



Regione Lombardia

Est Ticino Villoresi



Consorzio di Bonifica

“INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA PER IL RIPRISTINO DELLA  
FUNZIONALITÀ DEL CANALE DERIVATORE DI MAGENTA NEI COMUNI DI ARCONATE ED  
INVERUNO (MI)”

C77H21005830002

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

ing. Stefano Burchielli

ELABORATO

**R.03**

IL PROGETTISTA

ing. Alessandro Di Leo

GRUPPO DI LAVORO

ing. Pietro Randazzo

dott.ssa Camilla Berra

geom. Daniele Alessio Donninelli

DESCRIZIONE

RELAZIONE IDRAULICA

SCALA

DATA

MAGGIO 2022

REV.

DATA

DESCRIZIONE MODIFICA

REDATTO

CONTROLL.

APPROVATO

Est Ticino Villoresi



Consorzio di Bonifica

CONSORZIO DI BONIFICA EST TICINO VILLORESI

Via Ludovico Ariosto, 30

20145 - Milano

tel. 02 48561301

e.mail: info@etvilloresi.it - PEC: etvilloresi@pec.it



## INDICE

---

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. SIMULAZIONE IDRAULICA DEL CANALE DERIVATORE MAGENTA IN MOTO PERMANENTE.....</b>	<b>3</b>
2.1 Il modello idraulico.....	3
2.1.1 Sezioni trasversali.....	3
2.1.2 Coefficienti di scabrezza e di contrazione / espansione.....	5
2.1.3 Condizioni al contorno e iniziali.....	6
<b>3. RISULTATI.....</b>	<b>7</b>
3.1 Stato di Fatto.....	7
3.2 Stato di progetto.....	11
<b>4. CONCLUSIONI.....</b>	<b>16</b>
<b>5. APPENDICE: CODICE DI CALCOLO HEC - RAS.....</b>	<b>17</b>



## **1. PREMESSA**

---

Il Derivatore Magenta è un canale secondario della rete irrigua Villoresi. Ha origine alla progressiva 25'685 del Canale Adduttore Principale Villoresi in comune di Arconate, si sviluppa per circa 15'840 m e termina nel comune di Robecco sul Naviglio. Il canale secondario sovrappassa il Naviglio Grande in ponte canale a Robecco sul Naviglio, dove può anche erogare portate integrative al Naviglio attraverso due manufatti di scarico.

Il Derivatore Magenta è di primaria importanza per l'irrigazione. Da esso, infatti, si dipartono 19 canali terziari essenziali per l'irrigazione dei terreni del subcomprensorio di Magenta di cui il derivatore fa parte. La superficie irrigabile dai terziari derivanti dal derivatore è di circa 2'593.6 ha.

Il tratto di canale oggetto di intervento è ubicato nei comuni di Arconate e Inveruno, ha inizio alla progressiva 700 del derivatore ed è lungo circa 1'560 m.

Per i primi 380 m la larghezza originale del fondo è di 1.50 metri e la pendenza delle scarpate compresa fra 1.40 e 1.55 orizzontale su 1 verticale; l'altezza delle sponde è di 1.50 m, variabile a seconda dell'andamento del piano campagna. Il secondo tratto è caratterizzato da una sezione quasi rettangolare, con larghezza di base compresa fra 2.50 m e 3.50 m, l'altezza delle sponde è variabile a seconda dell'andamento del piano campagna. Per tutto il tratto di canale oggetto di intervento, sia il fondo che le sponde sono rivestite in calcestruzzo.

Allo stato attuale si osservano alcuni tratti ammalorati, in particolare il tratto intermedio compreso tra la sezione 13 e la sezione 19 e il tratto terminale compreso tra la sezione 27 e la sezione 29.

Sono presenti, inoltre, 4 salti di fondo in corrispondenza delle sezioni 7, 13, 21 e 25.

Il presente progetto prevede la risagomatura del tratto di canale oggetto di intervento con una sezione rettangolare pari 3.5 m x 1.5 m ed il recupero di una livelletta omogenea.



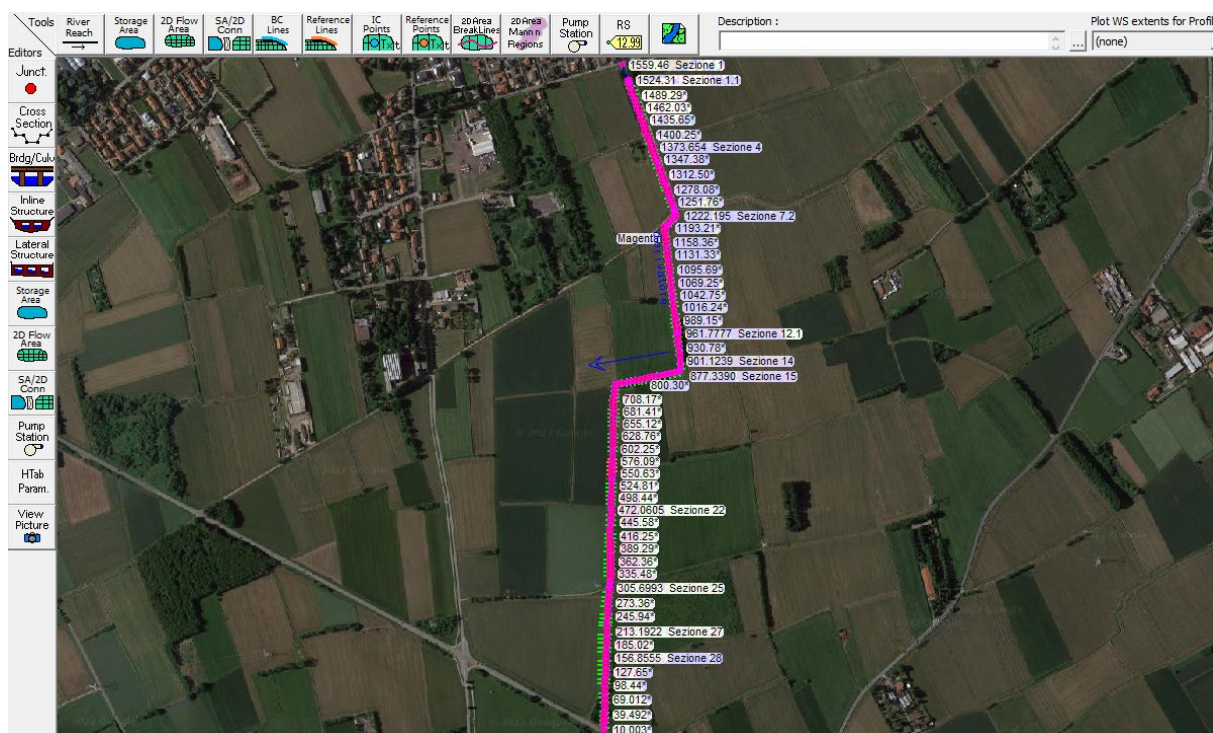
## 2. SIMULAZIONE IDRAULICA DEL CANALE DERIVATORE MAGENTA IN MOTO PERMANENTE

Il modello idraulico è stato implementato sia allo stato di fatto, sia, previe opportune modifiche per tenere in conto gli interventi previsti in progetto e per analizzare la loro efficacia, allo stato di progetto con il codice HEC-RAS

### 2.1 IL MODELLO IDRAULICO

#### 2.1.1 Sezioni trasversali

Le sezioni trasversali inserite nel modello idraulico sono state desunte dal rilievo topografico effettuato nel 2021. Le sezioni inserite nel modello sono 44, distribuite su 1'559.46 m di sviluppo longitudinale, a cui sono state aggiunte sezioni interpolanti con distanze parziali dell'ordine di 10 m.



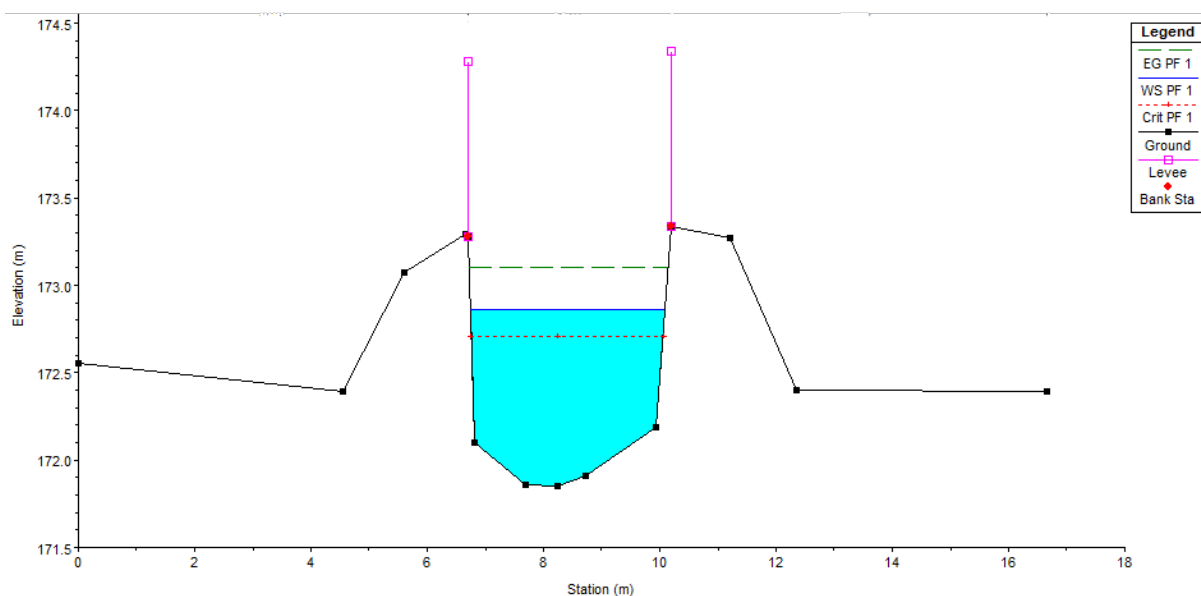
Modello HEC-RAS per la simulazione del canale Derivatore Magenta

Nel modello sono stati inseriti anche i salti di fondo: in questo modo, evitando interpolazioni delle quote di fondo, è stato possibile calcolare correttamente i livelli idrometrici del derivatore in funzione delle portate.

Per quanto riguarda le sezioni trasversali, inoltre, sono stati inseriti i "levee", che rappresentano dei punti fissi oltre i quali l'acqua non può uscire. In assenza di questi, infatti, HEC-RAS calcolerebbe come area partecipante al deflusso l'intera sezione al di sotto di una certa quota. L'inserimento dei levee consente invece di attivare, ad esempio, le aree esterne agli argini solo una volta raggiunta la quota di sommità degli



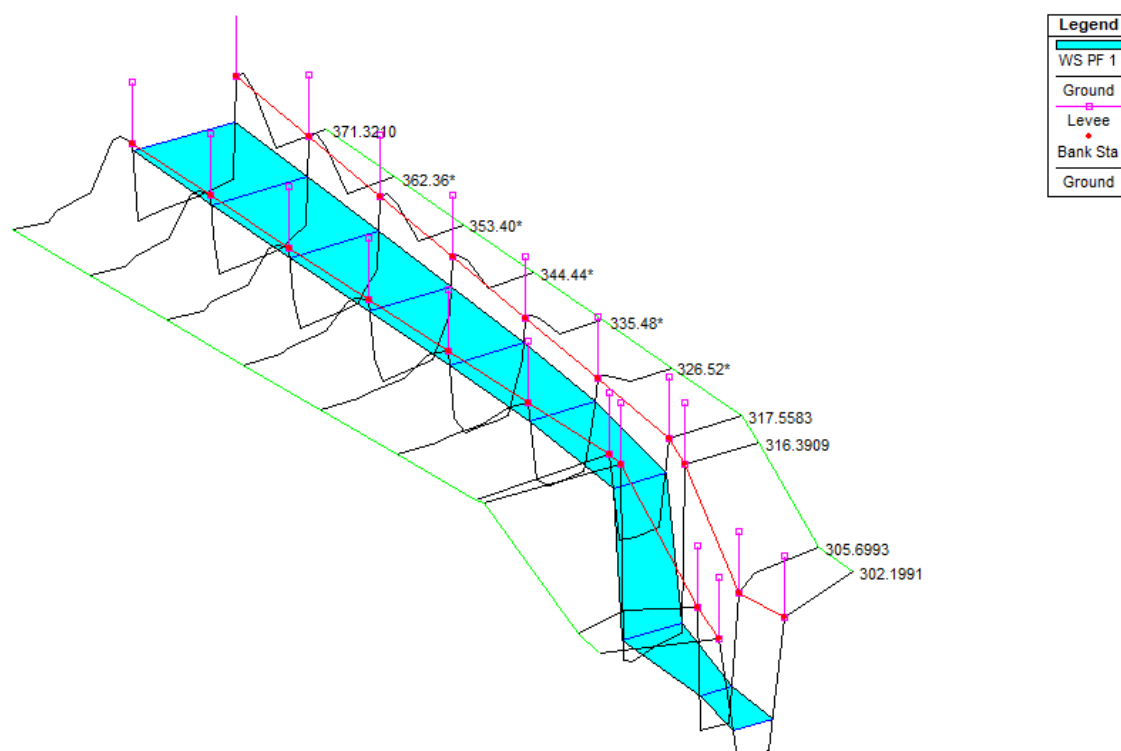
argini. In altri casi, invece, sono stati utilizzati i levee per escludere il deflusso oltre gli argini.



In viola i levee su una sezione trasversale

Oltre alle sezioni principali, ricavate dai rilievi, sono state inserite altre sezioni secondarie ricavate per interpolazione a passo costante di circa 10 m. L'inserimento delle sezioni interpolate permette una maggior precisione del modello idraulico e nello stesso tempo ne consente un funzionamento migliore in quanto vengono evitate brusche variazioni tra sezioni contigue. Il modello, dunque, viene reso più stabile.

Le sezioni interpolate sono state preventivamente validate.

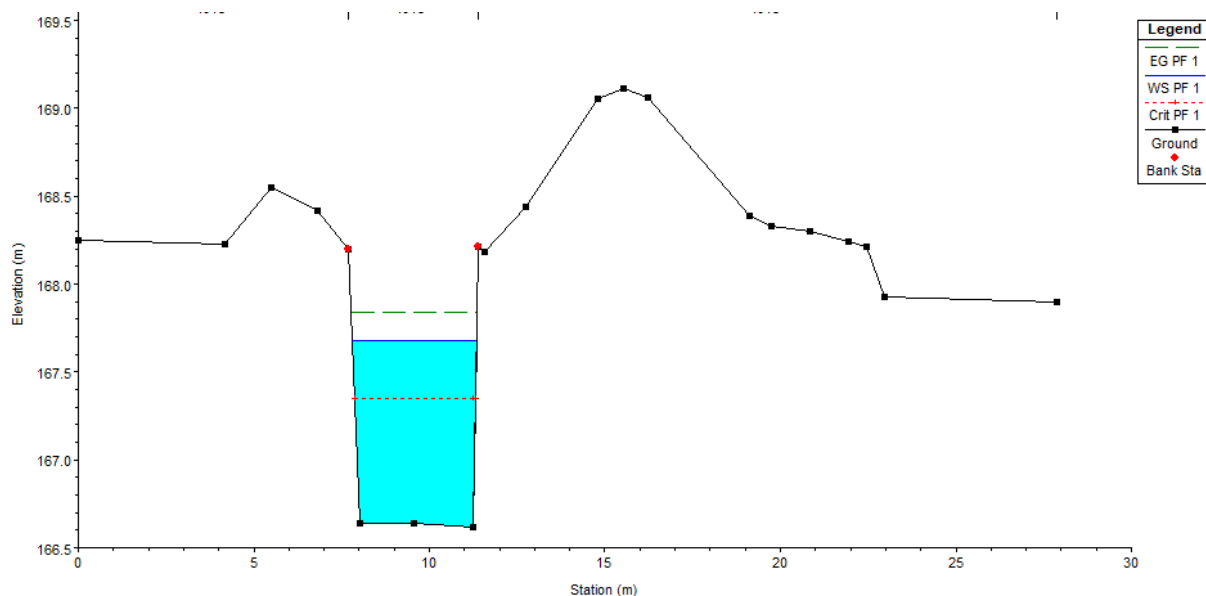


Esempio di interpolazione tra due sezioni differenti di forma.

## 2.1.2 Coefficienti di scabrezza e di contrazione / espansione

Mediante l'inserimento delle main channel bank stations sono state divise le zone appartenenti all'alveo del canale dalla campagna circostante.

Essendo sia il fondo che le sponde rivestiti di calcestruzzo, è stato inserito un unico coefficiente di scabrezza pari a  $0.0143 \text{ s/m}^{1/3}$ .



In rosso la delimitazione del canale dalla campagna.



2.1.3 Condizioni al contorno e iniziali

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, sono state inserite sia quelle a monte che a valle, essendo misto il regime idraulico del derivatore Magenta (ovvero con tratti caratterizzati da correnti veloci alternati a tratti di corrente lenta).

In particolare le portate sono state inserite facendo riferimento alle portate di progetto di 6,2 m<sup>3</sup>/s.

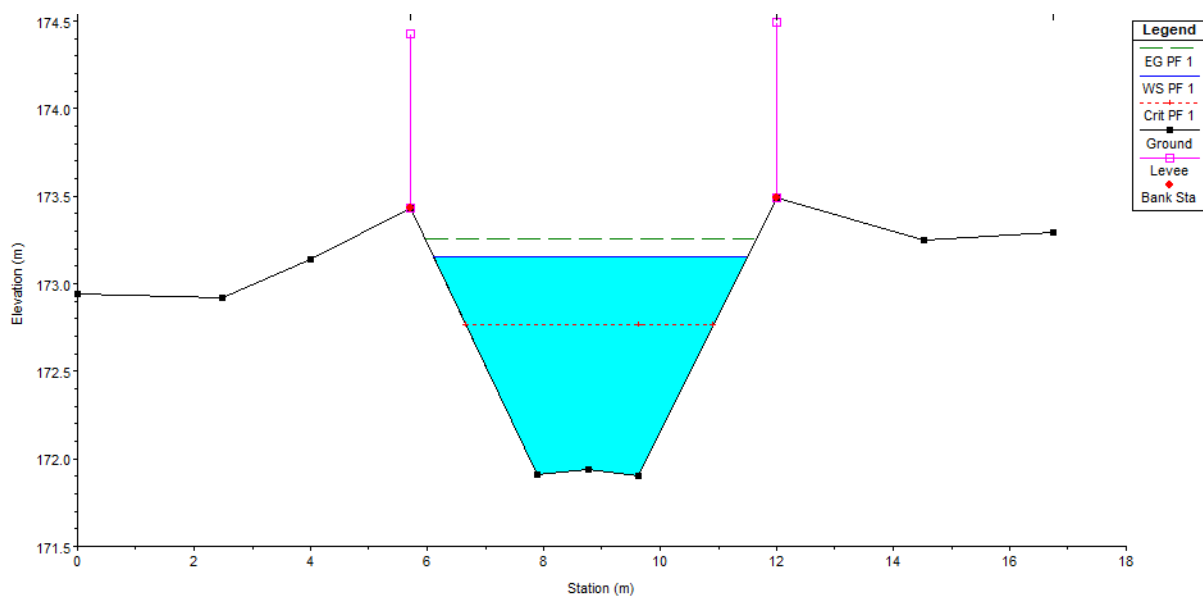
Tali condizioni valgono sia per lo stato di fatto che per lo stato di progetto.



### 3. RISULTATI

#### 3.1 Stato di Fatto

Le simulazioni effettuate restituiscono un quadro della capacità idraulica del derivatore Magenta stabile. Per tutto il tratto il canale presenta franchi di sicurezza.



Verifica di una sezione trasversale con portata  $6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva del modello idraulico nello stato di fatto, sollecitato dalla portata di  $6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

River Sta	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	Franco idraulico
	( $\text{m}^3/\text{s}$ )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	( $\text{m}^2$ )	(m)		(m)
1559.46 Sezione 1	6.2	172.95	175.37	173.74	175.4	0.00017	0.87	7.15	3	0.18	0.59
1524.31 Sezione 1.1	6.2	173.63	175.37	174.21	175.4	0.000104	0.74	8.42	5.25	0.19	0.65
1521.87 Sezione 1.2	6.2	174.33	175.07	175.05	175.37	0.002767	2.43	2.55	3.93	0.96	0.93
1519.043 Sezione 1.3	6.2	174.33	175.05	175.05	175.37	0.003024	2.51	2.47	3.9	1.01	0.95



River Sta	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	Franco idraulico
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)		(m)
1518.285 Sezione 1.4	6.2	173.57	173.84	174.16	175.24	0.03759	5.22	1.19	4.56	3.27	2.14
1479.621 Sezione 2	6.2	173.26	174.45	174.26	174.63	0.001353	1.89	3.29	4.53	0.71	0.22
1426.853 Sezione 3	6.2	173.23	174.33	174.23	174.56	0.001884	2.13	2.92	4.33	0.83	0.38
1373.654 Sezione 4	6.2	173.1	174.25	174.08	174.44	0.001393	1.9	3.27	4.59	0.72	0.37
1321.109 Sezione 5	6.2	173.07	174.12	174.05	174.36	0.002085	2.2	2.82	4.3	0.87	0.46
1269.478 Sezione 6	6.2	172.93	173.98	173.93	174.25	0.002304	2.29	2.71	4.19	0.91	0.44
1234.046 Sezione 6.1	6.2	172.98	173.75	173.81	174.13	0.00425	2.76	2.25	4.03	1.18	0.52
1230.671 Sezione 7	6.2	171.83	172.38	172.82	173.98	0.026097	5.61	1.1	2.1	2.47	1.88
1227.890 Sezione 7.1	6.2	171.91	172.5	172.88	173.82	0.019452	5.07	1.22	2.14	2.14	1.76
1222.195 Sezione 7.2	6.2	171.9	172.41	172.75	173.63	0.019142	4.89	1.27	3.21	2.48	1.13
1216.705 Sezione 8	6.2	171.9	172.45	172.78	173.55	0.016657	4.65	1.33	3.27	2.32	1.05
1185.382 Sezione 9	6.2	171.9	173.15	172.77	173.25	0.000636	1.41	4.39	5.37	0.5	0.28



River Sta	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	Franco idraulico
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)		(m)
1113.316 Sezione 10	6.2	171.98	172.97	172.78	173.19	0.001584	2.04	3.03	3.49	0.7	0.38
1060.431 Sezione 11	6.2	171.85	172.84	172.7	173.09	0.001942	2.21	2.8	3.35	0.77	0.44
1007.401 Sezione 12	6.2	171.79	172.63	172.63	172.99	0.003213	2.64	2.35	3.34	1.01	0.60
961.7777 Sezione 12.1	6.2	171.7	172.22	172.35	172.7	0.007172	3.08	2.01	4.8	1.52	0.88
960.4346 Sezione 13	6.2	170.07	170.55	170.9	172.55	0.075664	6.27	0.99	4.76	4.39	2.55
901.1239 Sezione 14	6.2	170.12	171.16	170.92	171.36	0.001524	2.01	3.09	3.38	0.67	0.16
877.3390 Sezione 15	6.2	170.03	171.15	170.83	171.31	0.001111	1.79	3.46	3.51	0.58	0.16
809.6002 Sezione 16	6.2	169.94	171.09	170.73	171.23	0.000933	1.68	3.69	3.77	0.54	0.06
735.1658 Sezione 17	6.2	169.81	171.02	170.6	171.16	0.000797	1.6	3.87	3.65	0.5	0.04
690.1772 Sezione 18	6.2	169.71	170.99	170.51	171.12	0.000736	1.54	4.03	3.52	0.46	0.31
637.5921 Sezione 19	6.2	169.67	170.96	170.52	171.08	0.0007	1.54	4.02	3.82	0.48	0.02
584.5753 Sezione 20	6.2	169.62	170.91	170.39	171.03	0.000731	1.53	4.04	3.36	0.45	0.01



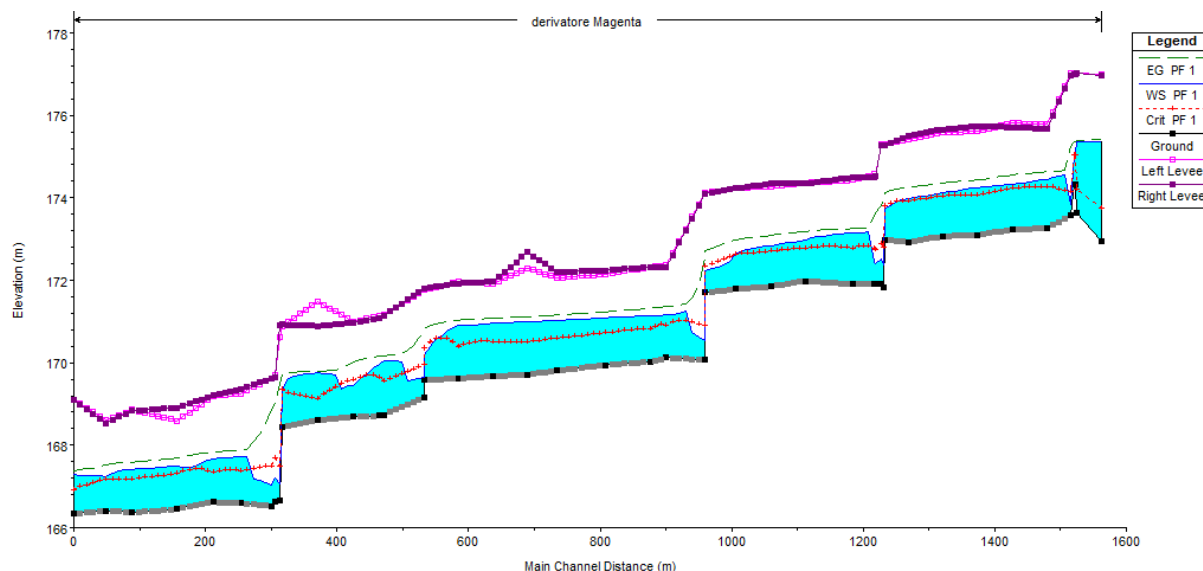
River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Franco idraulico
	(m³/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m²)	(m)		(m)
533.65 Sezione 20.1	6.2	169.58	170.2	170.38	170.83	0.007782	3.53	1.76	3.02	1.48	0.98
533.6014 Sezione 21	6.2	169.17	169.64	169.97	170.78	0.018562	4.72	1.31	2.98	2.27	1.14
472.0605 Sezione 22	6.2	168.74	170.04	169.56	170.17	0.000855	1.6	3.86	3.27	0.47	0.11
465.9284 Sezione 22.1	6.2	168.72	169.95	169.64	170.16	0.001395	1.99	3.12	3.08	0.63	0.13
425.2399 Sezione 23	6.2	168.69	169.45	169.58	170.01	0.005963	3.32	1.87	2.74	1.29	0.52
371.3210 Sezione 24	6.2	168.6	169.76	169.13	169.79	0.000166	0.8	7.76	7.66	0.25	0.1
317.5583 Sezione 24.1	6.2	168.45	169.35	169.35	169.72	0.003336	2.72	2.28	2.94	0.99	0.53
316.3909 Sezione 24.2	6.2	166.66	167.06	167.5	169.48	0.064441	6.9	0.9	3.22	4.17	2.56
305.6993 Sezione 25	6.2	166.62	167.21	167.69	169.01	0.027795	5.93	1.05	1.92	2.57	1.45
302.1991 Sezione 25.1	6.2	166.52	167.04	167.5	168.86	0.029077	5.98	1.04	2.3	2.84	1.58
254.1258 Sezione 26	6.2	166.6	167.74	167.38	167.88	0.000934	1.69	3.66	3.63	0.54	0.51
213.1922 Sezione 27	6.2	166.62	167.68	167.35	167.83	0.001114	1.77	3.51	3.53	0.56	0.52



River Sta	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	Franco idraulico
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)		(m)
156.8555 Sezione 28	6.2	166.45	167.5	167.32	167.69	0.001361	1.92	3.22	4.08	0.69	0.09
88.70259 Sezione 29	6.2	166.37	167.42	167.18	167.59	0.001231	1.86	3.34	3.85	0.64	0.41
49.32109 Sezione 30	6.2	166.41	167.23	167.17	167.52	0.00262	2.41	2.58	3.5	0.9	0.29
0.173583 Sezione 31	6.2	166.34	167.28	166.93	167.39	0.000701	1.44	4.3	4.94	0.49	0.81

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del tratto di derivatore indagato per portata di 6.2 m<sup>3</sup>/s.

Tale profilo mostra l'attuale irregolarità del fondo. L'intervento progettuale prevederà quindi il recupero di una livelletta omogenea oltre alla risagomatura delle sezioni.

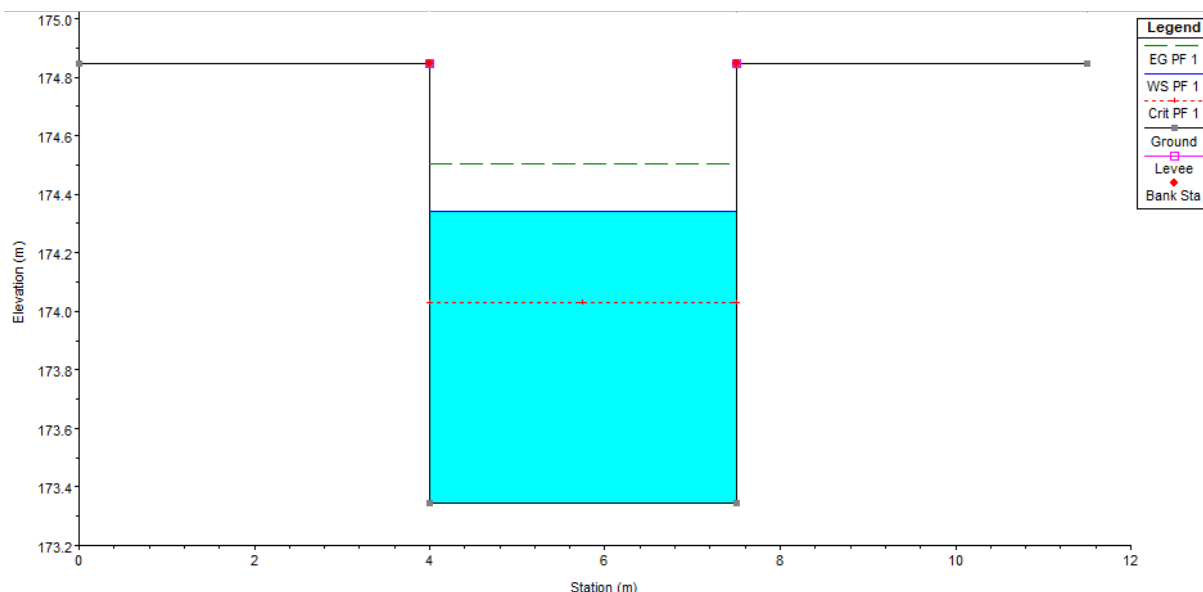


### 3.2 Stato di progetto

L'intervento progettuale prevede la risagomatura delle sezioni ed il recupero di una livelletta omogenea.



Sono state considerate sezioni con una dimensione interna pari a 3.50 m (larghezza) e 1.50 m (altezza) e un coefficiente di scabrezza pari a  $0.0143 \text{ s/m}^{1/3}$  mentre il fondo ha una pendenza del 0.07%.



Verifica di una sezione trasversale con portata  $6.2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Allo stato di progetto il canale presenta 3 salti di fondo, in corrispondenza delle sezioni 7, 13 e 24.1. Il salto presente alla sezione 21 non è stato considerato in stato di progetto. Infatti, tra la sezione 21 e la sezione 24.1 il fondo del canale è stato rialzato di circa 1 m.

Per superare le interferenze con la viabilità esistente, senza modificare i piani quotati, si intende realizzare un sifone rovescio alla sezione 22, costituito da scatolari prefabbricati opportunamente raccordati col canale a cielo aperto, avente dimensioni interne pari a 3.50 m (larghezza) e 1.50 m (altezza).

Le perdite di carico che descrivono il funzionamento del sifone in pressione si distinguono in concentrate e distribuite:

$$\Delta H = \Sigma \Delta h + Lj$$

$\Delta H$ : carico totale disponibile assunto pari a 5 cm;

$\Sigma \Delta h$ : perdite di carico concentrate;

$L$ : lunghezza totale della condotta assunta pari a 10 m;

$j$ : perdita di carico distribuita.

Le perdite di carico localizzate sono proporzionali all'altezza cinetica secondo un opportuno coefficiente che tenga conto della geometria dell'ostacolo puntuale:

$$\Delta h = k \frac{v^2}{2g}$$



k: coefficiente di perdita di carico pari a 0.2 per ingresso al sifone, e 0.4 uscita dal sifone;

v: velocità del fluido;

g: accelerazione di gravità.

Le perdite di carico distribuite, proporzionali alla lunghezza della condotta in esame, possono essere stimate con la formula di Pezzoli, ampiamente documentata in letteratura, che rappresenta una semplificazione della formula di Colebrook-White:

$$D = \frac{Q^{2/5}}{(2 g J)^{1/5} \left\{ -\frac{\pi}{\sqrt{2}} \log \left[ \frac{\varepsilon (2 g J)^{1/5}}{1.77 Q^{2/5}} + \frac{5.4 \nu}{Q^{3/5} (2 g J)^{1/5}} \right] \right\}^{2/5}}$$

D: diametro di progetto della condotta;

Q: portata di progetto pari a 6.2 m<sup>3</sup>/s;

ν: viscosità cinematica dell'acqua;

ε: scabrezza assoluta pari a 2 10<sup>-3</sup> m per condotte in calcestruzzo in servizio.

Risolvendo le equazioni di progetto sopra riportate si ottengono i seguenti valori:

<b>Sezioni rettangolari</b>	
H=	0.048
Q=	6.200
b=	3.50
h=	1.50
L=	10
Σk=	0.60
φeq=	2.100
Ω=	5.250
ε=	0.001
ν=	1.181
λ=	0.017
J=	0.05698%

**LEGENDA**

H [m] Carico totale

Q [m<sup>3</sup>/s] Portata

L [m] Lunghezza condotta

 $\Sigma k$  Perdite di carico concentrate $\phi$  [m] Diametro condotta $\Omega$  [m<sup>2</sup>] Sezione condotta $\varepsilon$  [m] Scabrezza Colebrook-White

v [m/s] Velocità

J Perdita di carico distribuita

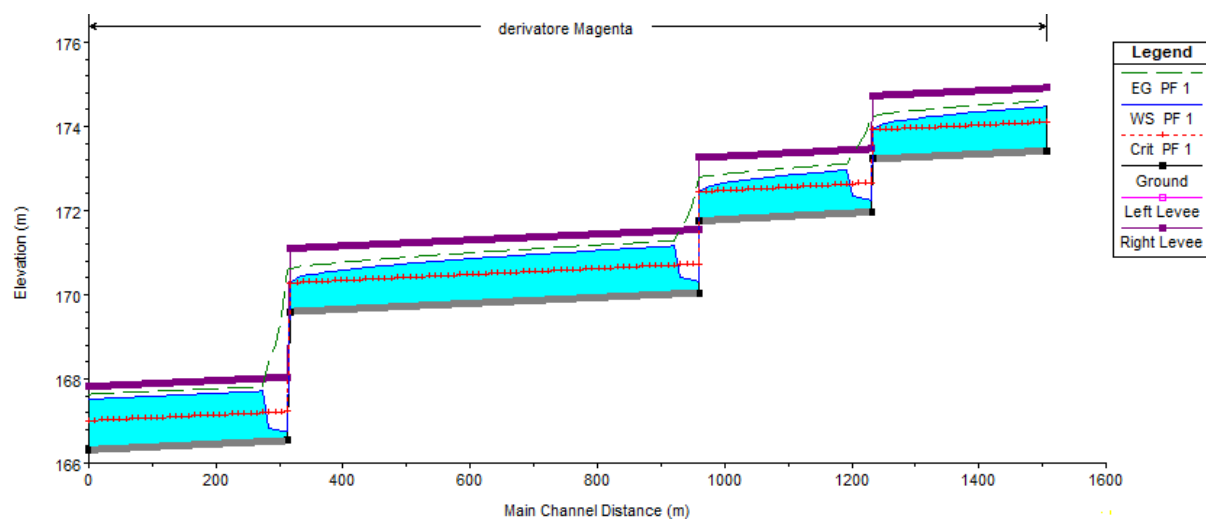
In conclusione, l'impiego di un sifone rovescio delle caratteristiche geometriche precedentemente indicate, consente di trasferire una portata pari a 6.2 m<sup>3</sup>/s con una perdita di carico complessiva pari a circa 5 cm.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva dei risultati del modello idraulico nello stato di progetto, sollecitato dalla portata di 6.2 m<sup>3</sup>/s.

River Sta	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	Franco idraulico
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)		(m)
1505.48	6.2	173.42	174.47	174.1	174.62	0.001016	1.68	3.68	3.5	0.52	0.45
1234.046	6.2	173.23	173.91	173.91	174.26	0.003523	2.59	2.4	3.5	1	0.82
1230.671	6.2	171.97	172.25	172.65	174.23	0.051557	6.22	1	3.5	3.72	1.22
961.7777	6.2	171.76	172.44	172.44	172.79	0.003523	2.59	2.4	3.5	1	0.82
960.4346	6.2	170.05	170.3	170.73	172.78	0.074014	6.97	0.89	3.5	4.42	1.25
317.5583	6.2	169.6	170.28	170.28	170.63	0.003545	2.59	2.39	3.5	1	0.82
316.3909	6.2	166.54	166.74	167.22	170.58	0.148153	8.67	0.71	3.5	6.13	1.3
0.173583	6.2	166.32	167.52	167	167.63	0.0007	1.48	4.2	3.5	0.43	0.3

Se segnala che il modello idraulico di progetto non considera le perdite di carico dovute all'inserimento del sifone rovescio; tuttavia, l'incremento del franco di sicurezza ottenuto allo stato di progetto, compensa ampiamente tali perdite di carico derivate.

Di seguito si riporta il profilo longitudinale del tratto di derivatore nello stato di progetto per portata di 6.2 m<sup>3</sup>/s.





#### **4. CONCLUSIONI**

---

Gli interventi in progetto, per quanto riguarda gli aspetti idraulici, permettono di veicolare la portata irrigua attualmente destinata al derivatore di Magenta con franchi di sicurezza sempre superiori a 30 cm. L'attuale portata irrigua, pertanto, potrà essere incrementata in funzione delle disponibilità idriche e del fabbisogno dei territori sottesi dal derivatore.

Milano li, maggio 2022

IL PROGETTISTA

(ing. Alessandro Di Leo)



## 5. APPENDICE: CODICE DI CALCOLO HEC - RAS

Il software utilizzato nel presente studio è HEC-RAS 5.0.7.

Il pacchetto software HEC-RAS 5.0.7 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers è uno strumento di calcolo idraulico dalla consolidata affidabilità, ampiamente utilizzato in campo internazionale e nazionale. HEC-RAS permette di condurre l'analisi idraulica monodimensionale sia a moto permanente che vario e nella versione utilizzata consente di svolgere anche analisi idraulica bidimensionale a moto vario o monodimensionale integrata a bidimensionale. L'interfaccia utente (Graphical User Interface GUI) permette un agevole inserimento di dati ed una pronta analisi dei risultati. La possibilità di georeferenziare le sezioni introdotte permette una intuitiva rappresentazione grafica dei risultati. Questo strumento di calcolo è dotato anche di visualizzatore interno GIS che consente di rappresentare sia la geometria di calcolo, sia i risultati che eventuali mappe di sfondo e si può interfacciare con altri software GIS.

Il modello idraulico costruito con il codice di calcolo HEC-RAS permette di valutare tutte le grandezze idrauliche di interesse per una corrente gradualmente variata in regime subcritico, supercritico o misto.

Tale codice di calcolo è basato essenzialmente sull'integrazione, alle differenze finite, dell'equazione dell'energia di una corrente. Le perdite di energia sono valutate mediante il coefficiente di scabrezza di Manning per le perdite distribuite e mediante i coefficienti di contrazione ed espansione della corrente per valutare le perdite concentrate dovute alla variazione della sezione trasversale. Nella simulazione del moto vario il modello utilizza il motore di calcolo UNET sviluppato dal Dr. Robert L. Barkau's. UNET risolve le equazioni complete di De St. Venant utilizzando uno schema di risoluzione implicito alle differenze finite. Tale schema di calcolo è stato sviluppato per il moto vario in corrente subcritica.

Lo schema di risoluzione utilizza il metodo di Newton-Raphson iterativo per risolvere equazioni non lineari. Tale codice di calcolo, comunque, pur utilizzando una soluzione linearizzata, per una corrente subcritica fornisce risultati affidabili e stabili, avendo l'accortezza di utilizzare intervalli di calcolo sufficientemente ridotti. Permette inoltre di simulare in modo efficace le singolarità introdotte nel modello: ponti, tratti tombinati, invasi in linea e in derivazione, sfioratori in linea, sfioratori laterali, luci a battente.

I profili di corrente sono calcolati risolvendo, mediante procedura iterativa (standard step method) la seguente equazione del bilancio dell'energia fra due sezioni:

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

dove:

$Y_1, Y_2$ : Altezze idriche in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,

$Z_1, Z_2$ : Quote dei punti di thalweg in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,

$V_1, V_2$ : Velocità medie,



$\alpha_1, \alpha_2$ : Coefficienti di perdita,

$g$ : Accelerazione di gravità,

$h_e$ : Perdite fra le sezioni calcolate con la seguente espressione:

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

dove:

$L$ : Distanza fra le sezioni pesata sulle portate,

$S_f$ : Pendenza della linea dell'energia per le perdite distribuite,

$C$ : Coefficiente di espansione o contrazione.

Per distanza fra le sezioni pesata sulle portate si intende la lunghezza calcolata con la seguente formula:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

dove:

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$ : Distanza fra le sezioni specificata rispettivamente per la golenata sinistra, per l'alveo e per la golenata destra,

$Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob}$ : Somme aritmetiche delle portate defluenti rispettivamente nella golenata sinistra, nell'alveo e nella golenata destra.

Le ipotesi alla base del modello monodimensionale sono le seguenti:

- Si ipotizza che il moto sia gradualmente variato, ovvero che, in corrispondenza di ciascuna sezione, vi sia una distribuzione idrostatica delle pressioni.
- In prossimità di singolarità, dove il moto diventa rapidamente variato, il programma utilizza in automatico, invece dell'equazione dell'energia, l'equazione dell'equilibrio delle spinte o altre equazioni empiriche.
- Il moto è ipotizzato monodimensionale.
- La pendenza del corso idrico è generalmente modesta.

Con il supporto del software HEC-RAS, è possibile calcolare, in tutte le sezioni di interesse del modello, le principali caratteristiche della corrente sia in moto permanente che vario. I dati necessari per la costruzione del modello sono i dati geometrici relativi alle sezioni, le distanze fra le sezioni, i coefficienti di scabrezza, i coefficienti di espansione e contrazione, la descrizione geometrica ed i parametri idraulici di eventuali strutture aggiuntive (ponti, traverse, sfioratori etc.). Oltre a questi



dati occorre inserire le condizioni al contorno per il dominio di calcolo, che possono essere ad esempio l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme etc..

Nell'inserimento dei dati relativi alla geometria, HEC-RAS permette di georeferenziare sia il tracciato dell'asta fluviale, sia le sezioni fluviali, permettendo così la costruzione di una visualizzazione prospettica del modello e dei suoi risultati in termini di livelli idrici.

L'opzione "Ineffective Areas" permette di definire, per ciascuna sezione, una porzione della stessa che non partecipa attivamente al deflusso: in tali aree, soggette comunque ad allagamento, la velocità di deflusso è molto prossima allo zero. Il volume invasato è incluso nell'equazione di continuità, ma la porzione di perimetro bagnato relativo a tali aree non partecipa al calcolo delle perdite distribuite. Tali aree vengono di solito utilizzate in prossimità di strutture che ingombrano parte della sezione di deflusso e creano delle zone dove effettivamente la velocità di deflusso è prossima allo zero.

È inoltre possibile fissare una quota di disattivazione di tali aree; ovvero quando il livello idrico nella sezione raggiunge o supera tale valore la porzione di sezione viene attivata e partecipa al deflusso.

La contrazione e l'espansione della vena liquida fra due sezioni adiacenti è causa di perdite di carico valutate dal codice di calcolo come concentrate con l'utilizzo di opportuni valori del coefficiente C.

Tipici valori, nel caso di correnti lente variano fra 0.1 e 0.3 per il coefficiente di contrazione e fra 0.3 e 0.5 per il coefficiente di espansione. I valori più elevati sono tipici in prossimità dei restringimenti causati dall'ingombro delle spalle e delle pile dei manufatti di attraversamento.

Tali coefficienti sono quindi utilizzati per valutare le perdite di energia a valle e a monte dei ponti inseriti nel modello. Il programma ha la capacità di utilizzare approcci di calcolo differenti per simulare le diverse configurazioni del passaggio della corrente a seconda che l'altezza idrica interessi l'impalcato del ponte e che il deflusso sia in regime di corrente lenta o veloce o passi lo stato critico in corrispondenza dell'attraversamento.

Nel caso di corrente completamente subcritica che non interessa l'impalcato dei ponti, l'effetto di rigurgito indotto dalla presenza delle spalle può essere valutato dal programma mediante diverse opzioni:

- 1 - Standard Step Method,
- 2 - Bilancio delle spinte,
- 3 - L'equazione empirica di Yarnell,
- 4 - Il metodo FHWA WSPRO.

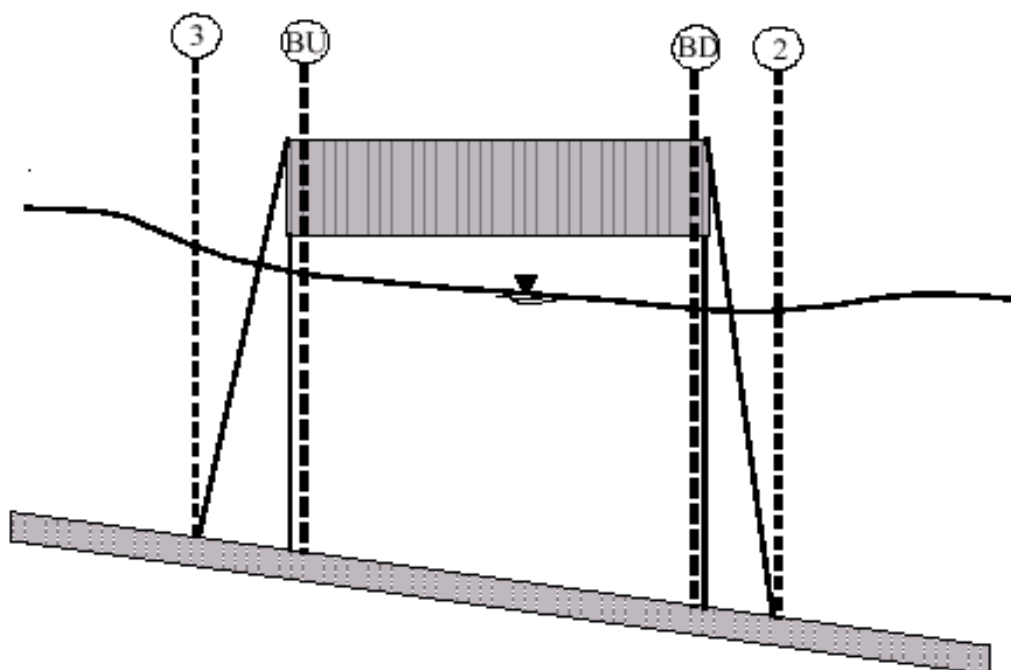


Figura 1. Profilo in corrispondenza di un ponte. (dal manuale di HEC-RAS)

Il bilancio delle spinte viene realizzato in un processo con tre step. Nel primo passo si valuta un bilancio tra la sezione 2 e la sezione BD con la seguente equazione:

$$A_{BD}Y_{BD} + \frac{\beta_{BD}Q_{BD}^2}{gA_{BD}} = A_2Y_2 + \frac{\beta_2Q_2^2}{gA_2} - A_{pBD}Y_{pBD} + F_f - W_x$$

dove:

$A_2, A_{BD}$ : area attiva rispettivamente alla sezione 2 e BD,

$A_{pBD}$ : area ostruita dalla pila nel lato verso valle,

$Y_2, Y_{BD}$ : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della corrente con area rispettivamente  $A_2$  e  $A_{BD}$ ,

$Y_{pBD}$ : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della parte di pila sommersa nel lato verso valle,

$\beta_2, \beta_{BD}$ : coefficienti per la velocità nell'equazione di bilancio,

$Q_2, Q_{BD}$ : portata,

$g$ : accelerazione di gravità,

$F_f$ : forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua,

$W_x$ : forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del flusso, per unità di peso dell'acqua.

Nel secondo passaggio l'equazione di bilancio viene risolta tra le sezioni BD e BU:



$$A_{BU}Y_{BU} + \frac{\beta_{BU}Q_{BU}^2}{gA_{BU}} = A_{BD}Y_{BD} + \frac{\beta_{BD}Q_{BD}^2}{gA_{BD}} + F_f - W_x$$

Infine nel terzo passaggio l'equazione di bilancio è fatta tra la sezione BU e la sezione 3:

$$A_3Y_3 + \frac{\beta_3Q_3^2}{gA_3} = A_{BU}Y_{BU} + \frac{\beta_{BU}Q_{BU}^2}{gA_{BU}} + A_{pBU}Y_{pBU} + \frac{1}{2}C_D \frac{A_{pBU}Q_3^2}{gA_3^2} + F_f - W_x$$

dove  $C_D$  è un coefficiente di flusso attorno alle pile.

L'equazione empirica di Yarnell, con riferimento alla figura precedente, è la seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V^2}{2g}$$

dove:

$H_{3-2}$ : dislivello nel pelo libero tra la sezione 3 e la sezione 2,

$K$ : coefficiente di Yarnell di forma delle pile,

$\omega$ : rapporto dell'altezza cinetica sulla profondità alla sezione 2,

$\alpha$ : area ostruita dalle pile divisa per l'area totale senza ostruzioni alla sezione 2,

$V$ : velocità a valle della sezione 2.

L'altezza del pelo libero nella sezione di monte dell'attraversamento è data dall'altezza a valle sommata alla quantità  $H_{3-2}$ , che rappresenta dunque il rigurgito provocato dal ponte.