



**REGIONE TOSCANA**  
DIREZIONE DIFESA DEL SUOLO E PROTEZIONE CIVILE  
SETTORE GENIO CIVILE VALDARNO SUPERIORE

**Ripristino funzionale di un muro di sponda sul Torrente  
Mugnone in Firenze**

**PROGETTO ESECUTIVO**

DIRIGENTE RESPONSABILE DEL CONTRATTO  
Ing. Gennarino Costabile

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Simone Nepi

**GRUPPO DI PROGETTAZIONE**

**PROGETTISTA**

Ing. Enrico Galigani

**COLLABORATORI**

Ing. Alessandro Torrini  
Ing. Camilla Galastri

RILIEVI TOPOGRAFICI: Ing. Roberto Bigazzi  
MODELLAZIONE IDRAULICA: Ing. Michele Catella  
PAESAGGISTICA: Ing. Alessio Paoletti  
GEOLOGO: Geol. Gianni Focardi

**OGGETTO ELABORATO**

**ID.R01 - RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**

**Dicembre 2021**

**Firenze - Via San Gallo, 34/A - 50129 - Tel. 055/4622711**



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>QUADRO CONOSCITIVO.....</b>	<b>8</b>
3.1	STUDI E PROGETTI DISPONIBILI.....	8
3.2	I DATI TERRITORIALI.....	9
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDRAULICA.....</b>	<b>12</b>
5.1	ELEMENTI DEL MODELLO IDRAULICO.....	12
5.1.1	CONNESSIONI IDRAULICHE.....	14
5.1.2	PARAMETRI DI SCABREZZA.....	15
5.1.3	PERDITE DI ESPANSIONE E CONTRAZIONE.....	16
5.1.4	PASSO TEMPORALE E DURATA DELLE SIMULAZIONI.....	16
<b>6</b>	<b>APPLICAZIONE DEL MODELLO E RISULTATI.....</b>	<b>17</b>
6.1	RISULTATI VERIFICHE STATO ATTUALE (SCENARIO 1).....	18
6.2	RISULTATI VERIFICHE STATO DI PROGETTO (SCENARI 2 E 3).....	19
<b>7</b>	<b>APPENDICE.....</b>	<b>21</b>
7.1	SOFTWARE HEC-RAS.....	21
7.2	TABULATI VERIFICHE IDRAULICHE.....	26
7.3	PROFILI LONGITUDINALI VERIFICHE IDRAULICHE.....	32
7.4	SEZIONI FLUVIALI VERIFICHE IDRAULICHE.....	34



## **1 PREMESSA**

Il presente documento costituisce la relazione idrologica ed idraulica a supporto del progetto esecutivo degli interventi di ricostruzione e restauro di una parte del muro presente sulla sponda destra del torrente Mugnone a monte della passerella pedonale in prossimità di via Caracciolo nel Comune di Firenze.

In particolare, gli interventi di progetto oggetto di modellazione considerano il ripristino di tutto il tratto di muro in sponda destra a partire da quello ceduto in data 02/12/2019, lungo circa 25/30 m, fino alla passerella pedonale.

Il presente studio analizza la compatibilità idraulica dei succitati interventi ai sensi dell'art. 3 comma 3 del D.P.G.R. 42/R/2018, verificando il rispetto delle seguenti condizioni:

- a) sia assicurata la non alterazione del buon regime delle acque;
- b) non interferiscano con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua e siano compatibili con la presenza di opere idrauliche;
- c) non interferiscano con la stabilità del fondo e delle sponde;
- d) non vi sia aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento;
- e) non vi sia aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento.

I risultati delle analisi condotte dimostrano che gli interventi previsti verificano la compatibilità idraulica.

Lo studio risulta articolato nelle seguenti fasi fondamentali:

- FASE 1 – definizione del quadro conoscitivo: in tale fase sono acquisiti ed esaminati gli studi, la documentazione ed i dati disponibili riguardanti il corso d'acqua considerato;
- FASE 2 – analisi idrologica: l'analisi idrologica è finalizzata all'individuazione degli idrogrammi di piena da utilizzare nelle successive verifiche idrauliche per il tratto di torrente Mugnone oggetto di indagine per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Tali idrogrammi sono acquisiti da studi disponibili nell'area in esame;
- FASE 3 – analisi idraulica: il fenomeno della propagazione degli eventi di piena è simulato attraverso un modello unidimensionale in moto vario che ha permesso di individuare, nei vari scenari di verifica, i livelli idrici nelle sezioni fluviali per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni;
- FASE 4 – verifica degli interventi: sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche dello stato attuale e di quello di progetto è analizzata la compatibilità idraulica degli interventi.

Di seguito si illustrano i criteri e le attività svolte per le singole fasi sopra descritte.

## 2 DESCRIZIONE DELLO STATO DEI LUOGHI

L'intervento è localizzato in un tratto del torrente Mugnone posto circa 60 m a monte della passerella pedonale tra via Caracciolo e via Boccaccio, ubicata all'altezza di via Eleonora Fonseca Pimentel. L'area di intervento è rappresentata in Figura 1.

Nel tratto a monte dell'intervento il corso d'acqua defluisce con andamento sinuoso tra sponde naturali coperte da vegetazione ripariale, mentre nel tratto di valle il corso d'acqua attraversa il tessuto urbano della città di Firenze con andamento pressoché rettilineo delimitato da muri di sponda rivestiti in blocchi di pietra o sponde in terra regolari protette da vegetazione erbacea (vedere Figura 2).

La sezione trasversale del corso d'acqua nell'area di intervento è delimitata in sponda destra da un muro di sponda. In sinistra idrografica il deflusso delle piene ordinarie è confinato da una sponda in terra con sommità a quota inferiore rispetto a quella del suddetto muro, mentre il deflusso delle piene più intense interessa la porzione di golena morfologicamente a quote inferiori, rimanendo comunque limitato dal versante ai piedi di via Boccaccio.



Figura 1: Corografia area intervento (base RT-DataBaseTopograficoMultiscala).





Figura 2: Corografia area intervento (base Google Satellite).

Nel tratto è presente una rampa di accesso all'alveo ubicata in corrispondenza di via Federico Confalonieri.

### 3 QUADRO CONOSCITIVO

#### 3.1 STUDI E PROGETTI DISPONIBILI

Gli studi e progetti presi a riferimento sono i seguenti:

- [1] *“Consulenza tecnico scientifica nella fase propedeutica alla progettazione esecutiva riguardante il progetto generale di sistemazione idraulica del torrente Mugnone e del torrente Terzolle nel tratto fiorentino”* – redatto dal PIN Centro Studi Ingegneria per conto del Ministero dei Lavori Pubblici - Provveditorato regionale OO.PP. per la Toscana - Ufficio Territoriale di Firenze, Prato e Pistoia - Sezione Idraulica (luglio, 1996).
- [2] *“Ripristino della linea ferroviaria Faentina – Lavori di realizzazione di due nuovi ponti e adeguamento idraulico del torrente Mugnone presso Piazza delle Cure in Firenze”* – redatto da Idroprogetti - Studio associato di ingegneria idraulica e ambientale per conto della società Giudici e Casali S.p.A., ex I.L.C.E. S.r.l. (marzo, 1998 e giugno, 1999).
- [3] Progetto esecutivo *“Linea Firenze - Chiusi – Sostituzione impalcato ponte km 311+413”* – redatto da Impregilo Edilizia S.p.A. per conto di R.F.I. – Zona Territoriale Centro-Nord – Direzione Compartimentale Infrastruttura Firenze.
- [4] Progetto definitivo *“Raccordo Firenze Rifredi - Firenze C. Marte – Sostituzione impalcato ponte km 1+290 su torrente Mugnone”* – redatto da R.F.I. – Direzione Manutenzione – Direzione Compartimentale Infrastruttura Firenze (aprile, 2005).
- [5] Progetto esecutivo *“Realizzazione di sottopassi stradali, sottopassi pedonali, cavalcavia ferrovia, impalcati ferroviari e adeguamento del corpo stradale su linee ferroviarie nei comuni di Firenze, Barberino V.E., Certaldo, Poggibonsi e Siena – Sostituzione impalcato ponte km 1+290 su torrente Mugnone della linea ferroviaria Firenze Rifredi - Firenze Campo Marte”* – redatto da Sintagma per conto di R.F.I. – Direzione Manutenzione – Direzione Compartimentale Infrastruttura Firenze.
- [6] Progetto esecutivo *“Linea ferroviaria Milano-Napoli - Nodo di Firenze - Penetrazione urbana linea A.V. - Passante AV -Lotto 2”* – redatto da NODAVIA per conto di R.F.I. Gruppo Ferrovie dello Stato (gennaio, 2008).
- [7] Progetto definitivo *“Adeguamento idraulico dell'alveo del torrente Mugnone in località Le Cure”* – redatto da ITALFERR Gruppo Ferrovie dello Stato per conto di R.F.I. Gruppo Ferrovie dello Stato (maggio, 2011).
- [8] *“Studio finalizzato alla individuazione del perimetro di contribuenza dei bacini tributari del fiume Arno all'interno del comprensorio di bonifica n. 16 alla luce dei criteri innovativi stabiliti dall'intesa stato-regioni del 18 settembre 2008”* – redatto dal Prof. Ing. Enio Paris nell'ambito di un contratto tra il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze e il Consorzio di



Bonifica dell'Area Fiorentina (giugno, 2012).

- [9] *“Rilievo topografico e verifica idraulica del torrente Mugnone dal ponte alle Riffe alla stazione di Santa Maria Novella”* – redatto dalla Physis – Ingegneria per l'Ambiente divisione di West Systems S.r.l. per conto della Sveco S.r.l. – Impresa di Costruzioni (marzo, 2015).
- [10] Progetto preliminare *“Adeguamento idraulico torrente Mugnone da via Settembrini al Ponte Rosso”* – redatto dalla Physis – Ingegneria per l'Ambiente divisione di West Systems S.r.l. per conto di RFI – Direzione territoriale produzione Firenze – SO Ingegneria (novembre, 2016).
- [11] Progetto preliminare *“Sistemazione delle sponde del Torrente Mugnone fra la passerella di Via Toscanelli e il ponte del Romito nel Comune di Firenze”* (DODS 2019, DGRT 224/2019 parte II, DODS2019FI0004) – redatto dalla Regione Toscana, Direzione Difesa del Suolo e Protezione Civile, Settore genio Civile Valdarno Superiore (febbraio, 2020);
- [12] Variante generale al PS del Comune di Fiesole approvato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 84 del 19/12/2019, pubblicato sul BURT n. 9 del 26/02/2020.

### 3.2 I DATI TERRITORIALI

Per la redazione delle analisi idrauliche sono utilizzati i seguenti dati:

- base cartografica CTR2K della Regione Toscana in formato vettoriale;
- base cartografica CTR10K della Regione Toscana in formato vettoriale;
- rilievi LIDAR della Regione Toscana (*dataset* DTM 1×1 m) disponibili nel Geoportale GEOscopio della Regione Toscana;
- n. 15 sezioni trasversali del torrente Mugnone nel tratto compreso tra il Ponte alla Badia e via del Ponte alle Riffe, per una lunghezza complessiva di 1.9 km, rilevate nell'ambito della Perizia 43/USI per conto dell'Ufficio Speciale Idraulico del Provveditorato Regionale OO.PP. (capitolo ex 770/2000, Classifica FI-D/990);
- n. 99 sezioni trasversali del torrente Mugnone nel tratto compreso tra via del Ponte alle Riffe e il ponte ferroviario del Romito, per una lunghezza complessiva di 2.2 km, rilevate nel corso della campagna topografica condotta nello studio [9];
- rilievo topografico di num. 23 sezioni trasversali del torrente Mugnone del tratto di intervento e della briglia immediatamente a monte dello stesso condotto nel mese di ottobre 2021 a supporto della presente progettazione.

## 4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla stima degli idrogrammi di piena del torrente Mugnone per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni da impiegare nelle successive analisi idrauliche finalizzate alla valutazione degli effetti conseguenti alla realizzazione degli interventi di ripristino del muro crollato.

I contributi di piena utilizzati nelle presenti simulazioni (Figura 3) derivano dai risultati dello studio idrologico-idraulico condotto a supporto della variante generale al PS del Comune di Fiesole approvato con deliberazione del Consiglio Comunale n. 84 del 19/12/2019, pubblicato sul BURT n. 9 del 26/02/2020 ([12]).

In particolare, gli idrogrammi di piena considerati sono quelli stimati, per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e per la durata di un'ora, nella sezione ubicata immediatamente a valle del Ponte alla Badia (codice sezione MG0600\_C, RS 4) con l'analisi idraulica condotta con l'ausilio del *software* Hec-Ras 5.0.6, mediante un modello idraulico in moto vario monodimensionale sulle aste fluviali e bidimensionale nella aree inondabili.

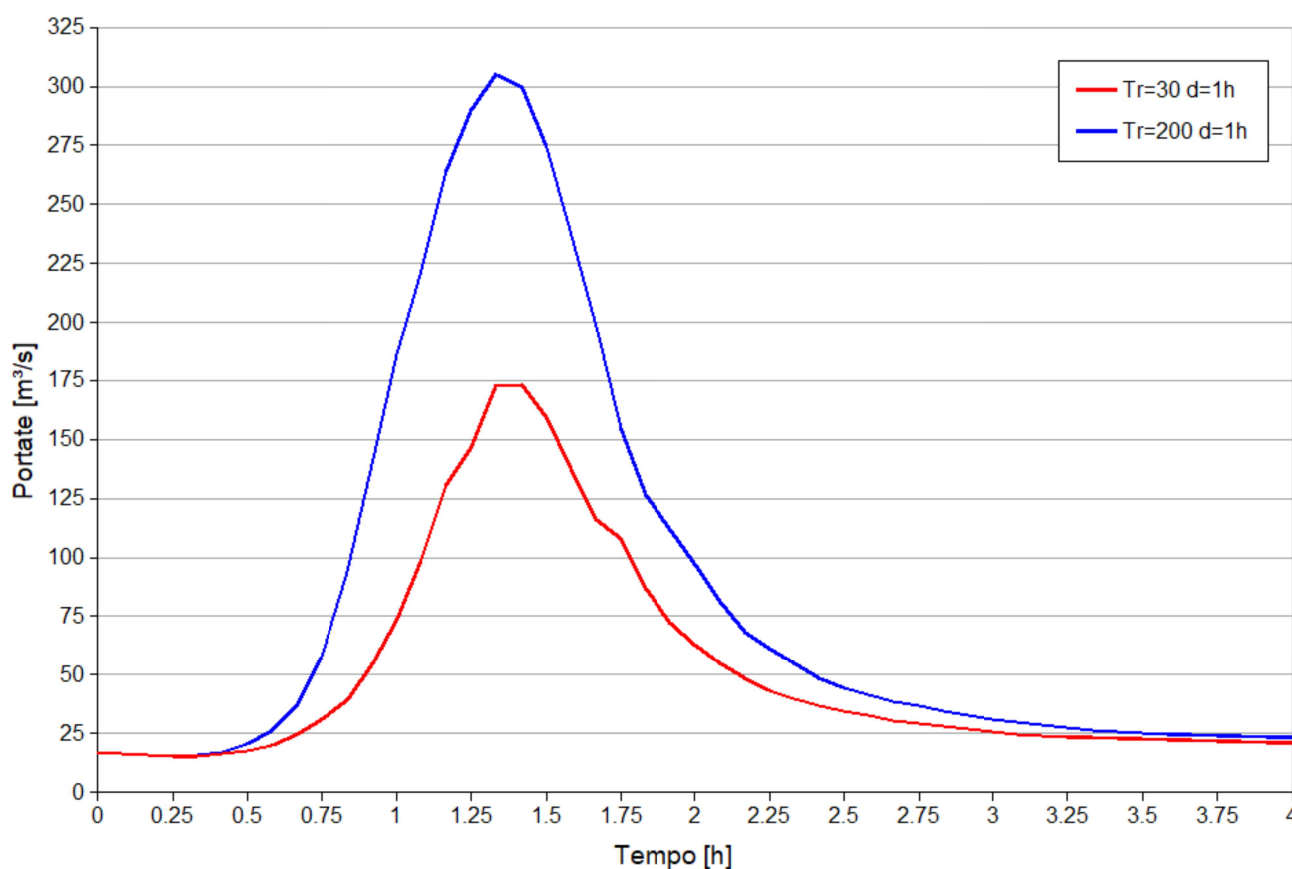


Figura 3: Idrogrammi di piena per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni stimati in corrispondenza del Ponte alla Badia per la durata di 1 ora (RS 4, Reach MUGNONE 02).

L'evento con durata di un'ora corrisponde a quello critico per il tratto di interesse come è possibile osservare dal confronto, riportato nella Tabella 4.1, tra le portate al colmo valutate per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni e le durate di 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 e 2.5 ore nella sezione posta subito a valle del Ponte alla Badia.

Tabella 4.1: Confronto tra i valori al colmo della portata per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni stimata in corrispondenza del Ponte alla Badia per differenti durate (RS 4, *Reach* MUGNONE 02).

Evento	Q d=0.5h [m³/s]	Q d=1h [m³/s]	Q d=1.5h [m³/s]	Q d=2.0h [m³/s]	Q d=2.5h [m³/s]
Tr = 30 anni	126	<b>173</b>	174	164	151
Tr = 200 anni	263	<b>305</b>	285	260	236

Occorre evidenziare che l'obiettivo delle presenti analisi idrauliche non consiste nell'aggiornare il quadro conoscitivo della pericolosità da alluvione del torrente Mugnone a valle dell'intervento nel Comune di Firenze, ma è quello di valutare il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree derivanti dall'attuazione degli interventi previsti.

Pertanto, gli idrogrammi di piena sono individuati col solo fine di valutare gli effetti sul deflusso di vari eventi di piena caratterizzati da differenti frequenze di accadimento conseguenti all'attuazione degli interventi di ripristino del muro crollato.

## 5 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è condotta con l'ausilio di un modello idraulico di moto vario unidimensionale accoppiato ad un modello quasi-bidimensionale delle aree allagabili, col fine di rappresentare adeguatamente i diversi fenomeni che governano la dinamica di deflusso dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.

Le modellazioni idrauliche sono eseguite con il *software* Hec-Ras (versione 4.1.0), distribuito da *US Army Corps of Engineer*. Il modello numerico è descritto sinteticamente in Appendice alla presente relazione (§ 7.1), mentre si rimanda alla documentazione tecnica fornita a corredo del programma e consultabile *on line*<sup>1</sup> per una completa descrizione del codice di calcolo.

Il modello idraulico è implementato sulla base di quello messo a punto nell'ambito del progetto preliminare [10], a sua volta utilizzato come stato attuale nella progettazione preliminare [11], inserendo le sezioni del Provveditorato Regionale OO.PP. disponibili nel tratto tra via del Ponte alle Riffe ed il Ponte alla Badia oltre a quelle rilevate nel corso della presente progettazione nel tratto oggetto di intervento (§ 3.2).

### 5.1 ELEMENTI DEL MODELLO IDRAULICO

L'analisi idraulica è eseguita su un tratto di corso d'acqua sufficientemente esteso a monte e a valle degli interventi previsti, compreso tra il Ponte alla Badia e la confluenza con il torrente Terzolle, per una lunghezza complessiva di circa 5.5 km (Figura 4).

Il sistema idraulico è descritto da:

- n. 1 tronco fluviale (torrente Mugnone);
- n. 166 sezioni fluviali;
- n. 29 aree di potenziale esondazione a celle di accumulo;
- n. 51 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra il corso d'acqua e le aree di potenziale esondazione;
- n. 41 connessioni idrauliche rappresentative dei collegamenti tra aree di potenziale esondazione;
- n. 1 condizione al contorno di valle in termini di altezza di moto uniforme, impostando una pendenza della linea dell'energia pari a quella del fondo alveo (*friction slope* pari a 0.0036);
- n. 1 condizione al contorno di monte in termini di idrogramma di portata assegnata nella prima sezione di monte del corso d'acqua (*flow hydrograph*).

---

<sup>1</sup> <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/>

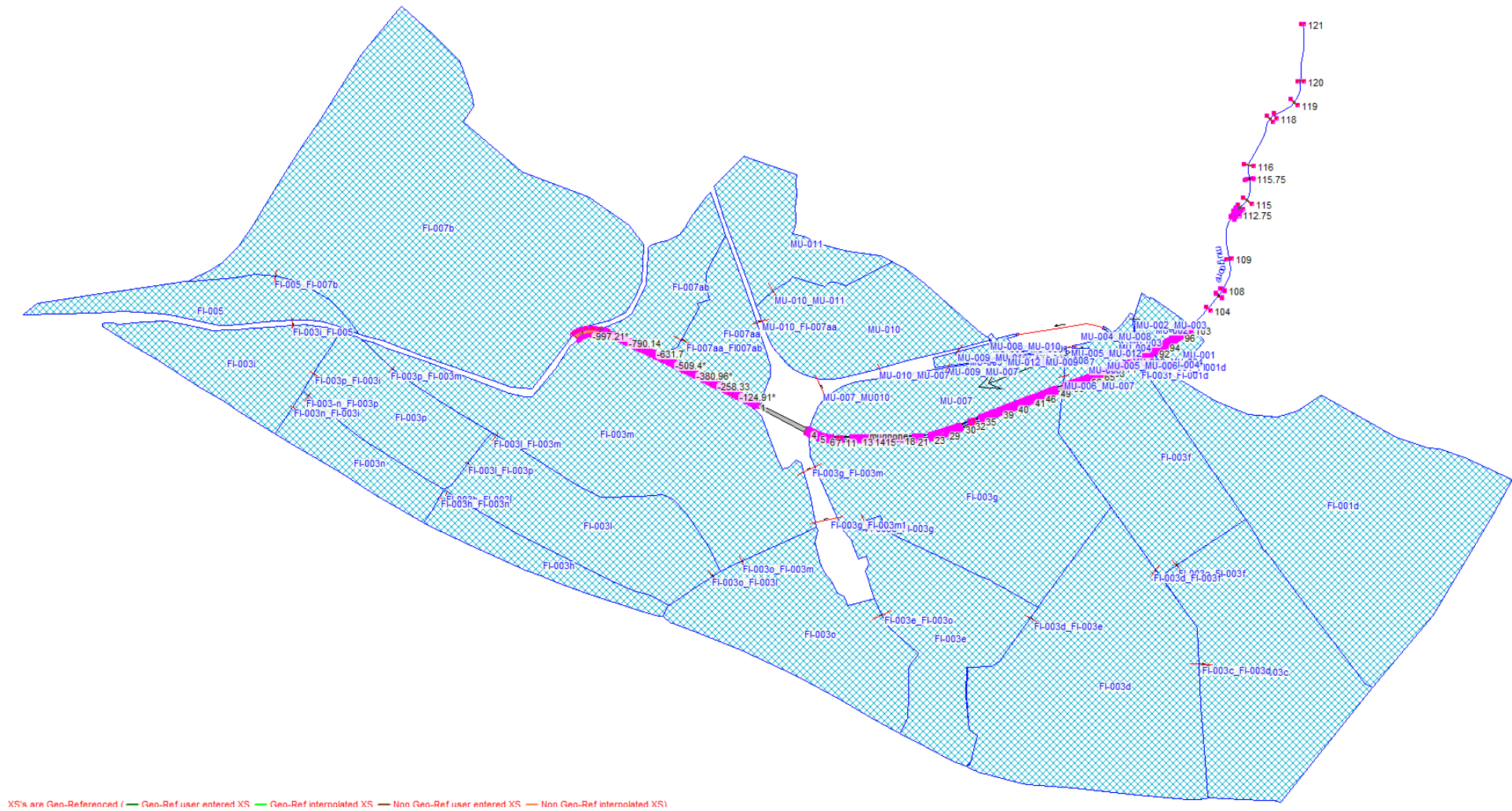


Figura 4: Planimetria modello idraulico.

### 5.1.1 CONNESSIONI IDRAULICHE

Le connessioni idrauliche sono individuate sulla base di un'attenta analisi delle caratteristiche morfologiche, infrastrutturali ed idrauliche del territorio.

Il trasferimento dei volumi di esondazione, sia alveo/area che area/area, avviene con la legge degli stramazzi in parete grossa con possibilità di funzionamento bidirezionale.

L'attribuzione del coefficiente di stramazzo delle connessioni idrauliche è condotta sulla base dei valori riportati nella Tabella 5.1 (Table 3-1. *Lateral Weir Coefficients* riportata nel documento *2D Modeling Users Manual*).

In particolare, è adottato un valore del coefficiente di stramazzo pari ad 1 per le connessioni idrauliche rappresentative di muri d'argine ed un valore pari a 0.5 negli altri casi.

Tabella 5.1: Valori dei coefficienti di stramazzo laterali per diverse tipologie e geometrie di connessioni.

Elemento	Descrizione	Variazione coeff. di stramazzo
Levee/Roadway – 3ft or higher above natural ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow	SI Units: 0.83 to 1.43
Levee/Roadway – 1 to 3ft elevated above ground	Broad crested weir shape, flow over levee/road acts like weir flow, but becomes submerged easily	SI Units: 0.55 to 1.1
Natural high ground barrier – 1 to 3 ft high	Does not really act like a weir, but water must flow over high ground to get into 2D flow area	SI Units: 0.28 to 0.55
Non elevated overbank terrain. Lat Structure not elevated above ground	Overland flow escaping the main river	SI Units: 0.11 to 0.28

Le quote delle soglie di stramazzo delle connessioni idrauliche corrispondono alle quote di massimo contenimento delle acque degli elementi di separazione tra alveo/area e tra area/area. Tali valori sono individuati sulla base dei rilievi topografici disponibili ed integrati dai dati del rilievo Lidar presente nella zona.

La simulazione del fenomeno esondativo del corso d'acqua si basa sull'ipotesi che i volumi idrici si generano esclusivamente per tracimazione delle sommità arginali senza considerarne il collasso. Inoltre, sono esclusi altri fenomeni di rigurgito diversi da quelli dovuti alla naturale dinamica di propagazione dell'onda di piena nel corso d'acqua indagato (i.e. fenomeni di sovralluvionamento,



ostruzione delle luci delle opere d'arte per il trasporto del materiale flottante da parte della corrente, etc.).

Analogamente, anche gli elementi infrastrutturali, che delimitano differenti zone di aree di potenziale inondazione (i.e. rilevati stradali, ferroviari, etc.), sono considerati tracimabili senza collasso al pari degli argini fluviali.

### 5.1.2 PARAMETRI DI SCABREZZA

Nella Tabella 5.2 sono riportati i valori del parametro di scabrezza (espressa come coefficiente di *Manning*) adottati per le sezioni trasversali comprese tra il Ponte alla Badia (sezione 590) e la passerella pedonale in prossimità di via Caracciolo (sezione 500).

Tabella 5.2: Valori di scabrezza adottati per le sezioni trasversali nel tratto di interesse. Nel tratto di intervento tra le sezioni MUG 09 e MUG 04 sono indicate le scabrezze del muro nello stato attuale e in quello di progetto.

Sezione [codice]	RS [#]	n1 [s/m <sup>1/3</sup> ]	n2 [s/m <sup>1/3</sup> ]	n3 [s/m <sup>1/3</sup> ]	n4 [s/m <sup>1/3</sup> ]
590	121	0.030	0.035	0.030	
580	120	0.045	0.040	0.045	
570	119	0.045	0.040	0.045	
560	118	0.045	0.040	0.045	0.030
550	117	0.050	0.045	0.040	0.045
540	116	0.050	0.045	0.040	0.045
MUG 13	115.75	0.045	0.040	0.045	
<i>Inl Struct</i>	115.5				
MUG 14	115.25	0.045	0.040	0.045	
530	115	0.045	0.040	0.045	
MUG 10	114	0.050	0.040	0.035	0.030
MUG 09	113.75	0.055	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 08	113.5	0.055	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 07	113.25	0.055	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 06	113	0.050	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 05	112.75	0.050	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 04	112.5	0.050	0.040	0.035	0.033sa - 0.030sp
MUG 03	112.25	0.040	0.035	0.030	
MUG 02	112	0.040	0.035	0.030	
MUG 01	111.75	0.035	0.035	0.030	
MUG 00	111.5	0.035	0.035	0.030	
520	111	0.035	0.035	0.030	
<i>Bridge</i>	110.5				
500	110	0.033	0.033	0.030	

### **5.1.3 PERDITE DI ESPANSIONE E CONTRAZIONE**

Per le perdite di espansione e contrazione in prossimità dei ponti sono assunti rispettivamente un coefficiente pari a 0.3 per la contrazione e 0.4/0.5 per l'espansione.

I coefficienti delle perdite per espansione e contrazione in assenza di ponti sono rispettivamente pari a 0.2 e 0.1.

### **5.1.4 PASSO TEMPORALE E DURATA DELLE SIMULAZIONI**

Il passo temporale adottato nelle simulazioni degli eventi di piena è fissato in 2 secondi.

La durata complessiva degli eventi simulati è assunta pari a 5 ore.

## 6 APPLICAZIONE DEL MODELLO E RISULTATI

Le verifiche idrauliche sono condotte utilizzando la modellistica descritta nei paragrafi precedenti ed applicata a n. 3 differenti scenari definiti in funzione delle condizioni assunte dal sistema idraulico:

- **scenario 1:** stato attuale dell'intero sistema;
- **scenario 2:** stato di progetto relativo agli interventi di ripristino del muro senza messa in opera del rivestimento in pietra;
- **scenario 3:** stato di progetto relativo agli interventi di ripristino del muro con messa in opera del rivestimento in pietra.

Obiettivo delle suddette verifiche è quello di valutare gli effetti degli interventi di progetto sul deflusso degli eventi di piena in termini di variazioni sia dei livelli idrometrici nel tratto interessato dall'intervento e sia dei colmi delle portate di piena trasferiti a valle dello stesso.

Le verifiche idrauliche hanno fornito, per ogni tempo di ritorno considerato, i valori temporali e quelli massimi di:

- portate e livelli idrometrici per ogni sezione del reticolo idrografico;
- livelli idrometrici e volumi invasati nelle aree di potenziale esondazione;
- portate transitate attraverso gli elementi di connessione tra l'alveo e le aree e tra le aree stesse.

In Appendice alla presente relazione sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche relativamente al tratto di corso d'acqua interessato dall'intervento, rappresentato in Figura 5, compreso tra la briglia di sezione MUG 13 e la passerella pedonale di via Caracciolo di sezione 500.

Nell'Appendice 7.2 sono riportati i tabulati delle verifiche idrauliche per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni dello stato attuale (Tabella 7.1 e Tabella 7.2) e degli scenari di progetto (scenario 2: Tabella 7.3 e Tabella 7.4; scenario 3: Tabella 7.5 e Tabella 7.6).

Nell'Appendice 7.3 sono rappresentati i profili longitudinali dell'alveo, delle quote arginali e delle altezze idrometriche massime dello stato attuale e degli scenari di progetto per i tempi di ritorno di 30 (Figura 7) e 200 anni (Figura 8).

Nell'Appendice 7.4 sono riportate le sezioni fluviali dello stato attuale e degli scenari di progetto con i livelli della superficie libera massima stimati per i tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

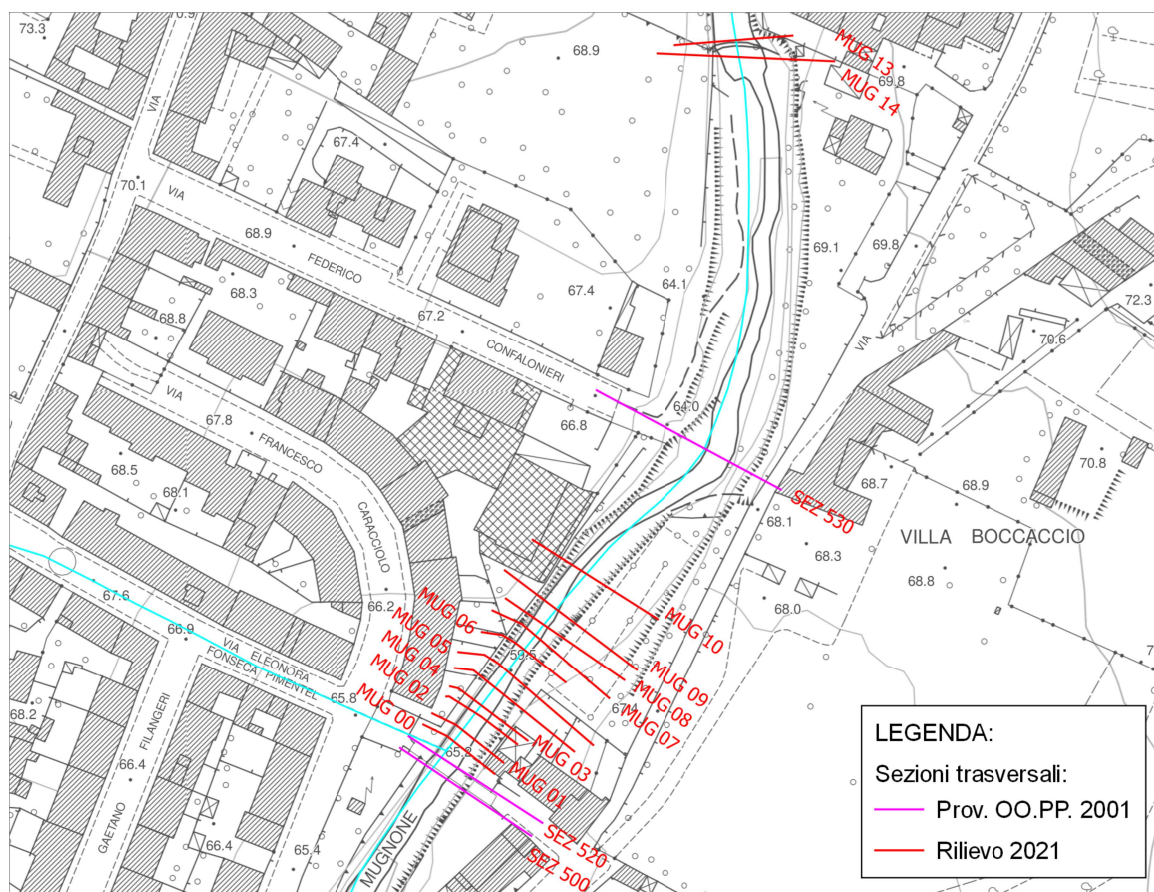


Figura 5: Planimetria sezioni tratto interessato da intervento  
(base RT-DataBaseTopograficoMultiscala).

## 6.1 RISULTATI VERIFICHE STATO ATTUALE (SCENARIO 1)

Le verifiche idrauliche dello stato attuale hanno permesso di individuare, per i differenti tempi di ritorno indagati, le criticità del torrente Mugnone nel tratto di studio.

Si ricorda che tali criticità non comprendono quelle indotte da altri corsi d'acqua o da fenomeni di rigurgito e/o di ristagno dovuti all'insufficienza di altre reti di drenaggio naturali e/o artificiali, ai livelli di falda e quant'altro non imputabile alle acque convogliate dal corso d'acqua considerato. Inoltre, sono escluse, come già osservato, le criticità derivanti da rotture arginali, per ostruzione delle sezioni fluviali o per effetti conseguenti alla morfodinamica d'alveo.

I risultati mettono in luce che nel tratto analizzato il torrente Mugnone consente il deflusso delle portate di piena associate al tempo di ritorno di 200 anni senza dar luogo ad esondazioni.

In destra idrografica le sponde naturali ed i muri di sponda sono caratterizzati da un'altezza adeguata al confinamento del deflusso delle piene all'interno dell'alveo.

In sinistra idrografica, nel tratto compreso tra la sezione 530 (RS 115) e la sezione MUG 05 (RS 112.75), i livelli idrometrici interessano le aree morfologicamente più depresse della golena già per il tempo di ritorno trentennale, rimanendo comunque confinati dalla scarpata ai piedi di via Boccaccio anche per le piene più intense.

In corrispondenza della sezione MUG 05 (RS 112.75) si registra un restringimento della golena indotto da un terrapieno ad uso giardino tergale della civile abitazione presente immediatamente a monte della passerella. Tale restringimento determina un profilo di rigonfiamento della superficie libera nel tratto a monte e un'accelerazione della corrente in corrispondenza della contrazione.

Il deflusso attraverso la passerella pedonale avviene a pelo libero con un franco idraulico di circa 50 cm.

## **6.2 RISULTATI VERIFICHE STATO DI PROGETTO (SCENARI 2 E 3)**

Nel presente paragrafo sono descritti i risultati delle verifiche idrauliche condotte per gli scenari di progetto degli interventi in oggetto.

I risultati della modellazione hanno evidenziato che il restringimento dovuto al ripristino del muro ceduto determina un modesto incremento dei livelli idrometrici a monte dell'intervento fino alla traversa ubicata tra le sezioni MUG 13 e MUG 14 ed una trascurabile riduzione (2/3 cm) degli stessi in corrispondenza della contrazione.

Nella Tabella 6.1 è riportato il confronto tra i livelli idrometrici massimi stimati per il tempo di ritorno di 200 anni nel tratto interessato dagli interventi di progetto per ogni scenario di verifica.

L'incremento massimo dei livelli idrici si registra in corrispondenza della sezione MUG 10 (RS 114) e si riduce progressivamente spostandosi verso monte fino ad annullarsi a monte della traversa. Il valore massimo dell'incremento dei livelli idrici è dell'ordine di 10 cm. In particolare, per il tempo di ritorno di 200 anni tale innalzamento assume un valore di circa 7 cm per la soluzione progettuale con il muro non rivestito in pietra (scenario 2) e pari a 12 cm per quella con il muro rivestito (scenario 3).

In corrispondenza della passerella pedonale i livelli idrometrici degli scenari di progetto risultano invariati rispetto a quelli dello stato attuale.

In termini di variazione dei colmi delle portate di piena trasferiti a valle, gli interventi in oggetto non producono alcuna modifica per il tempo di ritorno di 200 anni (scenario 1: 302.4 m<sup>3</sup>/s; scenario 2: 302.4 m<sup>3</sup>/s; scenario 3: 302.4 m<sup>3</sup>/s) e determinano un incremento del tutto trascurabile per quello di 30 anni (scenario 1: 171.9 m<sup>3</sup>/s; scenario 2: 172.3 m<sup>3</sup>/s; scenario 3: 172.2 m<sup>3</sup>/s).

Tabella 6.1: Confronto livelli idrometrici massimi dei vari scenari stimati per il tempo di ritorno di 200 anni.

<b>Sezione [codice]</b>	<b>RS [# Hec-Ras]</b>	<b>Hw scenario 1 [m s.l.m.]</b>	<b>Hw scenario 2 [m s.l.m.]</b>	<b>Hw scenario 3 [m s.l.m.]</b>
MUG 13 (monte traversa)	115.75	66.43	66.43	66.43
MUG 14 (valle traversa)	115.25	65.83	65.85	65.87
SEZ 530	115	65.28	65.33	65.37
MUG 10	114	64.82	64.89	64.94
MUG 09	113.75	64.70	64.60	64.62
MUG 08	113.5	64.56	64.42	64.44
MUG 07	113.25	64.55	64.41	64.43
MUG 06	113	64.36	64.32	64.34
MUG 05	112.75	64.23	64.22	64.24
MUG 04	112.5	64.18	64.16	64.17
MUG 03	112.25	64.12	64.08	64.10
MUG 02	112	64.08	64.05	64.07
MUG 01	111.75	64.02	63.99	64.00
MUG 00	111.5	63.97	63.94	63.96
SEZ 520 (monte passerella)	111	63.88	63.88	63.88
SEZ 500 (valle passerella)	110	63.82	63.82	63.82

In conclusione, alla luce dei risultati delle verifiche idrauliche è possibile affermare che entrambe le soluzioni progettuali individuate verificano la compatibilità idraulica, in quanto non alterano il buon regime delle acque, non interferiscono con esigenze di regimazione, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua, né con la stabilità del fondo e delle sponde, sono compatibili con la presenza di opere idrauliche, non determinano alcun aggravio del rischio idraulico in altre aree contermini né per le persone e per gli immobili posti a tergo dell'intervento.



## 7 APPENDICE

### 7.1 SOFTWARE *HEC-RAS*

Il programma integra le equazioni di *De Saint Venant* tramite lo schema implicito alle differenze finite di *Preismann* e *Cunge*.

Per una completa descrizione del codice di calcolo si rimanda alla documentazione tecnica fornita a corredo del programma<sup>2</sup>.

In moto permanente, Hec-Ras risolve il problema dell'individuazione del livello del pelo libero della corrente in un'assegnata sezione nelle seguenti ipotesi di base:

- moto gradualmente variato;
- flusso monodimensionale.

Sezioni particolari in cui non risulti localmente valida l'ipotesi di graduale variazione del moto (i.e ponti, traverse, etc.) vengono tuttavia modellate attraverso l'adozione di formulazioni empiriche o integrali.

L'unità elementare del sistema fisico, composta da un volume idrico di controllo posto tra due generiche sezioni trasversali del corso d'acqua, schematicamente riportata in Figura 6, è governata dal principio della conservazione dell'energia, assunto descrivibile tramite le seguenti due equazioni semplificate:

$$W S_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = W S_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

- i pedici 1 e 2 indicano le corrispondenti sezioni;
- $W S_2, W S_1$ : livelli del pelo libero alle estremità del tratto [m];
- $V_2^2, V_1^2$ : velocità quadratiche medie [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>];
- $\alpha_2, \alpha_1$ : coefficienti ponderali dei termini cinetici [-];
- $g$ : accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];
- $h_e$ : perdite di carico totali [m];

<sup>2</sup>*Hydraulic Reference Manual* disponibile al sito <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/index.html>

- $L$ : distanza media pesata sulle portate tra le due sezioni [m];
- $\dot{S}_f$ : gradiente medio delle perdite di carico per attrito [m/m];
- $C$ : coefficiente di dissipazione energetica per espansione o contrazione [-].

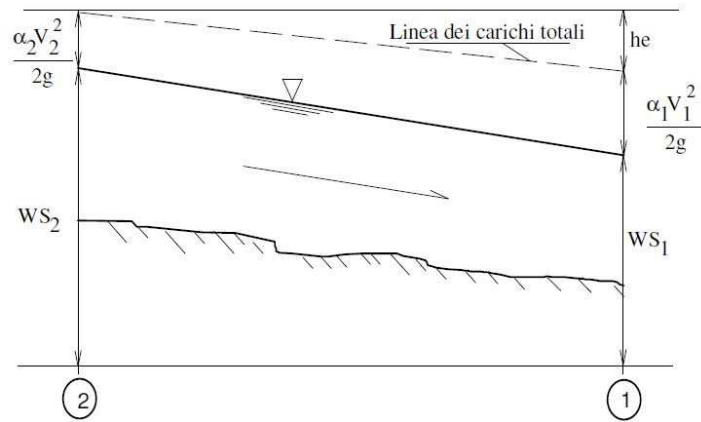


Figura 6 - Rappresentazione in termini energetici dell'equilibrio di volume idrico elementare.

La sezione di deflusso è supposta suddivisibile in tre ambiti primari in cui risulta applicabile l'ipotesi di distribuzione uniforme delle velocità, i.e. l'alveo principale e due zone golenali.

I termini di perdita di carico media per ciascun tratto elementare, sia concentrata (a) sia distribuita ( $S_f$ ), vengono calcolati utilizzando la seguente definizione della capacità di deflusso, indipendentemente per ciascun ambito della sezione (si omettono per brevità i pedici):

$$K = \frac{AR^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

- $K$ : capacità di deflusso dell'ambito [ $m^3/s$ ];
- $n$ : coefficiente di scabrezza di Manning [ $s/m^{1/3}$ ];
- $R$ : raggio idraulico [m];
- $A$ : area della sezione bagnata dell'ambito [ $m^2$ ].

In funzione del regime della corrente vengono utilizzate diverse stime del gradiente di carico per attrito medio sul tratto (i.e media aritmetica, geometrica, armonica, etc.). In particolare, per i profili di corrente lenta è prevalentemente utilizzata la media semplice ponderata sulla capacità di deflusso:

$$\dot{S}_f = \left( \frac{Q_1 Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

Per i carichi cinetici vale invece la seguente espressione (il pedice  $t$  indica la totalità della sezione):

$$\alpha = \frac{A_t^2 \left[ \frac{K_{lb}^3}{A_{lb}^2} + \frac{K_{mch}^3}{A_{mch}^2} + \frac{K_{rb}^3}{A_{rb}^2} \right]}{K_t^3}$$

I coefficienti di contrazione  $C$  sono stati assunti generalmente pari a 0.1-0.3 per le sezioni a variazioni ordinarie, per le contrazioni e le espansioni, rispettivamente.

Le transizioni attraverso lo stato critico della corrente, nel caso dei risalti idraulici e del passaggio attraverso ponti, vengono assunte governate dall'equazione semplificata della quantità di moto applicata al tratto elementare di canale ( $x$  è la direzione di deflusso, 1 e 2 sono le sezioni di estremità):

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q\rho \Delta V_x$$

dove:

- $P$ : forza idrostatica [N];
- $W_x$ : forza peso della massa idrica compresa nel tratto [N];
- $F_f$ : forza di attrito complessivamente agente sul tratto [N];
- $Q$ : portata in transito [m<sup>3</sup>/s];
- $\rho$ : densità dell'acqua [Ns<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>];
- $\Delta V_x$ : variazione di velocità media tra le sezioni, in direzione  $x$  [m/s].

Gli sforzi tangenziali sul perimetro bagnato vengono calcolati secondo la formulazione di moto uniforme e la quantità di moto corretta con coefficienti empirici di letteratura.

Gli elementi geometrici principali da inserire nel modello idraulico sono le sezioni ordinarie, quelle cioè in cui non è presente un manufatto che interferisca con la corrente alterandone "localmente" ed in maniera significativa lo stato energetico (i.e. ponti, traverse, salti di fondo, tombini, bruschi restringimenti, etc.).

I principali attributi delle sezioni ordinarie sono:

- limiti del canale principale;
- scabrezza;
- argini;
- limiti delle aree "inefficaci".

Il *software* consente di inserire all'interno del modello i manufatti trasversali e longitudinali.

Le perdite di carico in prossimità dei ponti sono costituite da due componenti: quella delle perdite di carico immediatamente a valle [monte] della struttura per effetto dell'allargamento [restringimento] della sezione, e quella delle perdite di carico che si realizzano per effetto della struttura stessa. Quest'ultima comprende sia le normali perdite per attrito che quelle specifiche dovute ad eventuali pile in alveo.

Il deflusso attraverso il ponte può avvenire a pelo libero, in pressione, a stramazzo per sormonto dell'impalcato o in condizioni ibride tra le precedenti. Ciascun regime viene modellato adottando specifiche equazioni.

In moto vario, invece, le equazioni di continuità e del moto utilizzate da Hec-Ras, e risolte in forma numerica, assumono rispettivamente la seguente espressione:

$$\begin{cases} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_L = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QU}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial H}{\partial x} + S_f + S_h \right) = 0 \end{cases}$$

in cui:

- $A$  : area della sezione liquida [ $\text{m}^2$ ];
- $Q$  : portata [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];
- $q_L(x)$ : portata laterale (positiva se entrante) [ $\text{m}^2/\text{s}$ ];
- $H = z+h$  è la quota del pelo libero ( $z$  quota del fondo e  $h$  battente idraulico) [ $\text{m}$ ];
- $g$  : accelerazione di gravità [ $\text{m}/\text{s}^2$ ];
- $U$  : velocità media della corrente [ $\text{m}/\text{s}$ ];
- $S_f$  : perdite di carico distribuite per unità di lunghezza [ $\text{m}/\text{m}$ ];
- $S_h$  : perdite di carico concentrate [ $\text{m}/\text{m}$ ].

Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettivo può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{Q|Q|n^2}{R^{4/3}A^2}$$

dove  $R$  [ $\text{m}$ ] è il raggio idraulico e  $n$  è il coefficiente di *Manning* [ $\text{s}/\text{m}^{1/3}$ ].

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali,  $S_{h_r}$ , mediante la formula:

$$S_h = \frac{d}{dx} \left( C \frac{Q^2}{2g} \frac{1}{A^2} \right)$$

in cui  $C$  è un coefficiente funzione della velocità, del battente e delle proprietà geometriche della sezione.

Per la risoluzione del sistema di equazioni è necessario conoscere le condizioni al contorno di ciascun tratto sia a monte che a valle.

La condizione di valle può essere costituita da un idrogramma di livelli idrometrici, oppure da un legame funzionale tra portata e livelli idrometrici (i.e. scala di deflusso). A monte invece è necessario imporre una condizione di portata in ingresso attraverso un idrogramma di piena.

Dal punto di vista numerico, il sistema di equazioni monodimensionali viene risolto con uno schema implicito alle differenze finite.

Dalla discretizzazione alle differenze finite delle equazioni del moto applicate ad un tratto di corso d'acqua e dall'applicazione delle condizioni al contorno, risulta un sistema lineare di  $N$  equazioni in  $N$  incognite, con  $N$  pari a 2 volte il numero di sezioni in cui è stato suddiviso il corso d'acqua meno le sezioni in cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Tale sistema deve essere risolto ad ogni successivo istante di calcolo.

## 7.2 TABULATI VERIFICHE IDRAULICHE

Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	172.45	62.49	65.38	65.37	66.29	0.017388	4.23	40.77	22.08	0.99
MUG 14	115.25	172.47	61.61	64.62	0.00	65.06	0.007404	2.95	58.54	28.71	0.66
SEZ 530	115	172.03	60.43	63.99	0.00	64.39	0.004059	2.78	61.90	23.42	0.55
MUG 10	114	172.07	60.06	63.70	0.00	64.17	0.003840	3.05	56.36	30.18	0.59
MUG 09	113.75	171.98	59.96	63.57	0.00	64.12	0.004718	3.28	52.37	22.20	0.63
MUG 08	113.5	171.86	59.92	63.43	0.00	64.10	0.006341	3.61	47.63	20.33	0.74
MUG 07	113.25	171.85	59.87	63.41	0.00	64.07	0.006264	3.60	47.73	19.29	0.73
MUG 06	113	171.84	59.80	63.31	0.00	64.04	0.006725	3.81	45.10	16.88	0.74
MUG 05	112.75	171.93	59.75	63.17	0.00	64.01	0.007421	4.07	42.27	15.46	0.79
MUG 04	112.5	171.83	59.71	63.12	0.00	63.97	0.007535	4.09	42.01	15.28	0.79
MUG 03	112.25	171.82	59.65	63.07	0.00	63.91	0.007643	4.06	42.37	16.97	0.82
MUG 02	112	171.82	59.65	63.03	0.00	63.91	0.008564	4.16	41.26	16.96	0.85
MUG 01	111.75	171.81	59.60	62.99	0.00	63.80	0.006978	3.98	43.15	16.74	0.79
MUG 00	111.5	171.81	59.62	62.94	0.00	63.78	0.007464	4.07	42.20	16.73	0.82
SEZ 520	111	171.81	59.64	62.84	62.59	63.76	0.008287	4.25	40.47	17.57	0.85
SEZ 500	110	171.89	59.73	62.78	0.00	63.70	0.007757	4.26	40.33	16.04	0.86

Tabella 7.1: Tabulati verifiche idrauliche stato attuale per Tr=30 anni (scenario 1).



Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	302.68	62.49	66.43	66.24	67.45	0.013020	4.46	67.79	26.65	0.89
MUG 14	115.25	302.43	61.61	65.83	0.00	66.35	0.005290	3.22	93.92	29.94	0.58
SEZ 530	115	302.37	60.43	65.28	0.00	65.77	0.004507	3.11	97.18	33.78	0.59
MUG 10	114	302.34	60.06	64.82	0.00	65.55	0.003895	3.79	79.83	33.02	0.62
MUG 09	113.75	302.34	59.96	64.70	0.00	65.49	0.005446	3.95	76.59	38.00	0.72
MUG 08	113.5	302.34	59.92	64.56	0.00	65.48	0.006174	4.27	70.85	35.84	0.77
MUG 07	113.25	302.33	59.87	64.55	0.00	65.45	0.005902	4.21	71.83	33.40	0.74
MUG 06	113	302.35	59.80	64.36	0.00	65.48	0.007654	4.70	64.39	21.04	0.81
MUG 05	112.75	302.36	59.75	64.23	0.00	65.53	0.008939	5.05	59.91	23.78	0.87
MUG 04	112.5	302.36	59.71	64.18	0.00	65.47	0.009418	5.03	60.07	22.87	0.88
MUG 03	112.25	302.35	59.65	64.12	0.00	65.40	0.008419	5.01	60.37	17.26	0.85
MUG 02	112	302.36	59.65	64.08	0.00	65.41	0.009135	5.11	59.18	17.12	0.88
MUG 01	111.75	302.35	59.60	64.02	0.00	65.30	0.007946	5.00	60.50	16.83	0.84
MUG 00	111.5	302.35	59.62	63.97	0.00	65.29	0.008299	5.07	59.61	16.83	0.86
SEZ 520	111	302.35	59.64	63.88	63.63	65.31	0.008579	5.29	57.16	20.71	0.89
SEZ 500	110	302.35	59.73	63.82	0.00	65.25	0.008474	5.28	57.23	16.20	0.90

Tabella 7.2: Tabulati verifiche idrauliche stato attuale per Tr=200 anni (scenario 1).

Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	172.42	62.49	65.38	65.37	66.29	0.017291	4.22	40.84	22.08	0.99
MUG 14	115.25	172.48	61.61	64.64	0.00	65.07	0.007227	2.92	59.00	28.73	0.65
SEZ 530	115	172.30	60.43	64.03	0.00	64.41	0.003911	2.75	62.77	23.49	0.54
MUG 10	114	172.56	60.06	63.75	0.00	64.21	0.003641	3.01	57.41	30.36	0.58
MUG 09	113.75	172.36	59.96	63.57	0.00	64.16	0.004891	3.40	50.75	21.74	0.66
MUG 08	113.5	172.29	59.92	63.40	0.00	64.15	0.007110	3.85	44.80	17.66	0.77
MUG 07	113.25	172.25	59.87	63.38	0.00	64.11	0.006719	3.80	45.31	17.42	0.75
MUG 06	113	172.24	59.80	63.28	0.00	64.09	0.007340	3.99	43.18	16.38	0.78
MUG 05	112.75	172.36	59.75	63.14	0.00	64.09	0.008413	4.31	39.98	14.70	0.83
MUG 04	112.5	172.35	59.71	63.09	0.00	64.04	0.008745	4.30	40.06	14.59	0.83
MUG 03	112.25	172.33	59.65	63.04	0.00	63.96	0.008401	4.25	40.54	16.26	0.86
MUG 02	112	172.34	59.65	63.01	0.00	63.97	0.009351	4.34	39.69	16.36	0.89
MUG 01	111.75	172.20	59.60	62.95	0.00	63.85	0.007860	4.20	40.97	15.98	0.84
MUG 00	111.5	172.32	59.62	62.90	0.00	63.84	0.008370	4.29	40.15	15.97	0.86
SEZ 520	111	172.31	59.64	62.85	62.59	63.77	0.008300	4.25	40.52	17.58	0.85
SEZ 500	110	172.31	59.73	62.78	0.00	63.71	0.007763	4.27	40.39	16.04	0.86

Tabella 7.3: Tabulati verifiche idrauliche stato di progetto senza rivestimento in pietra per Tr=30 anni (scenario 2).

Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	302.69	62.49	66.43	66.24	67.45	0.013020	4.47	67.79	26.65	0.89
MUG 14	115.25	302.41	61.61	65.85	0.00	66.37	0.005159	3.19	94.70	29.97	0.57
SEZ 530	115	302.37	60.43	65.33	0.00	65.81	0.004313	3.06	98.94	34.19	0.57
MUG 10	114	302.36	60.06	64.89	0.00	65.59	0.003680	3.72	81.27	33.03	0.60
MUG 09	113.75	302.36	59.96	64.60	0.00	65.55	0.005388	4.32	70.05	31.35	0.71
MUG 08	113.5	302.36	59.92	64.42	0.00	65.59	0.007443	4.79	63.07	30.69	0.82
MUG 07	113.25	302.36	59.87	64.41	0.00	65.52	0.007385	4.68	64.63	29.95	0.81
MUG 06	113	302.36	59.80	64.32	0.00	65.55	0.008387	4.91	61.57	20.63	0.86
MUG 05	112.75	302.36	59.75	64.22	0.00	65.66	0.009964	5.31	56.94	22.71	0.92
MUG 04	112.5	302.36	59.71	64.16	0.00	65.57	0.010958	5.28	57.29	21.11	0.93
MUG 03	112.25	302.36	59.65	64.08	0.00	65.48	0.009200	5.23	57.82	16.63	0.90
MUG 02	112	302.36	59.65	64.05	0.00	65.49	0.009914	5.32	56.87	16.50	0.91
MUG 01	111.75	302.36	59.60	63.99	0.00	65.39	0.008804	5.25	57.61	16.09	0.89
MUG 00	111.5	302.36	59.62	63.94	0.00	65.38	0.009137	5.31	56.89	16.09	0.90
SEZ 520	111	302.36	59.64	63.88	63.63	65.31	0.008579	5.29	57.16	20.71	0.89
SEZ 500	110	302.36	59.73	63.82	0.00	65.25	0.008472	5.28	57.23	16.20	0.90

Tabella 7.4: Tabulati verifiche idrauliche stato di progetto senza rivestimento in pietra per Tr=200 anni (scenario 2).

Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	172.52	62.49	65.38	65.37	66.29	0.017339	4.23	40.82	22.08	0.99
MUG 14	115.25	172.72	61.61	64.65	0.00	65.08	0.007137	2.91	59.28	28.74	0.65
SEZ 530	115	172.63	60.43	64.05	0.00	64.43	0.003832	2.73	63.30	23.54	0.53
MUG 10	114	172.42	60.06	63.79	0.00	64.23	0.003490	2.97	58.14	30.49	0.57
MUG 09	113.75	172.27	59.96	63.59	0.00	64.18	0.005058	3.42	50.43	22.06	0.66
MUG 08	113.5	172.42	59.92	63.41	0.00	64.18	0.007300	3.88	44.44	17.57	0.78
MUG 07	113.25	172.22	59.87	63.39	0.00	64.14	0.006877	3.83	44.93	17.30	0.76
MUG 06	113	172.21	59.80	63.30	0.00	64.12	0.007516	4.03	42.76	16.21	0.79
MUG 05	112.75	172.31	59.75	63.16	0.00	64.12	0.008602	4.35	39.58	14.50	0.84
MUG 04	112.5	172.23	59.71	63.11	0.00	64.07	0.008958	4.35	39.62	14.39	0.84
MUG 03	112.25	172.22	59.65	63.05	0.00	63.99	0.008633	4.30	40.08	16.09	0.87
MUG 02	112	172.22	59.65	63.02	0.00	64.00	0.009571	4.39	39.27	16.16	0.90
MUG 01	111.75	172.21	59.60	62.95	0.00	63.88	0.008098	4.26	40.45	15.78	0.85
MUG 00	111.5	172.21	59.62	62.91	0.00	63.87	0.008596	4.34	39.67	15.77	0.87
SEZ 520	111	172.21	59.64	62.85	62.59	63.77	0.008297	4.25	40.51	17.58	0.85
SEZ 500	110	172.20	59.73	62.78	0.00	63.71	0.007760	4.26	40.38	16.04	0.86

Tabella 7.5: Tabulati verifiche idrauliche stato di progetto con rivestimento in pietra per Tr=30 anni (scenario 3).

Description	River Sta	Q Total [m³/s]	Min Ch El [m]	W.S. Elev [m]	Crit W.S. [m]	E.G. Elev [m]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Flow Area [m²]	Top Width [m]	Froude # Chl
MUG 13	115.75	302.69	62.49	66.43	66.24	67.45	0.013020	4.47	67.79	26.65	0.89
MUG 14	115.25	302.39	61.61	65.87	0.00	66.38	0.005065	3.17	95.26	29.99	0.57
SEZ 530	115	302.35	60.43	65.37	0.00	65.83	0.004183	3.02	100.18	34.48	0.57
MUG 10	114	302.35	60.06	64.94	0.00	65.62	0.003541	3.68	82.27	33.03	0.59
MUG 09	113.75	302.35	59.96	64.62	0.00	65.58	0.005567	4.34	69.63	31.21	0.72
MUG 08	113.5	302.35	59.92	64.44	0.00	65.63	0.007543	4.83	62.63	30.55	0.82
MUG 07	113.25	302.35	59.87	64.43	0.00	65.56	0.007480	4.71	64.20	29.81	0.81
MUG 06	113	302.35	59.80	64.34	0.00	65.58	0.008496	4.94	61.16	20.43	0.86
MUG 05	112.75	302.35	59.75	64.24	0.00	65.70	0.010147	5.36	56.46	22.92	0.92
MUG 04	112.5	302.35	59.71	64.17	0.00	65.62	0.011175	5.32	56.80	21.90	0.94
MUG 03	112.25	302.35	59.65	64.10	0.00	65.52	0.009395	5.28	57.30	16.43	0.90
MUG 02	112	302.35	59.65	64.07	0.00	65.54	0.010137	5.37	56.33	16.30	0.92
MUG 01	111.75	302.35	59.60	64.00	0.00	65.43	0.009006	5.30	57.04	15.89	0.89
MUG 00	111.5	302.35	59.62	63.96	0.00	65.43	0.009352	5.37	56.32	15.89	0.91
SEZ 520	111	302.35	59.64	63.88	63.63	65.31	0.008579	5.29	57.16	20.71	0.89
SEZ 500	110	302.35	59.73	63.82	0.00	65.25	0.008473	5.28	57.23	16.20	0.90

Tabella 7.6: Tabulati verifiche idrauliche stato di progetto con rivestimento in pietra per Tr=200 anni (scenario 3).

### 7.3 PROFILI LONGITUDINALI VERIFICHE IDRAULICHE

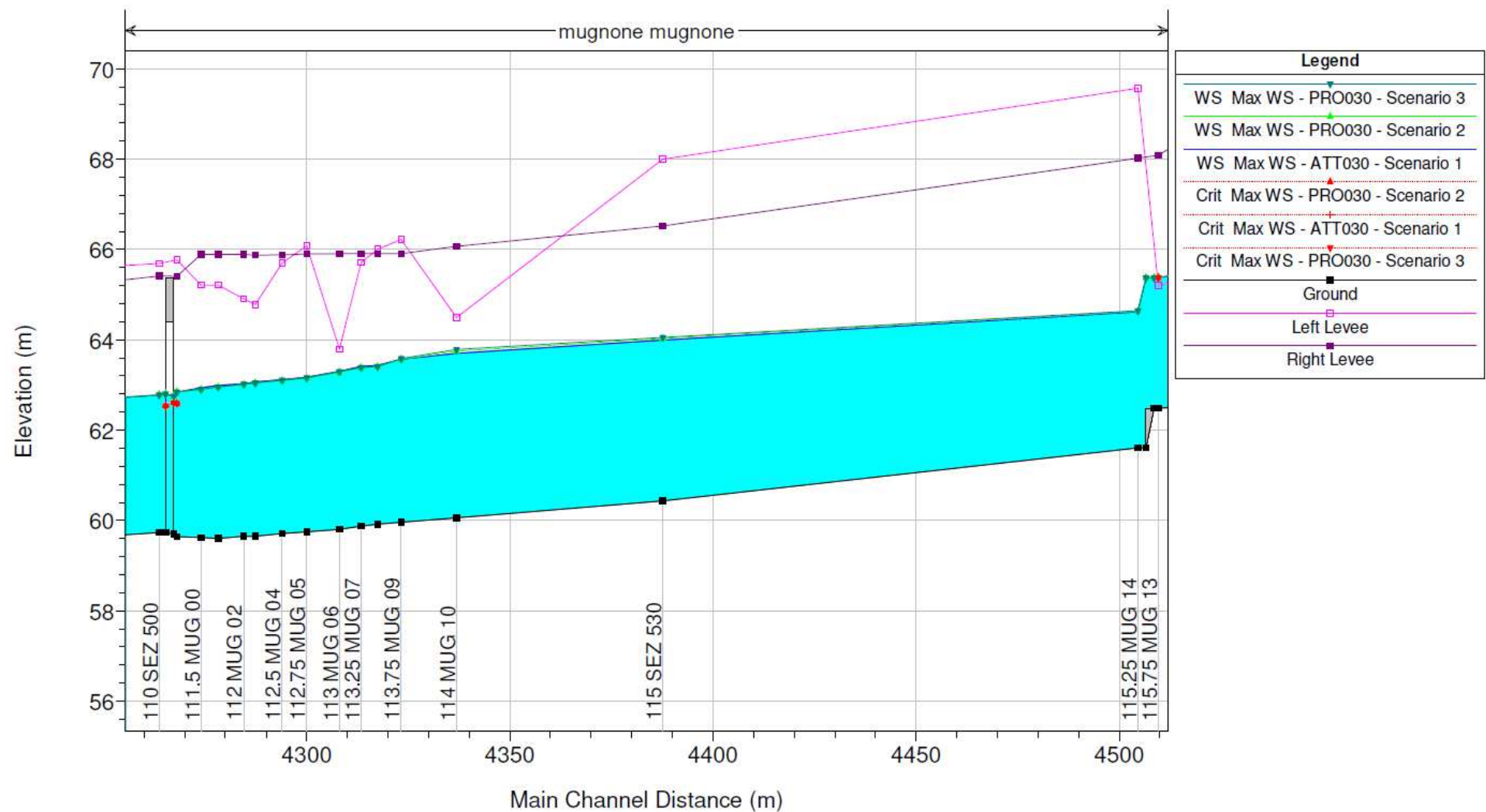


Figura 7: Profili longitudinali per  $Tr=30$  anni per i vari scenari indagati.



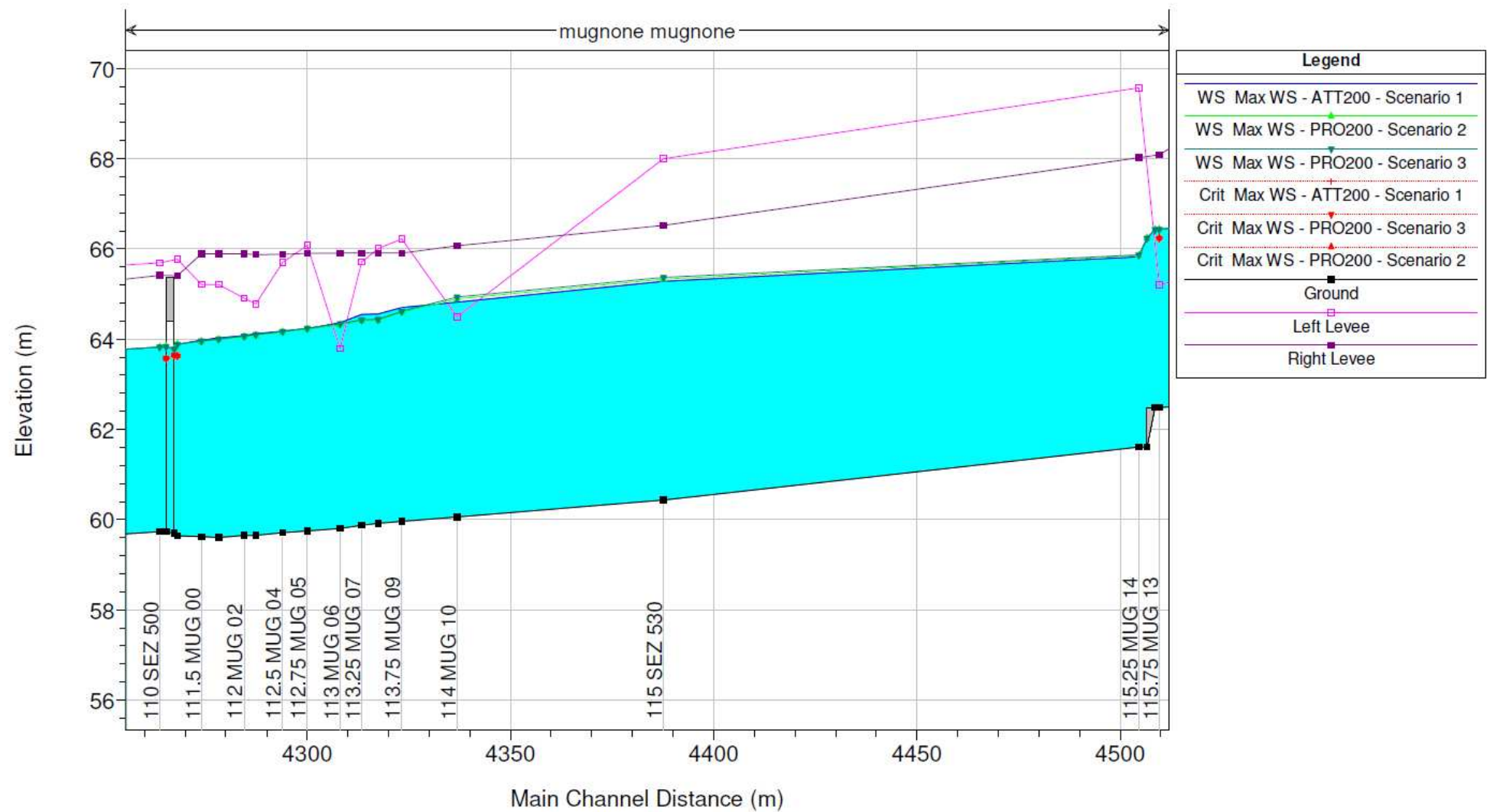
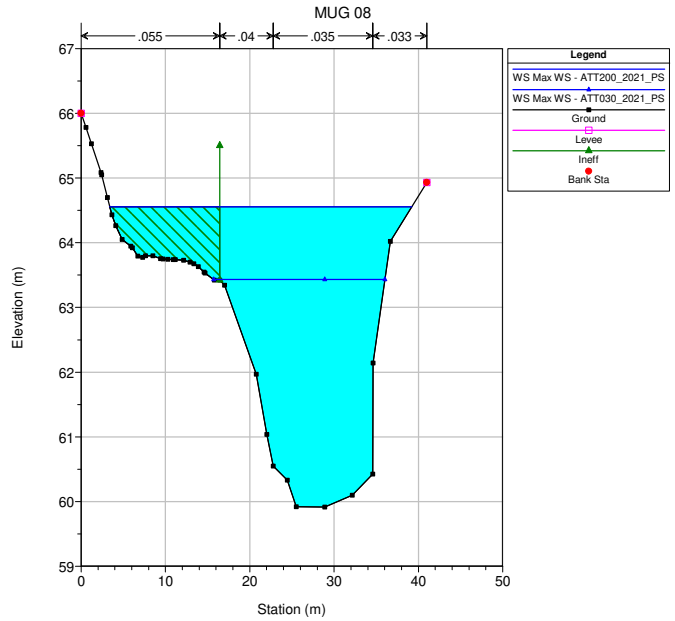
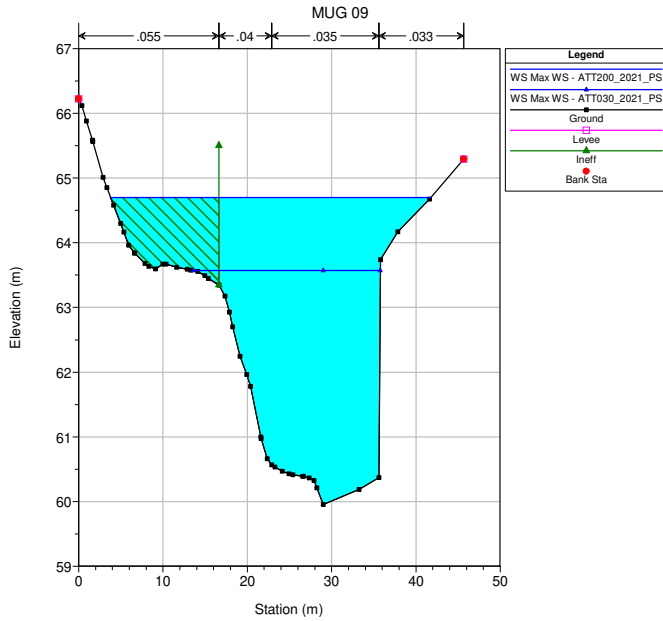
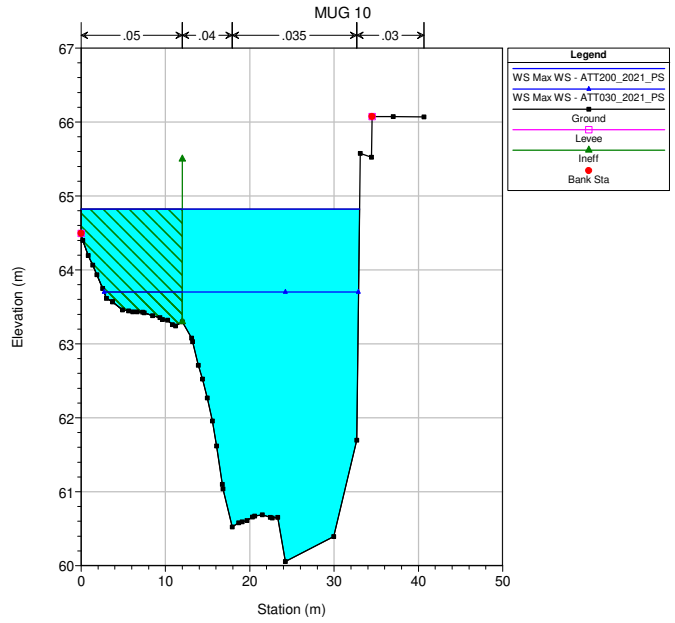
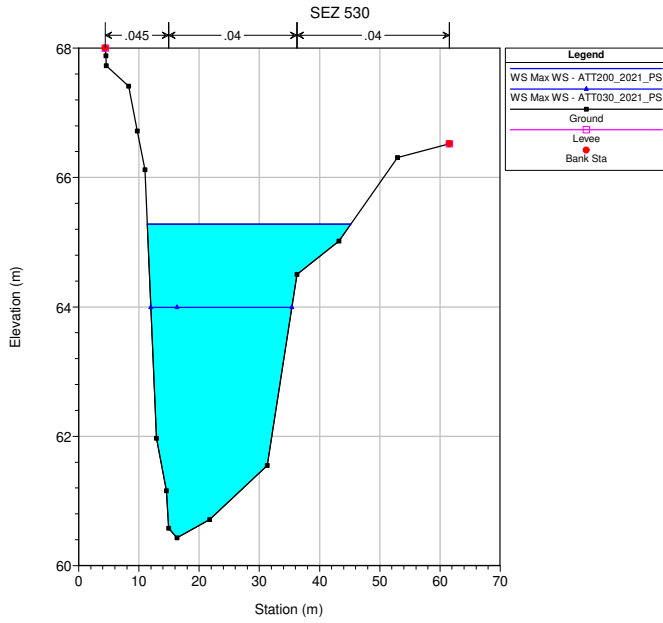
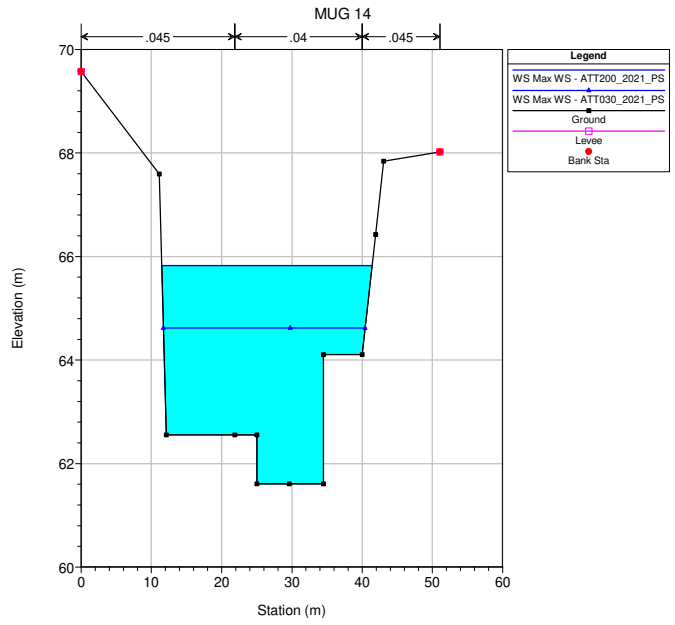
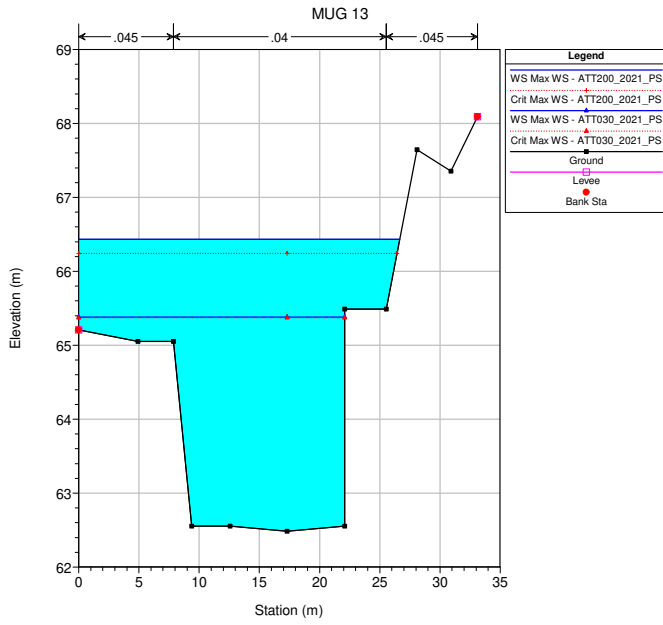
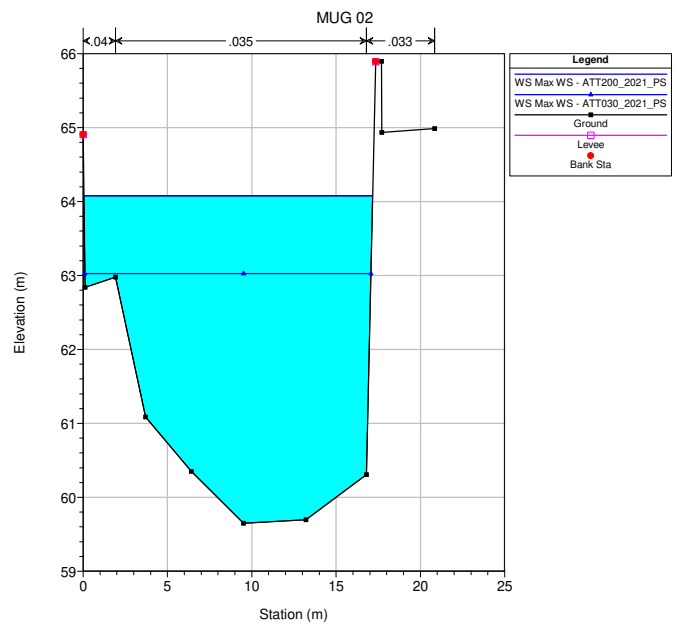
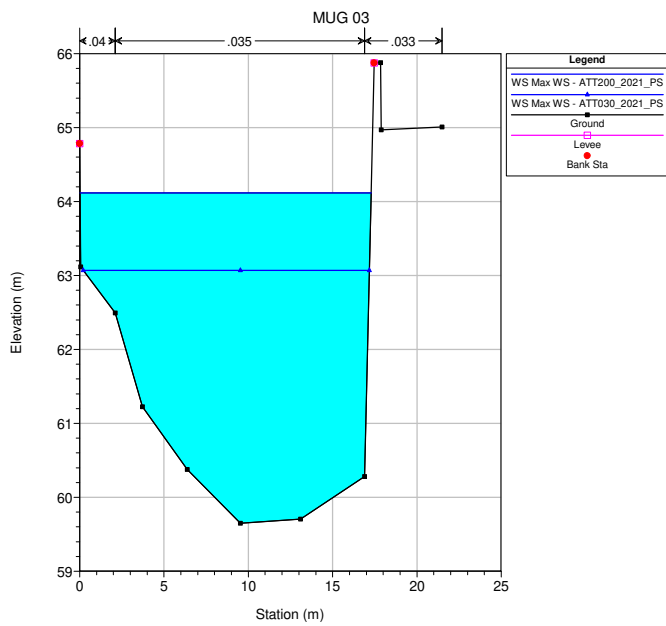
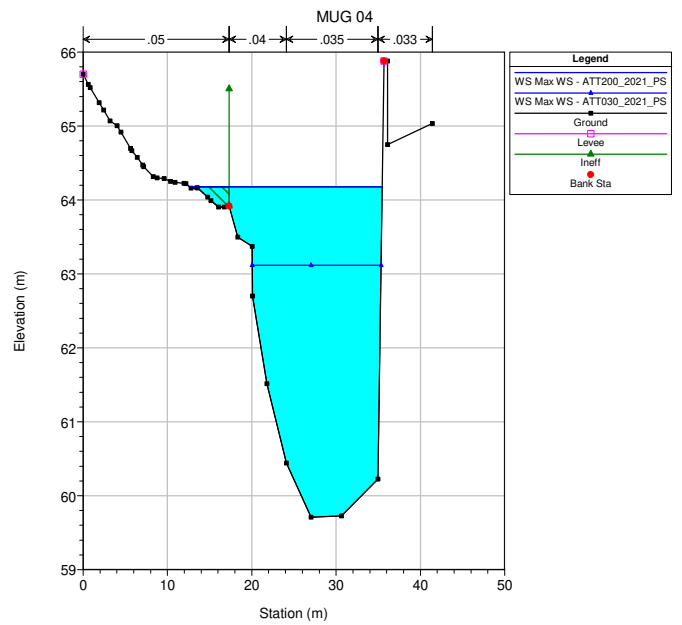
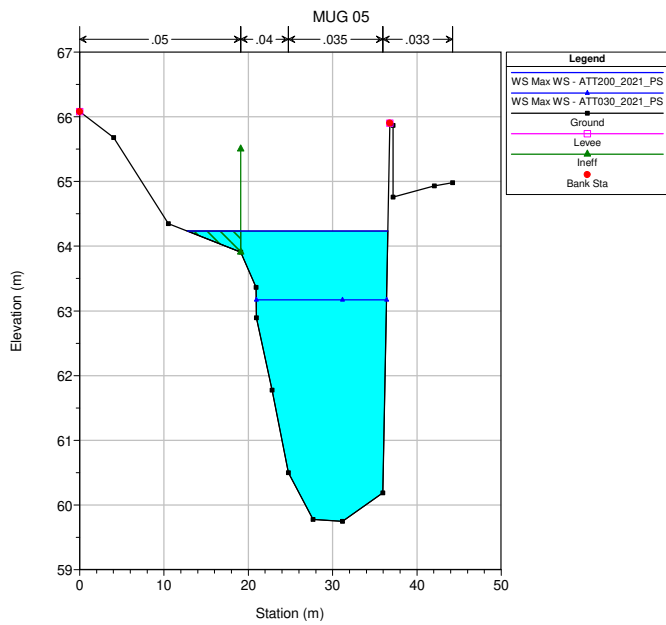
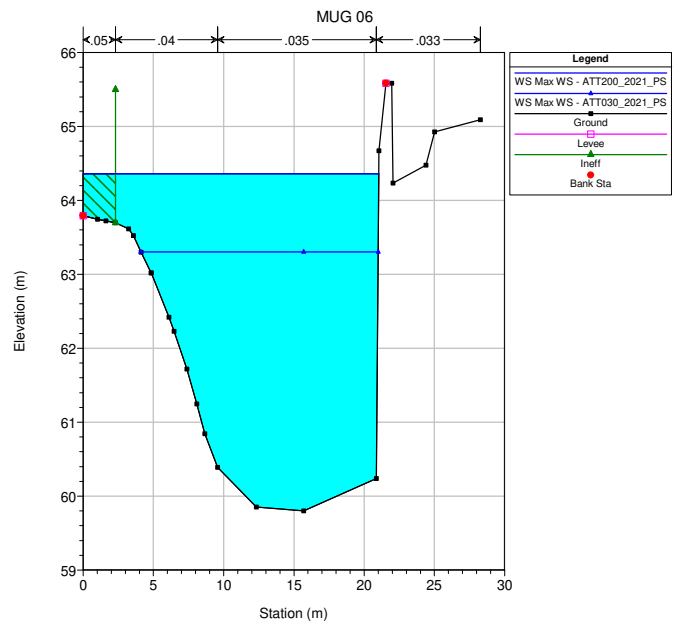
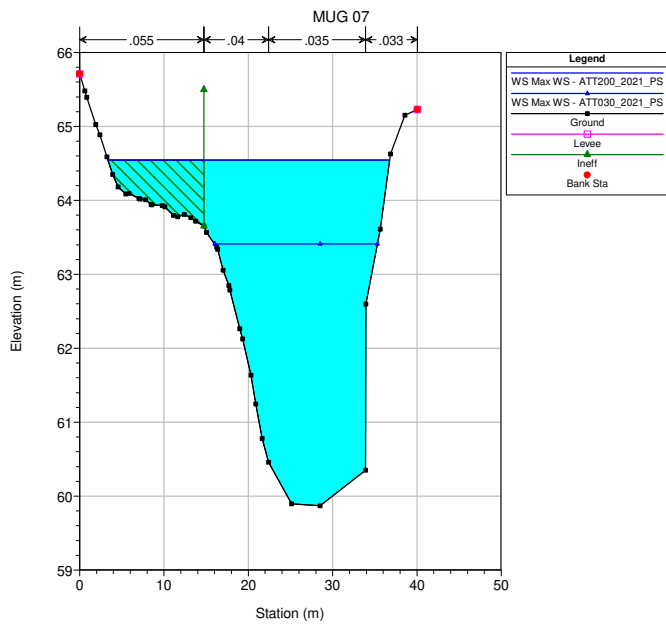


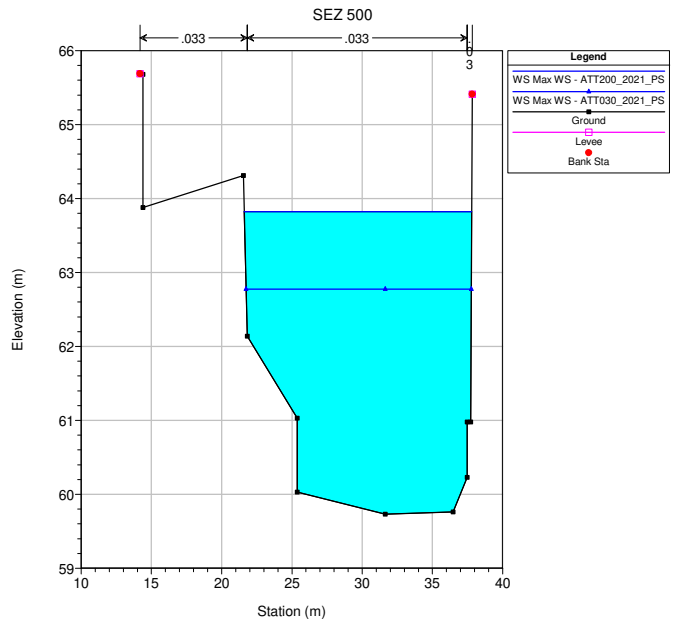
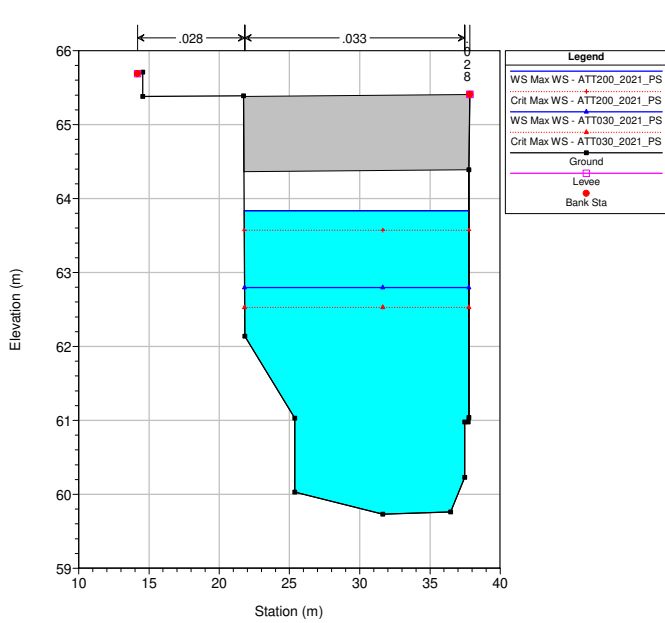
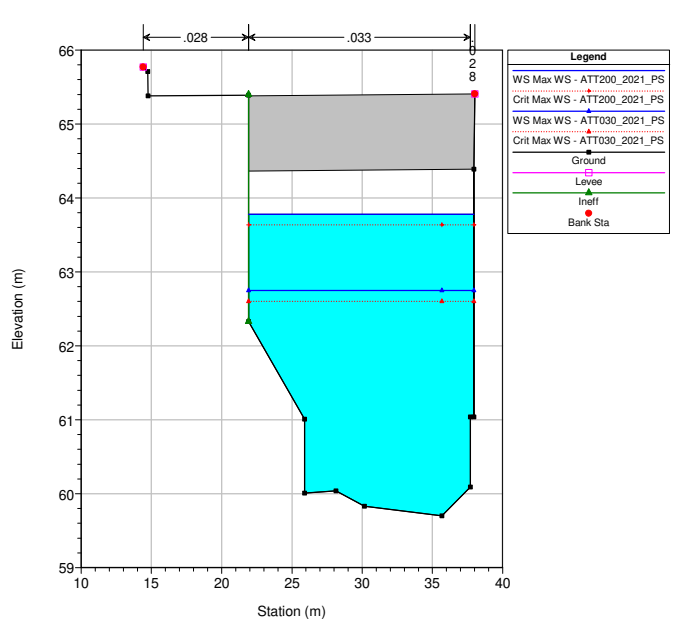
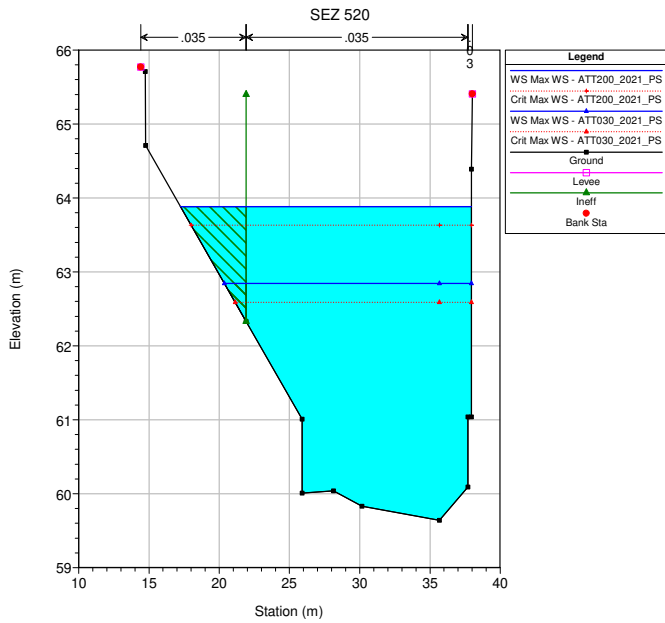
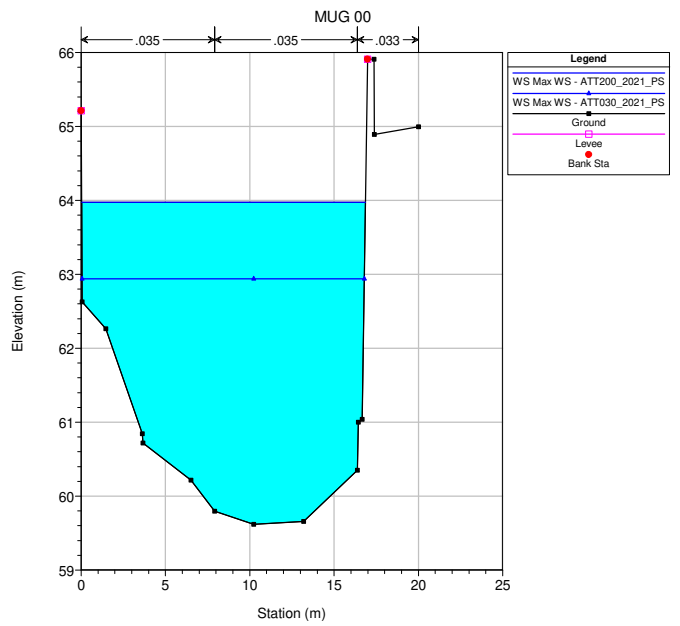
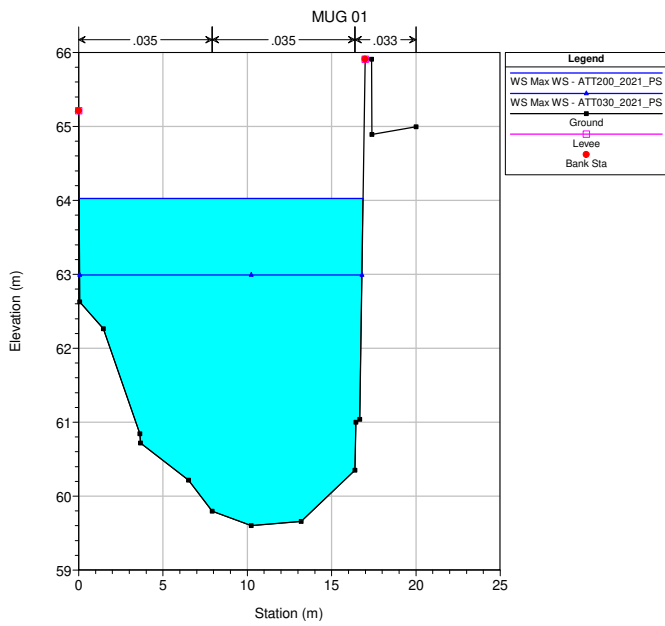
Figura 8: Profili longitudinali per Tr=200 anni per i vari scenari indagati.

#### **7.4 SEZIONI FLUVIALI VERIFICHE IDRAULICHE**

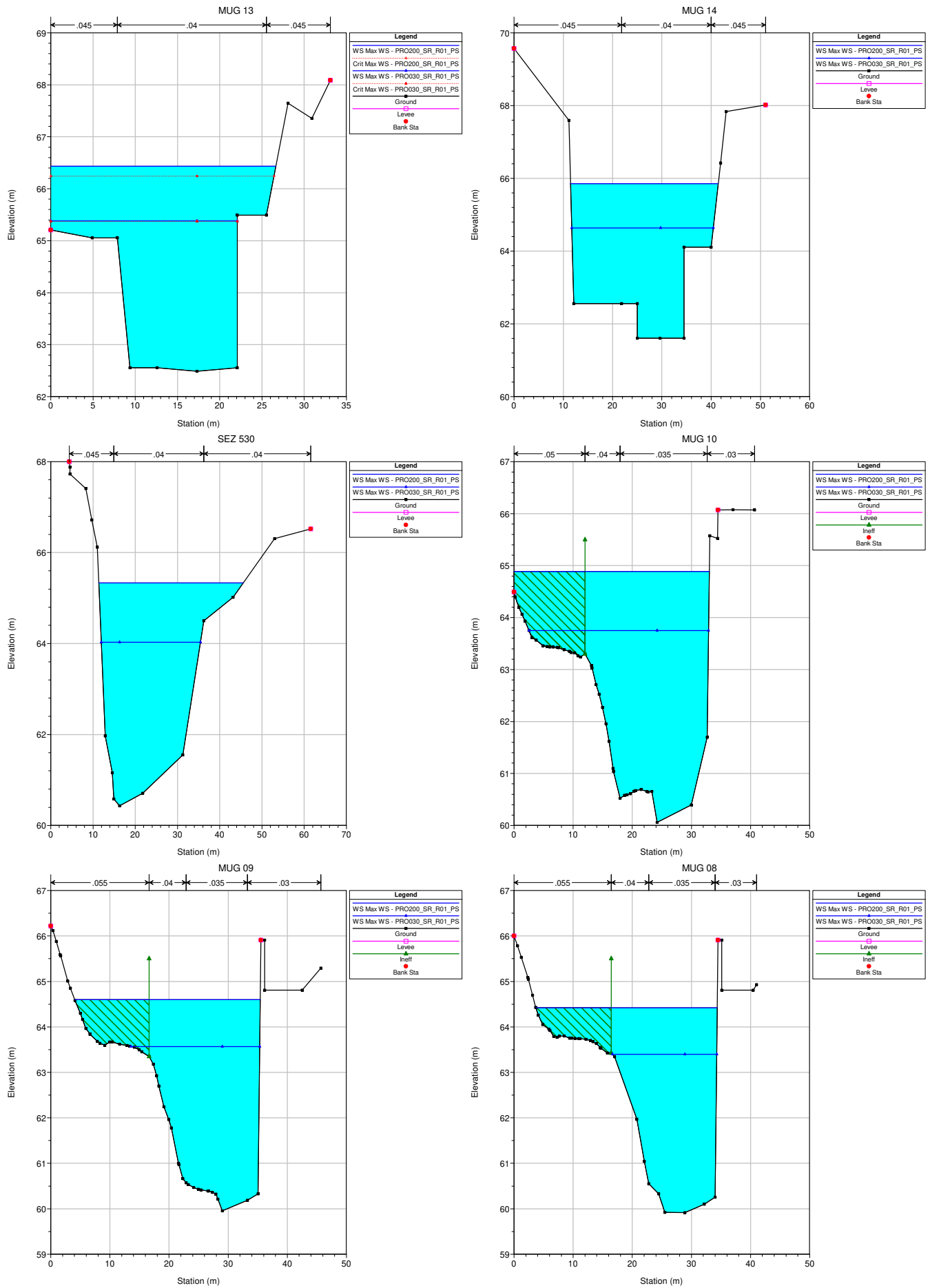
# SEZIONI FLUVIALI VERIFICHE IDRAULICHE SCENARIO 1

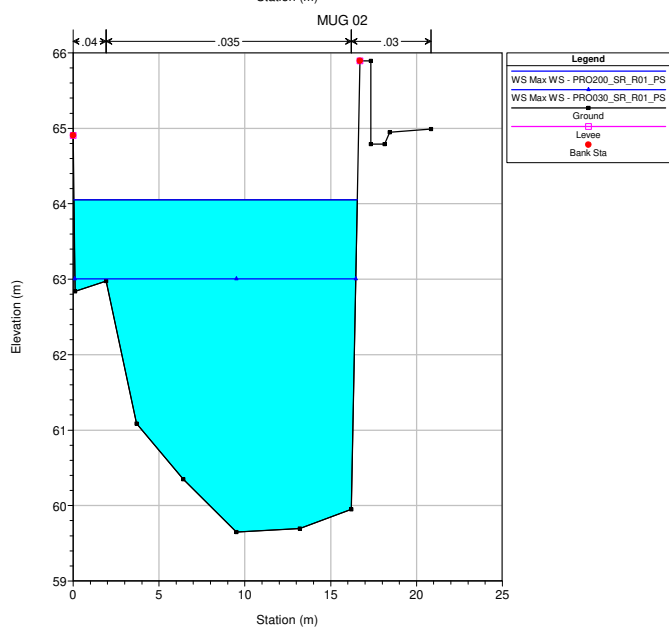
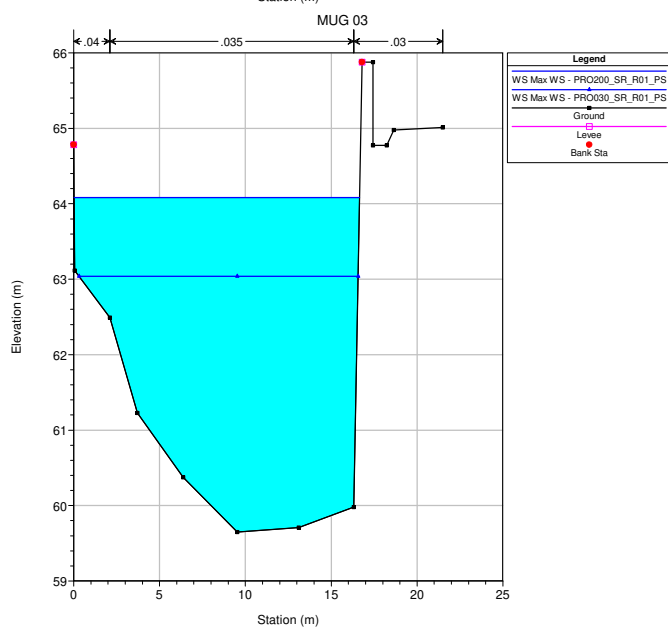
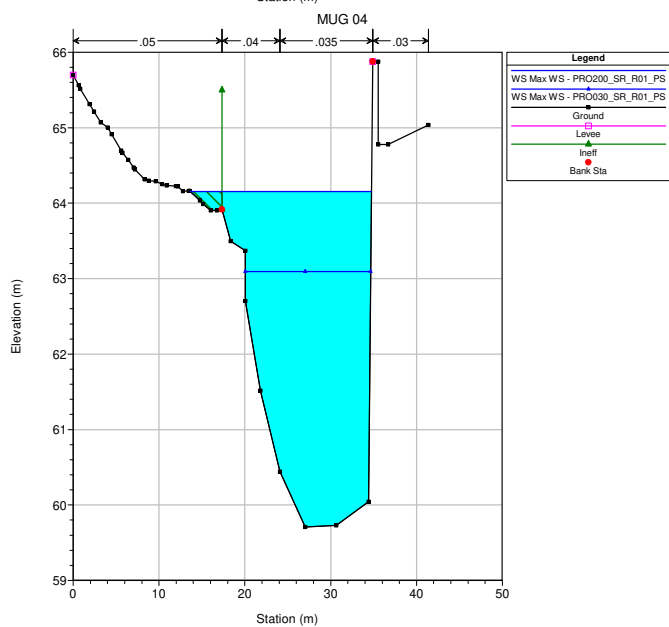
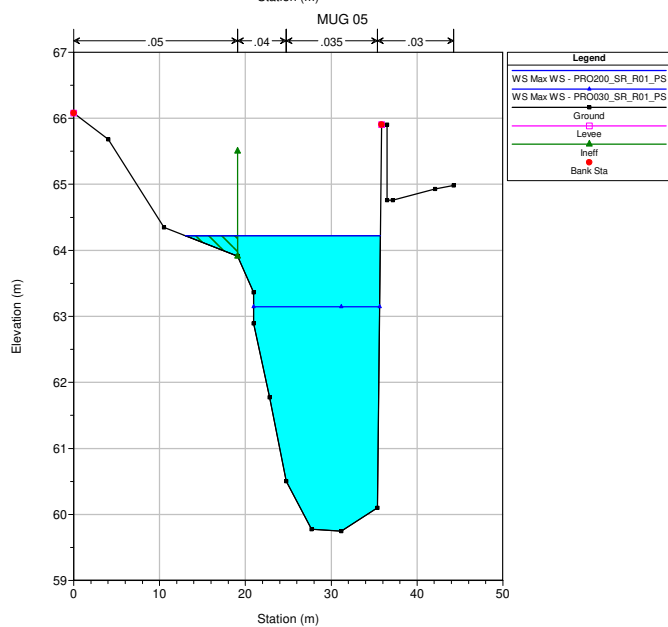
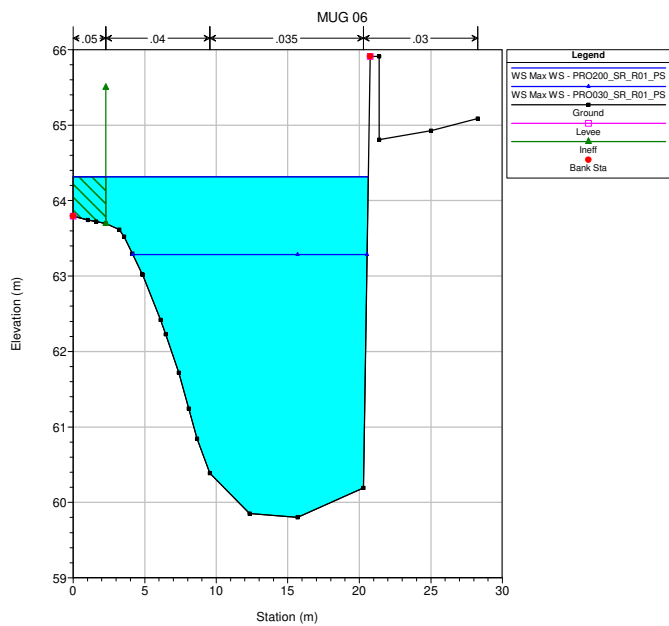
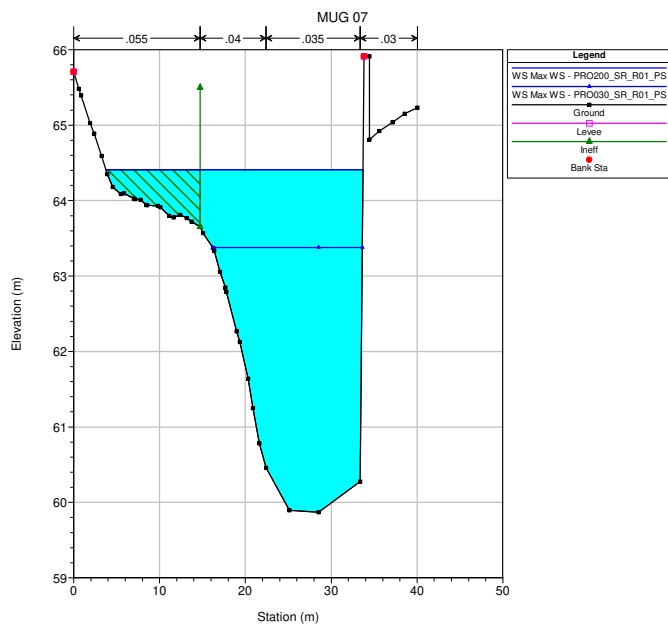


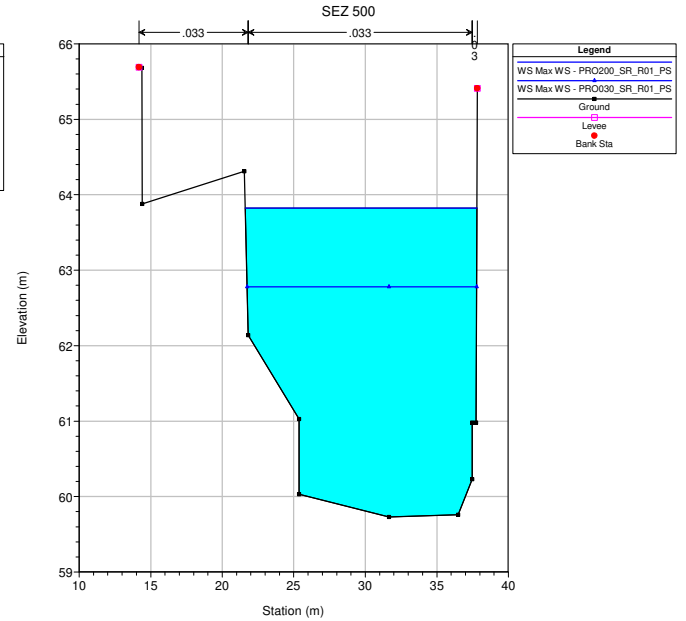
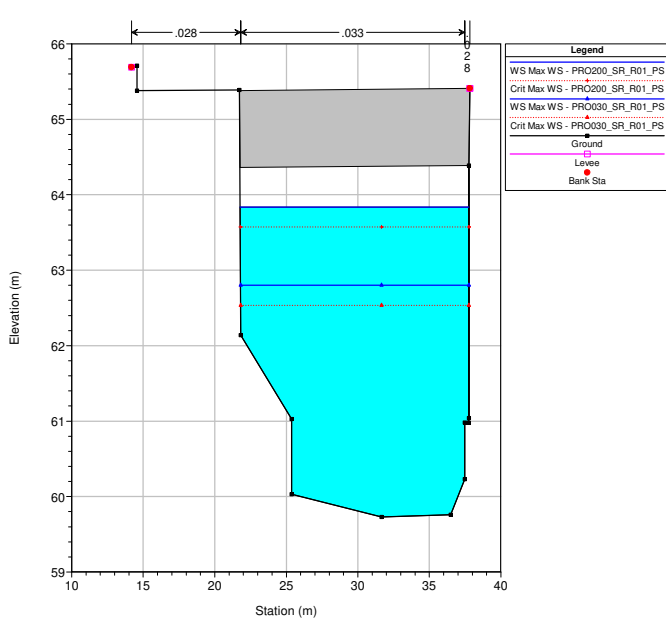
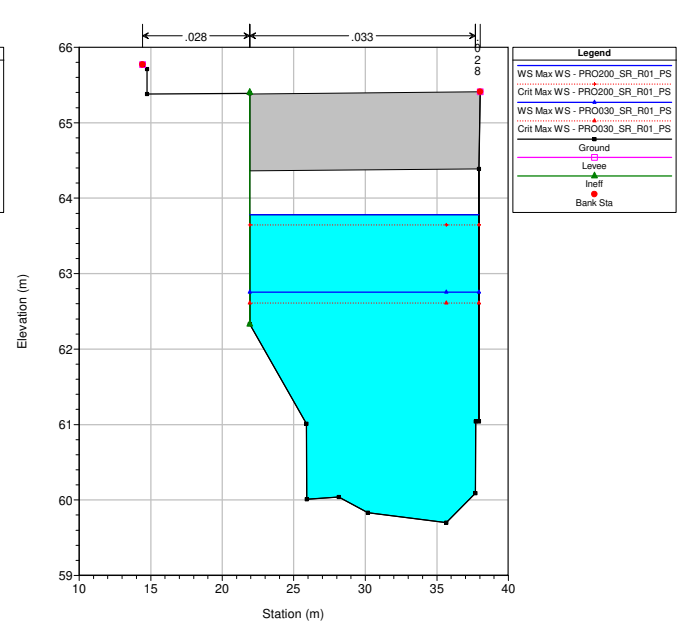
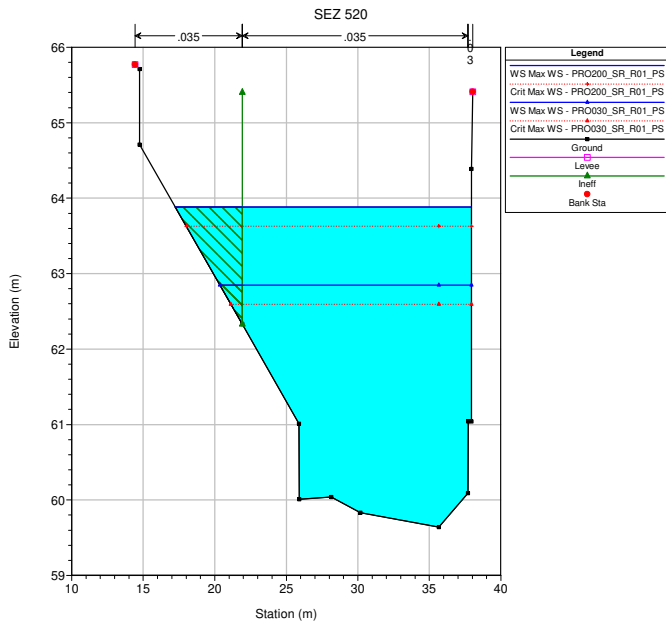
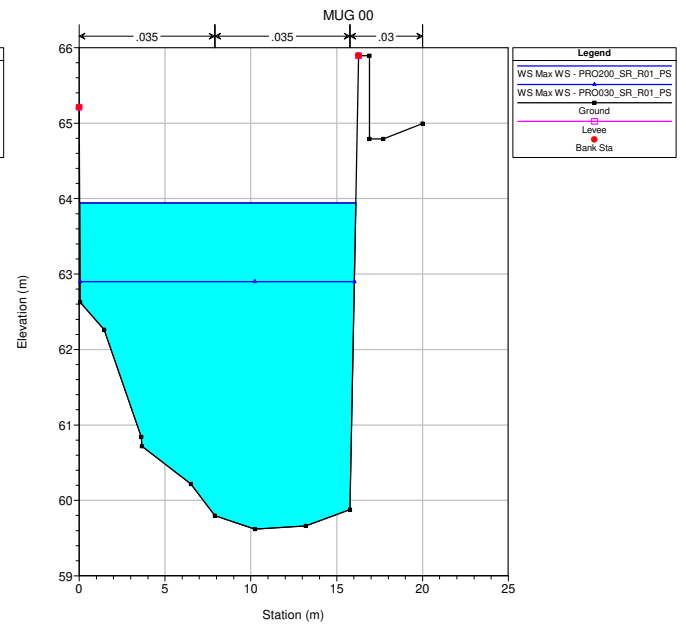
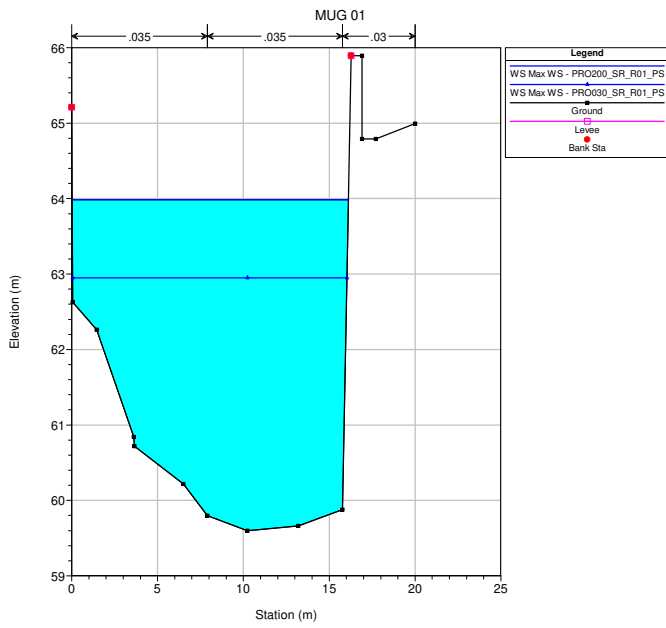




# SEZIONI FLUVIALI VERIFICHE IDRAULICHE SCENARIO 2









SEZIONI FLUVIALI VERIFICHE IDRAULICHE SCENARIO 3

