

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

IDROVIA FERRARESE - 1° LOTTO 1° STRALCIO
DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE BOTTE SIFONE DEL CANALE CITTADINO
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:



Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I)
MC Engineering Srl 
Tel +39 051 4211945 - 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 3 1 6 R 4 0 1 0 E 1

Data	04/06/2018	Archivio	1316_R_4010_E_1.pdf	Scala	-	
01	04/06/2018	Aggiornamento per passaggio competenza RER		GF	MC	MC
00	30/09/2016	Emissione		GF	MC	MC
Rev.	Data	Oggetto		Redatto	Controllato	Approvato

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	DATI DI INGRESSO.....	3
3	CALCOLO PERDITE IDRAULICHE	8

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

1 PREMESSA

Nelle pagine seguenti viene illustrata la verifica idraulica del progetto della nuova botte sifone del Canale Cittadino in corrispondenza dell'attraversamento del Canale Boicelli in sostituzione di quella esistente.

L'attuale botte sifone, realizzata indicativamente tra gli anni 1917 e 1922 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 60 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 sifone, concordata con l'Ente gestore del Canale Cittadino, è pari a 2.50 x 2.50 m, con lunghezza di 56.50 m ed avrà un estradosso a quota variabile tra -1.10 e -1.15 m slm con pendenza interna di 0.1%. Il collegamento al canale esistente avverrà attraverso due pozzetti verticali con dimensione interna di 2.50 x 2.50 m fino agli sbocchi, con in testa due pozzetti per l'ispezione, e una tubazione sul lato est di lunghezza di circa 24.80 m con identiche dimensioni interne della canna del sifone. L'imbocco e lo sbocco del manufatto verso il canale Cittadino 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 14.15 m per l'imbocco, andandosi a collegare con il rivestimento esistente, e 13.85 m per lo sbocco. Al termine del tratto rivestito in cls in corrispondenza dello sbocco si prevede un rivestimento mediante massi ciclopici del tratto in curva, per un'estesa di circa 13.65 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 20 m dall'imbocco della botte a sifone permette di gestire lo scarico del canale nelle fasi di chiusura della botte 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 griglie in corrispondenza di entrambi i lati 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 sifone.

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino 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 Cittadino (Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara – Sezione Alto Ferrarese Nord).

La sezione del Canale Cittadino in corrispondenza dell'ingresso è di tipo trapezoidale in terra e presenta una base di circa 3.16 m, una quota di fondo di circa 2.40 m slm, con una profondità dal ciglio delle sponde di 3.50-3.60 m.

La pendenza del fondo del canale è di circa 0.15-0.16%.

Come comunicato dal gestore del Canale Cittadino, la portata iniziale alla costruzione è all'incirca 2.00-2.50 m³/s; a seguito di scarichi di aree impermeabilizzate ed immissione di pompe, la portata può raggiungere 4.50-5.00 m³/s. Il valore limite comunicato dal gestore per tenere conto di intense precipitazioni risulta di circa 6.00 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

Le verifiche sulla base dei dati di portata di cui sopra permettono di definire le condizioni di utilizzo del canale: una prima condizione a completamento dei lavori con una portata di 2.50 m³/s (riempimento pari a 0.65 m -Tabella 2-1), una seconda condizione che si avrà in condizioni di scarichi di aree impermeabilizzate ed immissione di pompe con una portata di 5.00 m³/s (riempimento pari a 0.98 m -Tabella 2-2) e la condizione di massima portata prevedibile di 6.00 m³/s (riempimento pari a 1.08 m - Tabella 2-3).

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 ⇒ Canali in terra naturali con erba sul fondo: $K_s = 40$ [m^{1/3} s⁻¹];
- 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 [-]

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	3.16	m
Maximum height	3.50	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m ^{1/3}
Water height	0.65	m
Wetted area	2.49	m ²
Wetted perimeter	5.01	m
Hydraulic Radius	0.50	m
Water velocity	1.004	m/s
Water Flow	2.500	m ³ /s

Tabella 2-1 - Portata e velocità canale in condizioni iniziali alla costruzione (riempimento 0.65 m)

TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	3.16	m
Maximum height	3.50	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m ^{1/3}
Water height	0.98	m
Wetted area	4.03	m ²
Wetted perimeter	5.92	m
Hydraulic Radius	0.68	m
Water velocity	1.239	m/s
Water Flow	5.000	m ³ /s

Tabella 2-2 - Portata e velocità canale in condizioni di scarichi di aree impermeabilizzate ed immissione di pompe (riempimento 0.98 m)

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL

Geometry		
Base	3.16	m
Maximum height	3.50	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m ^{1/3}
Water height	1.08	m
Wetted area	4.59	m ²
Wetted perimeter	6.22	m
Hydraulic Radius	0.74	m
Water velocity	1.307	m/s
Water Flow	6.000	m ³ /s

Tabella 2-3 - Altezza riempimento e velocità in condizioni di massimo carico (portata 6 m³/s)

Riassumendo i valori di velocità ($v_{w,c}$) e portata ($Q_{w,c}$) determinati dalle verifiche del canale di cui alle Tabella 2-1, Tabella 2-2, Tabella 2-3 risultano:

- condizioni iniziali di costruzione: $h_{w,c} = 0.65$ m; $v_{w,c} = 1.004$ m/s ; $Q_{w,c} = 2.500$ m³/s ;
- condizioni scarichi di aree impermeabilizzate e immissioni di pompe: $h_{w,c} = 0.98$ m; $v_{w,c} = 1.239$ m/s ; $Q_{w,c} = 5.000$ m³/s ;
- condizioni massima piena: $h_{w,c} = 1.08$ m; $v_{w,c} = 1.307$ m/s ; $Q_{w,c} = 6.000$ m³/s ;

Allo sbocco della botte sifone è presente un tratto di condotta chiusa di collegamento con il canale aperto di valle. Il riempimento della condotta nel caso di condizione iniziale alla costruzione (portata 2.500 m³/s) per garantire la portata del canale all'ingresso, assumendo un coefficiente di Gaukler-Strickler pari a 75s/m^{1/3}, risulta:

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

BOX CULVERT

Geometry		
Base	2.50	m
Maximum height	2.50	m
Channel slope	0.1	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	75	s/m ^{1/3}
Water height	0.71	m
Wetted area	1.78	m ²
Wetted perimeter	3.93	m
Hydraulic Radius	0.45	m
Water velocity	1.402	m/s
Water Flow	2.500	m ³ /s

Tabella 2-4 - Altezza battente e velocità condotta di uscita in condizioni iniziale di costruzione

Per cui risulta un comportamento a pelo libero, con un'altezza di 0.71 m (con un riempimento di 28.40%).

La velocità all'interno della botte sifone risulta pari a 1.402 m/s.

Il riempimento della condotta nel caso di condizione di scarichi di aree impermeabilizzate e di immissione di pompe (portata 5.000 m³/s) per garantire la portata del canale all'ingresso, assumendo un coefficiente di Gaukler-Strickler pari a 75 s/m^{1/3}, risulta:

BOX CULVERT

Geometry		
Base	2.50	m
Maximum height	2.50	m
Channel slope	0.1	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	75	s/m ^{1/3}
Water height	1.18	m
Wetted area	2.94	m ²
Wetted perimeter	4.85	m
Hydraulic Radius	0.61	m
Water velocity	1.699	m/s
Water Flow	5.000	m ³ /s

Tabella 2-5 - Altezza battente e velocità condotta di uscita in condizioni di scarichi di aree impermeabilizzate ed immissione di pompe

Per cui risulta un comportamento a pelo libero, con un'altezza di 1.18 m (con un riempimento di 47.20%).

La velocità all'interno della botte sifone risulta pari a 1.699 m/s.

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

Nel caso di massimo carico (portata 6.000 m³/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 1.35 m (con riempimento complessivo di 54.00%) e con una velocità all'interno della condotta pari a 1.778 m/s come riportato nella Tabella 2-6:

BOX CULVERT		
Geometry		
Base	2.50	m
Maximum height	2.50	m
Channel slope	0.1	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	75	s/m ^{1/3}
Water height	1.35	m
Wetted area	3.38	m ²
Wetted perimeter	5.20	m
Hydraulic Radius	0.65	m
Water velocity	1.778	m/s
Water Flow	6.000	m ³ /s

Tabella 2-6 - Altezza battente e velocità condotta di uscita in condizioni di carico massimo (portata 6.00 m³/s)

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino 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:

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

Per la verifica della perdita di carico della botte sifone a favore della sicurezza si prende in esame la condizione di massimo carico prevista, corrispondente alla portata di 6.00 m³/s.

Si considera il sistema della botte sifone come costituita dal manufatto in attraversamento e della condotta di scarico. La velocità a monte risulterà pari a quella del canale di monte ($v_m = 1.307$ m/s), mentre la velocità di valle è determinata sulla base della configurazione del canale di valle. La sezione del Canale Cittadino in corrispondenza dell'uscita è di tipo trapezoidale in terra e presenta una base di circa 6.42 m, una quota di fondo di circa 2.37 m slm, con una profondità dal ciglio delle sponde di 3.25-3.85 m. Sulla base della portata in condizioni iniziale di massimo carico (6.00 m³/s) si ottiene una velocità del flusso di 1.155 m/s (V_v).

TRAPEZOIDAL OPEN CHANNEL		
Geometry		
Base	6.42	m
Maximum height	3.25	m
Right slope	45.00	deg
Left slope	45.00	deg
Channel slope	0.16	cm/m
Gaukler-Strickler coeff.	40	s/m ^{1/3}
Water height	0.73	m
Wetted area	5.20	m ²
Wetted perimeter	8.48	m
Hydraulic Radius	0.61	m
Water velocity	1.155	m/s
Water Flow	6.000	m ³ /s

Tabella 3-1 - Portata e velocità canale a valle in condizioni di massimo carico

 Via Francesco Zanardi 157/6 - 40131 Bologna (I) MC Engineering Srl Tel +39 051 4211945 - info@studio-chinni.it <small>ISO 9001 392876</small>	Cliente: REGIONE EMILIA ROMAGNA	Codice: 1316-R-4010-E-1 Data: 04/06/2018
	Demolizione e ricostruzione della botte sifone del canale Cittadino all'attraversamento del canale Boicelli	Relazione idraulica botte sifone

Sulla base della portata si determina la velocità della corrente nella botte sifone (condotto a sezione quadrata 2.50 x2.50 m) risulta pari 0.96 m/s.

La perdita di carico per la condizione più critica, ossia in condizioni di massimo carico, assumendo il coefficiente di Gauckler-Strickler pari a $75 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, la lunghezza completa della condotta pari a 91.60 m (comprensiva del tratto orizzontale e dei tratti verticali), assenza di curve, il coefficiente di perdita all'imbocco 0.20 (ki), il coefficiente di perdita in curva 0.05 (kc) e il coefficiente di perdita allo sbocco 0.40 (ksb) risulta pari a 0.012 m (si veda Tabella 3-2).

INVERTED SIPHON

Inverted Siphon Dimension

Base	2.50	m
Height	2.50	m
Wetted area	6.25	m ²
Wetted perimeter	10.00	m
Hydraulic Radius	0.63	m
Length inverted siphon (L)	91.60	m
Number of elbows (n)	0	-
<hr/>		
Water velocity input (vm)	1.307	m/s
Water velocity output (vv)	1.155	m/s
Water velocity siphon (v)	0.960	m/s
g	9.8067	m/s ²
Gaukler-Strickler coeff. (Ks)	75	s/m ^{1/3}
Entrace coefficient (ki)	0.20	-
Outlet coefficient (ksb)	0.40	-
Elbows coefficient (kc)	0.05	-
siphon slope	0.1	mm/m
Head Losses (Dh)	0.012	m

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

La perdita di carico risulta compatibile con il dislivello geometrico disponibile tra gli estremi.