

Regione Emilia-Romagna  
Direzione Generale Cura del Territorio e dell'Ambiente

IDROVIA FERRARESE - 1° LOTTO 1° STRALCIO / PARTE  
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE BOTTE SIFONE DEL CANALE BIANCO  
ALL'ATTRAVERSAMENTO DEL CANALE BOICELLI

PROGETTO ESECUTIVO

RUP:

Dott. Claudio Miccoli  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA  
AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE  
SERVIZIO AREA RENO PO DI VOLANO - SEDE DI FERRARA

PROGETTAZIONE:

MC Engineering Srl



SOCIETA' DI INGEGNERIA  
Via Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (BO)  
Tel. +39 051 4211945 Fax +39 051 4213490  
E-mail info@studio-chinni.it

**Direttore tecnico:**  
Ing. Mario Chinni  
(Albo Ingegneri Bologna nr. 4776/A)

**Gruppo di lavoro:**  
Ing. Giorgio Fantini  
Ing. Cristina Osti  
Geom. Dario Calvanese


Titolo:

RELAZIONE IDRAULICA BOTTE SIFONE

Codice elaborato


1 5 0 9 R 4 0 1 0 E 1

Data	14/04/2017	Archivio	1509_R_4010_E_1.pdf	Scala		
01	14/04/2017	Aggiornamento a seguito istruttoria tecnica del 05/04/2017		GF	MC	MC
00	30/09/2016	Emissione		GF	MC	MC
Rev.	Data	Oggetto		Redatto	Controllato	Approvato

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone	

## INDICE

1	PREMESSA .....	2
2	DATI DI INGRESSO.....	3
3	CALCOLO PERDITE IDRAULICHE .....	7

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		Relazione idraulica Botte Sifone

## 1 PREMESSA

Nelle pagine seguenti viene illustrata la verifica idraulica del progetto della nuova botte a sifone del Canale Bianco di sottopassaggio al Canale Boicelli in sostituzione di quella esistente.


L'attuale botte a sifone, realizzata tra il 1922 e il 1925 in contemporanea con la realizzazione del Canale Boicelli, costituita da due canne delle dimensioni interne di 1.5 x 1.5 m, presenta una quota di estradosso incompatibile con il progetto di risagomatura dell'alveo per l'adeguamento del Canale Boicelli al traffico idroviario di classe V Europea. La risagomatura comporta l'abbassamento di circa 1.10 m del fondo attuale, portando la copertura del manufatto attuale a circa 35 cm, non conforme alle richieste espresse dall'AIPO (Agenzia Regionale del fiume Po – Settore Navigazione Interna - Prot. 0039657 del 08/11/2012) di avere una profondità minima sotto il fondo di 1.50 m o sotto il pelo libero di 5.50 m.

La dimensione della nuova botte a sifone, concordata con l'Ente gestore del Canale Bianco, è pari a 3.00 x 3.00 m, con lunghezza di 50.20 m ed avrà un estradosso a quota variabile tra -1.10 e -1.14 m slm con pendenza interna di 0.1%. Il collegamento al canale esistente avverrà attraverso due pozzetti verticali con dimensione interna di 3.00 x 3.00 m fino agli sbocchi, con in testa due pozzetti di ispezione e una tubazione sul lato est di lunghezza di circa 48.40 m con identiche dimensioni interne della canna del sifone e con pendenza di 0.16%. L'imbocco e lo sbocco del manufatto verso il canale Bianco sarà eseguito mediante svasatura degli ingressi in cls armato e rivestimento in di un tratto di canale in cls armato di lunghezza pari a circa 21.40 m per l'imbocco e circa 21.00 m per lo sbocco. Prima del tratto rivestito in cls dell'imbocco e dopo il tratto rivestito in cls dello sbocco si prevede un rivestimento mediante massi ciclopici, per un estesa rispettivamente di 5.00 m e 10.00 m, al fine di preservare le sponde dall'erosione

Il sistema sarà predisposto con un sistema di sezionamento sia in imbocco sia in sbocco costituito da panconi metallici in modo da interrompere il flusso per le operazioni di manutenzione o per le manovre. Il sistema di pompe idrovore con scarico nel canale Boicelli posizionate a circa 200 m dall'imbocco della botte a sifone permette di gestire lo scarico del canale nelle fasi di chiusura della botte a sifone.

Un ulteriore sezionamento è costituito dalla paratoia prevista in corrispondenza dell'imbocco che permetterà una veloce chiusura della botte in caso di rotta del Po, costituendo questa un punto di collegamento tra i due lati del canale Boicelli. Si prevede inoltre al fine di preservare il funzionamento della botte nel tempo la posa di una griglia in grado di trattenere rifiuti di grossa mole e le eventuali persone cadute in acqua accidentalmente.

L'oggetto della presente analisi è valutare le perdite di energia che si originano all'interno del manufatto e verificare che sia compatibile con il dislivello geometrico fra gli estremi della botte a sifone.

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b></div> <div>LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone	

## 2 DATI DI INGRESSO

Per la verifica del manufatto si è fatto riferimento ai dati rilevati in loco e comunicati dall'Ente gestore del canale Bianco (Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara – Sezione Alto Ferrarese Nord).

La sezione del canale Bianco in corrispondenza dell'ingresso è di tipo trapezoidale in terra e presenta una base di circa 5.55 m, una quota di fondo di circa 0.50 m s.l.m., con una profondità dal ciglio delle sponde di 3.20-3.60 m. La pendenza del fondo del canale è di circa 0.15-0.16‰ e il riempimento in condizioni standard risulta essere di circa 1.00 m. Come comunicato dal gestore del canale Bianco a seguito di scarichi di aree impermeabilizzate e di sfioratori in caso di intense precipitazioni la portata massima può raggiungere i valori di 12.0 m³/sec.

Per i dati relativi alla pluviometria e alle portate del canale Boicelli si rimanda alla “Progettazione Preliminare, Definitiva ed Esecutiva del nuovo tratto di Idrovia per l'attraversamento della città di Ferrara, dalla conca di Pontelagoscuro all'abitato di Baura (FE)”: Progetto definitivo - 1 Lotto - 1 Stralcio: dalla conca di Pontelagoscuro alla confluenza con il Canale Burana – redatto nell'aprile 2009 da C.Lotti e Associati SpA - CNR - CESI - RPA - S.TE.P, (denominato da ora PD09) con riferimento a:

- Elaborato 1.5 – Relazione idrologica e idraulica


Si riportano di seguito le portate per la condizione tipica (riempimento pari a 1.00 m - Tabella 2-1) e l'altezza del battente d'acqua raggiungibile in caso di massimo carico della botte a sifone (portata 12.00 m³/s - Tabella 2-2).

La portata dei canali a cielo aperto, ipotizzando la presenza di un moto uniforme, è data dall'espressione:

$$Q = K_s \cdot A \cdot R_i^{2/3} \cdot i^{0.5}$$

dove:

- $K_s$  = indice di scabrezza di Gaukler-Strickler  $\Rightarrow$  Canali in terra naturali con erba sul fondo:  $K_s = 40$  [m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup>];
- $A$  = sezione canale [m²];
- $R_i$  = Raggio idraulico pari a  $A/P$  [m], dove  $P$  è il contorno bagnato;
- $i$  = pendenza del fondo del canale [-].

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1509-R-4010-E-1 Data: 14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone

#### TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	5.55	m
Maximum height	3.20	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m <sup>1/3</sup>
Water height	1.00	m
Wetted area	6.55	m <sup>2</sup>
Wetted perimeter	8.38	m
Hydraulic Radius	0.78	m
Water velocity	1.358	m/s
Water Flow	8.894	m <sup>3</sup> /s

Tabella 2-1 – Portata e velocità canale in condizioni standard (riempimento 1.00 m)


#### TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	5.55	m
Maximum height	3.20	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m <sup>1/3</sup>
Water height	1.19	m
Wetted area	8.04	m <sup>2</sup>
Wetted perimeter	8.93	m
Hydraulic Radius	0.90	m
Water velocity	1.493	m/s
Water Flow	12.000	m <sup>3</sup> /s

Tabella 2-2 – Altezza riempimento e velocità in condizioni di massimo carico (portata 12.00 m<sup>3</sup>/s)

Dalle verifiche di cui alla Tabella 2-1 e alla Tabella 2-2 risultano i seguenti valori di velocità ( $v_{w,c}$ ) e portata ( $Q_{w,c}$ ):

- condizioni standard:  $h_{w,c} = 1.00$  m;  $v_{w,c} = 1.358$  m/s ;  $Q_{w,c} = 8.894$  m<sup>3</sup>/s ;
- condizioni massima piena:  $h_{w,c} = 2.52$  m;  $v_{w,c} = 1.493$  m/s ;  $Q_{w,c} = 12.000$  m<sup>3</sup>/s ;

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli		Relazione idraulica Botte Sifone


Allo sbocco della botte a sifone è presente un tratto di condotta chiusa di collegamento con il canale aperto di valle. Il riempimento della condotta nel caso di condizione standard (portata 8.894 m<sup>3</sup>/s) per garantire la portata del canale all'ingresso, assumendo un coefficiente di Gaukler-Strickler pari a 70 s/m<sup>1/3</sup>, risulta:

BOX CULVERT			
Geometry			
Base	3.00	m	
Maximum height	3.00	m	
Channel slope	0.16	cm/m	
Gaukler-Strickler coeff.	70	s/m <sup>1/3</sup>	
Water height	1.34	m	
Wetted area	4.01	m <sup>2</sup>	
Wetted perimeter	5.67	m	
Hydraulic Radius	0.71	m	
Water velocity	2.221	m/s	
Water Flow	8.894	m <sup>3</sup> /s	

Tabella 2-3 – Altezza battente e velocità condotta di uscita in condizioni standard

Per cui risulta un comportamento a pelo libero, con un'altezza di 1.34 m (con un riempimento di 44.50%). La velocità all'interno della canna di uscita risulta pari a 2.221 m/s.


Nel caso di massimo carico (portata 12.00 m<sup>3</sup>/s) la botte sifone risulterà ancora parzialmente riempita e quindi presenterà un comportamento a pelo libero per l'ultimo tratto, con un'altezza del riempimento di 1.67 m (con riempimento complessivo di 55.70%) e con una velocità all'interno della condotta di 2.394 m/s come riportato nella Tabella 2-4..

<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1509-R-4010-E-1 Data: 14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone

#### BOX CULVERT

Geometry		
Base	3.00	m
Maximum height	3.00	m
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	70	s/m <sup>1/3</sup>
Water height	1.67	m
Wetted area	5.01	m <sup>2</sup>
Wetted perimeter	6.34	m
Hydraulic Radius	0.79	m
Water velocity	2.394	m/s
Water Flow	12.000	m <sup>3</sup> /s

Tabella 2-4 – Altezza battente e velocità condotta di uscita in condizioni di massimo carico (portata 12.00 m<sup>3</sup>/s)

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone	

### 3 CALCOLO PERDITE IDRAULICHE

La perdita di carico complessiva in una botte è la somma di varie perdite: continue, per imbocco, sbocco ed in curva.

Indicati con:

- $v_m$ ,  $v_v$  e  $v$  rispettivamente le velocità nel canale a monte, a valle e nella botte;
- $k_i$ ,  $k_{sb}$ ,  $k_c$  i coefficienti di perdita all'imbocco, allo sbocco ed in curva;
- $K_s$  [ $m^{1/3} s^{-1}$ ] il coefficiente di resistenza secondo Gauckler-Strickler;
- $L$  [m] la lunghezza della canna;
- $R_i$  [m] il raggio idraulico della sezione corrente della canna;
- $n$  il numero di curve;


la perdita di carico complessiva è data da:

$$\Delta h = k_i \cdot \frac{v^2 - v_m^2}{2g} + n \cdot k_c \cdot \frac{v^2}{2g} + \frac{2 \cdot g \cdot L}{K_s^2 \cdot R_i^{\frac{4}{3}}} \cdot \frac{v^2}{2g} + k_{sb} \cdot \frac{v^2 - v_v^2}{2g}$$

Nel caso della condizione standard si considera la botte a sifone come costituita dal manufatto in attraversamento e della condotta di scarico. La velocità a monte risulterà pari a quella del canale di monte ( $v_m = 1.358$  m/s), mentre la velocità di valle è determinata sulla base della configurazione del canale di valle. La sezione del canale Bianco in corrispondenza dell'uscita è di tipo trapezoidale in terra e presenta una base di circa 3.95 m, una quota di fondo di circa 0.40 m slm, con una profondità dal ciglio delle sponde di 6.15-6.65 m. Sulla base della portata in condizione standard (8.894 m³/s) si ottiene una velocità del flusso di 1.432 m/s ( $v_v$ ) come riportato in Tabella 3-1. Tabella 3-1 – Portata e velocità canale a valle in condizioni standard. La velocità della corrente nella botte sifone con portata di 8.894 m³/s risulta pari a 0.988 m/s.

TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL		
Geometry		
Base	3.95	m
Maximum height	6.15	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m <sup>1/3</sup>
Water height	1.21	m
Wetted area	6.22	m²
Wetted perimeter	7.36	m



<b>MC Engineering Srl</b> Società di Ingegneria	 <b>ISO 9001</b> <small>LL-C (Certification)</small> 392876	Cliente: <b>REGIONE EMILIA ROMAGNA</b>	Codice: 1509-R-4010-E-1 Data: 14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone

Hydraulic Radius	0.84	m
Water velocity	1.432	m/s
Water Flow	8.894	m³/s

Tabella 3-1 – Portata e velocità canale a valle in condizioni standard

Si assume il coefficiente di Gauckler-Strickler pari a  $70 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ , la lunghezza completa della condotta pari a 104.90 m (comprensiva dei tratti orizzontali e dei tratti verticali), presenza di una curva, il coefficiente di perdita all'imbocco 0.20 ( $k_i$ ), il coefficiente di perdita in curva 0.05 ( $k_c$ ) e il coefficiente di perdita allo sbocco 0.40 ( $k_{sb}$ ).

La perdita di carico risulta pari:

#### INVERTED SIPHON


##### Inverted Siphon Dimension

Base	3.00	m
Height	3.00	m
Wetted area	9.00	m²
Wetted perimeter	12.00	m
Hydraulic Radius	0.75	m
Length inverted siphon (L)	104.90	m
Number of elbows (n)	1	-
Water velocity input ( $v_m$ )	1.358	m/s
Water velocity output ( $v_v$ )	1.432	m/s
Water velocity siphon ( $v$ )	0.988	m/s
g	9.8067	m/s²
Gaukler-Strickler coeff. ( $K_s$ )	70	s/m <sup>1/3</sup>
Entrance coefficient ( $k_i$ )	0.20	-
Outlet coefficient ( $k_{sb}$ )	0.40	-
Elbows coefficient ( $k_c$ )	0.05	-
siphon slope	0.1	mm/m
Head Losses ( $\Delta h$ )	0.002	m

Tabella 3-2 – Calcolo perdite di carico botte a sifone in condizioni standard

Nel caso della condizione di massimo carico previsto dal Consorzio di Bonifica la velocità a monte risulterà pari a quella del canale di monte in tale condizione ( $v_m = 1.493 \text{ m/s}$ ), mentre la velocità di valle risulta pari a  $1.560 \text{ m/s}$  ( $v_v$ ) come riportato in Tabella 3-3. Tabella 3-1 – Portata e velocità canale a valle in condizioni standard

La velocità della corrente nella botte sifone con portata di  $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$  risulta pari a  $1.333 \text{ m/s}$ .

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone	

#### TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	3.95	m
Maximum height	6.15	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m <sup>1/3</sup>
Water height	1.43	m
Wetted area	7.69	m <sup>2</sup>
Wetted perimeter	7.99	m
Hydraulic Radius	0.96	m
Water velocity	1.560	m/s
Water Flow	12.000	m <sup>3</sup> /s

Tabella 3-3 – Portata e velocità canale a valle in condizioni di massimo carico


La perdita di carico risulta pari:

#### INVERTED SIPHON

##### Inverted Siphon Dimension

Base	3.00	m
Height	3.00	m
Wetted area	9.00	m <sup>2</sup>
Wetted perimeter	12.00	m
Hydraulic Radius	0.75	m
Length inverted siphon (L)	104.90	m
Number of elbows (n)	1	-
Water velocity input (v <sub>m</sub> )	1.493	m/s
Water velocity output (v <sub>v</sub> )	1.560	m/s
Water velocity siphon (v)	1.333	m/s
g	9.8067	m/s <sup>2</sup>
Gaukler-Strickler coeff. (K <sub>s</sub> )	70	s/m <sup>1/3</sup>
Entrance coefficient (k <sub>i</sub> )	0.20	-
Outlet coefficient (k <sub>sb</sub> )	0.40	-
Elbows coefficient (k <sub>c</sub> )	0.05	-
siphon slope	0.1	mm/m
Head Losses (Δh)	0.042	m

Tabella 3-4 – Calcolo perdite di carico botte a sifone in condizioni standard

<div>MC Engineering Srl</div> <div>Società di Ingegneria</div>	<div> <b>ISO 9001</b> LL-C (Certification)</div> <div>392876</div>	Cliente:	Codice:	1509-R-4010-E-1
		REGIONE EMILIA ROMAGNA	Data:	14/04/2017
		Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Bianco all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica Botte Sifone	

In entrambe le condizioni la perdita di carico risulta compatibile con il dislivello geometrico disponibile tra gli estremi.