

1 GENERALITA'

Il presente progetto esecutivo "*Borghetto Lodigiano - Colo Muzzino di Borghetto - Frane spondali a monte dell'abitato comunale, cedimento spondale in via Roma - Ripresa delle frane con formazione difesa idraulica*" Intervento 29E (scheda Rasda 19288) allegato E - Piano degli interventi dell'Ordinanza C.D.P.C. 226/2015, edizione Maggio 2016 riguarda le opere di ripristino della funzionalità idraulica, statica e di esercizio in seguito ai danni provocati dagli eventi pluviali in oggetto. Gli interventi sono interamente ricadenti in provincia di Lodi.

Il canale in oggetto costituisce un importante vettore idraulico facente parte della rete idrica consortile del territorio centro settentrionale la cui funzionalità è strategica sia per le funzioni legate allo smaltimento idrico dell'esercizio irriguo che allo smaltimento dei volumi di pioggia drenati in centri urbani. Di seguito viene descritto sulla base delle sue caratteristiche funzionali e territoriali.

Il Muzzino di Borghetto è un colatore primario, ovvero riceve, veicola e scarica portate di origine misto - pluviale direttamente nel colatore Sillaro, attraverso due scarichi all'interno del centro urbano di Borghetto Lodigiano in provincia di Lodi. E' un canale che è andato soggetto nel corso degli anni a diversi interventi di adeguamento delle strutture d'alveo, anche in concomitanza di importanti lavori di riordino irriguo - idraulico (che hanno interessato buona parte della rete consortile) al fine di renderlo idoneo ai sempre crescenti input di origine pluviale, nonché per ridurre l'eccessiva inerzia di regolazione, causa di disfunzioni nella regolazione di esercizio dello stesso.

Esso ha, come detto, funzionalità colatoria idraulica, fungendo da recapito di diversi scarichi di natura irrigua nell'ambito della rete irrigua consortile, nonché quale recettore delle portate pluviali drenate da alcuni importanti centri industriali dislocati lungo il suo percorso e di una parte molto estesa dell'abitato di Borghetto Lodigiano. Si sviluppa in un percorso di circa 3,5 km attraversando i territori comunali di Villanova Sillaro e Borghetto Lodigiano, tutti in provincia di Lodi.

Il tratto di canale interessato dagli interventi è tutto ricompreso nel territorio comunale di Borghetto Lodigiano, alcuni lungo la Strada Provinciale n° 23, mentre la principal parte si concentra all'interno del citato abitato di Borghetto Lodigiano.

2 LA SITUAZIONE IDROLOGICA GENERALE:
GLI EVENTI IDROMETEOROLOGICI AVVERSI ALL'ORIGINE DEI
DANNI ALLA RETE CONSORTILE

Durante lo scorso mese di novembre 2014 si sono verificati fenomeni idrometeorologici avversi 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.

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 consortili tra le quali in particolare il canale Muzzino di Borghetto, 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.

2.1 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 ritenive 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 canale Muzzino di Borghetto risulta 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.

2.2 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 all'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 allorché 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 Paullo dove in parte, circa 25 mc/s, è stata scaricata nel colatore Addetta.

A valle di Paullo 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, oltre che nello scaricatore Belgiardino in comune di Montanaso Lombardo, nelle medesime condizioni limite di urgenza tempistica ed idraulica. Tale condizione ha saturato la capacità ricettiva della rete consortile e dei colatori collegati.

2.3 Eventi di piena dei fiumi Adda e Po

Nel periodo compreso tra i giorni che vanno dal 4 al 18 novembre ultimi scorsi 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 andati soggetti 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 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 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. Si tratta pertanto di un periodo di oltre un mese nel quale il livello del fiume si è mantenuto su valori superiori ad 1 metro (valore corrispondente al deflusso ordinario stagionale), con diretta influenza sulla piezometria dei territori limitrofi al fiume quale risulta essere la fascia perifluviale della bassa lodigiana.

3 I DANNI PROVOCATI AL CANALE MUZZINO DI BORGHETTO

I danni indotti dagli eventi esposti al canale colatore Muzzino di Borghetto, hanno interessato soprattutto il suo tratto centro meridionale ivi compresi i manufatti presenti, coerentemente alla condizione di maggiore energia della corrente in afflusso, registrando numerosi tratti in frana e soggetti ad erosioni, sbrecciature dei paramenti spondali e danni alle opere di scarico in colatore sillaro, sollecitate oltremodo da azioni di carattere piezometrico e meccanico straordinarie a seguito della dinamica di recepimento idrico sopra descritta.

Il repentino incremento - decremento idrometrico, a cui è stato sottoposto il canale, ha dato luogo sia ad azioni meccaniche sui manufatti che a squilibri piezometrici che si sono ripercossi sui paramenti spondali assoggettando le sponde a sollecitazioni idrauliche e meccaniche intense e diffuse.

Si sono avuti:

- ampi cedimenti spondali,
- erosioni dei paramenti,

- sbrecciature e deposito del materiale franato in alveo,
- danni alle opere di regolazione idraulica del manufatto di scarico in colatore Sillaro
- compromissione dell'efficienza idraulica e strutturale delle sponde nel tratto in curva a monte dell'intersezione con il ramo urbano della S.P. n°23, dove si sviluppa limitrofamente ad alcune abitazioni.

Come detto, il tratto oggetto d'intervento è il tronco centro - meridionale, della lunghezza di circa 1 km. Tale tratto è ricompreso tra il sottopasso del canale alla S.P. n°23 Lodi - S. Colombano e il manufatto di scarico in colatore Silaro nell'abitato di Borghetto Lodigiano, tutto ubicato nel territorio dell'omonimo comune in Provincia di Lodi, dove si sono riscontrati i danneggiamenti di maggiore entità che rivestono la maggiore priorità di intervento.

I problemi indotti sono di più ordini: la precarietà statica delle strutture d'alveo è quella più evidente, stante la compromissione della sicurezza strutturale dei corpi spondali, in considerazione della vicinanza di una importante arteria viabilistica quale la S.P. n°23. Altresì emerge l'inefficienza idraulica generale e di regolazione, conseguente a condizioni d'alveo e degli organi meccanici di manovra che non consentono l'esercizio del canale con la necessaria sicurezza funzionale volta a garantire il regolare deflusso di ingenti volumi idrici misti irrigui-pluviali sottendenti sia ettari di pregiati terreni coltivati, sia estese aree produttive e urbane .

Non ultima si denota la diminuzione della sicurezza idraulica dell'abitato di Borghetto Lodigiano in conseguenza dei danni indotti alle strutture d'alveo del canale nel suo tratto urbano.

In sostanza si tratta dell'impossibilità di poter esercire in sicurezza un'importante recettore idraulico del comprensorio nel territorio Lodigiano centro-meridionale.

Nel seguito vengono descritte le opere e le soluzioni tecniche adottate per il ripristino della piena funzionalità statica, idraulica e funzionale del colatore Muzzino di Borghetto.

4 SINTESI DELLE OPERE DI RIPRISTINO

Come detto, gran parte degli effetti si sono riscontrati alle strutture d'alveo quali sponde e paramenti arginali, nonché a manufatti e organi di regolazione idraulica, i primi soggetti a frane, smottamenti ed erosioni per le quali si prevede il ripristino mediante la ricostruzione dei rilevati spondali e arginali secondo la geometria originaria dell'alveo. I manufatti sono stati oggetto di aggiramenti idrici, scalzamenti ed erosioni causate dalla elevata corrente idrica in passaggio nel colatore.

La ripresa delle frane e le sistemazioni spondali per la colmata delle erosioni e dei cedimenti eseguita con mezzi meccanici sono lavorazioni tipiche e ben note nelle modalità esecutive ed organizzative. Le difese idrauliche vengono realizzate mediante l'utilizzo di pietrame posato a secco o mediante palificate in legno ove consentito dalle condizioni idrogeologiche e geotecniche. Relativamente ai manufatti si procederà con il ripristino strutturale, il consolidamento statico e la messa in sicurezza degli organi meccanici di regolazione, ricostituendo adeguati standard di sicurezza di esercizio.

Preliminarmente si dovrà provvedere alla rimozione dei depositi di materiale franato in alveo o trasportato dalla corrente, al fine di riottenere la piena officiosità idraulica delle sezioni originarie.

Briglie e meccanismi di regolazione saranno soggetti a sostituzioni e sistemazioni per il ripristino della loro efficienza funzionale come di seguito descritto.

VERIFICHE IDRAULICHE

Come già descritto sopra e nella relazione tecnica generale, il canale Muzzino di Borghetto oggetto degli interventi è un colatore, la cui portata può essere così stimata:

- Muzzino di Borghetto: 5,00 mc/s

Le verifiche idrauliche, in coerenza alla soluzione prospettata in sede di relazione tecnica, riguardano le principali sezioni di progetto che nella fattispecie sono quelle reative alle sezioni canalizzate in c.c.a. a cielo aperto. Altresì viene riportato il calcolo della portata scaricabile dallo sfioratore laterale di cui alla messa in sicurezza del manufatto di scarico del Muzzino.

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 occasionalmente		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:

$$n = (0,020 + 0,0030 + 0,000 + 0,00 + 0,0050) \cdot 1,00 = 0,0280$$

Le verifiche delle perdite di carico dei sifoni e le relative compatibilità delle sezioni sottopassanti, sono state eseguite con la seguente relazione:

$$Y = L \cdot J + \frac{V^2}{2 \cdot g} + 0,5 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = L \cdot \frac{Q^2}{A^2 \cdot C^2 \cdot R} + 1,5 \cdot \frac{Q^2}{2 \cdot A^2 \cdot g}$$

Dove:

Y = perdita di carico complessiva nel sifone misurata in m

L = lunghezza della canna del sifone misurata in m

J = cadente piezometrica della corrente nel sifone; adimensionale

V = velocità media della corrente misurata in m/s

g = accelerazione di gravità misurata in m/s²

Q = portata di esercizio del canale misurata in l/s
 A = area liquida della sezione misurata in m²
 C = coefficiente di attrito (espresso in m²/s)
 R = raggio idraulico medio della sezione (rapporto tra area liquida e contorno bagnato)

Per la verifica delle sezioni sono stati assunti a base dei calcoli i valori massimi nominali delle portate irrigue estive ovvero i valori attesi delle portate relative al drenaggio misto pluviale assolto dal canale Muzzino di Borghetto, opportunamente maggiorate per tenere conto della possibilità che si possano verificare condizioni che determinano maggiori afflussi al canale: le origini di questi sono di regolazione irrigua e pluviale. Dette eventualità possono verificarsi per errate manovre o interruzione di distribuzione della portata delle derivazioni di monte per cause improvvise, ovvero per la funzione di drenaggio misto pluviale che il canale svolge lungo il suo percorso.

Nella tabella che segue sono riportati i risultati delle verifiche eseguite per le sezioni idrauliche minime di progetto: rettangolare in c.c.a..

CANALE Muzzino di Borghetto

Condizioni di portata di riferimento

Base	B	4,00	[m]
Tirante	H	1,600	[m]
Piede	o	0	[m]
Sponda	v	1	[m]
Pendenza motrice	I	0,0004500	[m/m]

Scab. Manning	c	0,0200	[m ^{-1/3} s]
	C	49,028	
Scab. Kutter	m	1,5	[m ^{1/2}]
	C	38,595	

Area	A	6,40	[m ²]
Cont. bagnato	C _b	7,20000	[m]
Raggio idraulico	R	0,88889	[m]
Portata	Q _{manning}	6,28	[mc/s]
	Q _{kutter}	4,94	[mc/s]
Velocità	V _{manning}	0,98	[m/s]
	V _{kutter}	0,77	[m/s]

Il calcolo della portata defluente dallo sfioratore laterale è determinata sulla base della geometria del manufatto ed è di seguito riportata.

<i>Larghezza</i>	$L = 10 \text{ m}$
<i>Altezza</i>	$H \text{ max} = 0,30 \text{ m}$
<i>Altezza efficace</i>	$H_e = 0,3011 \text{ m}$
<i>Coeff. di efflusso</i>	$\mu_s = 0,41361$
<i>Petto</i>	$t = 1,40 \text{ m}$
<i>Portata max</i>	$Q_{sf} = 3,03 \text{ mc/s}$

Lodi, Luglio 2016