



# CONSORZIO BONIFICA MUZZA BASSA LODIGIANA

Lodi: Via Nino dall'Oro n° 4 – tel. 0371/420189 – fax: 0371/50393 – e-mail: cmuzza@muzza.it

## **REGIONE LOMBARDIA**

***Direzione Generale Sicurezza Protezione Civile e  
Immigrazione – Decreto n°7448 del 28/07/2016***

**RIPRISTINO DELL'ARGINE SUL TORRENTE  
MOLGORA A PROTEZIONE DELLA FRAZIONE  
LAVAGNA DI COMAZZO**

---

## **PROGETTO ESECUTIVO**

# **RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA IDROLOGICO- IDRAULICA**

Edizione  
Settembre 2016

Il Presidente  
Ettore Grecchi

Il Responsabile del Procedimento  
Dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti  
Dott. Ing. Marco Chiesa – Dott. Ing. Giuseppe Meazza

## Inquadramento generale

Il presente progetto esecutivo "*Intervento 60 (scheda Rasda 19171) - Ripristino dell'argine sul torrente Molgora a protezione della frazione Lavagna di Comazzo*" - Importo contributo di € 390.000,00 di cui all'allegato 1 "**FSUE - TABELLA DEGLI INTERVENTI AMMESSI A CONTRIBUTO IN ORDINE DI PRIORITÀ EVENTI DAL 9 OTTOBRE AL 18 NOVEMBRE 2014**" al **D.d.g. 28 luglio 2016 - n. 7448 della D.G. Sicurezza Protezione Civile e Immigrazione di Regione Lombardia** che individua gli Interventi ammessi a finanziamento ai sensi dell'art. 3, comma 2, del regolamento (CE) n. 2012/2002 del Consiglio del 11 novembre 2002, modificato dal regolamento (UE) n. 661/2014 del parlamento europeo e del Consiglio del 15 maggio 2014 e adotta il piano degli interventi approvato dal capo dipartimento della protezione civile con atto n. RIA/0038361 del 27 luglio 2016 e approvazione delle «Procedure operative» per la richiesta di rimborso delle spese ammesse a contributo."

Il progetto, edizione Settembre 2016, riguarda le opere di difesa idraulica a protezione dell'abitato di Lavagna, frazione del comune di Comazzo in provincia di Lodi, per esondazioni del torrente Molgora in seguito ai danni provocati dagli eventi meteorologici critici del novembre 2014. Gli interventi sono interamente ricadenti in provincia di Lodi.

La zona degli interventi si trova in corrispondenza dell'ultimo tratto del torrente Molgora, nel territorio comunale di Comazzo in provincia di Lodi, dove il torrente funge da confine oltre che tra i comuni di Comazzo e Truccazzano, anche tra le province di Lodi e Milano e tra i territori dei Parchi dell'Adda Nord e dell'Adda Sud.

Le necessità di intervento, ancorchè conseguenti alle condizioni di precarietà statico-funzionale delle strutture d'alveo del torrente, ormai inidonee al regime idrologico cui è sottoposto, si concentrano sulla mitigazione degli effetti delle esondazioni del torrente in sponda destra nel tratto tra cascina Vittoria e Molino Molgora che coinvolgono direttamente l'abitato di Lavagna, come avvenuto nel novembre 2014 con conseguenze drammatiche per la relativa popolazione.

Gli interventi consistono nella realizzazione di un'opera di difesa idraulica, nella fattispecie un'arginatura, direttamente a protezione dell'abitato di Lavagna e della sua popolazione e che, potendo contare sulla contiguità agli estremi con altre opere simili già realizzate nell'ambito di altri interventi, darebbe luogo ad significativo incremento della protezione idraulica da eventuali future esondazioni del torrente.

## *Il torrente Molgora: caratteristiche fisiche, idrologiche ed idrauliche*

Per completezza si ritiene opportuno procedere ad una descrizione generale, rivolta a meglio evidenziare le caratteristiche morfologiche, idrauliche, idrologiche e territoriali afferenti al torrente Molgora.

Il torrente Molgora è un corso d'acqua pubblico iscritto negli elenchi della Regione Lombardia con il codice MIO20 LO022 (la doppia simbologia è dovuta al fatto che esso funge da confine tra le province di Milano e Lodi). Esso rappresenta il tipico corso d'acqua pedemontano che, con direzione nord - sud, raccoglie le acque pluviali di una vasta porzione di territorio afferente all'alta pianura Lombarda. La dinamica della sua formazione è del tutto simile a quella degli altri grandi corsi d'acqua che hanno origine dalla catena alpina e caratterizzano la pianura nel suo assetto territoriale.

Il processo evolutivo che ha caratterizzato il territorio della pianura padana ha visto da sempre una forte interazione con i corsi d'acqua che lo attraversano, fonti di risorsa e recapiti idrici in uno scambio perenne che ne ha sancito lo sviluppo nel tempo sotto ogni aspetto, sociale, rurale ed industriale. Tuttavia l'eccessiva pressione antropica che grava sui corsi d'acqua lombardi, relativamente ai deflussi originati dal drenaggio di superfici impermeabilizzate, è oggi tra i principali elementi di criticità tra i diversi aspetti che afferiscono alla gestione dei fiumi. La conseguenza più gravosa si manifesta in termini di valori di portata massima di piena e nell'incremento della rapidità di corrivazione. E' la diretta conseguenza di un territorio drenato che negli ultimi decenni ha visto crescere esponenzialmente le superfici impermeabilizzate, fenomeno legato al grande sviluppo edilizio ed industriale dei territori dell'hinterland milanese, nella fattispecie quelli ad est, direttamente afferenti al Molgora.

Il suo corso si sviluppa infatti per una lunghezza di oltre 50 km nell'ambito di diversi territori comunali nella Brianza dell'est milanese, nella quale funge da recapito idraulico di quasi tutti i centri urbani ed industriali ubicati nel bacino idrografico. Importanti centri quali Merate, Vimercate, Agrate Brianza, Gorgonzola e Melzo, solo per citarne alcuni, sversano le loro portate di origine pluviale nel Molgora che a sua volta recapita i deflussi nel canale Muzza allo sfocio in località Lavagna, al confine tra i comuni di Comazzo e Truccazzano.

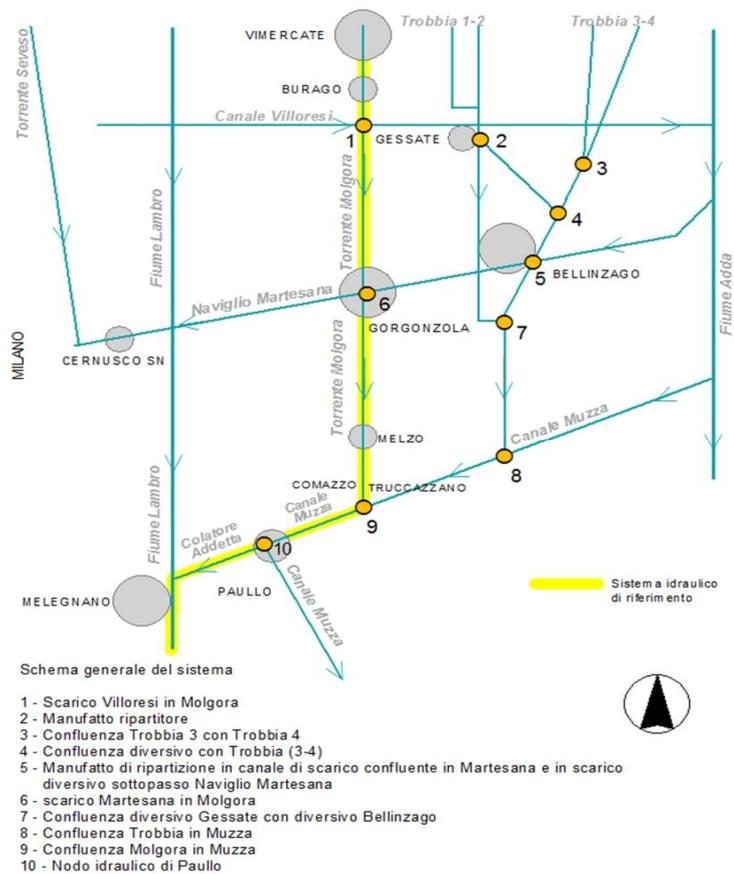
I volumi idrici che pervengono al Molgora (e di conseguenza al Muzza, canale per il quale si rende necessaria una specifica regolazione in funzione delle portate immesse, in qualunque condizione idraulica esso si trovi, con pesanti difficoltà di manovra sia in termini di tempi disponibili che di ripercussioni sull'esercizio produttivo sotteso dal canale) sono quindi andati soggetti ad un continuo incremento a fronte di infrastrutture d'alveo che non hanno avuto il necessario corrispondente adeguamento in termini di capacità idraulica e sicurezza funzionale. Il problema quindi non si esaurisce con le criticità di vettoriamento del torrente Molgora, essendo esso solo una parte di un insieme idraulico molto più articolato e complesso: il *sistema Molgora - Muzza - Addetta - Lambro*, che costituisce una dorsale idraulica strategica,

di importanza sovra regionale, attraverso la quale vengono fatti defluire i deflussi drenati nel bacino idrografico del solo molgora. Per meglio comprendere l'entità e l'estensione del quadro idrologico - idraulico di riferimento nel quale si colloca l'intervento qui pianificato, occorre quindi allargare la visione territoriale, oltre al Molgora, sino a ricomprendere:

- il tratto centrale del canale Muzza nel quale sversa come detto il Molgora,
- il colatore Addetta che funge da diversivo nei confronti delle portate derivanti dall'immissione del Molgora
- il fiume Lambro, recapito ultimo del sistema, che riceve così dall'affluente indiretto Molgora, una frazione del suo "pacchetto" idrologico.

Per questa sovrapposizione di portate "esterne" ai contributi idrologici propri, detto sistema soffre oggi di una inadeguatezza idraulica nei confronti dei deflussi di piena sopra indicati, in termini sia di repentinità di formazione dei colmi che di inadeguata capacità idraulica di recepimento, come del resto già segnalato in passato ai competenti Enti con specifica corrispondenza.

I rischi connessi a tale condizione sono quelli dell'impossibilità di gestire flussi idrici superiori alle reali capacità del sistema, ovvero rischi di esondazione di zone urbane e industriali, rischi di interruzione dell'esercizio irriguo e produttivo sotteso dal canale Muzza, rischi di danni alle infrastrutture idrauliche per le sovrasollecitazioni alle quali sono sottoposte. Si riporta di seguito lo schema idraulico di riferimento di quanto descritto al fine di facilitarne la comprensione.



### Schema idraulico generale di riferimento e particolare del complesso Molgora - Muzza - Addetta - Lambro

Ancorchè il presente progetto riguardi una singola zona dell'intero sistema, si è ritenuto opportuno fornire le conoscenze, pur in via sintetica, necessarie ad avere una panoramica generale delle criticità che riguardano, da un punto di vista idraulico, la dorsale di riferimento del torrente Molgora per il drenaggio pluviale, in un territorio caratterizzato da una intensa, continua antropizzazione e quindi di complessa soluzione.

L'intervento previsto dalla presente perizia progettuale, di entità contenuta, ha carattere locale ed ha un obiettivo specificamente puntuale: la mitigazione degli effetti dei deflussi di piena nei pressi dello sfocio nel canale Muzza in località Lavagna, al confine tra i comuni di Comazzo e Truccazzano. Nel seguito sono indicate le modalità di intervento e gli obiettivi perseguiti con le opere previste.

## 2 La situazione idrologica generale:

### gli eventi idrometeorologici avversi all'origine dei danni alla rete consortile

Durante il 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 del volume 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 Ancona.

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 collettore principale di bonifica Ancona, 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, ancorchè 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 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 allorché 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.

### 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.

### *La tracimazione del torrente Molgora e l'allagamento dell'abitato di*

#### *Lavagna*

Come già descritto nei paragrafi precedenti l'intervento previsto dal presente studio è finalizzato alla eliminazione degli effetti conseguenti alle esondazioni in sponda destra del torrente Molgora nel tratto al termine del suo percorso compreso tra Cascina Vittoria e Molino Molgora. In occasione degli eventi alluvionali che hanno coinvolto tutto il nord Italia nel novembre 2014, a seguito di piogge intense e prolungate, il Molgora è andato soggetto a piene che hanno saturato la sua capacità idraulica provocando rotture arginali ed esondazioni. Le piogge che hanno caratterizzato l'autunno 2014 sono state caratterizzate da durate prolungate e scrosci con elevata intensità, combinazione di fenomeni che ha provocato

molteplici situazioni di criticità in tutto il bacino padano. Il Molgora non ha fatto eccezione: nei grafici allegati sono riportate le pluviometrie di 3 stazioni nel relativo bacino idrografico dalle quali si può osservare come si sono superati i 300 mm di pioggia cumulata in 7 giorni, pari ad un quarto del totale pluviale annuo.

Pertanto 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 2015, a 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 deflussi, tutti recapitati in quest'ultimo in tempi rapidissimi. I diagrammi di piena del Molgora allegati, registrati agli idrometri di Gorgonzola e Cavaione, rendono conto dell'elevata intensità dei valori di colmo delle portate e della loro estrema velocità di risalita. La situazione idrologica è stata da subito particolarmente gravosa, ancorchè debitamente monitorata e prevista, con i limitati tempi di reazione concessi dalla veloce corrivazione dei corsi d'acqua in input.

Nel tratto di torrente oggetto del presente progetto, in sponda destra tra cascina Vittoria e Molino Molgora, si è verificata una diffusa tracimazione spondale per rottura/scavalco arginale, che ha dato luogo alla esondazione con elevati valori di portata in efflusso. Sono stati interessati da deflusso superficiale ampie porzioni di terreno coltivato prospiciente il torrente, che, per il declivio che li caratterizza, lo ha indirizzato in direzione nord - sud-est, coinvolgendo l'abitato di Lavagna che è stato investito dal flusso idrico. Vedasi a maggior chiarimento la tavola n°4 "Stima e ricostruzione della propagazione del flusso idrico"

Dalle testimonianze raccolte dagli abitanti, con la collaborazione dell'Amministrazione comunale, si è appurato che il tratto di strada provinciale interna all'abitato si è trasformata in vettore della corrente idrica che ha sistematicamente allagato le abitazioni del centro urbano, con sommersione allagamenti e danni ingentissimi agli interni, agli arredi, ai beni mobili ed immobili, alle rimesse e ai veicoli. Altresì si sono potute reperire alcune preziose informazioni relative ai livelli idrici raggiunti dal flusso idrico in esondazione, che hanno costituito la base sperimentale di riferimento per la definizione altrimetrica delle opere di protezione. Sono stati individuati e marcati su punti di riferimento noti (murature, pali, cancellate) il pelo libero dell'acqua, collegandolo all'altimetria dell'area nell'ambito del rilievo topografico.

Vedasi la Tav. 06 in scala 1:2.000/1:200 "Profilo altimetrico del tracciato originale di progetto con indicazioni idrometriche reperite in loco".

La presenza di un flusso in scorrimento di così forte energia e portata, all'altezza dell'abitato di Lavagna a più di 500 metri dalla sua origine e su un fronte di oltre 400 metri, denota una

considerevole concentrazione in direzione dell'abitato stesso, circostanza connessa sia alla natura ed all'estensione della breccia arginale, che alla morfologia locale.

### Le opere previste

Si è già esposto nei paragrafi precedenti che non si intende intervenire sul regime idraulico del Molgora, evenienza che, negli obiettivi prefissati, comporterebbe un intervento ingente in termini di tempi e costi, optando per una protezione passiva che preservi la frazione dell'abitato di Lavagna da ulteriori allagamenti.

Si tratta di una arginatura costituita con un rilevato in materiale terroso naturale completamente rinverdito che si sviluppa con direzione nord – sud, in adiacenza alla s.p. n° 181 nel primo tratto, limitrofo ad ovest all'abitato, ed in coerenza con la strada bianca per Rossate a sud (vedasi la tavola n°2 Planimetria generale in scala 1:2.000).

Come detto il tracciato del rilevato arginale è completato a nord ed a sud dai rilevati ciclabili già realizzati.

Il rilevato arginale si integrerà con l'esistente assetto irriguo-idraulico delle aree coltivate limitrofe e sarà dotato, a tal fine, dei manufatti necessari a consentirne la trasparenza rispetto ai flussi idrici irrigui e colatizi che oggi intersecano l'andamento del suo tracciato. E' prevista la realizzazione di chiaviche arginali per il sottopasso del rilevato e la chiusura a tenuta idraulica degli spechi, dotate di organi di regolazione e manovra, così come sono previsti gli attraversamenti dell'argine per consentire il superamento dello stesso e poter fruire degli accessi preesistenti. Altresì sono in progetto manufatti di intercettazione e regolazione idraulica per il mantenimento delle possibilità di regolazione irriguo - idraulica preesistenti.

L'altimetria del rilevato arginale è stata individuata anche sulla base delle risultanze idrauliche osservate (le indicazioni reperite in loco dai cittadini residenti) in occasione dell'evento alluvionale del novembre 2014. Il riferimento idrologico è infatti costituito dal citato evento che, nella sua drammaticità, fornisce le dirette informazioni sperimentali dell'avvenimento avverso che si vuole mitigare.

Riscontri diretti in termini di quote idriche raggiunte ai margini ed all'interno dell'abitato allagato costituiscono la base per il dimensionamento altimetrico del rilevato arginale, differenziandosi dalla classica analisi idrologica applicabile a corpi idrici attivi.

Infatti pur essendo la pluviometria registrata nel bacino del Molgora ed i relativi due colmi di piena registrati a Gorgonzola, corrispondenti ad elevati tempi di ritorno (alcune stazioni del bacino hanno registrato scrosci con tempi di ritorno di oltre 100 anni, quale ad esempio Rodano), individuare univocamente sulla base dell'analisi idrologica gli effetti indotti da tutti i fenomeni fisici che si sviluppano è difficoltoso. La rottura/tracimazione arginale, il

ruscellamento superficiale su superfici rurali irregolari di decine di ettari, nonché l'instaurarsi di fenomeni tipicamente idraulici (diffusi e bidimensionali) in corrispondenza di dossi, marciapiedi, murature e quant'altro nell'abitato, induce l'introduzione di incertezze e approssimazioni che rendono detta metodologia meno preferibile rispetto all'osservazione diretta come sopra specificato, per altro riferita, come detto, ad un contesto idrologico pluviale con entità pari a quella prevista dalla normativa ( $Tr = 100$  anni).

In tale contesto di riferimento si è mantenuta la coerenza con le indicazioni normative in merito ai franchi di sicurezza da adottarsi per opere di contenimento idraulico nei confronti dei massimi tiranti idrici raggiunti dalla corrente idrica di riferimento: 1 metro. Pertanto la quota di circa 104,90 metri s.l.m. raggiunta dalla corrente in corrispondenza dell'inizio dell'abitato, nel punto dove deteneva la maggiore energia idraulica, viene contenuta con un franco di quell'entità, ovvero con una quota del piano di coronamento arginale pari a 105,90 m s.l.m.

Il deflusso superficiale ha poi interessato il lato ovest di Lavagna proseguendo in direzione nord - sud, rientrando nell'abitato in più punti dando luogo ai rovinosi allagamenti già descritti. Il profilo altimetrico dell'argine tiene conto delle indicazioni riscontrate in loco (vedasi tavola n 6 "Profilo altimetrico del tracciato arginale di progetto con indicazioni idrometriche reperite in loco"), esso è connotato da pendenza variabile in coerenza sia all'idrometria che alla morfologia delle superfici limitrofe.

### Verifiche idrauliche

#### Verifica al Sifonamento

Il fenomeno del sifonamento è direttamente correlato alla presenza di moti di filtrazione all'interno del corpo arginale che inducono sui granelli di terreno delle forze di trascinamento. Tale effetto può essere spinto fino al punto in cui le tensioni efficaci risultano nulle generando così la condizione di massima criticità che corrisponde alla liquefazione del terreno. In definitiva, uno dei problemi di maggiore interesse dal punto di vista tecnico scientifico è costituito dall'analisi della rete di flusso all'interno del rilevato in terra al fine di individuare le condizioni critiche per le quali i fenomeni di permeazione possono innescare processi erosivi, che esaltandosi nel tempo, portano, come estrema conseguenza, al sifonamento dell'opera ed alla inevitabile rotta. Tuttavia, nonostante i numerosi studi che indirizzano tale problematica non è ancora delineabile una procedura consolidata per la valutazione delle condizioni di sicurezza idraulica di tali manufatti. Inoltre, l'incertezza nella stima dei parametri del suolo costituente il manufatto, ed in particolare della conduttività idraulica, si riflette pienamente nella modellazione del moto di filtrazione arginale (Vorogushyn et al., 2009).

L'argine viene schematizzato come un ammasso con geometria semplificata (e da caratteristiche geotecniche omogenee, isotrope, e uniformi anche per il sottostrato (in termini di porosità  $n$  e permeabilità  $k$ )).



**Si ottiene un valore di  $lvsif = -0.3029$  minore di 0 e quindi risulta nulla la vulnerabilità al sifonamento.**

Si riporta nella il grafico e i parametri utilizzati nella verifica.

