

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



COMUNE DI ALESSANDRIA

COMUNE DI FRUGAROLO

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO - ECONOMICA
LAVORI DI REGIMAZIONE IDRAULICA DEL RIO LOVASSINA DA
SPINETTA MARENGO ALLA CONFLUENZA NEL FIUME BORMIDA
LOTTO 2

OGGETTO:

RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA

ELABORATO N.**04**

REV.	DESCRIZIONE	DATA	SCALA	REDAZIONE	REVISIONE
00	Prima Emissione	Aprile 2024	-	Sordo	Sordo

IL COMMITTENTE:

Amministrazione Comunale di Alessandria

IL PROGETTISTA:SR STUDIO
STUDIO ASSOCIATO

Ing. Sergio Sordo

Corso Langhe 10 - Alba (CN)

tel: 0173 364823

email: sordosergio@srstudio.info

IL RUP:

Arch. Antonio Maria Zappa

DIRIGENTE SETTORE OO.PP. E

INFRASTRUTTURE CITTÀ DI ALESSANDRIA

Piazza della Libertà 1 - Alessandria (AL)

tel: 0131 515153

email: antonio.zappa@comune.alessandria.it

SOMMARIO

1 - PREMESSA	4
2 - DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE	5
3 - CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL RIO LOVASSINA	12
4 - VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME AL COLMO CON ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO.....	13
4.1 - DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	13
4.2 - VALUTAZIONE DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA ATTRAVERSO LE LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA	17
4.3 - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO.....	23
4.4 - DETERMINAZIONE DELLE PORTATE MASSIME AL COLMO.....	24
5 - DESCRIZIONE DEI RILIEVI TOPOGRAFICI UTILIZZATI.....	24
6 - PREDIMENSIONAMENTO DELLA CASSA DI LAMINAZIONE	25
6.1 - VALUTAZIONE DEL VOLUME DI INVASO DELLE CASSE DI LAMINAZIONE	25
6.2 - DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE ACCESSORIE DELLE CASSE DI LAMINAZIONE.....	27
7 - VERIFICHE IDRAULICHE DI DETTAGLIO MEDIANTE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IN REGIME DI MOTO VARIO	75
7.1 - DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO.....	75
7.2 - RISULTATI MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO PER L'EVENTO DI PIENA DI PROGETTO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI.....	83
8 - ANALISI DEL POSSIBILE SCENARIO DI DAM BREAK MEDIANTE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IN REGIME DI MOTO VARIO.....	177
8.1 - INFORMAZIONI STATISTICHE SULLA ROTTURA DELLE DIGHE	179
8.2 - METODI EMPIRICI PER LA STIMA DEI PARAMETRI CARATTERISTICI	182

8.3 - STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA.....	184
8.4 - DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO.....	190
8.5 - RISULTATI MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO PER L'EVENTO DI DAM BREAK DI PROGETTO.....	194
9 - CONCLUSIONI	251

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

1 - PREMESSA

Il presente studio idrologico-idraulico viene effettuato dallo scrivente Ing. Sergio Sordo, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cuneo (numero di iscrizione A769), a seguito dell'affidamento dell'incarico professionale da parte dell'Amministrazione Comunale di Alessandria.

Nel presente elaborato vengono analizzati gli aspetti idrologici ed idraulici necessari alla progettazione degli interventi di regimazione del Rio Lovassina da Spinetta Marengo sino alla confluenza in Bormida ed al prosieguo del Rio Lovassina nell'abitato Spinetta Marengo sino alla confluenza con il Rio Ressiga.

Tali interventi prevedono la realizzazione di due casse di laminazione a monte dell'abitato di Spinetta Marengo, la realizzazione di un canale scolmatore che convoglierà le portate in esubero nel Fiume Bormida e l'adeguamento del tratto cittadino tombinato del rio Lovassina in Spinetta Marengo.

Secondo la lottizzazione effettuata, la realizzazione della cassa d'espansione più piccola posta poco a monte di Litta Parodi, denominata "cassa 2", ricade all'interno del presente lotto 2.

Il dimensionamento delle opere in progetto è stato effettuato con riferimento all'evento di piena avente tempo di ritorno di 200 anni.

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

2 - DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO E LOCALIZZAZIONE DELLE OPERE

Il progetto generale denominato “Lavori di regimazione idraulica del rio Lovassina da Spinetta Marengo alla confluenza nel fiume Bormida” prevede la realizzazione di quattro lotti funzionali, la cui realizzazione permette di raggiungere la minimizzazione del rischio idraulico dell'abitato di Spinetta Marengo derivante dal rio Lovassina.

Di seguito vengono brevemente descritti i quattro lotti funzionali previsti e il loro funzionamento rispetto alla piena di progetto (TR200), elencati da monte verso valle:

- **LOTTO 4:** Intervento di realizzazione di una prima cassa di laminazione che si colloca in corrispondenza della confluenza del rio Gazzo con il rio Lovassina. Tale area di laminazione è in grado di ridurre la portata in ingresso, pari a 57.6 m³/s, ad un valore in uscita pari a 1.0 m³/s: della portata entrante nella cassa, 46.6 m³/s vengono laminati all'interno della stessa mentre i restanti 10 m³/s vengono scaricati all'interno dello scolmatore previsto al lotto 3;
- **LOTTO 3:** Intervento di realizzazione di un canale scolmatore in grado di scaricare una portata massima di 10 m³/s proveniente dalla cassa 4 direttamente nel Bormida. Il tracciato dello scolmatore prevede in larga parte la ricalibratura di fossati e rii minori attualmente esistenti, con la formazione di nuovi tratti di entità ridotta;
- **LOTTO 2:** Nel tratto tra la cassa 4 e Spinetta Marengo, il rio Lovassina riceve un contributo totale di acque di ruscellamento pari a 14.2 m³/s, che sommato a 1.0 m³/s uscente dalla cassa 4 si ottiene una portata entrante a Spinetta Marengo pari a 15.2 m³/s, che risulta essere incompatibile con il massimo valore convogliabile nel tratto cittadino tombinato, pari a 4.5 m³/s. E' prevista quindi la realizzazione di una cassa di laminazione subito a monte di Litta Parodi in grado di laminare 11.20 m³/s, garantendo come massima portata in uscita un valore compatibile pari a 4.0 m³/s;
- **LOTTO 1:** Lavori attualmente conclusi: sono stati condotti interventi di adeguamento del tratto cittadino tombinato del rio Lovassina a Spinetta Marengo.

Si riporta un estratto con l'indicazione delle opere in progetto previste dal progetto generale su BDTRE Regione Piemonte 2019 e foto aerea (Fonte: Google Earth, 2019).

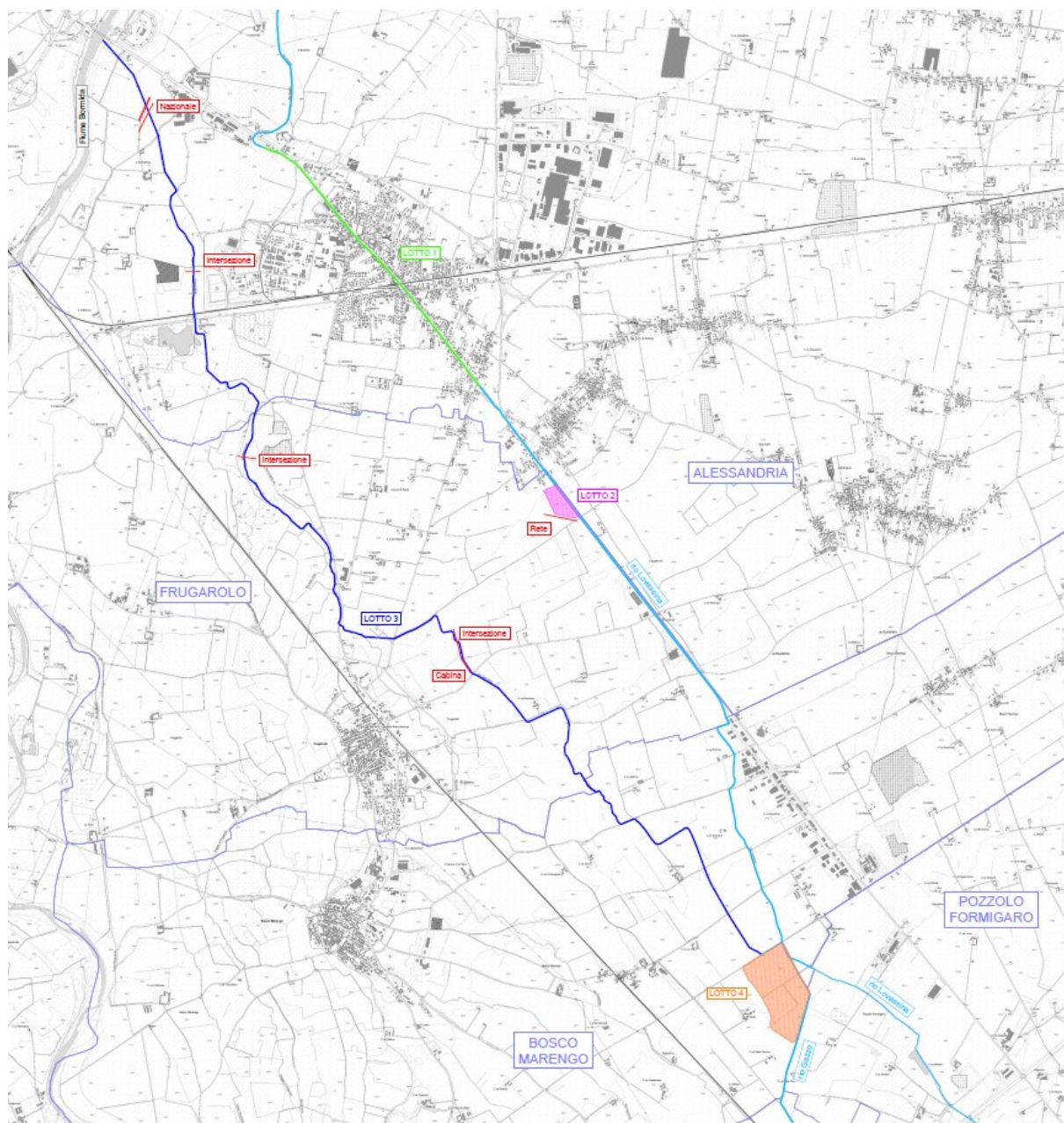


Figura 2.1: Inquadramento progetto generale su B.D.T.R.E. Regione Piemonte

LEGENDA:	
—	LIMITI AMMINISTRATIVI
—	RIO LOVASSINA E GAZZO
—	LOTTO 1
—	LOTTO 2
—	LOTTO 3
—	LOTTO 4
—	INTERFERENZE SNAM



Figura 2.2: Inquadramento progetto generale su foto aerea

LEGENDA:

- LIMITI AMMINISTRATIVI
- RIO LOVASSINA E GAZZO
- LOTTO 1
- LOTTO 2
- LOTTO 3
- LOTTO 4
- INTERFERENZE SNAM

Il presente progetto riguarda i lavori previsti al lotto 2, di seguito descritti.

Immediatamente a monte della frazione Litta-Parodi si rende necessaria la realizzazione di una cassa di laminazione, denominata cassa 2, in quanto il bacino sotteso dal tratto del Rio Lovassina a valle della cassa 4 è tale da generare portate non compatibili con le sezioni d'alveo esistenti a valle nel tratto cittadino tombinato. Tale cassa di laminazione avrà dimensioni più contenute rispetto alla cassa 4.

Lo studio svolto dalla provincia di Alessandria sul tratto in esame indica in $Q = 4.5 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata massima che può defluire nel tratto del Rio Lovassina canalizzato a lato della S.S. n. 35 bis a monte di Spinetta Marengo. La bocca tarata in progetto viene quindi dimensionata in modo da consentire il transito verso valle di una portata pari a $4 \text{ m}^3/\text{s}$; essa avrà dimensioni pari a $135 \times 80 \text{ cm}$ (larghezza e altezza), mentre lo sfioratore laterale in ingresso, sagomato secondo il profilo Creager-Scimeni avrà una lunghezza di 30 m ed una quota di sfioro pari 110.90 m s.l.m. . Entrambe le opere saranno realizzate in calcestruzzo armato. La quota di fondo della cassa sarà pari a 107.90 m s.l.m. ; il volume massimo di regolazione è pari a $148'000 \text{ m}^3$.

La cassa è dotata di uno sfioratore laterale in uscita, del tipo Creager-Scimeni, avente una lunghezza pari a 50 m ed una quota di sfioro pari a 110.90 m s.l.m. . Tale opera è in grado di allontanare la portata di progetto avente tempo di ritorno di 200 anni con un carico idraulico di 0.30 m . La quota di massimo invaso risulta quindi pari a 111.20 m s.l.m. . Il volume necessario alla laminazione sarà ottenuto in parte mediante scavo ed in parte attraverso la realizzazione di arginature in terra aventi una quota in sommità pari a 112.70 m s.l.m. (franco di 1.5 m sul livello di massimo invaso).

La cassa di laminazione sarà dotata di uno scarico di fondo realizzato mediante la posa in opera di due paratoie piane in acciaio a sezione circolare di diametro pari a 60 cm .

Si riportano nel seguito la planimetria e i particolari di progetto.

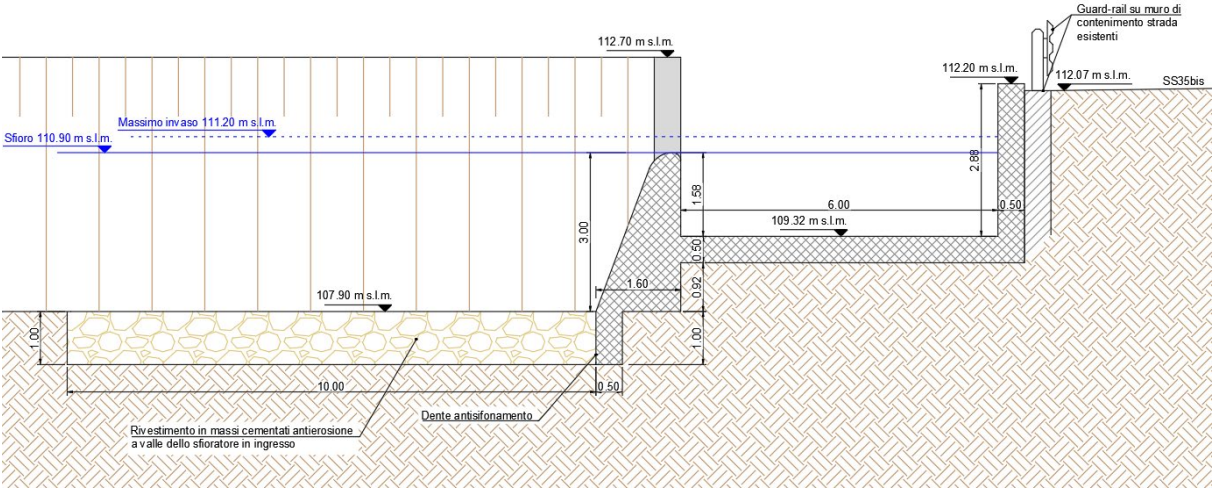


Figura 2.5: Particolare sfioratore di ingresso – sezione di monte

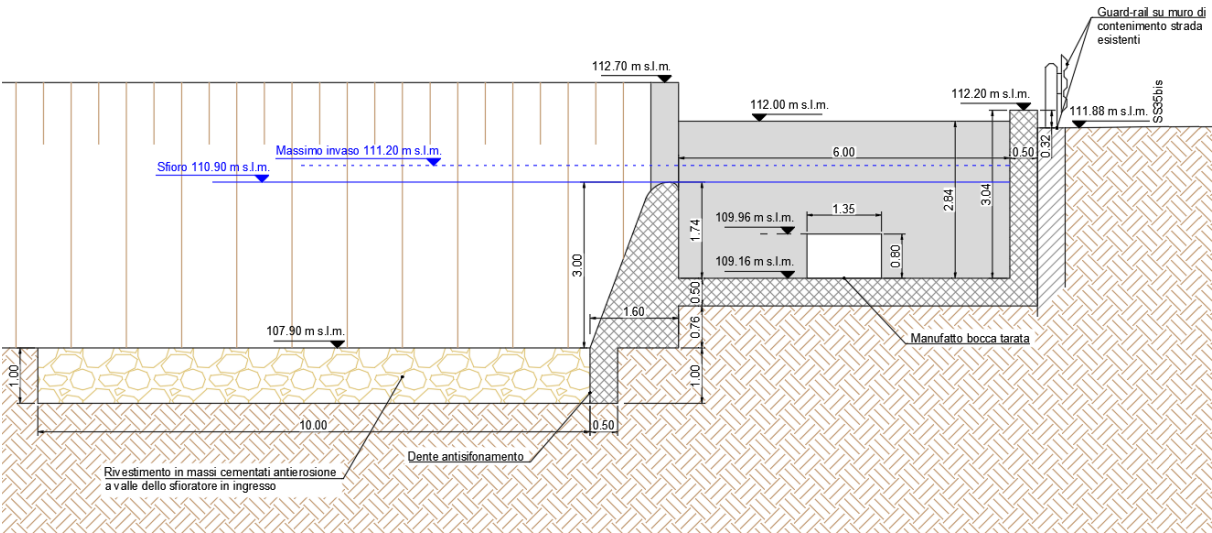


Figura 2.6: Particolare sfioratore di ingresso – sezione di valle con bocca tarata

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

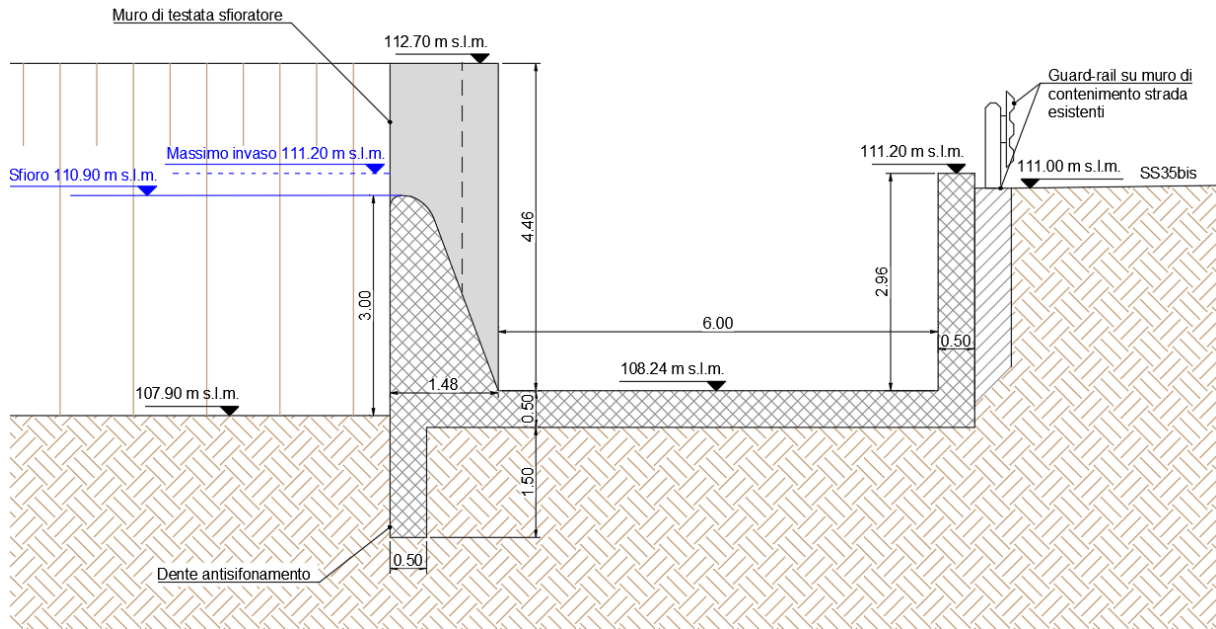


Figura 2.7: Particolare sfioratore di uscita – sezione di monte

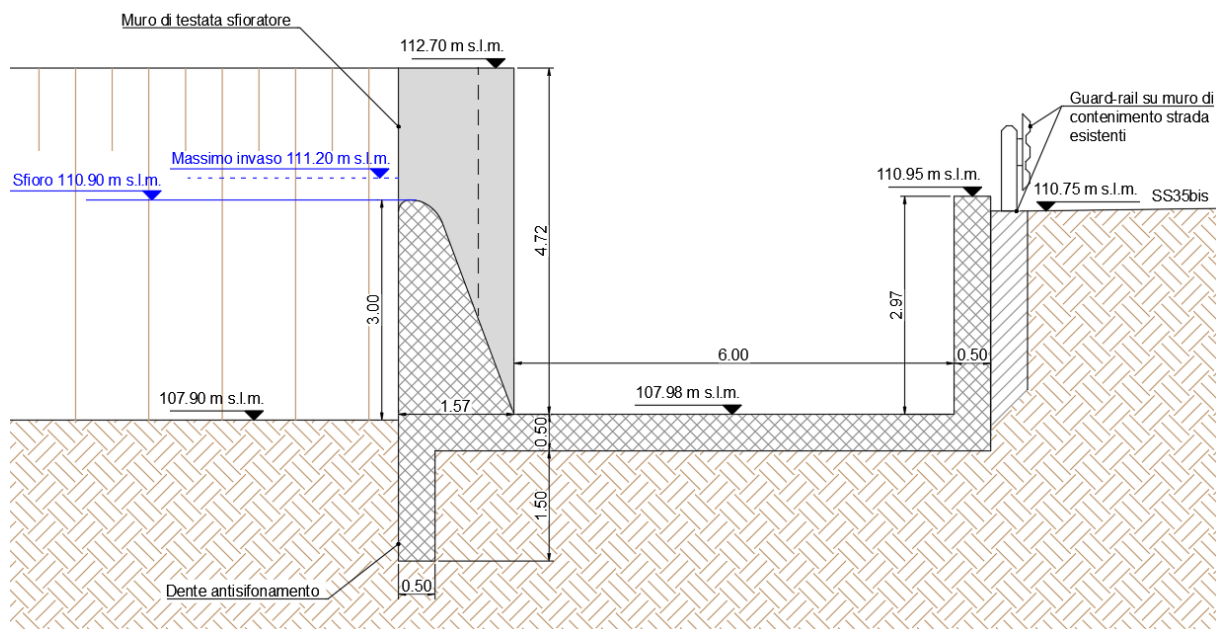


Figura 2.8: Particolare sfioratore di uscita – sezione di valle

3 - CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL RIO LOVASSINA

Le caratteristiche idrologiche del Rio Lovassina, che vengono adottate nei calcoli delle portate massime al colmo Q_{max} con gli assegnati tempi di ritorno, sono riferite ai seguenti bacini:

- bacino 1-1: bacino del Rio Lovassina con sezione di chiusura localizzata in corrispondenza della cassa 4 di monte;
- bacino 2-2: bacino del Rio Lovassina con sezione di chiusura localizzata immediatamente a monte dell'abitato di Litta Parodi, ovvero in corrispondenza della cassa 2 di valle;
- bacino 3-3: apporto laterale al Rio Lovassina nel tratto compreso tra la cassa 4 di monte e la cassa 2 di valle, posta immediatamente a monte dell'abitato di Litta Parodi.

La delimitazione dei bacini idrografici è stata effettuata utilizzando come supporto cartografico sia la Base Dati Territoriale di Riferimento Enti della Regione Piemonte (BDTRE 2018), sia il DTM ICE della Regione Piemonte. Tale DTM, realizzato nel 2012 con volo laser scanner LIDAR, presenta una risoluzione di 5 m e una precisione sulle quote di ± 30 cm. Inoltre sono state analizzate le foto aeree per capire quale sia la reale porzione di territorio che contribuisce alla portata del rio, in base al fitto reticolo di fossi e canali presenti in zona.

Le caratteristiche idrologiche dei bacini considerati sono riportate in Tab. 3.1.

BACINO	SUPERFICIE [km ²]	QUOTA SEZIONE DI CHIUSURA [m s.l.m.]
1-1	21.0	130
2-2	26.6	109
3-3	5.6	109

Tabella 3.1: caratteristiche idrologiche del bacino del Rio Lovassina in corrispondenza delle sezioni di chiusura considerate.

4 - VALUTAZIONE DELLE PORTATE MASSIME AL COLMO CON ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

La valutazione delle portate con assegnato tempo di ritorno può essere effettuata con la nota formula razionale, definita come segue:

con:

$$Q = \frac{\phi \cdot S \cdot j}{3.6}$$

con: Q = portata meteorica defluente [m³/s];

Φ = coefficiente di deflusso [-];

S = superficie bacino [km²];

j = intensità pluviometrica [mm/h].

L'intensità pluviometrica è definita come il rapporto tra l'altezza di pioggia h (in mm) e il tempo di pioggia (in ore), posto pari al tempo di corrivazione del bacino scolante.

Tale valutazione della portata prende origine, quindi, dalla stima dell'altezza di precipitazione che può verificarsi sulla superficie scolante per una definita durata.

Nel seguito si procede alla definizione delle tre grandezze da inserire nella formula razionale per ottenere il valore di portata con assegnato tempo di ritorno.

4.1 - DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Le durate di pioggia critiche per il bacino ed i relativi sottobacini da considerare nei calcoli idrologici sono quelle corrispondenti ai loro tempi di corrivazione, ovvero il tempo necessario perché tutta la superficie sottesa dalle prefissate sezioni contribuiscano al deflusso.

Per la determinazione del tempo di corrivazione si utilizzano una serie di formule empiriche e semi-empiriche disponibili in letteratura. Ogni formula ha un campo di applicazione relativo alla superficie del bacino stesso.

Nel caso in analisi sono state utilizzate le seguenti formule aventi un campo di applicazione coerente con le caratteristiche dei bacini analizzati.

Ventura

$$T_c = 0.1272 \cdot \left(\frac{S}{\frac{\Delta H}{L \cdot 1000}} \right)^{0.5}$$

Pasini

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\left(\frac{\Delta H}{L \cdot 1000} \right)^{0.5}}$$

Kirpich

$$T_c = 0.000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0.77} \cdot i_v^{-0.385}$$

Fattorelli

$$T_c = 5.13 \cdot \frac{L^{\frac{2}{3}}}{\Delta H^{\frac{1}{3}}}$$

FAO

$$T_c = \frac{L}{15 \cdot (H_{\max} / 1000)^{0.38}}$$

dove la simbologia adottata ha i seguenti significati:

T_c = tempo di corrivazione, in ore;

S = superficie del bacino, in km²;

L = lunghezza asta principale, in km;

ΔH = differenza di quota fra sorgente e sezione di chiusura dell'asta fluviale in oggetto, in m;

i_v = pendenza media dei versanti, in m/m;

H_{\max} = quota massima del bacino, in m s.l.m.

Applicando le formule precedentemente riportate si ottengono i seguenti valori del tempo di corrivazione:

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
1-1	VENTURA	6.65
	PASINI	7.99
	KIRPICH	3.68
	FATTORELLI	6.11
	FAO	1.37

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
2-2	VENTURA	8.07
	PASINI	10.45
	KIRPICH	4.46
	FATTORELLI	7.20
	FAO	1.93

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
3-3	VENTURA	4.78
	PASINI	5.31
	KIRPICH	1.72
	FATTORELLI	5.65
	FAO	0.77

Per ciascun bacino sono stati scartati i valori massimi e minimi ottenuti applicando le formule precedentemente riportate; il tempo di corrivazione del bacino viene assunto pari alla media dei valori restanti. Si ottiene:

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
1-1	VENTURA	6.65
	KIRPICH	3.68
	FATTORELLI	6.11
	MEDIA	5.48

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
2-2	VENTURA	8.07
	KIRPICH	4.46
	FATTORELLI	7.20
	MEDIA	6.58

BACINO	FORMULA	TEMPO DI CORRIVAZIONE [ore]
3-3	VENTURA	4.78
	PASINI	5.31
	KIRPICH	1.72
	MEDIA	3.94

Si assume pertanto un tempo di corrivazione pari a 5.5 ore per il bacino 1-1, a 6.6 ore per il bacino 2-2- e a 3.9 ore per il bacino 3-3.

4.2 - VALUTAZIONE DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA ATTRAVERSO LE LINEE SEGNALETRICI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

Con il termine altezza di precipitazione in un punto, comunemente misurata in mm, si intende l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale e impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) e in assenza di perdite.

La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa da una legge di potenza del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato e il parametro t rappresenta il tempo di pioggia. La condizione maggiormente critica si verifica quando il tempo di pioggia t coincide con il tempo di corrivazione del bacino T_c .

L'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po ha utilizzato le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica. La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate, definendo i parametri a ed n per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

I parametri, come detto poc'anzi, sono stati ricavati per le stazioni inserite negli Annali Idrologici.

Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette l'Autorità di Bacino ha condotto un'interpolazione spaziale, con il metodo di kriging, dei parametri a e n delle linee segnalatrici, discretizzate in base a un reticolo di 2 km di lato. I risultati consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione sulla corografia e, in dettaglio, sulla cartografia in scala 1:250.000.

I valori indicati costituiscono riferimento per le esigenze connesse a studi e progettazioni che, per dimensioni e importanza, non possano svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale.

I bacini in esame ricadono in più celle, dato che la loro estensione è variabile tra 5.6 e 26.6 km². La Fig. 4.2.1 mostra il posizionamento sulla griglia individuata dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po dei bacini considerati.

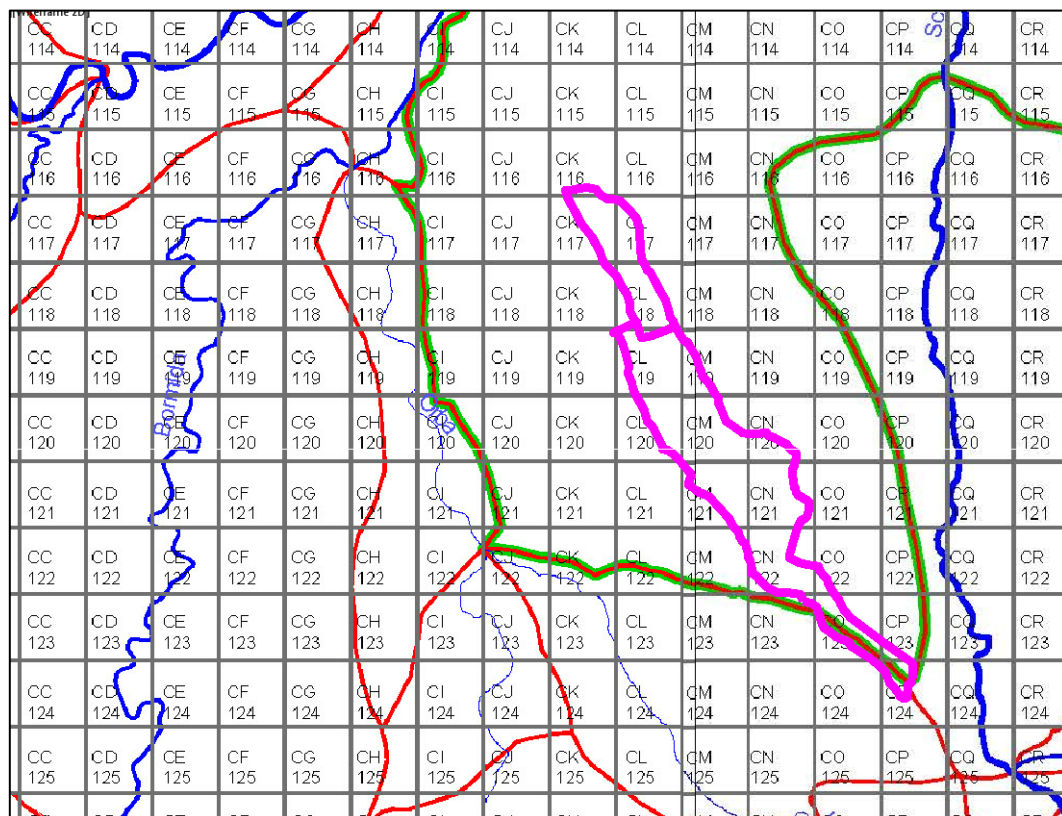


Figura 4.1: posizionamento del bacino del Rio Lovassina sulla griglia individuata dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

Per determinare il valore di altezza di pioggia di progetto sull'intero bacino si procede calcolando l'altezza di pioggia di progetto in ogni singola cella, con i parametri a ed n desunti dal metodo di krigin dell'Autorità di Bacino, dopodiché si effettua un'operazione di media pesata delle altezze di pioggia sull'area del bacino ricadente in ogni cella.

BACINO 1-1									
Cella	Area [km ²]	T _R =20 anni		T _R =100 anni		T _R =200 anni		T _R =500 anni	
		a	n	a	n	a	n	a	n
CL119	3.11	47.65	0.335	62.95	0.332	69.49	0.331	78.13	0.330
CM119	0.77	48.55	0.333	64.16	0.330	70.83	0.330	79.65	0.328
CL120	1.71	48.93	0.346	64.85	0.343	71.65	0.342	80.64	0.341
CM120	3.07	49.74	0.343	65.97	0.341	72.9	0.340	82.06	0.339
CN120	0.85	50.24	0.342	66.65	0.340	73.65	0.339	82.91	0.338
CM121	2.59	51.18	0.354	68.11	0.352	75.33	0.351	84.88	0.350
CN121	3.06	51.62	0.352	68.72	0.350	76.01	0.349	85.66	0.348
CM122	0.10	52.9	0.365	70.59	0.363	78.14	0.362	88.12	0.361
CN122	2.93	53.27	0.363	71.12	0.360	78.74	0.359	88.82	0.358
CO122	0.23	53.04	0.362	70.77	0.359	78.34	0.358	88.34	0.357
CO123	1.73	54.84	0.370	73.4	0.367	81.31	0.367	91.78	0.365
CP123	0.17	54.18	0.368	72.44	0.365	80.23	0.364	90.53	0.362
CP124	0.69	56.13	0.377	75.21	0.373	83.35	0.372	94.11	0.370

Tabella 4.1: valori dei parametri a ed n delle linee segnalatrici di probabilità, forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, per le celle ricadenti all'interno del bacino 1-1.

BACINO 2-2									
Cella	Area [km ²]	T _R =20 anni		T _R =100 anni		T _R =200 anni		T _R =500 anni	
		a	n	a	n	a	n	a	n
CK116	0.16	43.72	0.304	57.14	0.300	62.89	0.298	70.48	0.297
CK117	1.92	44.59	0.315	58.46	0.311	64.39	0.310	72.23	0.308
CL117	1.05	45.77	0.313	60.06	0.310	66.17	0.309	74.23	0.307
CK118	0.11	45.48	0.326	59.83	0.323	65.97	0.322	74.08	0.32
CL118	2.15	46.63	0.324	61.41	0.321	67.72	0.320	76.07	0.319
CL119	3.32	47.65	0.335	62.95	0.332	69.49	0.331	78.13	0.330
CM119	0.77	48.55	0.333	64.16	0.330	70.83	0.330	79.65	0.328
CL120	1.71	48.93	0.346	64.85	0.343	71.65	0.342	80.64	0.341
CM120	3.07	49.74	0.343	65.97	0.341	72.9	0.340	82.06	0.339
CN120	0.85	50.24	0.342	66.65	0.340	73.65	0.339	82.91	0.338
CM121	2.59	51.18	0.354	68.11	0.352	75.33	0.351	84.88	0.350
CN121	3.06	51.62	0.352	68.72	0.350	76.01	0.349	85.66	0.348
CM122	0.10	52.9	0.365	70.59	0.363	78.14	0.362	88.12	0.361
CN122	2.93	53.27	0.363	71.12	0.360	78.74	0.359	88.82	0.358
CO122	0.23	53.04	0.362	70.77	0.359	78.34	0.358	88.34	0.357
CO123	1.73	54.84	0.370	73.4	0.367	81.31	0.367	91.78	0.365
CP123	0.17	54.18	0.368	72.44	0.365	80.23	0.364	90.53	0.362
CP124	0.69	56.13	0.377	75.21	0.373	83.35	0.372	94.11	0.370

Tabella 4.2: valori dei parametri a ed n delle linee segnalatrici di probabilità, forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, per le celle ricadenti all'interno del bacino 2-2.

BACINO 3-3									
Cella	Area [km ²]	T _R =20 anni		T _R =100 anni		T _R =200 anni		T _R =500 anni	
		a	n	a	n	a	n	a	n
CK116	0.16	43.72	0.304	57.14	0.300	62.89	0.298	70.48	0.297
CK117	1.92	44.59	0.315	58.46	0.311	64.39	0.310	72.23	0.308
CL117	1.05	45.77	0.313	60.06	0.310	66.17	0.309	74.23	0.307
CK118	0.11	45.48	0.326	59.83	0.323	65.97	0.322	74.08	0.32
CL118	2.15	46.63	0.324	61.41	0.321	67.72	0.320	76.07	0.319
CL119	0.19	47.65	0.335	62.95	0.332	69.49	0.331	78.13	0.330

Tabella 4.3: valori dei parametri a ed n delle linee segnalatrici di probabilità, forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, per le celle ricadenti all'interno del bacino 3-3.

Si calcolano quindi i valori delle altezze di pioggia in corrispondenza di ciascuna cella ricadente nel bacino esaminato.

BACINO 1-1					
Cella	Area [km²]	h_{TR20} [mm]	h_{TR100} [mm]	h_{TR200} [mm]	h_{TR500} [mm]
CL119	3.11	84.35	110.87	122.18	137.13
CM119	0.77	85.65	112.61	124.32	139.32
CL120	1.71	88.26	116.37	128.36	144.22
CM120	3.07	89.26	117.98	130.15	146.26
CN120	0.85	90.00	118.99	131.27	147.52
CM121	2.59	93.58	124.11	137.04	154.15
CN121	3.06	94.06	124.80	137.80	155.03
CM122	0.10	98.56	131.07	144.84	163.06
CN122	2.93	98.91	131.38	145.21	163.52
CO122	0.23	98.31	130.51	144.22	162.36
CO123	1.73	103.05	137.22	152.00	170.99
CP123	0.17	101.46	134.96	149.22	167.80
CP124	0.69	106.74	142.05	157.15	176.84

Tabella 4.4: Valori delle altezze di pioggia calcolati in ogni cella ricadente nel bacino 1-1.

BACINO 2-2					
Cella	Area [km ²]	h _{TR20} [mm]	h _{TR100} [mm]	h _{TR200} [mm]	h _{TR500} [mm]
CK116	0.16	77.59	100.65	110.36	123.44
CK117	1.92	80.80	105.13	115.58	129.16
CL117	1.05	82.62	107.81	118.55	132.49
CK118	0.11	84.14	110.06	121.13	135.50
CL118	2.15	85.94	112.54	123.87	138.88
CL119	3.32	89.66	117.78	129.78	145.64
CM119	0.77	91.01	119.60	132.03	147.91
CL120	1.71	94.00	123.88	136.62	153.47
CM120	3.07	95.05	125.55	138.48	155.58
CN120	0.85	95.79	126.60	139.64	156.90
CM121	2.59	99.82	132.34	146.09	164.30
CN121	3.06	100.30	133.02	146.86	165.19
CM122	0.10	105.34	140.04	154.72	174.15
CN122	2.93	105.68	140.29	155.03	174.55
CO122	0.23	105.02	139.34	153.95	173.27
CO123	1.73	110.24	146.71	162.52	182.76
CP123	0.17	108.50	144.25	159.46	179.25
CP124	0.69	114.33	152.04	168.18	189.18

Tabella 4.5: Valori delle altezze di pioggia calcolati in ogni cella ricadente nel bacino 2-2.

BACINO 3-3					
Cella	Area [km ²]	h _{TR20} [mm]	h _{TR100} [mm]	h _{TR200} [mm]	h _{TR500} [mm]
CK116	0.16	66.12	85.95	94.34	105.59
CK117	1.92	68.46	89.26	98.19	109.84
CL117	1.05	70.08	91.58	100.76	112.73
CK118	0.11	70.88	92.86	102.24	114.51
CL118	2.15	72.47	95.05	104.68	117.43
CL119	0.19	75.17	98.91	109.03	122.42

Tabella 4.6: Valori delle altezze di pioggia calcolati in ogni cella ricadente nel bacino 3-3.

L'altezza di pioggia media di ciascun bacino viene quindi definita mediante un'operazione di media pesata delle altezze di pioggia sull'area del bacino ricadente in ogni cella. Si ottiene:

BACINO	h_{TR20} [mm]	h_{TR100} [mm]	h_{TR200} [mm]	h_{TR500} [mm]
1-1	92.88	122.97	135.78	152.67
2-2	95.74	126.40	139.45	156.64
3-3	70.52	92.24	101.51	113.71

Tabella 4.7: Valori delle altezze di pioggia medie dei bacini considerati.

L'intensità di pioggia media di ciascun bacino viene quindi calcolata dividendo l'altezza di pioggia media per il relativo tempo di corrivazione. Si ottiene:

BACINO	i_{TR20} [mm]	i_{TR100} [mm]	i_{TR200} [mm]	i_{TR500} [mm]
1-1	16.89	22.36	24.69	27.76
2-2	14.51	19.15	21.13	23.73
3-3	18.09	23.65	26.03	29.16

Tabella 4.8: Valori delle intensità di pioggia medie dei bacini considerati.

4.3 - DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

La valutazione del coefficiente medio di deflusso viene effettuata sui bacini in esame mediante l'analisi morfologica del territorio, della colture vegetale e dell'antropizzazione.

Il coefficiente medio di deflusso che viene assunto per i calcoli è:

BACINI 1-1, 2-2: $\Phi = 0.40$

BACINI 3-3: $\Phi = 0.35$

Tali valori sono stati determinati tenendo in conto il fatto che i bacini si presentano quasi completamente coltivati e che l'area in esame risulta pianeggiante.

4.4 - DETERMINAZIONE DELLE PORTATE MASSIME AL COLMO

Noti i tre parametri calcolati ai paragrafi precedenti, è possibile calcolare le portate di progetto con assegnato tempo di ritorno.

I risultati sono riassunti nella tabella seguente.

BACINO	Q_{TR20} [m ³ /s]	Q_{TR100} [m ³ /s]	Q_{TR200} [m ³ /s]	Q_{TR500} [m ³ /s]
1-1	39.4	52.2	57.6	64.8
2-2	42.9	56.6	62.5	70.2
3-3	9.8	12.9	14.2	15.9

5 - DESCRIZIONE DEI RILIEVI TOPOGRAFICI UTILIZZATI

Per valutare i livelli raggiunti dall'acqua nel Rio Lovassina, è condizione essenziale disporre di rilievi topografici dettagliati e sufficientemente estesi. Anche le batimetrie devono essere, per quanto possibile, accurate.

In particolare è stato effettuato un rilievo topografico nel tratto in cui si prevede la realizzazione del canale scolmatore in progetto. Inoltre sono state rilevate le sezioni trasversali del Rio Lovassina nelle zone in cui si prevede la realizzazione delle due casse di espansione.

Inoltre, nelle zone occupate dalle casse di laminazione in progetto è stato utilizzato il DTM ICE della Regione Piemonte; tale DTM, realizzato nel 2012 con volo laser scanner LIDAR, presenta una risoluzione di 5 m e una precisione sulle quote di ± 30 cm.

Il poter disporre di tali rilievi ha permesso di calcolare i livelli idraulici di piena sia nell'alveo sia nelle aree latitanti con una buona attendibilità lungo tutto il tratto d'asta in studio.

6 - PREDIMENSIONAMENTO DELLA CASSA DI LAMINAZIONE

Nei seguenti paragrafi viene riportato il predimensionamento dell'area di laminazione, effettuato nella configurazione finale di esercizio, ovvero con la realizzazione di tutti i lotti previsti dal progetto generale, per un tempo di ritorno di progetto pari a 200 anni. L'operazione di predimensionamento permette di ottenere l'ordine di grandezza del volume di laminazione necessario all'ottenimento della corretta laminazione della piena di progetto, fondamentale per le successive verifiche idrauliche di dettaglio.

6.1 - VALUTAZIONE DEL VOLUME DI INVASO DELLE CASSE DI LAMINAZIONE

Per la valutazione dei volumi di invaso si utilizza il metodo cinematico sviluppato da Alfonsi e Orsi nel 1987.

Le ipotesi semplificative adottate sono le seguenti:

- istogrammi netti di pioggia ad intensità costante;
- curva aree-tempi lineare;
- svuotamento della cassa a portata costante pari Q_{\max} (laminazione ottimale).

Sotto queste ipotesi si può scrivere l'espressione del volume W invasato nella vasca in funzione della durata della pioggia θ , del tempo di corrivazione del bacino T_c , della portata uscente dalla vasca Q_{\max} , del coefficiente di afflusso ϕ , dell'area del bacino A e dei parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica (Fig. 6.1.1):

$$W = \phi \cdot A \cdot a \cdot \theta^n + T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta^{n-1}}{\phi \cdot A \cdot a} - Q_u \cdot \theta - Q_u \cdot T_c$$

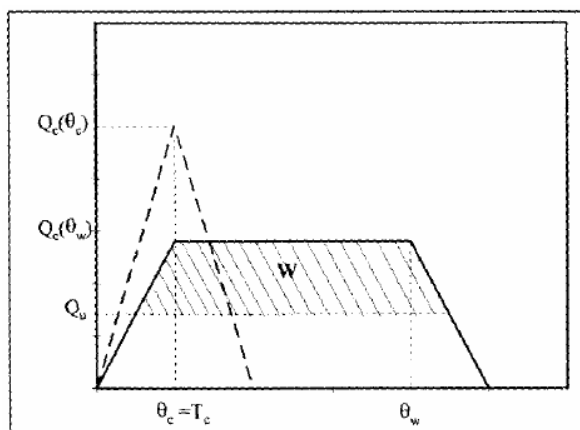


Figura 6.1-1: Determinazione dell'evento critico con il metodo cinematico

Nella Fig. 6.1-3 si riporta il valore del volume da invasare in funzione della durata dell'evento di pioggia con tempo di ritorno duecento anni considerando le caratteristiche del bacino sotteso alla cassa 2 ed una portata in uscita di $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (portata compatibile con il tratto intubato di valle).

Nelle condizioni finali di progetto, la cassa 4 di monte permette di laminare gran parte del colmo di piena, veicolando verso valle $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ che sommato al valore massimo di apporto laterale nel tratto compreso tra le due casse (bacino 3-3) pari a $14.2 \text{ m}^3/\text{s}$, si ottiene un valore di portata massima entrante nella cassa 2 di valle pari a $15.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il tempo di corrivazione del bacino (bacino 3-3) è stato valutato precedentemente ed è pari a 3.9 ore.

Per tener conto della portata di $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ proveniente dalla cassa 4 si considera una portata in uscita pari a soli $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Corso d'acqua	Sezione di chiusura	Superficie bacino $[\text{km}^2]$	Coefficiente di deflusso ϕ	Tempo di corrivazione
Rio Lovassina	Bacino 3-3	5.6	0.35	3.9

Tabella 6.1: Caratteristiche del bacino afferente la cassa di laminazione di valle

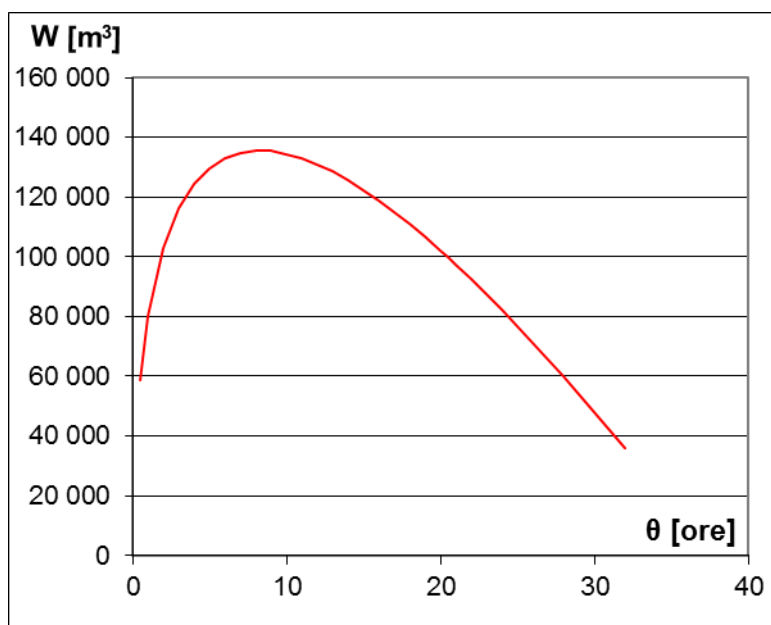


Figura 6.1: Caratteristiche del bacino afferente la cassa di laminazione di valle

Il punto di massimo del grafico corrisponde al volume da assegnare alla cassa calcolato con le ipotesi semplificative sopra riportate che è pari a circa 135'500 m³ corrispondente ad un evento di durata totale pari a 8 ore.

Per tener conto delle imprecisioni introdotte dalle ipotesi semplificative si considera un volume aumentato del 10% pari quindi a circa 148'000 m³.

6.2 - DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE ACCESSORIE DELLE CASSE DI LAMINAZIONE

Per consentire il corretto riempimento della area di espansione in progetto è necessario prevedere e dimensionare delle opere accessorie quali le bocche tarate sul Rio Lovassina (che limitano le portate defluenti nel tratto di valle) e sfioratori laterali di tipo Creager in ingresso e in uscita dalla cassa.

La bocca tarata da realizzarsi sul Rio Lovassina in corrispondenza della cassa 2 viene dimensionata in modo che la portata massima defluente nel tratto a valle non superi il valore di 4.0 m³/s (portata compatibile con il tratto intubato di Spinetta Marengo) quando la portata in arrivo da monte ha tempo di ritorno pari o inferiore ai 200 anni.

La portata in arrivo alla cassa 2, pari a 15.2 m³/s, è data dalla somma della portata in uscita dalla bocca tarata della cassa 4 prevista a monte ($Q=1$ m³/s per portata duecentennale) e dell'apporto laterale al Rio Lovassina nel tratto compreso tra le due casse ($Q=14.2$ m³/s per evento duecentennale).

Il funzionamento della bocca tarata è il seguente: per portate inferiori a circa 4.0 m³/s la corrente defluisce sostanzialmente indisturbata, mentre per valori di portata superiori si generano fenomeni di rigurgito nella zona di monte con conseguente incremento dei livelli idrici, si attiva lo sfioratore laterale in ingresso cassa e la cassa inizia a riempirsi.

Il predimensionamento idraulico delle opere (dimensioni della bocca tarata, quota di sfioro dello sfioratore in ingresso cassa e relativa lunghezza) è stato eseguito effettuando delle simulazioni idraulico-numeriche monodimensionali di moto permanente utilizzando il software HEC-RAS nella versione 5.0.3.

Nel dettaglio si è compiuta la modellazione del moto permanente del Rio Lovassina nella zona a ridosso della cassa 2, per un tratto di asta avente una lunghezza di circa 650 m; nel complesso sono state implementate n. 11 sezioni del rio come indicato nella planimetria in Allegato.

Le scabrezze adottate sono state dedotte dall'analisi del terreno e dalla letteratura tecnica e sono:

alveo Rio Lovassina:

$C = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

golene:

$C = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.10 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

L'elaborazione è stata compiuta partendo da valle e risalendo verso monte in quanto il moto dell'acqua avviene in corrente lenta con il profilo liquido che dipende dalle condizioni di valle. A proposito delle condizioni al contorno del modello, e cioè del livello dell'acqua nella sezione estrema di valle, si è imposto che tale livello fosse pari a quello del moto uniforme.

Le simulazioni, effettuate con riferimento alle portate aventi tempo di ritorno di 20, 100 e 200 anni, sono relative sia allo scenario attuale, sia a quello di progetto in cui si prevede la realizzazione della bocca tarata e dello sfioratore laterale in ingresso cassa. I valori numerici delle varie grandezze specificate in legenda relativi alla portata di verifica sono riportati nelle seguenti tabelle.

Anche i livelli del pelo libero per la portata considerata sono riportati nelle sezioni schematiche e nel profilo longitudinale allegati nelle pagine seguenti.

LEGENDA

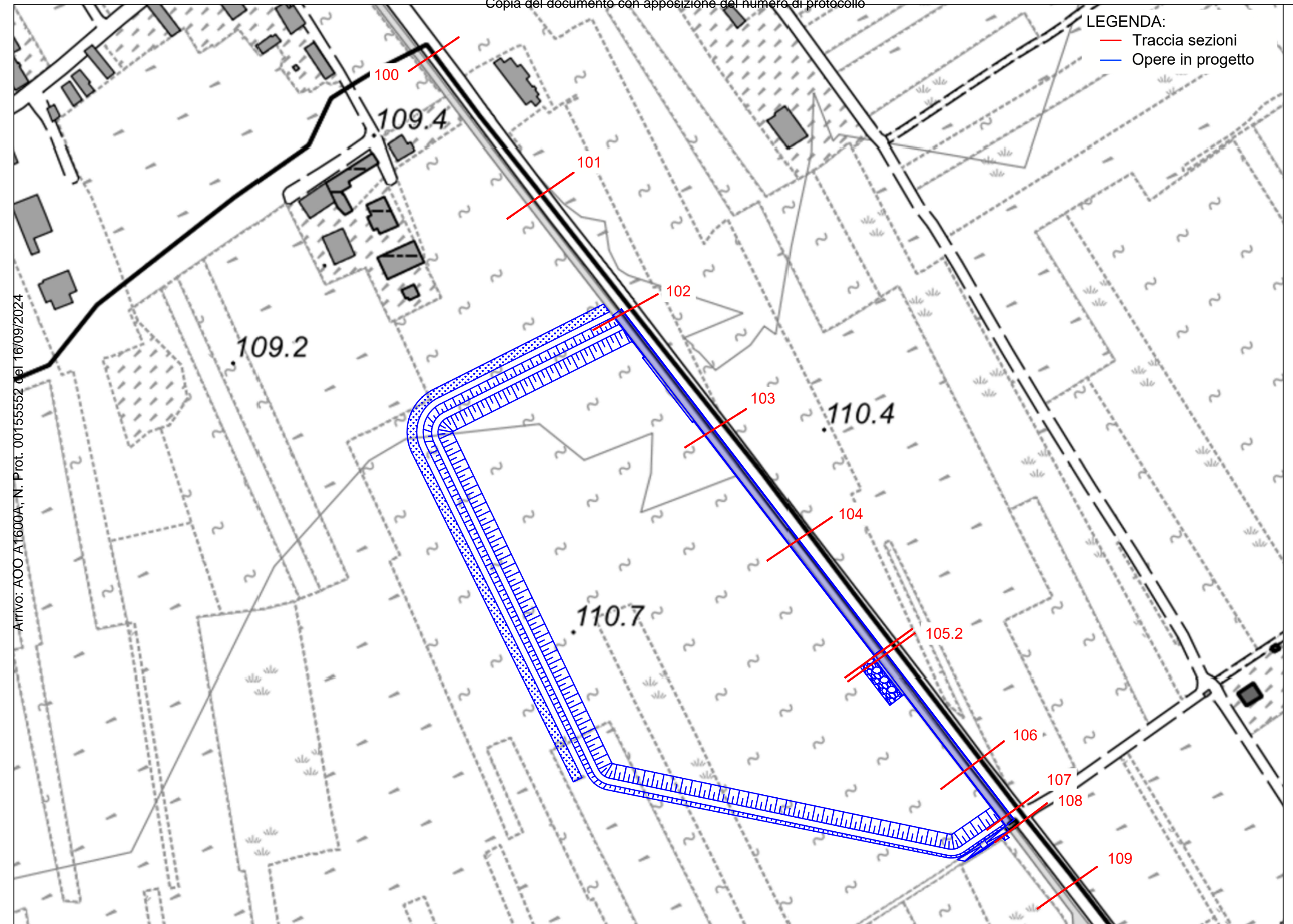
River sta.	= sezione di calcolo
Q total	= portata in m ³ /s
Min Ch El	= quota del fondo alveo in m
W.S. Elev.	= livello del pelo libero dell'acqua in m
Crit W.S.	= livello di moto critico dell'acqua in m
E.G. Elev	= livello energetico globale in m
E.G. Slope	= pendenza motrice
Vel Chnl	= velocità nell'alveo in m/s
Flow Area	= area liquida in m ²
Top Width	= larghezza sezione liquida in sommità in m
Froude # Chl	= numero di Froude della corrente in alveo

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

LEGENDA:

- Traccia sezioni
- Opere in progetto

Atto: AOO AT600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024



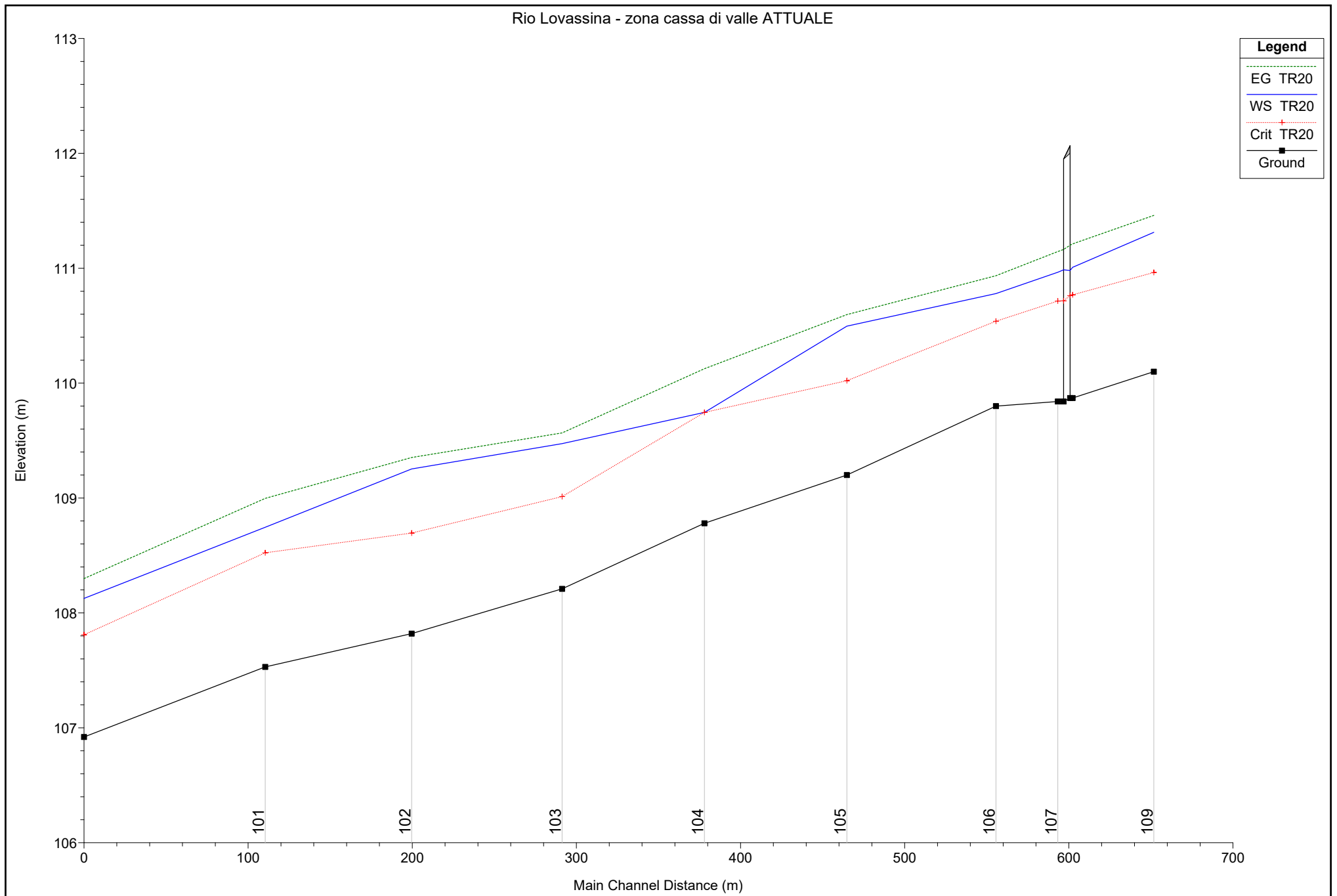
MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 1
SCENARIO ATTUALE

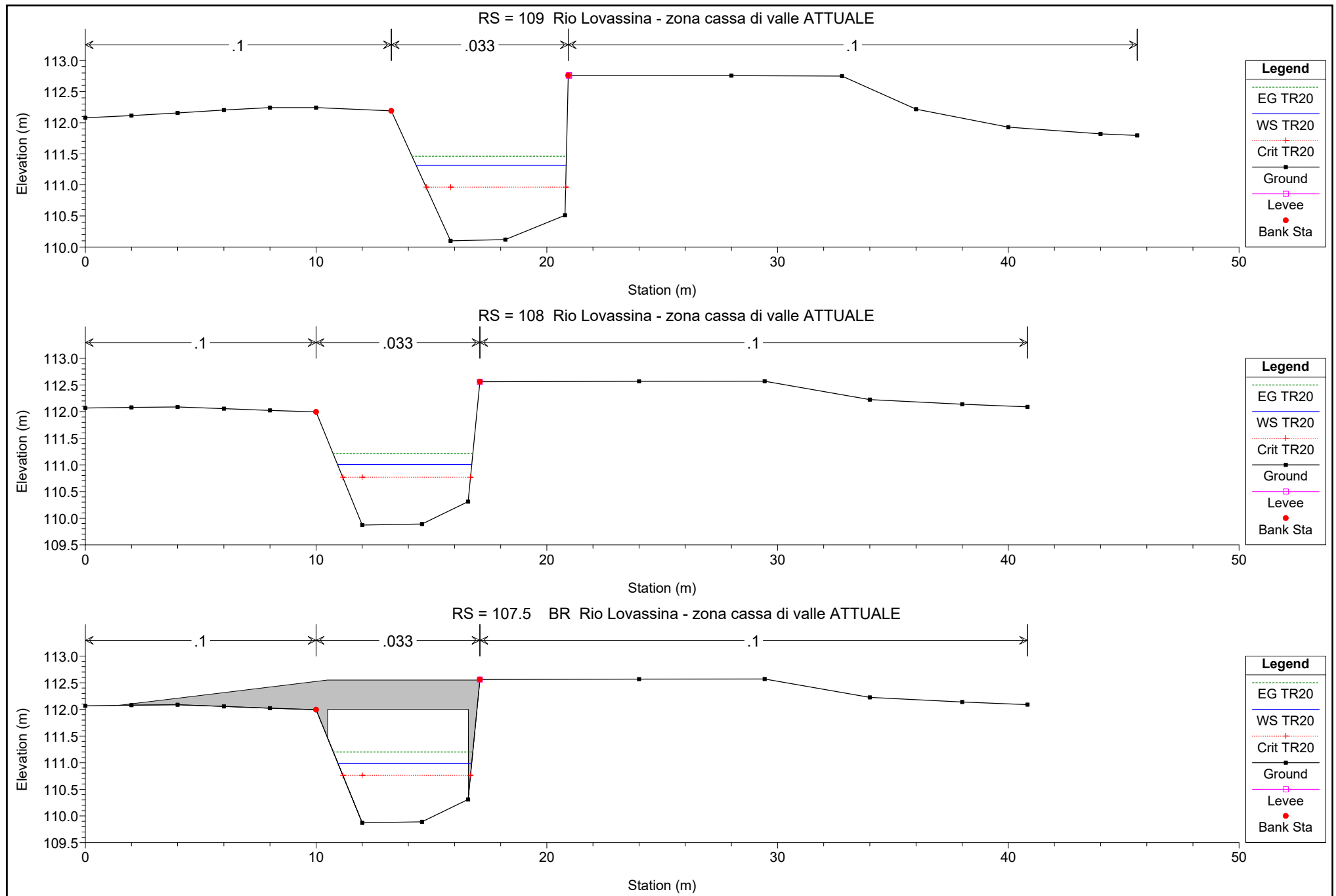
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	10.8 (1+9.8)	20

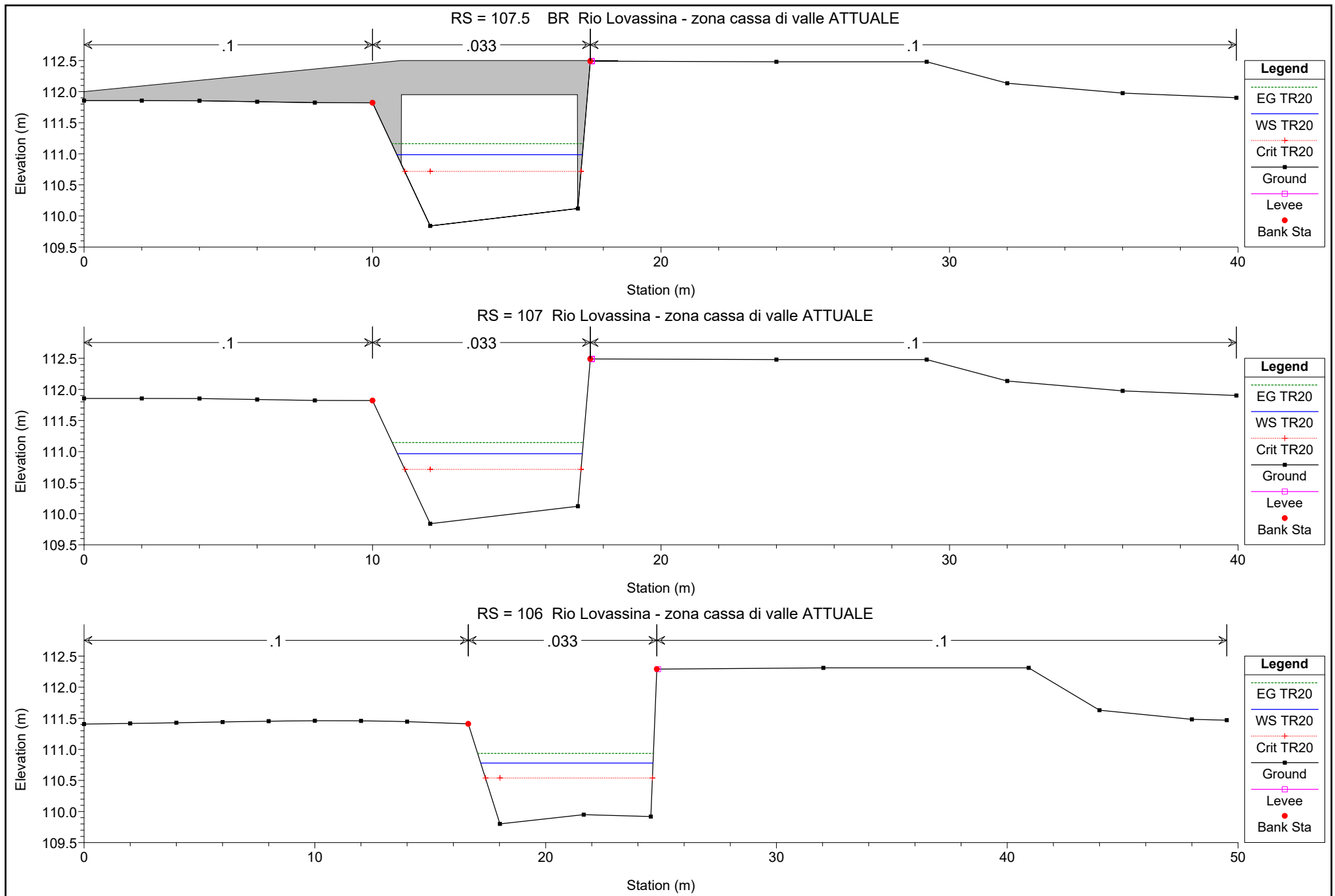
Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

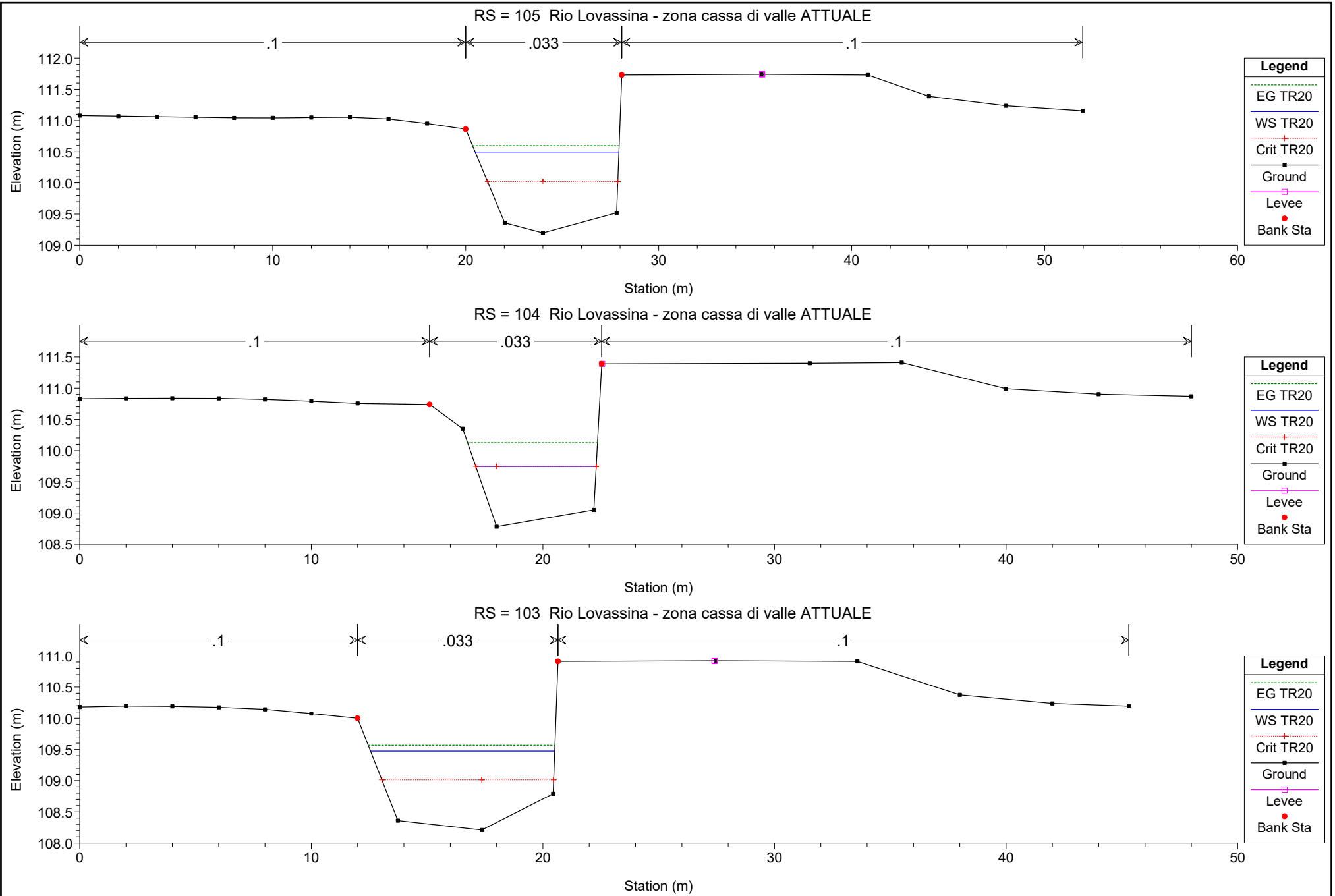
HEC-RAS Plan:

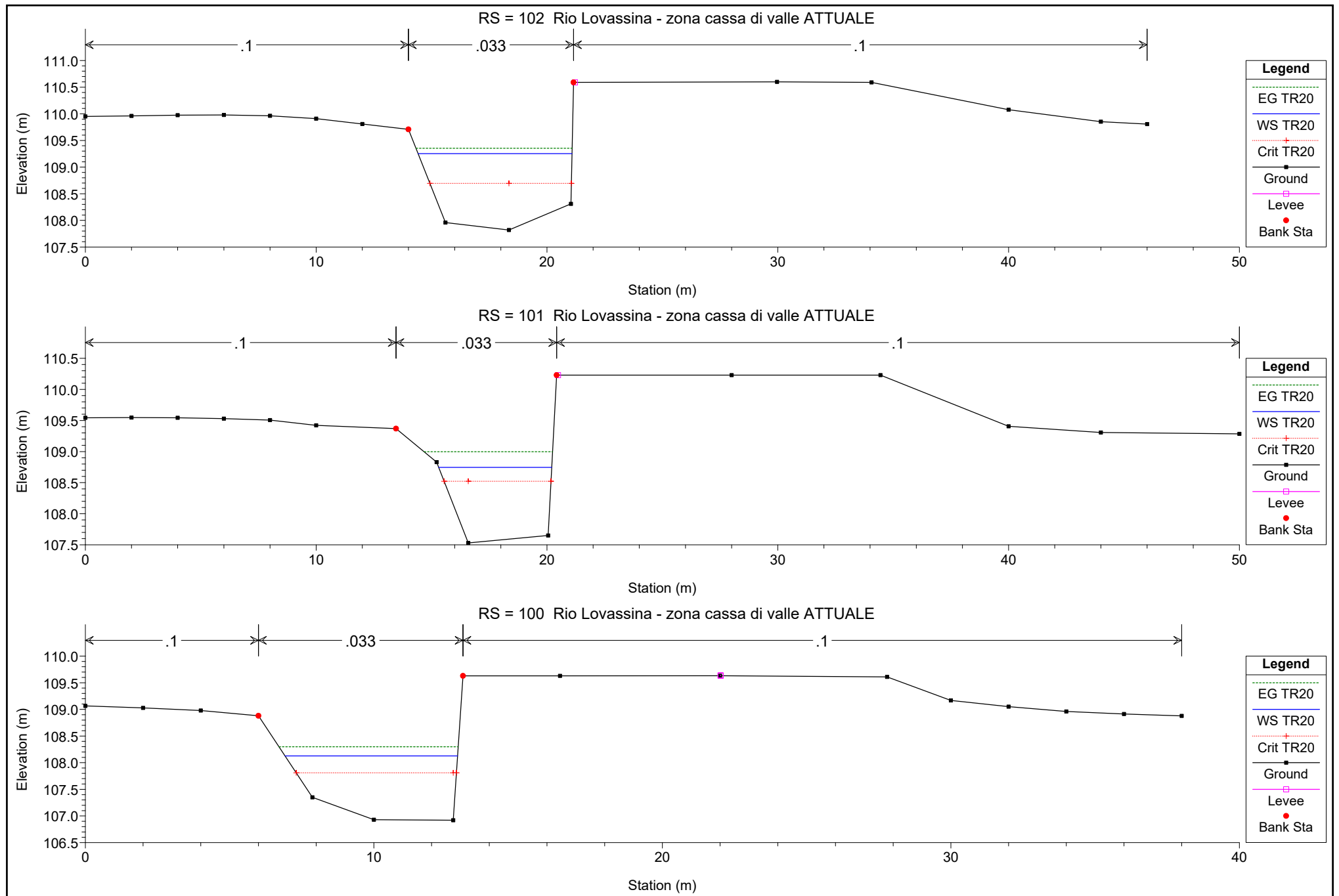
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR20	10.80	110.10	111.31	110.96	111.46	0.004061	1.70	6.36	6.50	0.55
Lovassina	108	TR20	10.80	109.87	111.01	110.77	111.21	0.006047	2.00	5.40	5.82	0.66
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR20	10.80	109.84	110.97	110.71	111.15	0.005565	1.88	5.75	6.41	0.63
Lovassina	106	TR20	10.80	109.80	110.78	110.54	110.93	0.005222	1.75	6.19	7.47	0.61
Lovassina	105	TR20	10.80	109.20	110.50	110.02	110.60	0.002554	1.41	7.67	7.45	0.44
Lovassina	104	TR20	10.80	108.78	109.75	109.75	110.13	0.014898	2.73	3.95	5.20	1.00
Lovassina	103	TR20	10.80	108.21	109.47	109.01	109.57	0.002365	1.35	7.98	7.95	0.43
Lovassina	102	TR20	10.80	107.82	109.25	108.69	109.35	0.002292	1.40	7.73	6.67	0.41
Lovassina	101	TR20	10.80	107.53	108.75	108.52	109.00	0.007635	2.22	4.86	4.90	0.71
Lovassina	100	TR20	10.80	106.92	108.13	107.81	108.30	0.005008	1.84	5.86	5.98	0.59











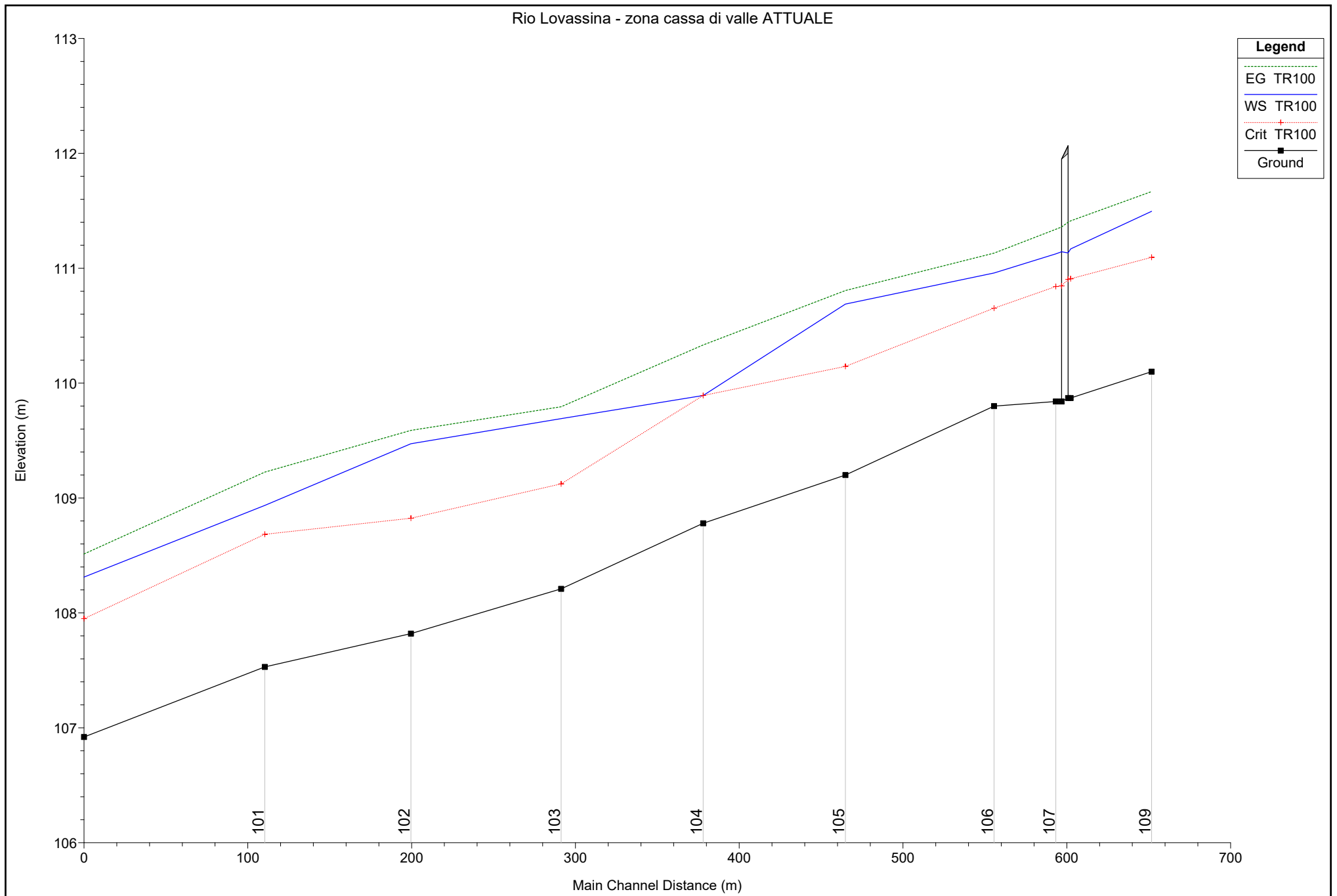
**MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 2
SCENARIO ATTUALE**

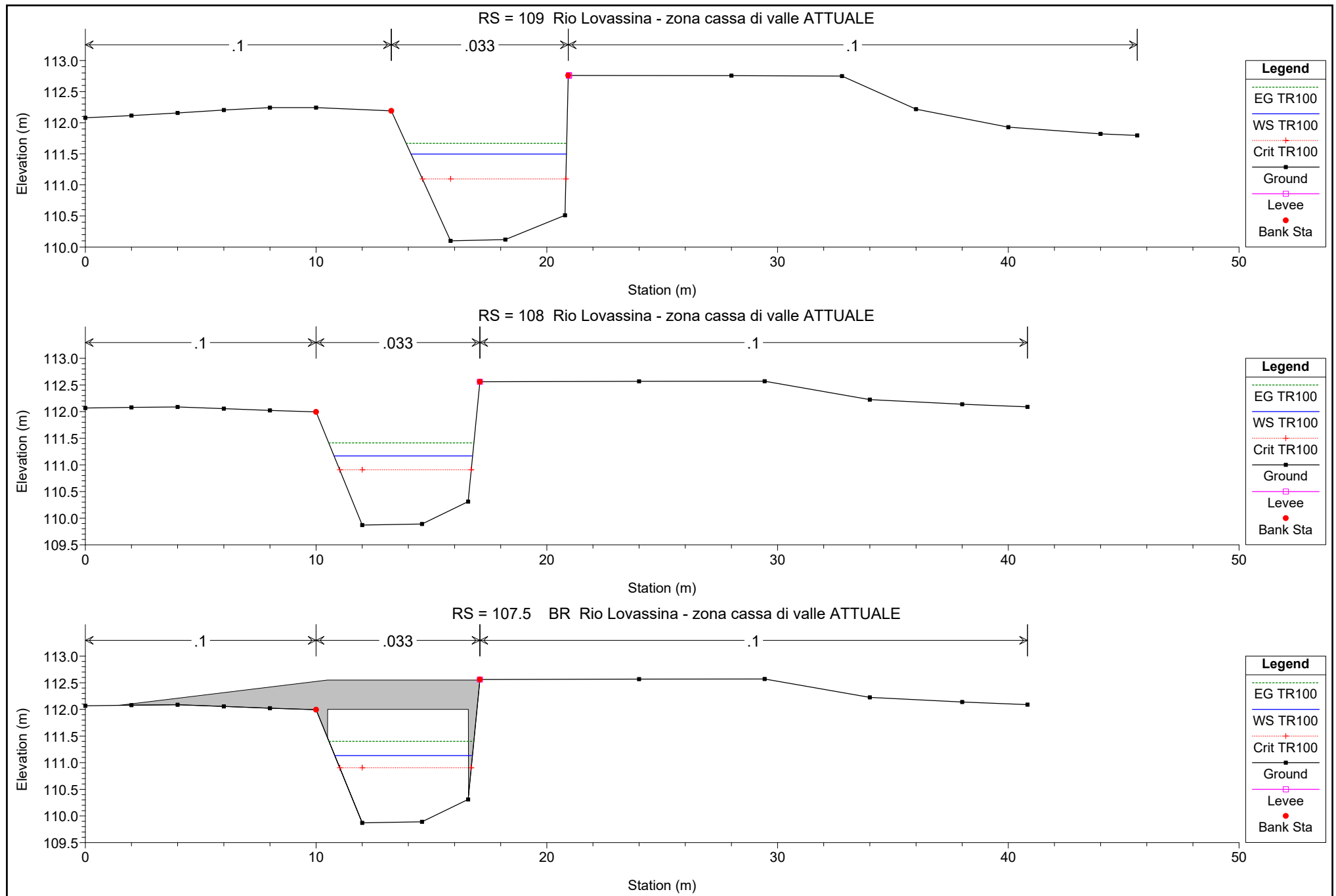
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	13.9 (1+12.9)	100

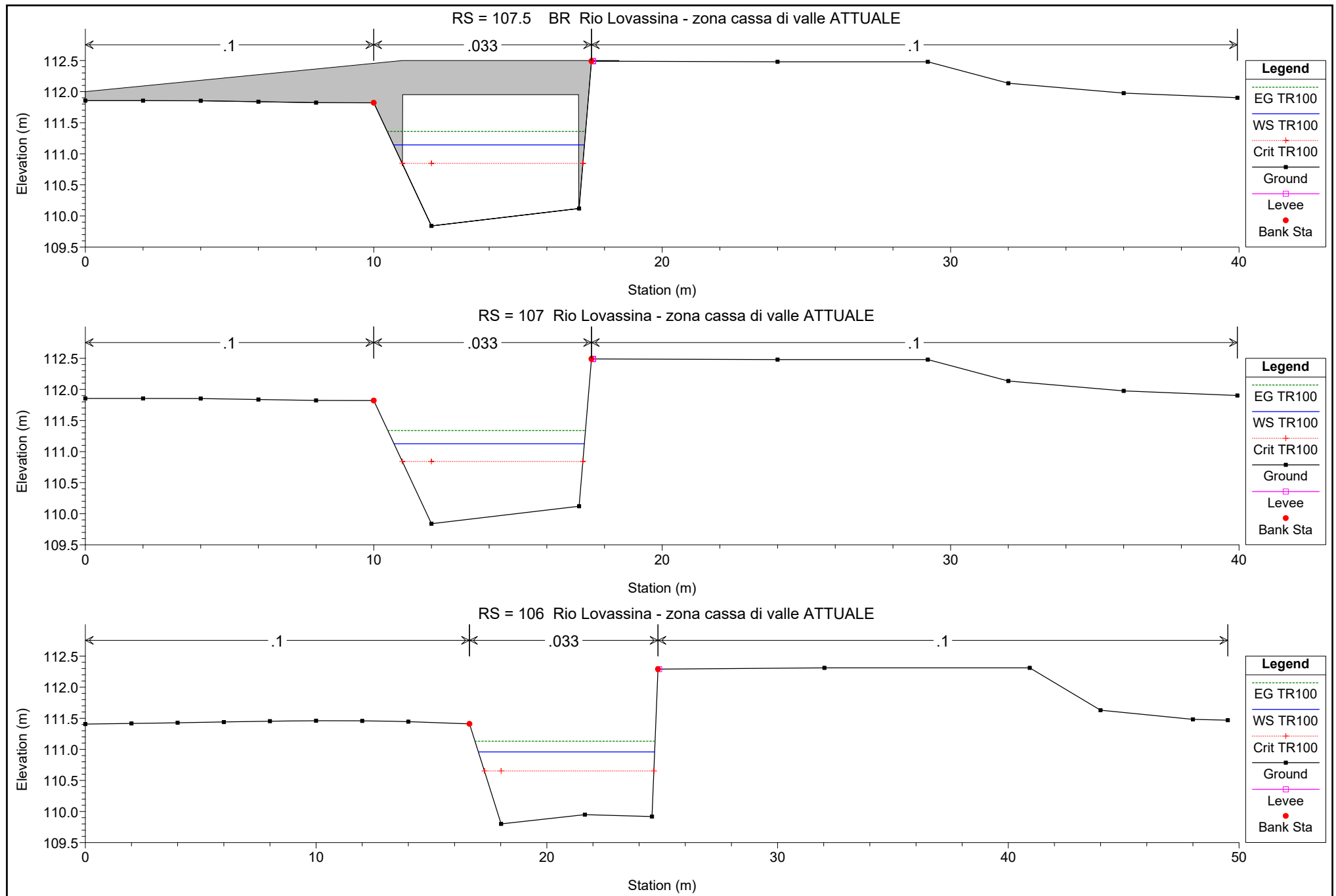
Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

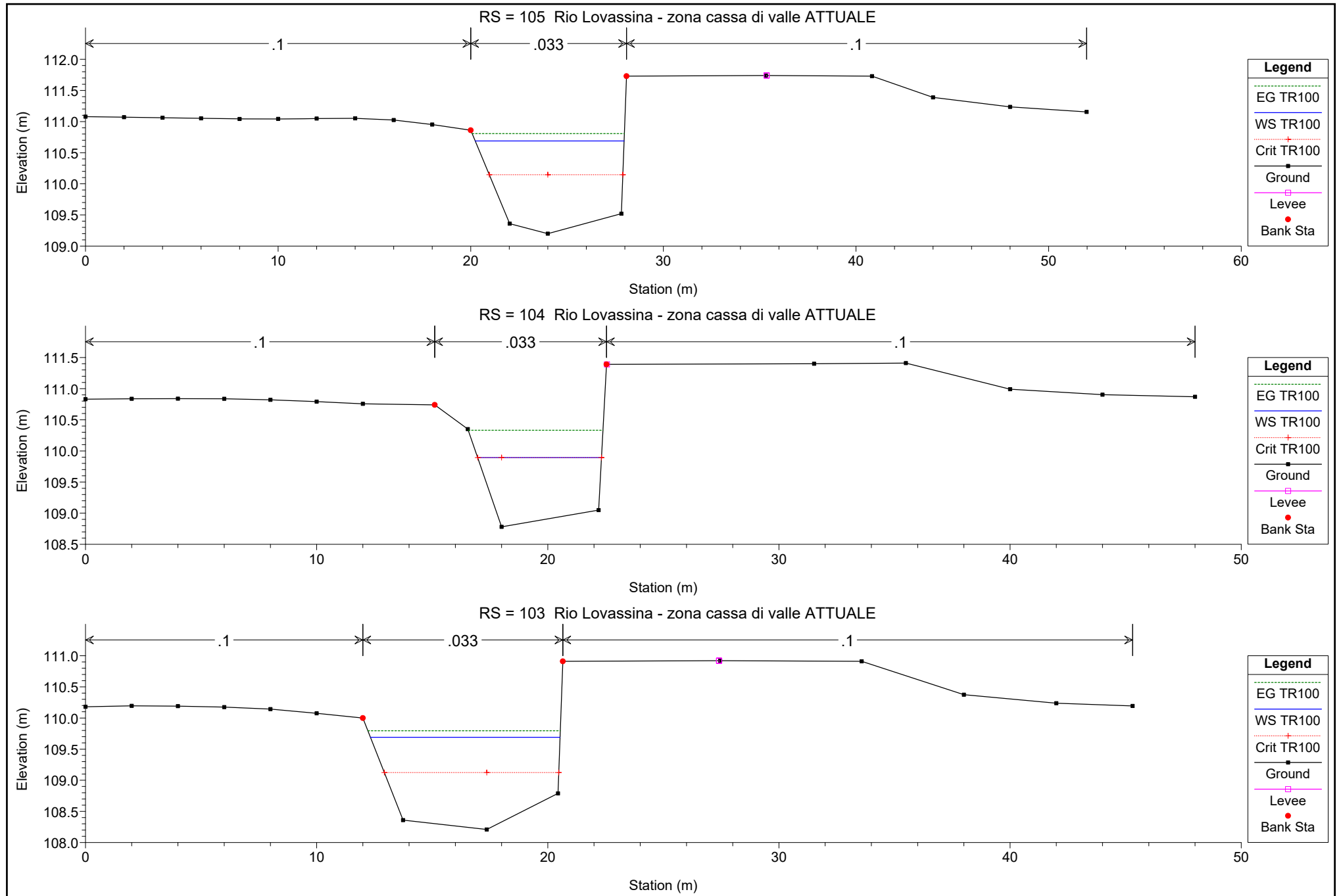
HEC-RAS Plan:

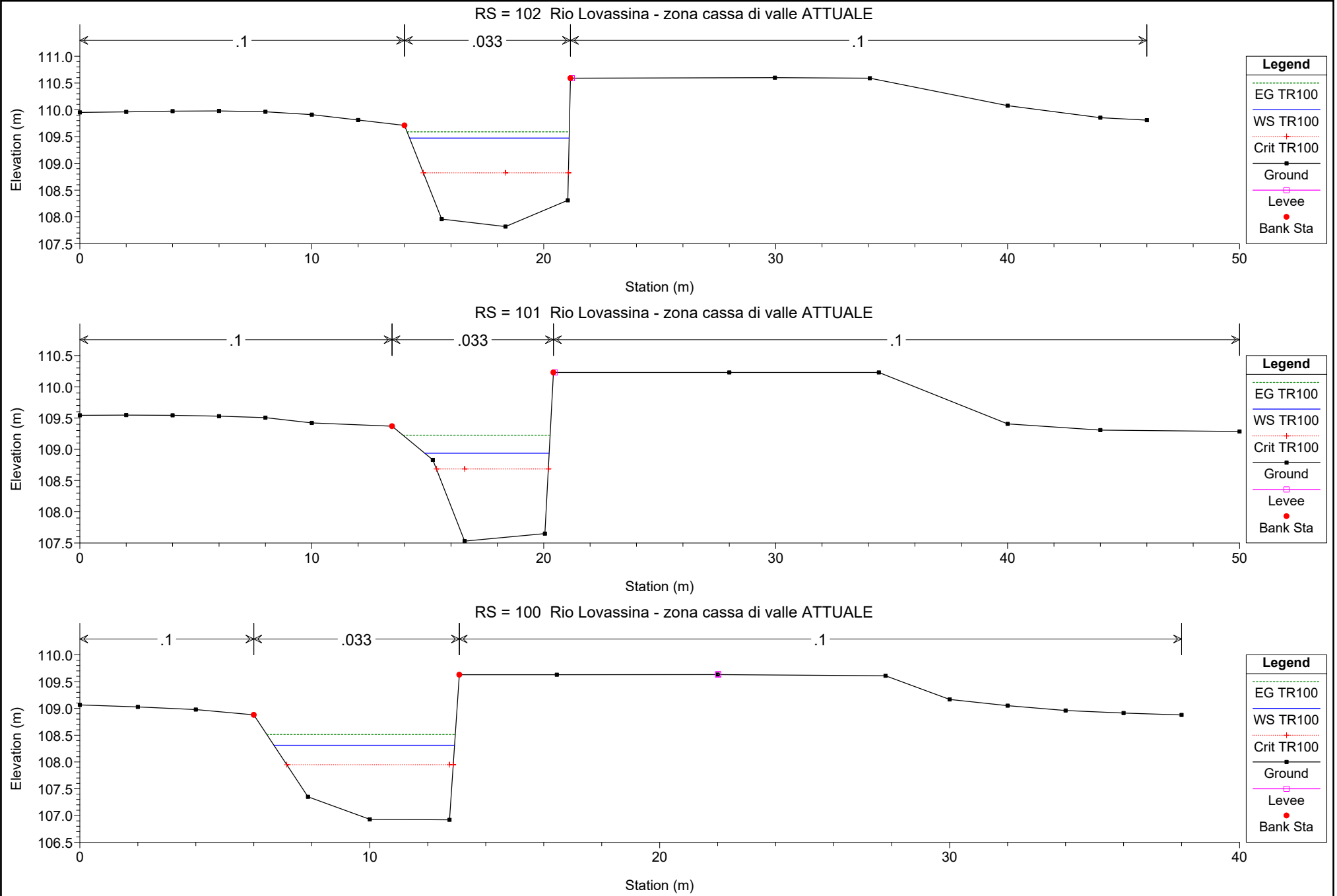
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR100	13.90	110.10	111.50	111.09	111.67	0.004079	1.84	7.57	6.74	0.55
Lovassina	108	TR100	13.90	109.87	111.17	110.91	111.41	0.006275	2.19	6.35	6.01	0.68
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR100	13.90	109.84	111.13	110.84	111.34	0.005653	2.05	6.79	6.60	0.64
Lovassina	106	TR100	13.90	109.80	110.96	110.65	111.13	0.004755	1.84	7.54	7.64	0.59
Lovassina	105	TR100	13.90	109.20	110.69	110.15	110.81	0.002559	1.52	9.13	7.73	0.45
Lovassina	104	TR100	13.90	108.78	109.89	109.89	110.33	0.014590	2.94	4.73	5.36	1.00
Lovassina	103	TR100	13.90	108.21	109.69	109.12	109.79	0.002180	1.43	9.73	8.20	0.42
Lovassina	102	TR100	13.90	107.82	109.47	108.82	109.59	0.002294	1.51	9.22	6.88	0.42
Lovassina	101	TR100	13.90	107.53	108.94	108.68	109.23	0.007917	2.38	5.83	5.36	0.73
Lovassina	100	TR100	13.90	106.92	108.31	107.95	108.51	0.005001	1.99	7.00	6.23	0.60











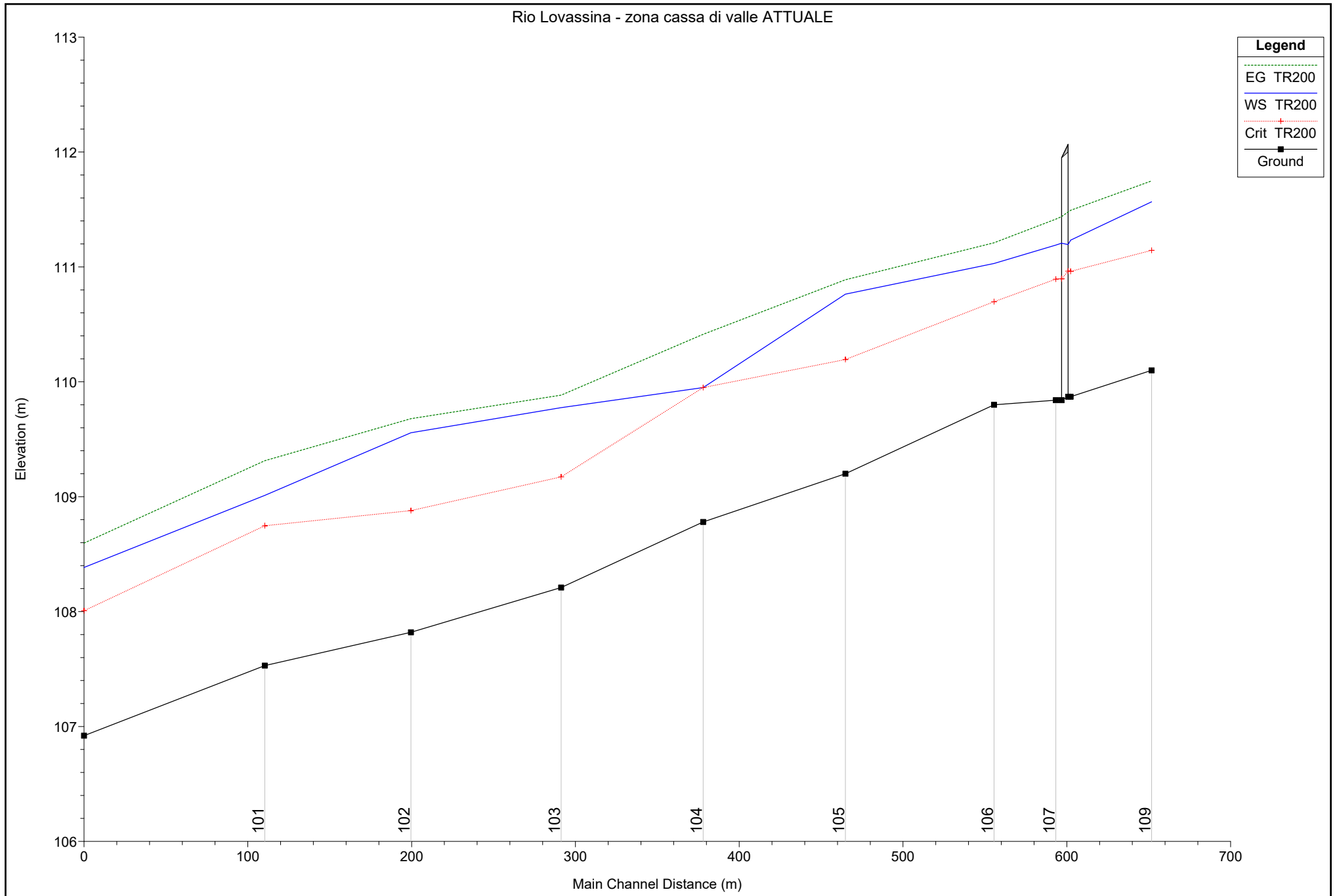
MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 3
SCENARIO ATTUALE

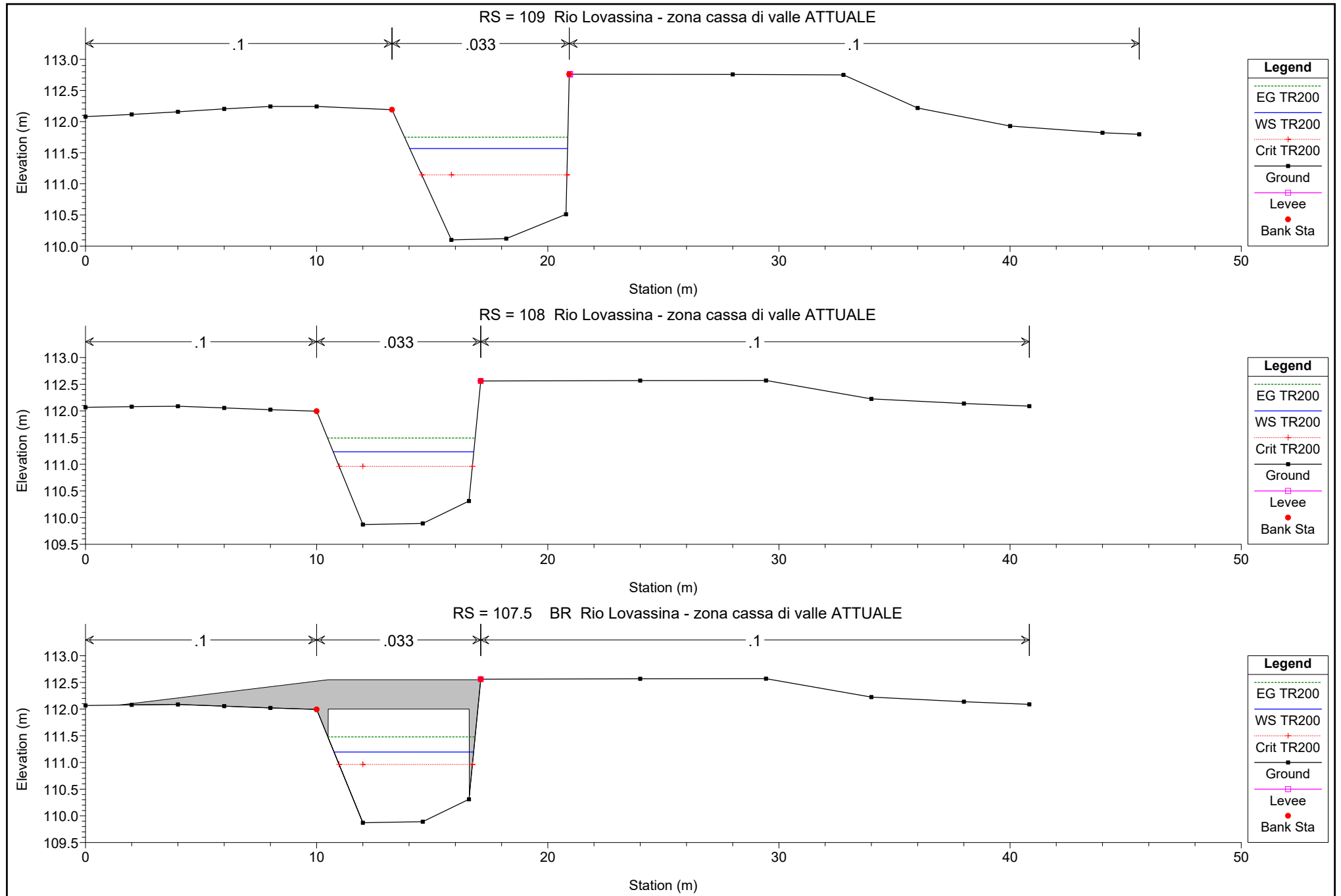
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	15.2 (1+14.2)	200

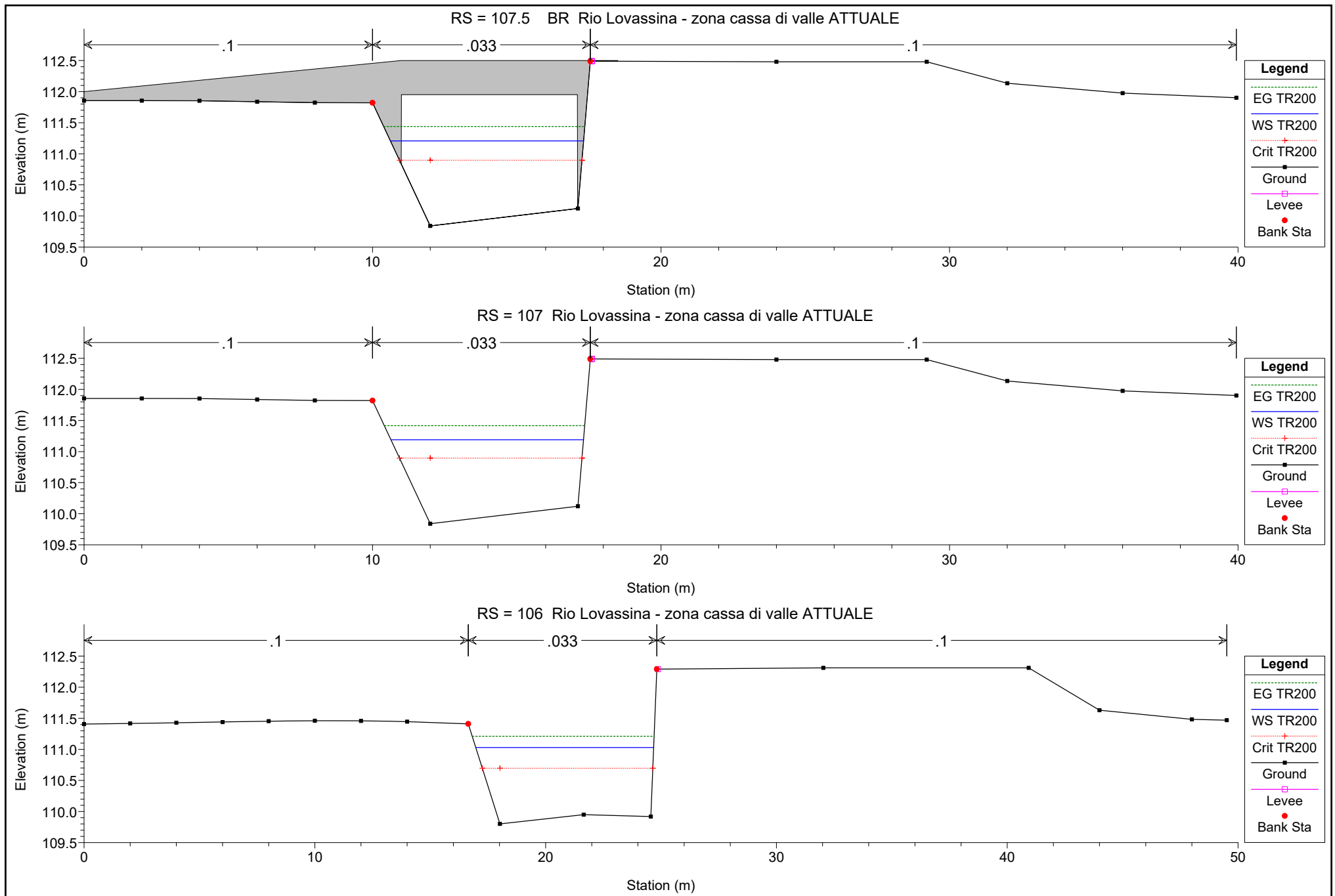
Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

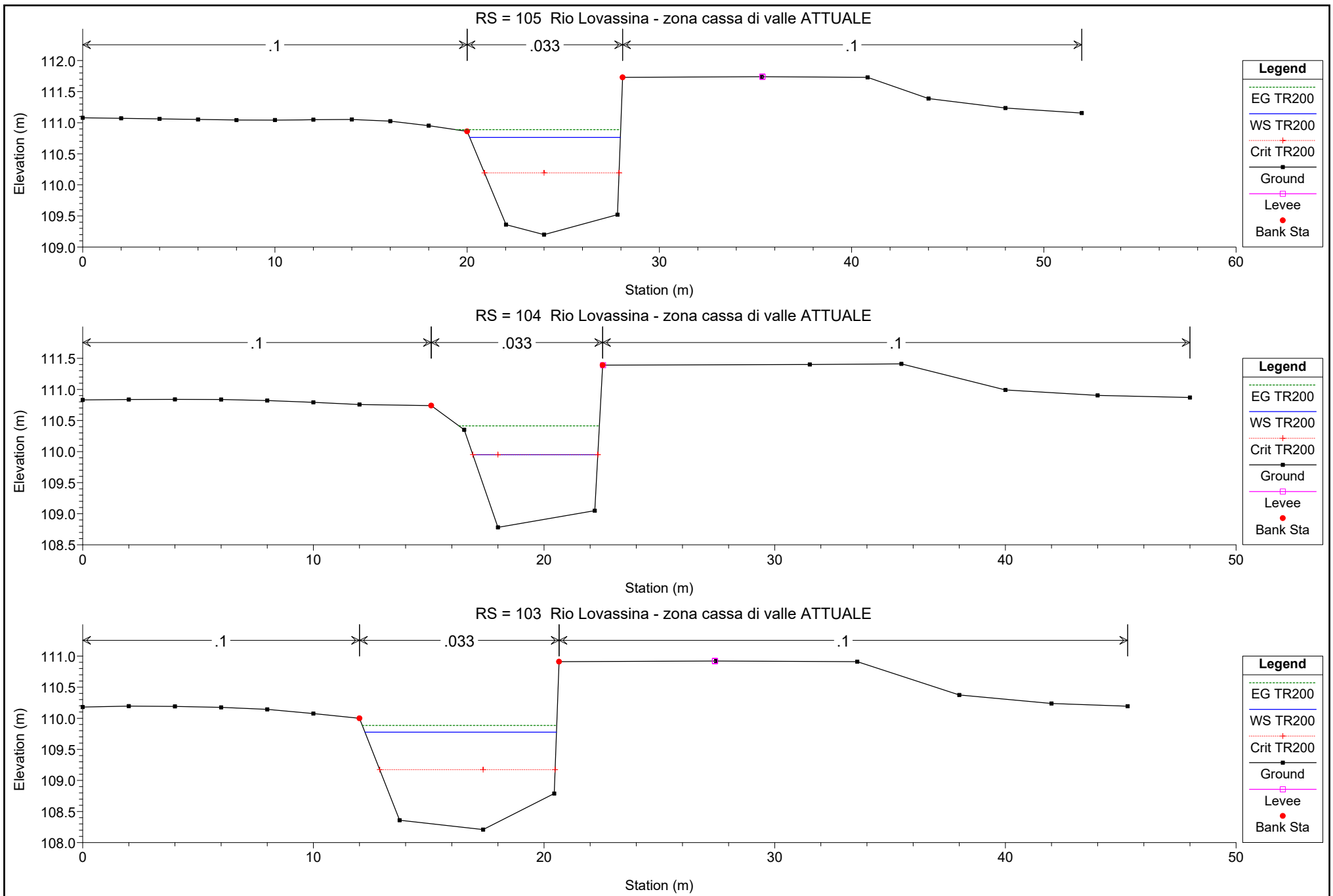
HEC-RAS Plan:

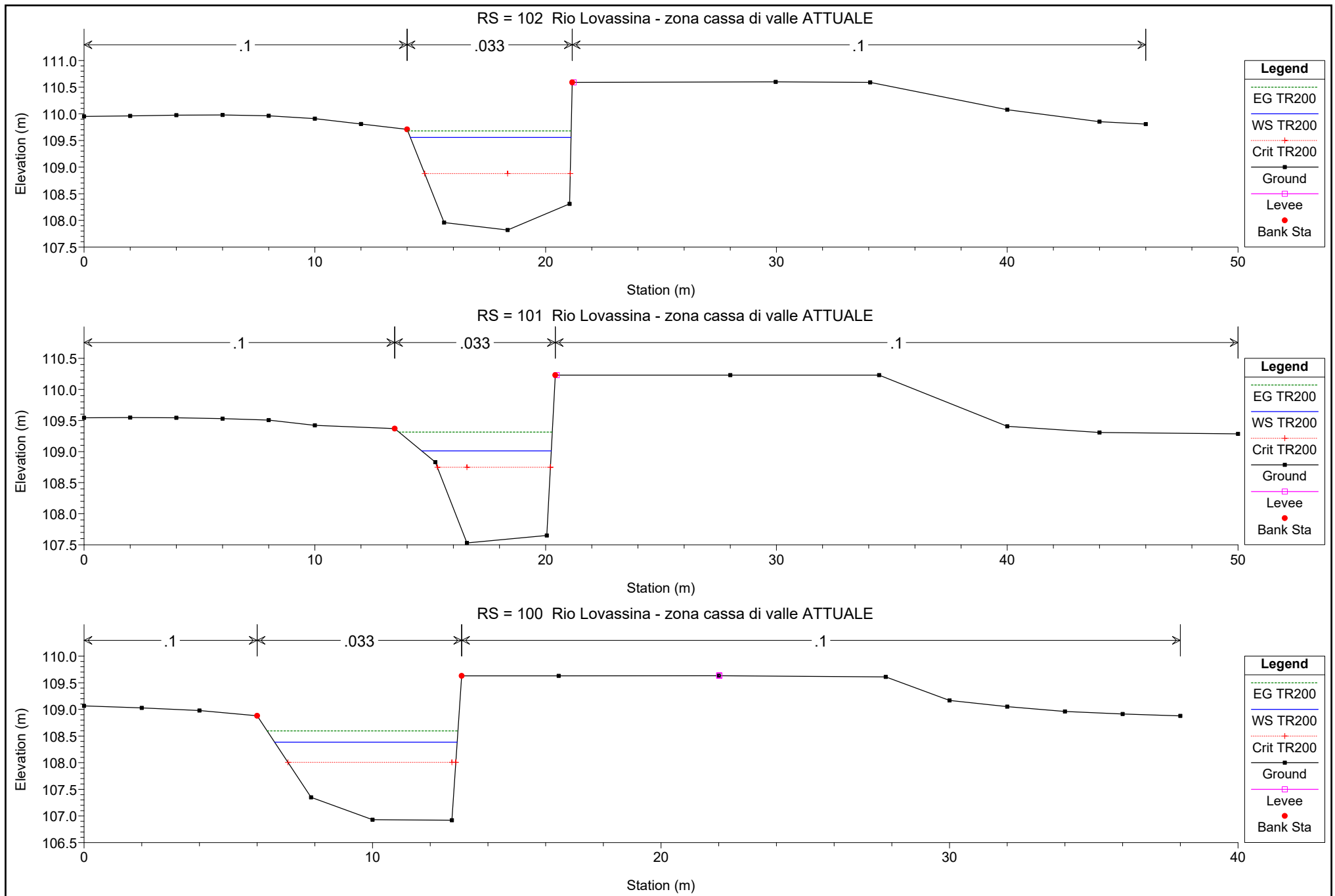
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR200	15.20	110.10	111.57	111.14	111.75	0.004084	1.89	8.05	6.83	0.55
Lovassina	108	TR200	15.20	109.87	111.23	110.96	111.49	0.006322	2.25	6.74	6.08	0.68
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR200	15.20	109.84	111.19	110.89	111.42	0.005661	2.11	7.22	6.68	0.65
Lovassina	106	TR200	15.20	109.80	111.03	110.70	111.21	0.004613	1.88	8.09	7.71	0.59
Lovassina	105	TR200	15.20	109.20	110.76	110.19	110.89	0.002559	1.56	9.72	7.84	0.45
Lovassina	104	TR200	15.20	108.78	109.95	109.95	110.41	0.014516	3.02	5.04	5.42	1.00
Lovassina	103	TR200	15.20	108.21	109.78	109.17	109.88	0.002128	1.46	10.44	8.30	0.41
Lovassina	102	TR200	15.20	107.82	109.56	108.88	109.68	0.002304	1.55	9.80	6.96	0.42
Lovassina	101	TR200	15.20	107.53	109.01	108.75	109.31	0.008014	2.43	6.24	5.62	0.74
Lovassina	100	TR200	15.20	106.92	108.38	108.01	108.60	0.005000	2.04	7.45	6.33	0.60











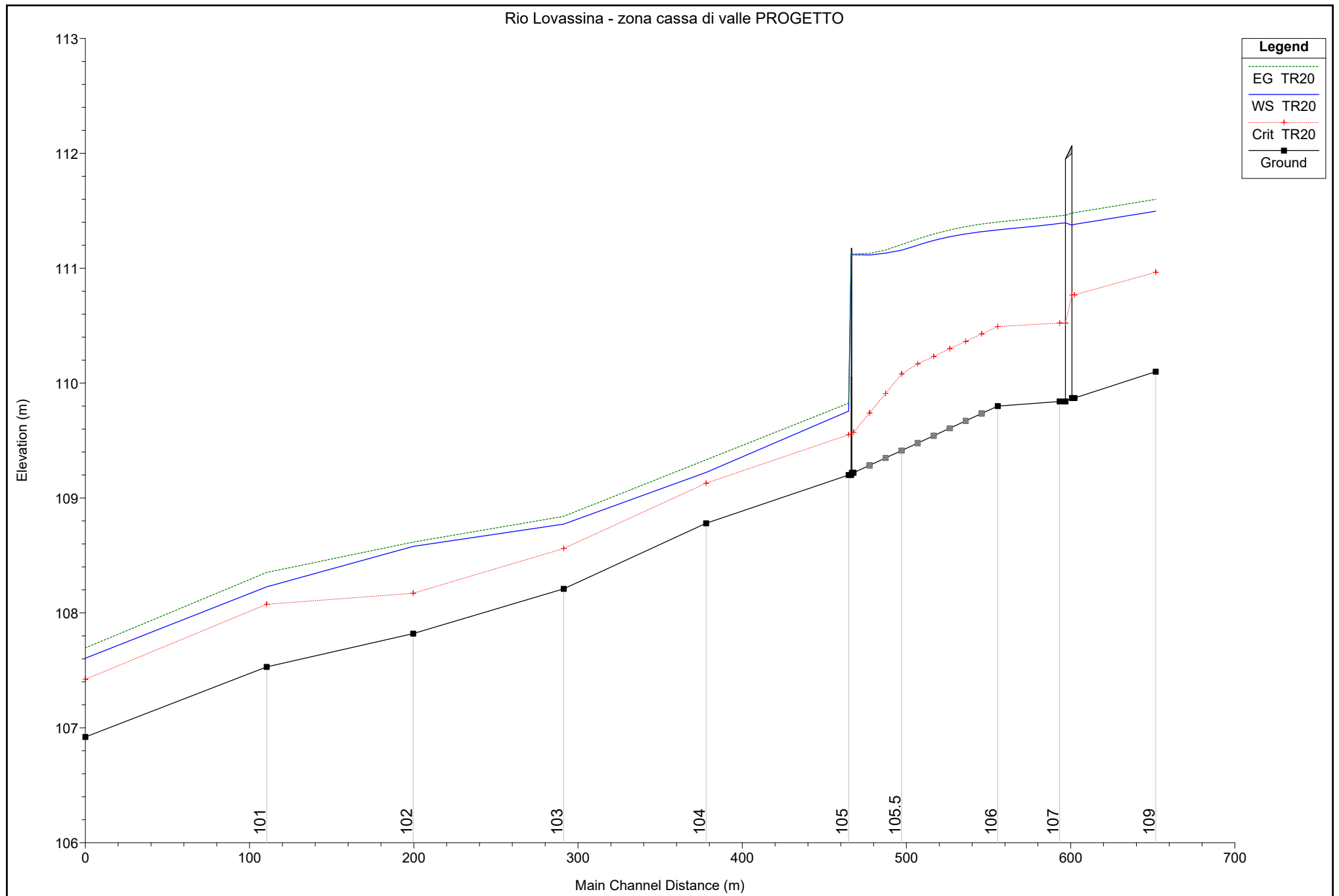
MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 4
SCENARIO DI PROGETTO

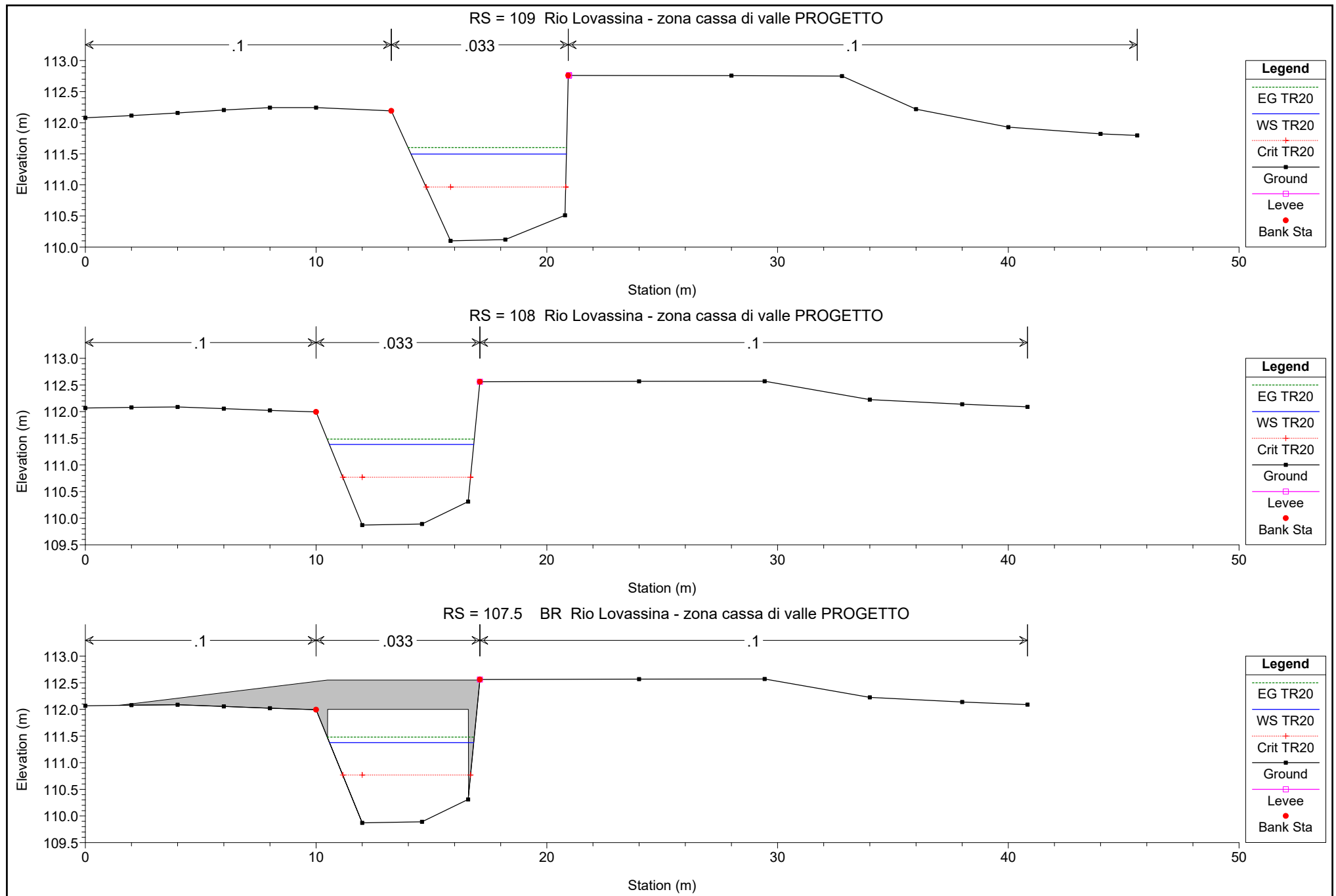
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	10.8 (1+9.8)	20

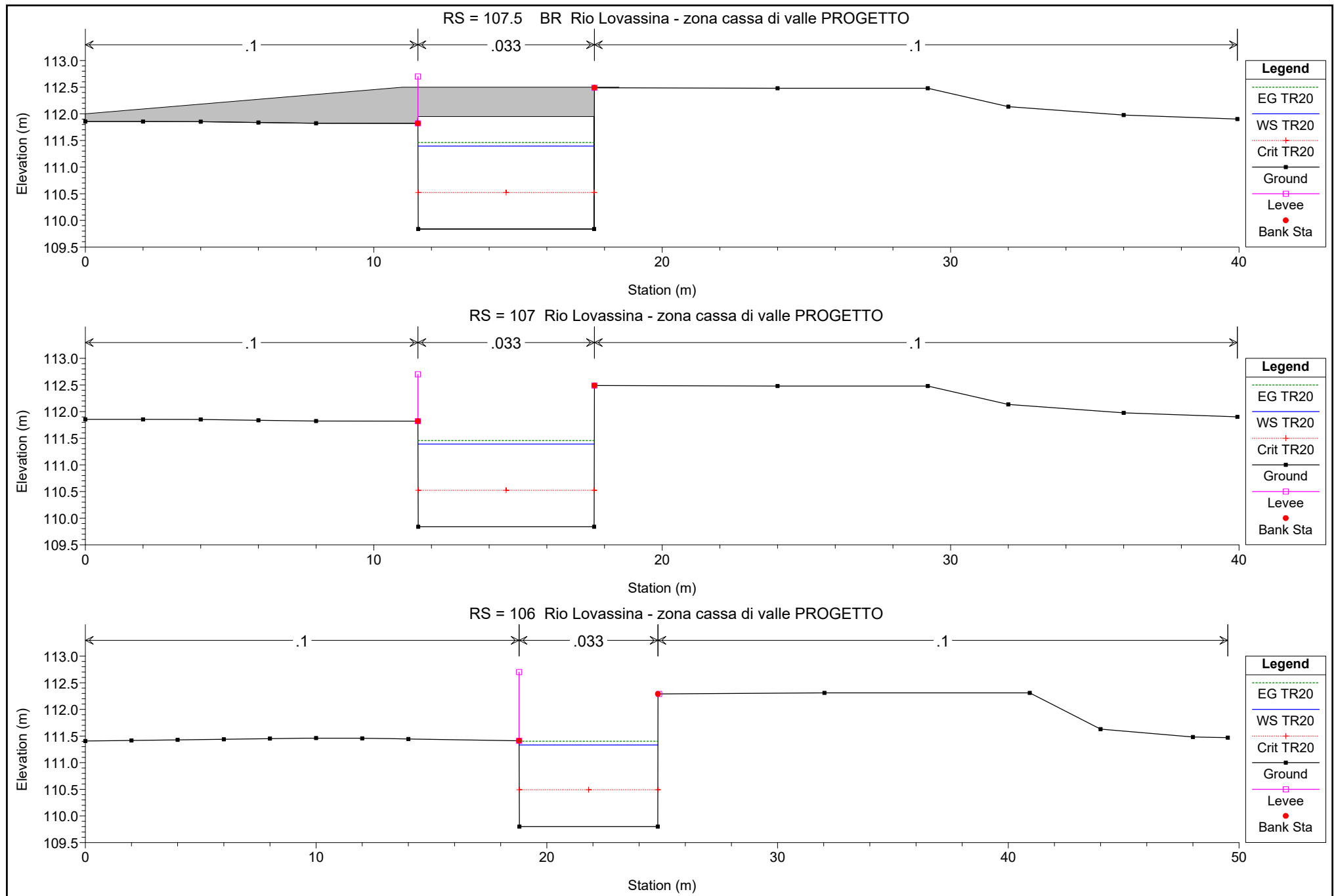
Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

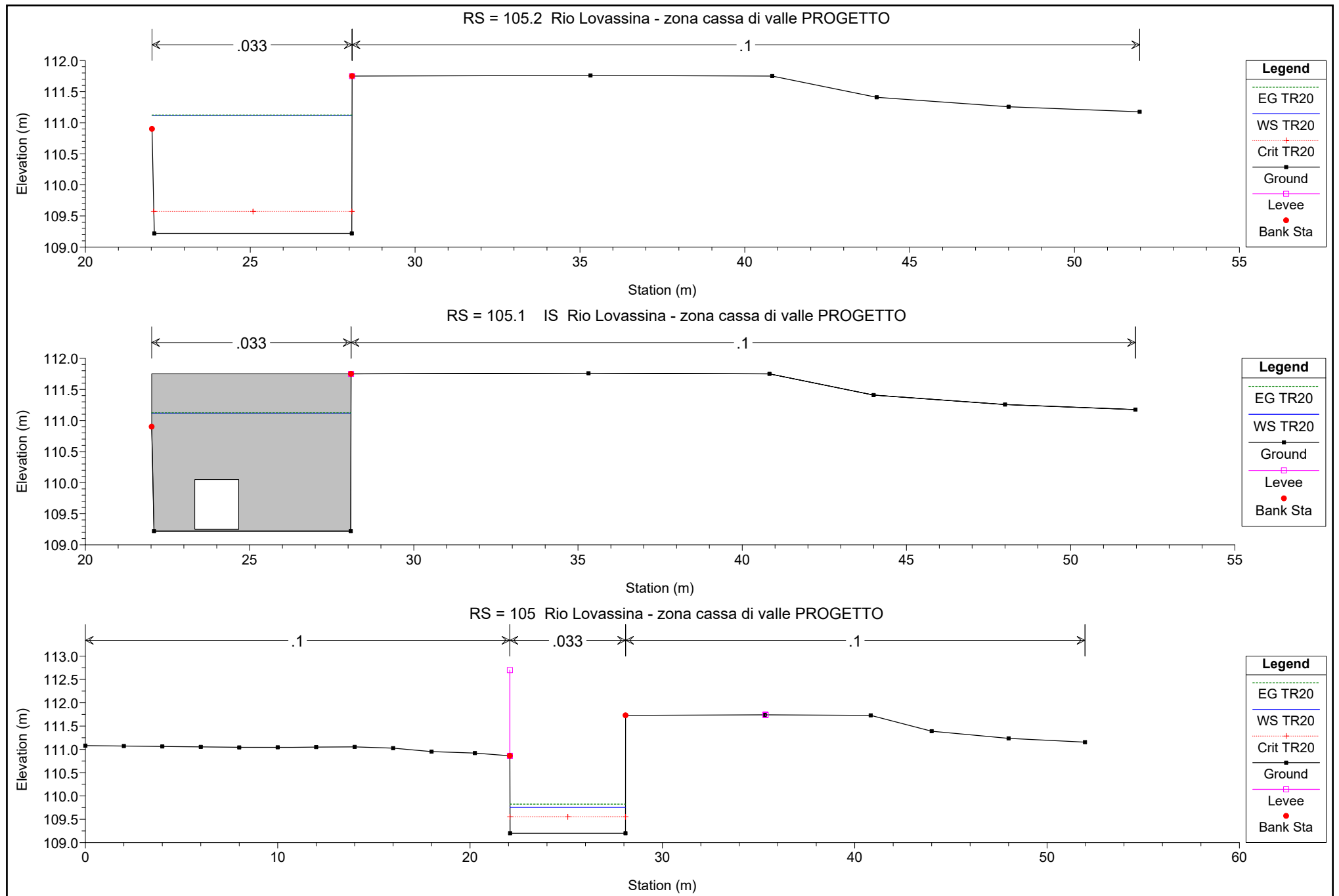
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Lovassina Reach: Lovassina Profile: TR20

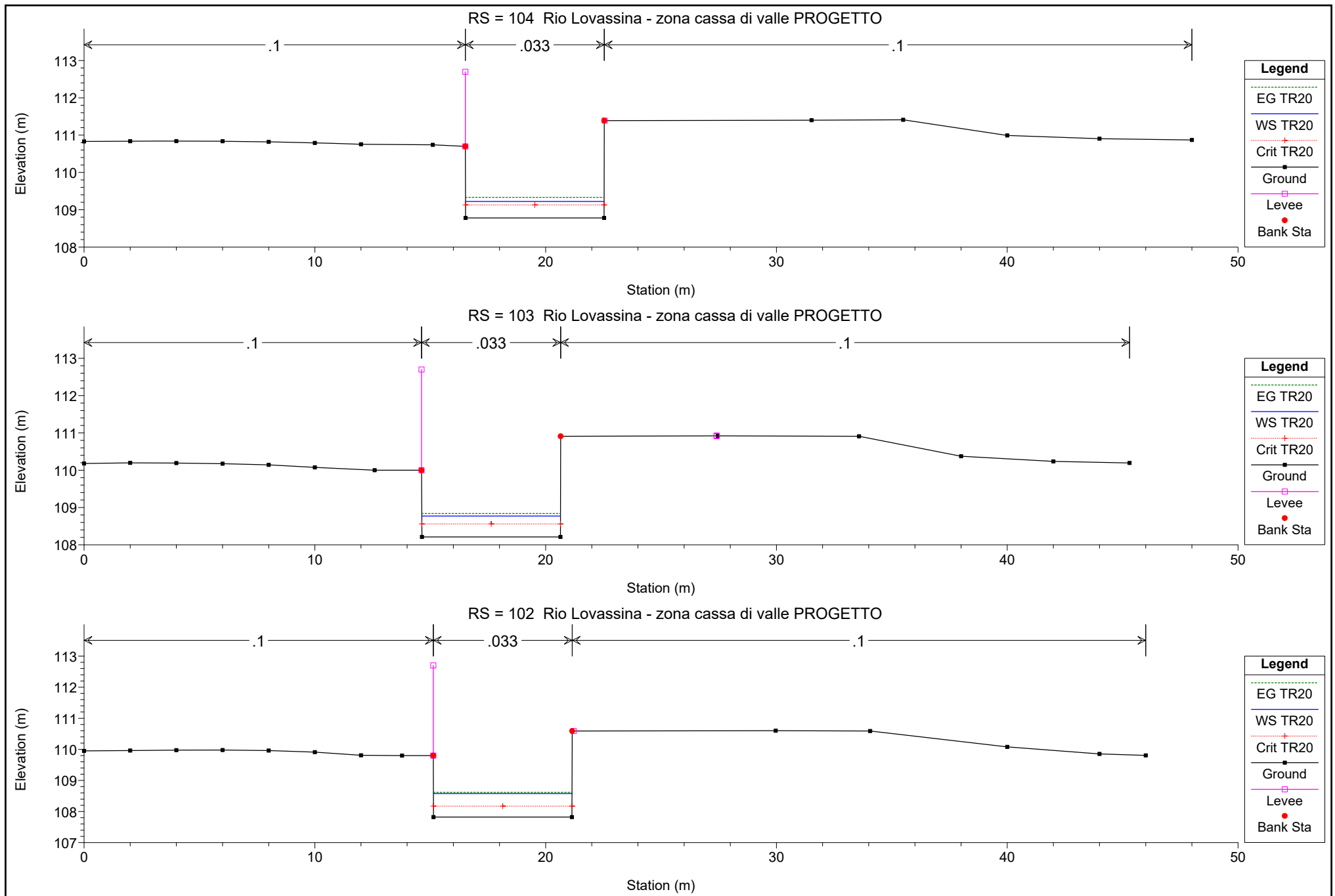
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR20	10.80	110.10	111.50	110.97	111.60	0.002458	1.43	7.57	6.74	0.43
Lovassina	108	TR20	10.80	109.87	111.38	110.77	111.48	0.002219	1.41	7.66	6.26	0.41
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR20	10.80	109.84	111.39	110.52	111.46	0.001364	1.14	9.47	6.11	0.29
Lovassina	106	TR20	10.80	109.80	111.33	110.49	111.40	0.001468	1.17	9.21	6.02	0.30
Lovassina	105.5		Lat Struct									
Lovassina	105.2	TR20	3.90	109.22	111.12	109.57	111.12	0.000103	0.34	11.45	6.07	0.08
Lovassina	105.1		Inl Struct									
Lovassina	105	TR20	3.90	109.20	109.76	109.55	109.83	0.004077	1.17	3.34	6.01	0.50
Lovassina	104	TR20	3.90	108.78	109.22	109.13	109.33	0.008355	1.47	2.66	6.00	0.70
Lovassina	103	TR20	3.90	108.21	108.77	108.56	108.84	0.003930	1.15	3.38	6.01	0.49
Lovassina	102	TR20	3.90	107.82	108.58	108.17	108.62	0.001554	0.86	4.56	6.01	0.31
Lovassina	101	TR20	3.90	107.53	108.23	108.07	108.35	0.006935	1.57	2.48	4.28	0.66
Lovassina	100	TR20	3.90	106.92	107.61	107.42	107.70	0.005001	1.33	2.94	5.28	0.57

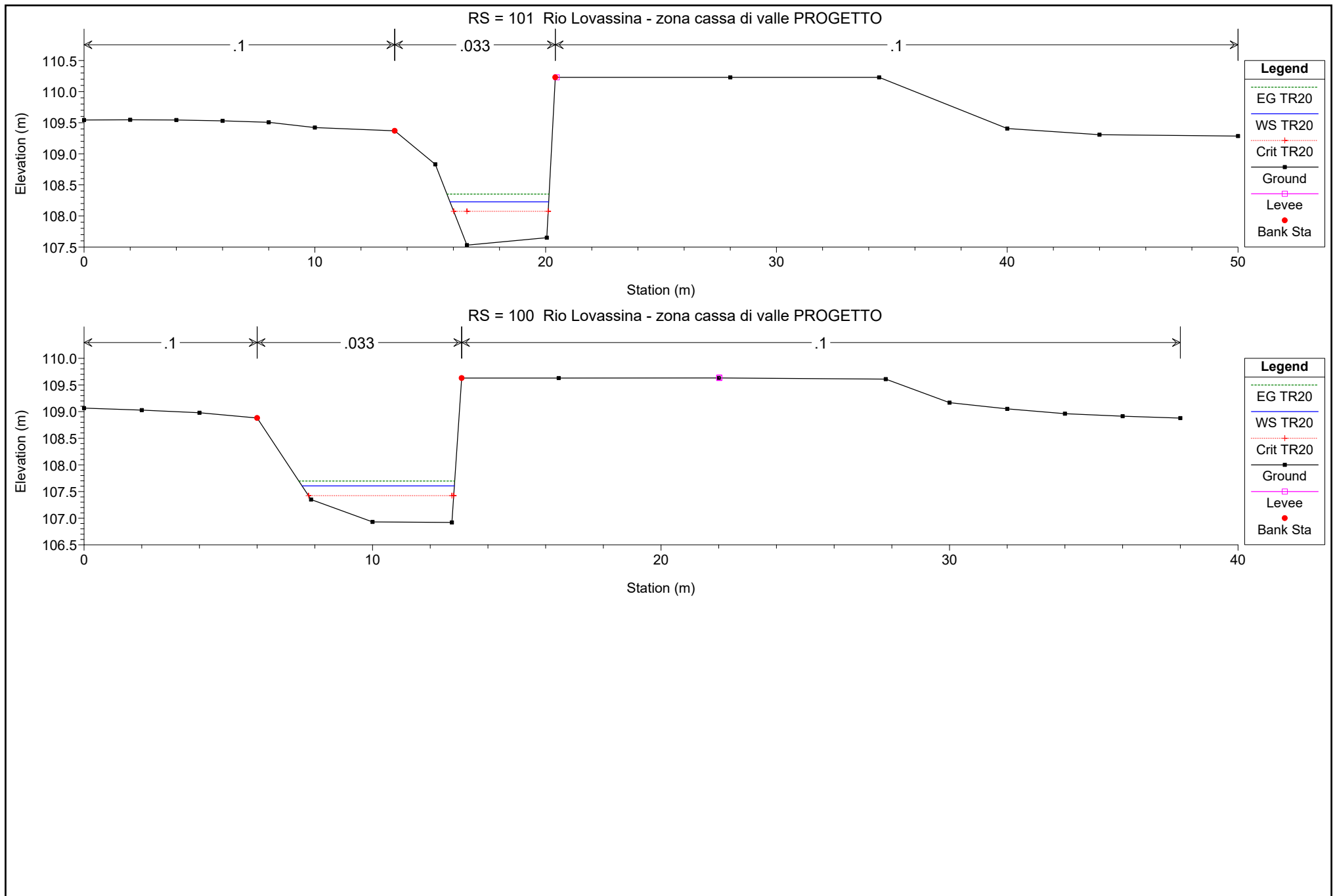












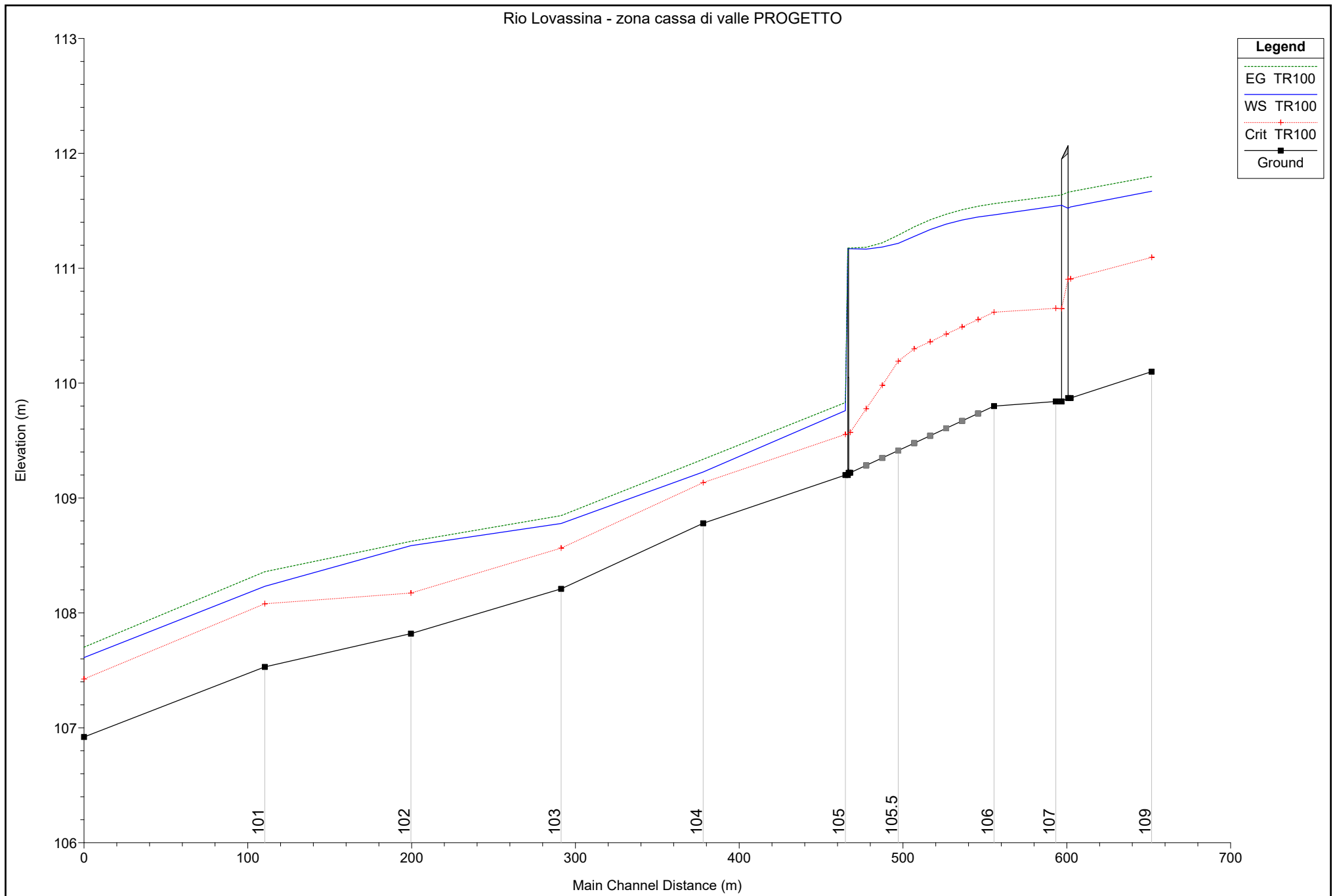
MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 5
SCENARIO DI PROGETTO

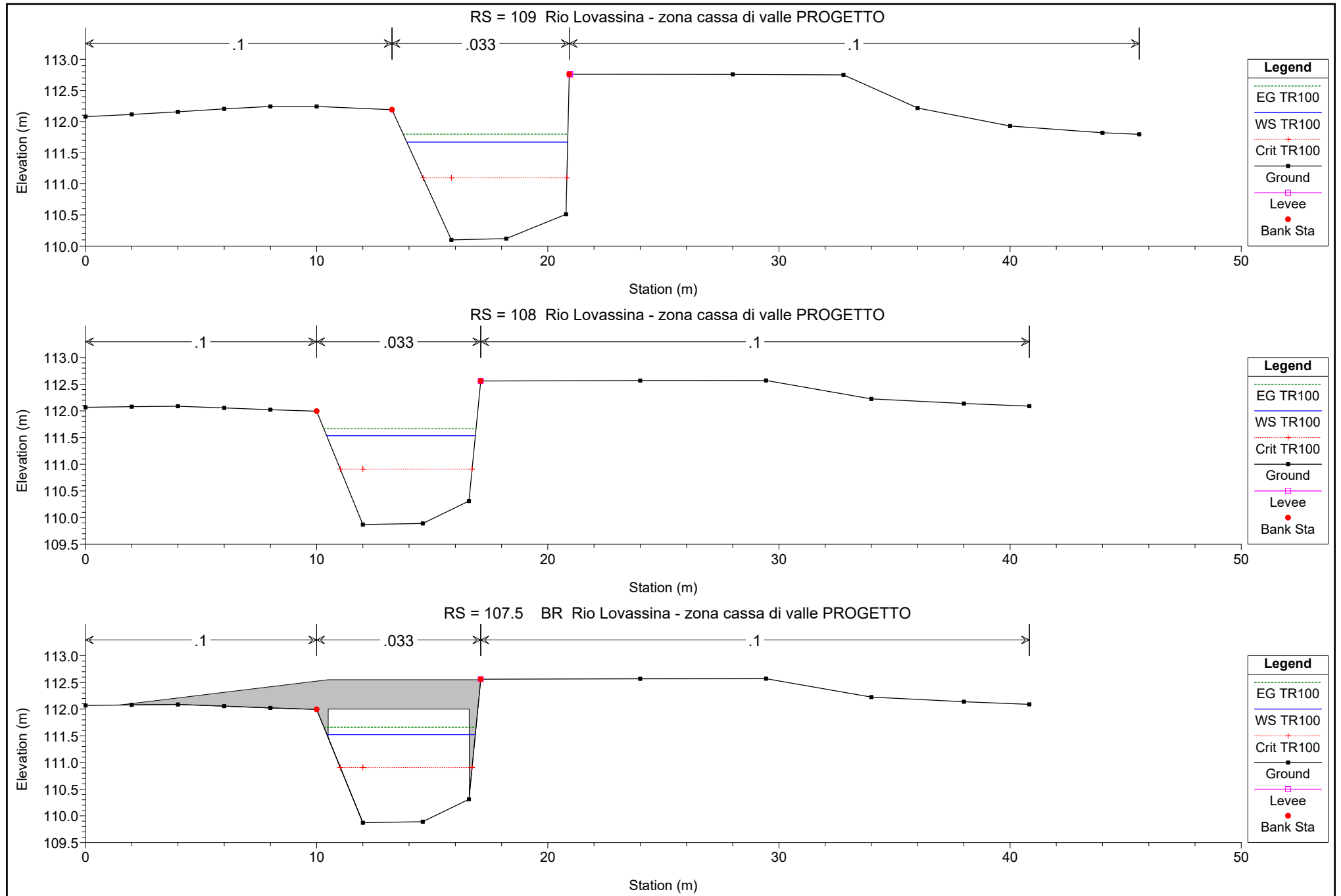
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	13.9 (1+12.9)	100

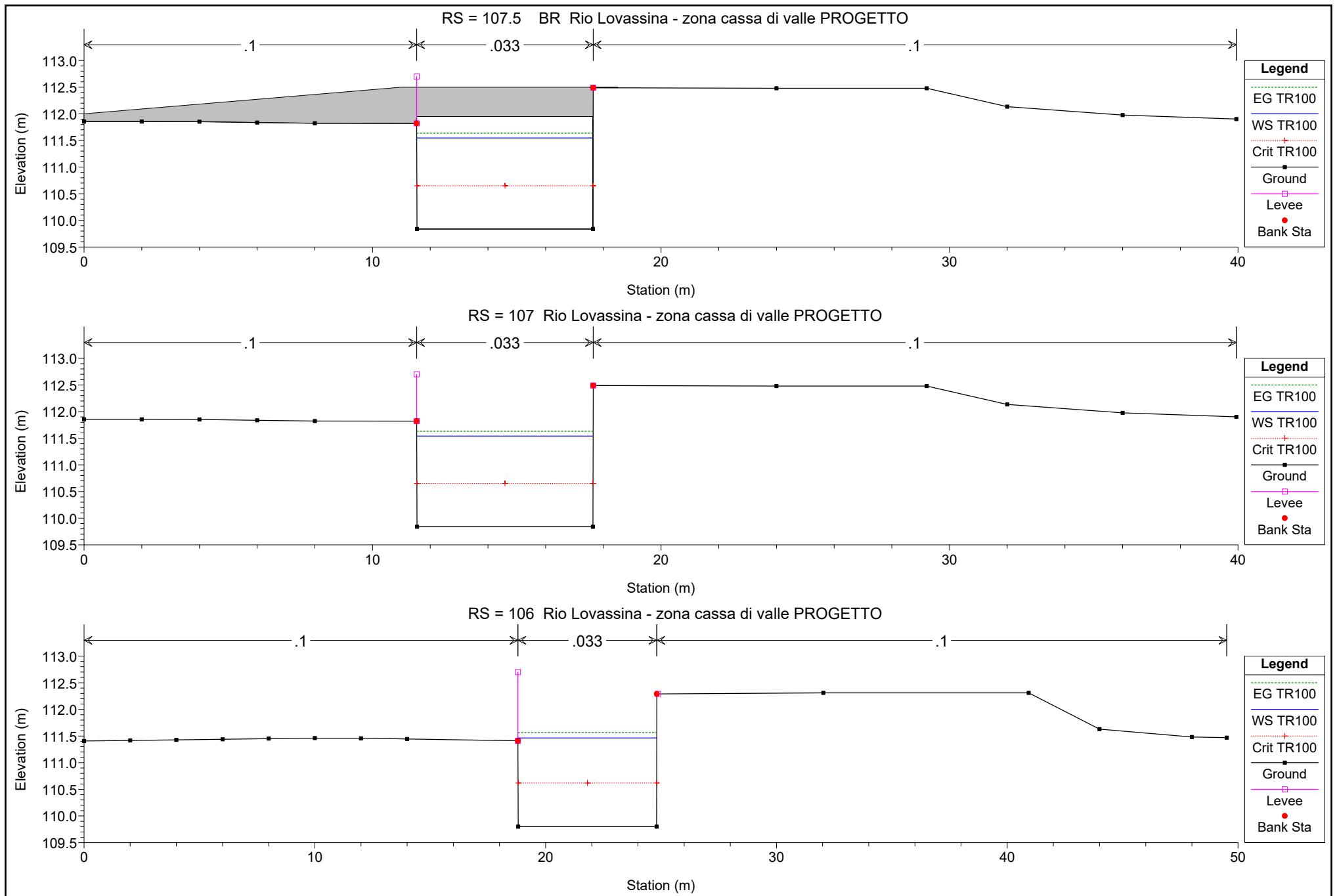
Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

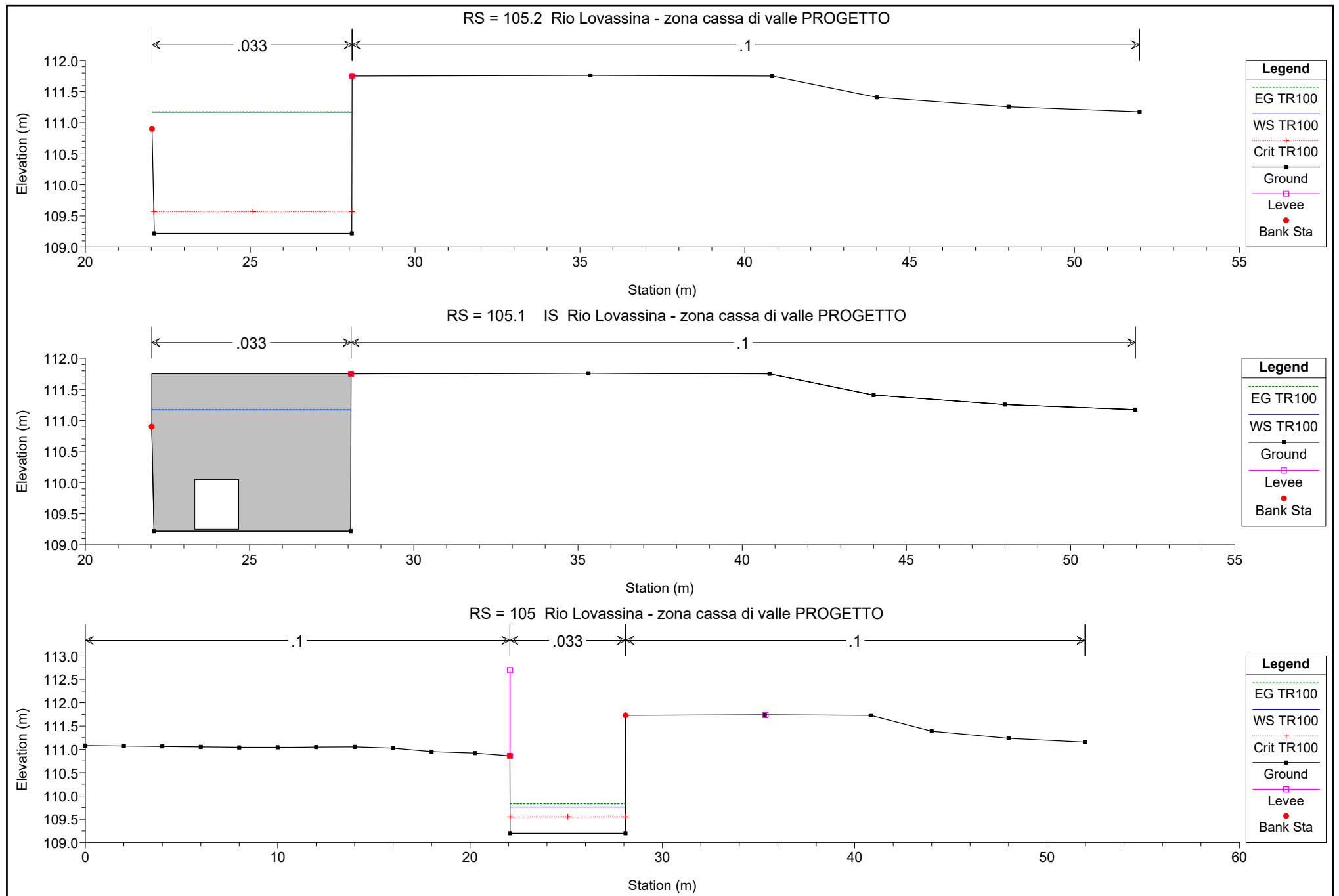
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Lovassina Reach: Lovassina Profile: TR100

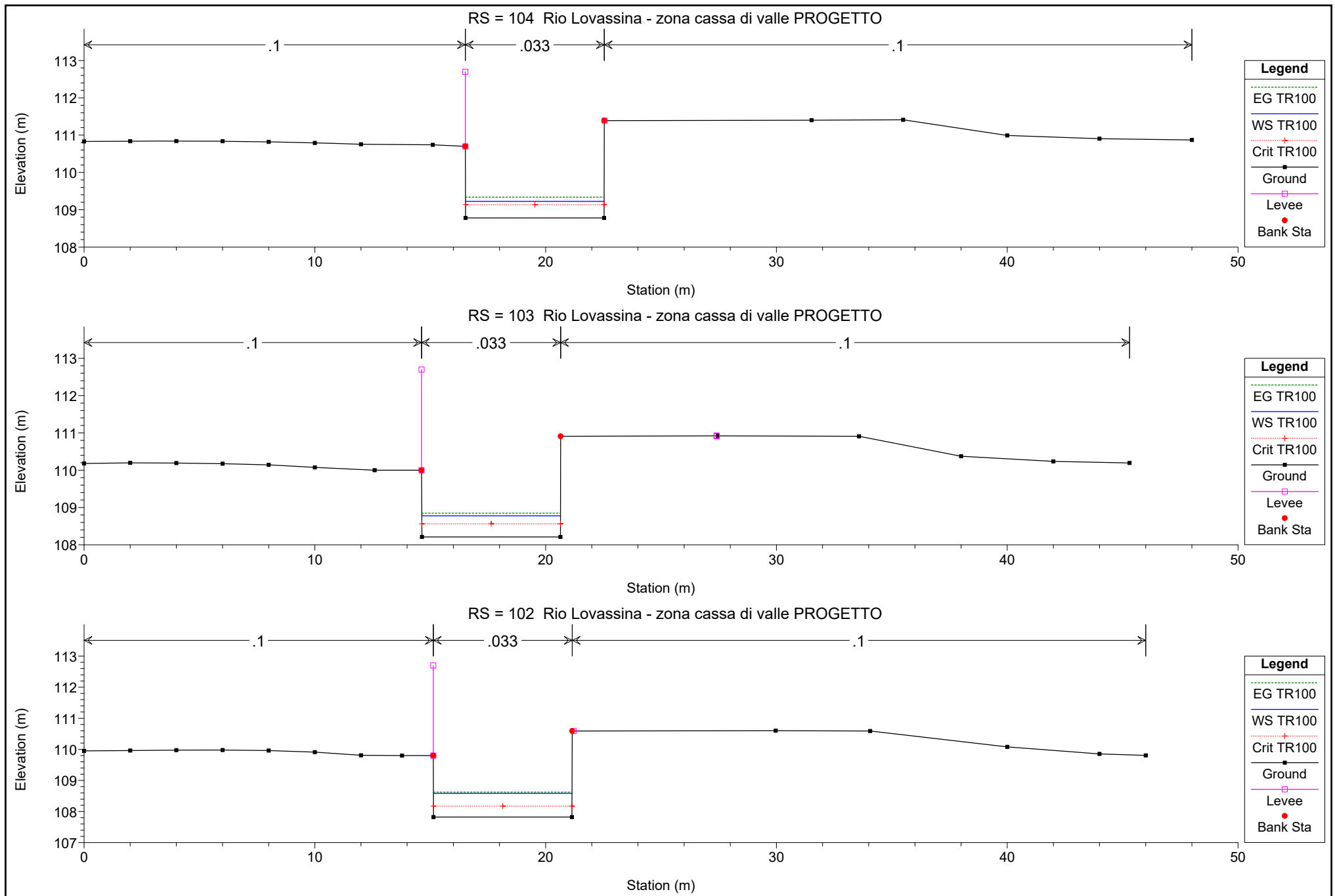
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR100	13.90	110.10	111.67	111.09	111.80	0.002684	1.59	8.77	6.96	0.45
Lovassina	108	TR100	13.90	109.87	111.53	110.91	111.67	0.002631	1.61	8.63	6.43	0.44
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR100	13.90	109.84	111.54	110.65	111.63	0.001730	1.34	10.39	6.12	0.33
Lovassina	106	TR100	13.90	109.80	111.46	110.62	111.56	0.001918	1.39	10.00	6.02	0.34
Lovassina	105.5		Lat Struct									
Lovassina	105.2	TR100	3.95	109.22	111.17	109.57	111.18	0.000098	0.34	11.77	6.07	0.08
Lovassina	105.1		Inl Struct									
Lovassina	105	TR100	3.95	109.20	109.76	109.55	109.83	0.004079	1.17	3.37	6.01	0.50
Lovassina	104	TR100	3.95	108.78	109.23	109.13	109.34	0.008358	1.48	2.68	6.00	0.71
Lovassina	103	TR100	3.95	108.21	108.78	108.56	108.85	0.003905	1.16	3.41	6.01	0.49
Lovassina	102	TR100	3.95	107.82	108.59	108.17	108.62	0.001556	0.86	4.60	6.01	0.31
Lovassina	101	TR100	3.95	107.53	108.23	108.08	108.36	0.006943	1.58	2.51	4.28	0.66
Lovassina	100	TR100	3.95	106.92	107.61	107.42	107.70	0.005001	1.33	2.96	5.29	0.57

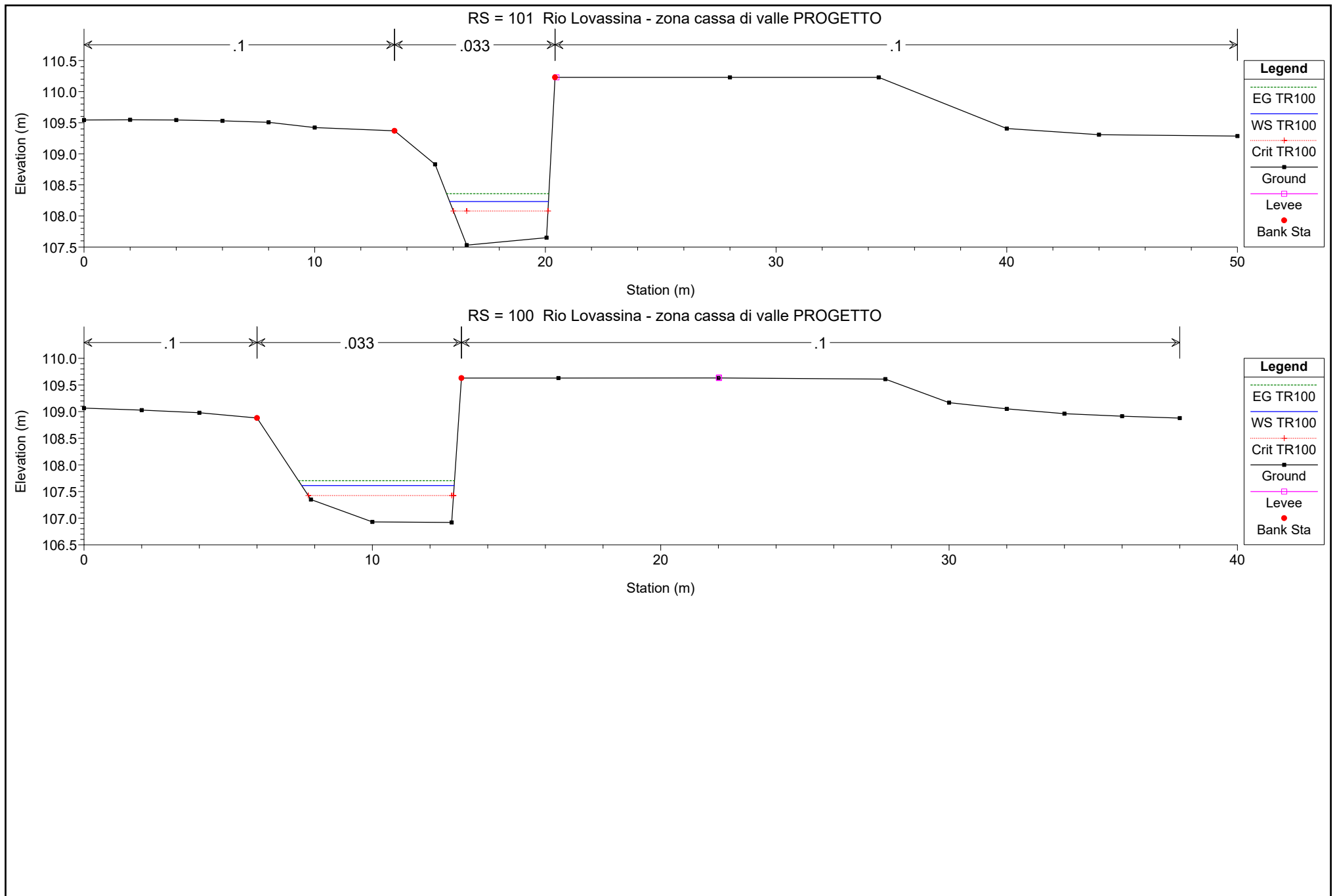










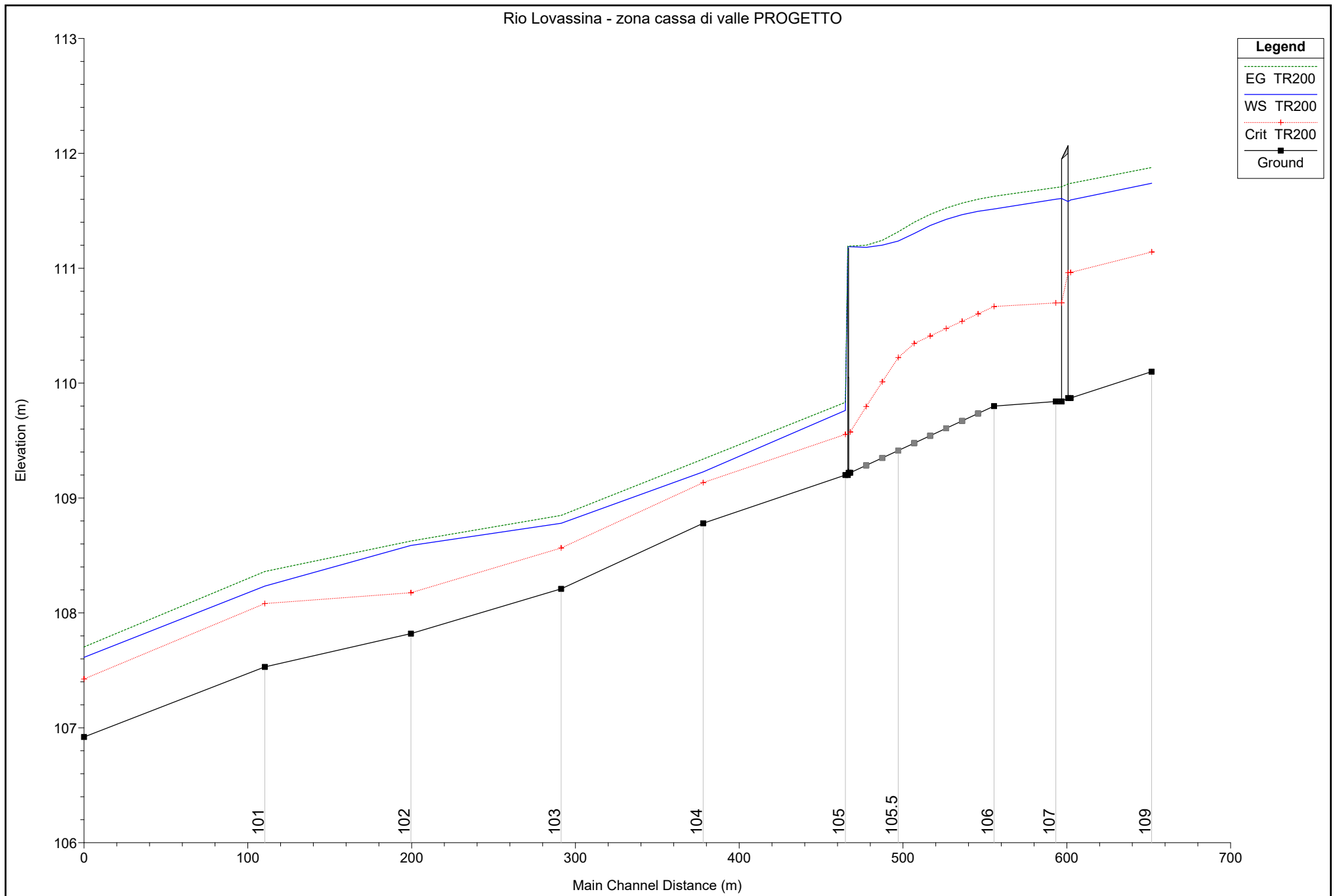


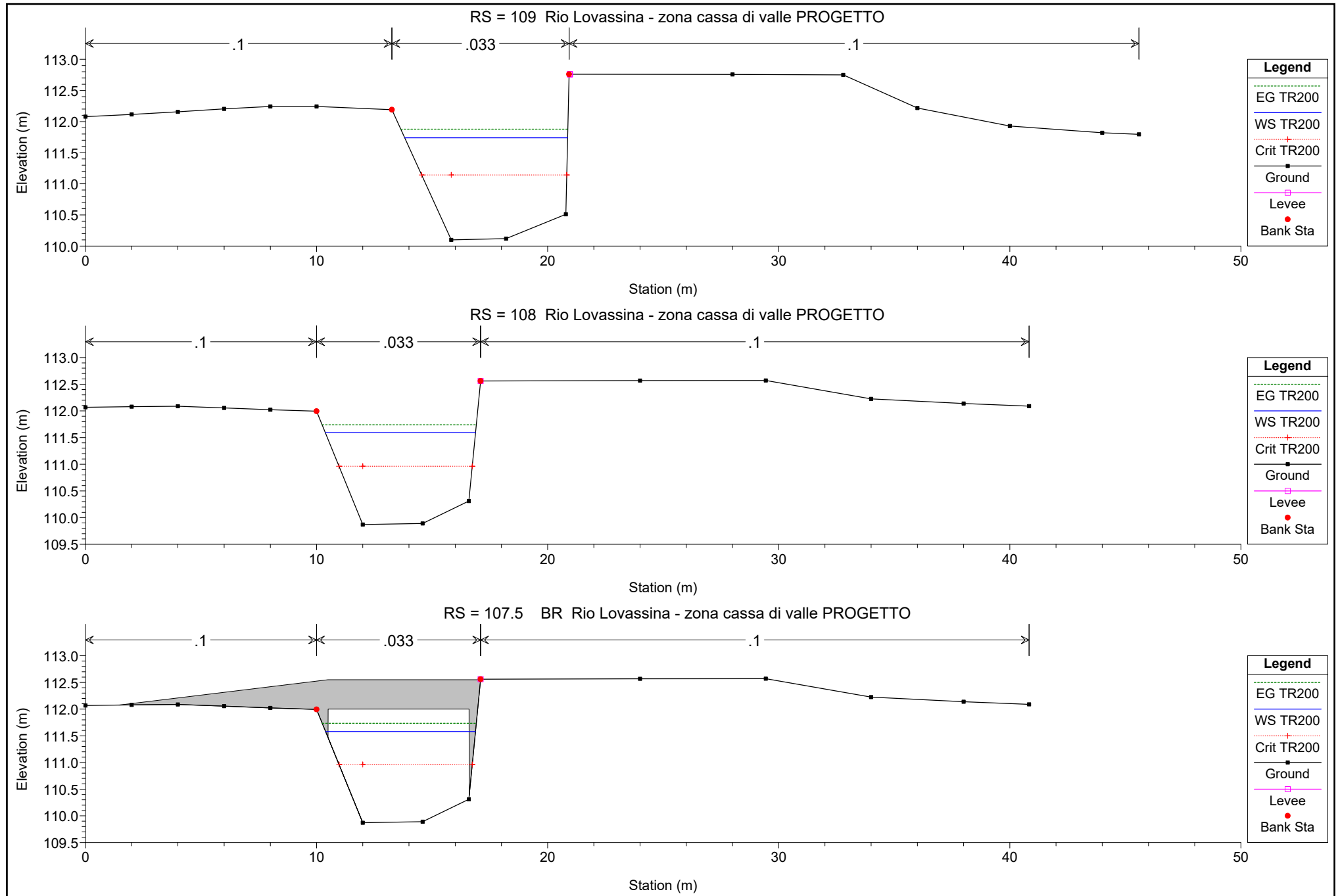
MODELLO MONODIMENSIONALE DI MOTO PERMANENTE
SIMULAZIONE 6
SCENARIO DI PROGETTO

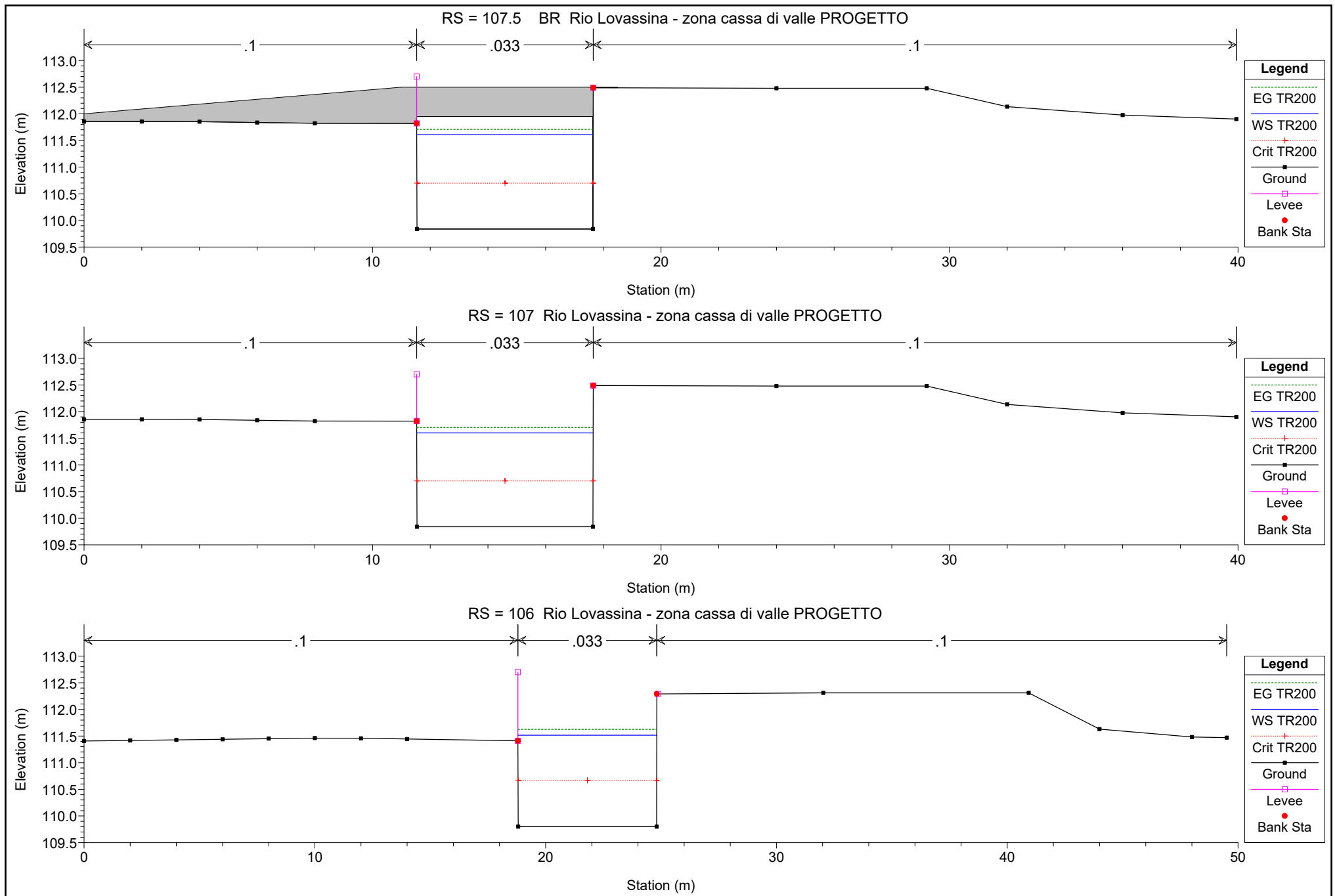
Corso d'acqua	Portata [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	15.2 (1+14.2)	200

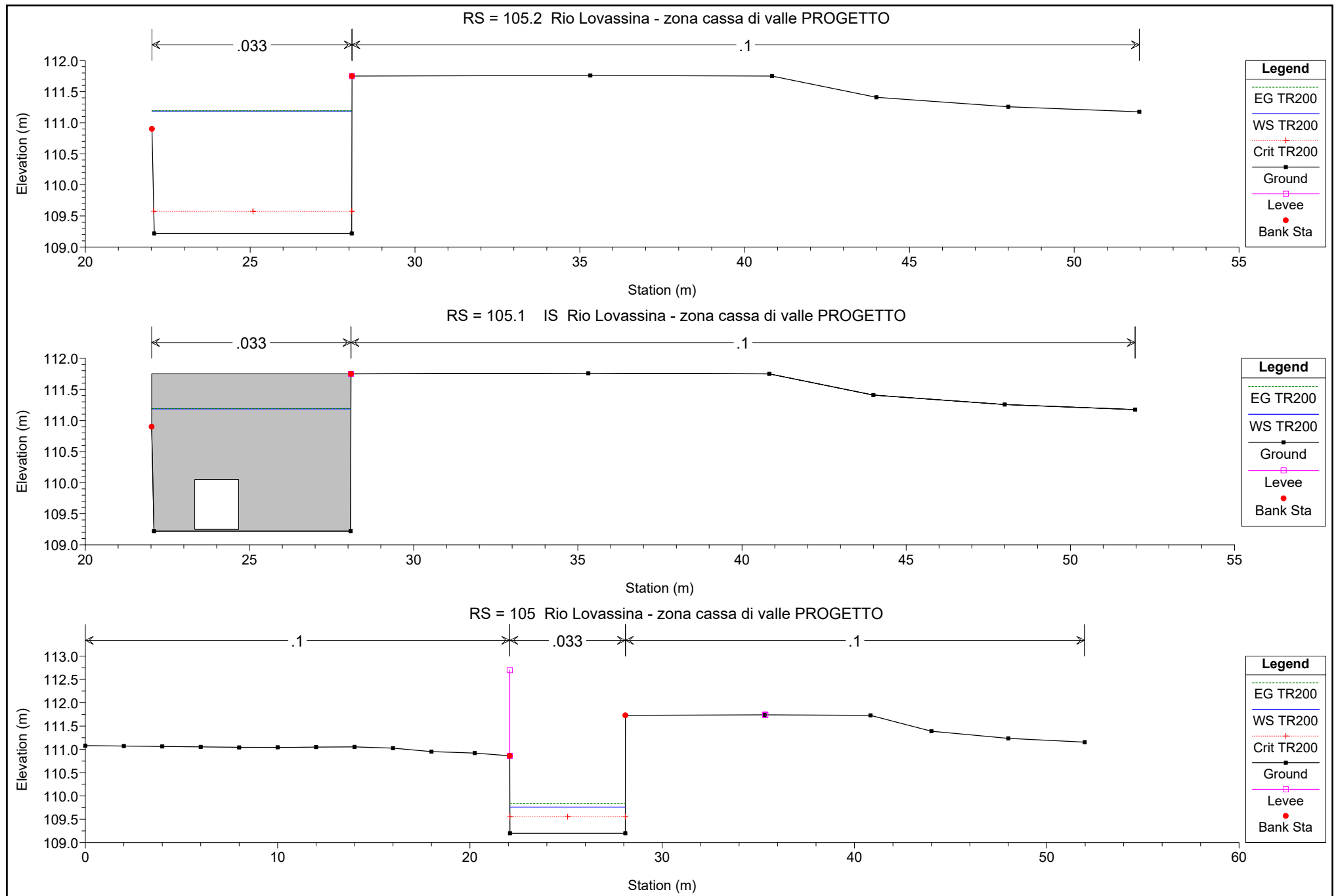
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Lovassina Reach: Lovassina Profile: TR200

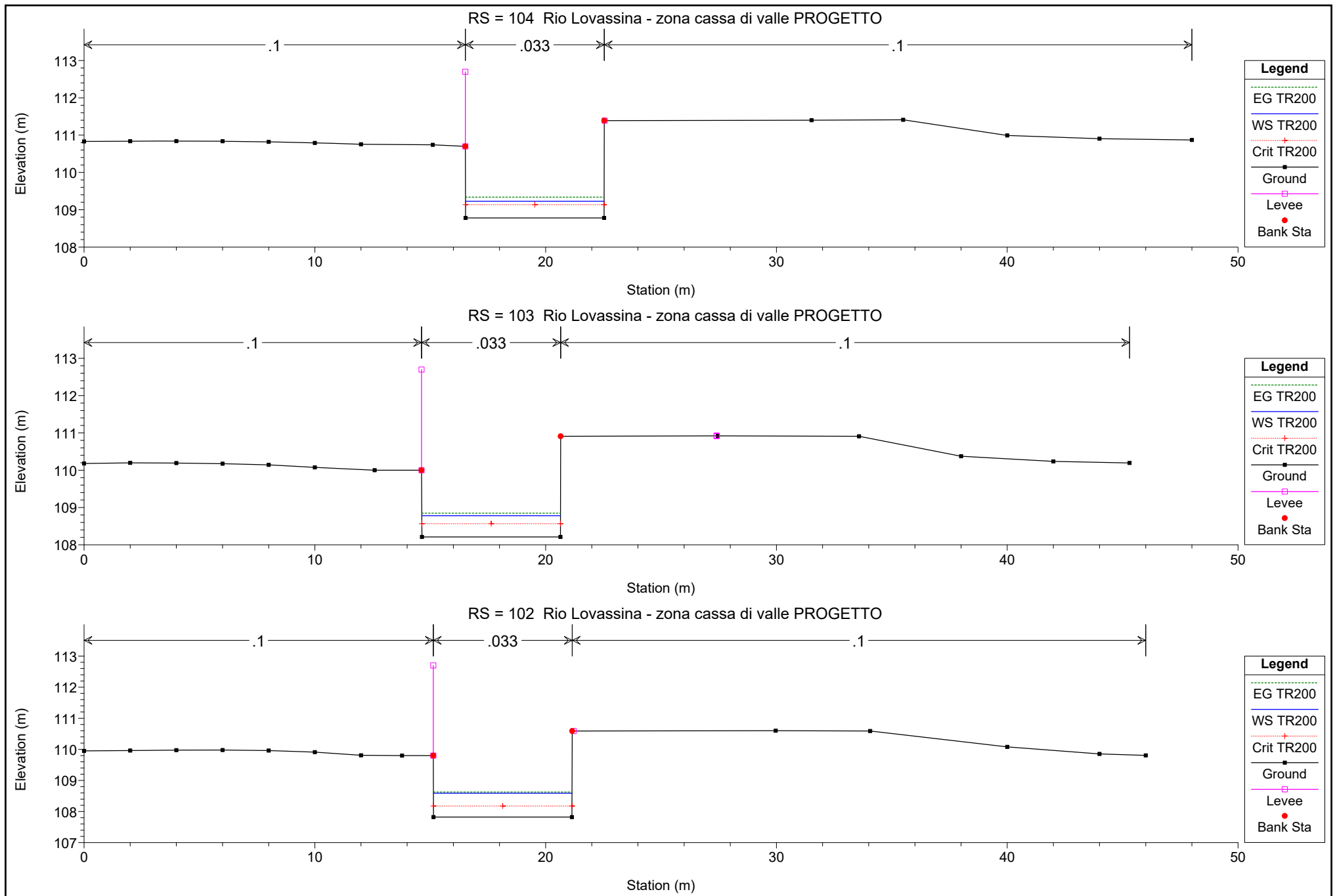
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Lovassina	109	TR200	15.20	110.10	111.74	111.14	111.88	0.002759	1.64	9.25	7.05	0.46
Lovassina	108	TR200	15.20	109.87	111.59	110.96	111.74	0.002781	1.69	9.01	6.50	0.46
Lovassina	107.5		Bridge									
Lovassina	107	TR200	15.20	109.84	111.60	110.70	111.70	0.001876	1.41	10.75	6.12	0.34
Lovassina	106	TR200	15.20	109.80	111.52	110.67	111.63	0.002103	1.47	10.31	6.02	0.36
Lovassina	105.5		Lat Struct									
Lovassina	105.2	TR200	3.97	109.22	111.19	109.57	111.19	0.000096	0.33	11.87	6.07	0.08
Lovassina	105.1		Inl Struct									
Lovassina	105	TR200	3.97	109.20	109.76	109.55	109.83	0.004079	1.18	3.38	6.01	0.50
Lovassina	104	TR200	3.97	108.78	109.23	109.13	109.34	0.008360	1.48	2.69	6.00	0.71
Lovassina	103	TR200	3.97	108.21	108.78	108.57	108.85	0.003897	1.16	3.43	6.01	0.49
Lovassina	102	TR200	3.97	107.82	108.59	108.18	108.63	0.001557	0.86	4.61	6.01	0.31
Lovassina	101	TR200	3.97	107.53	108.23	108.08	108.36	0.006946	1.58	2.51	4.29	0.66
Lovassina	100	TR200	3.97	106.92	107.61	107.42	107.70	0.005001	1.34	2.97	5.29	0.57

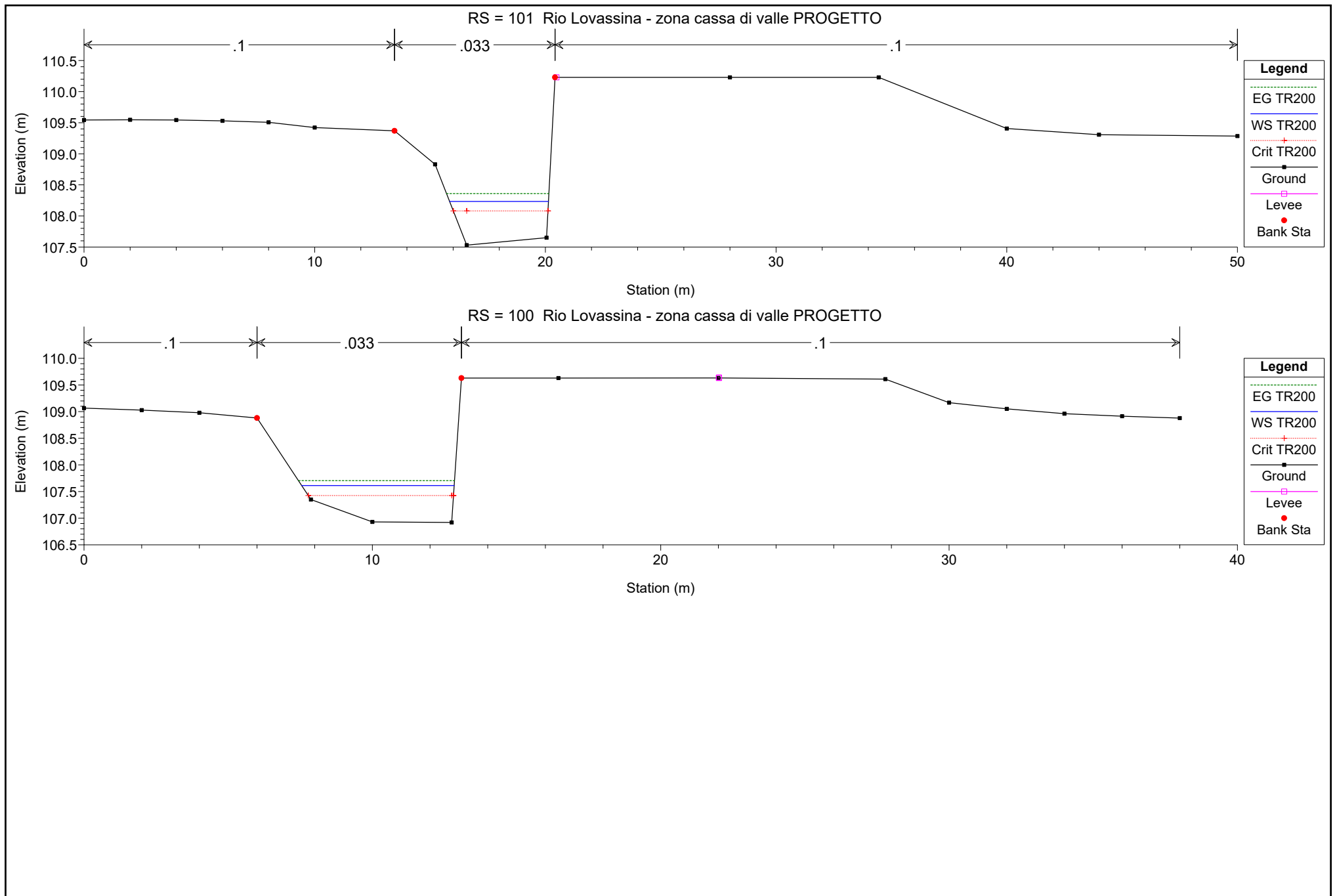












Le dimensioni di progetto della bocca tarata sono: larghezza di 135 cm per altezza di 80 cm, mentre la quota dello sfioratore in ingresso è pari a 110.90 m s.l.m. e la sua lunghezza è pari a 30 m.

Il volume di regolazione della cassa è pari a circa 148'000 m³ ed essa è stata dimensionata in modo da essere completamente riempita per la portata di progetto avente tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si prevede la realizzazione di uno sfioratore laterale in uscita, di tipo Creager, avente una quota di sfioro pari a 110.90 ed una lunghezza pari a 50 m.

Il dimensionamento dello sfioratore in uscita è stato effettuato utilizzando la formula degli stramazzi:

$$Q = \mu \cdot L \cdot h \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Dove: Q è la portata in uscita (Q_{TR500} pari a 16.9 m³/s=15.9 m³/s +1 m³/s);
 μ è il coefficiente di efflusso (per stramazzo Creager μ è variabile tra 0.48 e 0.55; viene assunto cautelativamente pari a 0.48);
 L è la lunghezza dello sfioratore (pari a 50 m);
 h è il carico idraulico sullo stramazzo [m];
 g è l'accelerazione di gravità (pari a 9.81 m/s²).

Applicando l'espressione precedente si ricava che il sopraccitato sfioratore in uscita è in grado di allontanare la portata con tempo di ritorno di 500 anni con un carico idraulico pari a 30 cm. Ne consegue che il livello di massimo invaso della cassa di espansione di monte sarà pari a 111.20 m s.l.m.

La quota sommitale delle arginature in progetto è pari a 112.70 m s.l.m.; essa è stata definita in modo da garantire un franco idraulico di 1.5 m rispetto alla quota di massimo invaso.

Nel seguito si riassumono sinteticamente le principali caratteristiche della cassa di espansione di monte e delle relative opere accessorie:

Cassa di espansione – Lotto 2:

volume di regolazione:	148'000 m ³
quota sommità argini:	112.70 m s.l.m.
dimensioni bocca tarata (larghezza):	1.35 m
dimensioni bocca tarata (altezza):	0.80 m
quota di sfioro sfioratore ingresso cassa:	110.90 m s.l.m.
lunghezza sfioratore in ingresso:	30 m
quota sfioro sfioratore uscita cassa:	110.90 m s.l.m.
lunghezza sfioratore uscita:	50 m;
livello di regolazione:	110.90 m s.l.m.
livello di massimo invaso:	111.20 m s.l.m.

7 - VERIFICHE IDRAULICHE DI DETTAGLIO MEDIANTE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IN REGIME DI MOTO VARIO

Le analisi idraulico-numeriche condotte al precedente capitolo hanno permesso il dimensionamento di massima delle principali opere idrauliche previste dal progetto, che corrispondono al volume di laminazione della cassa, le dimensioni della bocca tarata e le dimensioni degli sfioratori tipo Creager in ingresso ed in uscita.

Il comportamento reale di un'area di laminazione deve essere necessariamente descritto in regime di moto vario, in quanto è possibile determinare il riempimento della cassa in funzione del tempo, in base all'idrogramma di progetto.

Pertanto, è stato realizzato un apposito modello bidimensionale di moto vario, le cui risultanze hanno permesso di confermare il predimensionamento delle opere precedentemente condotto.

7.1 - DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO

Nonostante il rio Lovassina nel tratto indagato assuma le classiche caratteristiche di alveo gradualmente variato descrivibili dal moto monodimensionale, l'interazione del rio con la cassa di laminazione in progetto assume caratteristiche idrauliche ben più complesse.

Infatti, pur potendo descrivere con formule idrauliche semplificate il comportamento dei singoli manufatti, quali bocca tarata e sfioratori, la loro reciproca interazione è analizzabile esclusivamente ricorrendo a modellistiche più sofisticate, quale ad esempio la modellazione bidimensionale.

Inoltre, realizzando il modello digitale del terreno nelle condizioni di progetto, il modello bidimensionale determina automaticamente la curva di invaso della cassa in progetto. La modellizzazione dei flussi idraulici del rio Lovassina in prossimità dell'area di laminazione in progetto è stata compiuta mediante il software idraulico bidimensionale SMS ver.12.3.5 sviluppato da Aquaveo.

SMS è uno strumento di calcolo completo per l'analisi idraulica e idrodinamica dei corsi d'acqua mediante simulazioni di superfici liquide in moto bidimensionale.

In dettaglio esso è un preprocessore grafico ottimizzato per creare mesh bidimensionali agli elementi finiti ed è inoltre utilizzato come post-processore per la visualizzazione e l'analisi dei risultati delle simulazioni.

Ci sono vari modelli numerici supportati direttamente da SMS ed ogni modello è progettato per analizzare una specifica classe di problemi di superfici liquide.

Nel caso specifico SMS è stato abbinato con SRH-2D (Sedimentation and River Hydraulics-Two-Dimensions), un risolutore per la simulazione bidimensionale dei corsi d'acqua rientranti nell'ipotesi di "shallow waters" (letteralmente "acque basse").

L'ipotesi di "shallow waters" permette di risolvere le equazioni del moto fluido considerando la velocità del singolo elemento di volume mediata rispetto all'altezza, ovvero trascurando quello che è il moto verticale del fluido, di diversi ordini di grandezza inferiore rispetto a quello planimetrico.

I corsi d'acqua superficiali rientrano sempre in tale ipotesi e si parla pertanto di moto bidimensionale, ovvero legato alle due componenti planimetriche della velocità (v_x e v_y).

Le equazioni di flusso mediate sulla profondità 2D adottate dal risolutore sono:

$$\begin{aligned}\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hU)}{\partial x} + \frac{\partial(hV)}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hVU}{\partial y} &= -gh \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial y} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ \frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} &= -gh \frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\partial(hT_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(hT_{yy})}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho}\end{aligned}$$

Dove:

- x,y : Coordinate planimetriche cartesiane;
- t : Tempo (Time);
- g : Accelerazione gravitazionale (Gravitational Acceleration);
- T : Tensioni mediate in altezza dovute a turbolenza e dispersione;
- z : Quota del pelo libero (Water Surface Elevation);
- h : Tirante idraulico (Water Depth);
- z_b : Quota del fondo (Bed Elevation);
- ρ : Densità dell'acqua (Water Density);
- τ_b : Tensioni tangenziali sul fondo (bed stressed).

Le tensioni tangenziali sul fondo sono determinate mediante l'equazione di Manning come segue:

$$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \rho U_*^2 \frac{(U, V)}{\sqrt{U^2 + V^2}} = \rho C_f \sqrt{U^2 + V^2} (U, V)$$

$$C_f = g n_t^2 / h^{1/3}$$

Dove:

- n_t : Coefficiente globale di Manning;
- U_* : velocità di attrito del fondo.

Le tensioni mediate in altezza dovute a turbolenza e dispersione sono determinate come segue:

$$T_{xx} = 2(\nu + \nu_t) \frac{\partial U}{\partial x}$$

$$T_{yy} = 2(\nu + \nu_t) \frac{\partial V}{\partial y}$$

$$T_{xy} = (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)$$

Dove:

- ν : Viscosità cinematica;
- ν_t : Viscosità turbolenta (Eddy Viscosity).

La Eddy Viscosity (ν_t) può essere determinata mediante due modelli:

- modello parabolico: la Eddy Viscosity viene determinata come $\nu_t = C_t U_* h$ dove $C_t = 0.3 \div 1.0$;
- modello k-ε: la Eddy Viscosity viene determinata come $\nu_t = C_u k^2 / \varepsilon$ e le due equazioni parziali aggiuntive per k e ε sono risolte dal solutore.

In tutte le simulazioni bidimensionali si è scelto di adottare il modello parabolico per la determinazione della Eddy Viscosity, adottando un coefficiente $C_t = 0.7$, come raccomandato dal manuale in queste casistiche.

La fase iniziale della modellazione prevede l'impostazione del datum di riferimento e l'inserimento all'interno del software SMS delle cartografie di base e dei DTM che costituisce la base per la definizione altimetrica dei punti della mesh.

Successivamente, si procede con la delimitazione dell'area di analisi e la creazione della griglia mesh mediante elementi triangolari e quadrangolari.

L'altezza d'acqua in ogni punto all'interno dell'elemento bidimensionale è ottenuta interpolando tra le altezze nei nodi d'angolo che definiscono l'elemento.

La condizione morfologica indagata risulta essere esclusivamente quella di progetto, in quanto la condizione attuale dell'alveo del rio Lovassina risulta essere già appropriatamente descritta in precedenza dal modello di moto monodimensionale.

Il tratto di rio indagato è stato schematizzato mediante una griglia di calcolo di circa 3.0 x 3.0 km, con estensione quindi pari a circa 9.0 km².

La condizione al contorno di valle si collocano a circa 300 m dalla cassa in progetto, e coincide con il punto di immissione del rio Lovassina nel tratto intubato di Litta Parodi. Questa scelta è stata fatta per evitare difficoltà computazionali indotte dalla modellazione del tratto tombinato, in quanto è noto a priori il valore di portata massima di immissione pari a 4.50 m³/s e nelle condizioni di progetto la portata transitante verso valle risulta inferiore e pertanto compatibile.

La condizione al contorno di monte si colloca a circa 2 km dalla cassa di laminazione: questa scelta è volta a valutare l'influenza verso monte del rigurgito provocato dall'opera e allo stesso tempo valutare correttamente la propagazione dell'onda di piena verso valle.

La mesh risulta quindi sufficientemente estesa a monte e a valle dell'opera, al fine di minimizzare gli inevitabili effetti di bordo nei pressi del sito oggetto di analisi.

Per un'adeguata rappresentazione del deflusso, congiuntamente con esigenze di stabilità numerica e gestione logistica delle simulazioni, il passo spaziale delle maglie è stato variato e ottimizzato in funzione della posizione planimetrica.

Nelle aree più esterne del modello, è stato impostato un passo spaziale della griglia pari a circa 50 m sui bordi della mesh di forma triangolare: tale scelta di natura computazionale è basata sulla minima importanza che questi punti ricoprono nelle simulazioni, non essendo interessati direttamente dai flussi di piena analizzati (condizione comunque verificata a posteriori).

L'alveo attivo e le sponde del rio Lovassina e la SS35bis parallela al rio sono stati schematizzati mediante elementi quadrangolari con passo spaziale pari a circa 0.60-1.30 m nella direzione trasversale e pari a circa 20 m nella direzione longitudinale.

La mesh è stata opportunamente infittita all'interno e nei pressi della cassa, mediante elementi triangolari di passo pari a circa 5.0 m.

La mesh è stata ricostruita dal software SMS per interpolazione nei punti della griglia a partire dal modello digitale del terreno risultante dai rilievi adottati.

Nella seguente figura si riporta l'estratto della planimetria della mesh di base e un ingrandimento nei pressi della cassa: è possibile constatare tutte le precisazioni precedentemente descritte, in particolare la scelta computazionale di infittire i punti in prossimità delle aree di maggior interesse da un punto di vista idraulico.

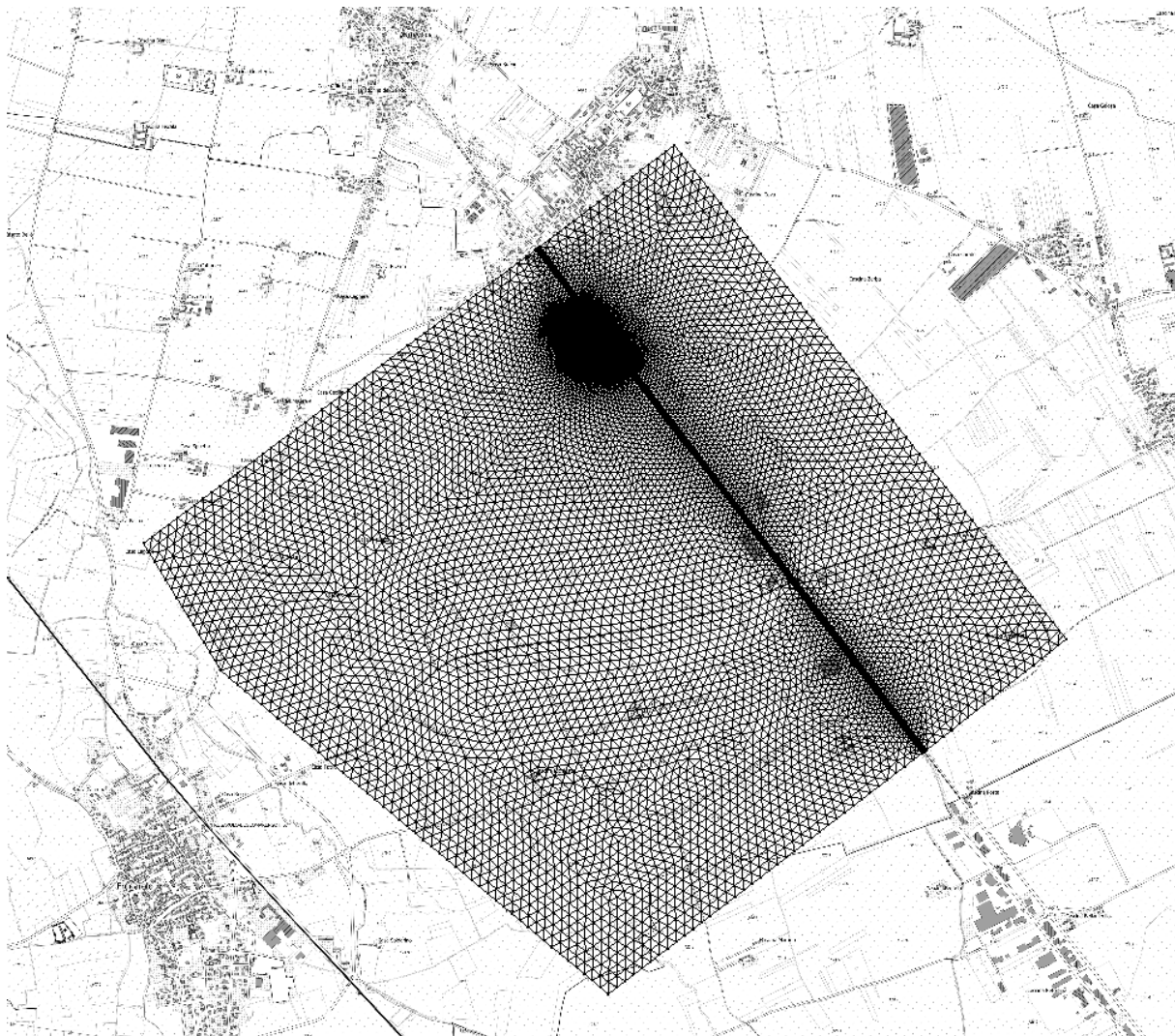


Figura 7.1: Mesh di calcolo adottata per la simulazione bidimensionale su BDTRE Regione Piemonte

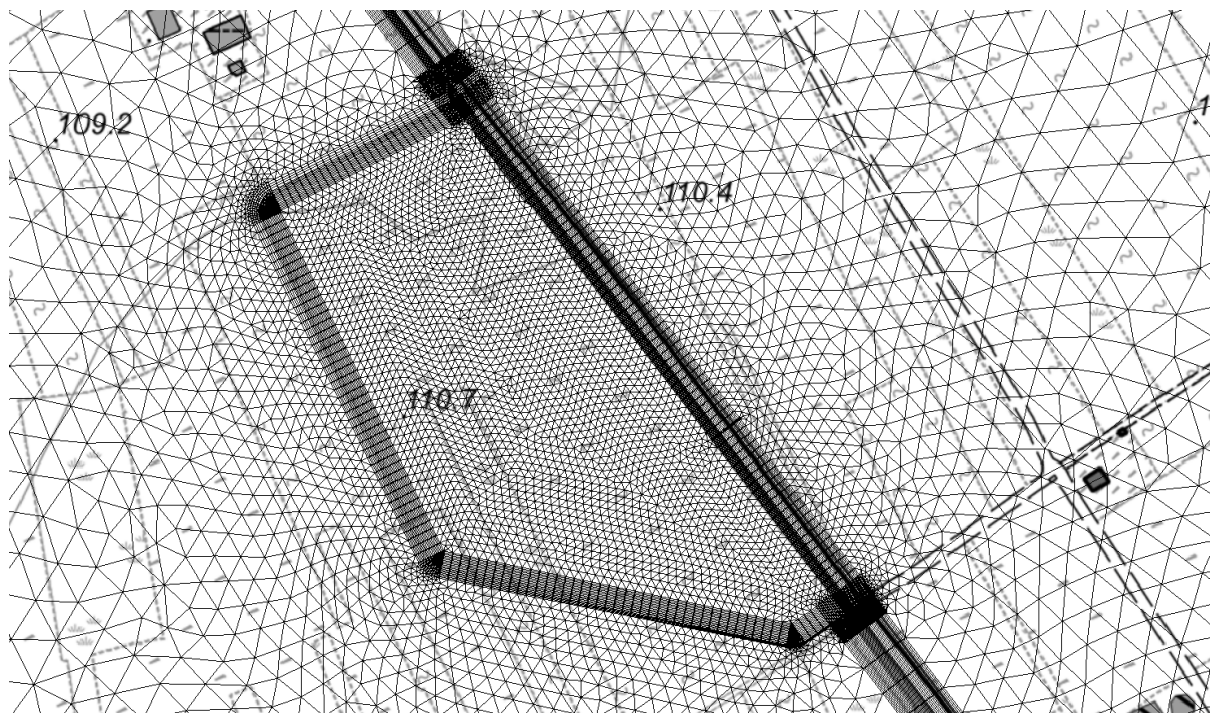


Figura 7.2: Ingrandimento mesh di calcolo in corrispondenza della cassa in progetto

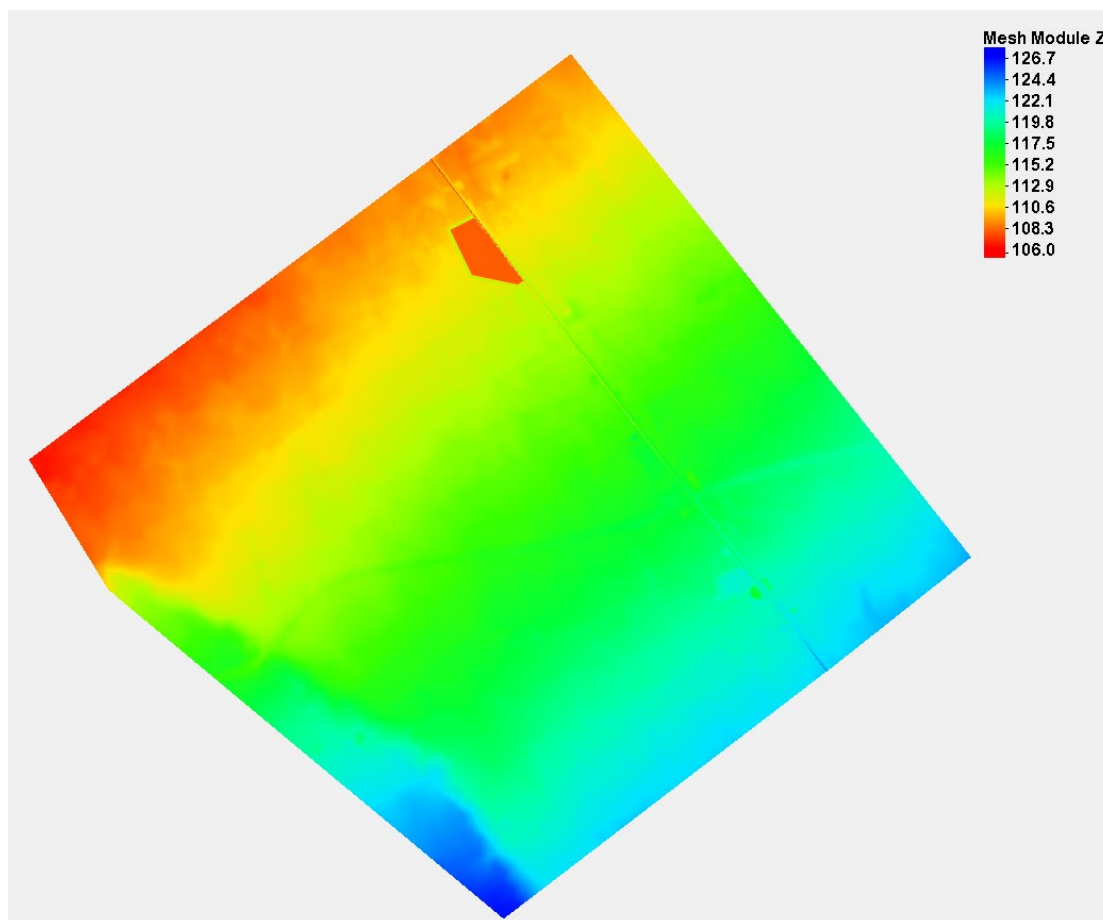


Figura 7.3: Rappresentazione Contours Mesh di calcolo adottata per la simulazione bidimensionale

Le condizioni al contorno del modello bidimensionale possono essere altezze d'acqua o portate defluenti.

Essendo il rio Lovassina, nel tratto analizzato, in regime fluviale e quindi presentando una corrente lenta governata da valle, è necessario inserire una condizione al contorno a monte di in-flow coincidente con l'idrogramma di piena di progetto e una condizione al contorno a valle di out-flow coincidente con un livello idraulico.

È stato simulato esclusivamente l'evento di piena di progetto, considerando come idrogramma in ingresso quello relativo all'evento di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni nella condizione di esercizio finale che prevede la realizzazione di tutti i lotti funzionali.

Tale idrogramma prevede come valore fisso e costante in uscita dalla cassa 4 pari a $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, a cui si somma l'idrogramma relativo all'apporto laterale dovuto dal bacino idrografico 3-3 presente tra le due casse.

Essendo il rio Lovassina molto regolare nel tratto tra le due casse, e il bacino pianeggiante anch'esso estremamente regolare, si può assumere che la forma dell'idrogramma sia molto vicina a quella teorica triangolare, assumendo un apporto laterale areale costante lungo l'alveo.

Si ottiene quindi un idrogramma totale che presenta una durata totale pari al doppio del tempo di corrvazione (8h) ed un picco di $15.2 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrispondenza del tempo di corrvazione (4h) e di seguito rappresentato:

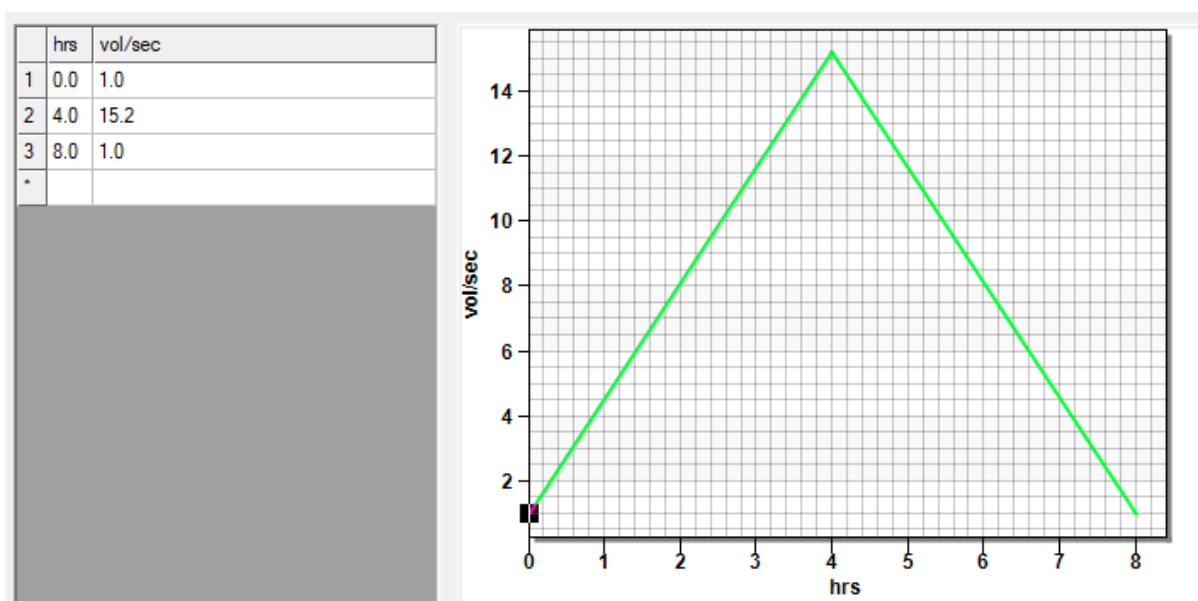


Figura 7.4: Condizione al contorno di monte: idrogramma di progetto TR200

Per imporre la condizione al contorno di valle, ovvero l'altezza d'acqua nella sezione dell'alveo d'uscita del flusso idraulico, si è utilizzato il valore di livello idraulico costante derivante dalla valutazione in moto uniforme relativa alla portata in uscita dalla cassa 2, ricavata per tentativi.

Si precisa comunque che l'ipotesi sul livello di partenza a valle, sebbene importante per le caratteristiche del moto nel tratto in studio, non influenza in modo significativo i livelli dell'acqua nel tratto di interesse.

Questo perché la condizione al contorno di out-flow della simulazione idraulica è relativamente lontana a valle e distante dalle aree significative per lo studio in oggetto, pertanto, in queste condizioni il livello dell'acqua al contorno ha poca influenza, come si può osservare facilmente facendolo variare all'interno di una tolleranza ragionevole, tale da non cambiare le caratteristiche idrauliche del moto.

L'ultima condizione al contorno impostata risulta essere quella relativa alla bocca tarata: tale comportamento è stato descritto mediante la condizione Pressure, che permette di impostare le quote inferiori e superiori di deflusso, il cui superamento induce un moto del tipo luce sotto battente, e un ulteriore quota di overtopping, che, se superata, permette il deflusso verso valle a stramazzo (condizione che non si realizza nel caso in esame).

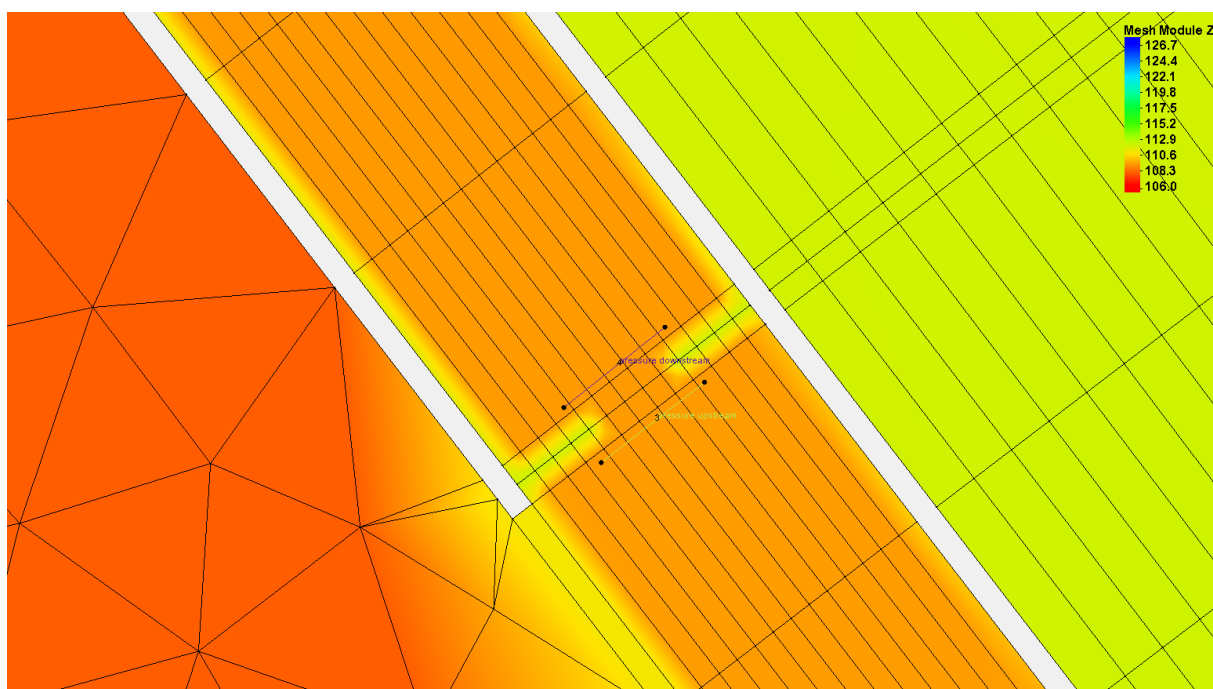


Figura 7.5: Dettaglio condizione al contorno Pressure downstream e upstream per modellazione bocca tarata

Le scabrezze adottate sono le stesse già utilizzate per il modello monodimensionale, e di seguito riportate:

alveo Rio Lovassina:

$C = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

golene:

$C = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.10 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

7.2 - RISULTATI MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO PER L'EVENTO DI PIENA DI PROGETTO CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI

La simulazione è stata condotta in regime di moto vario per un tempo massimo sufficientemente ampio pari a 12 ore, in maniera tale da descrivere anche gli effetti di propagazione del colmo di piena successivi alla durata complessiva dell'evento di progetto pari a 8 ore.

Il risultato principale della simulazione è rappresentato dal confronto tra l'idrogramma in ingresso e in uscita dalla cassa, di seguito riportato:

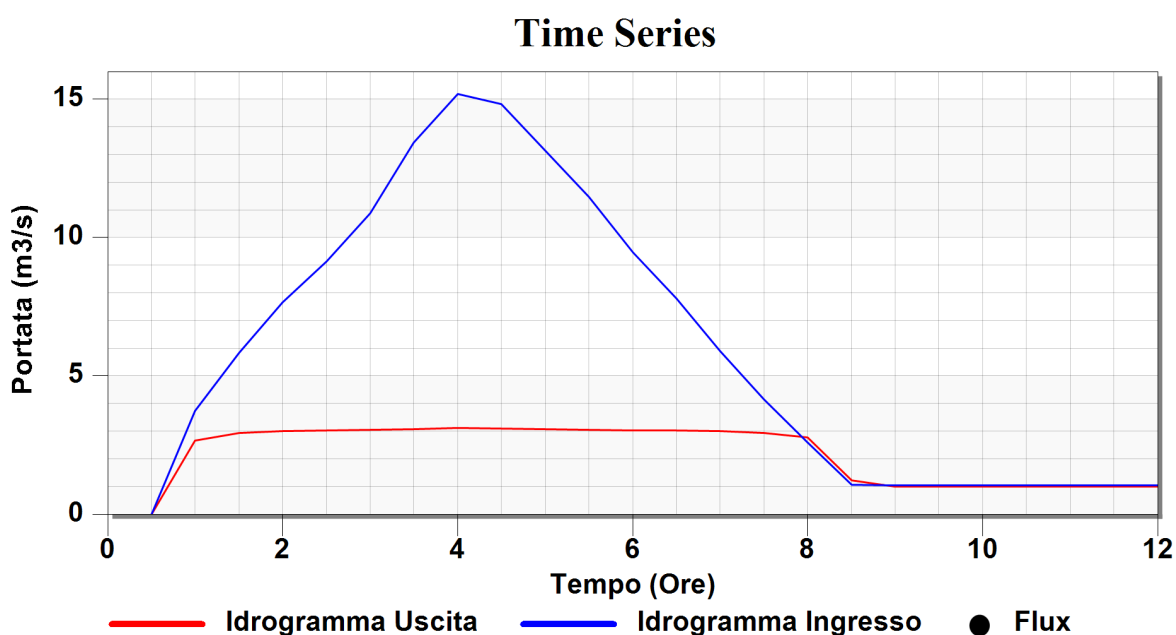


Figura 7.6: Confronto tra idrogramma in ingresso e in uscita dalla cassa in progetto

Dall'analisi dell'idrogramma si evince che la cassa di laminazione in progetto permette la completa laminazione dell'evento di piena di progetto, limitando la portata in uscita al valore pressoché costante pari a circa $3.0 \text{ m}^3/\text{s}$, inferiore al valore determinato dal predimensionamento pari a $4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ e quindi ulteriormente cautelativo.

Tale diminuzione, la cui entità risulta essere ampiamente contenuta all'interno delle tolleranze di tali valutazioni idrauliche, può essere spiegata dalle maggiori perdite di carico indotte dalla strettoia della bocca tarata che la modellazione bidimensionale è in grado di mettere in risalto.

Dall'analisi dei timesteps in planimetria e sezioni, si osserva il completo riempimento della cassa di laminazione alla quota di regolazione pari a 110.90 m s.l.m. senza attivazione dello sfioratore in uscita: questo indica un'elevata ottimizzazione dell'opera per l'evento di piena di progetto e conferma l'ordine di grandezza del volume di laminazione ottenuto nel predimensionamento mediante l'applicazione di ipotesi semplificative.

Si osserva inoltre che il livello idraulico raggiunto a monte della cassa non supera mai la quota delle sponde, risultando quindi la costruzione dell'opera indifferente per le condizioni idrauliche di monte rispetto alla situazione attuale messa in evidenza dal modello monodimensionale.

In ogni caso, si osserva che il rigurgito massimo indotto dalla bocca tarata si estende da quest'ultima verso monte per circa 150 m, e risulta pertanto contenuta all'interno del nuovo canale in c.a. in progetto.

Si riportano nelle seguenti pagine i principali risultati della simulazione idraulico-numerica bidimensionale di moto vario: per ogni vista selezionata, vengono riportati in ordine temporale crescente vari frame a intervalli regolari pari ad 1 ora fino alla durata massima della simulazione pari a 12 ore, in maniera tale da ripercorrere l'evoluzione temporale dell'evento di piena di progetto.

**MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO
SIMULAZIONE UNICA
SCENARIO DI PROGETTO**

Corso d'acqua	Portata al colmo [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	15.2 (1+14.2)	200

PLANIMETRIA

LIVELLI IDRAULICI (m s.l.m.)



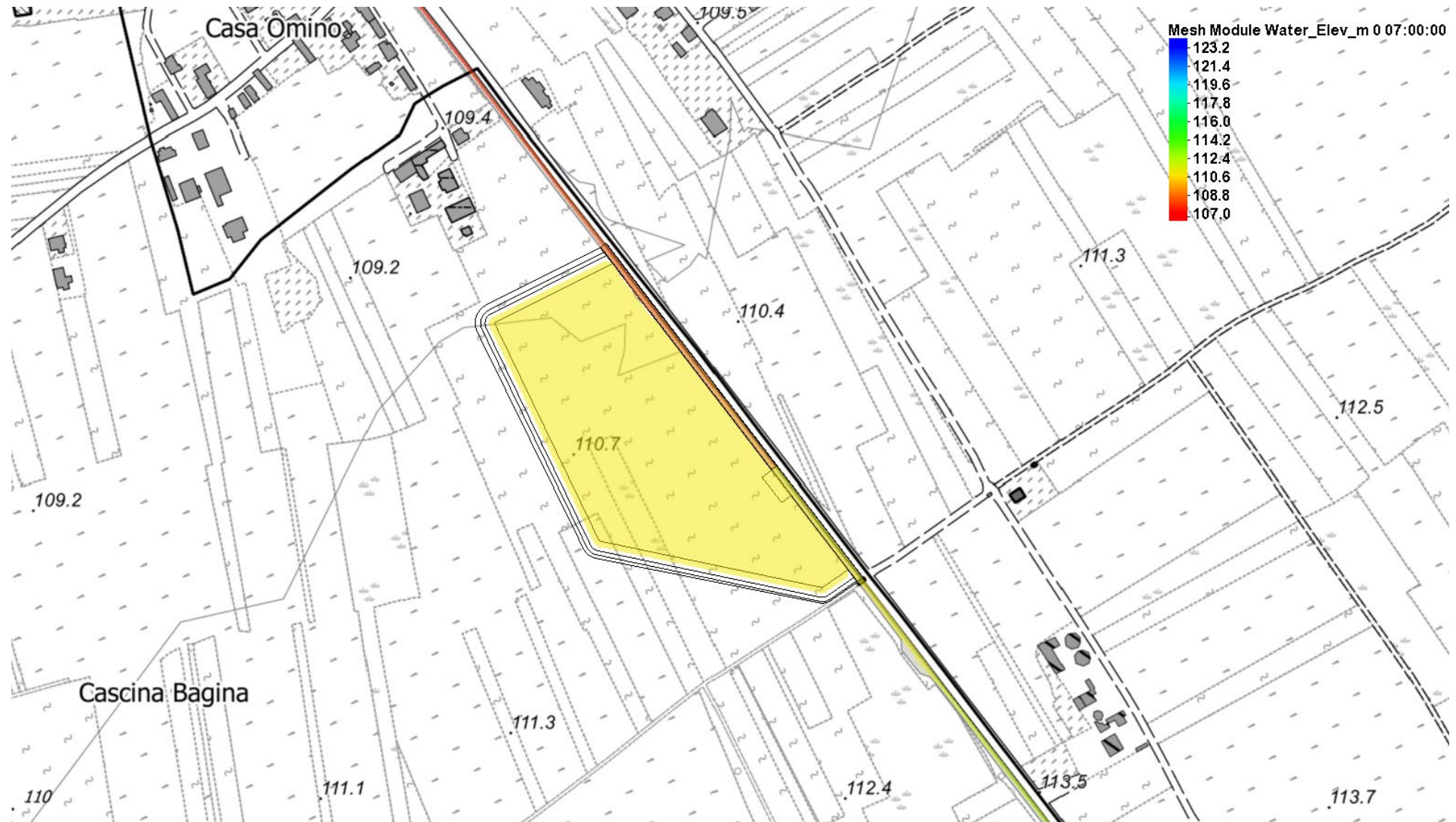


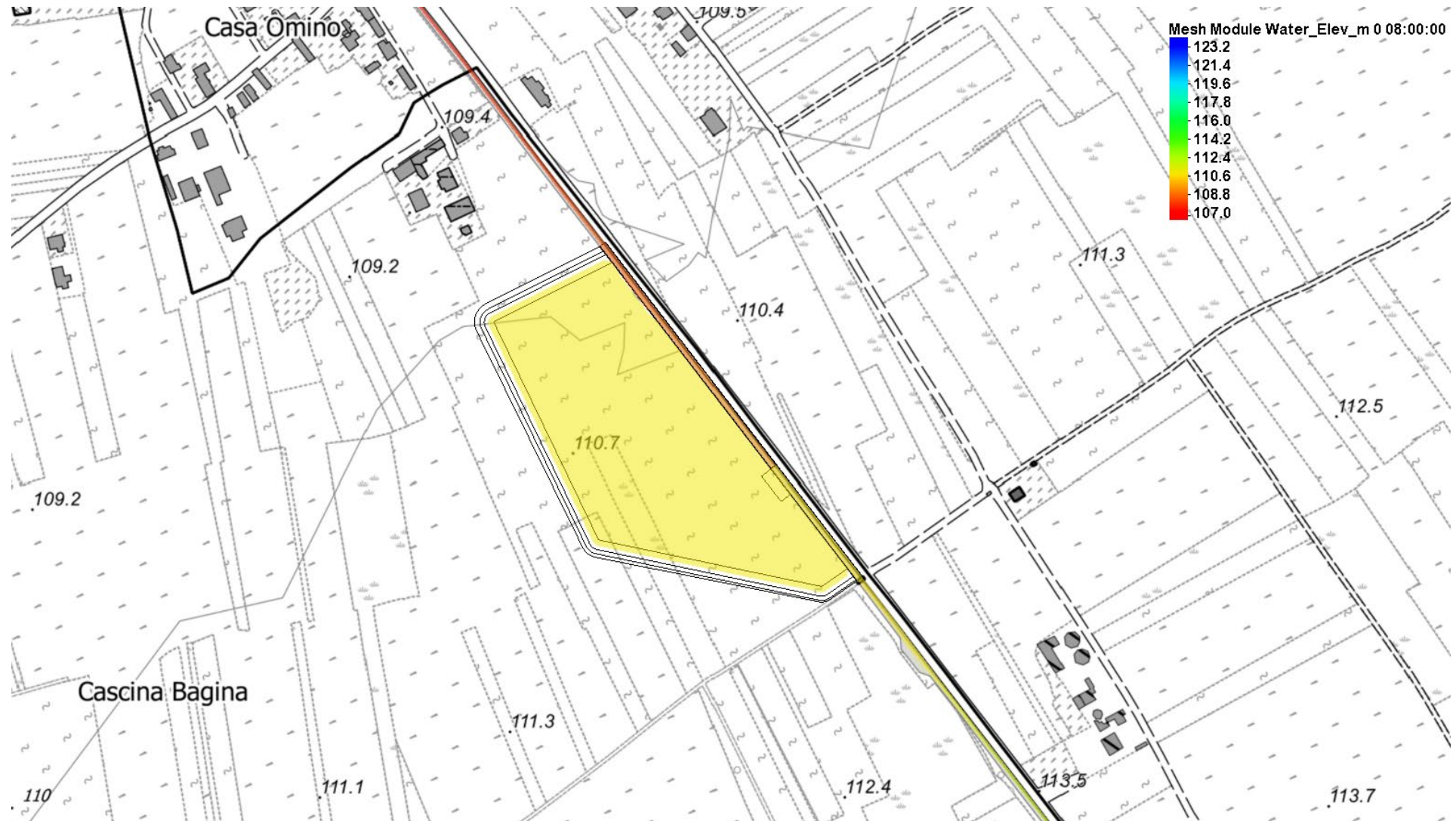


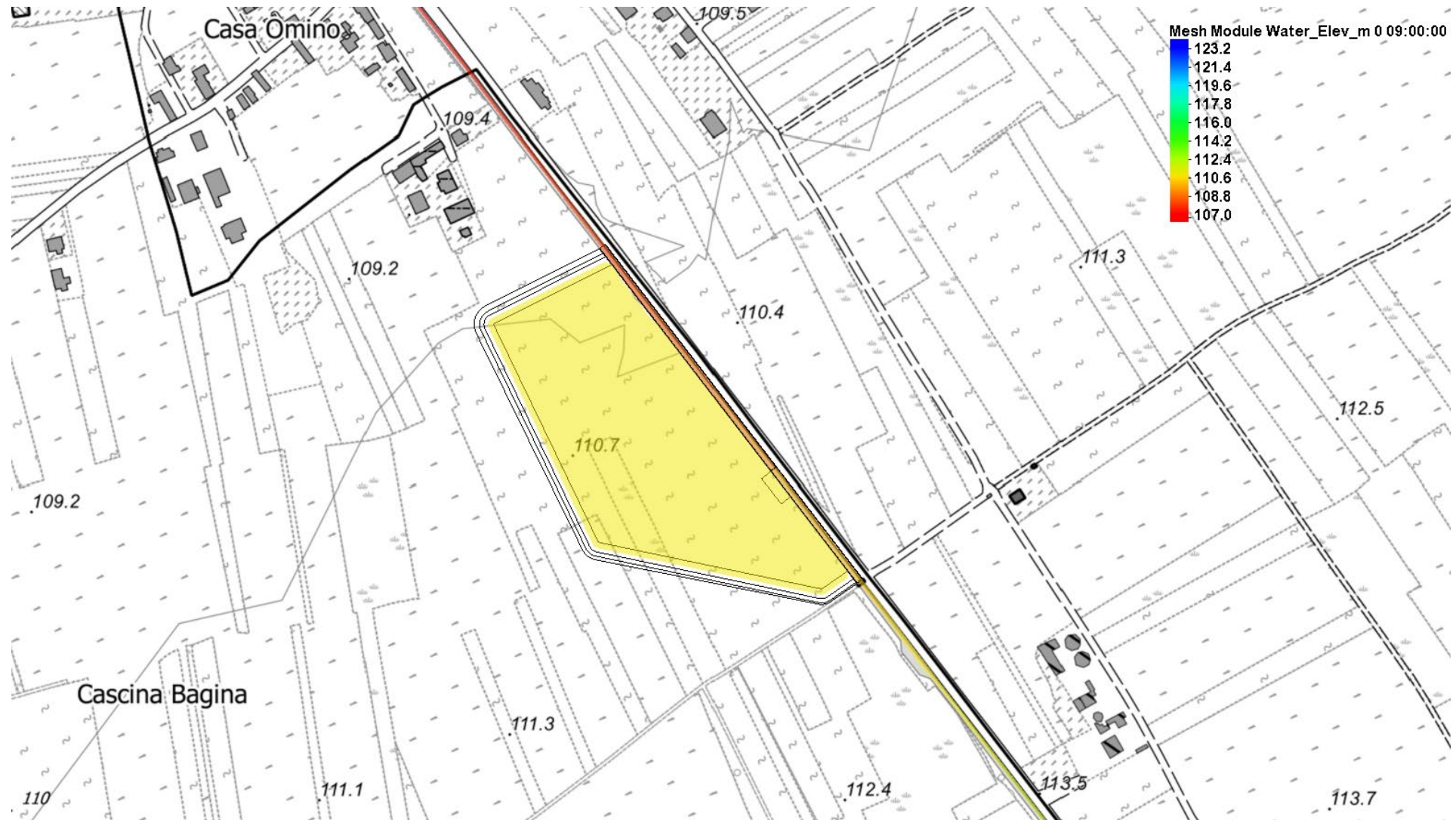


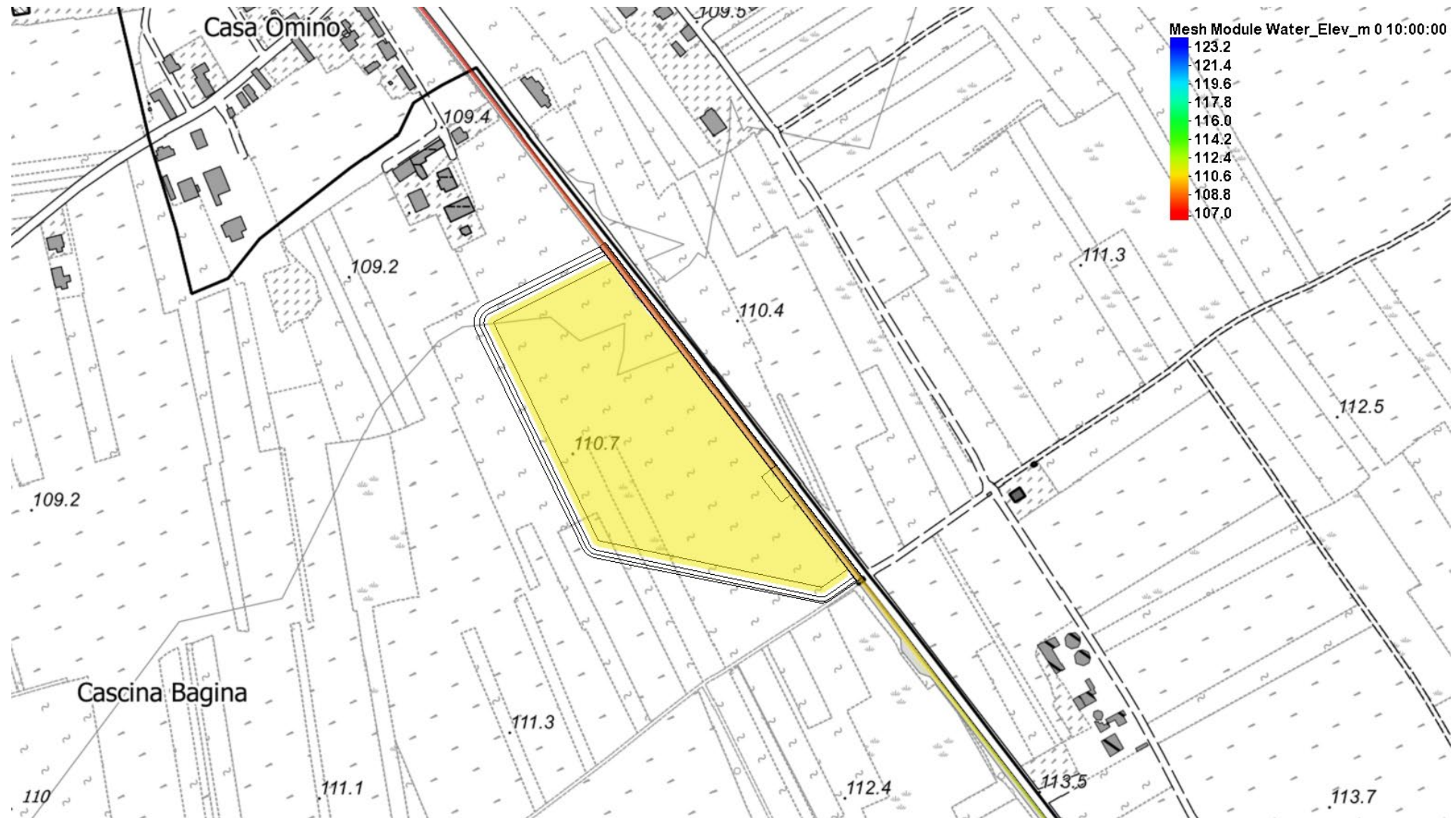


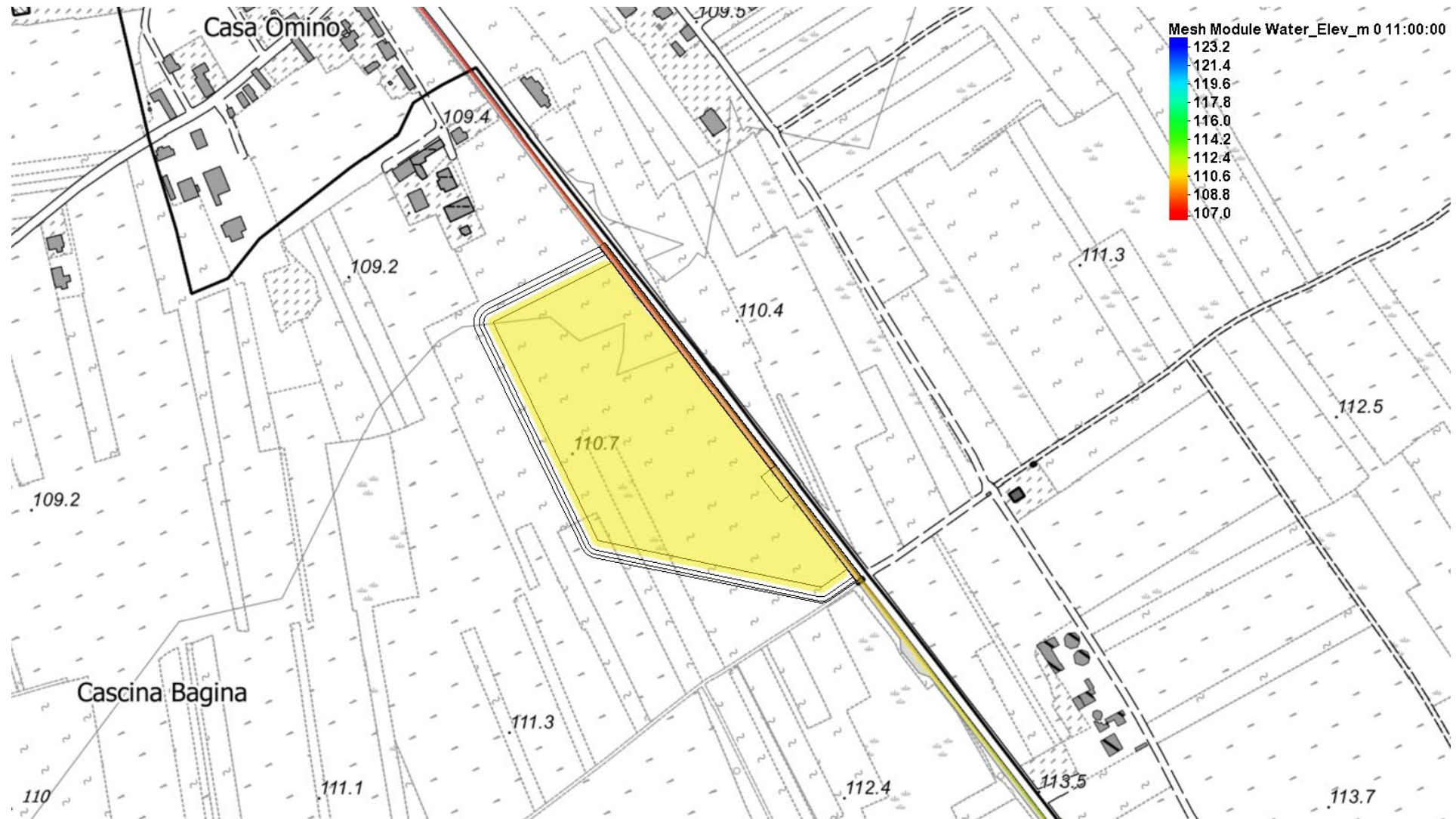


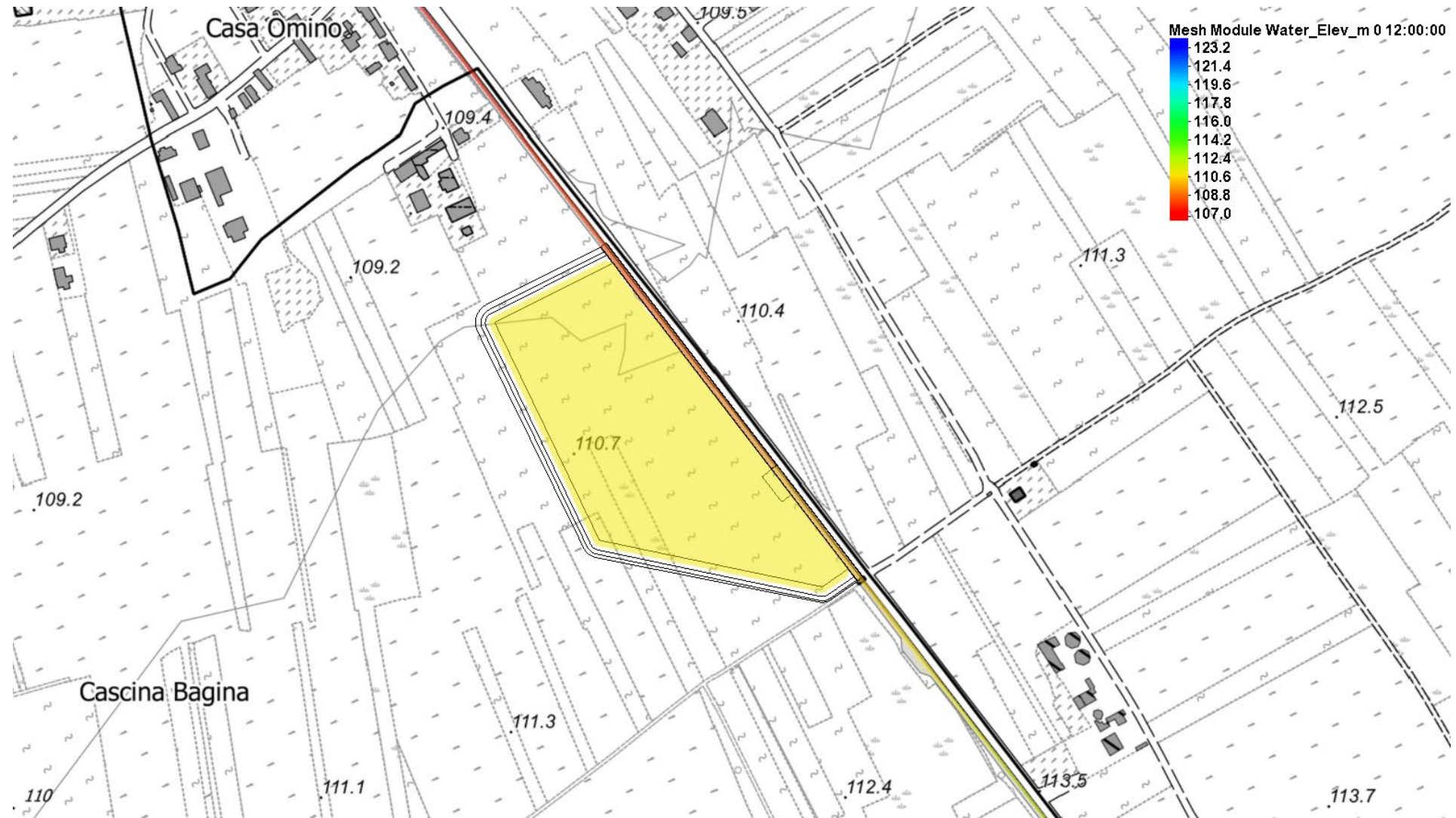












PLANIMETRIA TIRANTI IDRAULICI (m)

























PLANIMETRIA

VELOCITA' (m/s)





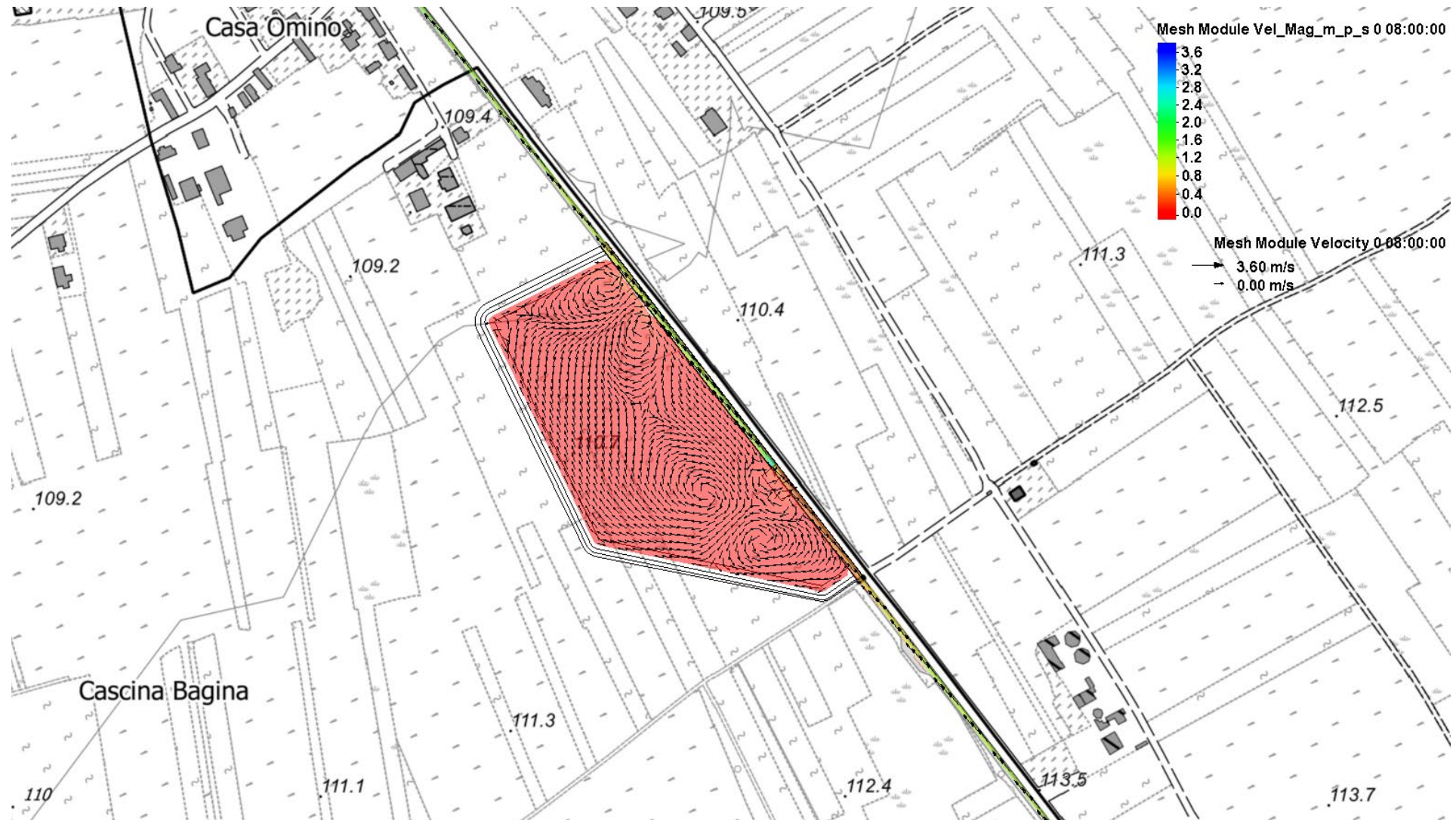


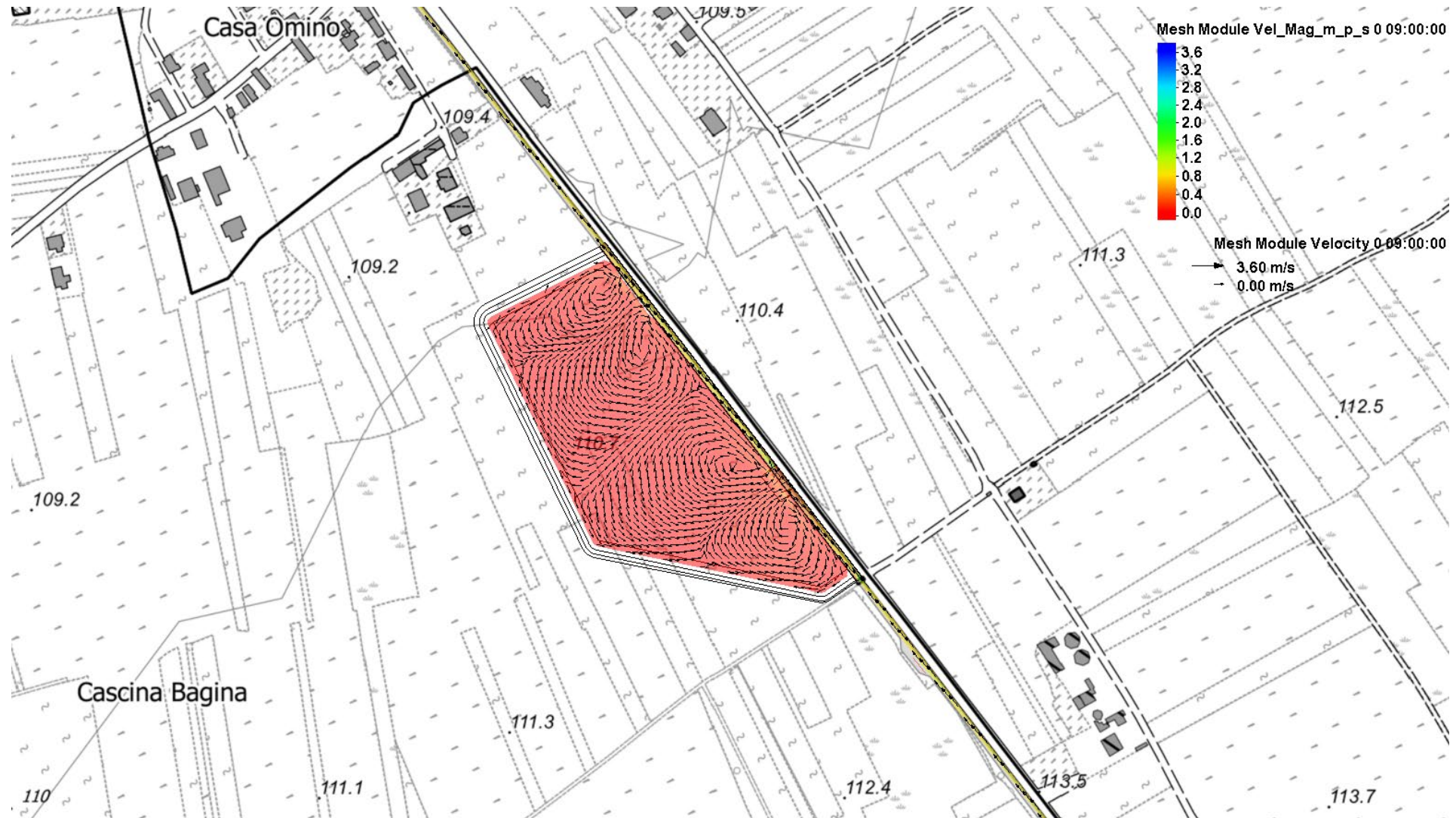


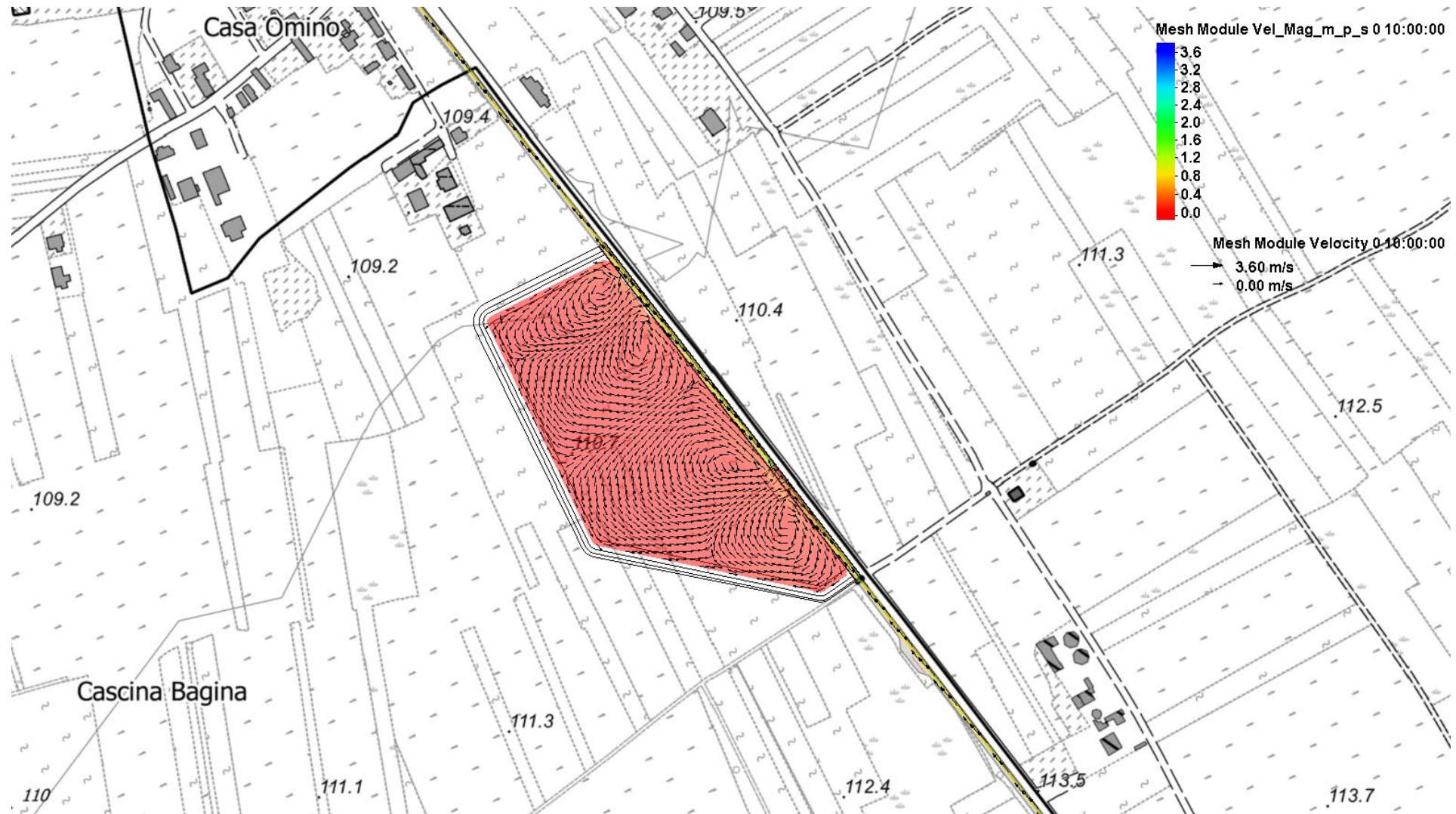




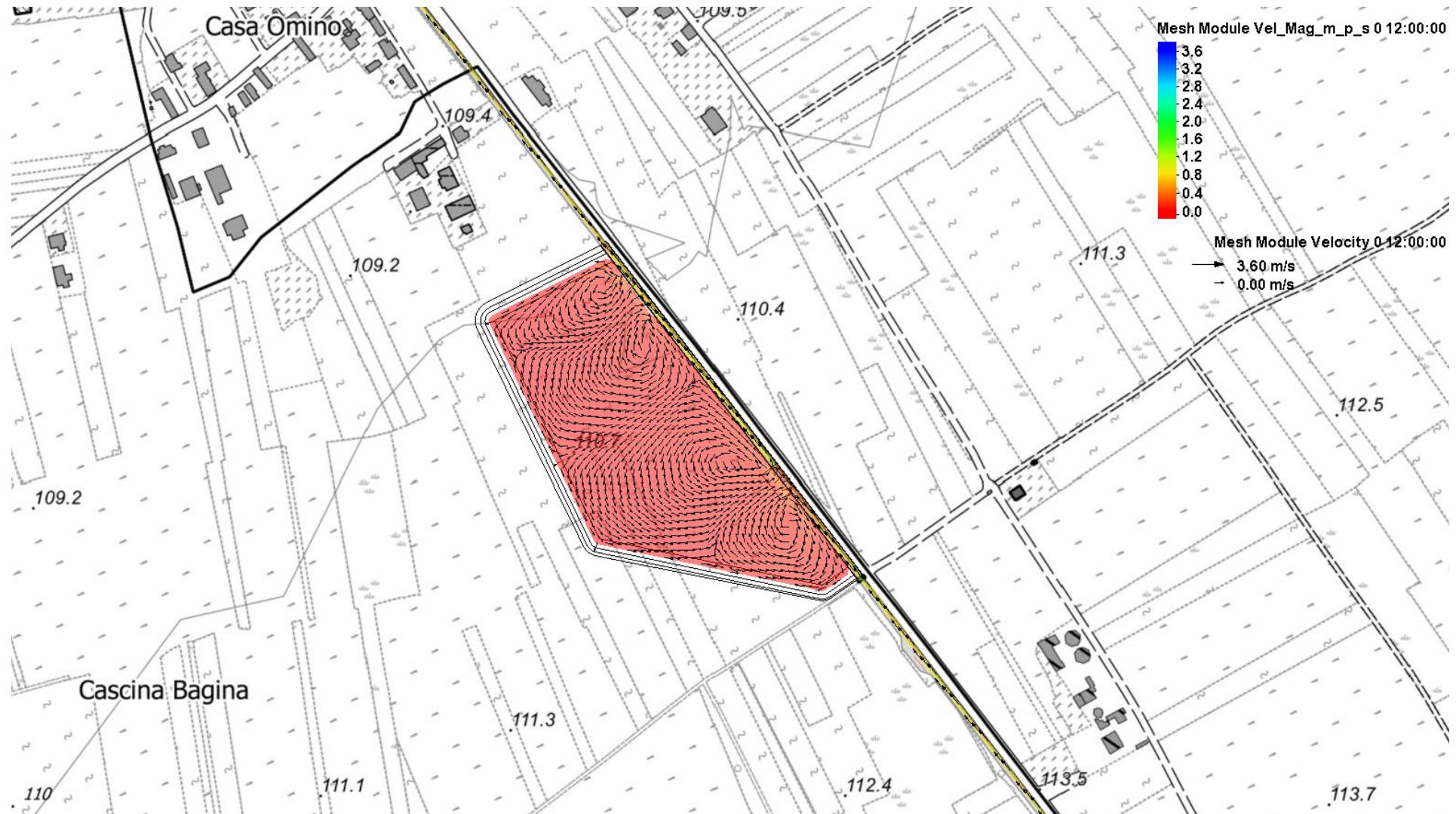








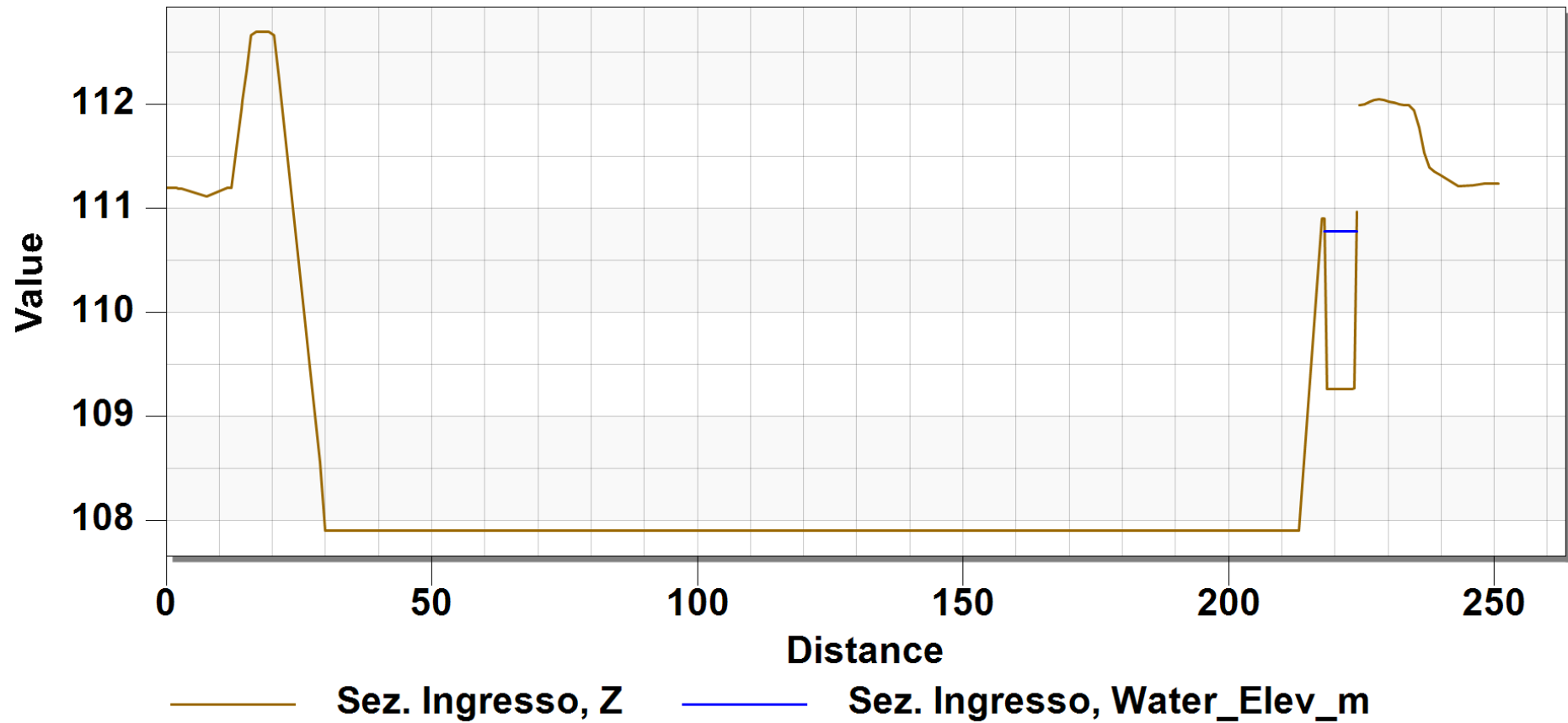




SEZIONE TRASVERSALE CASSA SFIORATORE IN INGRESSO

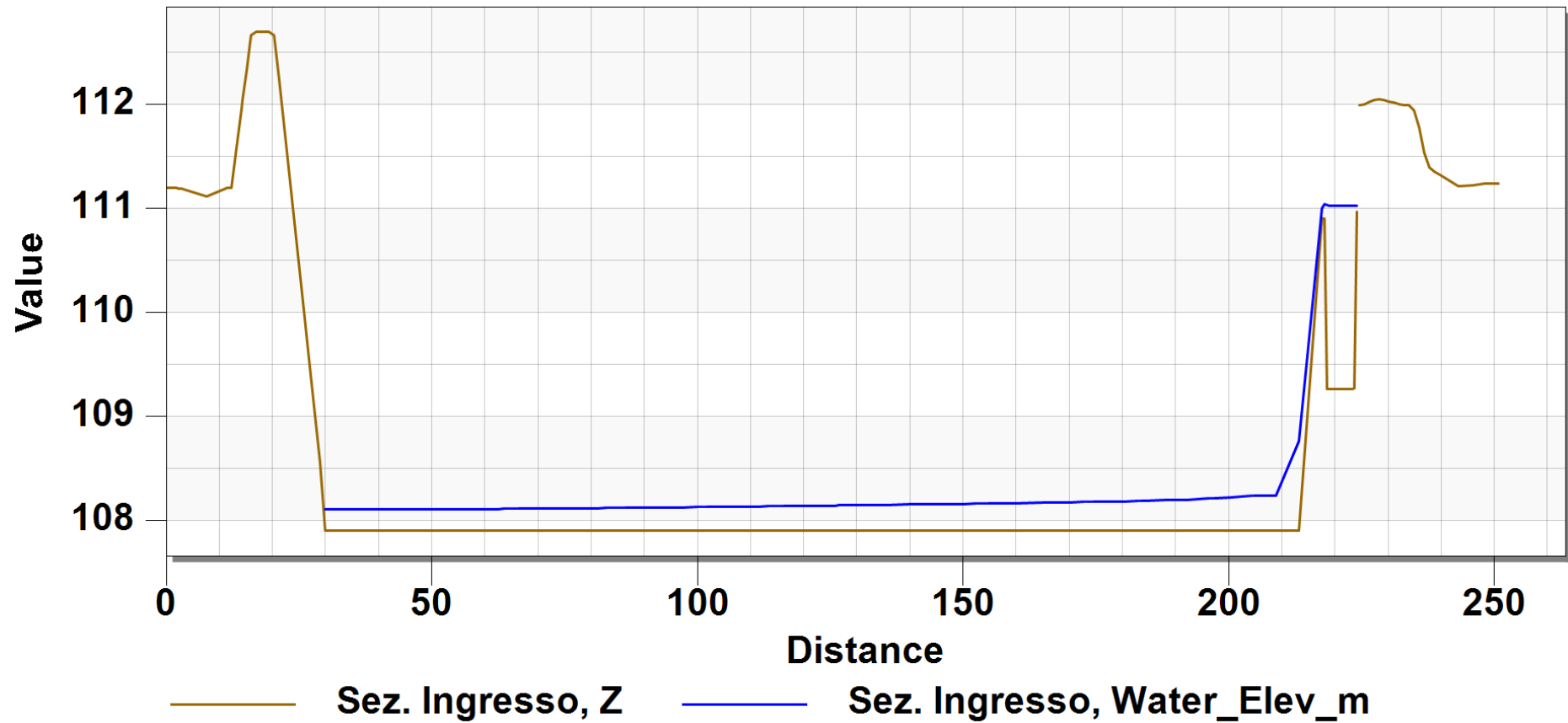
Profile

Time Step: 0 01:00:00



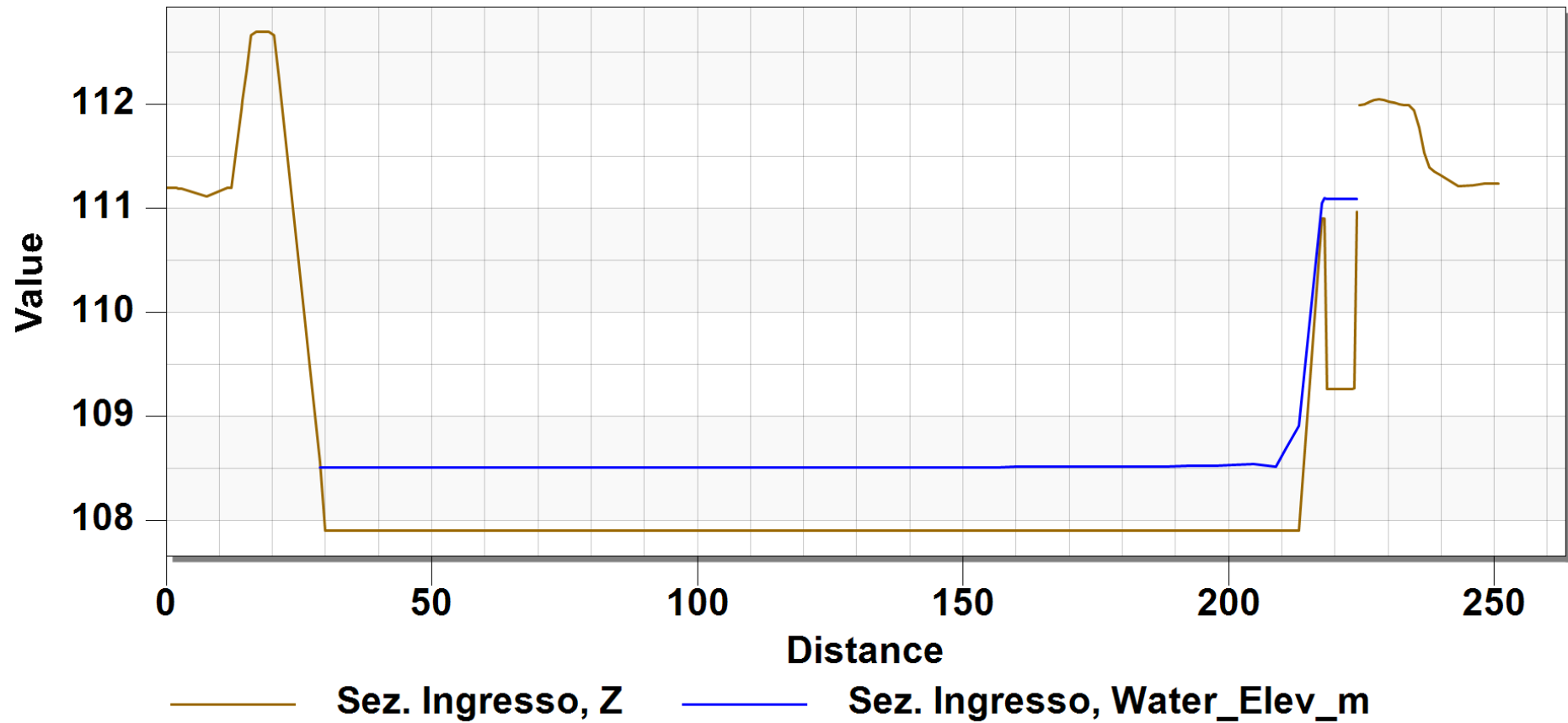
Profile

Time Step: 0 02:00:00



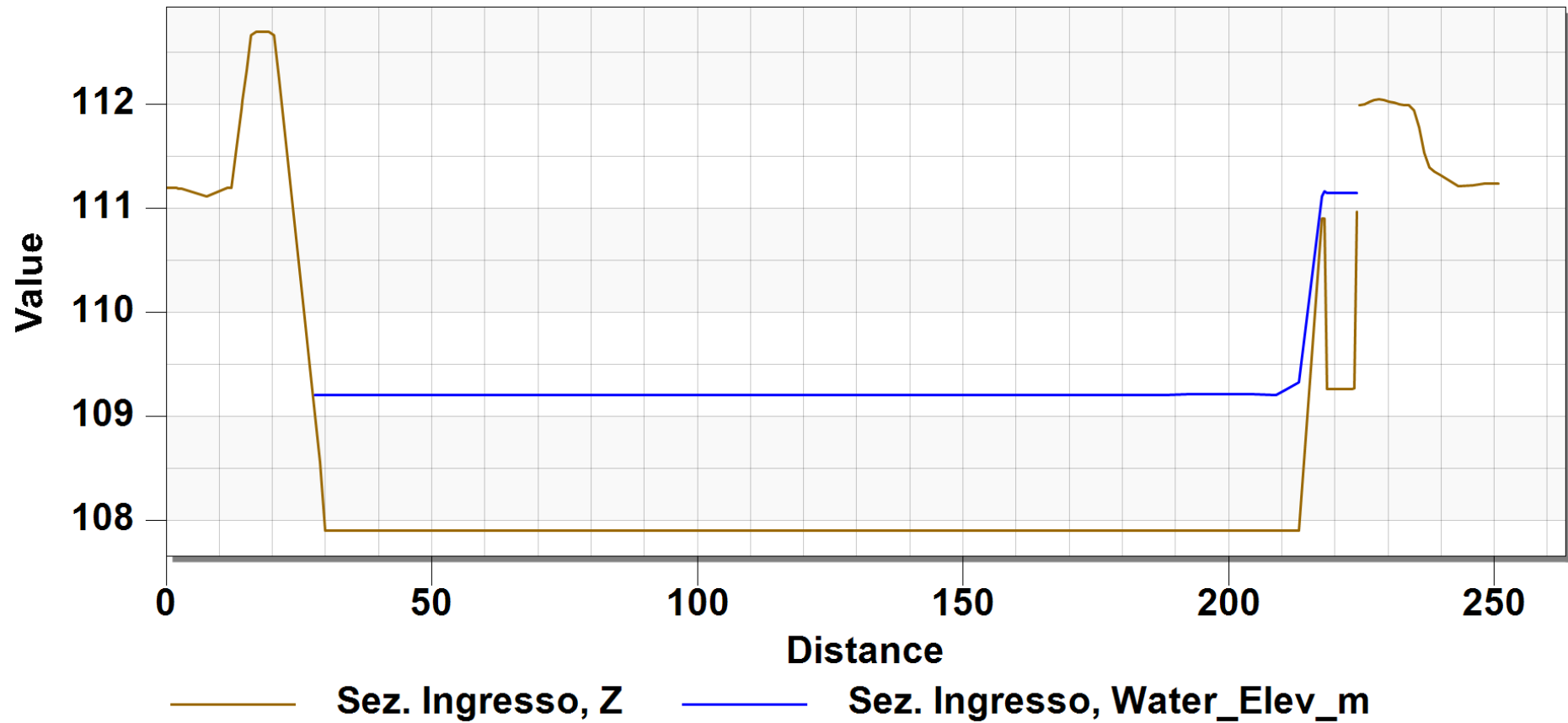
Profile

Time Step: 0 03:00:00



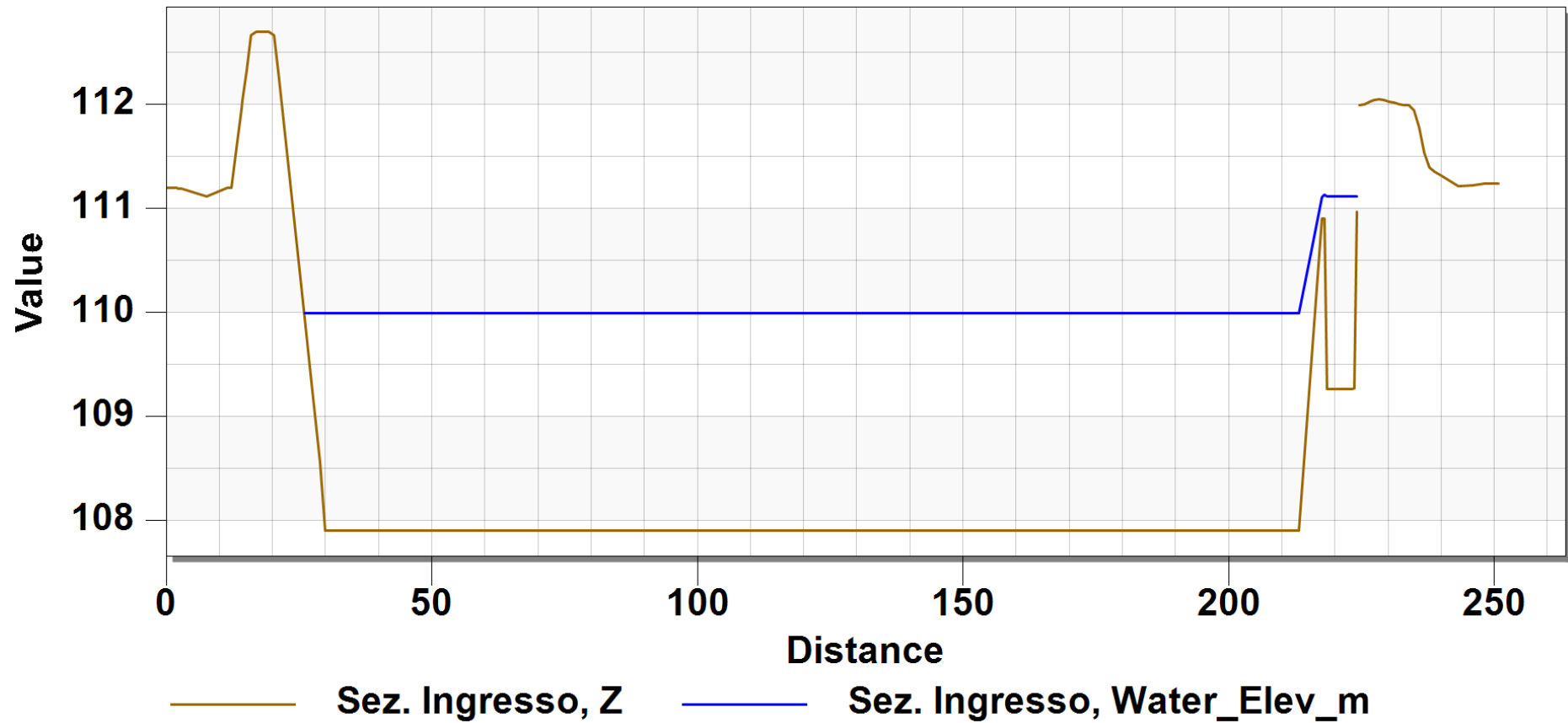
Profile

Time Step: 0 04:00:00



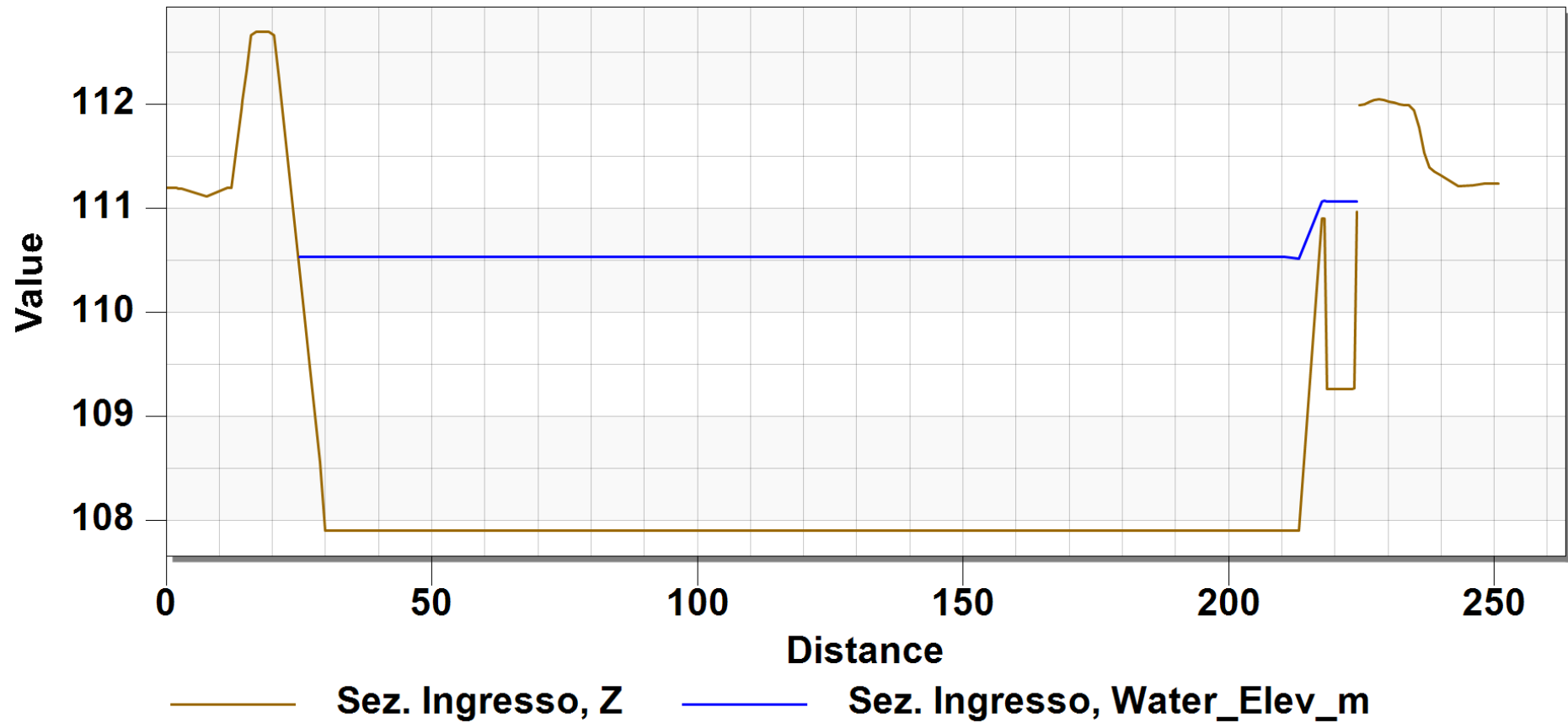
Profile

Time Step: 0 05:00:00



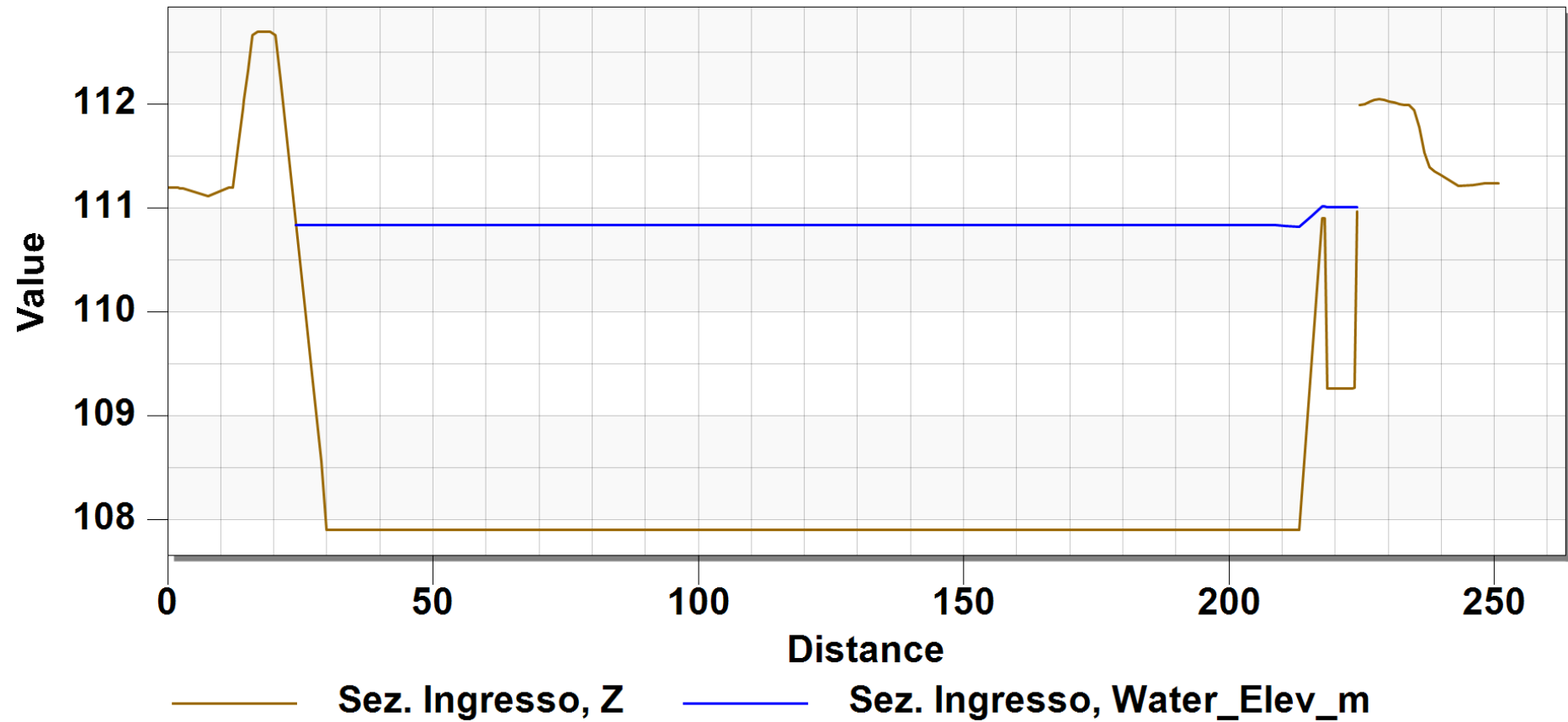
Profile

Time Step: 0 06:00:00



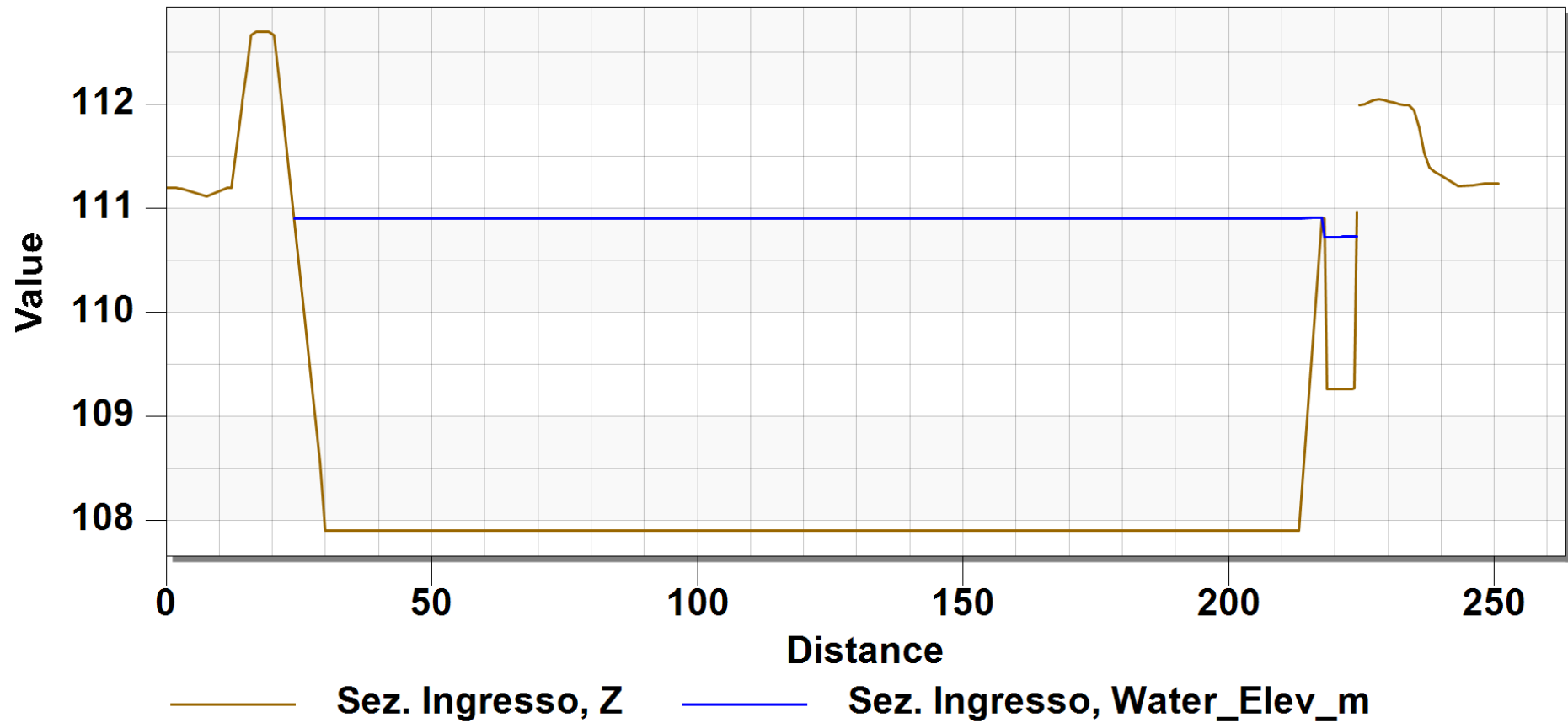
Profile

Time Step: 0 07:00:00



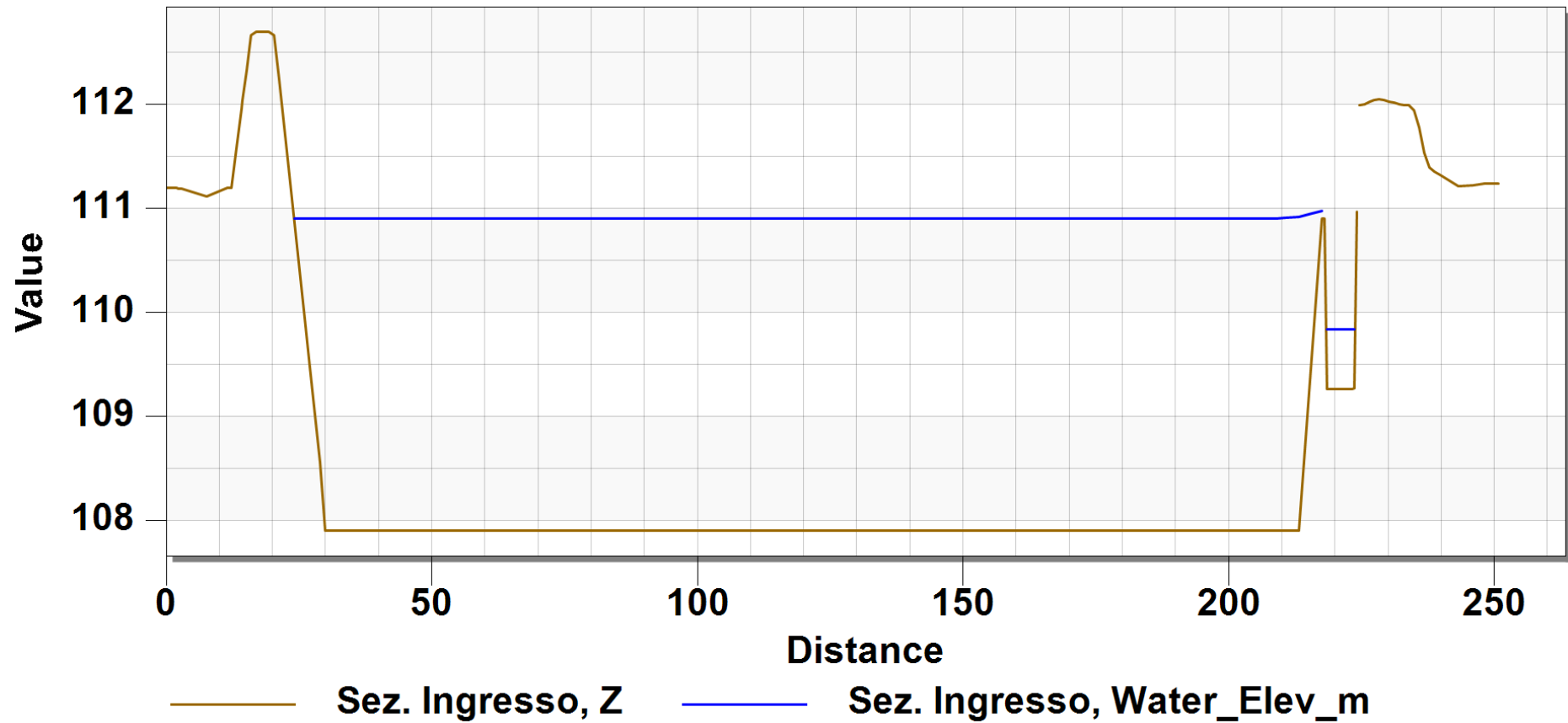
Profile

Time Step: 0 08:00:00



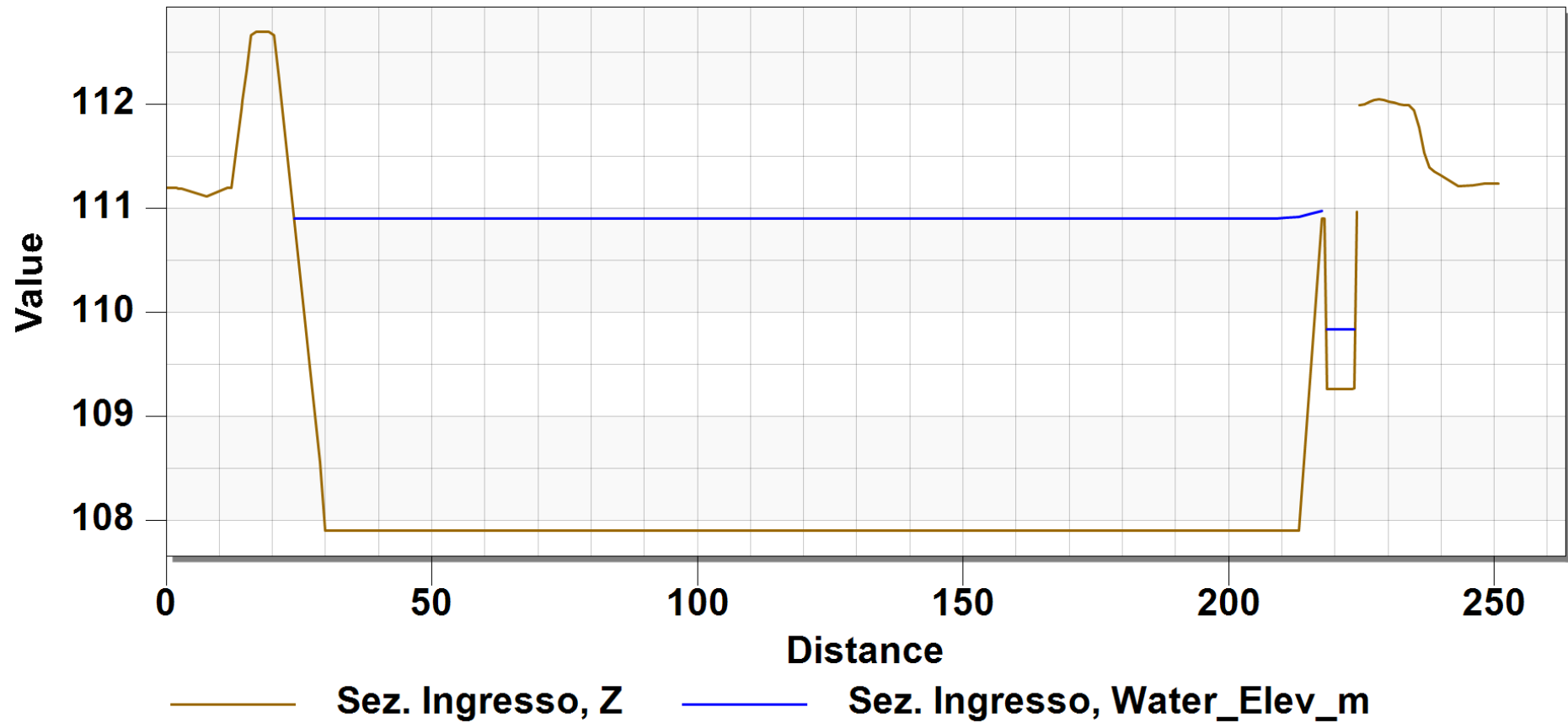
Profile

Time Step: 0 09:00:00



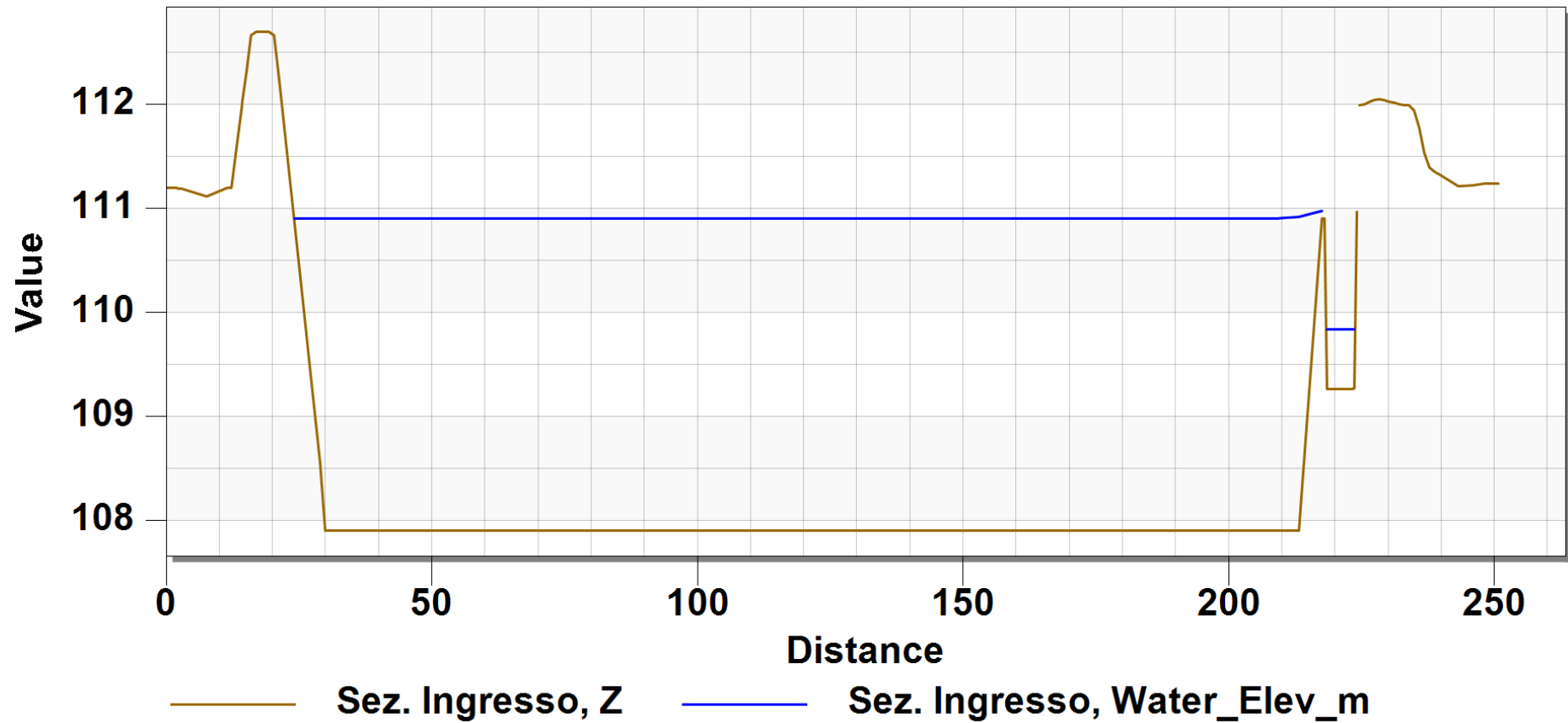
Profile

Time Step: 0 10:00:00



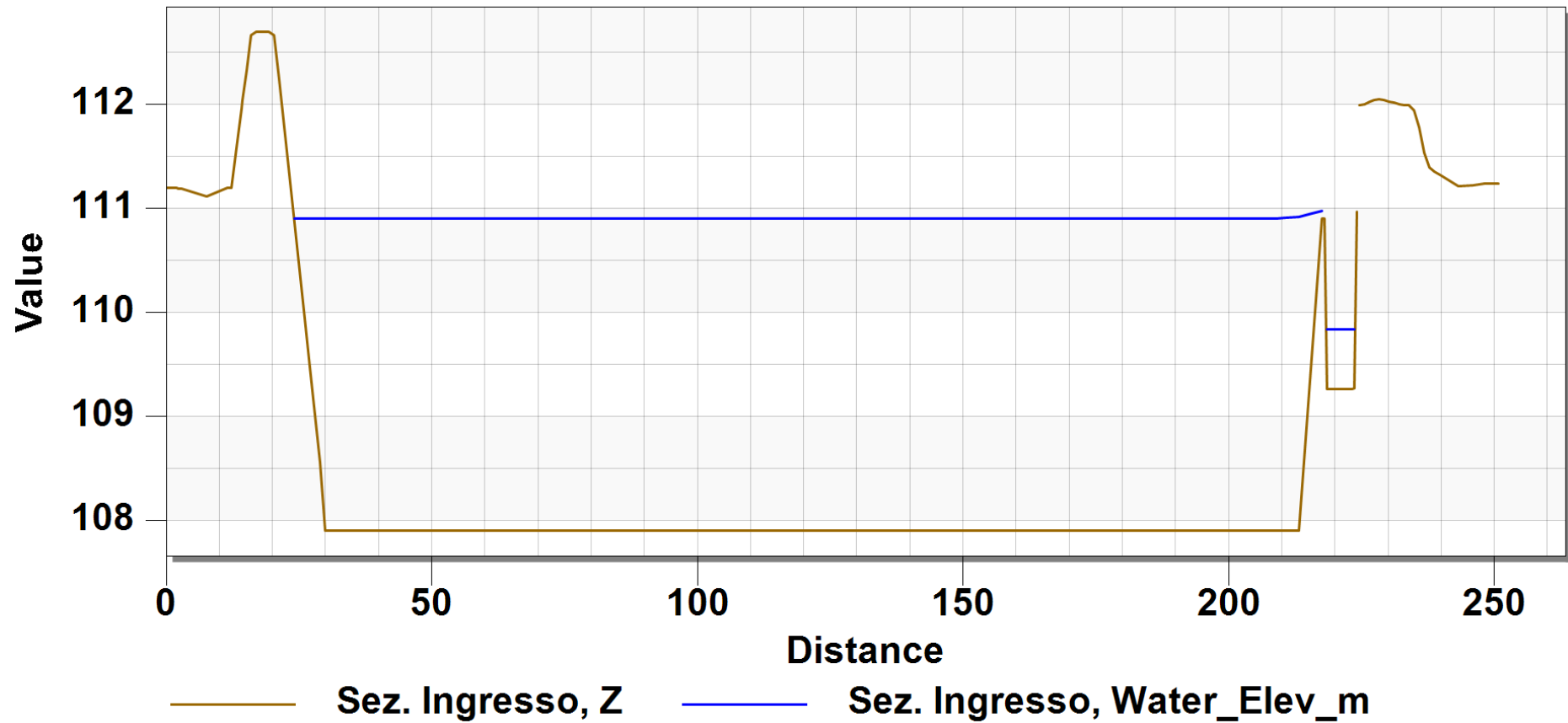
Profile

Time Step: 0 11:00:00



Profile

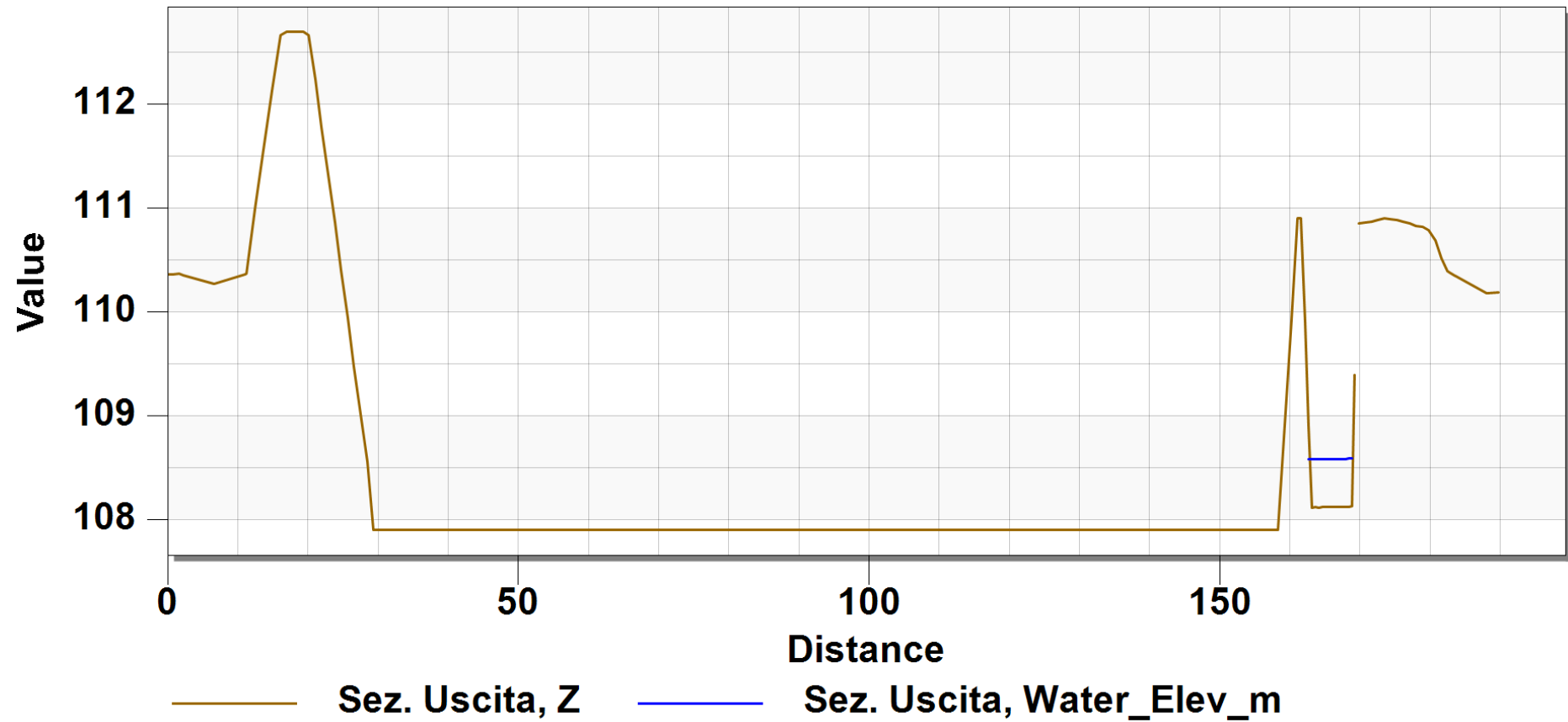
Time Step: 0 12:00:00



SEZIONE TRASVERSALE CASSA SFIORATORE IN USCITA

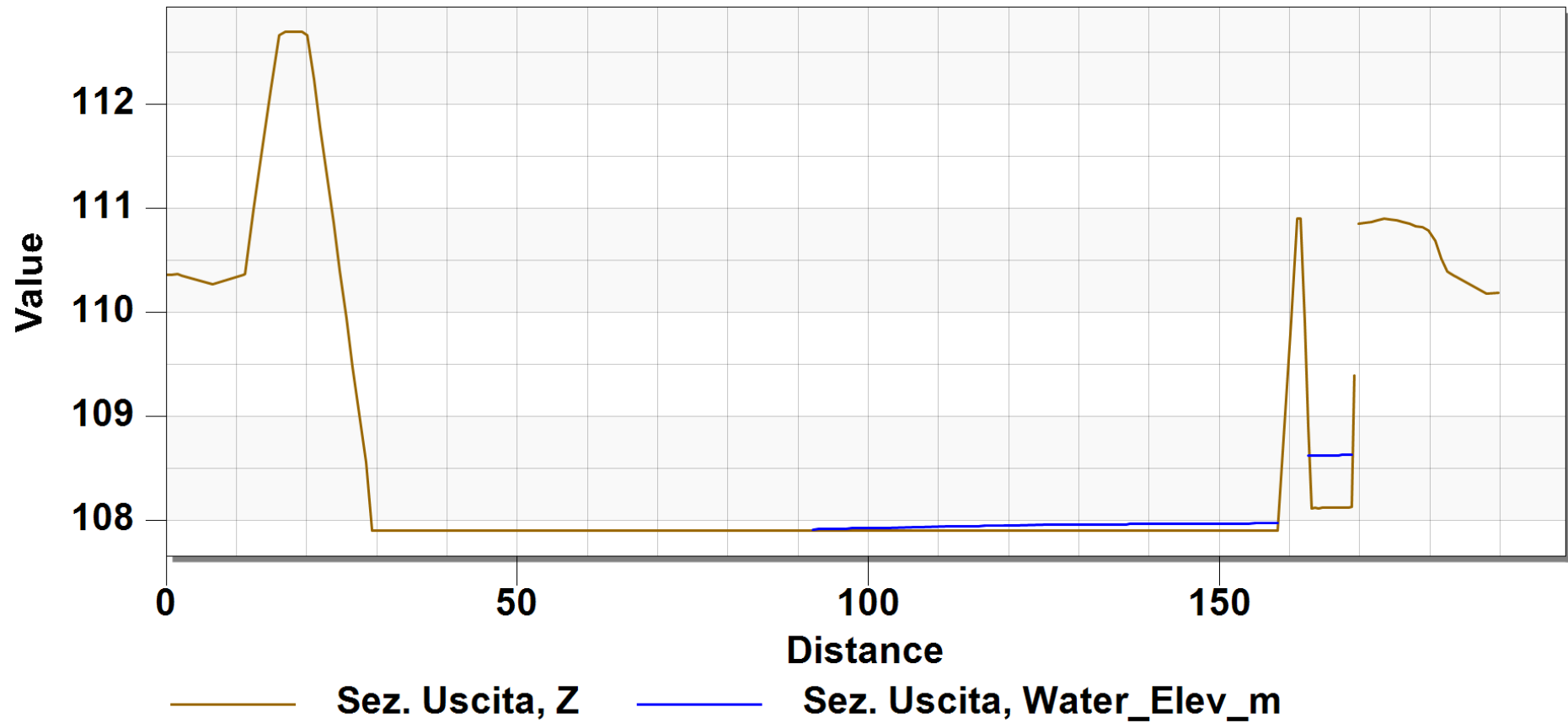
Profile

Time Step: 0 01:00:00



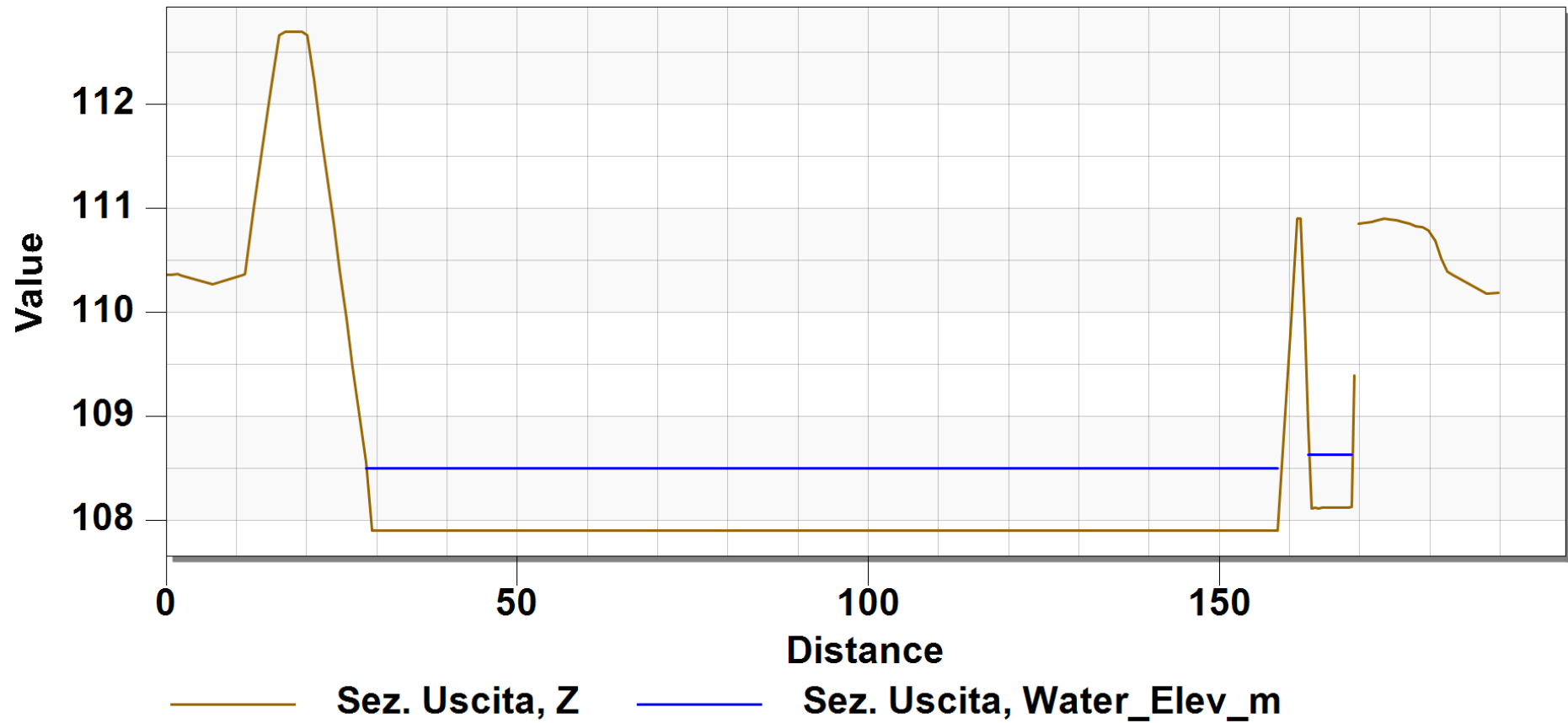
Profile

Time Step: 0 02:00:00



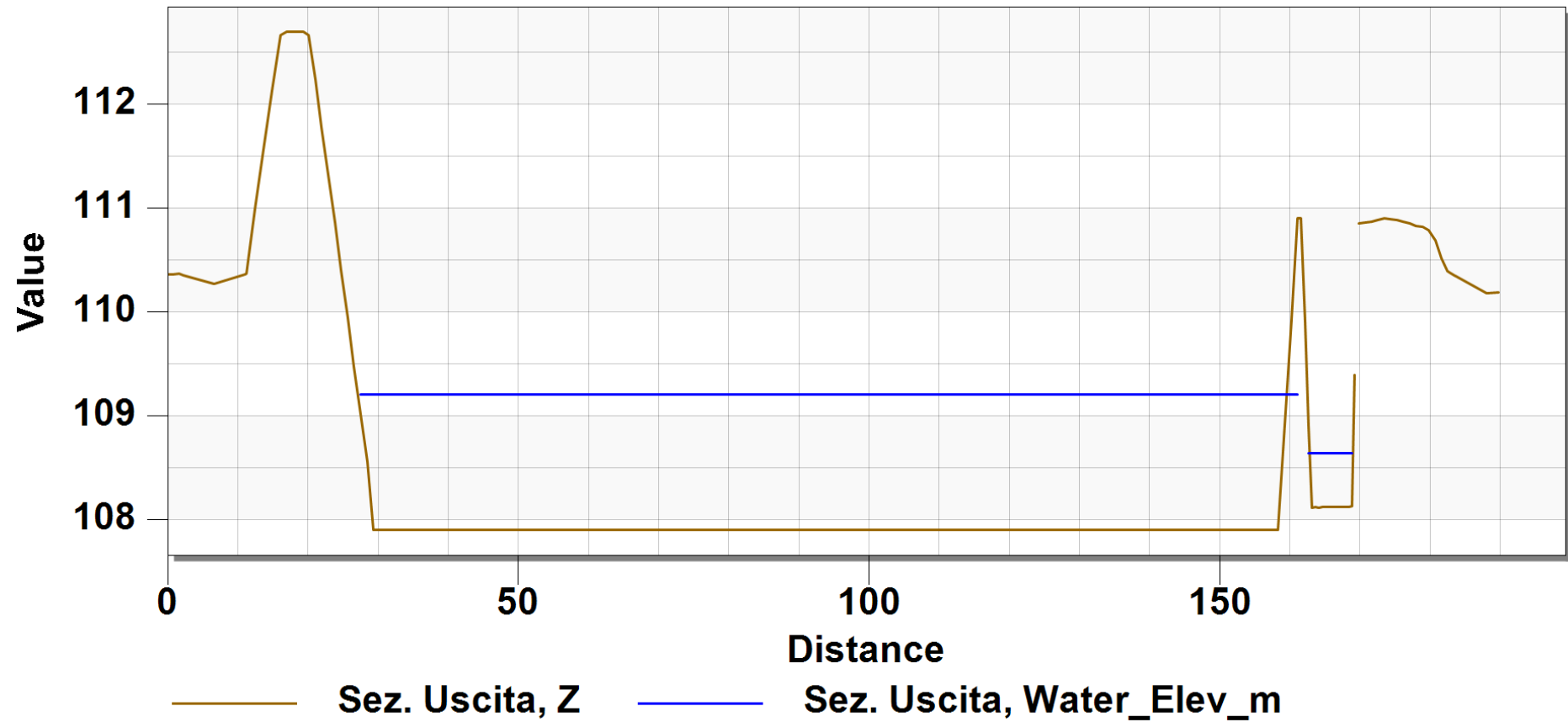
Profile

Time Step: 0 03:00:00



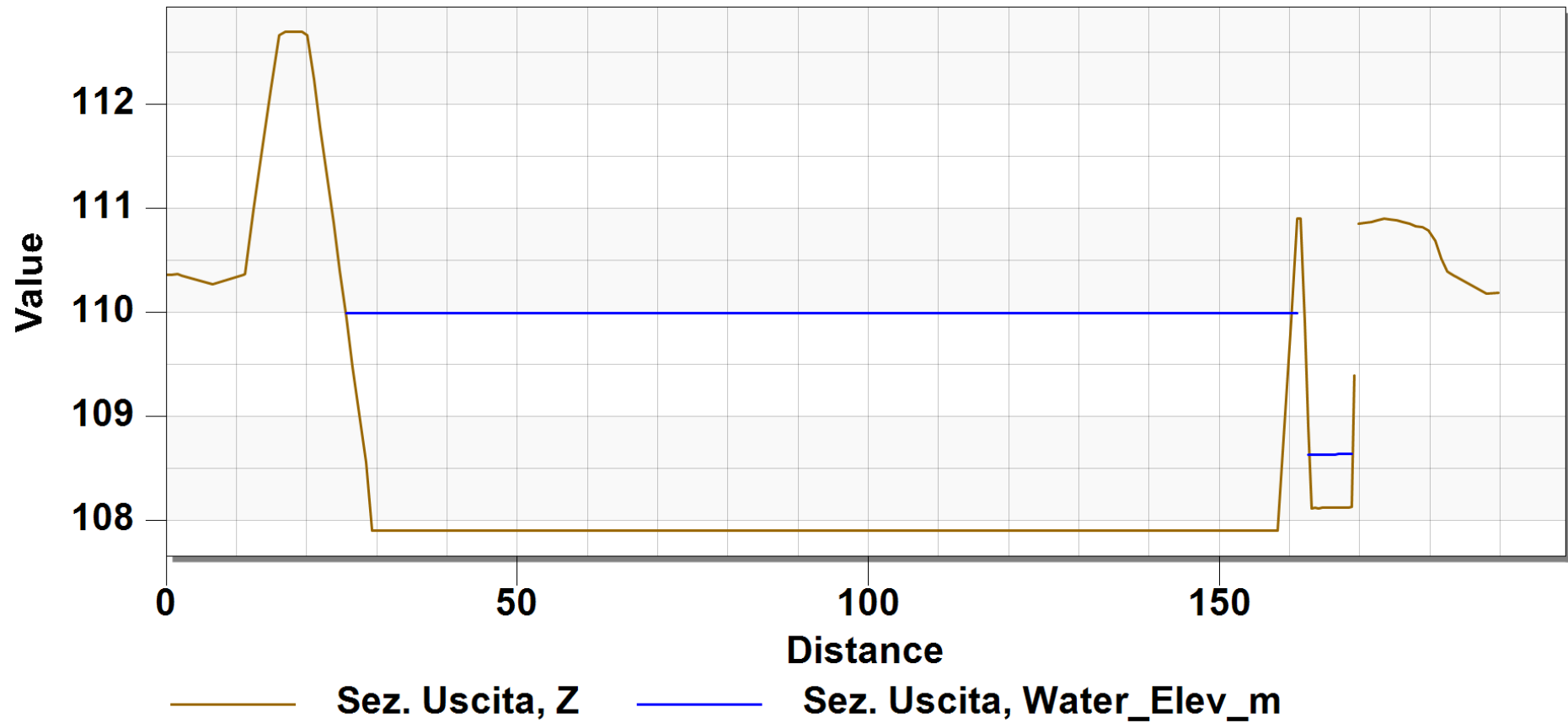
Profile

Time Step: 0 04:00:00



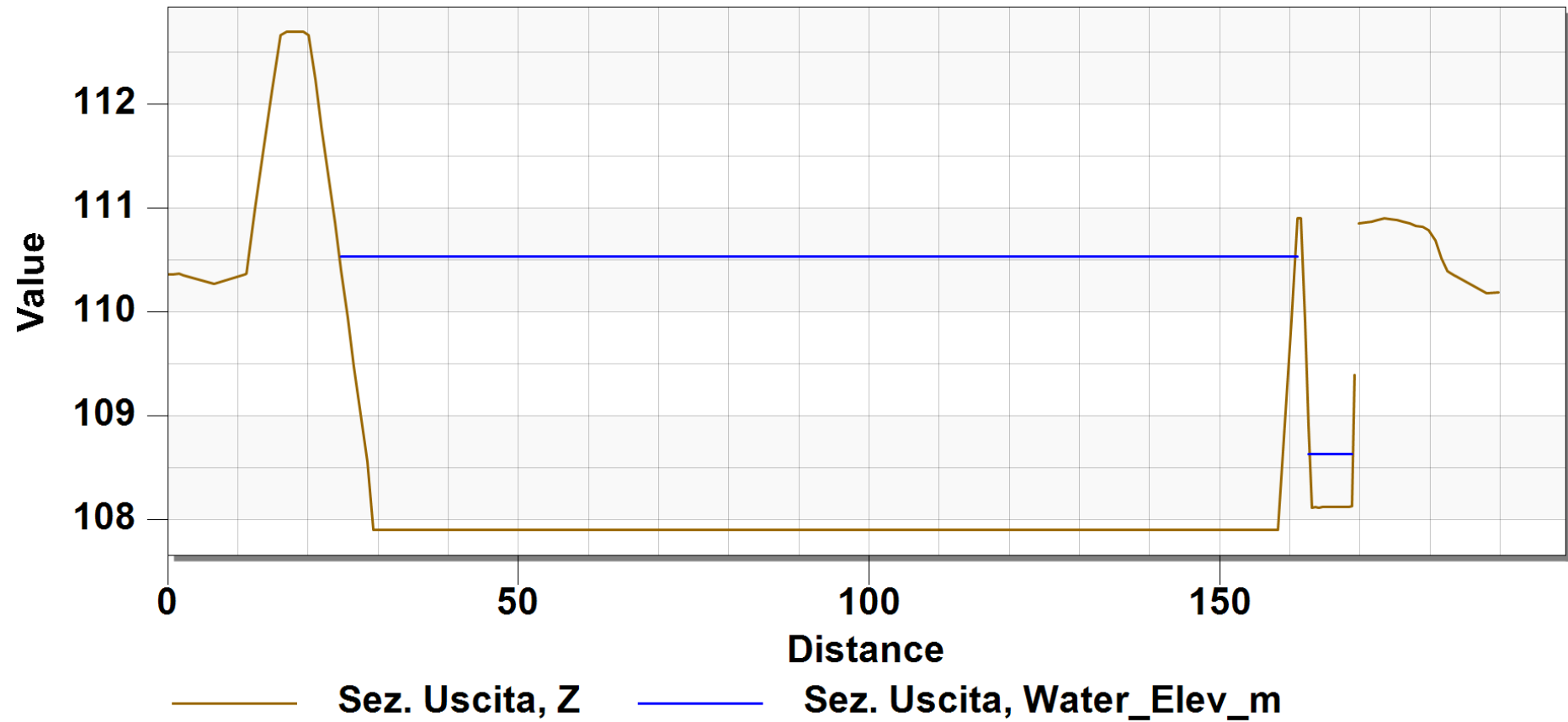
Profile

Time Step: 0 05:00:00



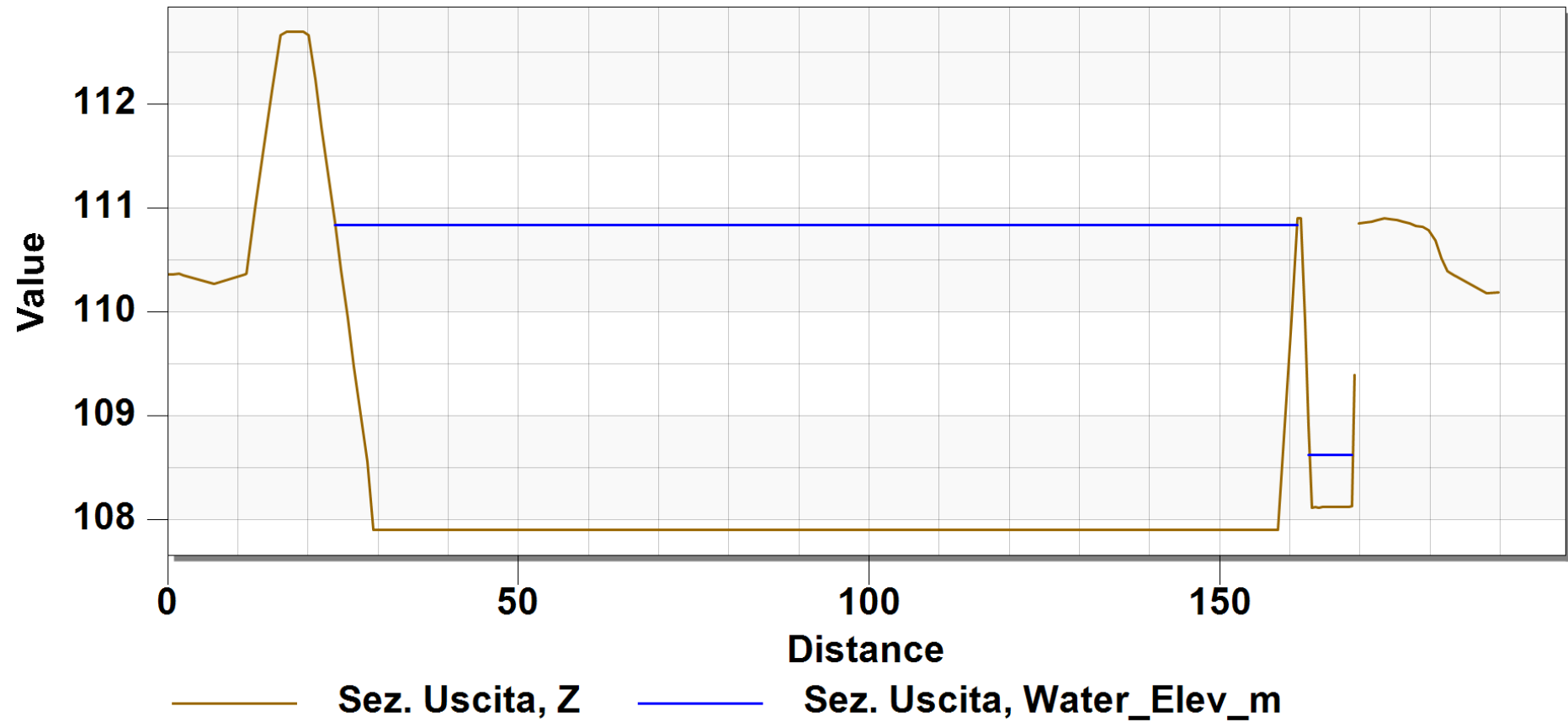
Profile

Time Step: 0 06:00:00



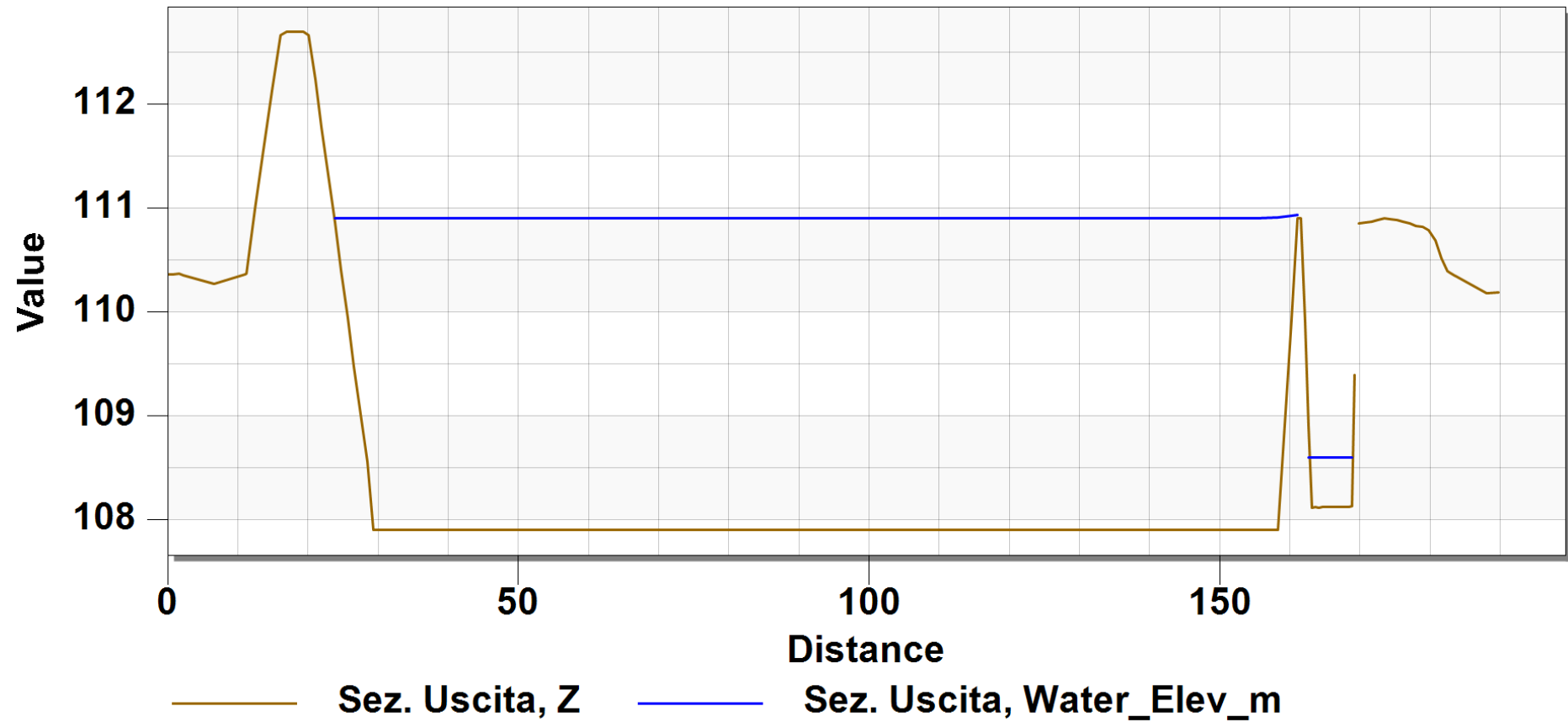
Profile

Time Step: 0 07:00:00



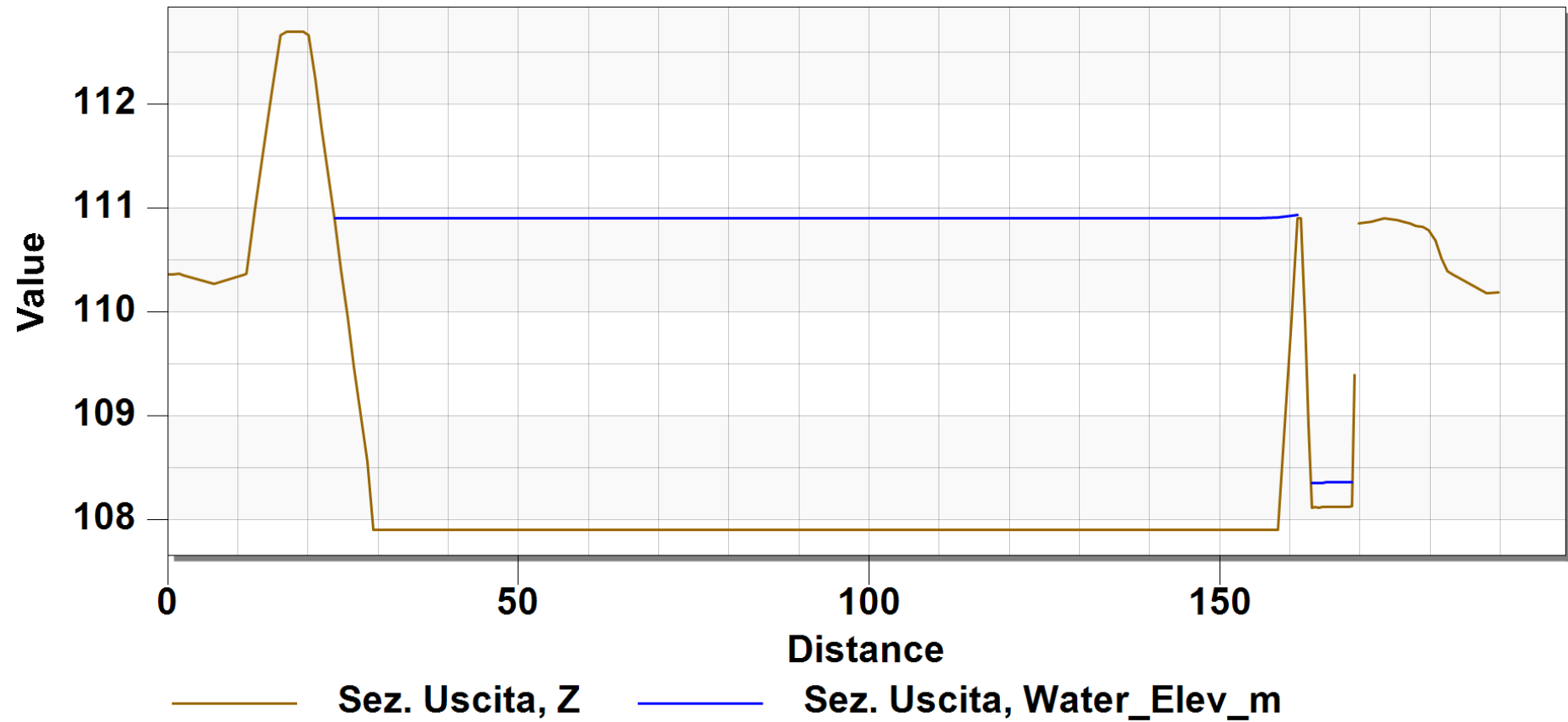
Profile

Time Step: 0 08:00:00



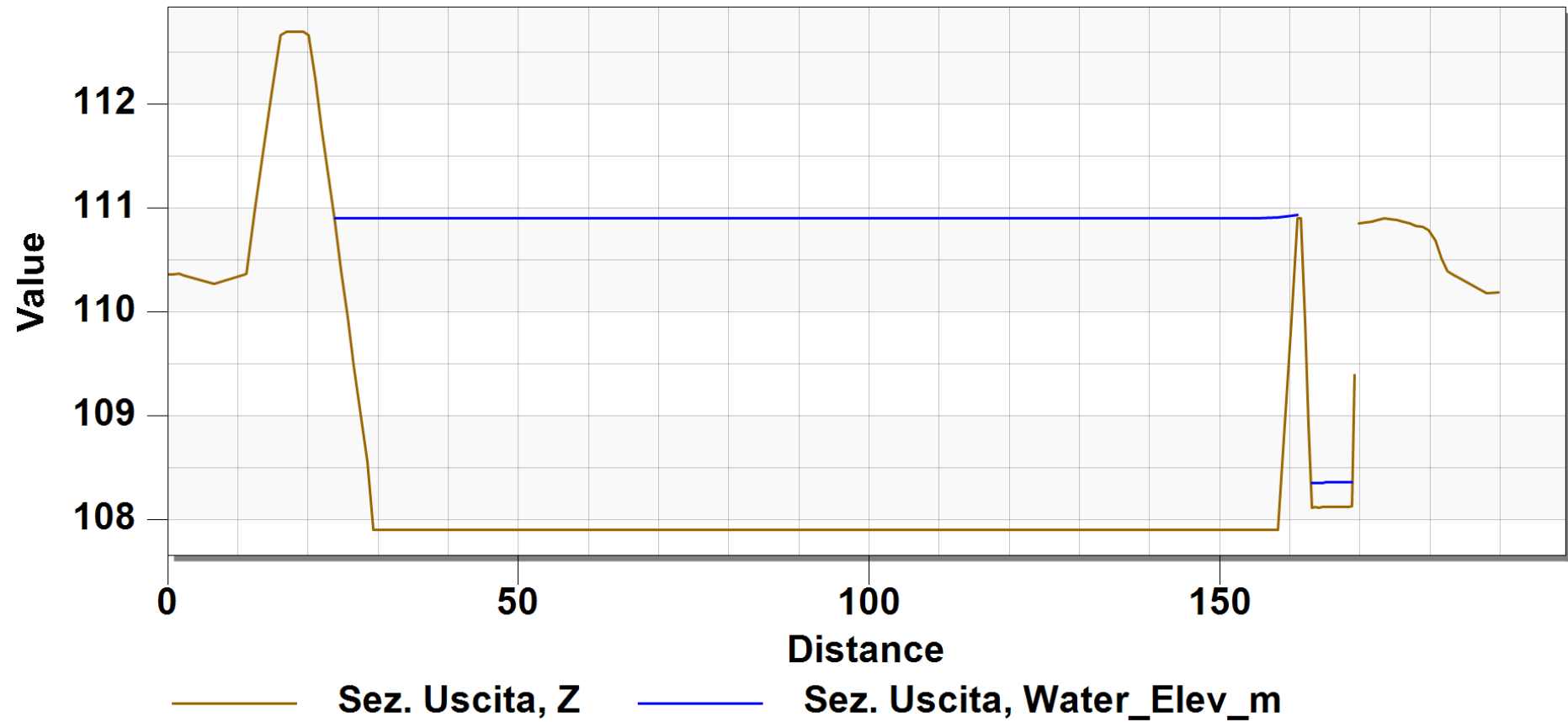
Profile

Time Step: 0 09:00:00



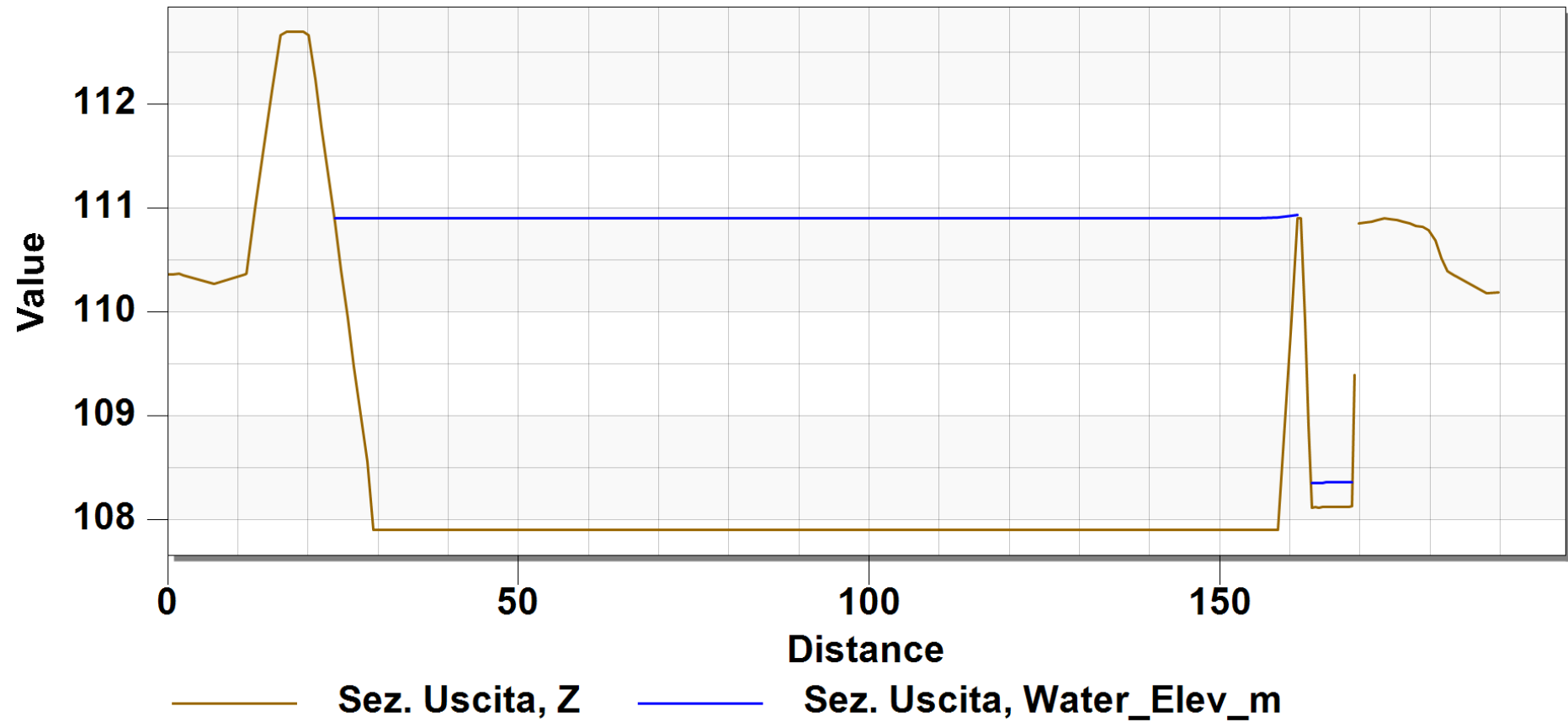
Profile

Time Step: 0 10:00:00



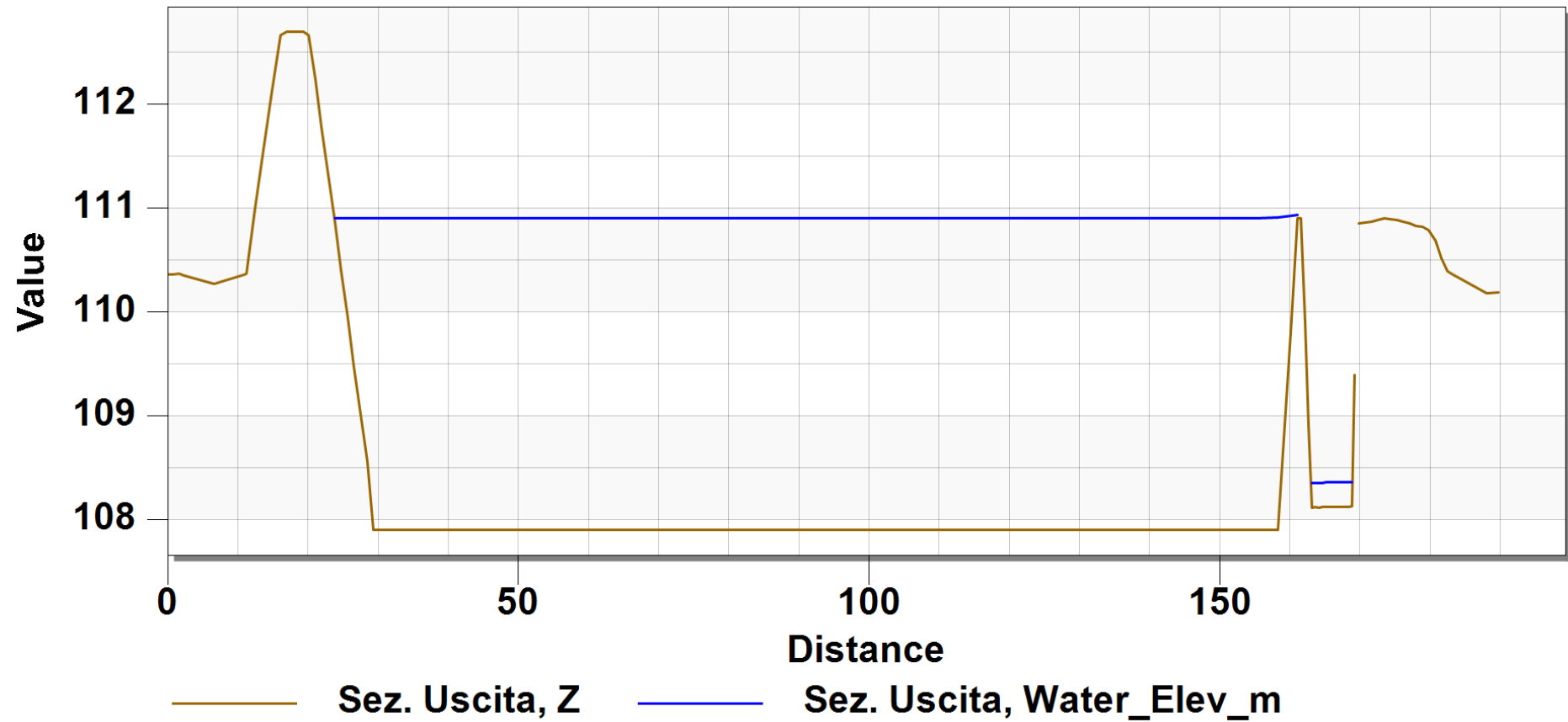
Profile

Time Step: 0 11:00:00



Profile

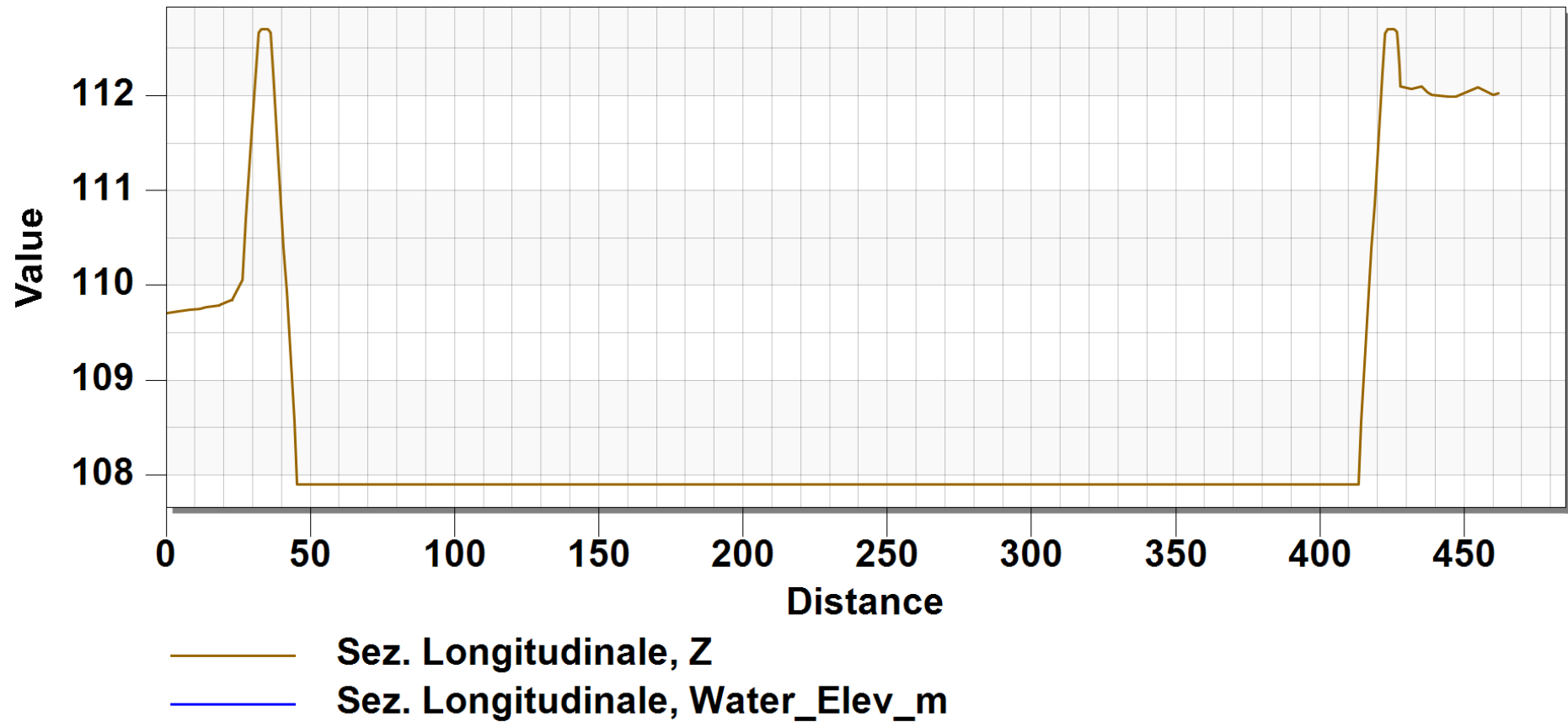
Time Step: 0 12:00:00



SEZIONE LONGITUDINALE CASSA

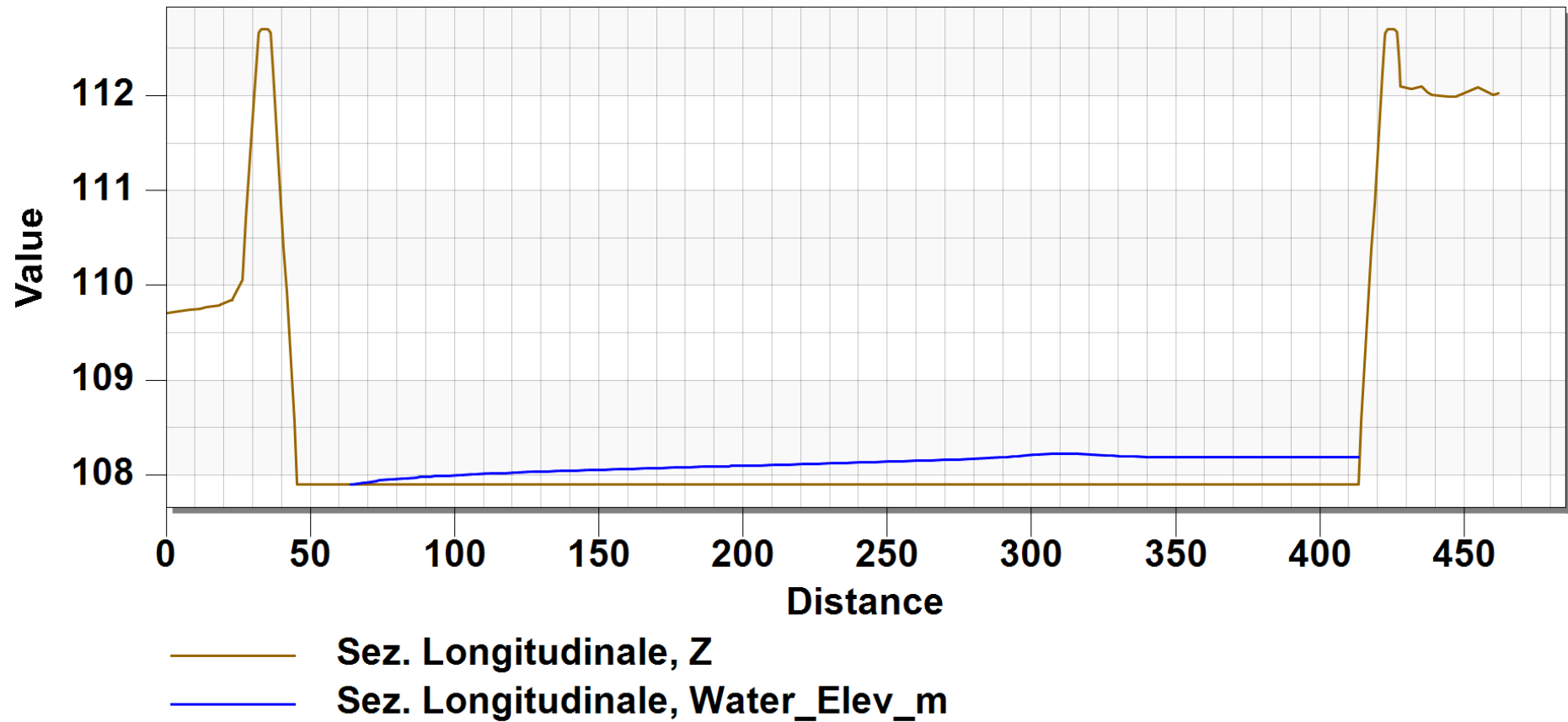
Profile

Time Step: 0 01:00:00



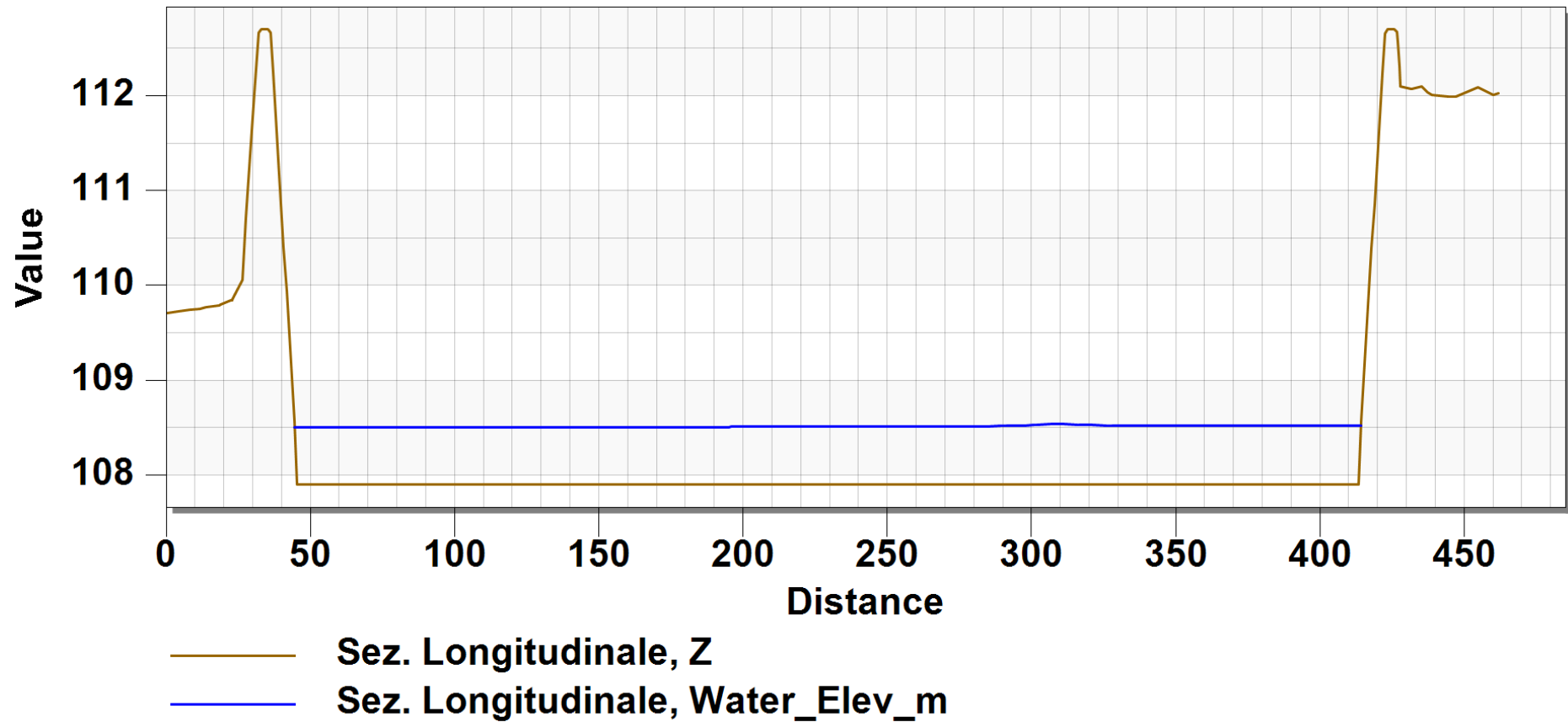
Profile

Time Step: 0 02:00:00



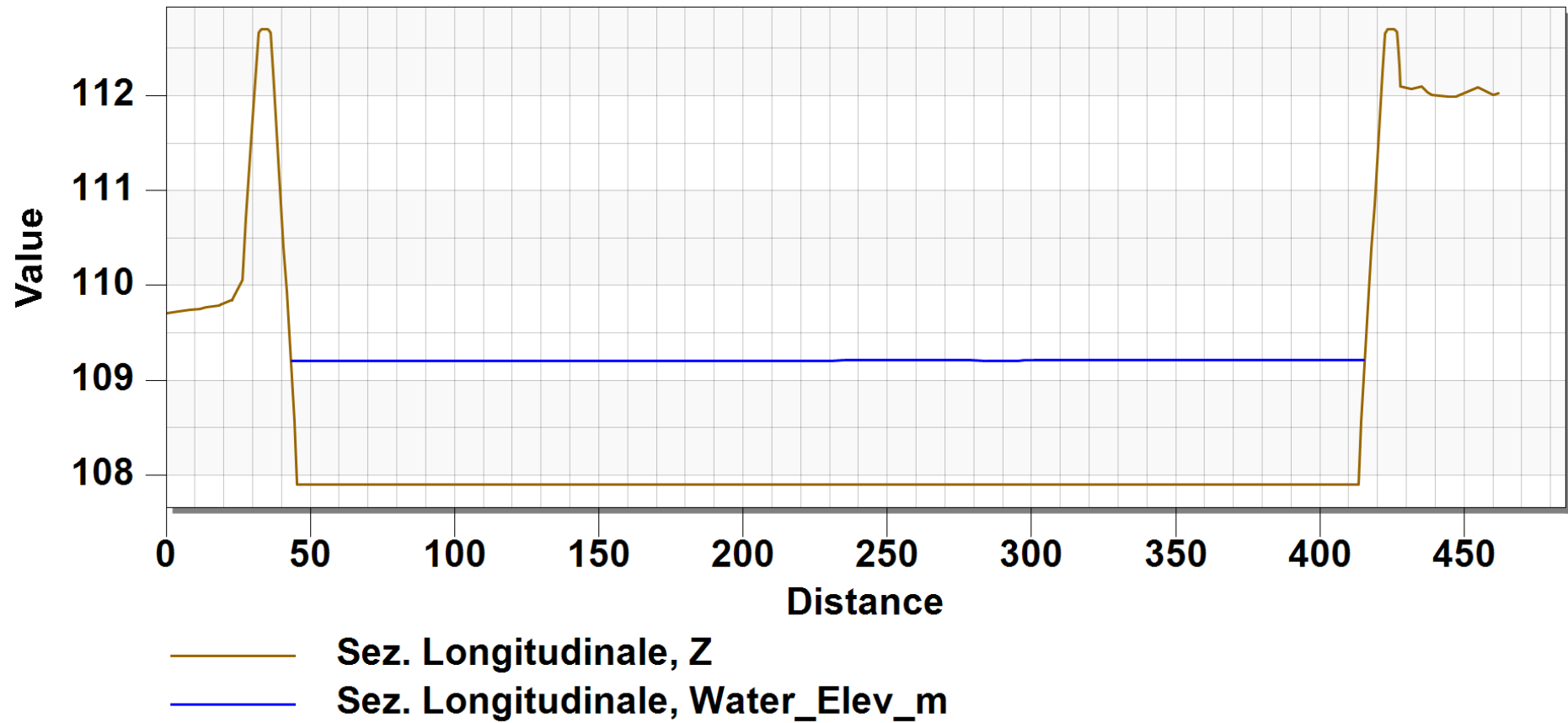
Profile

Time Step: 0 03:00:00



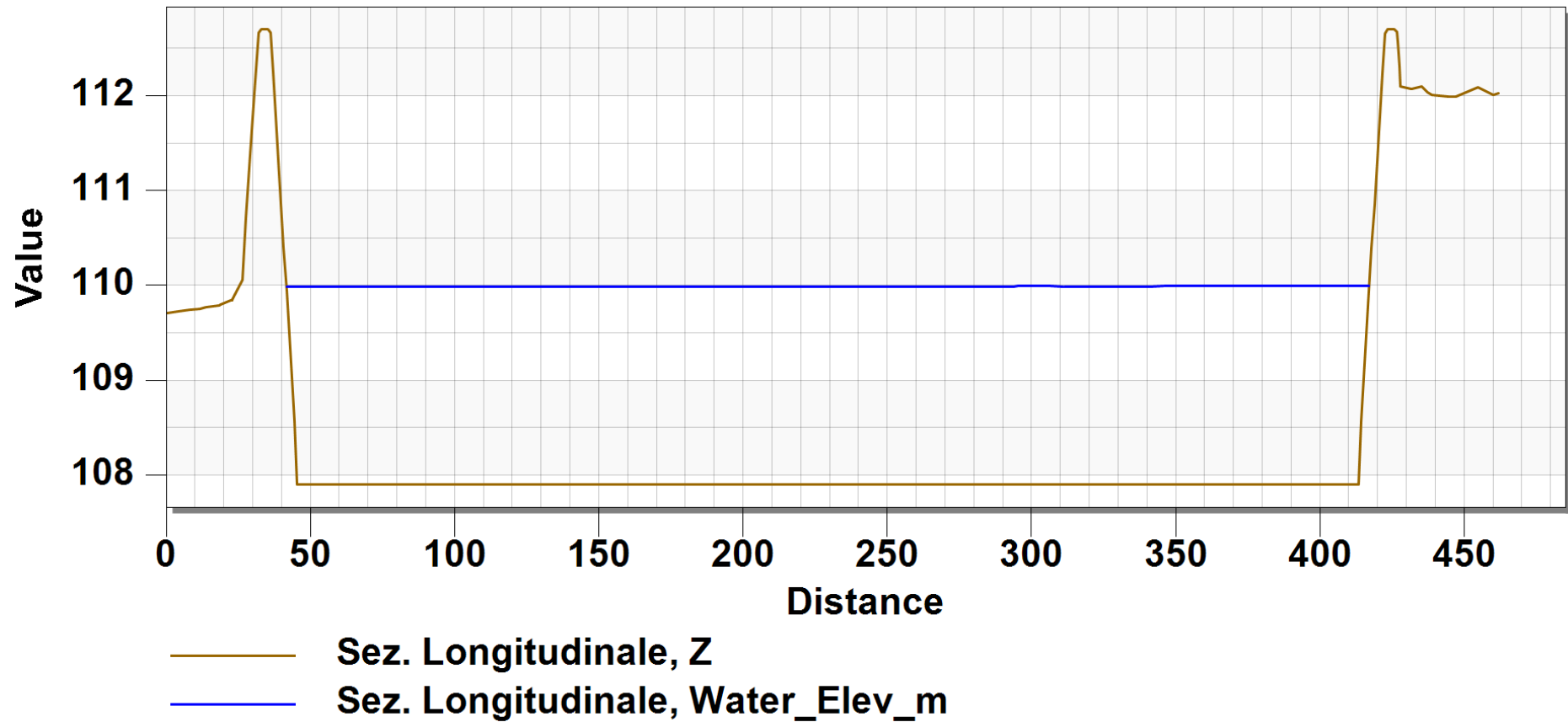
Profile

Time Step: 0 04:00:00



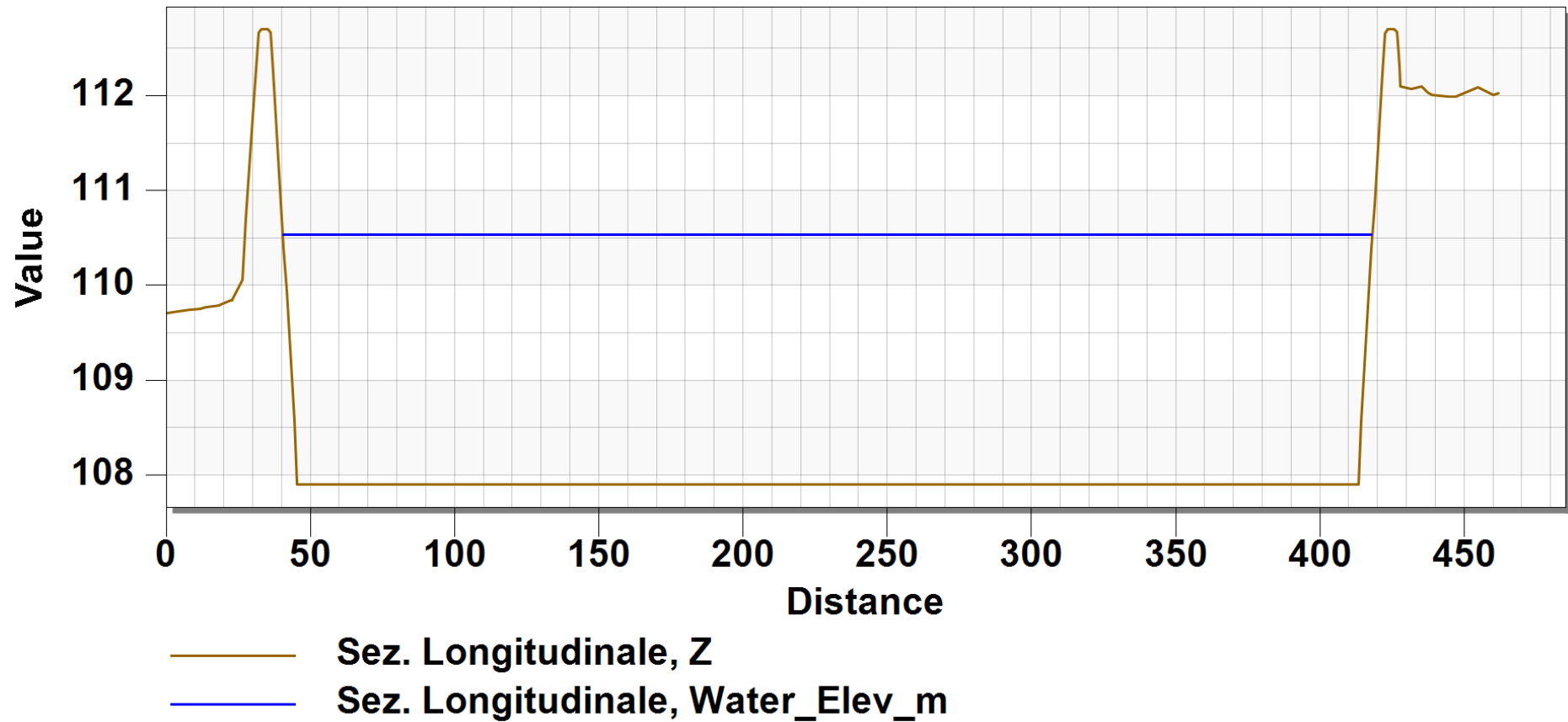
Profile

Time Step: 0 05:00:00



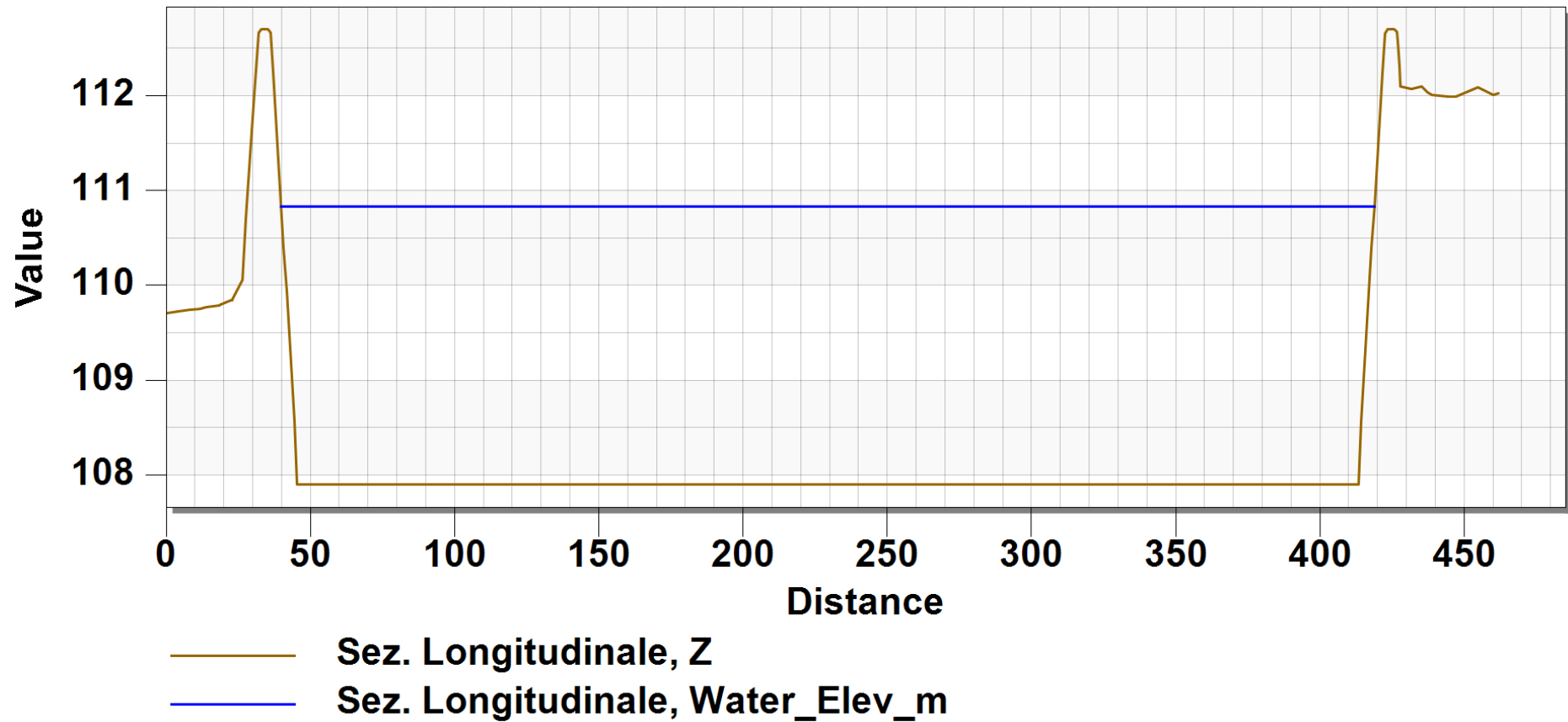
Profile

Time Step: 0 06:00:00



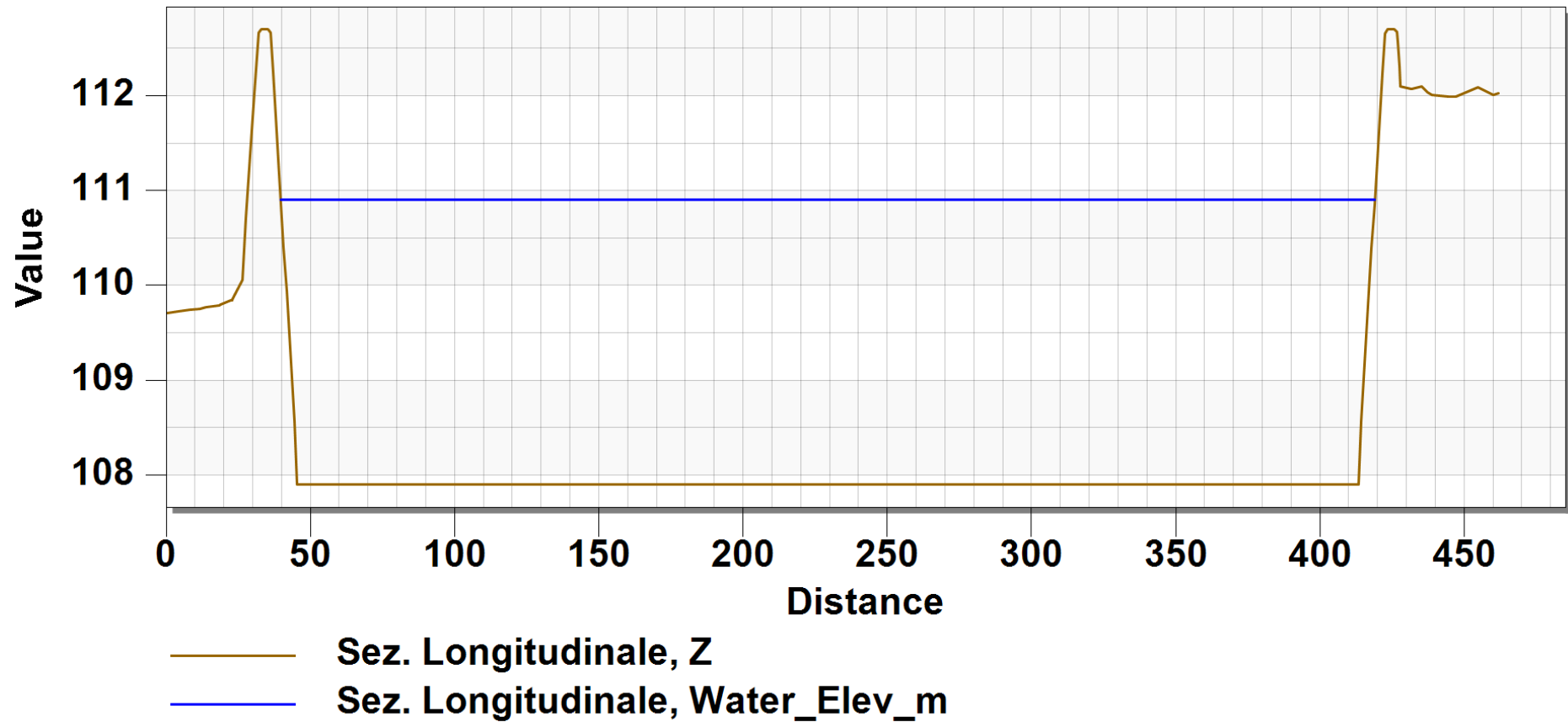
Profile

Time Step: 0 07:00:00



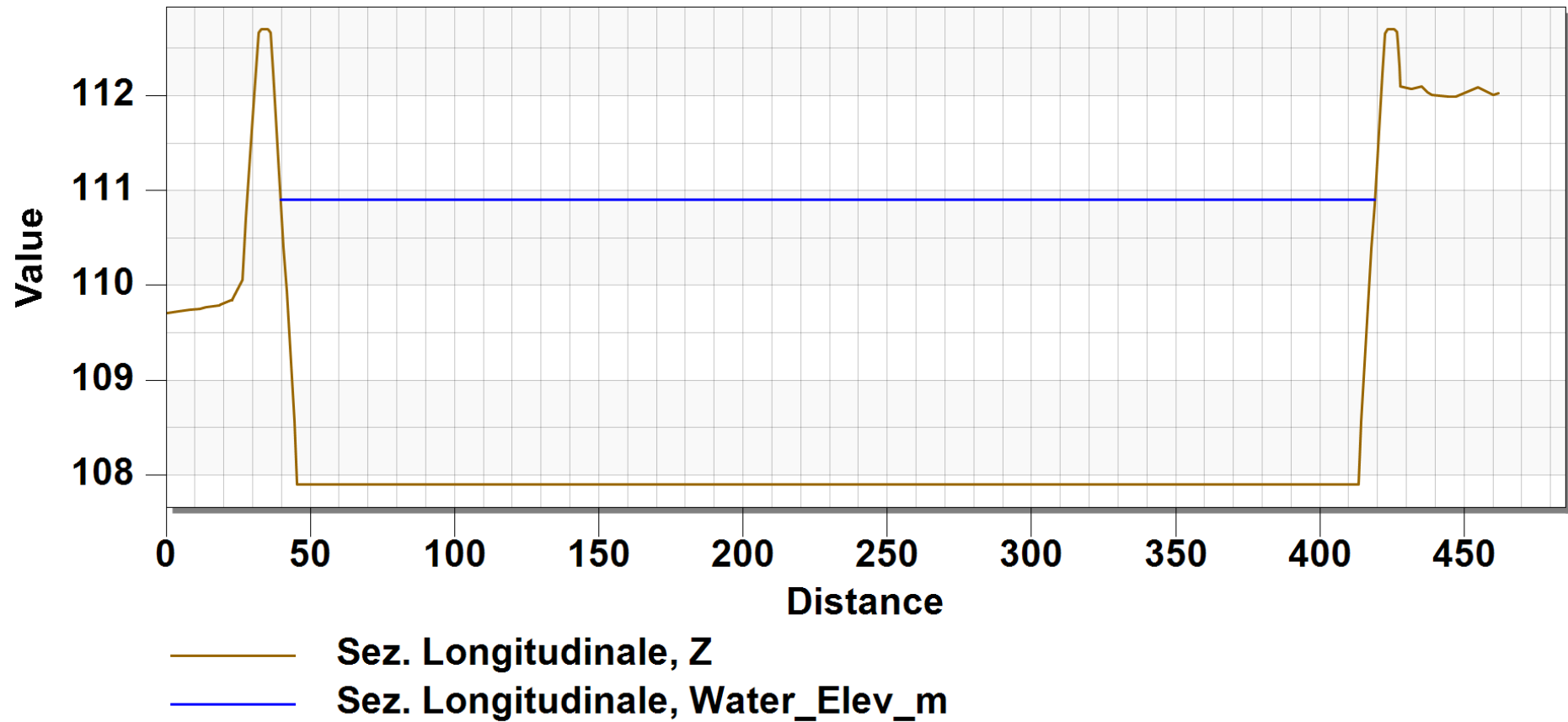
Profile

Time Step: 0 08:00:00



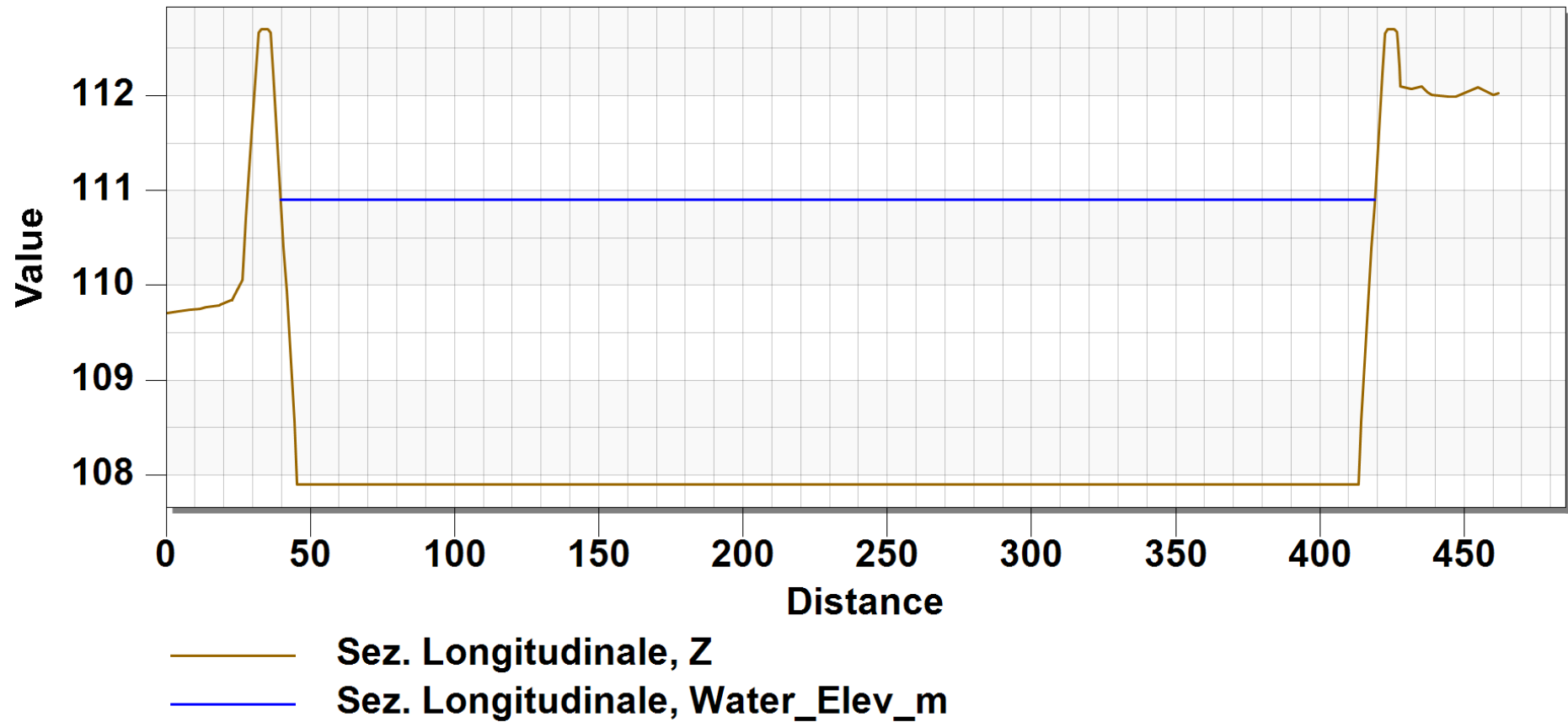
Profile

Time Step: 0 09:00:00



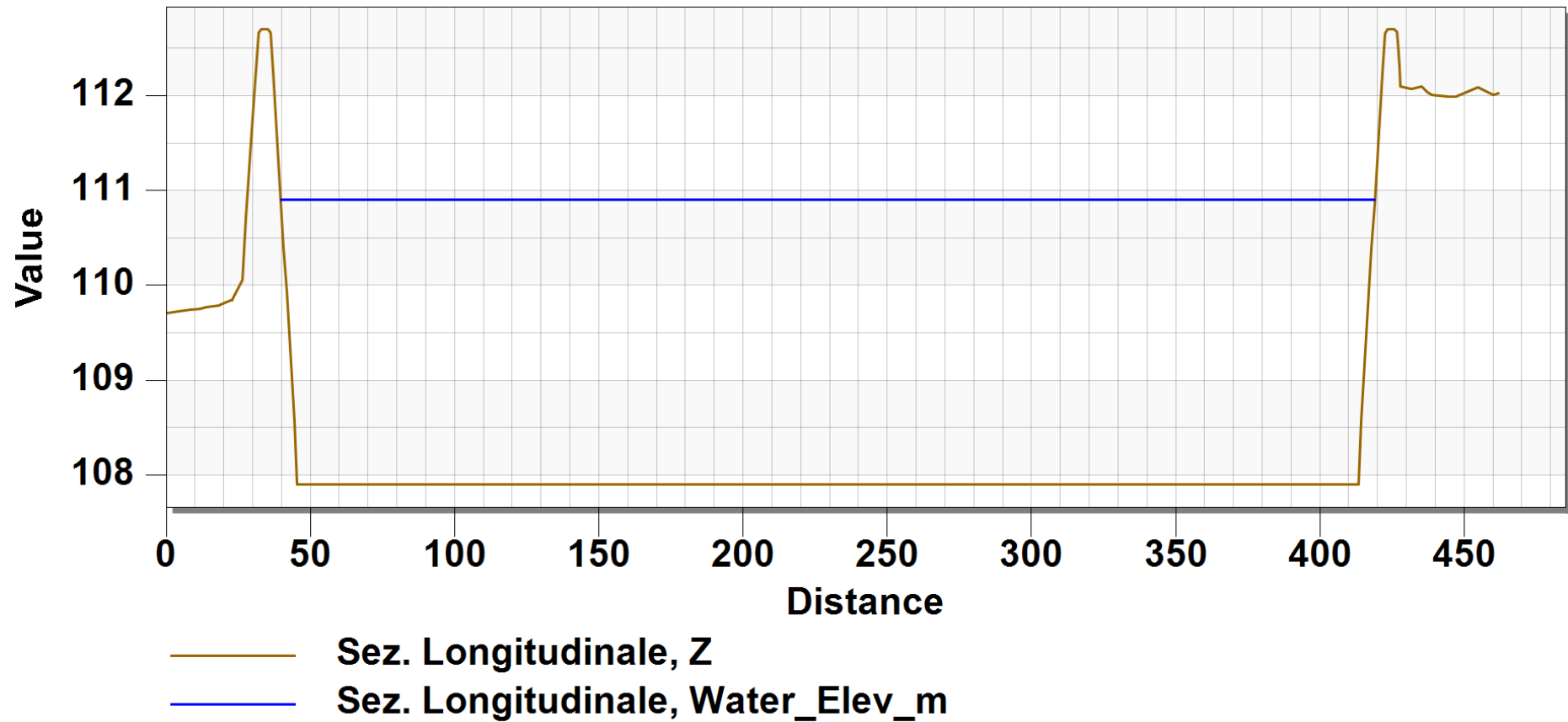
Profile

Time Step: 0 10:00:00



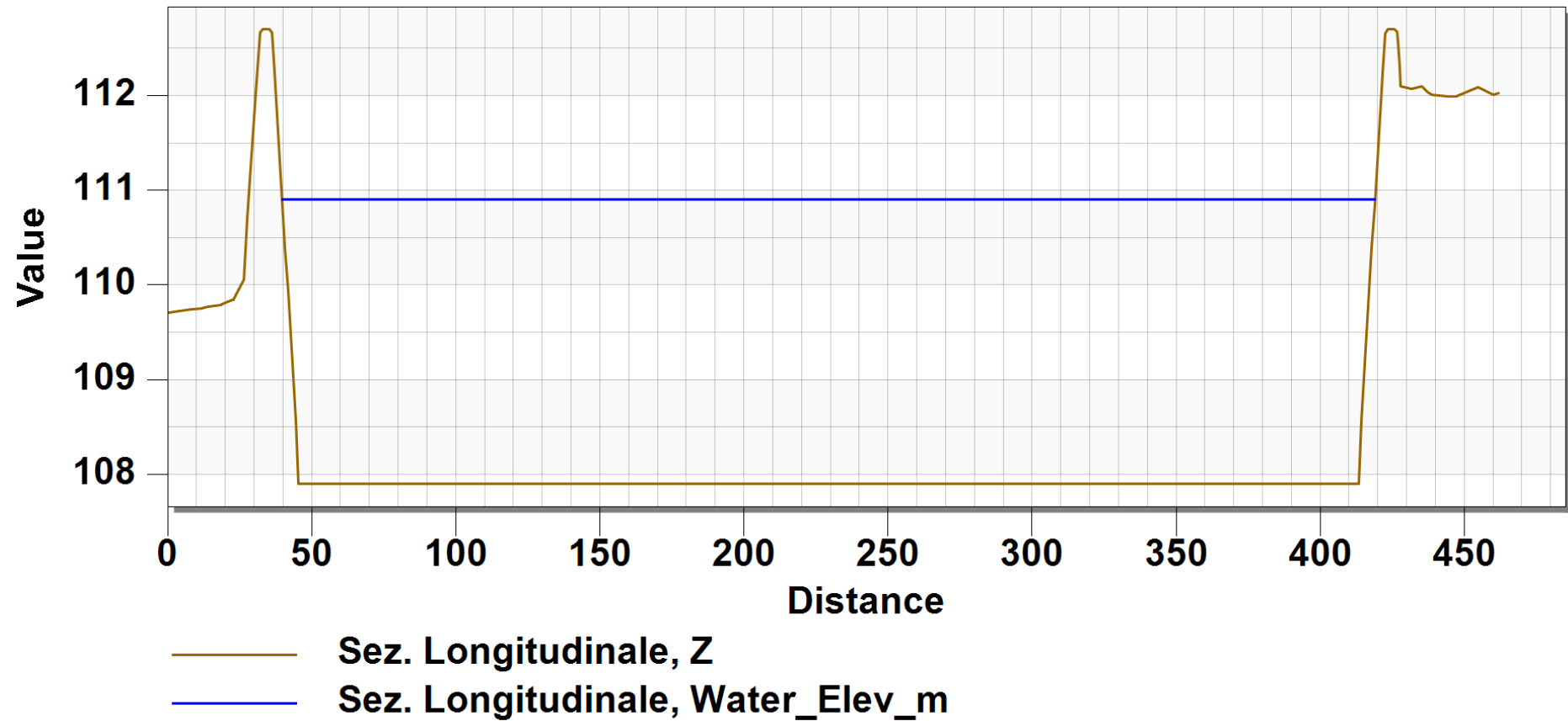
Profile

Time Step: 0 11:00:00



Profile

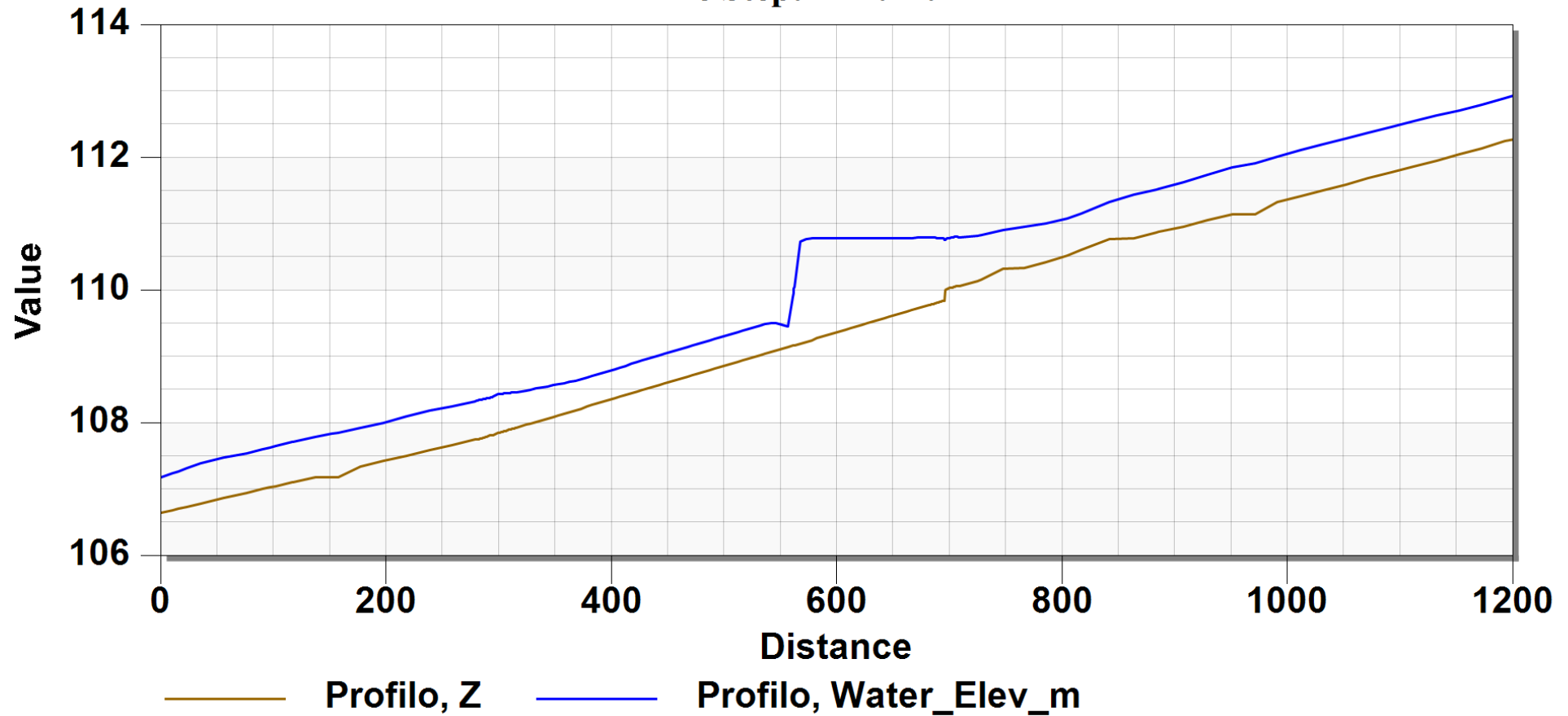
Time Step: 0 12:00:00



PROFILO LONGITUDINALE RIO LOVASSINA

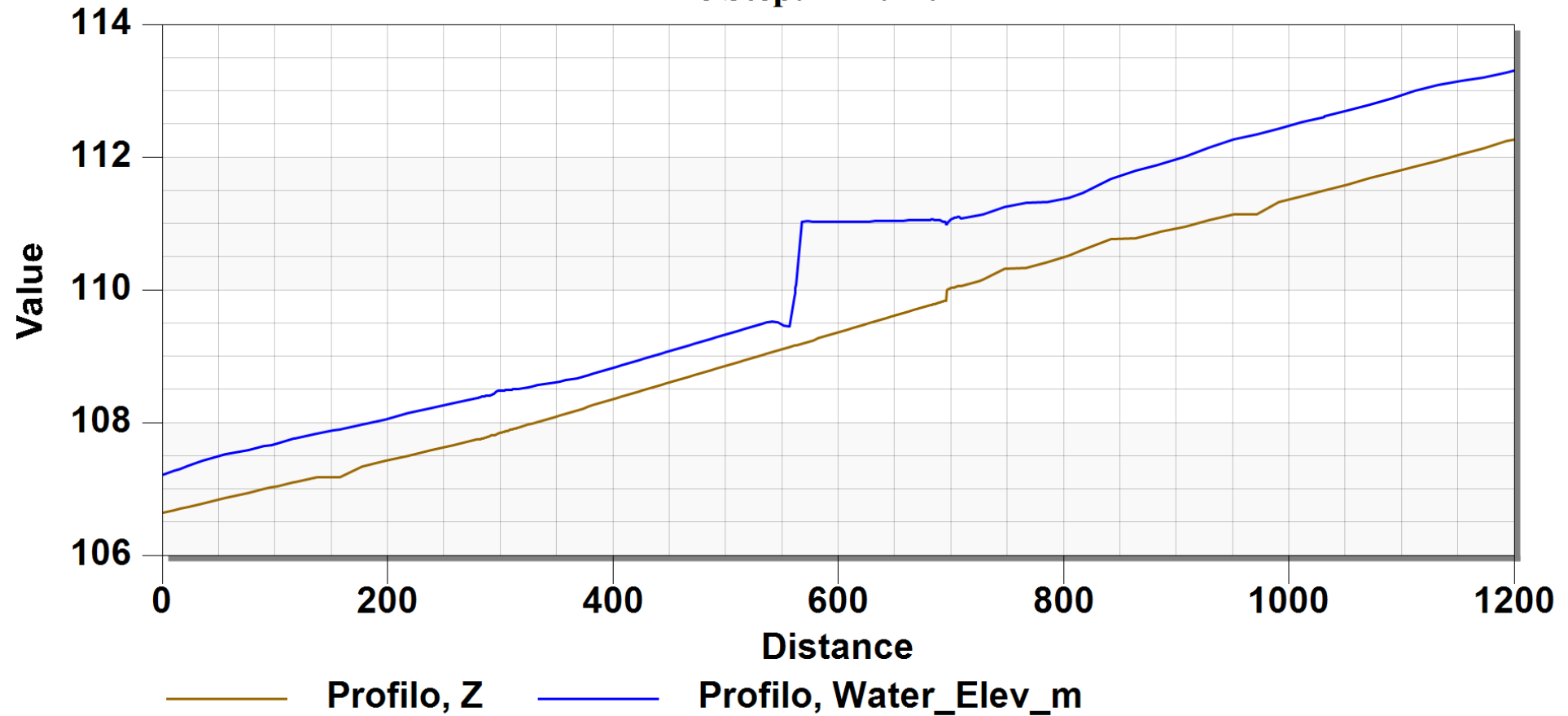
Profile

Time Step: 0 01:00:00



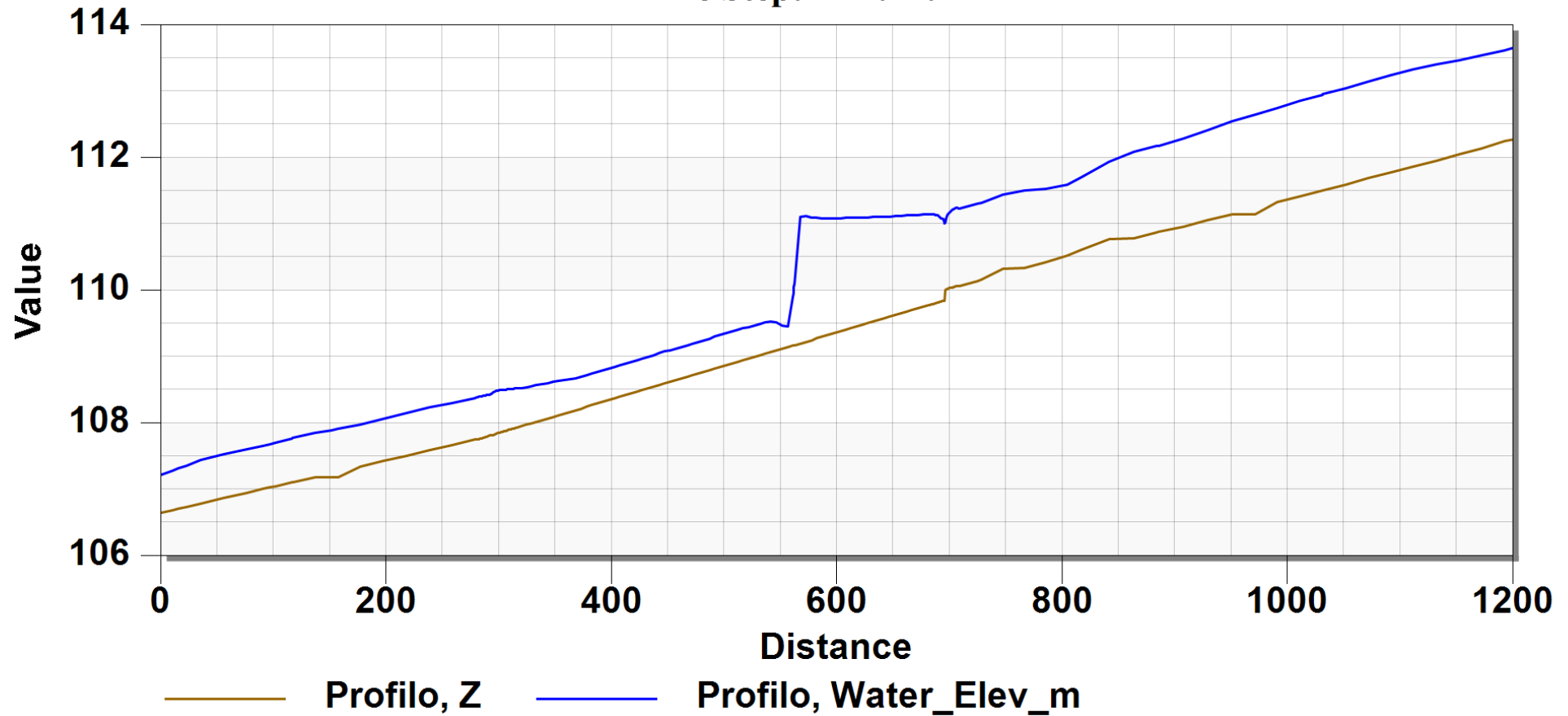
Profile

Time Step: 0 02:00:00



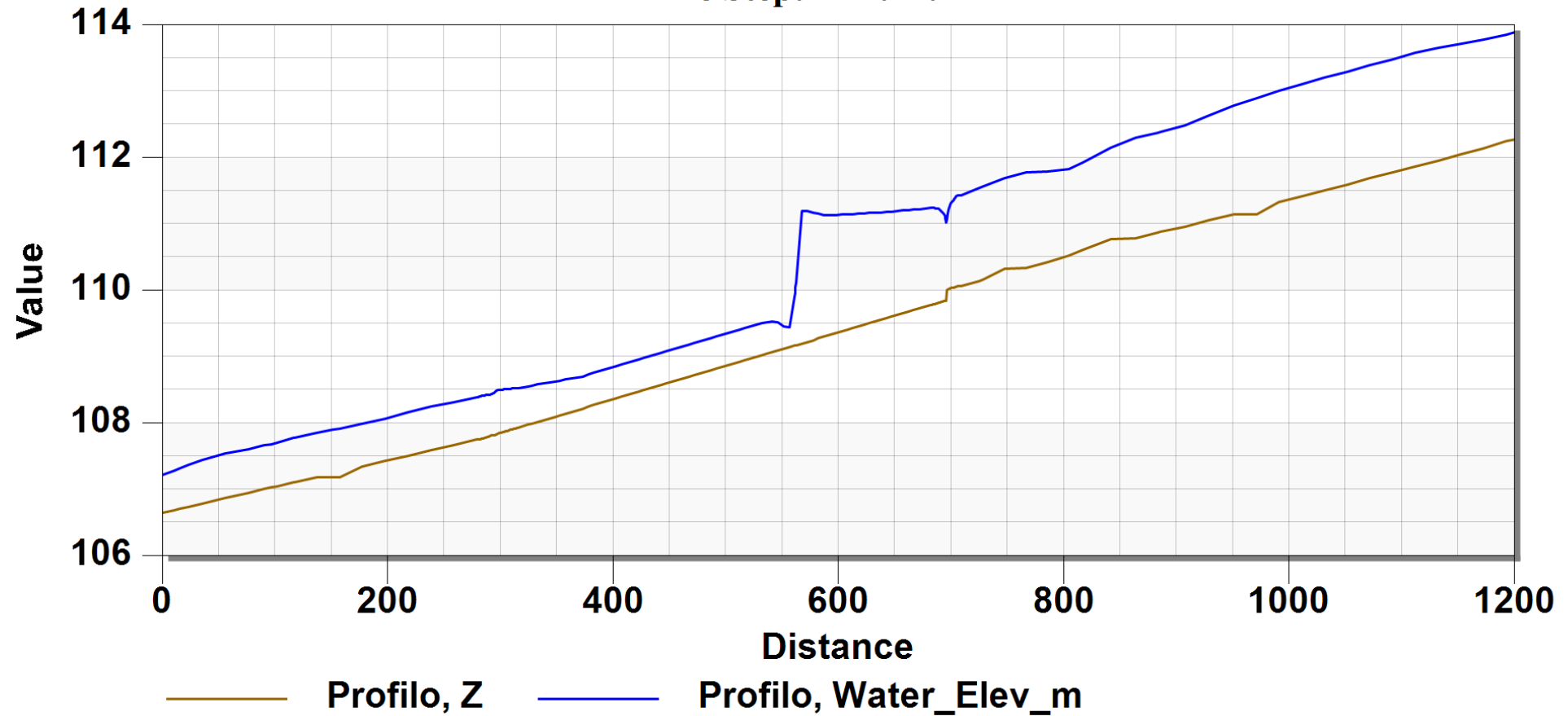
Profile

Time Step: 0 03:00:00



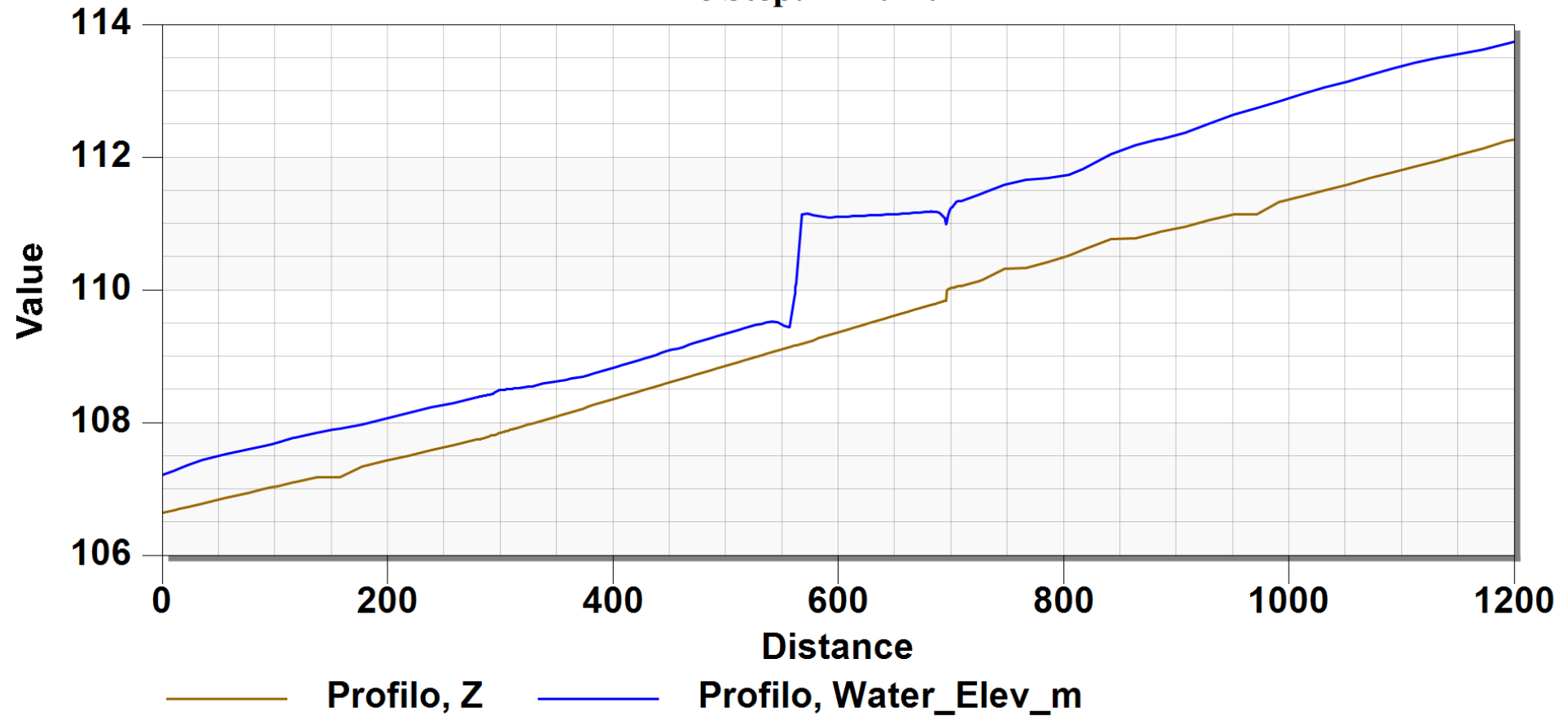
Profile

Time Step: 0 04:00:00



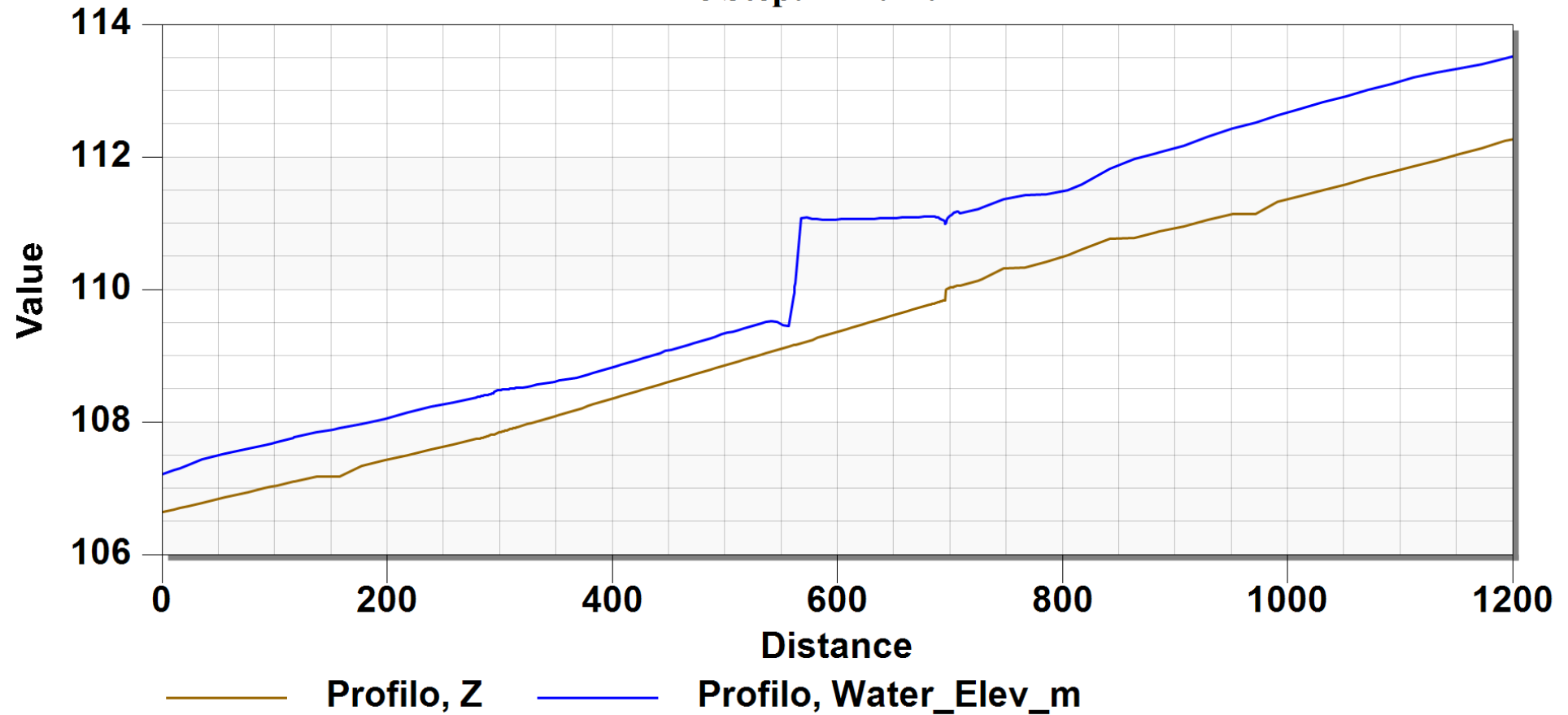
Profile

Time Step: 0 05:00:00



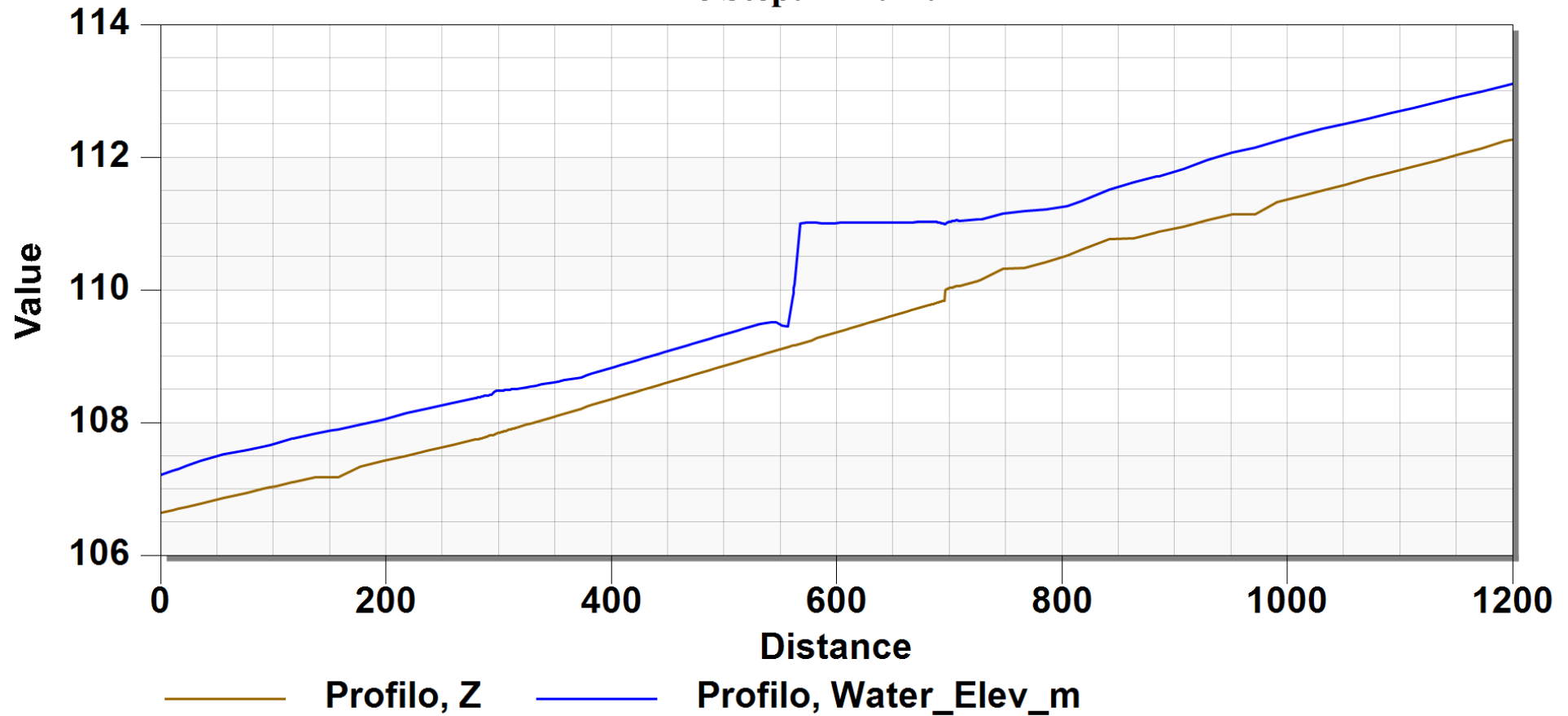
Profile

Time Step: 0 06:00:00



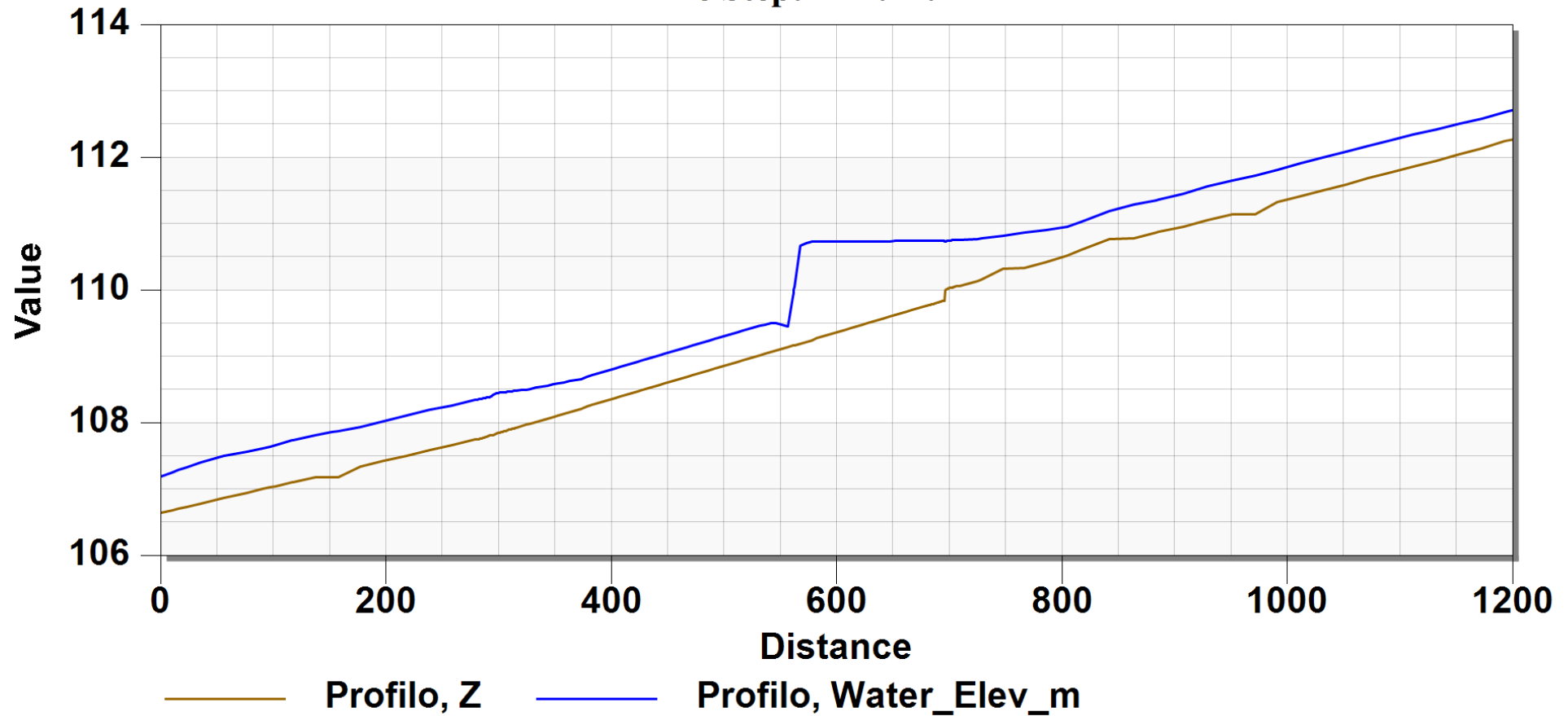
Profile

Time Step: 0 07:00:00



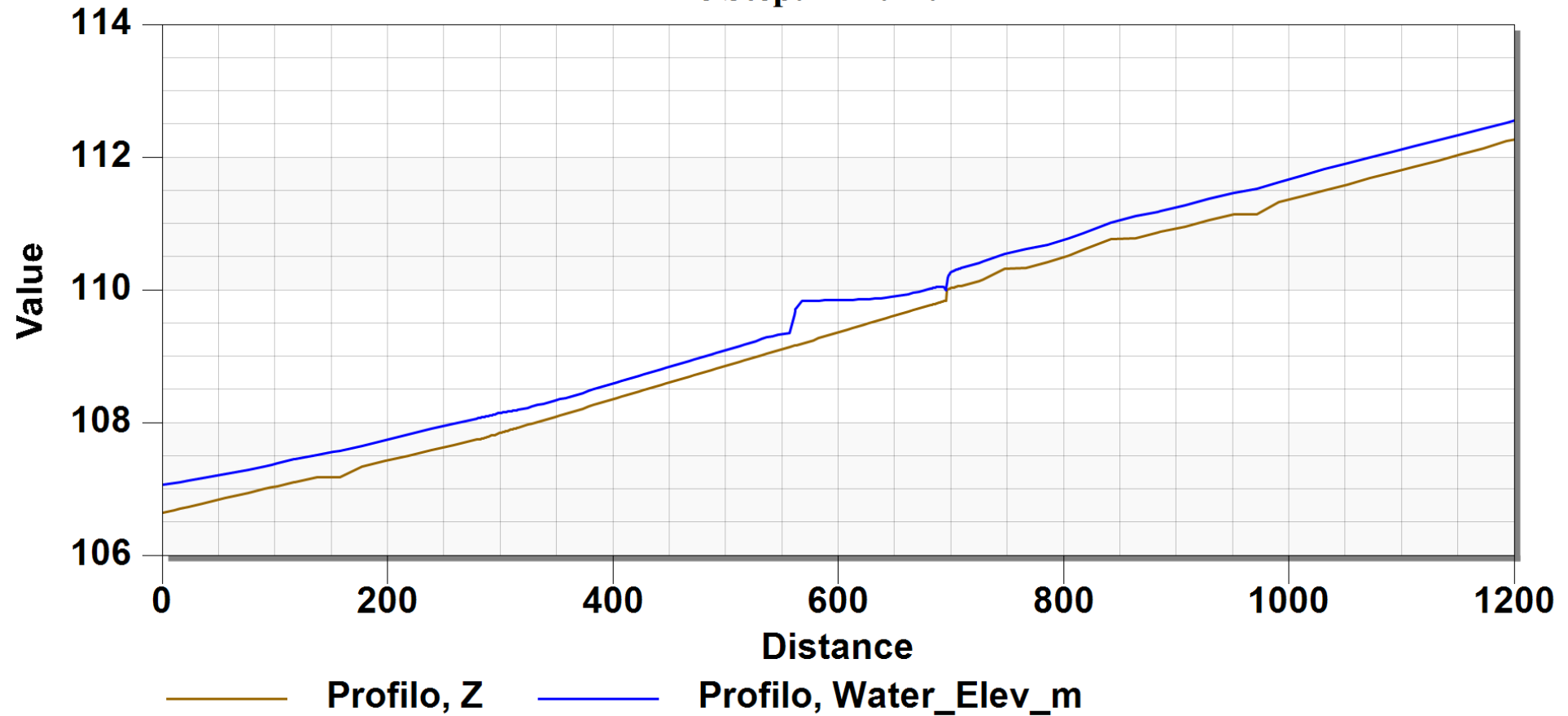
Profile

Time Step: 0 08:00:00



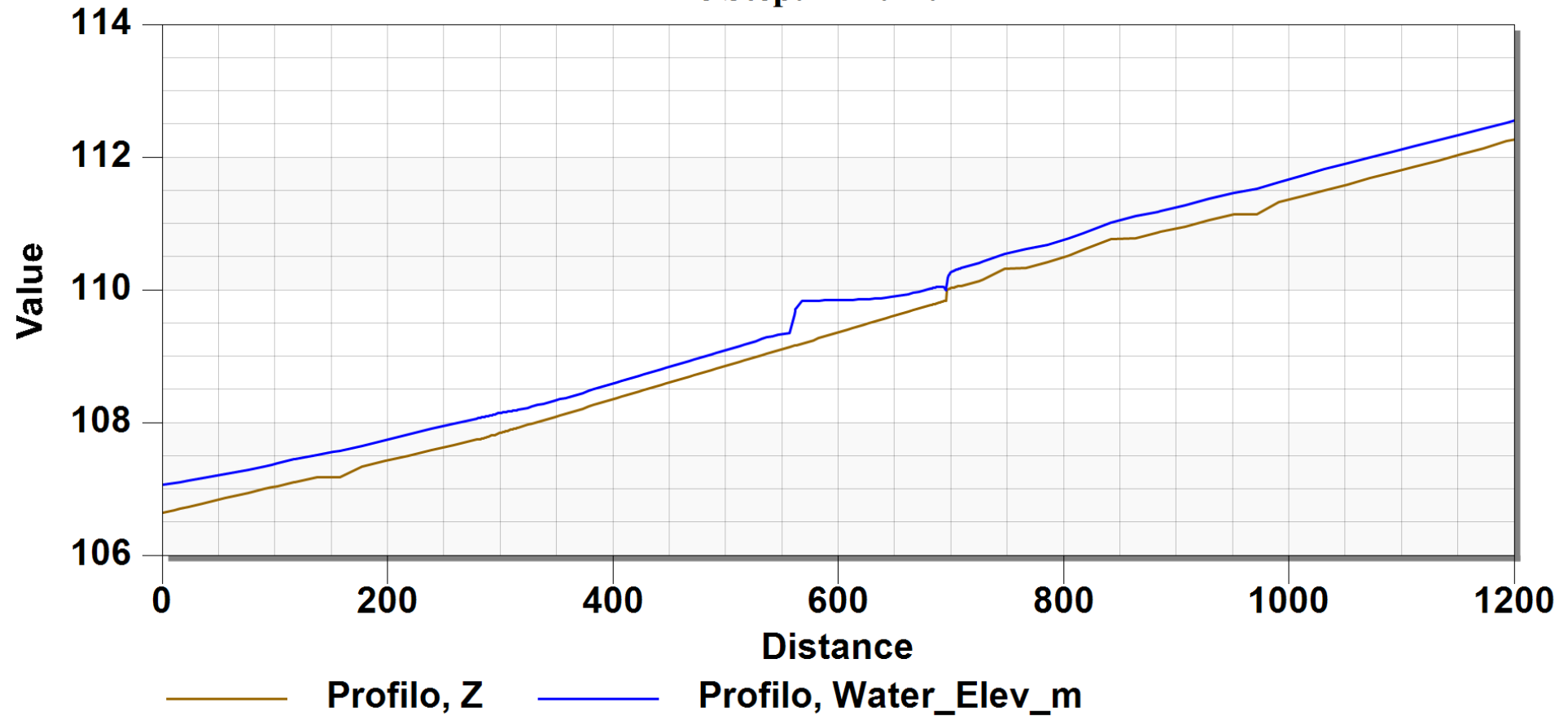
Profile

Time Step: 0 09:00:00



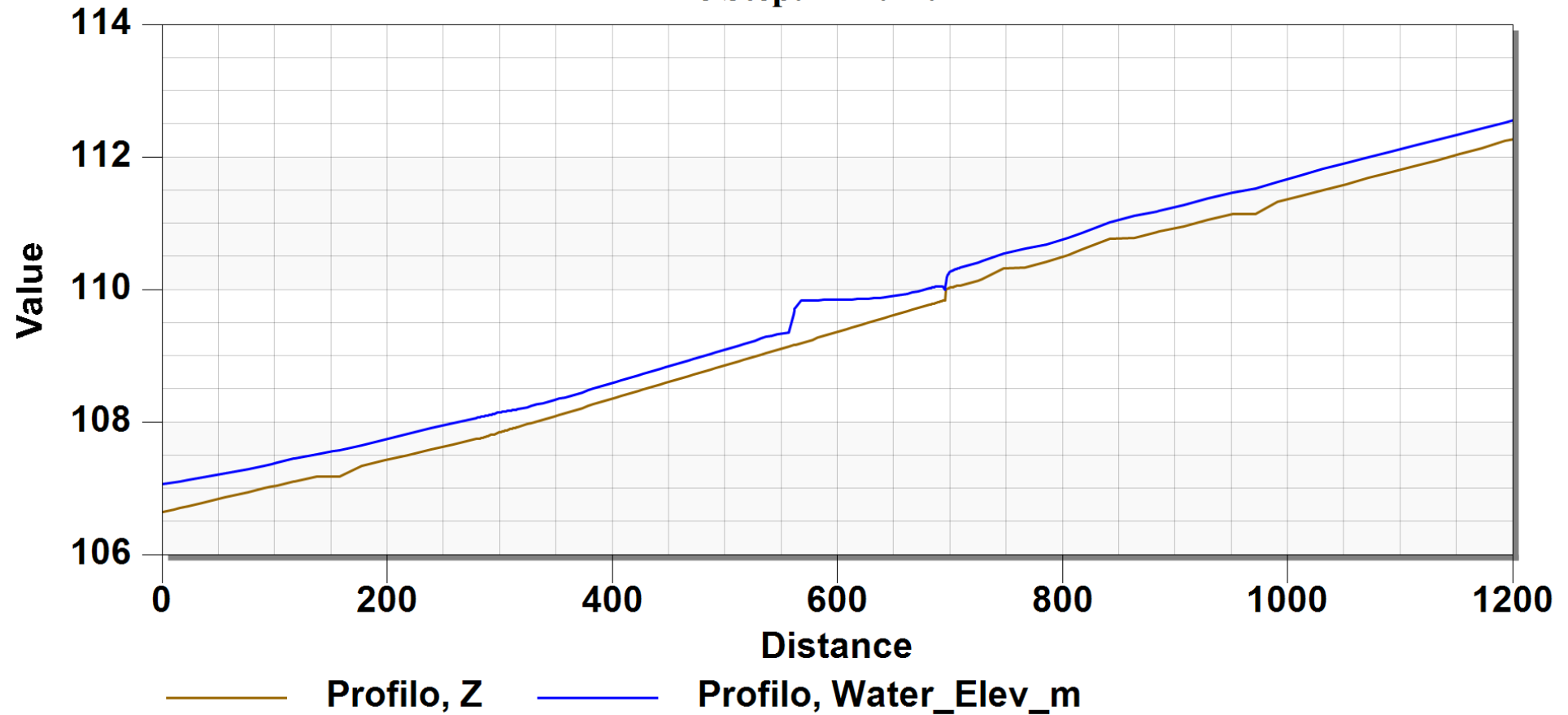
Profile

Time Step: 0 10:00:00



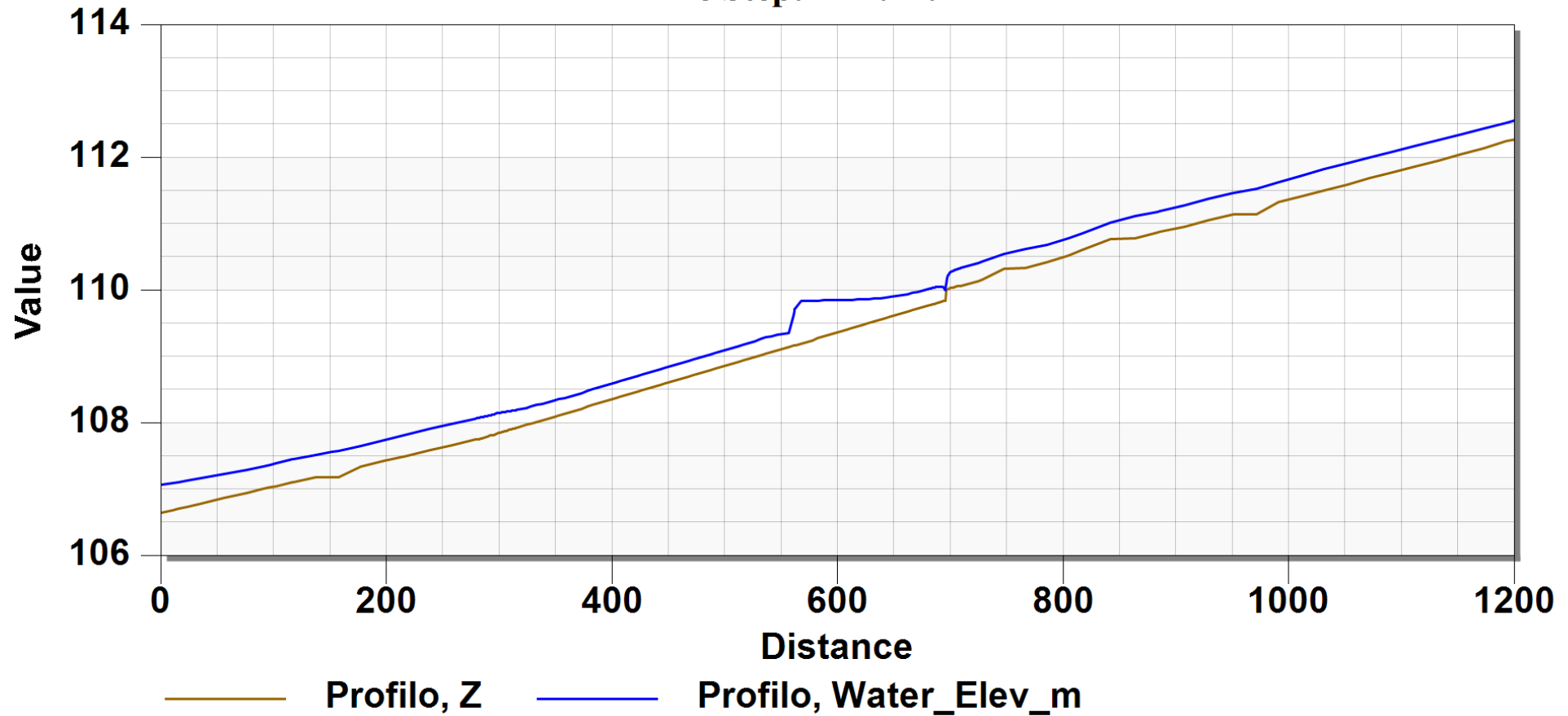
Profile

Time Step: 0 11:00:00



Profile

Time Step: 0 12:00:00



8 - ANALISI DEL POSSIBILE SCENARIO DI DAM BREAK MEDIANTE MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IN REGIME DI MOTO VARIO

La cassa di laminazione in progetto prevede la realizzazione di una arginatura per il contenimento del volume di laminazione, la cui quota di coronamento risulta avere un franco di 1.50 m rispetto al livello di massimo invaso.

Pertanto, è necessario condurre delle simulazioni idrauliche al fine di determinare quali potrebbero essere i possibili scenari esondativi in caso di rottura degli argini di contenimento: tale analisi viene abitualmente denominata in lingua inglese “dam break”.

Il collasso di uno sbarramento è un fenomeno che può potenzialmente provocare gravi danni nel territorio a valle in conseguenza alla formazione di un’onda di piena di entità superiore a quello che naturalmente può verificarsi.

Questo è dovuto alla grande quantità di energia potenziale stipata in tali invasi, che viene liberata in un tempo relativamente veloce a causa del fenomeno scatenante di rottura dell’arginamento.

Nel caso in esame la quantità di volume immagazzinato e l’altezza dell’arginamento non costituiscono un pericolo rilevante se rapportato con altri invasi di dimensioni decisamente superiori.

L’arginatura, la cui quota di coronamento risulta essere pari a 112.70 m s.l.m., lungo il contorno dell’opera varia in maniera regolare la sua altezza rispetto al piano campagna, da un minimo a monte sul lato sud di 0.70 m fino ad un massimo a valle sul lato nord di 2.80 m.

Da un’analisi preliminare delle possibili dinamiche di rottura dell’arginatura, la più catastrofica risulta essere quella del segmento nord di valle, poiché rappresenta il punto di massima altezza del rilevato rispetto al piano campagna e la direzione di flusso che raggiunge nel minor tempo la zona residenziale di Litta Parodi immediatamente a valle.

Pertanto, viene indagato esclusivamente questo scenario di dam break, che verosimilmente risulta essere quello maggiormente significativo.

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

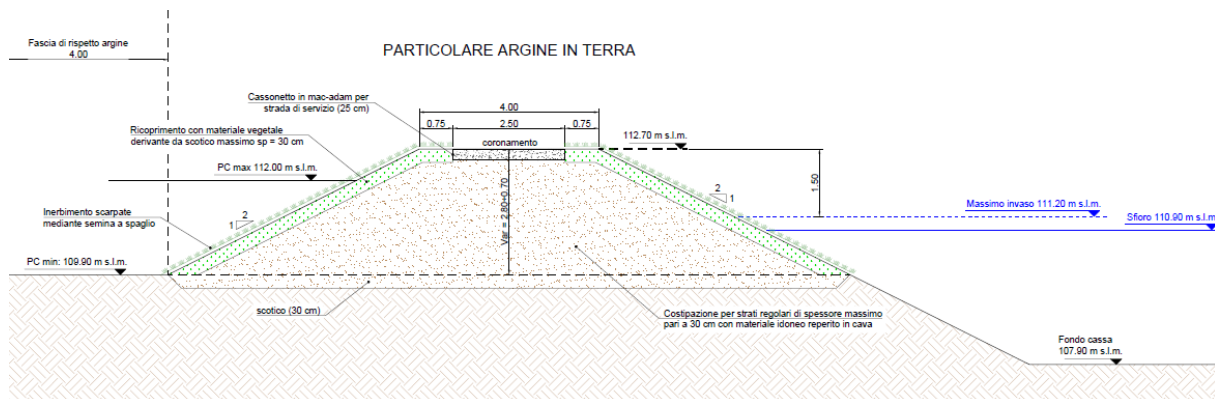


Figura 8.1: Particolare argine in terra

Si osserva che, essendo il fondo della cassa di laminazione ad una quota inferiore rispetto al piano campagna, il volume idrico potenzialmente esondabile risulta essere esclusivamente quello posto ad una quota superiore rispetto al piano campagna del lato nord, che si attesta ad una quota media pari a 109.90 m s.l.m., risultando pertanto di entità inferiore rispetto al volume di massimo invaso.

Il fenomeno di rottura di un argine può essere descritto mediante due tipologie:

- **Tracimazione:** il livello all'interno dell'invaso supera la quota di coronamento, inducendo un moto a sfioro che erode velocemente il rilevato generando una breccia, con la conseguente fuoriuscita di elevate portate idrauliche;
- **Sifonamento:** si instaurano fenomeni di filtrazione incontrollata all'interno del rilevato arginale, provocando l'erosione del paramento esterno, che si propaga velocemente verso l'interno, inducendo successivamente la formazione di una breccia che determina il rapido svotamento con dinamiche riconducibili al precedente moto di tracimazione.

Vista la presenza dello sfioratore in uscita, dimensionato per smaltire portate con un tempo di ritorno fino a 500 anni, e vista la limitazione idraulica dell'alveo del rio Lovassina, che non riesce ad indirizzare all'interno della cassa portate superiori a tale valore, si considera la tracimazione del coronamento del rilevato arginale uno scenario fisicamente non realizzabile.

Pertanto, la simulazione di dam break è stata condotta ipotizzando un fenomeno di rottura del tipo a sifonamento, con un volume esondabile determinato per la quota di massimo invaso pari a 111.20 m s.l.m., che determina un livello iniziale rispetto al piano campagna pari a 1.30 m.

Per la determinazione dell'idrogramma dell'onda di piena di dam break, sono stati adottati diversi metodi derivanti da studi condotti in funzione di diversi parametri fondamentali che descrivono il fenomeno, quali la velocità di apertura ed espansione della breccia e la forma della voragine che si viene a creare.

Tale idrogramma è stato introdotto come condizione al contorno di monte all'interno di un modello bidimensionale di moto vario, in grado di descrivere al meglio il possibile scenario esondativo in un territorio pianeggiante come quello del bacino del rio Lovassina.

Riassumendo, la simulazione idraulica di dam break è stata condotta secondo le seguenti ipotesi:

- Lato di rottura: nord
- Tipologia di rottura: sifonamento con evoluzione per tracimazione;
- Livello idrico iniziale rispetto al PC: 1.30 m;
- Volume iniziale: 67'561 m³.

Di seguito viene descritta la determinazione dell'idrogramma di dam break, il modello bidimensionale di moto vario adottato e i principali risultati idraulici ottenuti.

8.1 - INFORMAZIONI STATISTICHE SULLA ROTTURA DELLE DIGHE

Le modalità di generazione di un'onda di piena conseguente alla rottura delle dighe in materiali sciolti sono molto complesse. Indipendentemente dalle cause che innescano la rottura di una diga di questo tipo (piene, fessurazioni e franamenti del corpo diga, cedimenti del coronamento, sismi, frane del serbatoio, etc.) queste possono dar luogo a tracimazione o sifonamento che generalmente comportano la distruzione del rilevato per erosione.

Il Washinton state Department of Ecology nello studio "*Dam safety guidelines – technical note 1 – dam break inundation analisys and downstream hazard classification*" ha compiuto un'accurata analisi delle cause che possono determinare il collasso degli sbarramenti artificiali. Questo ente ha analizzato le cause dei cedimenti di 220 dighe in terra durante il periodo 1850-1950 e le ha classificate secondo le loro caratteristiche più importanti. I risultati sono sinteticamente riportati in Figura 8.2 e Figura 8.3.

Analizzando i dati contenuti in tali tabelle si osserva che le cause più frequenti di collasso degli sbarramenti in materiali sciolti sono dovute al sormonto del rilevato (nel 30% dei casi) e all'insorgere di moti di filtrazione nel rilevato arginale o in fondazione dello stesso (nel 25% dei casi).

Inoltre, è interessante osservare che il 50% dei collassi avviene nei primi 5 anni di esercizio dello sbarramento mentre il 19% avviene durante il primo anno.

CAUSE	SOURCE MECHANISM	% OF TOTAL
OVERTOPPING	FLOOD	30%
PIPING/INTERNAL EROSION OF EMBANKMENT OR FOUNDATION	SEEPAGE, PIPING AND INTERNAL EROSION	25%
CONDUIT LEAKAGE		13%
DAMAGE/FAILURE OF UPSTREAM MEMBRANE/SLOPE PAVING		5%
EMBANKMENT INSTABILITY-SLIDES	VARIES	15%
MISCELLANEOUS	VARIES	12%

Figura 8.2: Cause dei collassi delle dighe in terra durante il periodo 1850-1950

NUMBER OF YEARS AFTER COMPLETION	CAUSE OF FAILURE (%)				TOTAL %
	OVERTOPPING	CONDUIT LEAKAGE	SEEPAGE	SLIDES	
0-1	9	23	16	29	19%
1-5	17	50	34	24	31%
5-10	9	9	13	12	11%
10-20	30	9	13	12	16%
20-50	32	9	24	23	22%
50-100	3	0	0	0	1%

Figura 8.3: Età delle dighe al collasso durante il periodo 1850-1950

La rottura dello sbarramento avviene gradualmente in considerazione del materiale costituente lo sbarramento. Si è osservato (Mac Donald e Langridge-Monopolis 1984) che si innesca un processo di erosione localizzato su un punto debole del rilevato; si forma così una incisione di forma approssimativamente triangolare che va a mano a mano ingrandendosi fino a che il fondo della breccia non incontra il suolo naturale di imposta del rilevato che solitamente è meno erodibile del corpo del rilevato. A partire da tale momento l'erosione si esercita essenzialmente sulle sponde, ed assume una sezione di forma trapezia. L'estensione di questa erosione laterale dipende dall'erodibilità del corpo del rilevato, dalla forma del serbatoio, dal volume d'acqua immagazzinato e può avere come massimo sviluppo la sezione d'imposta dello sbarramento.

Il sifonamento produce una cavità, attraverso il corpo dello sbarramento, che si ingrandisce a causa dell'erosione fino a che la parte sovrastante non crolli nella cavità. Si forma così una breccia che intacca la sommità del rilevato la cui forma e sviluppo sono assimilabili a quelle descritte per la tracimazione.

I tempi di sviluppo della breccia, necessariamente approssimativi, indicano una evoluzione non rapidissima della stessa, che varia entro valori compresi tra 0.25 e 12 ore.

Tali eventi di erosione generano idrogrammi di piena con valori di picco di entità spesso incomparabilmente più grande di quello che nel corso d'acqua sarebbe potuto conseguire ad un evento idrologico per quanto raro lo si possa immaginare e, allo stesso tempo, di valore molto minore di quello che si sarebbe determinato se il varco si fosse prodotto istantaneamente.

Per effettuare le simulazioni rappresentative del deflusso a valle dell'opera in progetto a seguito del collasso del rilevato occorre pertanto definire sia le dimensioni della breccia che i tempi di formazione della stessa.

8.2 - METODI EMPIRICI PER LA STIMA DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

In letteratura sono disponibili alcune formule empiriche, ricavate sulla base dei dati osservati in caso di fenomeni di collasso reali, relativi a sbarramenti in materiali sciolti, che consentono una stima preliminare dell'entità della portata di picco e di alcuni parametri caratteristici del fenomeno di formazione della breccia.

1) *MacDonald e Langridge-Monopolis (1984)*

$$Q_P = 1.153 \cdot (V_W \cdot h)^{0.412}$$

2) *Costa (1985)*

$$Q_P = 225 \cdot (H_S \cdot V_W / 10^6)^{0.42}$$

3) *Molinaro e Fenaroli (1990)*

$$Q_P = 0.116 \cdot \sqrt{g} \cdot H_S^{2.5} \cdot (V_W / H_S^3)^{0.221}$$

4) *Froelich (1995)*

$$z = 0.9$$

$$T = 0.00254 \cdot \frac{V_W^{0.53}}{h^{0.9}}$$

$$Q_P = 0.607 \cdot V_W^{0.295} \cdot h^{1.24}$$

5) *Von Thun - Gillette (1995)*

$$B = 2.5 \cdot h + C_b$$

Per invasi facilmente erodibili: $T_{min} = 0.015 \cdot h$

Per invasi resistenti all'erosione: $T_{max} = \frac{B}{4h+61}$

Reservoir Size (cubic meters)	C _b (meters)	Reservoir Size (acre-feet)	C _b (feet)
< 1.23*10 ⁶	6.1	< 1,000	20
1.23*10 ⁶ – 6.17*10 ⁶	18.3	1,000 - 5,000	60
6.17*10 ⁶ – 1.23*10 ⁷	42.7	5,000 - 10,000	140
> 1.23*10 ⁷	54.9	> 10,000	180

6) *Webby (1996)*

$$Q_P = 0.443 \cdot \sqrt{g} \cdot V_W^{0.367} \cdot h^{1.40}$$

7) *ICODS Interagency Committee on Dam Safety (1983)*

$$Q_P = 0.298 \cdot \sqrt{h \cdot S_W}$$

dove:

 Q_P : portata di picco (m³/s); H_S : altezza sbarramento (m); h : dislivello tra quota iniziale dell'acqua nell'invaso e fondo finale della breccia (m); V_W : volume d'acqua fuoriuscito dal serbatoio attraverso la breccia (m³); S_W : superficie dello specchio d'acqua (m²); z : inclinazione pareti della breccia (dy/dx); B : larghezza media della breccia al colmo di piena (m); T : tempo di formazione della breccia (ore).**METODI SINTETICI DI CALCOLO PORTATA DI PICCO**

	anno	Q_p	T_{collasso}	B
		(m ³ /s)	(h)	(m)
Mac Donald - Langridge - Monopolis	1984	125.5	-	-
Costa	1985	111.8	-	-
Molinaro - Fenaroli	1990	28.1	-	-
Froelich	1995	22.3	0.73	-
Von Thun - Gillette	1995	-	0.14	9.4
Webby	1996	118.6	-	-
ICODS	1983	77.5	-	-

Le formule empiriche sono state ricavate a partire da situazioni di collasso di dighe di dimensioni decisamente superiori dell'invaso in oggetto, e pertanto possono risultare poco coerenti rispetto al caso in esame.

Si ritiene che i valori delle portate di picco risultanti forniscano indicazioni di tipo qualitativo nell'individuare l'ordine di grandezza dei fenomeni studiati, fornendo valori di portata di picco sovrastimati per il caso in esame.

8.3 - STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

La stima dell'idrogramma di piena può essere condotta adottando semplici formule di base dell'idraulica combinate ad una valutazione dell'evoluzione temporale passo-passo del fenomeno adottando il metodo delle differenze finite.

In particolare, è possibile ricostruire l'idrogramma di piena noti i seguenti parametri:

- Condizioni iniziali dell'invaso: l'invaso risulta pieno fino al livello di massimo vaso;
- Curva di vaso del bacino: esprime la variazione del volume contenuto nell'invaso in funzione del livello idrico raggiunto, e serve a determinare l'evoluzione temporale del livello idrico durante il fenomeno;
- Dinamica di rottura ed evoluzione del collasso: di seguito riportata

Esistono due tipologie di collasso di uno sbarramento:

- Tracimazione dello sbarramento con progressiva erosione del rilevato;
- Fenomeno di filtrazione e sifonamento, a cui consegue una rottura e progressiva erosione del rilevato.

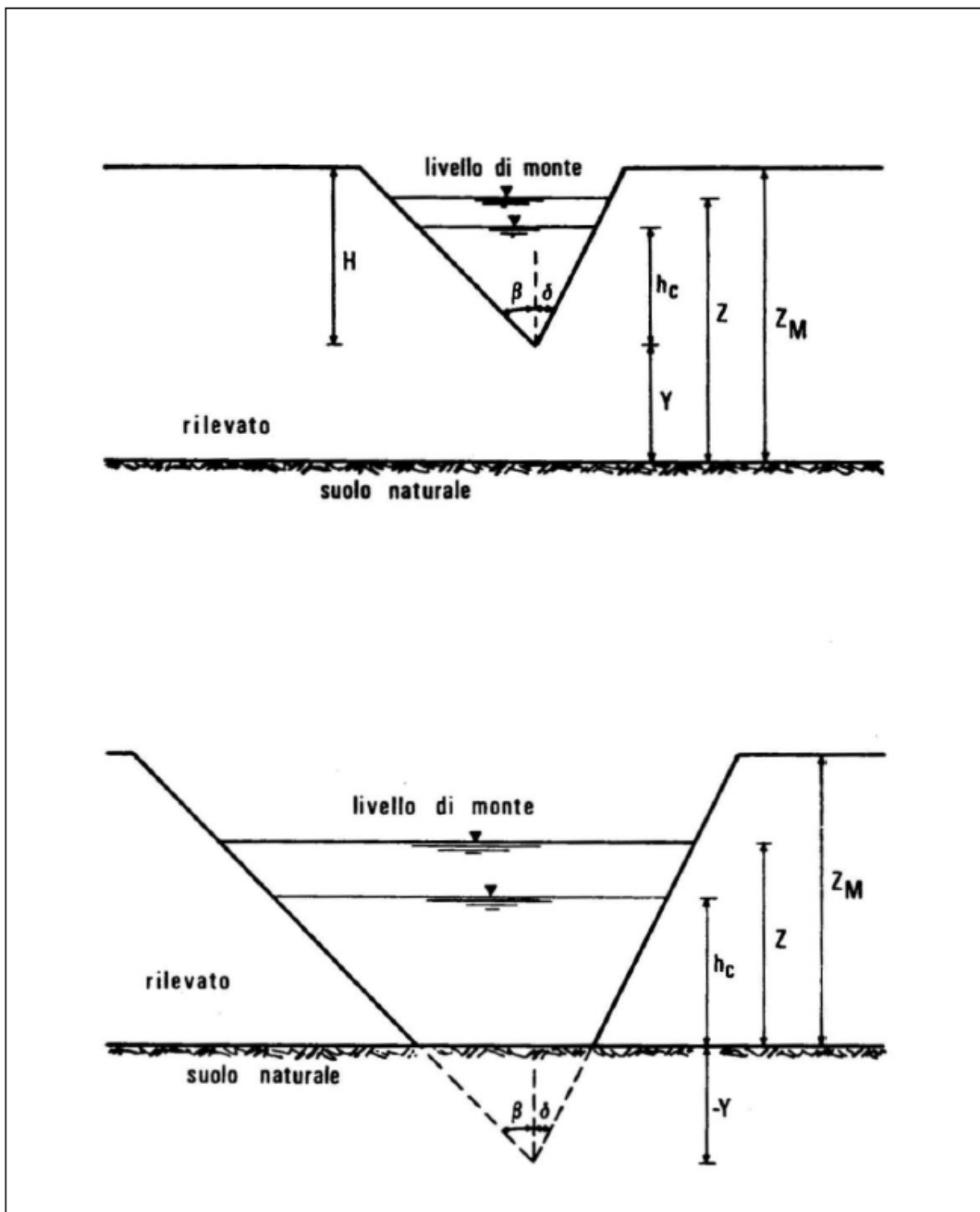


Figura 8.4: Schema della breccia a soglia erodibile a) breccia triangolare; b) breccia trapezia

In entrambi i casi, il moto che si viene ad instaurare risulta essere un moto di tracimazione che si espanderà con una velocità funzione della capacità erosiva del rilevato.

L'evoluzione della breccia presenta un andamento lineare, come osservato in caso di rotture di dighe, ed esprimibile secondo la seguente formula:

$$Y(t) = Y_0 - v_B \cdot t$$

Dove:

$Y(t)$: altezza della soglia sfiorante rispetto alla base della diga all'istante t (m);

Y_0 : valore iniziale dell'altezza (m);

v_B : velocità di abbassamento del fondo della breccia (m/s).

Ipotizzando che si instauri il moto critico di tracimazione, e in base alla tipologia di forma della breccia, è possibile descrivere la portata sfiorante nel generico istante t come:

- Breccia di forma triangolare:

$$Q(t) = \sqrt{\frac{1}{2} g \cdot tg\beta} \cdot \left[\frac{4}{5} \cdot (Z(t) - Y(t)) \right]^{5/2}$$

- Breccia di forma trapezia:

$$Q(t) = \sqrt{\frac{1}{2} g \cdot tg\beta} \cdot [h_c(t) \cdot (h_c(t) - 2Y(t))]^{3/2} \cdot (h_c(t) - Y(t))^{-1/2}$$

dove:

$$h_c(t) = [2Z(t) + 3Y(t) + \sqrt{9Y(t)^2 + 4Z(t)^2 - 8Y(t)Z(t)}] / 5$$

Le precedenti equazioni abbinate all'equazione di continuità dell'invaso:

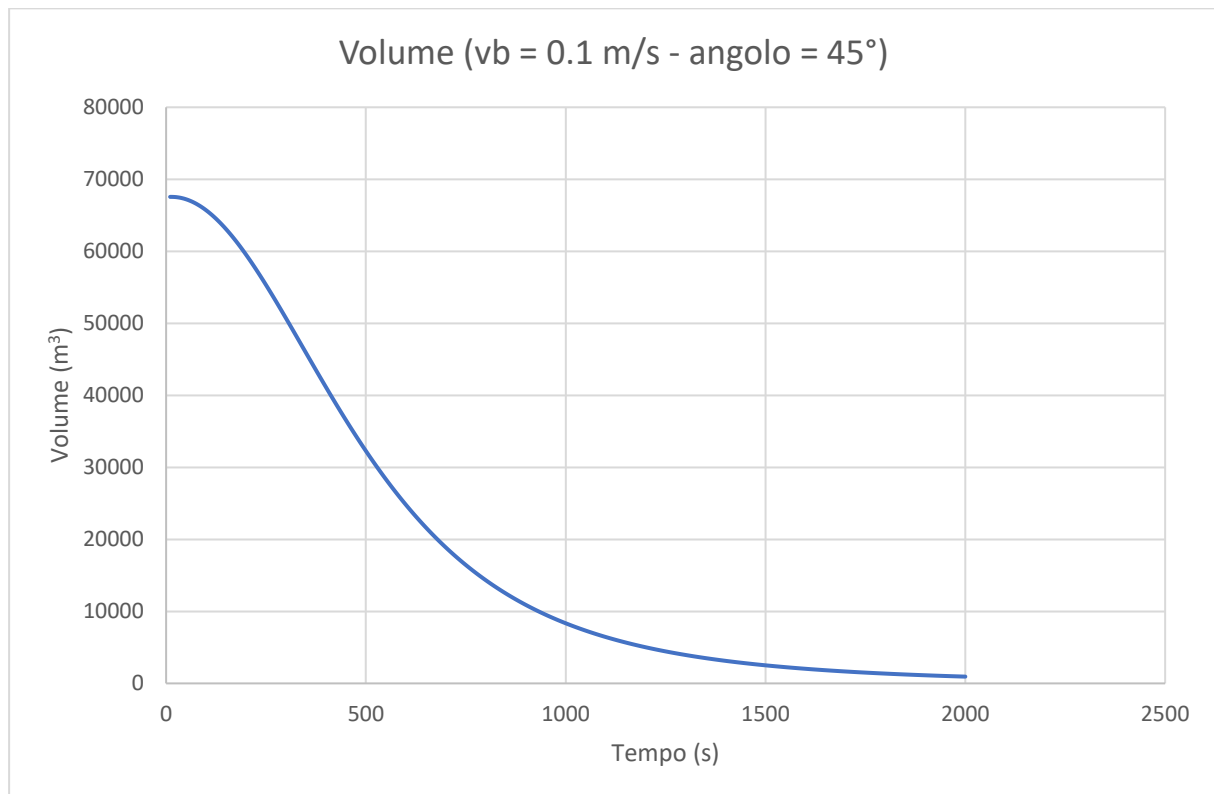
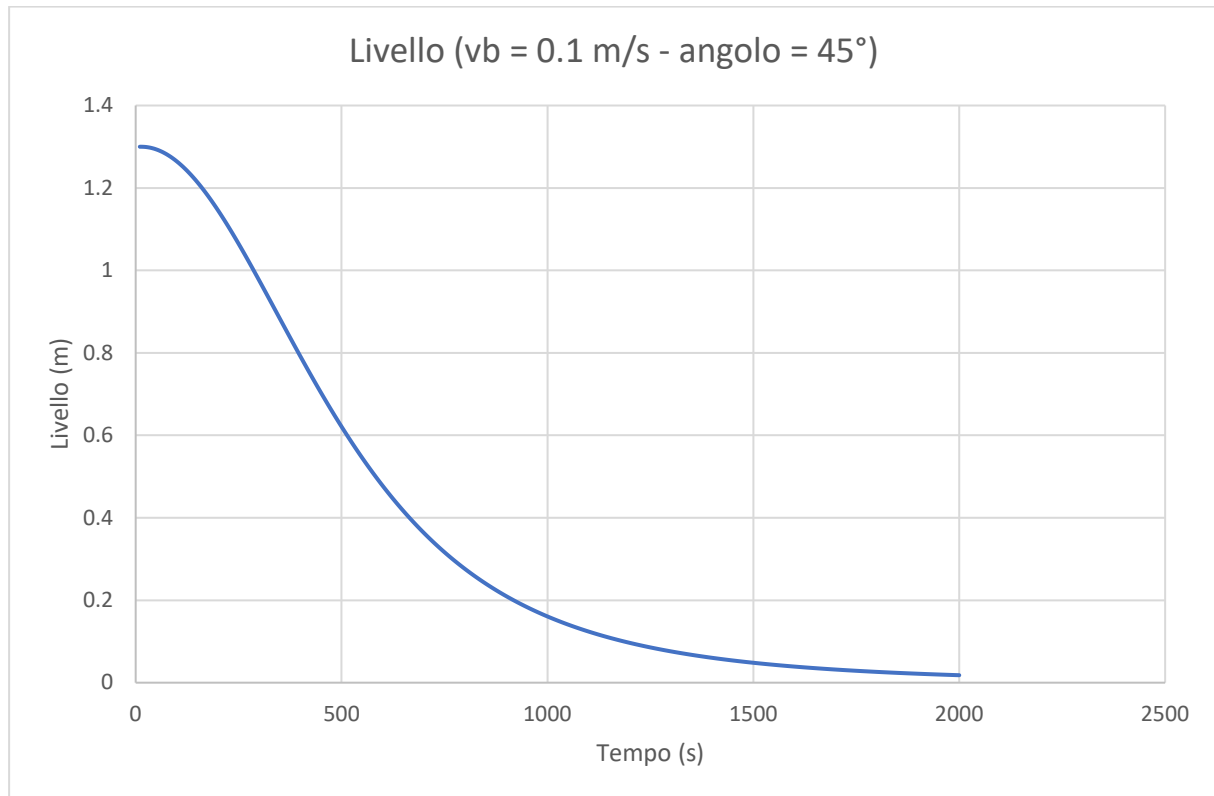
$$\frac{dV_w(t)}{dt} = Q_{in}(t) - Q_{out}(t)$$

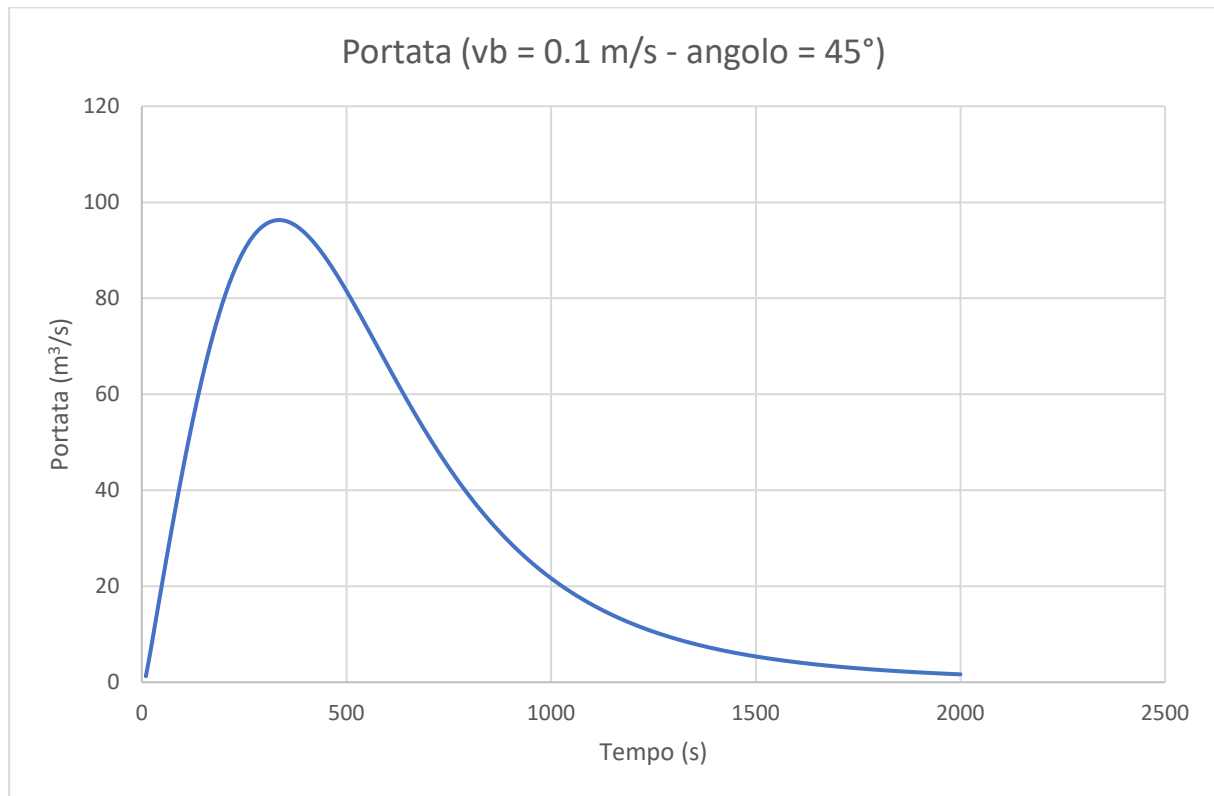
Consentono la valutazione dell'idrogramma di piena conseguente al collasso di uno sbarramento.

Di seguito è stata condotta la stima dell'idrogramma di piena facendo le seguenti ipotesi:

- È stato escluso il sormonto del coronamento in quanto il franco idraulico di sicurezza esistente, di circa 1.5 m, e lo sfioratore in uscita garantiscono un volume di sicurezza oltre quello di regolazione ampiamente cautelativo;
- Livello iniziale e quindi volume iniziale dell'analisi pari al livello di massimo invaso rispetto al piano campagna di valle;
- Evoluzione lineare della formazione della breccia con inclinazione delle pareti laterali pari a 45° (pendenza 1/1) con passaggio dalla forma iniziale triangolare a quella finale trapezia;
- La curva di invaso è stata ipotizzata lineare, vista la regolarità della cassa e le sue dimensioni limitate;
- Si è deciso di trascurare l'eventuale contributo di precipitazioni contestuali, ipotizzando quindi la non contemporaneità dell'evento di dam break rispetto a quello di piena;
- Vista la difficoltà nell'identificare la velocità di formazione della breccia del rilevato arginale, tale valore è stato verosimilmente variato in maniera tale da ottenere una corrispondenza con quelli che sono gli ordini di grandezza dei valori di portata di picco ricavati mediante l'applicazione delle precedenti formule empiriche: si ottiene una buona corrispondenza con un valore di velocità di formazione $v_b = 0.10$ m/s, che risulta in ogni caso elevato e quindi estremamente cautelativo.

PARAMETRI CARATTERISTICI			
Y_{max}	altezza massima dello sbarramento	2.80	m
S_0	superficie dello specchio d'acqua	51970	m ²
Z_0	livello iniziale invaso rispetto alla base del rilevato	1.30	m
V_0	volume iniziale invaso	67561	m ³
Y_0	livello iniziale breccia rispetto alla base del rilevato	1.30	m
β	angolo di inclinazione pareti breccia	45	°
v_b	velocità di formazione della breccia	0.10	m/s
Q_P	portata di picco	96.3	m ³ /s
B_P	larghezza breccia al picco	68	m
t_P	tempo al colmo	0.09	h





L'idrogramma di portata presenta un colmo di piena pari a $96.3 \text{ m}^3/\text{s}$ dopo circa 5.4 minuti (0.09 h) dall'inizio di dam break, valori compatibili con quanto determinato mediante l'applicazione delle formule empiriche.

Vista l'elevata velocità di formazione della breccia adottata, tale idrogramma risulta essere estremamente cautelativo del fenomeno dam break descritto in seguito.

8.4 - DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO

La modellizzazione dei flussi idraulici indotti dallo scenario unico di dam break indagato è stata compiuta, come per il precedente capitolo, mediante il software idraulico bidimensionale SMS ver.12.3.5 sviluppato da Aquaveo: si rimanda pertanto al capitolo 7.1 la descrizione del software, mentre di seguito vengono riportate le caratteristiche dello specifico modello realizzato.

L'area indagata è stata schematizzata mediante una griglia di calcolo di circa 6.0 x 6.0 km estesa a partire dal lato nord della cassa verso valle fino oltre il centro abitato di Spinetta Marengo, con estensione quindi pari a circa 36.0 km².

La condizione al contorno di valle si collocano a circa 5.0 km dalla cassa in progetto, sufficientemente a valle della cassa.

La condizione al contorno di monte si colloca in corrispondenza del lato nord della cassa di laminazione, corrispondente al punto di formazione breccia ipotizzato.

La mesh risulta quindi sufficientemente estesa a valle dell'opera, al fine di minimizzare gli inevitabili effetti di bordo nei pressi del sito oggetto di analisi.

Per un'adeguata rappresentazione del deflusso, congiuntamente con esigenze di stabilità numerica e gestione logistica delle simulazioni, il passo spaziale delle maglie è stato variato e ottimizzato in funzione della posizione planimetrica.

Nelle aree più esterne del modello, è stato impostato un passo spaziale della griglia pari a circa 80 m sui bordi della mesh di forma triangolare: tale scelta di natura computazionale è basata sulla minima importanza che questi punti ricoprono nelle simulazioni, non essendo interessati direttamente dai flussi di piena analizzati (condizione comunque verificata a posteriori).

La mesh è stata opportunamente infittita nei pressi del centro abitato di Spinetta Marengo, mediante elementi triangolari di passo pari a circa 20 m.

La mesh è stata ricostruita dal software SMS per interpolazione nei punti della griglia a partire dal modello digitale del terreno risultante dai rilievi adottati.

Nella seguente figura si riporta l'estratto della planimetria della mesh di base: è possibile constatare tutte le precisazioni precedentemente descritte, in particolare la scelta computazionale di infittire i punti in prossimità delle aree di maggior interesse da un punto di vista idraulico.



Figura 8.5: Mesh di calcolo adottata per la simulazione bidimensionale su BDTRE Regione Piemonte

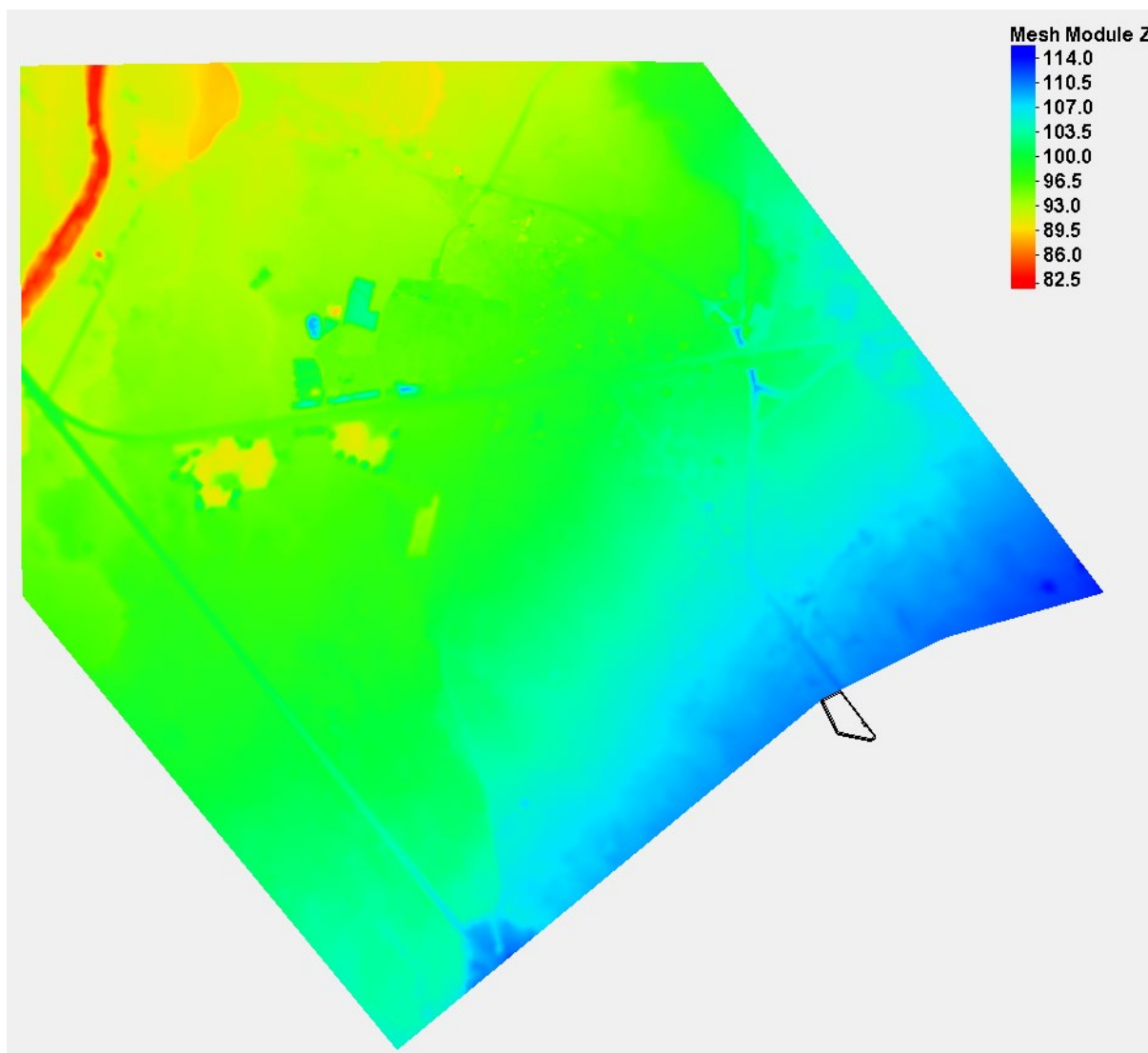


Figura 8.6: Rappresentazione Contours Mesh di calcolo adottata per la simulazione bidimensionale

Le condizioni al contorno del modello bidimensionale possono essere altezze d'acqua o portate defluenti.

Essendo che la propagazione dell'onda di piena da dam break avviene da monte verso valle, è necessario inserire una condizione al contorno a monte di in-flow coincidente con l'idrogramma di dam break e una condizione al contorno a valle di out-flow coincidente con un livello idraulico.

È stato simulato esclusivamente l'evento di dam break assunto come il più significativo, considerando come idrogramma in ingresso quello determinato mediante il metodo alle differenze finite presentato in precedenza.

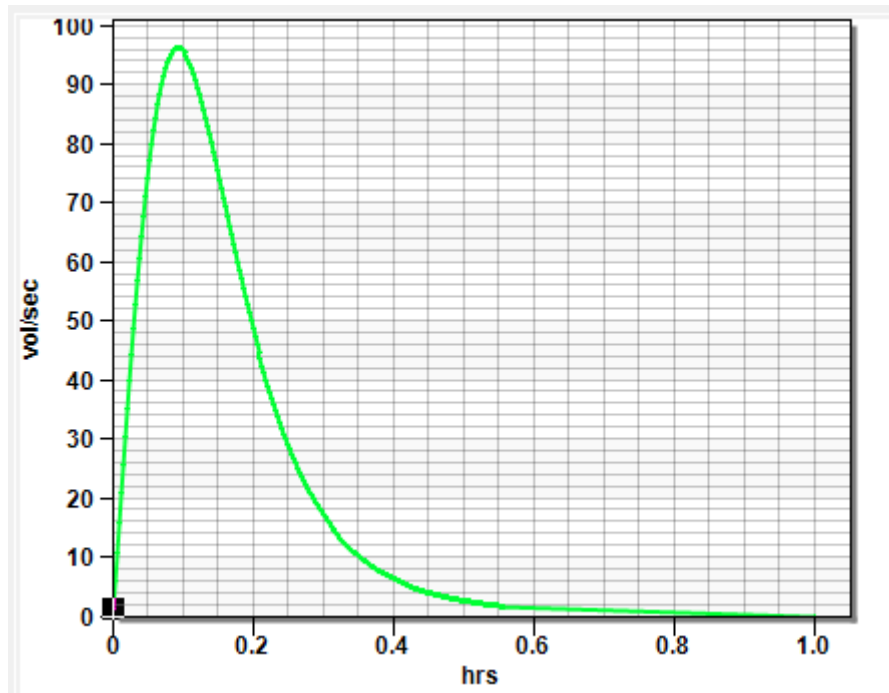


Figura 8.7: Condizione al contorno di monte: idrogramma di dam break

Per imporre la condizione al contorno di valle, ovvero l'altezza d'acqua nella sezione dell'alveo d'uscita del flusso idraulico, si è utilizzato un valore di livello idraulico nel rio Lovassina ammissibile in funzione della sezione idraulica.

Si precisa comunque che l'ipotesi sul livello di partenza a valle non influenza in alcun modo i livelli dell'acqua nel tratto di interesse, poiché è stato verificato a posteriori che l'onda di piena del dam break non raggiunge tale sezione, ma si disperde allargandosi sul terreno pianeggiante, come evidenziato dai risultati esposti nel seguente paragrafo. Inoltre, tale considerazione risulta facilmente verificabile facendo variare il livello a valle all'interno di una tolleranza ragionevole, osservando sempre la stessa dinamica di svuotamento. Le scabrezze adottate sono le stesse già utilizzate per il modello monodimensionale, e di seguito riportate:

alveo Rio Lovassina:

$C = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

golene:

$C = 10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ secondo Gauckler Strickler

$n = 1/C = 0.10 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ secondo Manning

8.5 - RISULTATI MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO PER L'EVENTO DI DAM BREAK DI PROGETTO

A premessa di quanto di seguito descritto, si definiscono acque a bassa energia quelle che presentano tiranti idraulici inferiori a 0.30 m e velocità inferiori a 0.60 m/s.

Il completo svuotamento del volume esondabile avviene in circa 0.55 ore, pari a circa 30 minuti, mentre la propagazione di tale volume verso valle risulta avere tempistiche maggiori.

Dalle simulazioni condotte, si può affermare che la propagazione verso valle del colmo di piena si arresta dopo circa 8 ore dal collasso: infatti, per tale durata si registrano incrementi minimi dell'entità delle nuove aree esondate e velocità di propagazione prossime allo zero.

È importante sottolineare come i tiranti idraulici maggiori a 0.70 metri (massimo pari a 1.30 m) si registrino nei primi 12 minuti ed esclusivamente nell'intorno della breccia, non coinvolgendo aree antropizzate.

Tiranti idraulici compresi tra 0.50 e 0.70 metri interessano limitate aree antropizzate di Litta Parodi fino ad una durata di 30 minuti dal collasso.

Tra i 30 minuti e 1 ora dal collasso, si osservano tiranti compresi tra 0.30 m e 0.50 m nelle zone leggermente più depresse nei campi tra gli edifici, mentre nelle zone antropizzate di Litta Parodi si registrano tiranti inferiori ai 0.30 m e quindi a bassa energia.

Oltre 1 ora dal collasso, l'esondazione da dam break tende ad allargarsi nella pianura verso valle, stabilizzandosi su di un fronte d'onda di tiranti a bassa energia pari a circa 0.10-0.20 m rispetto al piano campagna delle aree antropizzate.

Dopo 4 ore dal collasso, il fronte d'onda tende a dividersi rispetto alla SS35bis che fa da spartiacque: il fronte ovest raggiunge le prime abitazioni di Spinetta Marengo, sempre con tiranti a bassa energia pari a circa 0.10-0.20 m, mentre il fronte est lascia alle spalle Litta Parodi in direzione del raccordo con la SR10.

Dopo 6 ore dal collasso, l'ampiezza finale delle aree esondate tende a stabilizzarsi e il tirante e la velocità del fronte d'onda ad annullarsi: il fronte ovest si arresta sulla direttrice di strada Bolla non riuscendo a sormontarla, mentre il fronte est si arresta a tergo del raccordo con la SR10.

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

Si registrano velocità massime pari a 1.00 m/s nei primi 12 minuti ed esclusivamente nell'intorno della cassa, non coinvolgendo aree antropizzate, mentre per il restante tempo di simulazione tutte le aree antropizzate sono coinvolte da deflussi che presentano velocità inferiori ai 0.60 m/s, e quindi inquadrabili come a bassa energia.

Riassumendo, dall'analisi del dam break, risulta quindi che l'abitato di Spinetta Marengo, escluse poche abitazioni in zona Cascina Biasa, non risulta coinvolto dal fronte d'onda, mentre gli abitati maggiormente colpiti risultano essere quelli di Litta Parodi, seppur per durate molto brevi e con tiranti idraulici medio-bassi.

Si riportano nelle seguenti pagine i principali risultati della simulazione idraulico-numerica bidimensionale di moto vario del dam break: per ogni vista selezionata, vengono riportati in ordine temporale crescente vari frame a intervalli regolari pari ad 3 minuti tra 0-30 minuti di simulazione (durata complessiva dell'idrogramma in ingresso) e a intervalli regolari pari a 30 minuti oltre i 30 minuti di simulazione, fino alla durata massima della simulazione pari a 8 ore, in maniera tale da ripercorrere l'evoluzione temporale dell'ipotesi di collasso formulata.

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024

MODELLO BIDIMENSIONALE DI MOTO VARIO
SIMULAZIONE UNICA
SCENARIO DI DAM BREAK DELLA CASSA DI LAMINAZIONE IN PROGETTO

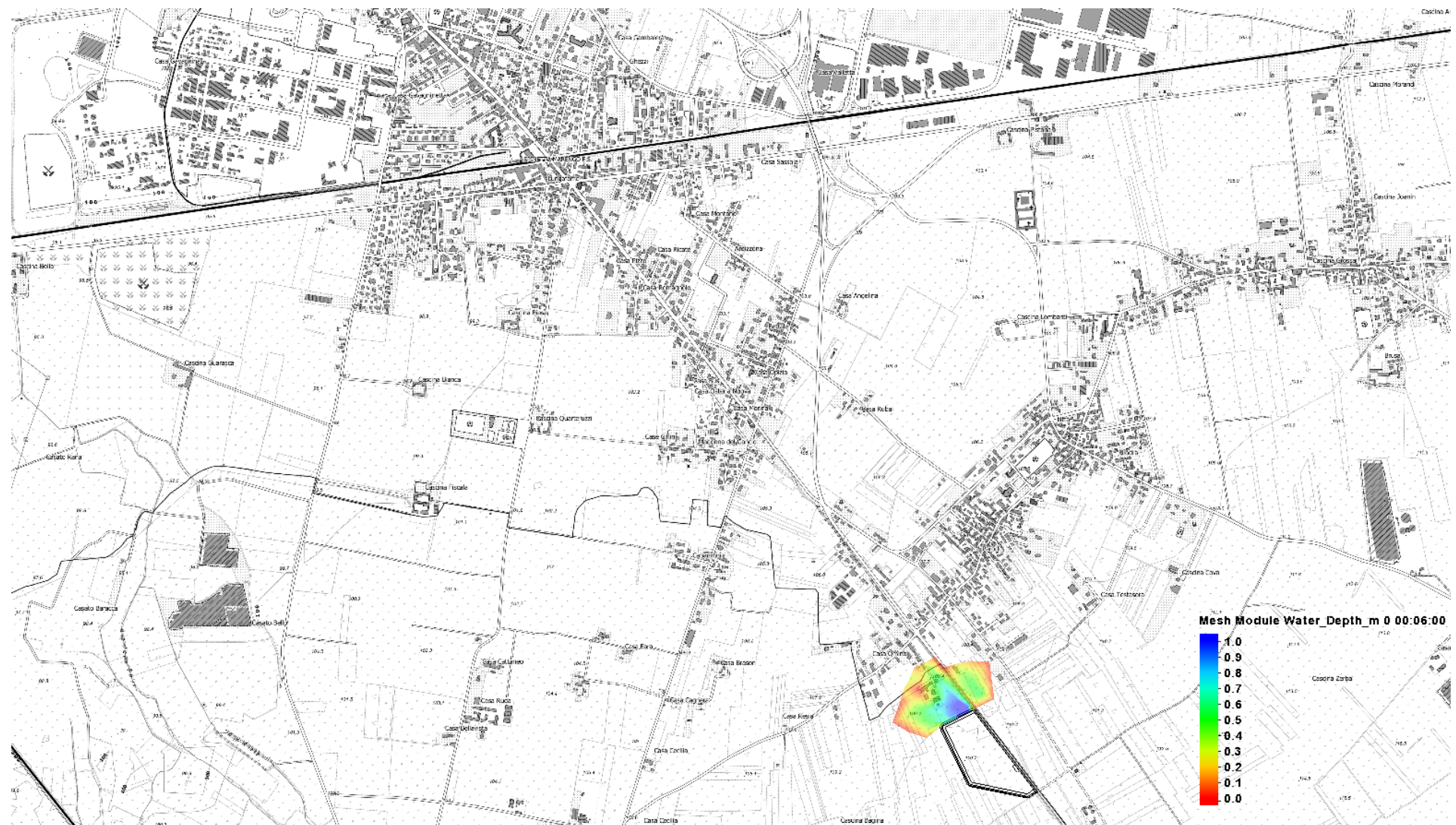
Corso d'acqua	Portata al colmo [m³/s]	Tempo di ritorno [anni]
Rio Lovassina	96.3	-

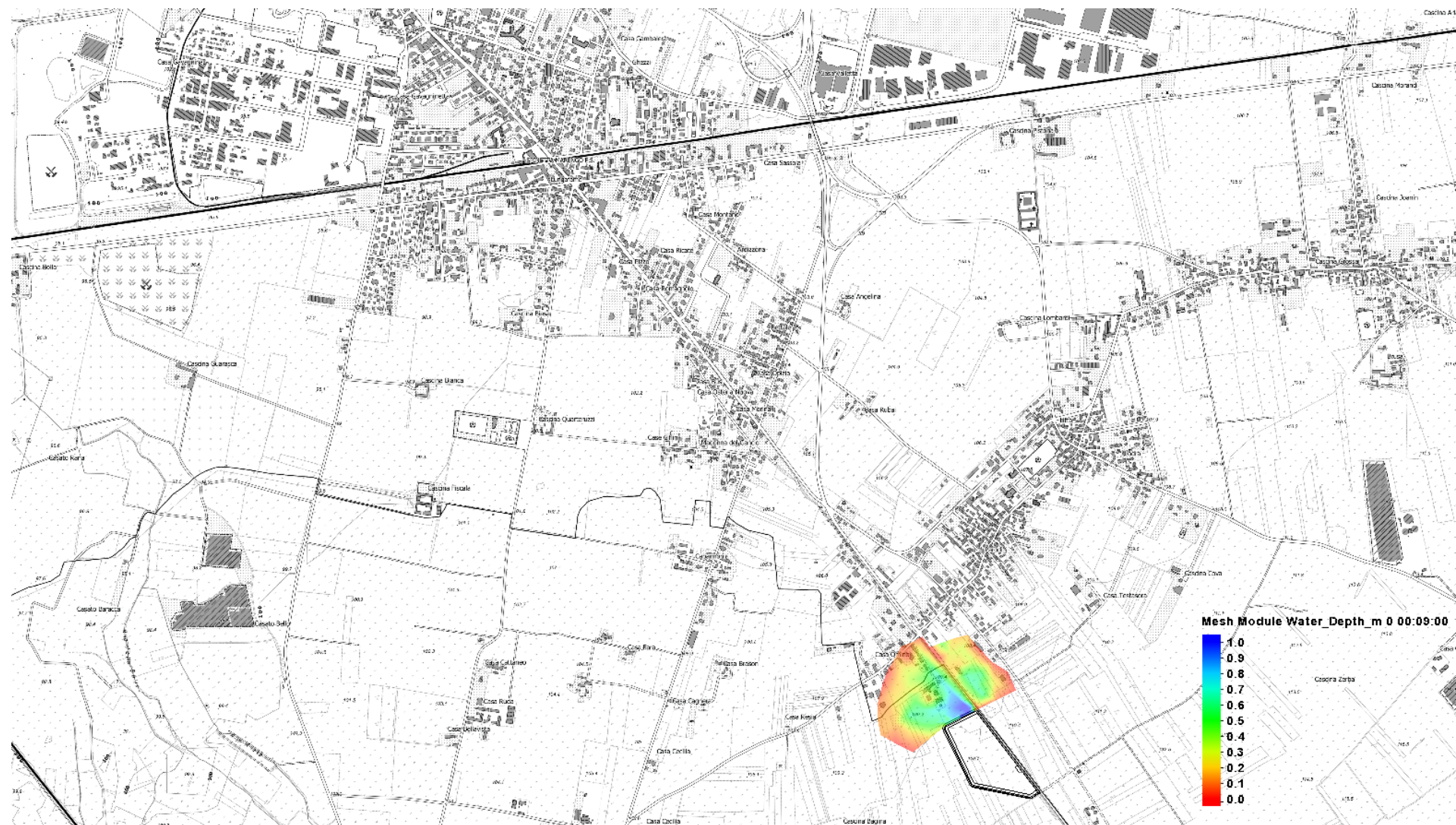
PLANIMETRIA

TIRANTI IDRAULICI (m)

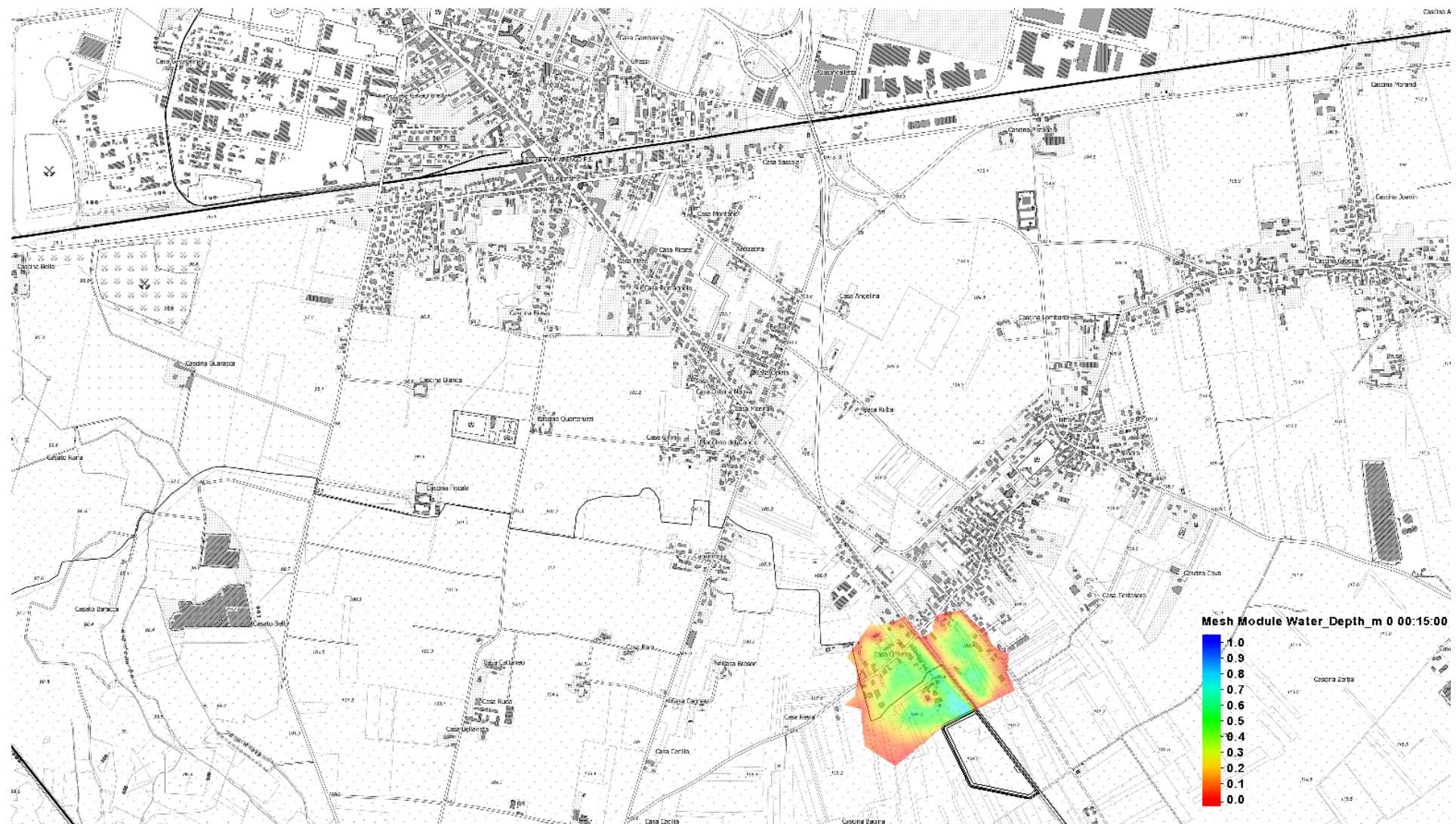
PRIMI 30 MINUTI - TIMESTEPS 3 MINUTI

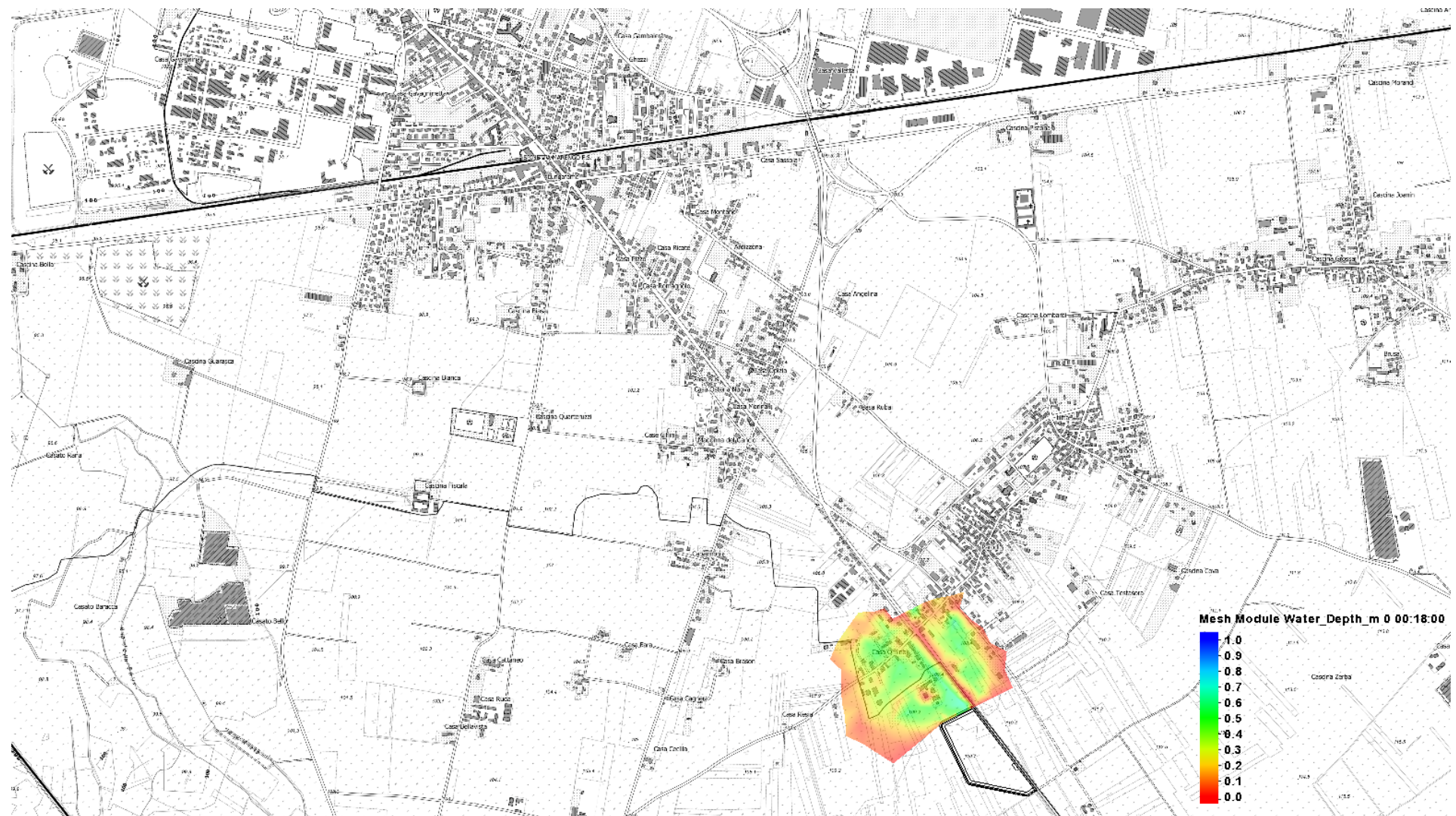


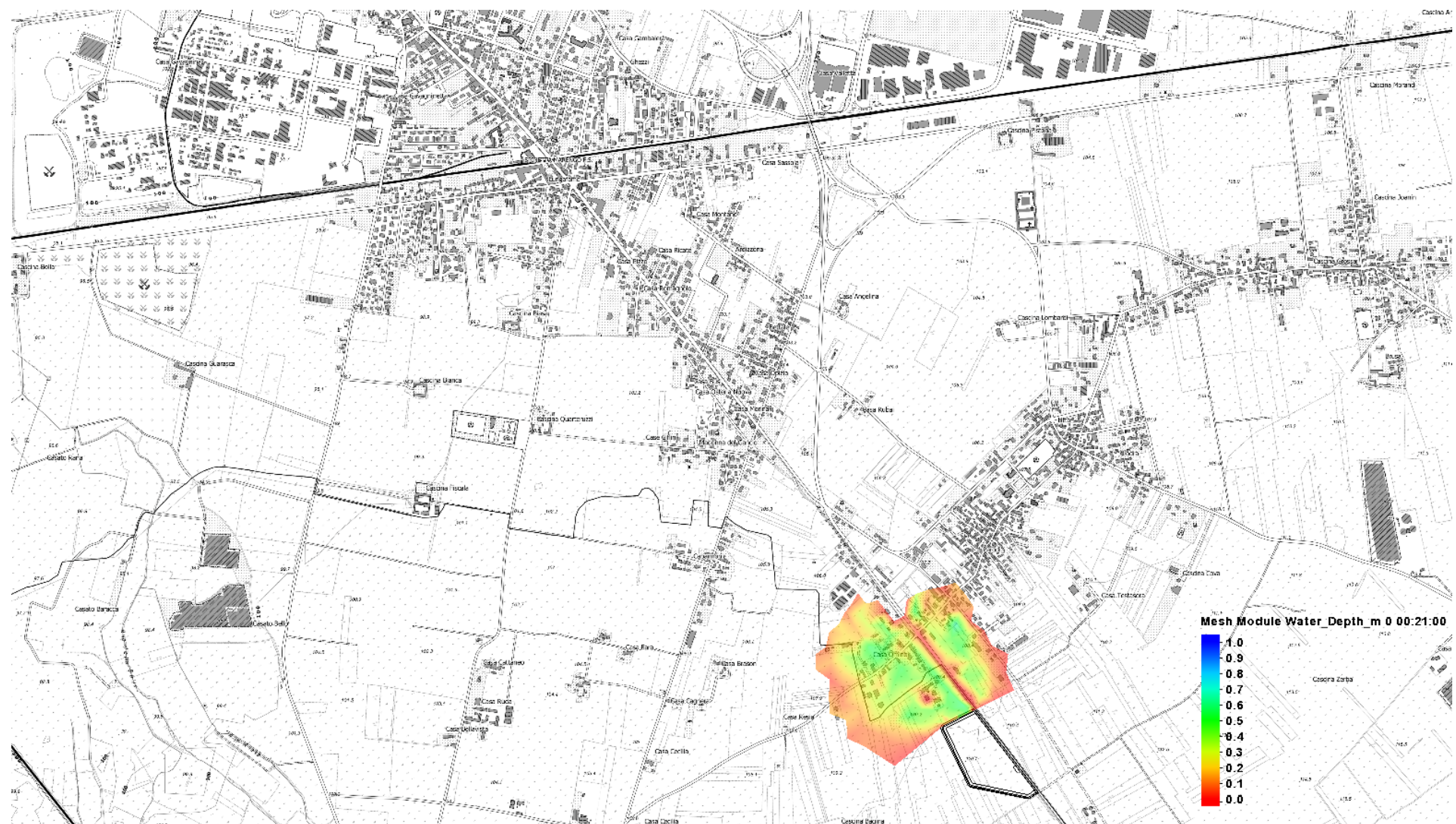


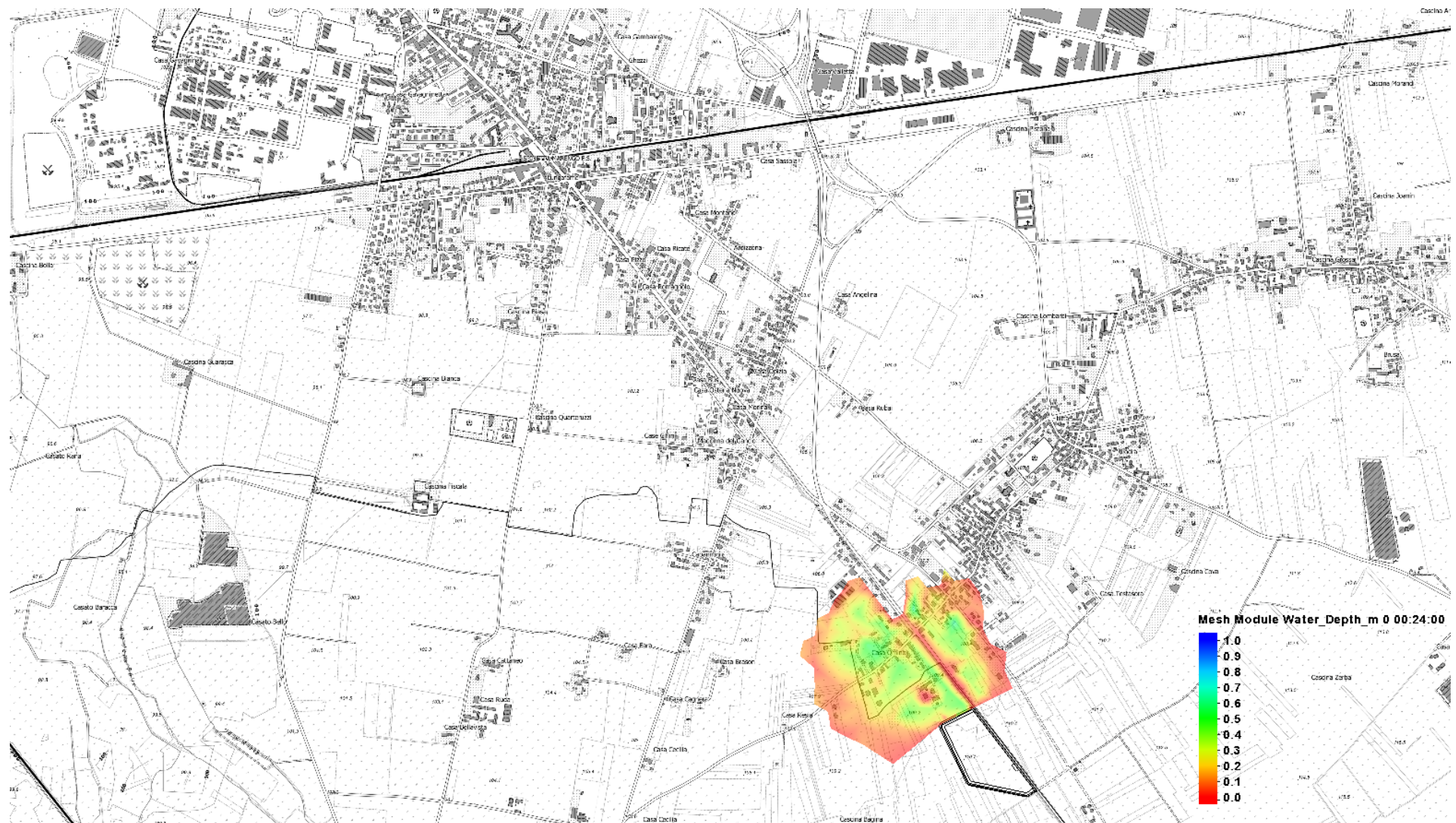


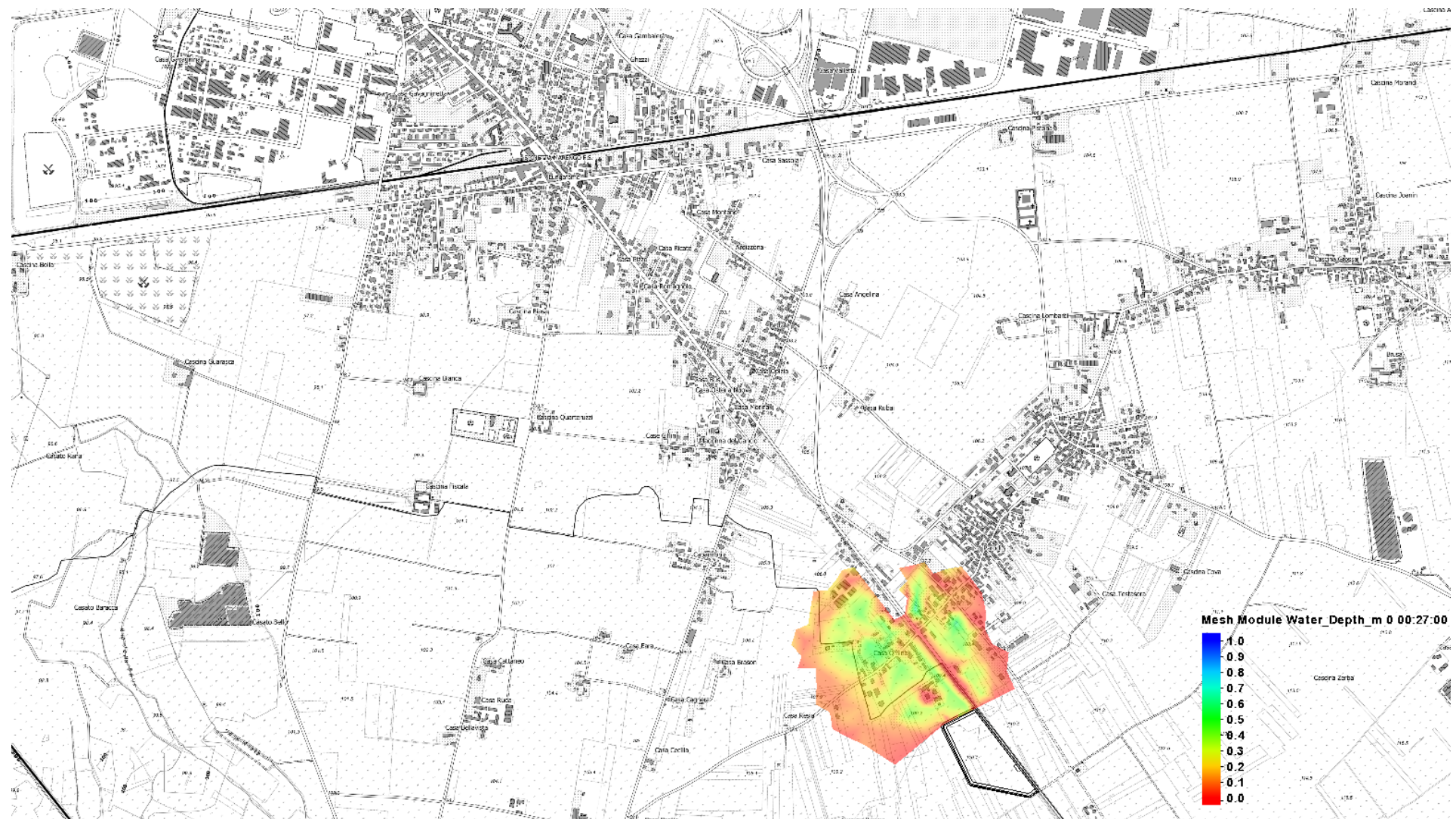


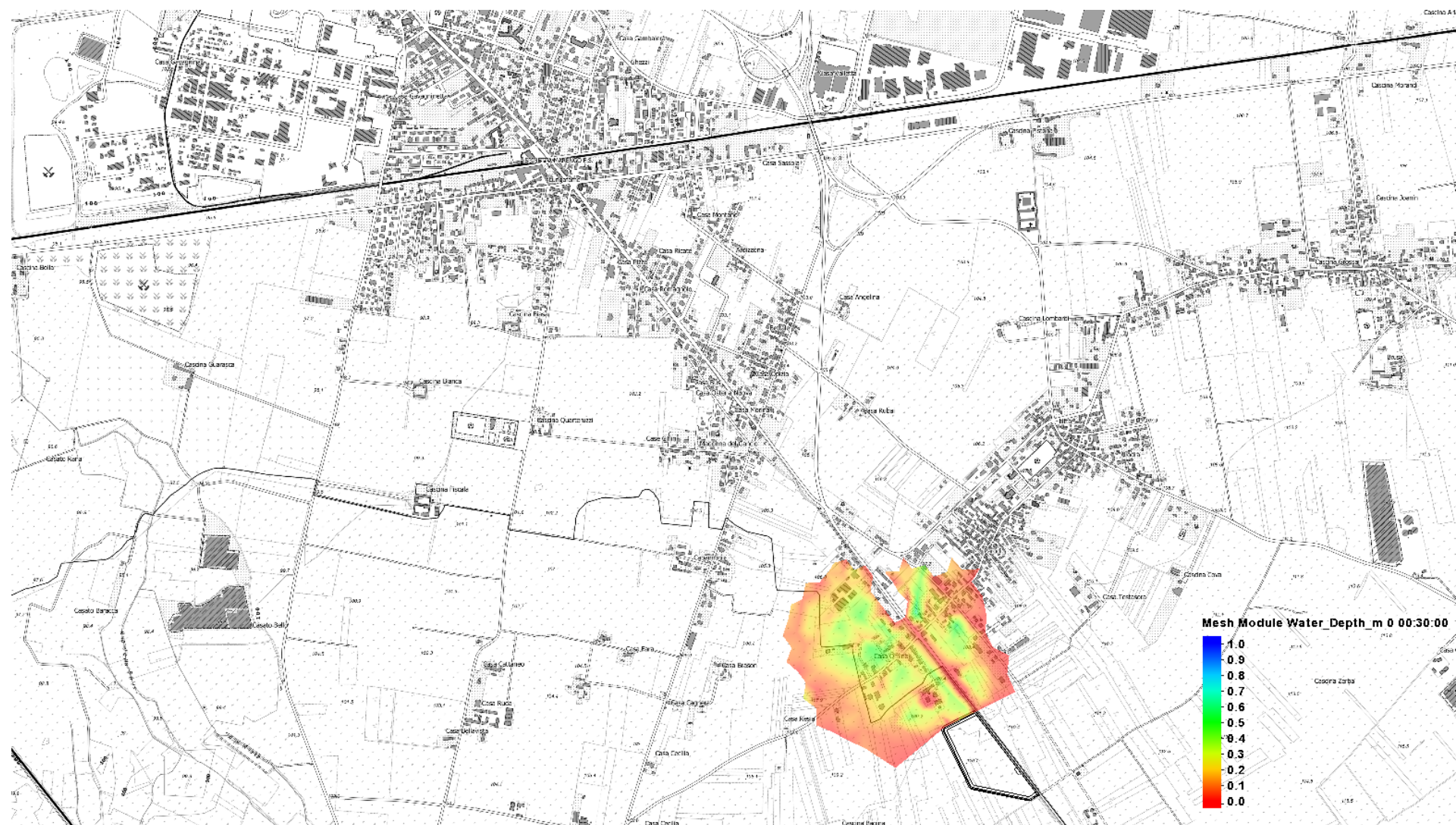






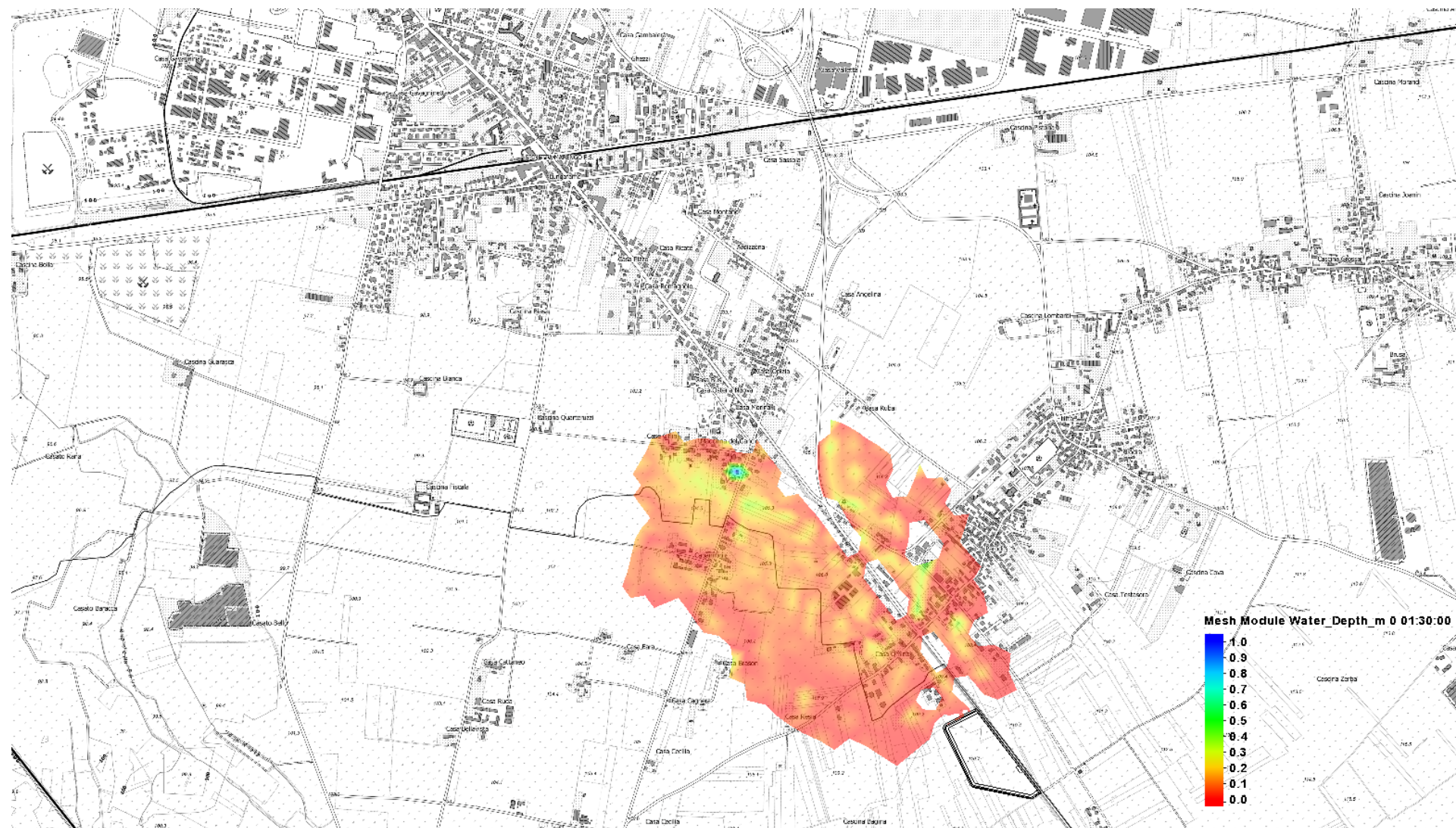


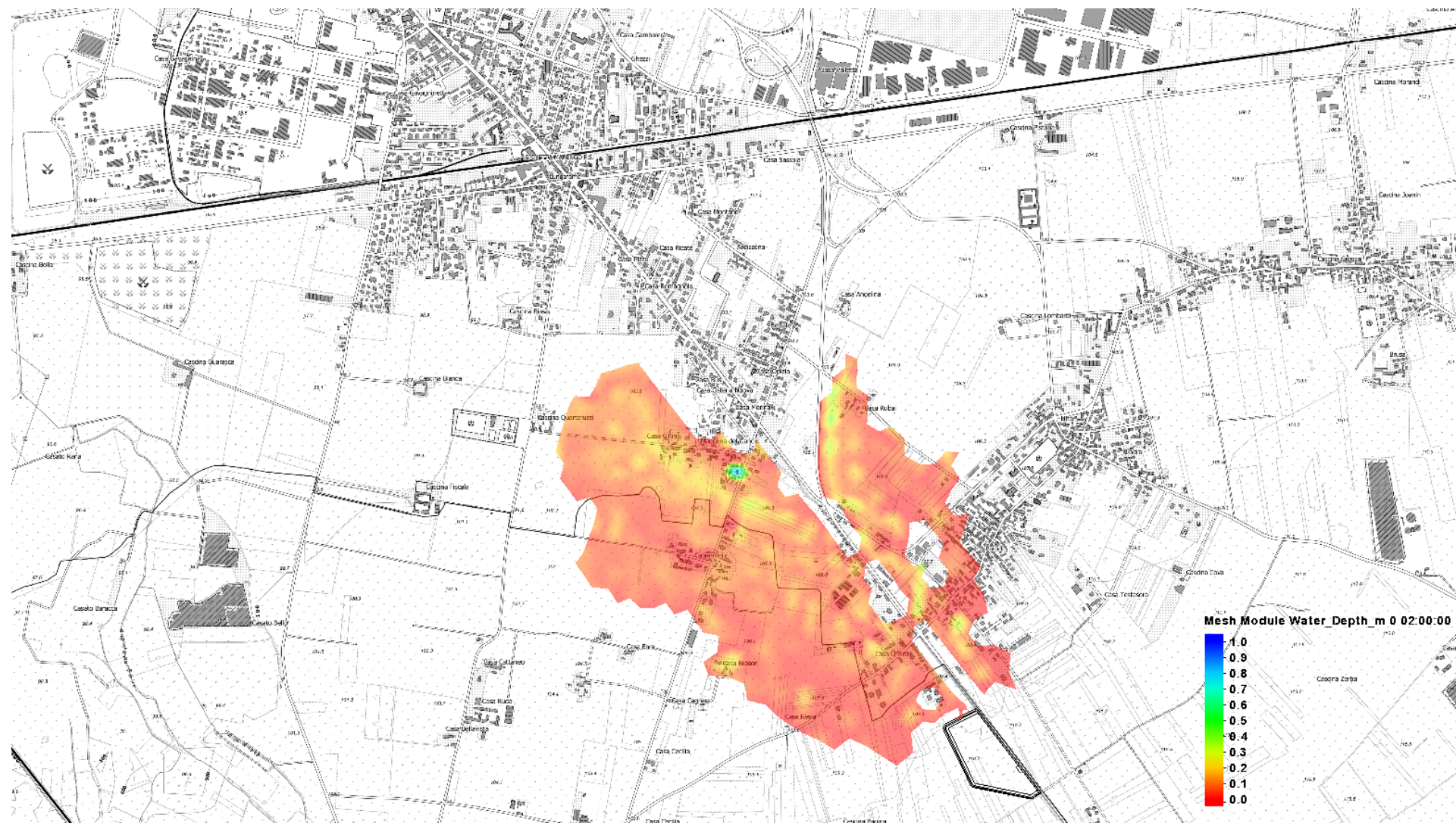


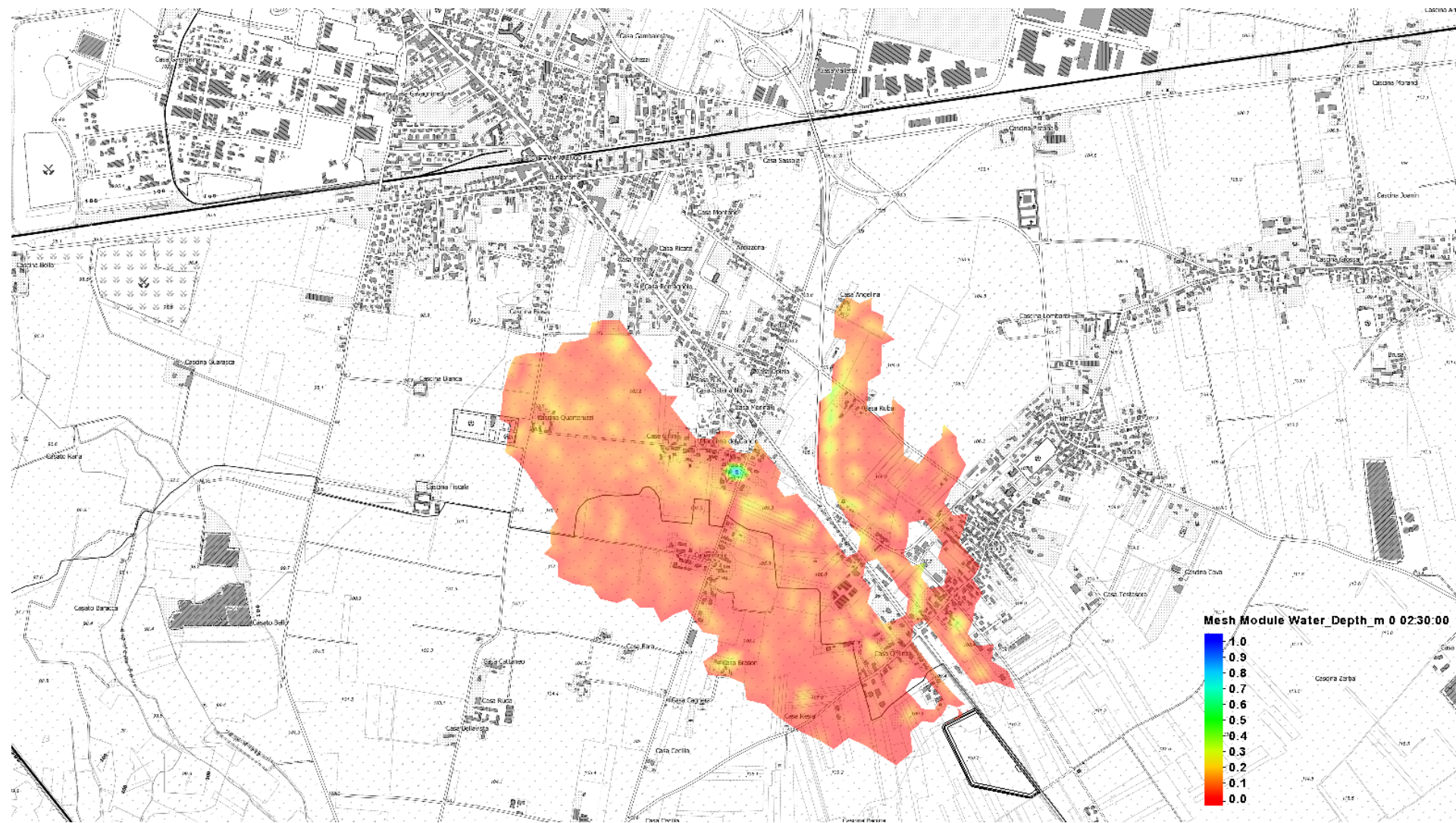


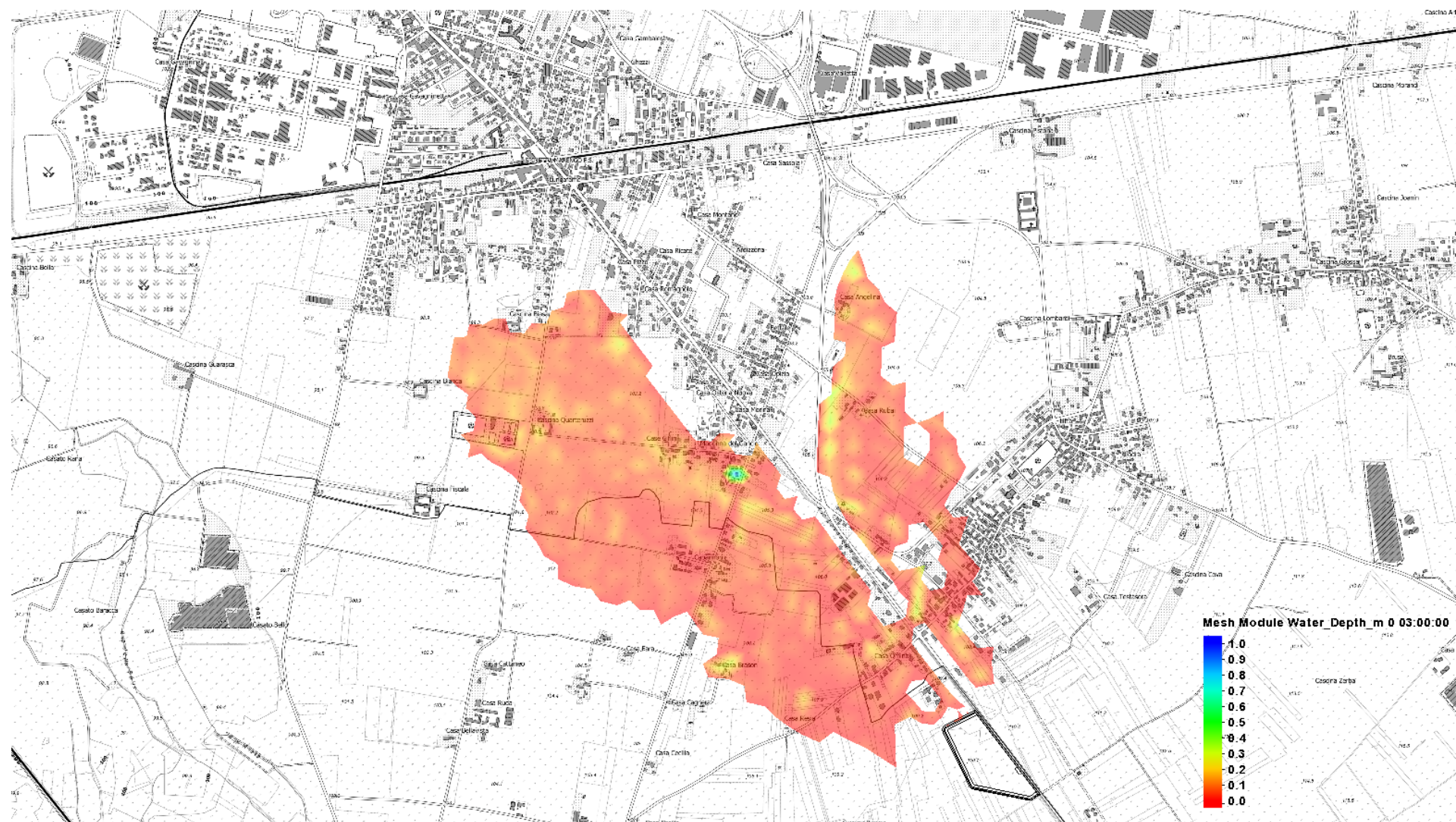
PLANIMETRIA
TIRANTI IDRAULICI (m)
OLTRE I 30 MINUTI - TIMESTEPS 30 MINUTI

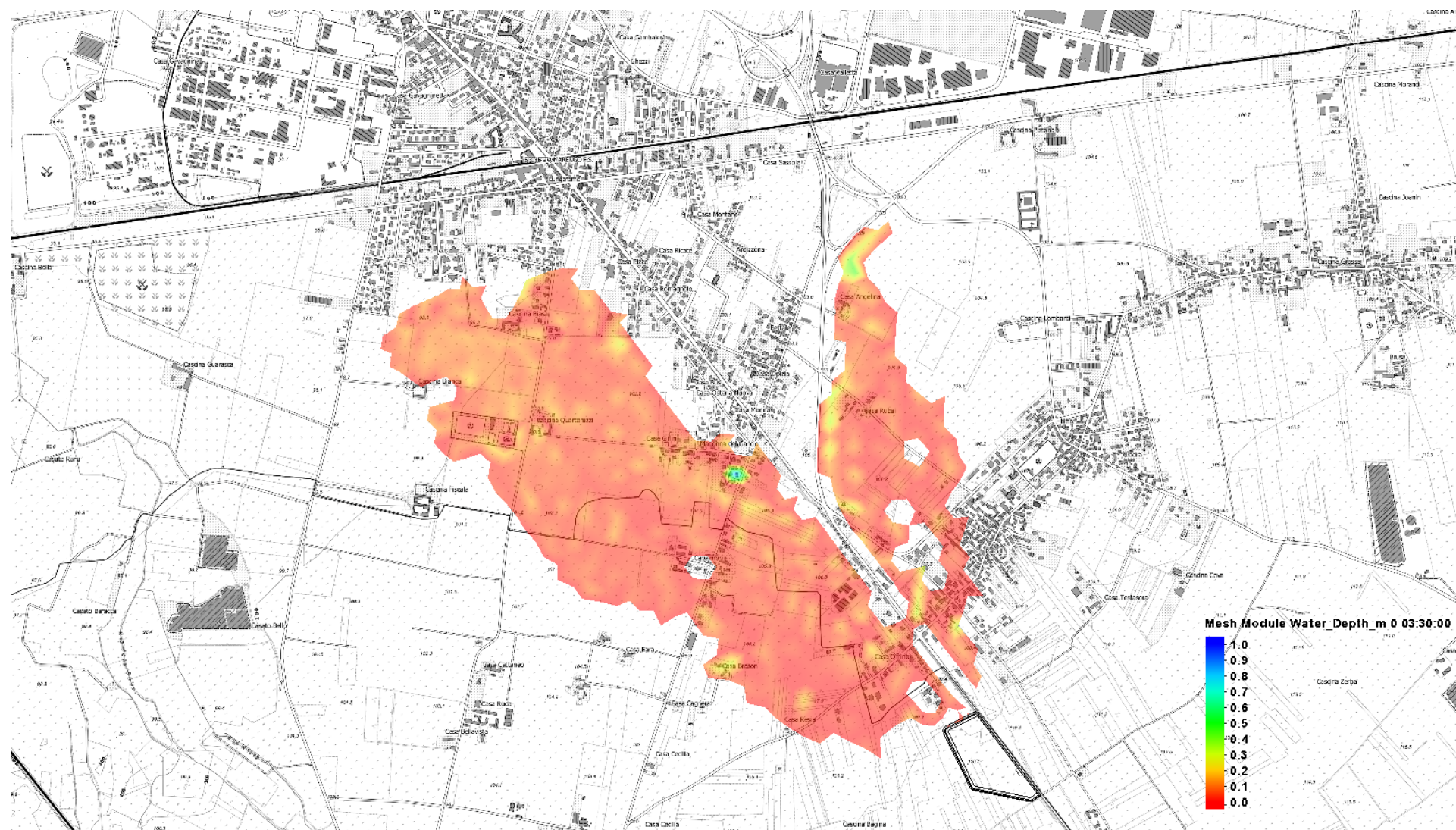


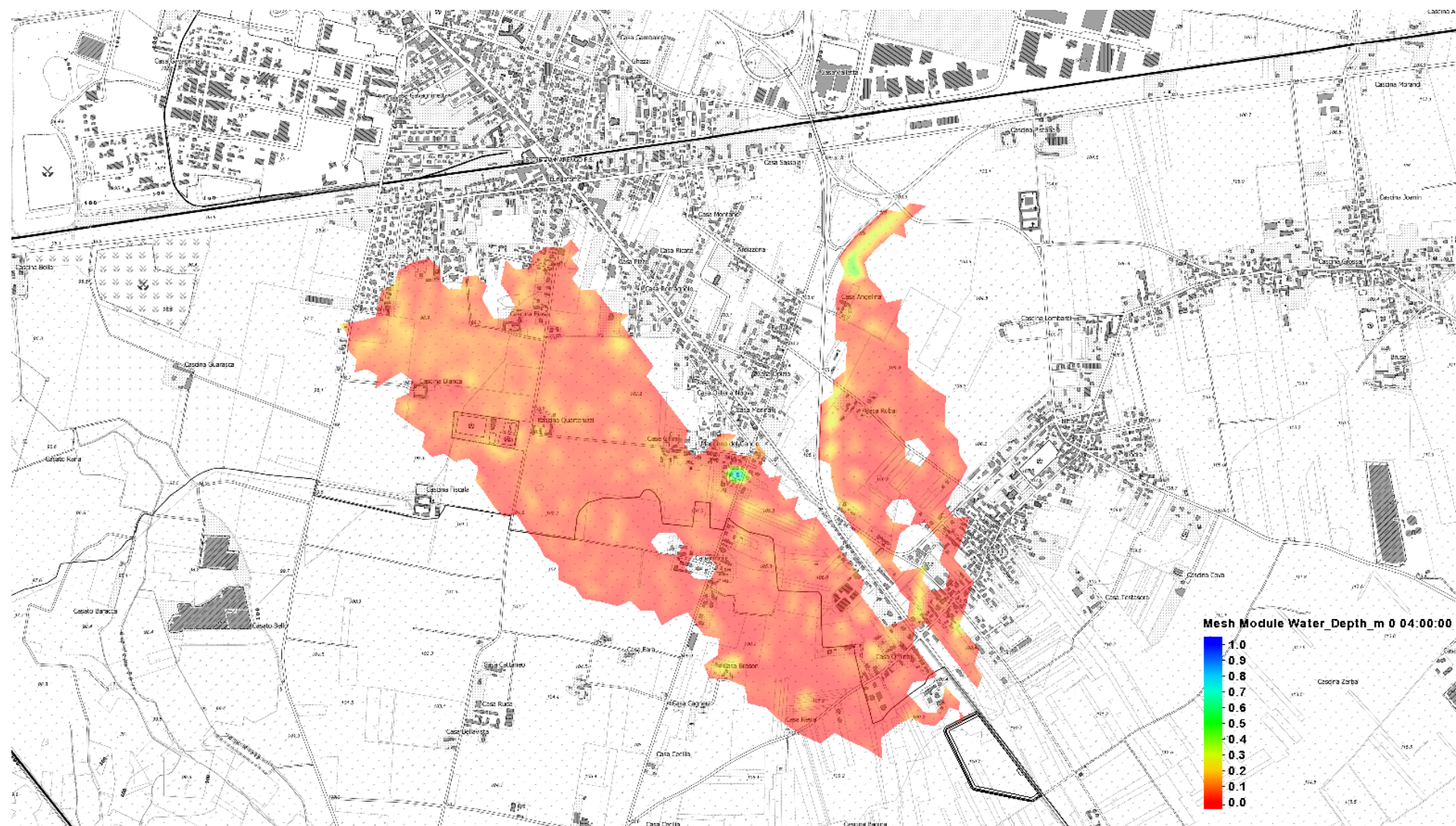


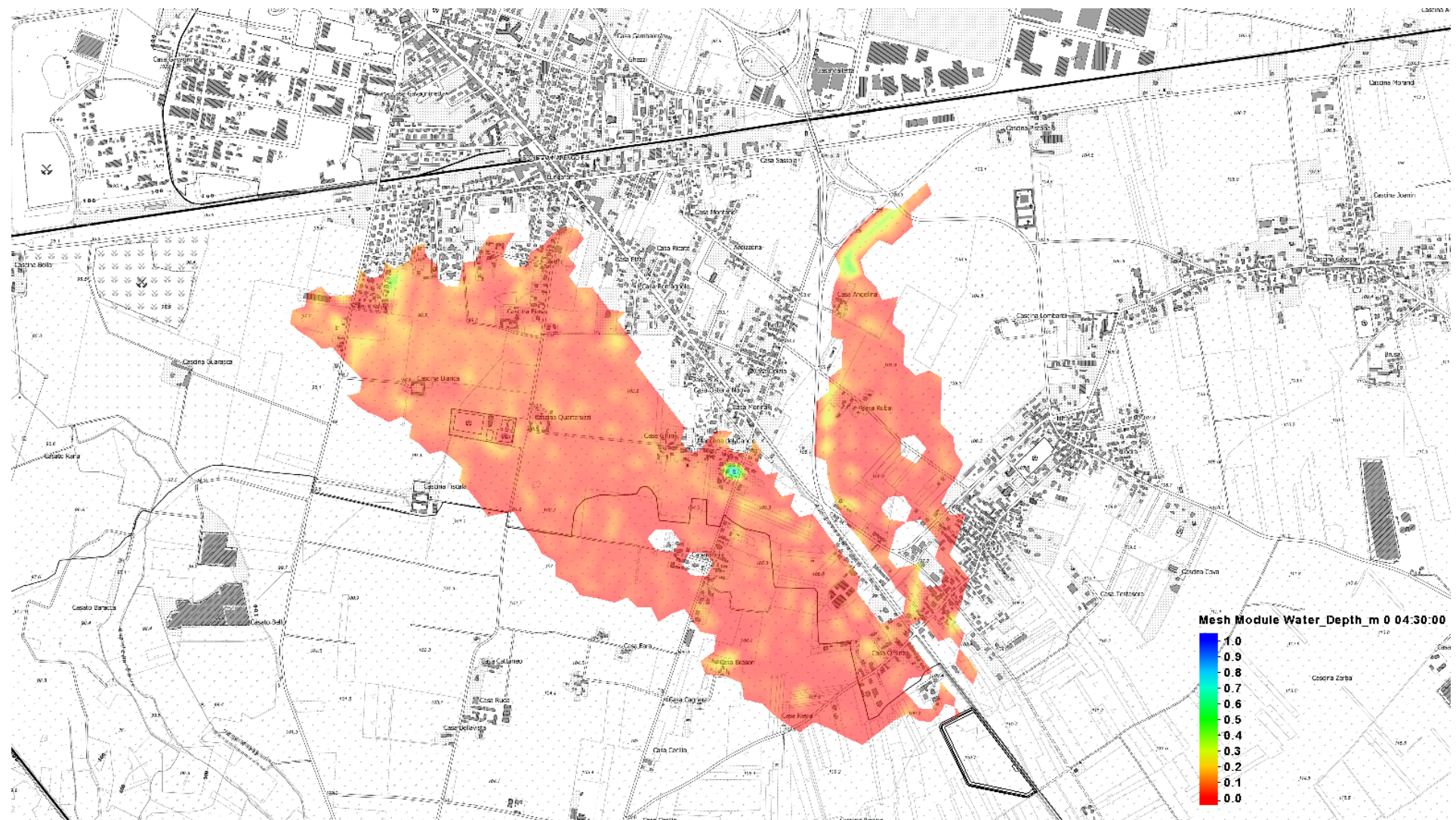


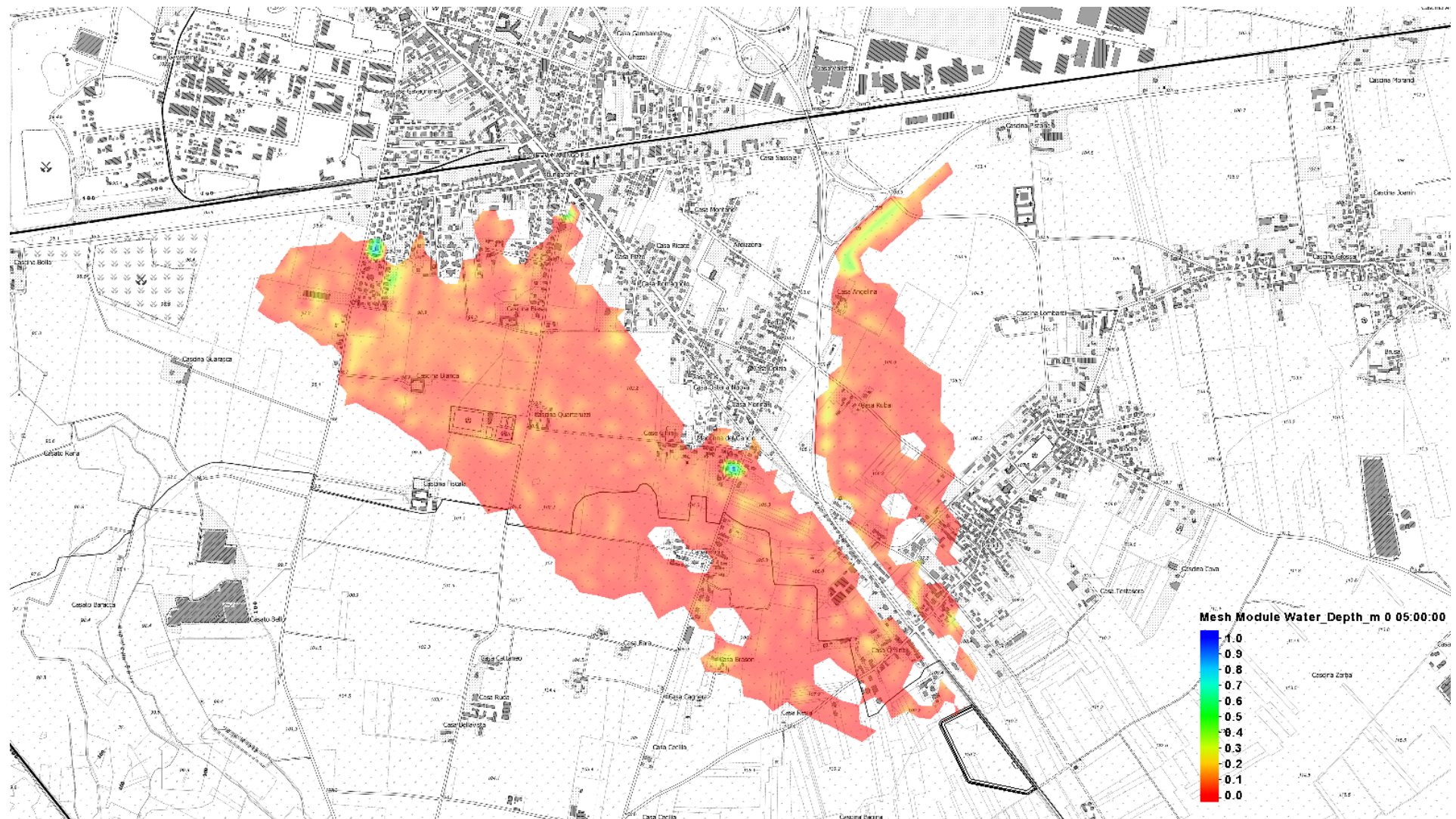


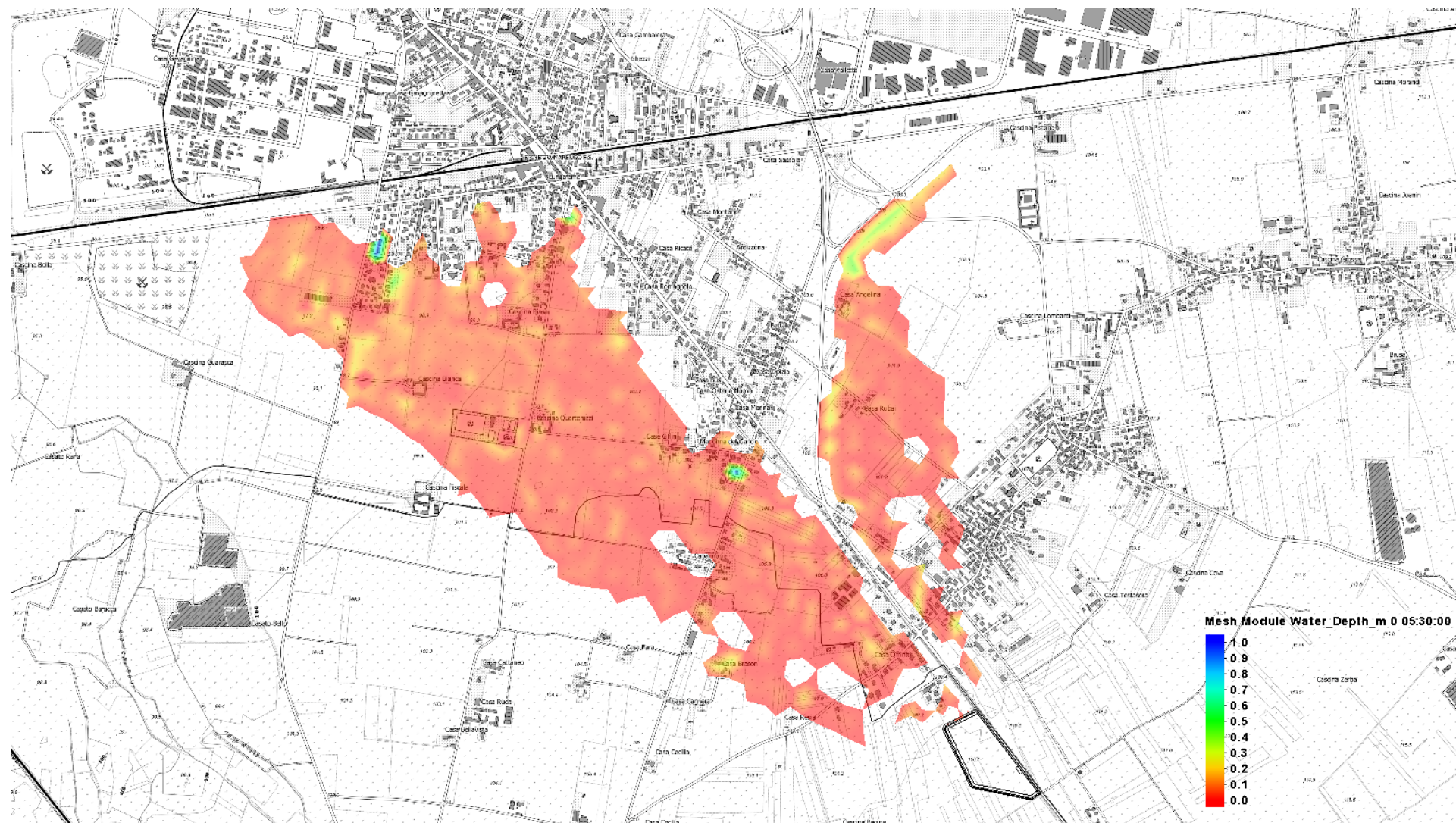


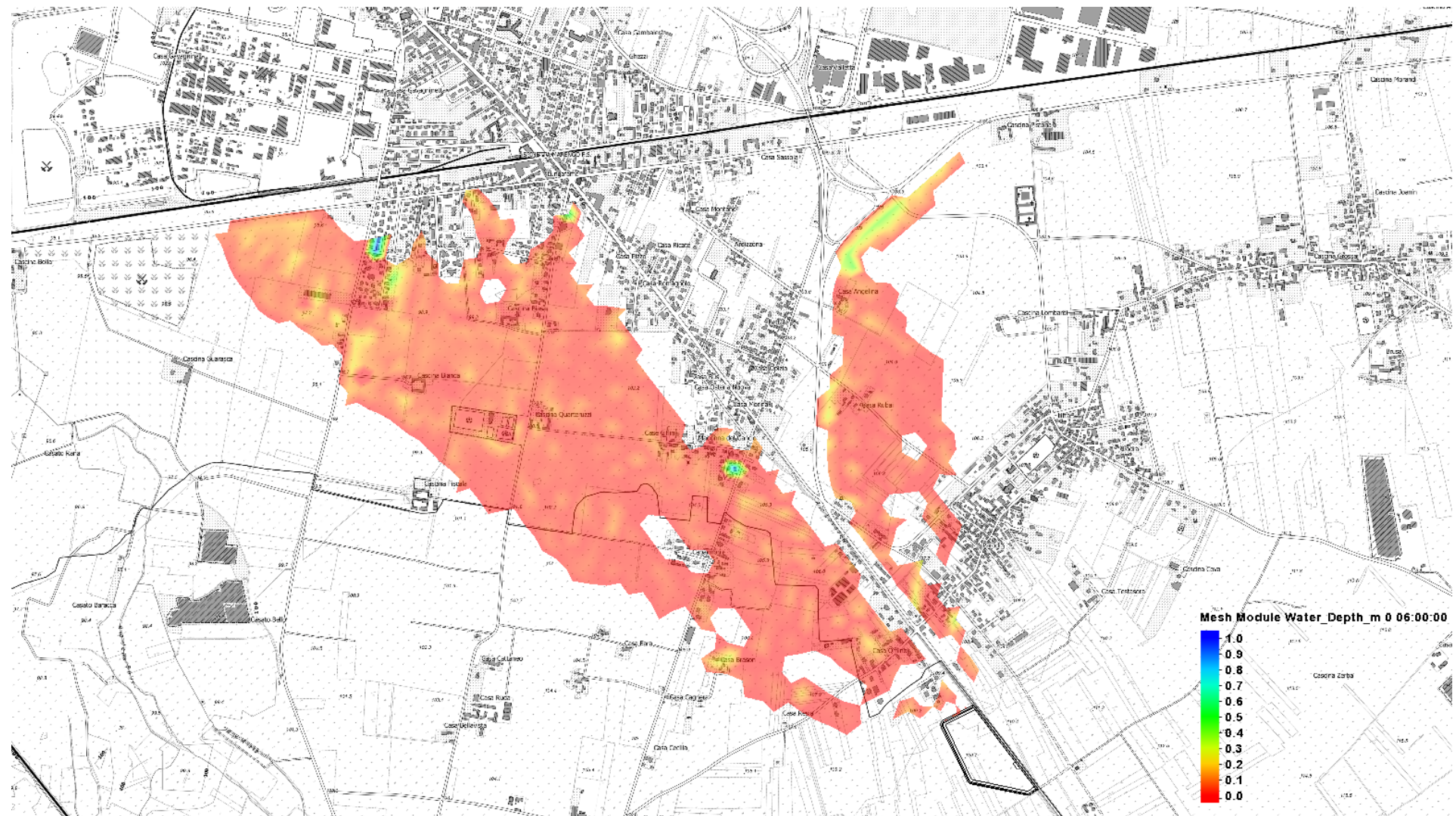


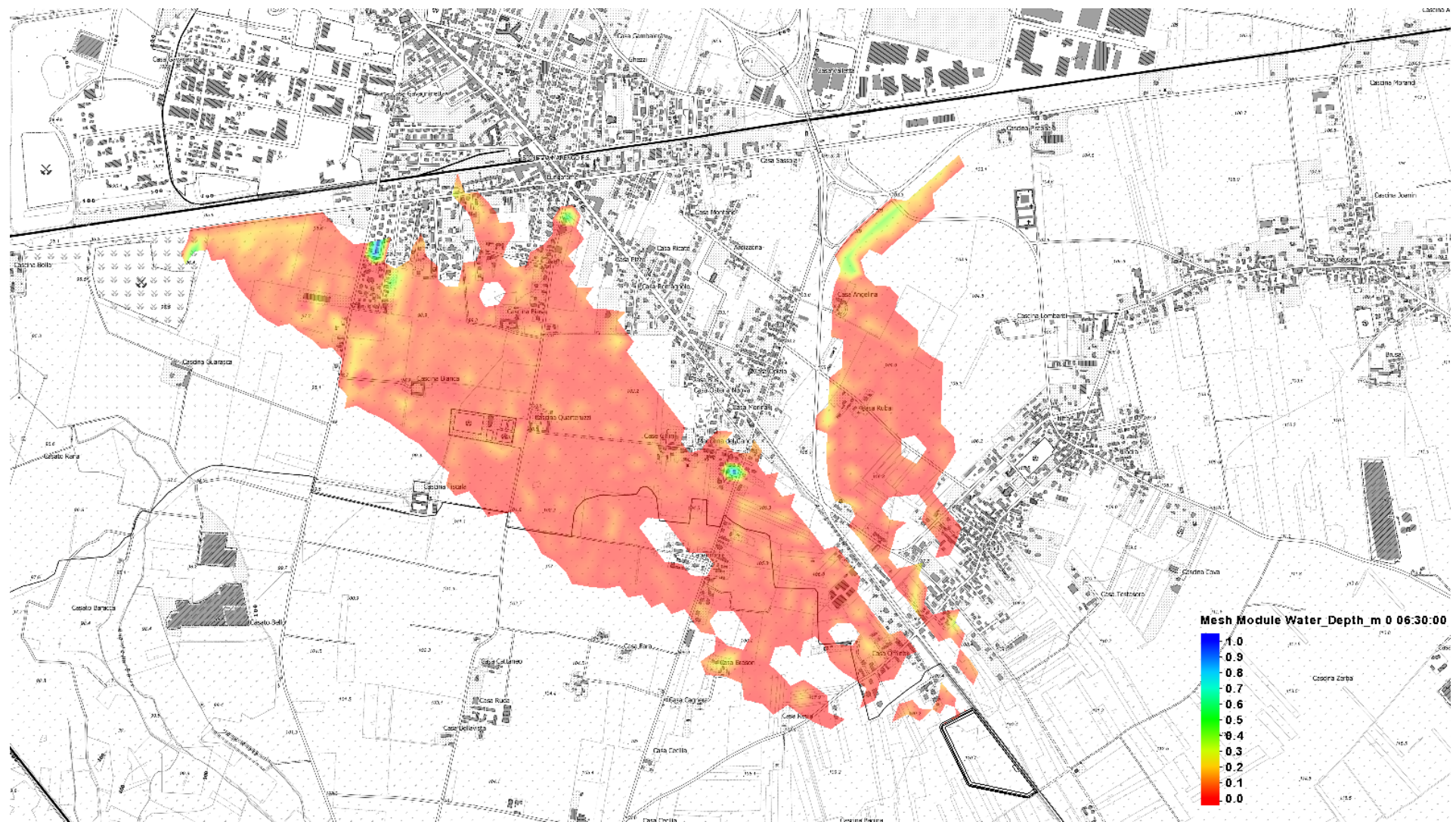


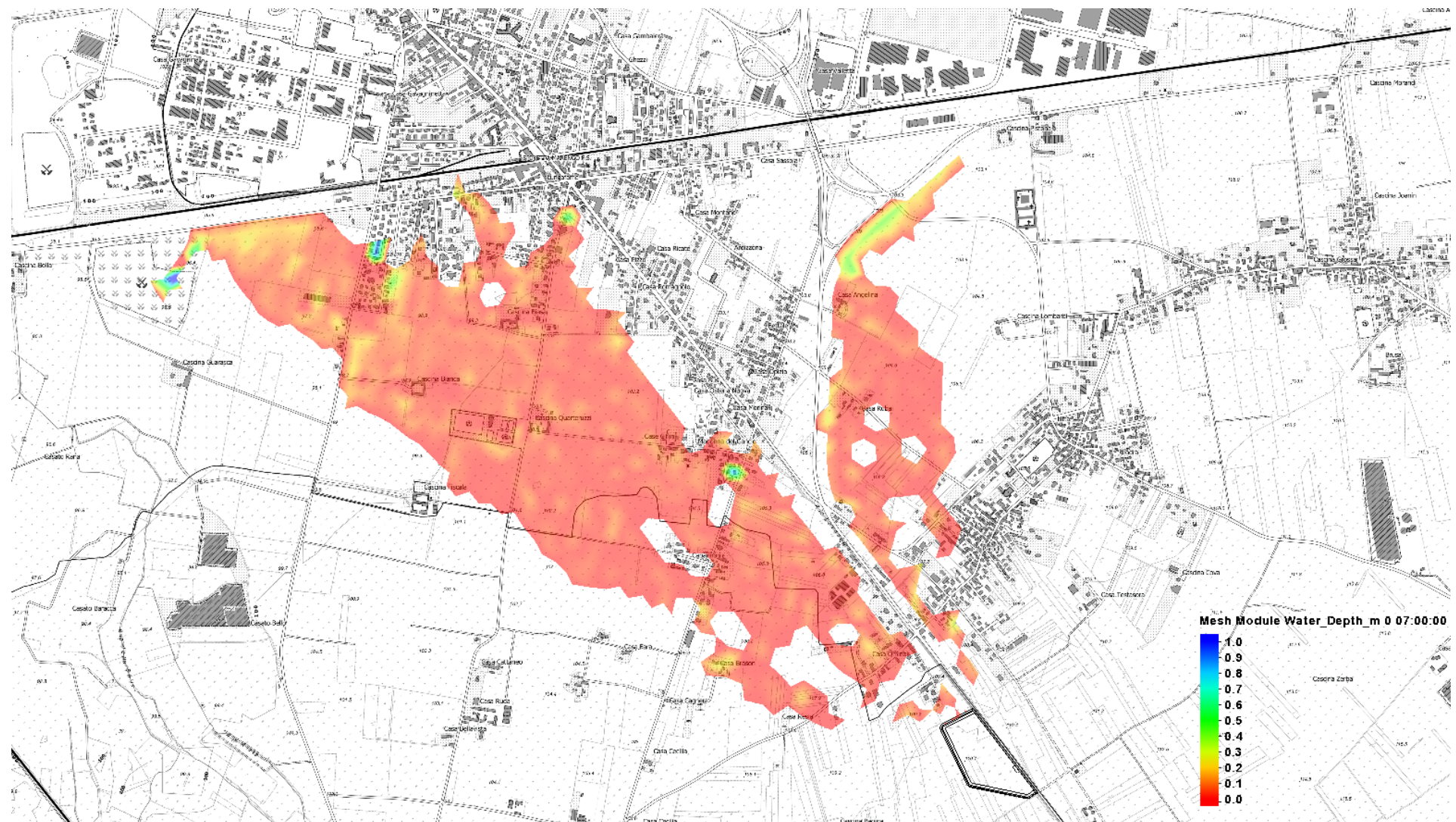


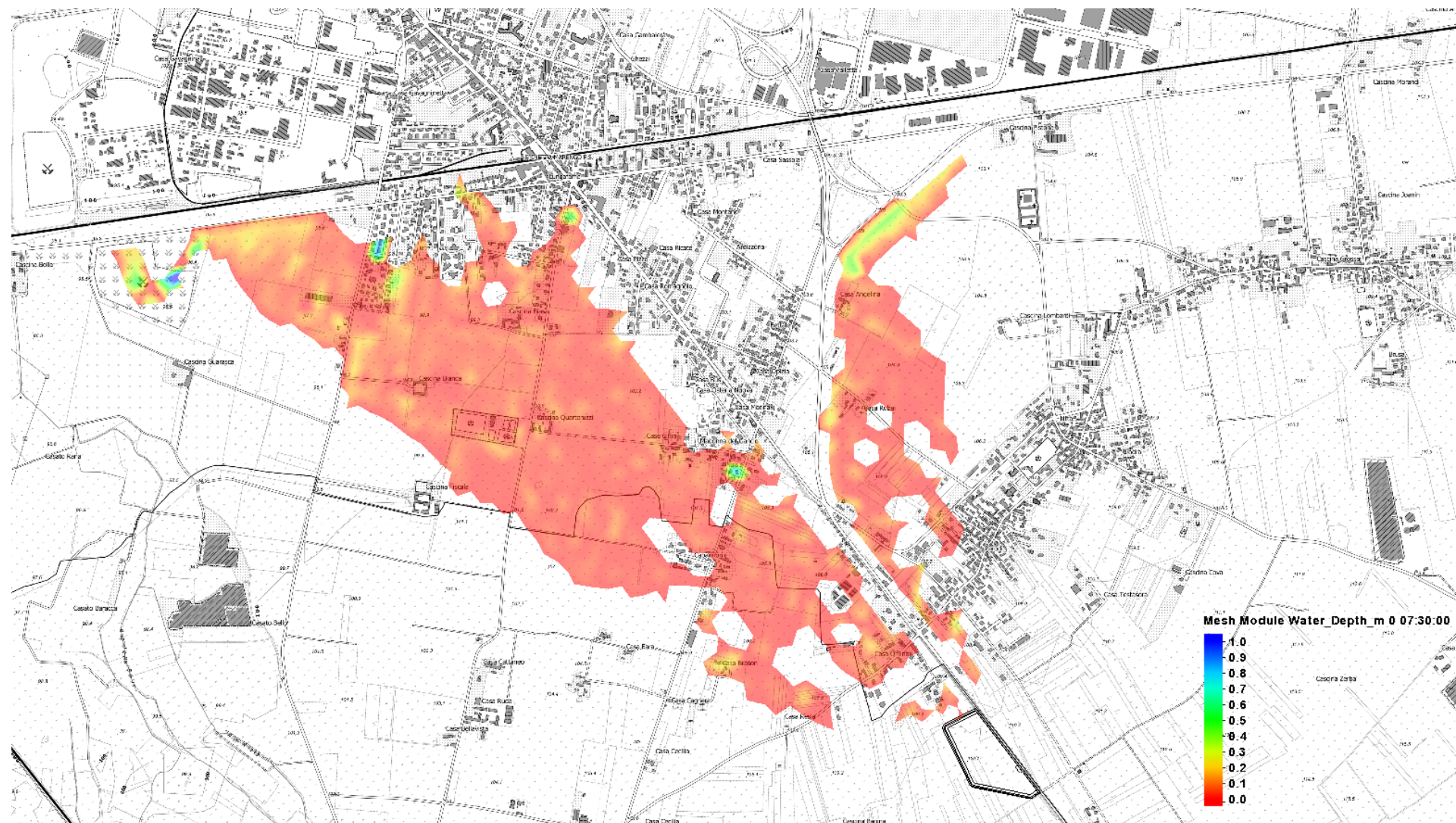


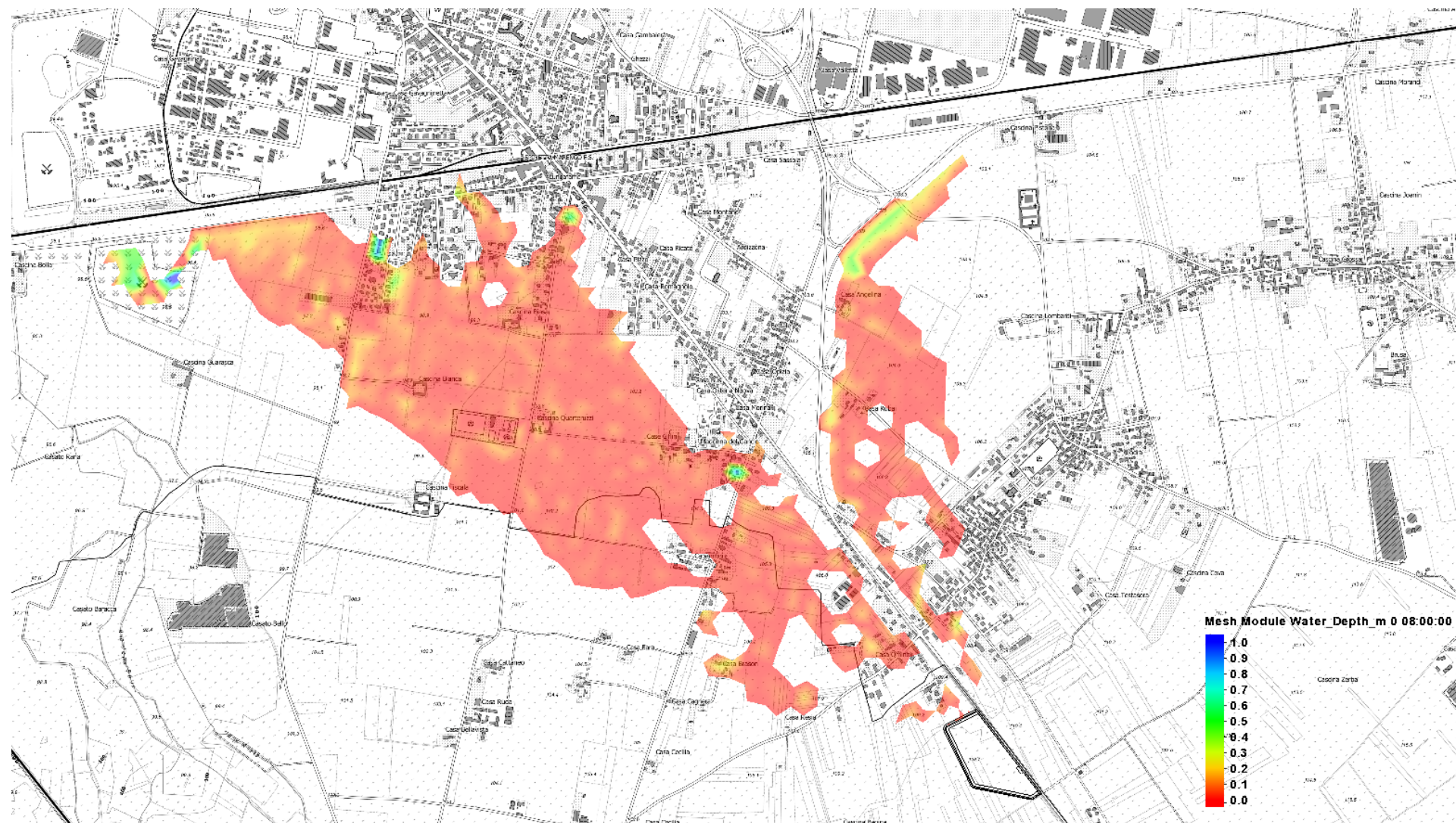








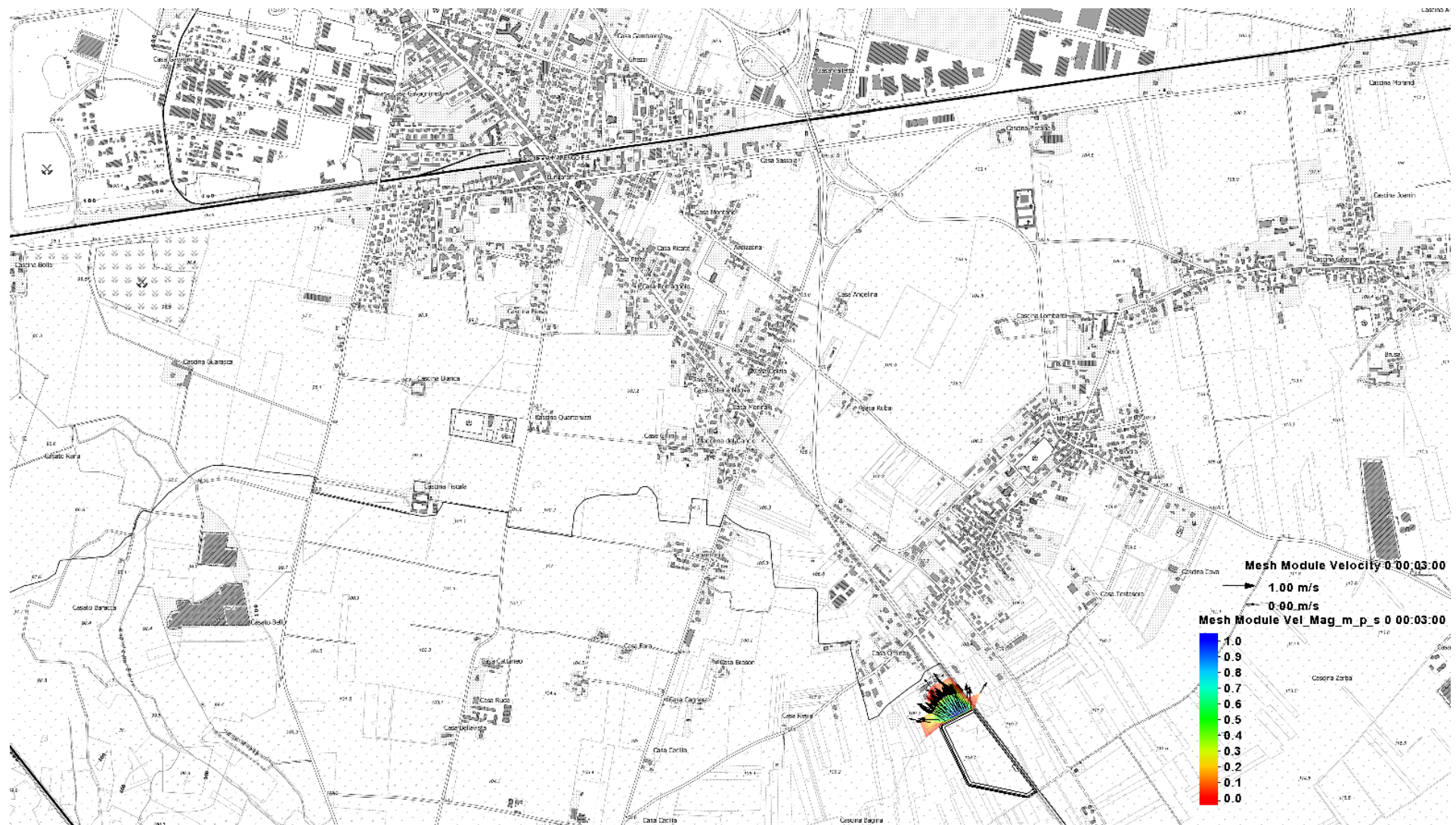


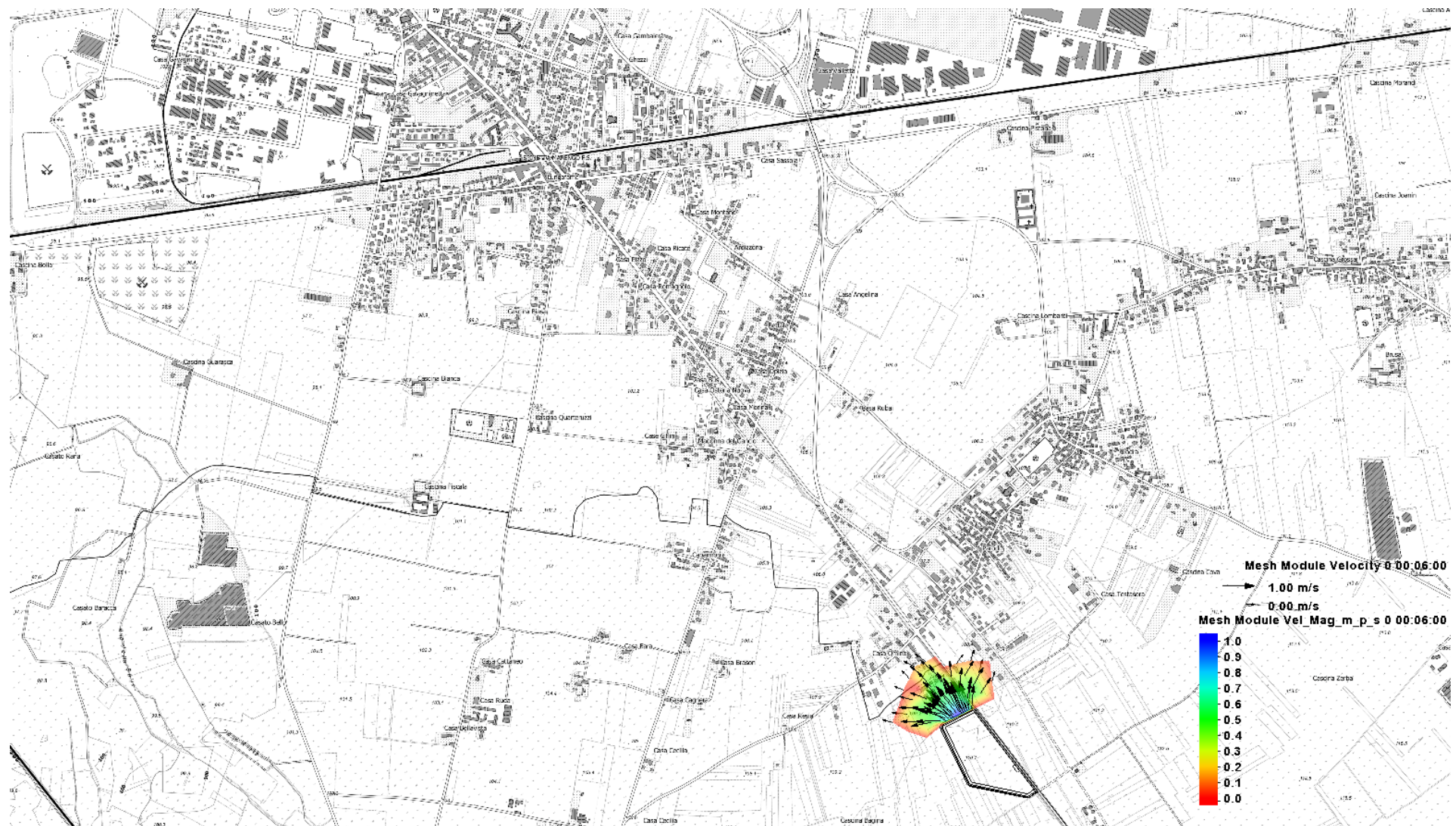


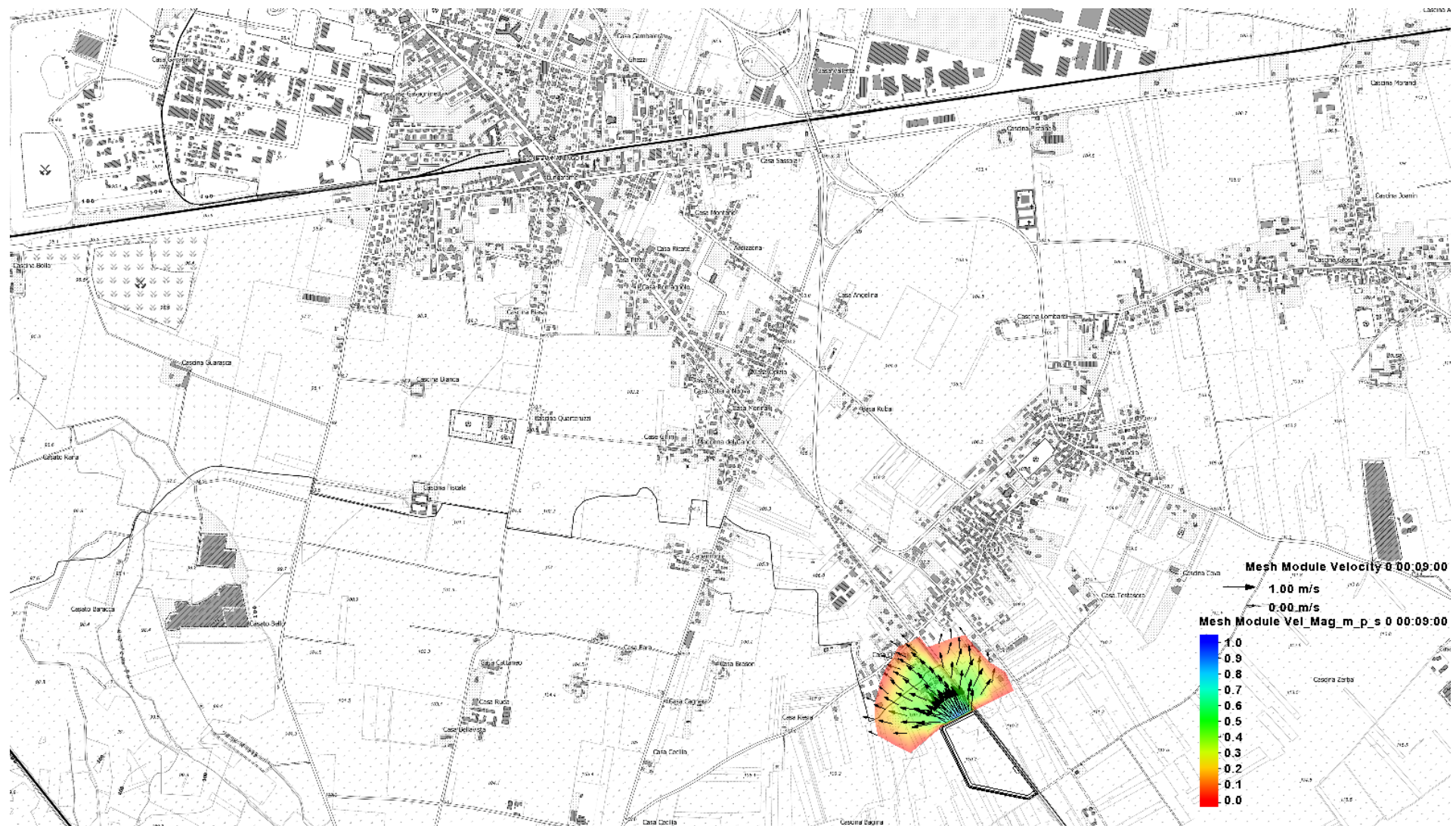
PLANIMETRIA

VELOCITA' (m/s)

PRIMI 30 MINUTI - TIMESTEPS 3 MINUTI

















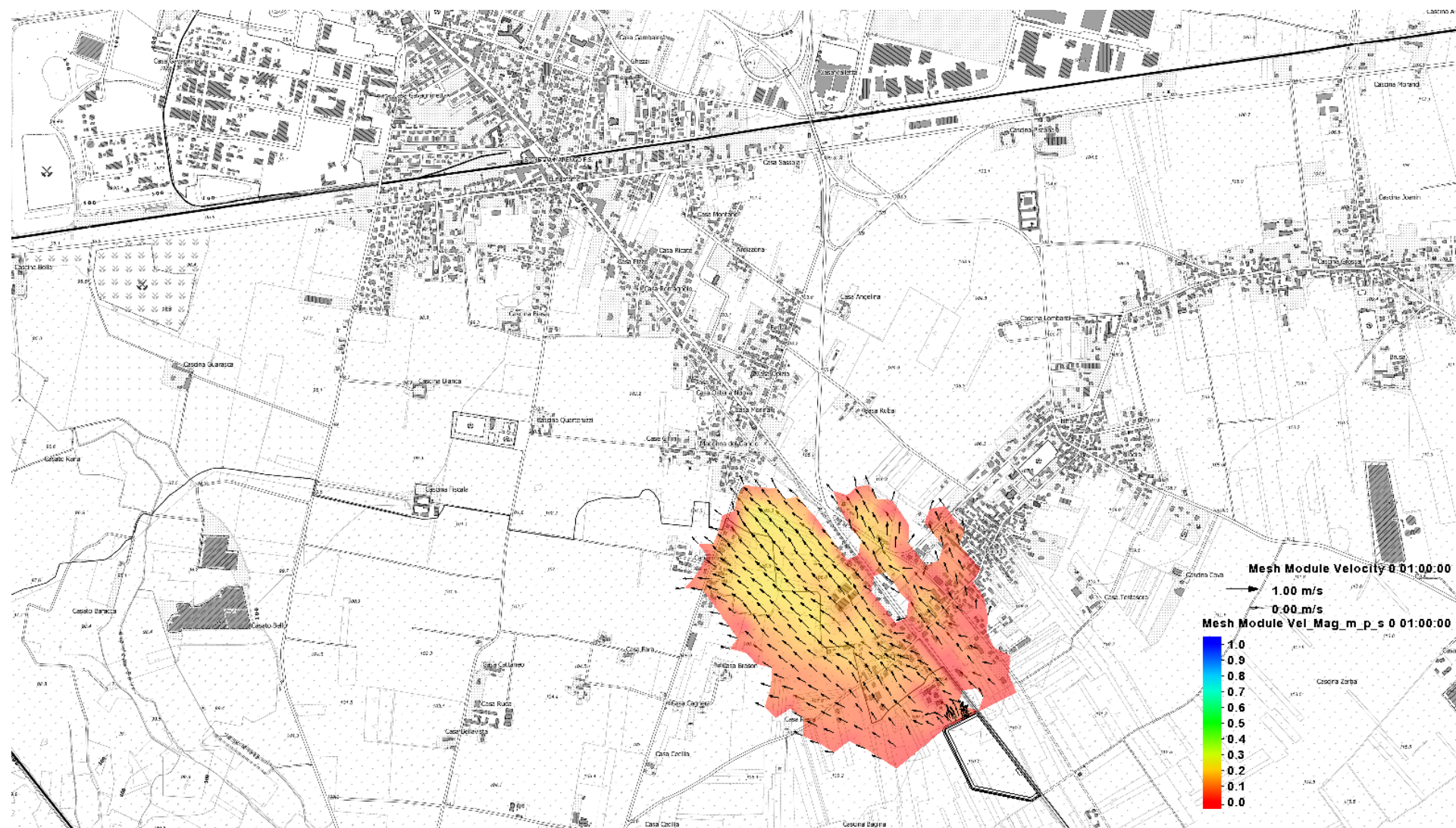


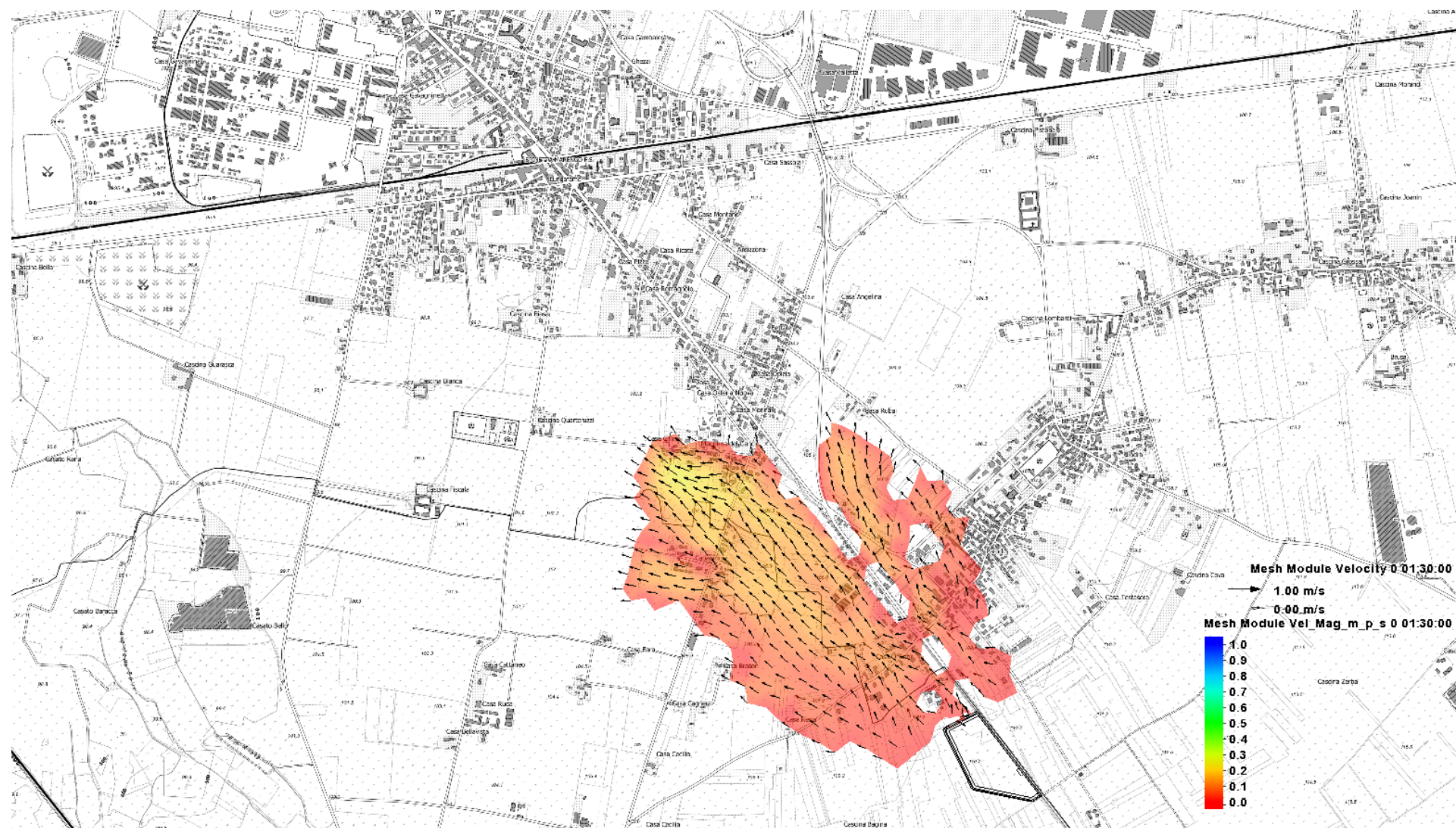


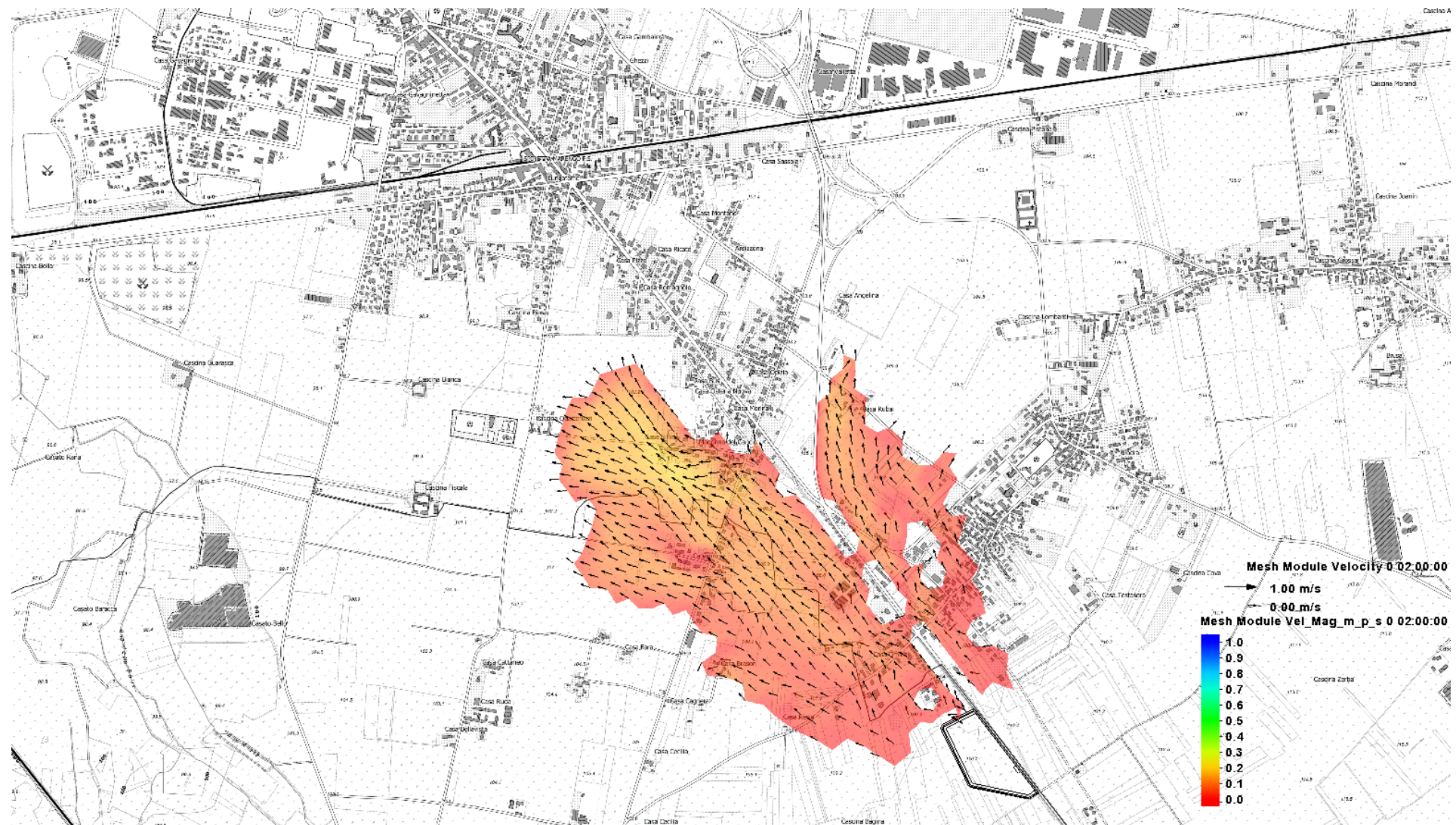
PLANIMETRIA

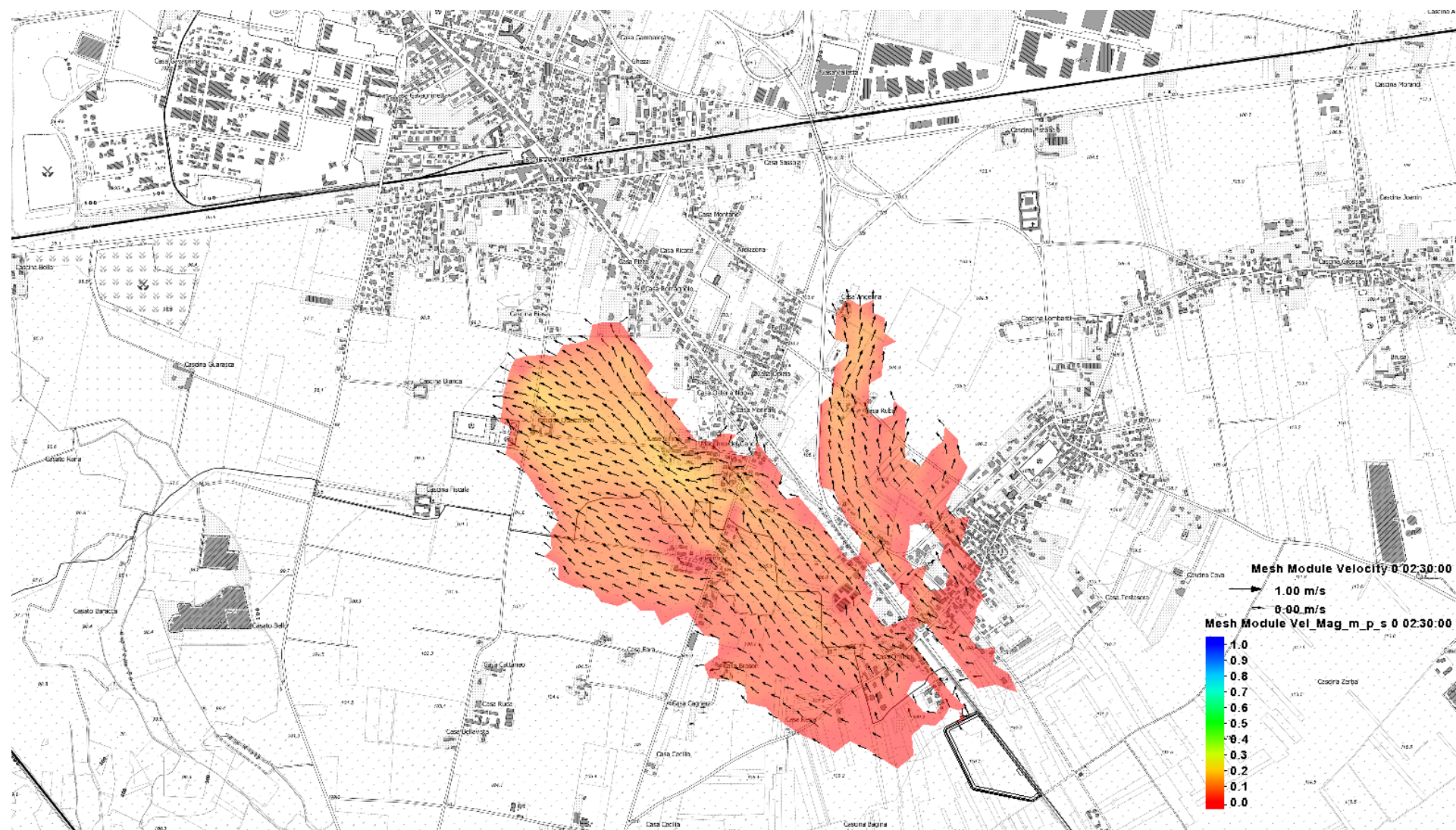
VELOCITA' (m/s)

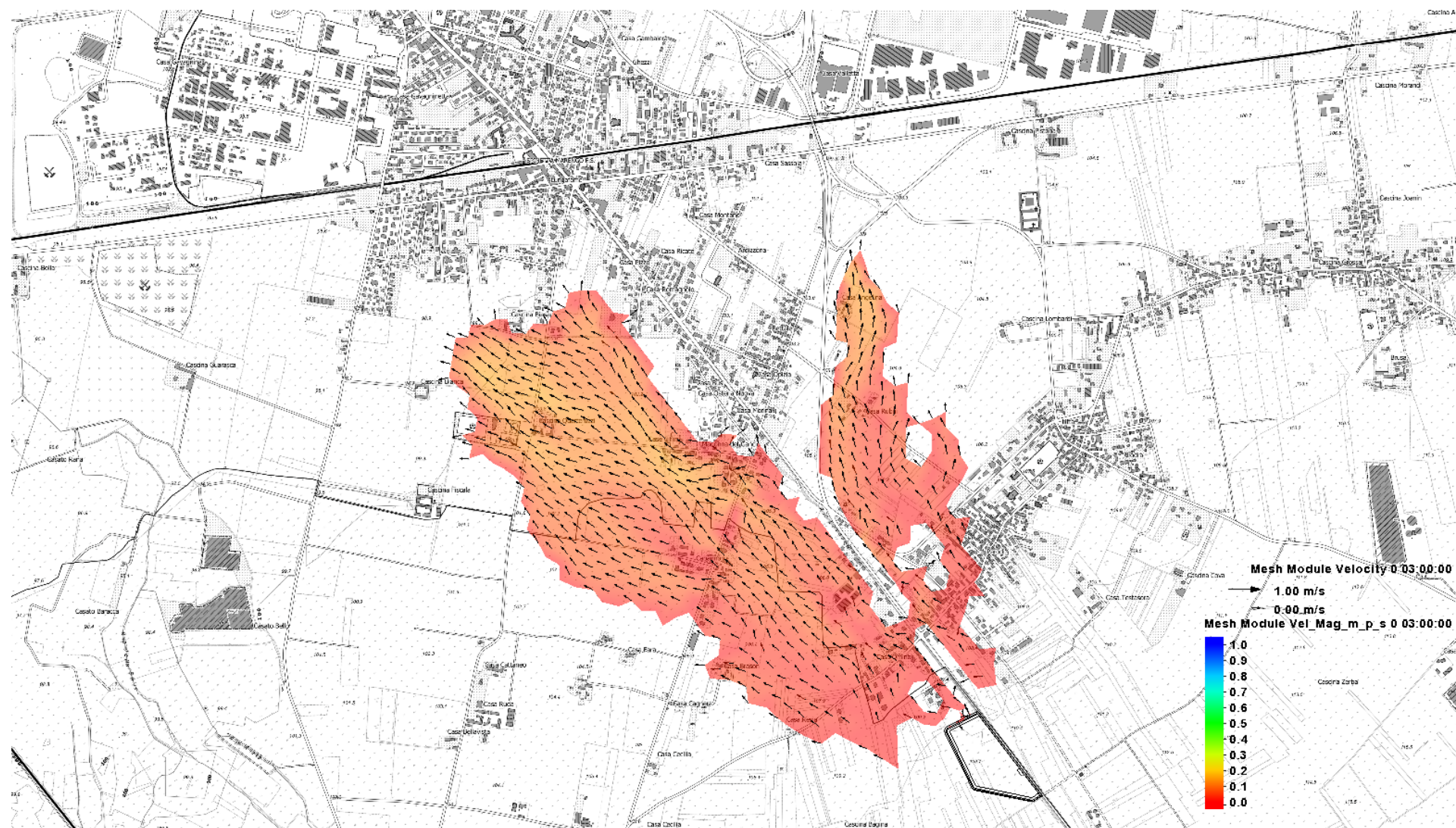
OLTRE I 30 MINUTI - TIMESTEPS 30 MINUTI

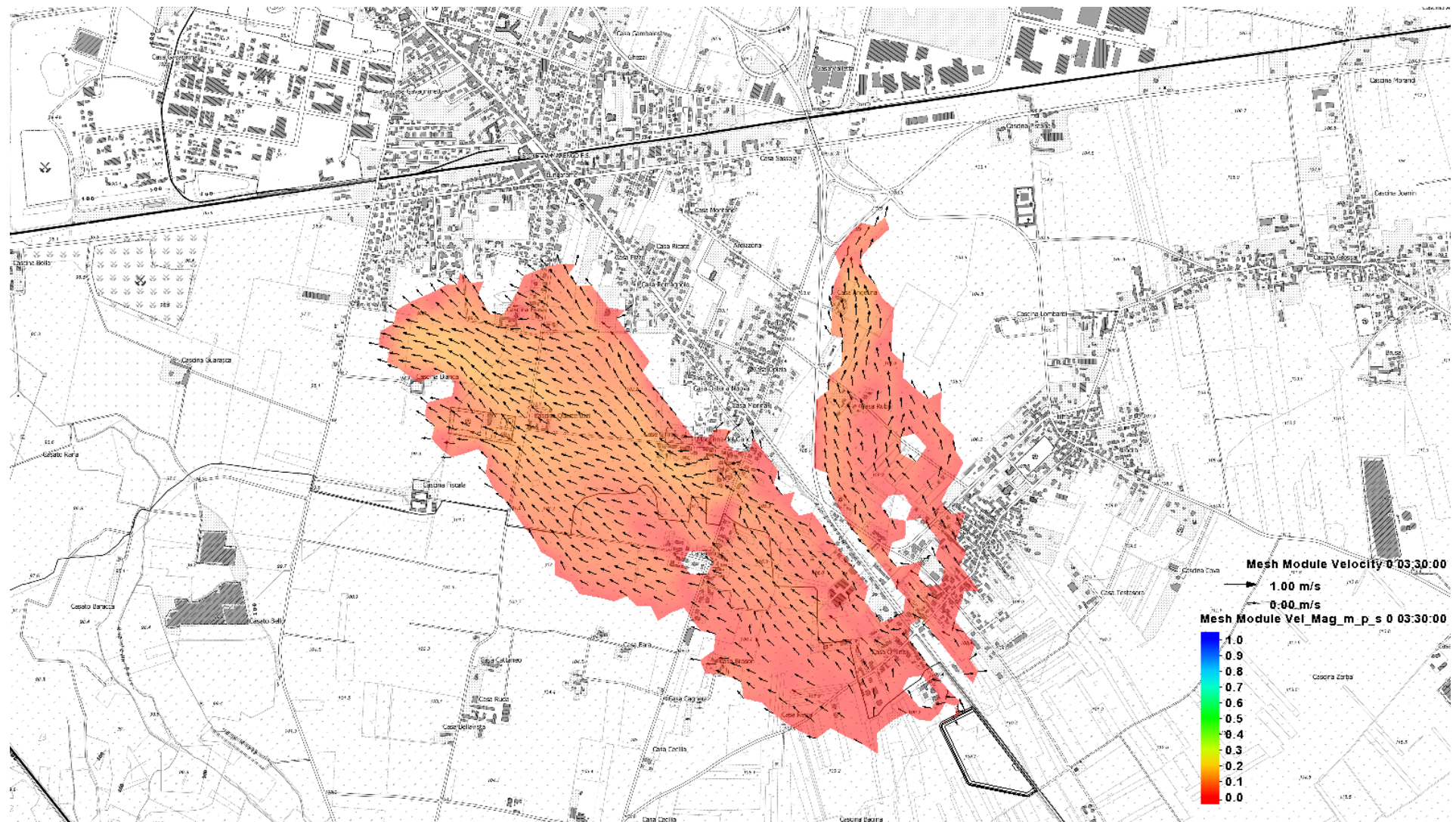


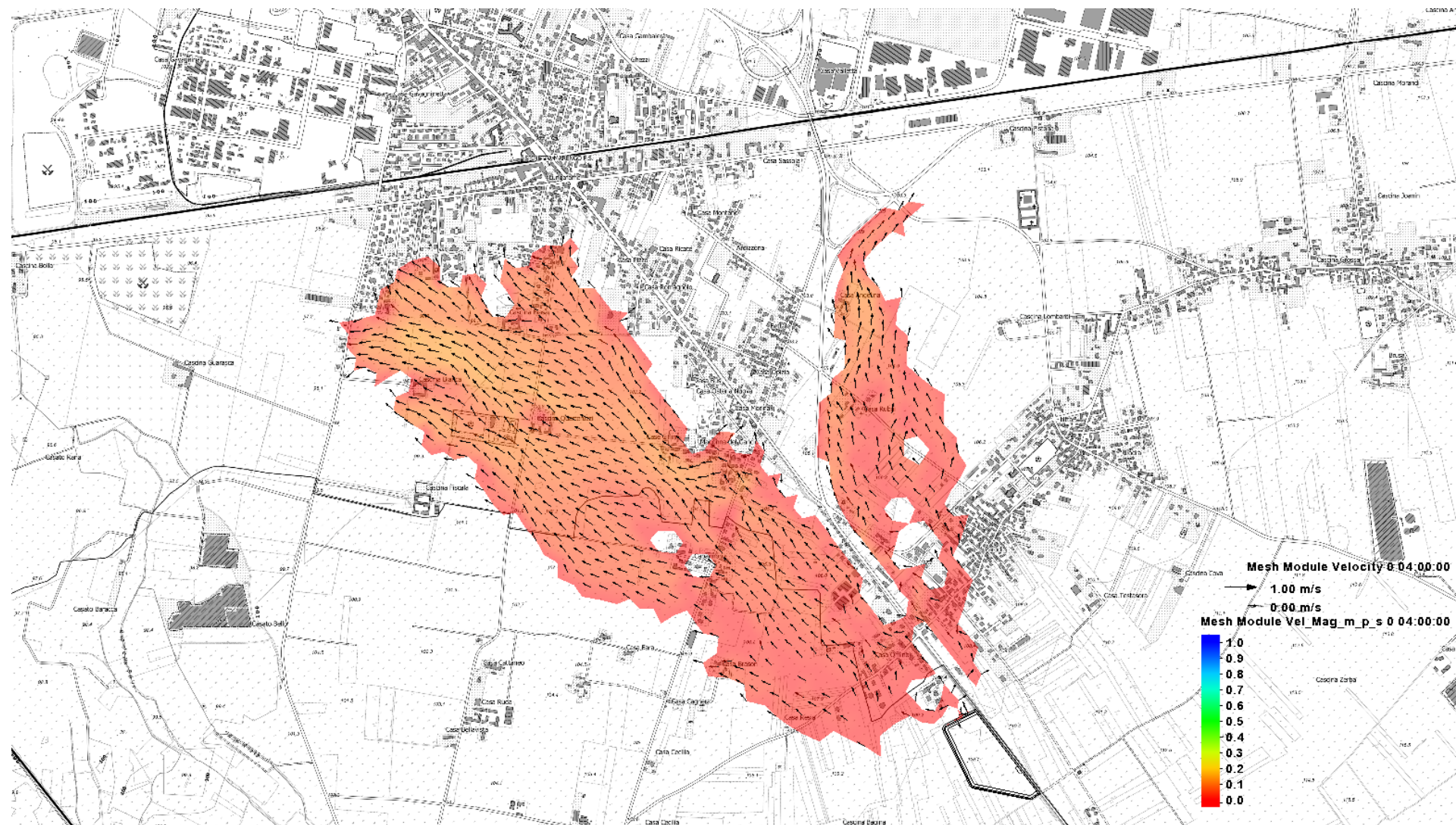


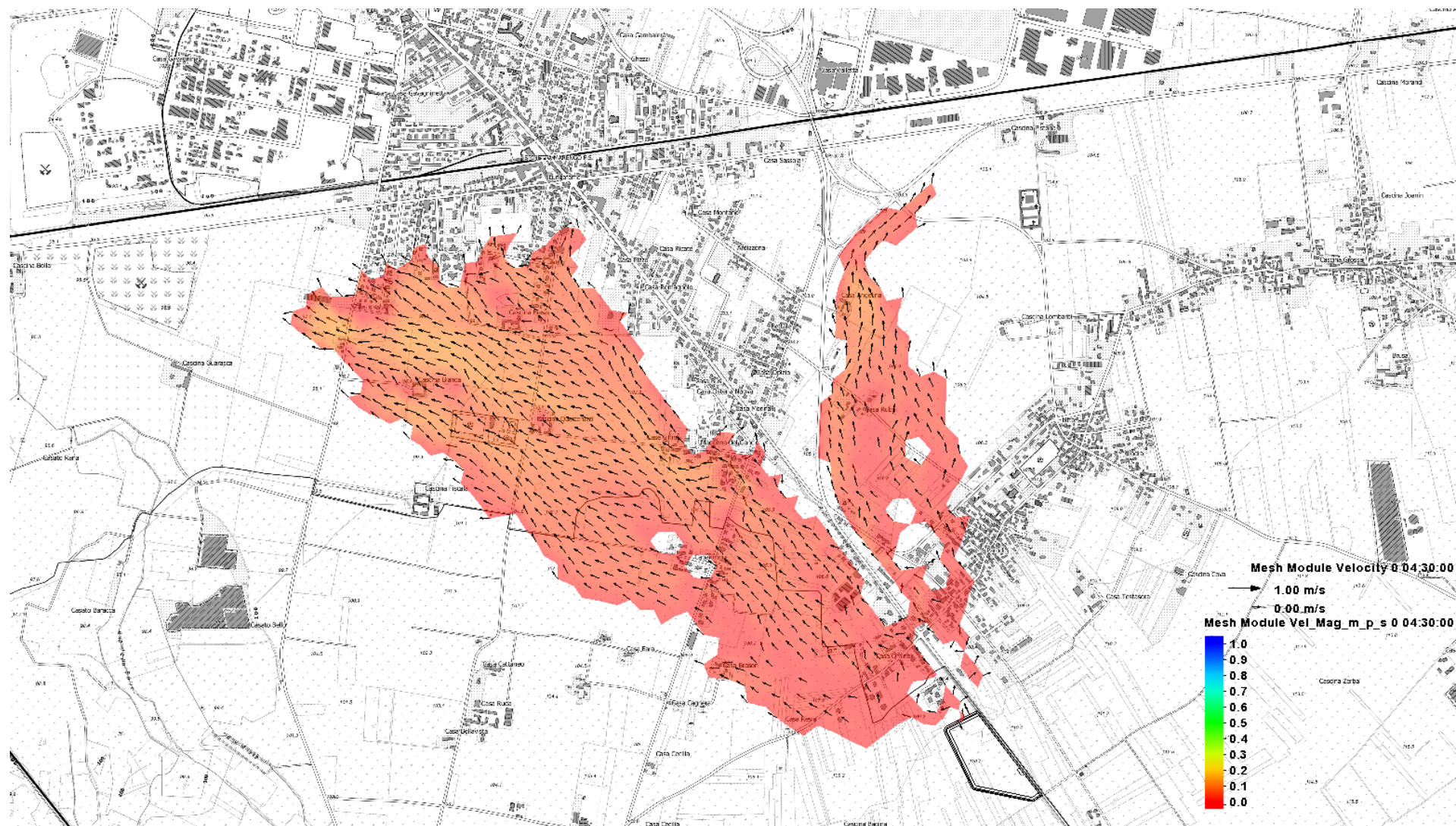


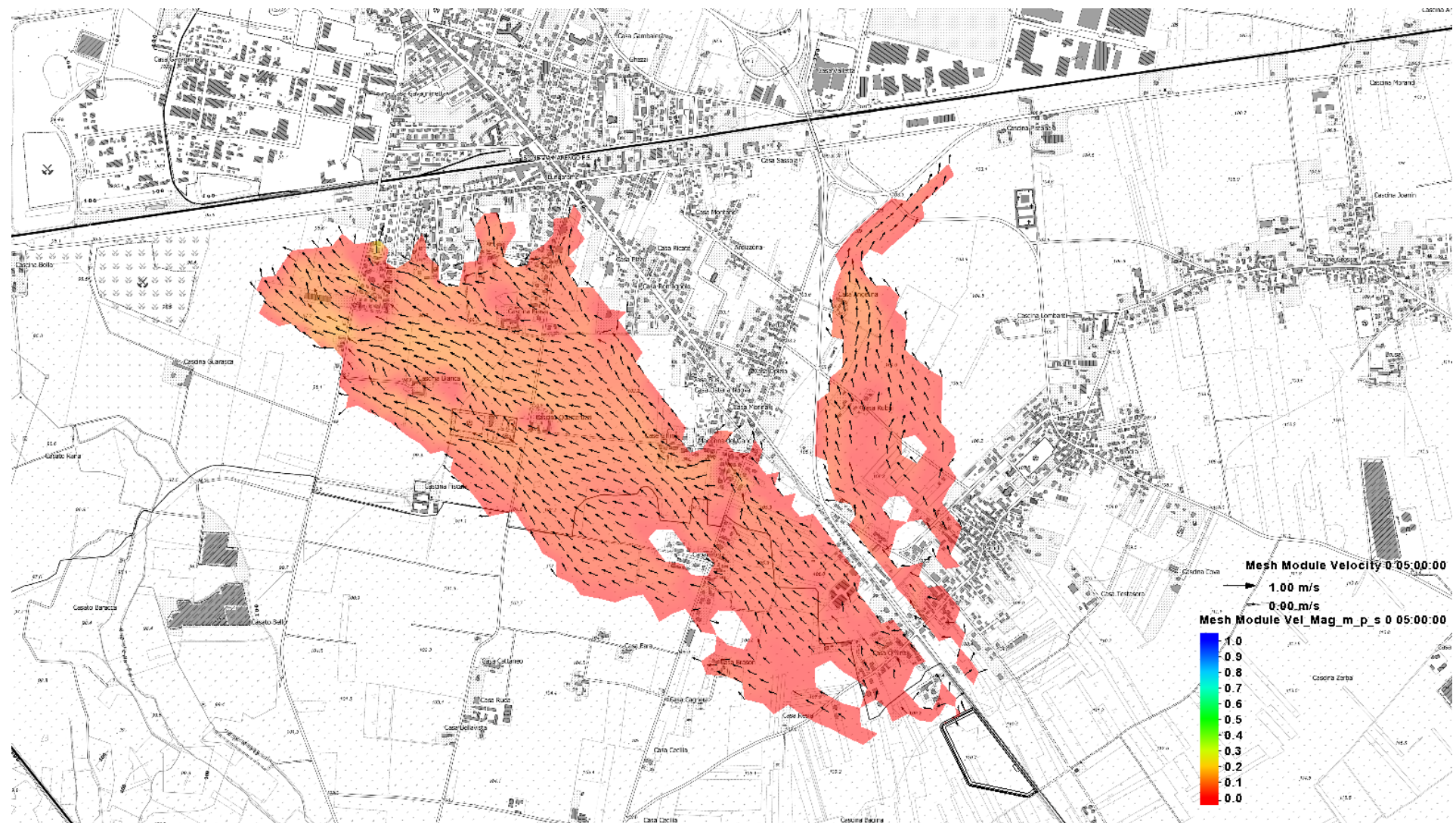


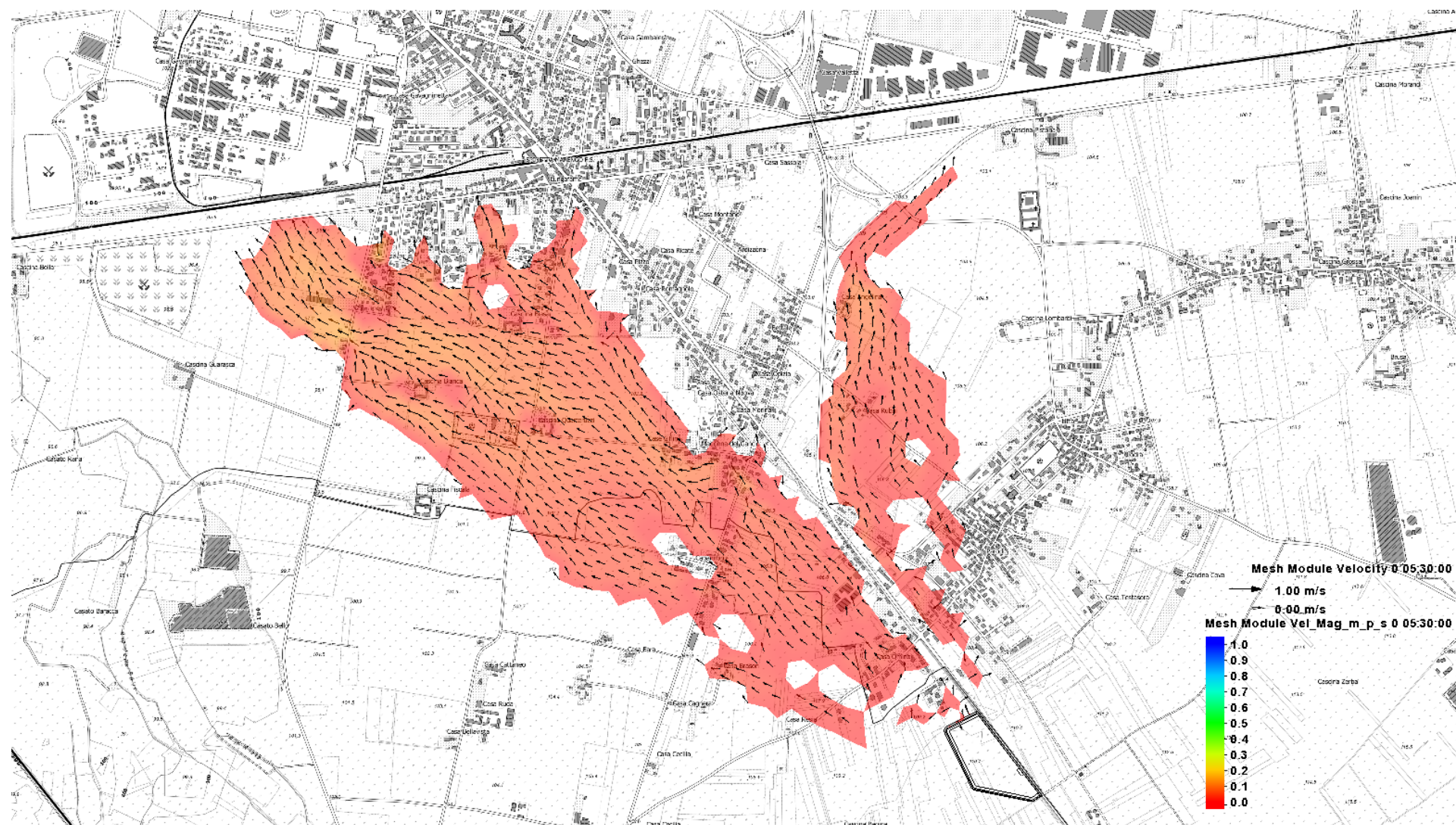


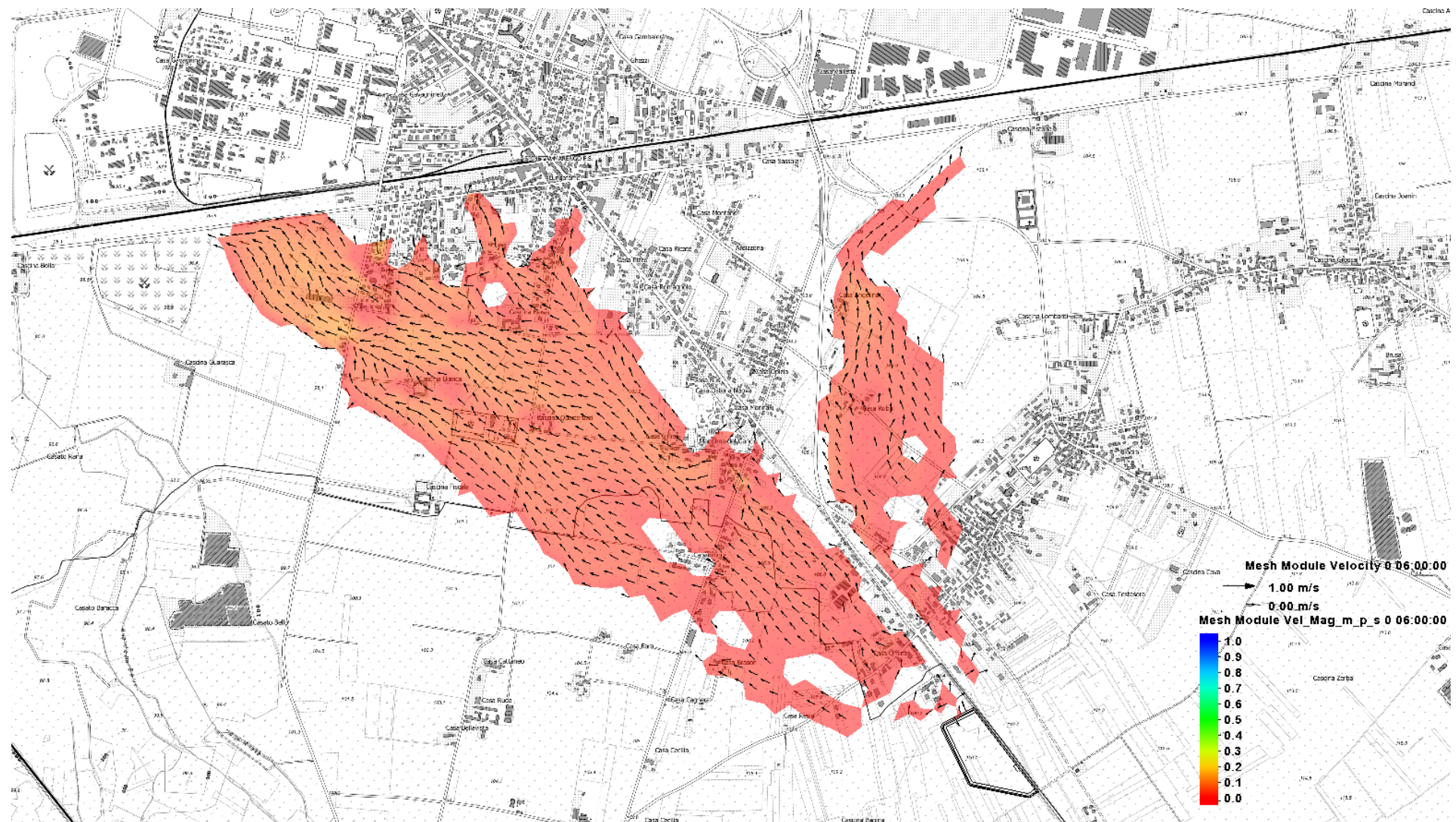


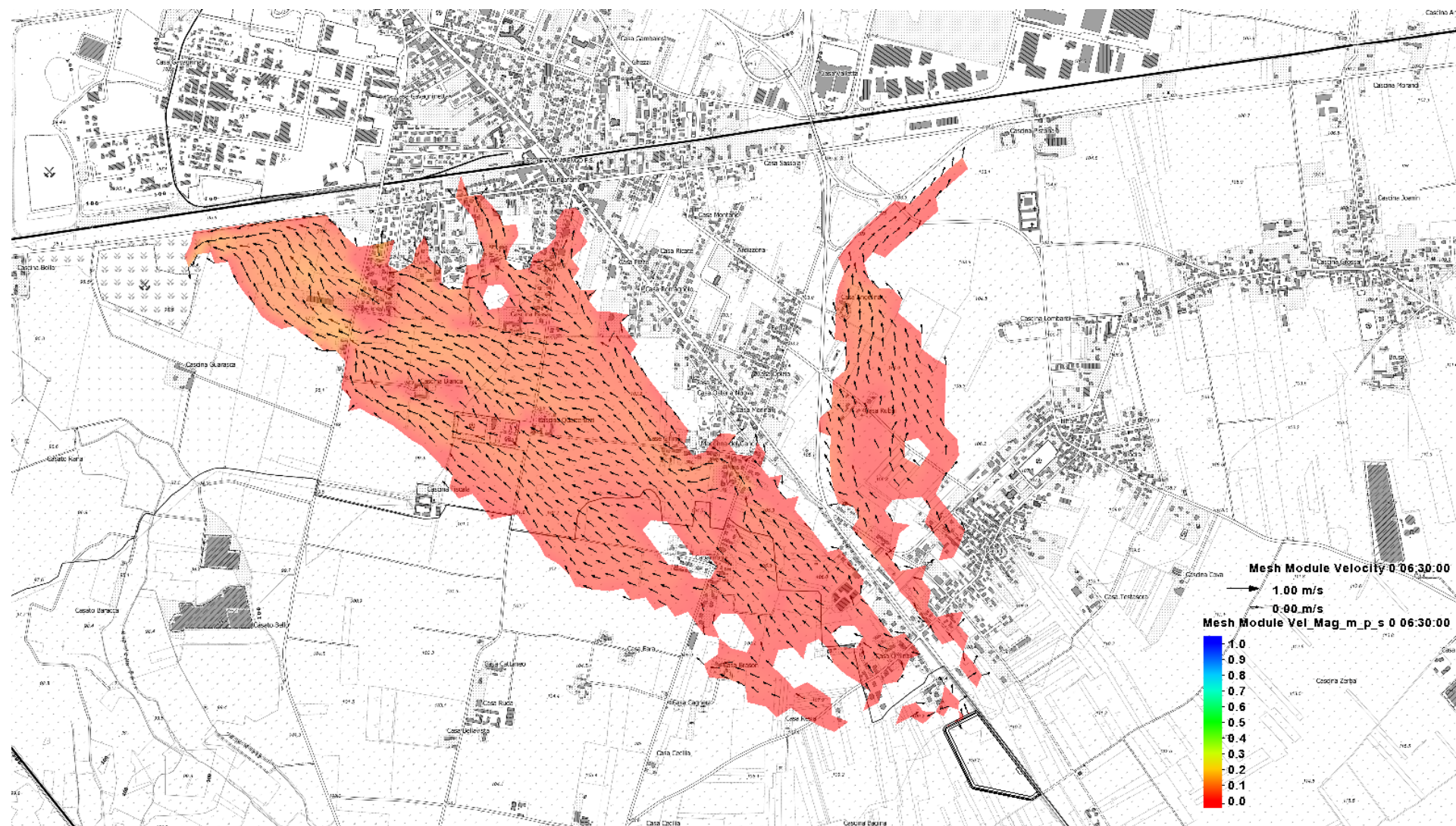


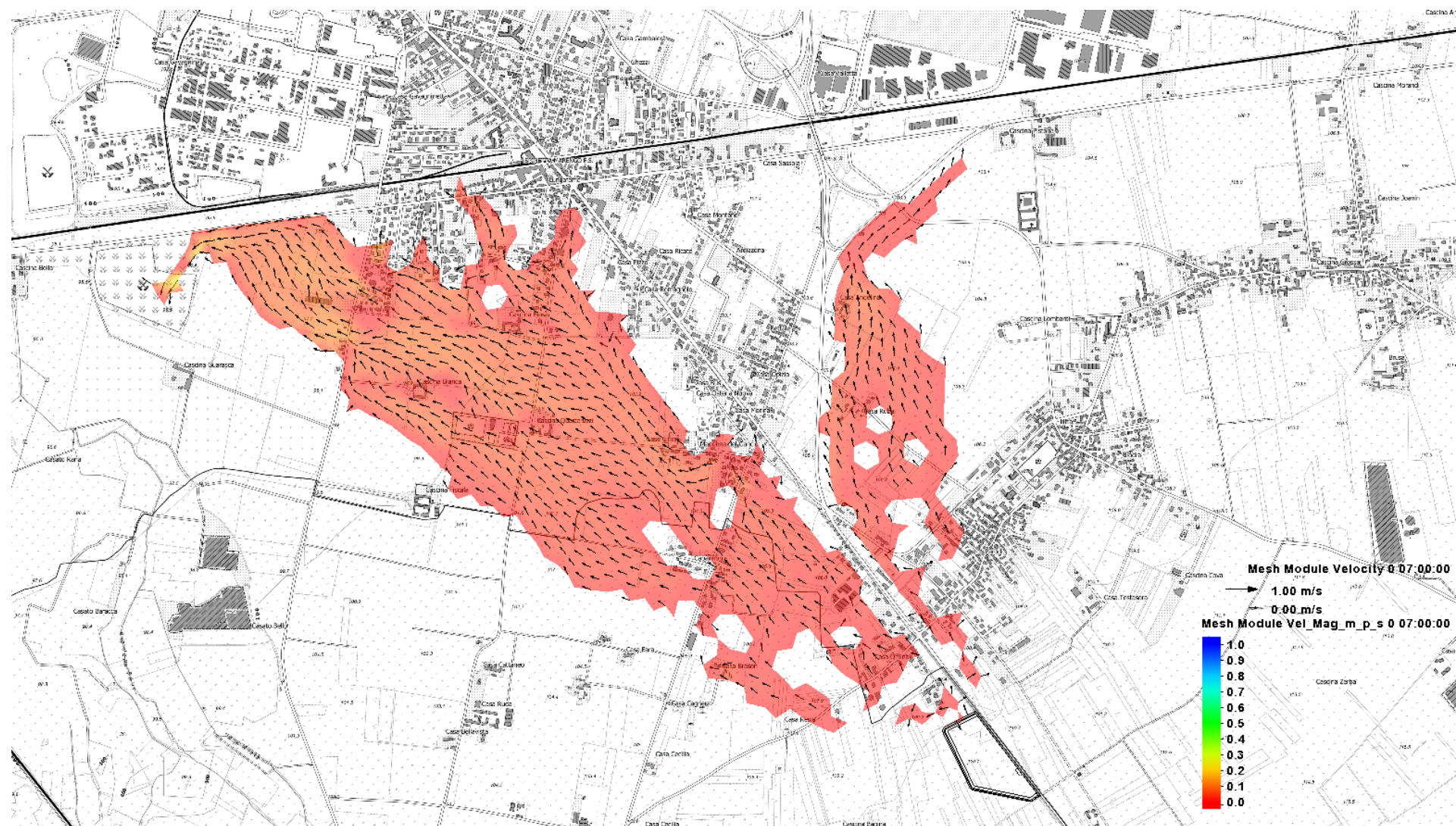


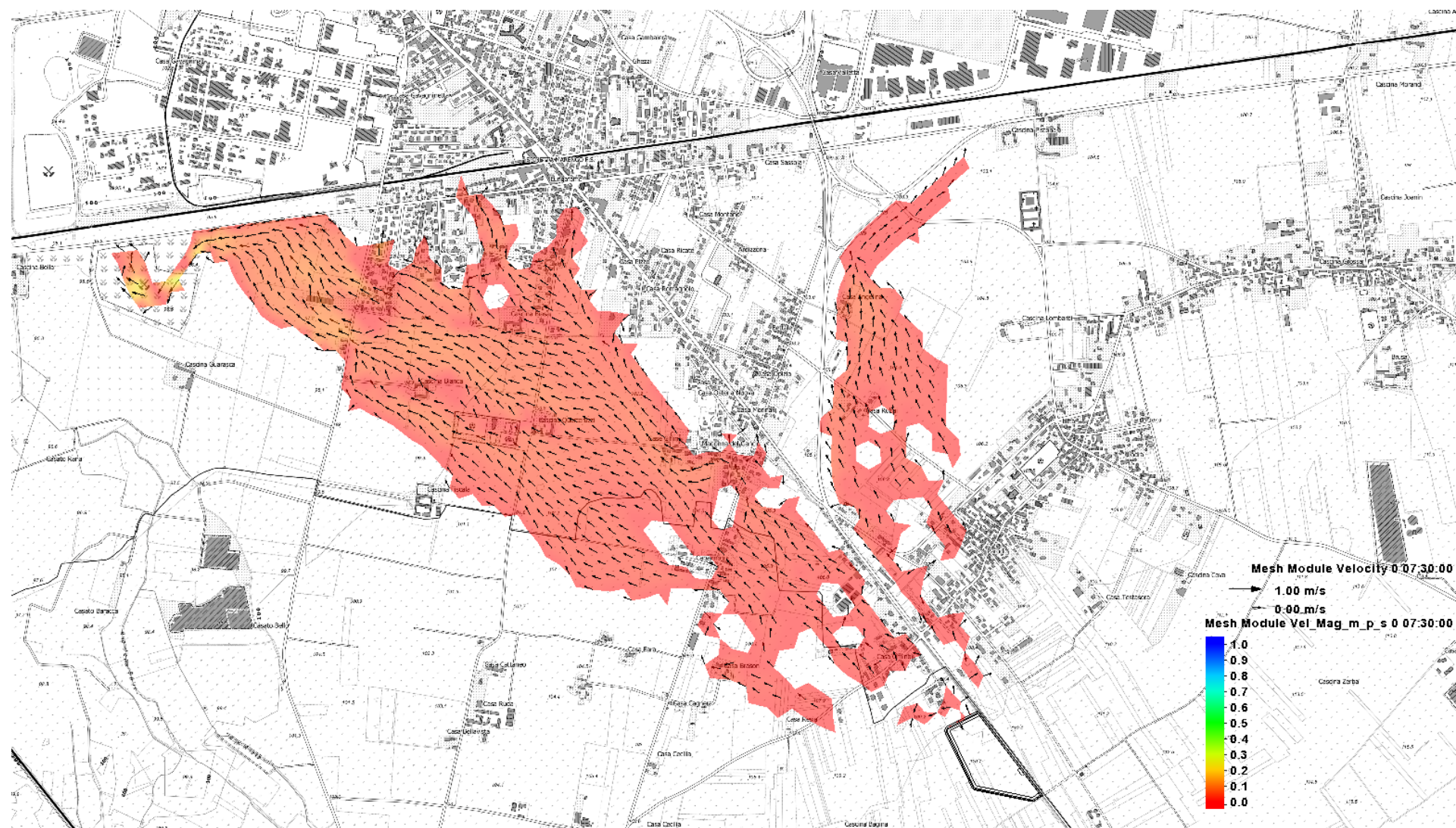


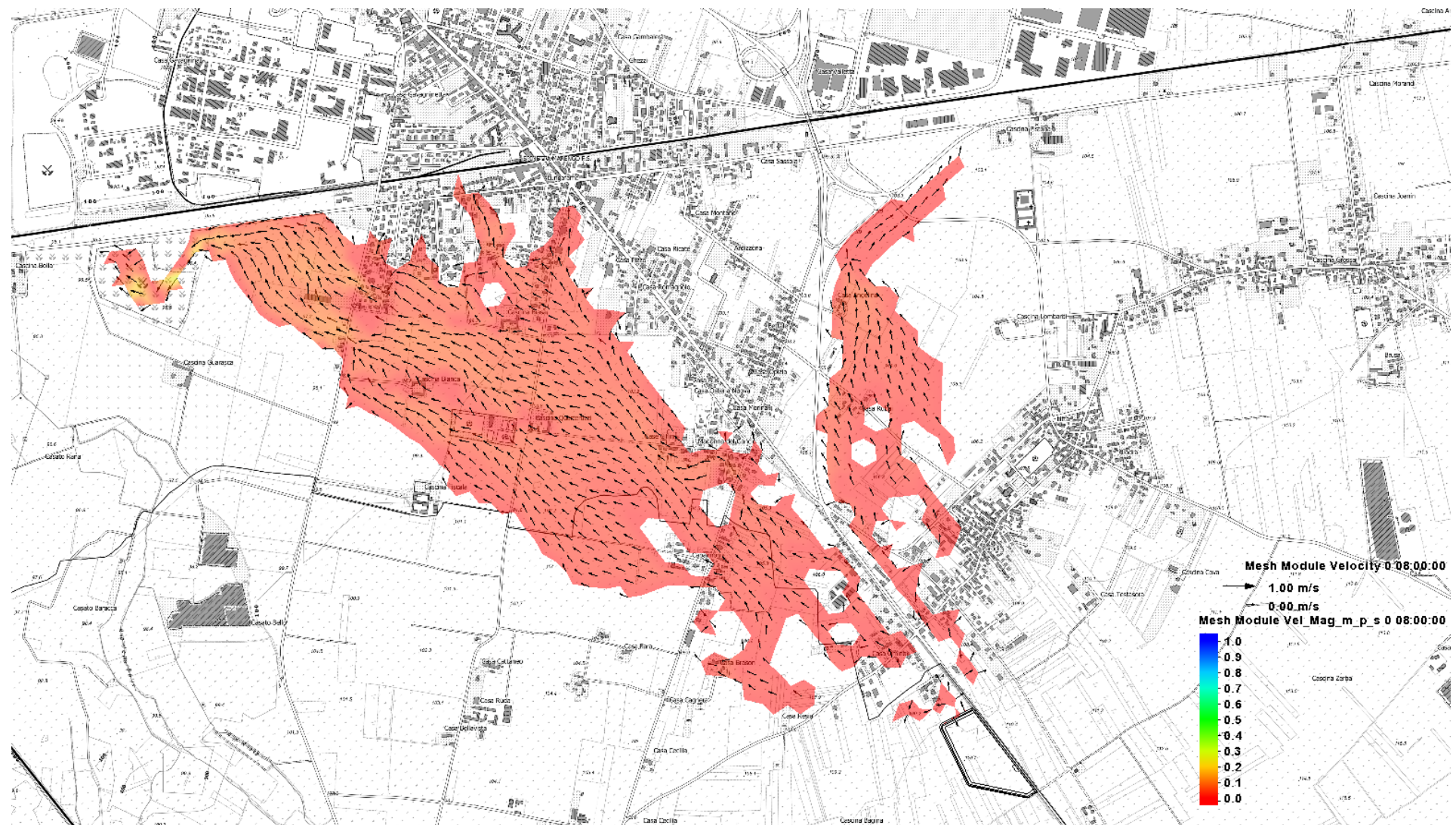












9 - CONCLUSIONI

Gli interventi previsti dal progetto generale, che consiste nella realizzazione di quattro lotti numerati in ordine cronologico di realizzazione, sono volti al raggiungimento della minimizzazione del rischio idraulico derivante dal rio Lovassina nell'abitato di Spinetta Marengo, e più generalmente per il territorio a valle dell'intervento 4, per eventi di piena con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Si precisa che alla data odierna il lotto 1, che prevede interventi di adeguamento del tratto cittadino tombinato del rio Lovassina a Spinetta Marengo, risulta completato.

La presente relazione idraulica riguarda nello specifico il lotto 2, che prevede la realizzazione di una cassa di laminazione immediatamente a monte di Spinetta Marengo, in frazione Litta Parodi di Frugarolo, prima dell'immissione del rio Lovassina nel tratto tombinato cittadino.

Le analisi idrauliche fanno riferimento alla configurazione finale che prevede la realizzazione di tutti i lotti previsti dal progetto generale per il tempo di ritorno di progetto pari a 200 anni.

Si osserva che nella fase transitoria, quindi in assenza delle opere previste ai lotti 3 e 4, il funzionamento della cassa di laminazione del presente lotto 2 non comporta particolari criticità al manifestarsi della piena del rio Lovassina con tempo di ritorno pari a 200 anni, salvo risultare trasparente all'onda di piena del rio Lovassina, che comunque non interessa solo l'alveo ma inonda la campagna circostante.

Infatti, lo scopo dei lotti 3 e 4, situati diversi chilometri a monte rispetto a Spinetta Marengo, è quello di intercettare e regolare, mediante delle opere la laminazione del colmo di piena del rio Lovassina, il rio Lovassina ed il suo affluente rio Gazzo che allo stato attuale defluiscono naturalmente in maniera incontrollata, allagando la pianura.

Ne risulta che, in assenza dei lotti 3 e 4, il rio Lovassina esonda in frazione Litta Parodi di Frugarolo ma la portata massima smaltibile all'interno dell'alveo che raggiunge Spinetta Marengo è dell'ordine di grandezza di quella del progetto generale ultimato, ovvero quella che la cassa 2 è in grado di gestire in sicurezza grazie allo sfioratore in uscita, dimensionato per garantire un deflusso superiore a quello fisicamente indirizzabile dal rio.

Al manifestarsi della portata con tempo di ritorno pari a 200 anni la differenza che si riscontra con il solo lotto 2 realizzato è che i campi sui lati della vasca di laminazione vengono ancora allagati.

Si precisa che, come risulta dal presente documento, al predimensionamento che è stato condotto con ipotesi e modellazioni semplificate sono seguite le successive verifiche di dettaglio bidimensionale in regime di moto vario che hanno confermato gli ordini di grandezza ricavati da tali modelli preliminari.

Le verifiche di dettaglio hanno messo in risalto, rispetto all'evento di piena di progetto, il corretto funzionamento della cassa di laminazione, che risulta riempirsi fino alla quota di regolazione pari a 110.90 m s.l.m., sfruttando a pieno tutto il volume utile di laminazione pari a circa 148'000 m³, che risulta essere estremamente ottimizzato, e senza comportare l'attivazione dello sfioratore di emergenza in uscita.

Inoltre all'uscita della bocca tarata si registra un range di valori di 3.0-4.0 m³/s, in funzione della modellazione considerata, che risulta essere sempre inferiore ai 4.5 m³/s massimi che possono defluire nel tratto tombinato cittadino.

Venendo poi alla simulazione dello scenario di dam break considerato, questa ha messo in evidenza come le aree antropizzate maggiormente vulnerabili nei confronti di un ipotetico fenomeno di collasso dello sbarramento di ritenuta siano ovviamente le poche abitazioni di Litta Parodi immediatamente a valle dell'opera, la cui maggiore vulnerabilità è comunque contenuta nei primi 30 minuti dal collasso con velocità sempre inferiori ai 0.60 m/s e con tiranti che vanno dai 0.30 ai 0.70 m rispetto al piano campagna antropizzato.

Per tutte le altre aree antropizzate coinvolte dalla simulazione, si presenta la configurazione di bassa vulnerabilità dovuta alla presenza di acque a bassa energia, ovvero che presentano tiranti idraulici inferiori a 0.30 m e velocità inferiori a 0.60 m/s.

Arrivo: AOO A1600A, N. Prot. 00155552 del 16/09/2024