



Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana

---

Convenzione tra Regione Lombardia e Consorzio Bonifica Muzza  
Bassa Lodigiana per attività da svolgersi sul reticolo idrico  
principale all'interno del territorio comprensoriale

Programma di attività ed interventi  
di cui alla Delibera X/7759 del 17/01/2018

INTERVENTI DI RIPRISTINO FUNZIONALE DELLE  
STRUTTURE D'ALVEO DELL'ALTO CORSO DEL  
COLATORE BREMBIOLO CON FORMAZIONE DI PISTE  
DI SERVIZIO PER L'ACCESSO IL MONITORAGGIO ED IL  
CONTROLLO DEL CORSO D'ACQUA NEI COMUNI DI  
CASALPUSTERLENGO

---

PROGETTO ESECUTIVO

---

## **RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IDROLOGICO - IDRAULICA**

Edizione  
Agosto 2018

Il Presidente  
Ettore Grecchi

Il Responsabile del Procedimento  
dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti  
dott. Ing. Giuseppe Meazza

## **Generalità**

Il presente progetto esecutivo “*Interventi di ripristino funzionale delle strutture d'alveo dell'alto corso del colatore Brembiolo con formazione di piste di servizio per l'accesso, il monitoraggio ed il controllo del corso d'acqua nel Comune di Casalpusterlengo*” - **Importo onnicomprensivo pari a € 150.000,00** - nell'ambito delle finalità individuate nella convenzione stipulata tra Regione Lombardia e lo scrivente Consorzio, con la quale è stato definito un programma di attività ed interventi da svolgersi sul reticolo idrico principale rispetto al quale il colatore Brembiolo fa parte.

Gli interventi previsti riguardano:

- Ripristini di sponda e difese in pietrame;
- Costruzione di una pista di servizio per il collegamento del Colatore alla viabilità esistente.

Sono interventi che richiedono movimentazioni terrose di ricalibratura e difese idrauliche che permetteranno di intercettare le portate immesse sia dal punto di vista irriguo che di bonifica in modo efficiente.

Il canale in oggetto è naturale ed è caratterizzato da una giacitura d'alveo in trincea, che funge da recapito per diversi scarichi connessi a sistemi di drenaggio superficiale.

Gli interventi ricadono interamente nel territorio comunale di Casalpusterlengo, in provincia di Lodi. Nel seguito essi vengono descritti sulla base delle loro caratteristiche funzionali e territoriali unitamente al territorio nel quale si sviluppa il canale oggetto degli interventi qui previsti.

### **1.1 Inquadramento territoriale ed idrologico**

Il corso d'acqua oggetto dell'analisi idrologica integrale è, come già accennato, il Colatore Brembiolo; un canale naturale caratterizzato da una giacitura d'alveo fortemente in trincea che funge da recapito per diversi scarichi connessi a sistemi di drenaggio superficiale. Il percorso del canale si snoda naturalmente per oltre 18 km in senso nord-ovest/sud-est prendendo origine dalle campagne limitrofe

all'abitato di Ossago Lodigiano, con recapito finale nel colatore Ancona, limitrofamente alla s.s. 9 "Emilia" in comune di Guardamiglio in provincia di Lodi (vedasi tav. n°2 riportante l'intero tracciato del Colatore).

Il contesto territoriale è quindi quello tipico rurale basso padano, capillarmente irrigato, regolarmente pianeggiante ed estensivamente coltivato, contraddistinto dalla presenza di centri urbani di piccola - media estensione con sistemi di drenaggio urbano di natura mista, gravanti per la parte pluviale, nella maggioranza dei casi, sul reticolo idrico irriguo - idraulico superficiale gestito dal Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana. In questo contesto il colatore Brembiolo costituisce un'importante vettore idraulico con specifiche funzioni territoriali di drenaggio misto - pluviale e, non secondarie, irrigue, sottendendo centinaia di ettari di terreno coltivati attraverso diramazioni accessorie nella parte centrale e meridionale del suo percorso.

Possiamo quindi identificare gli input idrologici al colatore come di seguito specificato:

- derivanti da immissioni di natura urbana o da minori scarichi di colature o regolazione irrigua. Le prime sono costituite dagli scarichi pluviali delle reti di drenaggio urbano, le seconde sono relative a scarichi di regolazione o di colatura direttamente connessi alla rete irriguo - idraulica superficiale. Le immissioni di colature non constano di vere e proprie immissioni di canali (almeno nella parte di bacino interessata dallo studio), sono invece riferibili ai colti poderali limitrofi e direttamente connessi al colatore;
- drenaggio diretto del territorio sotteso di competenza.

I centri urbani (tutti in provincia di Lodi) che recapitano le portate drenate di origine pluviale nel colatore Brembiolo sono i seguenti:

- Ossago Lodigiano ;
- Brembio;
- Secugnago (indirettamente e parzialmente);
- Zorlesco;
- Casalpusterlengo.

## **1.2 Il Colatore Brembiolo: caratteristiche e funzionalità**

Gli utilizzi, senza dubbio, rispetto agli aspetti storici ed ambientali sono argomento marginale. La peculiarità del colatore è tale infatti che, le pur dignitose attività produttive e di fruibilità, perdono valore nei confronti di tutto il resto. V'è detto che è sempre stata una distinzione del colatore. Le attività in esso sviluppate sono infatti storicamente molto posteriori alla occupazione antropica permanente del territorio circostante.

Se si può affermare che, già a partire dal 400 a.c. gli insediamenti attuali, pur con estensioni limitate, già esistevano grazie alla colonizzazione dei Celti così come le infrastrutture principali, via Emilia in primis che risulta addirittura di fattura romana, per quanto riguarda gli utilizzi, bisogna aspettare il periodo medioevale per registrare la prima attività produttiva diretta, con le acque del colatore Brembiolo. Esistevano già mulini lungo il corso del colatore, tuttavia lo stesso fungeva unicamente da recapito degli scarichi di regolazione. La più rilevante derivazione irrigua del canale è la roggia Brembiolina che si diparte a sud di Casalpusterlengo e gestita dal Consorzio Bonifica Muzza. La bocca a valle dello scarico del depuratore di Casalpusterlengo, poco a monte della intersezione con la SP n°126.

Gli utilizzi non produttivi sono, come accennato, principalmente quelli legati alla funzionalità idraulica e quelli invece riconducibili al buon stato di salute ecologico, ambientale e paesaggistico del corso d'acqua. Queste peculiarità, favoriscono la frequentazione del colatore a scopo ricreativo, in particolare per pesca sportiva e percorrenze ciclistiche-pedonali. In tempi relativamente recenti, l'esecuzione di alcuni tratti di vie verdi e di piste ciclabili, limitrofe alle sponde del canale, ha sicuramente incrementato la fruizione delle aree connesse al corso d'acqua, nonché la costituzione del Parco Locale di Interesse Sovracomunale istituito dalle Amministrazioni Comunali di **Casalpusterlengo, Fombio, Somaglia e Brembio**.

## **2 - La situazione idrologica generale: gli aspetti idrologici-idraulici esaminati**

Lo scenario idrologico-idraulico assunto alla base della progettazione degli interventi consiste negli eventi occorsi durante il novembre 2014, mese nel quale si sono verificati fenomeni idrometeorologici avversi di notevole intensità che hanno coinvolto il territorio e le infrastrutture idrauliche del Consorzio bonifica Muzza bassa Lodigiana: piogge intense e persistenti, deflussi di piena dei fiumi al contorno, in particolare Adda e Po, nonché di alcuni corsi d'acqua del sud milanese, idraulicamente connessi alla rete consortile.

Detti eventi idrometeorologici sono riconducibili a perturbazioni che hanno interessato estesamente il nord Italia, sia la parte pianeggiante che quella montana di formazione dei deflussi dei fiumi.

Gli elementi di criticità possono essere individuati in 3 eventi concomitanti che hanno interessato il territorio: le piogge intense e persistenti sul territorio, le modalità di accadimento dei fenomeni pluviali che hanno visto un andamento in crescendo sia delle intensità di pioggia che dei volumi pluviali apportati e le piene dei grandi fiumi al contorno Adda, Lambro e Po, contestualmente alle piene del torrente Molgora che recapita in Muzza le portate drenate nel proprio bacino nell'est milanese. In passato si è assistito a numerosi eventi alluvionali che hanno coinvolto il Lodigiano, diversi ognuno dall'altro, ma difficilmente si è constatato un sincronismo così gravoso di elementi a formare un evento di tali dimensioni e conseguenti pesanti effetti.

Le piogge che hanno interessato il territorio Lodigiano hanno avuto carattere di assoluta eccezionalità: i pluviometri di Lodi e Codogno hanno registrato rispettivamente 260 mm e 268 mm di pioggia cumulata dal 3 al 18 novembre 2014, pari a quasi un terzo della pioggia che mediamente in un anno cade sul territorio (vedasi il grafico delle pluviometrie cumulate di pioggia ai due pluviometri allegato).

Al di là della quantità pluviale eccezionale, il fattore che ha incrementato gli effetti negativi degli eventi è stata la loro modalità di esplicazione, che ha visto svilupparsi la parte iniziale ad intensità ordinaria e costante dando luogo alla graduale saturazione dei suoli permeabili del territorio (le estese superfici rurali),

seguita da una fase caratterizzata da scrosci concentrati di elevata intensità (vedasi quello del 12 novembre u.s. sul grafico delle cumulate).

Questa seconda parte di eventi, a causa della condizione di imbibizione ormai completa dei suoli, ha allagato le aree depresse e riversato nei corsi d'acqua del territorio le portate pluviali con intensità e velocità come se fosse piovuto su suoli impermeabili.

Ecco quindi che la rete idraulica Lodigiana è stata sottoposta ad un input di portate che ha superato le capacità idrauliche disponibili dei corsi d'acqua e che pertanto in diversi punti ha manifestato tale criticità con azzeramento dei franchi di sponda, fenomeni di rigurgito ed esondazioni, alle quali è stato assoggettato diffusamente il colatore Muzza.

Il terzo elemento sopra esposto ha oltremodo inciso sulla criticità del periodo: i fiumi che contornano il perimetro del territorio Lodigiano sono stati sottoposti a deflussi di carattere straordinario, con fenomeni di piena che li hanno portati a livelli idrometrici molto elevati (massimo registrato Adda + 2,36 m il 16/11/2014 sullo zero all'idrometro di Lodi, Po +7,55 m il 17/11/2014 sullo zero all'idrometro di Piacenza) assumendo di fatto una critica condizione idrometrica che ha impedito, o quanto meno reso molto difficoltoso, lo scarico dei corsi d'acqua territoriali che in essi recapitano (vedasi i grafici allegati relativi all'idrometria di piena dell'Adda, del relativo affluente Brembo e del fiume Po).

Il torrente Molgora ha costituito una criticità per la rete idraulica territoriale con modalità ormai ben note. Esso infatti immette le proprie portate nel canale Muzza, in località Lavagna in comune di Comazzo, con tempi ed intensità proprie di un torrente alpino: da pochi mc/s a 40, 50 mc/s in 3 - 4 ore. Durante l'evento in oggetto esso ha scaricato in Muzza in due occasioni, il 12 ed il 15 novembre scorsi, le portate connesse a due colmi di piena di carattere straordinario (vedasi i grafici allegati riportanti la pluviometria del bacino idrografico del Molgora e l'idrometria di piena del torrente) che sono stati recepiti riducendo tempestivamente la portata del Muzza a Cassano d'Adda, pena il superamento della capacità idraulica del medesimo e la conseguente esondazione di paesi e centri produttivi rurali ed industriali presenti lungo il suo percorso.

Conseguentemente si è reso subito necessario distribuire tale portata nella rete consortile, attivandola con modalità inidonee, in termini di tempi ridotti e di eccessive quantità, al raggiungimento dei necessari equilibri idraulici e piezometrici delle strutture d'alveo.

Da un punto di vista idrologico, gli eventi sopra elencati, nella loro concomitanza, hanno dato luogo ad effetti pesantissimi in praticamente tutto il comprensorio, interessando diverse tipologie di infrastrutture idrauliche tra le quali in particolare il colatore Muzza, che ha subito pesanti danni come di seguito descritto.

Nel prossimo paragrafo detti eventi vengono analizzati in rapporto alle criticità alle quali hanno dato luogo.

### *Precipitazioni intense e prolungate sul territorio concomitanti con gli eventi di piena: il reticolo idraulico interno*

Il territorio del comprensorio Muzza bassa lodigiana è stato interessato nel corso del mese di novembre 2014, al pari di gran parte del nord Italia, da eventi pluviali di carattere eccezionale sia in termini di durata che di intensità. I volumi pluviali connessi sono stati tali da superare la capacità idraulica ricettiva del sistema idraulico superficiale del comprensorio e più in generale del territorio lodigiano, con conseguenti danni diffusi pressoché uniformemente distribuiti. Si è trattato di un evento prolungato ed esteso, che ha persistito per oltre due settimane con modalità di scroscio che tuttavia possono essere distinte in fasi definite.

La prima di queste ha caratterizzato la prima settimana dell'evento, con intensità debole e piovosità intermittente che, con riferimento al pluviometro di Lodi, a fronte dei circa 30 mm caduti, ha avuto l'effetto di dare luogo alla graduale imbibizione dei suoli. In seguito, dal 10 novembre, è stato un crescendo di intensità e numero di scrosci, succedutisi con cadenza incredibilmente regolare. Si distinguono chiaramente (vedasi il grafico delle piogge cumulate ai pluviografi di Lodi e Codogno allegato) ulteriori 4 scrosci di circa 60, 110, 40 e 20 mm rispettivamente, per una totale cumulata nei 14 giorni dell'evento di oltre 260 mm, pari a circa un terzo della cumulata annua. Se al secondo scroscio del 9 - 11 novembre si può ancora attribuire carattere saturativo della capacità di campo delle superfici

permeabili del territorio, ancorché con una cumulata già di ben 80 mm, lo scroscio successivo del 12 - 13 novembre è stato di criticità assoluta. Intensità di pioggia elevatissima per una durata prolungata (95,6 mm nelle 12 ore) hanno massimizzato l'apporto di volume pluviale (considerato quale accadimento isolato, costituirebbe di per sé un elemento di notevole criticità idrogeologica) che, con un tempo di ritorno singolo di circa 26 anni, ha trovato superfici sature che, non più ritentive per infiltrazione, hanno avuto l'effetto di piani di scorrimento impermeabili sui quali si sono formati veloci ed intensi volumi idrici eccezionali, non ricevibili dalla rete idraulica superficiale. Gli ultimi due eventi di pioggia hanno ricalcato nelle modalità di accadimento il terzo, aggravando le impraticabili condizioni di esercizio della rete consortile e non solo, ormai in condizioni di deficit idraulico, ulteriormente appesantita dall'impossibilità di scaricare con efficacia nei fiumi al contorno per le loro concomitanti piene. Condizioni così critiche e gravose per il comparto irriguo idraulico lodigiano non si registravano da decenni. La concomitanza dei tre fattori incidenti: intensità di pioggia, modalità di scroscio e piene dei fiumi al contorno hanno costituito nel loro insieme combinato una criticità statisticamente eccezionale con effetti devastanti su tutta l'infrastruttura idraulica territoriale consortile e più in generale lodigiana.

Gli effetti sono stati subito visibili lungo tutta la rete: i corsi d'acqua consortili, canali e colatori, sono stati per giorni sollecitati da portate eccezionali che ne hanno saturato gli alvei e imbibite le sponde, in condizioni geotecniche e idrogeologiche di disequilibrio, l'impossibilità di vettoriare e smaltire i volumi idrici ricevuti hanno "liquefatto" paramenti spondali, argini e strade limitrofe con frane, smottamenti e cedimenti che interessano decine di canali e manufatti idraulici da nord a sud nel comprensorio, tra i quali il collettore primario di bonifica Ancona è risultato tra i più colpiti.

Va considerato altresì che, come esposto nel seguito nello specifico paragrafo, la rete lodigiana ha recepito e smaltito al suo interno le portate che gli derivavano dall'immissione del Molgora e dai colatori del sud milanese, con valori di colmo dell'ordine dei 100 mc/s e che hanno costretto alla chiusura totale del canale alla derivazione di Cassano d'Adda. Tali portate sono state in parte scaricate nel canale Addetta al nodo idraulico di Paullo e per la maggior parte mantenute in Muzza e quindi distribuite all'interno della rete consortile, in aggiunta a quanto

stava ad essa pervenendo dagli eventi pluviali in corso sul territorio. In questo scenario di estrema criticità idrometeorologica il Consorzio ha agito cercando di gestire flussi idrici al limite, se non incompatibili, con le possibilità della rete, nel prioritario obiettivo di salvaguardare i centri urbani e produttivi ubicati lungo il canale Muzza e presenti diffusamente sul territorio.

Il rilevamento ed il censimento dei danni che ne è seguito ha condotto alla constatazione delle condizioni di ammaloramento di svariate infrastrutture consortili in moltissime zone del comprensorio, in conseguenza del passaggio della perturbazione responsabile degli eventi idrometeorologici di cui sopra.

### *Eventi di piena del torrente Molgora e dei colatori afferenti all'alto corso del canale Muzza*

Come già descritto nei precedenti paragrafi, una delle concause che ha contribuito alla estrema criticità degli eventi idrometeorologici del novembre scorso, è stato l'apporto idrico al canale Muzza derivante dalla immissione del torrente Molgora e dei colatori dell'est milanese afferenti all'alto corso del canale Muzza nei comuni di Comazzo e Truccazzano in provincia di Milano (vedasi in proposito i diagrammi di piena del Molgora allegati). Al pari degli altri territori del nord Italia, il bacino imbrifero del torrente Molgora è stato interessato da intensi eventi pluviali che lo hanno portato in condizioni di piena in due occasioni, il 12 e il 15 novembre scorsi, con livelli idrometrici di oltre 3 m misurati all'idrometro di Gorgonzola. Contestualmente a dette condizioni anche gli altri principali colatori del comparto idraulico est milanese afferenti al corso nord del canale Muzza (in particolare le Trobbie) hanno raggiunto elevati valori di deflusso, tutti recapitati in quest'ultimo in tempi rapidissimi.

La situazione idrologica si è quindi presentata da subito particolarmente gravosa, ancorchè debitamente monitorata e prevista, con i limitati tempi concessi dalla veloce corrivazione dei corsi d'acqua in input, inducendo la necessità di chiudere completamente la derivazione del canale Muzza a Cassano d'Adda, azzerandone la portata (non essendo più sufficiente la sola riduzione della derivazione) in modo da rendere disponibile la massima capacità idraulica ricettiva. Questo è stato eseguito in due occasioni: il 12 ed il 15 novembre scorsi, in concomitanza dei due

picchi di piena del Molgora. Ebbene ciò è stato appena sufficiente a recepire tutti i flussi idrici in ingresso: a derivazione chiusa, la portata rilevata in Muzza a valle dei comuni di Comazzo e Truccazzano è stata di circa 110 mc/s, ovvero pari a quella massima estiva di esercizio irriguo allorquando però tutta la rete sottesa è in attività ed in grado di distribuire la risorsa al territorio in modo graduale, ed organizzato.

Tale portata, rispetto alla quale non sarebbe stato possibile fare alcuna altra manovra ricettiva (viene quindi da chiedersi cosa sarebbe stato se fosse stata maggiore) è stata quindi vettoriata nel canale Muzza sino al nodo idraulico di Paulo dove in parte, circa 25 mc/s, è stata scaricata nel colatore Addetta.

A valle di Paulo i circa 85 mc/s sono stati mantenuti in Muzza, con tempi di riempimento velocissimi ed in condizioni di azzeramento dei franchi di sicurezza e scaricati nei canali derivatori primari che si dipartono dal Muzza.

### *Eventi di piena dei fiumi Adda e Po*

Nel periodo compreso tra i giorni che vanno dal 4 al 18 novembre 2014 il fiume Adda è stato soggetto a ripetuti eventi di piena in connessione all'apporto pluviale nel rispettivo bacino idrografico, in particolare nella bassa Valtellina e in val Brembana (vedasi il grafico delle piogge cumulate rilevate in vari pluviometri ubicati in val Brembana allegato).

Le portate del fiume, a valle della confluenza del Brembo, sono andate soggette a 4 punte di piena raggiungendo il valore massimo di portata nell'evento del 15-16 novembre, a fronte di una pluviometria cumulata complessiva media di oltre 400 mm in val Brembana e di un deflusso dal lago di Como di oltre 600 mc/s. La portata massima è stata di circa 1.400 mc/s alla sezione di Lodi, con un valore idrometrico massimo pari a 2,36 m sullo zero idrometrico, registrato alle ore 10.40 del 16/11/2014. Come noto il Consorzio Muzza Bassa Lodigiana gestisce il nodo idraulico di Cassano d'Adda, in corrispondenza del quale avviene la ripartizione delle portate tra il fiume ed il canale Muzza attraverso una serie di manufatti scaricatori e sfioratori sommergibili.

Tutta la portata in ingresso al nodo viene recepita dall'incile del canale Muzza e viene restituita, da subito, attraverso due sfioratori di piena sommergibili

(denominati Traversino e rottura grande) che si innescano automaticamente per portate di oltre 300 mc/s e 260 mc/s rispettivamente, nonché attraverso quattro scaricatori di piena dotati di paratoie metalliche verticali. Durante gli eventi in oggetto detti manufatti sono stati attivati e soggetti al deflusso di elevate portate in scarico, (per un periodo prolungato di oltre due settimane: vedasi i grafici di piena del fiume Adda allegati), con paratoie tutte aperte.

Altresì in considerazione delle elevatissime portate che sono pervenute al canale Muzza dal torrente Molgora e dagli altri colatori del sud est milanese, come sotto descritto, si sono dovute chiudere completamente le paratoie dello sbarramento di S. Bernardino, incile del canale, al fine di creare la capacità idraulica per consentirne il recepimento. Detta manovra è stata eseguita due volte repentinamente in occasione dei due eventi di piena del Molgora del 12 e del 15/11/2014, in una condizione di esercizio del nodo idraulico di Cassano d'Adda del tutto straordinaria, con un deflusso dell'Adda in transito di oltre 1.300 mc/s.

Relativamente al fiume Po, la cui condizione di piena prolungata è una delle cause dirette dei danni indotti alla rete di bonifica consortile ed in particolare al collettore primario di bonifica Ancona, è possibile affermare che si è trattato di un evento di piena che ha portato il fiume a raggiungere un livello idrometrico all'idrometro di Piacenza il 17 novembre scorso pari a m 7,56 con una portata stimata in circa 7.500 mc/s (come riferimento, la piena del novembre 2000 ha raggiunto, sempre all'idrometro di Piacenza, quota 10,50 m). L'origine idrologica dell'evento è individuabile nei diffusi eventi pluviali che hanno interessato il bacino idrografico del fiume, con particolare riferimento alla sua parte nord-occidentale e meridionale ed una sequenza di eventi pluviali che hanno alternativamente interessato diversi affluenti del fiume (uno per tutti il Tanaro). Non si è trattato di un evento di piena tipico, con idrogramma di massimo deflusso unico e definito, bensì dalla somma di contributi diversi e ripetuti che hanno portato il fiume a formare a Piacenza tre diversi colmi di piena ad intensità crescente (vedasi il grafico allegato relativo agli idrometri di Ponte becca - pv e di Piacenza) il primo, il 6 novembre ad oltre 5 m sullo zero idrometrico, il secondo a quasi 7 m il 14 novembre ed il terzo e più intenso, come detto, a 7,56 m il 17 novembre.

In conseguenza della dinamica sopra esposta, in termini temporali l'evento nel suo complesso è stato altrettanto gravoso, con elevati tempi di permanenza dei deflussi in seguito alla persistenza delle piogge nei bacini idrografici degli affluenti.

## **5 - Verifiche Idrauliche**

Come già descritto sopra e nella relazione tecnica generale, il colatore Brembiolo è un corso d'acqua naturale, caratterizzato da una giacitura d'alveo fortemente in trincea, che funge da recapito per diversi scarichi connessi a sistemi di drenaggio superficiale. Nel seguito vengono riportate le verifiche idrauliche di alcune sezioni più significative nel tratto in comune di Casalpusterlengo oggetto di intervento.

Queste, in coerenza alla soluzione prospettata in sede di relazione tecnica, riguardano le sezioni di progetto relative alla formazione di difese idrauliche in pietrame da costituirsi in blocchi calcarei posati a secco.

Per tutte le tipologie di sezioni, le verifiche idrauliche sono state effettuate con la formula di Chezy con coefficiente di scabrezza di Manning

$$Q = V \cdot A = A \cdot C \cdot (R \cdot J)^{0,5}$$

dove

$Q$  = portata di esercizio del canale misurata in l/s

$A$  = area liquida della sezione misurata in  $m^2$

$V$  = velocità media della corrente misurata in m/s

$J$  = cadente piezometrica della corrente nel sifone

$C$  = coefficiente di attrito (espresso in  $m^2/s$ ) calcolato con le seguenti relazioni di Kutter e di Manning:

$$C(h) = (100 \times R^{0,5}) / (m + R^{0,5})$$

$$C(h) = (1/n)R(h)^{1/6}$$

Essendo:

$R$  = raggio idraulico medio della sezione (rapporto tra area liquida e contorno bagnato) espresso in m

$m$  = coefficiente di scabrezza della scala di Kutter (espresso in  $m^{1/2}$ ) assunto pari a 0.35 (alvei in c.c.a.)

$h$  = altezza idrica nel canale

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning =  $0,0300 m^{-1/3}$  s determinato secondo la seguente relazione:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

dove, in funzione delle condizioni dell'alveo, i valori  $n_i$  ed  $m$  che compongono il valore di  $n$ , assumono i valori riportati nella tabella seguente.

Materiale costituente l'alveo	Terra	$n_0$	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	$n_1$	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	$n_2$	0.000
	Variazione		0.005
	Variazione frequente		0.010-0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	$n_3$	0.000
	Modesto		0.010-0.015
	Apprezzabile		0.020-0.030
	Elevato		0.040-0.060
Effetto della vegetazione	Basso	$n_4$	0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alto		0.025-0.050
	Molto alto		0.050-0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	$m_5$	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

Si è ottenuto nel caso in esame:

$$n = (0,020 + 0,0030 + 0,000 + 0,00 + 0,0100) 1,00 = 0,0330$$

Per la verifica delle sezioni si è assunto, come da progetto, un rivestimento delle sponde in pietrame ed i valori massimi nominali delle portate attese in occasione di

eventi pluviali intensi che possono portare il canale in condizioni di raggiungimento di livelli idrici al limite dei franchi di sicurezza. Nella tabelle che seguono sono riportati i risultati delle verifiche eseguite per la sezione idraulica di progetto: trapezia ad alveo naturale.

### **Scala di portate del Colatore Brembiolo**

#### **Dati della sezione**

<b>H</b>	280	cm	(Altezza sezione)
<b>b</b>	1000	cm	(Base minore sezione)
<b>B</b>	1700	cm	(Base maggiore)
<b>Angolo di inclinazione scarpata</b>	51.3662	gradi	
<b>Area</b>	37.80	mq	
<b>Pendenza</b>	0.02	%	
<b>n</b>	0,033	Coefficiente di scabrezza di Manning	

H defl (cm)	Contorno bagnato	Area deflusso (mq)	Raggio idraulico (ml)	Portata (mc/sec)	Velocità (m/sec)
14	1044.85	1.425	0.136	0.160097	0.11239
28	1089.69	2.898	0.266	0.508495	0.17546
42	1134.54	4.421	0.390	1.000557	0.22633
56	1179.39	5.992	0.508	1.618808	0.27015
70	1224.24	7.613	0.622	2.353201	0.3091
84	1269.08	9.283	0.731	3.197246	0.34443
98	1313.93	11.002	0.837	4.146504	0.3769
112	1358.78	12.769	0.940	5.197861	0.40705
126	1403.63	14.586	1.039	6.349111	0.43528
140	1448.47	16.452	1.136	7.598703	0.46186
154	1493.32	18.367	1.230	8.945573	0.48704
168	1538.17	20.331	1.322	10.38903	0.51099
182	1583.02	22.344	1.412	11.92868	0.53386
196	1627.86	24.406	1.499	13.56436	0.55577
210	1672.71	26.518	1.585	15.29609	0.57683
224	1717.56	28.678	1.670	17.12404	0.59712
238	1762.40	30.887	1.753	19.0485	0.61671
252	1807.25	33.145	1.834	21.06989	0.63568
266	1852.10	35.453	1.914	23.18869	0.65407
280	1896.95	37.809	1.993	25.40547	0.67194

Lodi, Agosto 2018