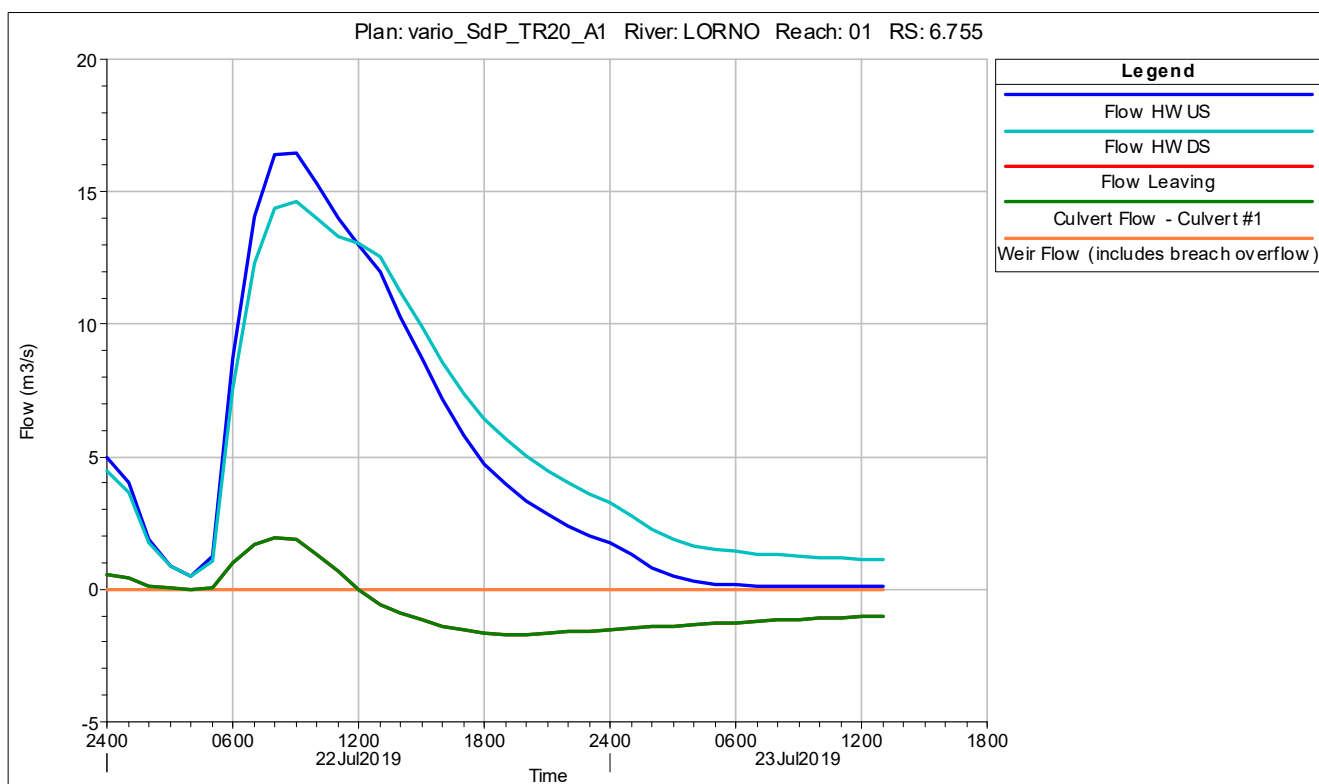


Figura 71 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

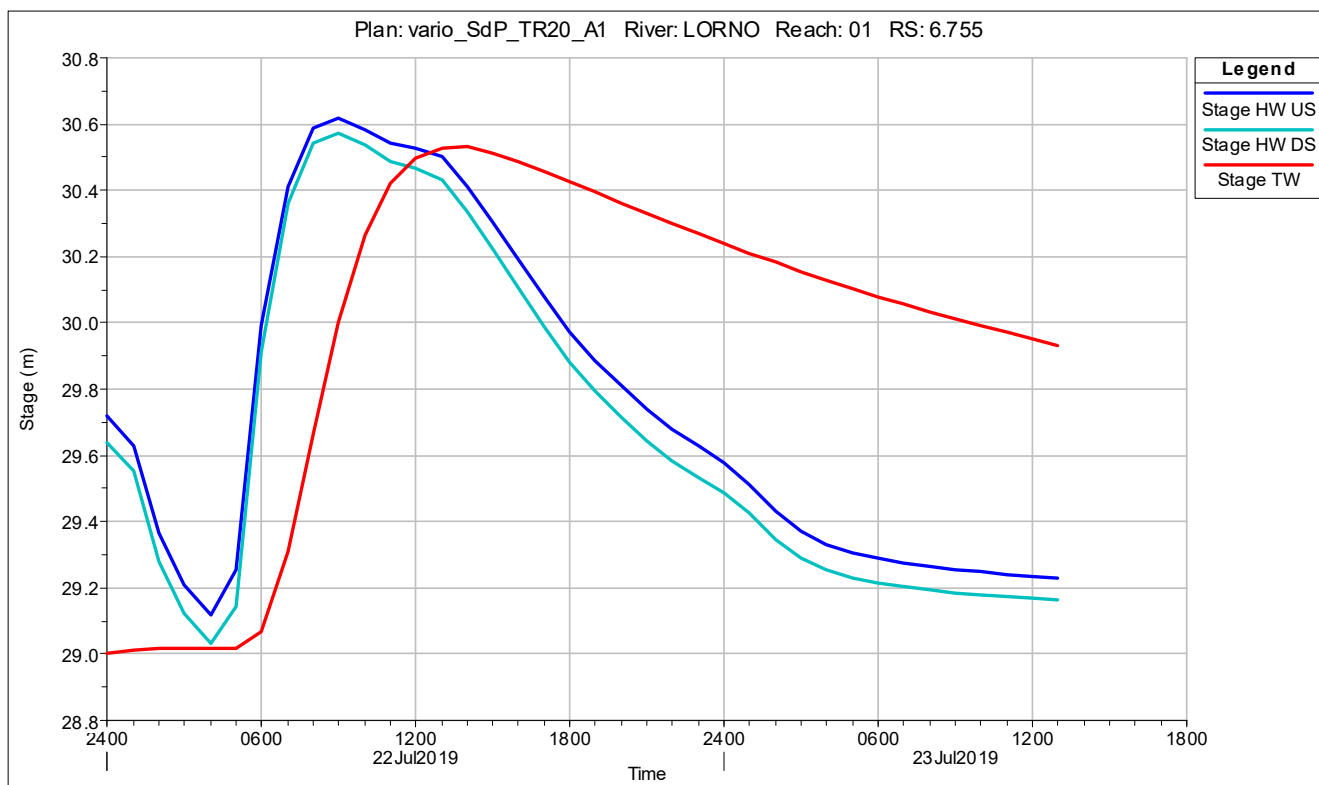


Figura 72 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

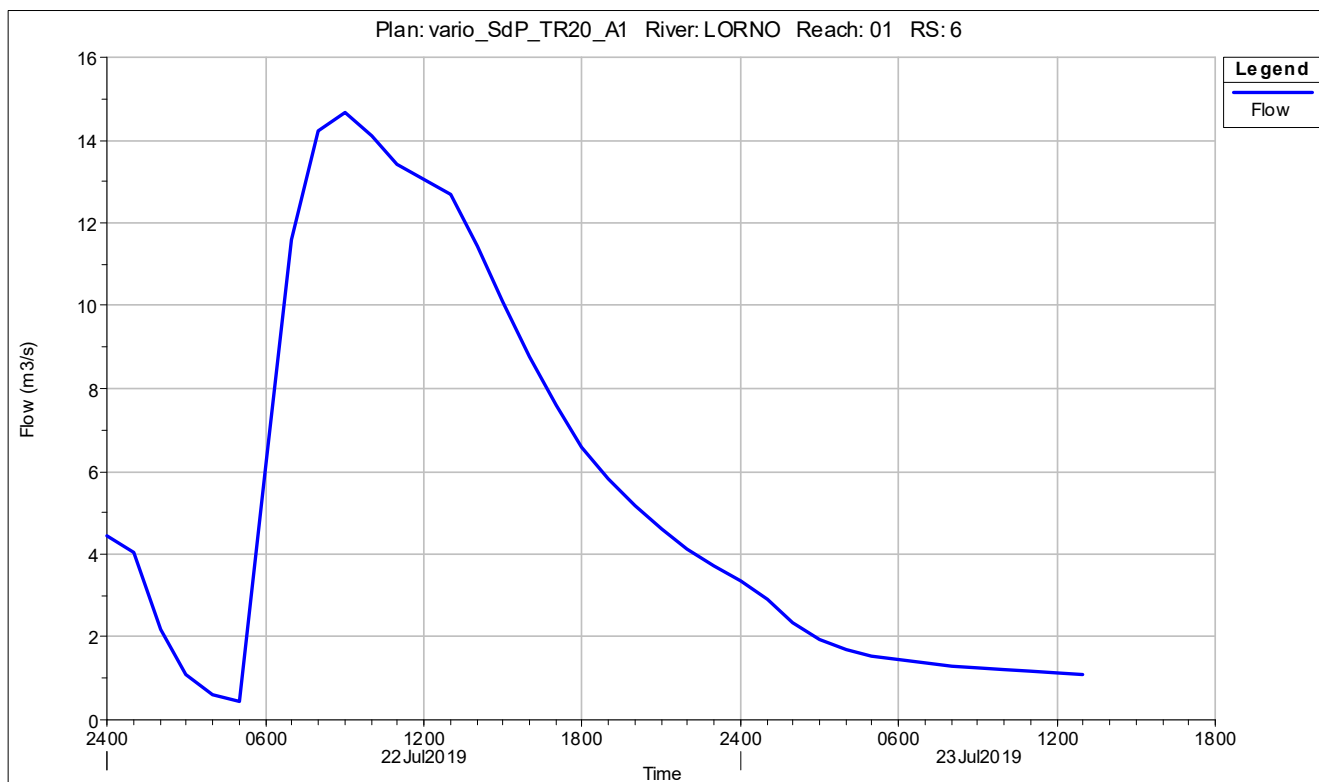


Figura 73 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

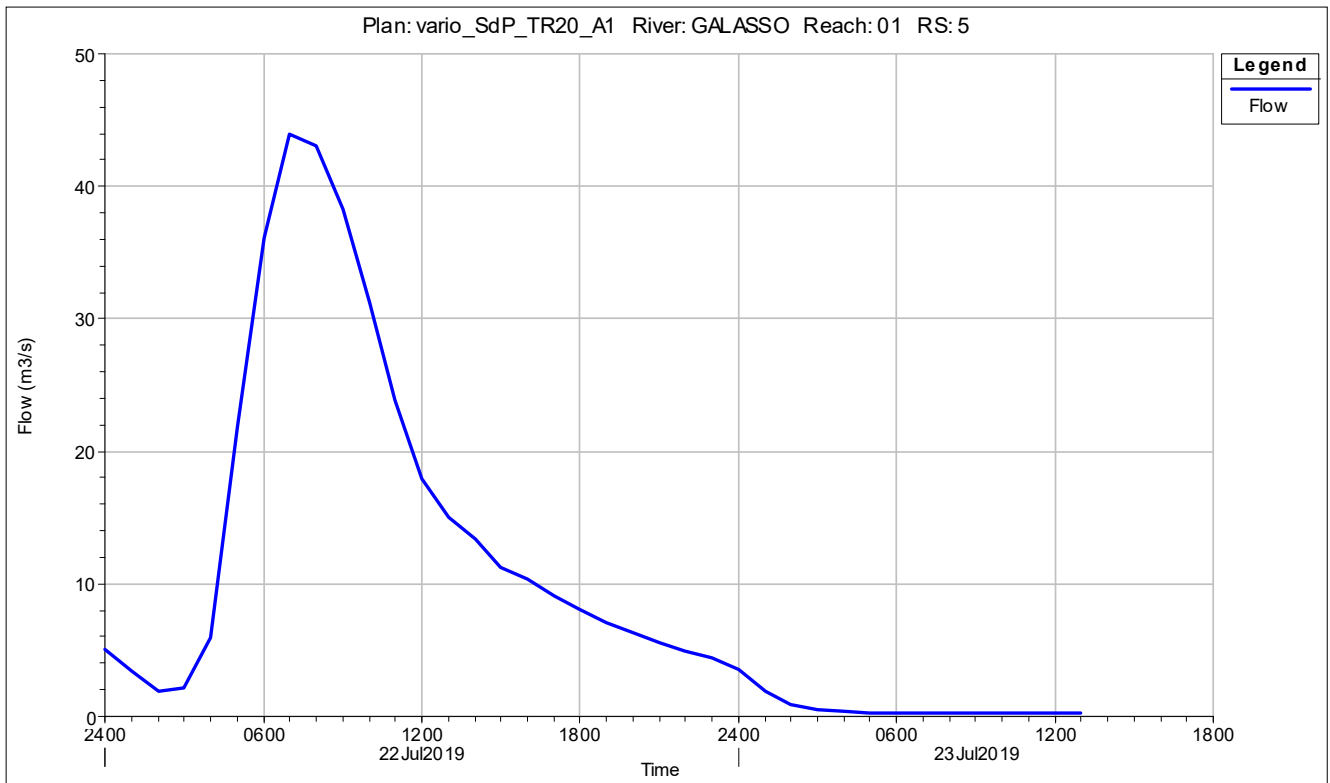


Figura 74 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

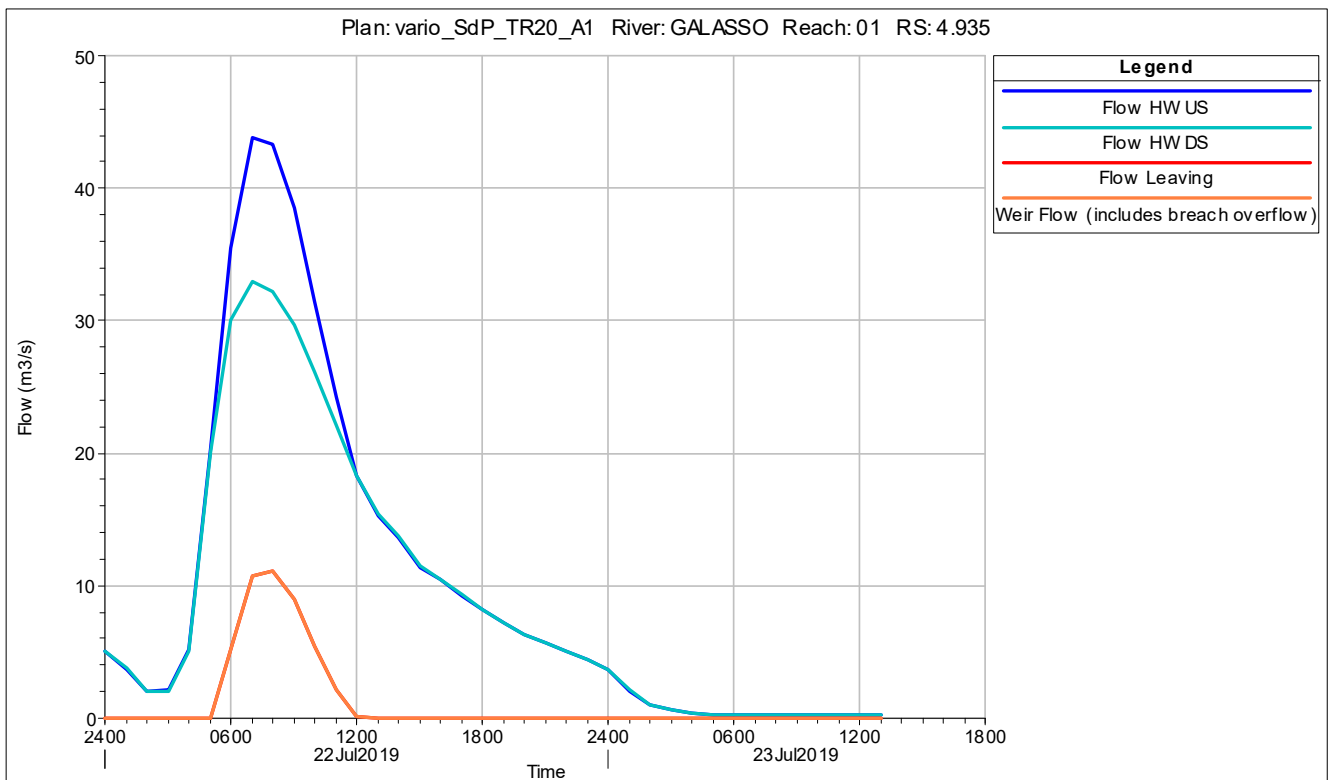


Figura 75 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.



Figura 76 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

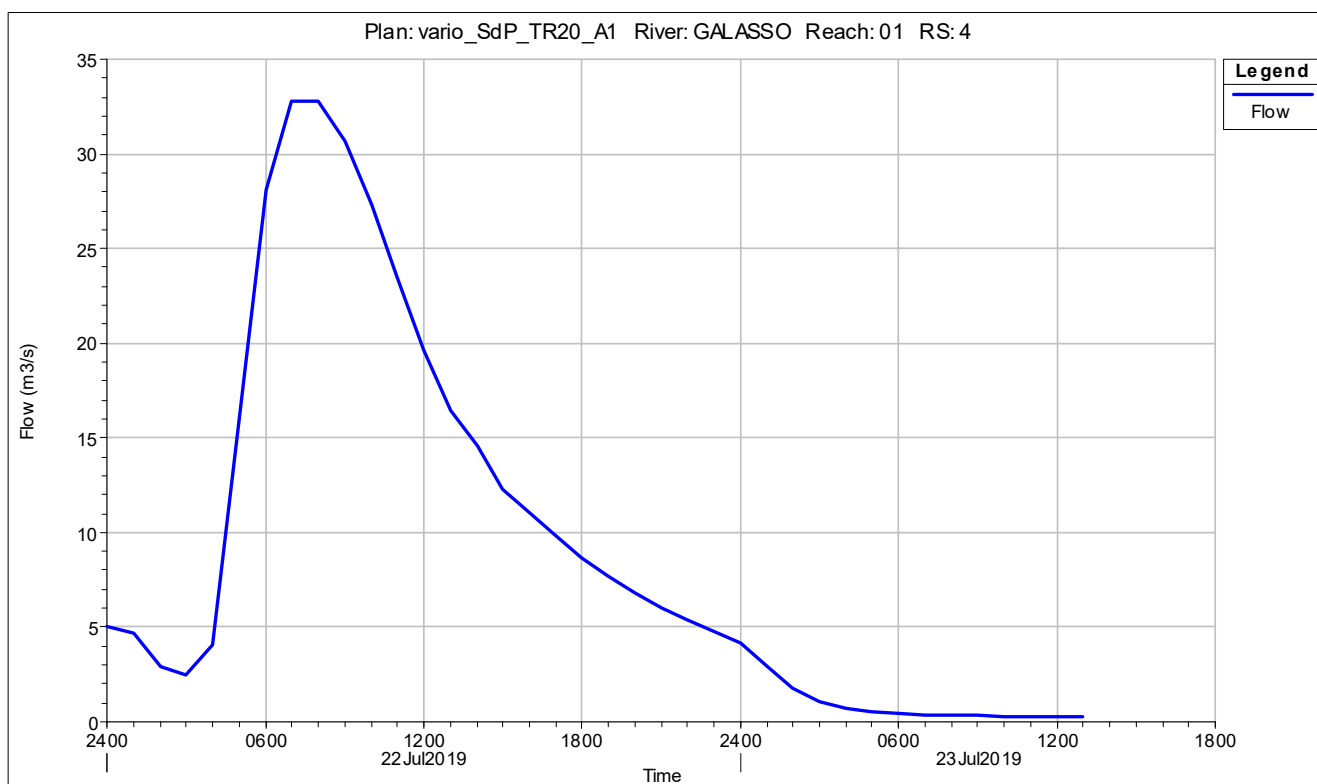


Figura 77 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

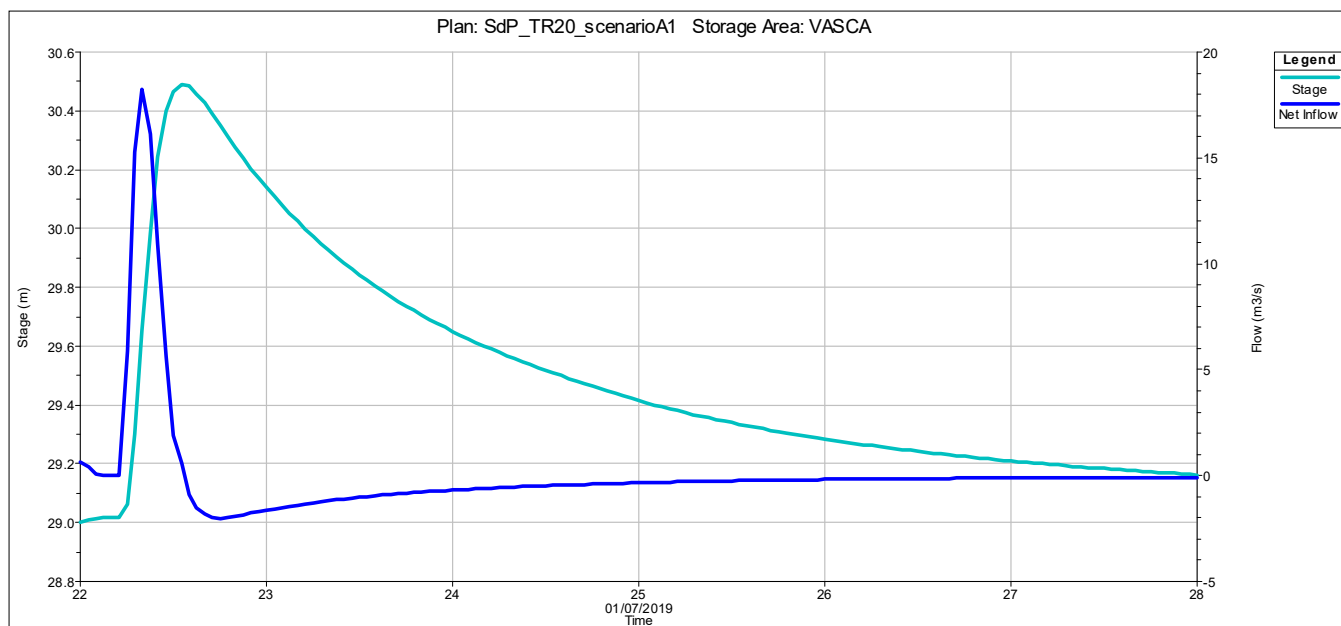


Figura 78 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 20 anni nello scenario A1 nello stato di progetto:

TR 20_A1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
280	30.49	6	5.00	11.00	1.70

Tabella 9 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A1 per un TR di 20 anni.

4.7.2.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR20 - scenario A1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 20 cm nella sezione di monte e di circa 35 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 32 cm nella sezione di monte e di circa 38 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1.300 m per il canale Lorno e a circa 1.100 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

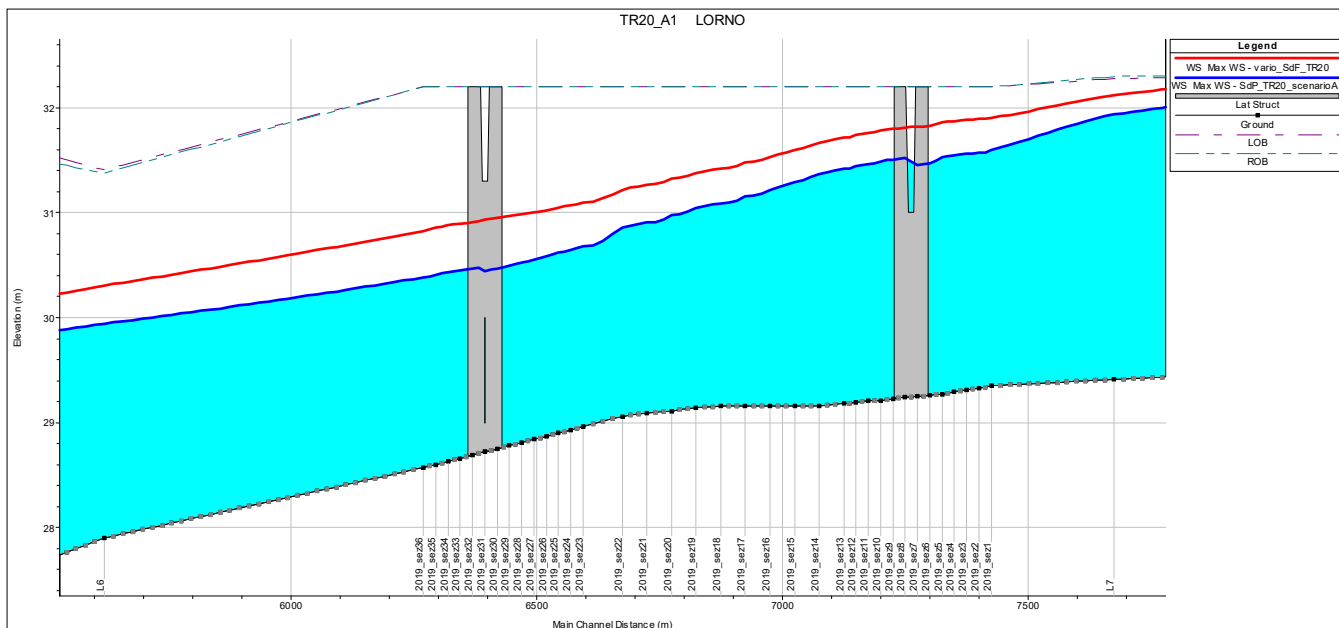


Figura 79 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

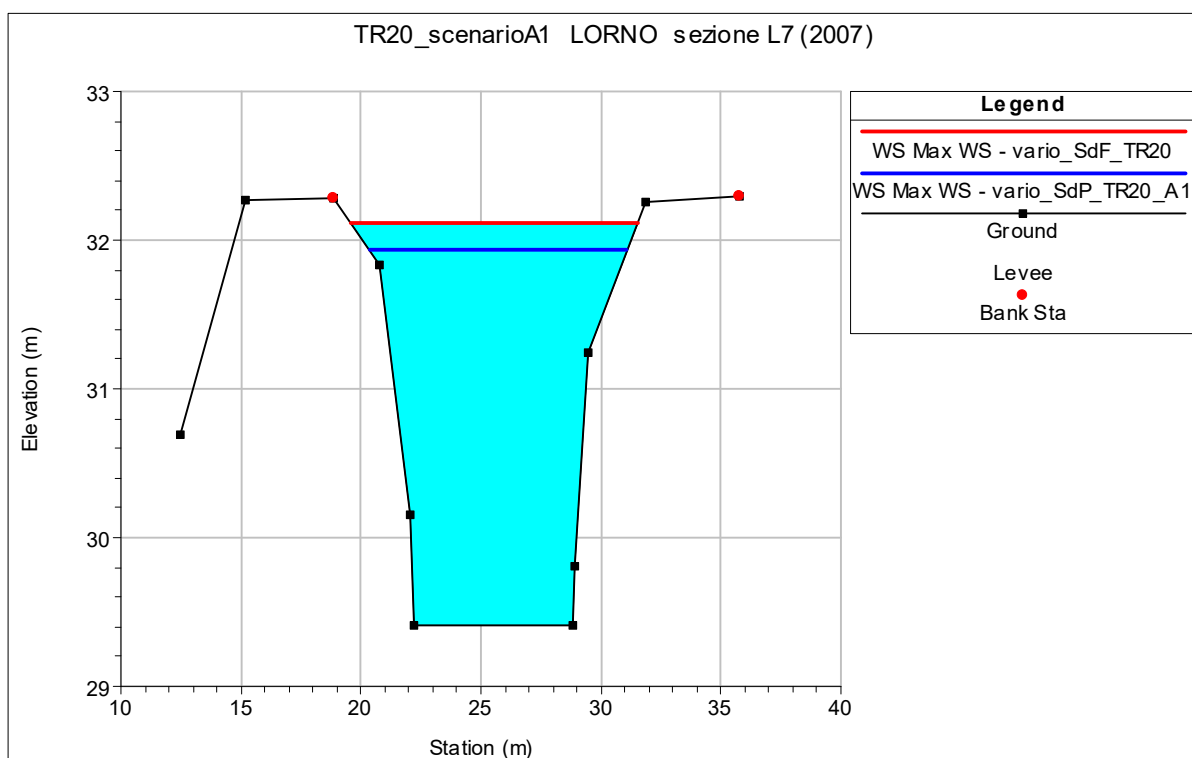


Figura 80 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

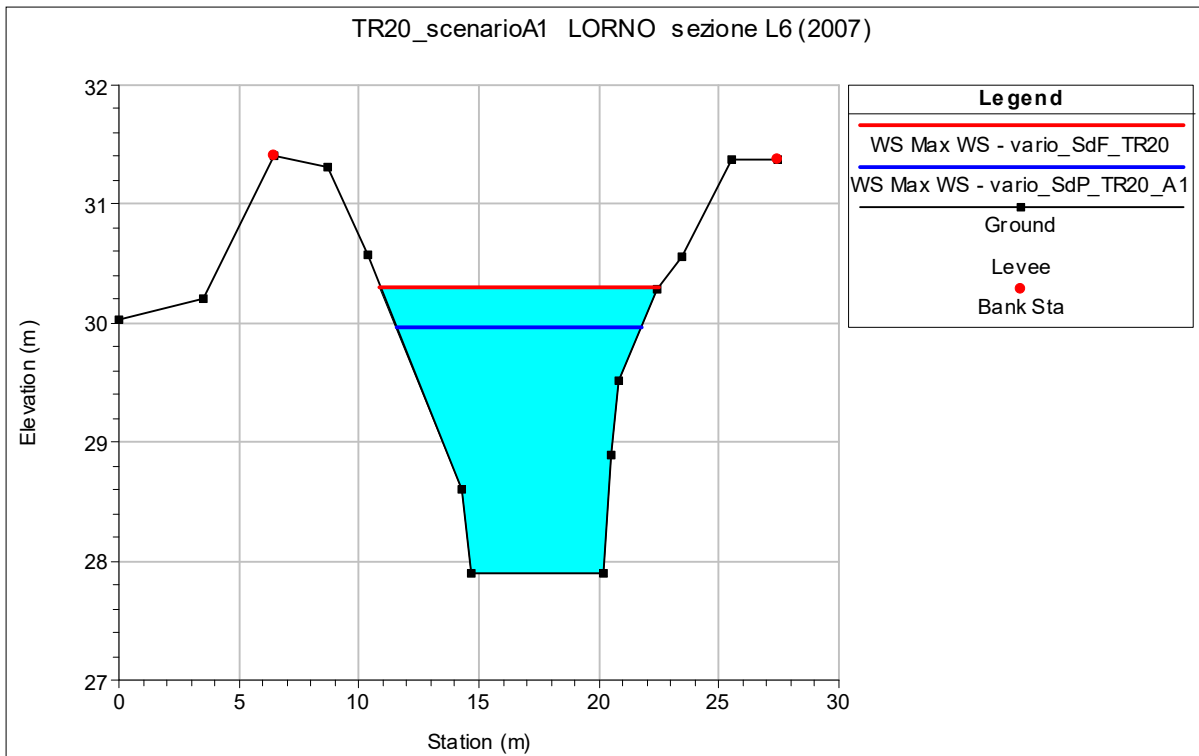


Figura 81 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

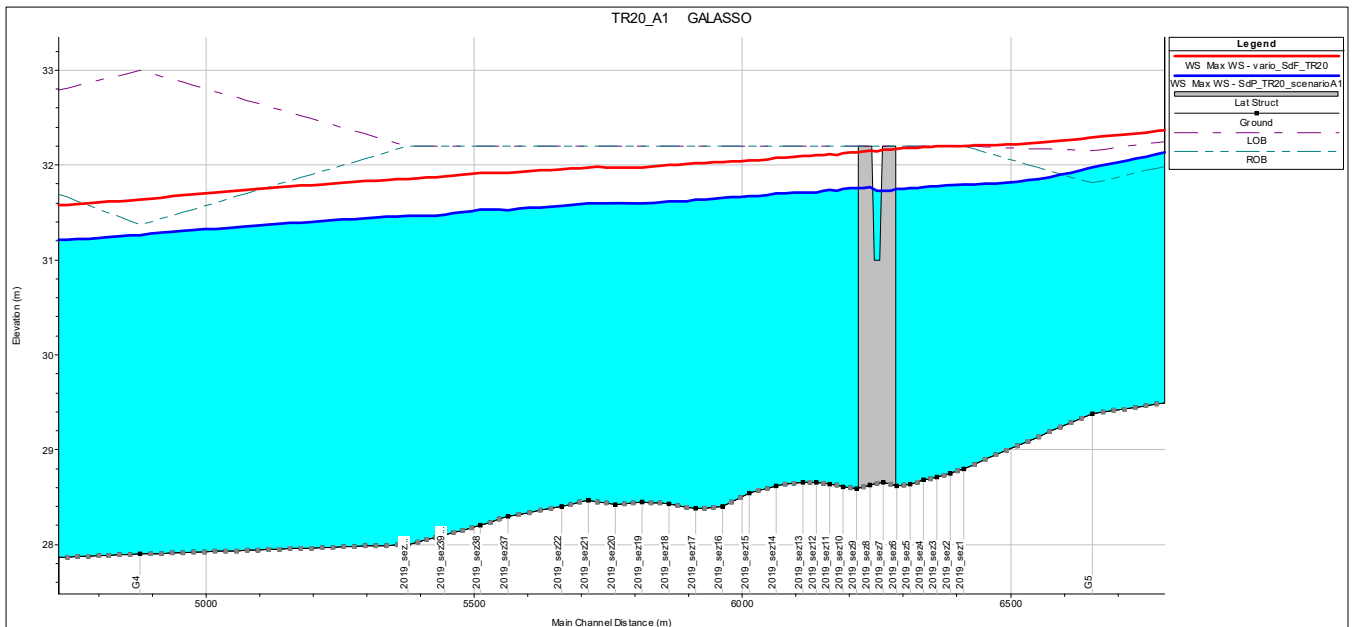


Figura 82 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

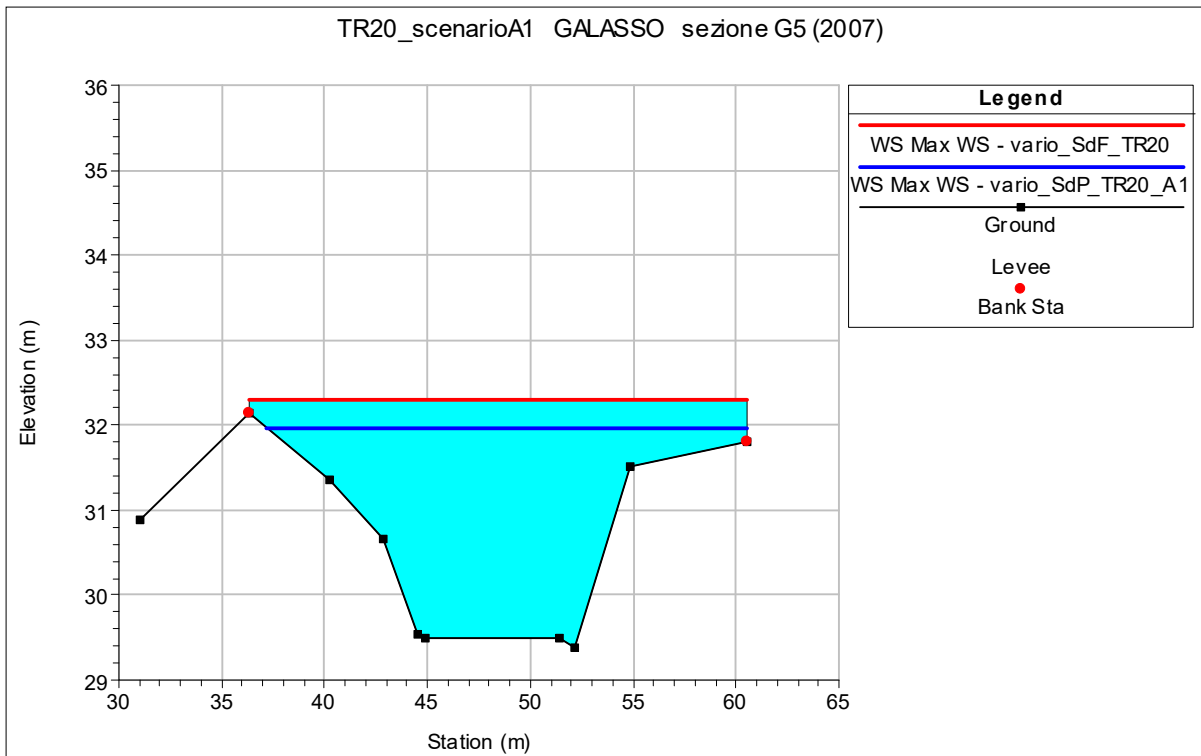


Figura 83 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

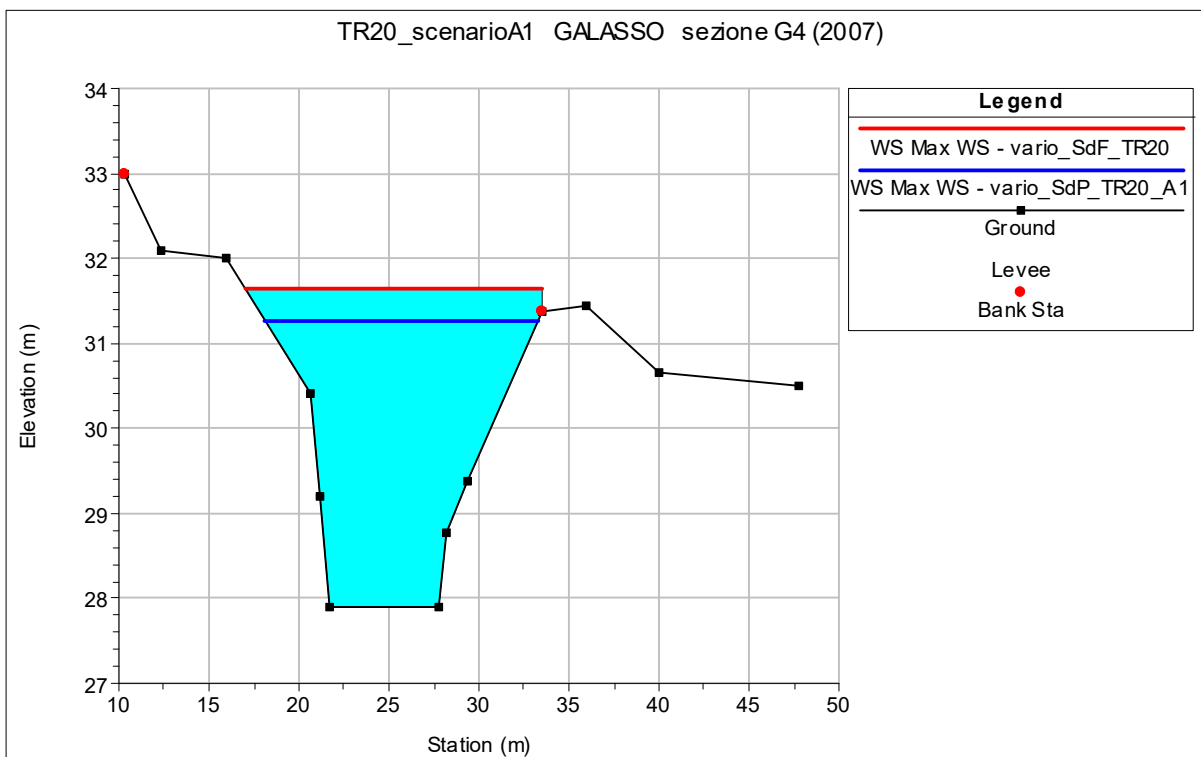


Figura 84 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.3 TR20 CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A3

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A3 e per un TR di 20 anni. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A3 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.50 m s.l.m. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. L'unico superamento dei rilevati arginali a valle della cassa si ha in corrispondenza di una possibile corda molle (rilievo non aggiornato) in sponda destra della sezione G4 del canale Galasso. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

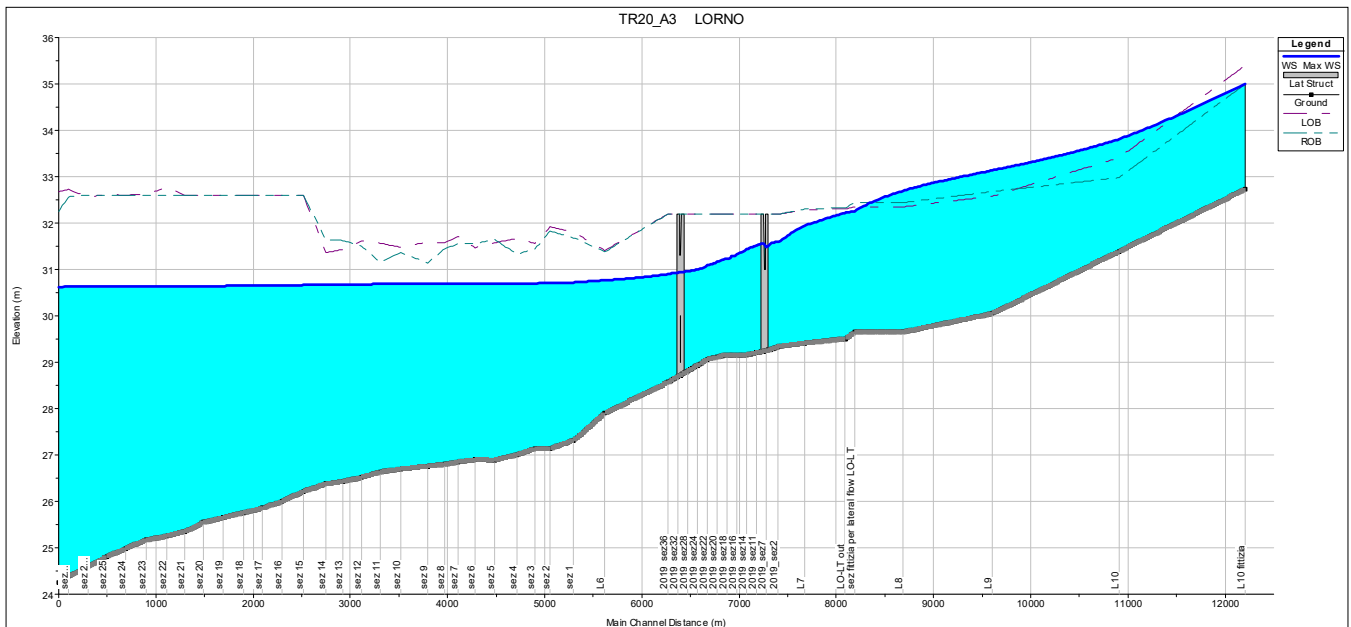


Figura 85 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

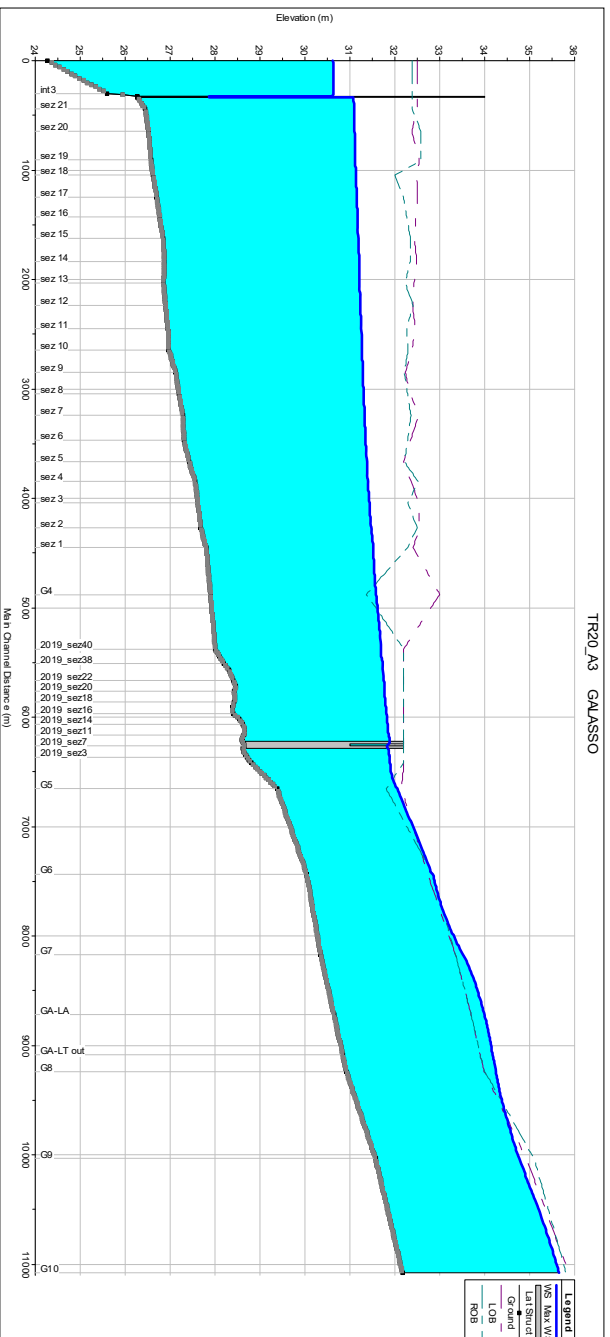


Figura 86 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

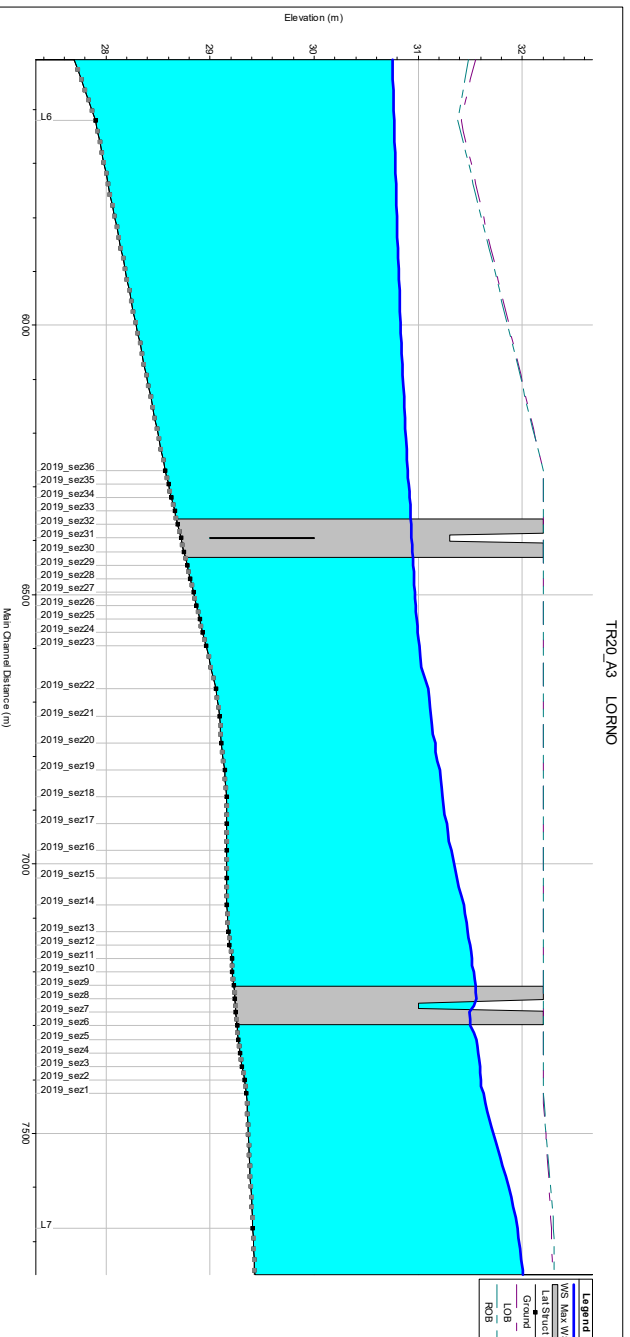


Figura 87 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

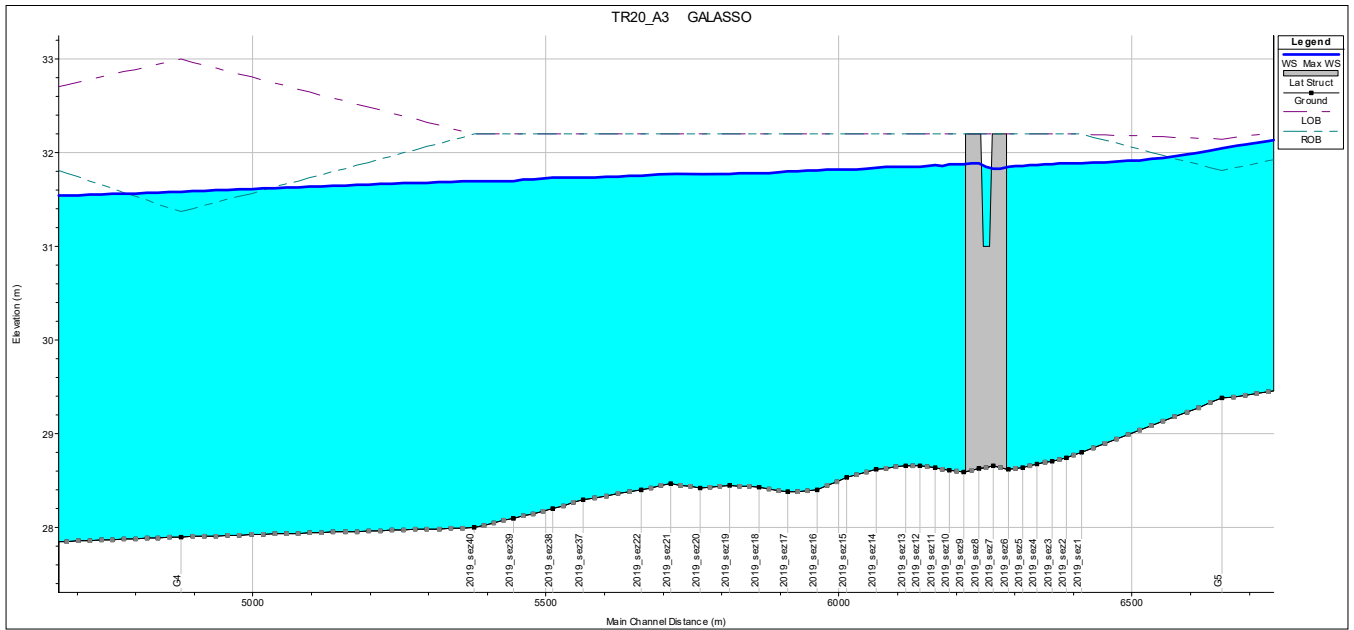


Figura 88 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso. Inoltre, in questo caso, si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

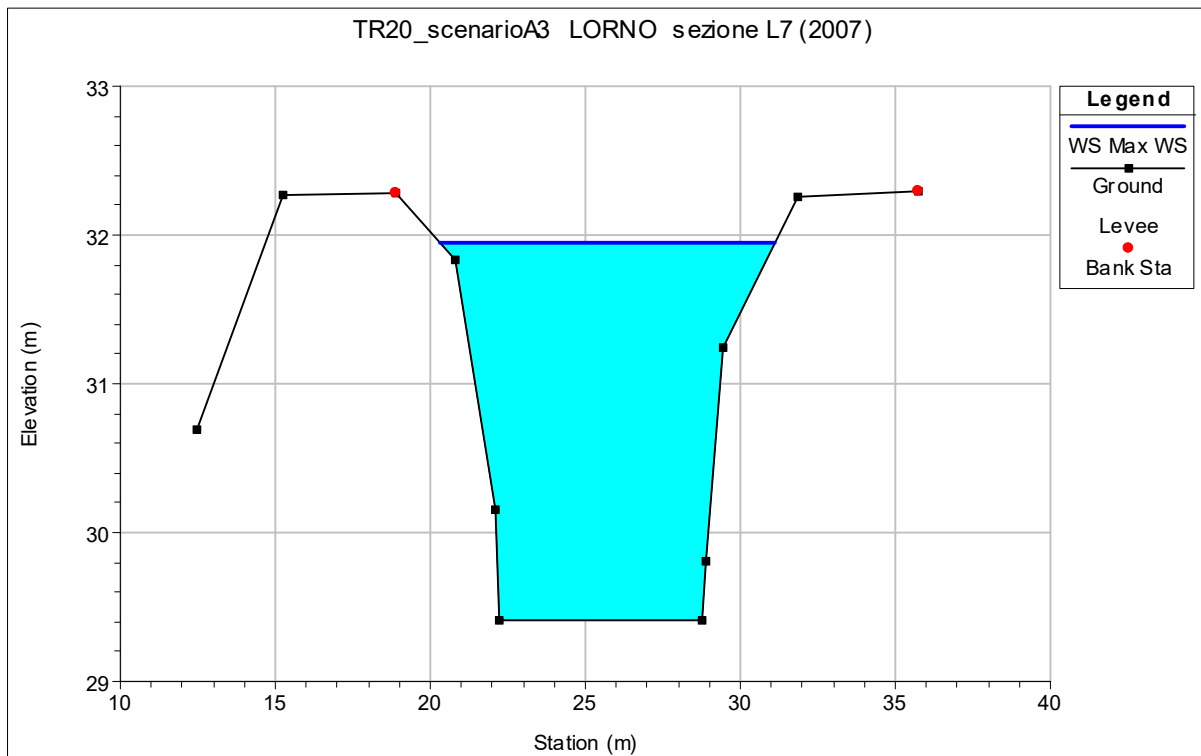


Figura 89 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

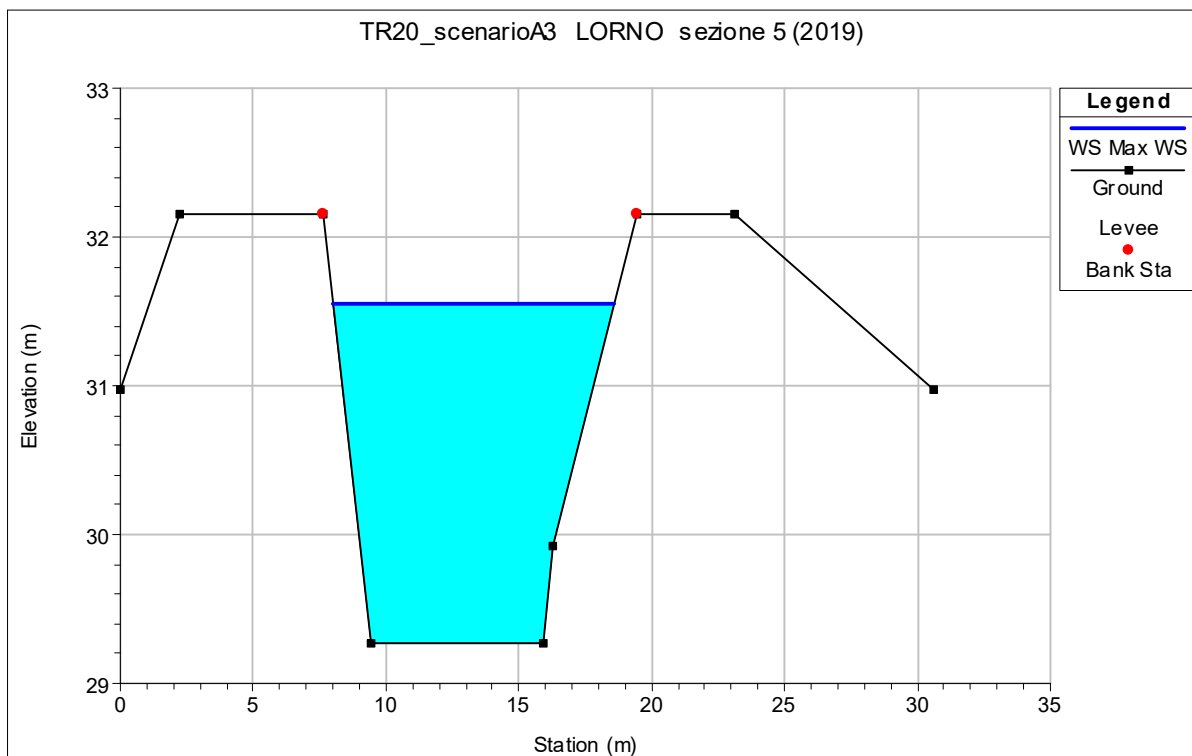


Figura 90 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

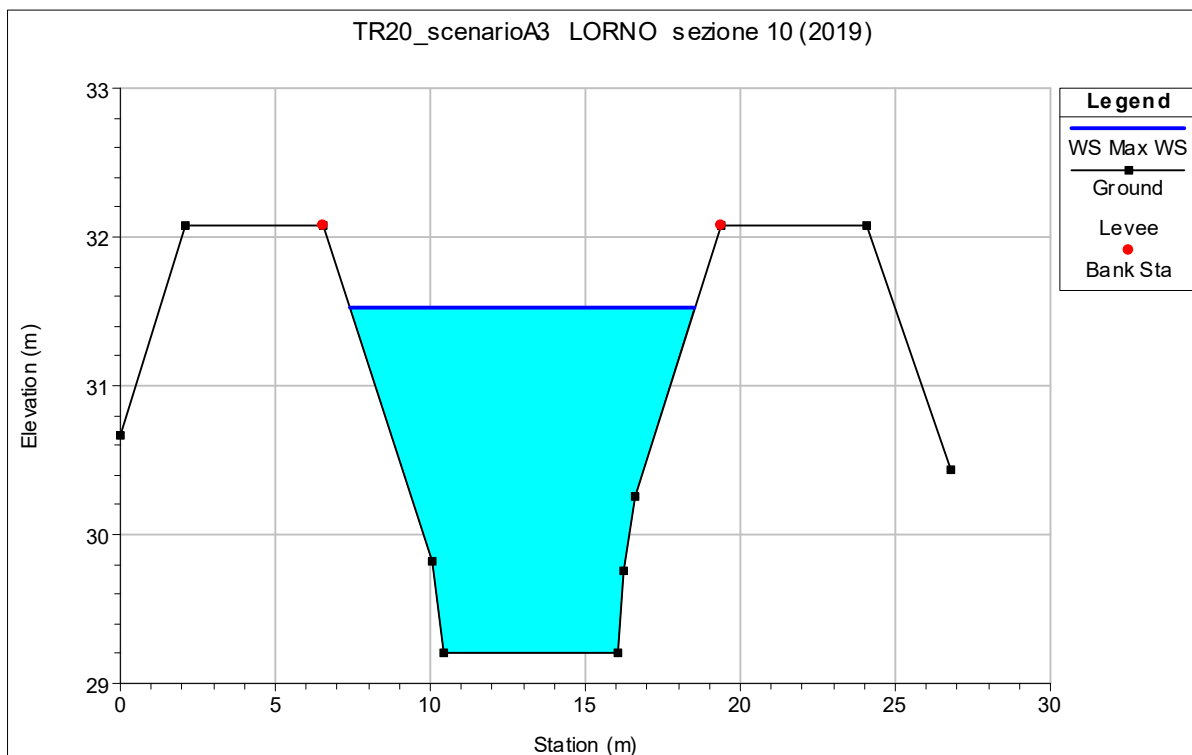


Figura 91 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

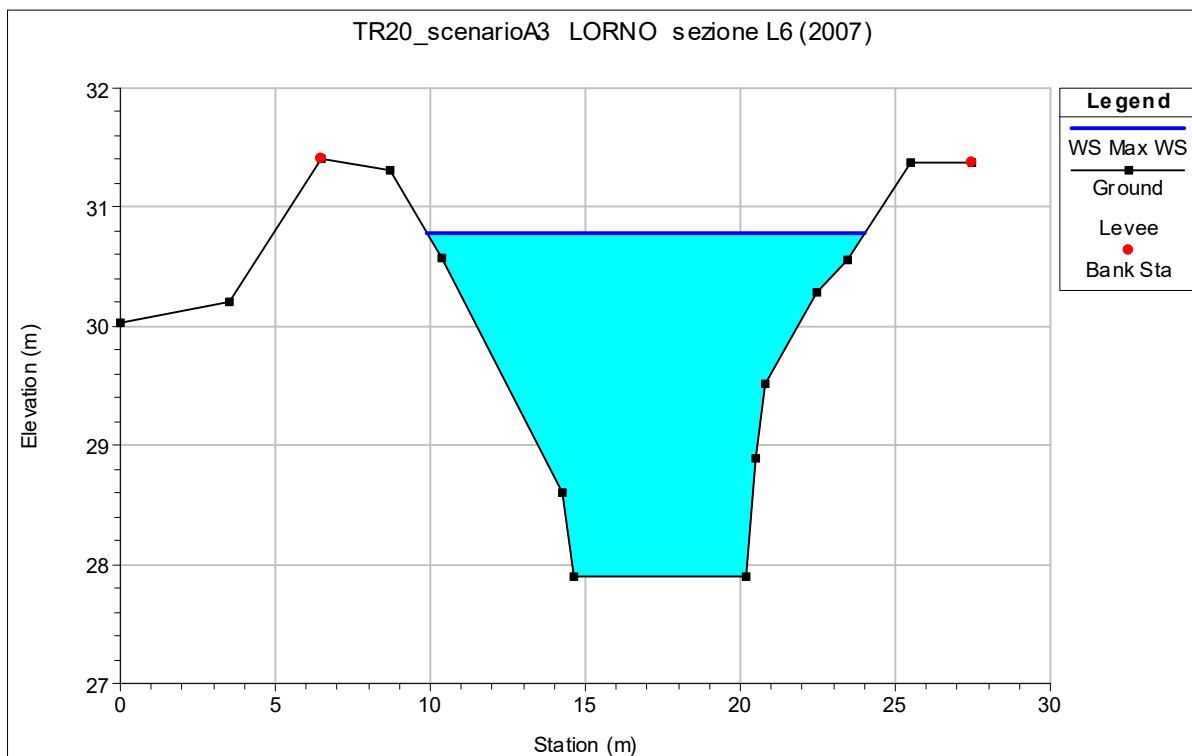


Figura 92 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

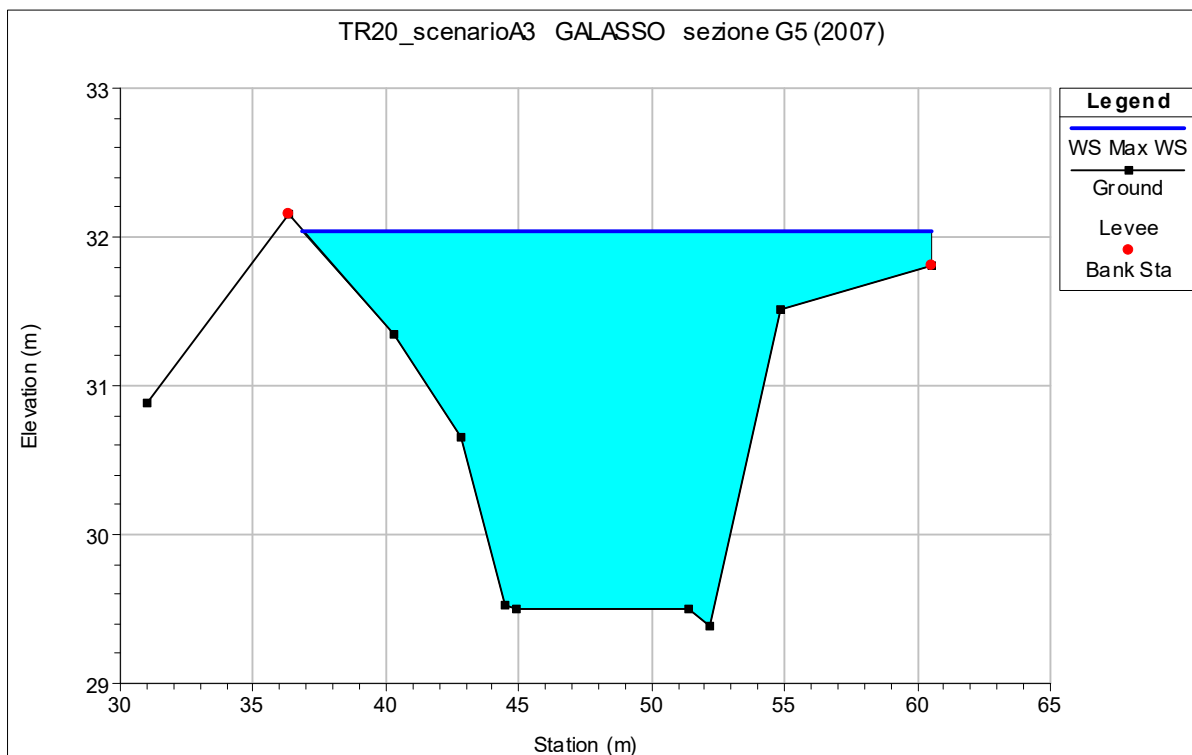


Figura 93 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

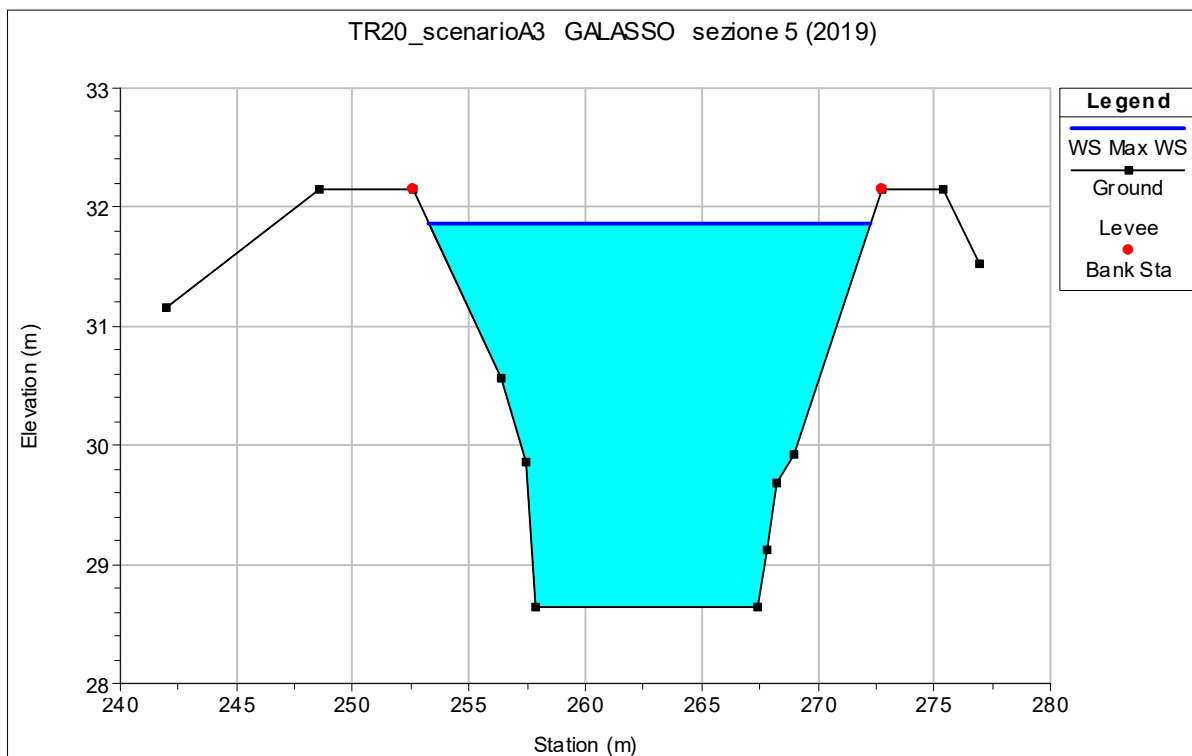


Figura 94 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

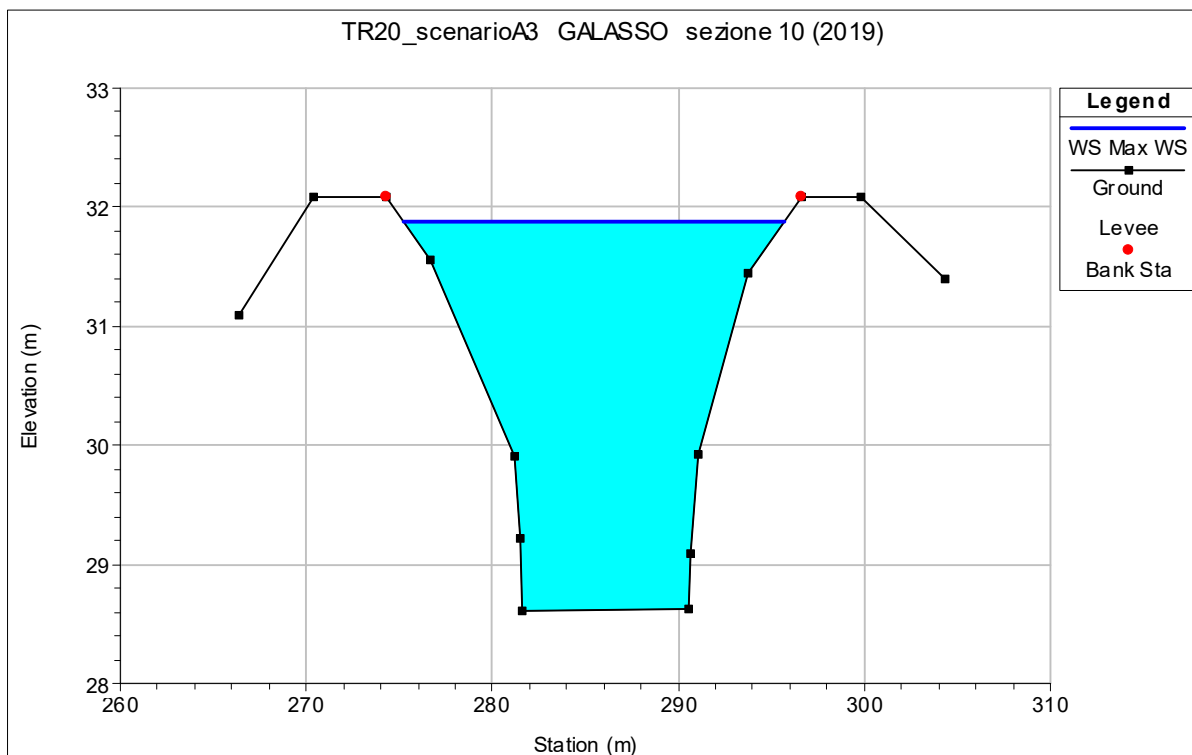


Figura 95 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

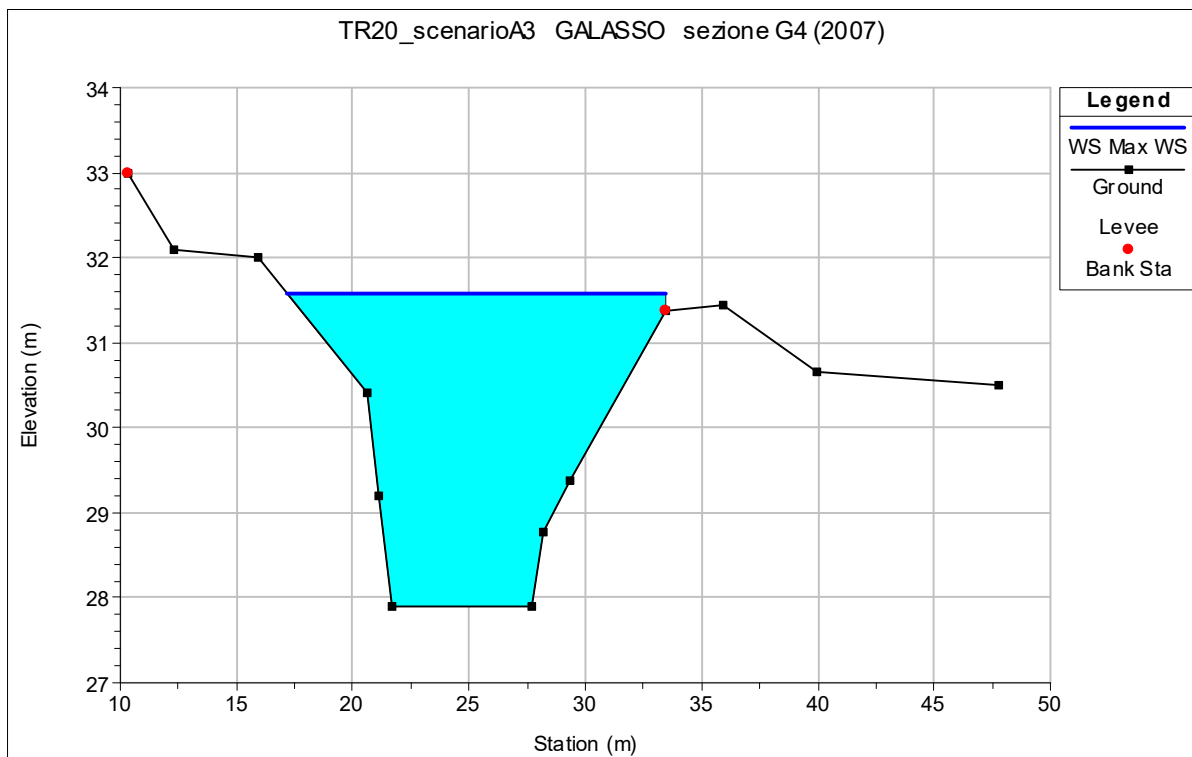


Figura 96 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 6 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 1.50 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 14 m³/s.

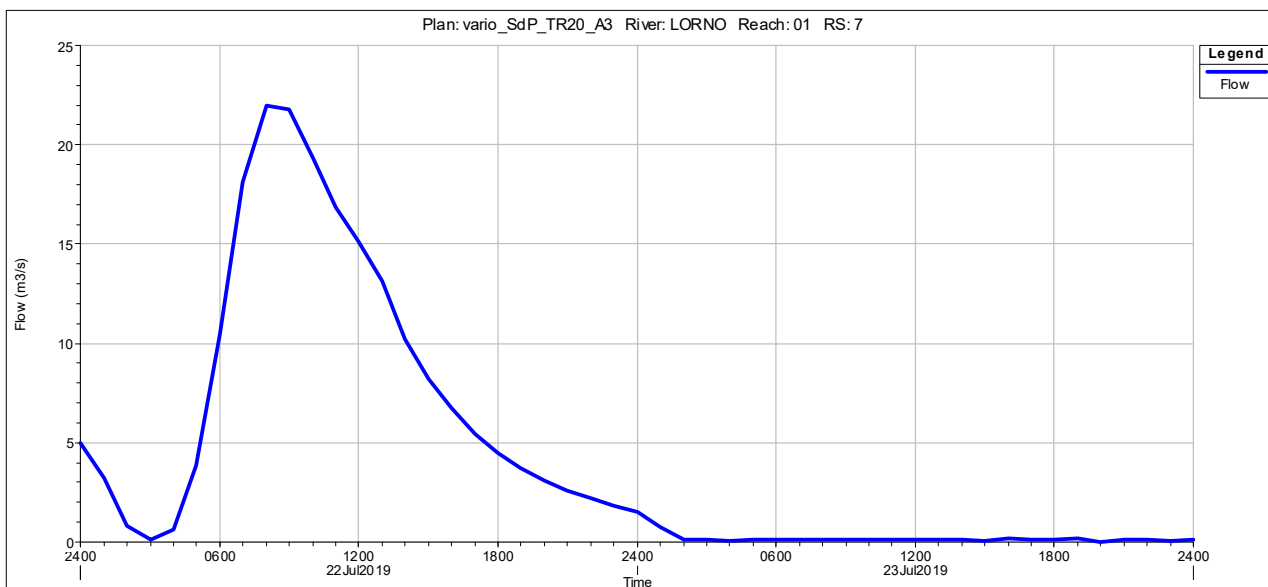


Figura 97 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

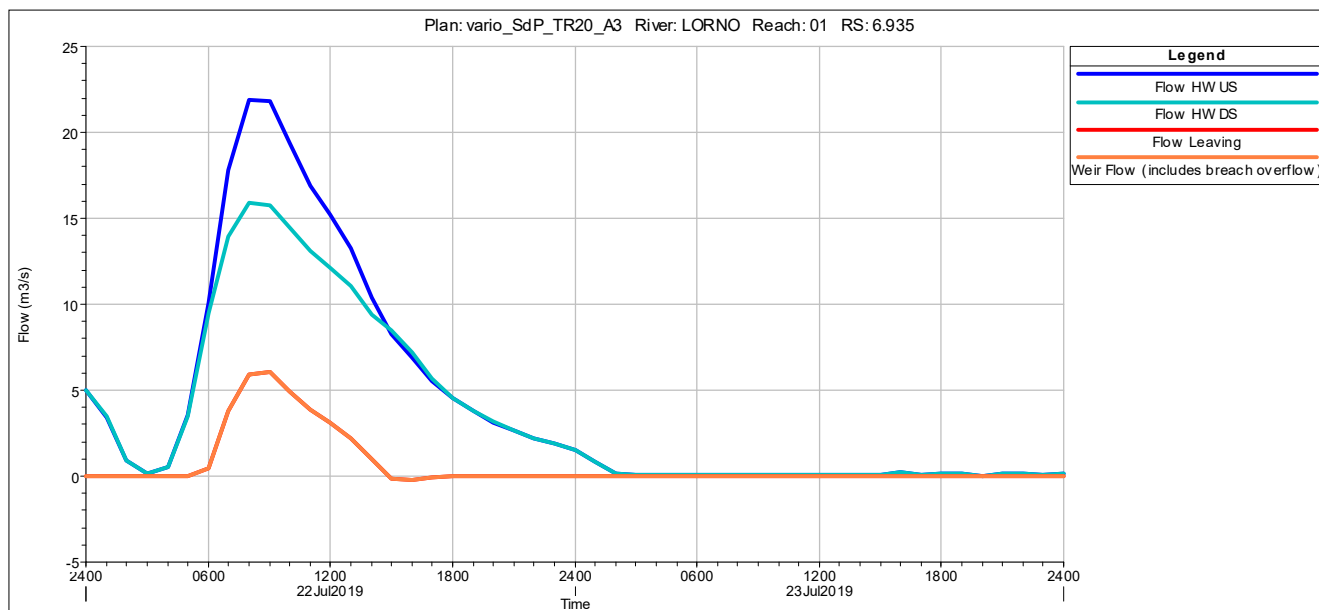


Figura 98 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

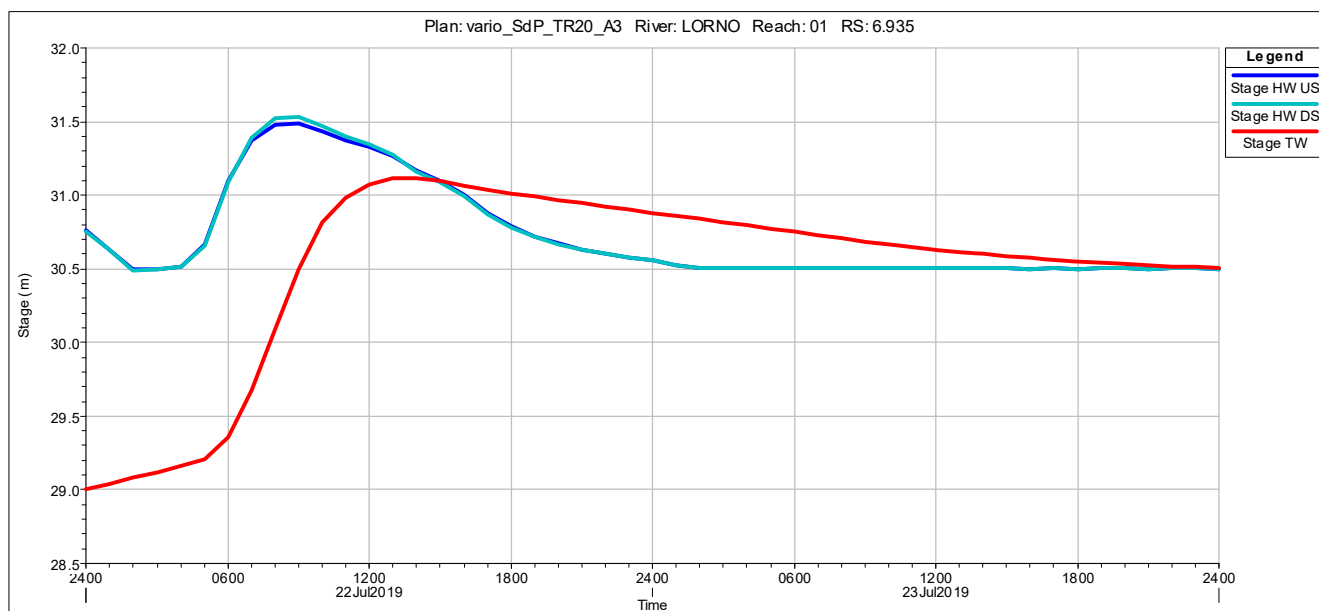


Figura 99 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

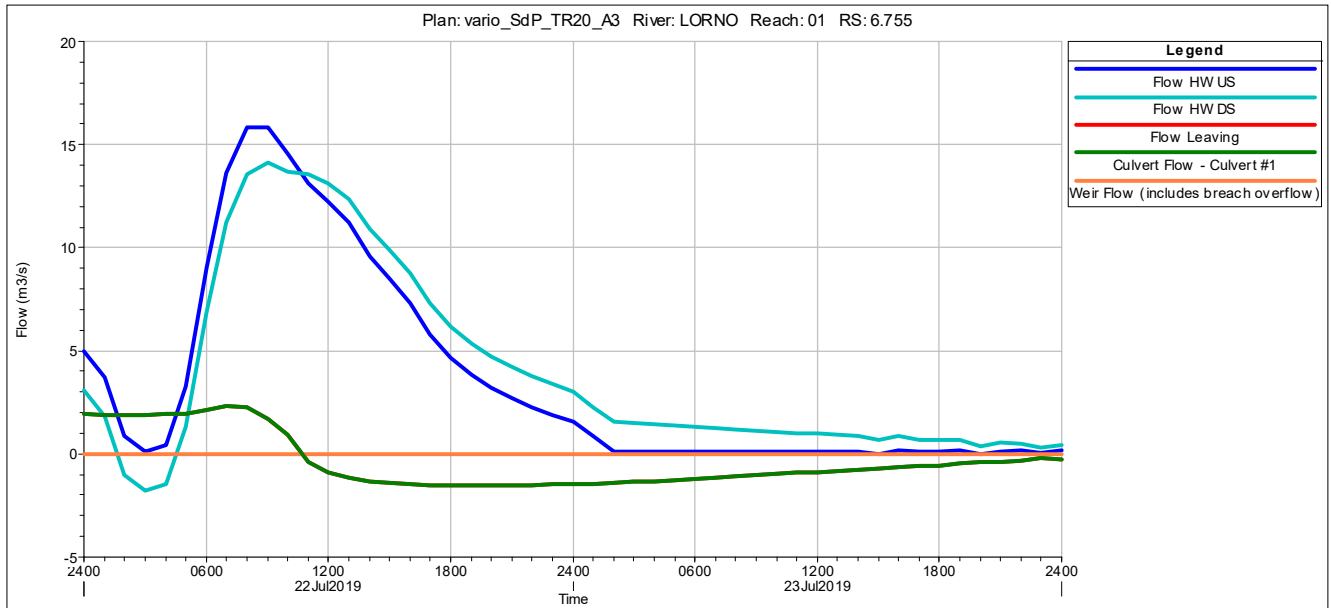


Figura 100 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

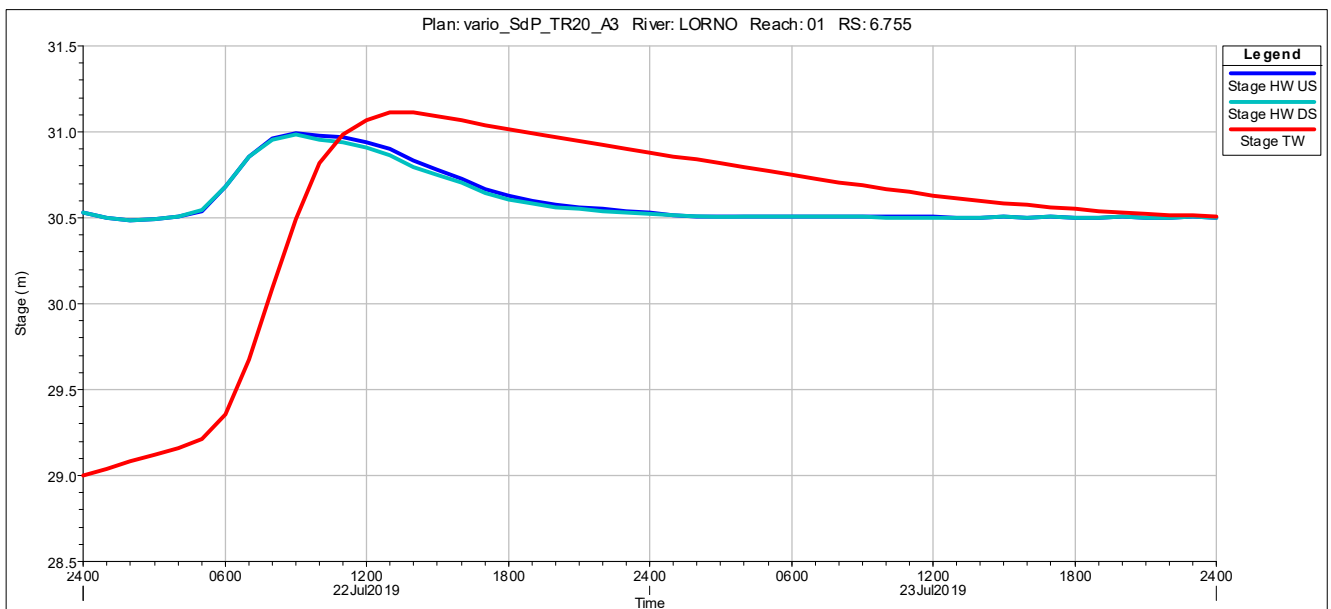


Figura 101 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

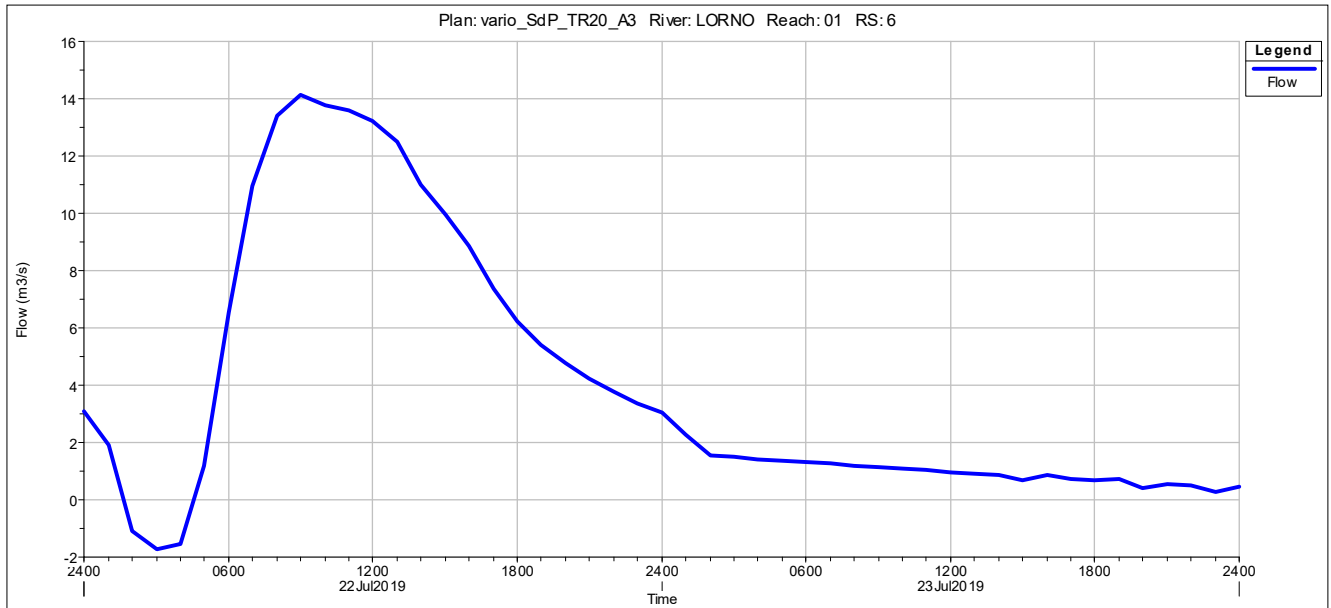


Figura 102 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

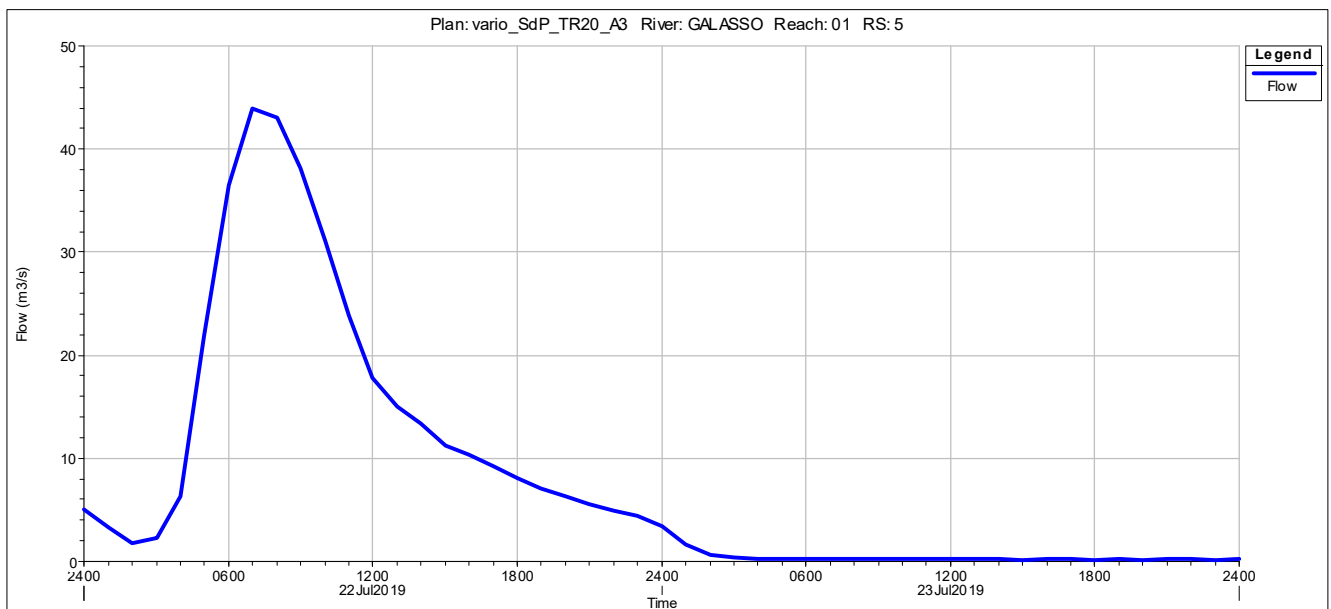


Figura 103 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

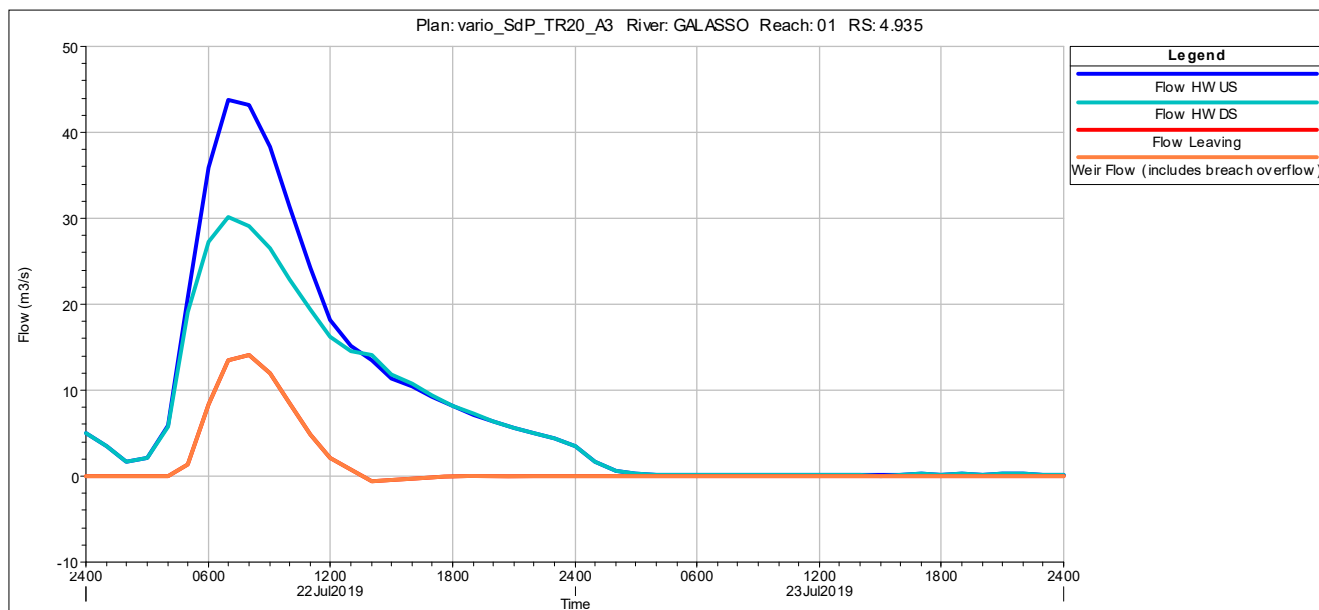


Figura 104 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

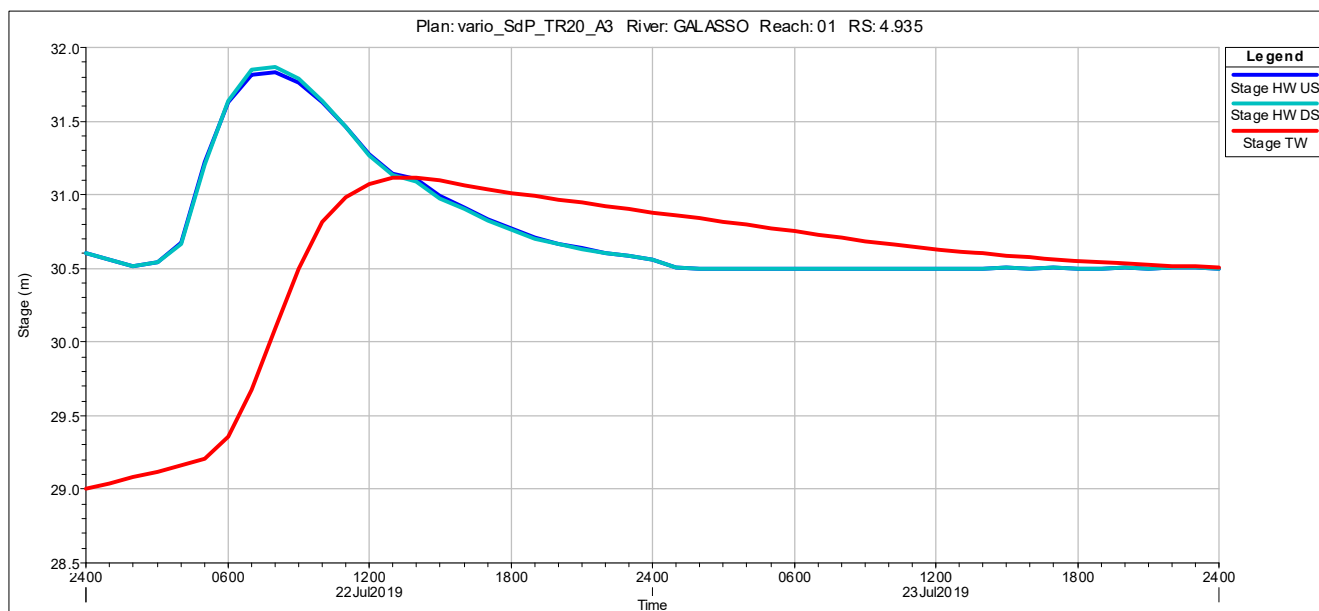


Figura 105 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

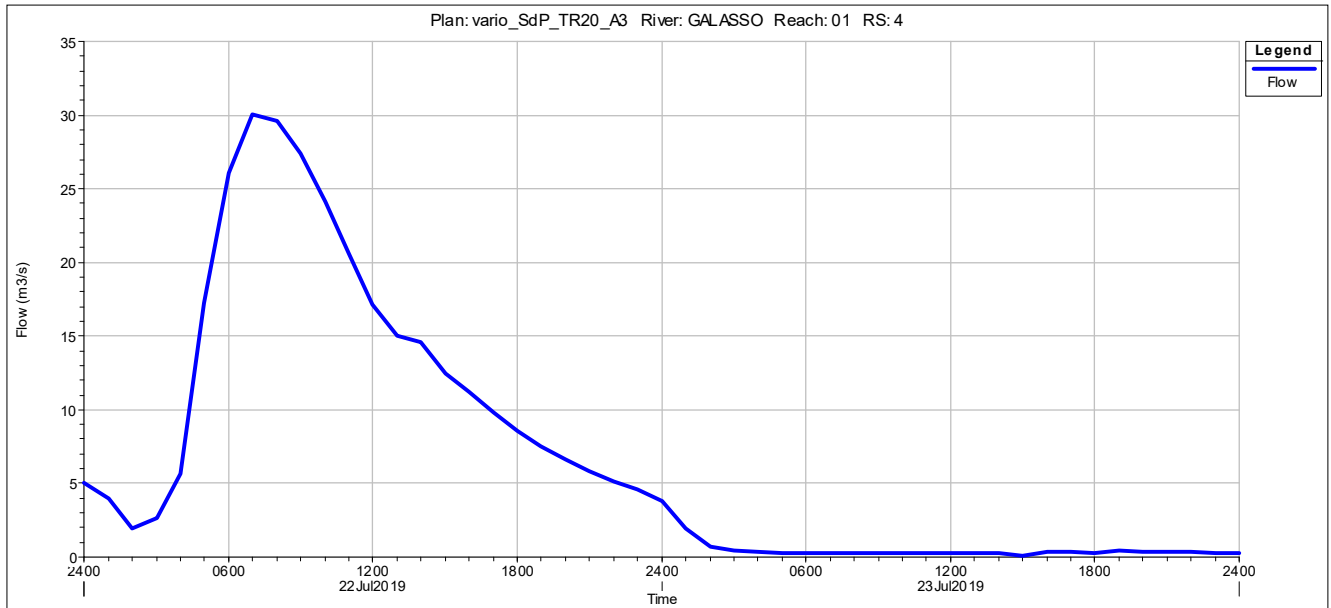


Figura 106 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

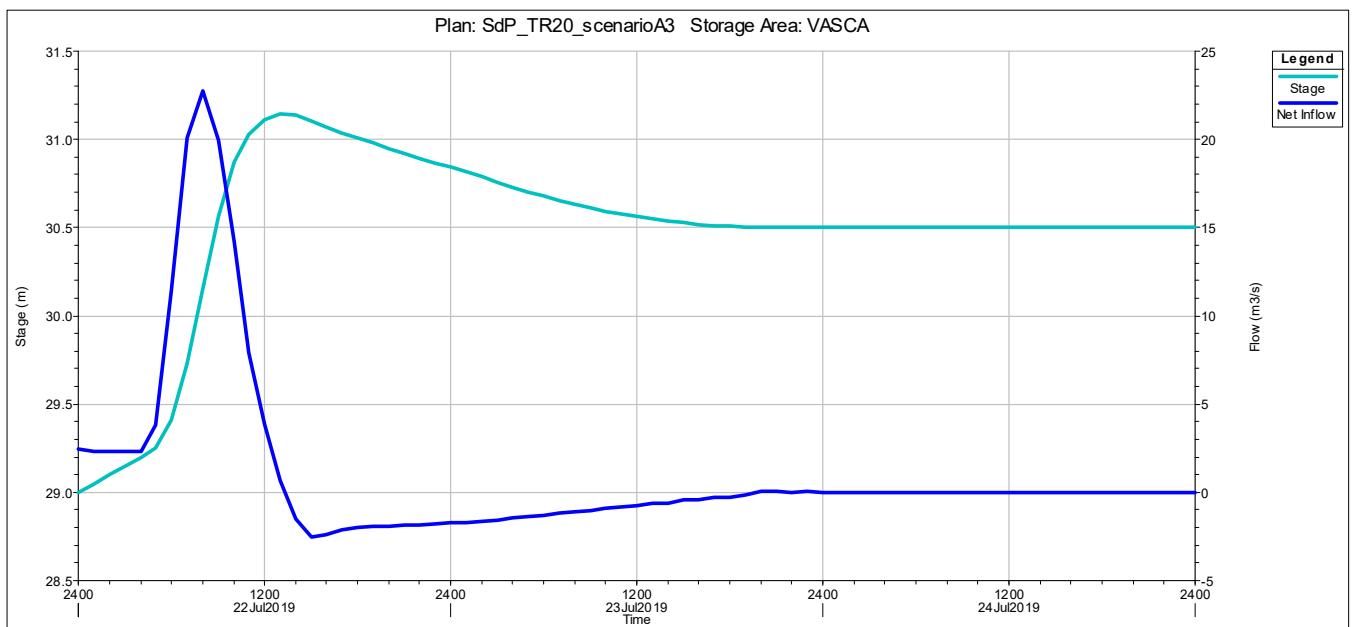


Figura 107 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 20 anni nello scenario A3 nello stato di progetto:

TR 20 A3					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
425	31.15	2	6.00	14.00	1.50

Tabella 10 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A3 per un TR di 20 anni.

4.7.3.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR20 - scenario A3)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 24 cm nella sezione di monte e di circa 23 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 43 cm nella sezione di monte e di circa 50 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1800 m per il canale Lorno e a circa 1200 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

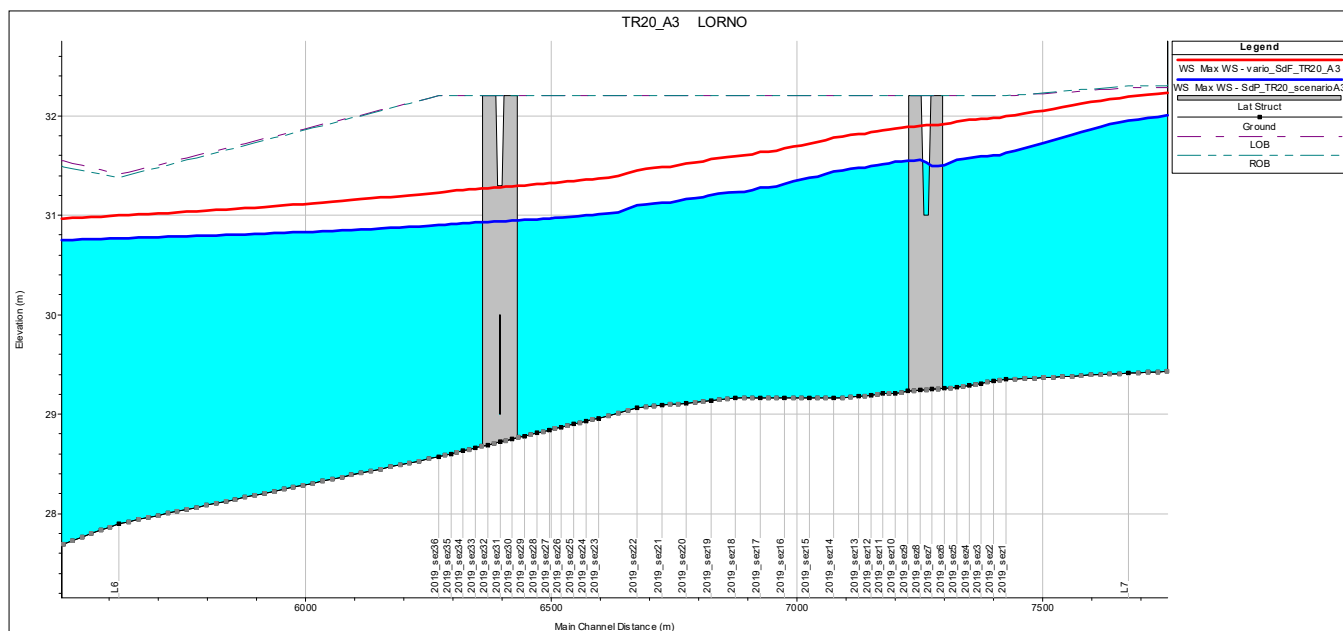


Figura 108 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

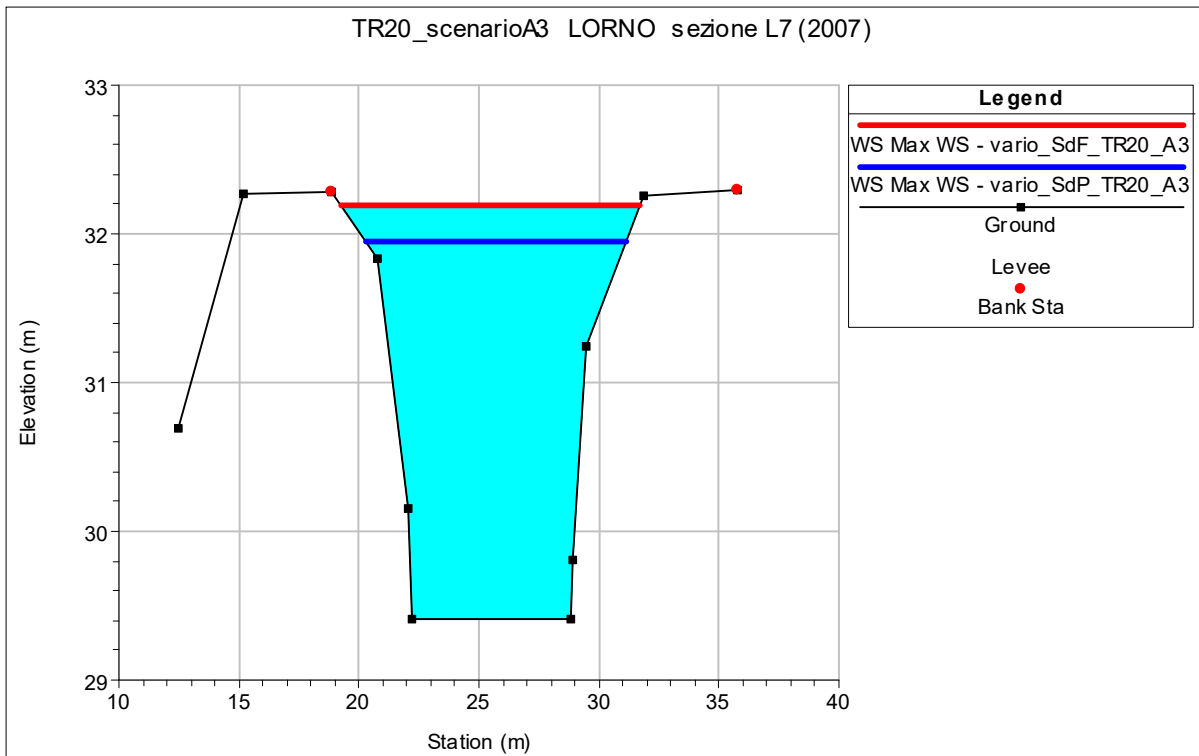


Figura 109 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

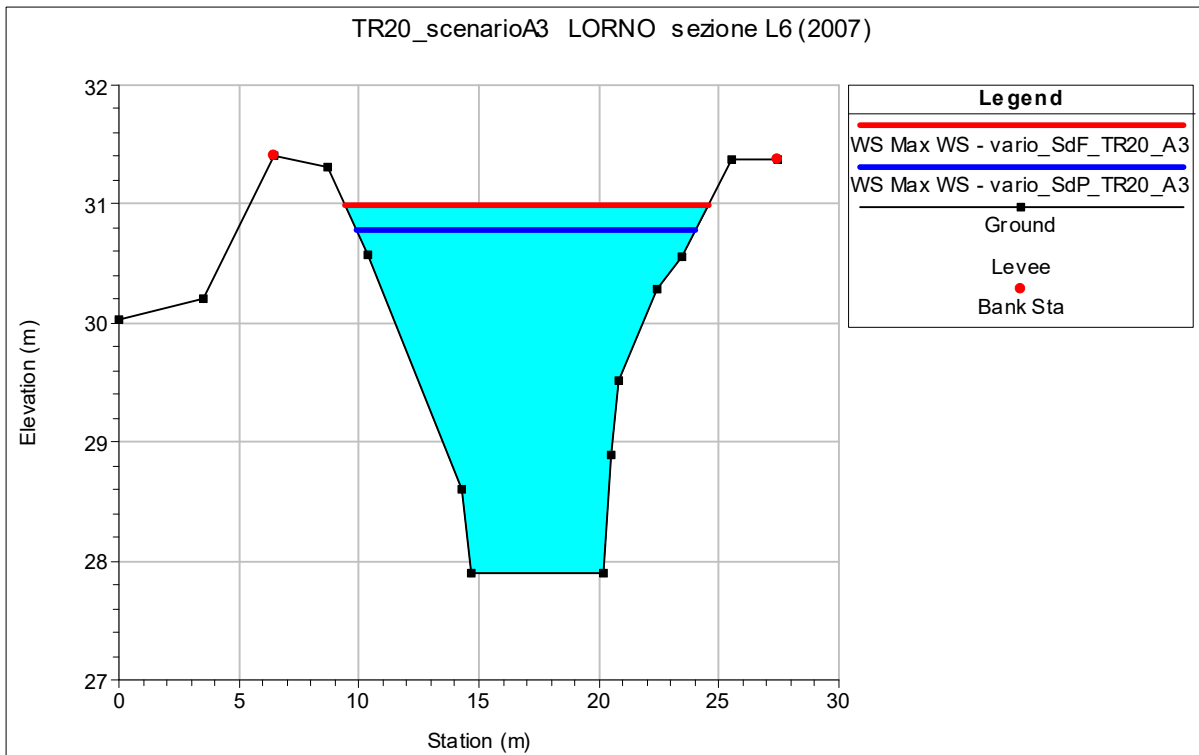


Figura 110 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

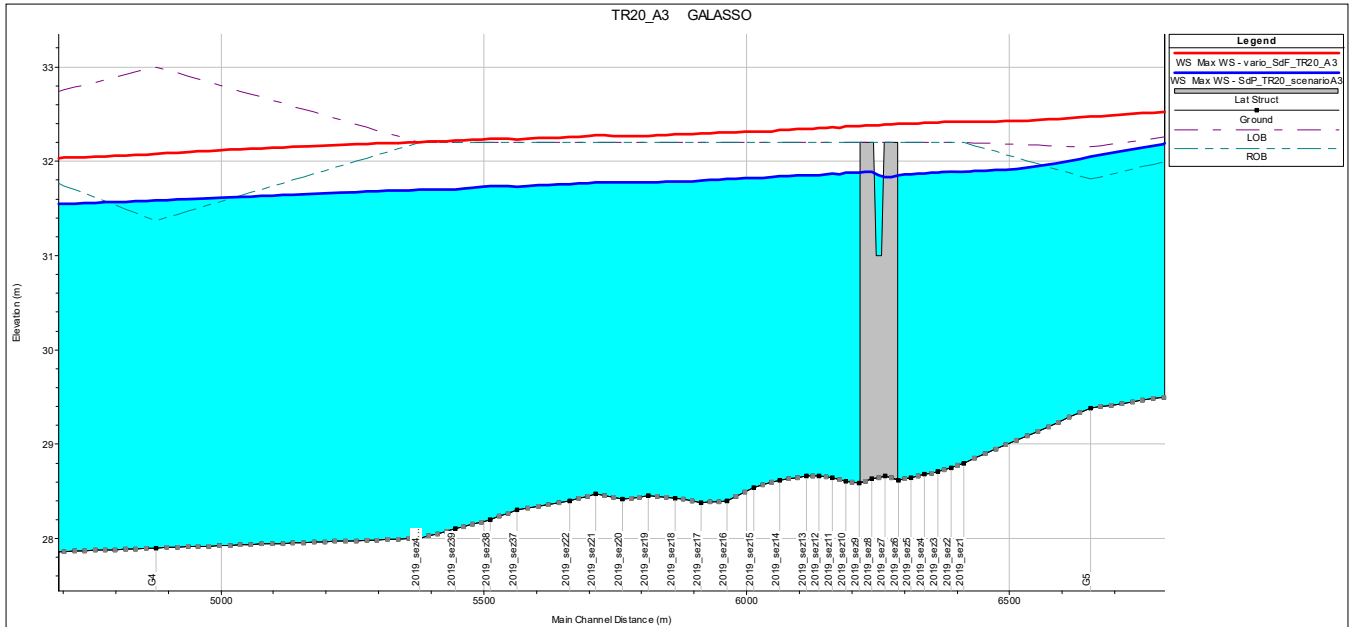


Figura 111 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

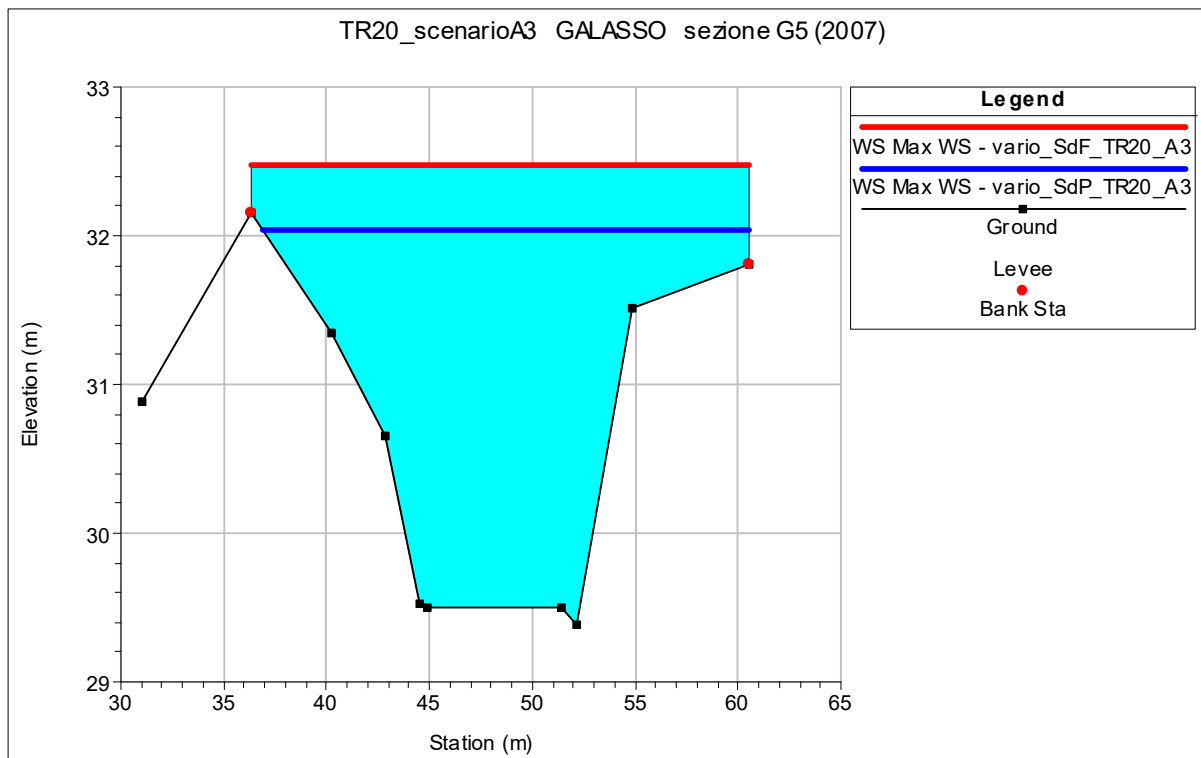


Figura 112 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

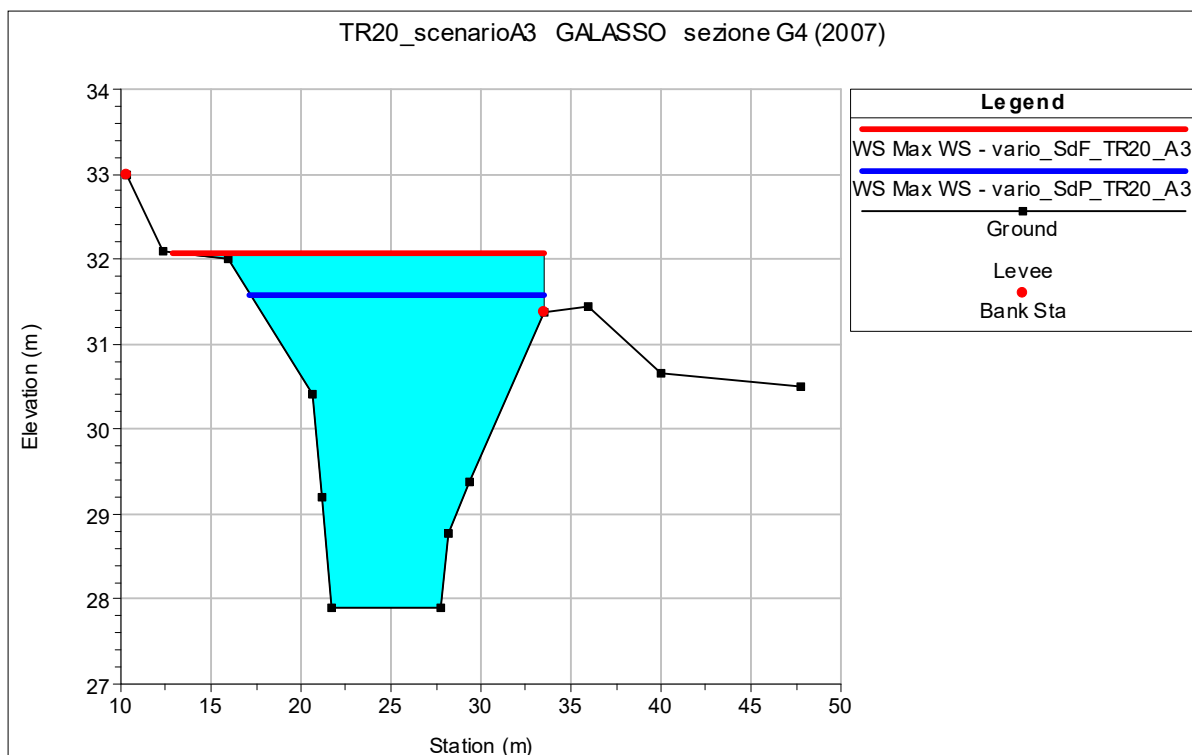


Figura 113 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.4 TR20 CONFIGURAZIONE B: SCENARIO B2

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario B2 e per un TR di 20 anni. La configurazione B prevede la totale chiusura delle Porte Vinciane e l'apertura completa della chiavica Motta. Lo scenario B2 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.50 m s.l.m. e come condizione al contorno di valle nella sezione di chiusura del canale Vai e Vieni un'altezza di moto uniforme con pendenza del fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. L'unico superamento dei rilevati arginali a valle della cassa si ha in corrispondenza di una possibile corda molle (rilievo non aggiornato) in sponda destra della sezione G4 del canale Galasso. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

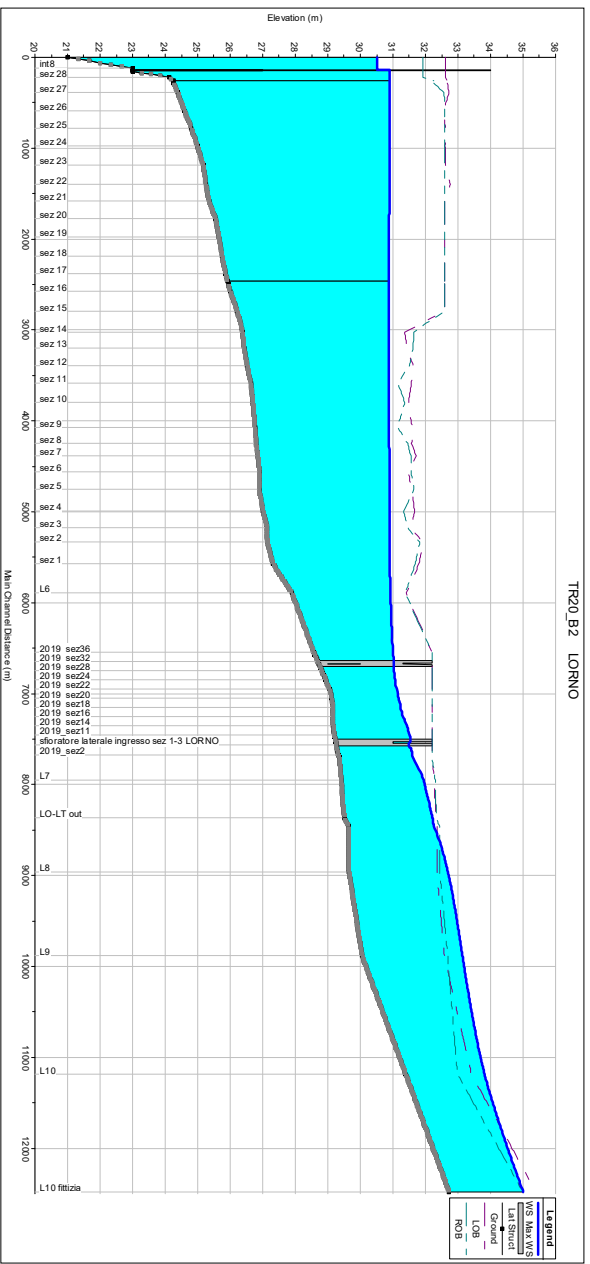


Figura 114 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

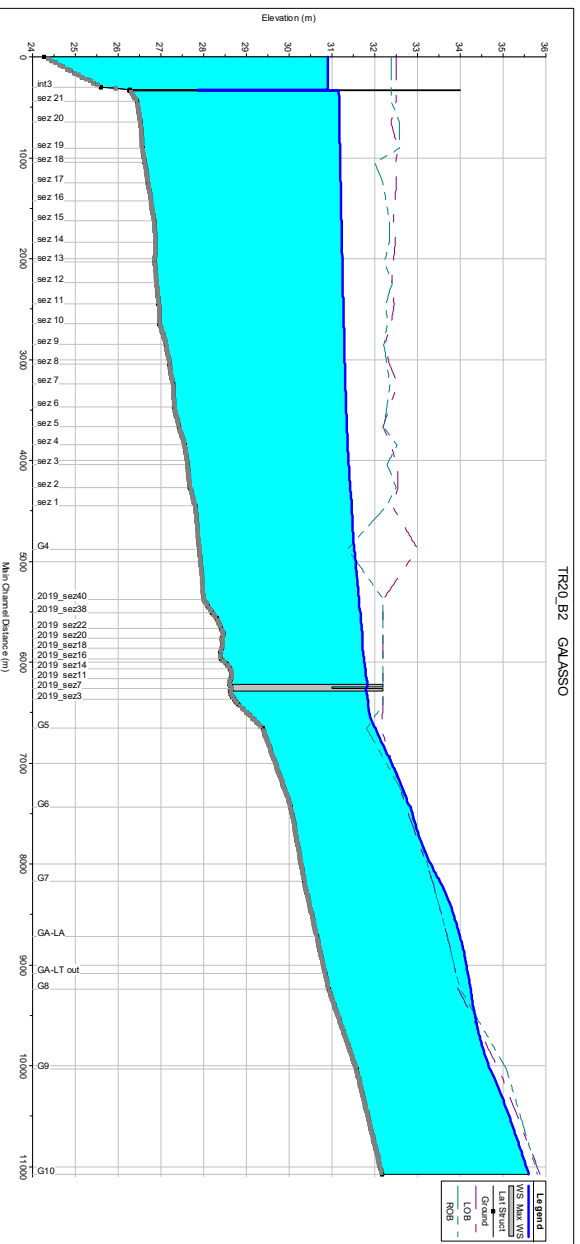


Figura 115 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

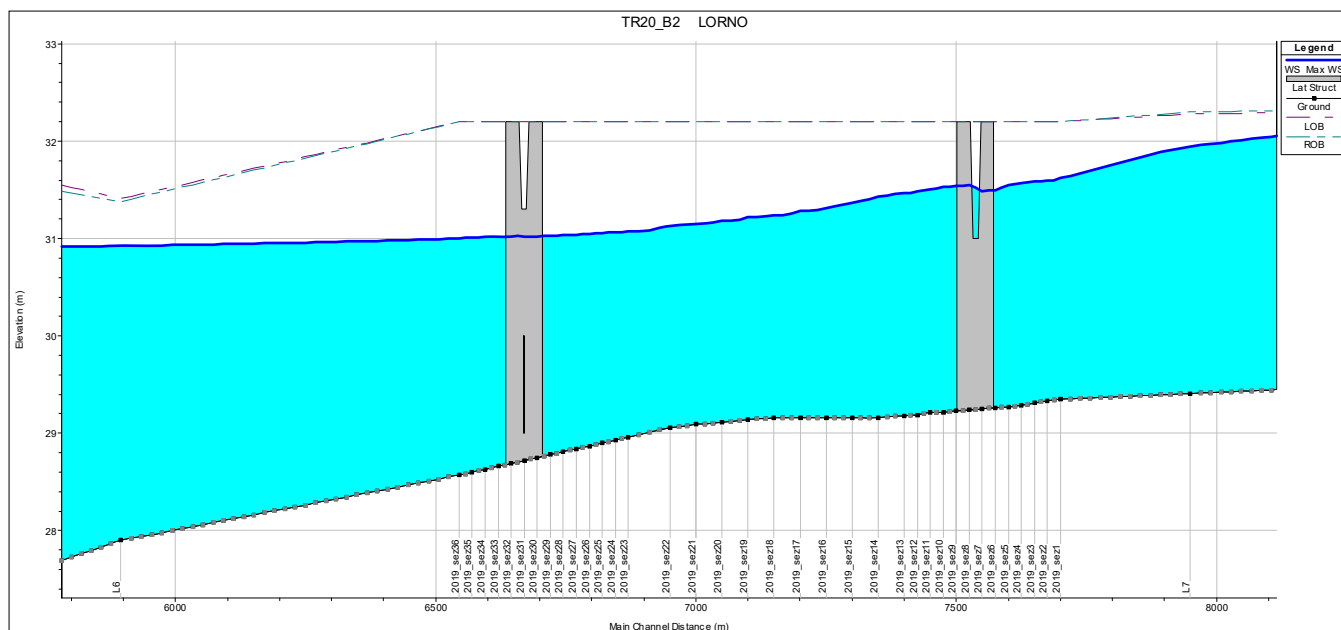


Figura 116 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

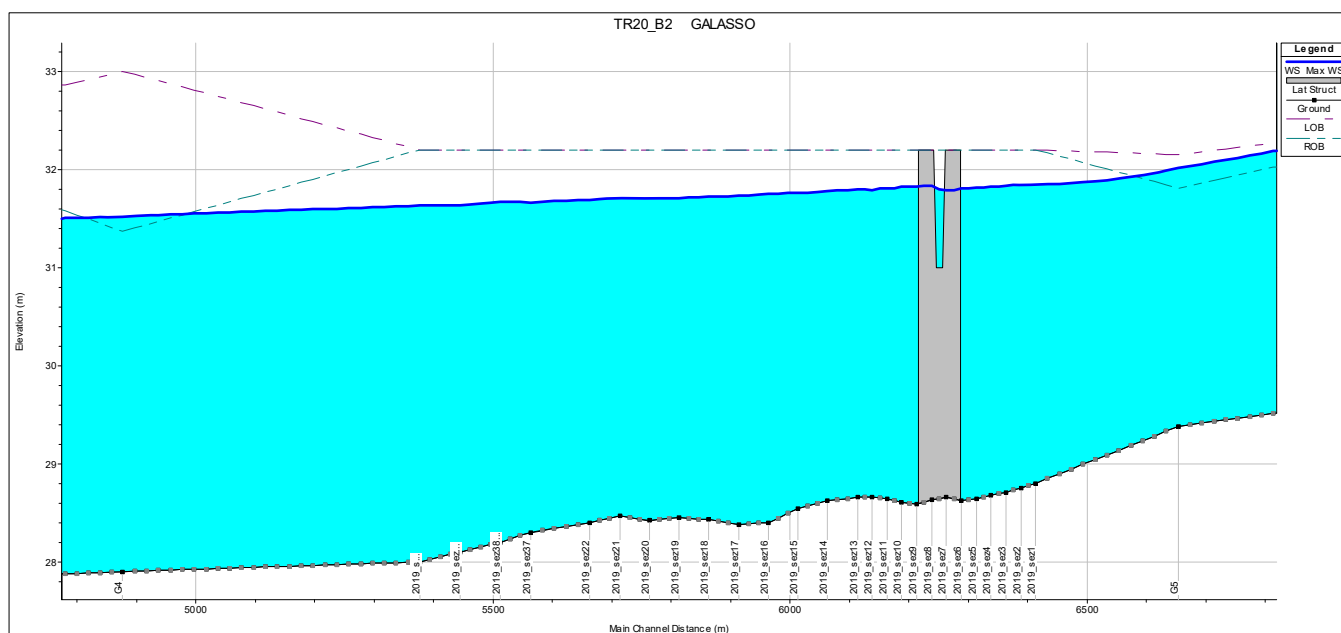


Figura 117 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso. Inoltre si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

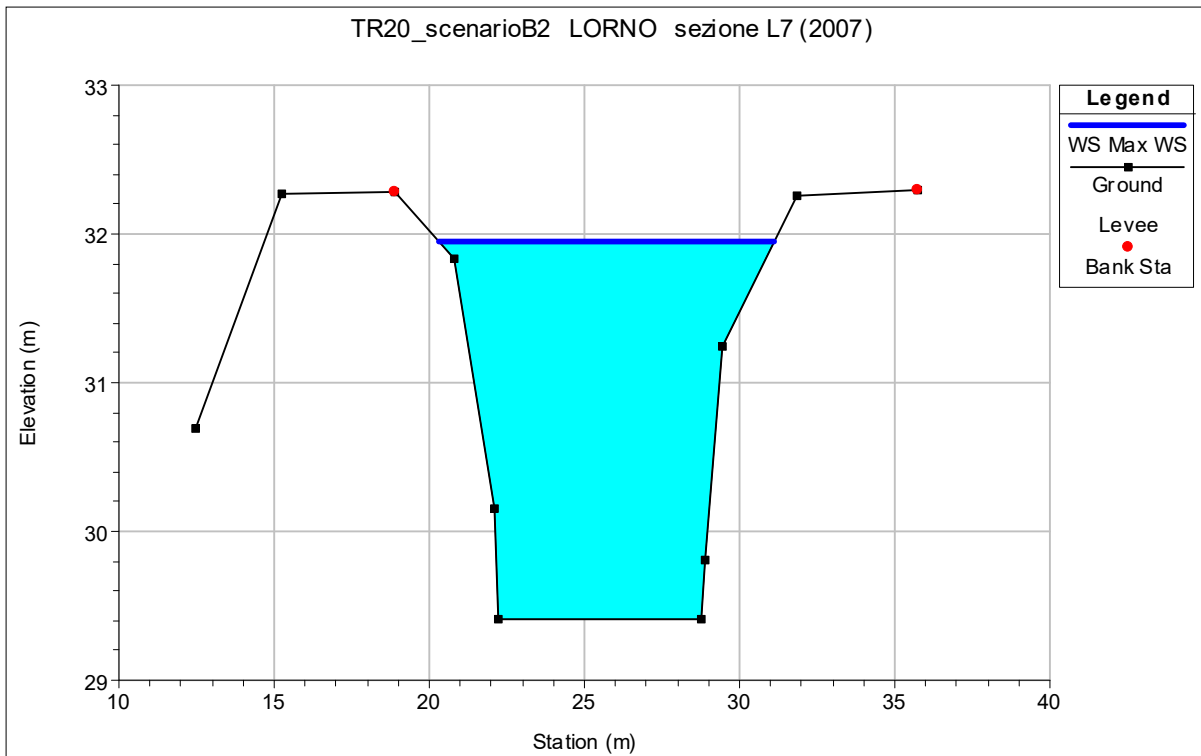


Figura 118 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

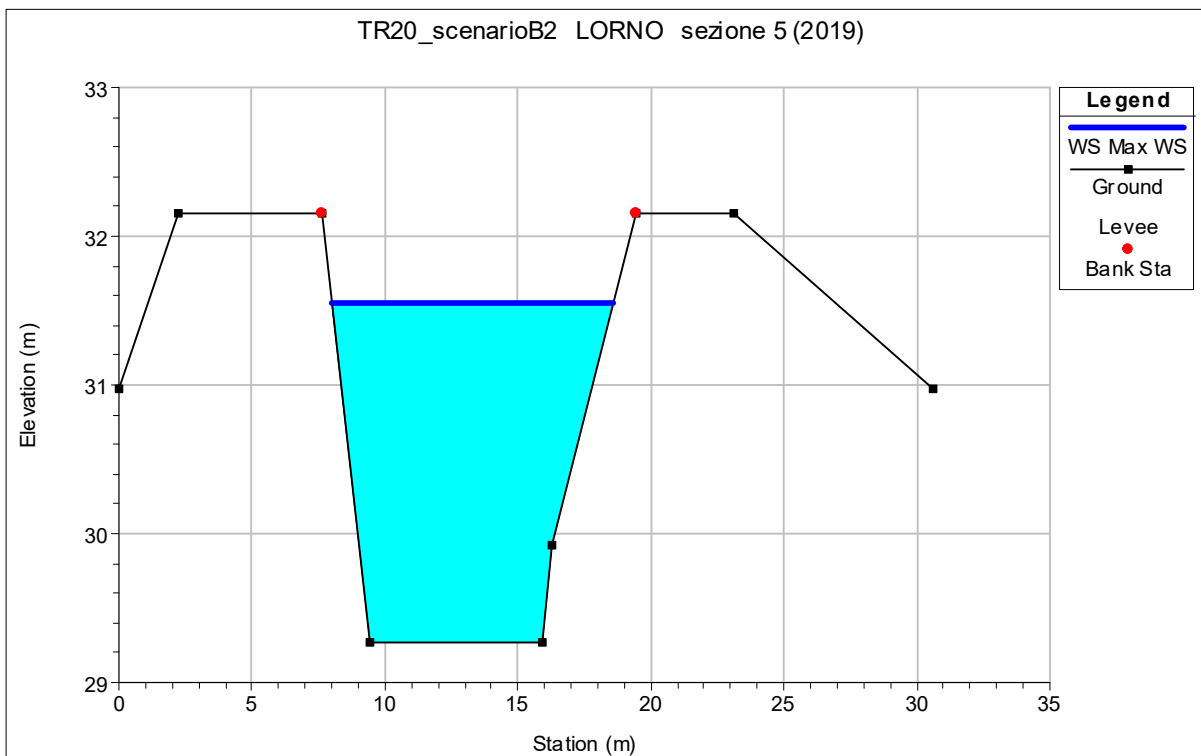


Figura 119 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

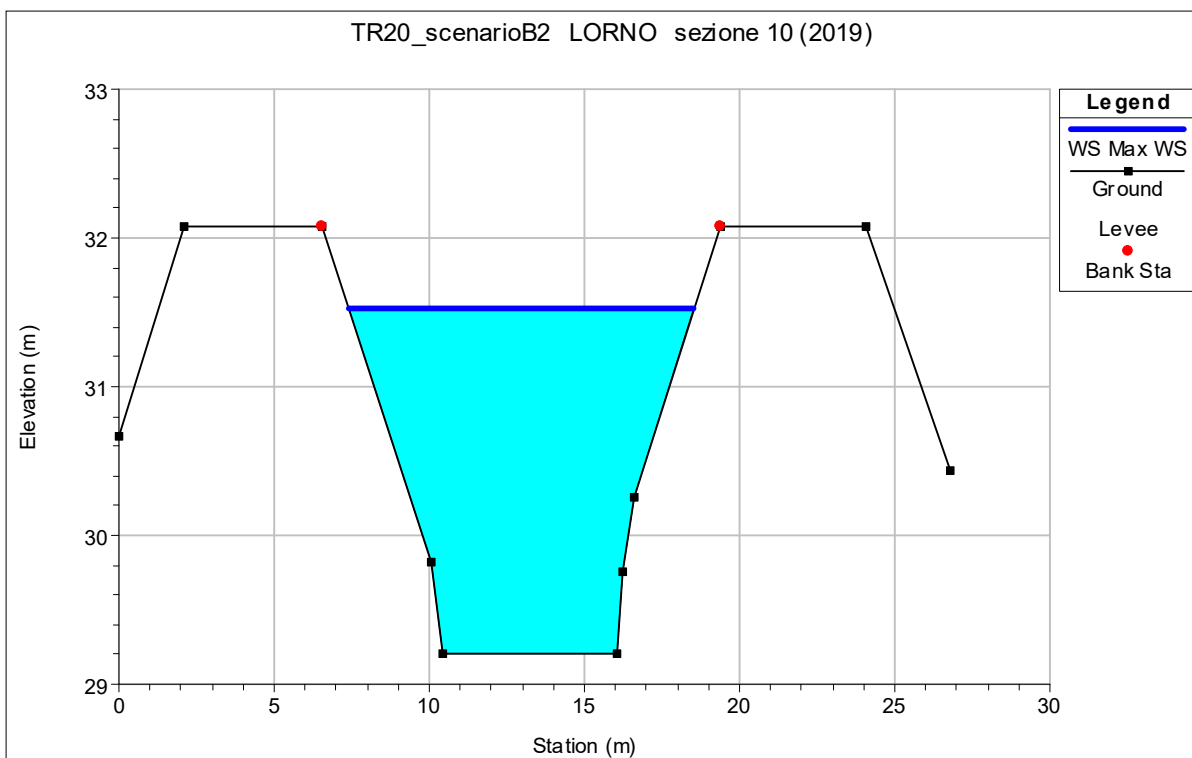


Figura 120 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

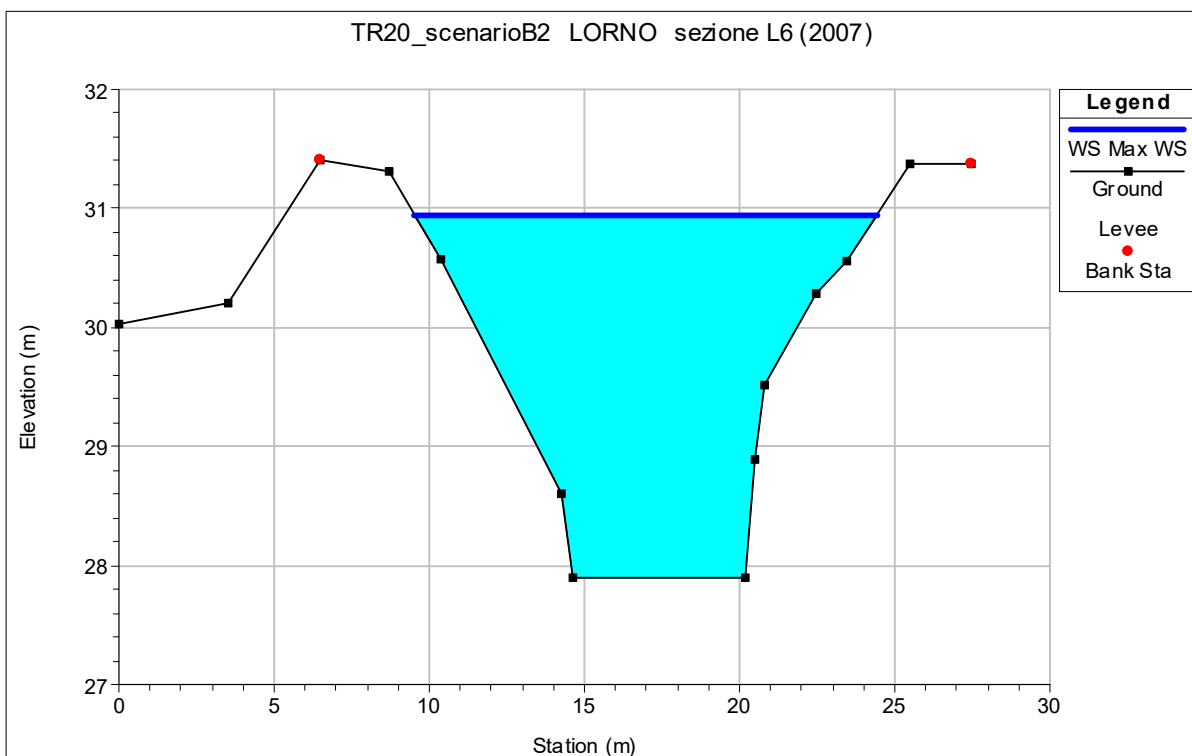


Figura 121 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

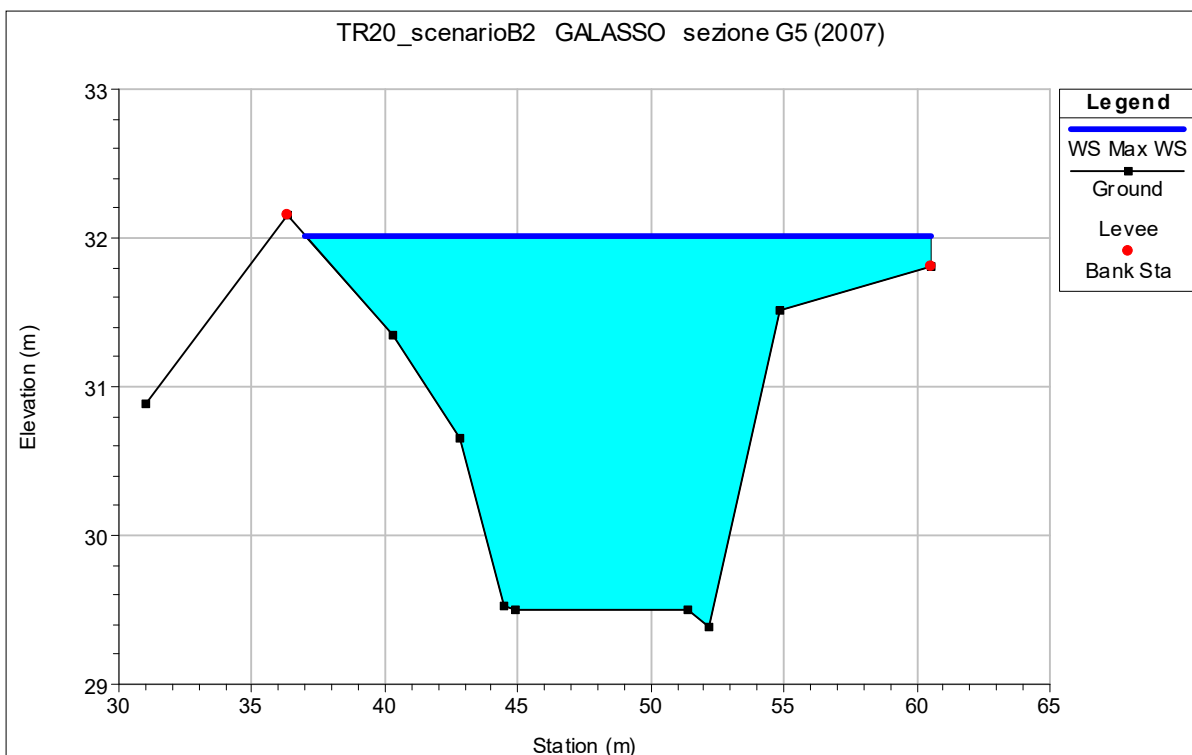


Figura 122 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

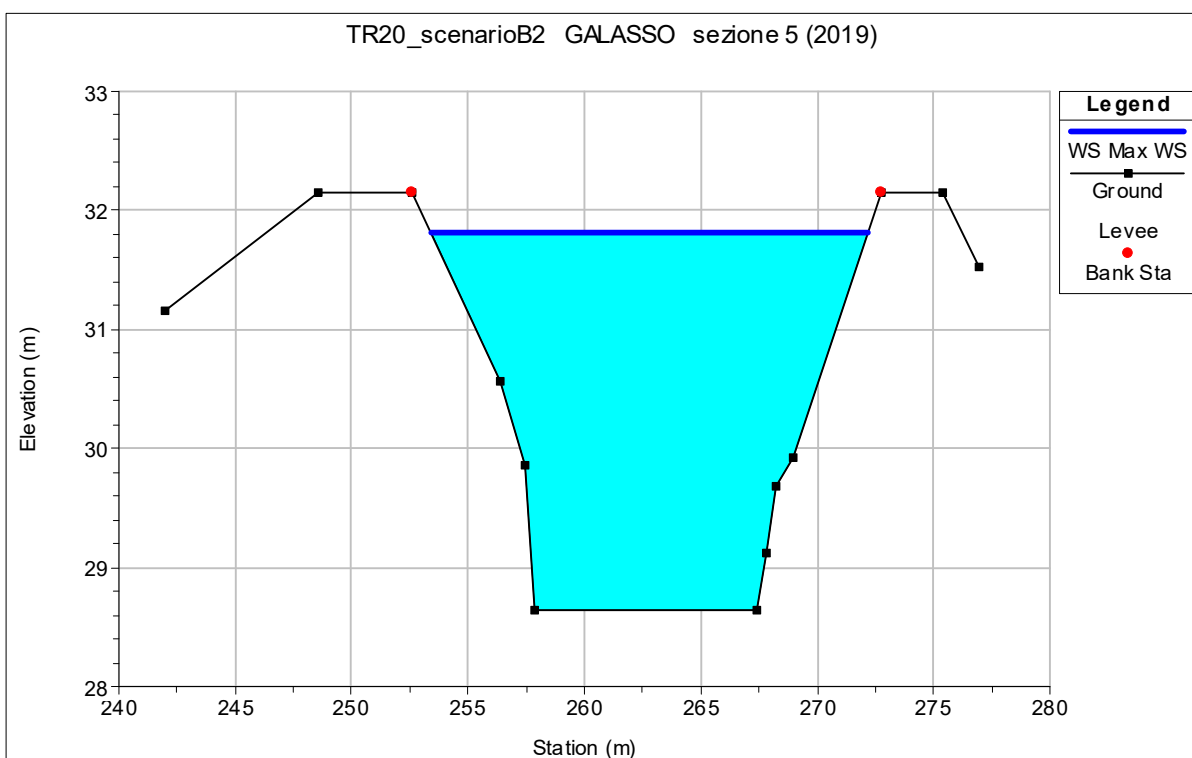


Figura 123 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

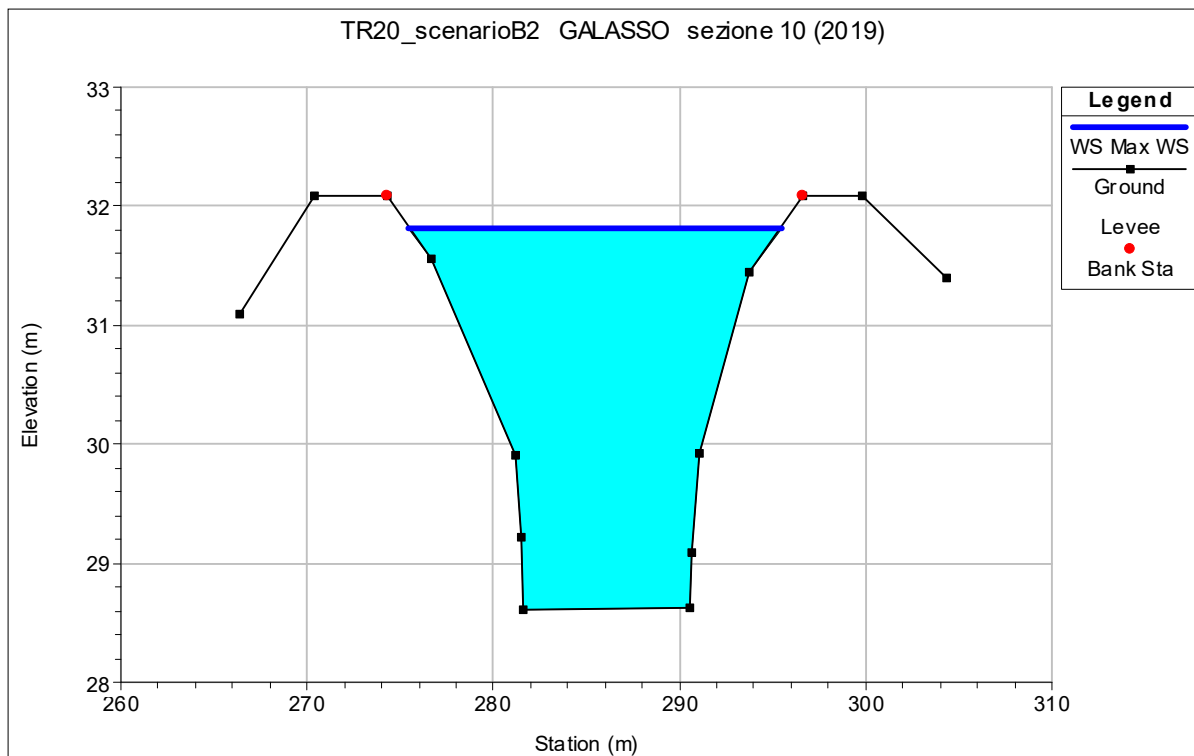


Figura 124 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

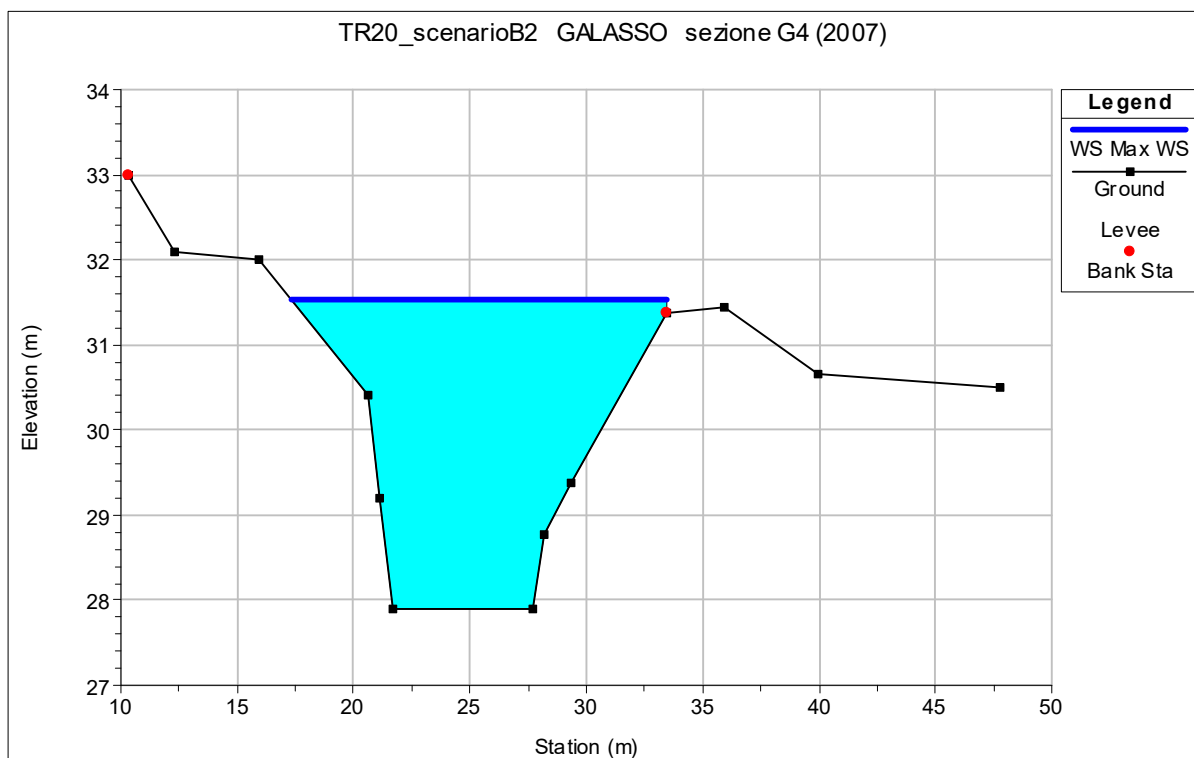


Figura 125 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 6 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 2.30 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 13 m³/s.

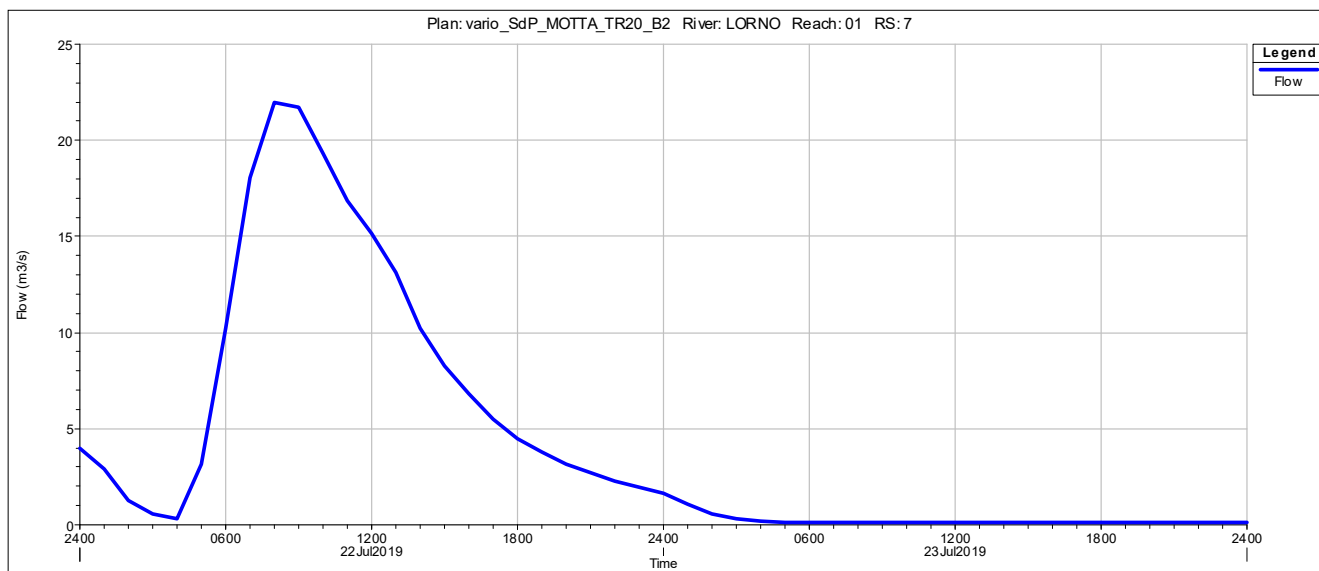


Figura 126 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

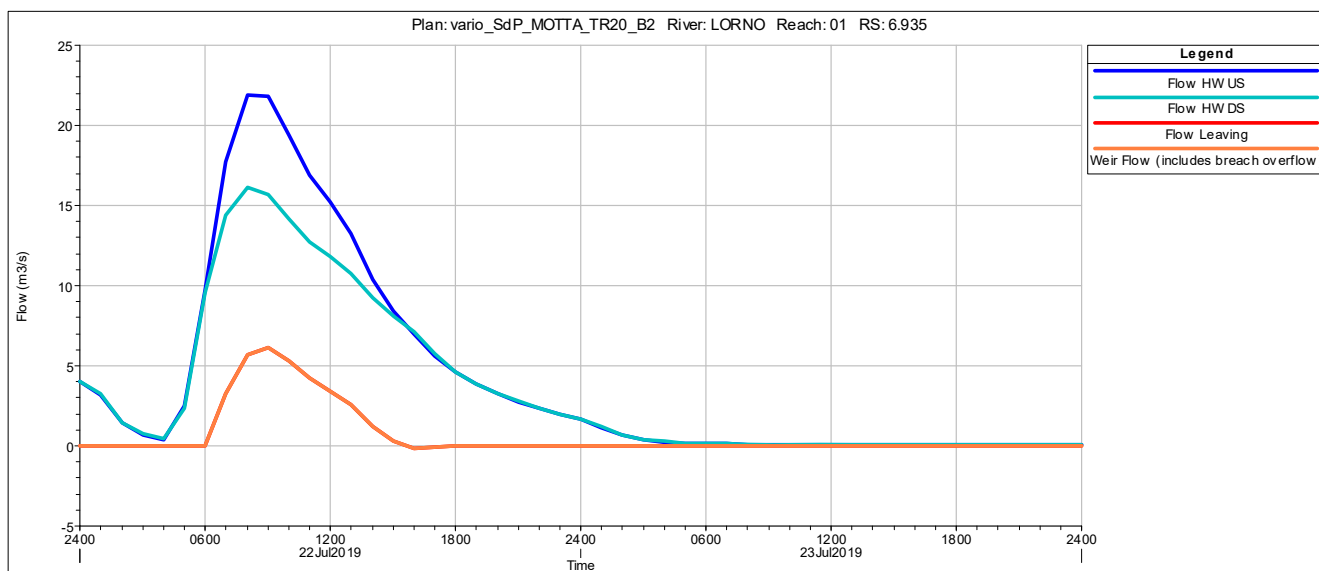


Figura 127 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

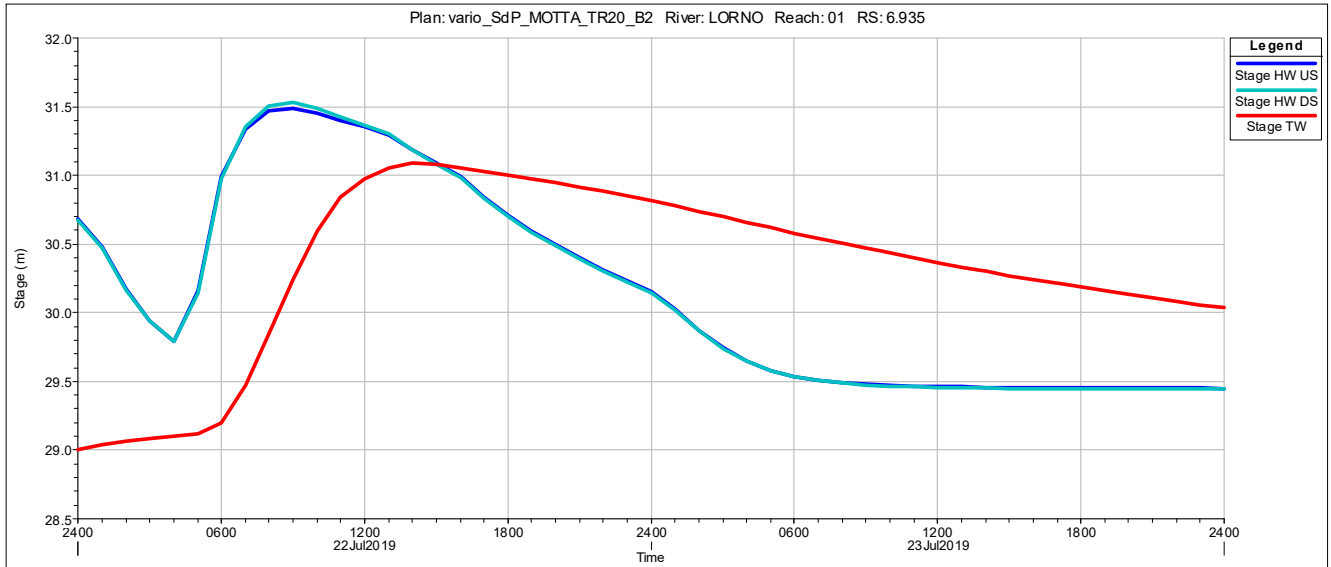


Figura 128 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

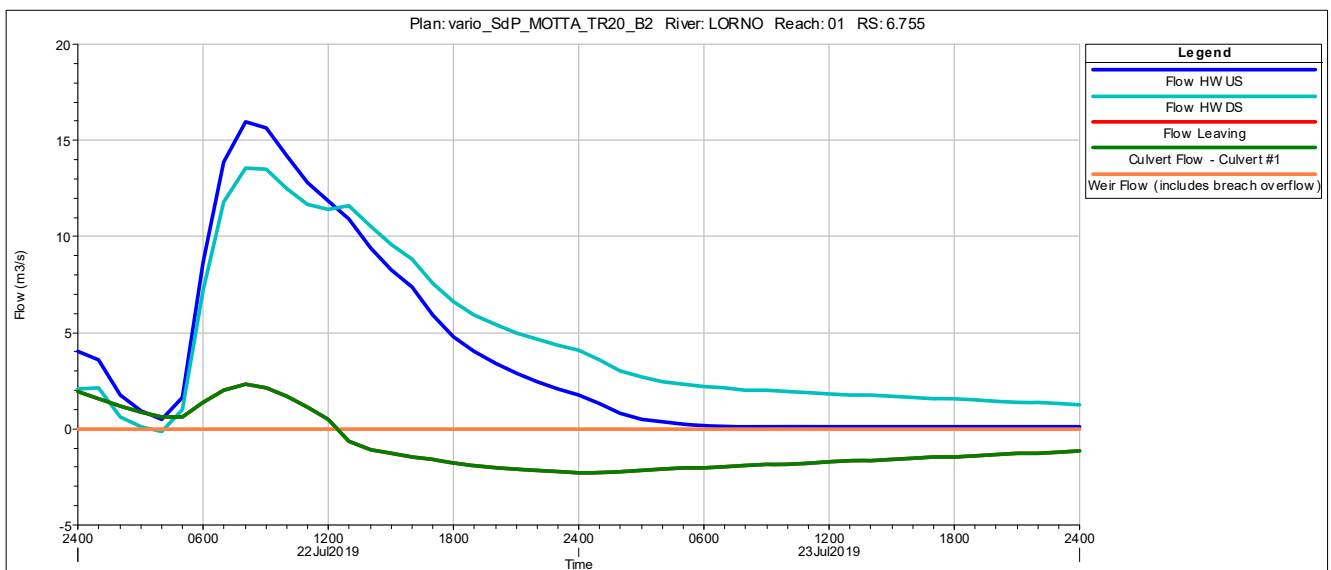


Figura 129 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

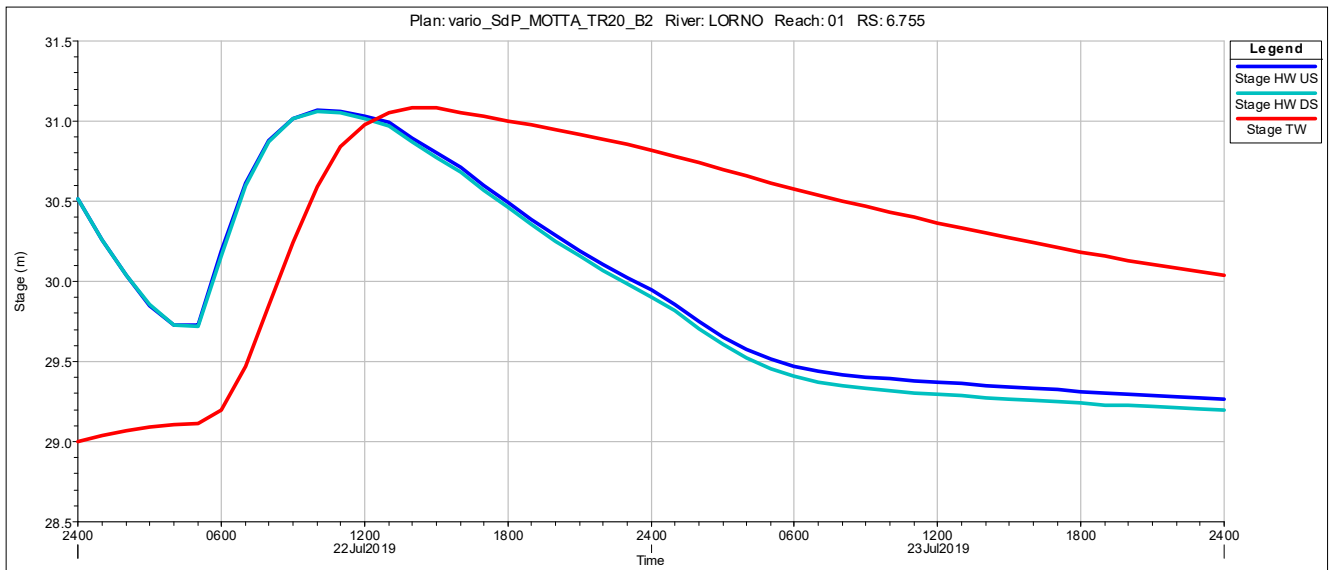


Figura 130 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

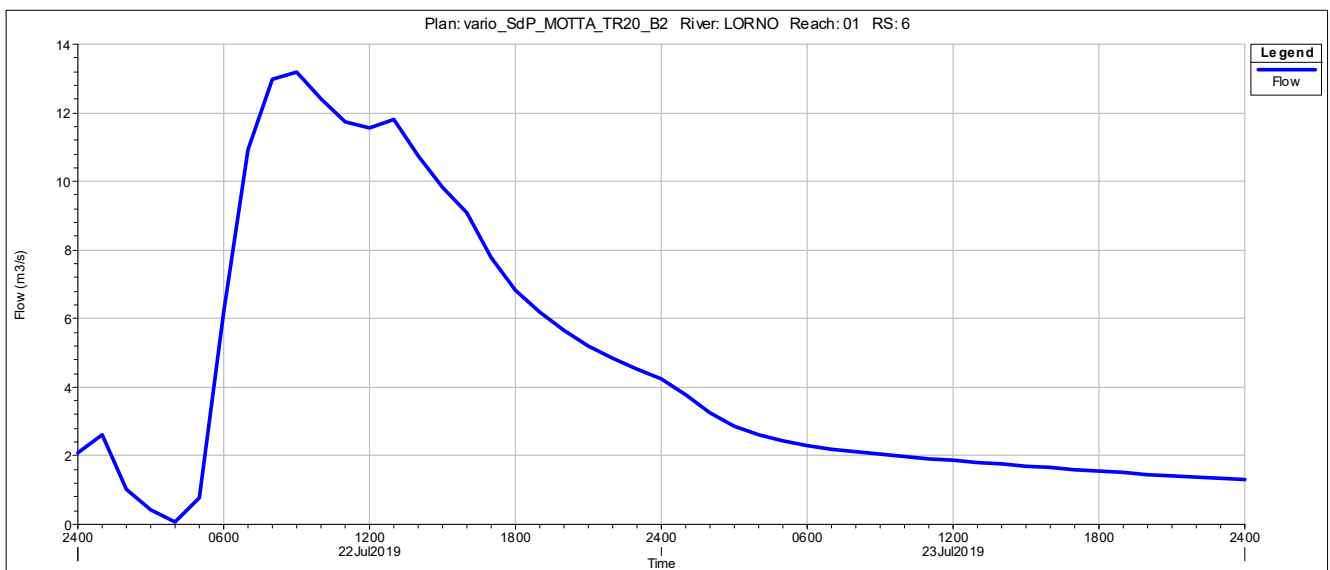


Figura 131 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

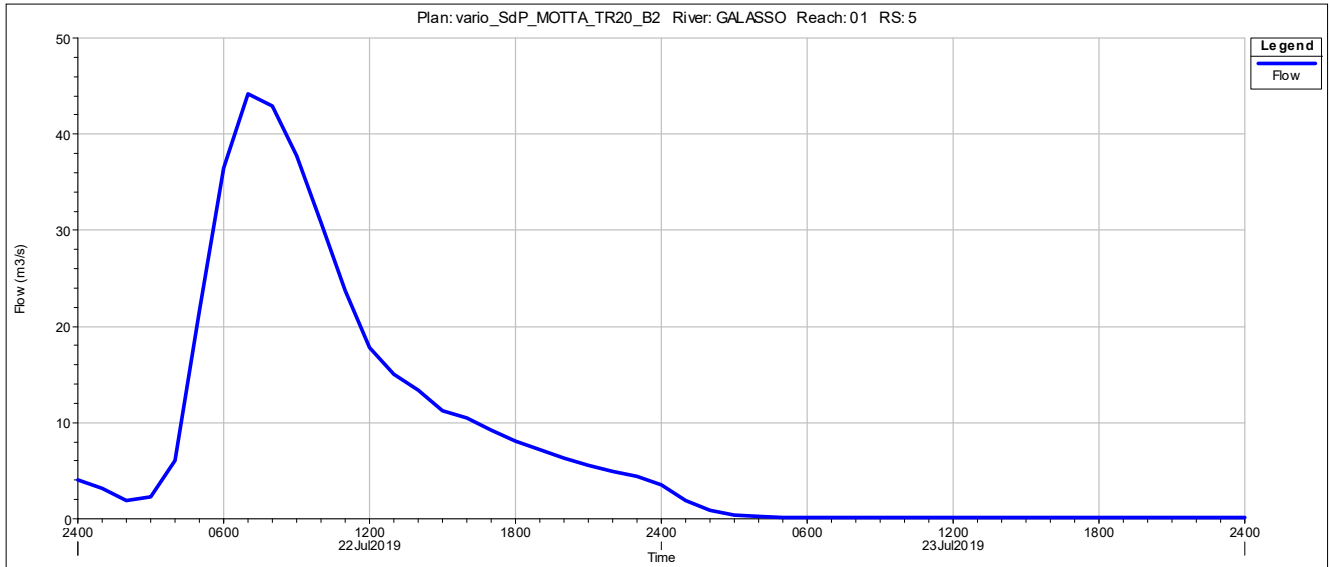


Figura 132 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

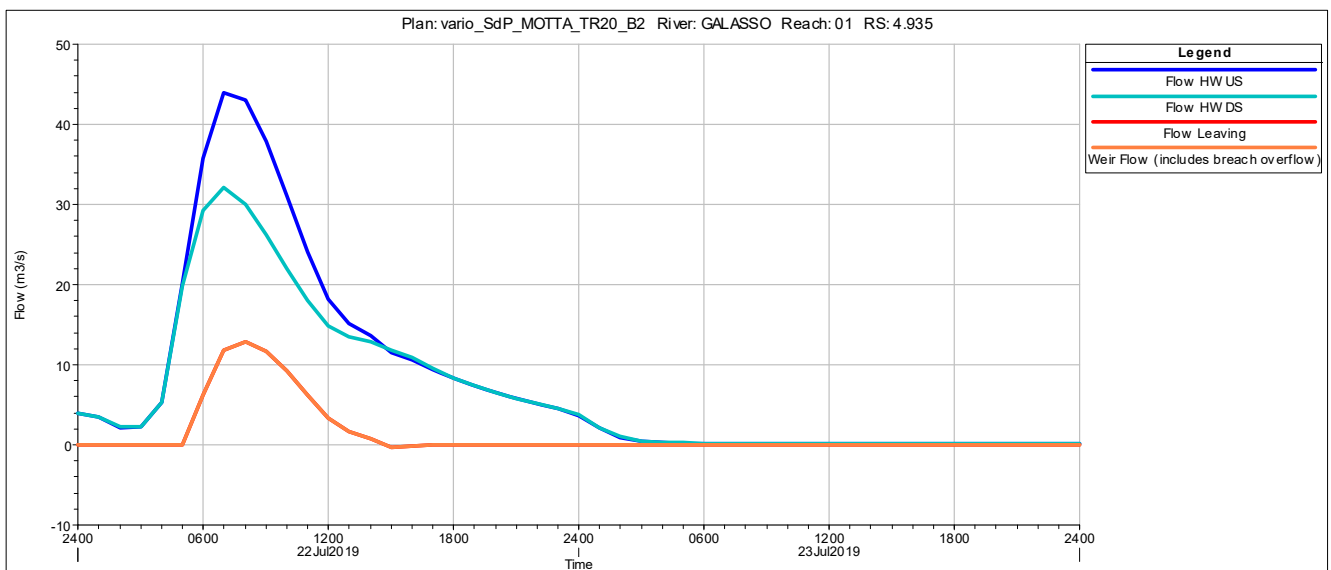


Figura 133 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

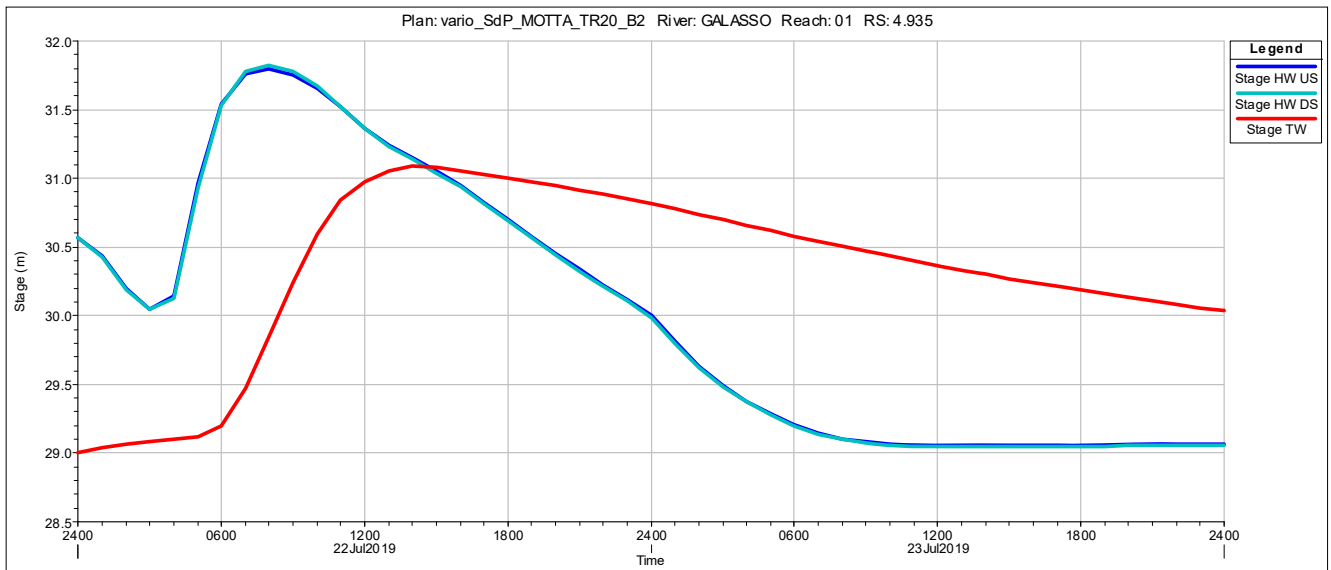


Figura 134 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

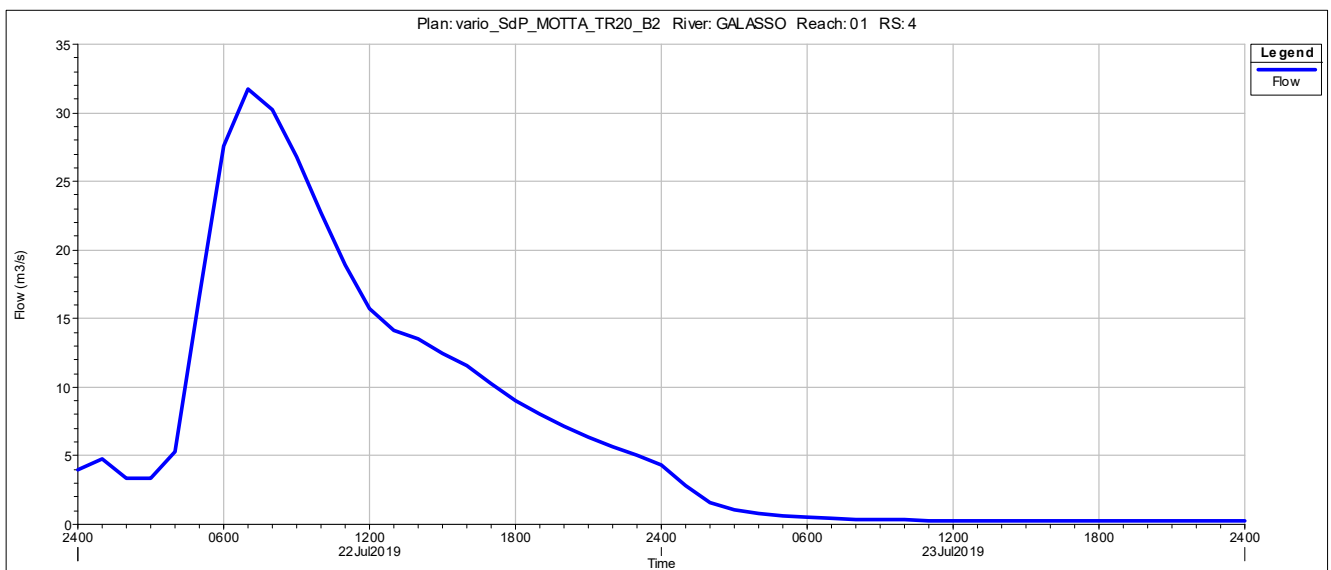


Figura 135 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

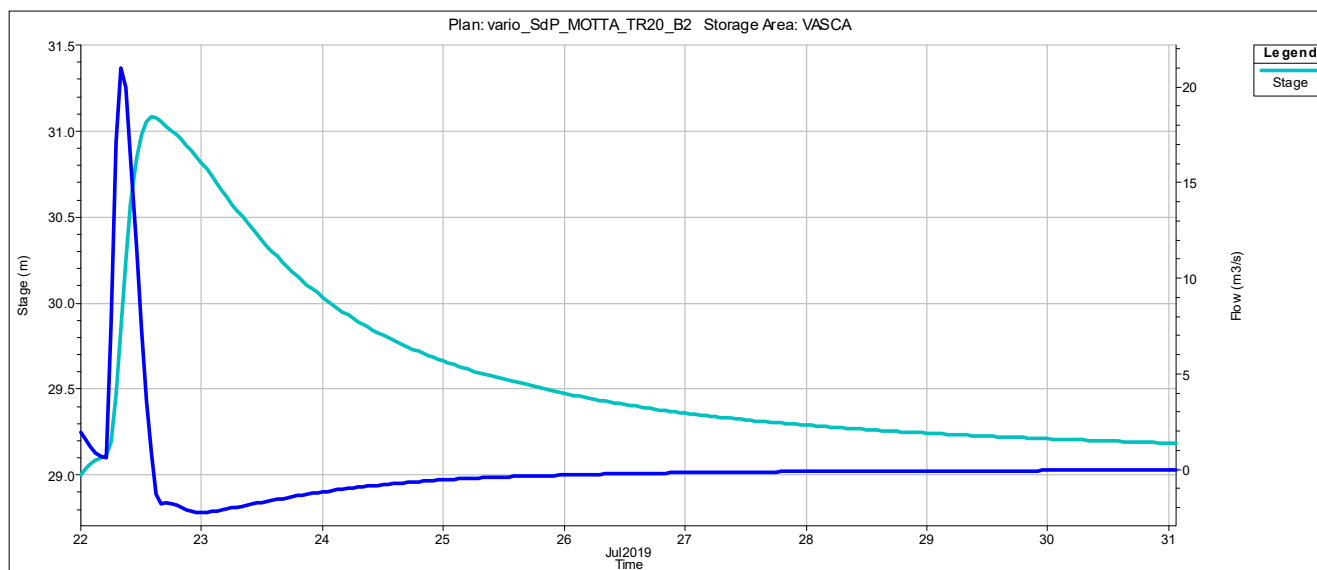


Figura 136 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 20 anni nello scenario B2 nello stato di progetto:

TR 20_B2					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
410	31.09	7	6.00	13.00	2.30

Tabella 11 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario B2 per un TR di 20 anni.

4.7.4.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR20 - scenario B2)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 26 cm nella sezione di monte e di circa 48 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 44 cm nella sezione di monte e di circa 59 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1900 m per il canale Lorno e a circa 1300 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

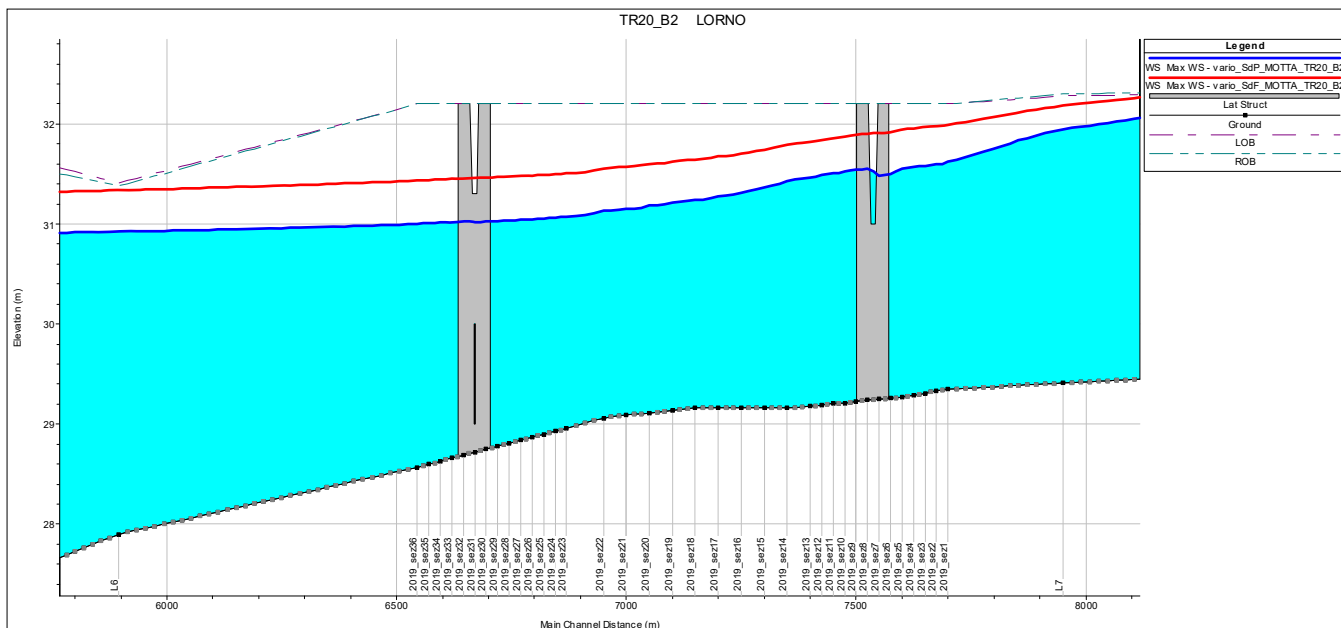


Figura 137 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

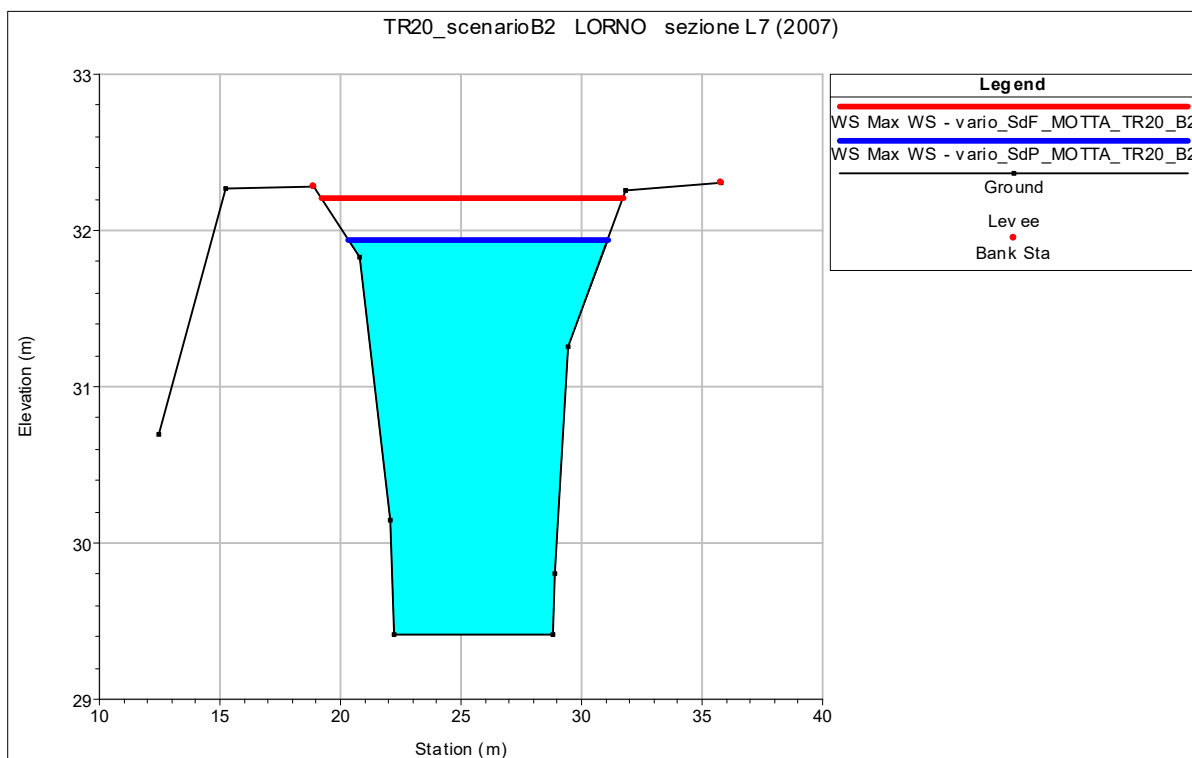


Figura 138 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

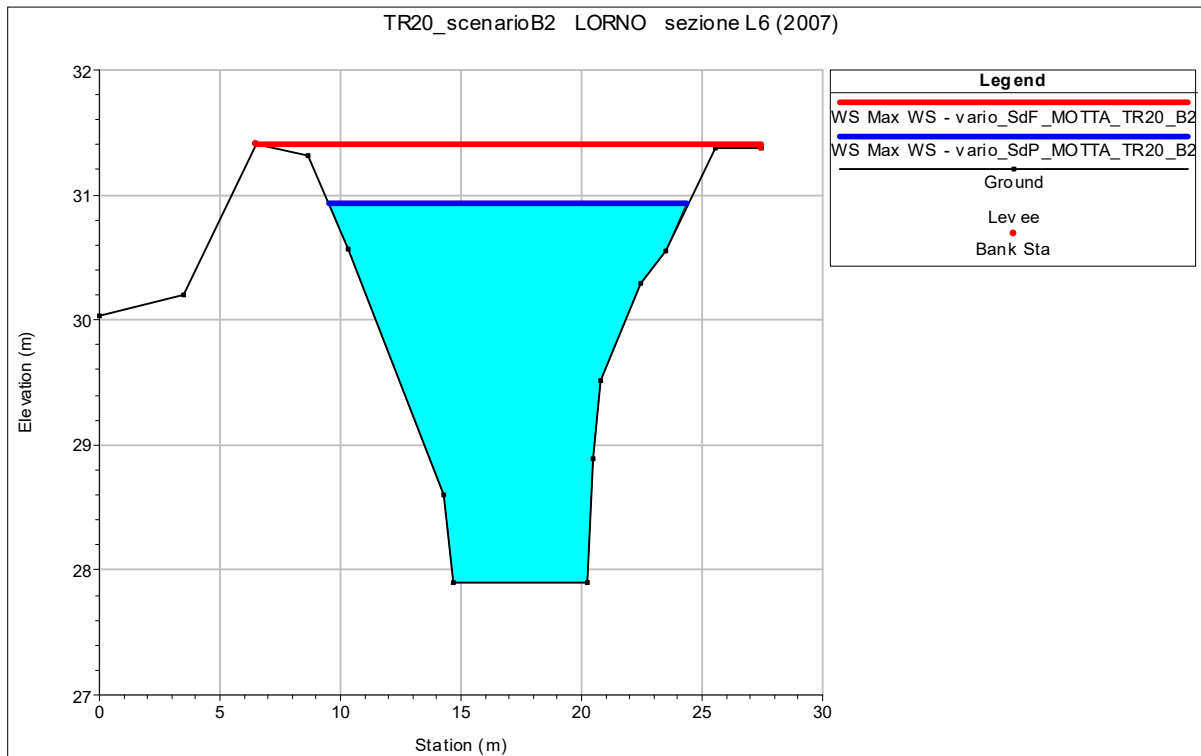


Figura 139 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

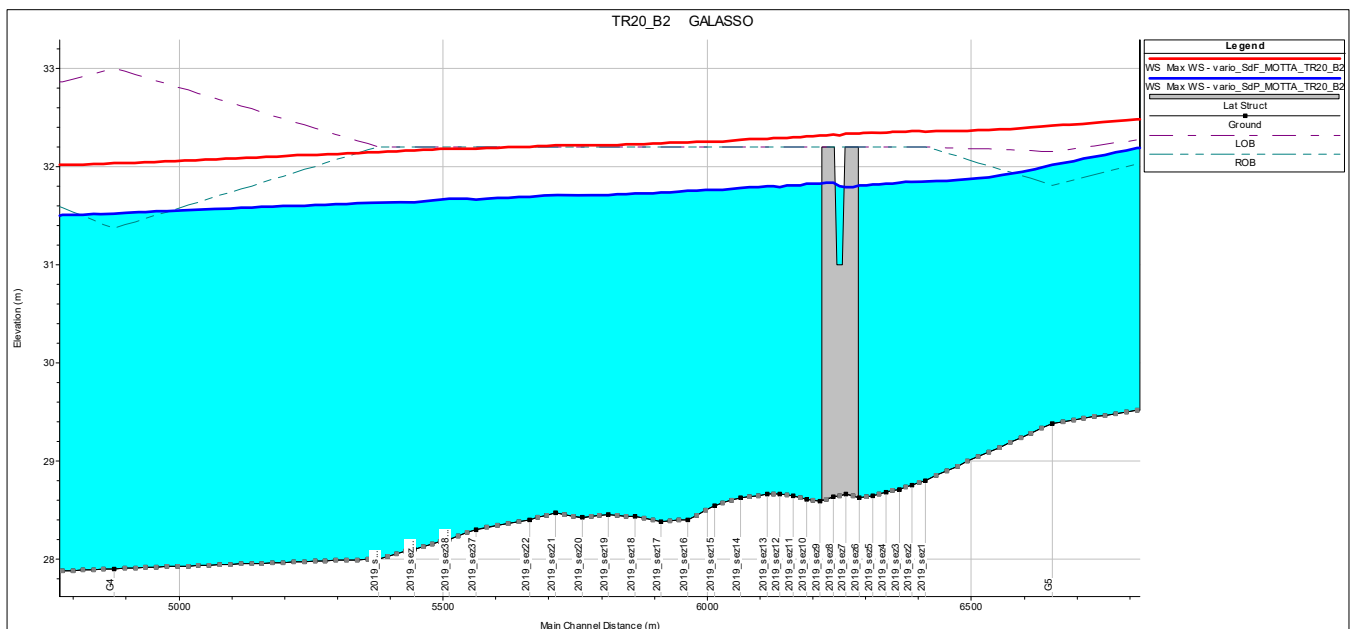


Figura 140 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

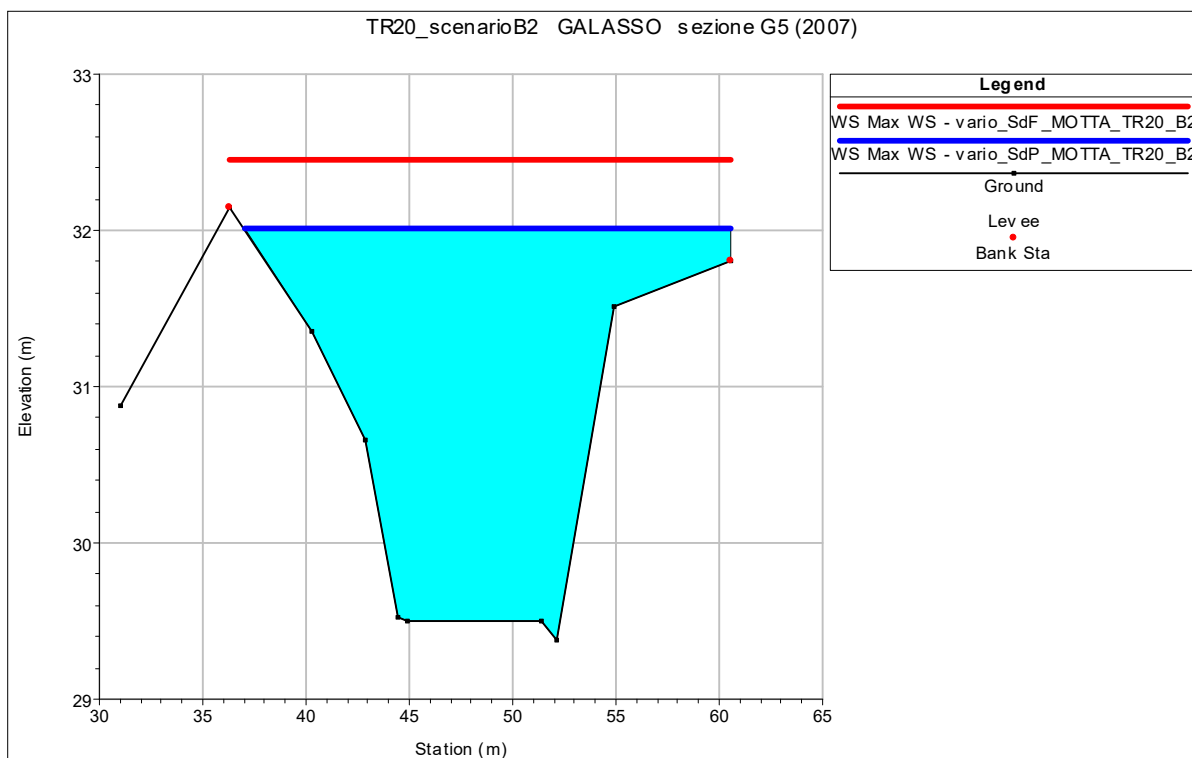


Figura 141 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

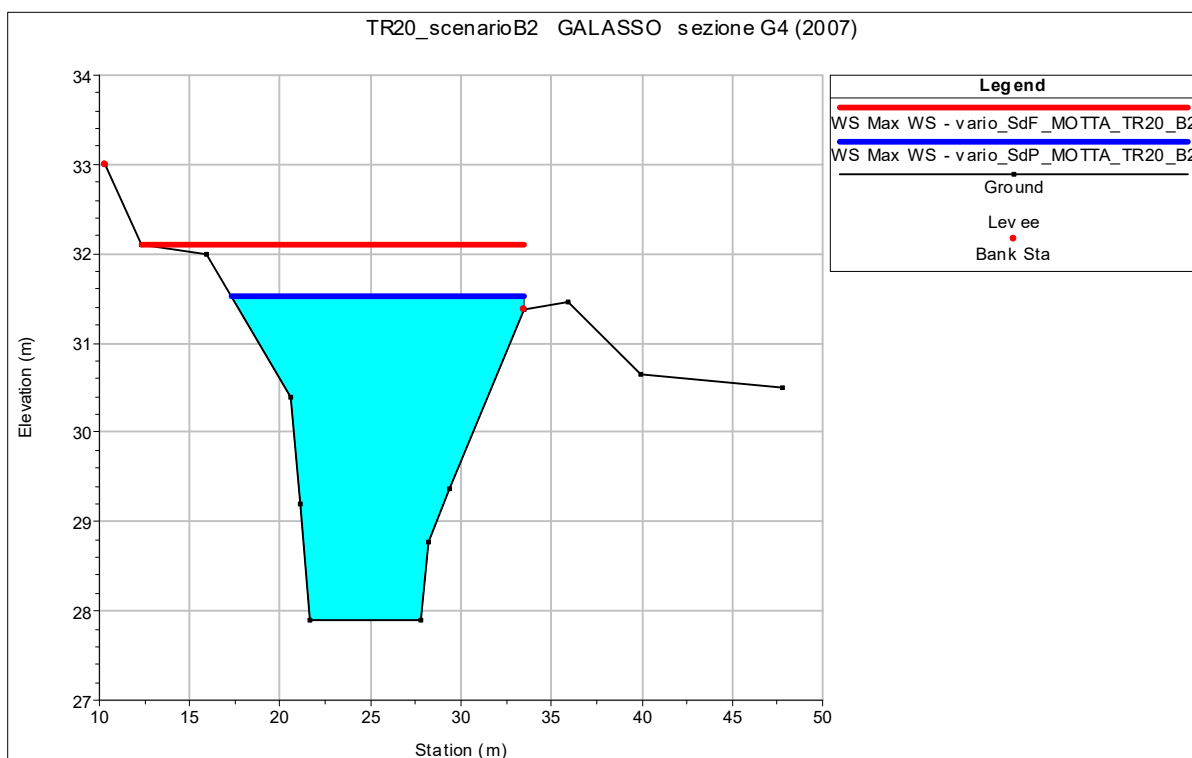


Figura 142 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.5 TR20 CONFIGURAZIONE C: SCENARIO C2

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario C2 e per un TR di 20 anni. La configurazione C prevede la totale chiusura delle Porte Vinciane e l'apertura completa della chiavica Motta. Lo scenario C2 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.50 m s.l.m. e come condizione al contorno di valle nella sezione di chiusura del canale Vai e Vieni un'altezza costante del fiume Po pari a 30 m s.l.m. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. L'unico superamento dei rilevati arginali a valle della cassa si ha in corrispondenza di una possibile corda molle (rilievo non aggiornato) in sponda destra della sezione G4 del canale Galasso. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

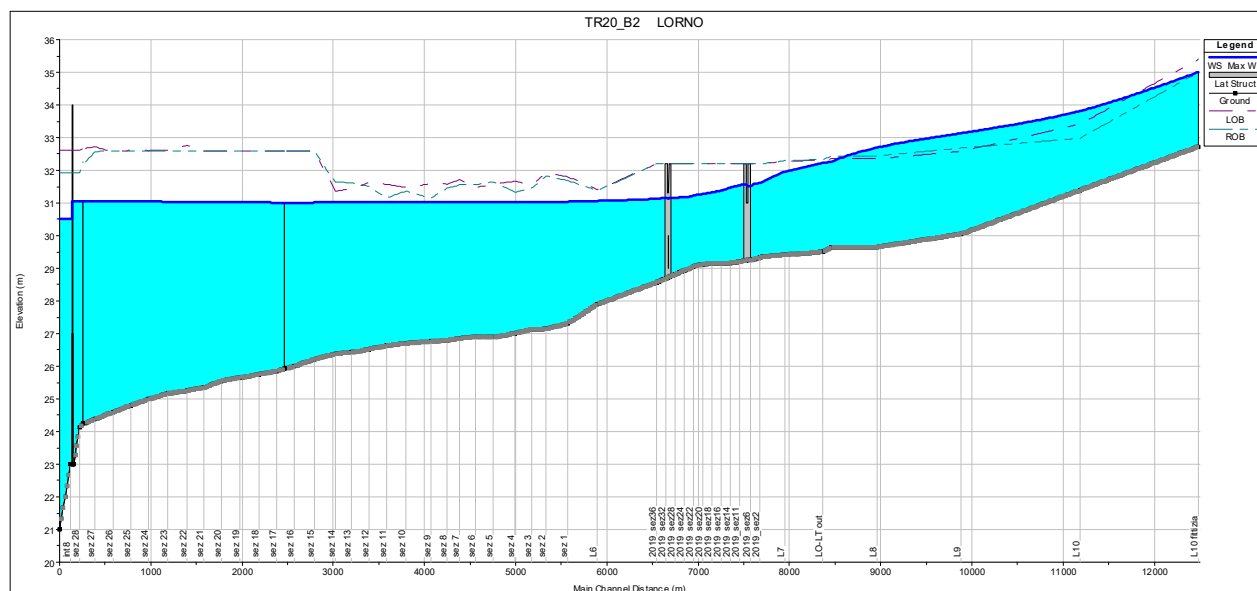


Figura 143 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

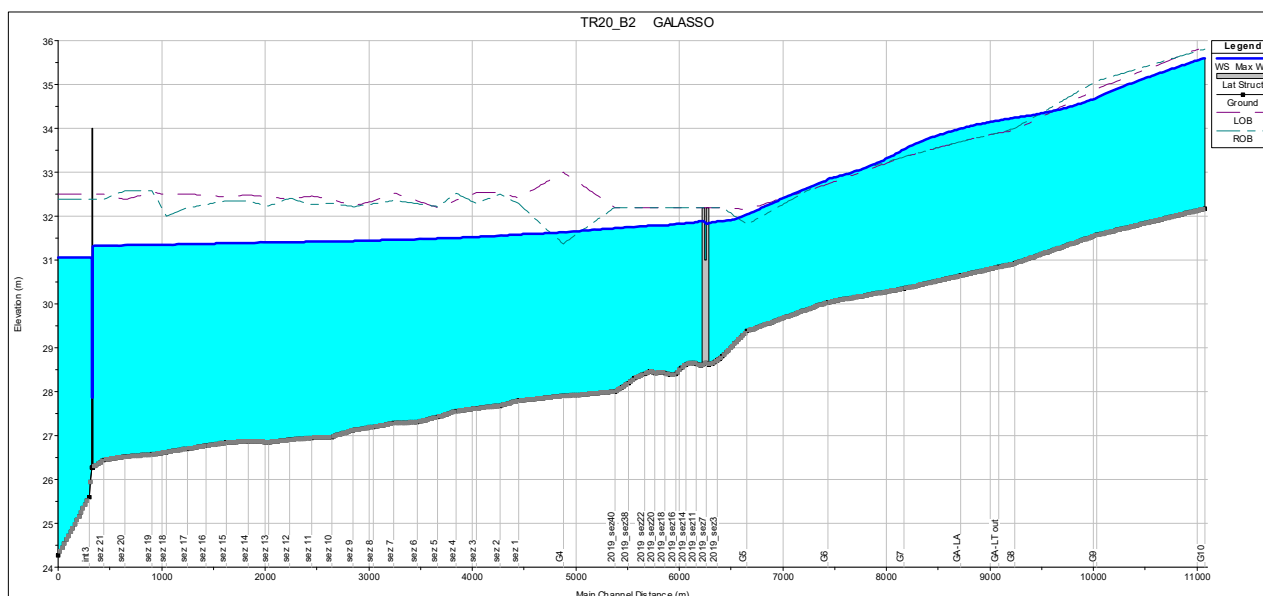


Figura 144 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

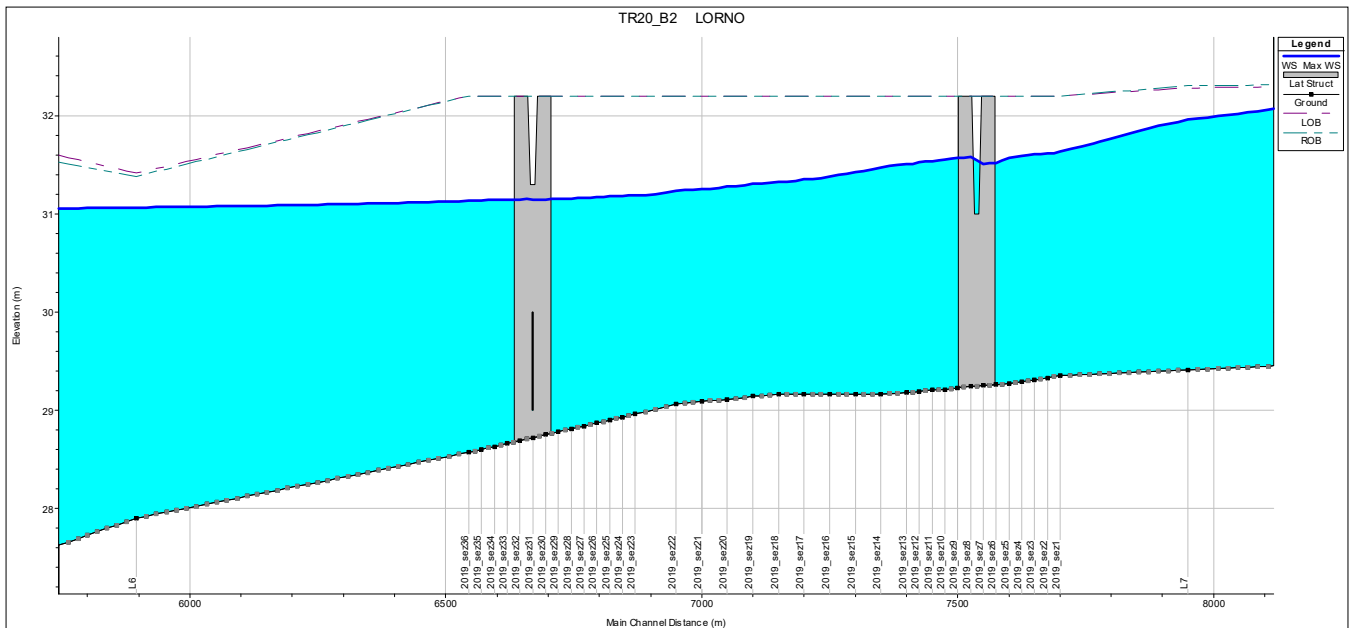


Figura 145 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

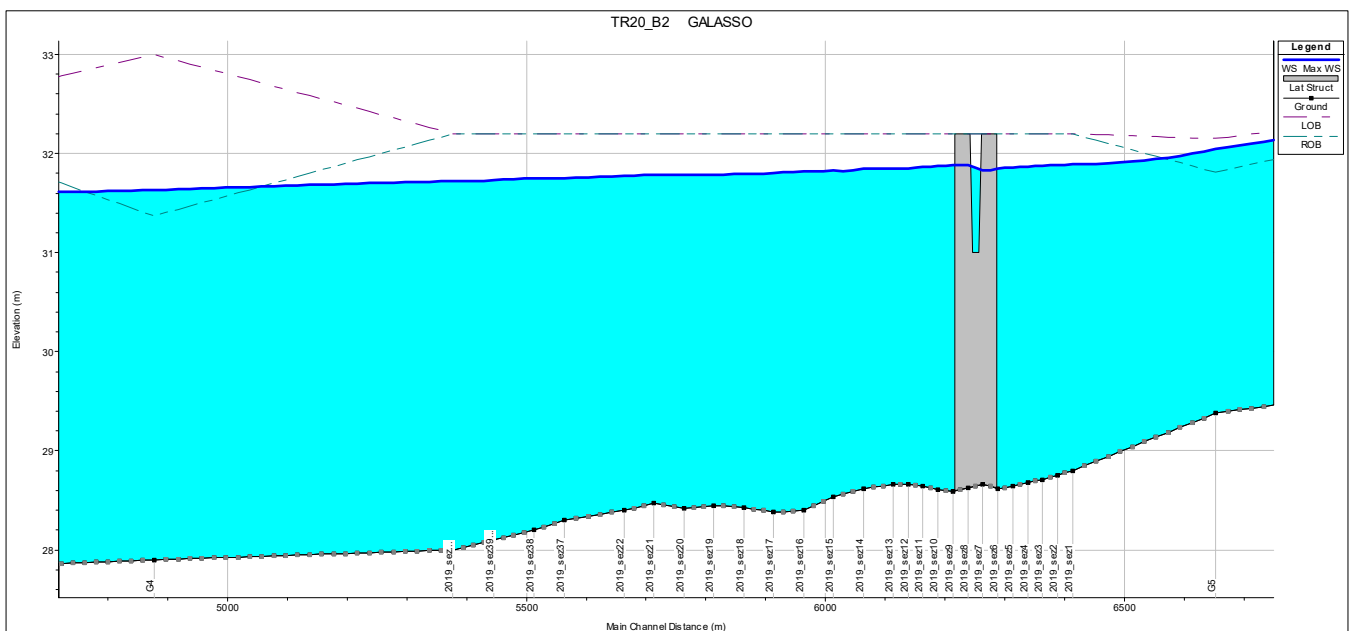


Figura 146 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso e del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

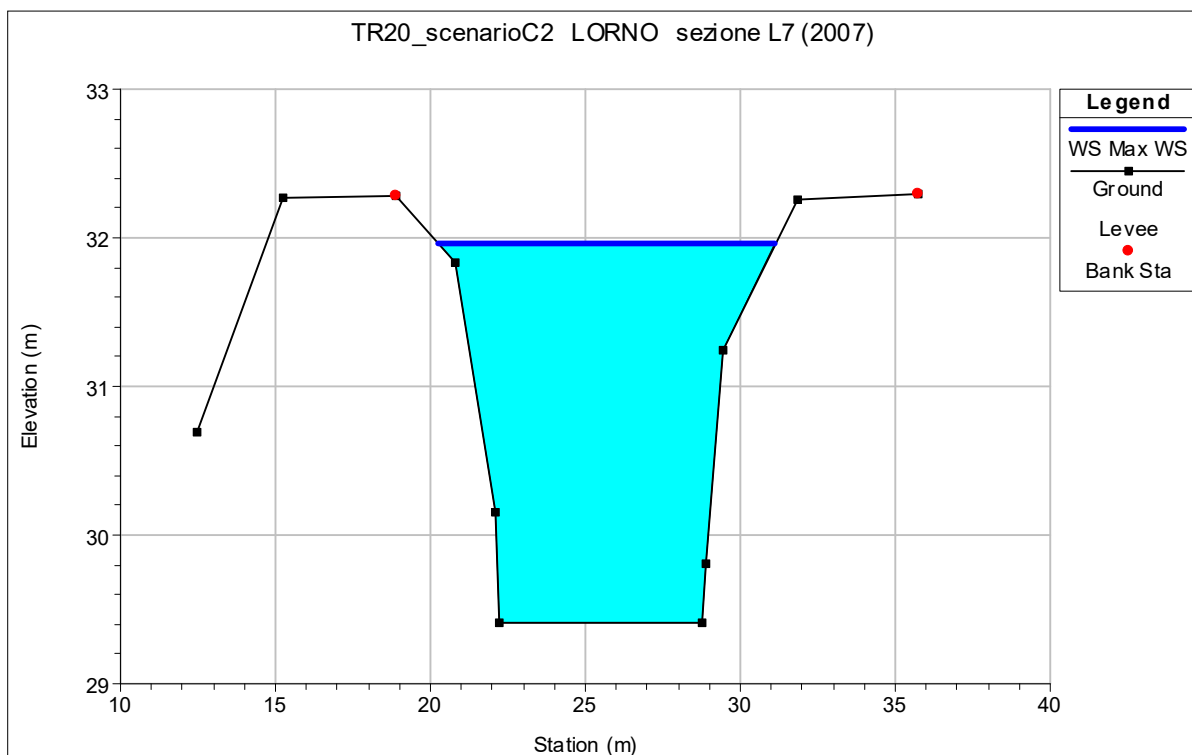


Figura 147 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

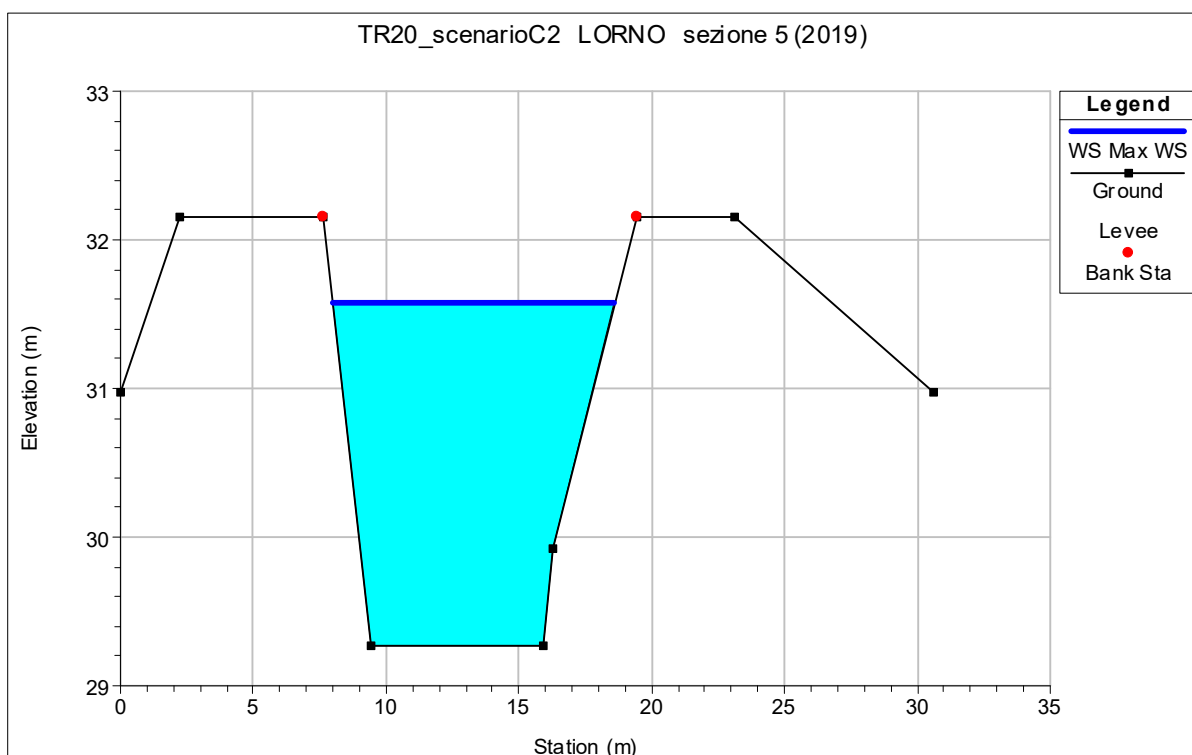


Figura 148 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

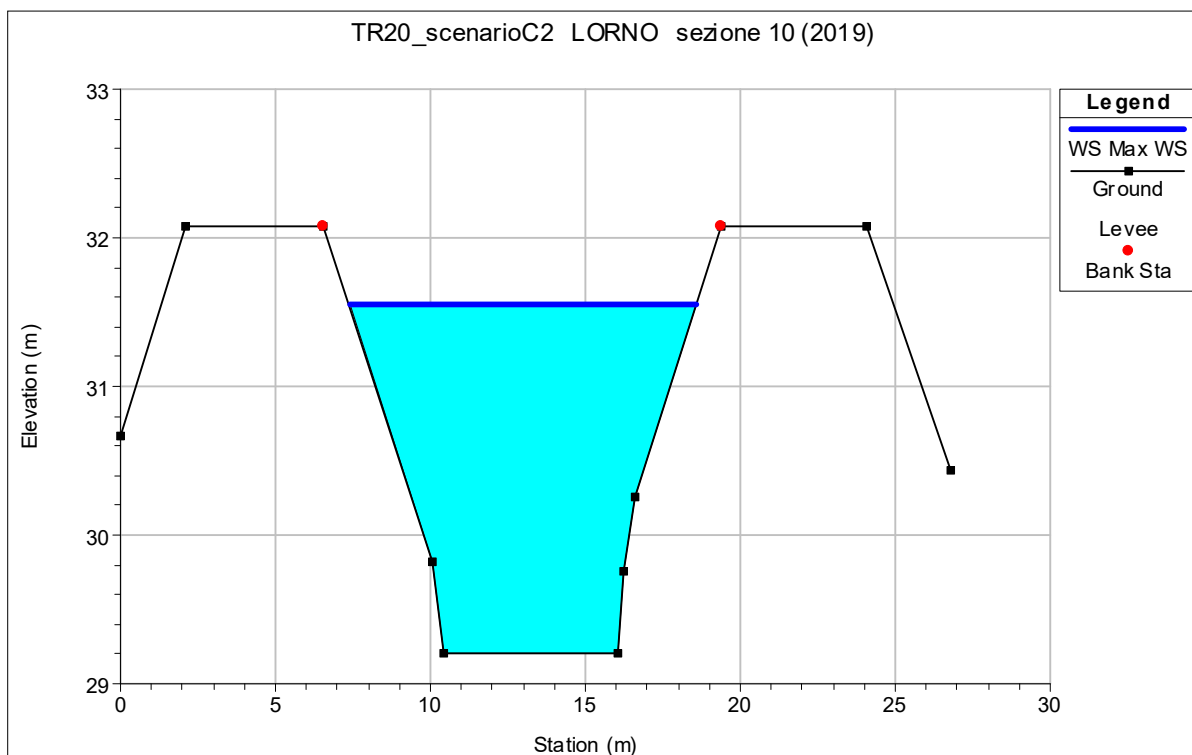


Figura 149 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

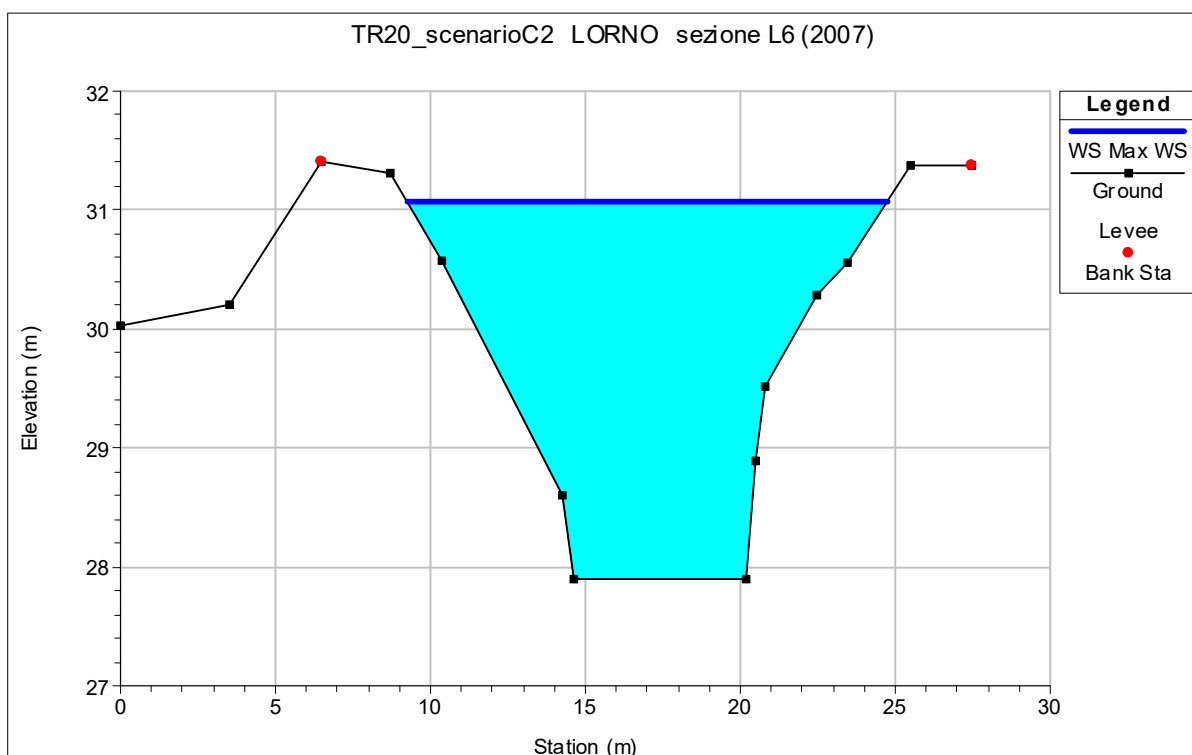


Figura 150 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

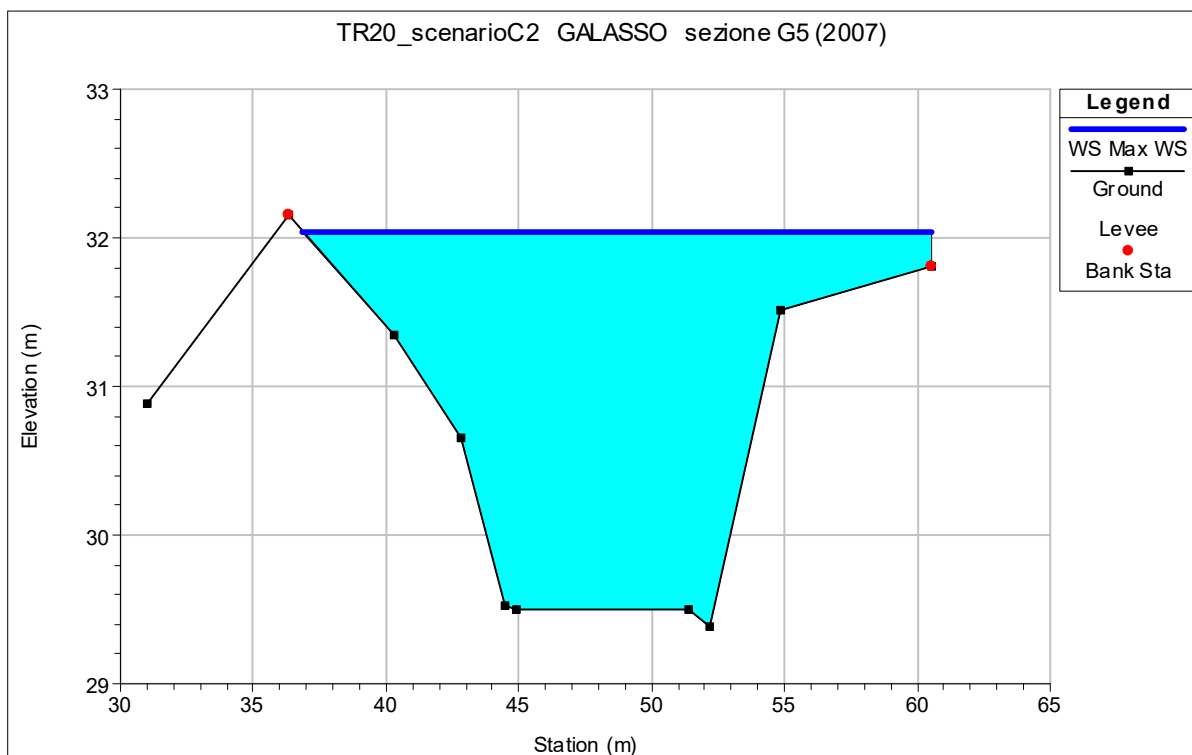


Figura 151 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

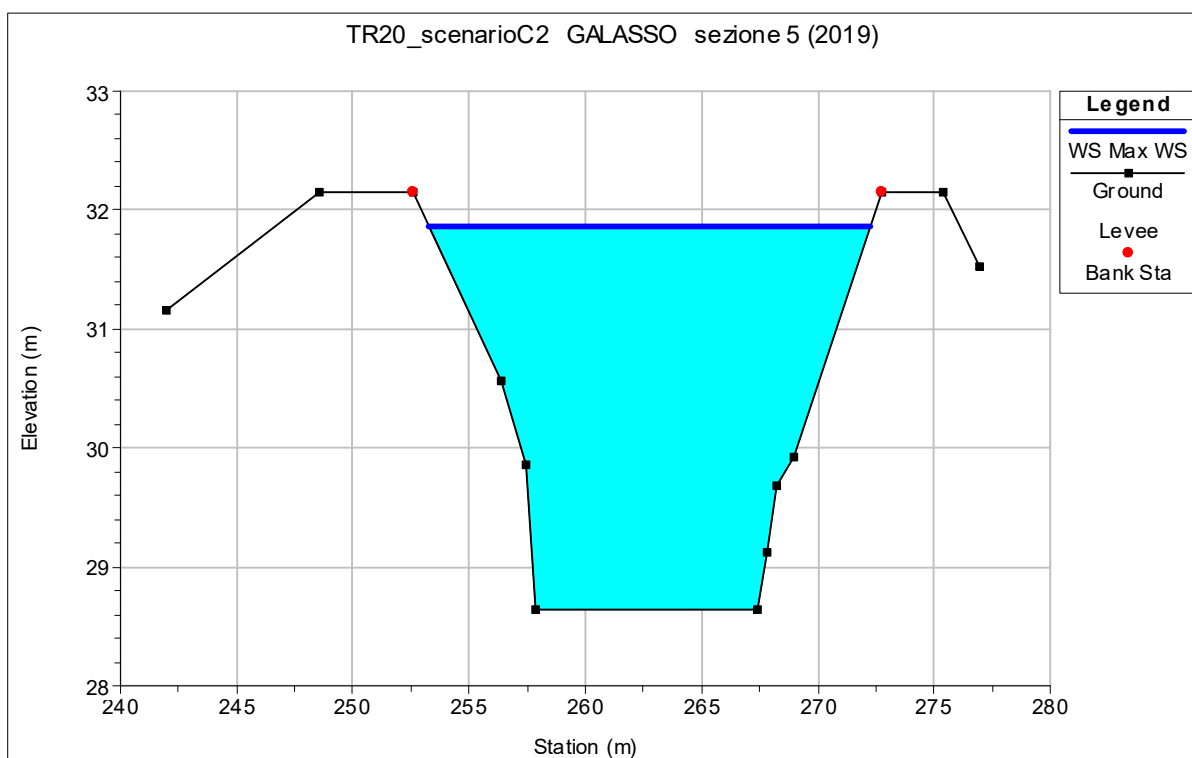


Figura 152 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

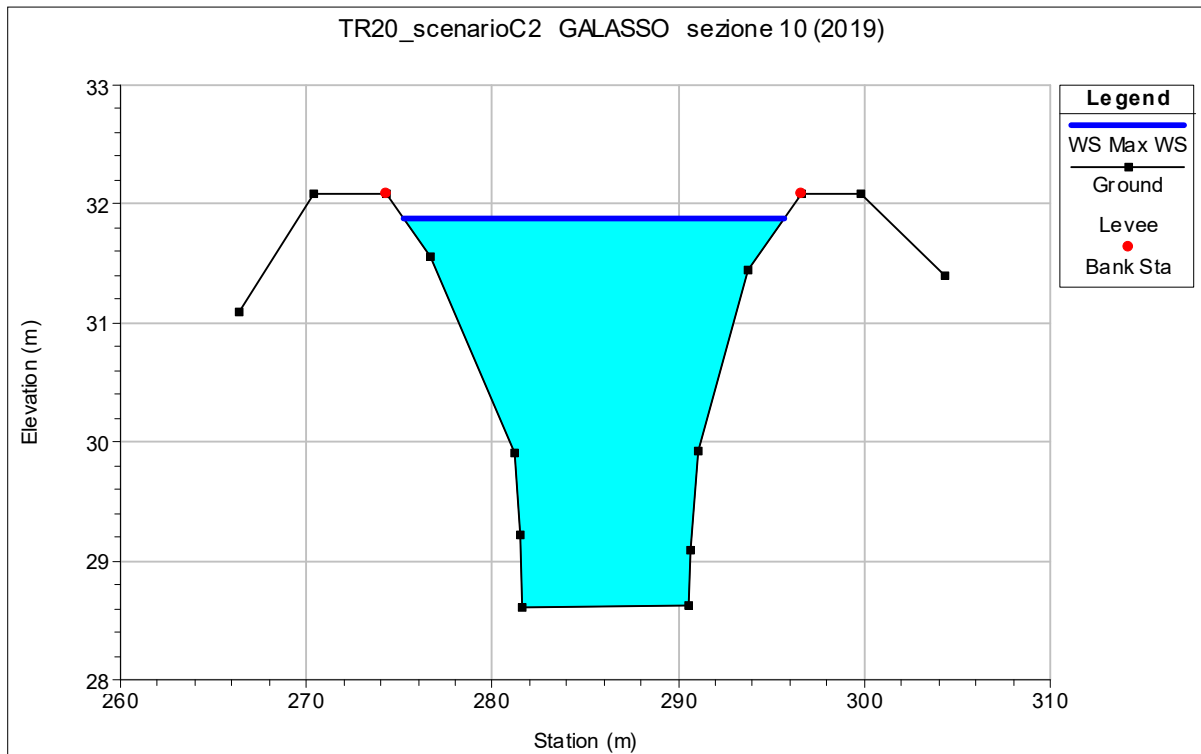


Figura 153 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

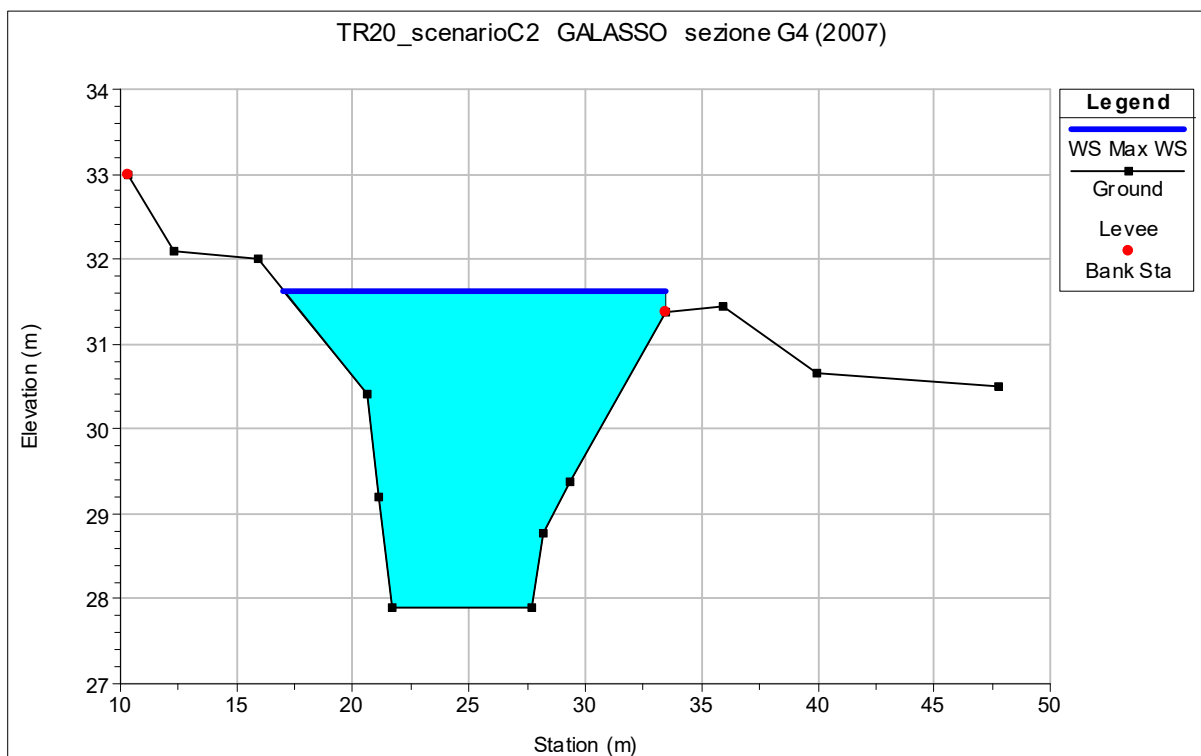


Figura 154 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 7 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 2.50 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 15 m³/s.

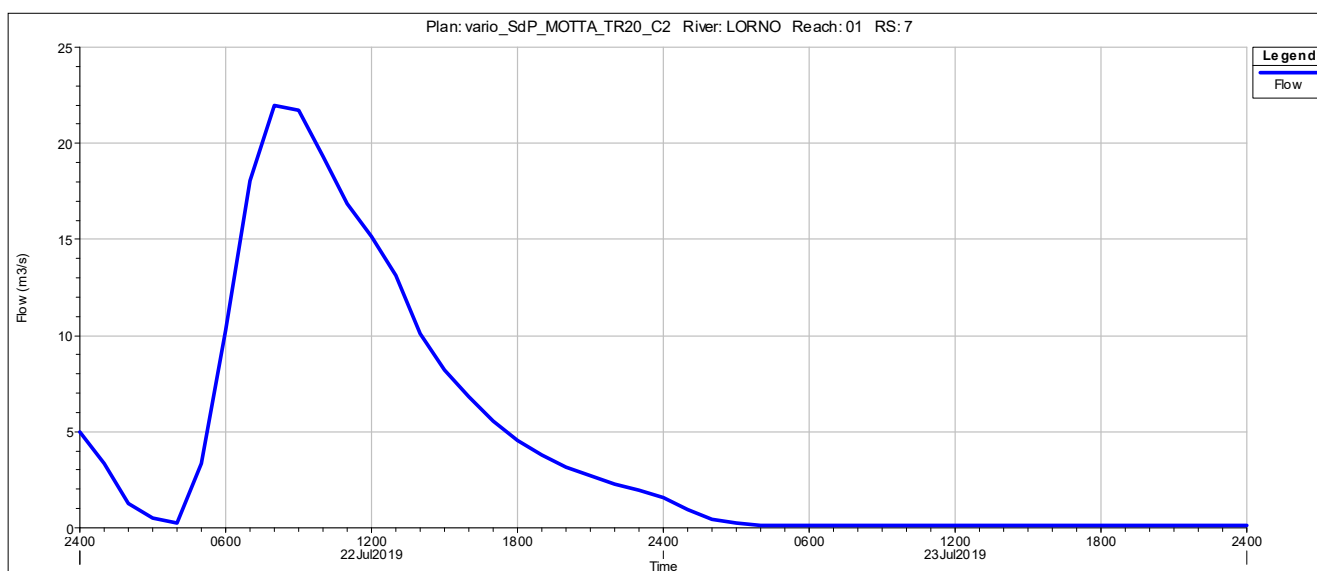


Figura 155 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

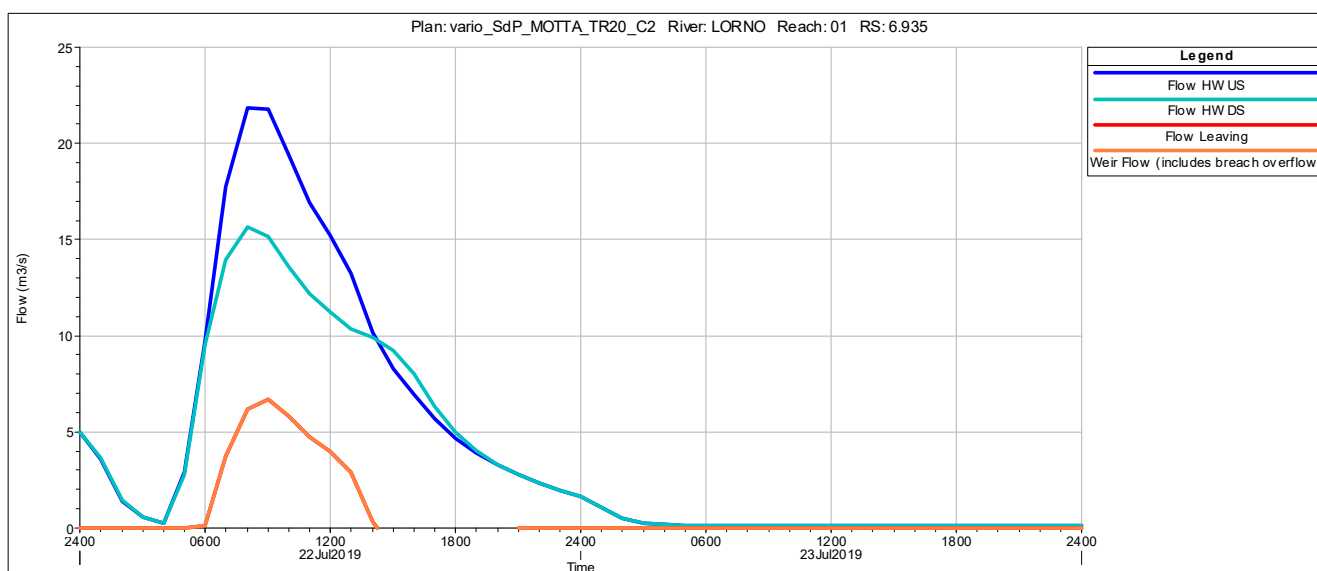


Figura 156 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

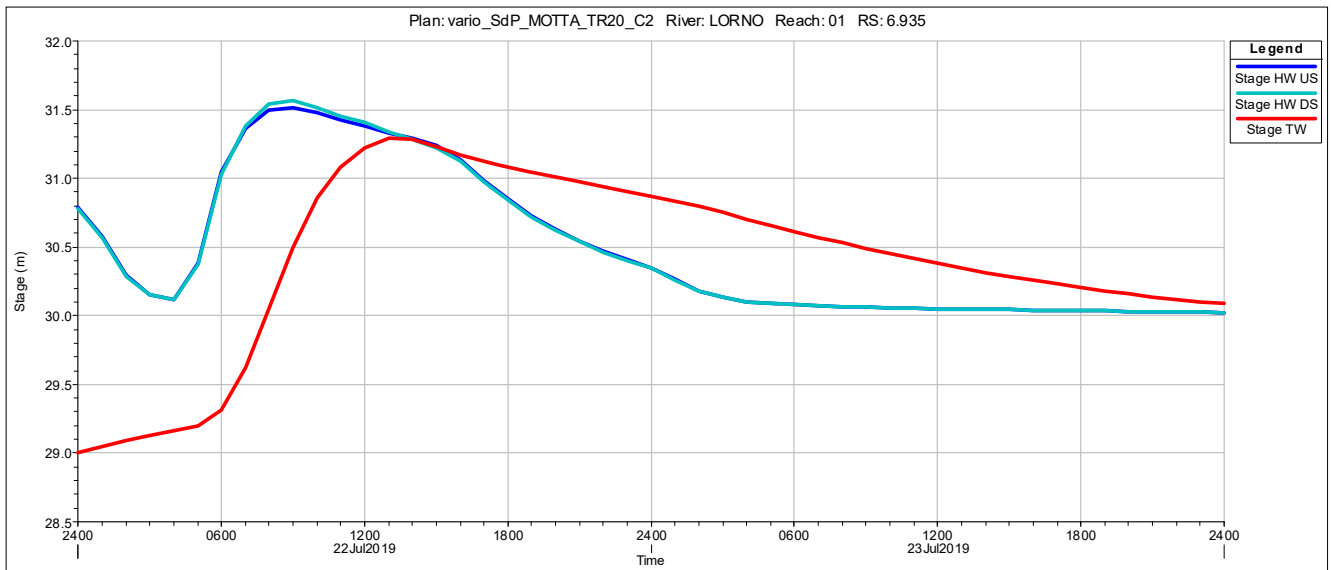


Figura 157 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

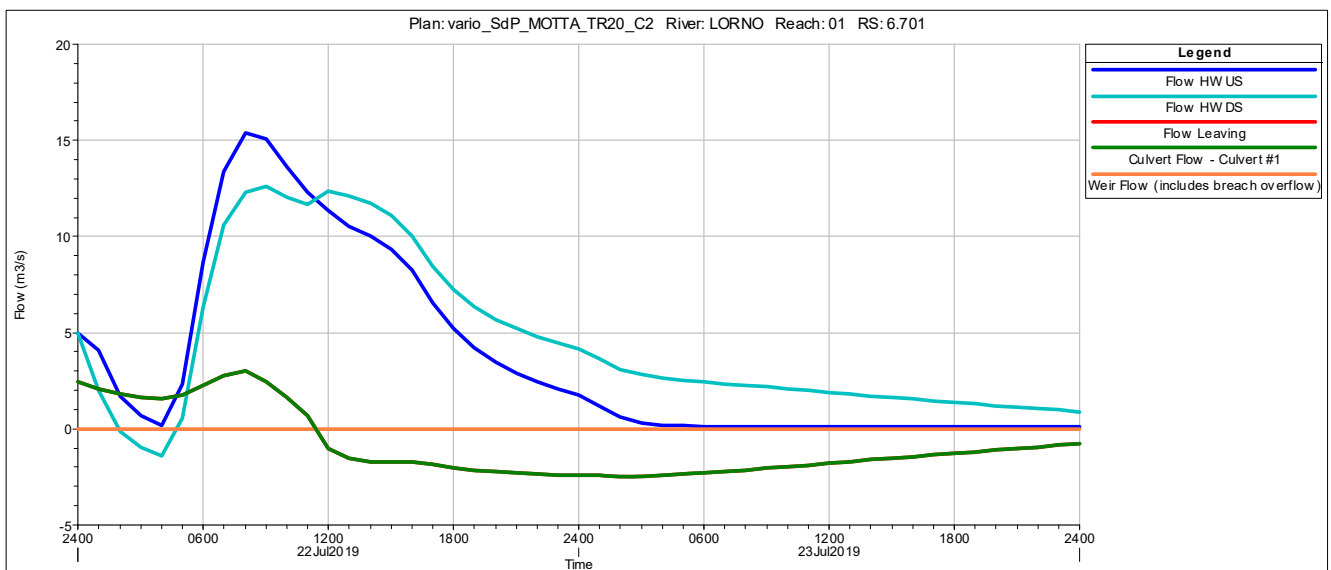


Figura 158 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

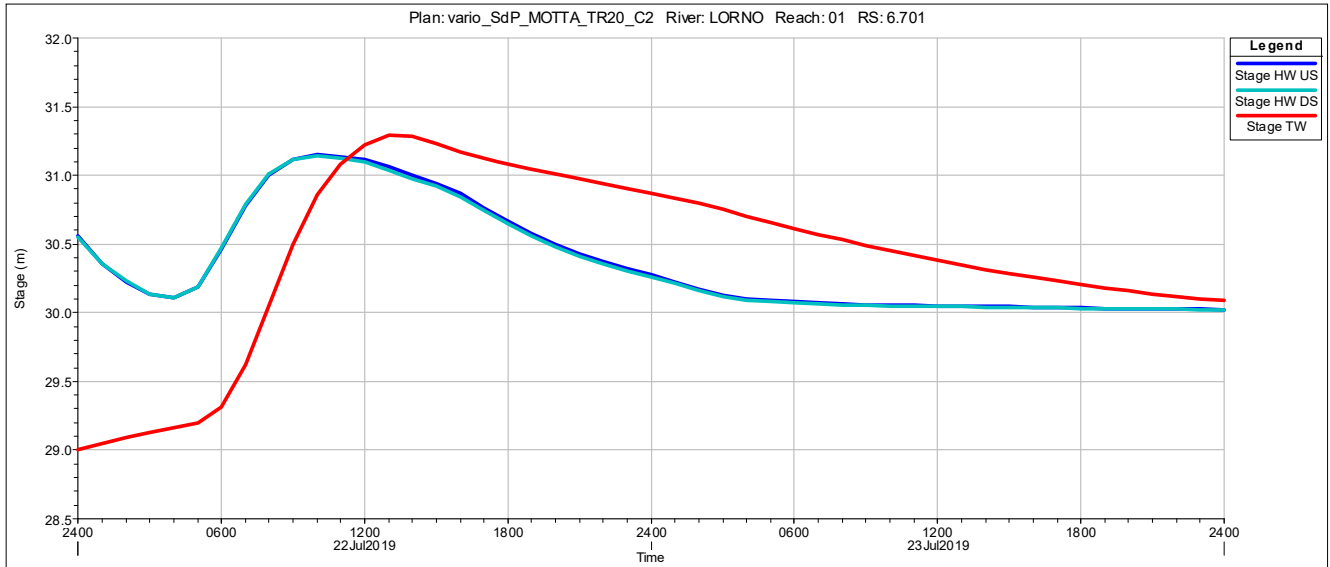


Figura 159 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

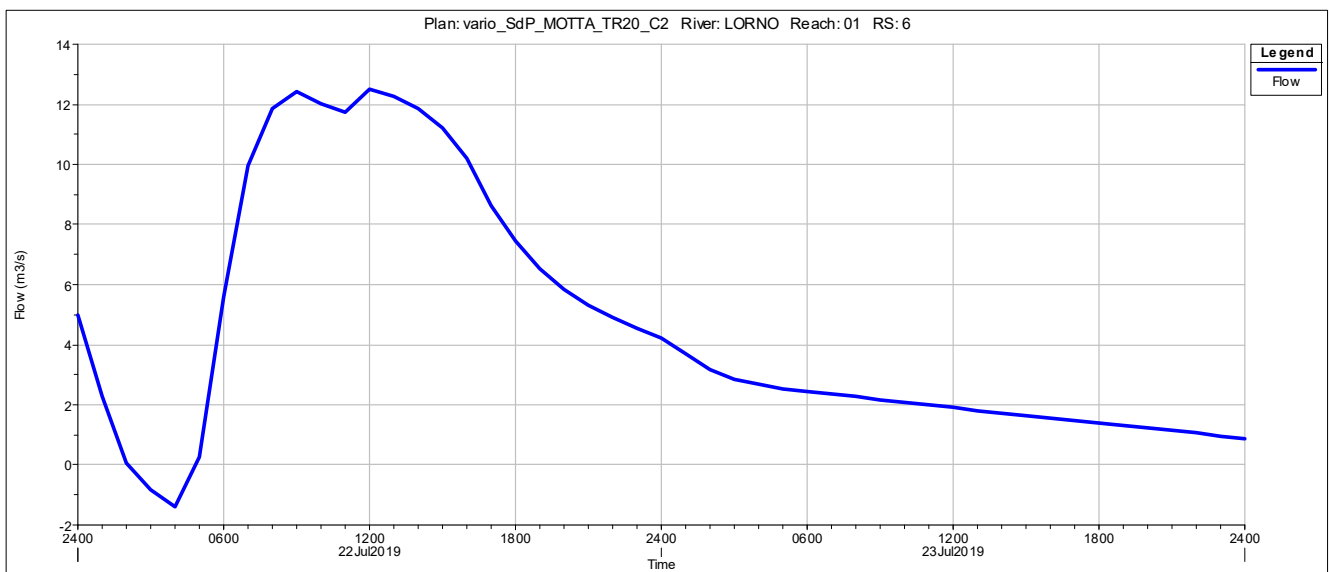


Figura 160 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

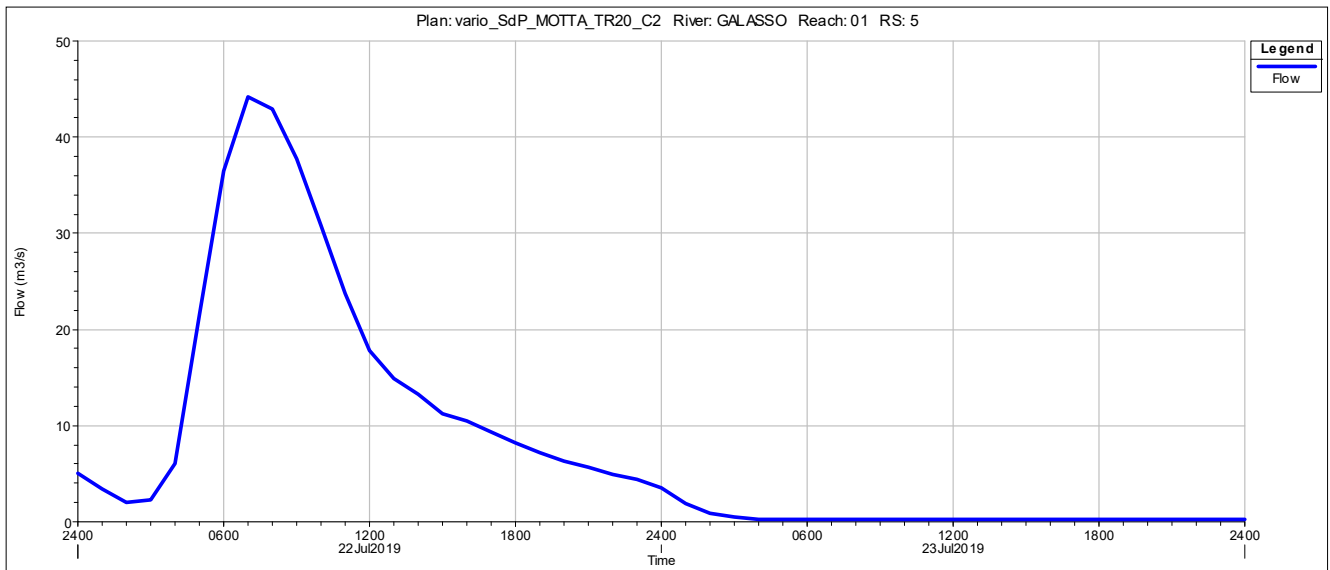


Figura 161 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

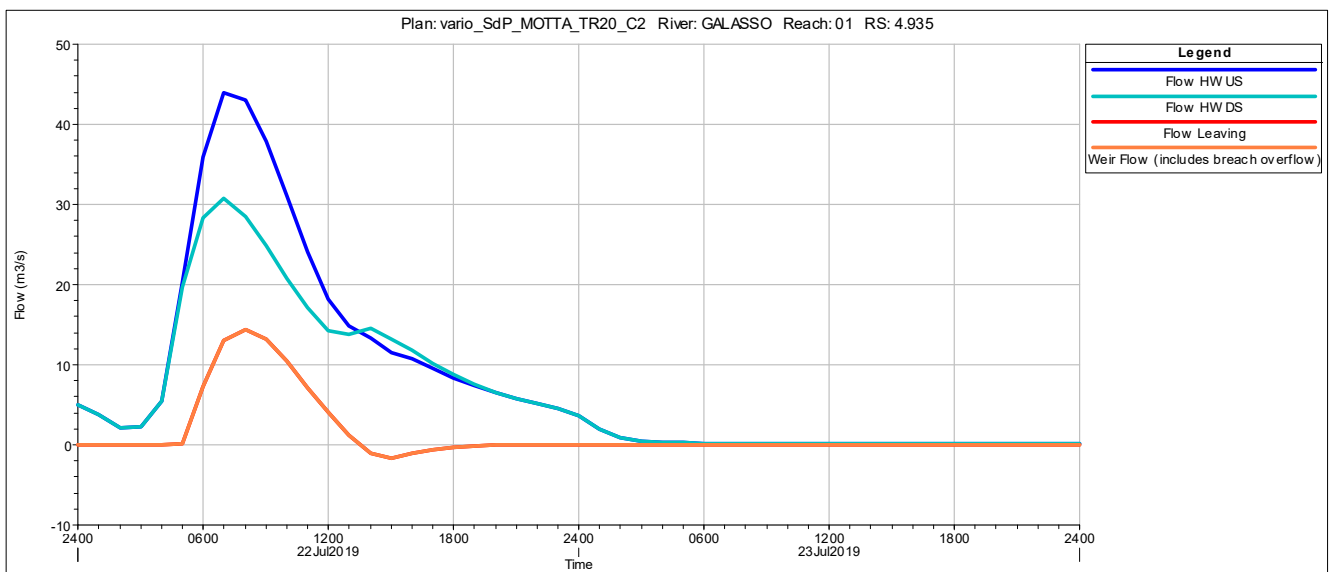


Figura 162 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

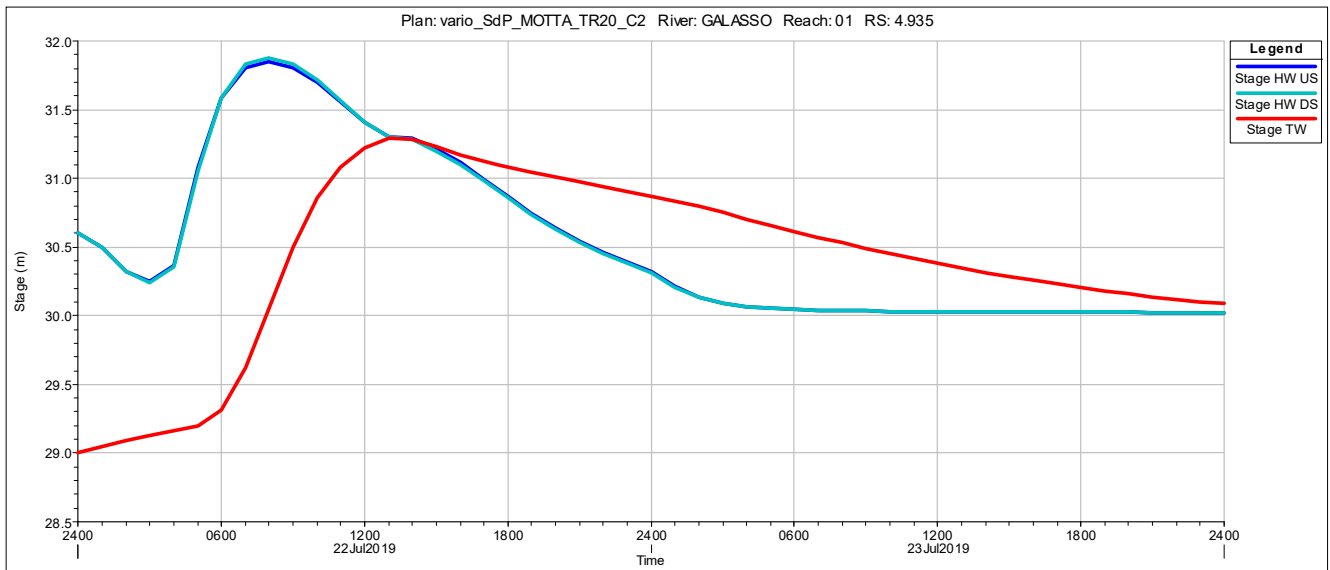


Figura 163 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

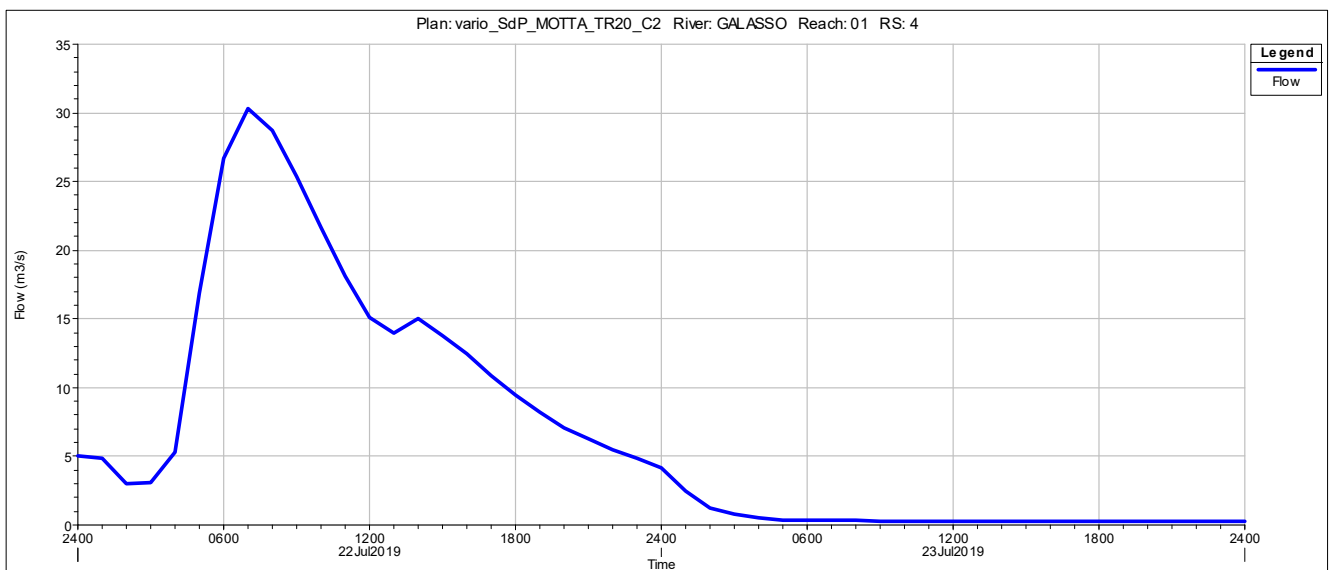


Figura 164 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

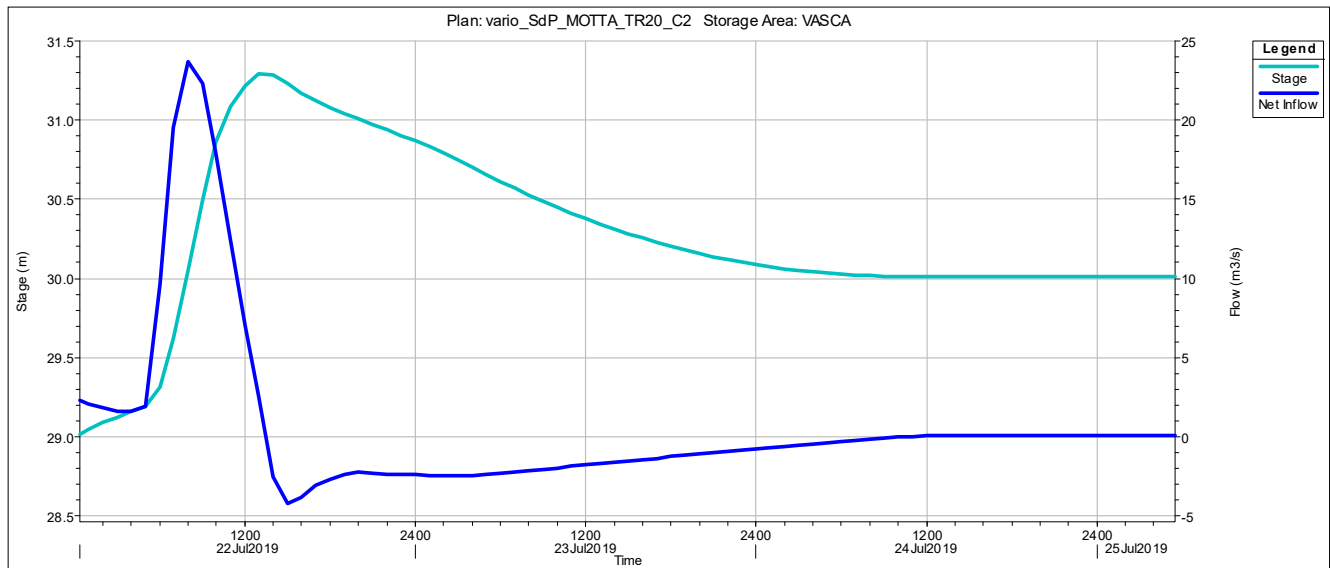


Figura 165 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 20 anni nello scenario C2 nello stato di progetto:

TR 20_C2					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
410	31.09	7	6.00	13.00	2.30

Tabella 12 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario C2 per un TR di 20 anni.

4.7.5.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR20 - scenario C2)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 29 cm nella sezione di monte e di circa 50 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 51 cm nella sezione di monte e di circa 64 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 2000 m per il canale Lorno e a circa 1400 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

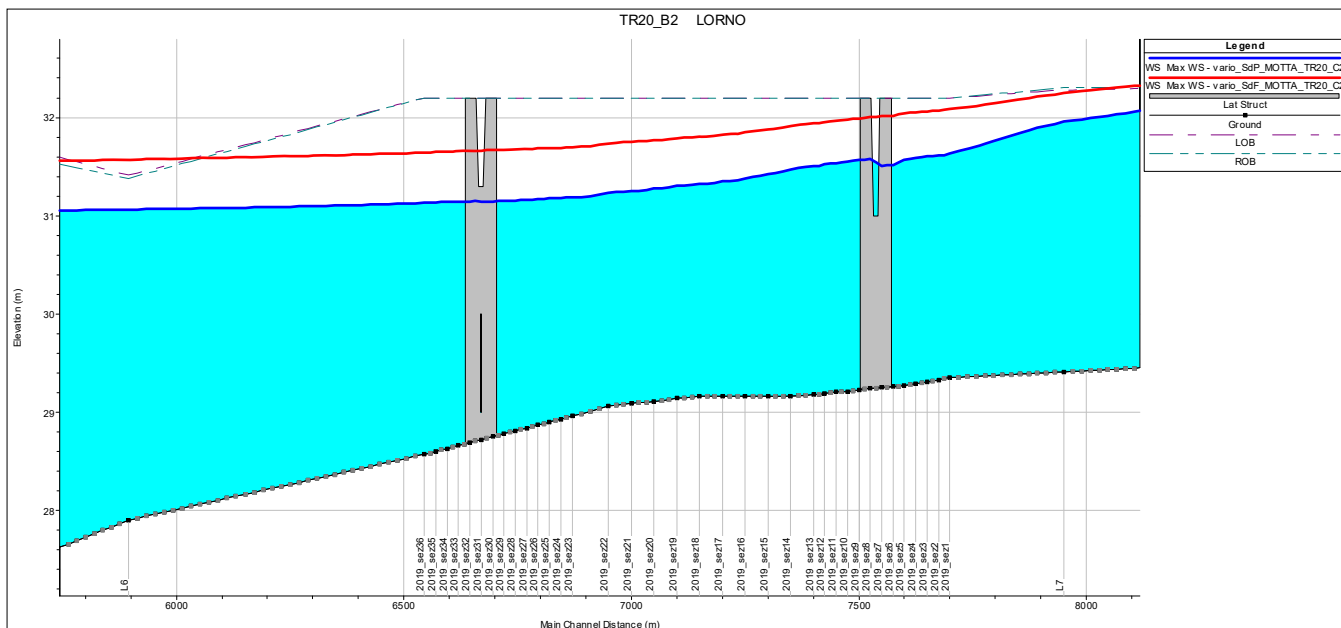


Figura 166 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

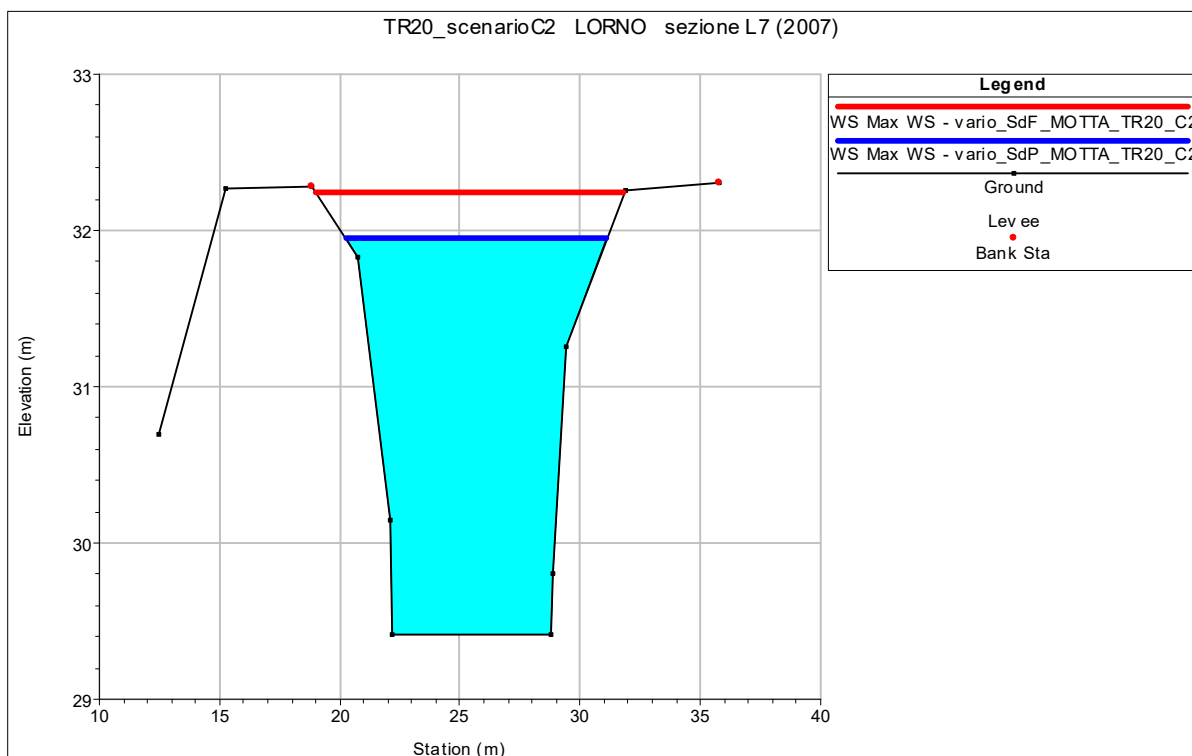


Figura 167 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

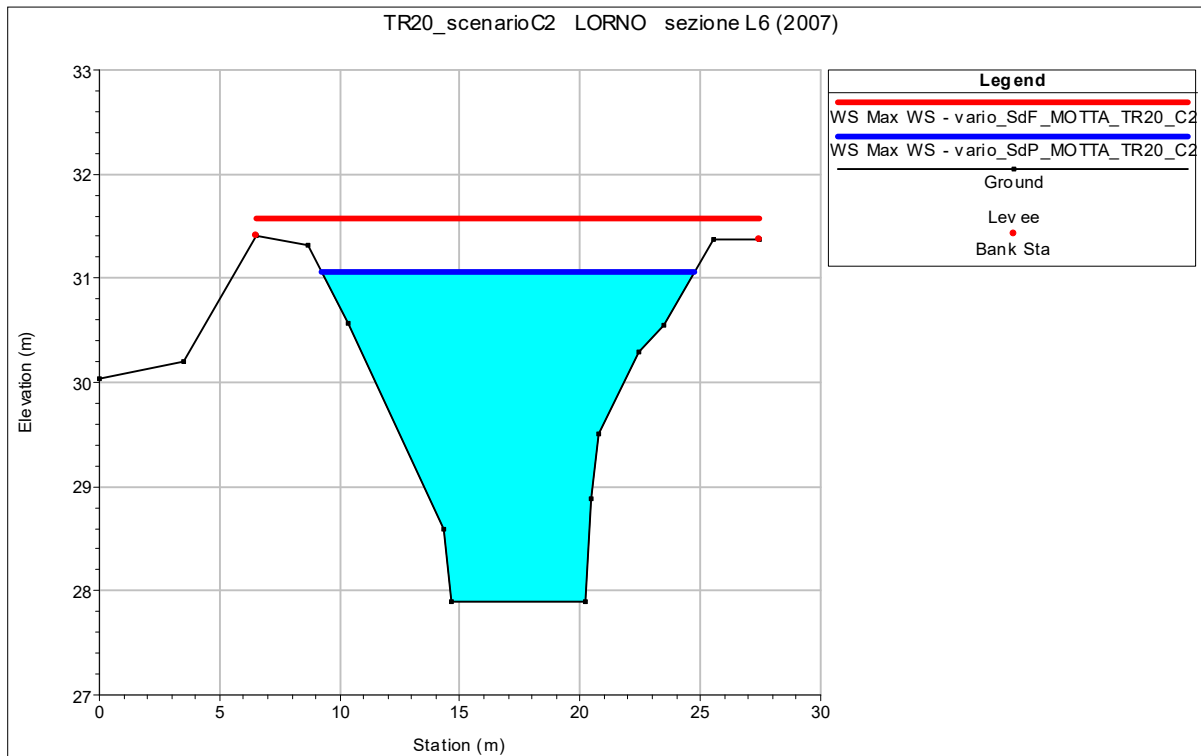


Figura 168 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

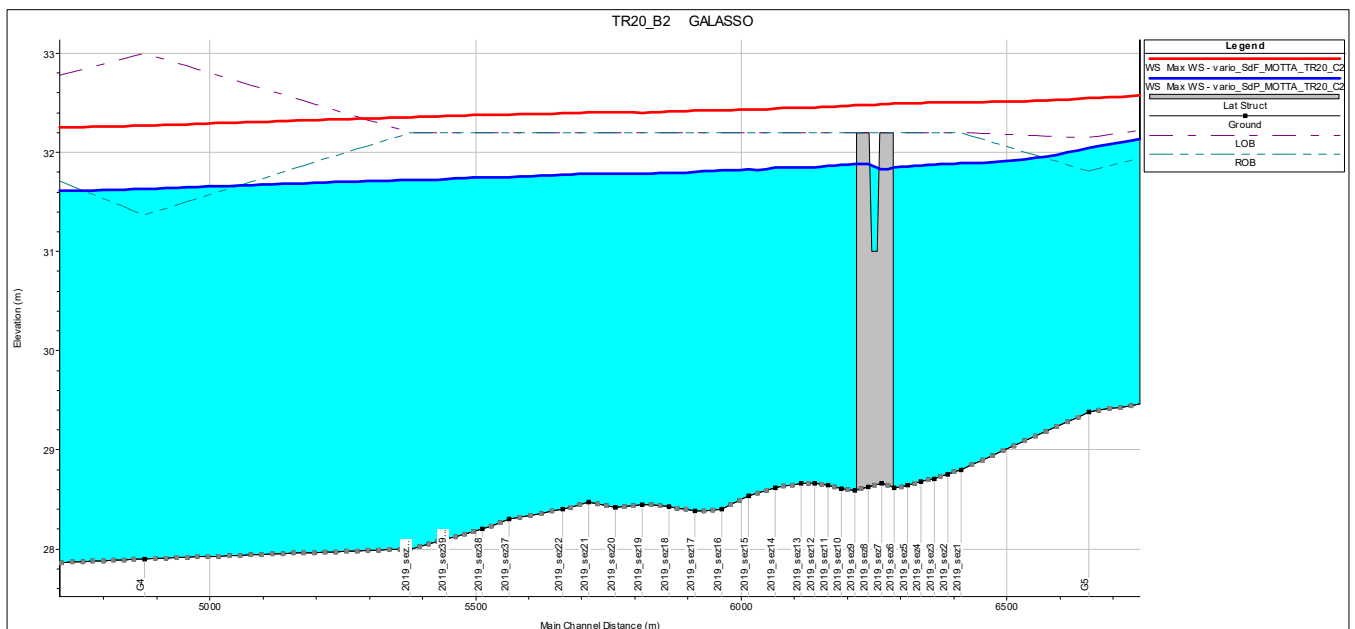


Figura 169 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

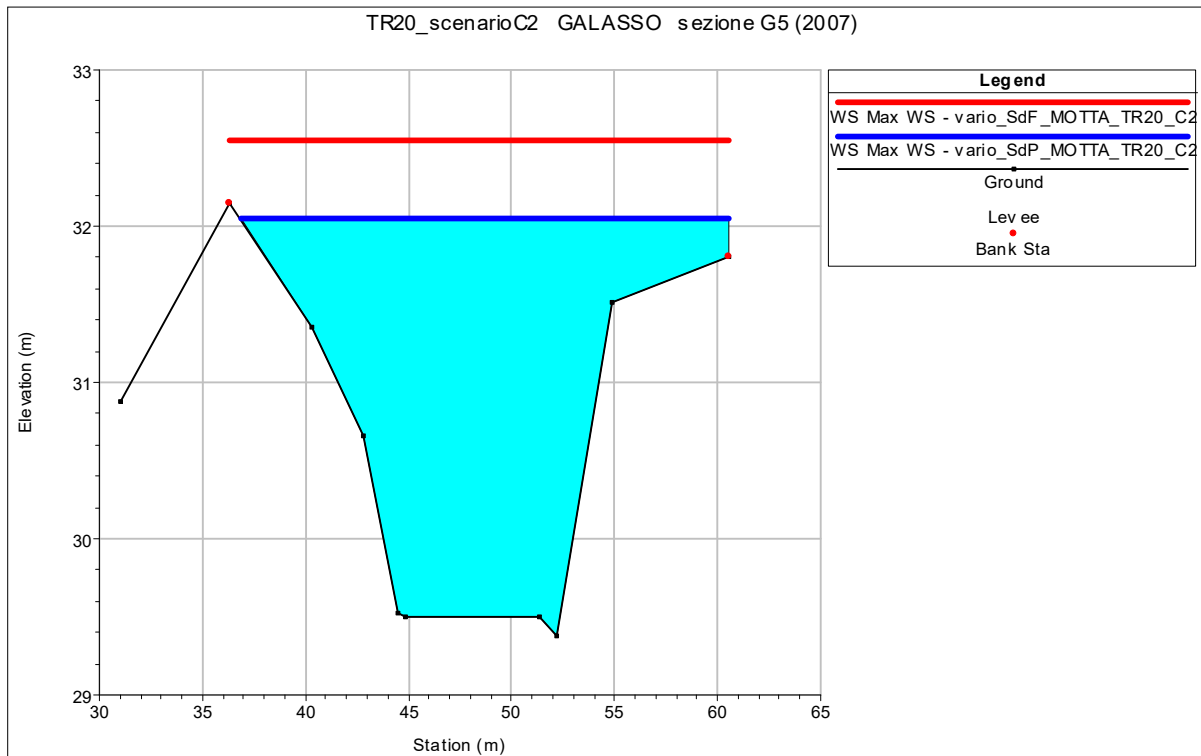


Figura 170 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

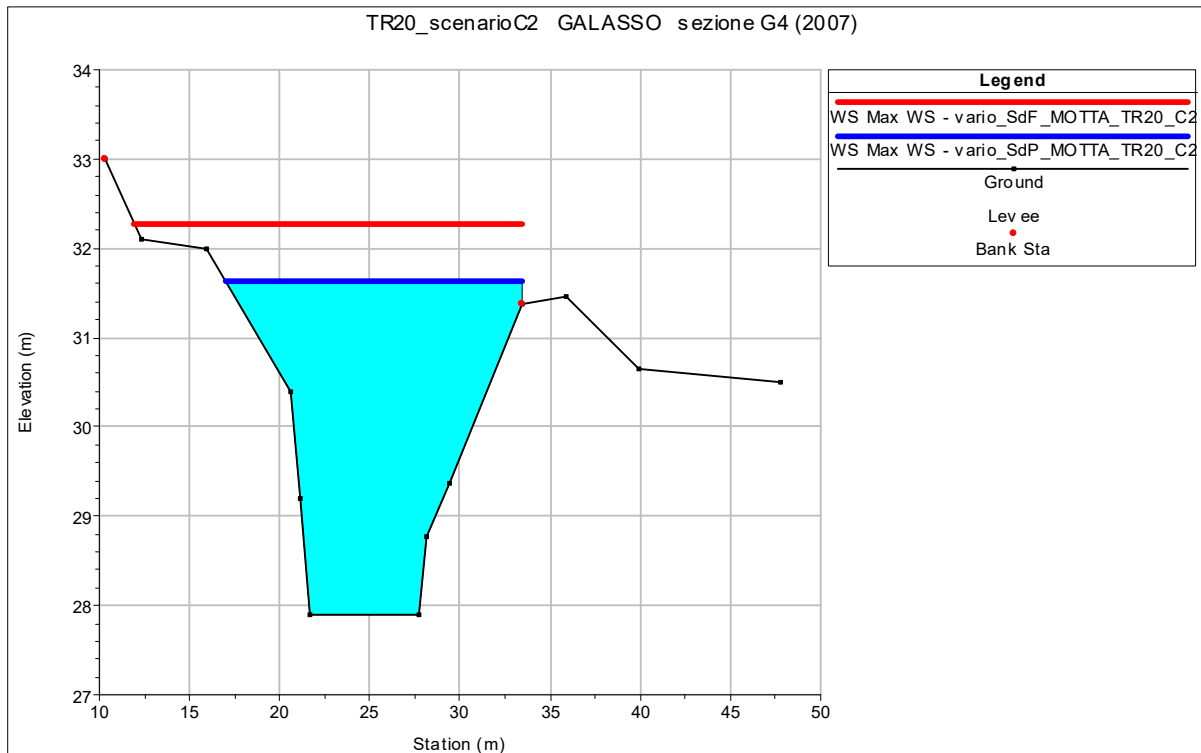


Figura 171 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.6 TR50 CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A1 e per un TR di 50 anni. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza di moto uniforme con pendenza di fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno evidenziato che nel tratto di valle del canale Galasso si verifica il superamento del rilevato arginale in corrispondenza della sponda destra della sezione G4 (rilievo non aggiornato). Nei tratti di monte dei due canali si verifica il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

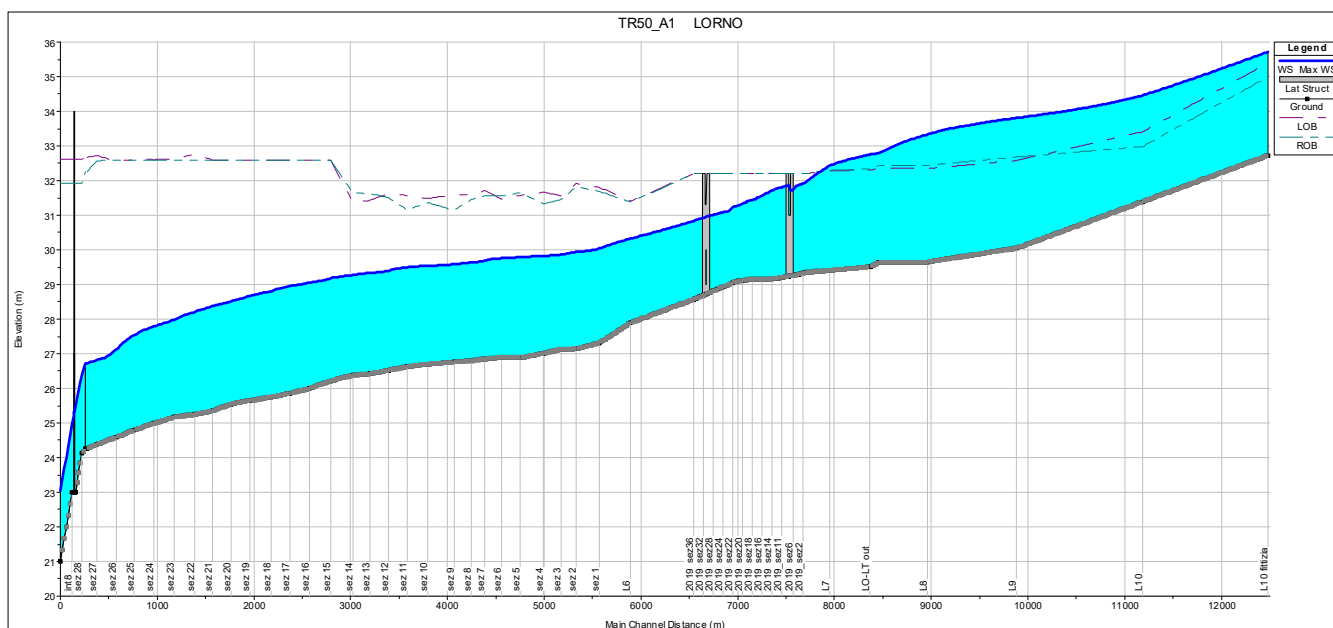


Figura 172 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

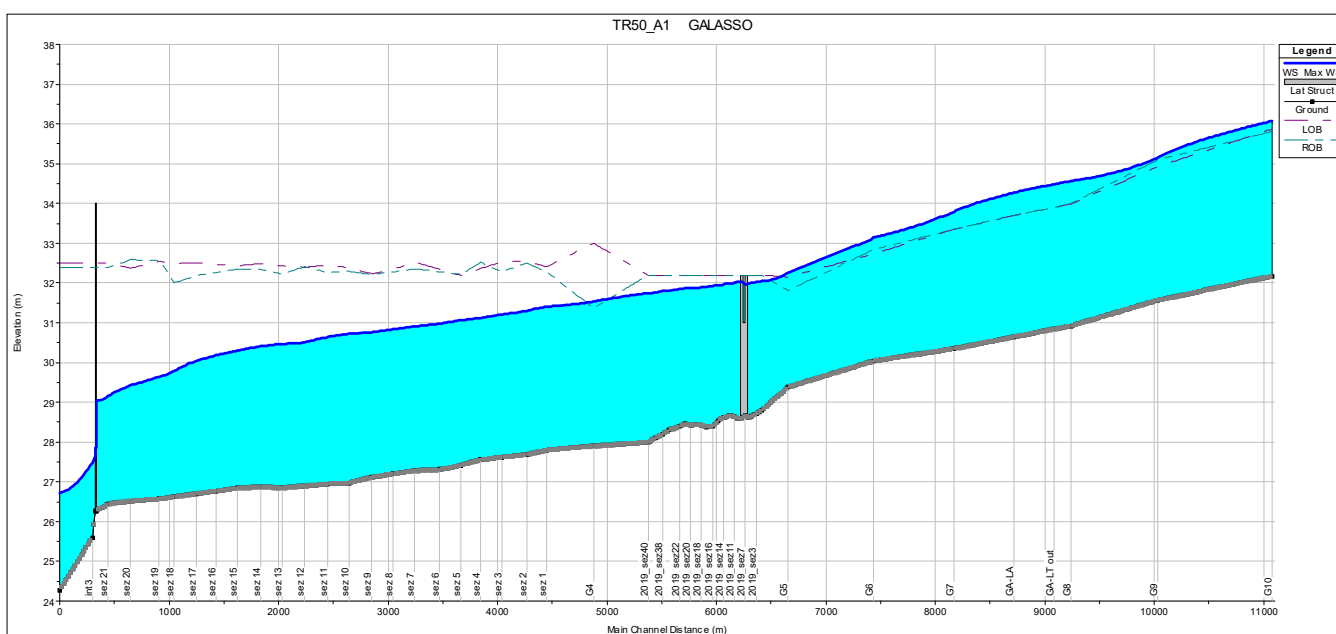


Figura 173 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

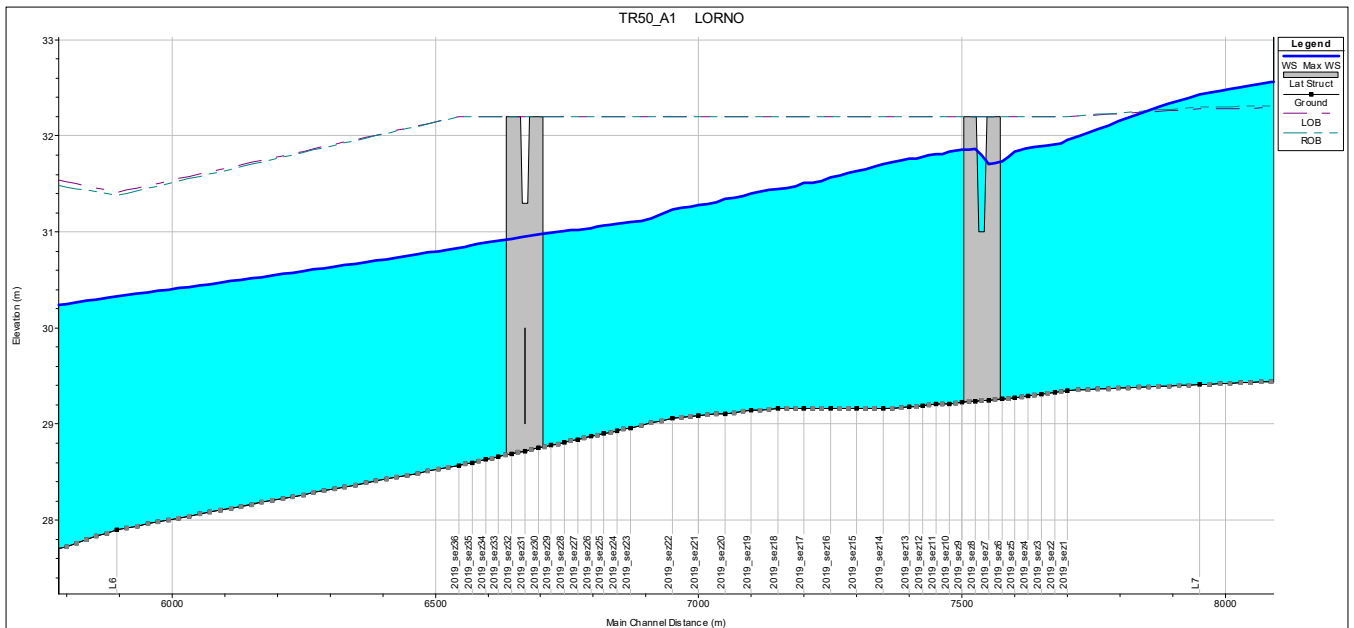


Figura 174 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

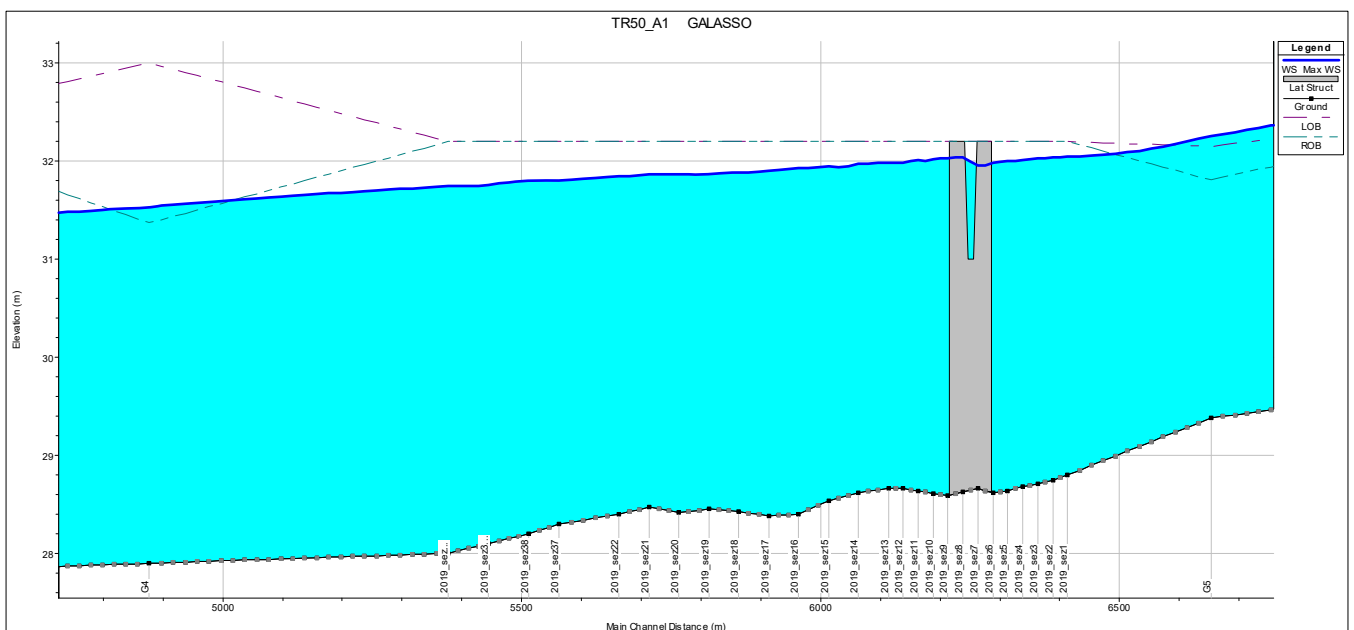


Figura 175 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento dell'argine destro della sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso e di entrambi gli argini della sezione L7 (a monte della cassa) del canale Lorno. Si verificano, inoltre, superamenti dell'argine destro della sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso.

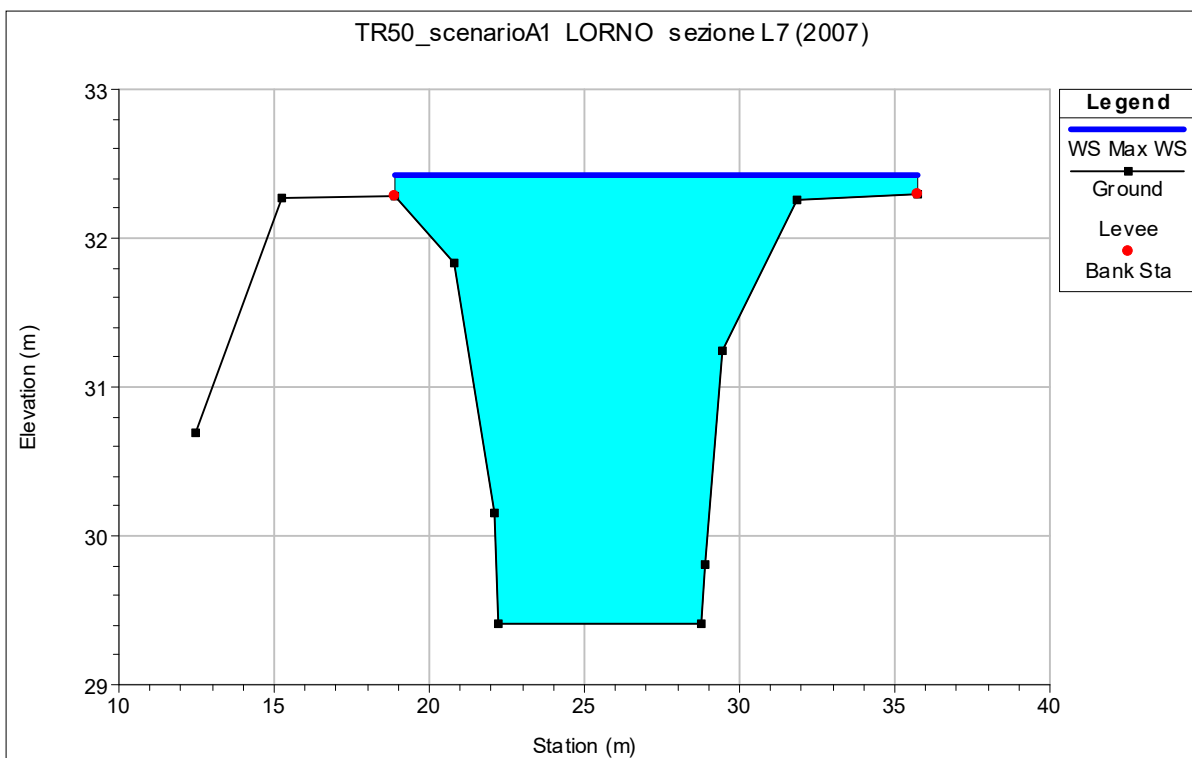


Figura 176 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

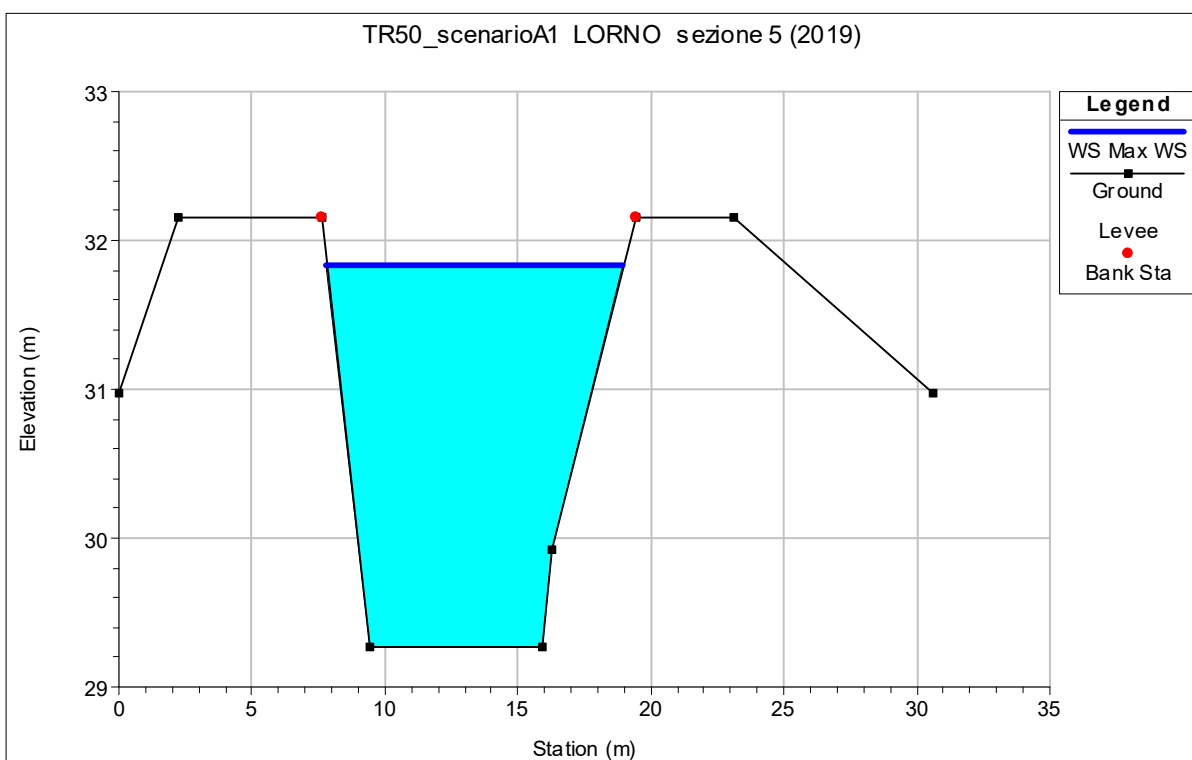


Figura 177 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

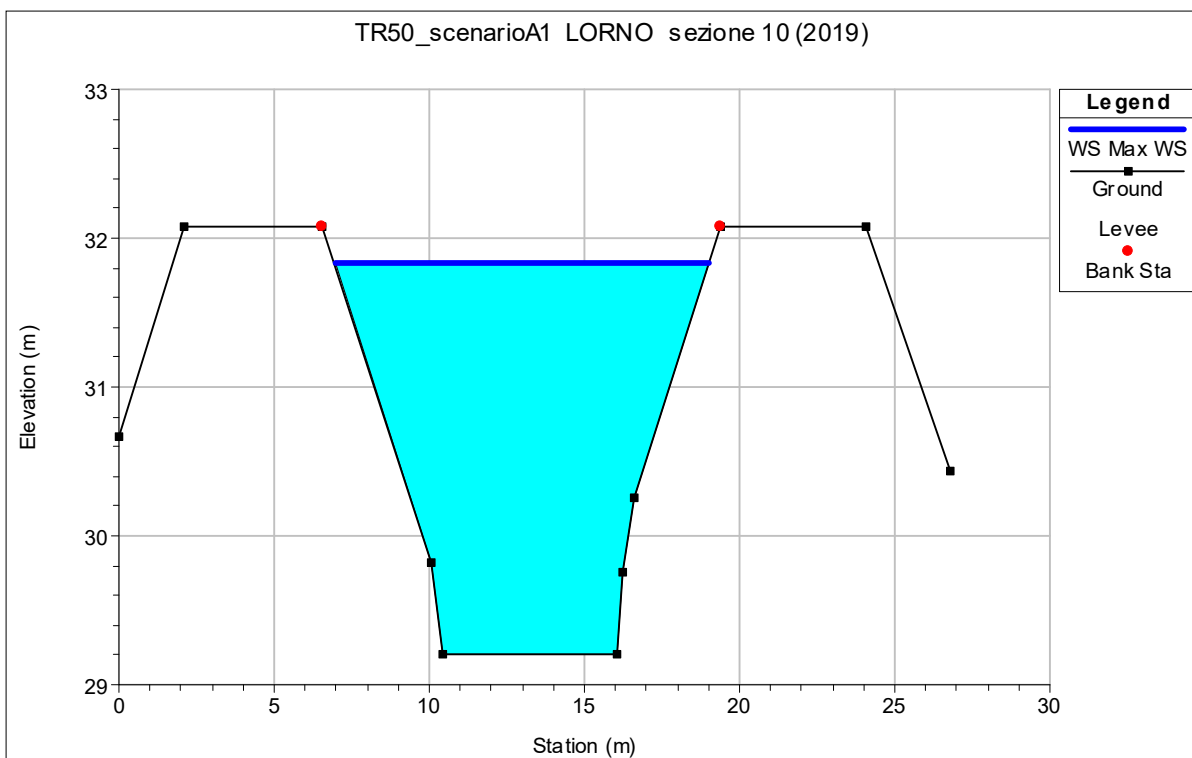


Figura 178 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

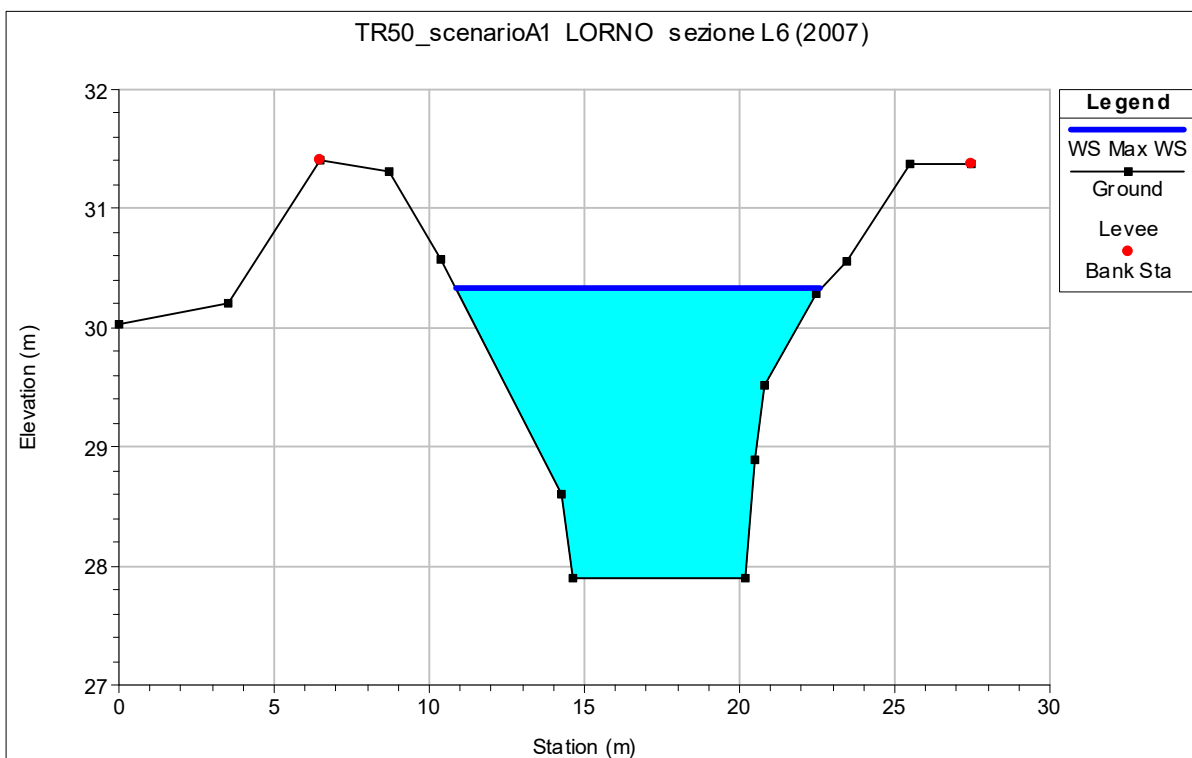


Figura 179 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

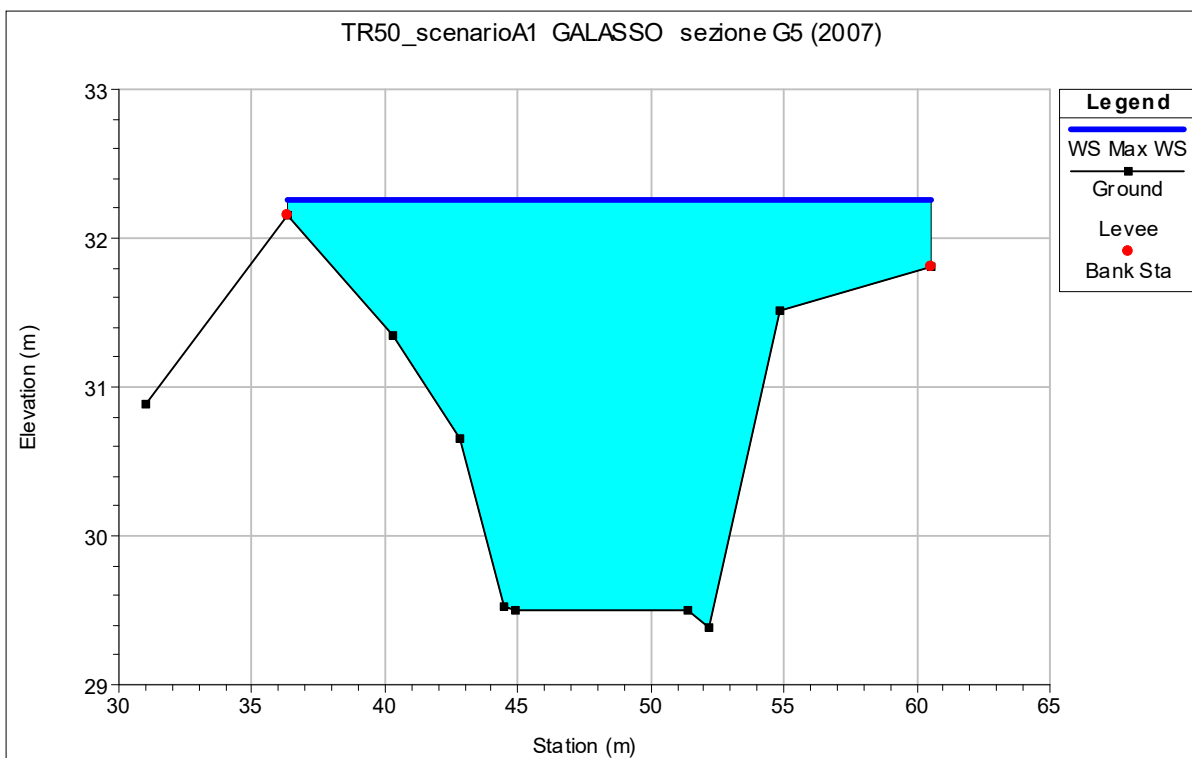


Figura 180 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

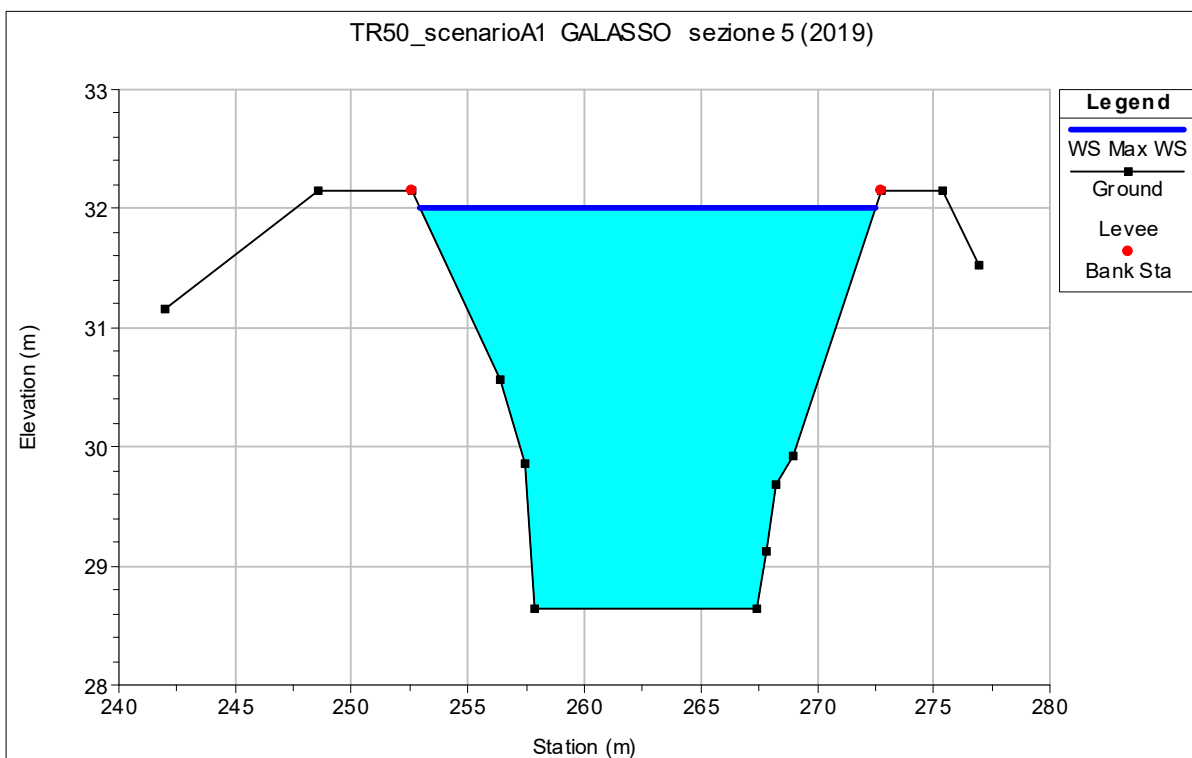


Figura 181 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

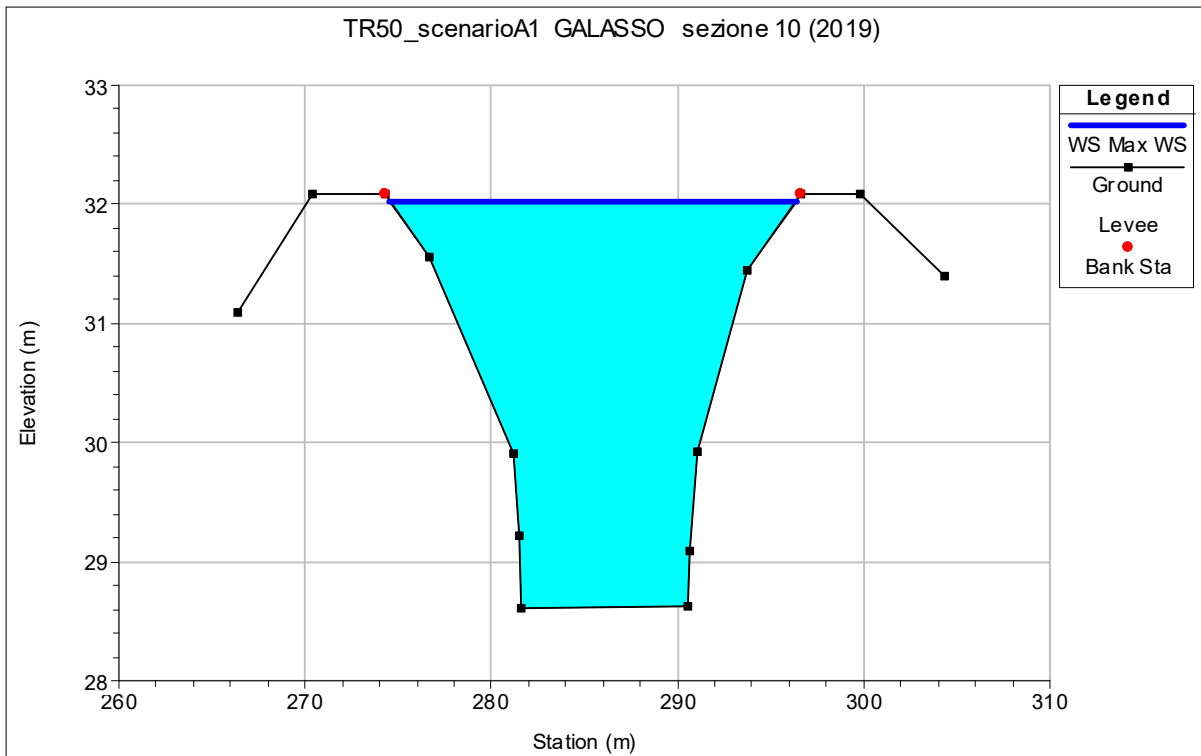


Figura 182 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

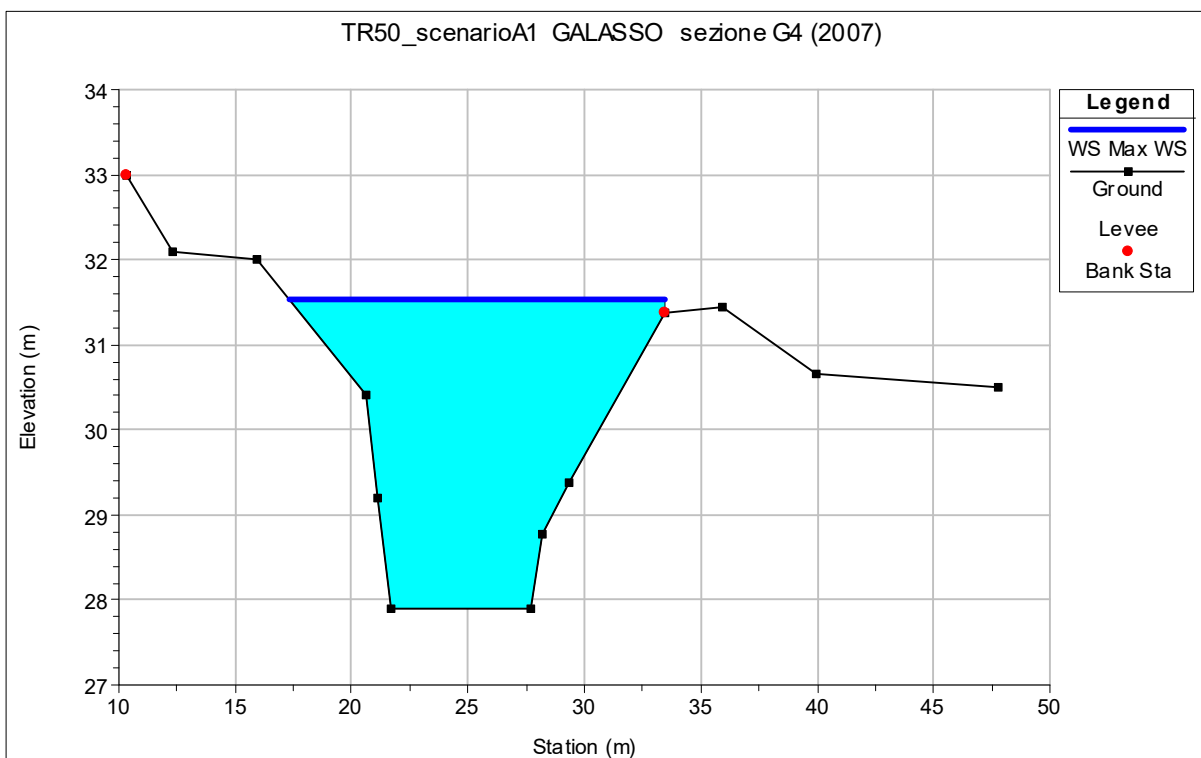


Figura 183 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 13 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 4 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 18 m³/s.

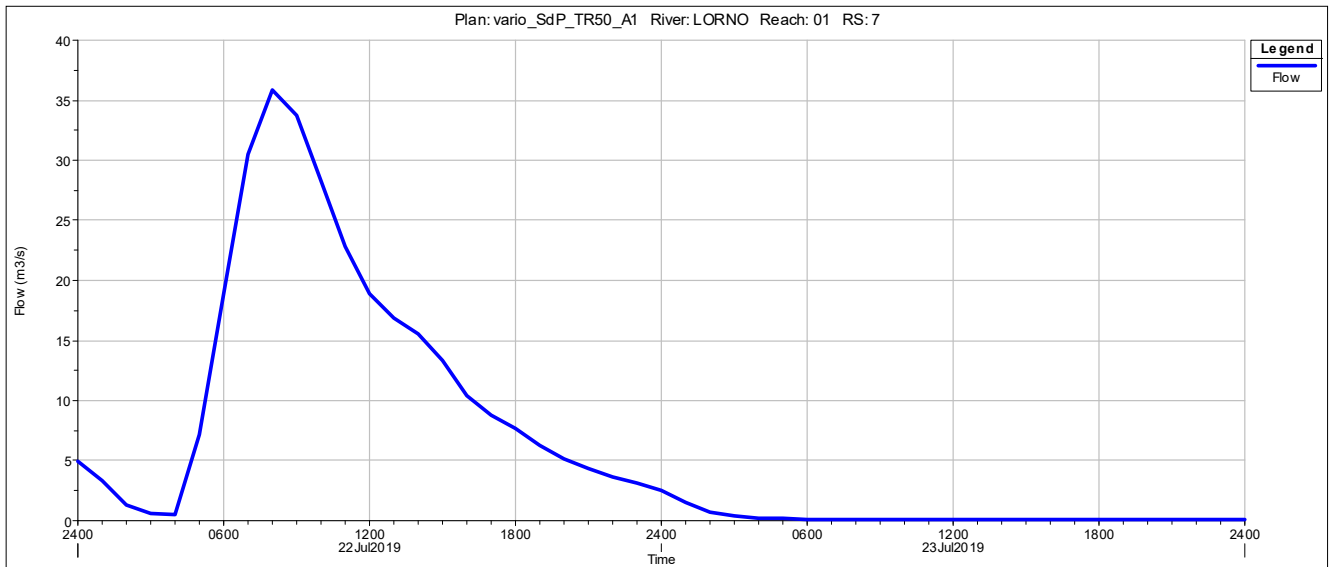


Figura 184 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

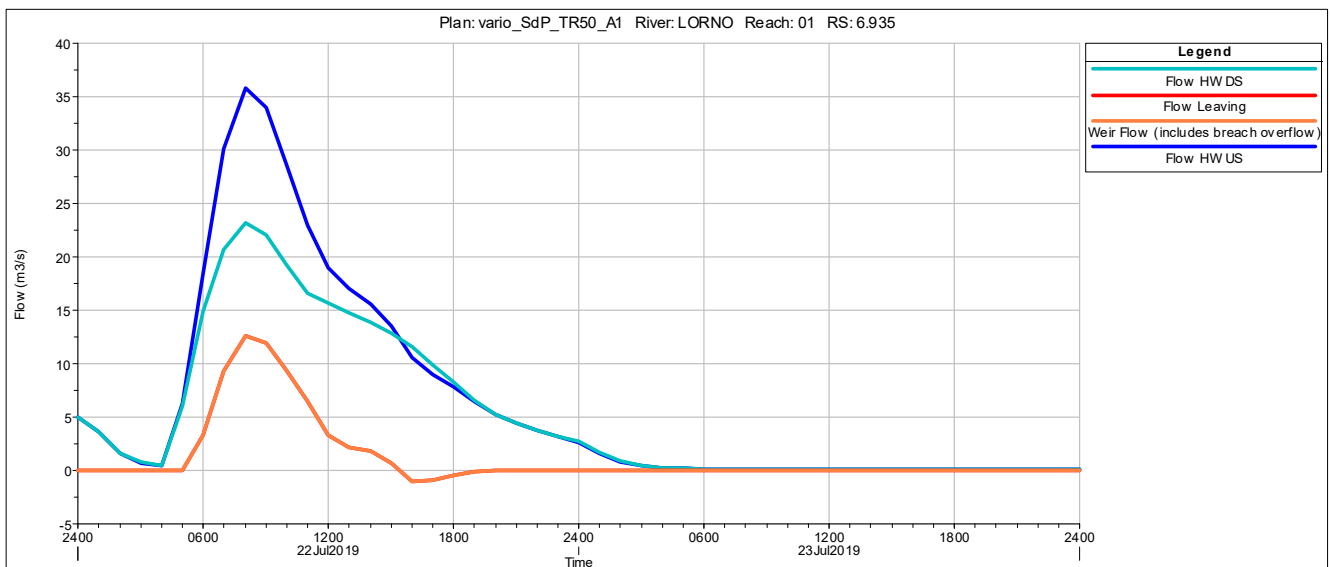


Figura 185 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

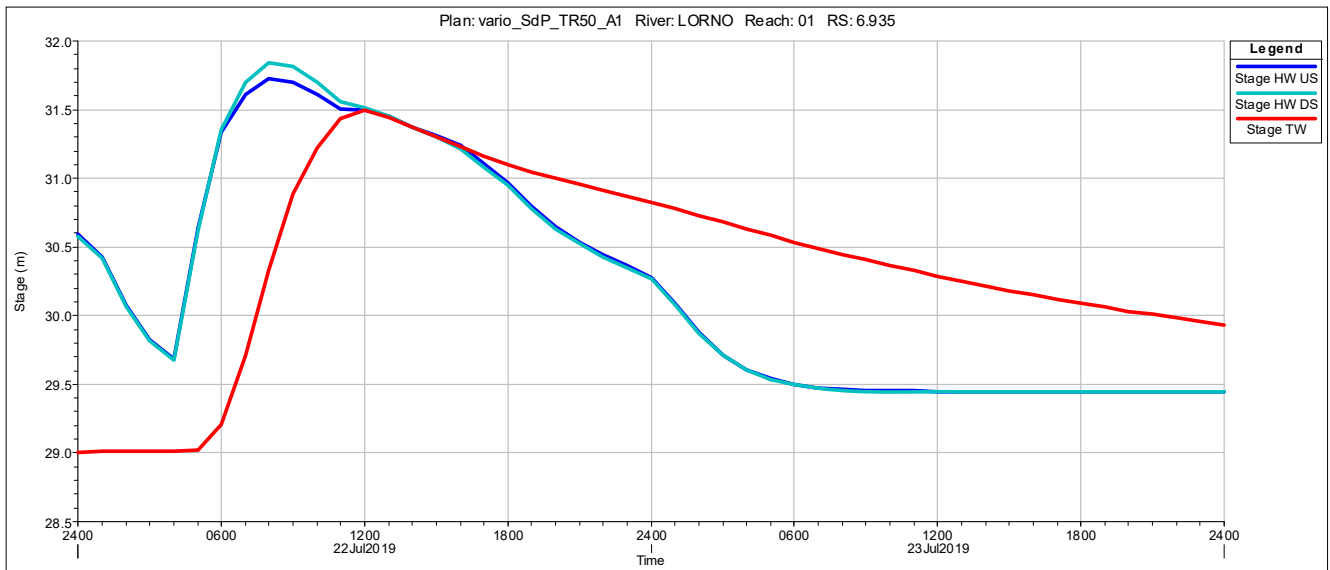


Figura 186 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

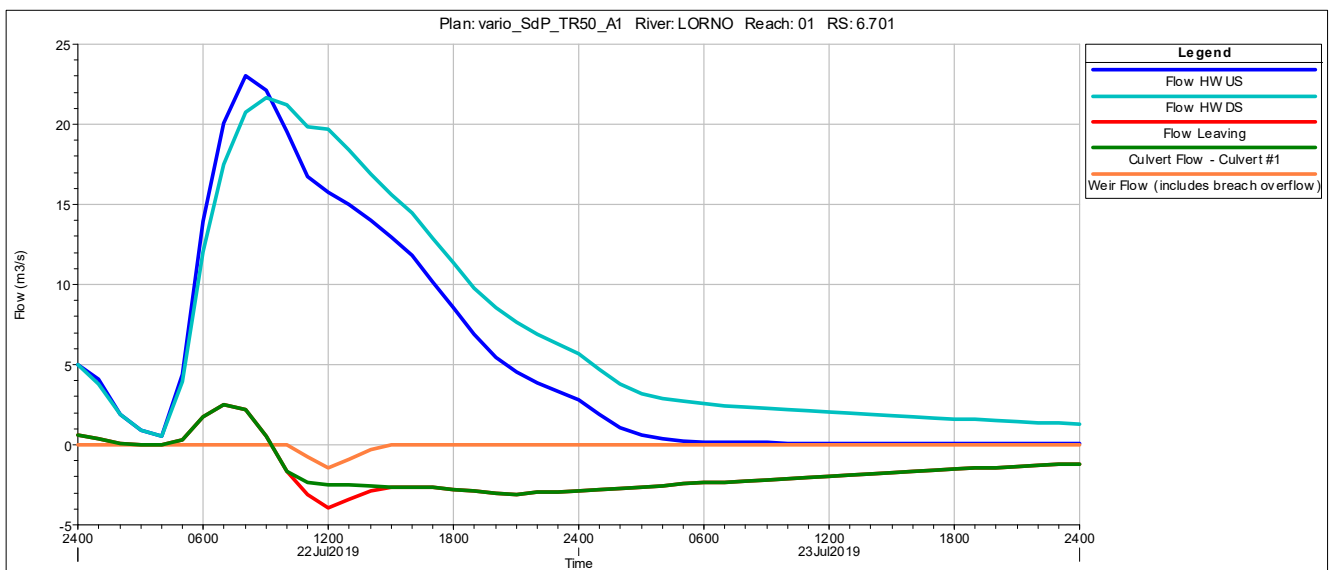


Figura 187 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

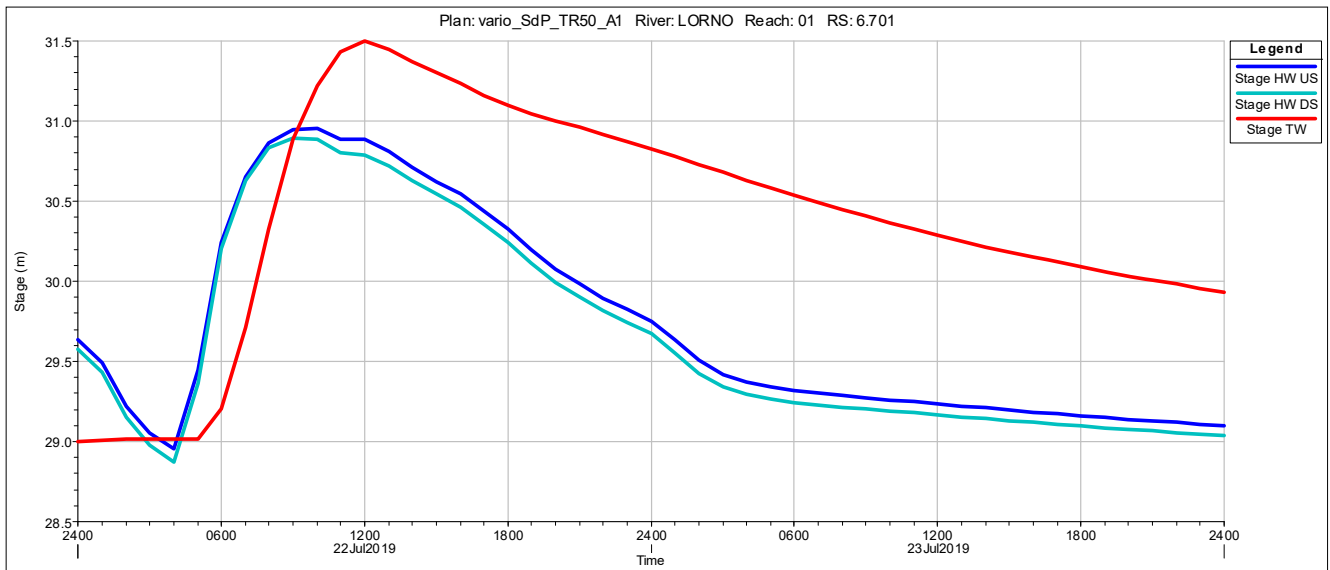


Figura 188 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

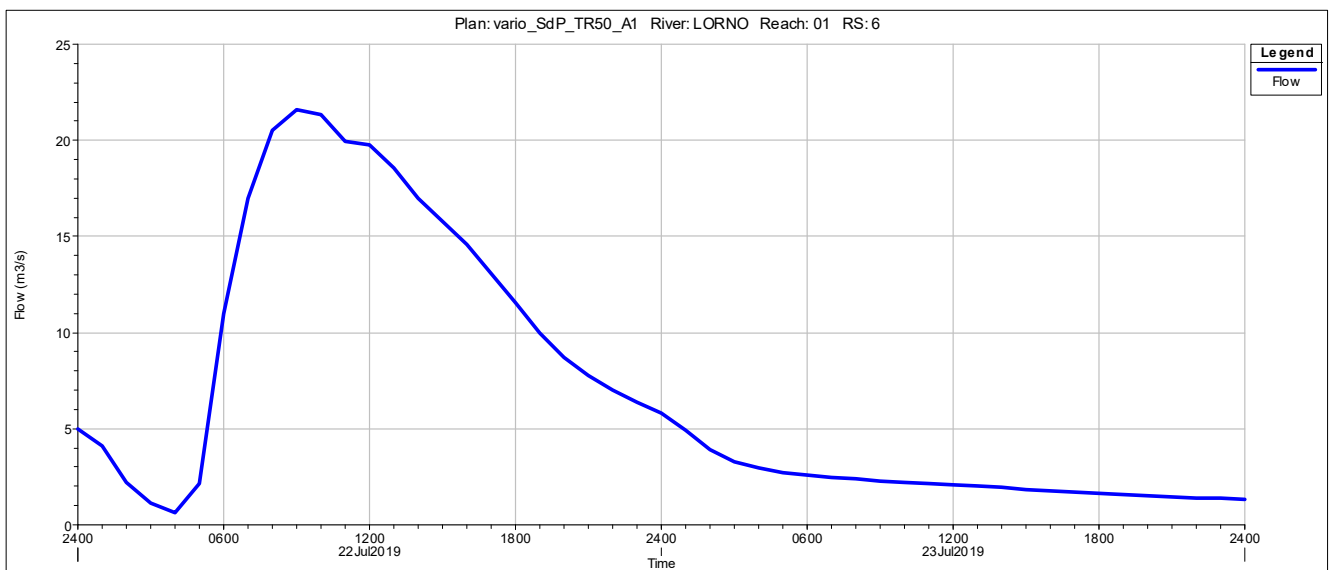


Figura 189 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

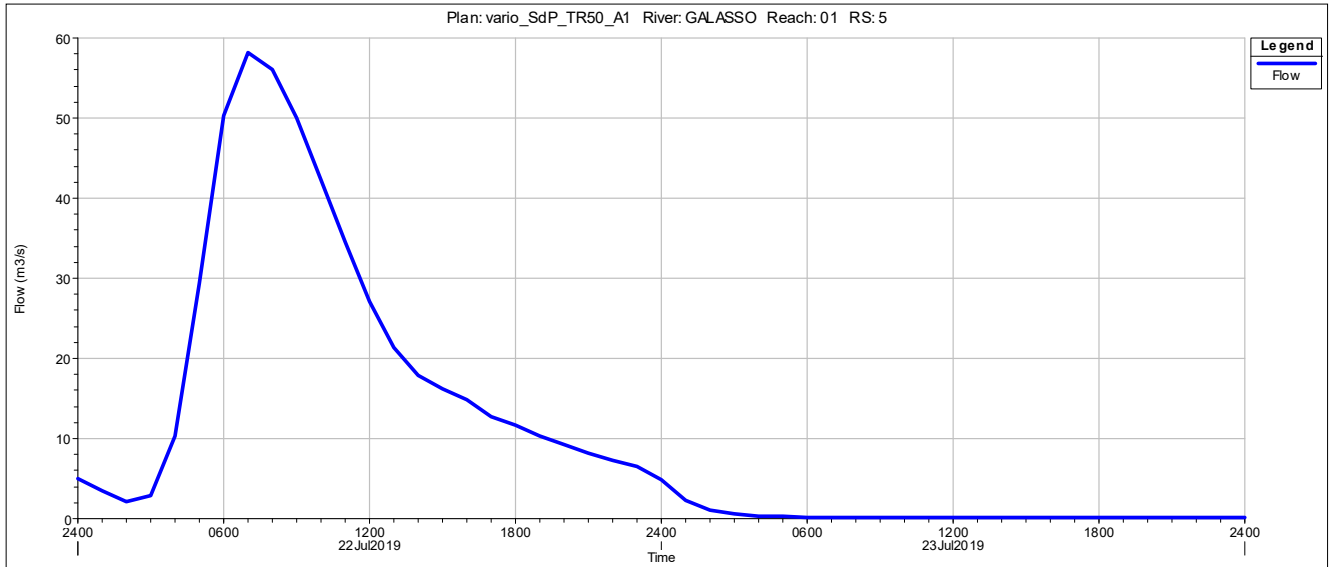


Figura 190 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

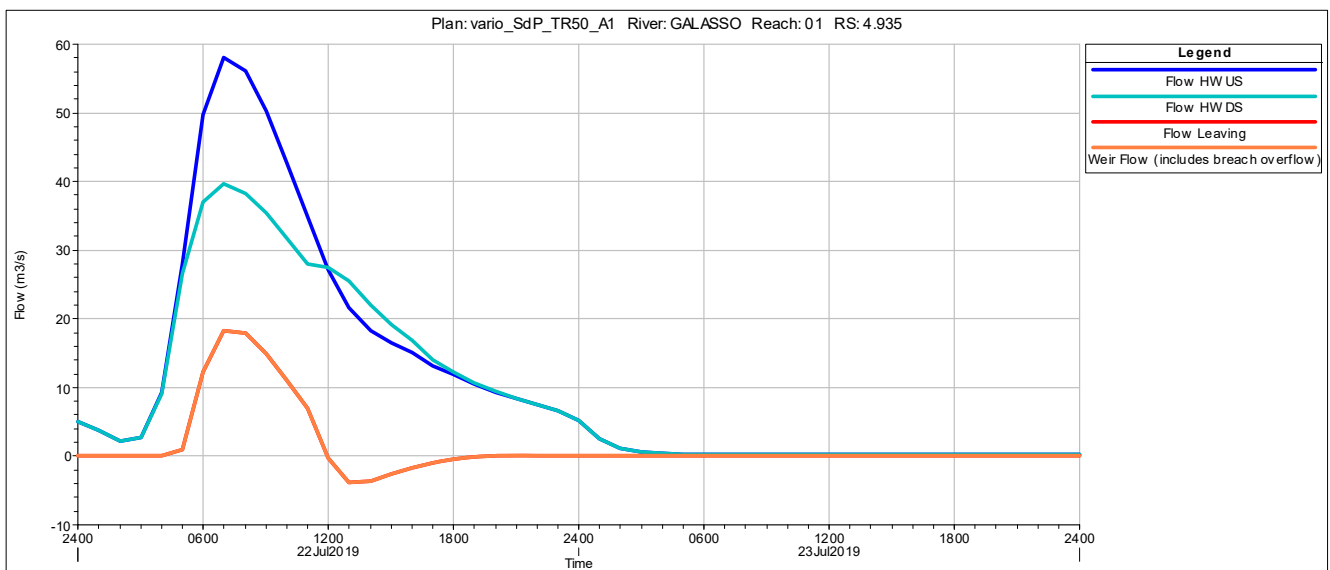


Figura 191 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

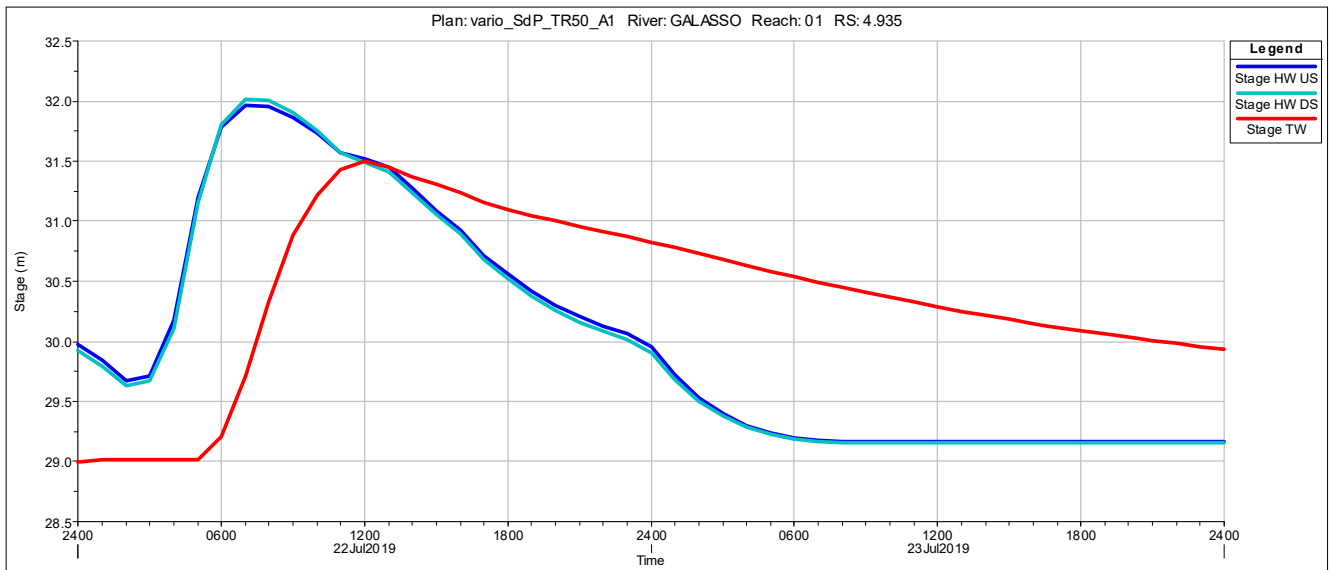


Figura 192 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

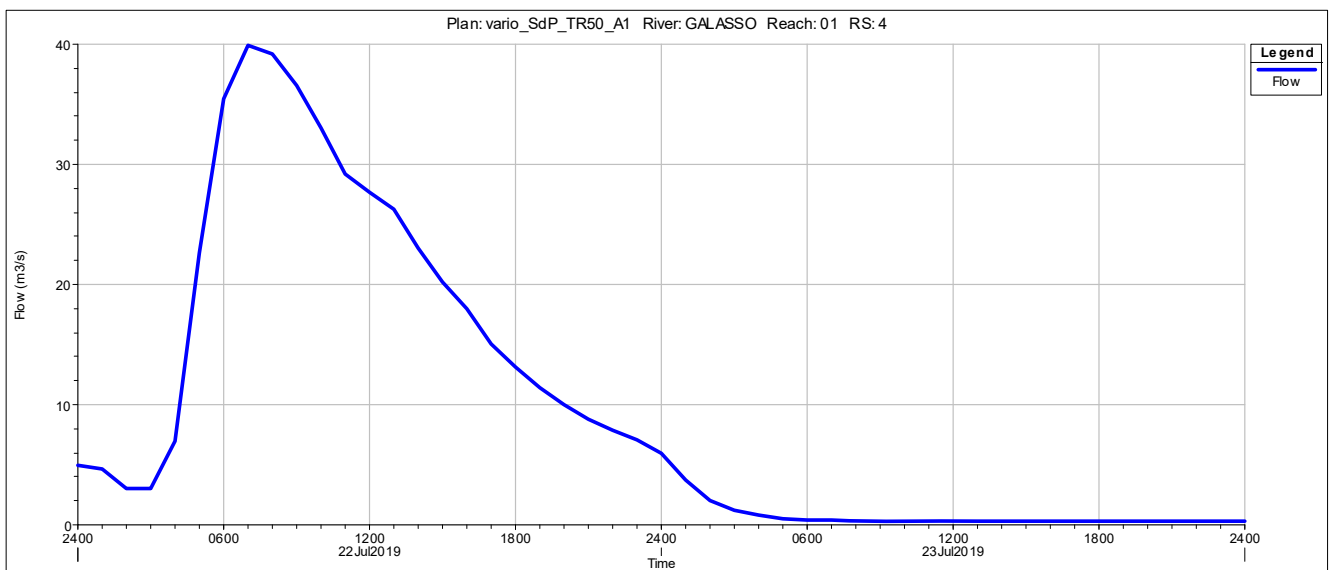


Figura 193 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

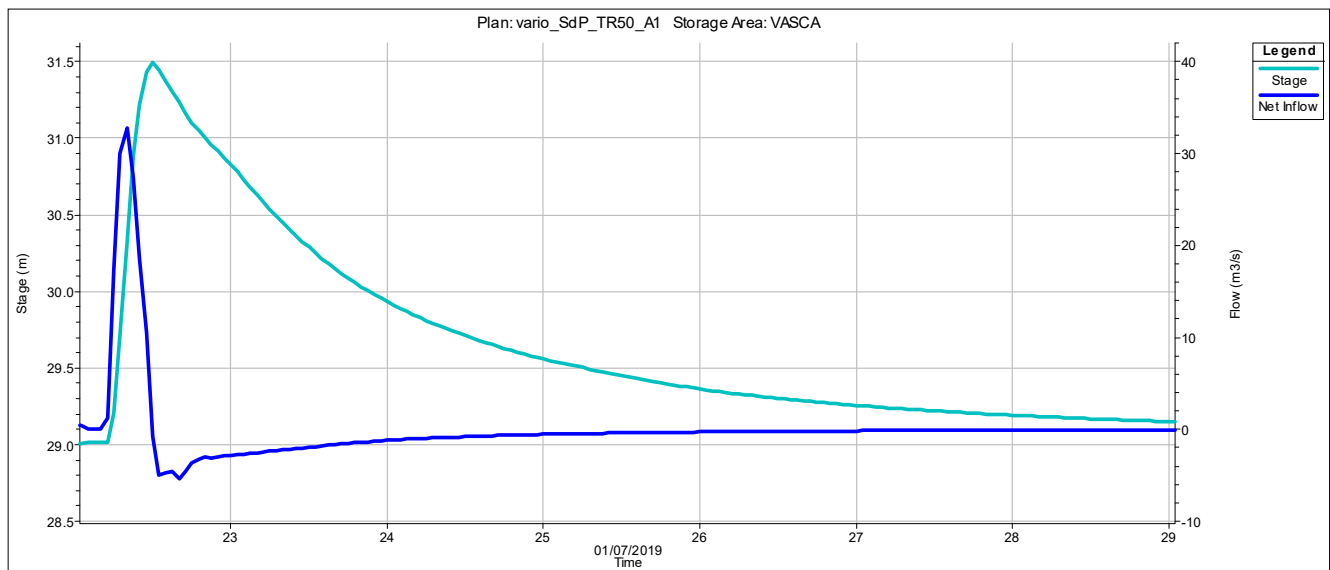


Figura 194 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 50 anni nello scenario A1 nello stato di progetto:

TR 50_A1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
525	31.55	5	13.00	18.00	4.00

Tabella 13 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A1 per un TR di 50 anni.

4.7.6.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR50 - scenario A1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 28 cm nella sezione di monte e di circa 51 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 48 cm nella sezione di monte e di circa 58 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 2200 m per il canale Lorno e a circa 1500 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

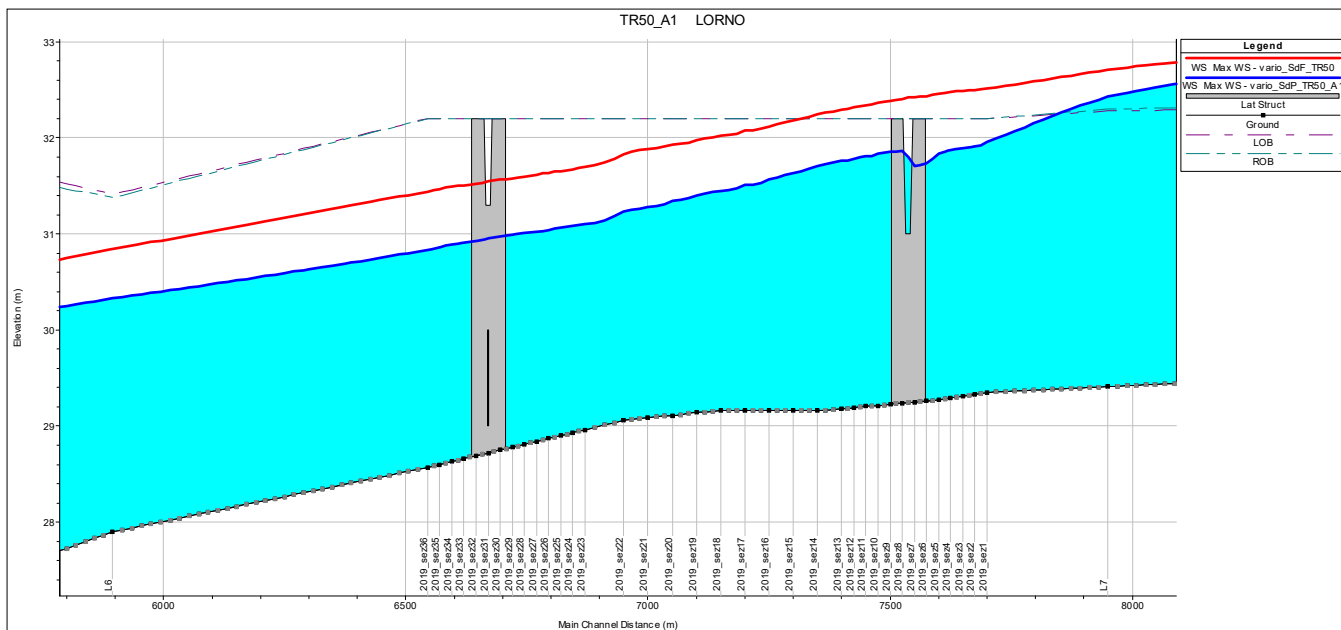


Figura 195 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

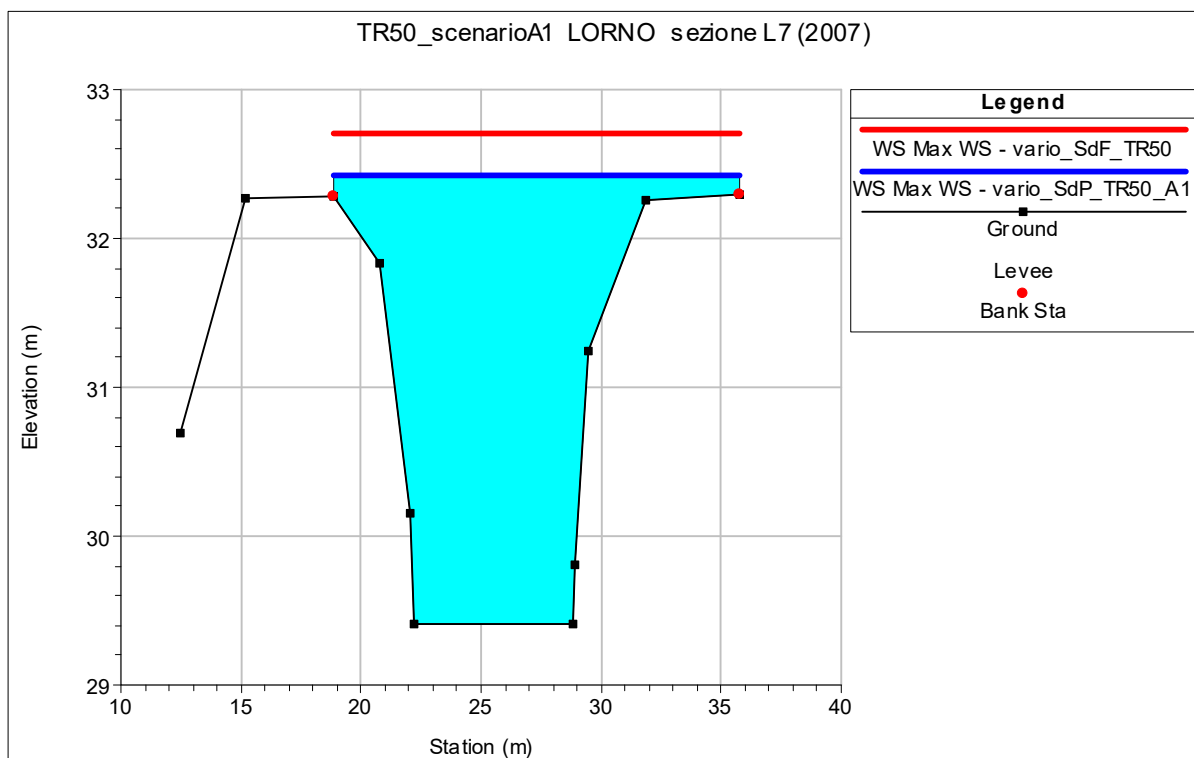


Figura 196 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

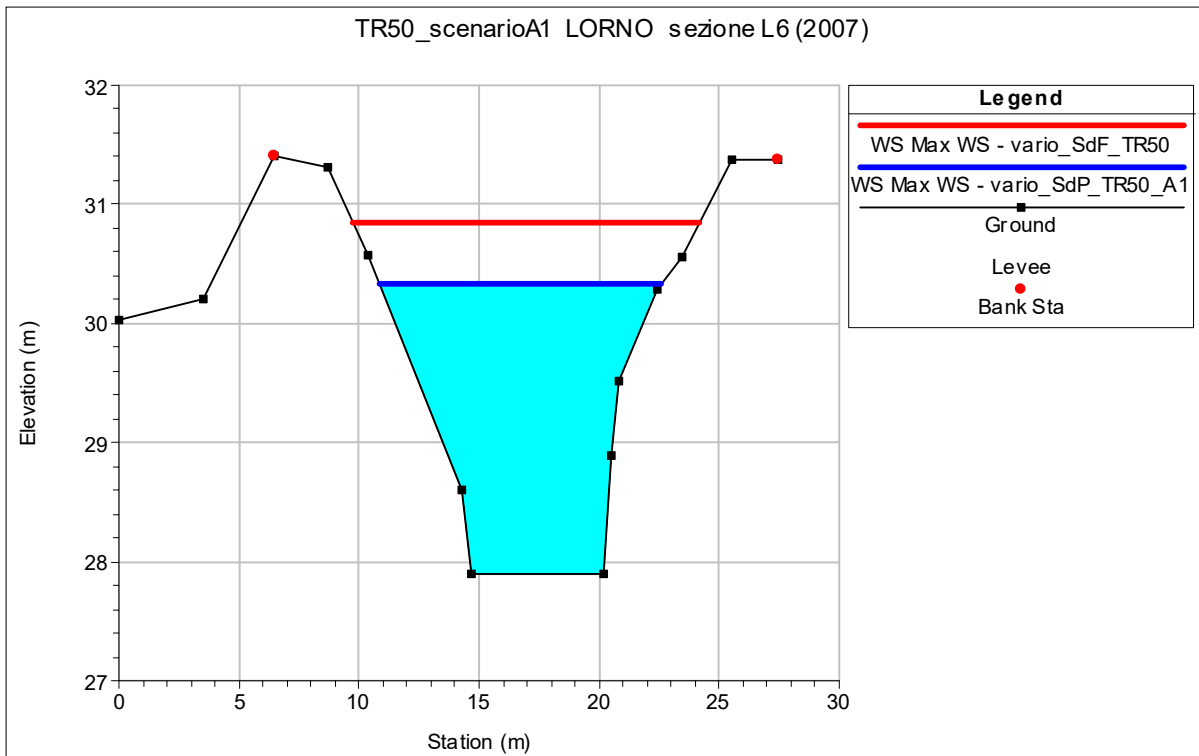


Figura 197 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

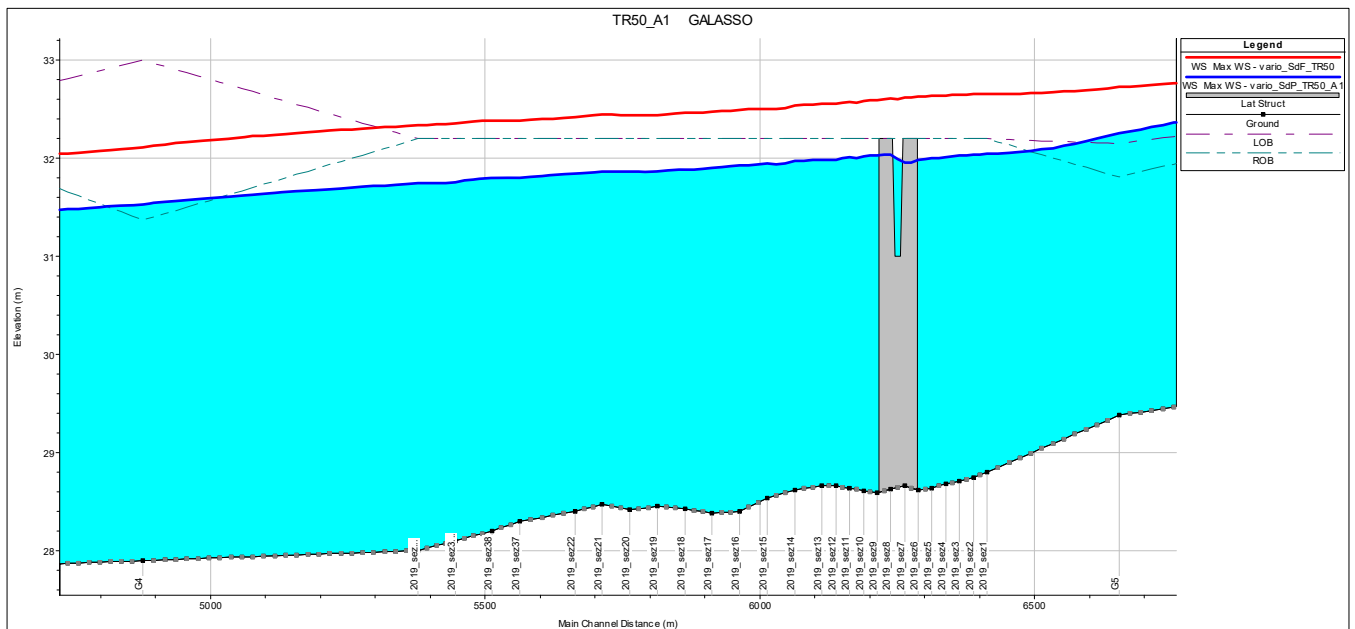


Figura 198 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

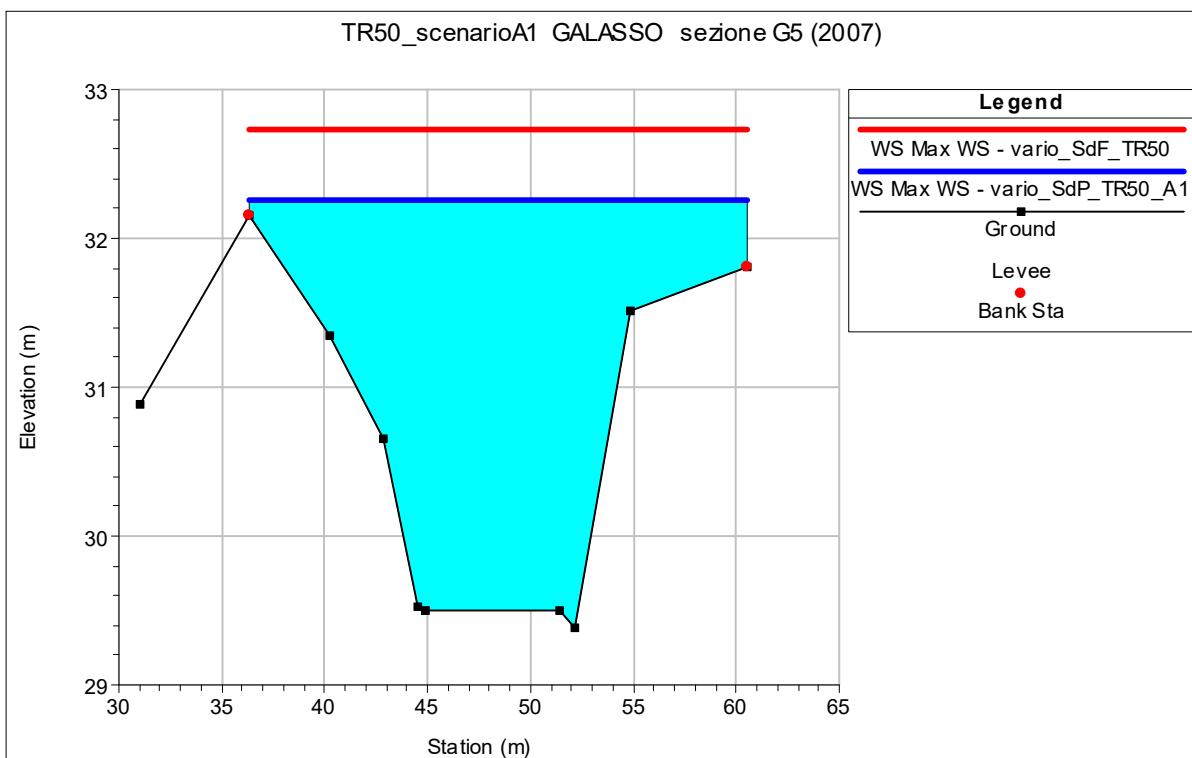


Figura 199 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

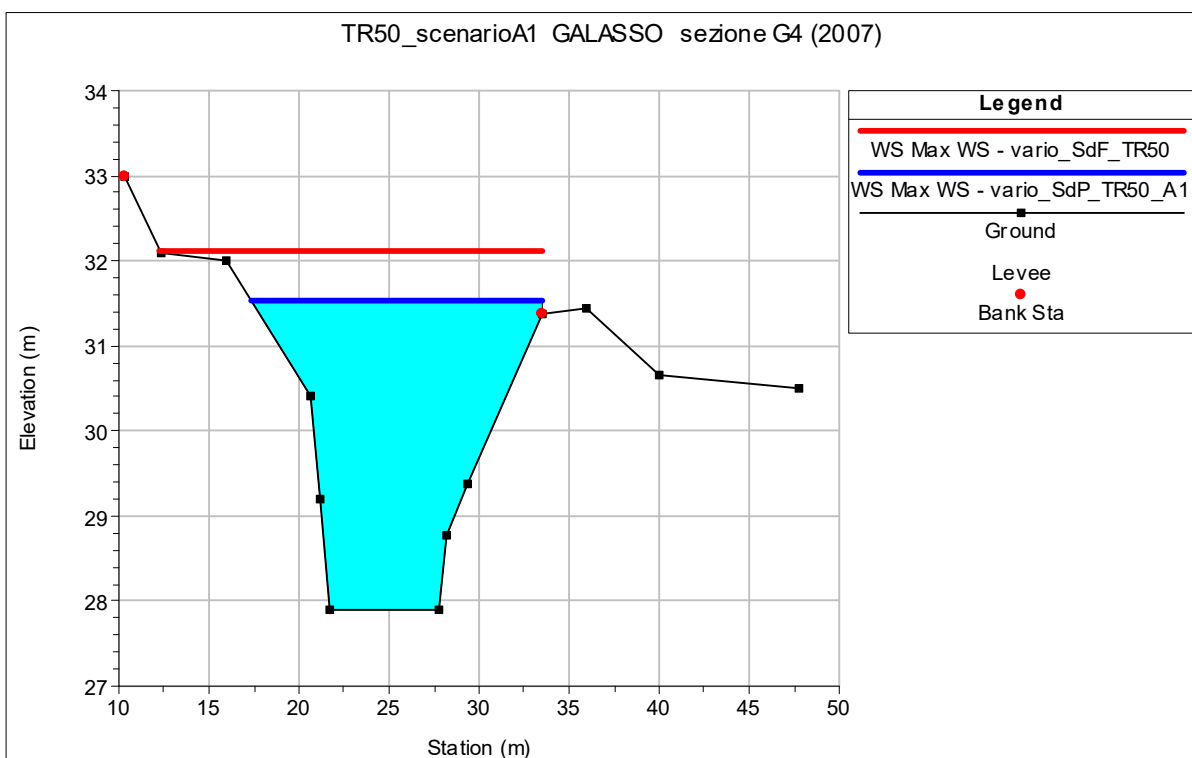


Figura 200 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.7 TR100 CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A1 e per un TR di 100 anni. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza di moto uniforme con pendenza di fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno dimostrato che per un evento con TR di 100 anni gli interventi in progetto sono insufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali tanto a monte quanto in prossimità dell'intervento in progetto. Nei tratti di valle dei due canali si verifica il superamento delle quote arginali esistenti solamente in prossimità dell'argine destro della sezione G4 del canale Galasso per la presenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

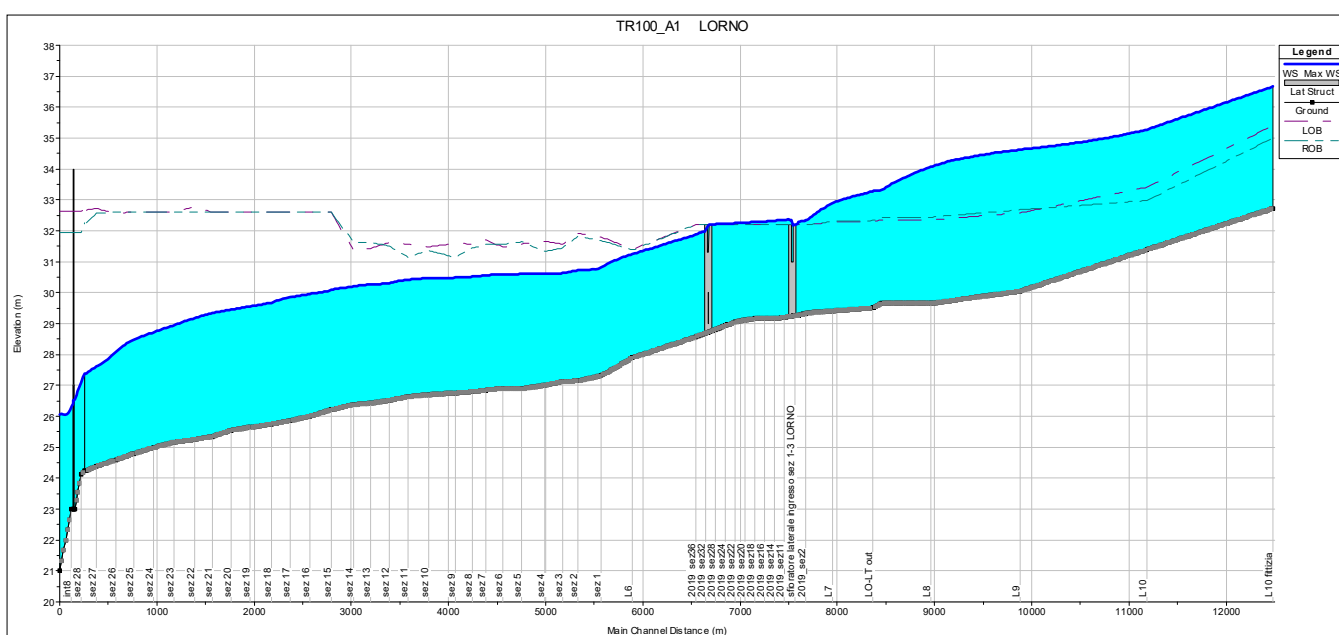


Figura 201 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

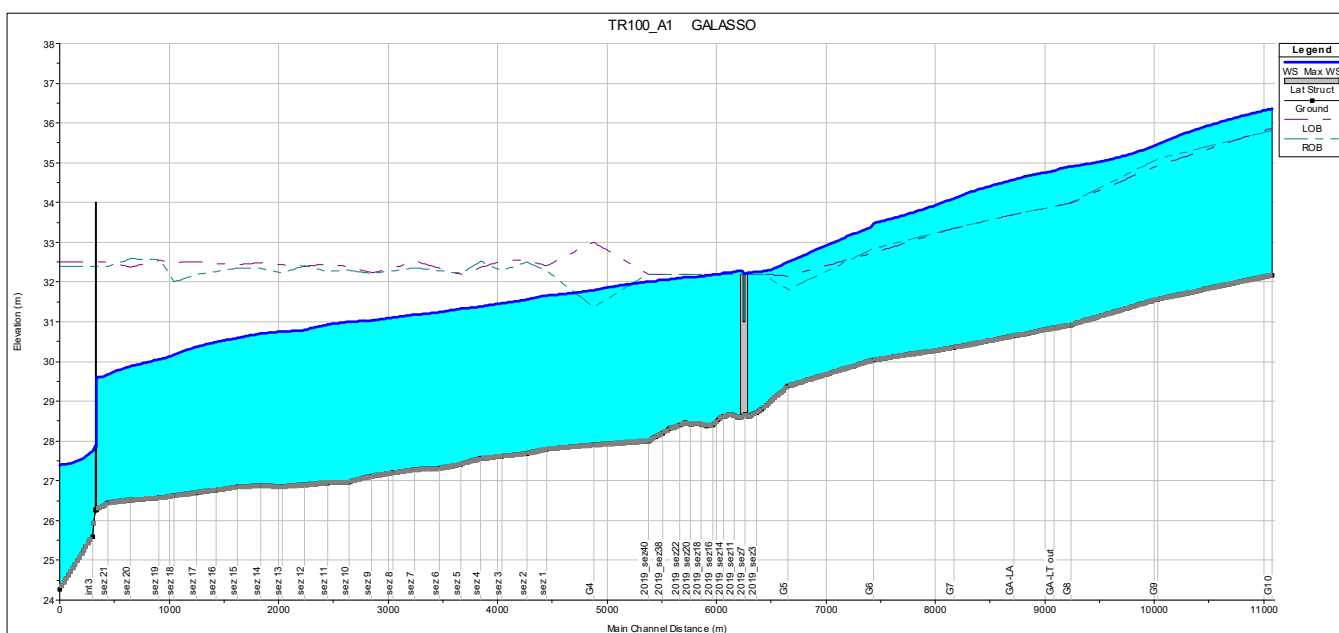


Figura 202 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

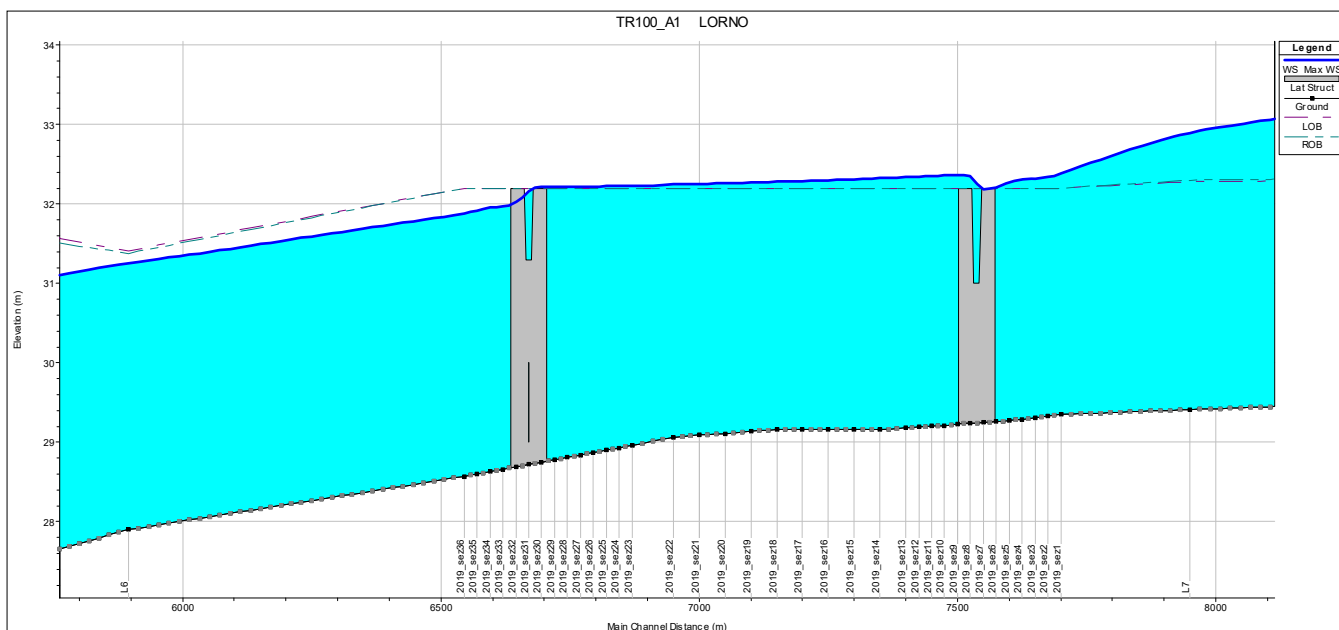


Figura 203 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

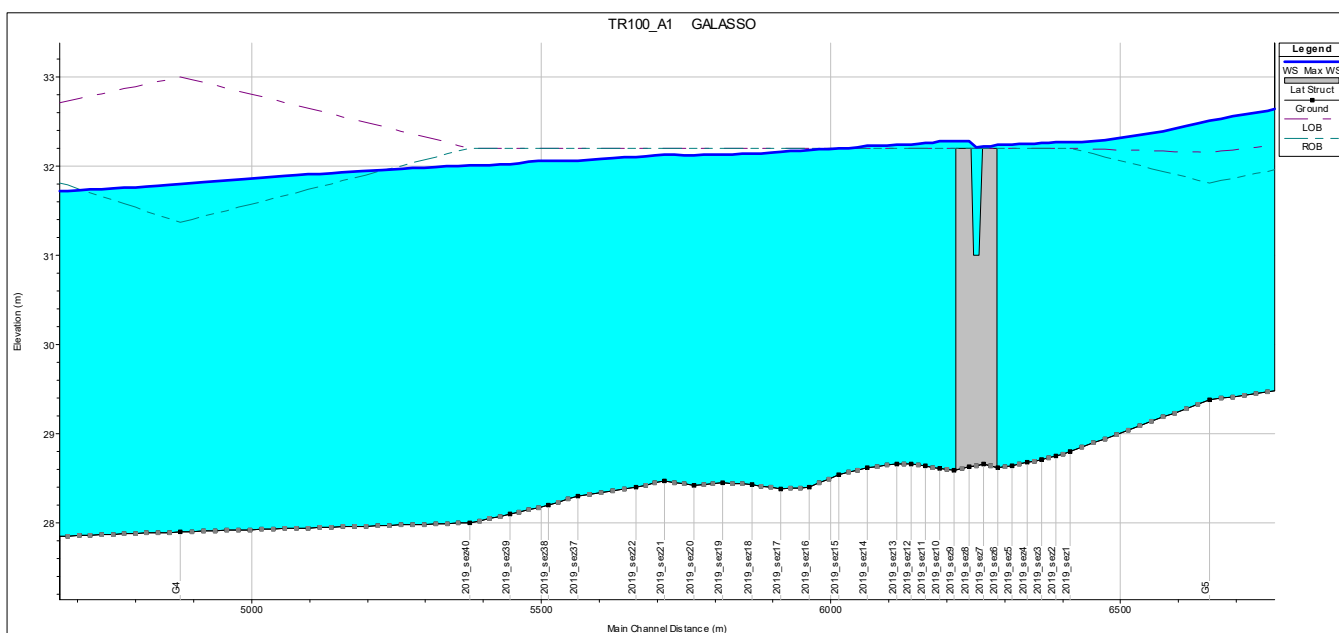


Figura 204 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale in tutte le sezioni a monte ed in corrispondenza dell'intervento in progetto. Per quanto riguarda le sezioni a valle della cassa d'espansione si verifica il superamento delle quote arginali esistenti solamente in prossimità dell'argine destro della sezione G4 del canale Galasso per la presenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

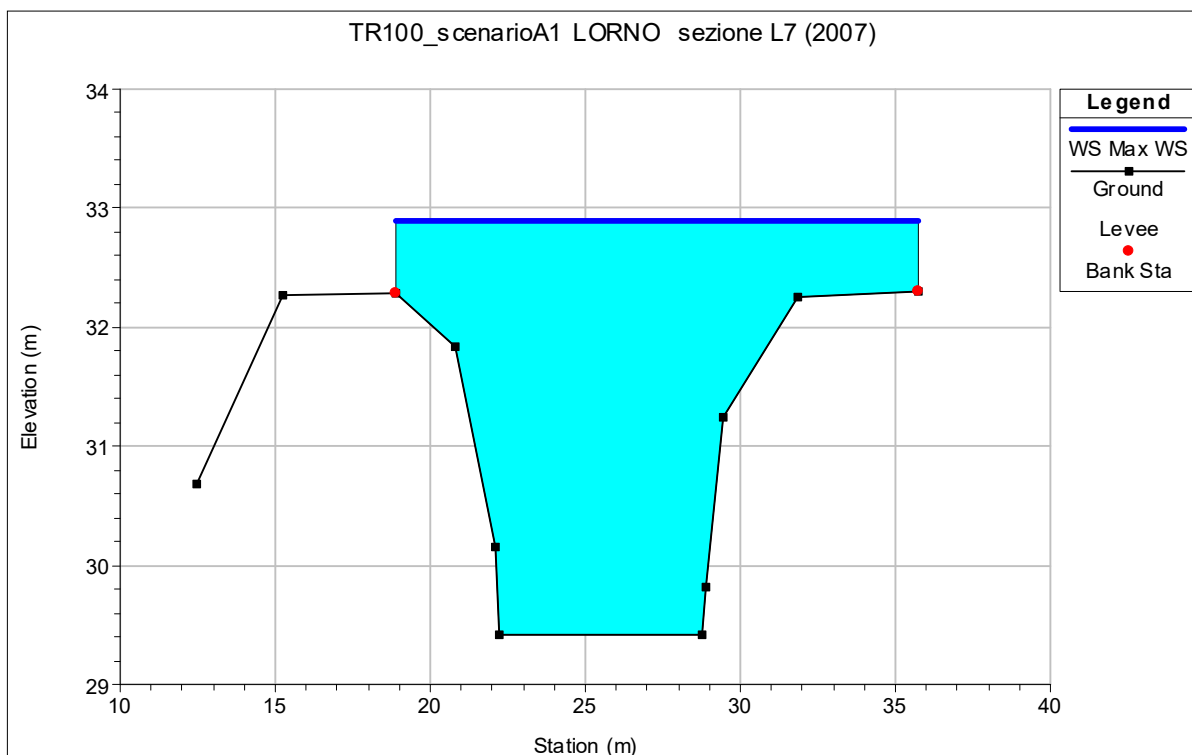


Figura 205 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

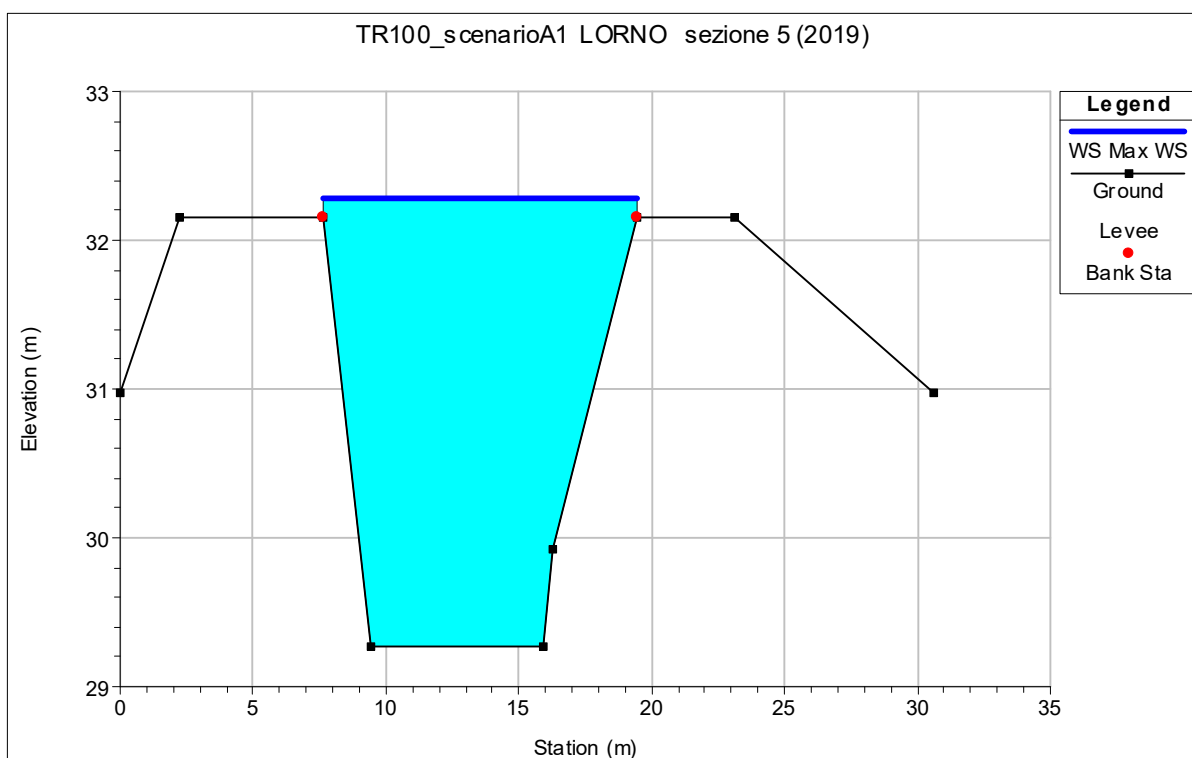


Figura 206 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

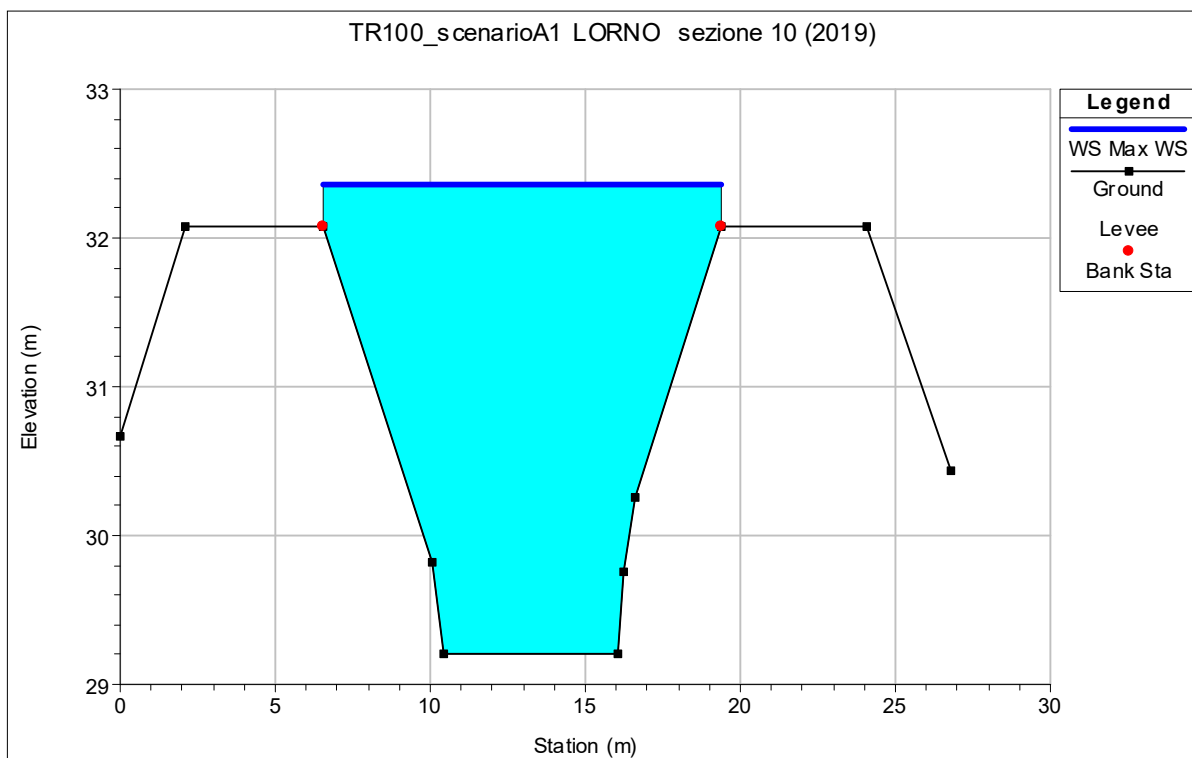


Figura 207 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

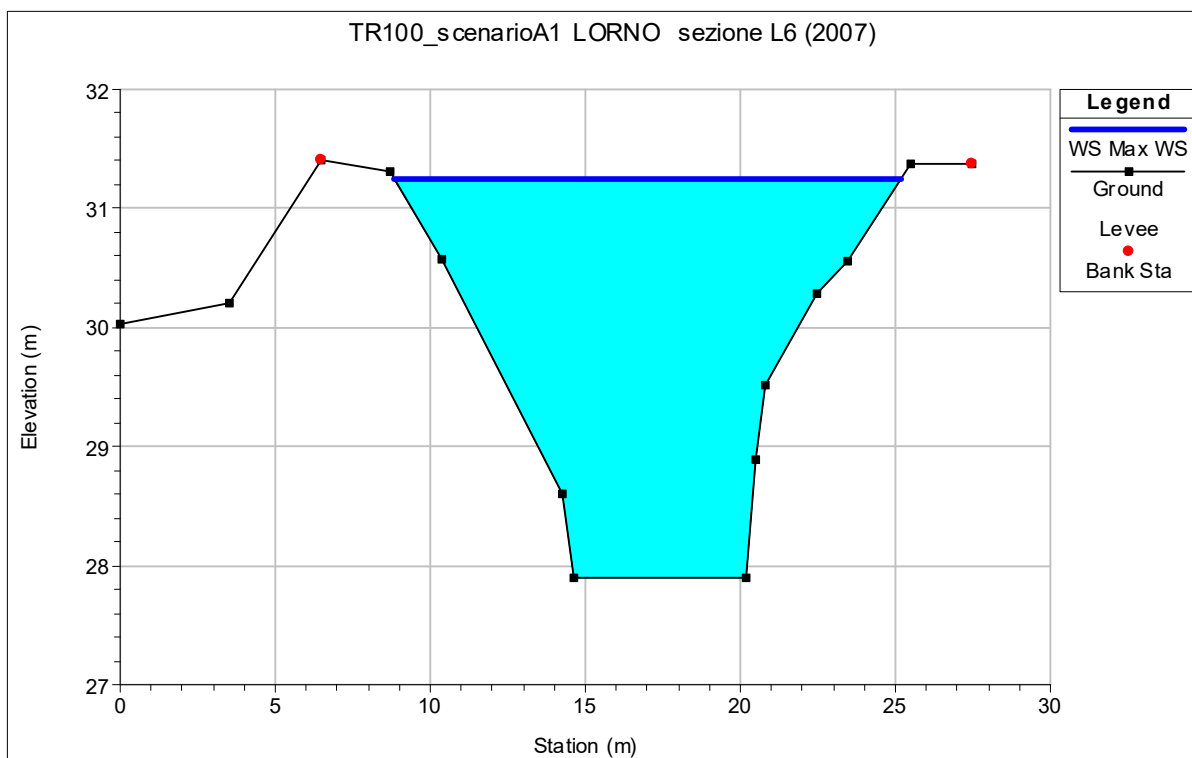


Figura 208 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

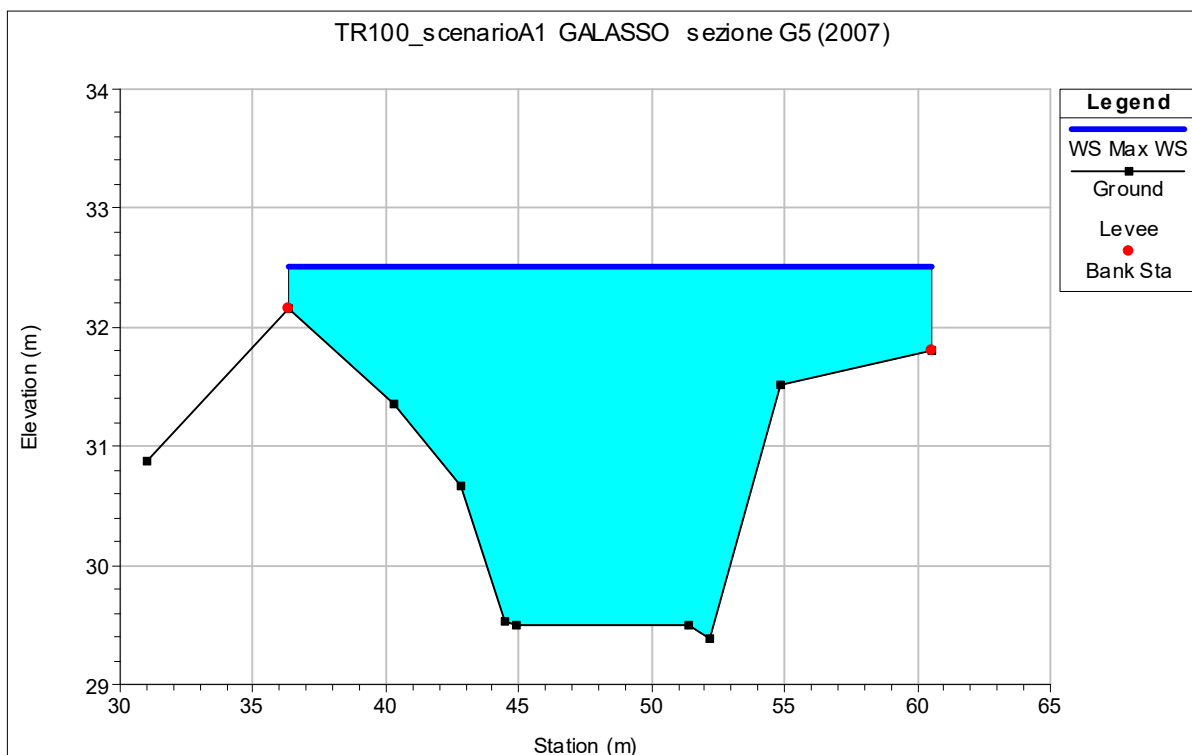


Figura 209 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

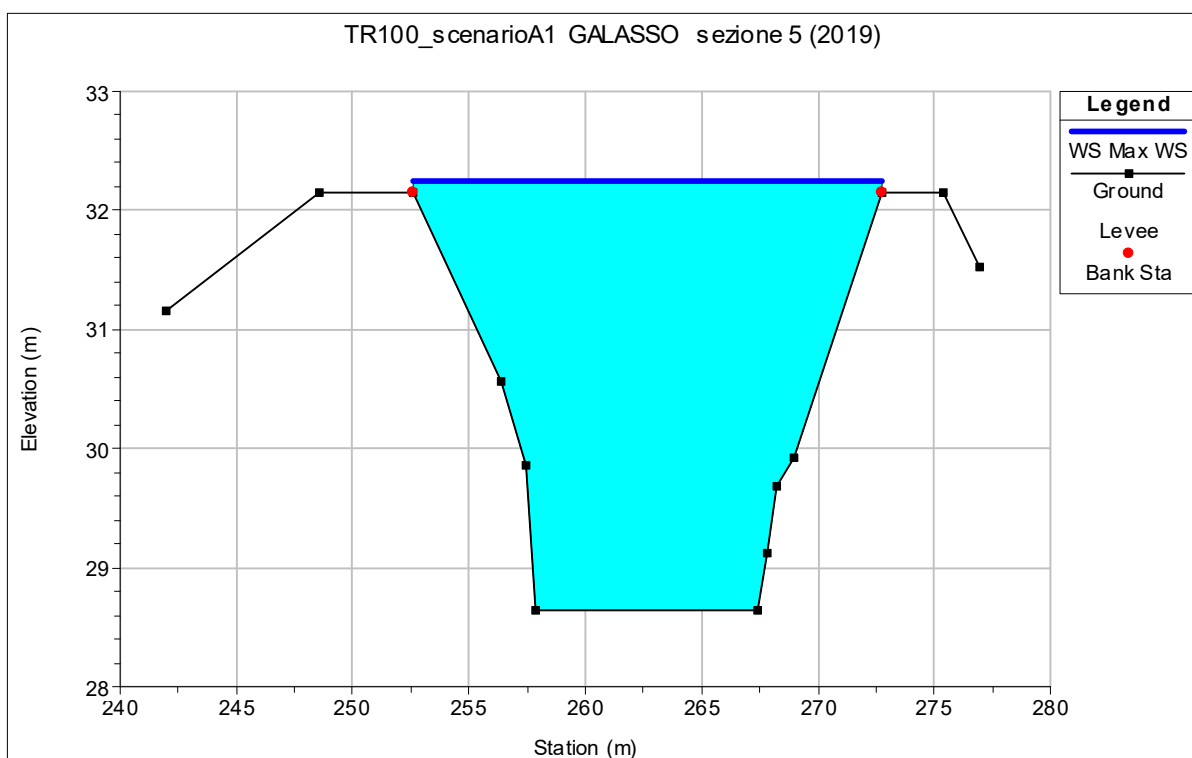


Figura 210 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

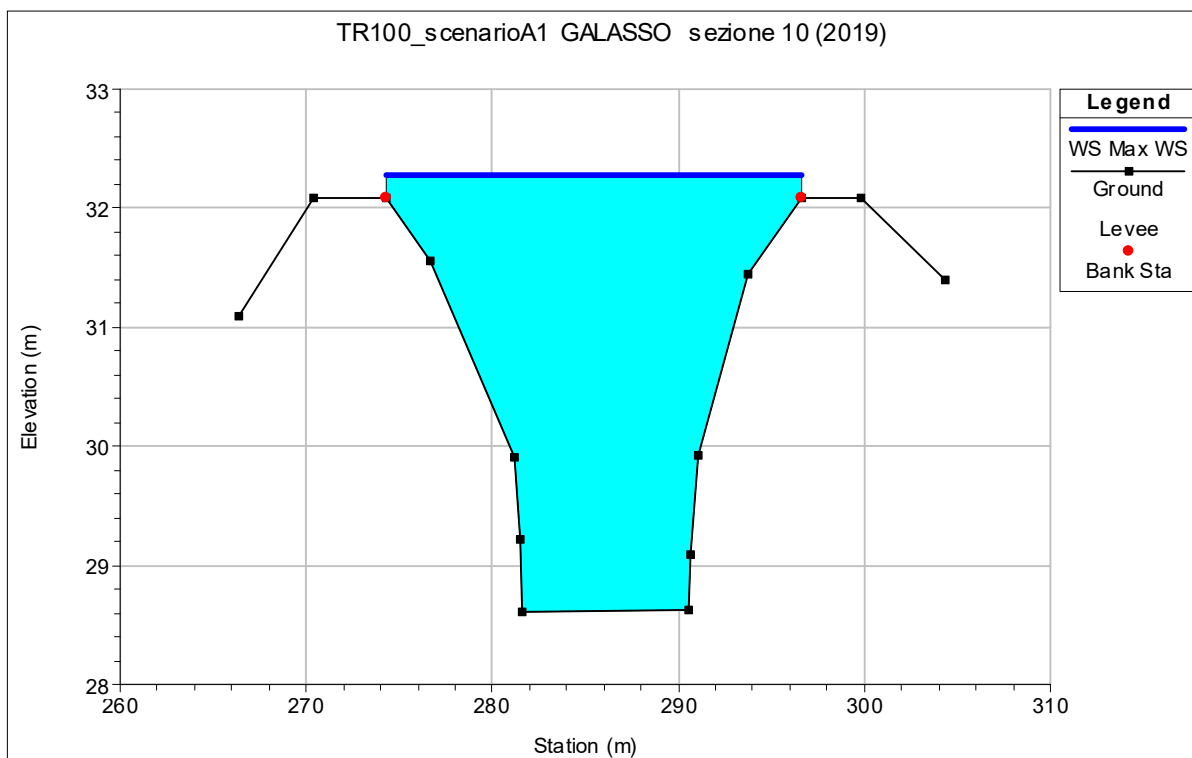


Figura 211 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

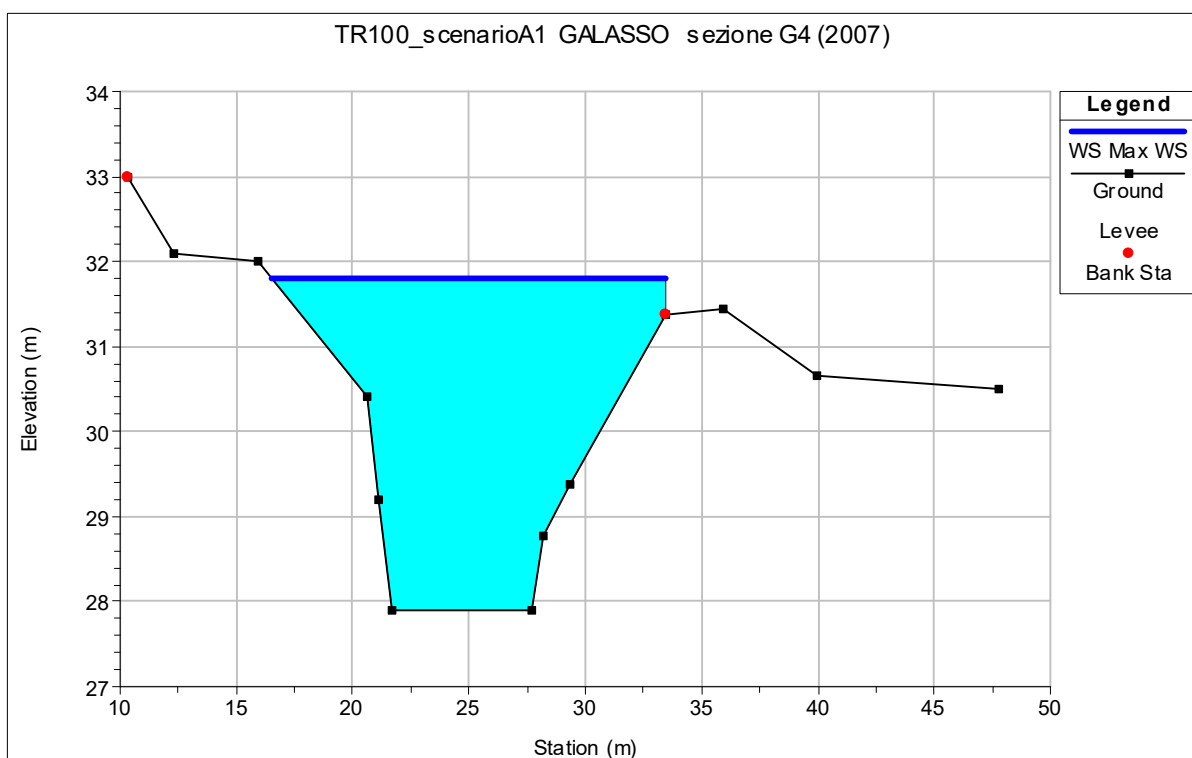


Figura 212 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 27 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 29 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 29 m³/s.

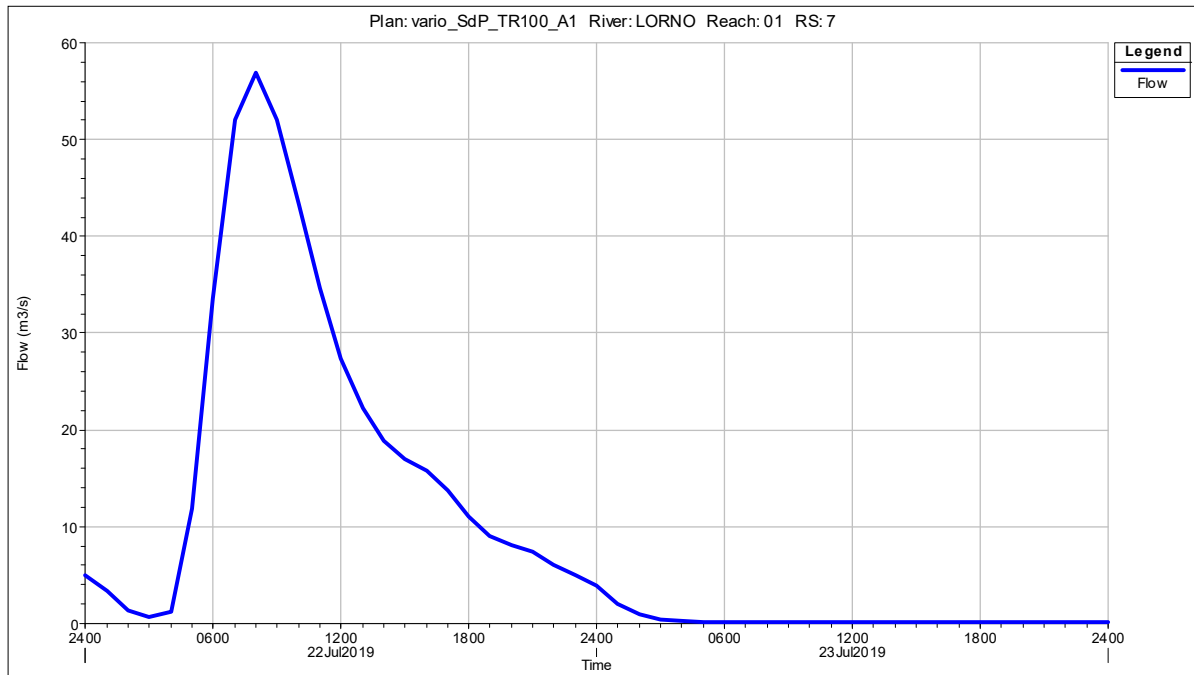


Figura 213 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

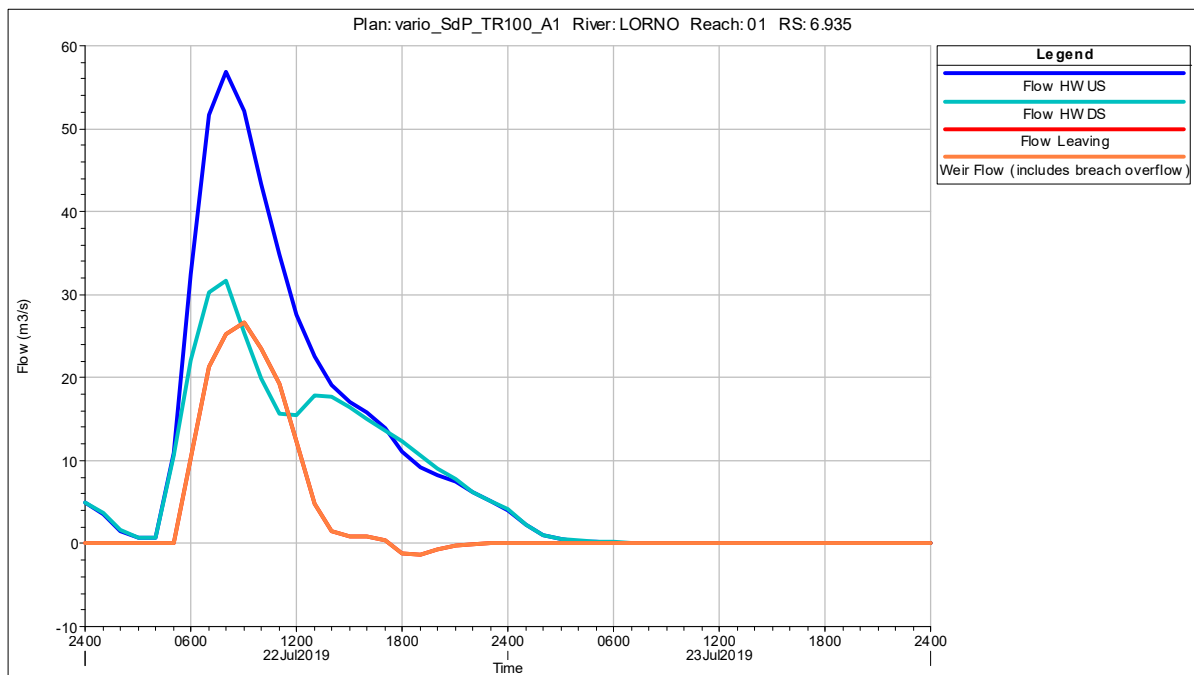


Figura 214 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

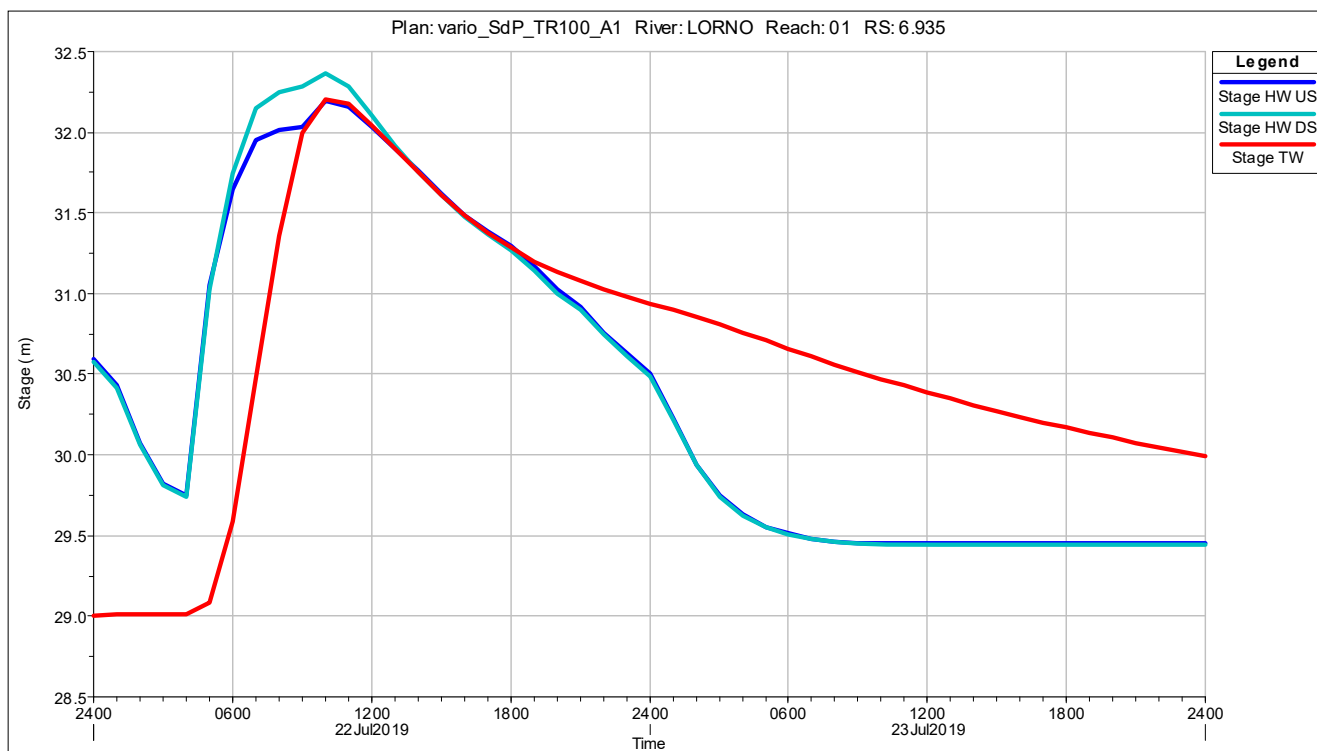


Figura 215 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

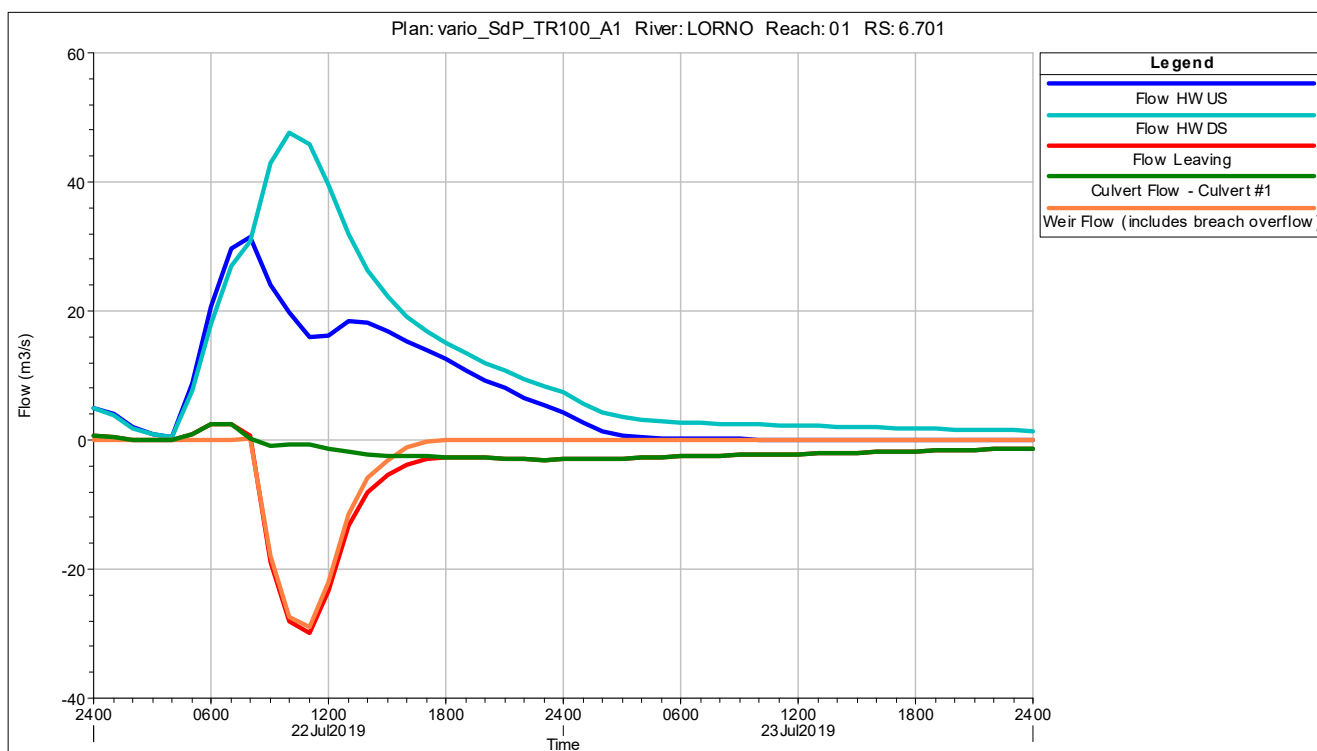


Figura 216 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

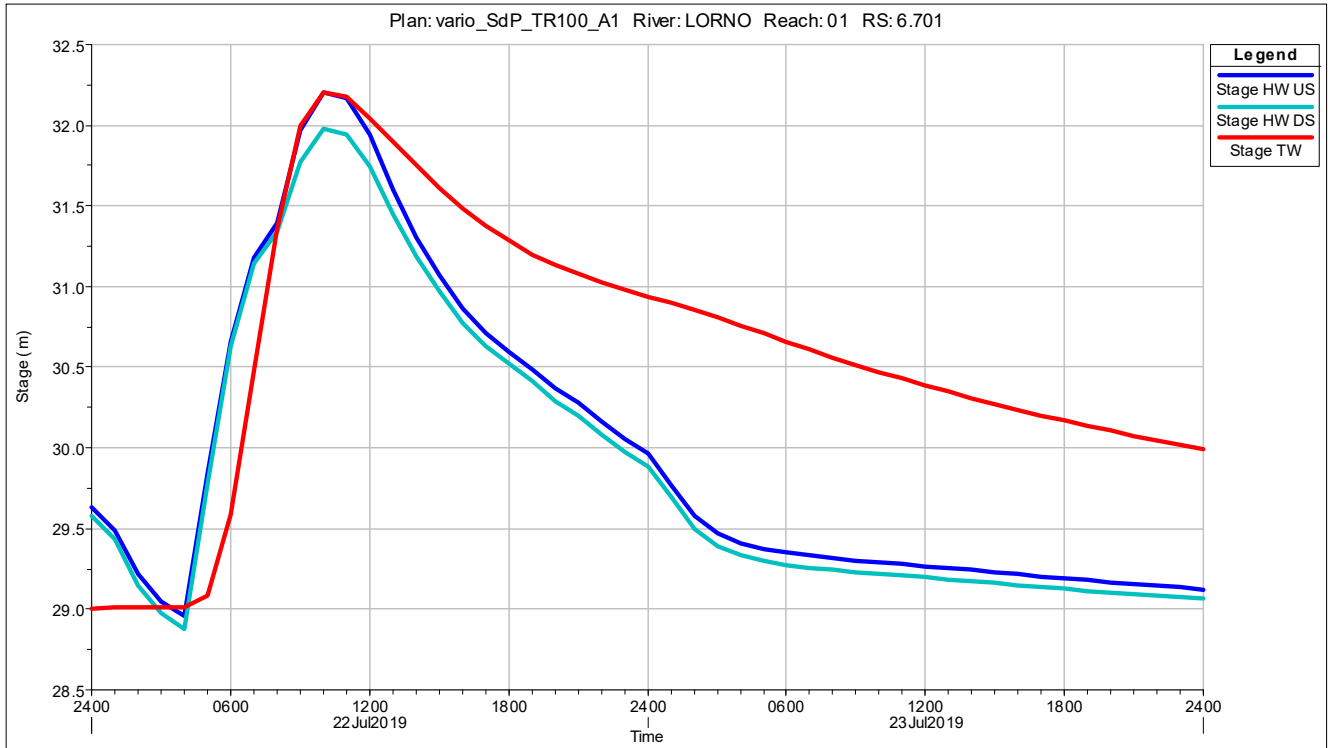


Figura 217 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

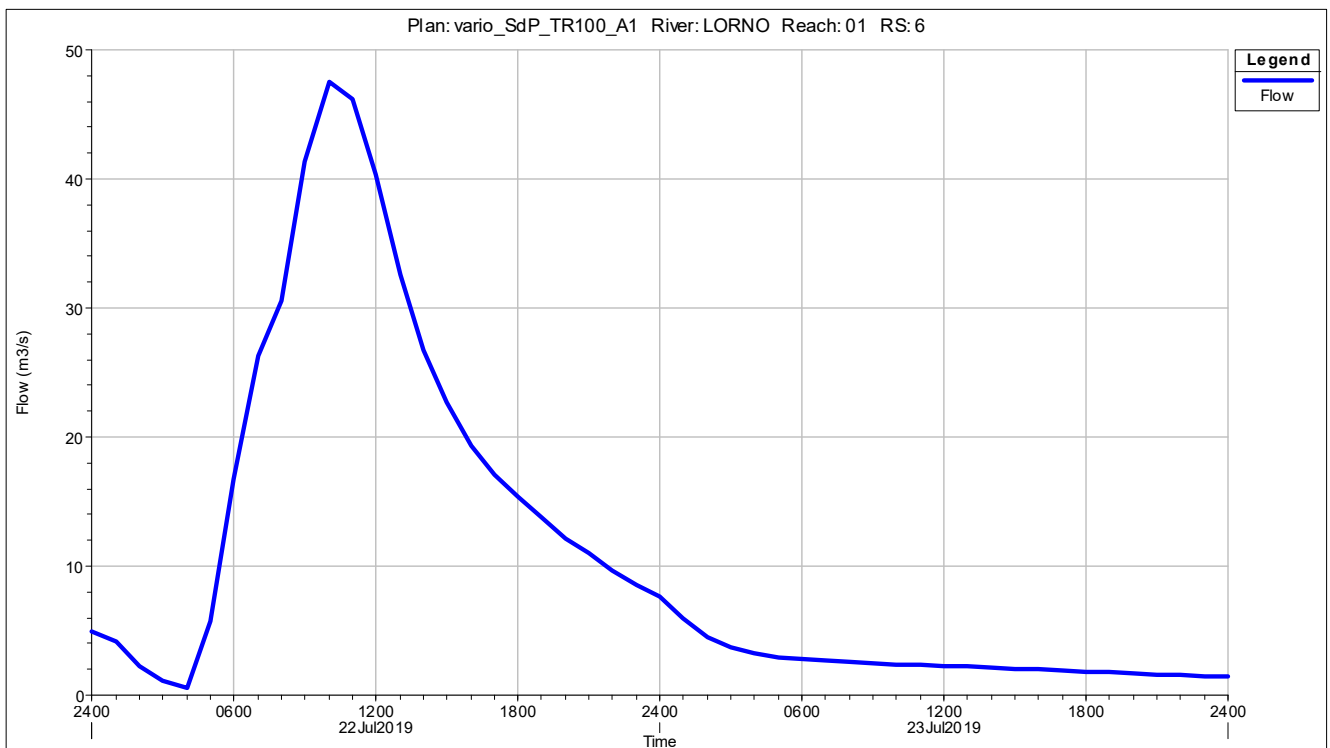


Figura 218 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

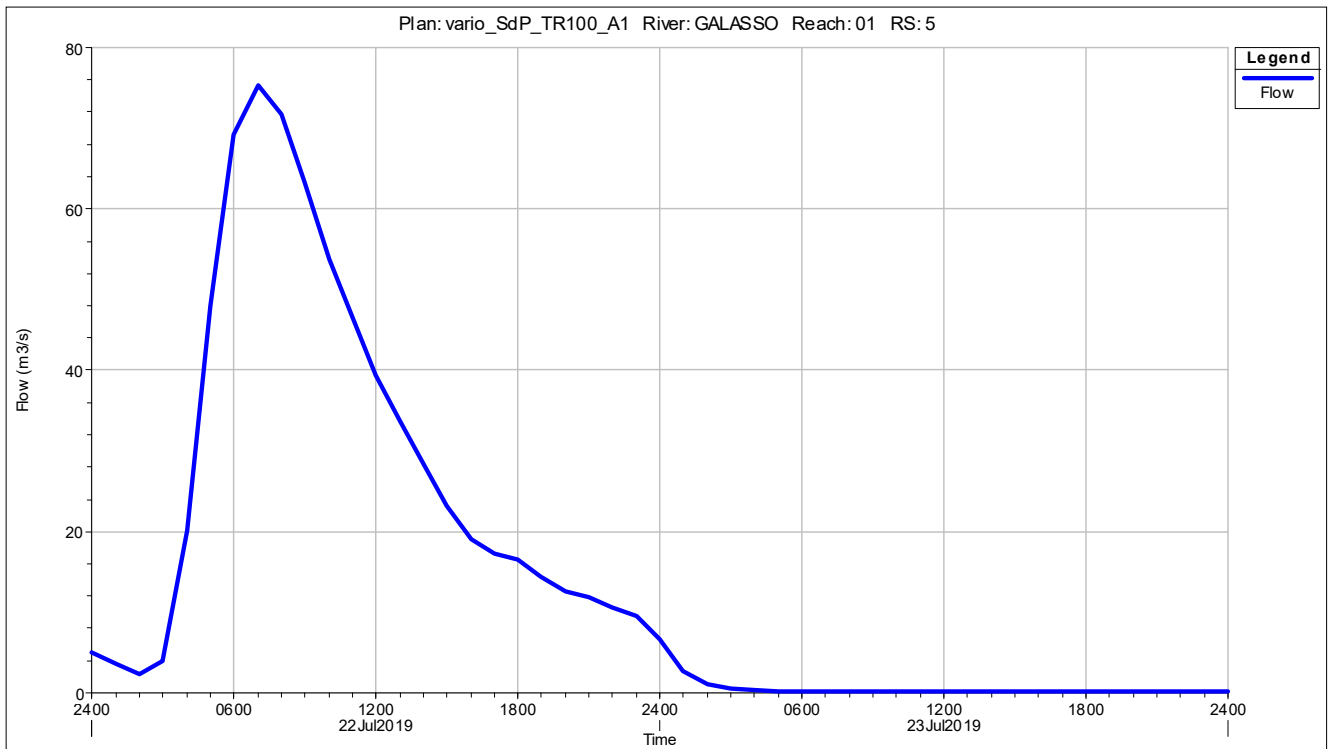


Figura 219 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

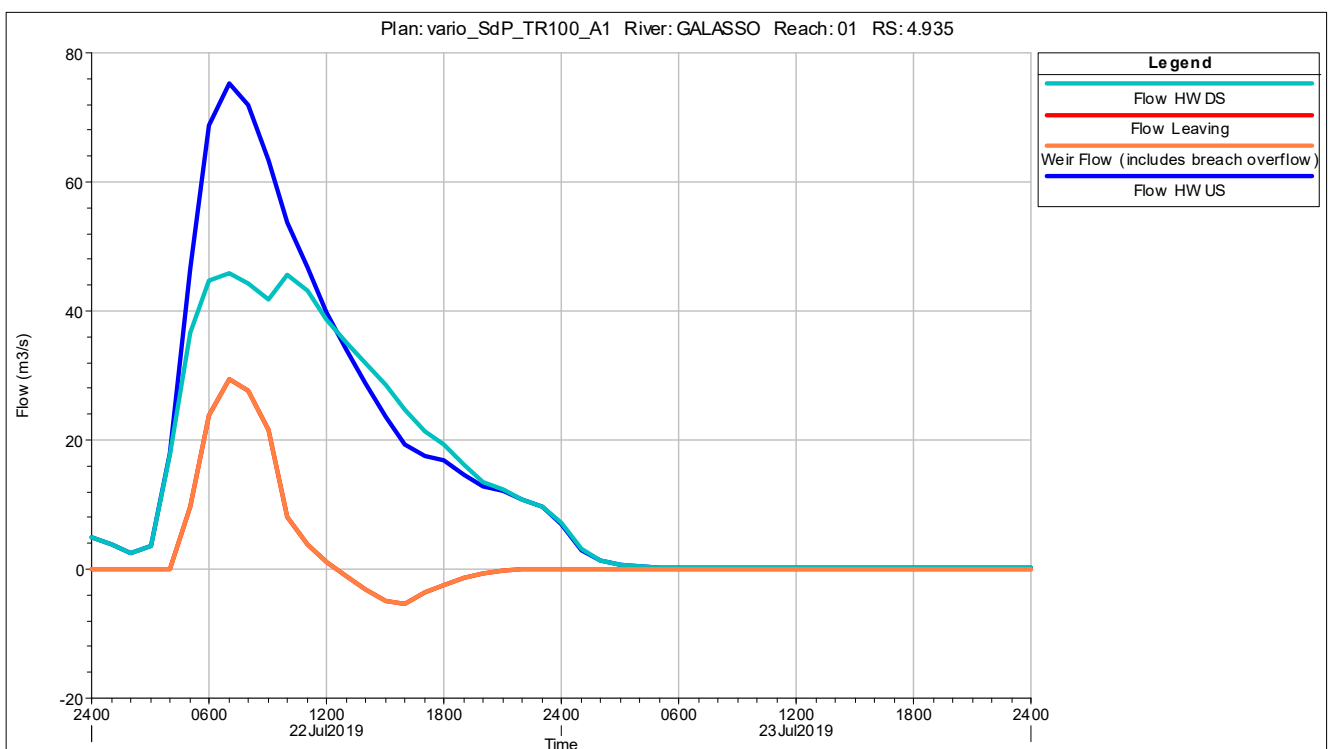


Figura 220 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

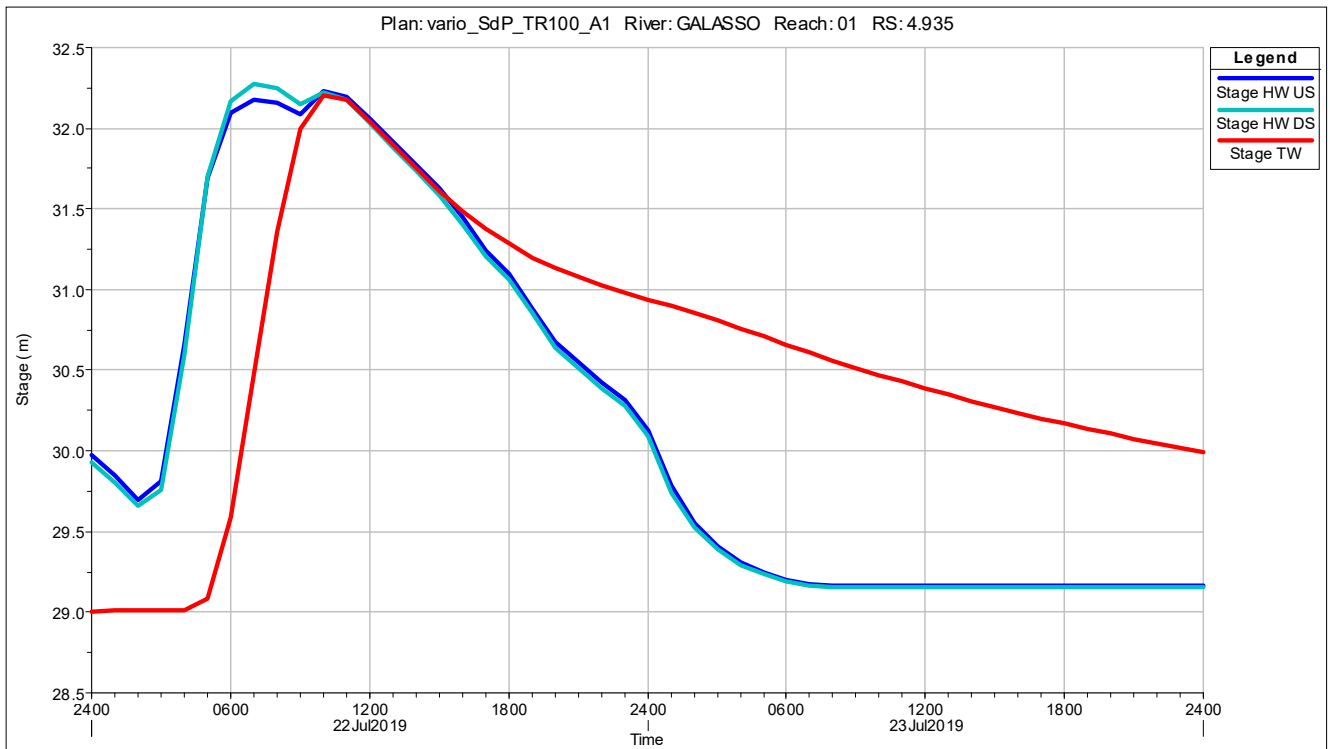


Figura 221 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

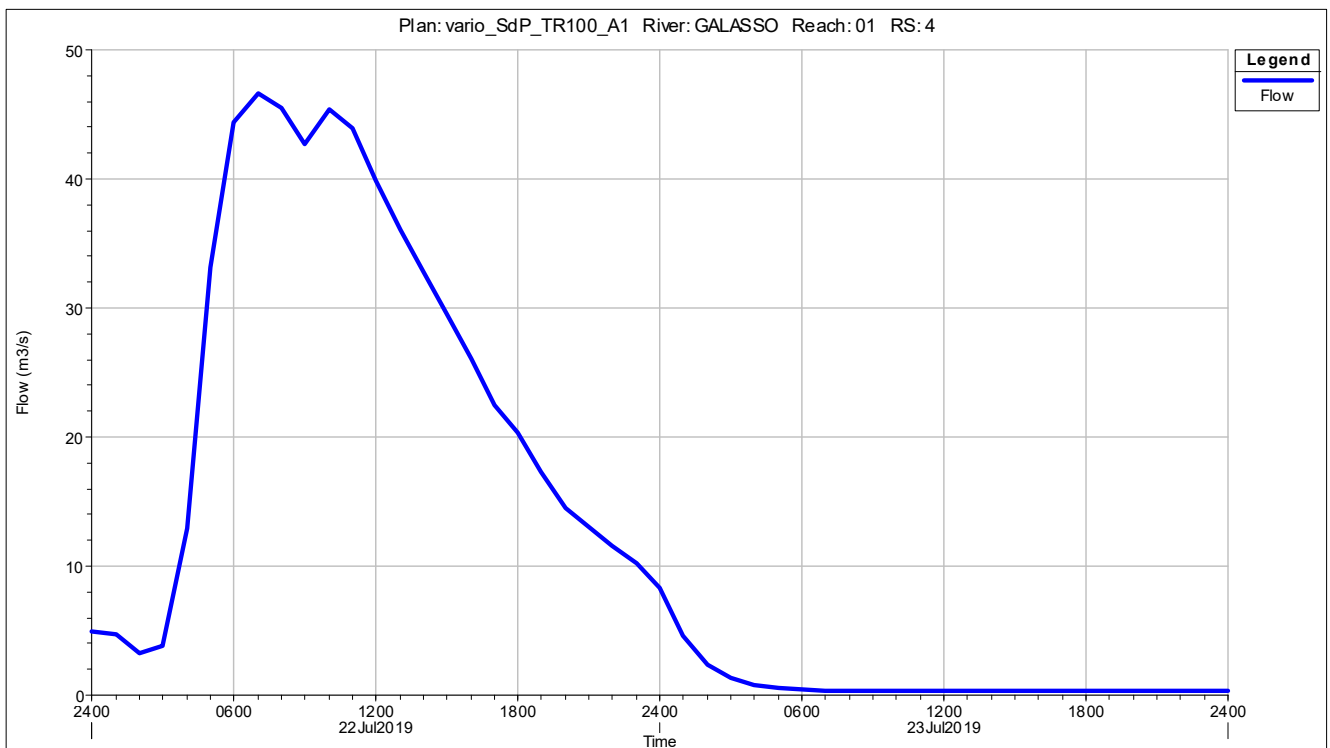


Figura 222 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

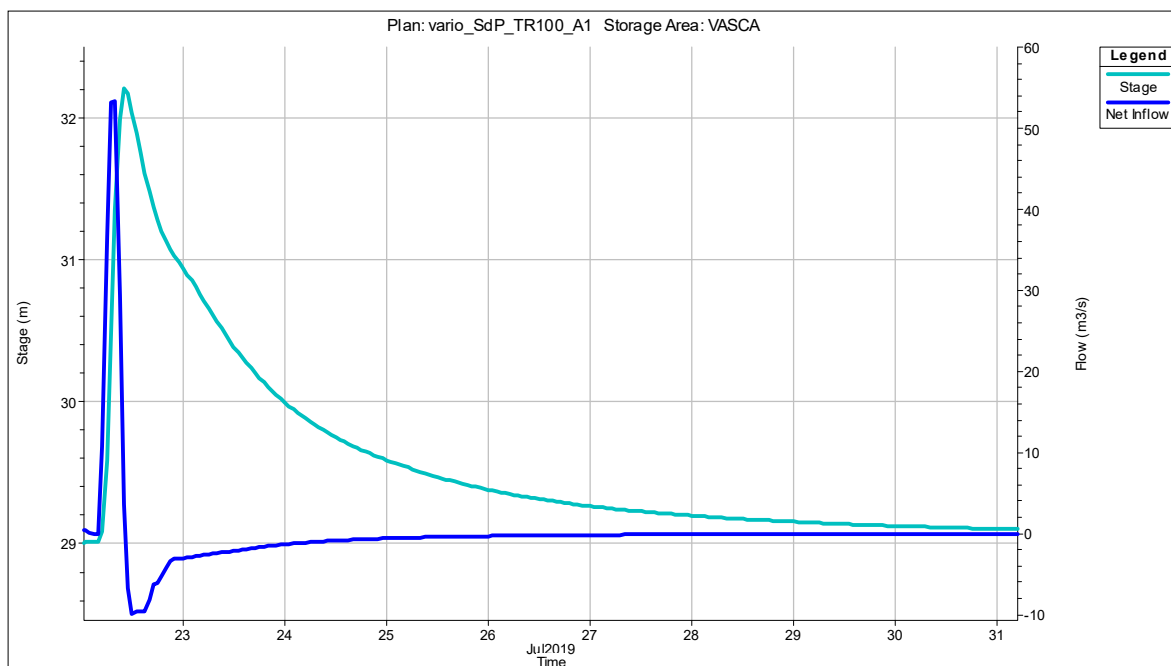


Figura 223 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 100 anni nello scenario A1 nello stato di progetto:

TR 100_A1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
710	32.31	9	27.00	29.00	29.00

Tabella 14 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A1 per un TR di 100 anni.

4.7.7.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR100 - scenario A1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 42 cm nella sezione di monte e di circa 28 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 72 cm nella sezione di monte e di circa 91 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 3500 m per il canale Lorno e a circa 2100 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

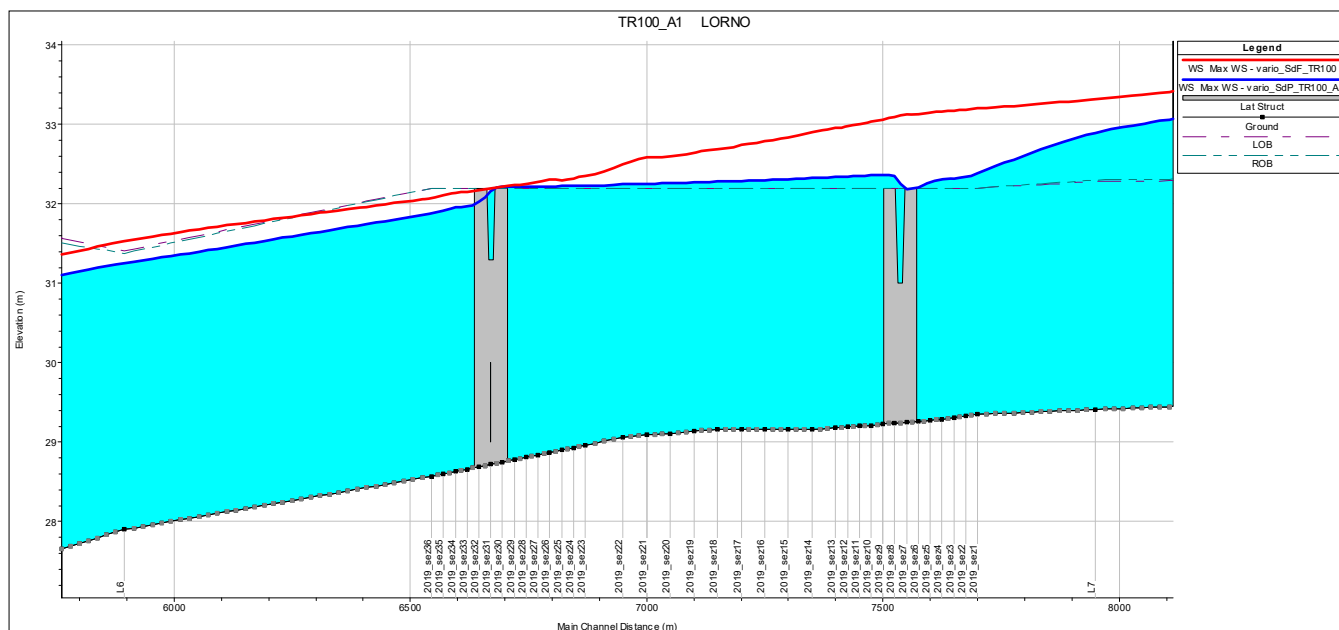


Figura 224 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

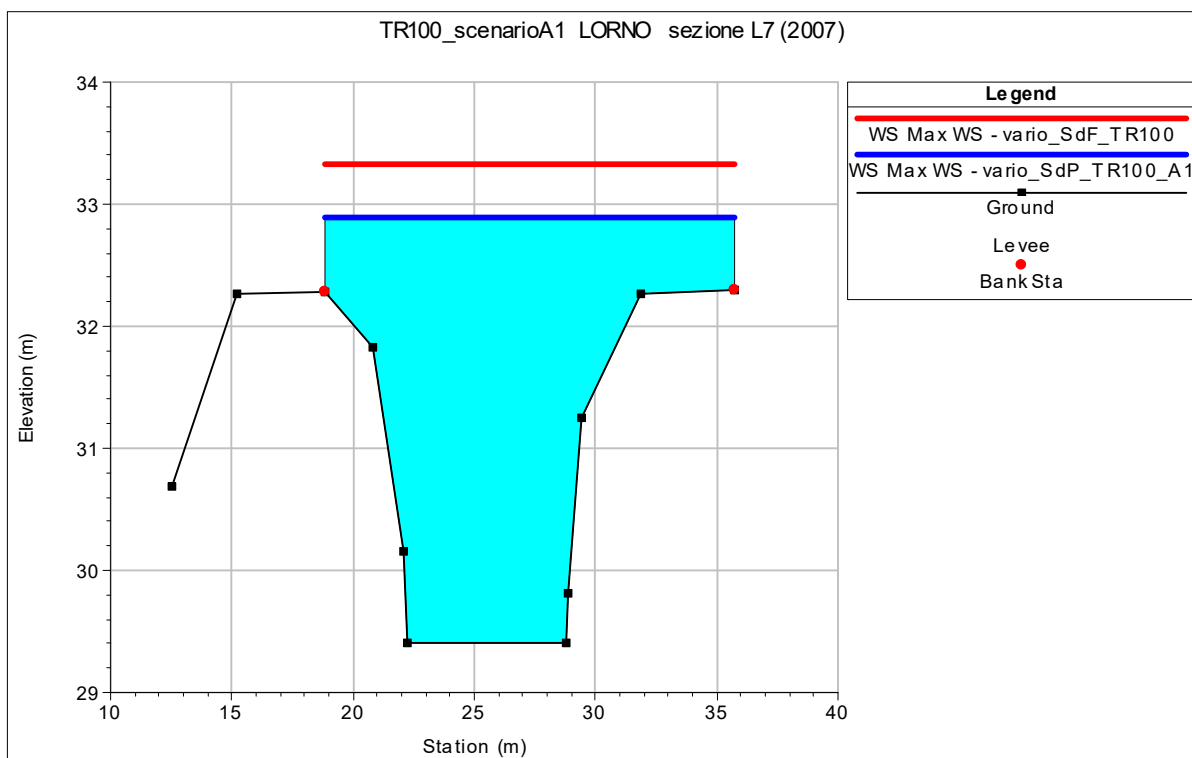


Figura 225 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

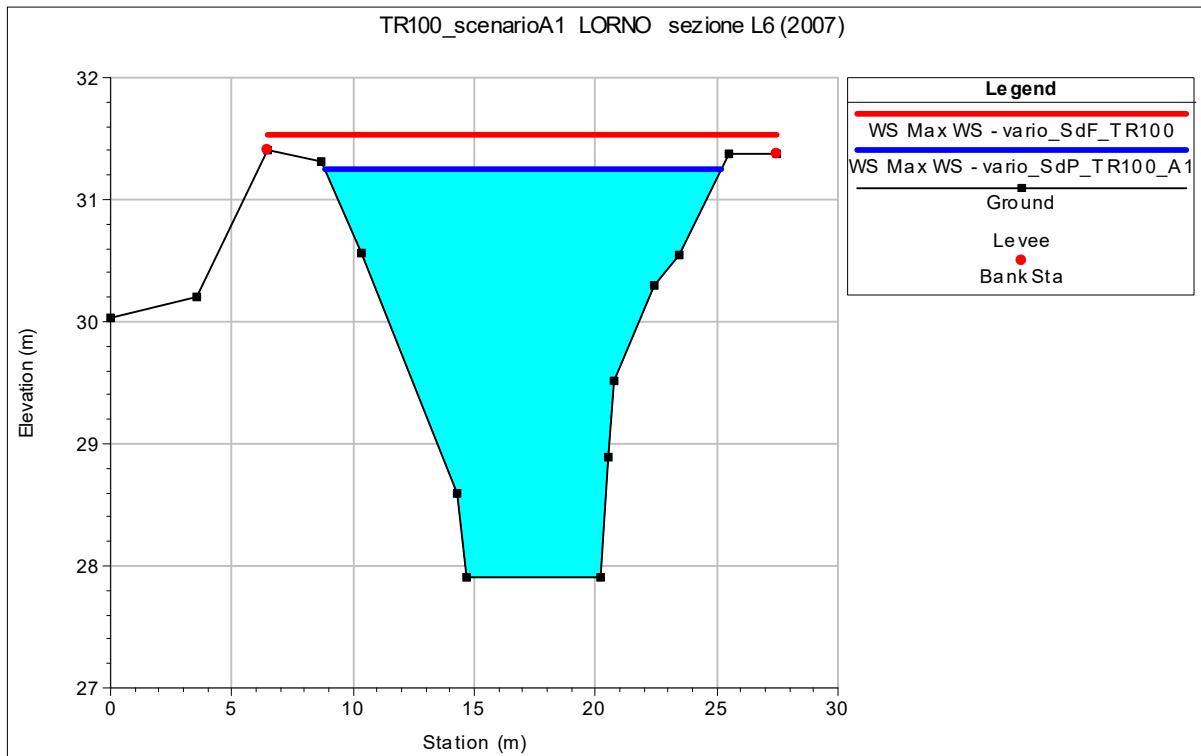


Figura 226 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

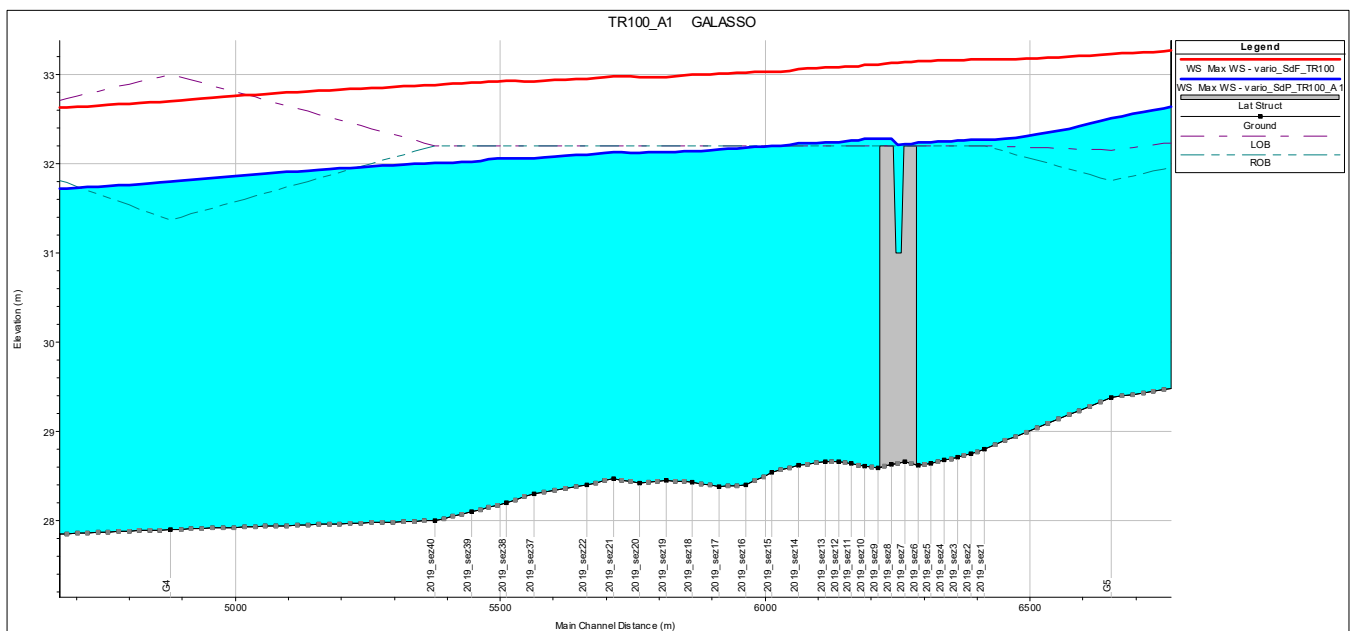


Figura 227 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

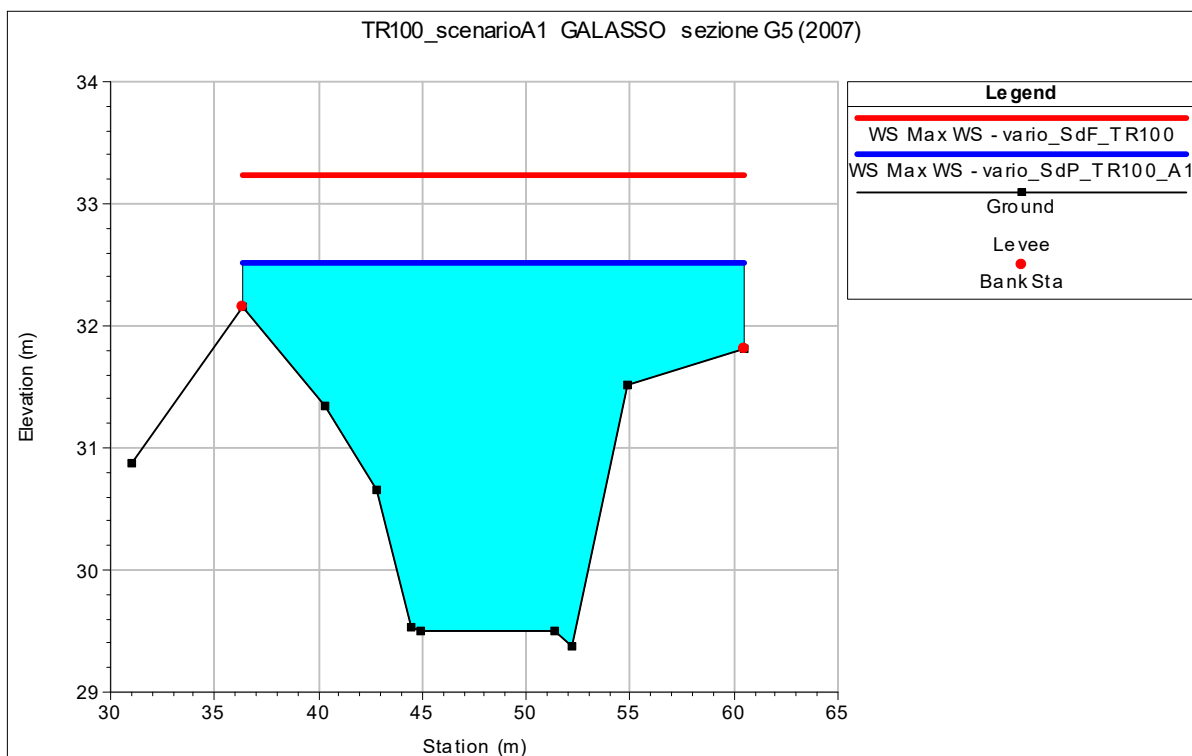


Figura 228 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

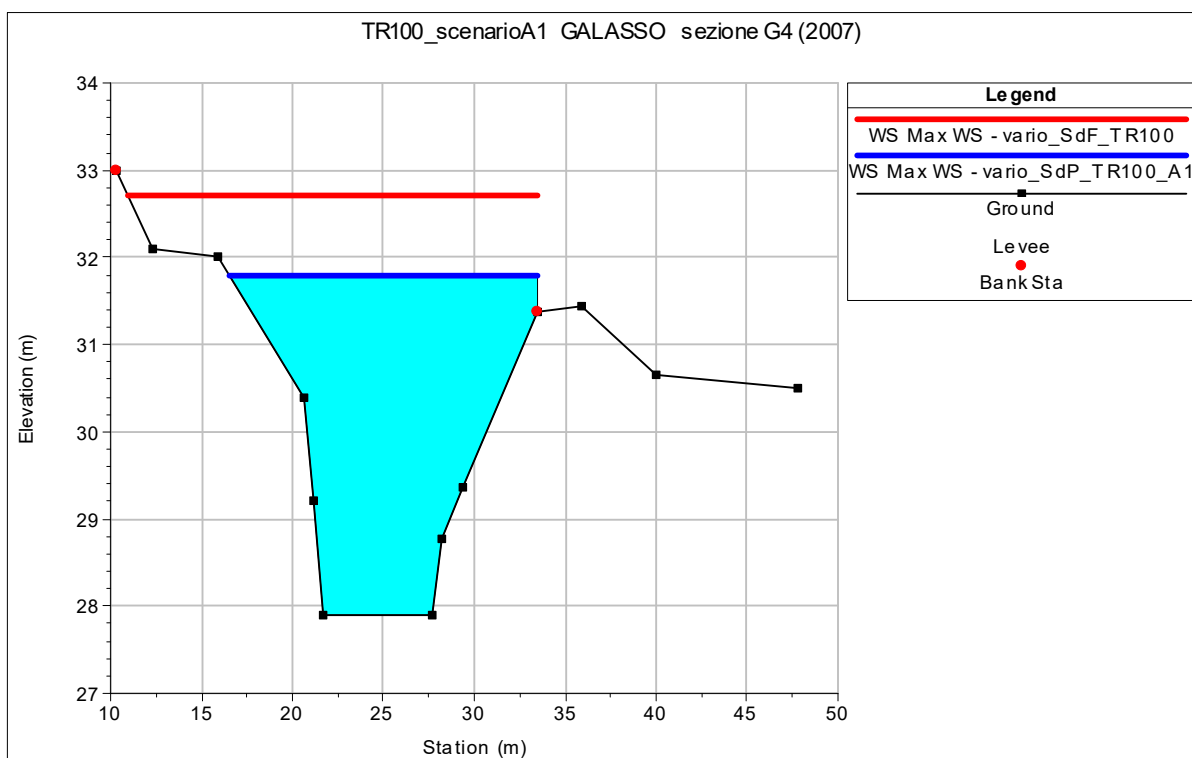


Figura 229 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.8 TR100 LAM CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A1 e per il TR10-LAM. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza di moto uniforme con pendenza di fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

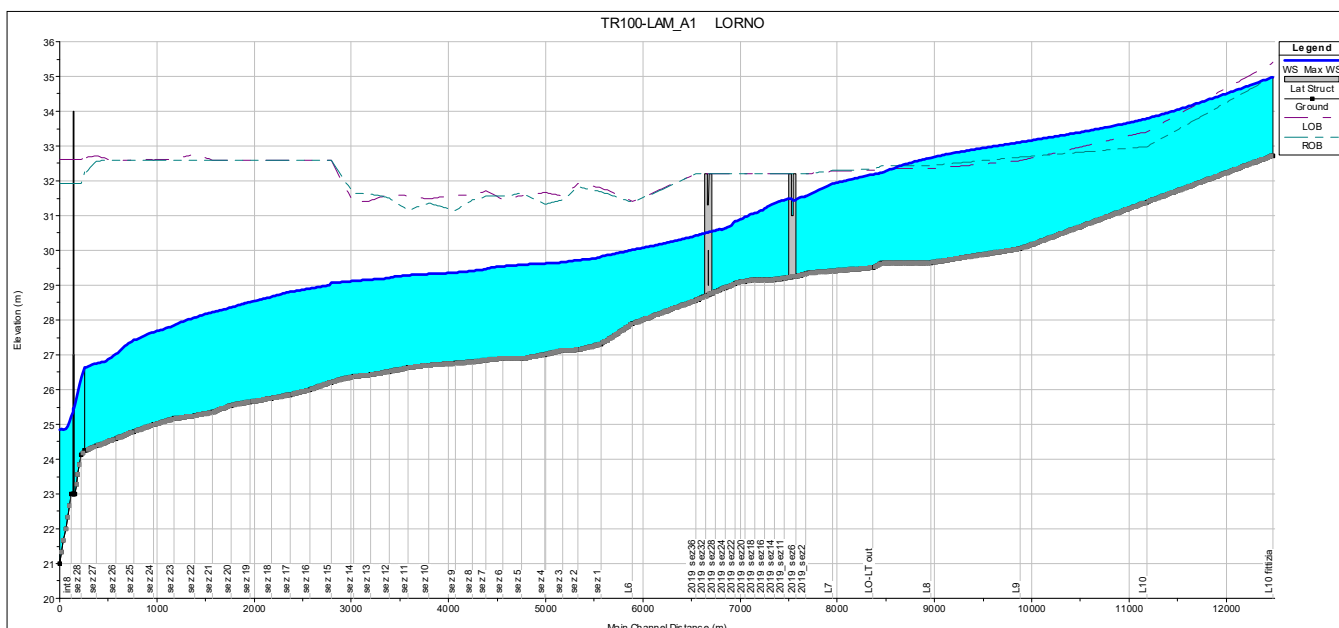


Figura 230 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

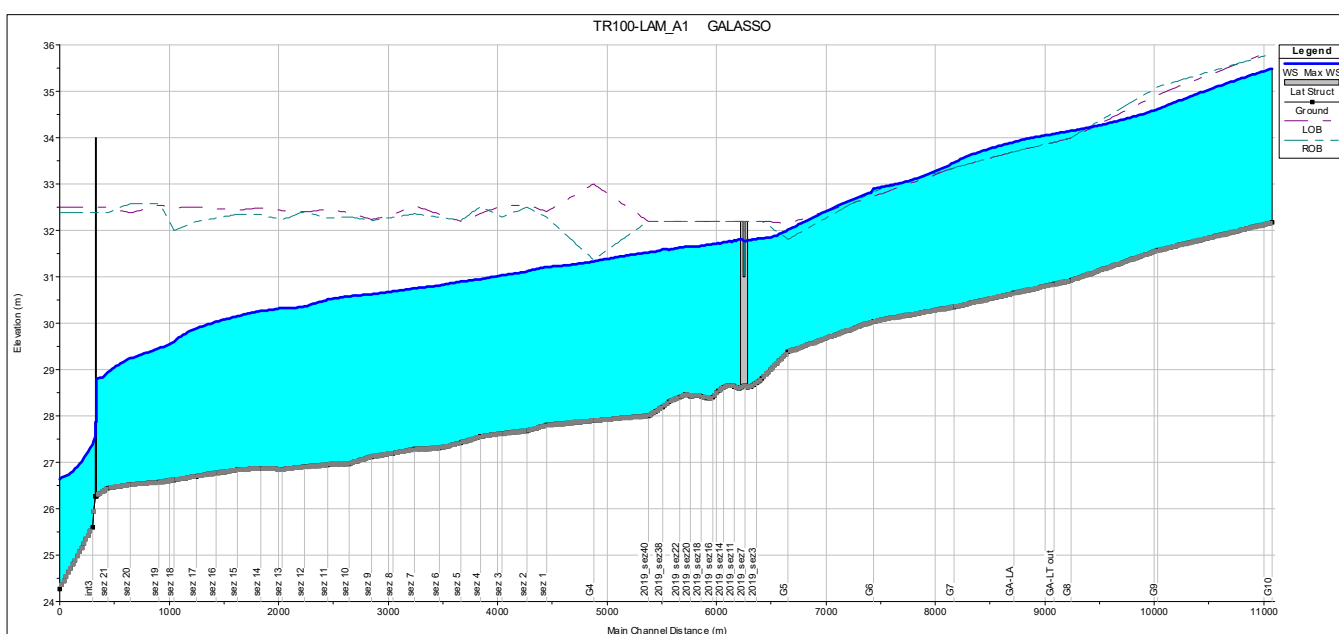


Figura 231 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

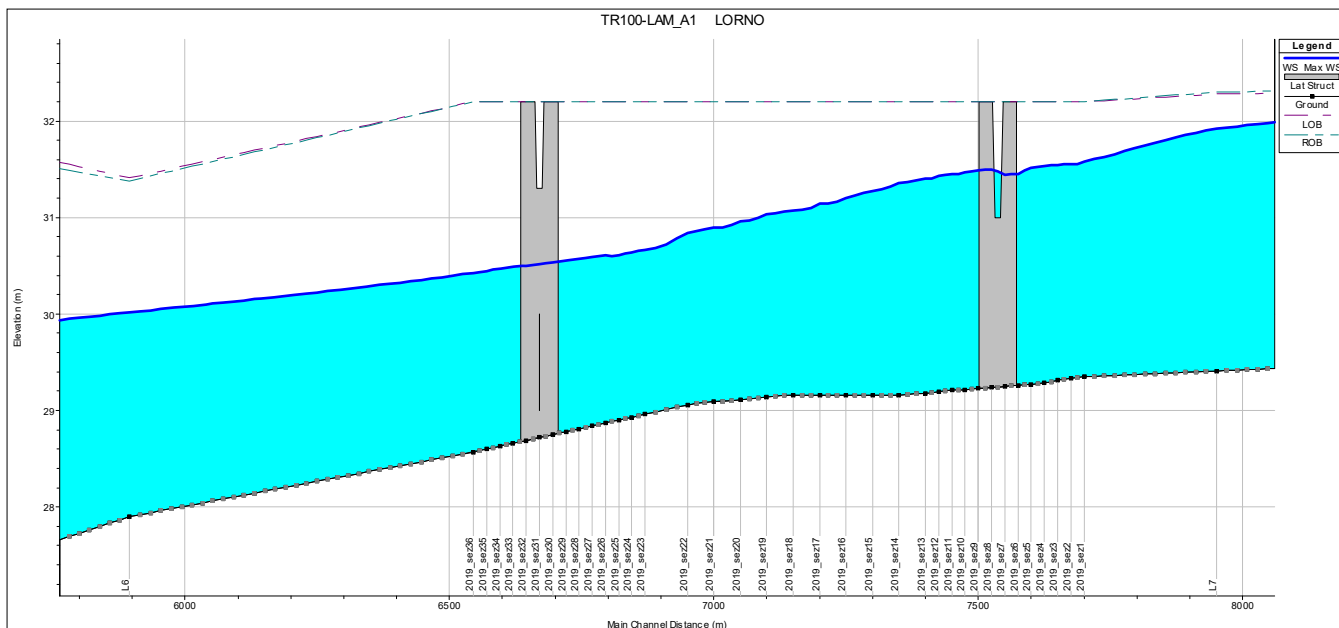


Figura 232 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

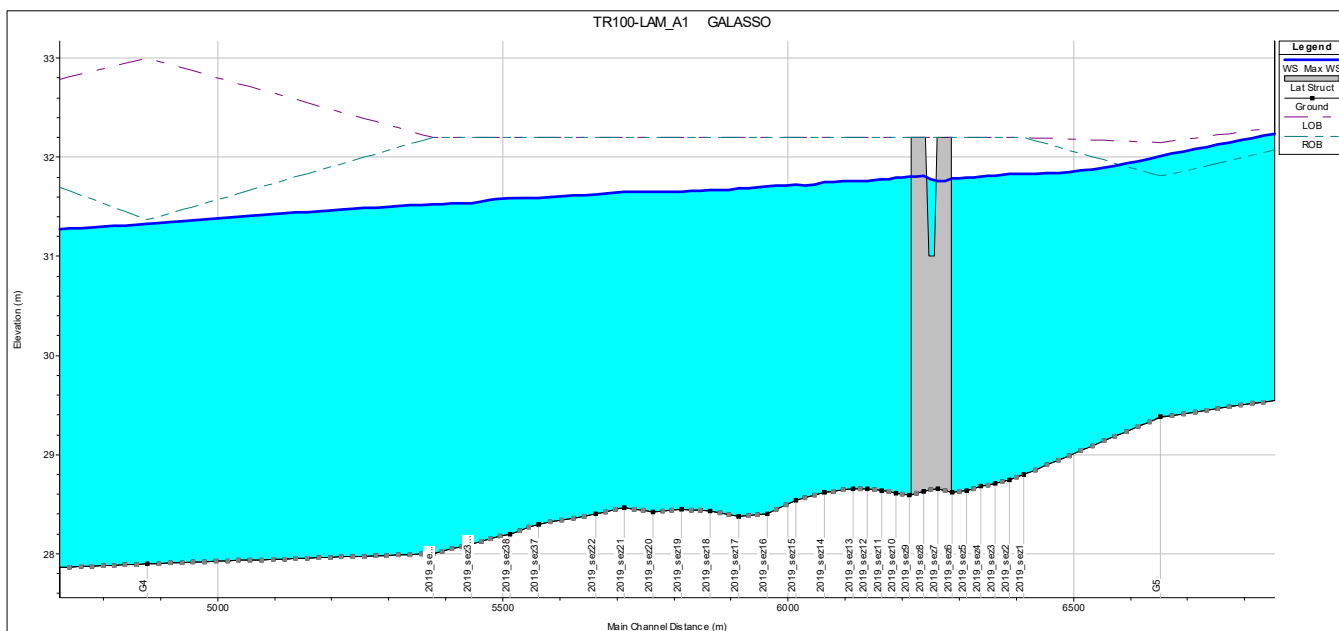


Figura 233 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso.

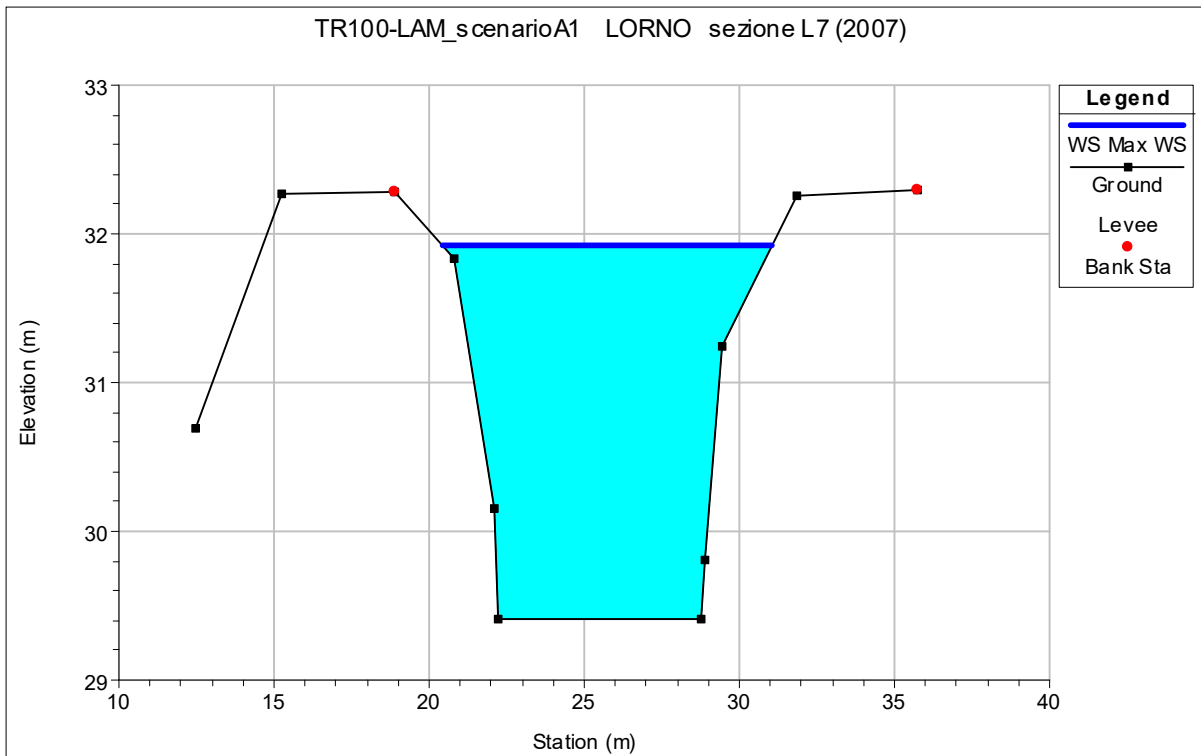


Figura 234 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

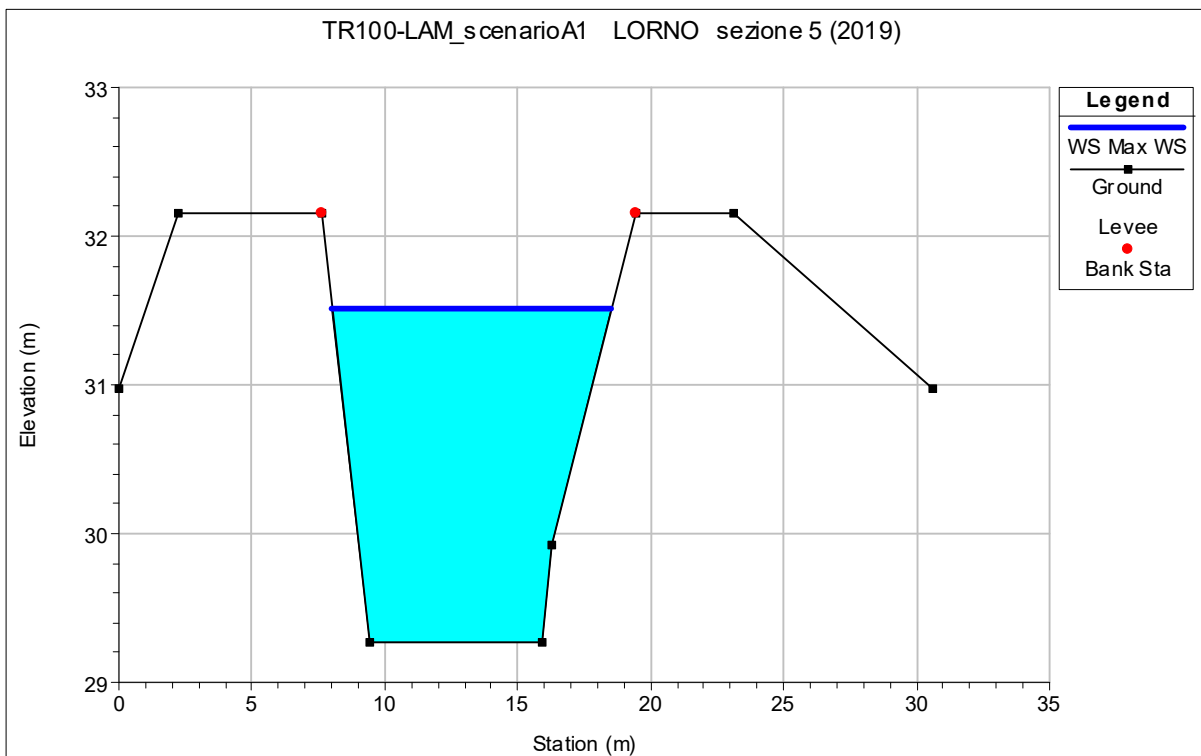


Figura 235 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

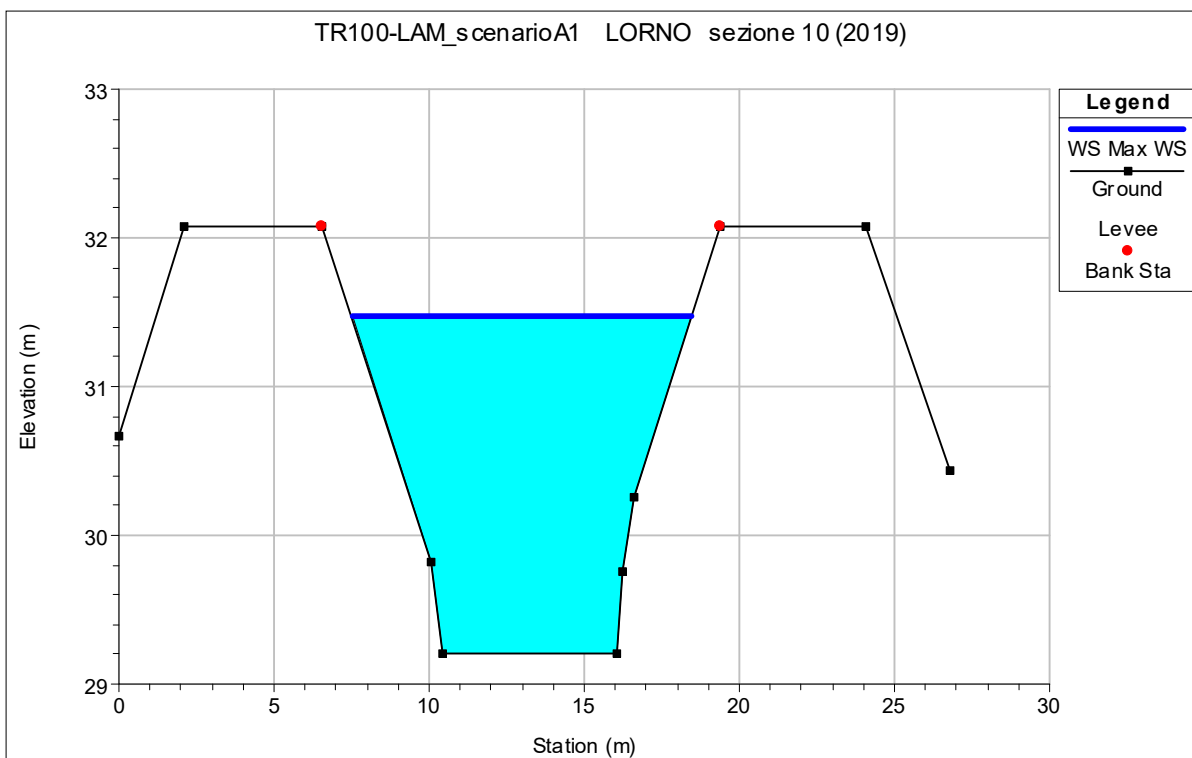


Figura 236 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

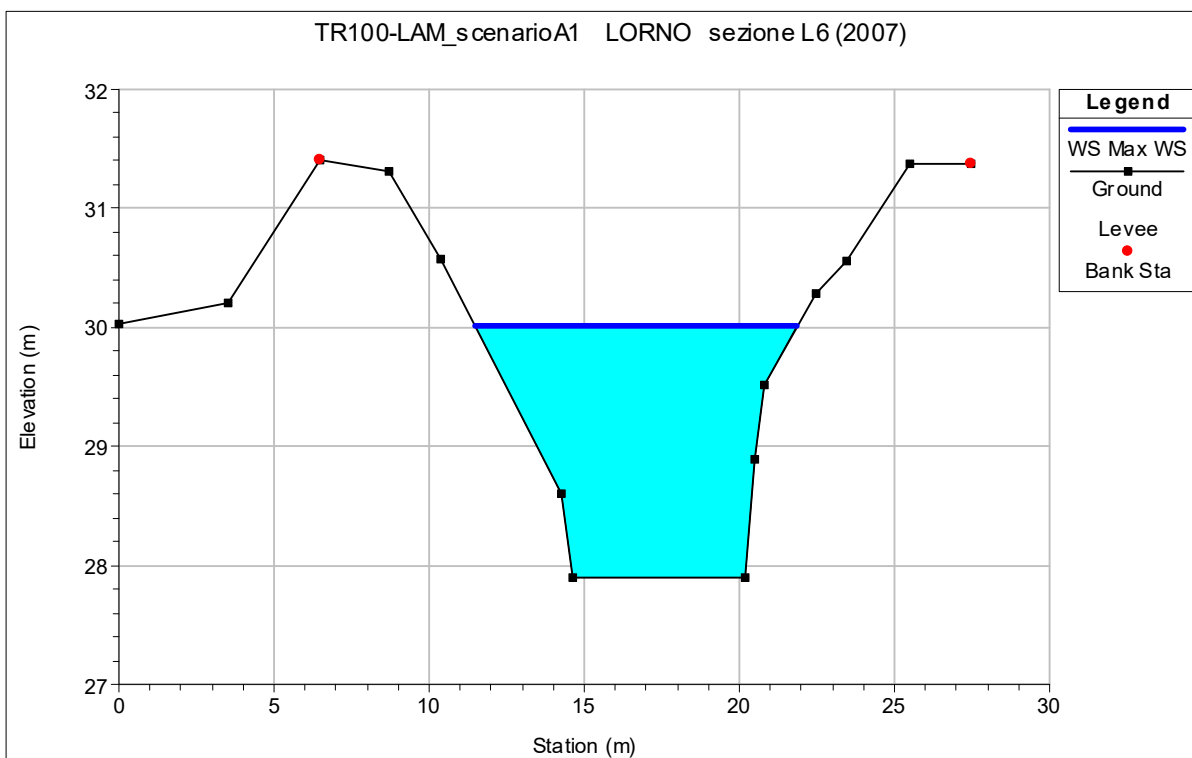


Figura 237 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

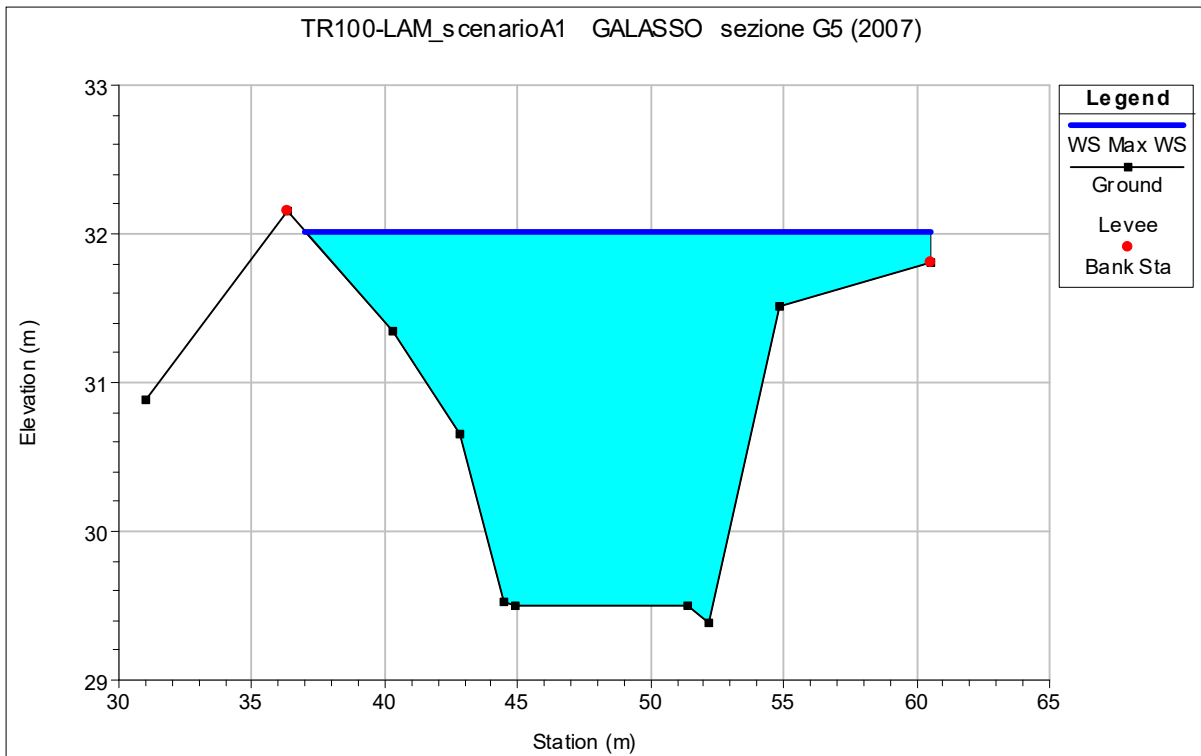


Figura 238 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

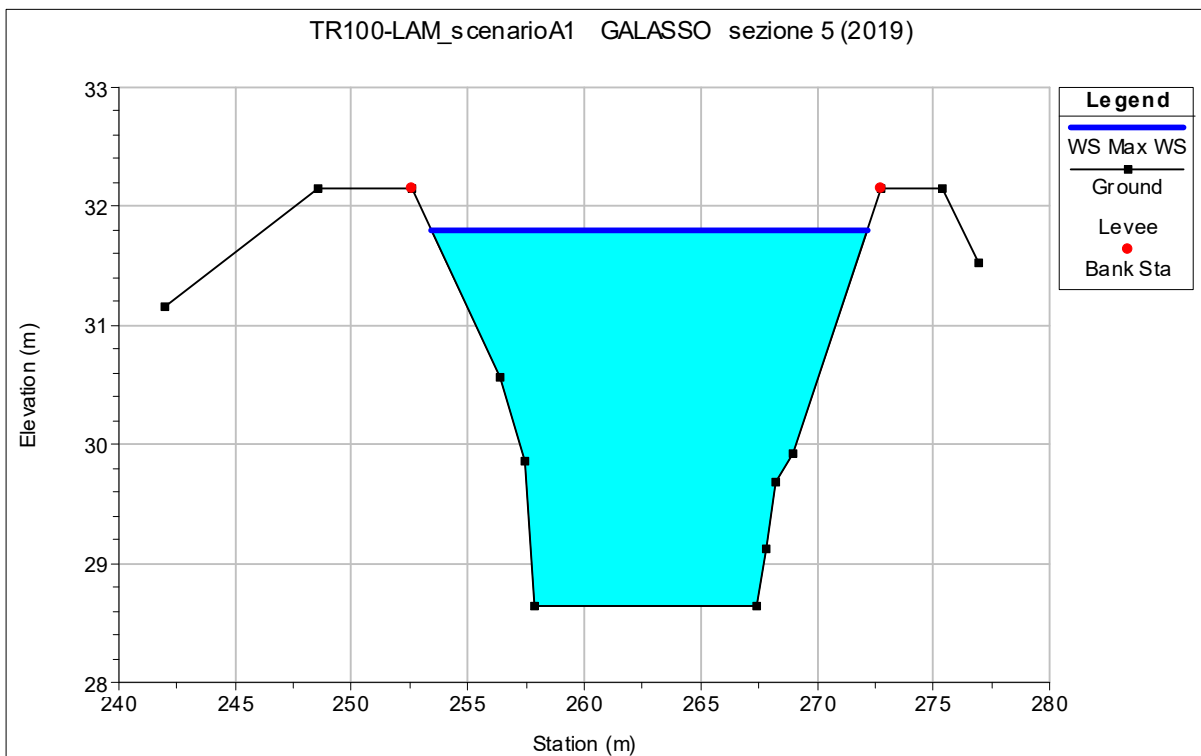


Figura 239 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

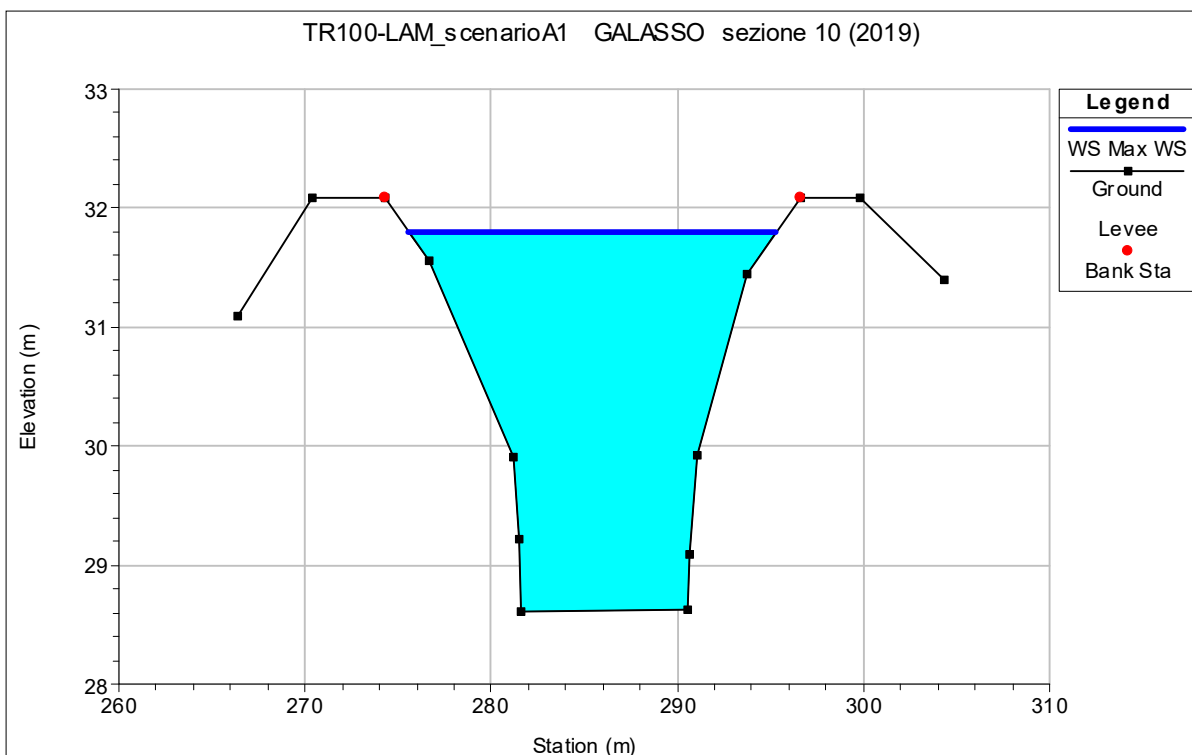


Figura 240 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

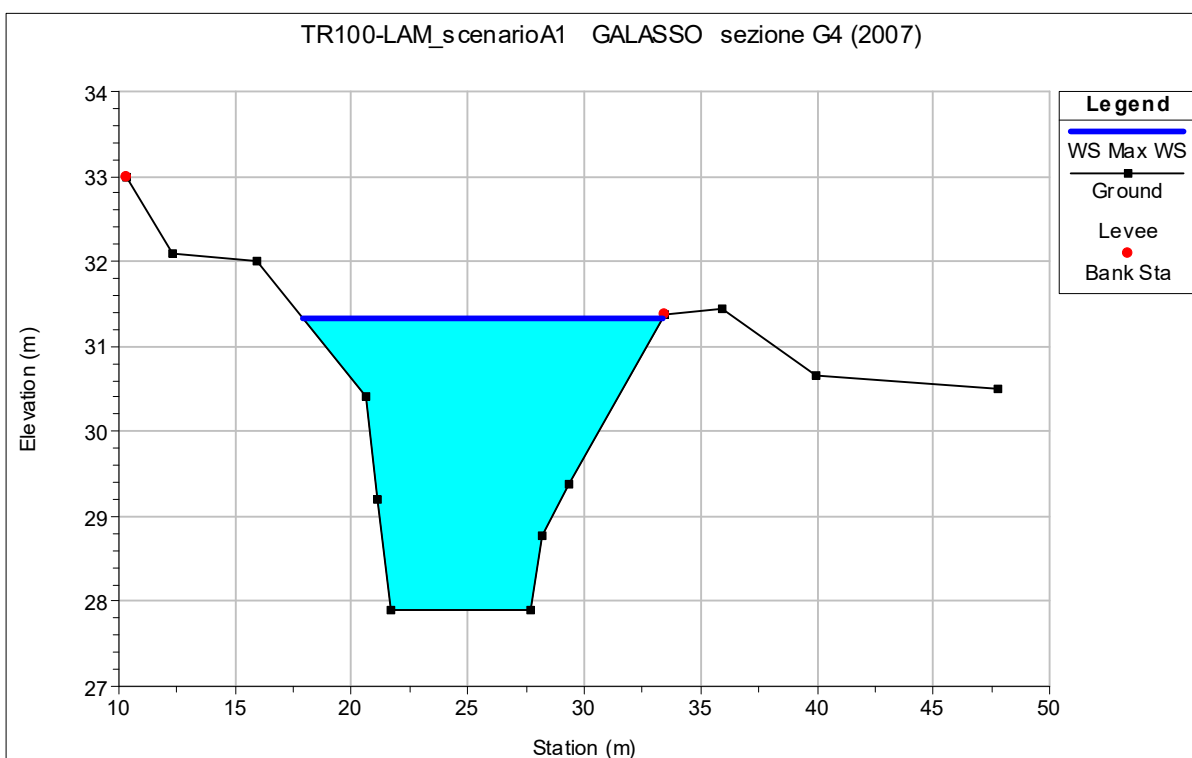


Figura 241 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 5 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 2 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 12 m³/s.

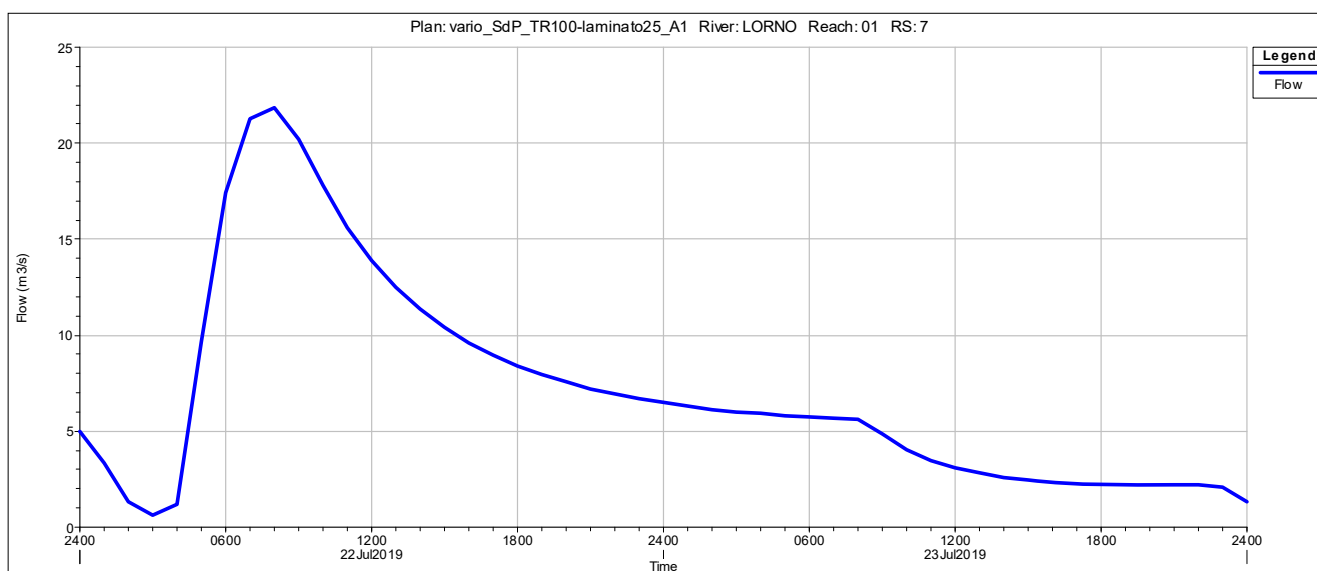


Figura 242 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

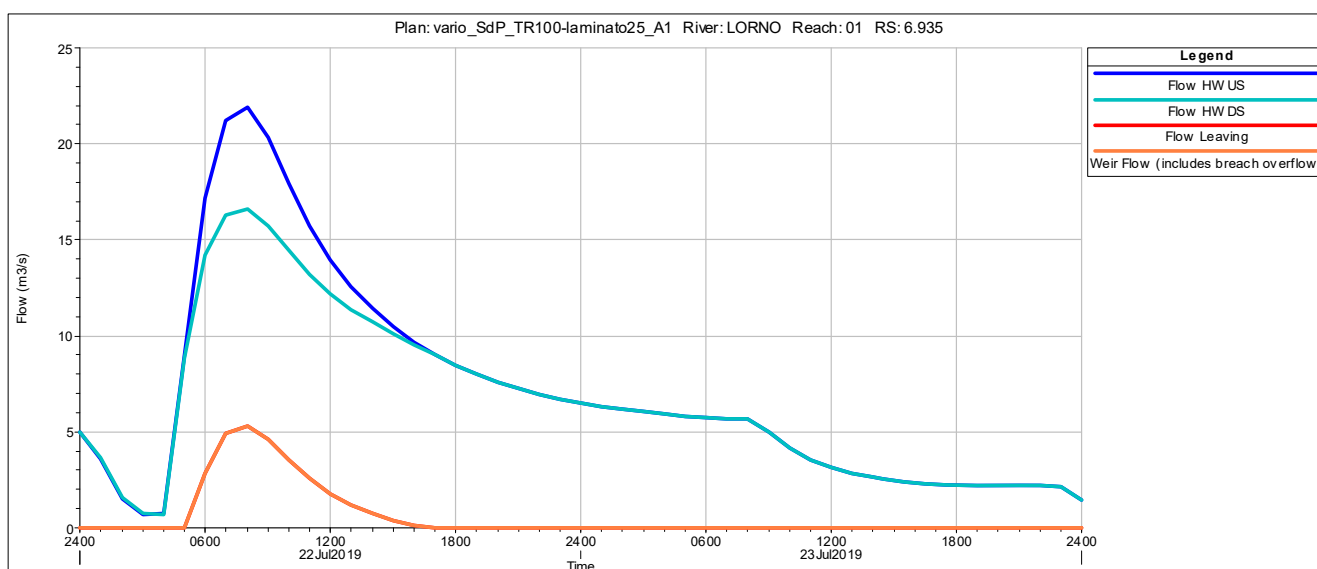


Figura 243 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

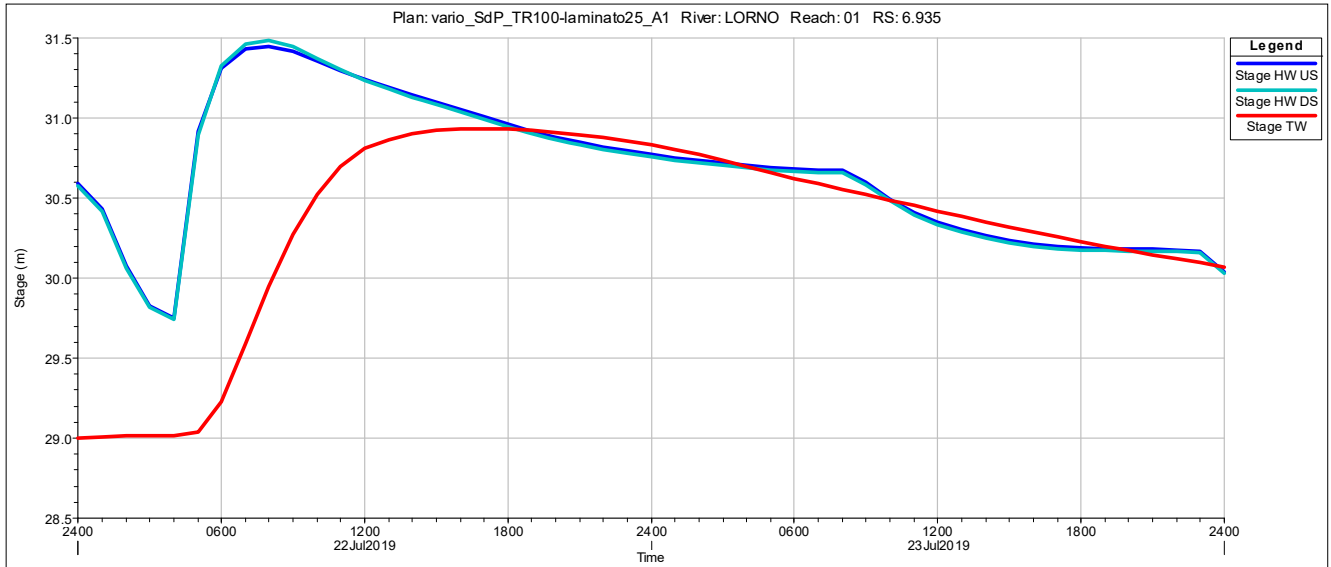


Figura 244 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

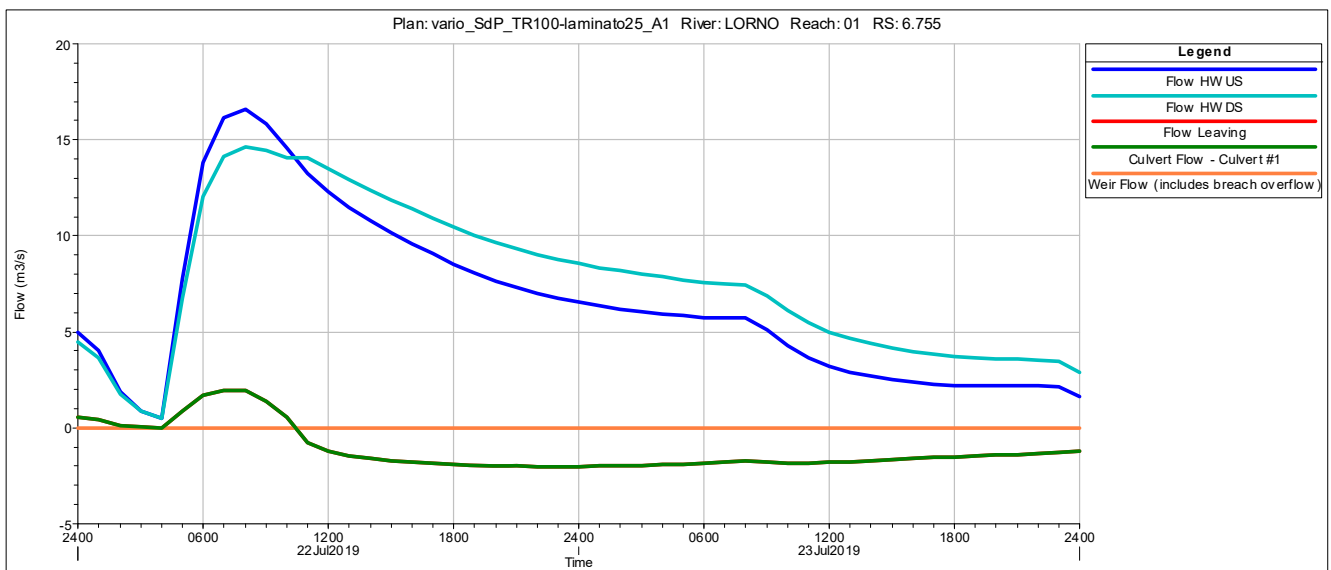


Figura 245 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

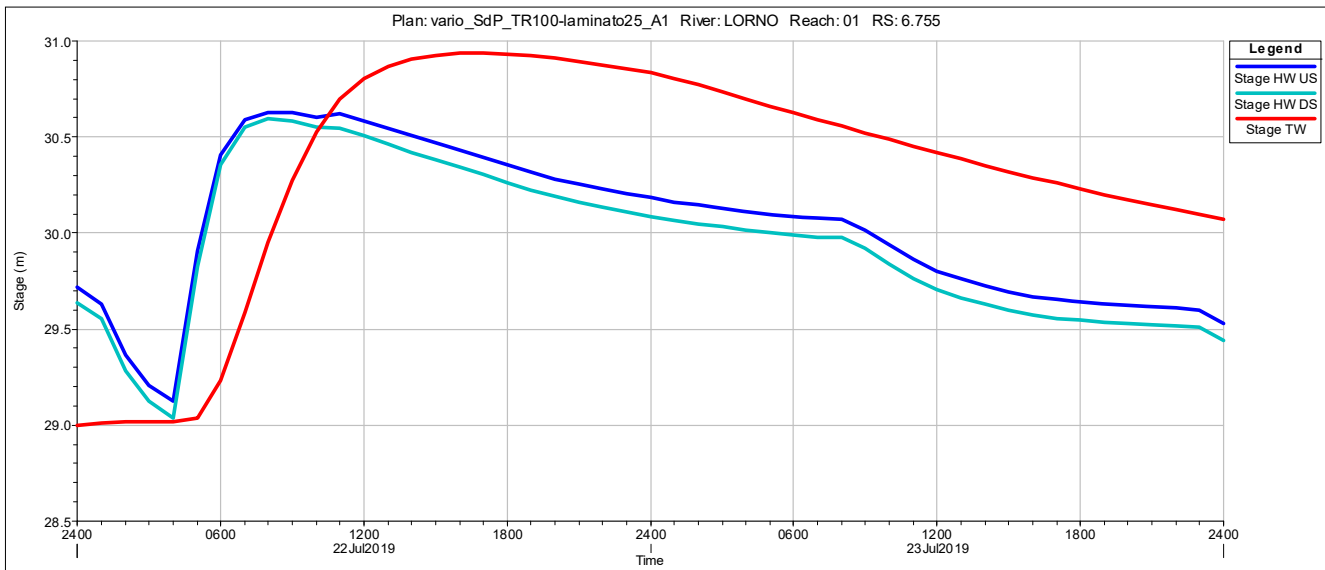


Figura 246 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

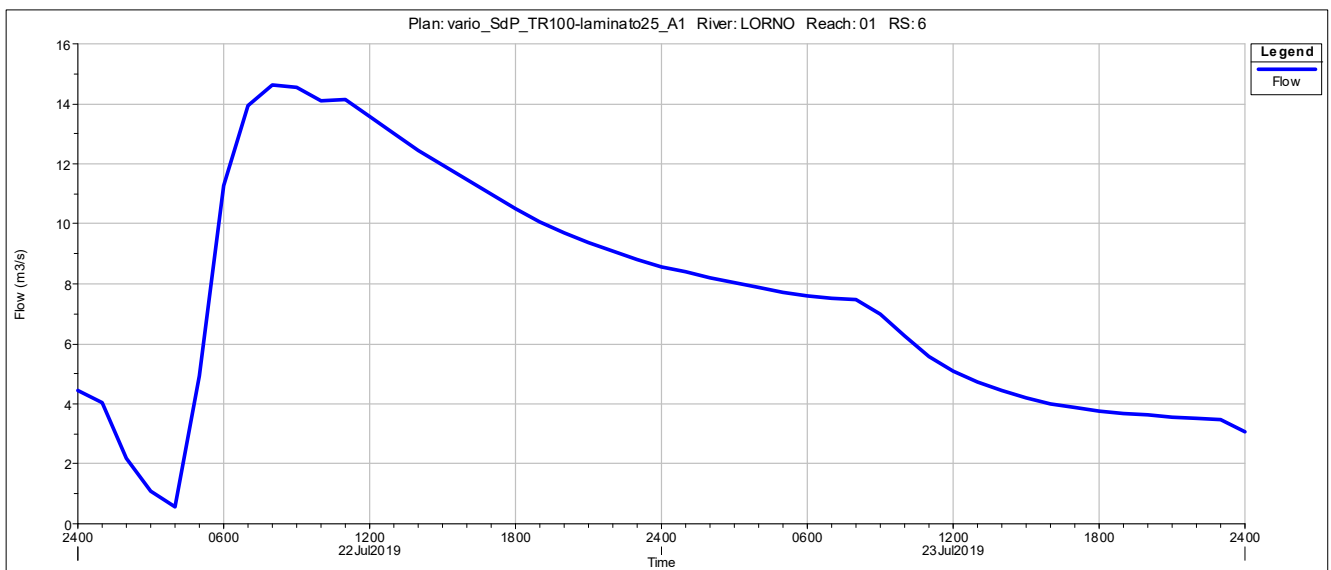


Figura 247 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

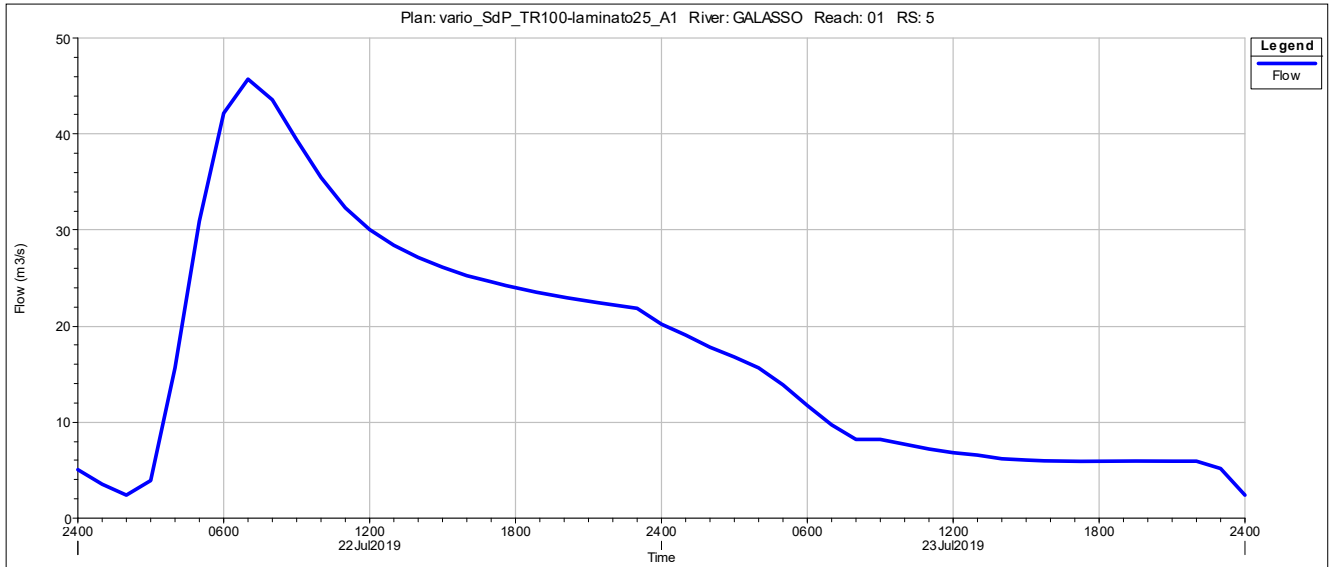


Figura 248 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

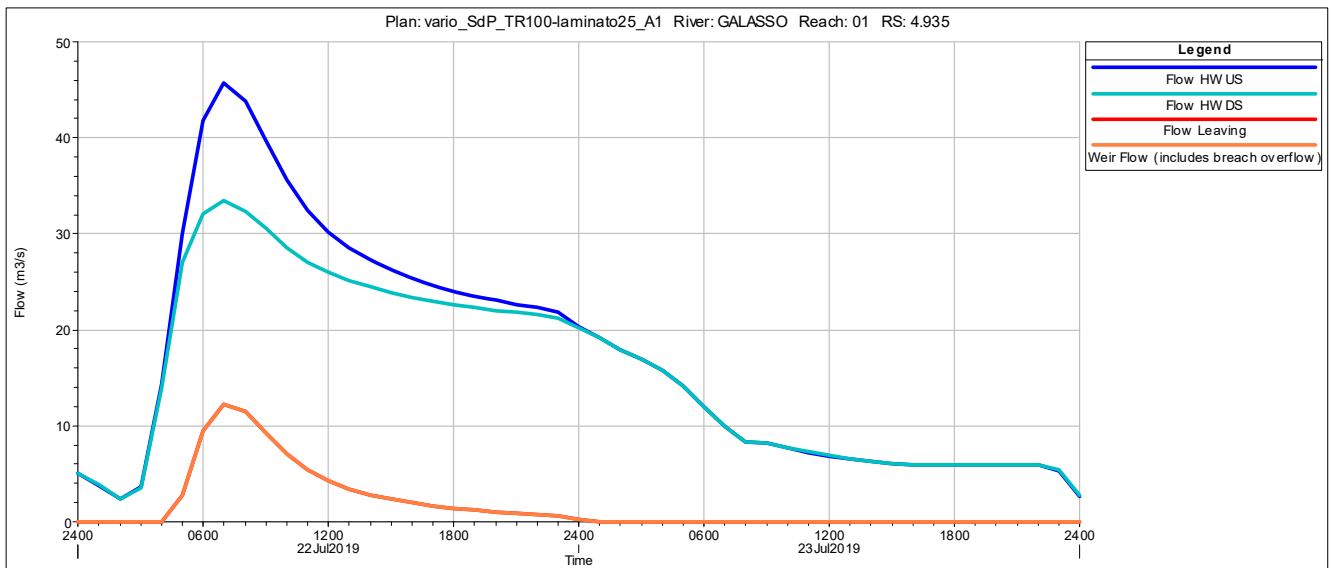


Figura 249 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

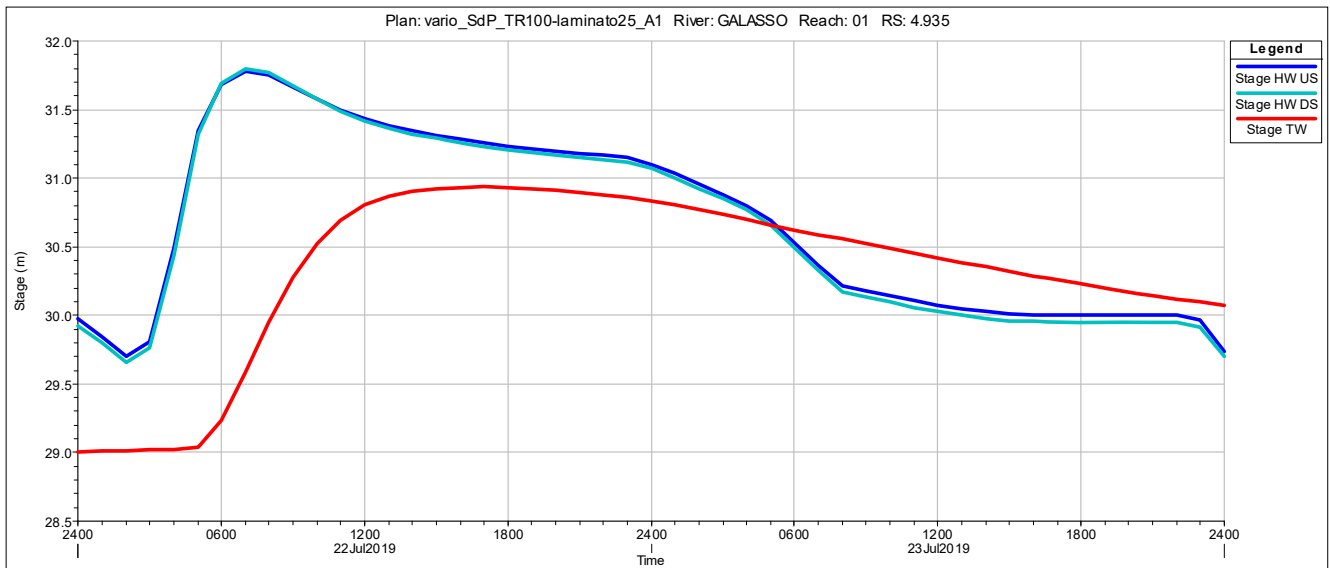


Figura 250 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

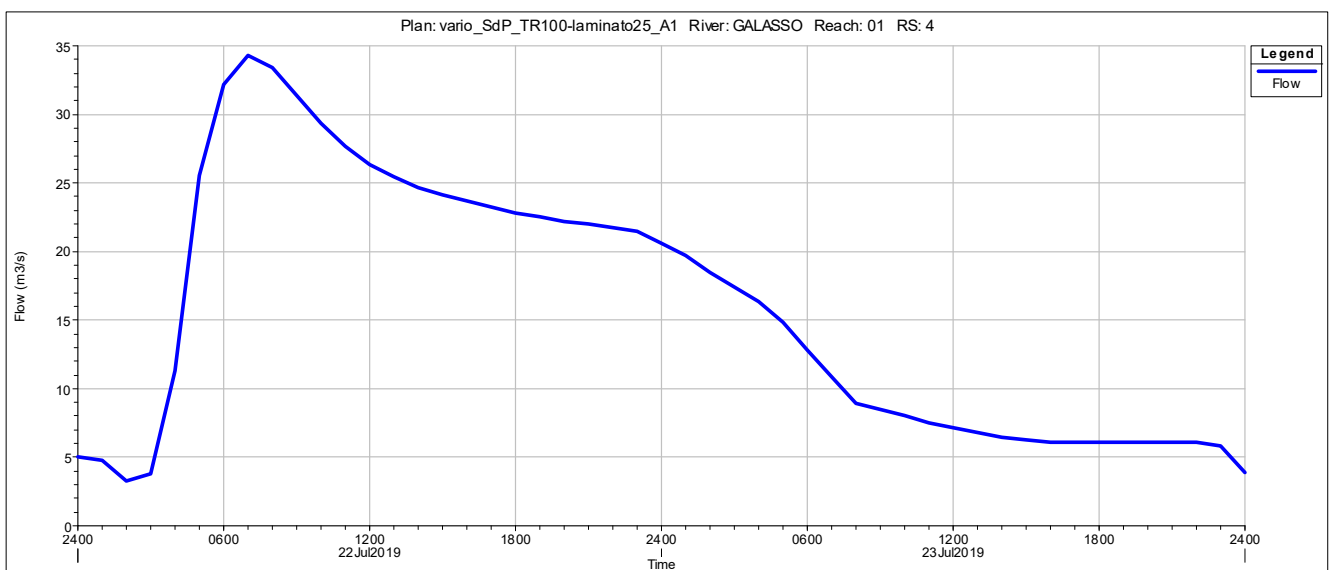


Figura 251 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

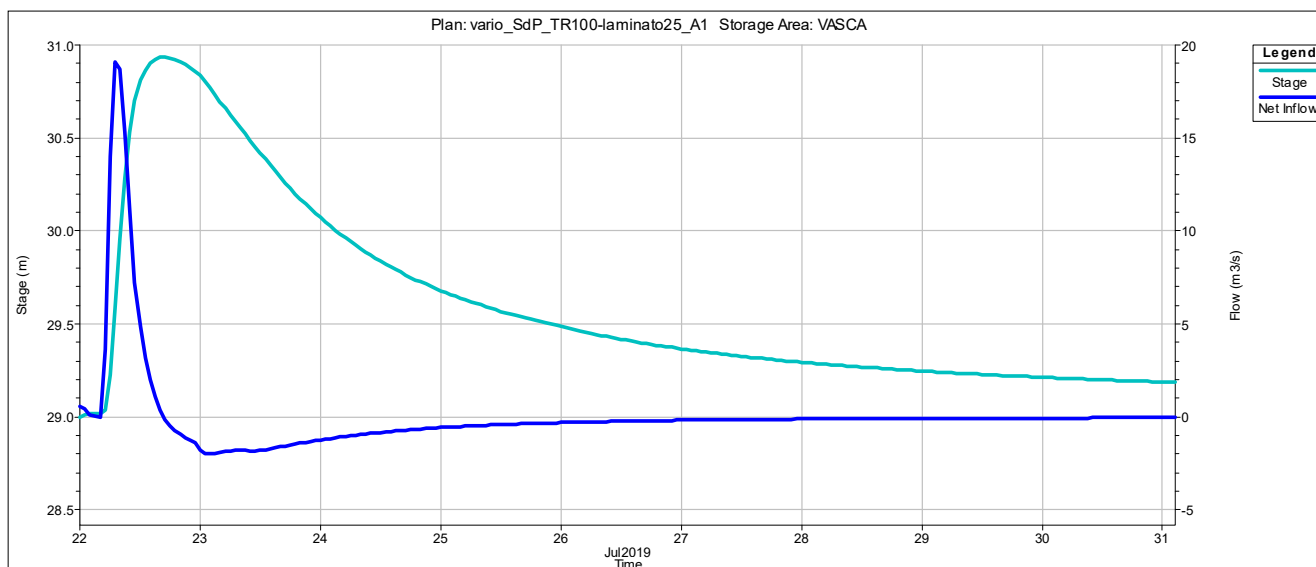


Figura 252 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 100-LAM nello scenario A1 nello stato di progetto:

TR 100-LAM A1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
380	30.97	7	5.00	12.00	2.00

Tabella 15 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A1 per TR100-LAM.

4.7.8.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR100-LAM - A1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 18 cm nella sezione di monte e di circa 38 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 36 cm nella sezione di monte e di circa 42 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1500 m per il canale Lorno e a circa 1200 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

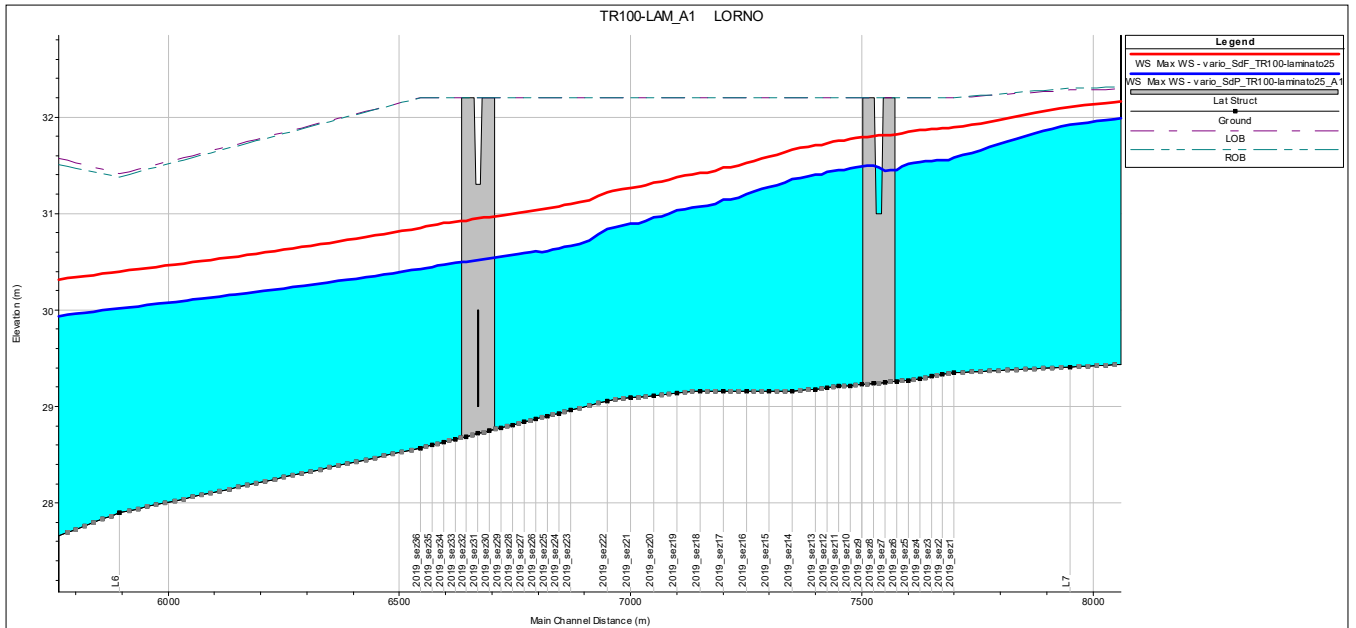


Figura 253 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

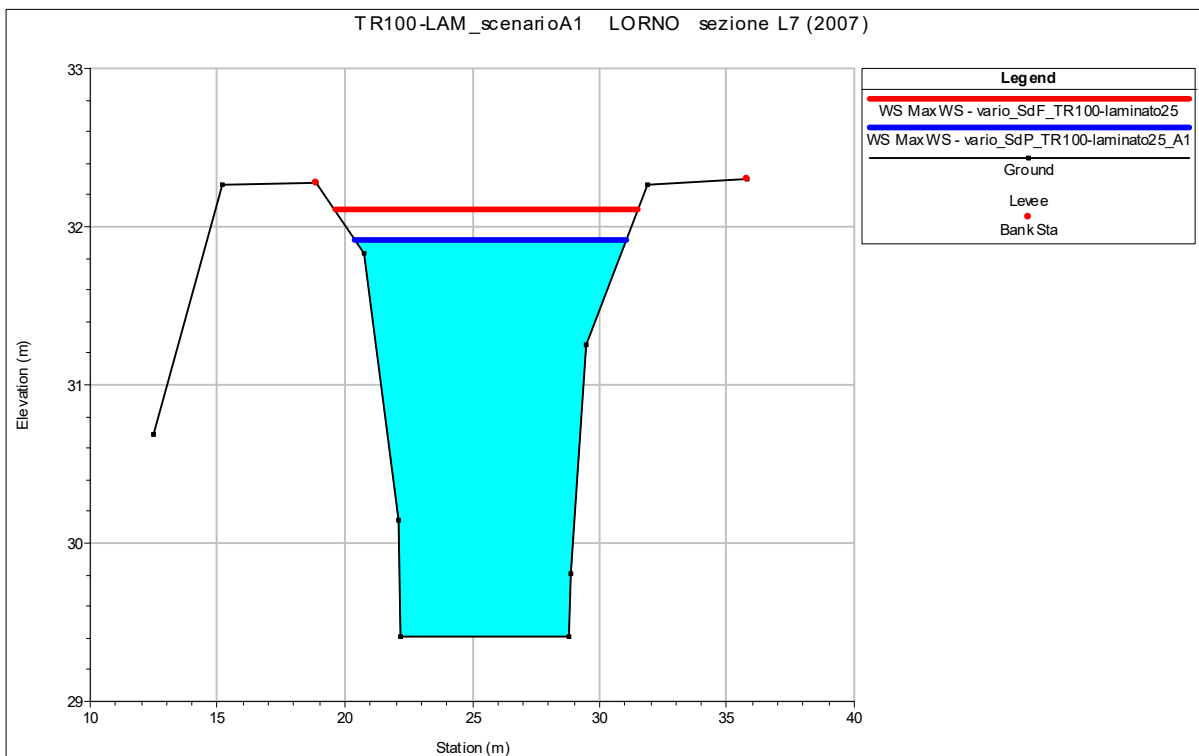


Figura 254 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

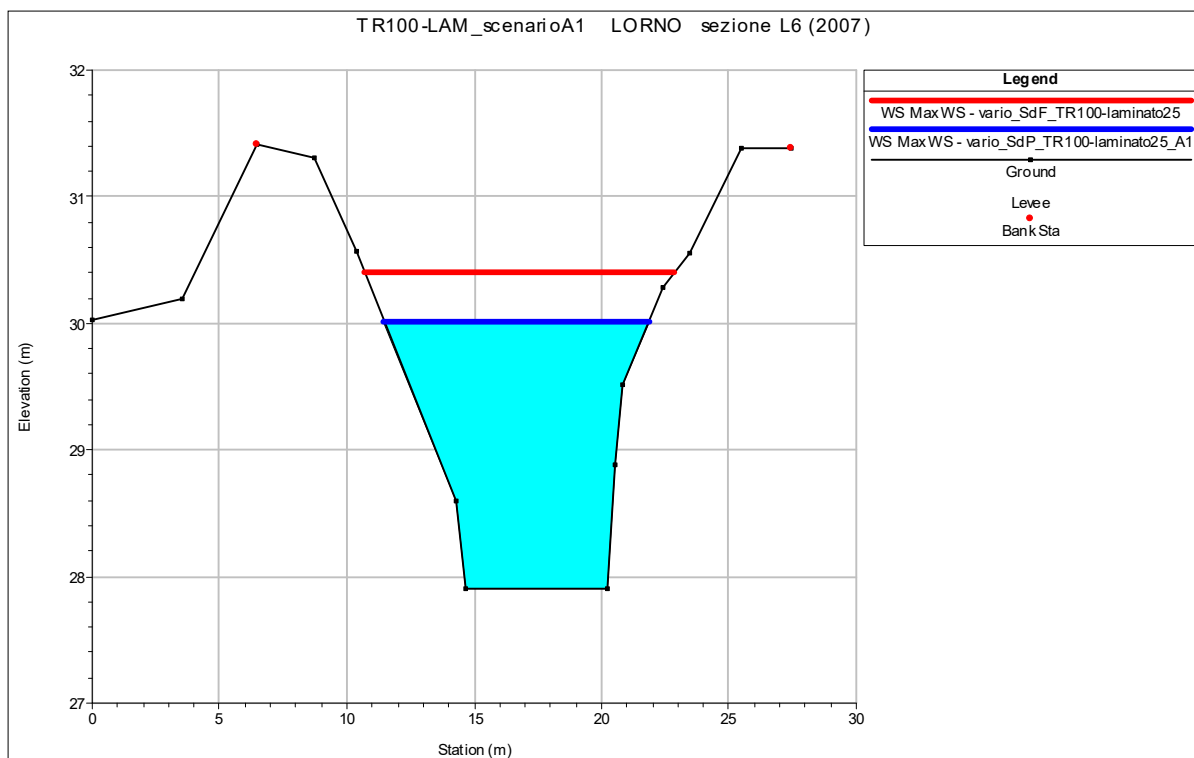


Figura 255 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

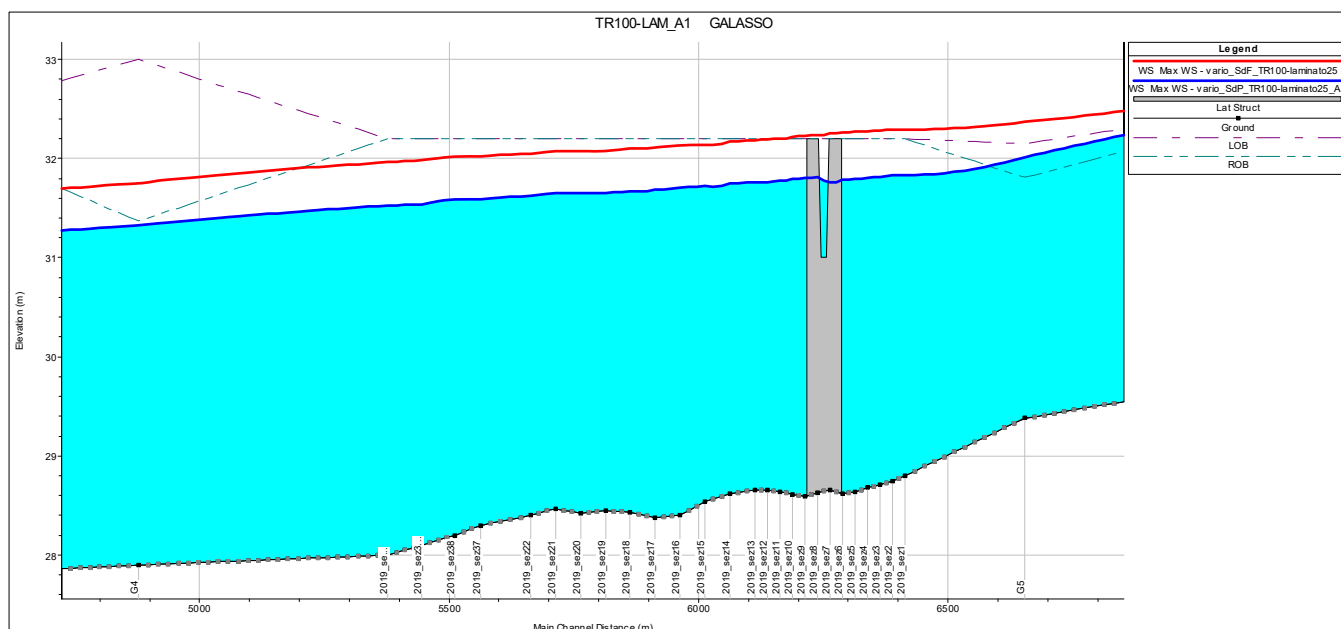


Figura 256 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

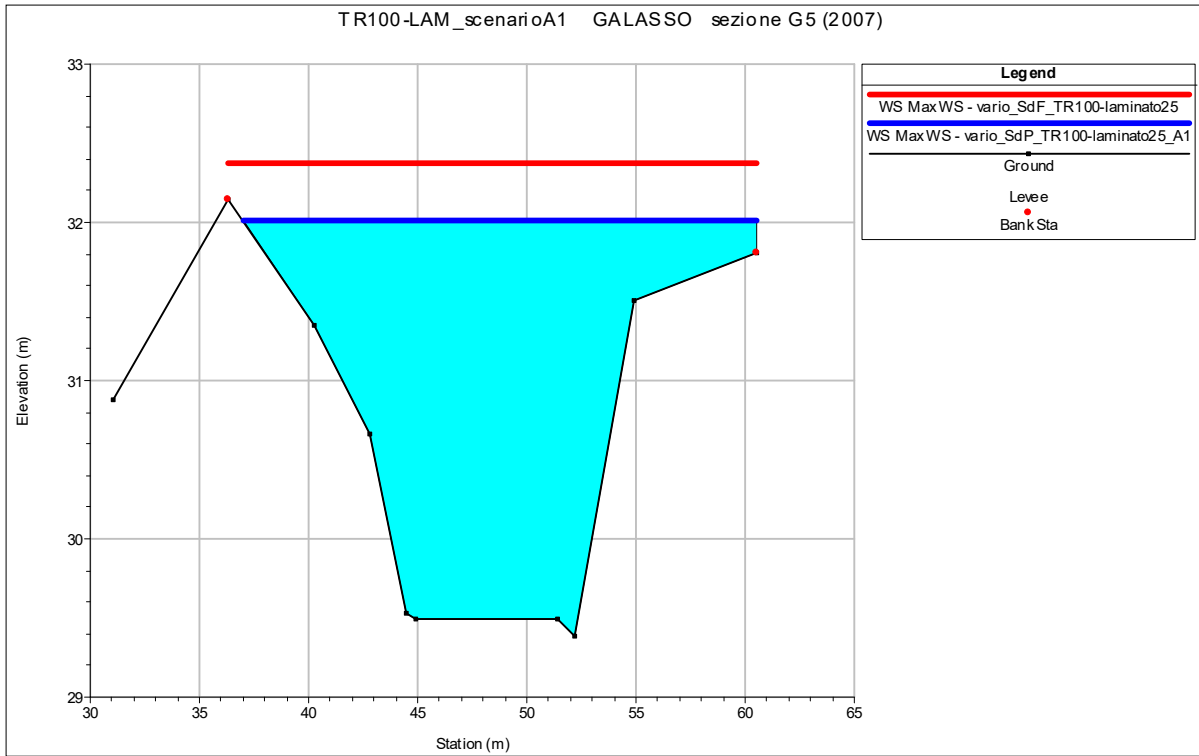


Figura 257 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

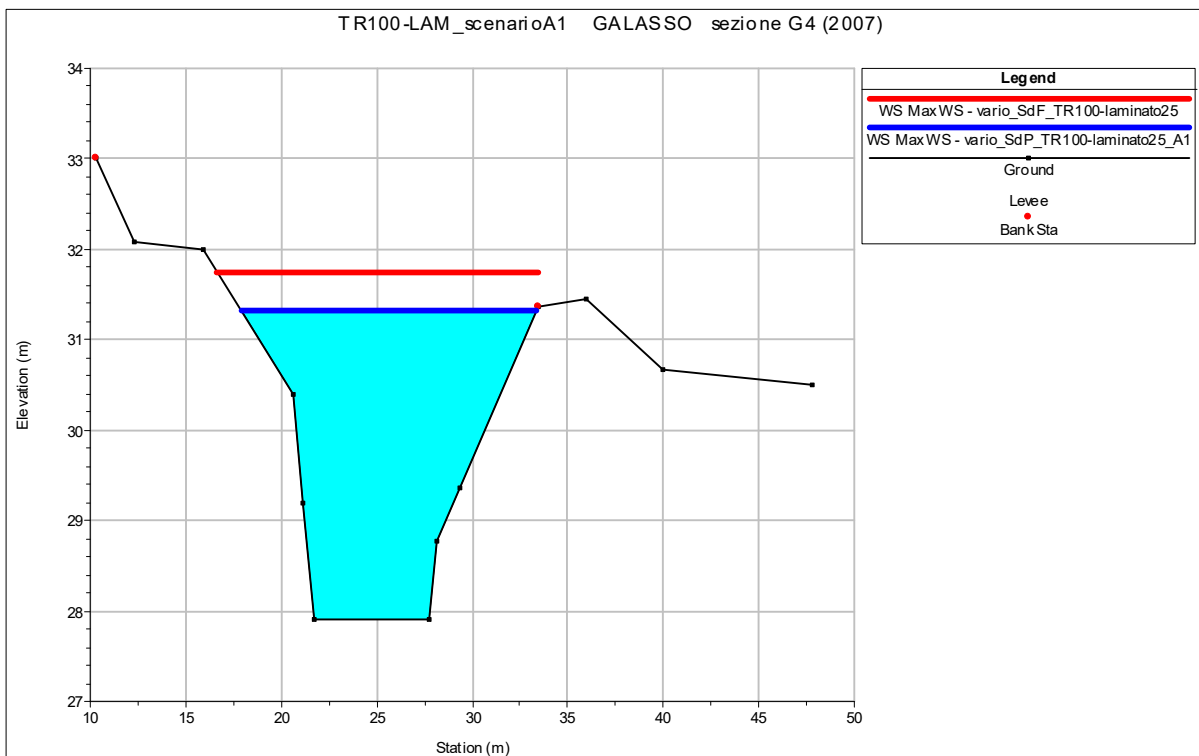


Figura 258 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.9 TR100-LAM CONFIGURAZIONE A: SCENARIO A3

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario A3 e per il TR100-LAM. La configurazione A prevede l'apertura completa delle Porte Vinciane e la chiusura totale della chiavica Motta. Lo scenario A3 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.50 m s.l.m. Le simulazioni hanno evidenziato che nel tratto di valle del canale Galasso si verifica il superamento del rilevato arginale in corrispondenza della sponda destra della sezione G4 (rilievo non aggiornato). Nei tratti di monte dei due canali si verifica il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

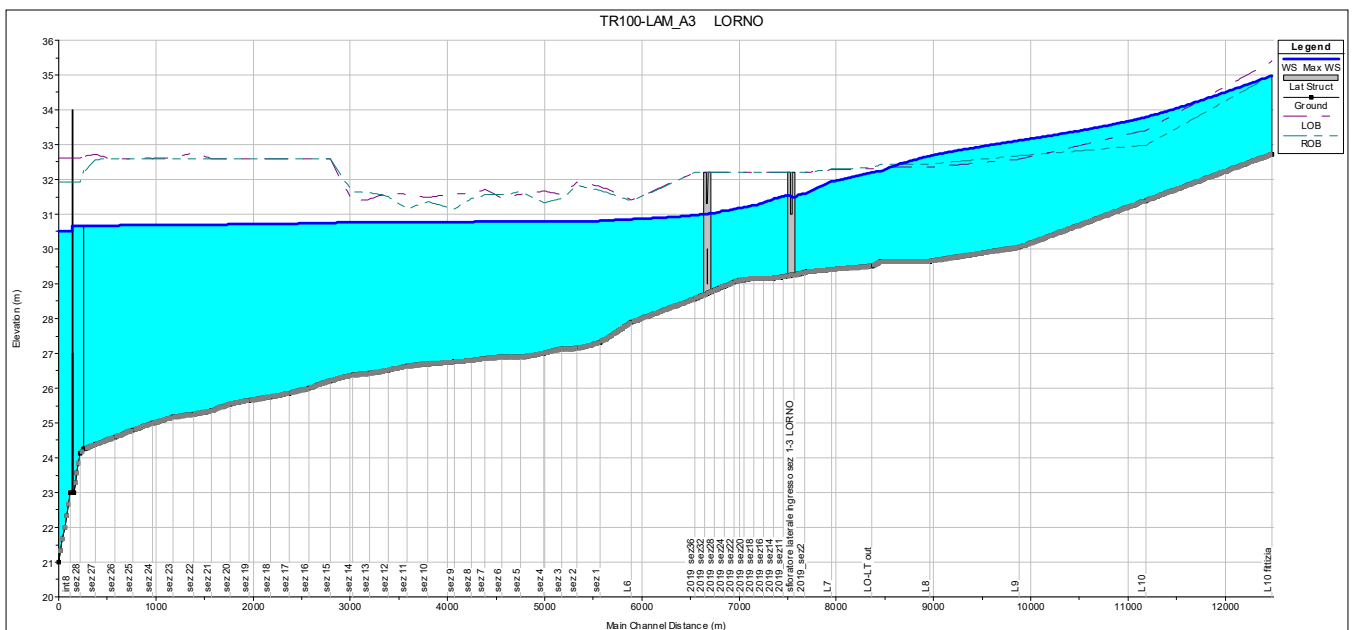


Figura 259 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

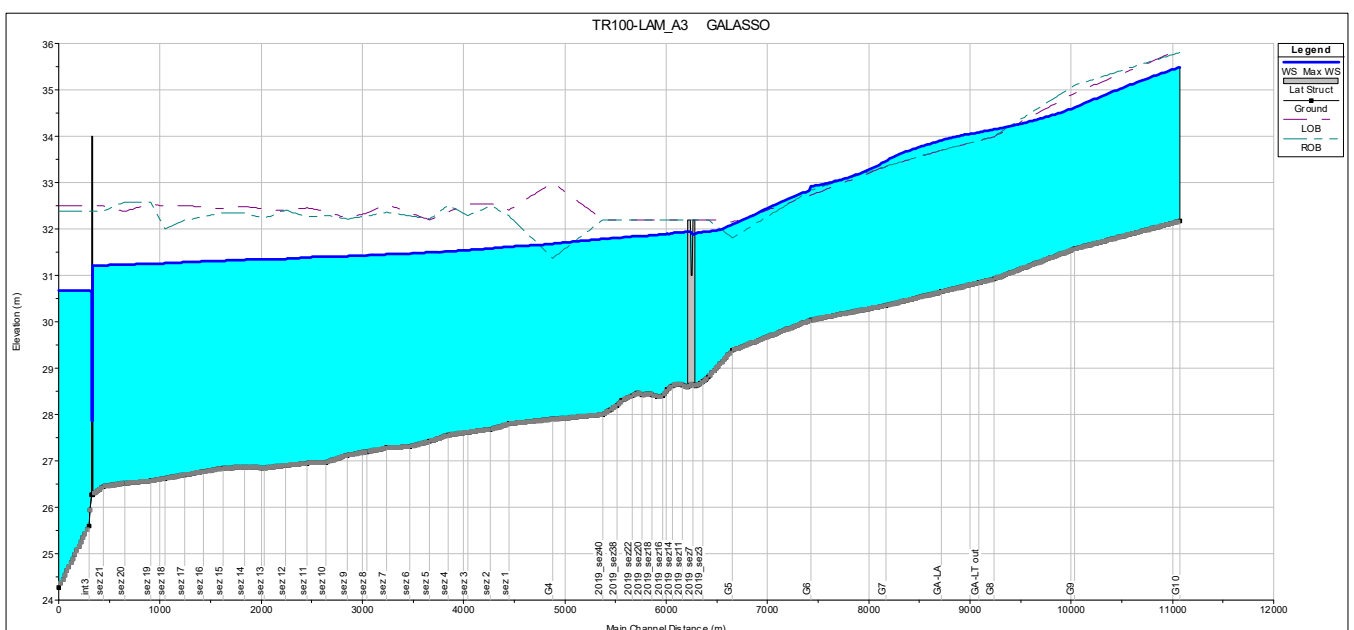


Figura 260 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

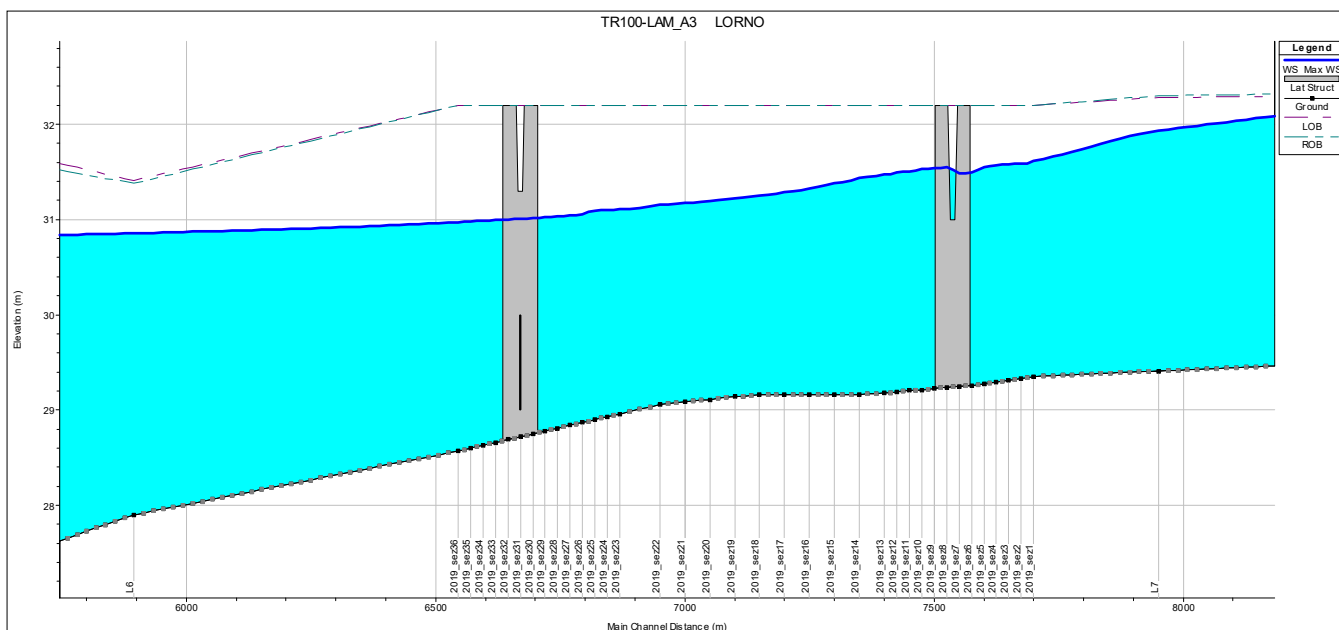


Figura 261 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

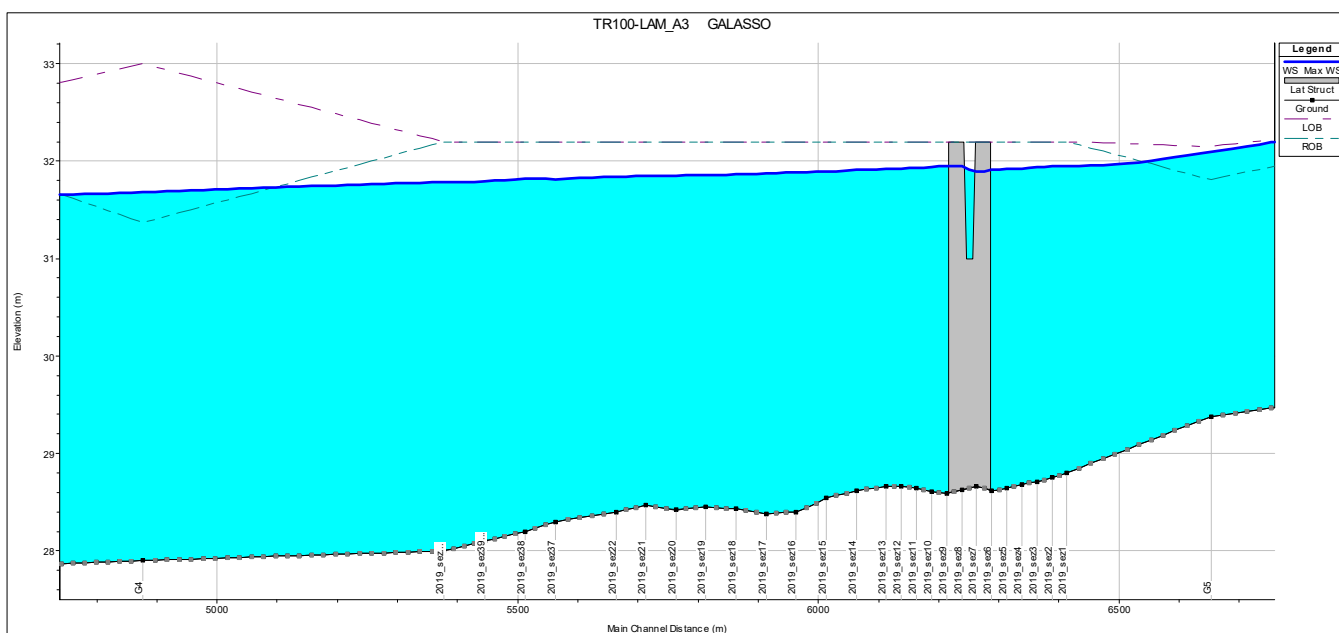


Figura 262 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso. Inoltre, in questo caso, si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

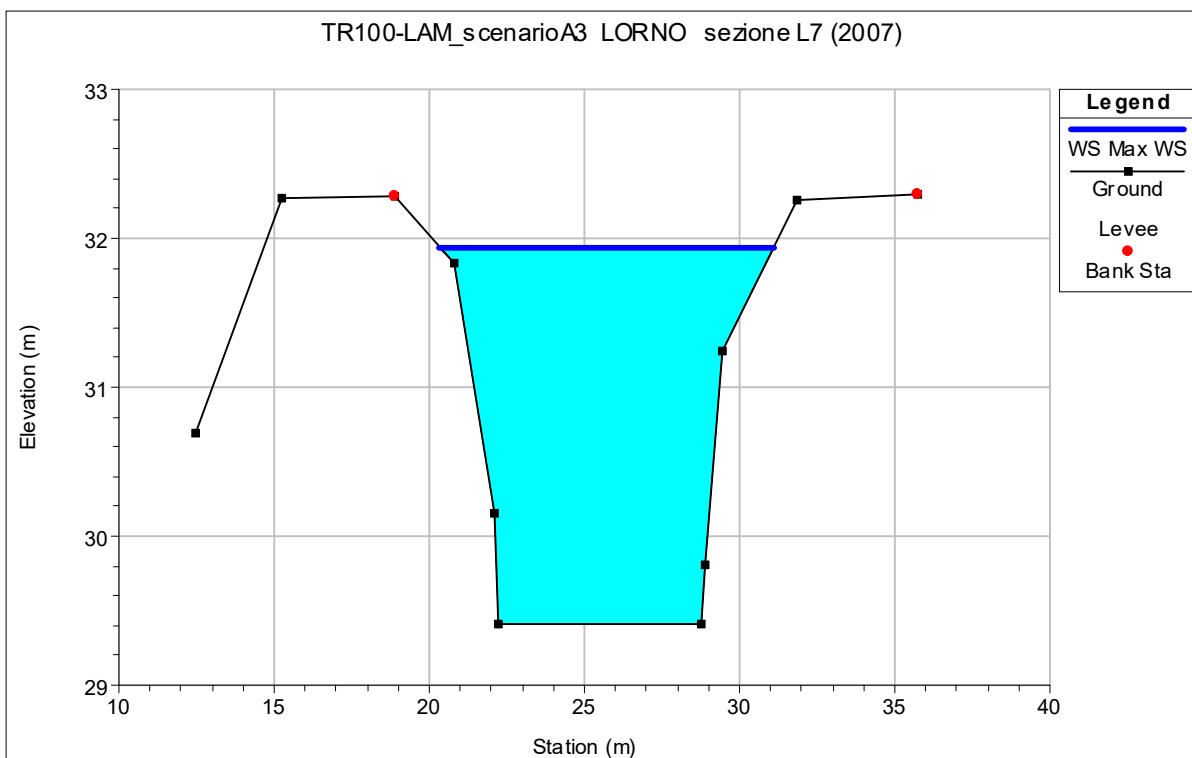


Figura 263 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

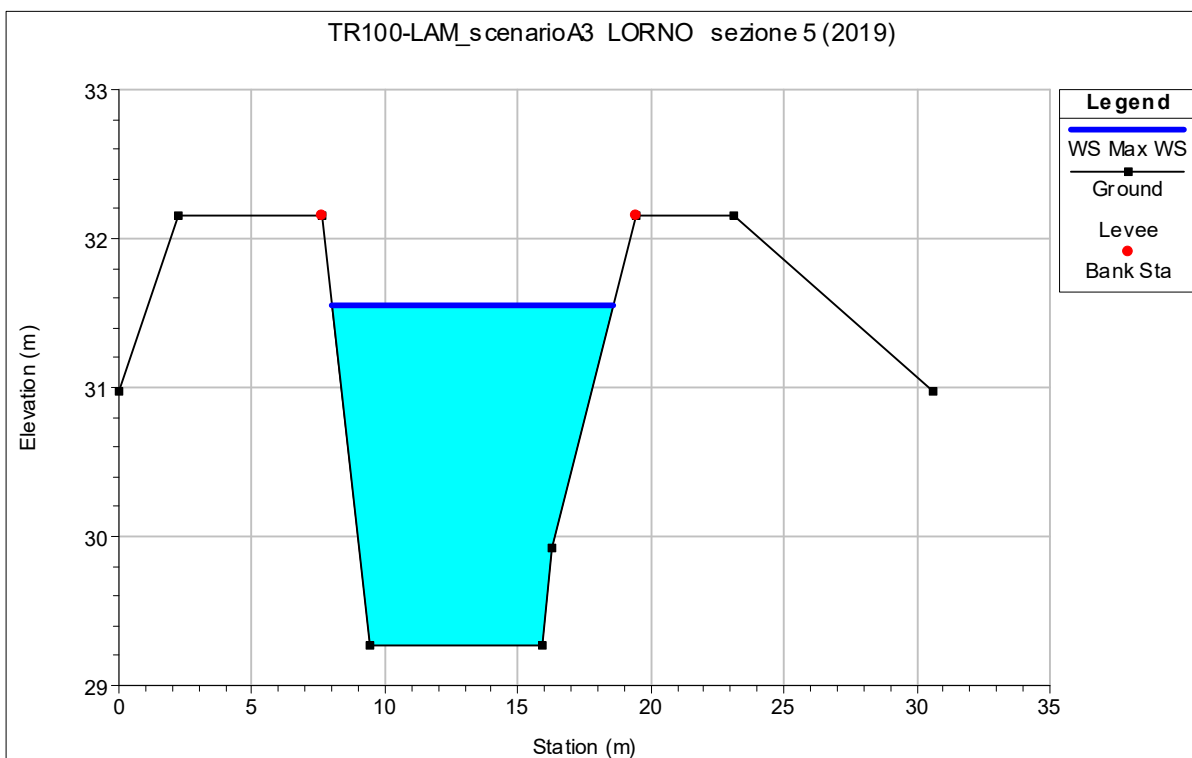


Figura 264 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

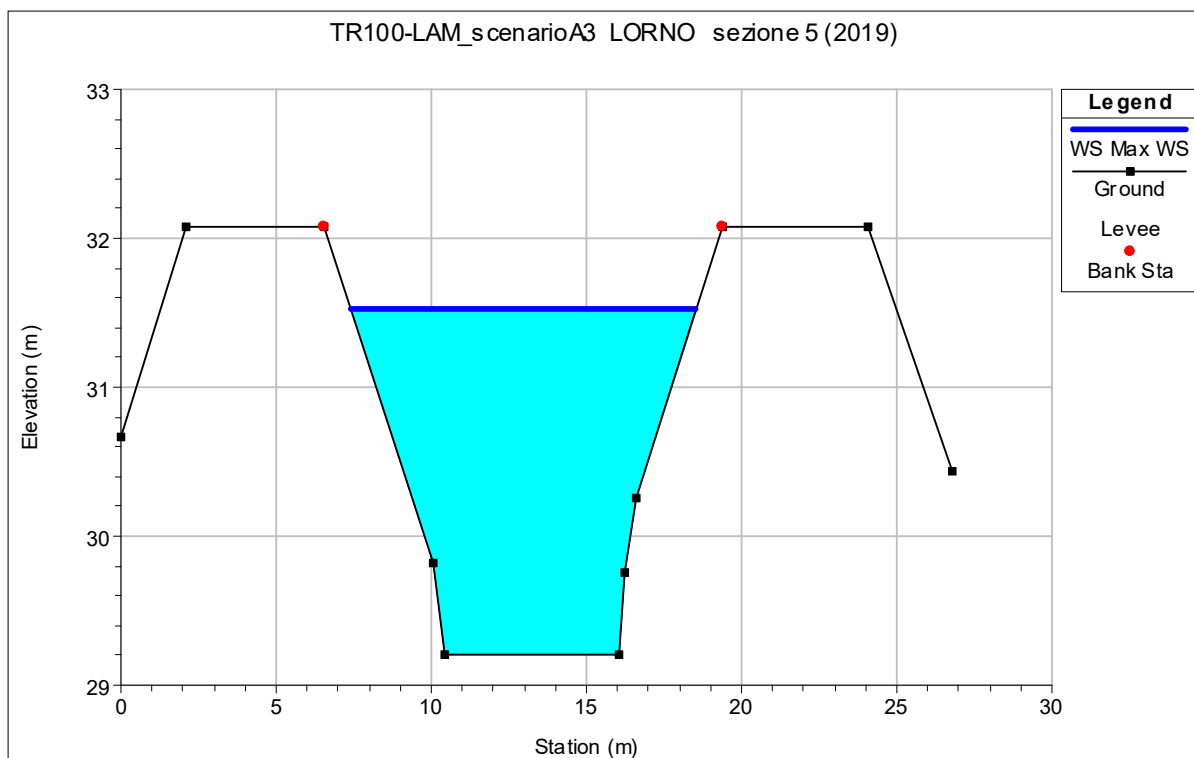


Figura 265 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

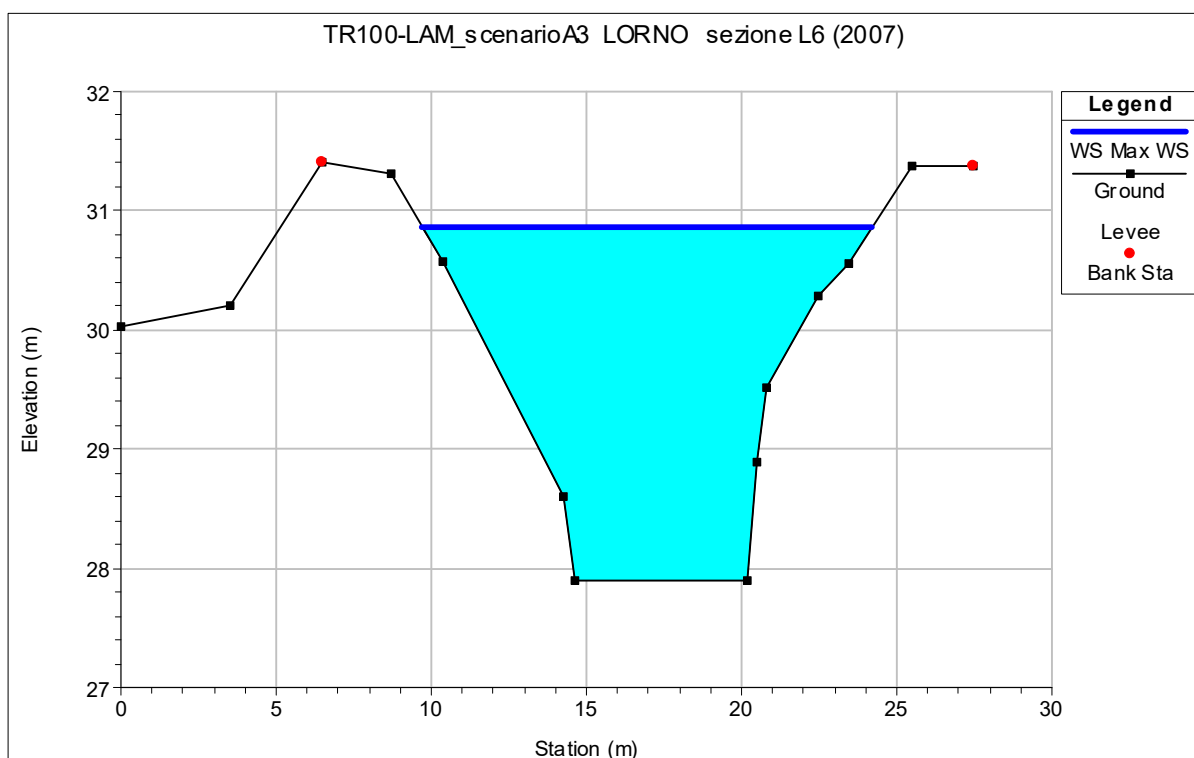


Figura 266 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

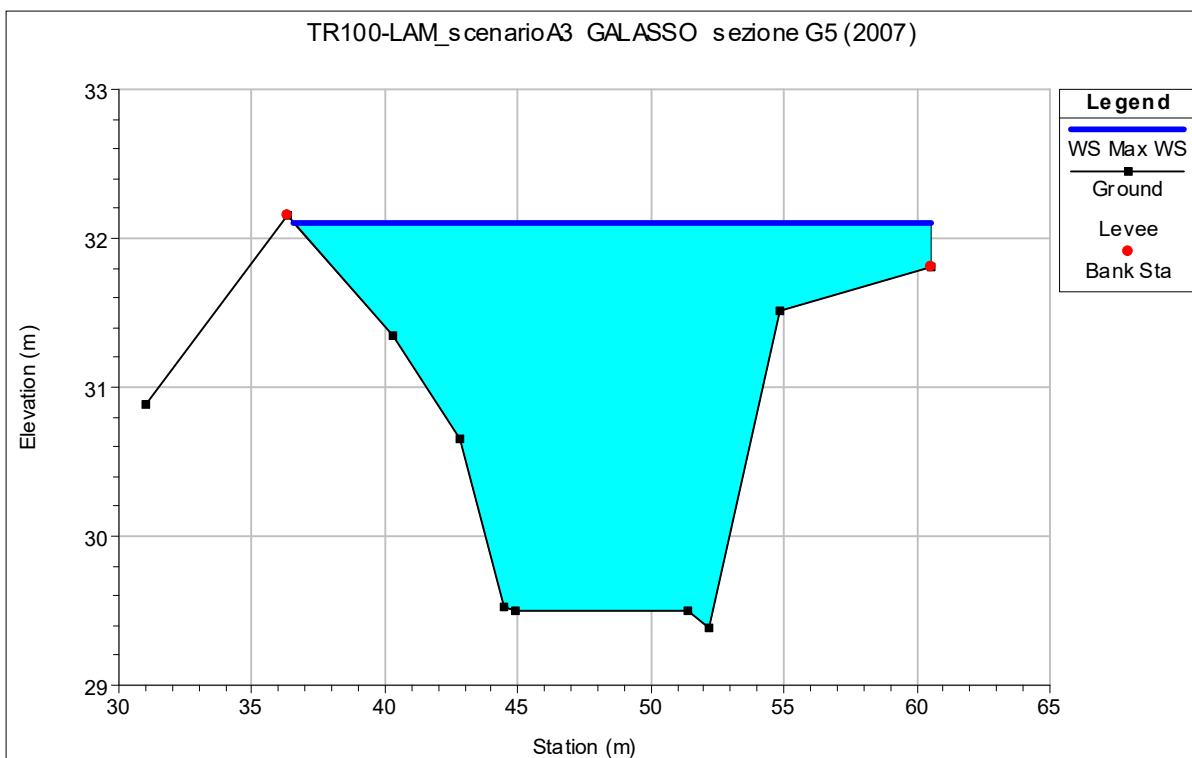


Figura 267 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

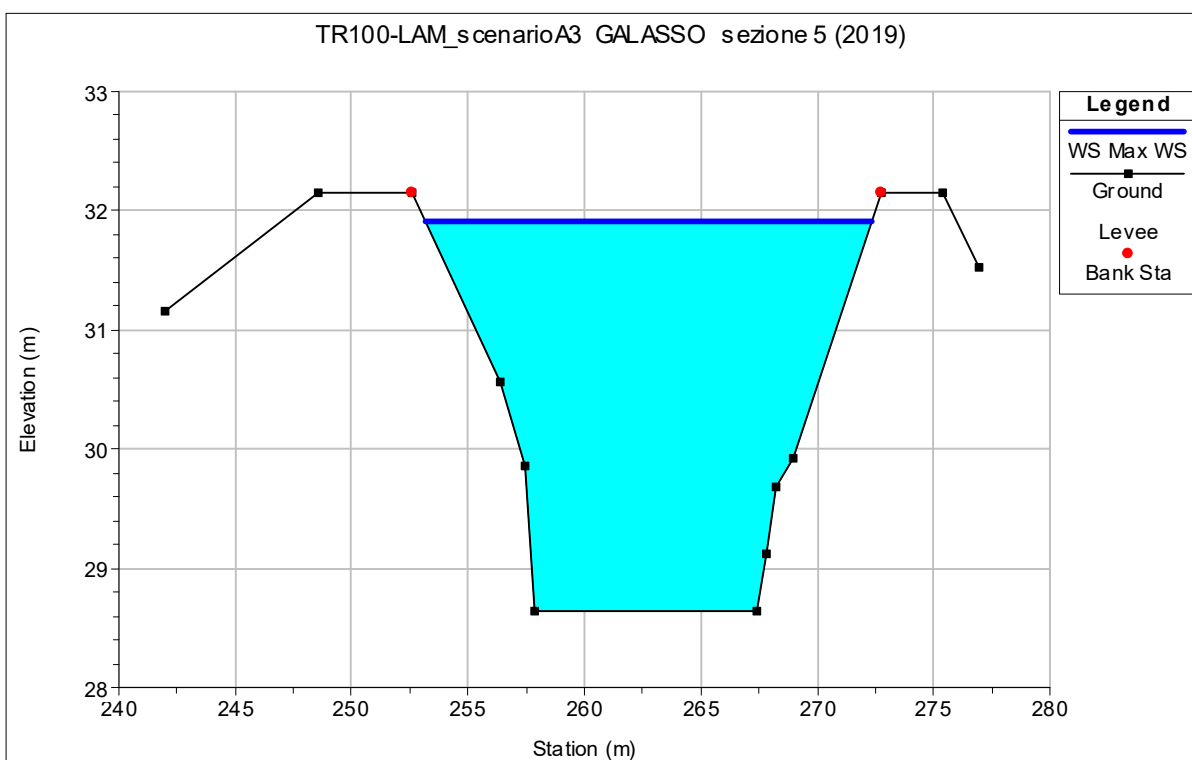


Figura 268 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

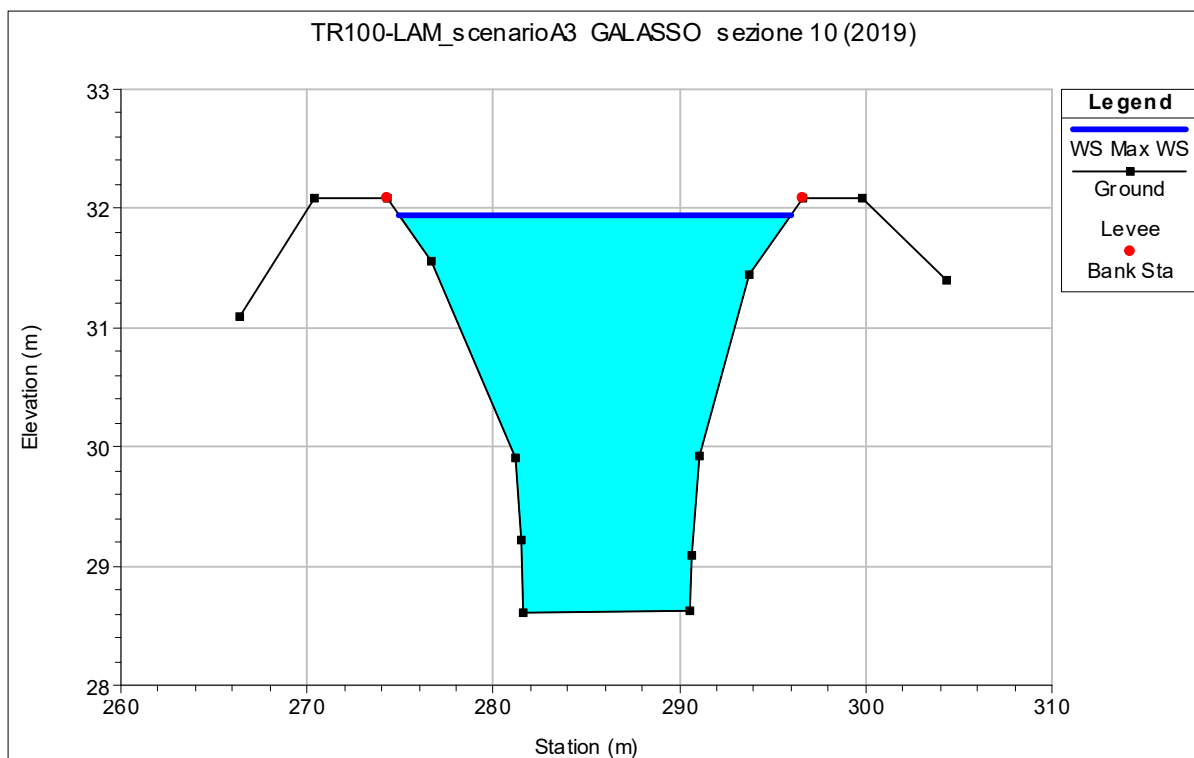


Figura 269 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

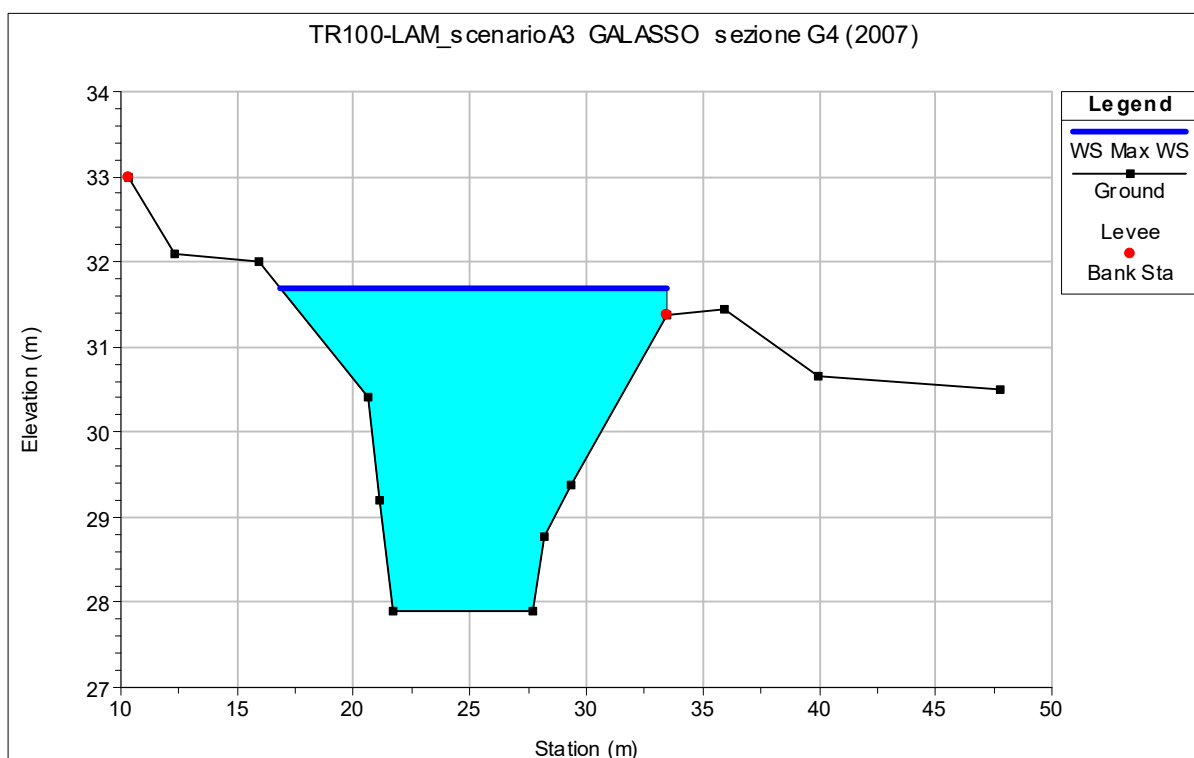


Figura 270 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 6 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 2.90 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 16 m³/s.

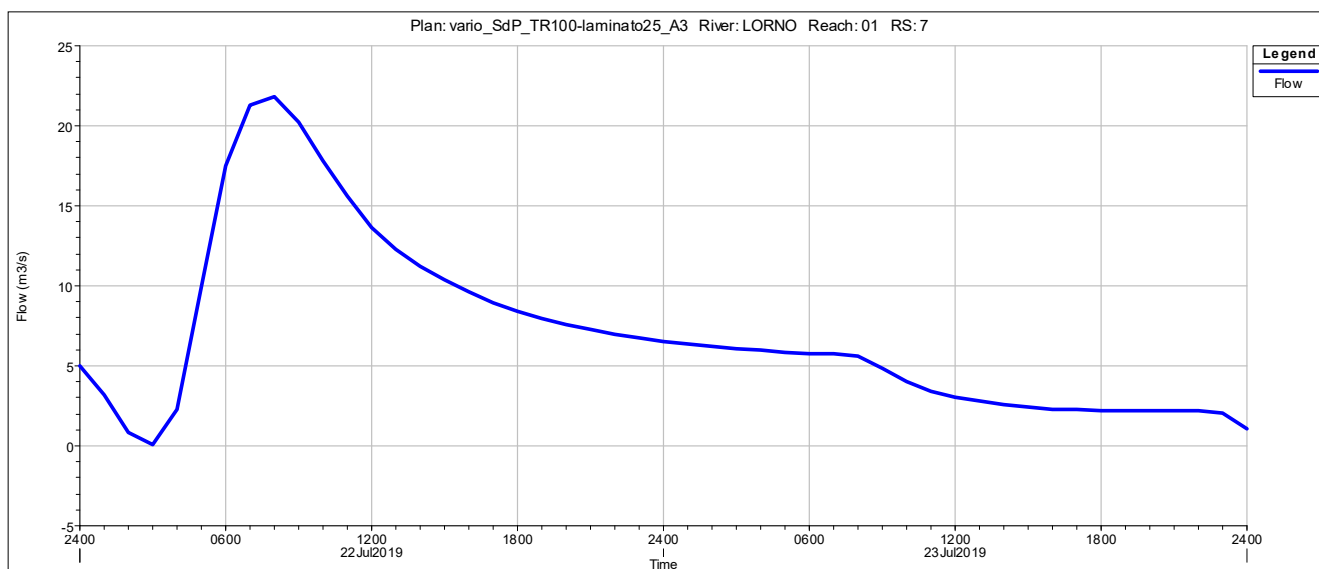


Figura 271 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

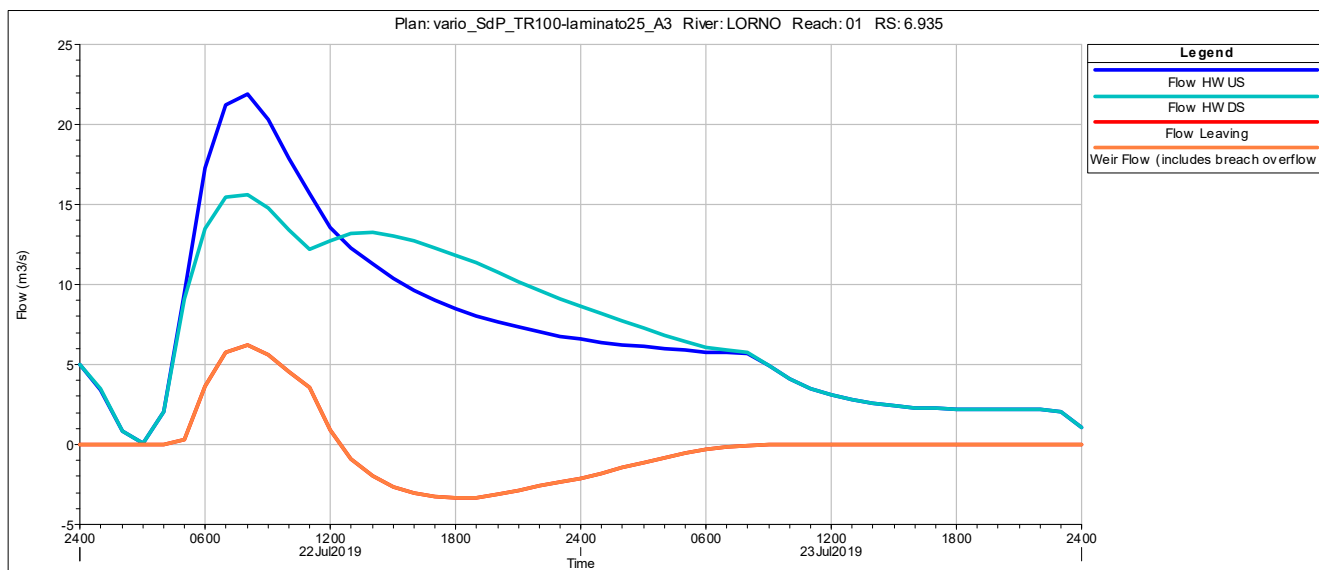


Figura 272 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

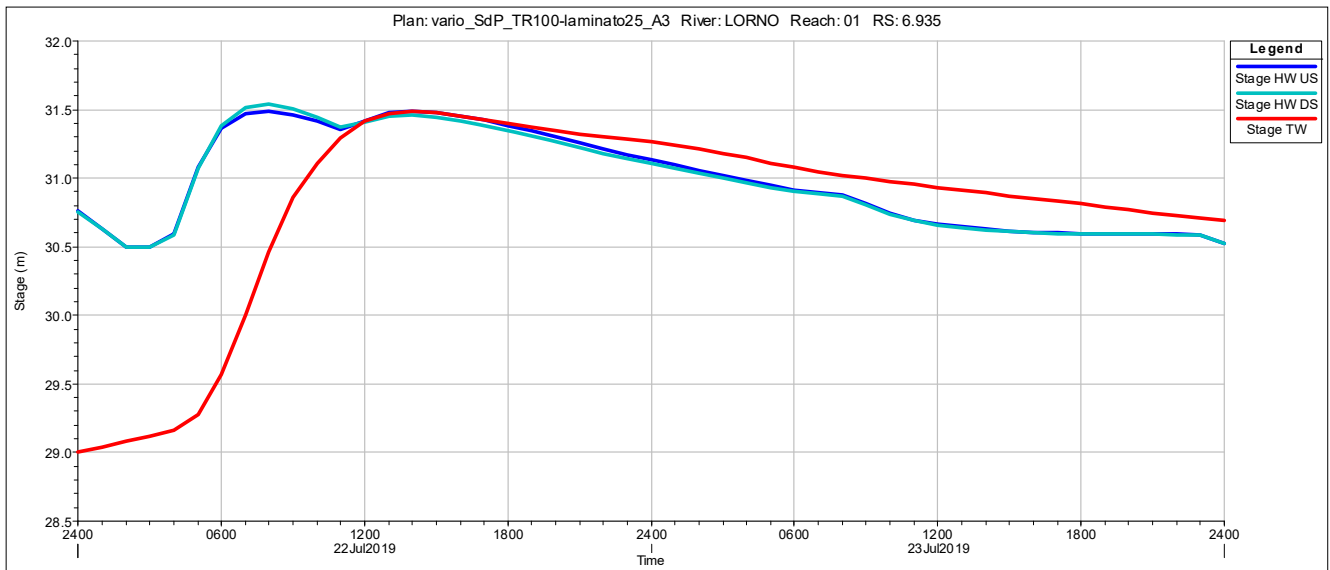


Figura 273 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

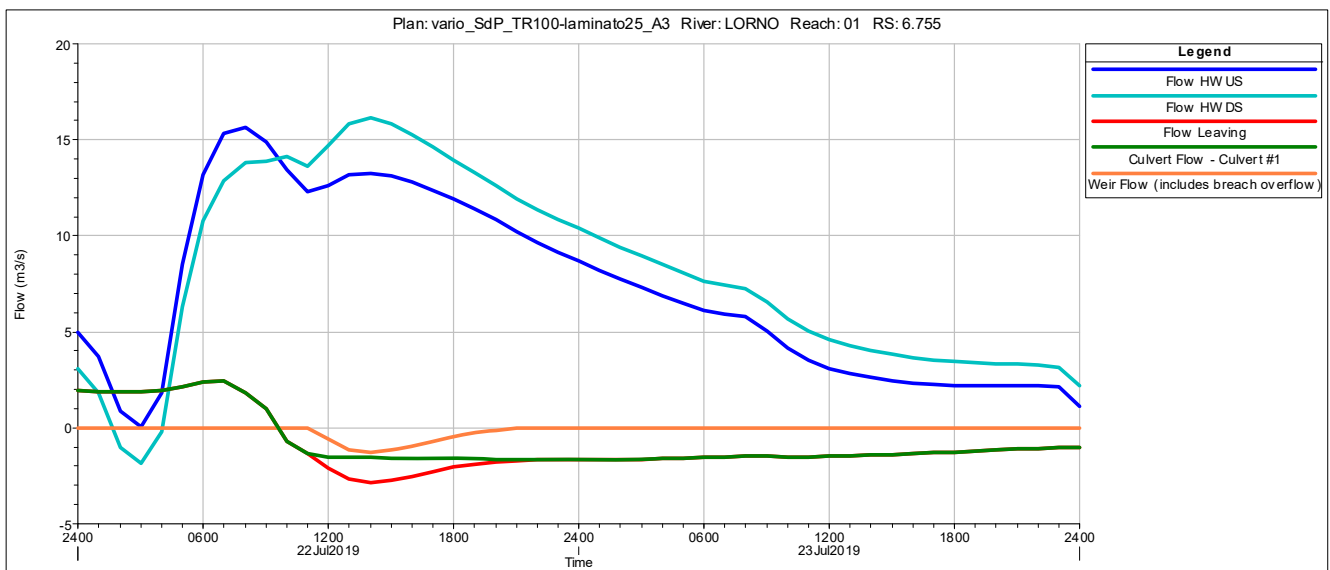


Figura 274 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

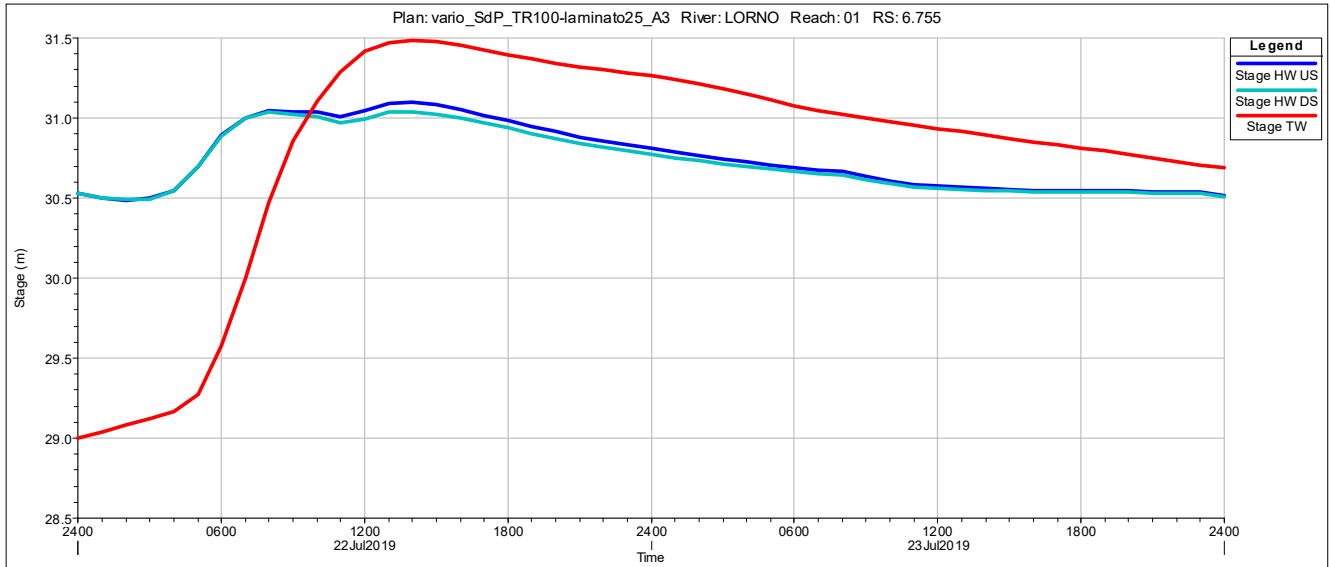


Figura 275 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

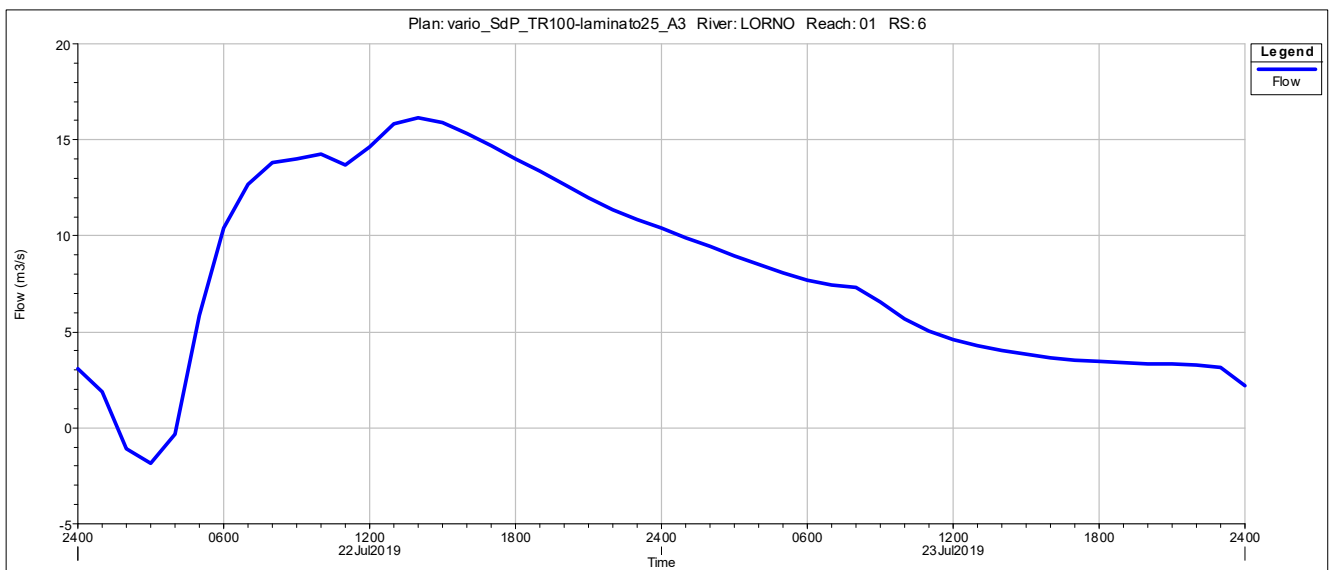


Figura 276 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

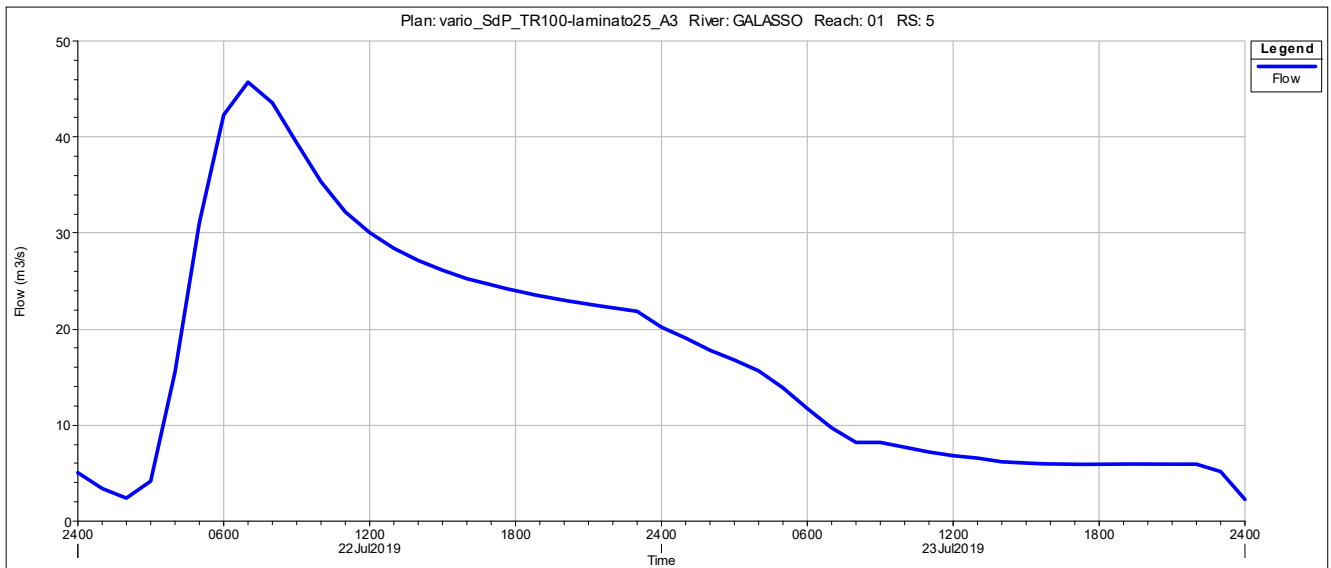


Figura 277 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

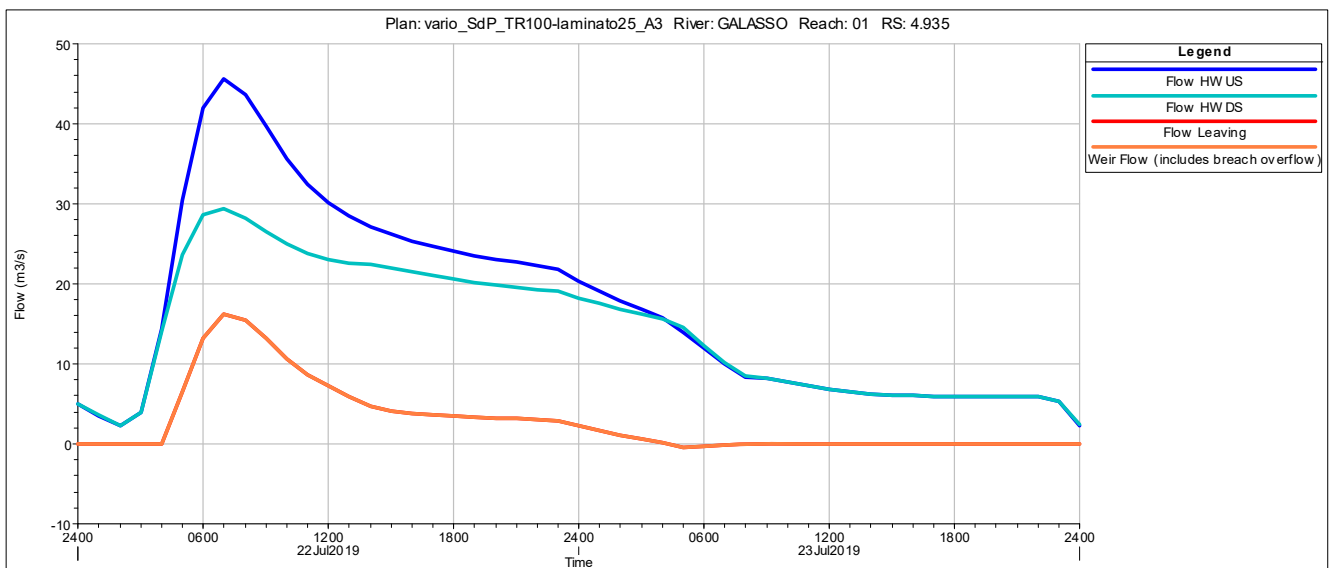


Figura 278 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

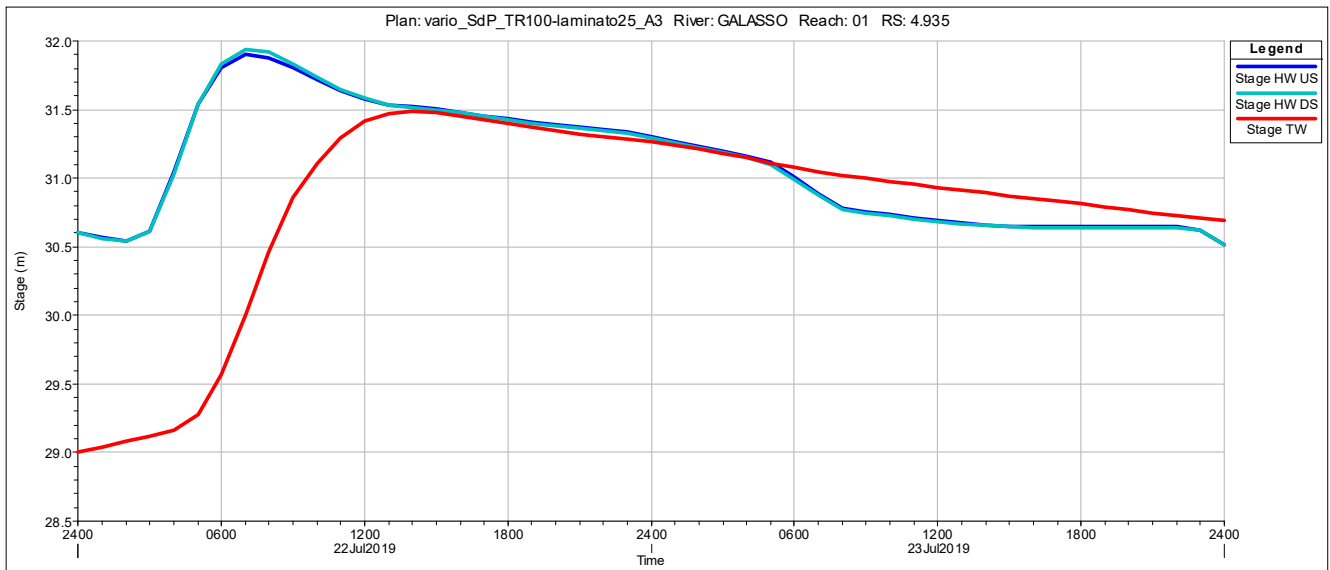


Figura 279 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

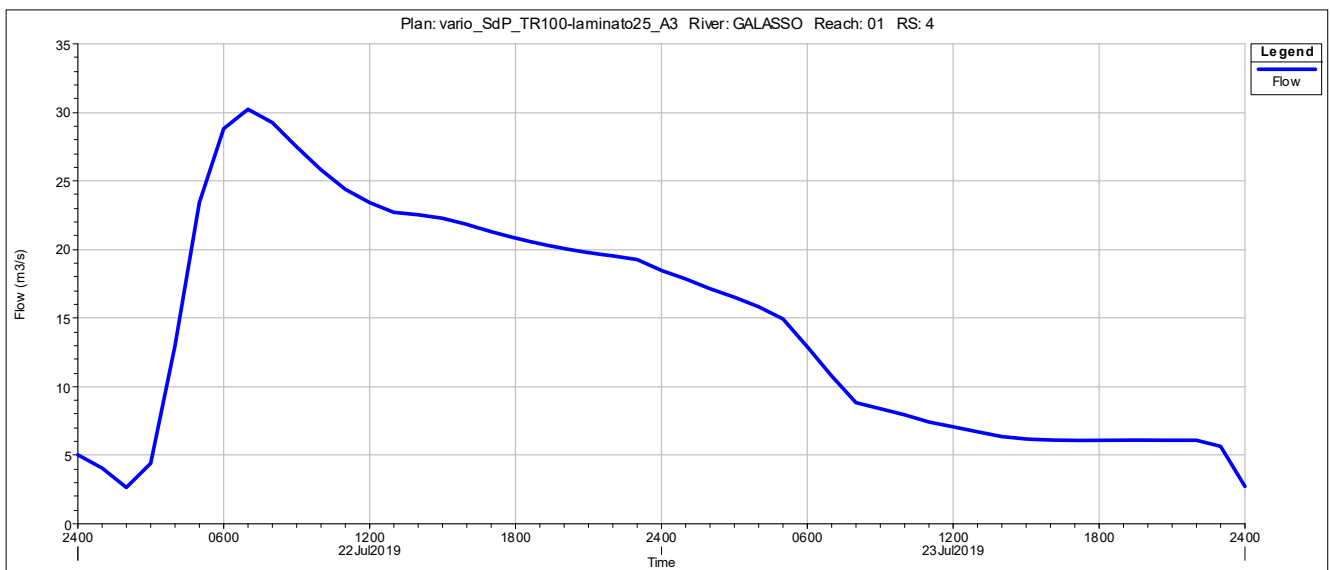


Figura 280 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

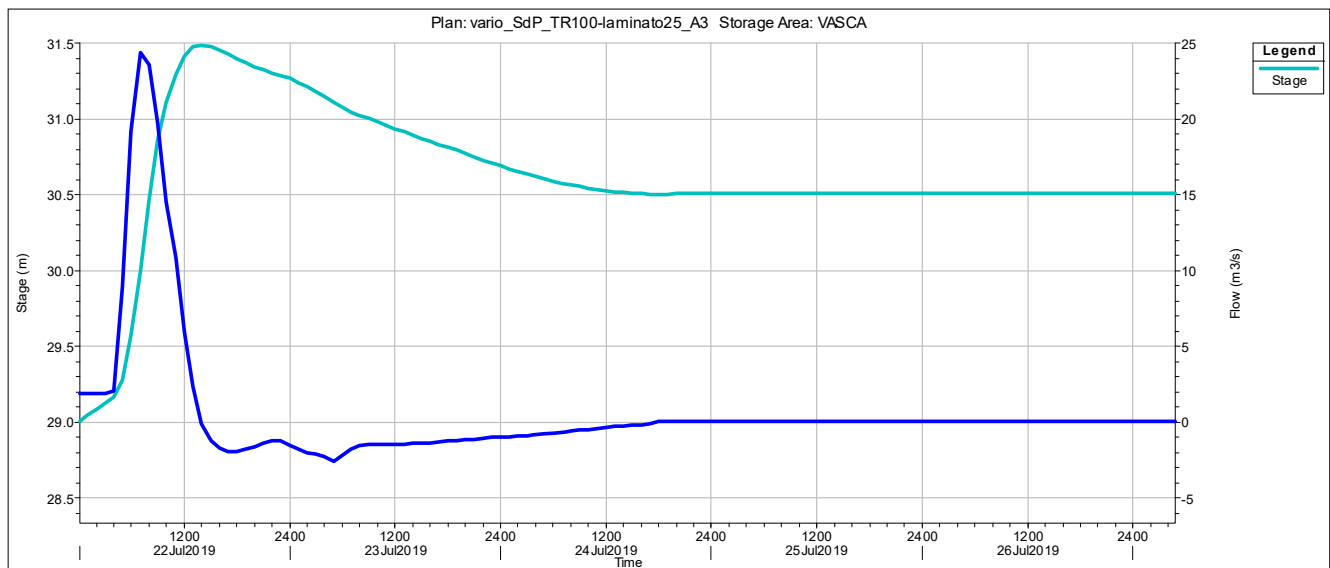


Figura 281 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 100-LAM nello scenario A3 nello stato di progetto:

TR 100-LAM_A3					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
510	31.50	3	6.00	16.00	2.90

Tabella 16 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario A3 per TR100-LAM.

4.7.9.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR100-LAM - A3)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 25 cm nella sezione di monte e di circa 23 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 51 cm nella sezione di monte e di circa 58 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1800 m per il canale Lorno e a circa 1600 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

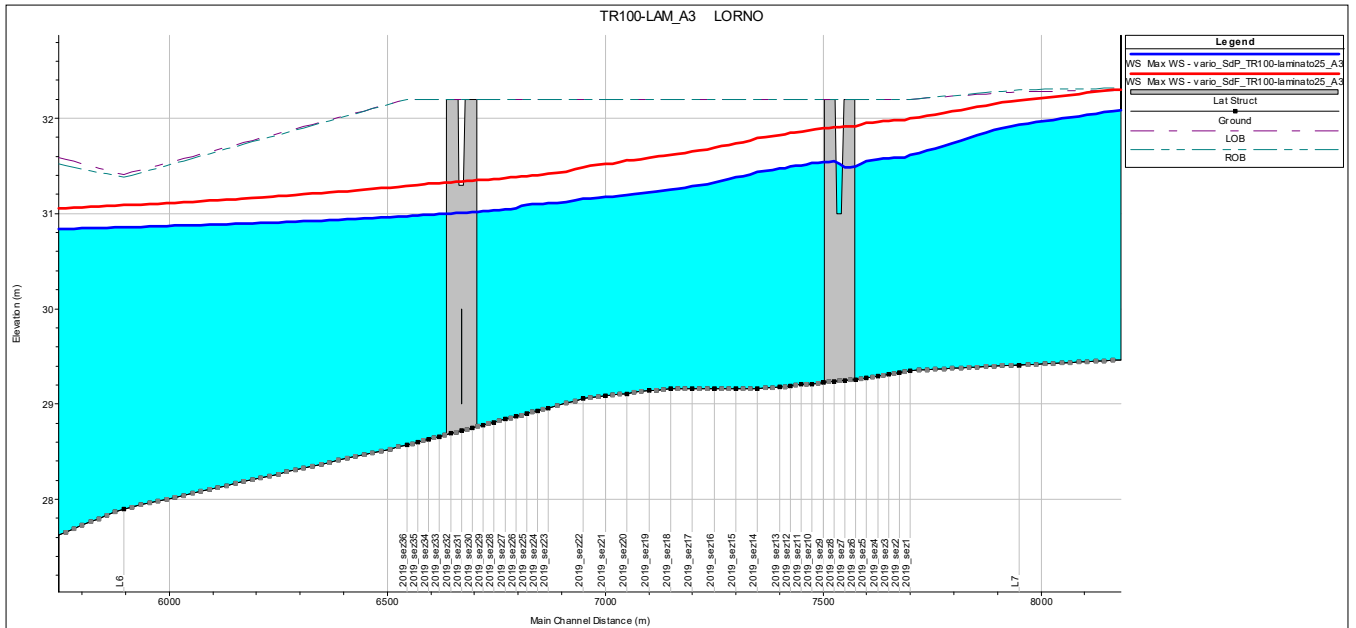


Figura 282 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

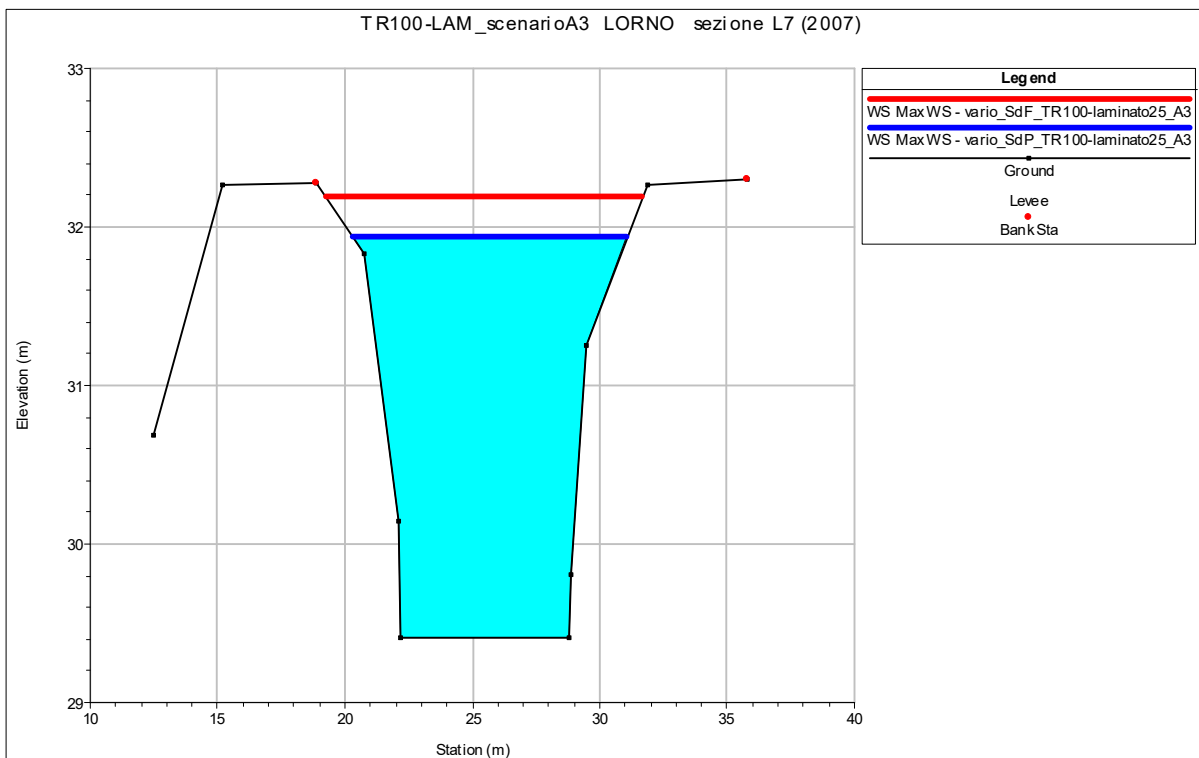


Figura 283 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

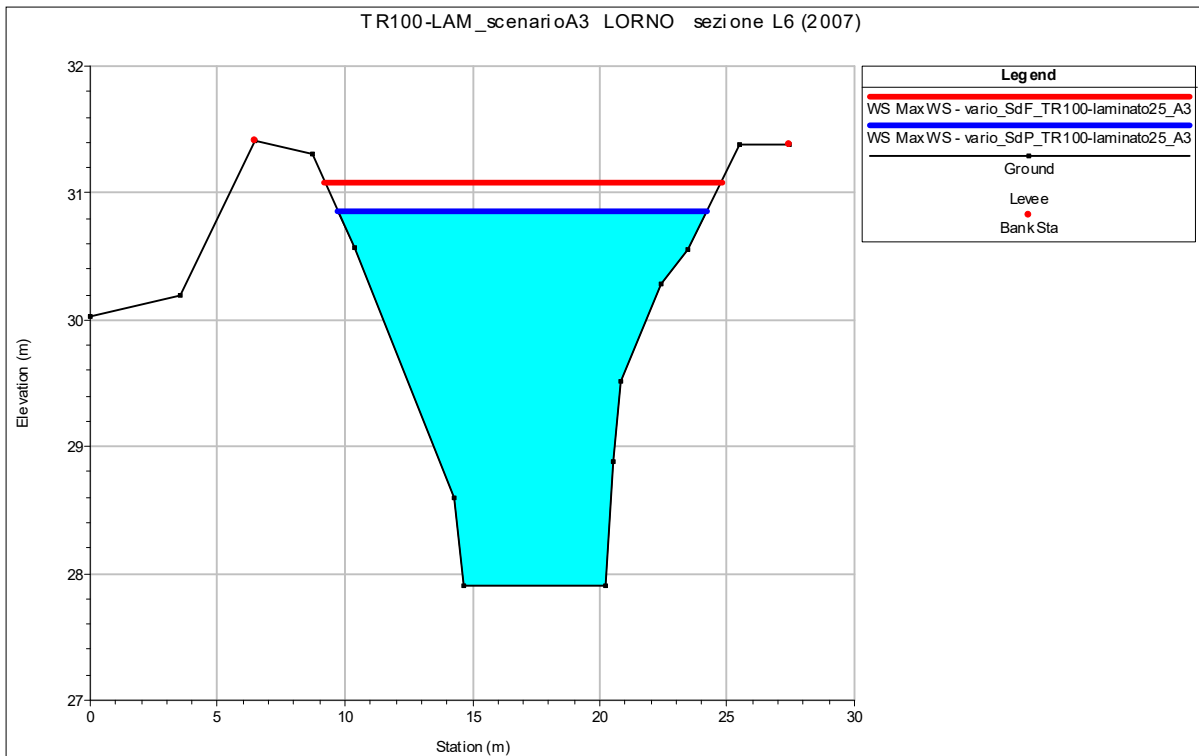


Figura 284 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

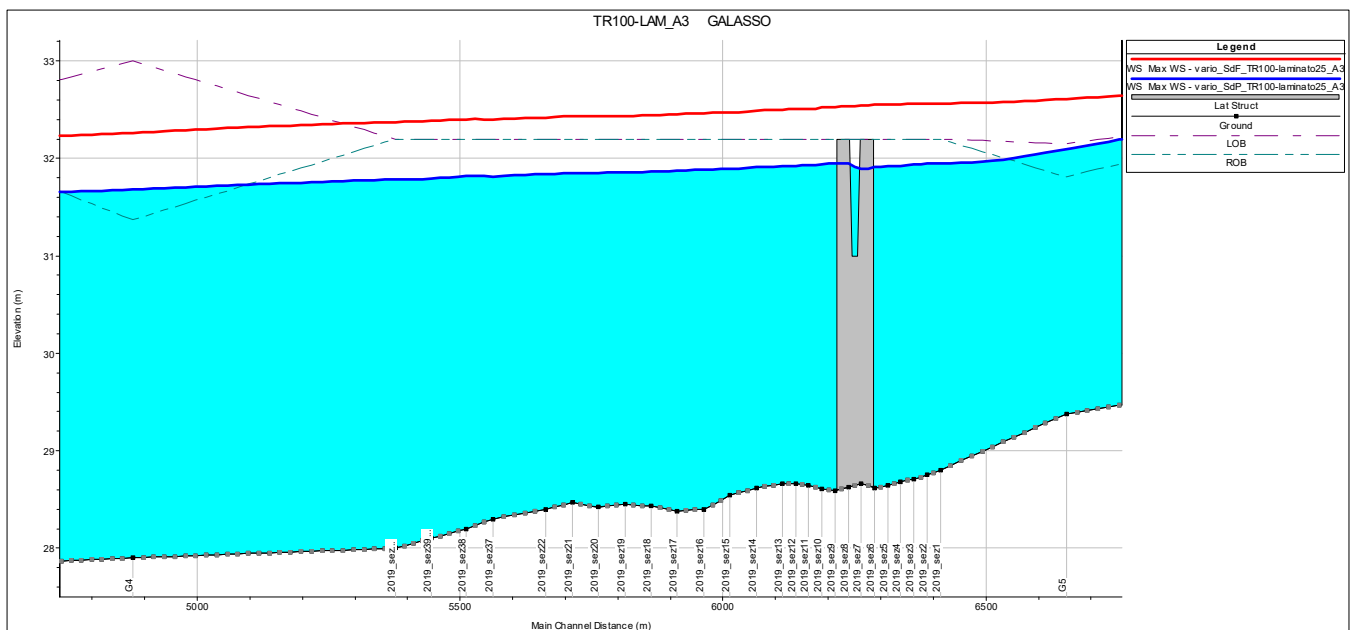


Figura 285 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

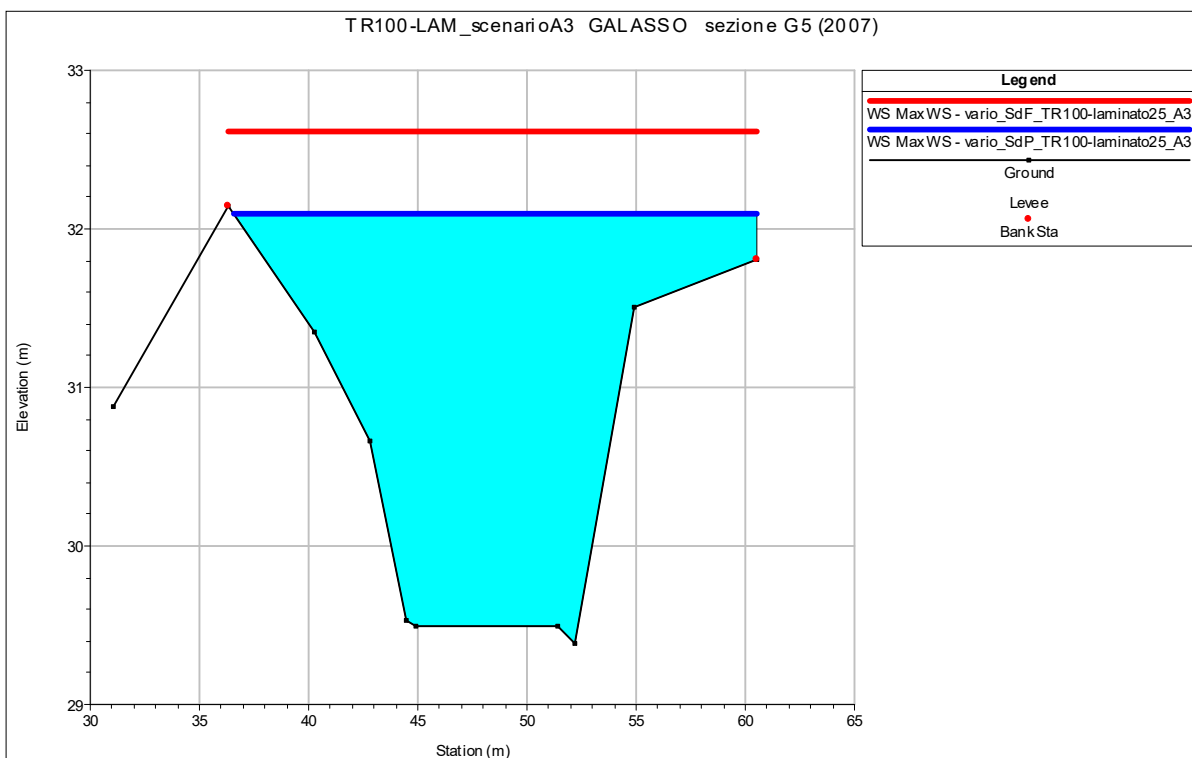


Figura 286 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

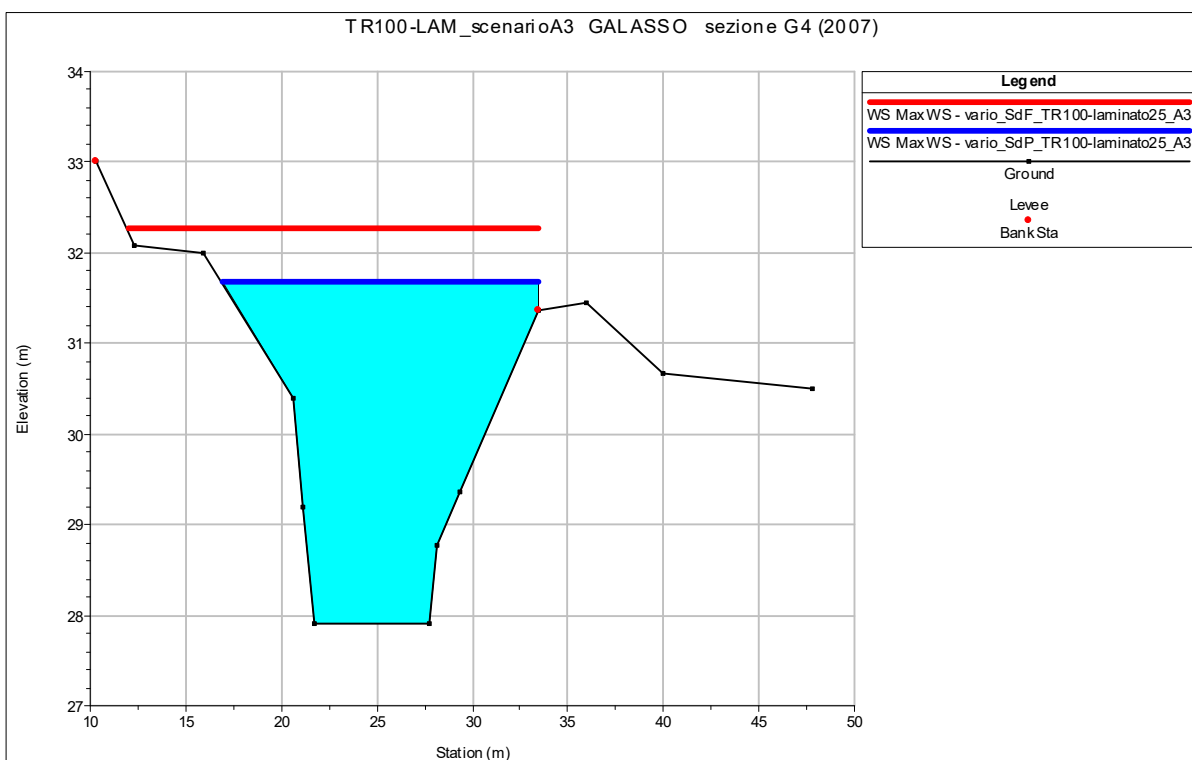


Figura 287 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.10 TR100 LAM CONFIGURAZIONE B: SCENARIO B1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario B1 e per il TR100-LAM. La configurazione B prevede la totale chiusura delle Porte Vinciane e l'apertura completa della chiavica Motta. Lo scenario B1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.00 m s.l.m. e come condizione al contorno di valle nella sezione di chiusura del canale Vai e Vieni un'altezza di moto uniforme con pendenza del fondo dello 0.15%. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. L'unico superamento dei rilevati arginali a valle della cassa si ha in corrispondenza di una possibile corda molle (rilievo non aggiornato) in sponda destra della sezione G4 del canale Galasso. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molle (rilievo non aggiornato).

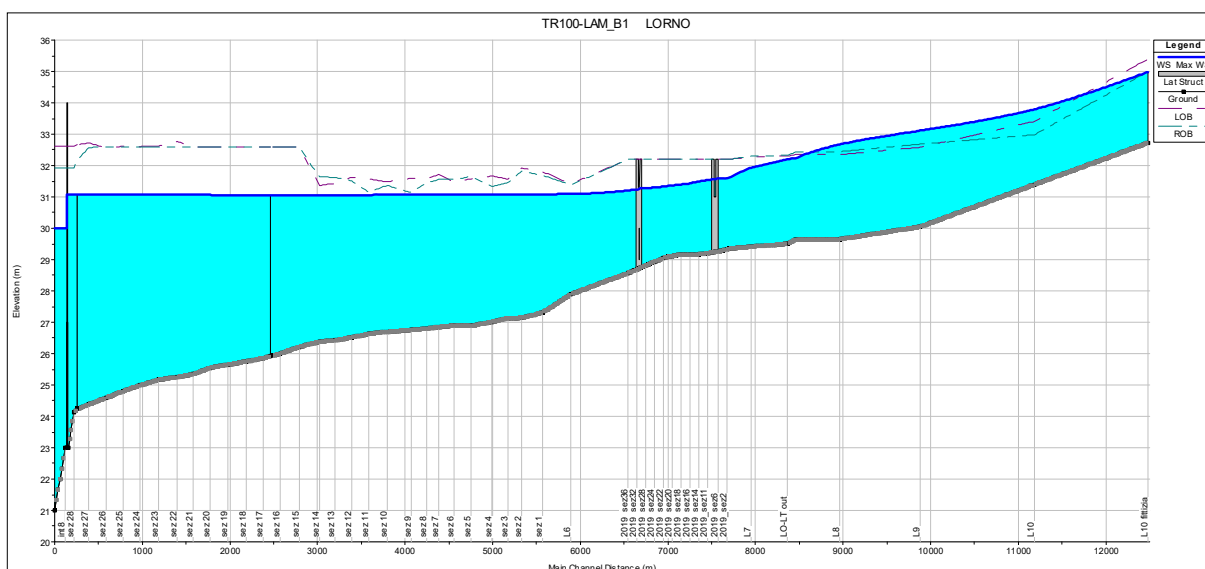


Figura 288 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

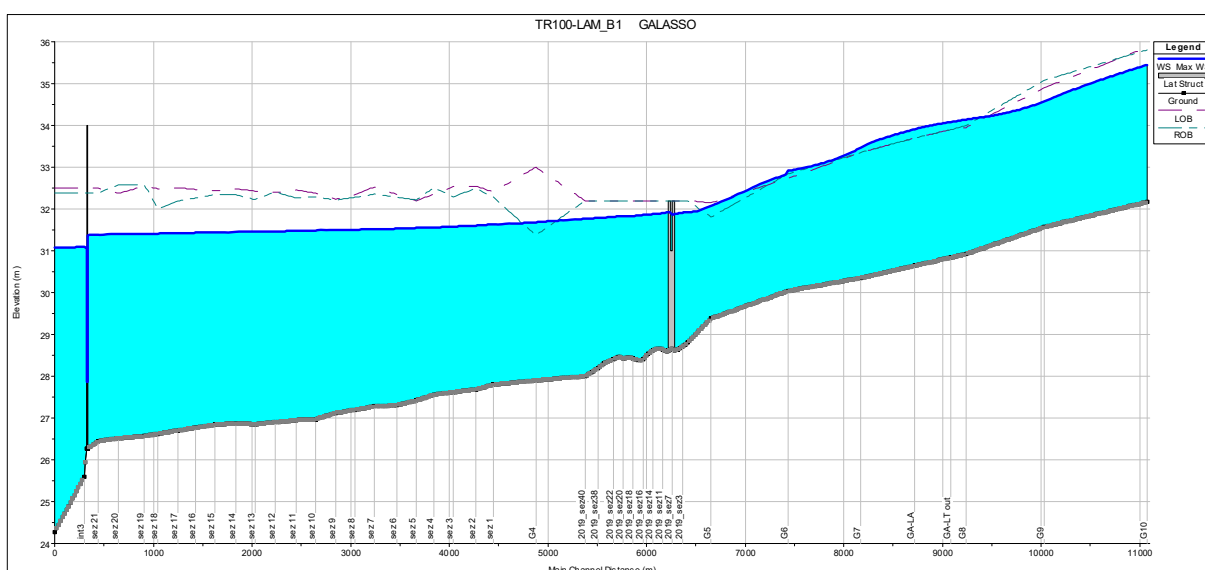


Figura 289 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

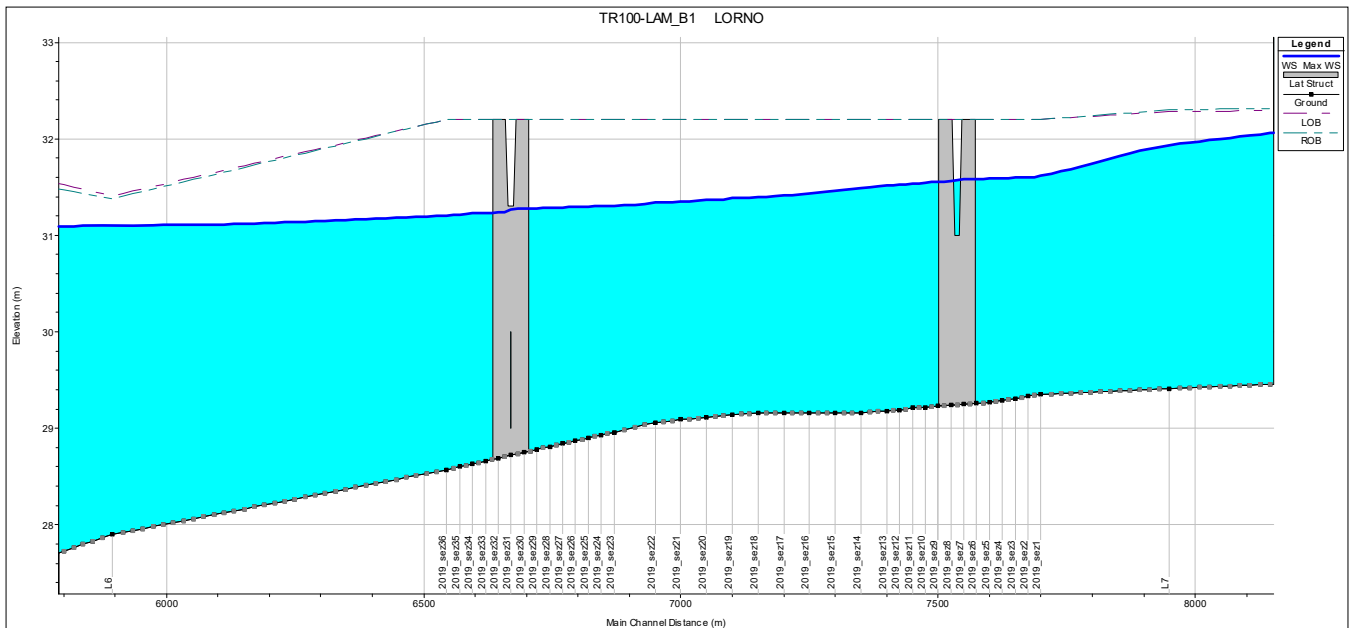


Figura 290 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

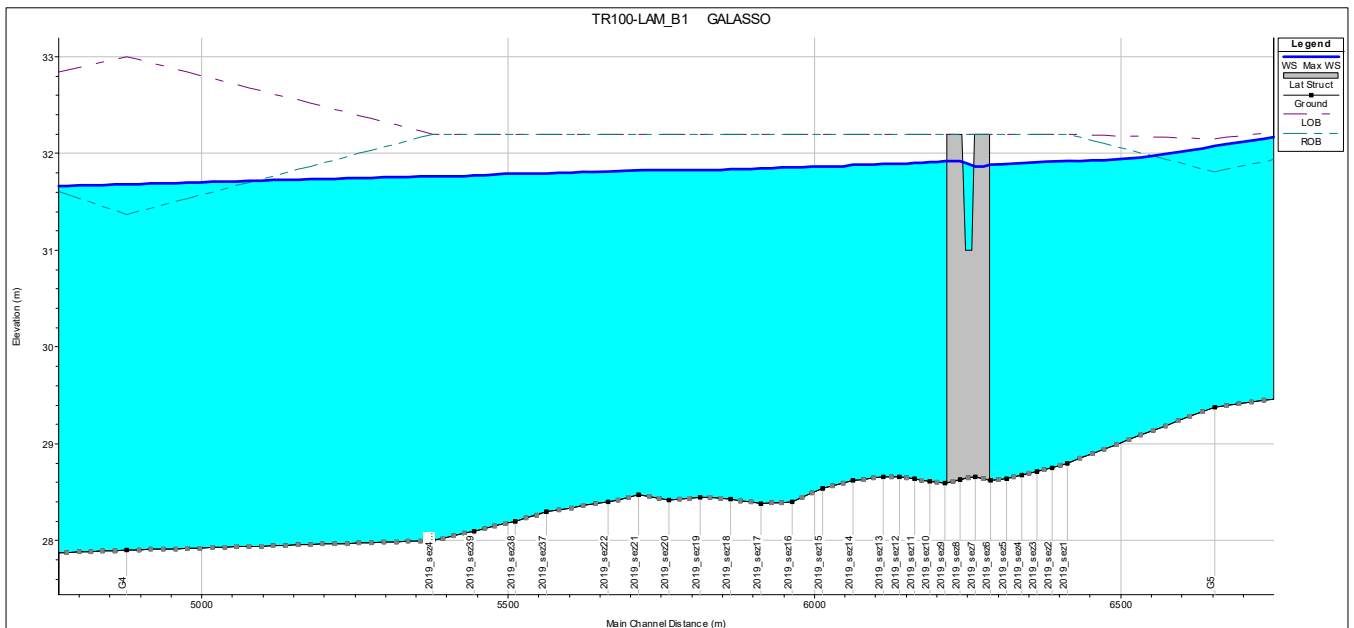


Figura 291 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso. Inoltre si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

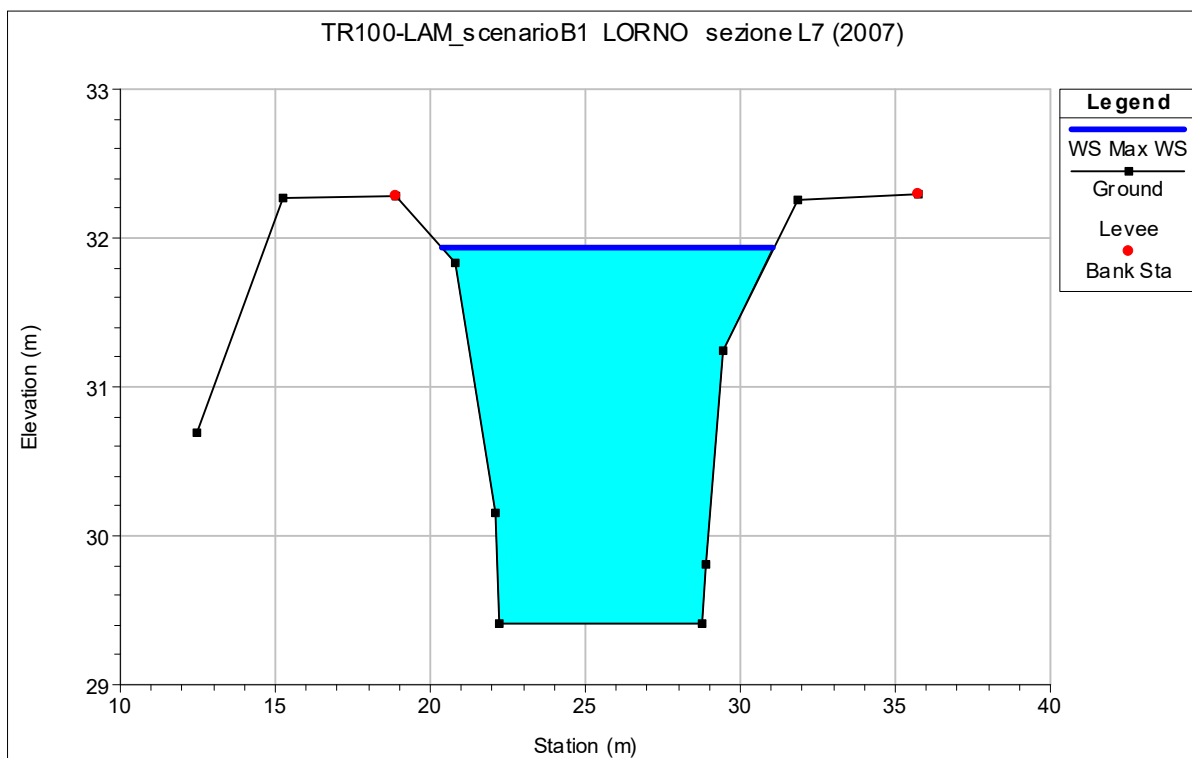


Figura 292 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

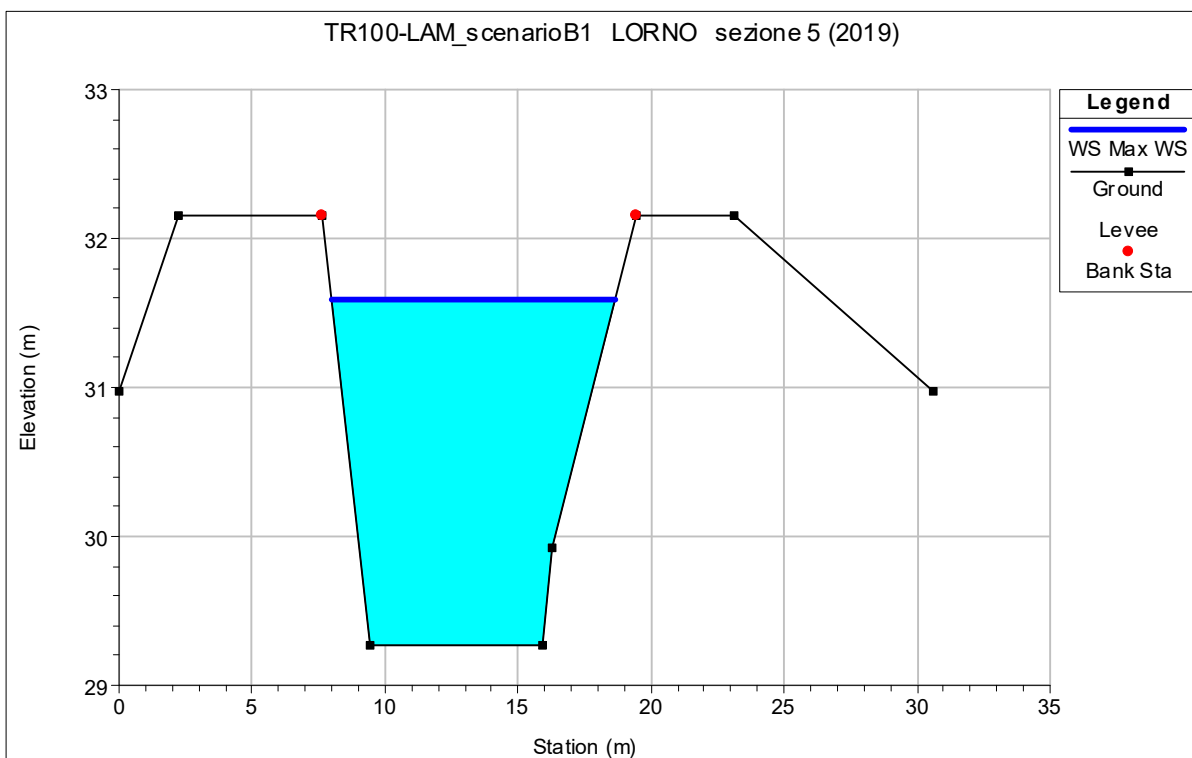


Figura 293 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

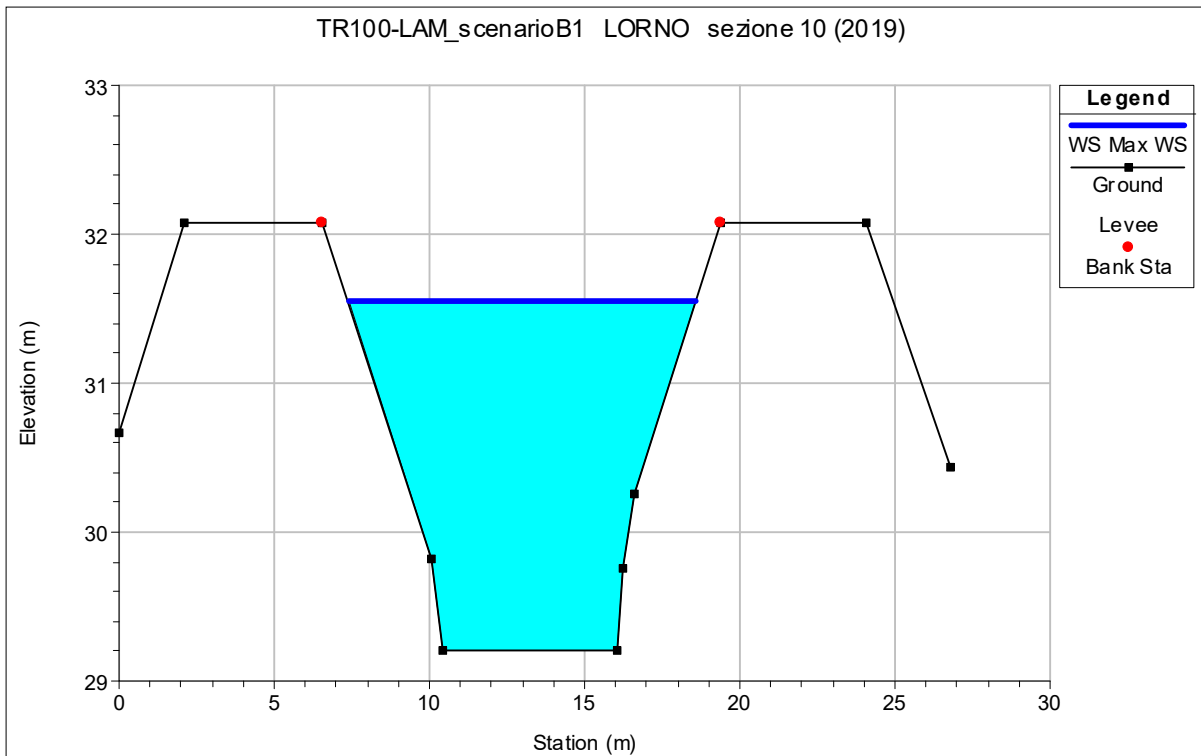


Figura 294 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

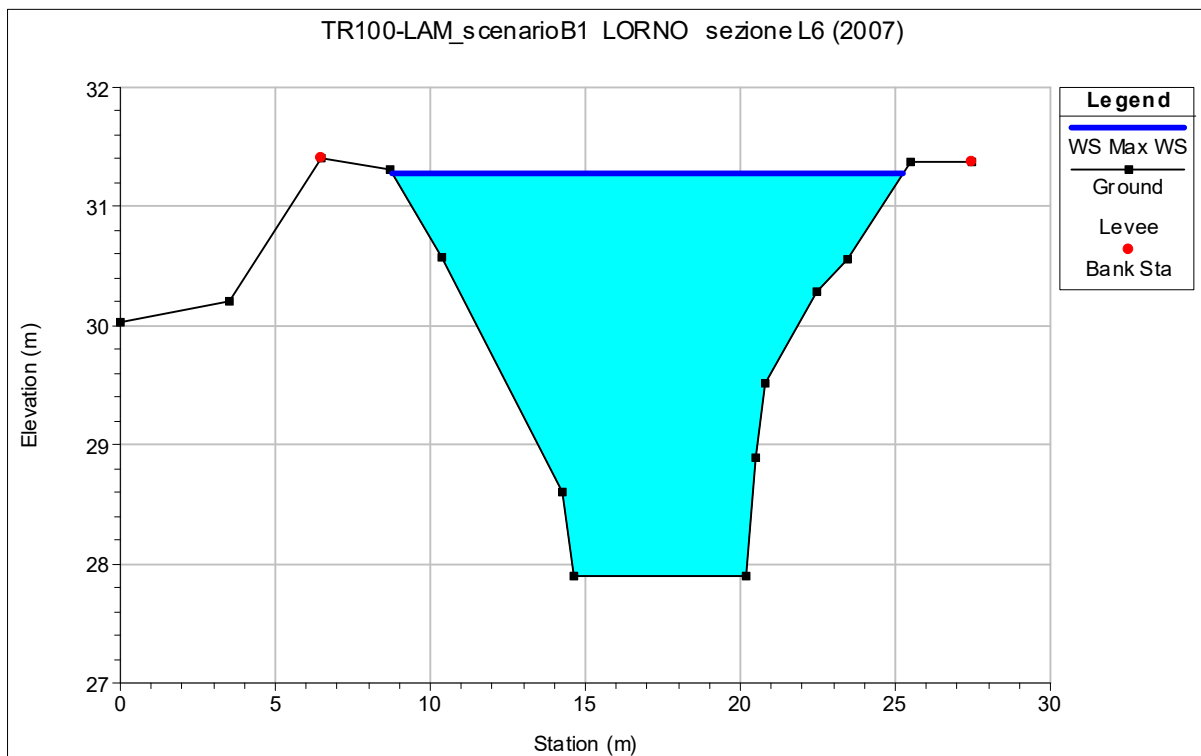


Figura 295 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

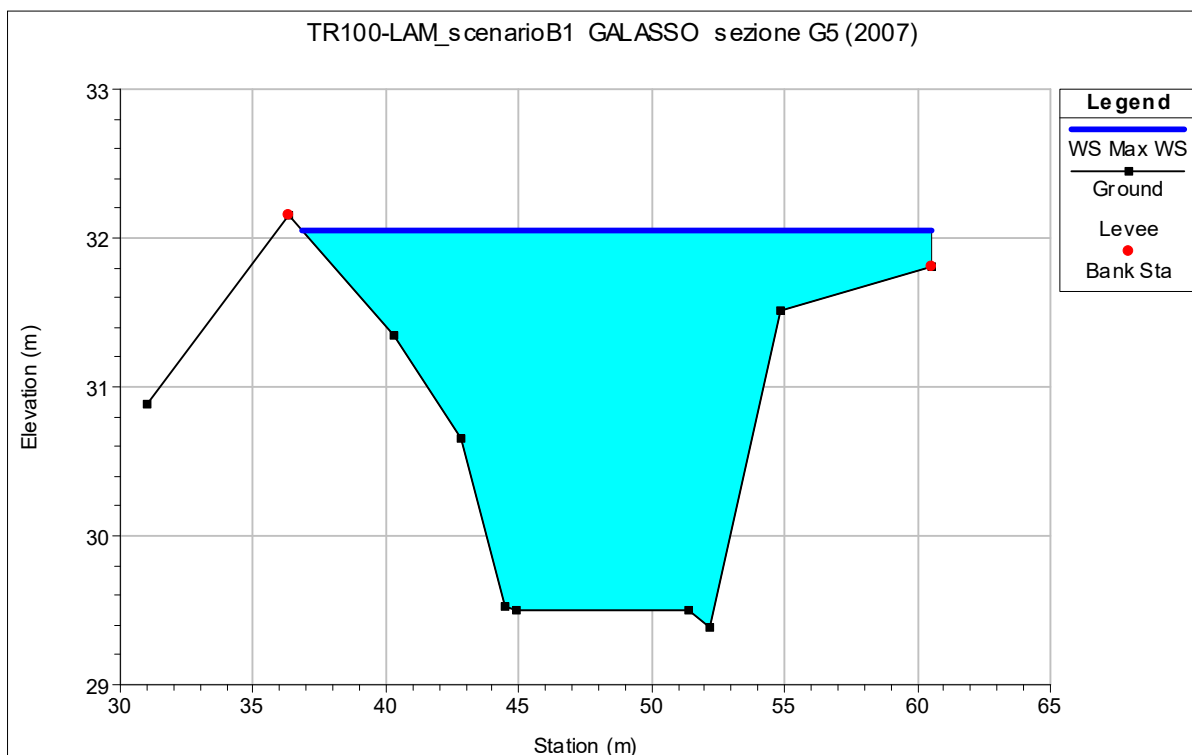


Figura 296 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

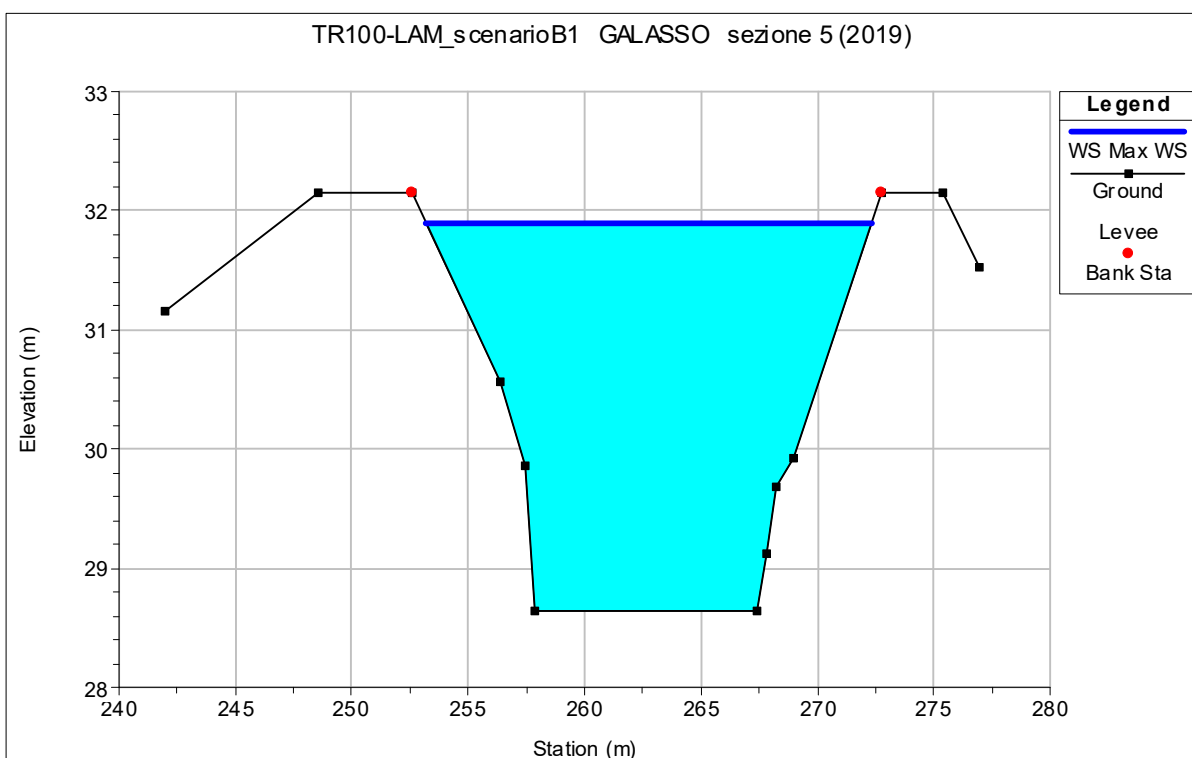


Figura 297 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

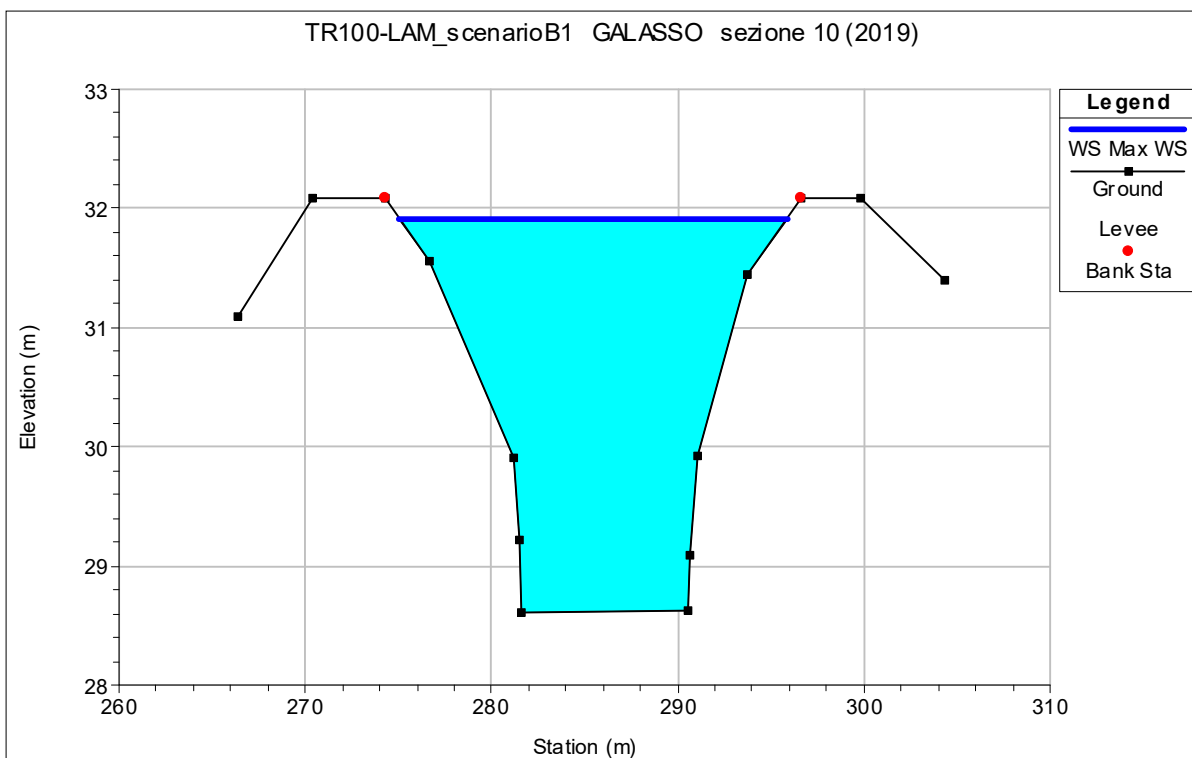


Figura 298 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

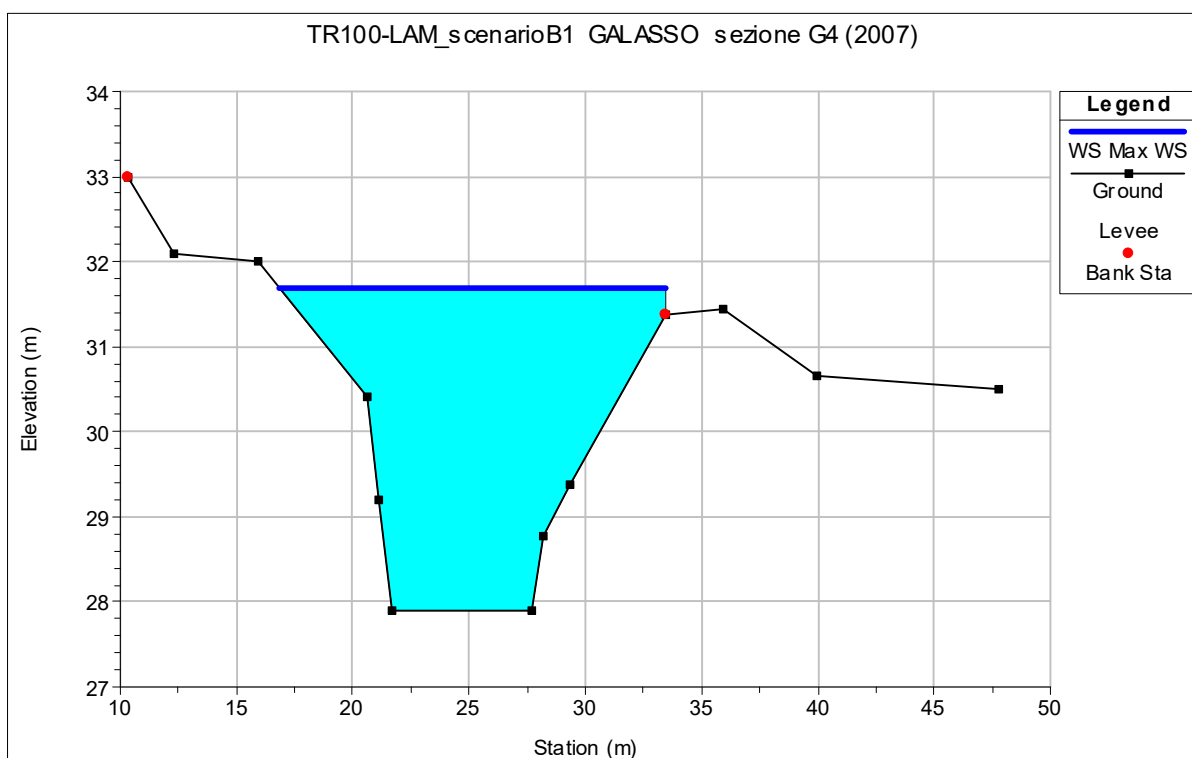


Figura 299 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 6 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 4 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 15 m³/s.

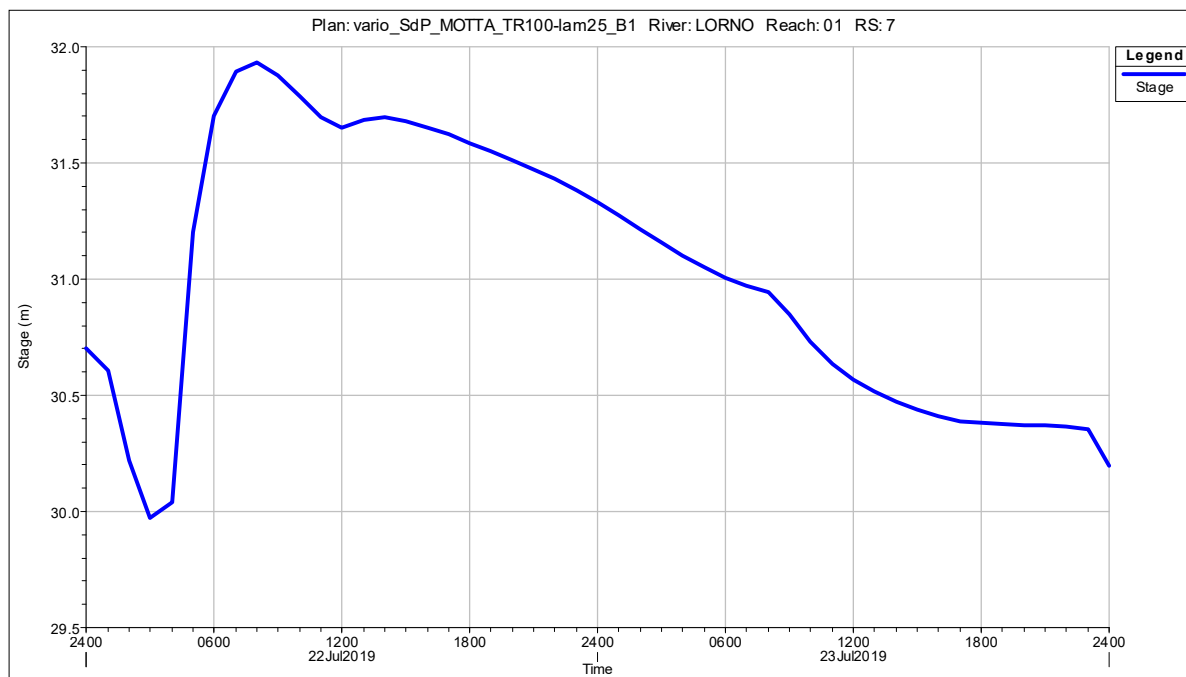


Figura 300 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

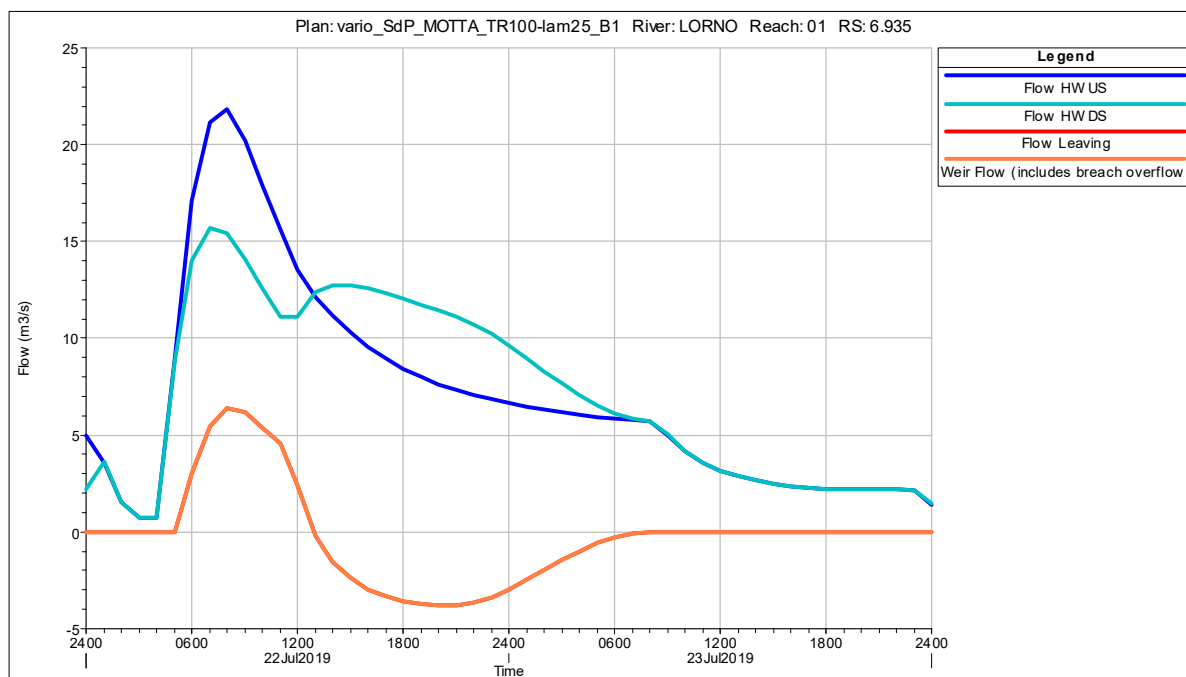


Figura 301 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

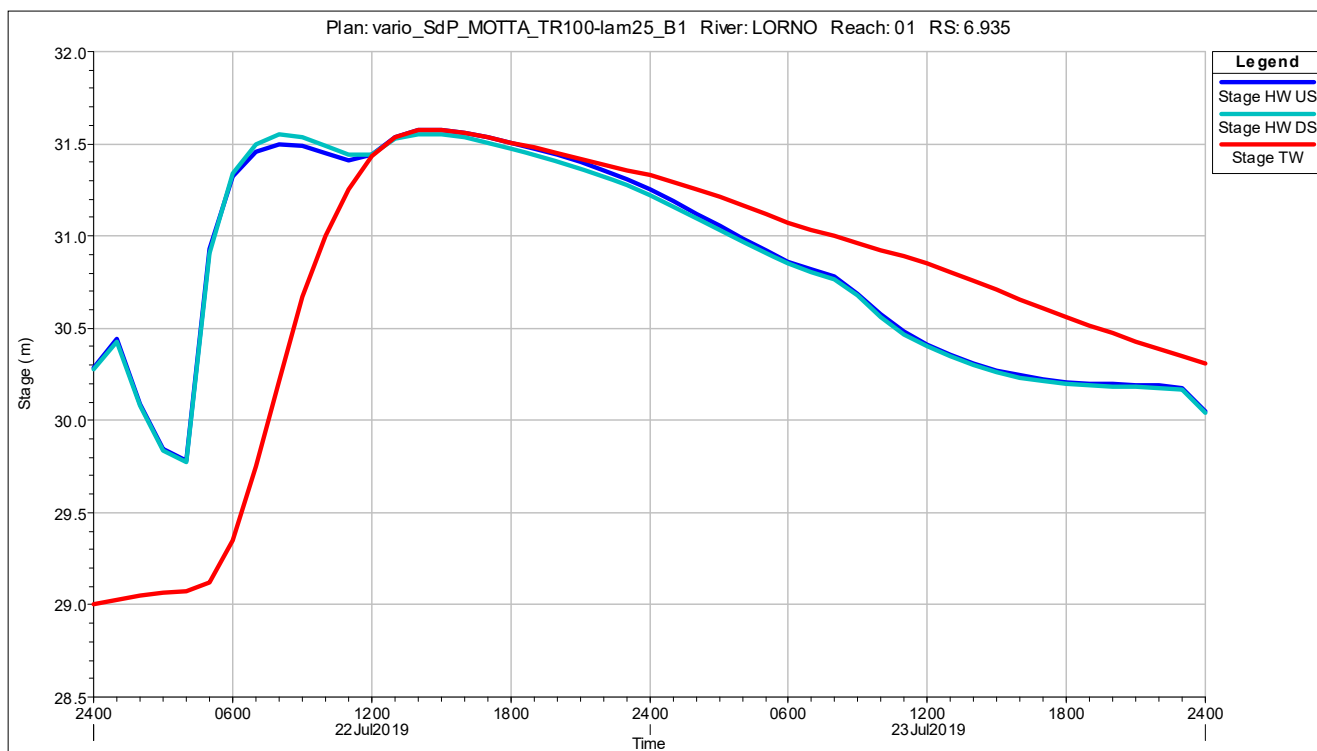


Figura 302 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

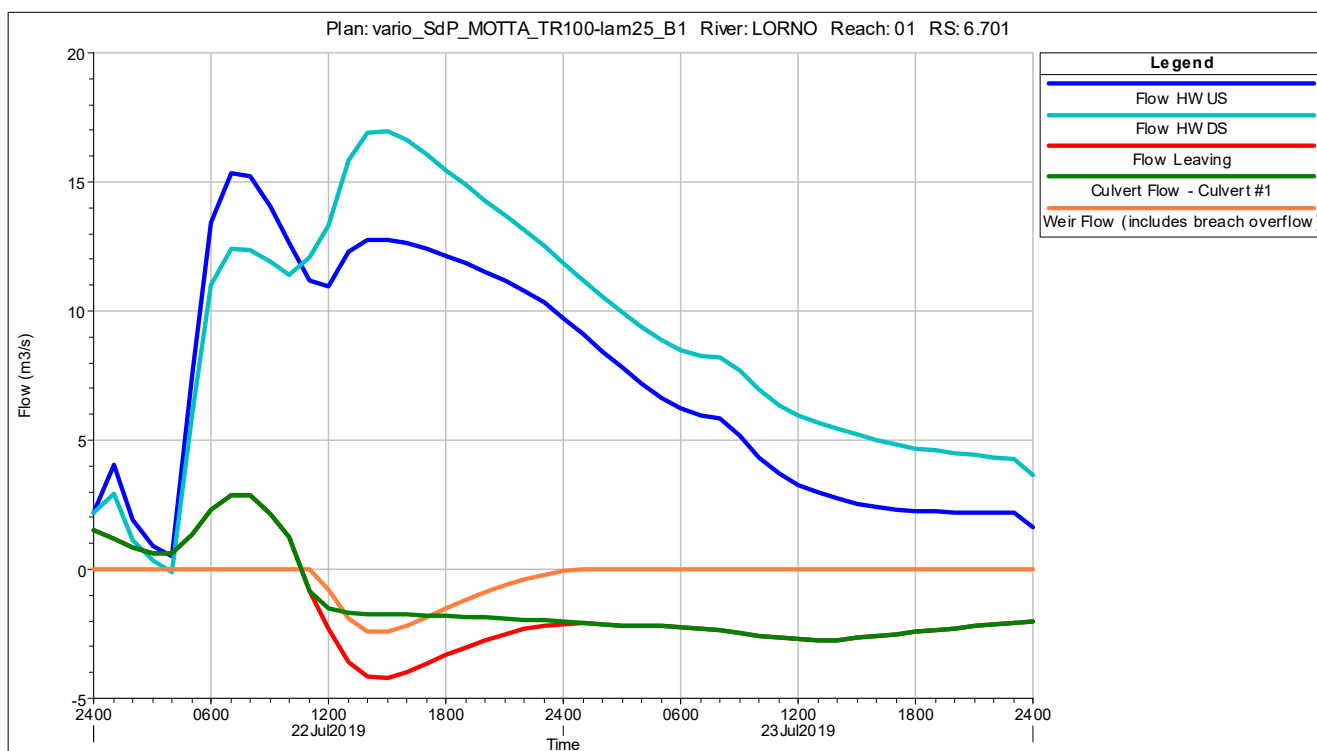


Figura 303 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

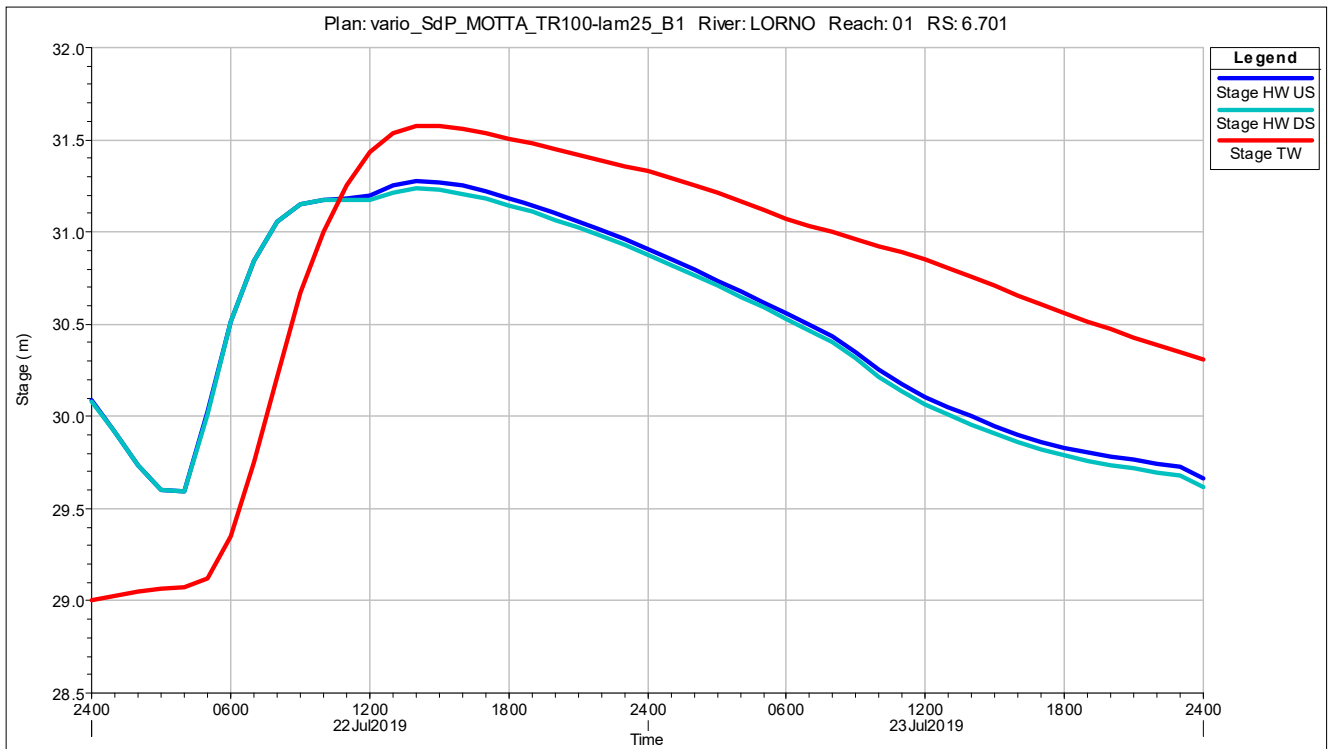


Figura 304 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

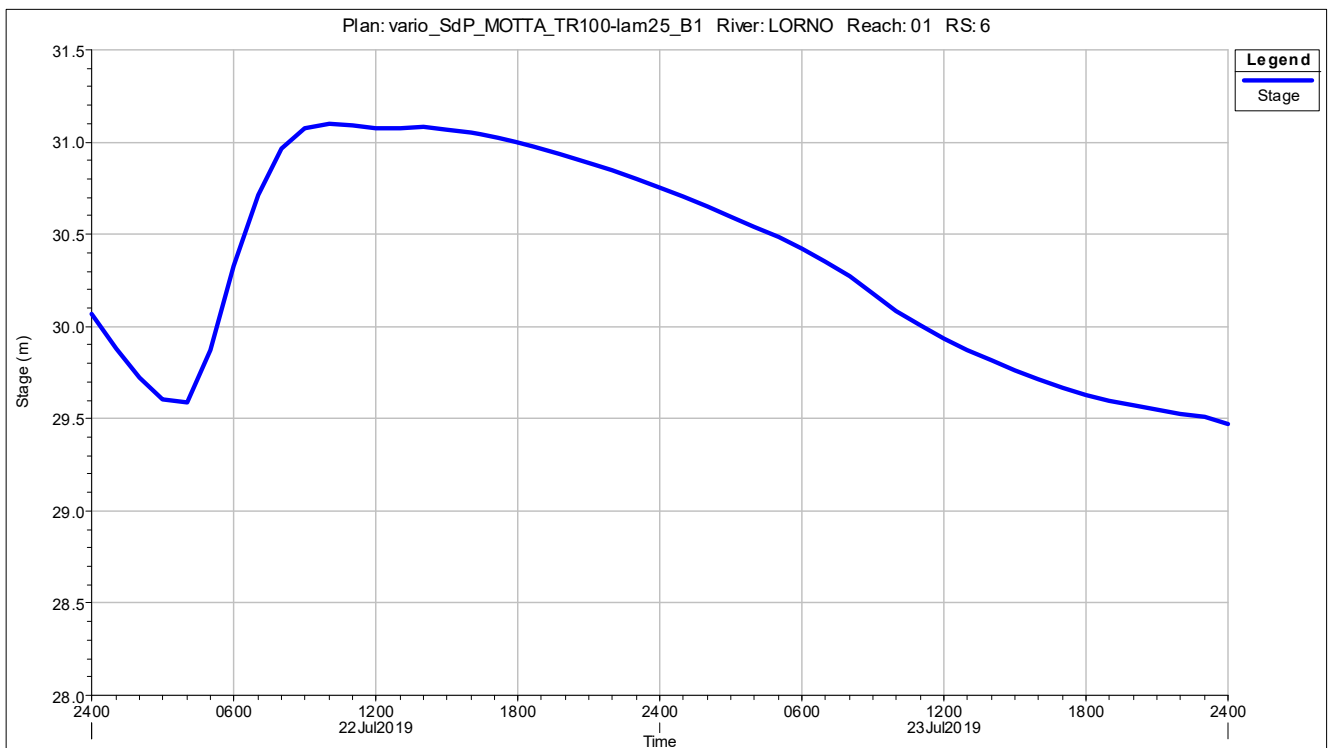


Figura 305 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

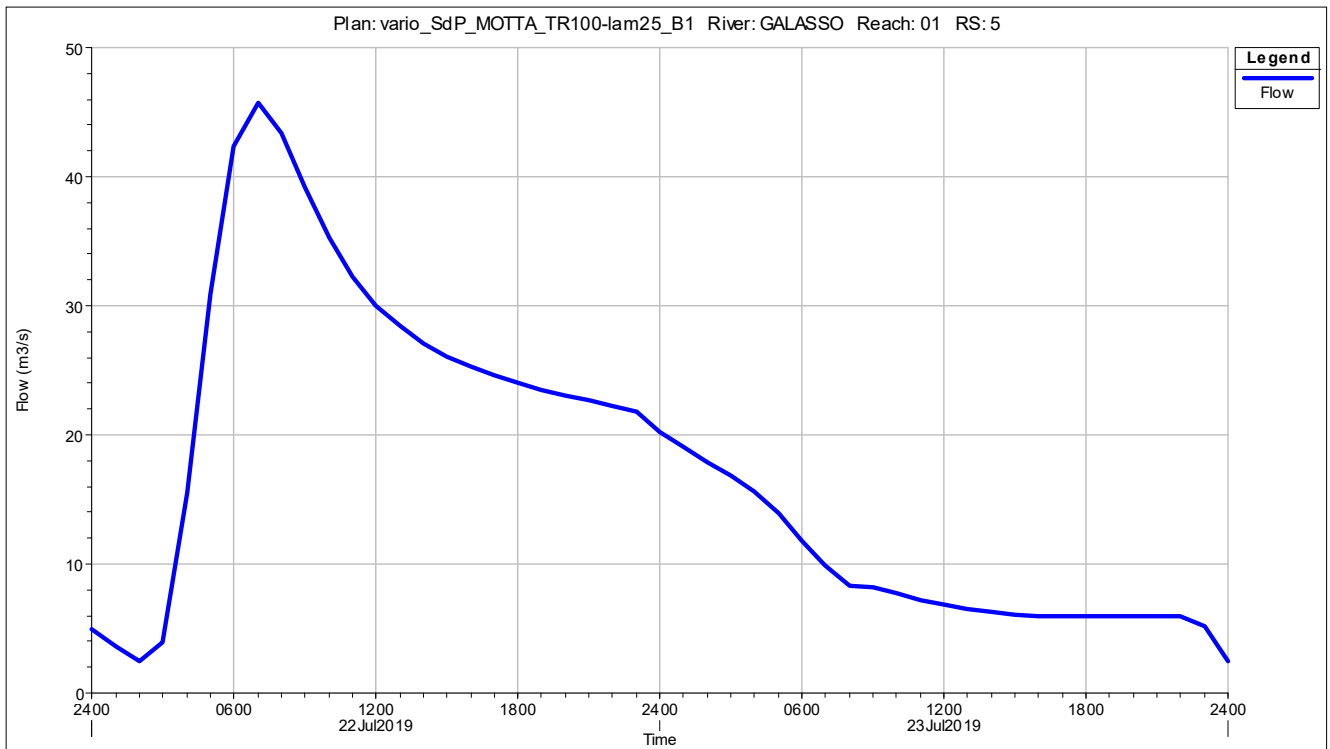


Figura 306 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

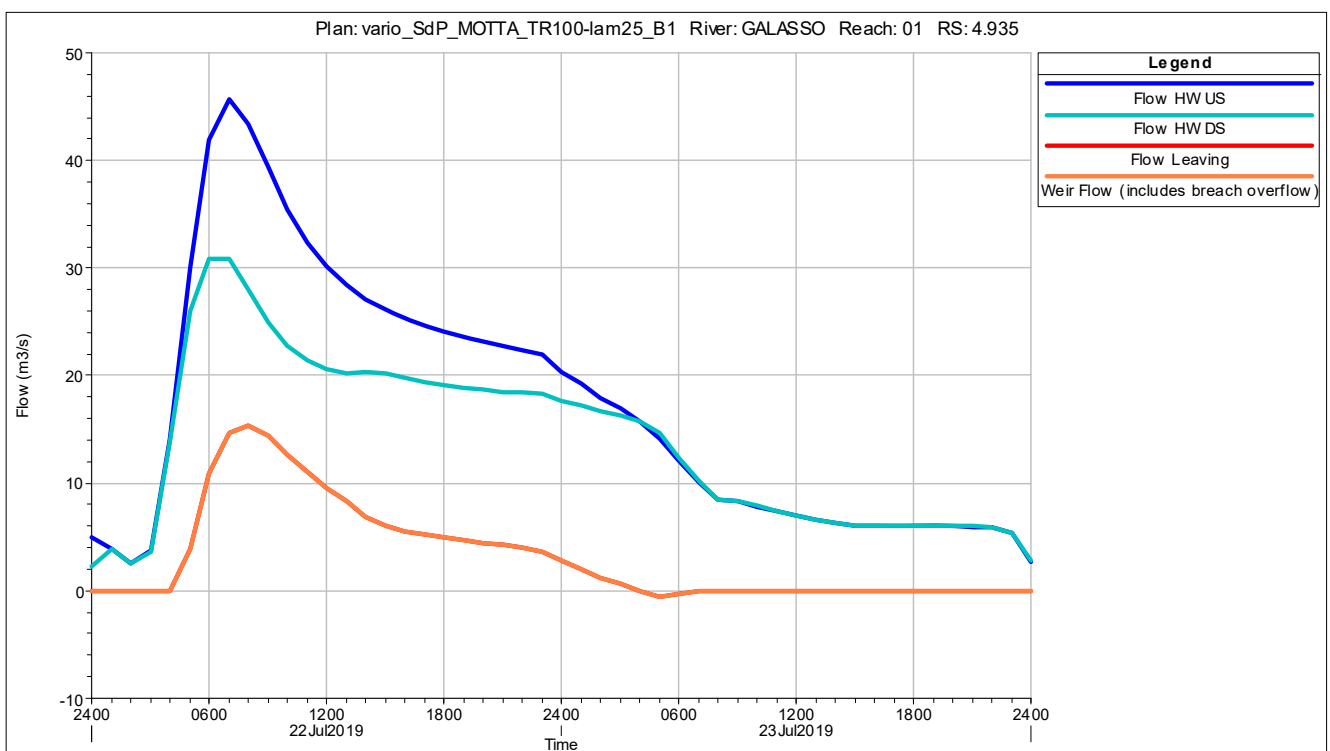


Figura 307 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

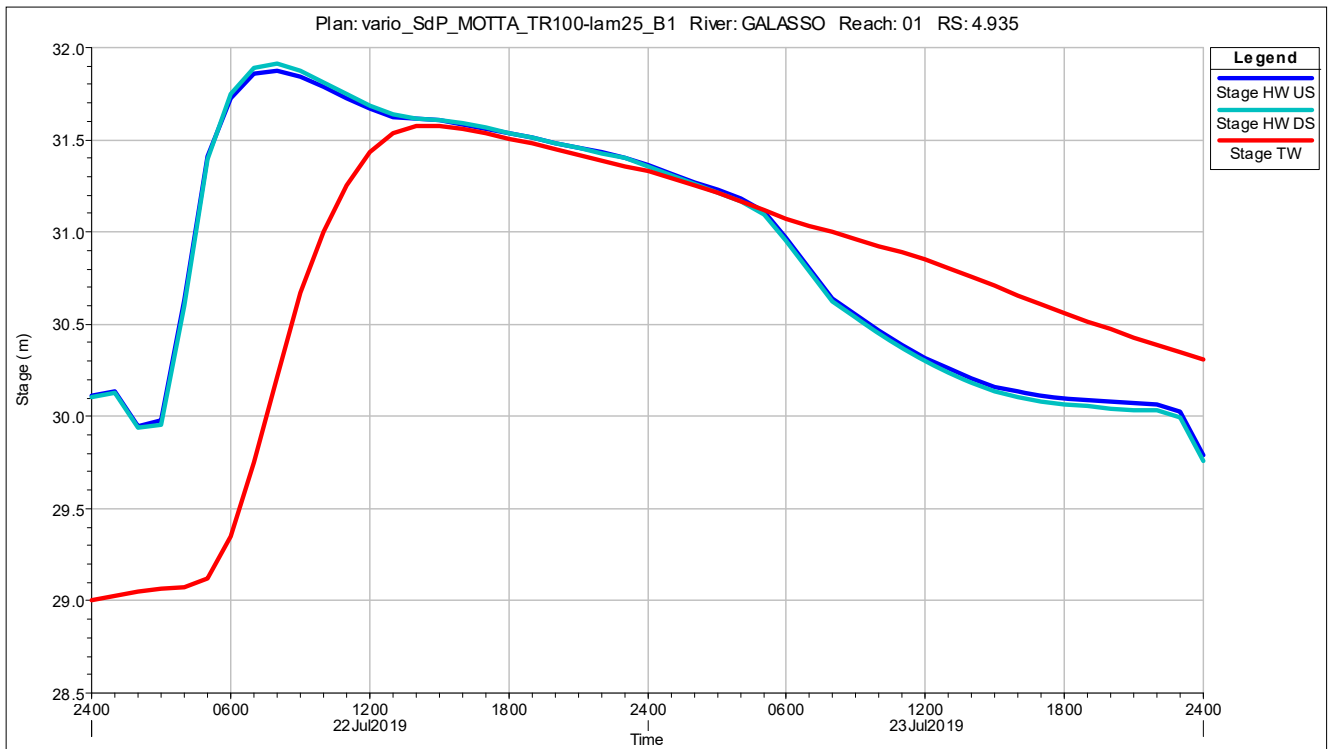


Figura 308 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

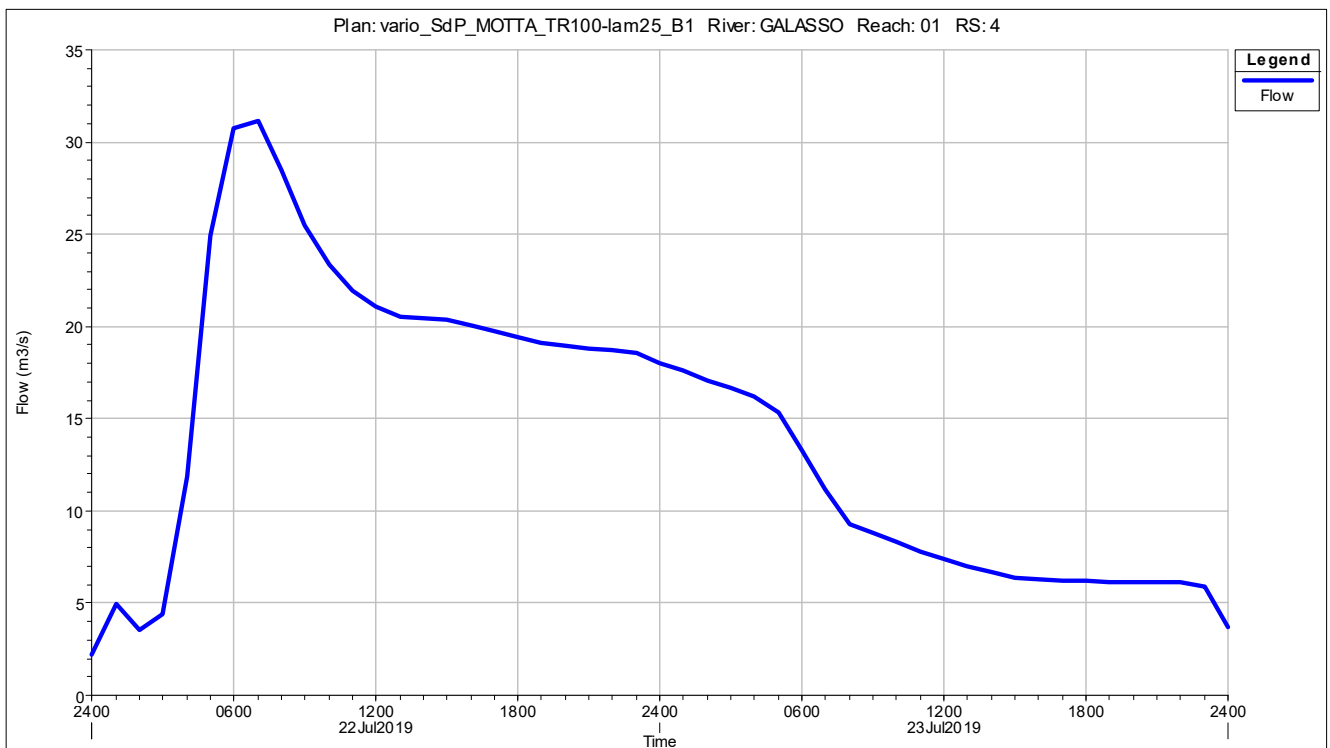


Figura 309 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

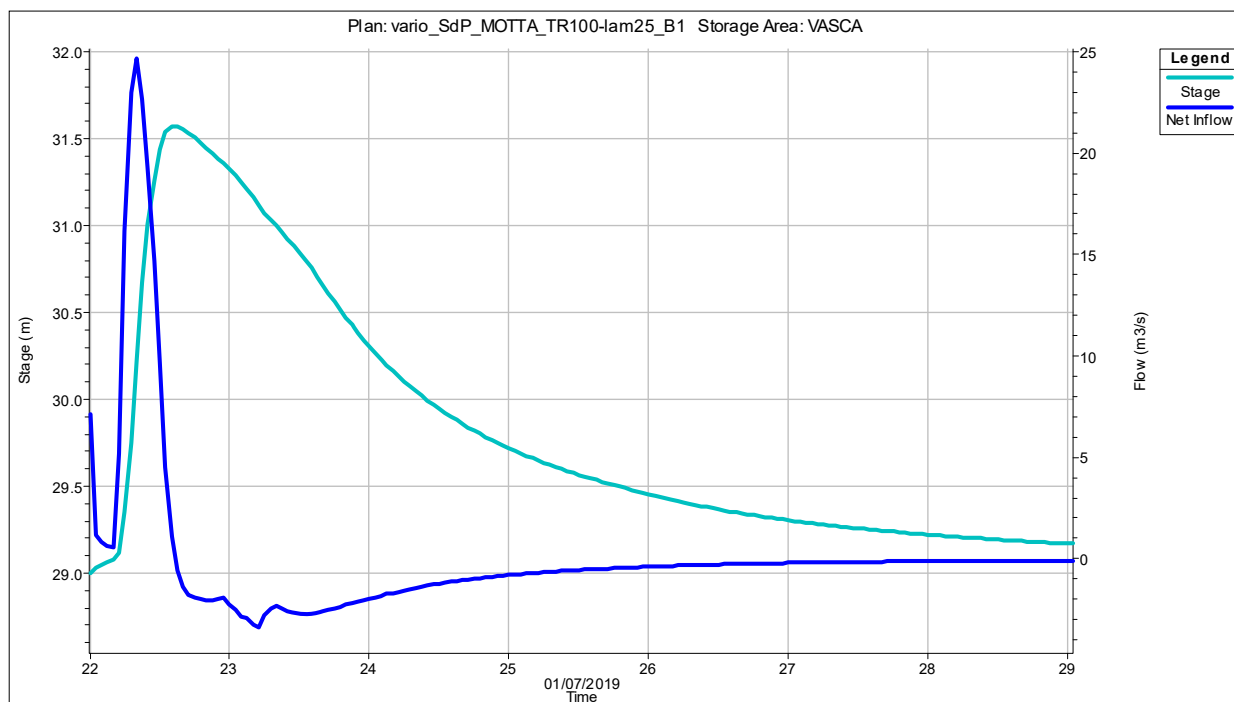


Figura 310 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 100-LAM nello scenario B1 nello stato di progetto:

TR 100-LAM B1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
560	31.69	7	6.00	15.00	4.00

Tabella 17 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario B1 per TR100-LAM.

4.7.10.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR100-LAM - B1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 40 cm nella sezione di monte e di circa 88 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 83 cm nella sezione di monte e di circa 106 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 2200 m per il canale Lorno e a circa 2000 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

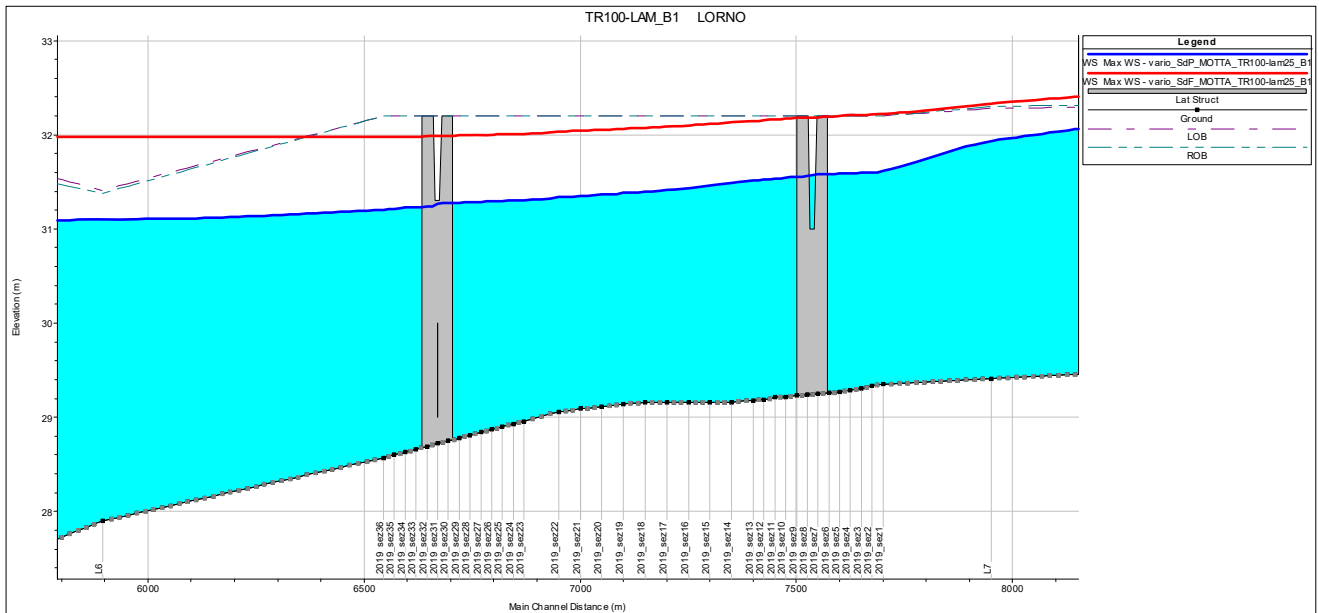


Figura 311 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

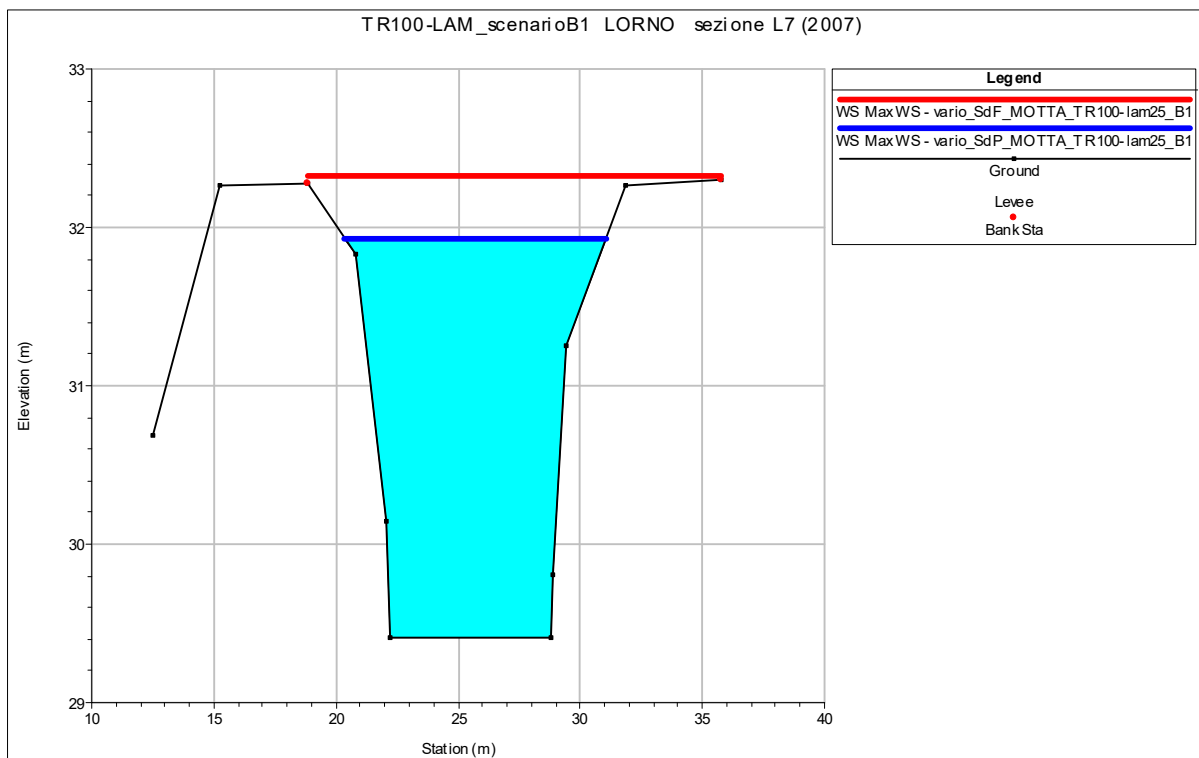


Figura 312 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

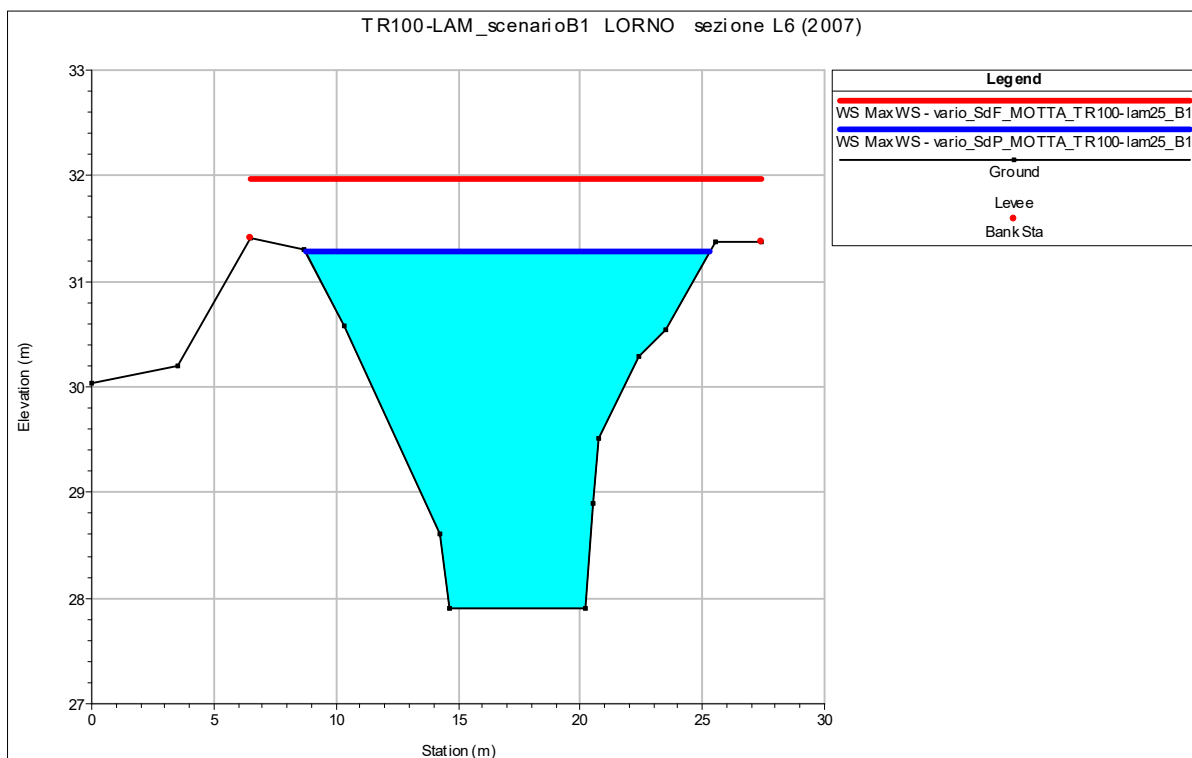


Figura 313 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

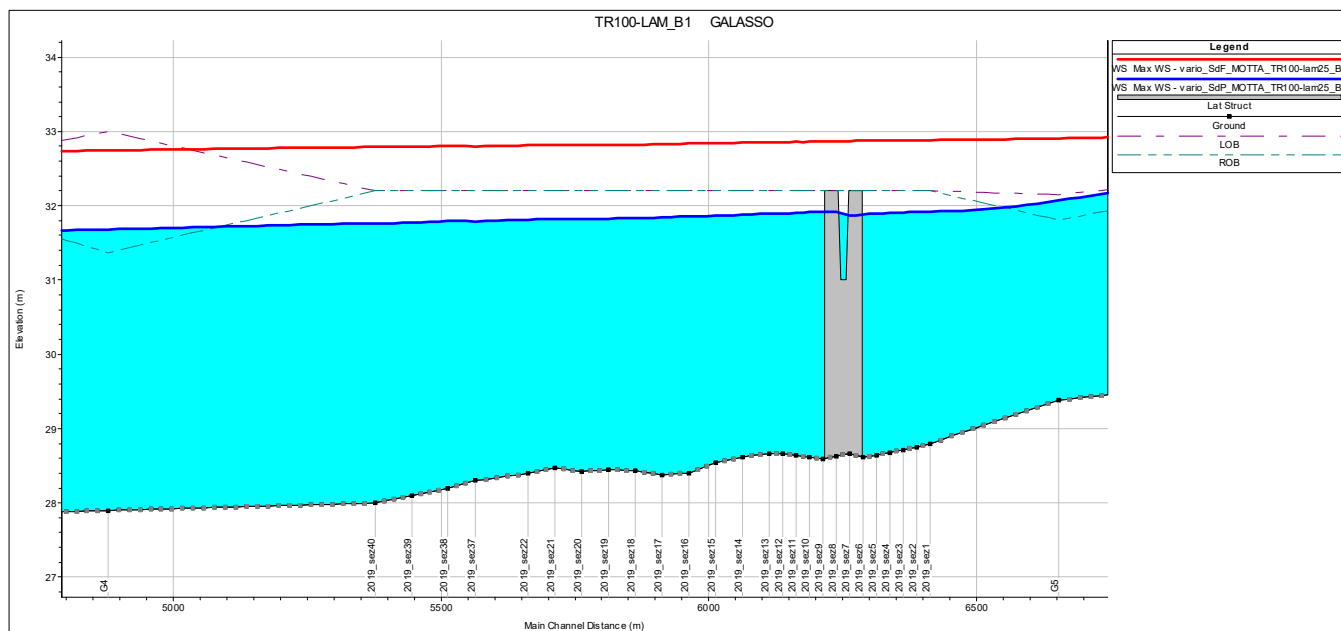


Figura 314 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

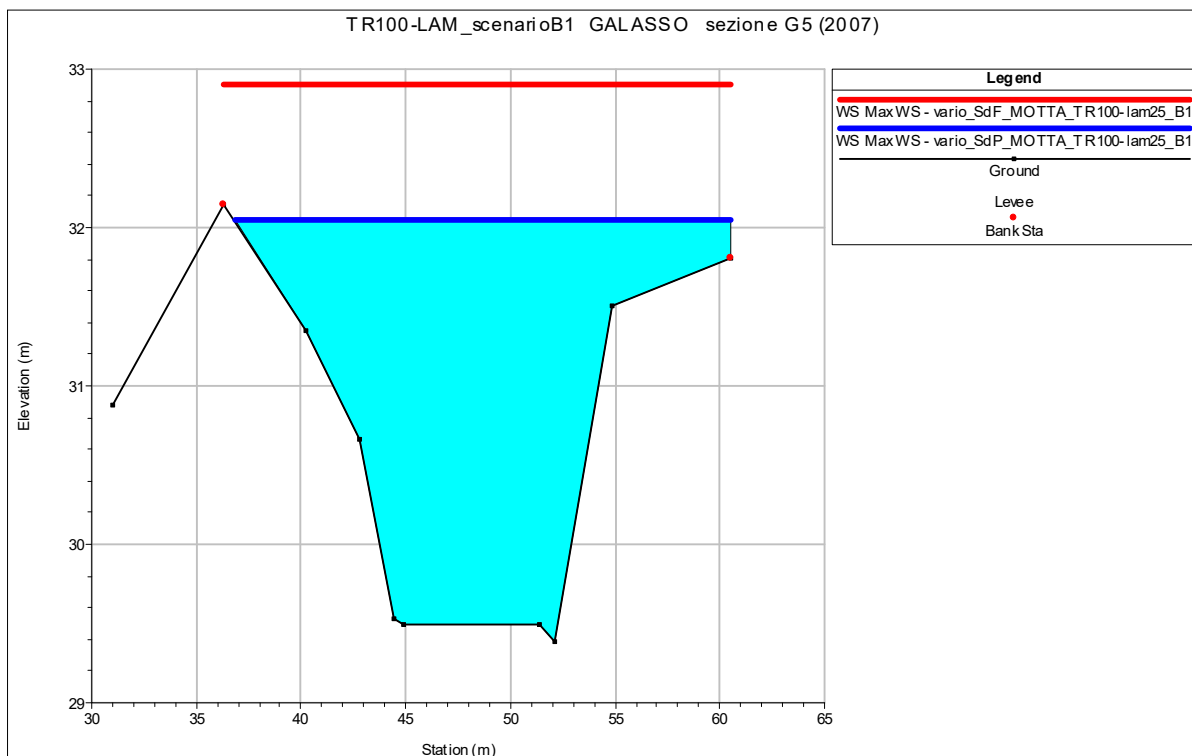


Figura 315 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

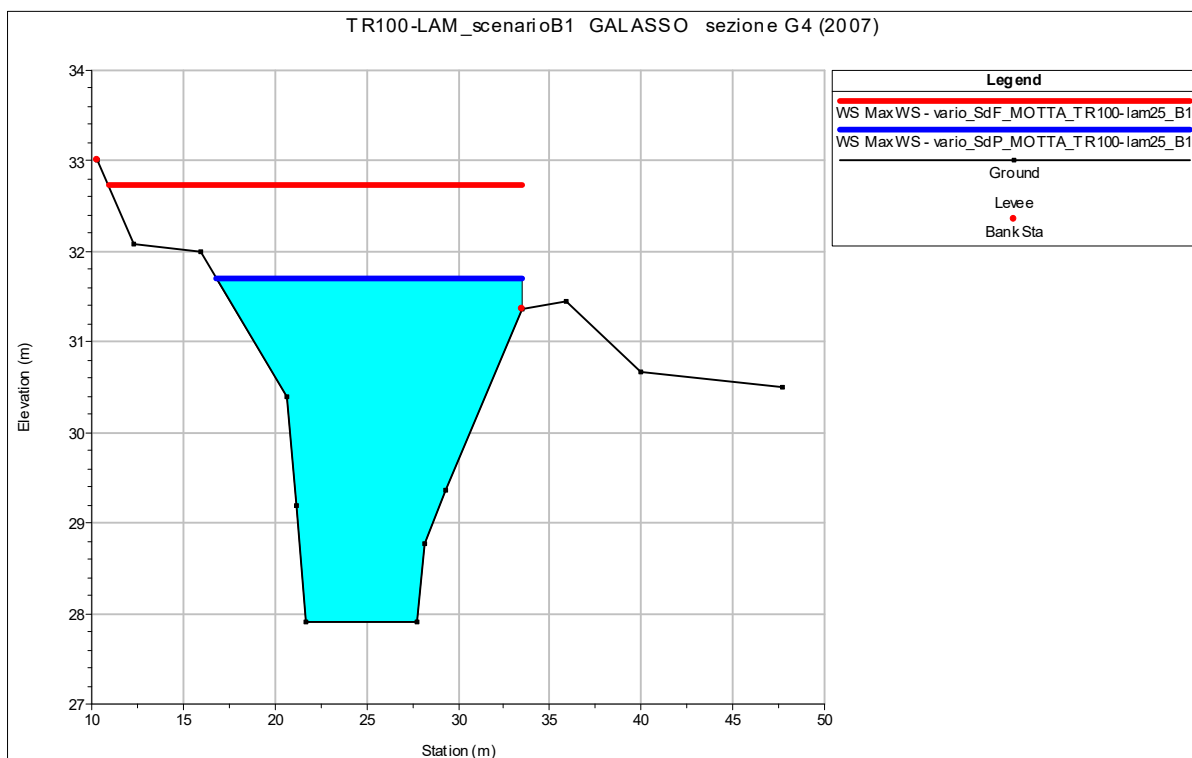


Figura 316 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.7.11 TR100-LAM CONFIGURAZIONE C: SCENARIO C1

Di seguito verranno esposti i risultati per lo scenario C1 e per un TR100-LAM. La configurazione C prevede la totale chiusura delle Porte Vinciane e l'apertura completa della chiavica Motta. Lo scenario C1 prevede di utilizzare come condizione al contorno di valle alla confluenza Lorno-Galasso con il torrente Parma un'altezza costante del torrente Parma pari a 30.00 m s.l.m. e come condizione al contorno di valle nella sezione di chiusura del canale Vai e Vieni un'altezza costante del fiume Po pari a 29.30 m s.l.m. Le simulazioni hanno dimostrato come gli interventi in progetto siano sufficienti a contenere le portate circolanti all'interno delle aste principali in corrispondenza e a valle della cassa in progetto. L'unico superamento dei rilevati arginali a valle della cassa si ha in corrispondenza di una possibile corda molle (rilievo non aggiornato) in sponda destra della sezione G4 del canale Galasso. Nei tratti di monte dei due canali si verifica, invece, il superamento delle quote arginali esistenti, in particolare in corrispondenza di possibili corde molli (rilievo non aggiornato).

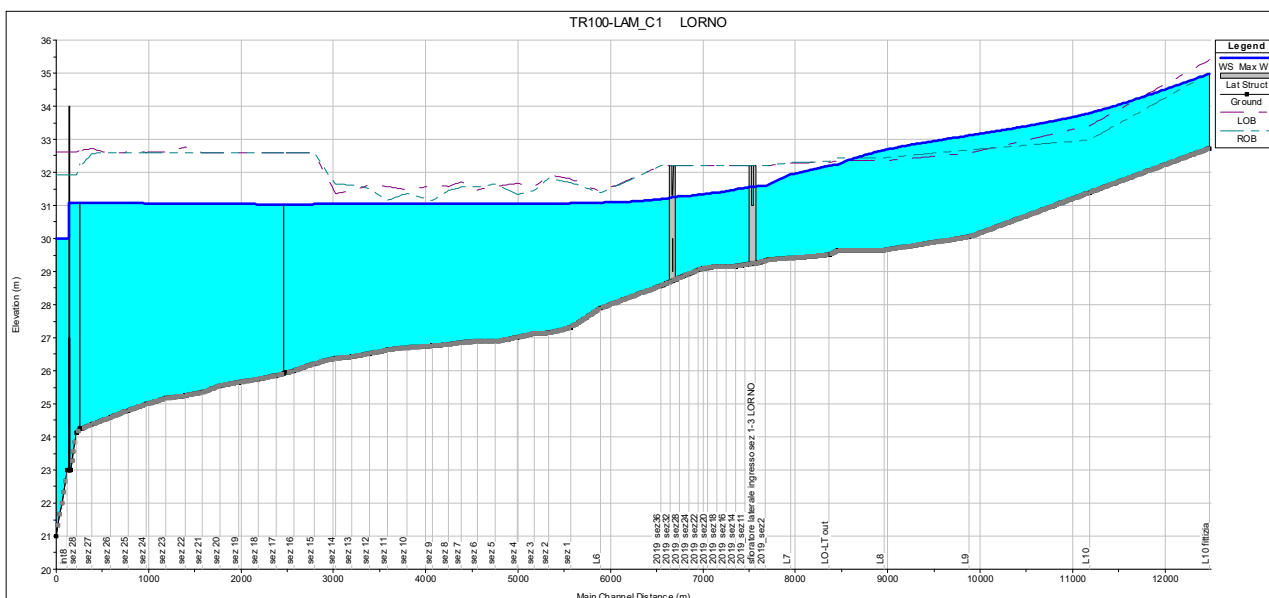


Figura 317 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto.

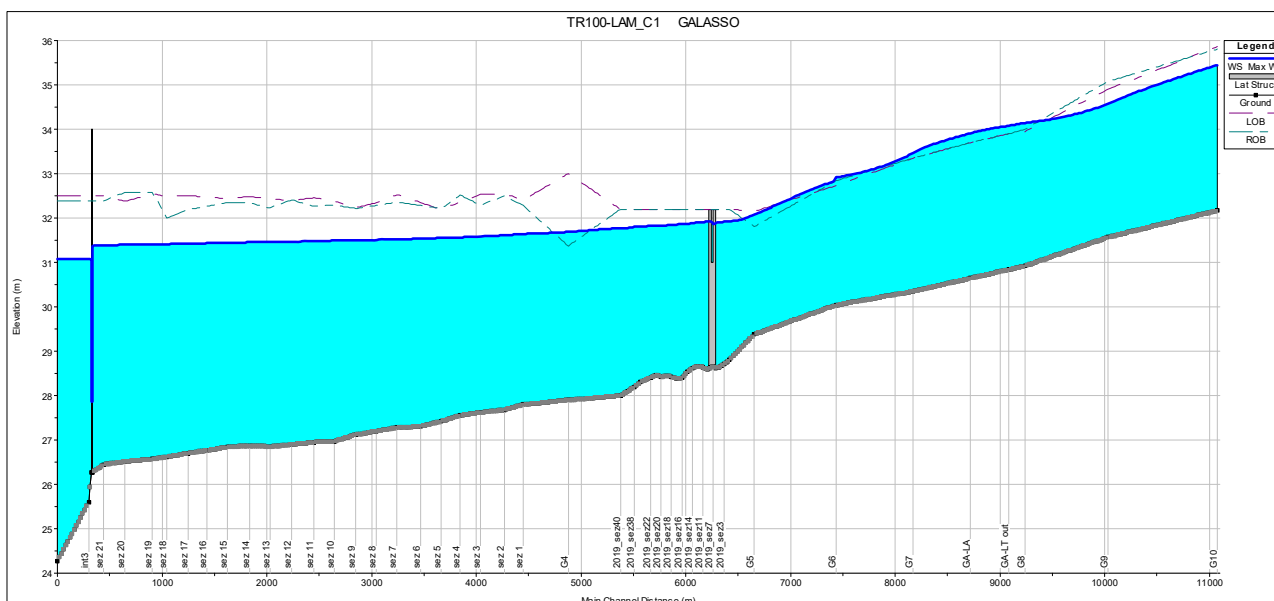


Figura 318 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto.

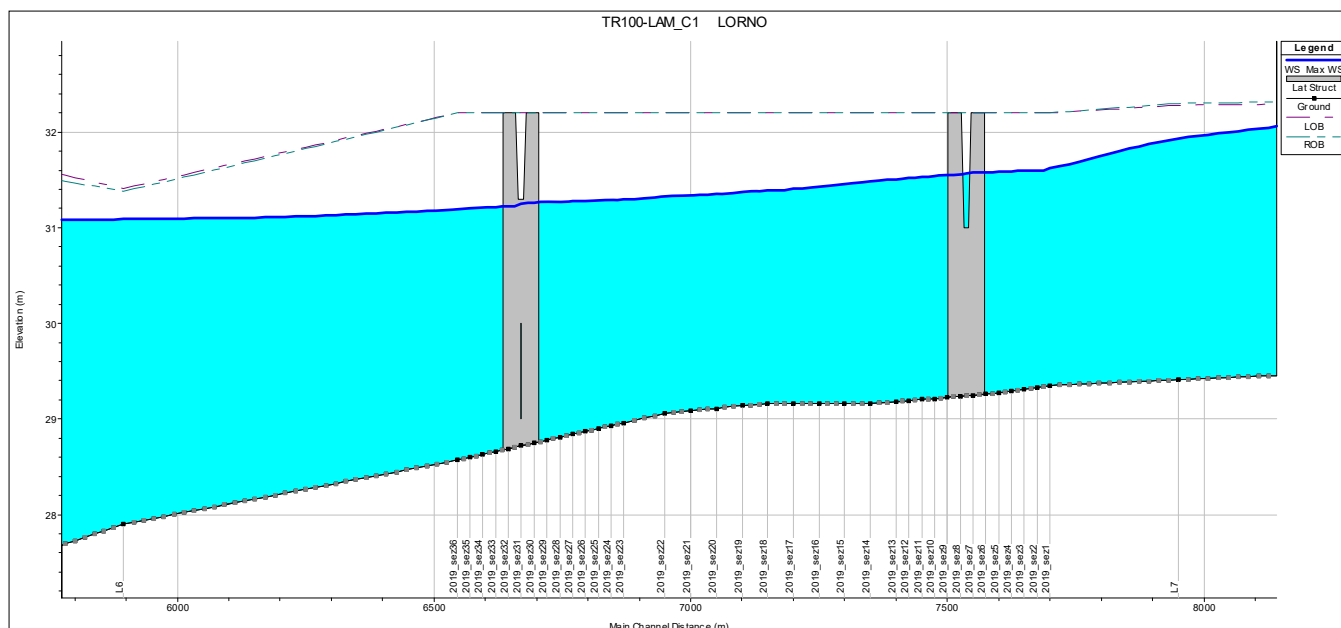


Figura 319 - Profili di rigurgito del canale Lorno nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

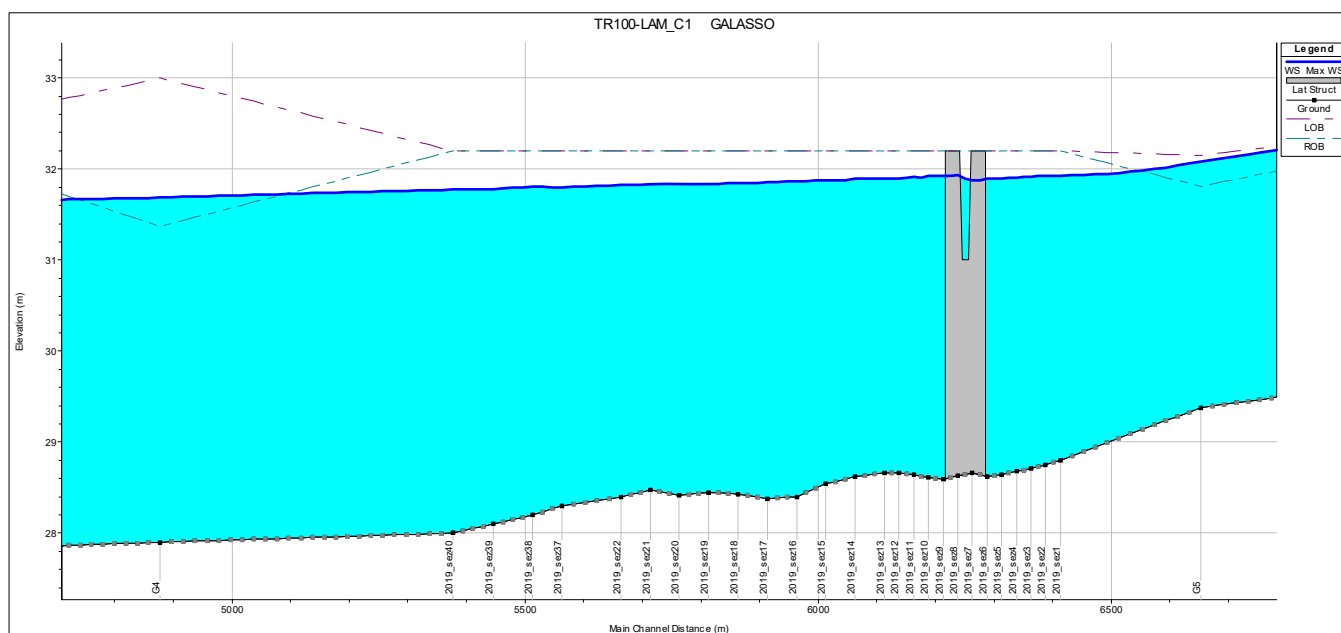


Figura 320 - Profili di rigurgito del canale Galasso nello stato di progetto. Dettaglio cassa.

Di seguito verranno mostrate le sezioni a monte e a valle degli sfiori e le sezioni a monte e a valle della cassa d'espansione in progetto. Si evidenziano problemi di superamento del rilevato arginale destro nella sezione G5 (a monte della cassa) del canale Galasso e del rilevato arginale destro nella sezione G4 (a valle della cassa) del canale Galasso per effetto del rigurgito del torrente Parma.

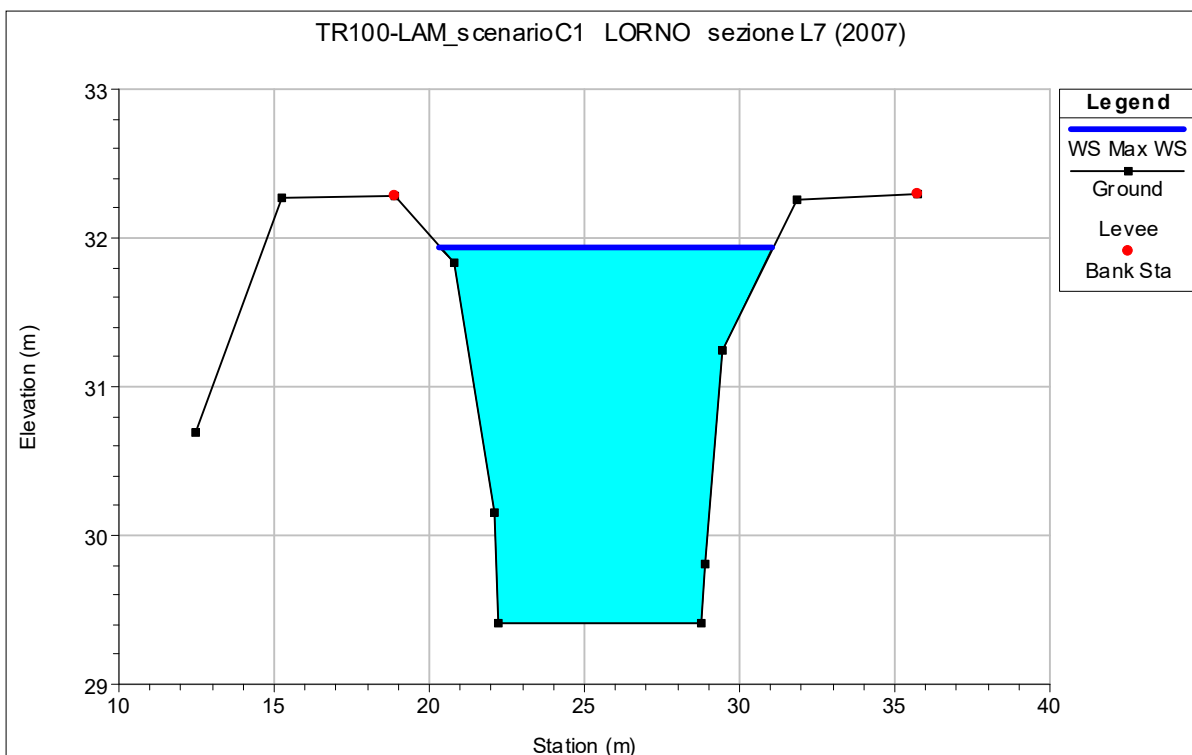


Figura 321 - Livello idrometrico alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

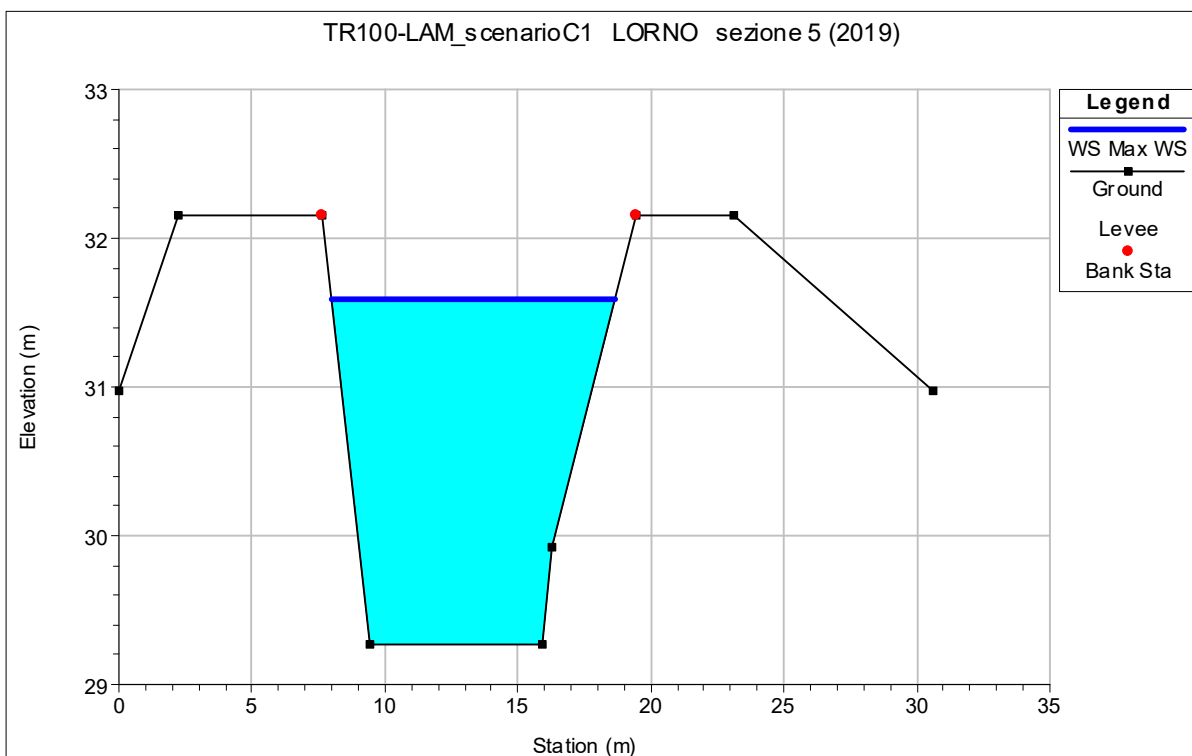


Figura 322 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Lorno, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

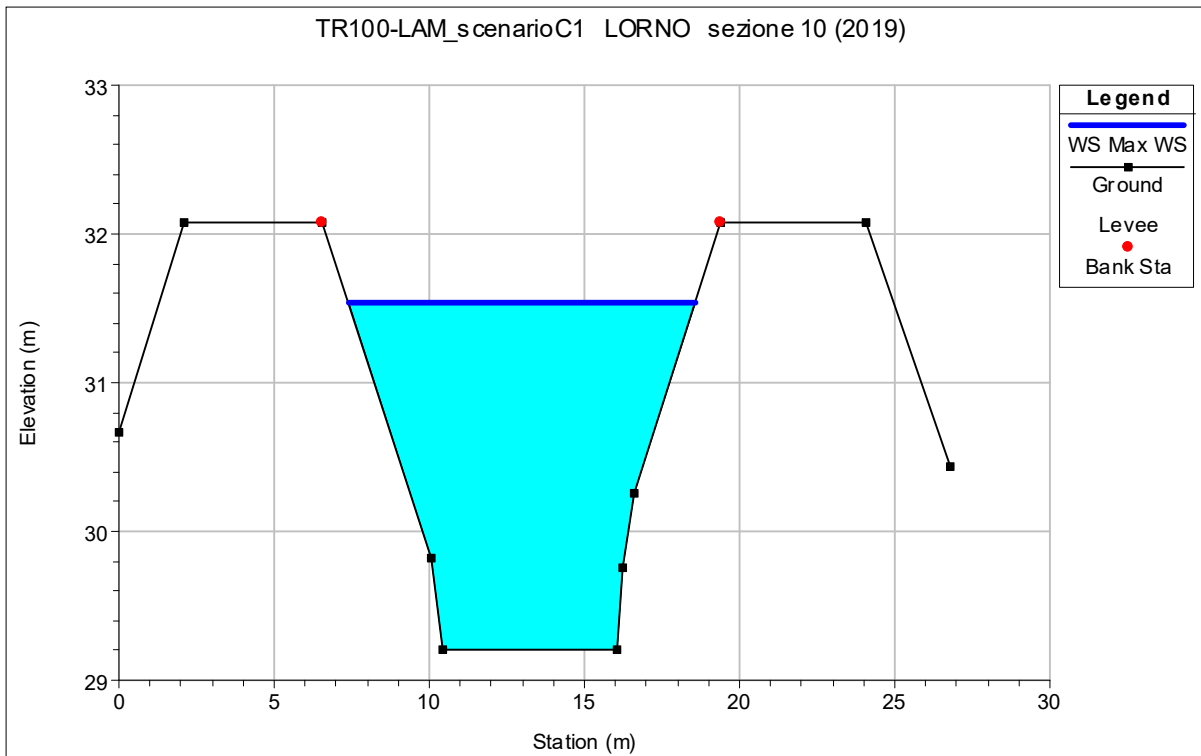


Figura 323 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Lorno, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

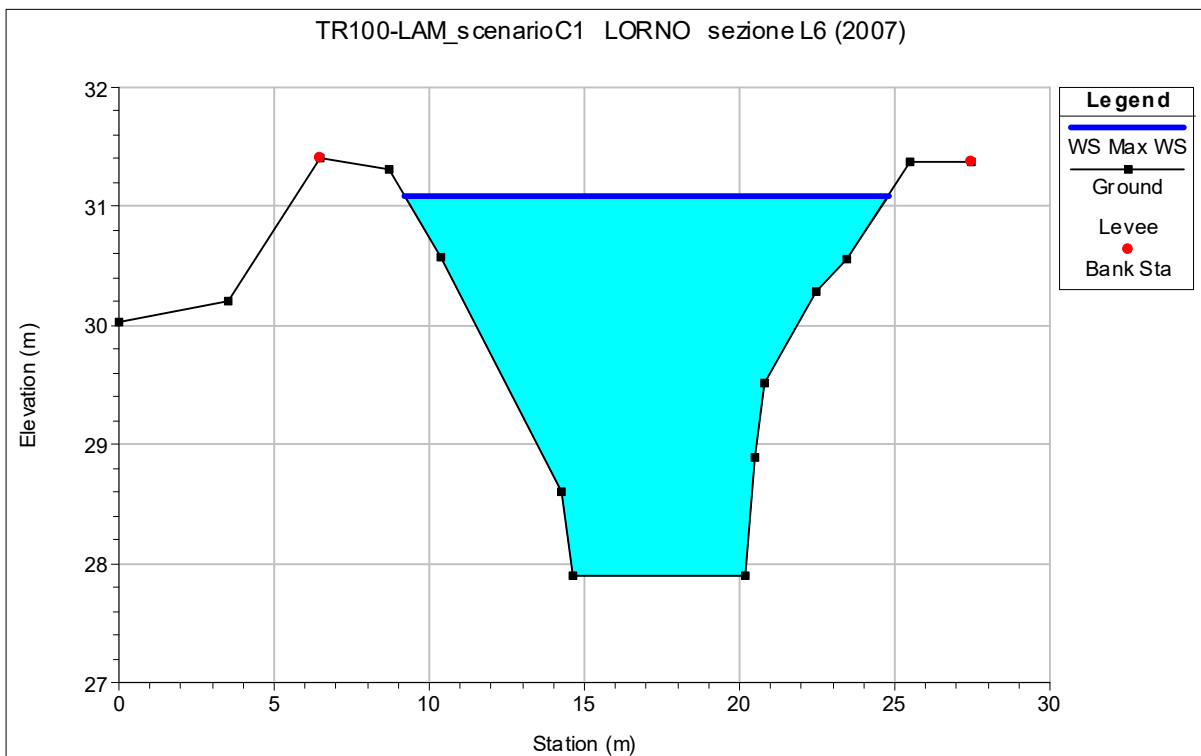


Figura 324 - Livello idrometrico alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

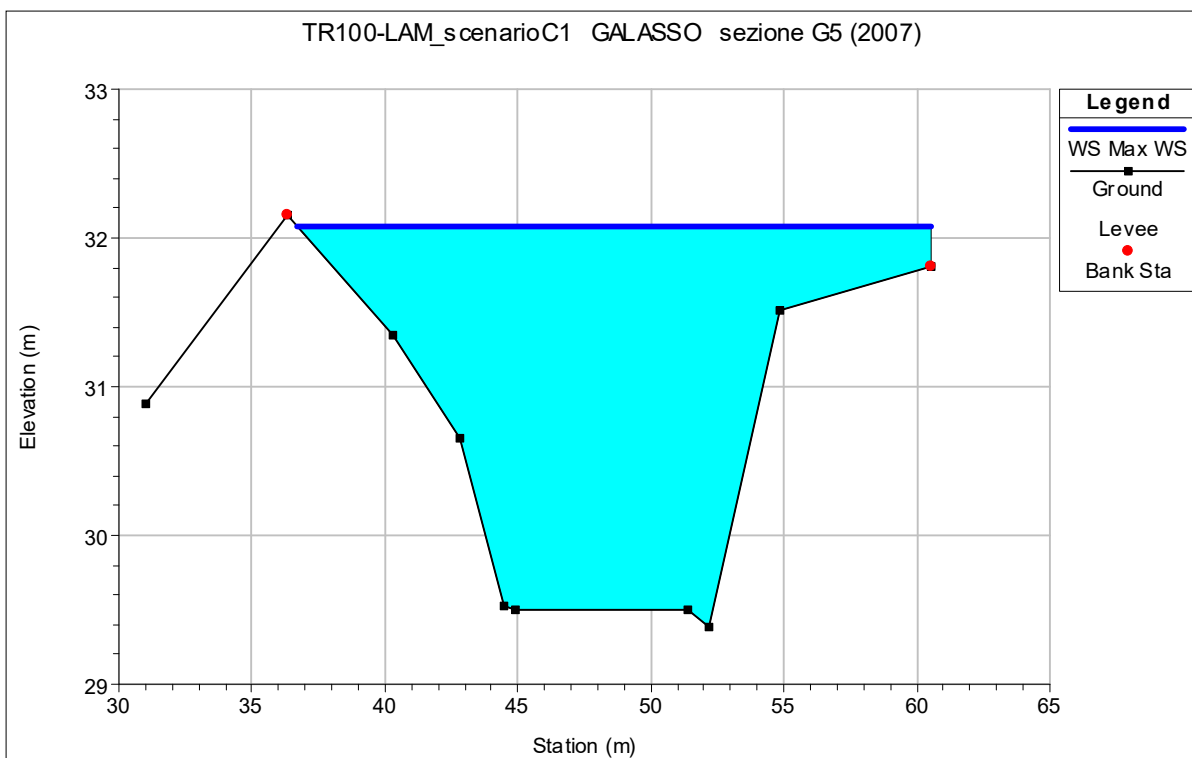


Figura 325 - Livello idrometrico alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

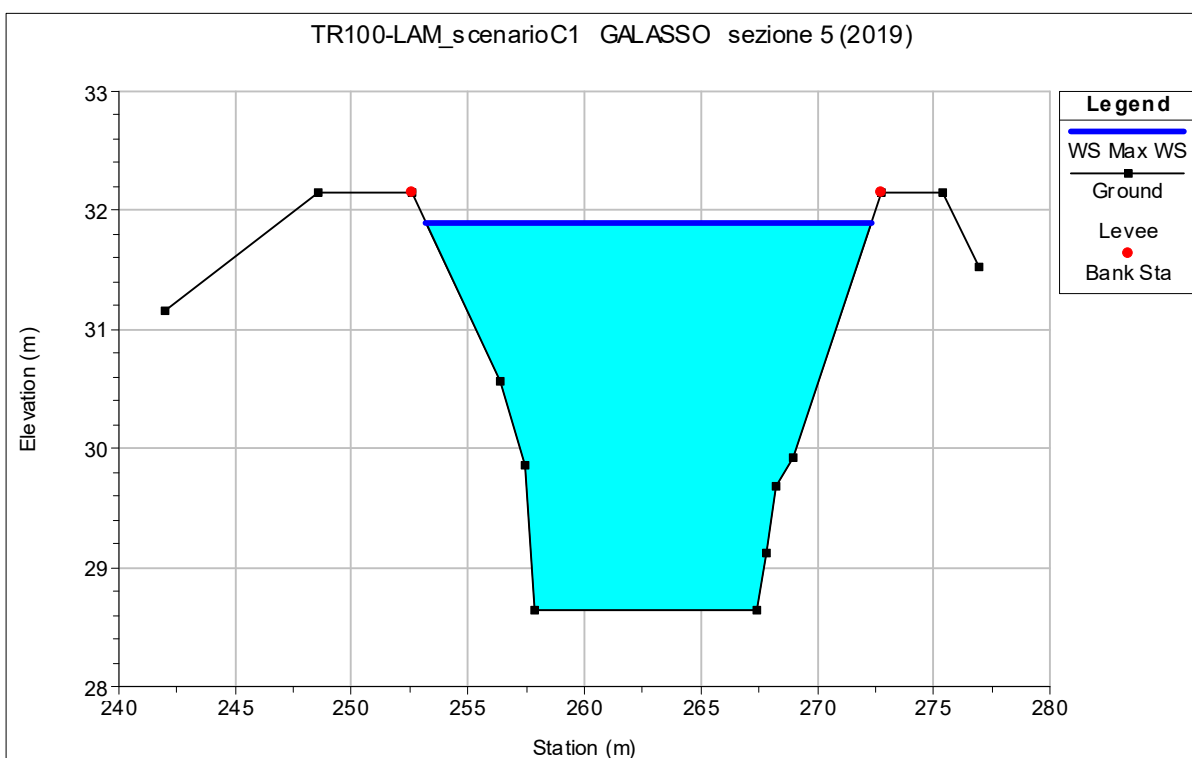


Figura 326 - Livello idrometrico alla sezione 5 (2019) del canale Galasso, a monte del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

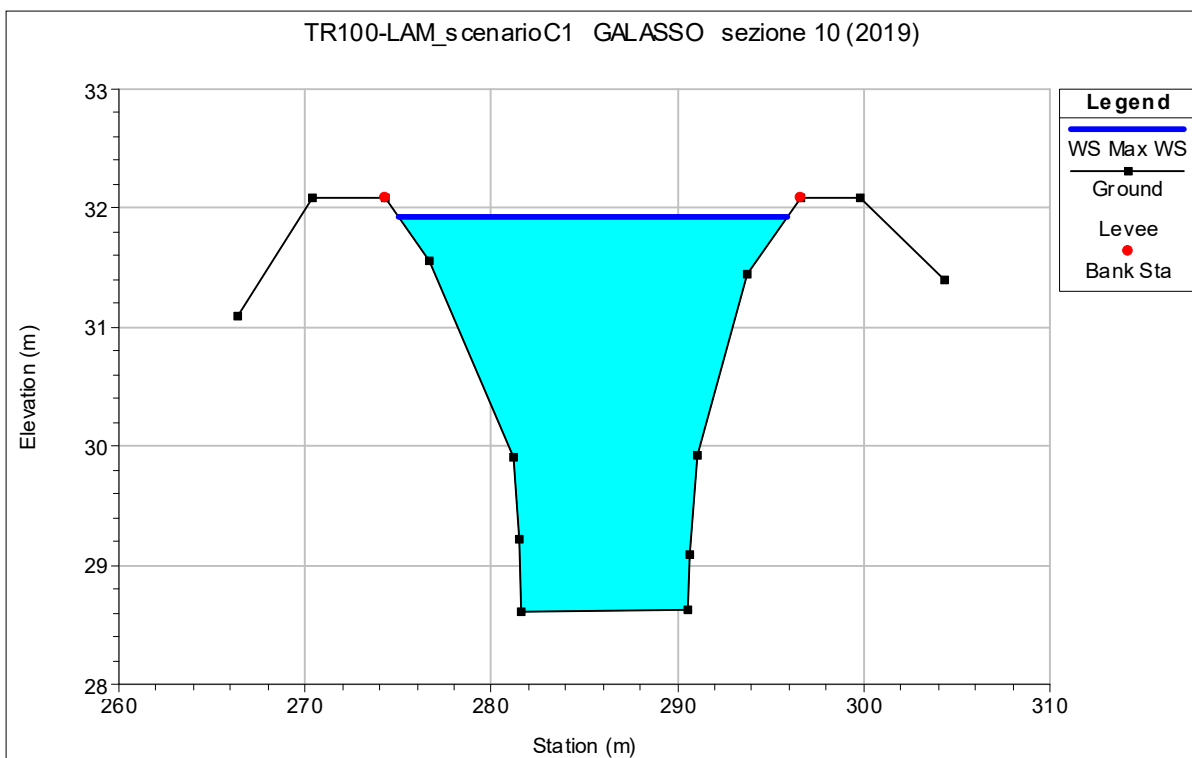


Figura 327 - Livello idrometrico alla sezione 10 (2019) del canale Galasso, a valle del manufatto di alimentazione, nello stato di progetto.

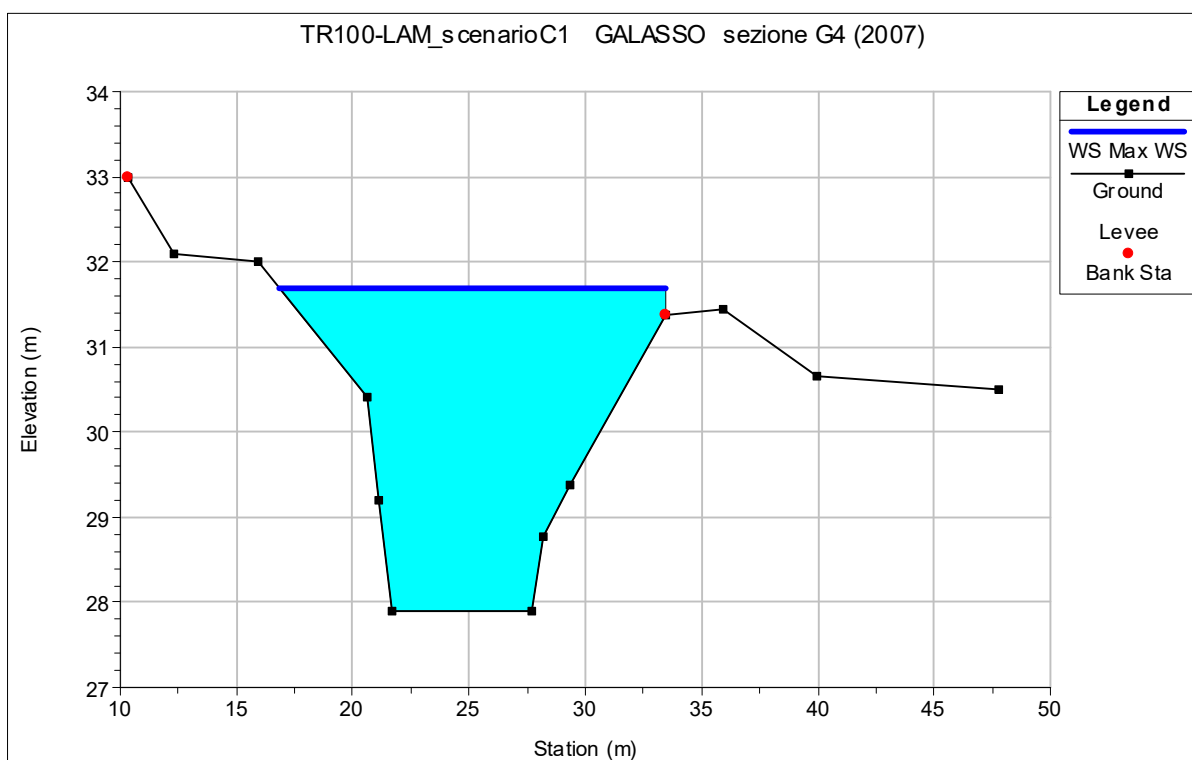


Figura 328 - Livello idrometrico alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

I grafici seguenti mostrano l'andamento dei livelli e delle portate in corrispondenza delle sezioni immediatamente a monte e a valle dell'opera in progetto e in corrispondenza dei manufatti di sfioro.

Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno permette il passaggio di una portata massima di circa 7 m³/s, mentre i manufatti di restituzione, sempre sul Lorno, scaricano una portata massima di circa 4 m³/s. Il manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso permette l'ingresso di una portata massima di circa 16 m³/s.

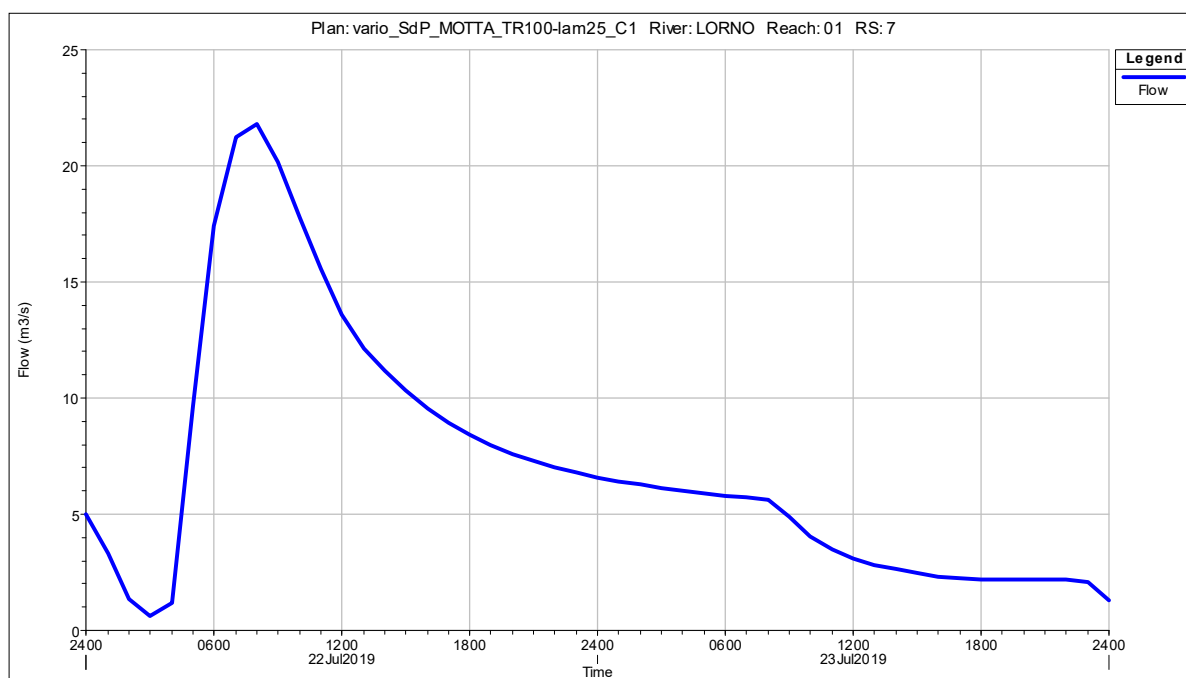


Figura 329 - Andamento delle portate alla sezione L7 (2007) del canale Lorno, a monte della cassa, nello stato di progetto.

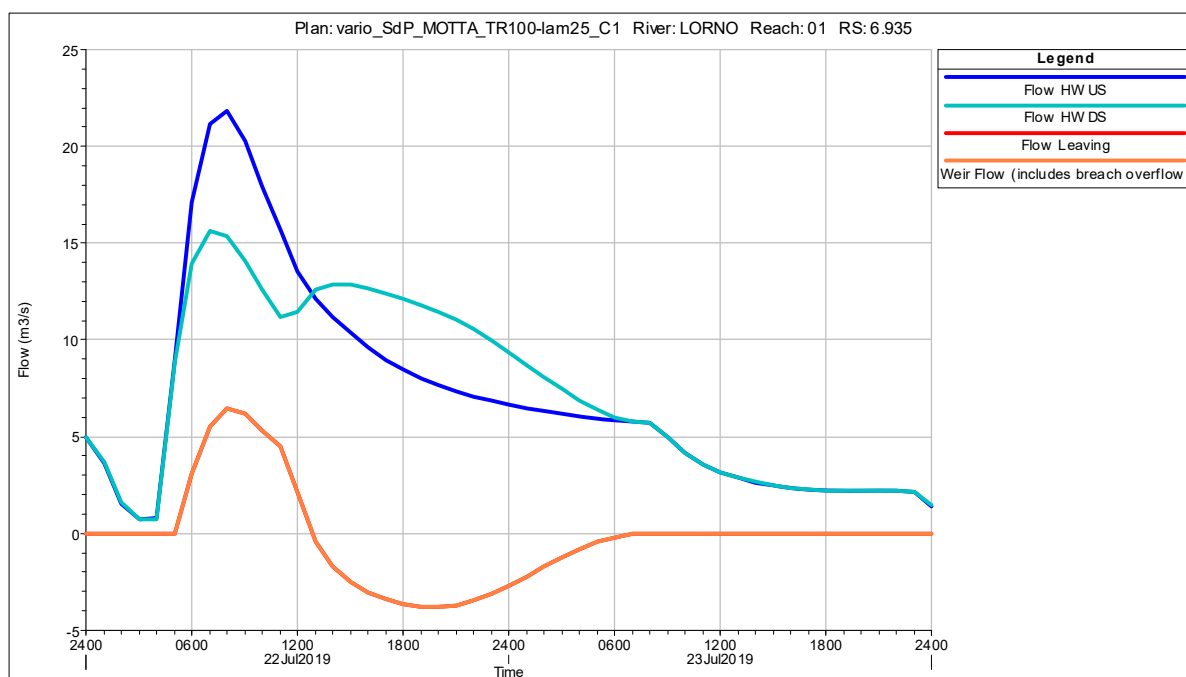


Figura 330 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

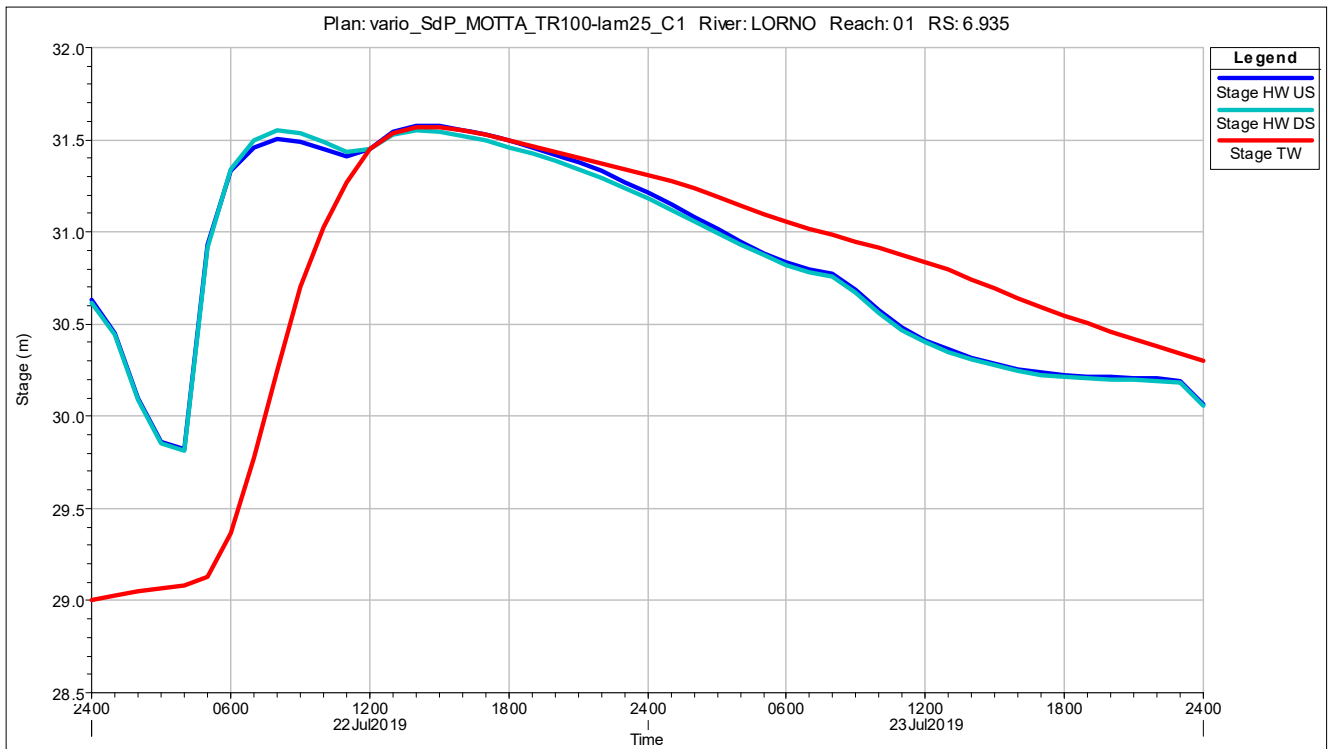


Figura 331 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

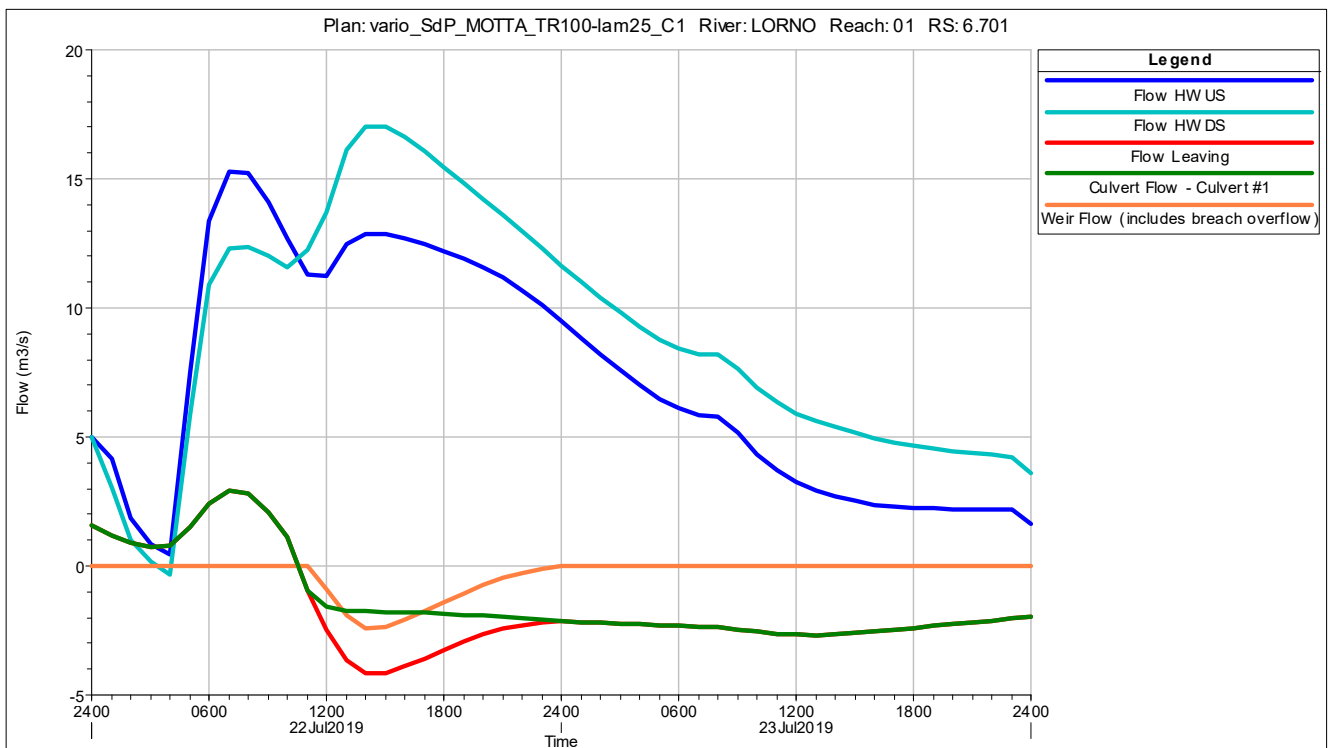


Figura 332 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

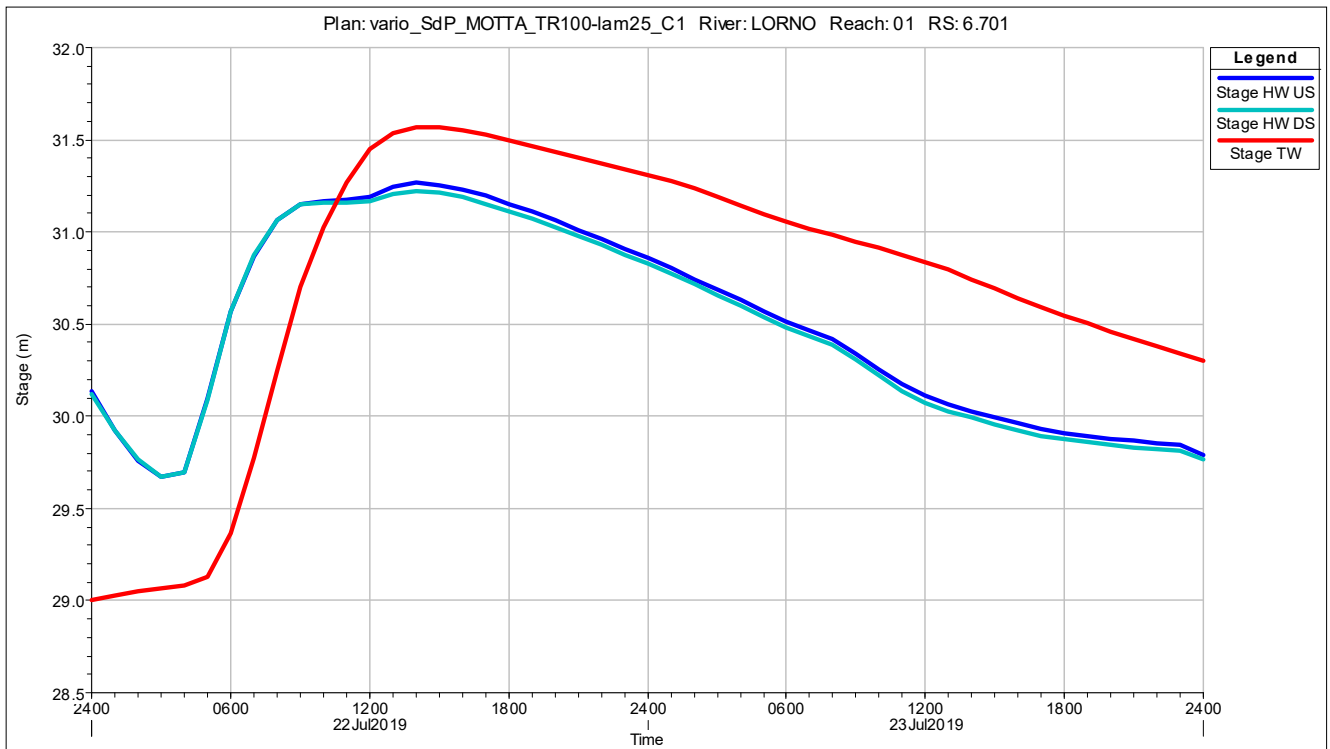


Figura 333 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto di restituzione della cassa sul canale Lorno nello stato di progetto.

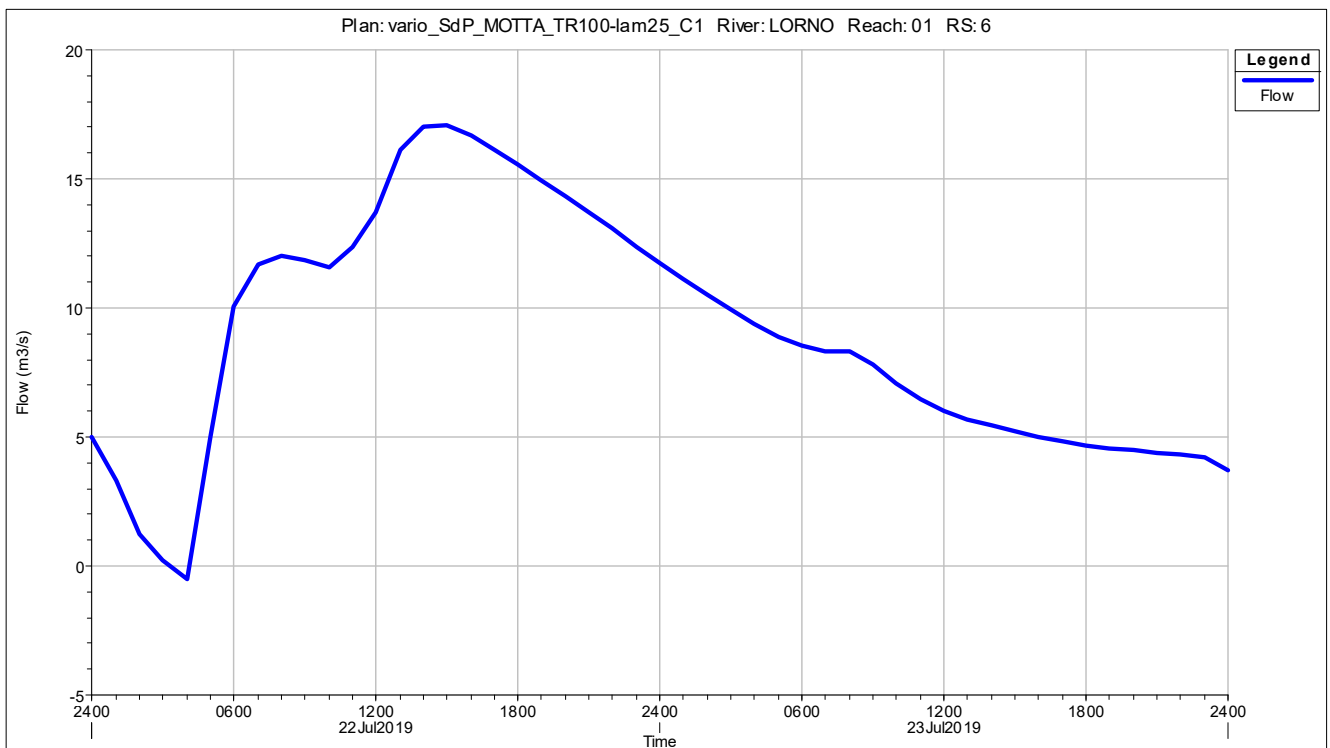


Figura 334 - Andamento delle portate alla sezione L6 (2007) del canale Lorno, a valle della cassa, nello stato di progetto.

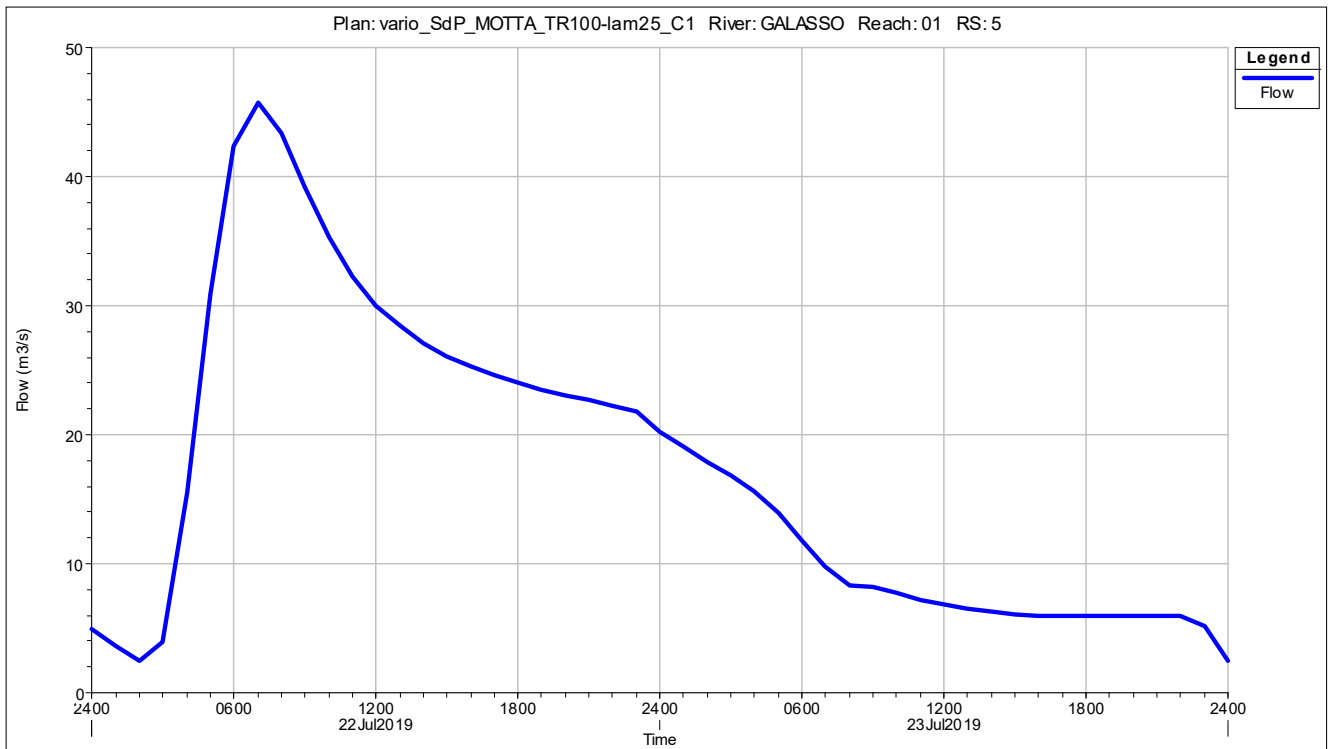


Figura 335 - Andamento delle portate alla sezione G5 (2007) del canale Galasso, a monte della cassa, nello stato di progetto.

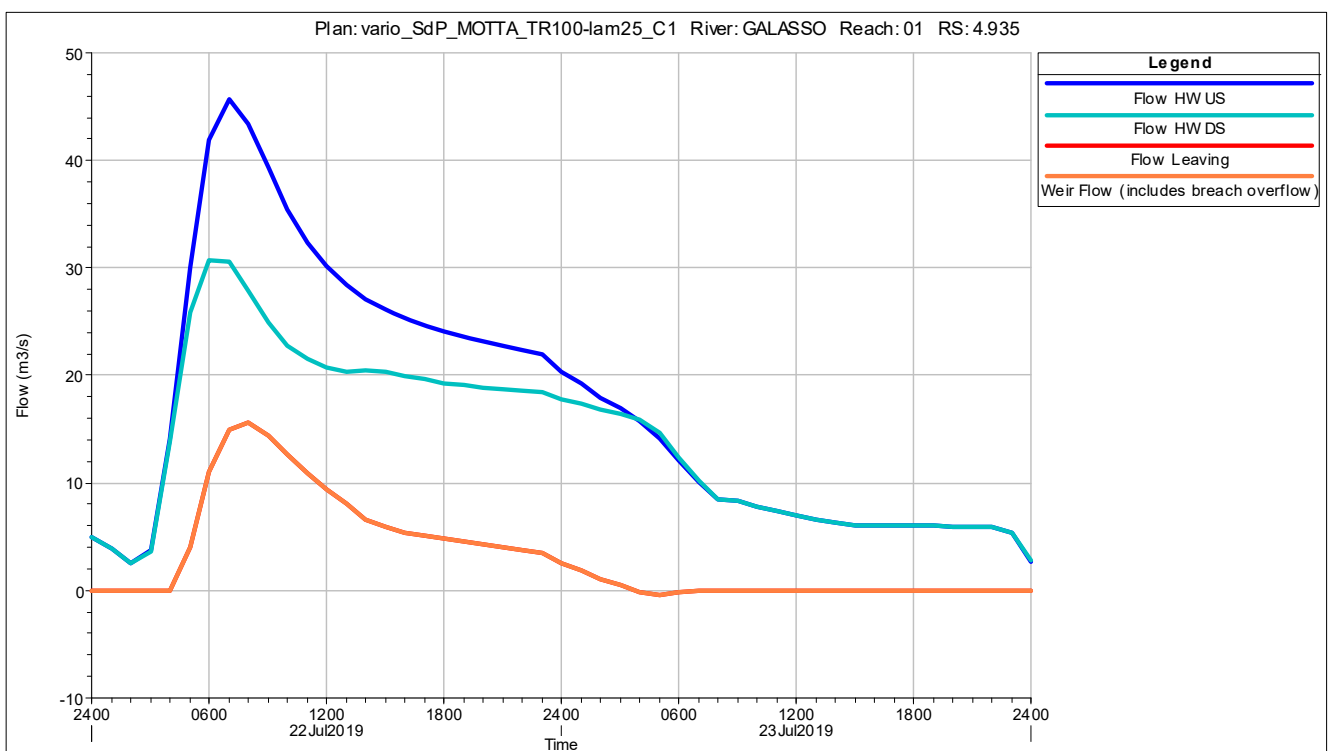


Figura 336 - Andamento delle portate in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

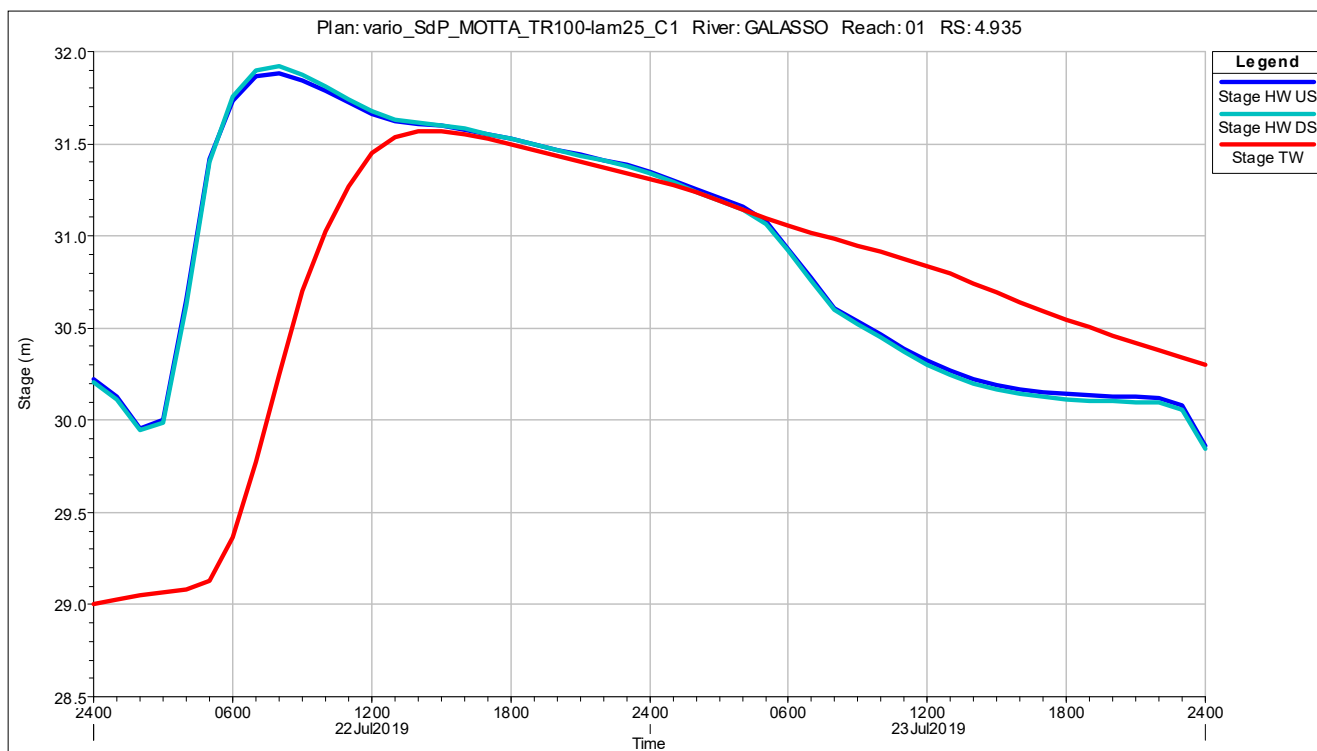


Figura 337 - Andamento dei livelli in corrispondenza del manufatto d'alimentazione della cassa sul canale Galasso nello stato di progetto.

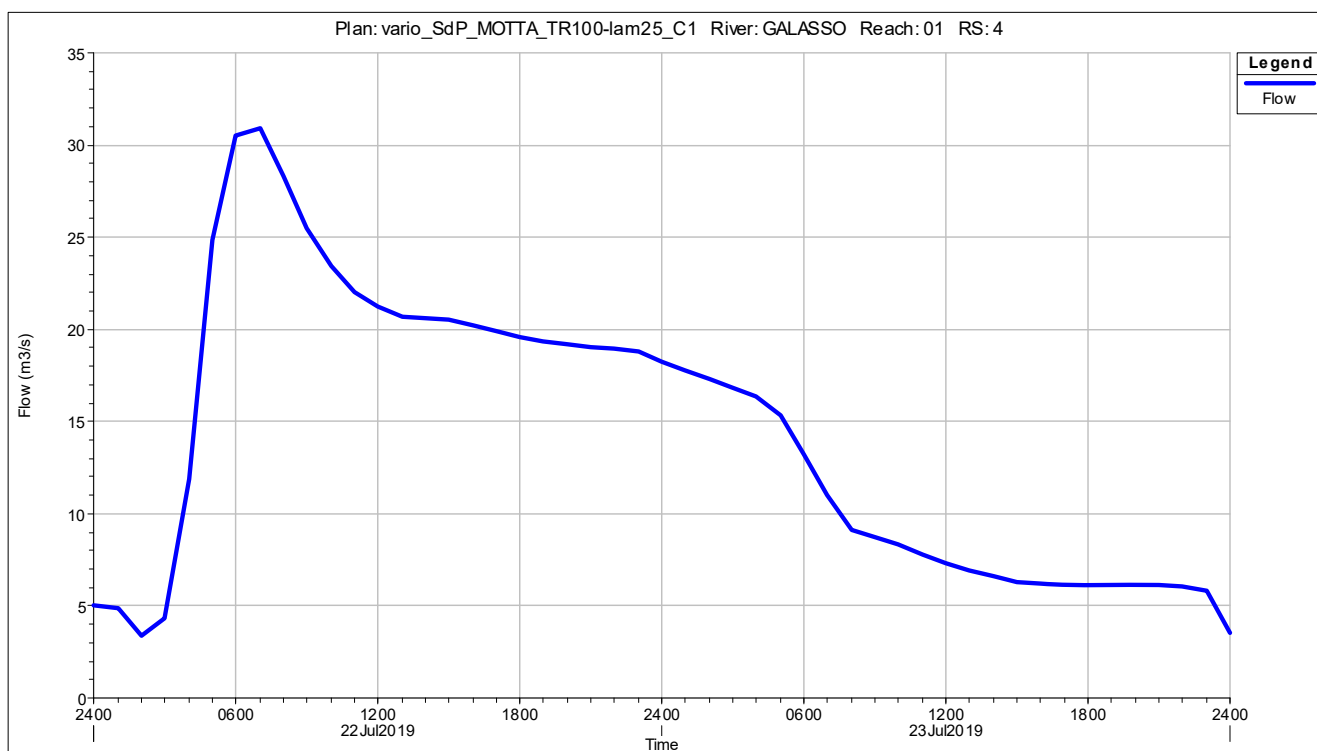


Figura 338 - Andamento delle portate alla sezione G4 (2007) del canale Galasso, a valle della cassa, nello stato di progetto.

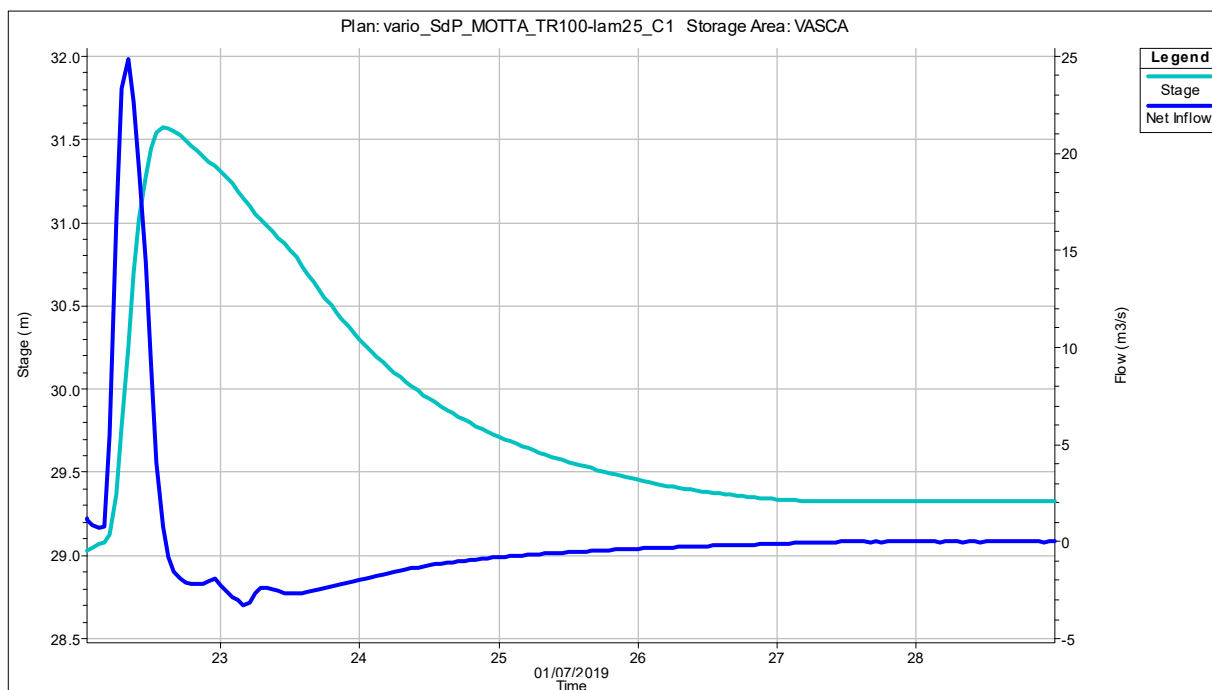


Figura 339 - Andamento delle portate e dei livelli all'interno della cassa d'espansione in progetto.

Nella seguente tabella vengono forniti i risultati della simulazione con TR 100-LAM nello scenario C1 nello stato di progetto:

TR 100-LAM_C1					
Volume invaso	Altezza invaso	Tempo svuotamento	Portata Manufatto Ingresso LORNO	Portata Manufatto Ingresso GALASSO	Portata Manufatto Uscita LORNO
1000 m ³	m s.l.m.	gg	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
530	31.57	5	7.00	16.00	4.00

Tabella 18 – Sintesi dei risultati della simulazione dello stato di progetto nello scenario C1 per TR100-LAM.

4.7.11.1 Confronto risultati simulazione stato di fatto e stato di progetto (TR100-LAM - C1)

Nel seguente paragrafo verranno confrontati i risultati ottenuti dalle simulazioni nello stato di progetto con quelle ottenute nello stato di fatto. In particolare verranno mostrati i profili di rigurgito in corrispondenza della cassa e delle sezioni immediatamente a monte e a valle.

Per quanto riguarda il canale Lorno, ad opera degli interventi in progetto, il profilo si abbassa di circa 29 cm nella sezione di monte e di circa 52 cm nella sezione di valle. Per quanto riguarda il Galasso invece il profilo si abbassa di circa 59 cm nella sezione di monte e di circa 65 cm nella sezione di valle.

L'effetto della cassa d'espansione in progetto si avverte, a monte della stessa, a circa 1900 m per il canale Lorno e a circa 1600 m per il canale Galasso (corrispondente ad un abbassamento dei profili di rigurgito di circa 5 cm).

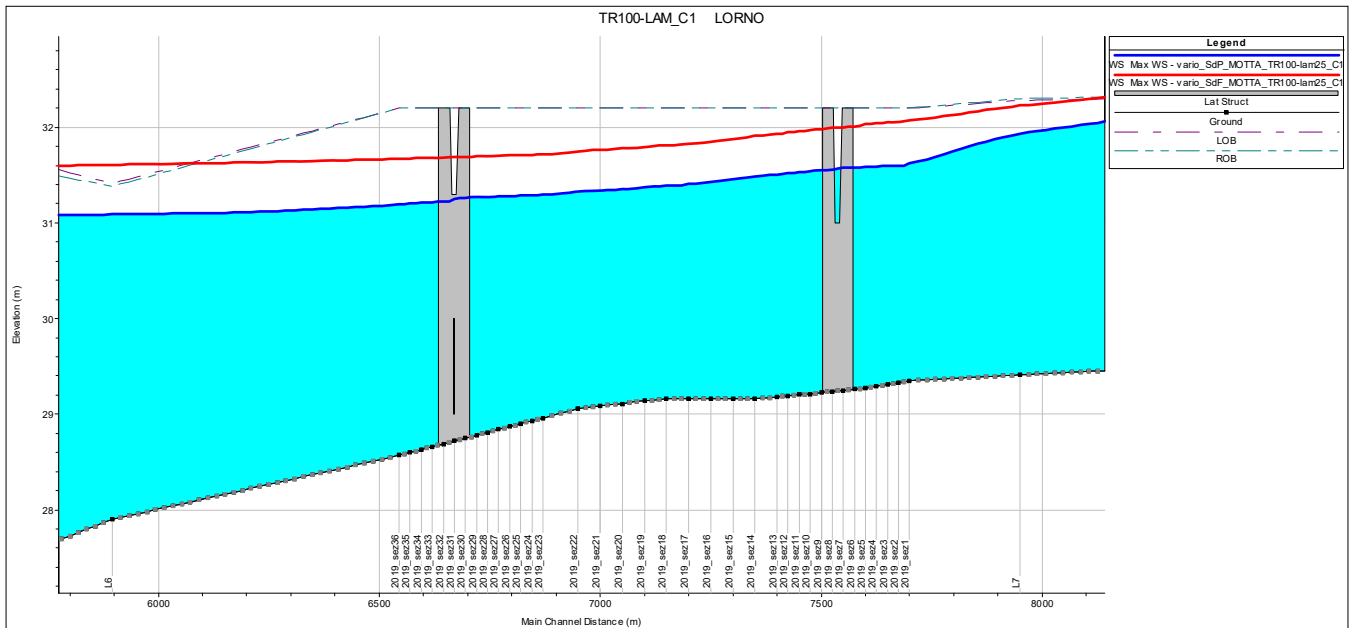


Figura 340 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Lorno in corrispondenza della cassa.

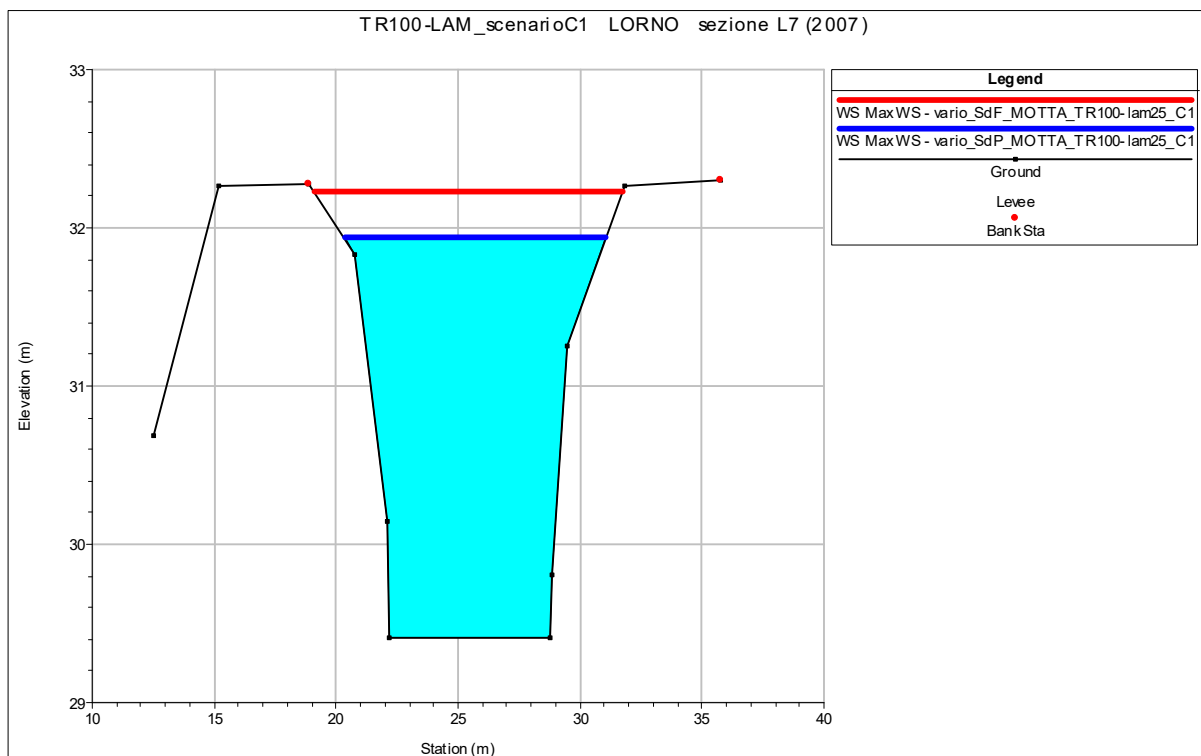


Figura 341 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L7 (2007) del Lorno a monte della cassa.

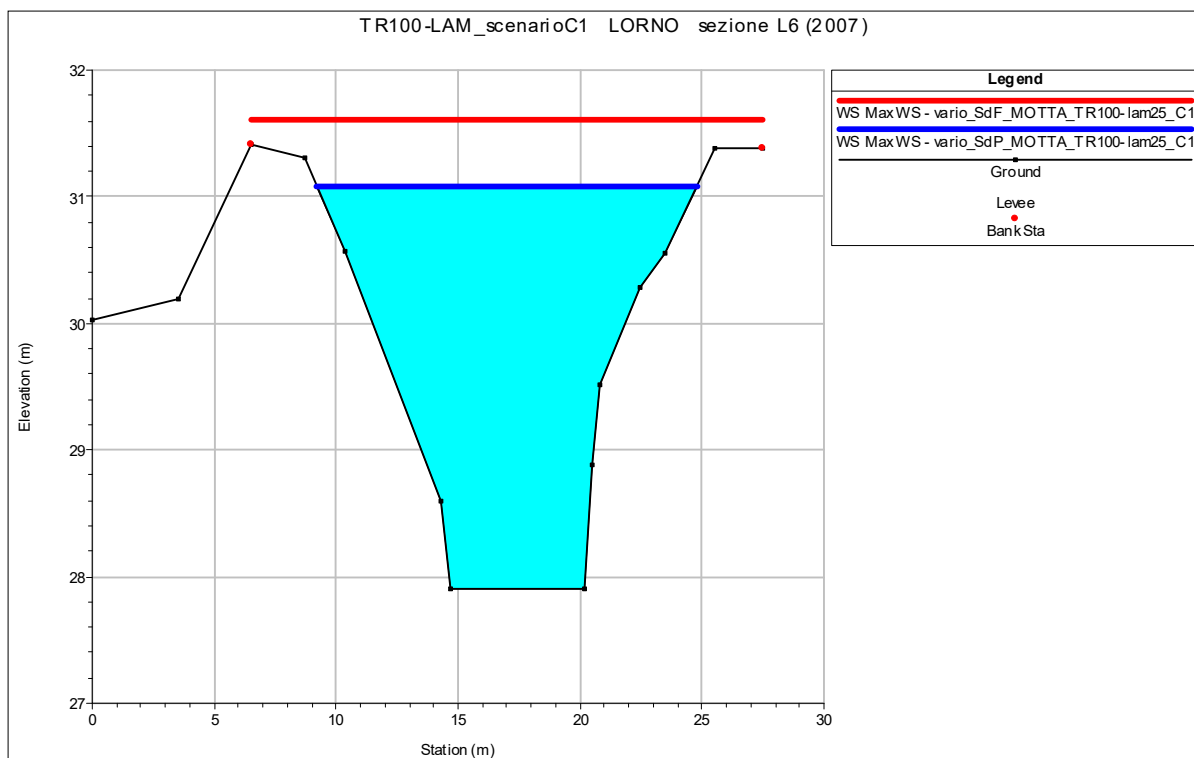


Figura 342 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione L6 (2007) del Lorno a valle della cassa.

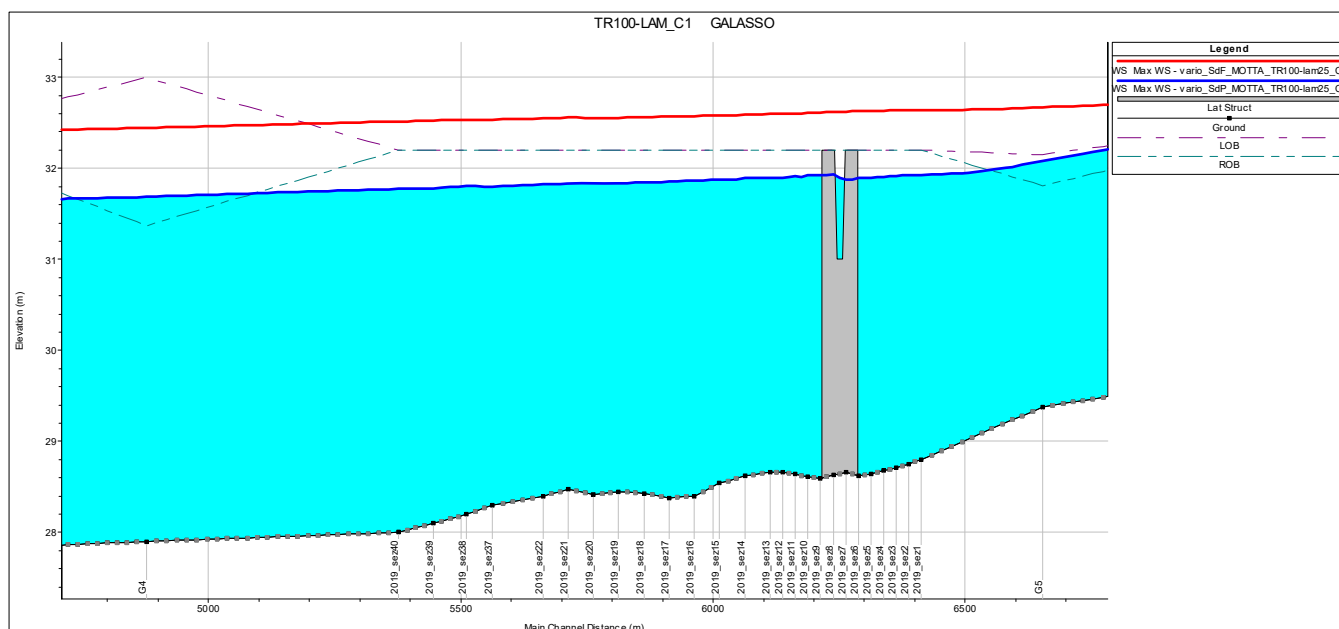


Figura 343 - Confronto dei profili di rigurgito fra stato di fatto e stato di progetto nel canale Galasso in corrispondenza della cassa.

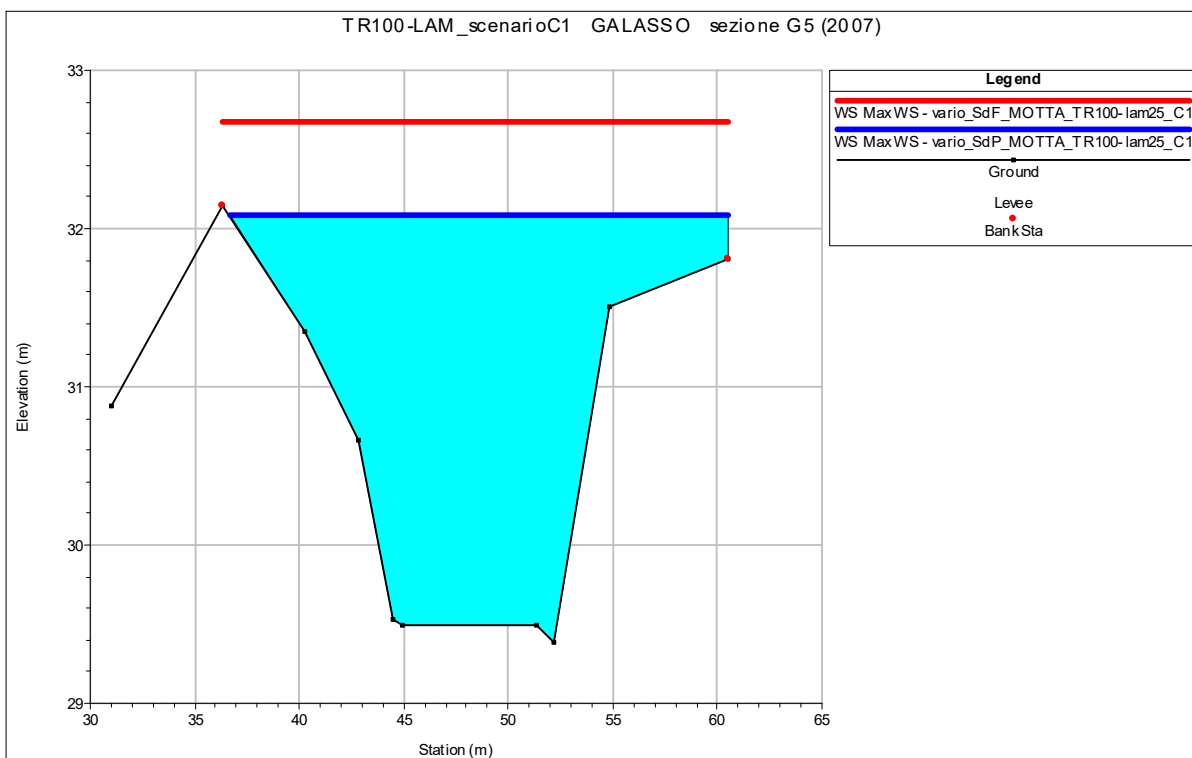


Figura 344 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G5 (2007) del Galasso a monte della cassa.

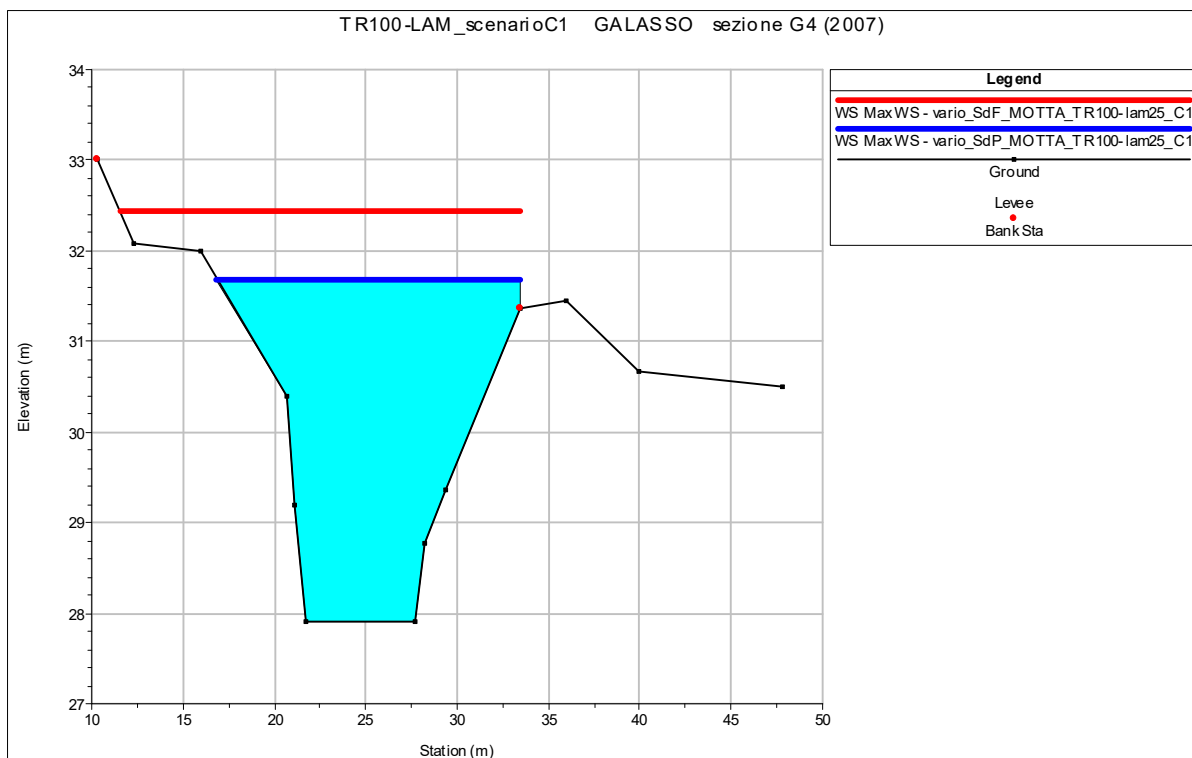


Figura 345 - Confronto fra stato di fatto e stato di progetto dei livelli idrometrici nella sezione G4 (2007) del Galasso a monte della cassa.

4.8 VOLUMI E QUOTE IDROMETRICHE DELL'INVASO IN PROGETTO

In questo paragrafo verranno elencati i risultati in termini di volumi invasati e livello idrometrico raggiunto all'interno della casa d'espansione per i diversi scenari simulati. Come accennato precedentemente, verranno esposti solamente i risultati per gli eventi con TR 20, 50 e 100-LAM in quanto, per gli eventi con TR di 100 anni, il sistema drenante non è in grado di contenere l'onda di piena che si genera all'interno dei canali. Inoltre le quote idrometriche all'interno della vasca superano la quota di progetto per la maggior parte delle simulazioni con TR di 100 anni. Il franco di sicurezza è stato calcolato rispetto alla quota minima degli argini di contenimento dell'invaso prevista a 32,20 m s.l.m.. Le tabelle seguenti elencano i risultati per i TR 20, 50 e 100-LAM:

	Franco maggiore di 50 cm
	Franco compreso fra 30 e 50 cm
	Franco compreso fra 30 e 0 cm
	Limite arginale di 32.20 m s.l.m.

Tabella 19 – Legenda dei colori utilizzati.

TR 20						
Config.	c.c. sul Parma		c.c. sul Po	V invaso	h invaso	T svuot.
	Porte Vinciane		Chiavica Motta	(1000 m ³)	(m)	(gg)
A	A1	Moto uniforme, pendenza 0.15%		290	30.49	6
	A2	Livello idrometrico 30,00 m		350	30.84	3
	A3	Livello idrometrico 30,50 m		425	31.15	2
	A4	Livello idrometrico 31,00 m		525	31.55	2
	A5	Livello idrometrico 31,50 m		665	32.13	2
B	B1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	380	30.97	10
	B2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	410	31.09	7
	B3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	445	31.23	6
	B4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	480	31.38	5
C	C1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Livello idrometrico 29,30 m	390	31.00	6
	C2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Livello idrometrico 30,00 m	455	31.27	5
	C3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Livello idrometrico 30,50 m	515	31.53	3
	C4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Livello idrometrico 31,00 m	591	31.83	2

Tabella 20 – Volumi invasati e livelli idrometrici raggiunti nella cassa per il TR di 20 anni.

TR 50						
Config.	c.c. sul Parma		c.c. sul Po	V invaso	h invaso	T svuot.
	Porte Vinciane		Chiavica Motta	(1000 m ³)	(m)	(gg)
A	A1	Moto uniforme, pendenza 0.15%	Chiusa	525	31.55	5
	A2	Livello idrometrico 30,00 m	Chiusa	570	31.73	3
	A3	Livello idrometrico 30,50 m	Chiusa	605	31.89	3
	A4	Livello idrometrico 31,00 m	Chiusa	645	32.06	2
	A5	Livello idrometrico 31,50 m	Chiusa	765	32.53	10
B	B1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	610	31.90	8
	B2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	620	31.95	7
	B3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	630	31.99	5
	B4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	650	32.07	7
C	C1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Livello idrometrico 29,30 m	605	31.87	6
	C2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Livello idrometrico 30,00 m	640	32.03	4
	C3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Livello idrometrico 30,50 m	675	32.16	3
	C4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Livello idrometrico 31,00 m	725	32.38	2

Tabella 21 – Volumi invasati e livelli idrometrici raggiunti nella cassa per il TR di 50 anni.

TR 100-LAM						
Config.	c.c. sul Parma		c.c. sul Po	V invaso	h invaso	T svuot.
	Porte Vinciane		Chiavica Motta	(1000 m ³)	(m)	(gg)
A	A1	Moto uniforme, pendenza 0.15%	Chiusa	380	30.97	7
	A2	Livello idrometrico 30,00 m	Chiusa	455	31.28	4
	A3	Livello idrometrico 30,50 m	Chiusa	510	31.50	3
	A4	Livello idrometrico 31,00 m	Chiusa	580	31.78	2
	A5	Livello idrometrico 31,50 m	Chiusa	690	32.23	2
B	B1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	560	31.69	7
	B2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	570	31.74	5
	B3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	585	31.81	3
	B4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Moto uniforme, pendenza 0.15%	605	31.89	2
C	C1	Chiuse - Livello idrometrico 30,00 m	Livello idrometrico 29,30 m	530	31.57	5
	C2	Chiuse - Livello idrometrico 30,50 m	Livello idrometrico 30,00 m	565	31.73	4
	C3	Chiuse - Livello idrometrico 31,00 m	Livello idrometrico 30,50 m	600	31.87	3
	C4	Chiuse - Livello idrometrico 31,50 m	Livello idrometrico 31,00 m	655	32.09	2

Tabella 22 – Volumi invasati e livelli idrometrici raggiunti nella cassa per il TR 100-LAM.

Dai risultati possiamo concludere che, per l'evento con TR di 20 anni, la cassa d'espansione così progettata è in grado di contenere i volumi invasati con un franco di sicurezza maggiore di 50 cm nella maggior parte delle configurazioni simulate. Per gli scenari A5 e C4, invece, la cassa d'espansione così progettata è in grado di contenere i volumi invasati con un franco di sicurezza rispettivamente di 7 e 37 cm con un livello del Parma di 31,50 m s.l.m.

Per le simulazioni con TR 100-LAM la cassa d'espansione così progettata è in grado di contenere i volumi invasati con un franco di sicurezza di almeno 50 cm in tutti gli scenari aventi come condizione al contorno sul Parma un'altezza uguale o inferiore a 30,50 m s.l.m. Per gli scenari B4 e C4 il franco di sicurezza all'interno della cassa è rispettivamente di circa 31 e 11 cm, mentre nello scenario A5 la cassa non è sufficiente a contenere i volumi invasati.

I risultati delle simulazioni con un TR di 50 la cassa d'espansione così progettata è in grado di contenere i volumi invasati con un franco di sicurezza di almeno 30 cm in tutti gli scenari aventi come condizione al contorno sul Parma un'altezza uguale a 30,00 m s.l.m. Negli scenari A5 e C4 il livello idrometrico raggiunto all'interno della cassa supera la quota arginale minima di 32,20 m s.l.m.

Per quanto riguarda invece le simulazioni con il TR di 100 anni, nessuna configurazione vede risultati sostenibili. Anche nello scenario A1, quello meno critico, si raggiungono quote di invaso superiori a 32,30 m s.l.m..