



# Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana

via Nino Dall'Oro 4 - 26900 LODI tel. 0371-420189 r.a. fax 0371-50393  
email: cmuzza@muzza.it

**DECRETO N. 9132 DEL 02/11/2015**

**PIOGGE ALLUVIONALI  
DAL 18 DICEMBRE 2013 AL 04 MARZO 2014  
IN PROVINCIA DI LODI**

---

**PROGETTO ESECUTIVO**

---

**RELAZIONE TECNICA  
IDRAULICA E GEOLOGICA**

Edizione  
Dicembre 2015

Il Presidente  
*Ettore Grecchi*

Il Responsabile del Procedimento  
*Dott. Ing. Marco Chiesa*

I Progettisti  
*Dott. Ing. Marco Chiesa - Dott. Ing. Giuseppe Meazza*

## La geologia territoriale

Nel seguito vengono sviluppate le caratteristiche geologiche delle zone di intervento sui canali di cui al progetto esecutivo *“Piogge alluvionali dal 18 dicembre 2013 al 4 marzo 2014 in provincia di Lodi. Ripristino di tratti dei canali di bonifica consorziali situati nei comuni di Somaglia, Caselle Landi, S.Rocco al Porto e Senna Lodigiana”* in oggetto edizione Dicembre 2015.

Il territorio del Consorzio bonifica Muzza-Bassa lodigiana è caratterizzato dal punto di vista litostratigrafico da una potente serie di depositi alluvionali pleistocenici-olocenici (periodo Quaternario).

La principale caratteristica che contraddistingue il sottosuolo comprensoriale è l'estrema variabilità che presentano le facies litografiche sia in senso verticale che orizzontale rispecchiando quindi condizioni ambientali di tipo continentale fluviale-fluvioglaciale.

I litotipi principali sono sabbioso-limosi, ghiaioso-sabbiosi, e, in misura minore, argillosi. In genere sono caratterizzati da una tessitura non costante nonché da una graduale diminuzione della granulometria mano a mano che ci si sposta dalla zona Nord verso quella Sud del comprensorio.

Tra i litotipi più frequentemente presenti si elencano i seguenti:

- depositi ghiaiosi, sabbiosi, sabbioso-limosi attuali e recenti. Costituiscono i depositi alluvionali degli alvei abbandonati ed attivi oltre che i terrazzi morfologici immediatamente sottostanti il livello fondamentale della pianura. Sono localizzati in prossimità e lungo gli alvei dei fiumi che contornano il territorio lodigiano: Adda, Lambro e Po. I litotipi più grossolani sono ubicati lungo il corso settentrionale del fiume Adda. Altrove, in particolare avvicinandosi alla valle del Po, vengono invece a prevalere le granulometrie medio-fini. Caratteristica tipica è la graduale diminuzione delle dimensioni dei litotipi spostandosi verso la parte meridionale del comprensorio;
- depositi alluvionali argillosi d'ambiente palustre. Sono limitati ad aree piuttosto ristrette lungo il corso meridionale del fiume Adda;
- depositi alluvionali fluviali e fluvioglaciali caratterizzati da sabbie-ghiaiose, limi-sabbiosi, argille-limose ed argille. Costituiscono i litotipi predominanti lungo

l'intero comprensorio e caratterizzano il livello fondamentale della pianura. In particolare i litotipi sabbioso-ghiaioso prevalgono nel settore centro - settentrionale e sono caratterizzati da una discreta omogeneità e da una buona potenza. Lungo la maggior parte del comprensorio prevalgono invece i depositi limosi-sabbiosi e limosi. La caratteristica fondamentale è l'estrema eterogeneità in senso verticale ed orizzontale, tipica di un ambiente continentale fluviale anastomizzato.

- Depositi alluvionali fluvioglaciali caratterizzati da un potente suolo d'alterazione argilloso di colore giallo-ocra. Rappresentano i litotipi più antichi presenti all'interno del comprensorio. Compaiono in aree molto limitate nel settore centro-meridionale.

L'intervento in progetto, come già specificato nella relazione tecnica generale, si colloca nella parte meridionale del comprensorio chiamata "bassa lodigiana", (vedasi l'inquadramento territoriale di tavola 1 in scala 1:75.000 e la Planimetria generale di tavole 2 in scala 1:25.000) nel territorio compreso tra il gradone morfologico che caratterizza il terrazzo lodigiano e la valle del fiume Po, territorio ricco di depositi di carattere ghiaioso-sabbioso.

La maglia è medio fine, come descritto in precedenza corrisponde a un litotipo legato essenzialmente alla dinamica alluvionale del fiume.

## La idrogeologia

Il comprensorio del Consorzio di Bonifica Muzza-Bassa Lodigiana presenta una morfologia pianeggiante con andamento altimetrico via via decrescente spostandosi dalle zone a Nord (Cassano d'Adda altezza media s.l.m. m 133) a quelle a Sud (Caselle Landi altezza media s.l.m. m 43). Lungo i circa 70.000 ha del territorio esiste una fitta ed estesa rete di canali con alvei, per la stragrande maggioranza in terra i quali, oltre ad assolvere la propria funzione prettamente irrigua e di bonifica, danno luogo ad un intenso e fondamentale interscambio con la sottostante falda freatica, assicurando una importante connessione idrica tra acque superficiali e acque profonde.

In questo contesto si evidenzia l'effetto drenante esercitato dai fiumi Lambro, Adda e Po al contorno che intercettano la falda delimitandone il perimetro. Si è quindi in presenza di una struttura acquifera sotterranea che ha una direzione principale di scorrimento nord-ovest sud-est passando parallela ai fiumi Lambro e Adda, con il bacino del fiume Po quale recapito ultimo.

In particolare la zona oggetto degli interventi, prospiciente la valle del fiume Po, è ubicata all'estremo sud del territorio consortile ed è governata da un punto di vista piezometrico quasi esclusivamente dagli effetti idrometrici esercitati dal Po.

Ovviamente lungo tutto il territorio nelle aree prospicienti il fiume la direzione generale dei deflussi è influenzata localmente dalle interazioni che esistono tra livello d'acqua in canale e la quota piezometrica della falda, confinata o meno che sia.

Dagli studi effettuati sul piano Cave della Provincia di Lodi nell'anno 2003, si è individuata una soggiacenza della falda freatica nel territorio di interesse inferiore ai 2,5 metri nella parte a ridosso del gradone morfologico e compresa tra i 2,5 metri e i 5 metri via via che ci si sposta verso la zona golenale. Accertando che per la tipologia di interventi in progetto, che prevedono la realizzazione di manutenzioni straordinarie agli alvei dei canali di bonifica, difese idrauliche in pietrale da posarsi a secco e solo qualche manufatto in c.c.a., l'influenza dei fenomeni di interazione con il livello freatico restano marginali. Nel caso di condizioni idrometeorologiche avverse si provvederà con puntuali sistemi di aggettamento e smaltimento idrico.

La falda freatica principale presenta dei valori di permeabilità che sono influenzati dalle caratteristiche litostratigrafiche dei depositi alluvionali (vedasi tabella a seguire).

**Valori di permeabilità della falda freatica del territorio lodigiano**

Permeabilità oltre 1 m/s	$1-10^{-3}$	$1-10^{-3} - 1-10^{-7}$	$1-10^{-7} - 10^{-9}$
Ciottoli, ghiaie senza elementi fini	Sabbie, sabbie e ghiaie	Sabbie fini, limi, argille con limi e sabbie	Argille omogenee
Perm. elevata	buona	cattiva	impermeabile

In effetti i litotipi ghiaiosi e ghiaioso - sabbiosi presentano valori di permeabilità da buoni a medi all'aumentare delle granulometrie più fini. Nel comprensorio sono presenti un po' ovunque principalmente lungo le aree adiacenti al fiume Adda. Da segnalare invece che i depositi sabbiosi, sabbioso-limosi, limoso-argillosi e argillosi, che sono poi quelli più frequenti in tutto il territorio, hanno una permeabilità da media a bassa proporzionale all'aumentare della componente argillosa.

Nella figura seguente è riportata la soggiacenza della falda nel territorio del comprensorio Muzza bassa lodigiana con particolare riferimento alla zona oggetto dell'intervento.

## L'idrologia territoriale

Il comprensorio del Consorzio Muzza si sviluppa per più di 75.000 ettari nella pianura lombarda, in quella porzione di territorio racchiusa tra i fiumi Lambro (a ovest) Adda (a est) ed il Po (a sud): presenta aspetti idrologici ed idraulici che per densità idraulica, morfologia della rete e capillarità della distribuzione idrica, sono connotati da caratteristiche particolari, forse uniche. Caratterizzante è la netta separazione altimetrica tra la parte "alta" del territorio e la parte "bassa" costituita dalla valle del Po, distinte da una differenza media in quota di circa 10 metri.

Il Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana gestisce questo territorio, in applicazione alla Legge Regionale n° 31/2008 provvedendo alla gestione, manutenzione ed esecuzione delle opere pubbliche di bonifica ed in generale al "governo delle acque" e a tutte le relative connessioni che lo stesso comporta.

Il sistema idrico comprensoriale può essere suddiviso, per le diverse caratteristiche di approvvigionamento, adduzione e distribuzione, in due zone corrispondenti alla parte "alta" e "bassa" del territorio, che, come sopra indicato, sono morfologicamente distinte dal "gradone morfologico" delimitante il paleo alveo del fiume Po.

Il bassopiano è il classico territorio di bonifica, di recente costituzione, con la stragrande maggioranza dei terreni che soggiacciono ai livelli di piena o di cosiddetta "morbida" dei fiumi limitrofi, ragione per la quale, per garantirne la sicurezza idraulica, occorre frequentemente azionare gli impianti idrovori dislocati sul territorio, ciascuno dei quali sottende un proprio bacino di drenaggio. Gli interventi previsti nella presente perizia progettuale sono ubicati proprio nella parte bassa, da eseguirsi sui canali di bonifica consortili maggiormente danneggiati in seguito agli eventi calamitosi dell'aprile – giugno 2008.

La parte alta del comprensorio, è invece il tipico territorio di antica irrigazione, che utilizza le acque del Canale Muzza e le distribuisce attraverso una fitta rete di canali che sottendono una superficie agraria irrigua particolarmente pregiata di oltre 50.000 ettari. L'esercizio della rete irrigua della parte alta avviene attraverso una rete di canali organizzati in ordine gerarchico che vede, partendo dal canale Muzza, più sottolivelli ordinati in modo decrescente di derivazione (primo, secondo ordine e così via) tutti di

competenza consortile (il Cà de Bolli è appunto un derivatore primario), fino al completamento locale, poderale e interpoderale della distribuzione, che avviene con canali privati aziendali o interaziendali.

Da un punto di vista sotterraneo i profili dell'acquifero nello specifico potrebbero interferire con l'esecuzione dei lavori, in quanto le escursioni della falda nella zona potrebbero interessare i piani di lavoro. In caso di condizioni meteorologiche sfavorevoli, si provvederà puntualmente, con idonei mezzi, all'evacuazione dell'eccesso idrico. Gli elementi che, sotto l'aspetto idrologico, potenzialmente interferiscono con le opere da eseguire sono infatti il clima e le condizioni meteorologiche (prioritariamente le manifestazioni pluviali), che vengono monitorati in continuo attraverso le stazioni termo - pluviometriche di Lodi e Codogno.

### Verifiche idrauliche

Come già descritto sopra e nella relazione tecnica generale, i canali di bonifica oggetto degli interventi sono i seguenti:

- Canale di bonifica Monticchie

Tutti i canali sono oggetto di lavorazioni di pulizia e ricalibratura delle sezioni d'alveo per il pristino stato della loro efficienza statica e idraulica. I canali Emissario e Castelnuovo bocca d'Adda sono altresì oggetto di ricostituzione di manufatti di scarico il primo e di difese idrauliche in pietrame il secondo. Essendo collettori primari di bonifica, alla luce degli interventi previsti sono state effettuate le opportune verifiche idrauliche.

In coerenza alla soluzione prospettata in sede di relazione tecnica, le verifiche riguardano le sezioni di progetto relative alla formazione di difese idrauliche in pietrame da costituirsi in blocchi calcarei posati a secco e la ricostituzione dei manufatti di scarico.

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 area liquida/contorno bagnato) espresso in m

$m$  = coefficiente di scabrezza della scala di Kutter (espresso in  $m^{1/2}$ ) assunto pari a 1,60

$h$  = altezza idrica nel canale

$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning =  $0,0260 m^{-1/3} s$  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

Condizioni dell'alveo		Valori	
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:

$$n = (0,020 + 0,0030 + 0,000 + 0,00 + 0,0030) 1,00 = 0,0260$$

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/s<sup>2</sup>

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

A = area liquida della sezione misurata in m<sup>2</sup>

C = coefficiente di attrito (espresso in m<sup>2</sup>/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, opportunamente maggiorate per tenere conto della possibilità che si possano verificare condizioni che determinano maggiori afflussi al canale: le origini di detti flussi 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 tabelle che seguono sono riportati i risultati delle verifiche eseguite per le sezioni idrauliche di progetto: trapezia ad alveo naturale per entrambi i canali.

Canale colatore Monticchie  
SEZ. NATURALE FORMA TRAPEZIA

<b>Base</b>	B	2,50	[m]
<b>Tirante</b>	H	1,900	[m]
<b>Piede</b>	o	3	[m]
<b>Sponda</b>	v	2,5	[m]
<b>Pendenza motrice</b>	l	0,0002200	[m/m]

<b>Scab. Strickler</b>	c	42	$[m^{1/3} s^{-1}]$
	C	42,51987	
<b>Scab. Kutter</b>	m	1,5	$[m^{1/2}]$
	C	40,889	

<b>Area</b>	A	9,08	$[m^2]$
<b>Cont. bagnato</b>	$C_b$	8,43579	[m]
<b>Raggio idraulico</b>	R	1,07660	[m]
<b>Portata</b>	$Q_{strickler}$	5,94	[mc/s]
	$Q_{kutter}$	<b>5,72</b>	[mc/s]
<b>Velocità</b>	$V_{strickler}$	0,65	[m/s]
	$V_{kutter}$	<b>0,63</b>	[m/s]