



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

LAVORI DI RICOSTRUZIONE DELLA SICUREZZA  
STRUTTURALE DEI PARAMENTI SPONDALI DEL  
COLATORE VENERE ANCHE CON IMPIEGO DI  
TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA NEI  
COMUNI DI LIVRAGA E ORIO LITTA

---

PROGETTO ESECUTIVO

---

## **RELAZIONE IDROGEOLOGICA, IDROLOGICA ED IDRAULICA**

Edizione  
Agosto 2018

Il Presidente  
Ettore Grecchi

Il Responsabile del Procedimento  
dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti  
dott. Ing. Giuseppe Meazza – geom. Ernesto Davidi

La presente relazione, idrogeologica, idrologica ed idraulica individua lo scenario generale dell'area secondo gli aspetti specifici richiamati e definisce i valori ed i parametri da assumere a base di progetto delle opere ed interventi previsti.

## 1.0-Caratteristiche fisiche ed idrogeologiche generali

Il territorio in esame, ovvero il bacino del colatore Venere, è parte costitutiva di un comprensorio ben più ampio e complesso, quello gestito dal consorzio di bonifica Muzza Bassa Lodigiana. Questo, partendo a nord in comune di Cassano, si estende verso sud fino al Po tra i fiumi Adda ad oriente e Lambro ad occidente. La superficie complessiva di circa 75.000ha è suddivisibile dal punto di vista geologico in due grandi aree: l'alto ed il basso piano. Il primo è la zona di promontorio non interessata alla grande erosioni alluvionali, il secondo è caratterizzato di andamento del fiume Po che, nella parte più meridionale ha formato nel tempo la depressione che demarca , con un dislivello medio di circa 10m, i due grandi sub comprensori.

Il colatore Venere e i canali superficiali che interessano il progetto, fanno parte del così detto altopiano, che si estende per poco meno di 57.000ha, suddivisibili in ulteriori quattro bacini, in relazione al recapito delle acque di scolo nei fiumi Lambro (1), Adda (2) e Po (3). Il prospetto riportato a seguire definisce, per ogni singolo bacino, la copertura superficiale, ovvero, le diverse utilizzazioni dei suoli che, in particolare durante le manifestazioni pluviali, danno luogo a seconda del grado di saturazione ai deflussi idrici nei rispettivi recapiti: STC: superficie complessiva

- STR: superficie stradale
- SUR: superficie urbana
- SAL: superficie agraria lorda
- SAU: superficie agraria utile

<b>Bacini</b>	<b>STC (ha)</b>	<b>STR (ha)</b>	<b>SUR (ha)</b>	<b>SAL (ha)</b>	<b>SAU (ha)</b>
1°	2.163	54	242	1.867	1.665
1b	16.084	548	2.066	13.470	12.312
2°	21.721	474	2.307	18.940	15.777
3°	16.860	476	2.315	14.069	13.211
<b>Sommano</b>	<b>56.828</b>	<b>1.552</b>	<b>6.930</b>	<b>48.346</b>	<b>42.965</b>
<b>%</b>	<b>100</b>	<b>2,73</b>	<b>12,20</b>	<b>85,07</b>	

Il Venere e le rogge irrigue oggetto del presente lavoro appartengono al bacino 1b, del quale, essendo oggetto integrante dell'analisi, è opportuno definire altresì l'estensione colturale, in relazione alle tipologie di coltivazione mediamente registrate negli ultimi cinque anni

### **BACINO IDRICO 1b**

Tipo di coltura	SAU (ha)	%
Mais (dolce, da trinciato e da granella)	7.528	61,15
Industriali e ortive	399	3,25
Prati	1.799	14,61
Cereali vernini	928	7,54
Riso	419	3,40
Altri usi	1.239	10,05
<b>Sommano</b>	<b>12.312</b>	<b>100,00</b>

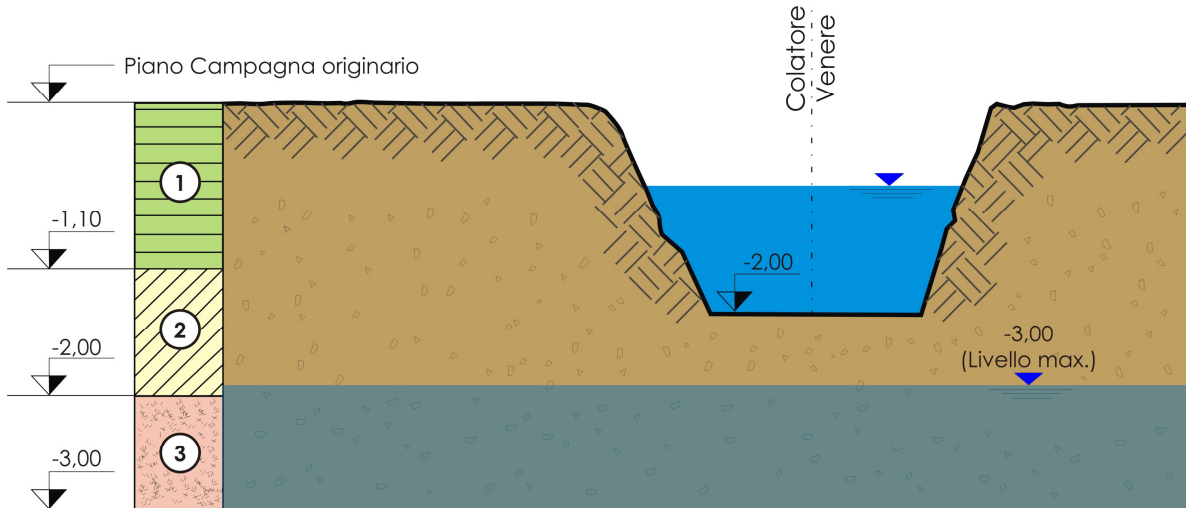
Sotto l'aspetto idrogeologico generale si può dire che la stratigrafia si compone di materiale fine negli strati più superficiali con aumento della granulometria in quelli più profondi. Generalmente la granulometria stessa, grossolana nella parte settentrionale del territorio, si riduce progressivamente con l'avvicinarsi alla valle del Po. Fanno eccezione alcune aree in cui compaiono apprezzabili strati argillosi impermeabili.

La falda è variabilmente soggiacente, con profondità oscillanti ed estremamente diversificate. Si registrano infatti presenze dell'acquifero a oltre 10m di profondità e viceversa, affioramenti idrici in alcune zone ancorché di marginale estensione. Risultano determinanti, sulla oscillazione e la giacitura piezometrica, tanto l'irrigazione dominata dal canale Muzza, quanto il livello dei fiumi perimetrali che da luogo al "richiamo" dell'acquifero e all'orientamento direzionale dello stesso.

#### **1.1- Le caratteristiche idrogeologiche specifiche**

Non sono disponibili delle prove sito specifiche che riguardano l'argomento in oggetto. Del resto, tanto in fase progettuale che in quella realizzativa non serve avere informazioni dettagliate sui sottosuoli e sull'acquifero. Tuttavia, se non altro per avere un'informazione su scala di macro area che può definire mediamente l'ambito di bacino del Venere, si può

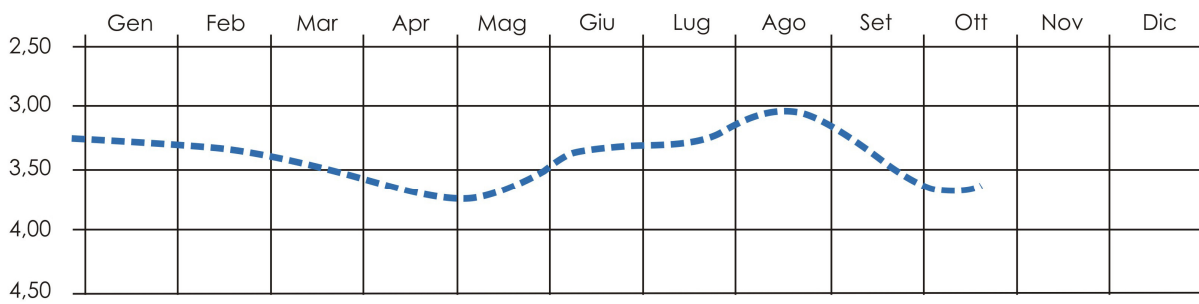
# CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE



- ① Limo argilloso consolidato
- ② Limo e sabbia fine
- ③ Limo sciolto debolmente argilloso

Variazione mensile media del livello della falda

$\Delta h \sim 80 \text{ cm}$



fare riferimento a prove disponibili effettuate nei pressi del comune di Livraga, in corrispondenza dell'area produttiva, poco più a sud dell'ubicazione significativa delle opere.

L'acquifero, rispetto alle profondità medie dell'altopiano è piuttosto alto, disponibile appena sotto i 3,00m dal piano di campagna. Analogamente a quasi tutto il comprensorio, risulta apprezzabilmente influenzato dalla pratica irrigua. La soggiacenza infatti, oscillante in un intorno di ~ 80", raggiunge la massima profondità (- m 3,75~ dal p.c.) in genere tra aprile e maggio; il massimo livello viene registrato per lo più intorno alla metà di agosto (- m3,00~ dal p.c.) periodo in cui solitamente si esaurisce l'irrigazione e i meccanismi delle restituzioni per filtrazione sono al loro culmine.

La stratigrafia si compone di limo argilloso di apprezzabile consistenza fino a poco più di un metro di profondità dal piano di campagna; da limo misto a sabbia fine ~ 2,00m dal p.c. e limo sciolto debolmente argilloso fino a m.3,00 sotto il p.c.

## **2- Gli aspetti idrologici e l'idrografia**

L'esame idrologico dell'evento di piena del novembre 2014 è assunto come base per il calcolo delle portate di progetto al fine del dimensionamento minimo delle sezioni dove si prevede di dirigere i deflussi. Tale scelta è stata effettuata per via della forte intensità (tempo di ritorno pari a circa 70 anni) dell'evento ed in coerenza con l'entità dell'intervento che si intende eseguire. Sull'idrografia locale, opportunamente ripristinata ed adeguata si fa affidamento per la diversione delle portate calcolate nelle valutazioni idrologiche.

### **2.1 L'analisi idrologica**

La presente analisi idrologica è finalizzata all'individuazione delle portate di riferimento, indispensabili per la valutazione delle proposte progettuali nel territorio di Livraga. La stima di tali portate e' stata effettuata con riferimento all'evento pluviale del novembre 2014.

Nella strutturazione dello studio si è fatto riferimento a tre successive fasi analitiche, funzionali al completamento dell'indagine idrologica, delle quali nella prima, di inquadramento territoriale, sono state definite le proprietà del bacino imbrifero: dimensioni, caratteristiche geomorfologiche e di copertura del suolo.

Il secondo passaggio è consistito nell' esame dei dati idroclimatici ufficiali (dati A.R.P.A. Lombardia, registrati alla stazione di Lodi) relativi all'evento meteorologico di riferimento e nella conseguente individuazione dello stato di criticità associato.

L' evento è stato esaminato in modo tale da individuare i valori di pioggia massimi riferiti a durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, che sono stati successivamente confrontati con le serie storiche di dati, registrati sempre al pluviometro di Lodi, permettendo la caratterizzazione statistica dell'evento. E' stata scelta la stazione di Lodi poiché è la stazione più vicina al bacino tributario che presenta la più estesa serie storica di dati pluviometrici, superiore a cinquant'anni: dal 1961 al 2010. Sono disponibili anche i dati della stazione di S.Angelo che risulta più vicina di quella di Lodi, tuttavia le serie registrate si limitano ad un periodo di soli 20 anni.

Nella terza fase, propriamente modellistica, è stata identificata la risposta idrologica del bacino individuato, Nord e Sud, in corrispondenza agli input di pioggia predefiniti nelle precedenti fasi, attraverso la simulazione dei processi che intervengono nella trasformazione tra gli afflussi e i deflussi. Alla base della determinazione dell'onda di piena vi è la definizione dell'idrogramma, per il quale è stato adottato il modello dell'invaso lineare che schematizza il bacino come un serbatoio a funzionamento lineare. Il modello dell'invaso si basa sull'ipotesi che la formazione della piena del bacino avvenga per fenomeni di invaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della sua bocca di uscita.

## **2.1.1 Inquadramento Territoriale**

Il colatore Venere, come già detto, è un corso d'acqua pubblico iscritto negli elenchi della Regione Lombardia (prov. di Lodi) con il codice LO018. E' importante canale naturale del lodigiano, la cui formazione è riconducibile alla progressiva regressione delle acque permanenti nelle direzioni nord-sud e sud-est, che ha caratterizzato la recente evoluzione dell'assetto idrogeologico territoriale della bassa pianura padana. Il contesto territoriale è quindi quello tipico rurale basso padano, capillarmente irrigato, regolarmente pianeggiante ed estensivamente coltivato, contraddistinto dalla presenza di centri urbani di moderata estensione, con sistemi di drenaggio urbano prevalentemente di natura mista (collettori unitari) 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 Venere costituisce un'importante vettore idraulico con specifiche funzioni territoriali di drenaggio misto-pluviale.

Possiamo quindi identificare gli input idrologici al colatore come di seguito specificato: - 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. Di fatto gli scarichi urbani sono stati considerati nel calcolo degli afflussi con la metodologia del Soil conservation service S.C.S. (di seguito descritta) attraverso il computo delle relative superfici scolanti ed adottando per esse opportuni coefficienti di deflusso (vedasi la parte successiva relativa alla trasformazione afflussi - deflussi) ed idonee condizioni al contorno antecedenti (AMC II e AMC III). - drenaggio diretto del territorio sotteso di competenza: per esso sono state classificate le varie tipologie di suolo di cui si compone, secondo la classificazione adottate dal metodo SCS-CN sopra citato, per il bacino di competenza alla sezione di interesse

### Bacino Imbrifero

<b><i>Bacino Imbrifero</i></b>	<b><i>Area (mq)</i></b>	<b><i>Area (ha)</i></b>
<u><i>Bacino Rurale</i></u>	<u><i>4442930,677</i></u>	<u><i>444,29</i></u>
<u><i>Bacino Impermeabile e Urbano di cui:</i></u>	<u><i>591981,3527</i></u>	<u><i>59,19</i></u>
- Livraga	345466,0175	34,54
- Altre aree Impermeabilizzate (Motta Vigana , Cascina Proprio, etc..)	205937,2569	20,59
- Zona a scarico controllato	40578,0783	4,058
<b><i>TOTALE</i></b>		<b><i>503,47</i></b>



# LEGENDA



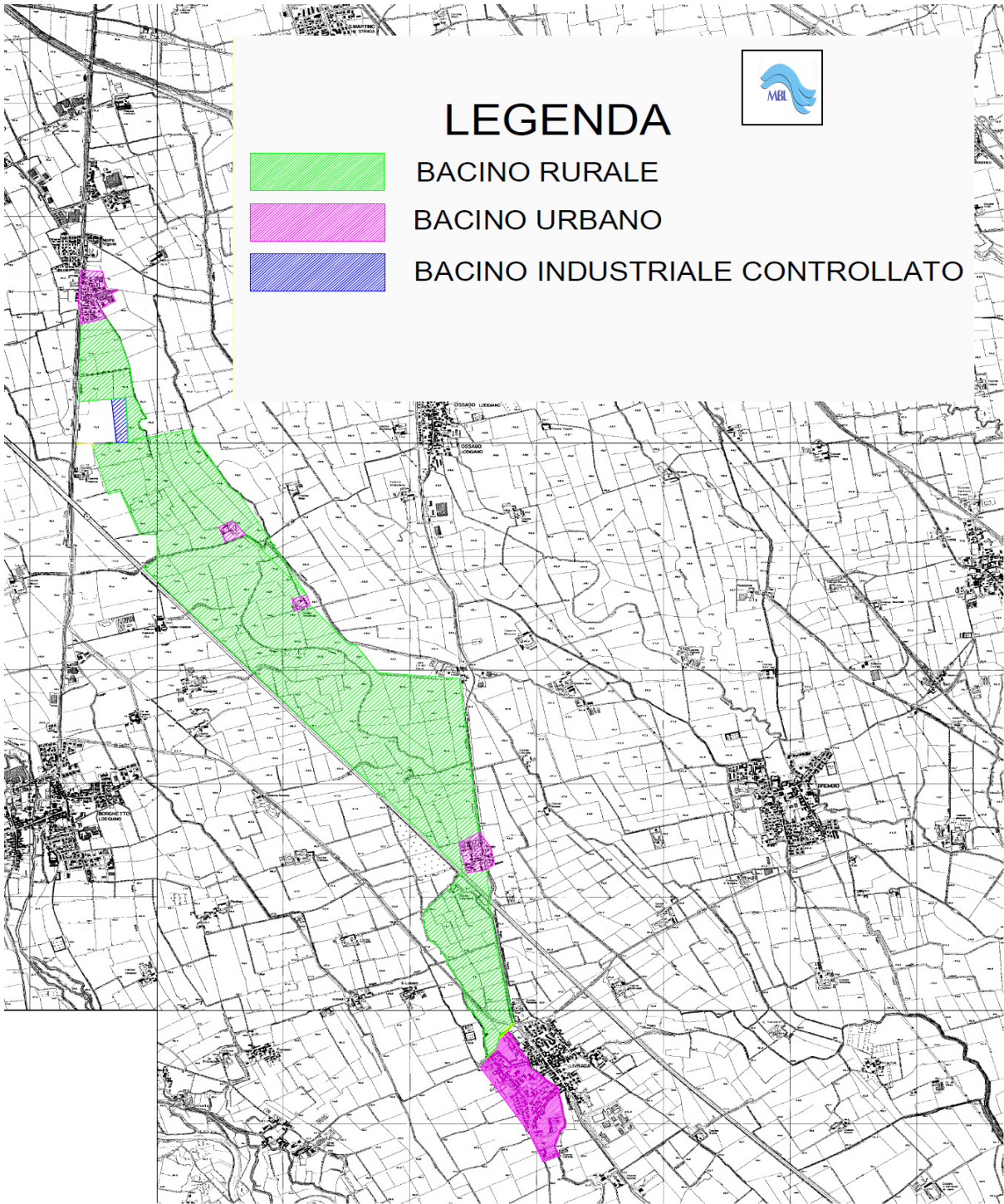
BACINO RURALE



BACINO URBANO



BACINO INDUSTRIALE CONTROLLATO





## **Classificazione della permeabilità dei suoli e della Copertura**

*Suddivisione in classi delle varie tipologie di terreno*

<b>CLASSE</b>	<b>Potenzialità di deflusso</b>
CLASSE A	<u>Scarsa potenzialità di deflusso</u> : comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
CLASSE B	<u>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa</u> : comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
CLASSE C	<u>Potenzialità di deflusso moderatamente alta</u> : comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloid, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
CLASSE D	<u>Potenzialità di deflusso molto alta</u> : comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

I valori del Curve Number CN sono riportati nella tabella seguente, per i diversi tipi di suolo e con riferimento alla cosiddetta condizione di umidità precedente l'inizio dell'evento, di tipo standard (AMC antecedent moisture conditions di tipo II)

<b>Tipo di copertura (uso del suolo)</b>	<b>TIPO DI SUOLO</b>			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81

Terreno da pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone Condizioni	39	61	74	80
Praterie				
Buone Condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestali				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali				
Impermeabilità media % 65	77	85	90	92
38	61	75	83	87
30	57	72	81	86
25	54	70	80	85
20	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

## **Parametri Utilizzati:**

Tipologia di terreno : tipo B

Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.

Tipo di copertura uso del suolo :

per il territorio rurale – Terreno coltivato con interventi di conservazione e spazi aperti

### **CN pesato pari a 70**

per il territorio urbano – Aree residenziali , parcheggi e strade

### **CN pesato pari a 90**

Condizioni antecedenti all'evento : nella'analisi della S.c.s vengono considerate le condizioni antecedenti l'evento e vengono classificate le diverse condizioni in tre diversi tipi di caratteristiche:

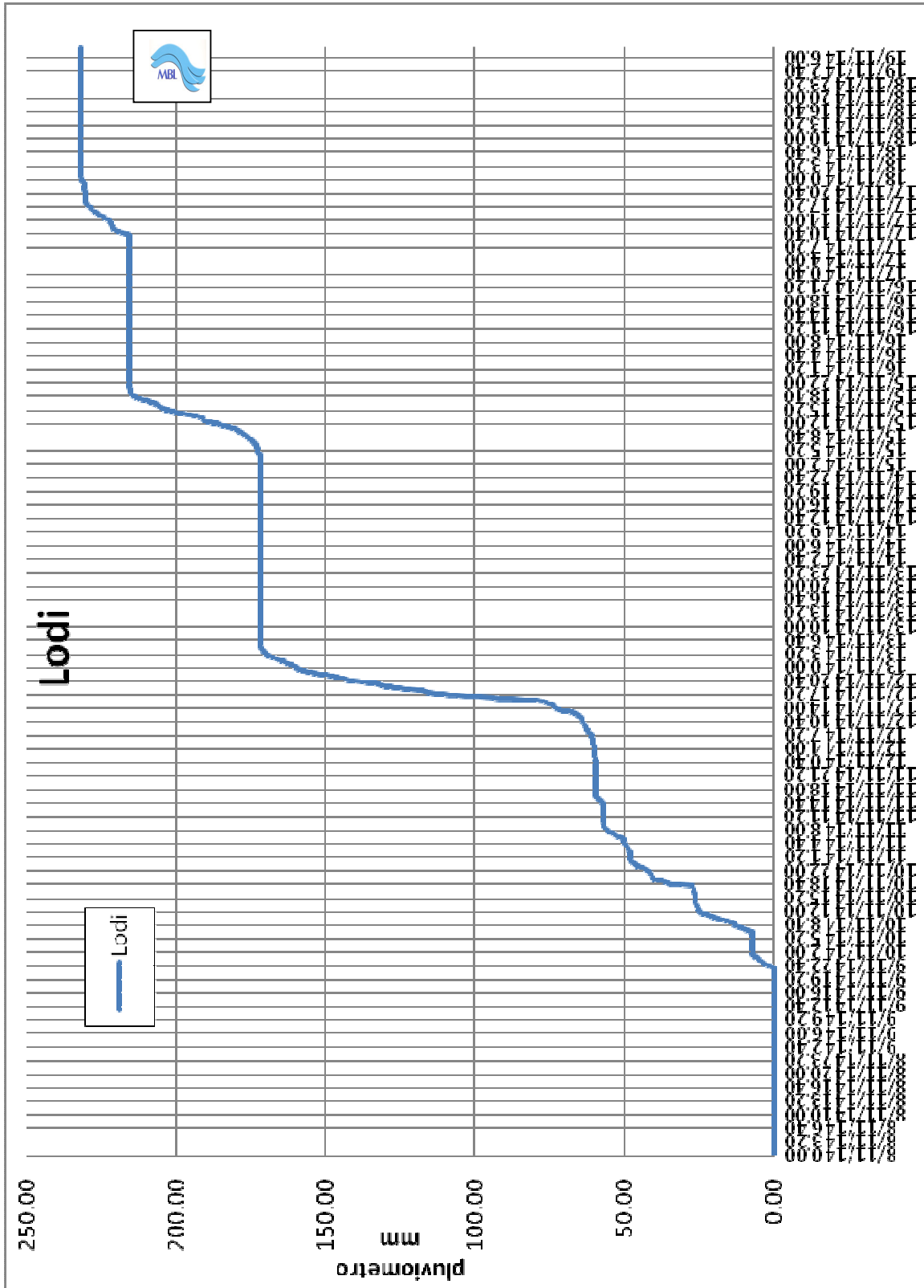
- secco AMC 1
- mediamente umido AMC 2
- umido e saturo AMC 3

La distinzione tra le tre diverse tipologie di saturazione del terreno e' rimandata alla tabella sottostante, in cui la definizione della classe di Antecedent Moisture Condition (AMC) in funzione della pioggia complessivamente caduta nei 5 giorni precedenti l'evento

	classe	<b>Stagione di riposo</b>	Stagione di crescita
Precipitazione nei 5 gg precedenti	AMC 1	<b>&lt;12.7 mm</b>	<35.5 mm
	AMC 2	<b>&lt;28 mm</b>	<53.3 mm
	AMC 3	<b>&gt;28 mm</b>	>53.3 mm

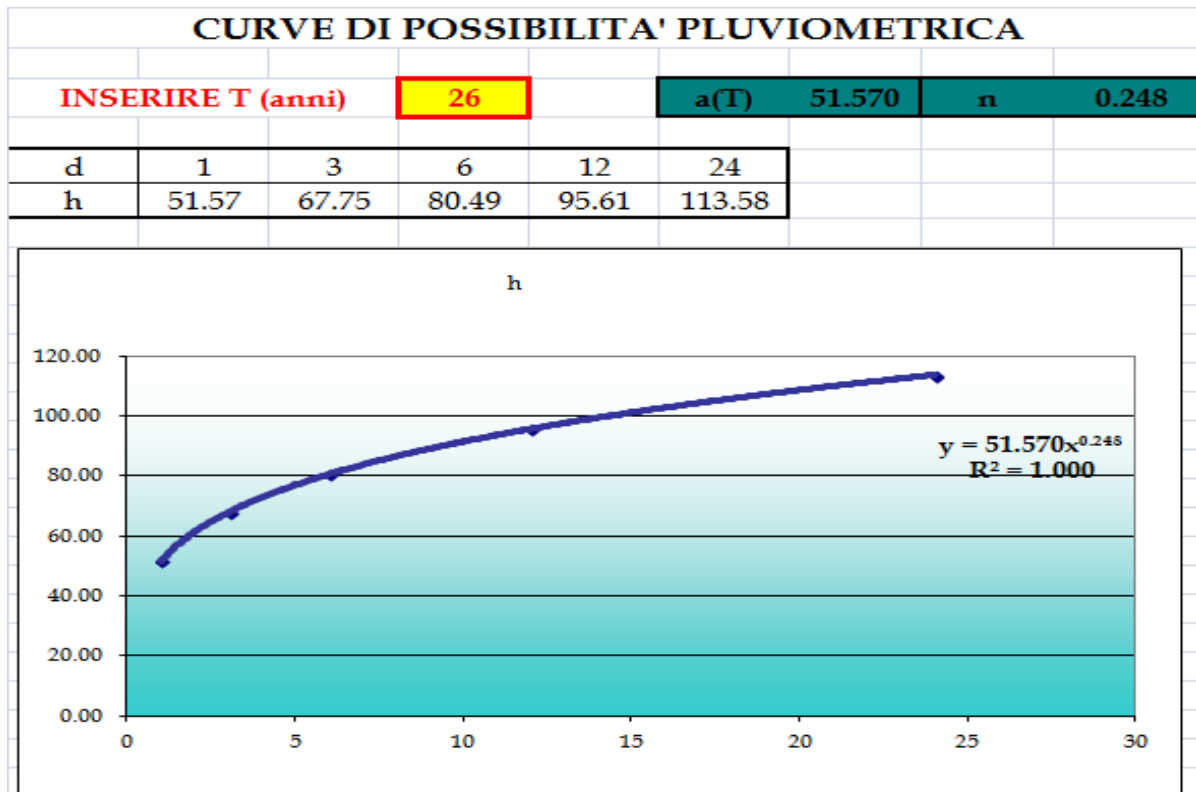
## 2.1.2 Analisi Meteo-climatica degli eventi

Eventi pluviometrici registrati nel novembre 2014 - Dati registrati al pluviometro di Lodi



## ***Deduzione del tempo di ritorno dell'evento del 12/13 Novembre 2014 in confronto alla Curva di possibilità climatica di Lodi***

Dall'analisi dei dati pluviometrici dell'evento del 12/13 novembre, data la corrispondenza tra i dati registrati e quelli dell'indagine statistica, e' stato possibile individuare la coerenza dell'evento con la curva di possibilità climatica, avente tempo di ritorno di 26 anni.



## 2.1.3 Modellazione Afflussi Deflussi

Definizione degli eventi meteorologici critici e delle condizioni antecedenti l'evento nel Novembre 2014

<i>Eventi pluviometrici Lodi</i>	<i>Precipitazione registrata in mm</i>	<i>classe di partenza</i>
Precipitazione prima del 1° evento	6.1 mm	
1°evento 10/11 Novembre	54.5 mm	AMC 1
<b><u>precipitazione prima del 2° evento</u></b>	<b><u>60.6 mm</u></b>	
<b><u>2° evento di precipitazione del 12/13 Novembre</u></b>	<b><u>111.4 mm</u></b>	<b><u>AMC 3</u></b>

### Calcolo del numero di curva relativo nelle diverse condizioni di saturazione nel terreno nel Bacino del colatore Venere

I valori rispettivi del parametro CN ricavati dalla tabella soprastante sono riferiti alla condizione AMC 2 . I corrispondenti valori di AMC 1 e AMC 3 si ottengono dalle seguenti relazioni

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)},$$

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}.$$

Per le diverse tessiture territoriali nel bacino imbrifero del colatore Venere sono state calcolati i numeri di curva a seconda delle tre diverse tipologie di saturazione del terreno e il CN complessivo pesato sull'area :

<b><i>Bacino Venere</i></b>	<b><i>AREA in ha</i></b>		<b><i>CN AMC 1</i></b>	<b><i>CN AMC 2</i></b>	<b><i>CN AMC 3</i></b>
<u>Bacino Rurale</u>	<u>444,29</u>		50.35971223	70	84.43908323
<u>Bacino Impermeabile e Urbano</u>	<u>59,19</u>		79.6460177	90	95.44008484
<b>TOTALE</b>	503.47	<b>CN PESATO</b>	<b>53.8030686</b>	<b>72.35151298</b>	<b>85.73253313</b>

# Analisi idrologica evento 12/13 Novembre 2014

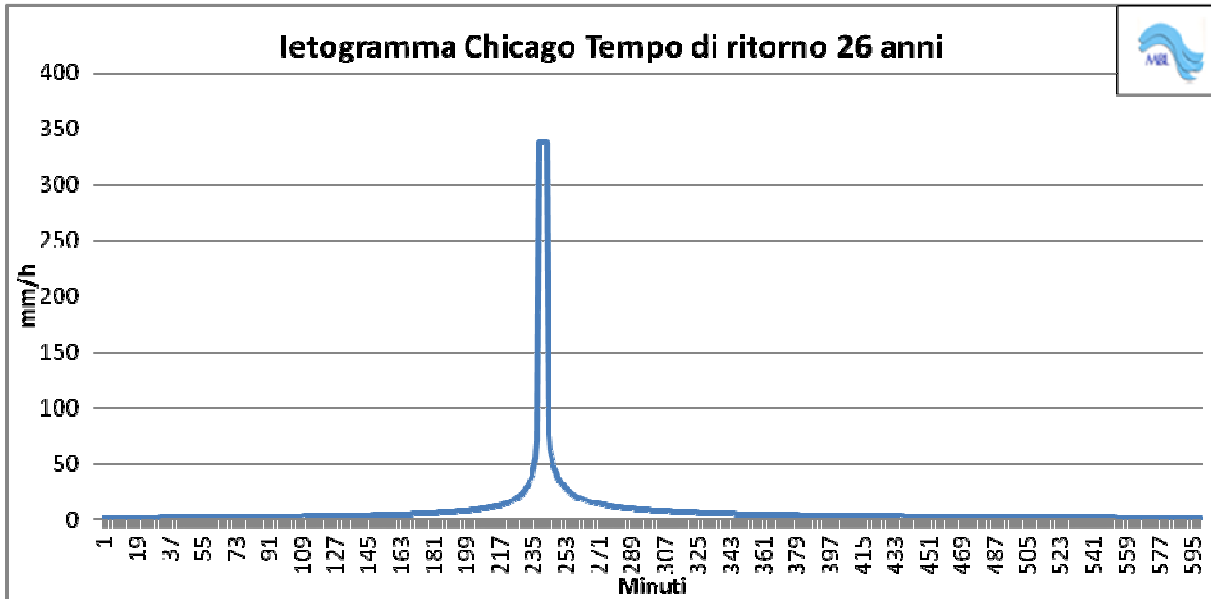
## Bacino Colatore Venere

Calcolo portata per tempo di ritorno 26 anni in condizione AMC 3

Curva di possibilità climatica di Lodi per TR 26 anni

$$h = 51,570 t^{0.248}$$

letogramma di pioggia lordo – tempo di pioggia 600 minuti



## Calcolo Pioggia Netta

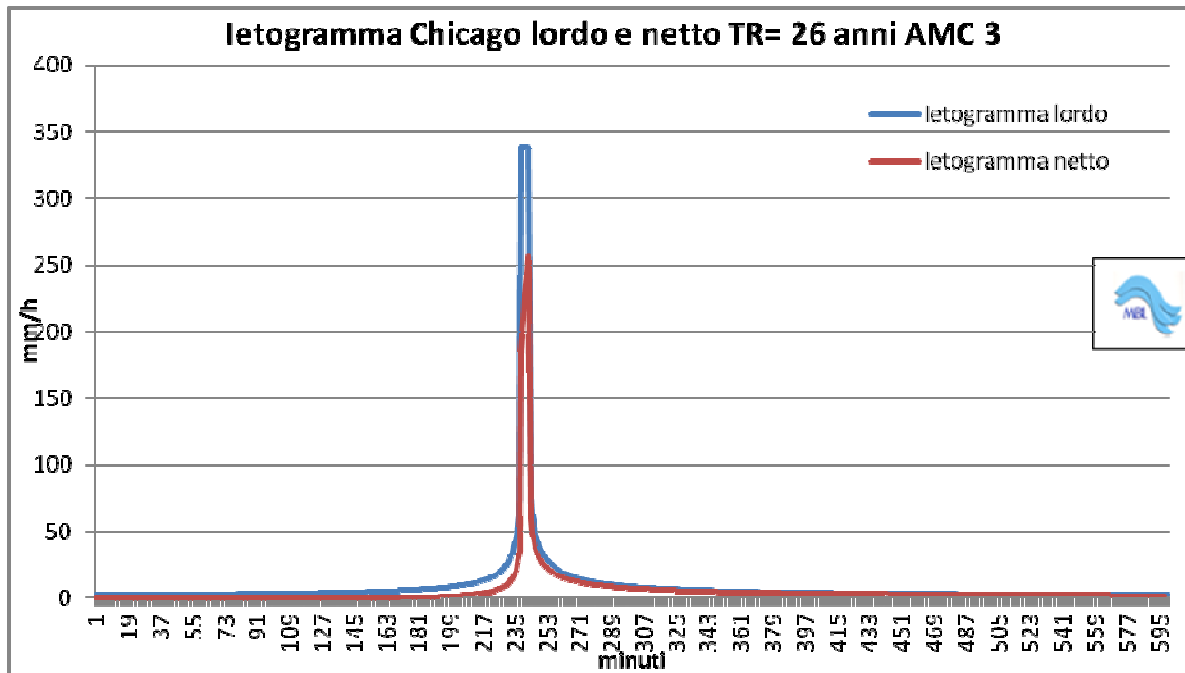
Numero di Curva CN AMC 3

85.73

Coefficiente afflusso

0.61

Ietogramma di pioggia Lorda e Netta





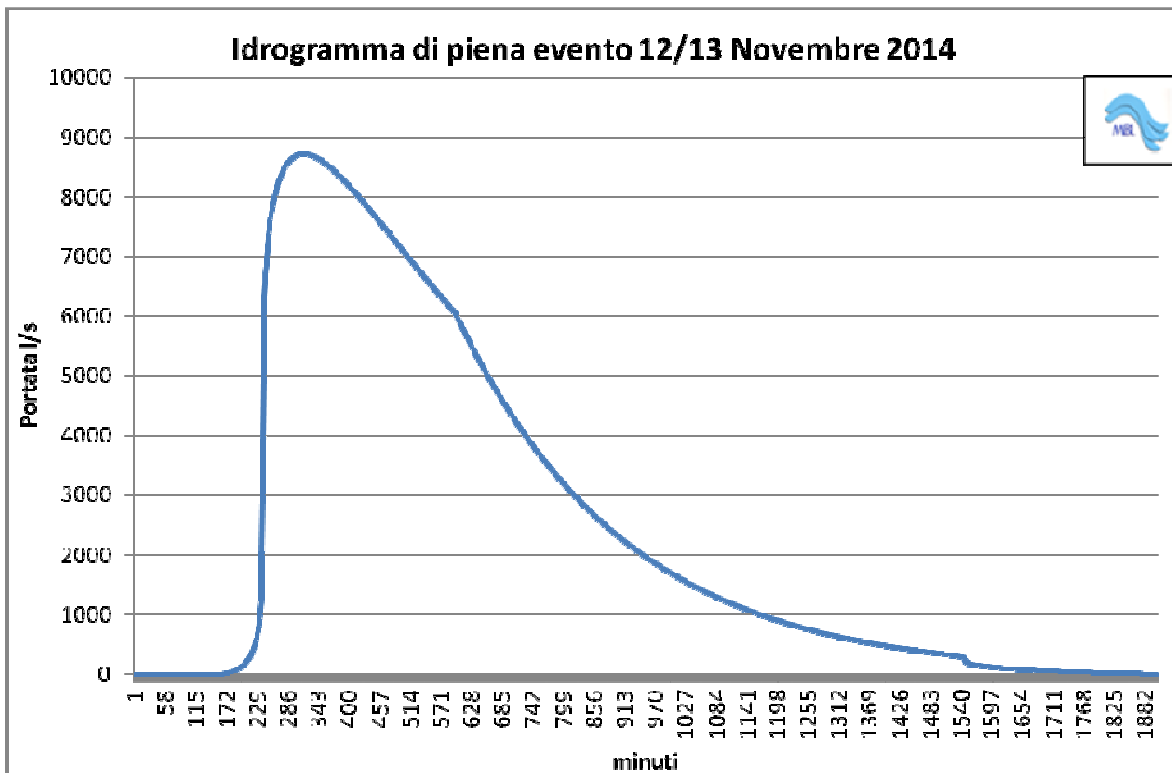
## Modello di trasformazione afflussi Deflussi

Metodo dell'invaso lineare

Tempo di corrivazione del Bacino calcolato con formula di Ogrosky – Mockus: 450 min

Area complessiva del bacino **503 ha** - Portata di piena: **8.716,38 l/s**

coeff. Udometrico **17,3 l/s \* ha**



## 2.2 Il reticolo idrico e le portate ammesse

Nella planimetria generale di tav.02 è riassunto lo scenario territoriale ed idraulico di che trattasi.

**-1-colatore Venere:** è un corso d'acqua pubblico di competenza regionale, si origina in comune di Massalengo, a sud dell'abitato di Motta Vigana. La funzione è prevalentemente di drenaggio, originariamente rurale irriguo attualmente fortemente integrata dagli afflussi urbani che ne condizionano fortemente il regime, segnatamente in occasione degli episodi meteorologici come quello indicato. Il territorio sotteso è di poco superiore a 500 ha di cui circa 60 ha di natura impermeabile che, tuttavia, ha inciso in modo definitivo sugli allagamenti dell'abitato. Il corso d'acqua è parzialmente regolabile, con la deviazione nel fiume Lambro di buona parte delle portate ( $>7,00\text{m}^3/\text{sec.}$ ) tramite uno scolmatore artificiale posto oltre l'abitato di Livraga. La portata da assumere a base di progetto nella sezione di chiusura del bacino idraulico del colatore Venere posta a valle dell'abitato di Livraga è pari a:

- $Q_{\text{VEN}}$ : nella tratta a valle di Livraga =  $9,00\text{m}^3/\text{sec}$

## 3.0 Valutazioni idrauliche

Calcolati gli afflussi naturali in relazione all'evento di riferimento e ricercate le possibili-necessarie potenzialità idrauliche valutate le diverse condizioni di deflusso entro buoni margini di sicurezza, occorre verificare tanto le potenzialità idrauliche delle singole sezioni sollecitate dai deflussi di progetto.

### 3.1 Le verifiche numeriche delle sezioni

Le verifiche numeriche delle sezioni sono state effettuate utilizzando il modello del moto uniforme, scelto per via dell'ottima applicabilità al caso di studio in esame. Per quanto concerne i valori di scabrezza, essi sono stati assunti tramite il metodo di Gauckler-Strickler. Per ognuna delle sezioni, in relazione alla portata assunta e stabilito il valore del coefficiente " $K_s$ " di scabrezza secondo la scala Gauckler-Strickler (dipende dalla forma e dal materiale del paramento interno) sono stati calcolati, in funzione delle altezze idriche (H in m.) i seguenti parametri:

- Contorno bagnato: di perimetro della sezione occupata dall'acqua misurata in metri
- Area idraulica:  $\text{m}^2$  di sezione dell'alveo occupati dalla portata defluente
- Raggio idraulico: rapporto (in metri) tra l'area idraulica ed il contorno bagnato
- la velocità idrica: velocità media dell'acqua in m/s

- portata potenziale del canale ( $Q_1$ ): quantità istantanea di acqua potenzialmente transitante nella rispettiva sezione (in  $m^3/s$ ); deve risultare  $\leq$  a quella assunta a base di progetto ( $Q_2$ )

Di seguito si riporta la tabella contenente i calcoli di verifica per la sezione a valle del centro abitato di Livraga.

<b>COLATORE VENERE</b>			
<b>Verifica della capacità idraulica - Modello: moto uniforme</b>			
<b>Base</b>	B	7.00	[m]
<b>Tirante</b>	H	1.60	[m]
<b>Inclinazione delle sponde</b>		45°	[-]
<b>Pendenza motrice</b>	I	0,0004	[m/m]
<b>Scab. Manning</b>	c	0.033	[ $m^{-1/3} s^1$ ]
	C	30.90	[ $m^{1/2} s$ ]
<b>Scab. Strickler</b>	ks	30	[ $m^{1/3} s^{-1}$ ]
	C	30.90	[ $m^{1/2} s$ ]
<b>Area bagnata</b>	A	13.76	[ $m^2$ ]
<b>Perimetro bagnato</b>	P	11.52	[m]
<b>Raggio idraulico</b>	R	1.19	[m]
<b>Portata</b>	<b><math>Q_1</math></b>	<b>9.29</b>	<b>[<math>mc/s</math>]</b>
<b>Velocità</b>	<b>V</b>	<b>0.65</b>	<b>[m/s]</b>

La tabella riportata a seguire evidenzia la seguente condizione:

$$(Q_2) m^3/s \leq (Q_1) m^3/s$$

$$H [m] \leq H_{PROG}=2 m$$

e pertanto la verifica idraulica della sezione di progetto risulta essere soddisfatta.