



**PROVINCIA DI MANTOVA  
COMUNE DI MANTOVA**

**MN-E-409-M – LAVORI DI RIFACIMENTO DELLA CHIAVICA DEL RIO  
NEL COMUNE DI MANTOVA**

**INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER IL RIPRISTINO FUNZIONALE DELLA CHIAVICA**



**PROGETTO ESECUTIVO**

**Relazione Idrologica e Idraulica**



COMM	PROT.	DOC.	REV.	DESCRIZIONE	EMESSO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
1090	E	R03	0	Emissione	TRN	FRR	FRR	11/20188



Il sistema di Gestione Qualità di IC Srl è certificato da Kiwa Cermet Italia Spa secondo ISO 9001:2015  
Certificato n°16771-A del 18.3.2018, scadenza 17.3.2021



## SOMMARIO

<b>1</b>	<b><i>PREMESSA</i></b>	<b><i>1-1</i></b>
<b>2</b>	<b><i>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</i></b>	<b><i>2-1</i></b>
<b>3</b>	<b><i>ASPETTI IDROLOGICI CONNESSI CON L'OPERA</i></b>	<b><i>3-2</i></b>
<b>4</b>	<b><i>STIMA DELLA PORTATA TRANSITANTE</i></b>	<b><i>4-4</i></b>
<b>5</b>	<b><i>VALUTAZIONI SULLA CAPACITÀ DI DEFLUSSO DELLA CHIAVICA</i></b>	<b><i>5-7</i></b>



## RIFERIMENTI NORMATIVI

- Direttiva n. 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio 23 ottobre 2000. Istituzione di un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque;
- D. Lgs n° 152 del 3 aprile 2006. Norme in materia ambientale;
- D.P.C.M. dell'8 febbraio 2013. Approvazione del Piano di Gestione del Distretto Idrografico Padano;
- Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n° 1 del 3 marzo 2016. Approvazione del riesame e aggiornamento al 2015 del Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po;
- Legge Regionale 12 dicembre 2003, n° 26. Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche;
- Regolamento Regionale 24 marzo 2006, n° 2. Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- D.G.R n° 6990 del 31 luglio 2017. Norme tecniche di Attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque.

## 1 PREMESSA

Con incarico di A.I.P.O – Agenzia Interregionale per il fiume PO – è stato redatto il presente progetto esecutivo, relativo ai lavori di manutenzione straordinaria della Chiavica del Rio di Mantova nel Comune di Mantova (MN).

Il manufatto in oggetto è un'opera idraulica storica che consente la regolazione del deflusso delle acque che si immettono nel Rio di Mantova provenienti dal lago Superiore, attraversando il centro storico della città, per poi sfociare nel lago Inferiore. L'opera è costituita sostanzialmente da un muro al cui interno sono inghisate n° 3 paratoie di regolazione. La ristrutturazione dell'opera è necessaria in quanto il manufatto ha subito per parte della sua lunghezza una parziale rotazione e allo stato attuale è in condizioni precarie, limitandone tra l'altro la sua funzionalità.

La presente relazione illustra gli aspetti idraulici ed idrologici connessi con l'opera.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La città di Mantova è attorniata da tre laghi, denominati Superiore, di Mezzo e Inferiore, facenti parte dell'asta del fiume Mincio. L'opera in progetto è installata sul lago Superiore e consente la regolazione e il deflusso delle acque dal lago verso il rio di Mantova, canale medioevale che taglia in due la città, collegando il lago Superiore con quello Inferiore. Storicamente il canale fungeva da via commerciale, alimentando le attività artigianali e mercantili presenti in città, e fornendo acqua ai cittadini. Oggi solo una parte del rio è visibile in quanto è stato parzialmente tombinato. L'opera è circondata dal lago Superiore a NW, strada ciclabile e rete ferroviaria sul lato SE. L'accesso all'opera è da via Monsignor Luigi Martini dal quartiere di Belfiore.



Figura 2-1: Stralcio Ortofoto con indicazione della posizione della chiavica (cerchio rosso).

Il lago Superiore è collegato al lago di Mezzo sia con il manufatto di sostegno del Vaso di Porto o Vasarone (bocca di regolazione che risale alla metà del XIII secolo), sia con la bocca della Vasarina (realizzata nella seconda metà degli anni '90); i laghi di Mezzo e Inferiore sono tra loro collegati dal Ponte di S. Giorgio. Al lago Superiore, oltre al Mincio, giungono da altri immissari le acque di drenaggio delle campagne circostanti o da risorgive dell'ultima fascia. Gli immissari in riva sinistra sono: il Brolazzo, il Naviglio della Cartiera, la Collarina, la fossa Filippina, il Naviglio di Goito, il rio Freddo, il rio Corniano e il Parcarello; emissari del lago, in riva destra: il canale Paiolo (che si immette in Vallazza dopo aver ricevuto anche lo scarico del depuratore di Mantova), la fossa Magistrale (completamente coperta, sostanzialmente un collettore fognario che sversa direttamente nel lago Inferiore, alla chiusa Valsecchi) e il Rio (parzialmente coperto, che attraversa la città di Mantova e sfocia nel lago Inferiore a Porto Catena, controllato dalla chiavica in oggetto).

Immissari del Lago di Mezzo sono la fossa Gambarara (che raccoglie anche parte delle acque del Parcarello deviate prima della foce naturale nel lago Superiore), la fossa Serena (che raccoglie le acque dell'Agnella, del Fosso Cristo e quelle di restituzione della Cartiera Burgo) e le acque di scolo che giungono dal Buco del Gatto.

Il lago Inferiore a sua volta riceve in riva destra le acque del Rio e della Fossa Magistrale (deviate dal lago Superiore) e in riva sinistra le acque del canale San Giorgio. Le acque dal lago Inferiore, attraverso la diga Masetti, si immettono dapprima in Vallazza per terminare successivamente nel Mincio, tramite il fornace di Formigosa, o in Fissero Tartaro canal Bianco tramite il by-pass di collegamento con il canale navigabile.

### 3 ASPETTI IDROLOGICI CONNESSI CON L'OPERA

La Chiavica in oggetto è installata sul lago Superiore di Mantova e permette la regolazione della portata in ingresso al Rio di Mantova.

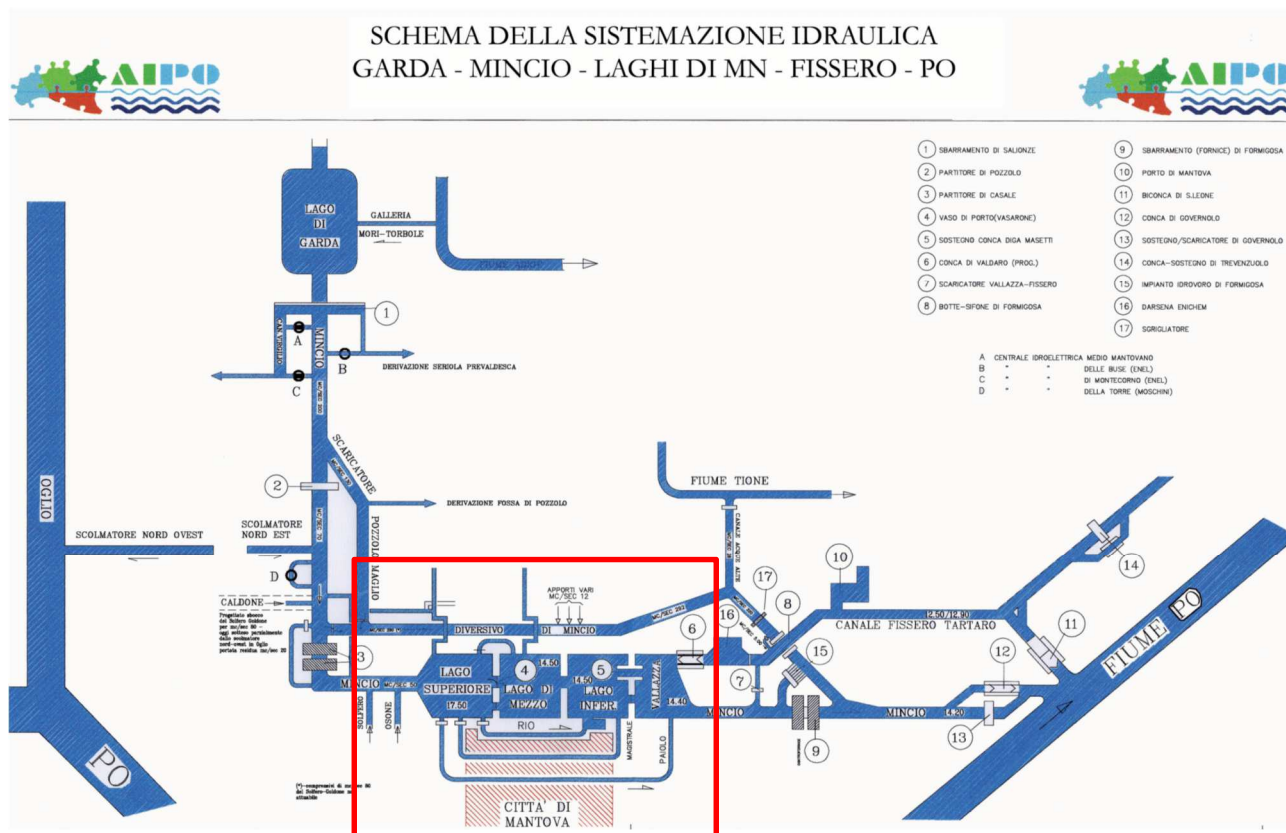


Figura 3-1: Rappresentazione schematica dell'attuale assetto idraulico del fiume Mincio. Fonte: "Programma Provinciale e Prevenzione di Protezione Civile – Provincia di Mantova (MN) – 2006.

La chiavica è formata da n° 3 paratoie che possono essere regolate manualmente e il deflusso di portata attraverso esse è dipendente dal livello idrometrico del lago Superiore.

Il livello del lago Superiore è regolato dal manufatto di Vaso di Porto, o Vasarone e della Vasarina, al Ponte dei Mulini (che separa idraulicamente il Lago Superiore dal Lago di Mezzo), la cui funzione è mantenere pressoché costante il livello del lago Superiore in funzione delle portate del fiume Mincio a valle del partitore di Casale (frazione Sacca) di Goito (MN). Come si evince dal *“Piano per la valutazione e la gestione del rischio di Alluvioni – IV A. Area a rischio significativo di alluvione - ARS Distrettuali – 2. Schede monografiche – Città di Mantova”* edito nel marzo 2016 dall’Autorità di Bacino del Fiume Po, il fiume Mincio, emissario del Lago di Garda, è regolato costantemente nelle sue portate, e lo schema delle portate massime ammissibili per diversi tratti del corso d’acqua assunto nel progetto generale di sistemazione e riportato nel PAI è il seguente: 200 m<sup>3</sup>/s fino a Pozzolo, 70 m<sup>3</sup>/s da Pozzolo a Sacca di Goito, 50 m<sup>3</sup>/s a valle di Sacca.

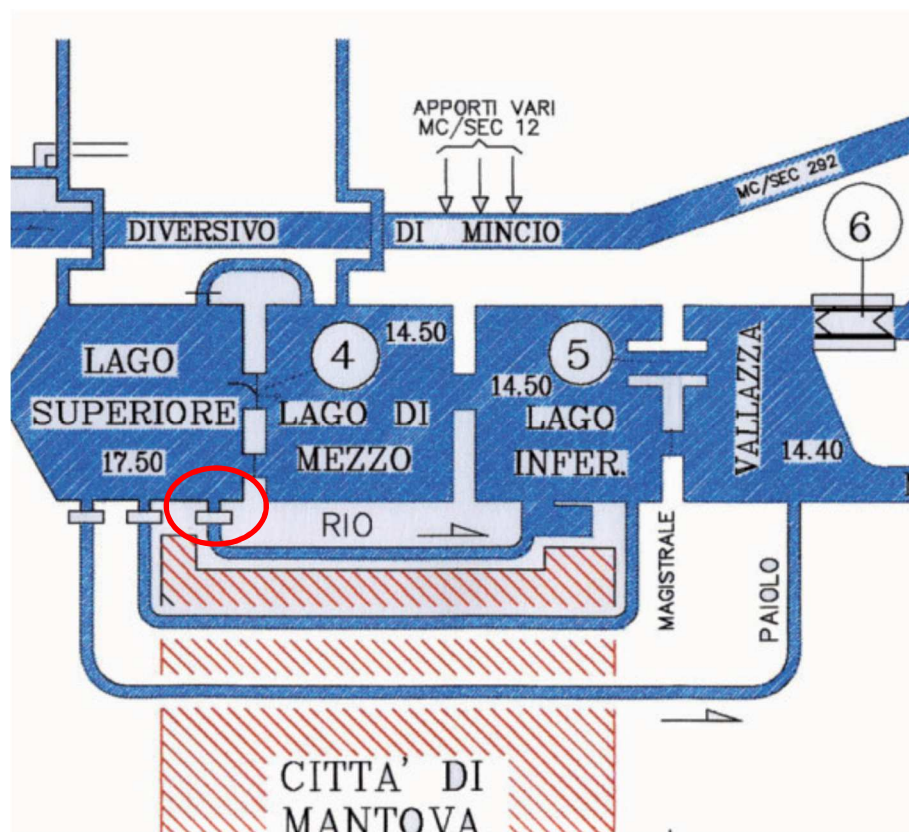


Figura 3-2: Particolare dello schema d'assetto idraulico del fiume Mincio. Con cerchio rosso è indicata la posizione dell'opera in oggetto.

A tal fine sono stati realizzati dei canali scolmatori che entrano in funzione per garantire il non superamento dei suddetti valori. Il primo, lo scaricatore Pozzolo - Maglio, con capacità massima di 130 m<sup>3</sup>/s, deriva le portate eccedenti presso Pozzolo, in sinistra idraulica e prosegue in direzione sud. Tra le frazioni di Maglio (Comune di Goito) e Soave (Comune di Porto Mantovano) si immette nello scolmatore denominato “Diversivo Mincio” che sottrae al Mincio le portate di piena all’altezza della frazione Sacca del Comune di Goito (opera denominata “partitore di Casale”), regolando pertanto le acque in ingresso al lago Superiore di Mantova. I by-pass si reimmettono nel fiume Mincio al nodo di Formigosa.

La regolazione operata dal manufatto di Vaso di Porto pertanto consente il mantenimento di un livello pressoché costante, con variazioni ridotte e stimabili entro i 30 cm. Si può pertanto assumere che la gestione dell’opera in progetto è indipendente dall’idrologia del Fiume Mincio e del Lago Superiore da cui vengono captate le acque del Rio di Mantova.

## 4 STIMA DELLA PORTATA TRANSITANTE

I lavori in oggetto comporteranno la messa in fuori servizio della chiavica. Di conseguenza la stima della portata transitante è fondamentale per determinare la portata da rilasciare con un meccanismo di by-pass.

Il Rio di Mantova non è soggetto ad un rilascio minimo previsto, però richiede un deflusso continuo principalmente per aspetti paesaggistici, in quanto attraversa il centro storico della città di Mantova, e per aspetti igienico-sanitari, in quanto il continuo deflusso nel rio consente il ricircolo delle acque, limitando la stagnazione ed evitando l'insorgenza di fenomeni di eutrofizzazione.

Il deflusso nel rio è comandato dalla chiavica in oggetto, il cui funzionamento è pressoché statico lungo tutto l'arco dell'anno, con le paratoie che non vengono mai movimentate a meno di particolari e rare situazioni in cui è necessario operare delle manovre sull'opera. Considerando la ridotta escursione annuale di livello del lago Superiore (0 – 30 cm), si può assumere praticamente costante la portata transitante dalla chiavica che si immette nel rio.

In data 19 febbraio 2018 sono state effettuate alcune misure in alveo per ottenere una stima della portata transitante. In particolare sono state prese alcune misure idrauliche della chiavica e delle misure in alveo a valle dell'attraversamento della S.P. 10 (Figura 4-1).



Figura 4-1: Estratto Google Maps

A valle dell'attraversamento della S.P. 10 sono state prese delle misure della geometria della sezione (rettangolare) e della velocità dell'acqua (Figura 4-2 e Figura 4-3). La larghezza della sezione  $L$  [m], altezza idrica  $h$  [m] dell'acqua e velocità  $v$  [m/s] sono risultati rispettivamente pari a  $L = 4.50$  m,  $h = 0.88$  m e  $v = 0.27$  m/s. Considerando che la portata è pari al prodotto di superficie bagnata e velocità, si ottiene che la portata transitante è pari a circa 1,07 mc/s (1070 l/s).

$$A = L \cdot h, \quad Q = v \cdot A$$



Figura 4-2: Sezione di sbocco del tratto tombinato d'attraversamento della S.P.10. In rosso sezione di misura della portata.

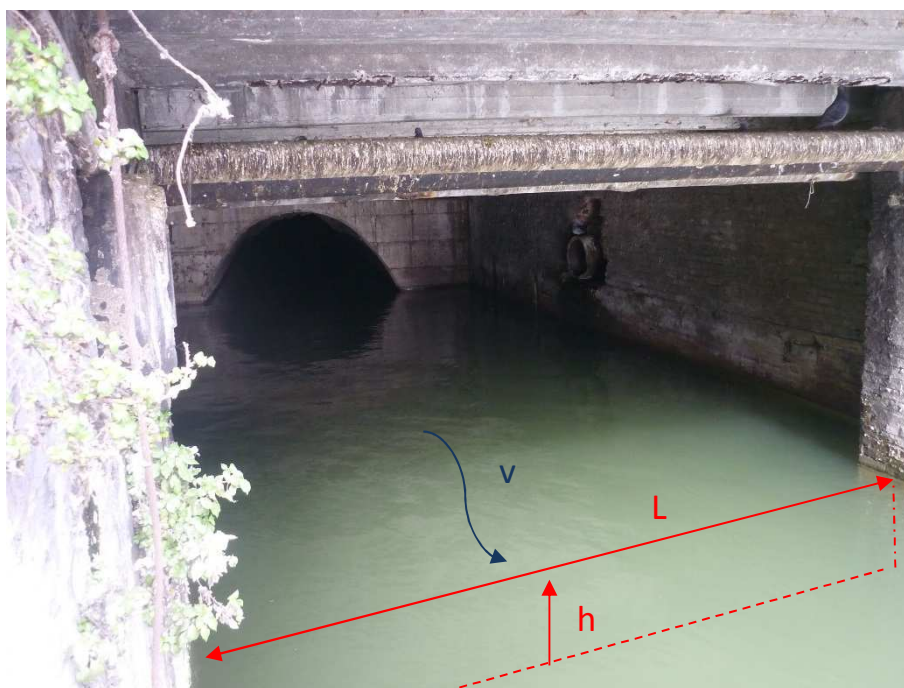


Figura 4-3: Tratto terminale tombinato al di sotto della S.P. 10. Indicazione delle grandezze misurate.

Tabella 4-1: campagna di misura in alveo a valle dell'attraversamento della S.P. 10. Risultati della misura.

Grandezza		Valore
Larghezza Sezione	L	4,50 m
Altezza livello idrico	h	0,88 m
Velocità misurata	V	0,27 m/s
<b>Portata stimata</b>	<b>Q</b>	<b>1070 l/s</b>

Parallelamente è stata fatta una verifica della portata transitante in prossimità della Chiavica. Sempre in data 19 febbraio 2018 è stato eseguito un rilievo della geometria delle opere. In tale data era aperta la paratoia centrale,

larghezza netta  $L = 0,90$  m con apertura verticale  $H$  [m] circa pari a  $B = 0.8$  m, il livello idrico a monte  $h_m$  era pari a  $h_0 = 1,08$  m mentre il livello idrico a valle  $h_v$  era pari a  $0,94$  m. Il deflusso attraverso la paratoia è pertanto rigurgitato. Il deflusso attraverso una bocca rigurgitata può essere calcolato tramite la seguente<sup>1</sup>:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{v0}}, \text{ con } \mu = \frac{C_v}{\sqrt{\frac{1}{A_v^2} + \left(\frac{1}{C_c \cdot A} - \frac{1}{A_v}\right)^2 \cdot A}}$$

Dove:  $Q$  = portata [mc/s],  $\mu$  = coefficiente efflusso [-];  $A$  = superficie apertura paratoia [mq];  $h_{v0}$  = dislivello monte valle =  $h_0 - h_v$  [m];  $A_v$  = sezione bagnata a valle della paratoia [mq];  $C_v$  = coefficiente di velocità nella sezione contratta [-];  $C_c$  = coefficiente di contrazione [-]. La velocità in ingresso a monte è stata considerata trascurabile.



Figura 4-4: 9 febbraio 2018. Chiavica Rio di Mantova. Si nota il diaframma della paratoia centrale aperta.

Tabella 4-2: Calcoli e misure eseguite alla chiavica.

Grandezza		Valore
Livello idrico monte	$h_0$	1,08 m
Livello idrico valle	$h_v$	0,94 m
Altezza apertura paratoia	$H$	0,80 m
Larghezza netta paratoia	$L_p$	0,9 m
Sezione netta paratoia	$A$	0,72 mq
Dislivello idrico monte-valle paratoia	$h_{v0}$	0,14 m
Sezione bagnata valle	$A_v$	0,81 mq
Coefficiente velocità sez. contratta	$C_v$	0,98
Coefficiente di contrazione	$C_c$	0,63
Coefficiente di efflusso	$\mu$	0,87
<b>Portata stimata</b>	<b>Q</b>	<b>1030 l/s</b>

<sup>1</sup> Manuale dell'ingegnere – volume secondo – Nuovo Colombo HOEPLI

In Tabella 4-2 si riportano i risultati del calcolo. Si ottiene una portata pari a 1030 l/s, in linea con quanto stimato a valle dell'attraversamento tombinato. I valori pertanto possono ritenersi attendibili.

## 5 VALUTAZIONI SULLA CAPACITÀ DI DEFLUSSO DELLA CHIAVICA

Nel presente capitolo si riportano le valutazioni relative alla capacità di deflusso della chiavica nel suo complesso. La chiavica è formata da n° 3 paratoie di luce complessiva massima  $L = 0,90 \times A = 0,90$  m ciascuna (Figura 4-4). Lungo il percorso tombinato del rio di Mantova, a valle dell'attraversamento della ciclabile e a monte dell'attraversamento della ferrovia è presente un'ulteriore manufatto di regolazione del deflusso, formato da una paratoia unica, comandata da due alberi, di dimensioni stimate  $3,40 \times 2,70$  m (in base ai disegni originali, Figura 5-1).



Figura 5-1: Paratoia di regolazione posta a valle dell'attraversamento della ciclabile. Vista dell'organo di comando.

La portata transitante dal Rio di Mantova pertanto ha un duplice controllo, prima delle n° 3 paratoie poste a monte, poi della paratoia unica a valle. Ai fini della valutazione della capacità di deflusso della chiavica si ipotizza la paratoia di valle completamente aperta, in modo da considerare il caso di massimo deflusso dalla chiavica, senza che essa sia influenzata dall'eventuale rigurgito (e quindi funzionamento a bocca rigurgitata e non più libera come potrebbe essere) nel caso di parziale chiusura della paratoia di valle. Lo schema di deflusso previsto è quello di efflusso da paratoia sollevata a battente libero.

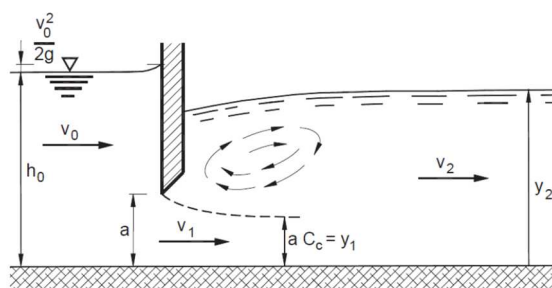


Figura 5-2: Schema di efflusso da paratoia sollevata a battente.

In tali condizioni, si ottiene il calcolo della portata tramite la seguente:

$$Q = \mu \cdot L \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}, \quad \mu = C_c \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{C_c \cdot a}{h_0}}}$$

Dove  $\mu$  = coefficiente d'efflusso [-],  $a$  = apertura luce paratoia [m],  $C_c$  = coefficiente di contrazione = 0,61. Si ottiene una portata in uscita massima pari a 1,37 mc/s per singola paratoia. Nel complesso pertanto la chiavica consentirebbe il deflusso di una portata massima pari a circa 4,11 mc/s (sempre con l'ipotesi di livello idrometrico costante nel lago Superiore di Mantova).

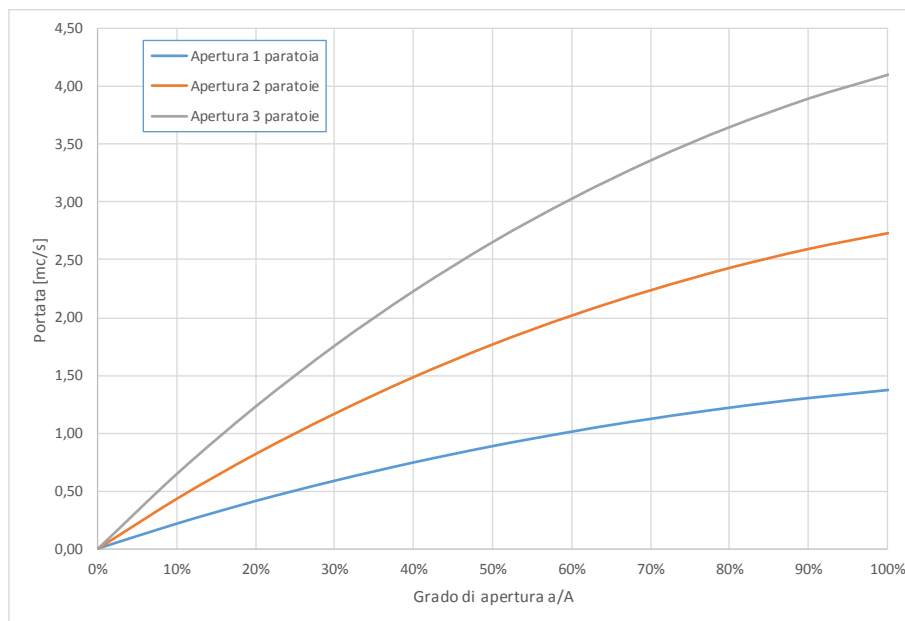


Figura 5-3: Scala di deflusso della chiavica del Rio di Mantova. Ipotesi livello costante a monte e deflusso a luce libera.

Tabella 5-1: Dati di portata. Scala di deflusso chiavica Rio di Mantova.

%a	a [m]	Apertura [l/s]		
		1 paratoia	2 paratoie	3 paratoie
0%	0,00	0	0	0
10%	0,09	220	440	660
20%	0,18	410	820	1230
30%	0,27	590	1180	1770
40%	0,36	740	1480	2220
50%	0,45	890	1780	2670
60%	0,54	1010	2020	3030
70%	0,63	1120	2240	3360
80%	0,72	1220	2440	3660
90%	0,81	1300	2600	3900
100%	0,90	1370	2740	4110

Da segnalare inoltre la presenza a valle prima dell'immissione nel lago Inferiore di ulteriori paratoie che possono incidere sulle portate in deflusso nel Rio.