



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 RIPRISTINO DELLA FUNZIONALITÀ
IDRAULICA E DELL'AFFIDABILITÀ STATICA DELLE
STRUTTURE D'ALVEO DEL COLATORE SILLARO
ANCHE CON TECNICHE DI INGEGNERIA
NATURALISTICA NEI COMUNI DI VILLANOVA SILLARO,
PIEVE FISSIRAGA E BORGO SAN GIOVANNI

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

Edizione
Agosto 2018

Il Presidente
Ettore Grecchi

Il Responsabile del Procedimento
dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti
dott. Ing. Marco Chiesa – geom. Ernesto Davidi

La presente relazione idrologica ed idraulica individua lo scenario generale dell'area oggetto di studio e definisce i valori ed i parametri assunti a base del progetto e delle opere ed interventi ampiamente spiegati nella relazione generale.

Caratteristiche fisiche ed idrogeologiche generali

Il territorio in esame, ovvero la parte media del bacino del colatore Sillaro, nonché il colatore Sillaretto, sono 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 75.000 ha 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 dall'andamento del fiume Po che, nella parte più meridionale ha formato nel tempo la depressione che demarca, con un dislivello medio di circa 10 m, i due grandi sub comprensori.

Il colatori Sillaro e Sillaretto, nonché tutta la rete di canali superficiali che interessano il progetto, fanno parte del così detto altopiano. Esso, di spiccata connotazione agraria, si estende per poco meno di 57.000 ha, suddivisibili in ulteriori quattro bacini, afferenti, relativamente al recapito delle acque di scolo, ai 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. Le diverse coperture superficiali, in particolare durante le manifestazioni pluviali, danno luogo a seconda del grado di saturazione, ad altrettanto diversi deflussi idrici nei rispettivi recapiti. Queste sono definite secondo la seguente classificazione:

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

Mentre le caratteristiche dei bacini sono le seguenti:

Bacini	STC [ha]	STR [ha]	SUR [ha]	SAL [ha]	SAU [ha]
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
Sommano	56.828	1.552	6.930	48.346	42.965

Il Sillaro, nonché le rogge irrigue oggetto del presente lavoro appartengono al bacino 1b, ovvero il bacino più meridionale della parte che sta ad occidente del canale Muzza. Di detto territorio, che riversa interamente le proprie acque nel fiume Lambro, essendo oggetto integrante dell'analisi, è opportuno definire altresì l'estensione colturale, in relazione alle tipologie di coltivazione mediamente registrate negli ultimi cinque anni. La seguente tabella riporta la suddivisione della SAU secondo la tipologia di coltura relativamente al bacino 1b, che contiene il colatore Sillaro.

BACINO IDRICO 1b

Tipo di coltura	SAU [ha]	%
Mais (dolce, da trinciato e da granella)	7.528	61,2
Industriali e ortive	399	3,25
Prati	1.799	14,6
Cereali vernini	928	7,54
Riso	419	3,4
Altri usi	1.239	10,1
Sommano	12.312	100

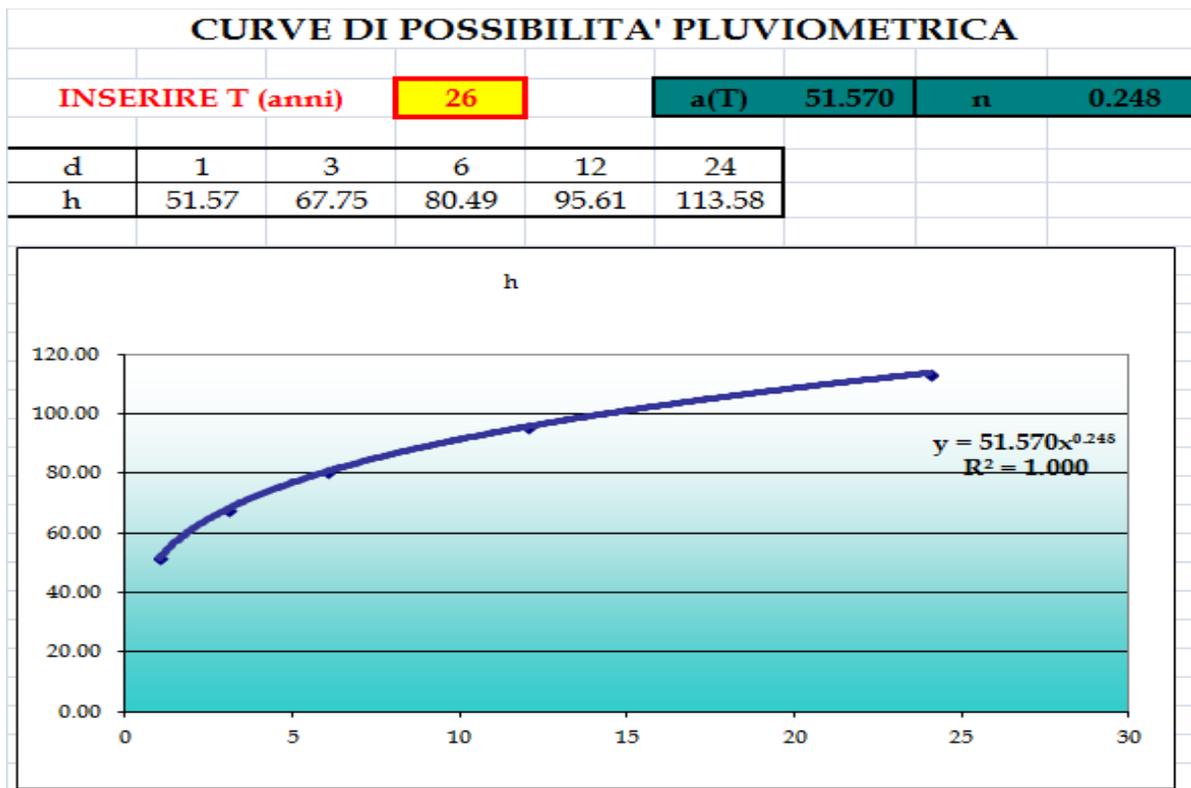
Sotto l'aspetto idrogeologico generale si può dire che la stratigrafia si compone di materiale fine negli strati più superficiali con aumento della granulometria in quelli più profondi. Generalmente la granulometria stessa, grossolana nella parte settentrionale del territorio, si riduce progressivamente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

tuttavia non sono presenti nell'area direttamente interessata dalla presente analisi. La falda è variabilmente soggiacente, con profondità oscillanti in relazione al periodo e alla pratica irrigua. Risultano quindi determinanti i carichi idraulici presenti nelle rogge ma anche la presenza del fiume Lambro che scorre a poca distanza a profondità significative rispetto al piano campagna (>10m). In generale l'andamento dell'acquifero si identifica con una decrescente soggiacenza che aumenta con l'avvicinarsi al Lambro.

Gli aspetti idrologici-idraulici esaminati

Nel corso dell'alluvione verificatasi nel mese di novembre del 2014, tutto il territorio idrografico lodigiano, da Cassano d'Adda al Po, è stato oggetto di numerosi allagamenti. Il bacino del colatore Sillaro di Borghetto è stato caratterizzato da circostanze tra le peggiori registrate in Provincia di Lodi. Il corso d'acqua è straripato in numerosi punti, ma i maggiori danni sono stati registrati in comune di Villanova, in particolare in corrispondenza del centro abitato che è attraversato longitudinalmente dal Sillaro stesso. Gli effetti registrati sono esclusivamente riconducibili allo straripamento del colatore le cui portate di colmo, eccedenti la capacità idraulica ammissibile, hanno identificato, come si vedrà più specificatamente in seguito, un evento di natura eccezionale con un tempo di ritorno "verosimilmente" prossimo a 200 anni. La configurazione della probabilità (T=200) è riconducibile non tanto all'intensità delle piogge registrate (T~30) quanto alla successione ravvicinata dei quattro eventi pluviali verificatisi; le caratteristiche della copertura del suolo (CN) ed il susseguirsi delle piogge hanno avuto come effetto definitivo e determinante la saturazione massima del terreno, raggiungendo il livello AMC3. Il valore del rapporto afflussi-deflussi si è avvicinato all'unità ed il territorio ha perso la naturale peculiarità che maggiormente lo caratterizza: la ritenzione idrica, che rappresenta un apprezzabile volume di invaso che lamina il colmo di piena.

Di fatto, quindi, tanto pioveva in quella circostanza (Afflusso A_F) e tanto scorreva nella rete di drenaggio (Deflusso= D_F). Dall'analisi pluviometrica dell'evento del 12/13 novembre, data la corrispondenza tra i dati registrati e quelli dell'indagine statistica, è stato possibile individuare la coerenza dell'evento con la curva di possibilità climatica, riportata nella seguente figura, avente tempo di ritorno prossimo a 30 anni. Il grado di saturazione dei terreni però, già nella prima decade di novembre era prossimo all'unità (AMC3), ovvero, tanto pioveva e tanto defluiva nella rete, ovvero, $(A_F) / (D_F) = 1$.



Curve di possibilità pluviometrica relative all'alluvione del novembre 2014

Nel prospetto che segue è invece riassunto l'andamento stimato dell'evoluzione a tutto il 13 novembre. Data il coefficiente di deflusso pari all'unità, i 120 mm precipitati successivamente (nel bacino corrispondono a oltre $1 \times 10^6 \text{m}^3$) sono corrivati direttamente alla rete.

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

Consistenti i danni registrati sia alle opere idrauliche che agli immobili tra cui diverse abitazioni; ai relativi abitanti invece, fortunatamente solo disagi. Altresì consistenti i danni registrati al colatore Sillaro ed al Sillaretto a cui, oltre alle proprie, sono affluite le acque di piena debordanti dal Sillaro stesso, entrate per scorrimento naturalmente, essendo il corso d'acqua citato il recapito più basso dell'area.

Il presente progetto, come riportato nella relazione generale ha come oggetto, gli interventi per la messa in sicurezza statica e funzionale del colatore Sillaro in un'ottica complementare a quello effettuato in seguito agli eventi alluvionali del novembre 2014 appena descritti, oltre che incrementare la capacità di smaltimento delle portate del colatore Sillaro mediante la messa in opera di uno sfioratore laterale in corrispondenza dello scarico del Sillaretto ed un impianto di sollevamento a monte del centro urbano di Villanova del Sillaro al fine meccanizzare la procedura di deviazione delle portate dal colatore Sillaro alla roggia Frata, operazione che attualmente viene effettuata durante gli eventi alluvionali tramite la messa in opera di una o più idrovore mobili disposte su apposite piazzole. I ripristini stessi, oltre ricostituire la piena capacità idraulica propria dei corsi d'acqua, rendono possibile l'esecuzione di lavori che miglioreranno la sicurezza della zona; questi, aumentano considerevolmente la potenzialità idraulica di regolazione delle piene, migliorando la capacità di resistere ai prossimi eventi alluvionali.

Come riferimento idrologico si assume la manifestazione pluviale del novembre 2014 pur con tutte le incertezze del caso, ovvero:

- una storicità che potrebbe sembrare eccessiva (T_{200}) quando in genere la valutazione avviene per (T_{100});
- il colmo di piena, travolgendo la capacità idraulica del sistema, ha compromesso le verifiche effettuate, in particolare per quanto riguarda i deflussi alla rete;
- non si conoscono esattamente, per le ragioni sopra espresse, le aree tributarie e le dinamiche idrauliche generate dalle precipitazioni;
- le piogge stesse, inoltre, sono state registrate dalla stazione ufficiale di Lodi che, pur relativamente prossima all'area in esame, potrebbe non rappresentare con sufficiente precisione la circostanza in oggetto, basti osservare le differenze registrate alla stazione meteo di S. Angelo apprezzabilmente superiori pur essendo a qualche km da Lodi.

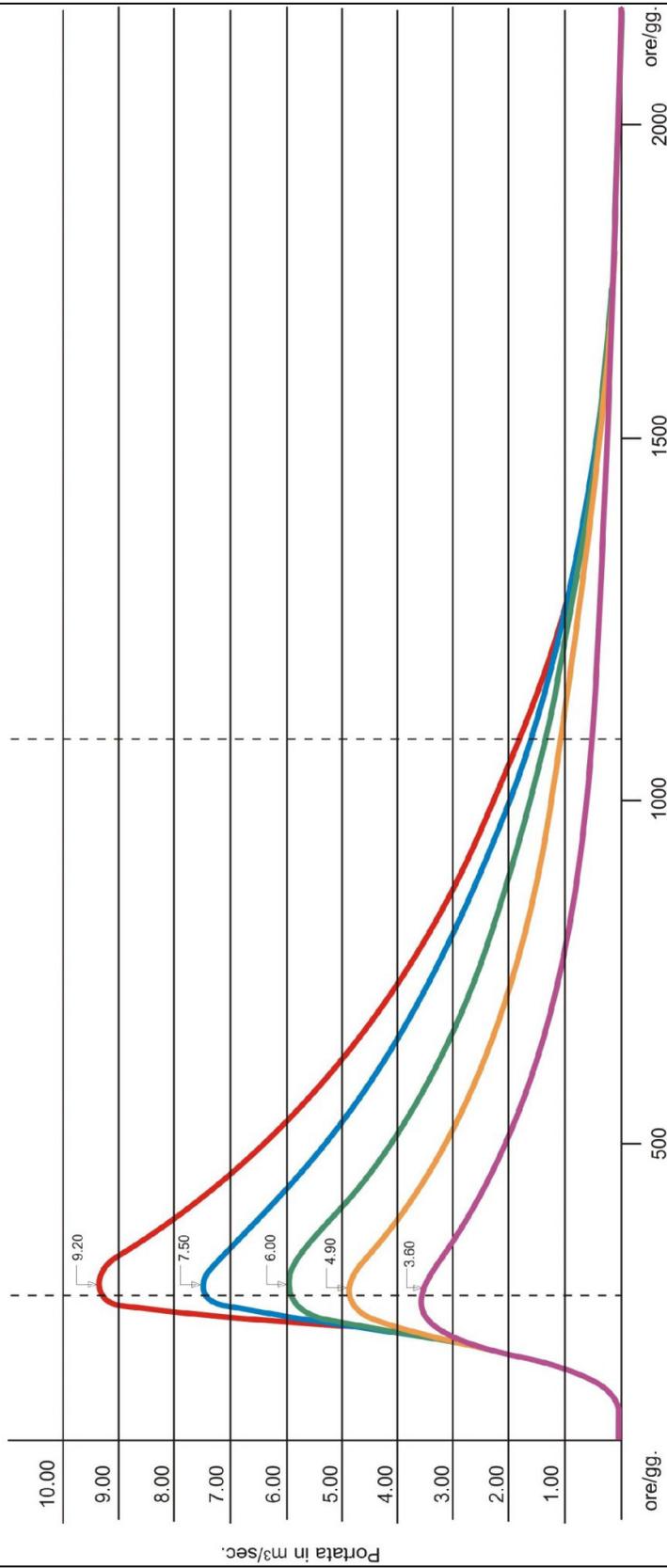
Ciò nonostante, sono disponibili valutazioni oggettive che rendono ammissibile un riferimento idrologico così ampio:

- innanzi tutto è finalità del progetto fronteggiare gli eventi fino a (T_{100}) con misure e manovre non straordinarie, oltre (T_{100}) con misure straordinarie giustificate dall'evento e ciò, come specificato nella relazione tecnica descrittiva, con apprezzabili risparmi economici rispetto allo stato quo ante;
- in questo progetto, applicando il collaudato modello “afflussi-deflussi”, sono state calcolate le “possibili” portate che defluirebbero nel Sillaro alla sezione di chiusura 37 (vedi tav. 03a – Planimetria SDF – tratto 2), generate da piogge e condizioni al contorno AMC III secondo la classificazione SCS-CN di tempo di ritorno ($T_{30} \leq T < T_{200}$).

Di seguito si riportano le curve della frequenza di accadimento di deflusso per tempo di ritorno fissato, calcolate facendo riferimento ai dati provenienti dalla stazione pluviometrica di Lodi.

**FREQUENZA DI ACCADIMENTO DI DEFLUSSO
NEL COLATORE SILLERO IN RELAZIONE ALLA CURVA
DI PROBABILITA' DELLA STAZIONE
PLUVIOMETRICA DI LODI**

- T= 15 anni
- T= 30 anni
- T= 50 anni
- T= 100 anni
- T= 200 anni



Curve della frequenza di accadimento di deflusso per tempo di ritorno fissato

Come si può vedere dallo specifico grafico delle portate statisticamente originabili dal bacino sotteso dal colatore in esame, $Q_{(T100)}$ è calcolata in $\approx 7,50\text{m}^3/\text{s}$. Diverso è considerare $Q_{(T200)}$, che raggiunge portate anche $>9\text{m}^3/\text{s}$; la condizione generale cambia, rendendosi quindi necessaria tanto la potenzialità idraulica che viene ricostituita con gli interventi di ripristino di questo progetto, quanto quella delle azioni integrative finalizzate ad ulteriore laminazione. Queste, sono state applicate diverse volte con ottimi risultati in seguito alla realizzazione degli interventi sul colatore Sillaretto.

Le verifiche idrauliche dei corsi d'acqua interessati dalle dinamiche alluvionali

Del colatore Sillaro si riassumono le caratteristiche geometriche ed idrauliche effettuando una opportuna valutazione delle rispettive potenzialità per le successive determinazioni. Va considerato che l'attuale idrografia locale, a seguito degli interventi post alluvione del 2014 permette, tramite il Sillaretto ed il ramo destro della Frata Villanova, la diversione delle portate calcolate come eccedenti (Sillaretto) ed una dinamica di prelievo provvisorio tramite idrovore e restituzione che permette di "by-passare" l'abitato di Villanova durante gli eventi meteorici.

Rispetto a quanto messo in opera nell'ultimo progetto, la serie di interventi descritti nella relazione generale è proposta come soluzione di continuità, puntando ad incrementare significativamente le condizioni di sicurezza di scarico delle portate del Sillaro al fine di una più efficiente salvaguardia del centro urbano di Villanova. In particolare, il presente progetto punta da un lato alla sistemazione funzionale statica ed idraulica dei tratti più critici del colatore (frane e smottamenti dovuti alle alluvioni o alla presenza delle nutrie) e dall'altra all'automatizzazione della diversione delle portate a monte del centro abitato, che attualmente consiste nella movimentazione manuale della paratoia del by-pass del Sillaro nel Sillaretto e l'eventuale messa in funzione di idrovore mobili in corrispondenza del nodo idraulico Sillaro-Frata Villanova. Infatti, la messa in opera di uno sfioratore laterale a monte della paratoia che regola il by-pass del Sillaretto e l'installazione di un impianto di sollevamento in sostituzione delle idrovore mobili permettono di limitare il colmo di piena nelle prime fasi dell'evento meteorico e di conseguenza dilazionare i tempi di intervento per la movimentazione manuale della paratoia che dovrebbe essere comunque eventualmente azionata. Quanto appena scritto è indubbiamente a favore di un notevole incremento di sicurezza dell'abitato di Villanova rispetto alla situazione attuale, in quanto le opere in progetto comportano una maggiore tempestività di intervento garantendo un'efficienza molto superiore nei confronti della gestione delle piene del colatore, ancorché

il meccanismo attualmente implementato sia stato già collaudato con successo durante diversi eventi meteorici intercorsi dal 2016 al 2018.

Rispetto agli interventi previsti dal presente progetto, la verifica idraulica interesserà le sezioni tipologiche individuate al fine delle opere di risezionamento, il manufatto sfioratore posto in corrispondenza del by-pass del Sillaretto e l'impianto di sollevamento in corrispondenza della roggia Frata Villanova a monte del centro abitato di Villanova. Il progetto appena descritto non interesserà in alcun modo il canale Sillaretto, sia dal punto di vista geometrico che idraulico. Infatti, se da un lato non sono previsti interventi di risezionamento, dall'altra parte la paratoia posta subito a valle dello sfioratore garantirà il deflusso di una portata massima di $2 \text{ m}^3/\text{s}$ (valore limite di progetto del canale Sillaretto) e che pertanto manterrà l'attuale capacità idraulica di scarico.

Il progetto e la verifica dei primi due elementi citati verrà effettuata rispettivamente secondo la tradizionale equazione del moto uniforme di Chézy e del modello ad energia costante, ampiamente utilizzato in letteratura per la schematizzazione dei processi di sfioro. Il terzo elemento verrà invece progettato valutando la prevalenza necessaria per prelevare una determinata portata di progetto durante gli eventi meteorici di piena e definendo di conseguenza le caratteristiche geometriche e tecniche dell'impianto. Nei paragrafi successivi si riportano i calcoli effettuati per ciascun intervento in progetto.

Verifica delle sezioni di progetto – L'equazione di Chézy

Il calcolo delle portate compatibili con le sezioni individuate viene effettuato con la tradizionale e affidabile relazione di verifica di Chézy:

$$Q = A_w \cdot V = [m^3/s]$$

Nella quale:

A_w area liquida della sezione [m^2]

V velocità media della sezione [m/s]

Quest'ultimo termine viene calcolato tramite la seguente formula proposta da Gauckler-Strickler:

$$V = C_{STR} \cdot (R J)^{1/2} = [m/s]$$

Nella quale:

C_{STR} coefficiente di attrito derivato dalla scabrezza della scala di Strickler, variabile da 80 a 20 rispettivamente per pareti lisce e curate in c.c.a e alvei molto prossimi alle condizioni di naturalità

R raggio idraulico della sezione [m]

Nella sezione trapezia, si è assunto convenzionalmente che le sponde hanno convenzionalmente una sponda 1/1.

La formula per il calcolo del coefficiente C_{STR} è invece la seguente:

$$C_{STR} = k_s \cdot (R)^{1/6}$$

Nella quale:

k_s è il coefficiente di scabrezza di Strickler [$m^{1/3} \cdot s^{-1}$]

Al fine di ottenere una stima verosimile del coefficiente di Strickler (C_{STR}), è stato calcolato il reciproco del termine k_s , che è rappresentato dal coefficiente di Manning (n). Esso è stato stimato come somma di varie componenti in funzione della tipologia d'alveo analizzata sulla base della seguente equazione:

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

I valori n_i ed m che compongono il valore di n , assumono i valori riportati nella tabella seguente.

Materiale costituente l'alveo	Terra	n₀	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n₁	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n₂	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010-0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n₃	0.000
	Modesto		0.010-0.015
	Apprezzabile		0.020-0.030
	Elevato		0.040-0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n₄	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	m₅	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

Tabella relativa ai valori del coefficiente di Manning

Per un alveo in materiale terroso, impiegando la tabella sopra riportata si ottiene il seguente valore del coefficiente di Manning:

$$n = (0,020 + 0,0030 + 0,000 + 0,00 + 0,0050) 1,00 = 0,028$$

In fase progettuale, nei tratti nei quali è previsto il risezionamento, è stato però previsto un rivestimento in pietrame delle sponde. Pertanto, per tenere conto della diversa natura del materiale posato sulle sponde, il coefficiente di Manning globale della sezione è stato calcolato tramite media aritmetica tra quello appena calcolato e il rispettivo valore relativo

a pietrame ben sistemato, assunto pari a 0.020. Dunque il valore del coefficiente di Manning imposto risulta essere pari a 0.022.

Calcolo delle portate di progetto e verifica delle sezioni

Si è detto circa la difficoltà nello stabilire l'entità delle portate drenate, tanto dirette quanto, soprattutto, indirette. Con la metodologia afflussi-deflussi è stato calcolato che le portate statisticamente originabili dal bacino sotteso dal colatore in esame sono (vedasi grafico riportato a pag.8):

$$Q_{(T50)} \approx 6,00 \text{m}^3/\text{s};$$

$$Q_{(T100)} \approx 7,50 \text{m}^3/\text{s};$$

$$Q_{(T200)} \approx 9,20 \text{m}^3/\text{s};$$

La verifica sul corso d'acqua lungo il tratto interessato verrà effettuata sulle tre sezioni tipologiche individuate in fase di progetto e riportate in tav. 07.

Gli interventi previsti consistono principalmente nel rivestimento spondale integrale della sezione, pertanto i valori di scabrezza si riferiranno a tale situazione. I tratti analizzati sono compresi tra i manufatti rilevati durante la campagna di rilievo e sono i seguenti:

- Tratto 1: sezione tipologica 1 – tratto a valle della SP n°235 (vedi tav. 07 – punti C/D);
- Tratto 2: sezione tipologica 2 - monte del centro urbano di Pieve Fissiraga (vedi tav. 07 – punti D'/D'");
- Tratto 3: sezione tipologica 2 – tratto subito a valle dello scarico del colatore Sillaro in Sillaretto (vedi tav. 07 – punti M/M');
- Tratto 4: sezione tipologica 1 – tratto all'interno dell'abitato di Villanova del Sillaro (vedi tav. 07 – punti O/P);
- Tratto 5: sezione tipologica 3 – tratto subito a valle del centro urbano di Villanova del Sillaro (vedi tav. 07 – punti P/Q).

Verifica idraulica dei tratti soggetti a risezionamento

Nel dimensionamento della sezione è necessario considerare un franco tra pelo libero e generatrice superiore della sezione. Questo franco ha la funzione non solo di margine di sicurezza sulle altezze idriche, che possono essere differenti da quelle di progetto sia per effetto di fenomeni di moto vario (onde) sia per le incertezze che inevitabilmente esistono nella valutazione delle perdite di carico. La determinazione del franco necessario

dovrebbe a rigore discendere da un'analisi dettagliata dei diversi fenomeni descritti. Nei casi in cui però sono sufficienti valutazioni approssimate si può ritenere che un franco variabile tra 0,5 e 1 m, in funzione della maggiore o minore incertezza sulle portate convogliate, è generalmente sufficiente a limitare il rischio di esondazioni. Per il caso oggetto di studio si assume un franco pari a 0.5 m in quanto i calcoli sono stati effettuati su una portata corrispondente ad un tempo di ritorno ritenuto superiore rispetto a quello che si assume per la tipologia di intervento ipotizzato. Di seguito si riportano i calcoli effettuati nei vari tratti di progetto.

Fino allo scarico del Sillaro in Sillaretto (punto M tav.07), la portata di riferimento per la verifica idraulica è 9,20 m³/s corrispondente ad un tempo di ritorno pari a 200 anni.

CANALE SILLARO			
SEZIONE TRAPEZIA AD ALVEO NATURALE			
Verifica della capacità idraulica – tratto 1			
Base	B	4,21	[m]
Altezza argini	H'	1,70	[m]
Tirante	H	1,40	[m]
Piede	o	1	[m]
Sponda	v	1	[m]
Pendenza 1° tratto	l	0,0011	[m/m]
Scab. Manning	c	0,024	[m ^{-1/3} s ¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Scab. Strickler	k _s	42	[m ^{1/3} s ⁻¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Area bagnata	A	7,85	[m ²]
Perimetro bagnato	P	8,17	[m]
Raggio idraulico	R	0,96	[m]
Portata limite (T=200)	Q _{limite}	9,20	[m ³ /s]
Portata	Q	10,66	[m ³ /s]
Velocità	V	1,36	[m/s]

CANALE SILLARO			
SEZIONE TRAPEZIA AD ALVEO NATURALE			
Verifica della capacità idraulica – tratto 2			
Base	B	5,09	[m]
Altezza argini	H'	1,70	[m]
Tirante	H	1,20	[m]
Piede	o	1	[m]
Sponda	v	1	[m]
Pendenza 2° tratto	l	0,0011	[m/m]
Scab. Manning	c	0,024	[m ^{-1/3} s ¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Scab. Strickler	ks	42	[m ^{1/3} s ⁻¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Area bagnata	A	7,55	[m ²]
Perimetro bagnato	P	8,48	[m]
Raggio idraulico	R	0,89	[m]
Portata limite (T=200)	Q _{limite}	9,20	[m ³ /s]
Portata	Q	9,73	[mc/s]
Velocità	V	1,29	[m/s]

Le verifiche dei tratti successivi sono state effettuate considerando una portata di 7,20 m³/s, in quanto lo sfioratore laterale posto in corrispondenza dello scarico del colatore Sillaro nel Sillaretto è stato dimensionato (vedi paragrafo dedicato) per lo sfioro di una portata massima di 2,00 m³/s considerando la portata di piena di progetto in arrivo da monte pari a 9,20 m³/s.

CANALE SILLARO			
SEZIONE TRAPEZIA AD ALVEO NATURALE			
Verifica della capacità idraulica – tratto 3			
Base	B	5,65	[m]
Altezza argini	H'	1,70	[m]
Tirante	H	1,30	[m]
Piede	o	1	[m]
Sponda	v	1	[m]
Pendenza 3° tratto	l	0,0006	[m/m]
Scab. Manning	c	0,024	[m ^{-1/3} s ¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Scab. Strickler	ks	42	[m ^{1/3} s ⁻¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Area bagnata	A	8,22	[m ²]
Perimetro bagnato	P	9,04	[m]
Raggio idraulico	R	0,91	[m]
Portata limite (T=200)	Q _{limite}	7,20	[m ³ /s]
Portata	Q	7,93	[mc/s]
Velocità	V	0,96	[m/s]

Le verifiche degli ultimi due tratti sono state effettuate considerando una portata di 6,20 m³/s, in quanto l'impianto di sollevamento posto a monte dell'abitato di Villanova del Sillaro (punto N tav.07) è stato dimensionato per il sollevamento e la diversione di una portata di circa 1,00 m³/s dal colatore Sillaro alla roggia Frata Villanova.

CANALE SILLARO			
SEZIONE TRAPEZIA AD ALVEO NATURALE			
Verifica della capacità idraulica – tratti 4/5			
Base	B	5,05	[m]
Altezza argini	H'	1,70	[m]
Tirante	H	1,50	[m]
Piede	o	1	[m]
Sponda	v	1	[m]
Pendenza tratti 4/5	l	0,0003	[m/m]
Scab. Manning	c	0,024	[m ^{-1/3} s ¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Scab. Strickler	ks	42	[m ^{1/3} s ⁻¹]
	C	58,60	[m ^{1/2} s]
Area bagnata	A	9,83	[m ²]
Perimetro bagnato	P	9,29	[m]
Raggio idraulico	R	1,06	[m]
Portata limite (T=200)	Q _{limite}	6,20	[m ³ /s]
Portata	Q	7,42	[mc/s]
Velocità	V	0,76	[m/s]

Dai calcoli effettuati si evidenzia che in due delle sezioni di verifica il franco di riferimento (50 cm) si riduce a 20 cm e 30 cm, contenendo comunque il transito della portata di progetto senza tracimazioni. È pur vero che la portata di progetto rispetto alla quale la verifica è stata effettuata, ha un tempo di ritorno elevatissimo per il tipo di intervento che si intende realizzare (200 anni), per il quale il tempo di ritorno da adottarsi in coerenza alla normativa è inferiore e pari a 100 anni. Pertanto si ritiene la verifica idraulica ampiamente soddisfatta.

Dimensionamento del manufatto di sfioro per la deviazione delle portate di piena dal colatore Sillaro al Sillaretto

Uno sfioratore consiste in un opportuno ribassamento della sommità arginale atto a convogliare le portate che comportano livelli idrici al di sopra di un certo valore critico. I parametri di progetto necessari alla determinazione delle caratteristiche geometriche dello sfioratore sono i seguenti:

- Portata di attivazione dello sfioratore;
- Portata di monte in arrivo allo sfioratore (Q_m);
- Portata a valle dello sfioratore (Q_v);

Pur essendo possibile realizzare degli sfioratori laterali in corrente veloce, è facile dimostrare che in questo caso la loro efficienza è molto inferiore rispetto al caso di corrente lenta. Questi manufatti vengono dunque realizzati usualmente in canali o condotti a debole pendenza ed adottando se necessario un restringimento a valle dello sfioro atto a imporre condizioni di corrente lenta lungo lo stesso sfioro.

Supponendo una corrente lenta in corrispondenza dello sviluppo longitudinale dello sfioratore, la determinazione della sua lunghezza viene effettuata secondo lo schema classico che ipotizza la conservazione dell'energia lungo l'opera. Inoltre nel caso di corrente lenta nel condotto derivatore a valle dello scaricatore, supposto indefinito verso valle, l'altezza idrica nella sezione terminale dello sfioratore sarà quella di moto uniforme h_{0v} della corrente di portata Q_{max} . Riguardo quest'ultima assunzione, si osserva che l'ipotesi di condotto derivatore indefinito verso valle è un'astrazione teorica. Infatti nella realtà la corrente a valle della soglia sfiorante può discostarsi dalle condizioni di moto uniforme per la presenza di ostacoli (paratoie, restringimenti, setti, ecc.), salti o più frequentemente cambi di geometria del condotto. In questi casi l'altezza h_{0v} va valutata più correttamente ricostruendo il profilo di moto permanente tracciato da valle verso monte a partire dalla sezione di valle nella quale la corrente è disturbata. Per il caso oggetto di studio si ritiene che l'ipotesi di alveo indisturbata possa ritenersi valida.

Infine si osserva che l'ipotesi di processo di sfioro ad energia specifica della corrente costante è confermata da numerose esperienze disponibili in letteratura che hanno dimostrato che l'attendibilità di tale ipotesi nella maggior parte dei casi pratici, pur essendo valida, a rigore, solo nei casi in cui si abbia perfetta compensazione tra le resistenze al moto e le componenti del peso della corrente in direzione del moto.

Calcolo della lunghezza dello sfioratore

La soglia dello sfioratore è posta ad un'altezza h_s dal fondo del canale maggiore o uguale all'altezza di moto uniforme h_{0t} della portata Q_t (portata di inizio sfioro), per garantire che non avvengano sfioro per portate $Q \leq Q_t$. Il processo di sfioro può avvenire, quindi, solo quando il livello dell'acqua a valle è superiore ad h_s e ciò comporta che, come osservato precedentemente, la portata che prosegue nel canale derivatore sia maggiore della

portata di soglia Q_t . Il calcolo della lunghezza L della soglia sfiorante può essere fatto integrando per differenze finite il sistema di equazioni formato dalla curva h-Q ad energia costante E_{max} e dall'equazione di efflusso applicata ad una lunghezza finita Δs .

Procedendo da valle verso monte, si iterano le operazioni del seguente schema:

- Nota la massima portata smaltibile a valle Q_v , ipotizzando che la corrente a valle sia lenta ed indisturbata, si determina l'altezza idrica di moto uniforme invertendo la formula di Chézy e calcolando la relativa energia:

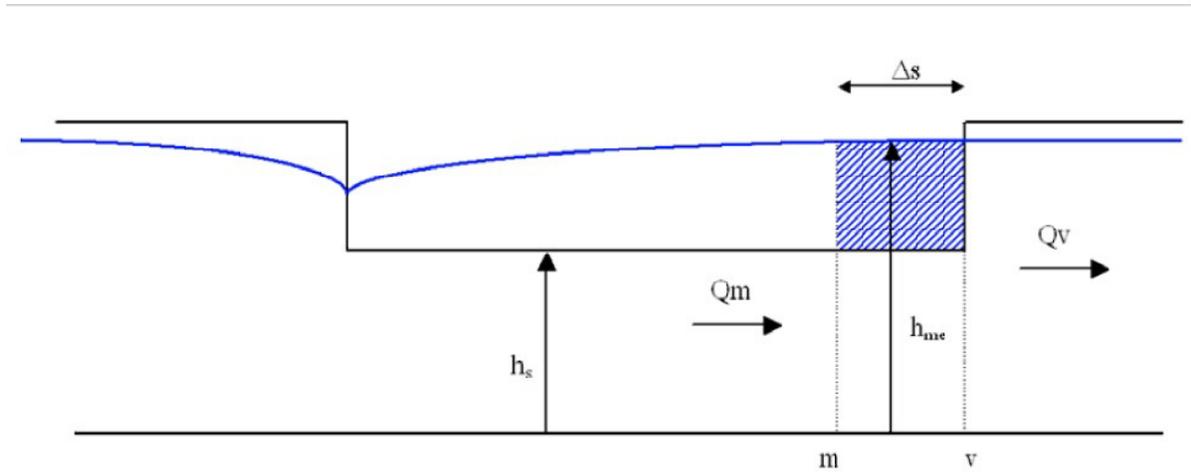
$$\begin{cases} Q_v = k_s A R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i} \\ E = h_v + \frac{Q^2}{2gA^2} \end{cases}$$

Dove h_v è l'altezza idrica di valle.

- Fissato un h_m inferiore ad h_v prima della equazioni scritta al punto precedente si determina la Q_m (portata di monte) relativa ipotizzando la conservazione dell'energia;
- Si calcola la variazione di portata ΔQ intercorsa tra la sezione di monte e valle;
- Si calcola una altezza media h_{me} tra h_m e h_v ;
- Ipotizzando il comportamento idraulico della vena effluente dal concio considerato come uno stramazzo a larga soglia, se ne determina la lunghezza Δs dall'equazione:

$$\Delta Q = \mu \Delta s (h_{me} - h_s) \sqrt{2g(h_{me} - h_s)}$$

In cui $(h_{me} - h_s)$ è il carico sul ciglio di sfioro e μ un coefficiente relativo al tipo di stramazzo, variabile da 0.385 per lo stramazzo in parete grossa a 0.48 per lo stramazzo sagomato secondo un profilo Creager-Scimemi. Il processo viene iterato fino a quando non si raggiunge il valore massimo di portata in arrivo da monte. La somma di tutti i Δs fornisce la dimensione cercata. I parametri appena citati, con l'aggiunta di quelli necessari per la procedura numerica di calcolo, sono riassunti nella seguente figura.



Schema della procedura numerica di dimensionamento di uno sfioratore laterale

Come già scritto in precedenza, affinché lo sfioratore funzioni con efficienza è opportuno l'instaurarsi di un profilo di corrente lenta in corrispondenza di esso. Se, nonostante questo, la dimensione dello sfioratore risultasse troppo elevata dal punto di vista dei costi di realizzazione e della disponibilità di spazio in fregio all'alveo, è possibile aumentare la sua efficienza mediante una briglia idraulica (ossia un restringimento di sezione) in corrispondenza della sezione di valle creando così un rigurgito che incrementa la portata effluente dallo stramazzo. In questo caso l'altezza idrica in corrispondenza della sezione di valle sarà pari all'altezza di moto critico della sezione ristretta. Inoltre si osserva che la procedura di calcolo appena illustrata presuppone che l'energia si conservi lungo tutto lo sviluppo dello sfioratore. E' tuttavia possibile il caso in cui la portata massima di monte non riesca a defluire con l'energia di valle disponibile venendo meno una fondamentale ipotesi del metodo. Non sempre allora è possibile scegliere arbitrariamente l'abbattimento della portata, ma è opportuna una verifica della massima portata transitabile con assegnata energia. La constatazione che la portata massima è quella relativa allo stato critico porta alla determinazione dell'espressione di Q_{max} per alvei rettangolari:

$$Q_{max} = \frac{2}{3\sqrt{3}} BE \sqrt{2gE}$$

Calcolo numerico

Per il caso in esame sono stati assunti i seguenti dati di progetto:

Q_m portata in arrivo da monte pari a 9,20 m³/s (T=200);

Q_v portata a valle dello sfioratore assunta pari a 6,70 m³/s considerando che il Sillaretto attualmente tramite la paratoia posta all'inizio del by-pass è in grado di derivare al massimo 2,00 m³/s;

Q_{0t} portata di attivazione dello sfioratore laterale.

Seguendo il procedimento descritto alla pagina precedente, si calcola in primo luogo l'altezza di moto uniforme h_{0t} corrispondente alla portata Q_{0t} . Il valore in uscita viene imposto pari al petto dello sfioratore (h_s).

I dati geometrici utilizzati sono quelli relativi alla sezione di progetto (vedi tav.10); pertanto è stata imposta una base di 5,20 m, sponda sinistra avente inclinazione di 45° e sponda destra verticale. Definita la sezione, una volta imposta la portata Q_{0t} nella formula di Chézy il valore del tirante h_{0t} è risultato essere pari ad 1,00 m.

Determinato il tirante h_{0t} , è stata calcolata la condizione iniziale di integrazione a valle dello sfioratore. Il calcolo del tirante di valle (h_{0v}) è stato effettuato imponendo nella formula di Chézy il valore della portata massima ammissibile a valle Q_v . Ottenuto il tirante, è possibile calcolare il valore energetico corrispondente; valore che per l'ipotesi del modello impiegato viene mantenuto costante per tutta la lunghezza del manufatto. I risultati ottenuti sono i seguenti:

$$\begin{cases} Q_v = k_s R^{\frac{1}{6}} A \sqrt{R i} \rightarrow h_{0v} = 1,27 \text{ m} \\ E_v = \text{cost} = h_{0v} + \frac{Q_v^2}{2g(A_v)^2} = 1,31 \text{ m} \end{cases}$$

A questo punto, integrando il profilo secondo la procedura descritta precedentemente, si ricava una lunghezza dello sfioratore pari a 12 m.

Dimensionamento dell'impianto di sollevamento a monte dell'abitato di Villanova del Sillaro

Il sollevamento di acque meteoriche a monte del centro abitato di Villanova (punto N – tav. 07) comporta l'impiego di pompe a basse prevalenze. Le tipologie di pompe normalmente impiegate per questi problemi sono le seguenti:

- Orizzontali, a semplice o doppia aspirazione, disposte a quota di sicurezza in aspirazione con pompa del vuoto per l'adescamento;

- Orizzontali sotto battente: di scarso impiego per ragioni di sicurezza di funzionamento in caso di allagamenti;
- Verticali immerse ad elica o elico-centrifughe.

Recentemente vengono sempre più usate, per ragioni di sicurezza di funzionamento, le unità elettropompe compatte completamente sommerse con giranti ad elica.

Definizione dei parametri di progetto

Per il dimensionamento di un impianto di sollevamento, è necessario conoscere i seguenti parametri:

- Prevalenza H : data dalla somma del dislivello geodetico tra i serbatoi di monte e valle, perdite di carico continue e concentrate;
- Portata da sollevare (Q).

Dato che sia l'estremo di monte che l'estremo di valle sono a pelo libero e che le perdite lungo la condotta di aspirazione e mandata possono ritenersi trascurabili rispettivamente per via della limitata lunghezza delle condotte stesse, la prevalenza totale necessaria per sollevare la portata richiesta è data unicamente dalla differenza dei carichi totali alle estremità. Nel caso oggetto di studio, la prevalenza massima alla quale sarà soggetto l'impianto di sollevamento è data dalla differenza di quota tra il fondo del pozzetto di raccolta (o più esattamente dalla parte superiore del corpo pompa) ed il punto più alto della condotta di mandata.

Di seguito si riporta il riepilogo dei parametri di progetto calcolati.

$$\begin{cases} H_{max} = 3,50 \text{ m} \\ Q_{max} = 1000 \frac{l}{s} \end{cases}$$

Definiti i valori di prevalenza e portata, si passa al calcolo della potenza necessaria per il funzionamento dell'impianto. Questa viene calcolata tramite la seguente formula:

$$P_{reale} = \frac{\gamma \cdot Q_{max} \cdot H_{max}}{\eta_p} = [W]$$

Nella quale:

- γ peso specifico del liquido sollevato assunto pari a $10.791 \frac{N}{m^3}$. Tale valore è stato calcolato ipotizzando una densità pari a $1100 \frac{kg}{m^3}$, superiore ai $1000 \frac{kg}{m^3}$ relativi ad acqua potabile in modo da considerare la maggiore torbidità delle acque meteoriche
- Q_{max} portata massima da sollevare in tempo di pioggia $\left[\frac{m^3}{s}\right]$
- H_{max} prevalenza massima dell'impianto di sollevamento [m]
- η_p rendimento totale della pompa dato dal prodotto del rendimento idraulico η_i , del rendimento volumetrico η_{vi} , del rendimento meccanico η_i . Il valore complessivo oscilla in genere tra 0,6 e 0,8. Tale valore è stato assunto pari a 0,7.

Utilizzando la formula appena illustrata si perviene ad una potenza P_{reale} pari a 58,52 kW.

Scelta della tipologia e del numero di pompe

Dati i valori di progetto, si è scelto di installare un impianto di sollevamento con due pompe ad asse verticale sommergibile ad elica con motori elettrici esterni da 37 kW ciascuno e generatore di corrente da 75 kW alimentato a gasolio. Il tipo di pompa scelta è ad elica, in grado di sollevare per una prevalenza di 3,5-4 m una portata di 500 l/s (1000 l/s totali). Le pompe che si intendono installare sono dotate di dispositivi per la variazione del numero di giri. Questo permette di regolare la portata sollevata in funzione della variazione di prevalenza, ottenendo un'elevata flessibilità in termini di adattamento alle condizioni di esercizio, soprattutto durante gli eventi alluvionali di piena.