

## **COMUNE di LAIGUEGLIA**

**PROVINCIA DI SAVONA**

**OGGETTO: Opere di mitigazione del rischio idrogeologico dei rii  
Fasce Grasse e Rio Fossato Vecchio**

### **PROGETTO DEFINITIVO**

I TECNICI

**studio • dot**

ing. Antonio Da Corte  
arch. Federica Preve  
ing. Mario Viassolo

IL COMMITTENTE

Comune di Laigueglia

---

**RELAZIONE ILLUSTRATIVA, RIPRESE FOTOGRAFICHE, ANALISI IDRAULICHE**

---

Finale Ligure, dicembre 2015

## PREMESSA

Il presente progetto definitivo ha lo scopo di addivenire alla autorizzazione idraulica per le opere lungo il corso del Rio Fasce Grasse e del Rio Fossato Vecchio oltre alle altre autorizzazioni, pareri e nulla osta necessari per procedere alla successiva fase di progettazione esecutiva.

Su incarico del Comune di Laigueglia è stata redatta, alla fine del 2014, la progettazione definitiva/esecutiva delle opere necessarie al ripristino della funzionalità del tratto di rio a valle della confluenza del Rio Fasce Grasse e Rio Fossato Vecchio (Via Vercelli), danneggiata a seguito dell'evento alluvionale del 15.11.2014.

Il progetto definitivo/esecutivo aveva consentito di eseguire le opere più urgenti di ripristino della soletta del tombino in modo da garantire la sicurezza per il transito dei mezzi lungo Via Vercelli, l'unico accesso per raggiungere le aree poste a monte del rilevato ferroviario con mezzi di una certa dimensione.

Si era in allora anche provveduto al ripristino della funzionalità della condotta fognaria che era stata danneggiata dall'evento alluvionale.

Il progetto esecutivo per le opere di somma urgenza riportava inoltre l'ipotesi di realizzare n.5 griglie di ispezione lungo Via Vercelli con il seguente duplice obiettivo:

- 1- consentire la manutenzione del tratto di canale a debole pendenza, compreso tra la confluenza e la S.S. n.1 Aurelia, consentendo l'accesso e la pulizia del canale, azioni pressoché impossibili da eseguire senza le aperture nel solaio;*
- 2- evitare moti in pressione nella condotta, quelli stessi che hanno determinato il danneggiamento della sede viaria nel fenomeno del novembre 2014.*

Le verifiche idrauliche, pur tenendo conto della massima sezione di deflusso ipotizzabile a seguito della rimozione del materiale derivante dal deposito in alveo, hanno dimostrato che è impossibile contenere nel canale la portata al colmo di piena cinquantennale e duecentennale.

Le valutazioni tecniche condotte non consentono di ipotizzare soluzioni strutturali per l'adeguamento della tombinatura, in quanto la conformazione dei luoghi non consente di sviluppare le geometrie utili al contenimento delle portate al colmo di piena.

Il presente **Progetto Definitivo per le opere di mitigazione** ha quindi lo scopo di individuare e descrivere un insieme di interventi sull'intera area di bacino tali da attuare una concreta mitigazione del rischio idraulico per le tombinature del Rio Fasce Grasse e del suo affluente Rio Fossato Vecchio.

Si può ipotizzare il miglioramento delle condizioni di deflusso (mitigazione del rischio idraulico) facendo sì che il transito della portata al colmo avvenga in "condizioni liquide" ovvero sia il più possibile priva della componente di trasporto solido sia di superficie che di saltazione.

Gli interventi dovranno essere eseguiti a stralci successivi secondo un programma di interventi che dovrà prevedere prima quelli strutturali e successivamente un piano di manutenzione sui versanti e lungo le aste del corso d'acqua a monte delle tombinature.

L'analisi tecnica di seguito riportata viene quindi sottoposta alla valutazione degli Uffici/Enti competenti per territorio e competenza:

- Comune di Laigueglia per gli aspetti urbanistici generali (compreso il vincolo idrogeologico),
- Provincia di Savona/Regione Liguria per gli aspetti connessi alle autorizzazioni idrauliche per le opere di sistemazione idraulica,
- Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per la realizzazione delle opere di difesa idrogeologica in alveo,
- Corpo Forestale dello Stato per gli interventi di decespugliamento in alveo.

## RELAZIONE GEOLOGICA

L'analisi geologica è stata eseguita dal *Dott. Geol. Gianpiero Alberelli* su incarico del Comune di Laigueglia.

La relazione ed i relativi allegati sono parte integrante della presente relazione unica e di seguito interamente riportati per gli approfondimenti necessari agli Enti che autorizzano.

Le indagini svolte hanno rilevato la presenza in alveo di ciottoli, sabbie e limi.

Le aree di maggiore interesse per il trasporto solido sono le seguenti:

- 1) sul Rio Fasce Grasse da quota 120 m.s.l.m. (dove è presente un tombino stradale) sino all'imbocco della tombinatura a quota 50 m.s.l.m. per una lunghezza di circa **500 m**;
- 2) sul Rio Fossato Vecchio da quota 60 m.s.l.m. (dove è presente il piede del rilevato del parcheggio a servizio del Cimitero Comunale) sino all'imbocco della tombinatura a quota 20 m.s.l.m. per una lunghezza di circa **450 m**.

Per entrambi i tratti deve essere prevista la rimozione del materiale litoide che ostacola il libero deflusso: il materiale deve essere movimentato in alveo, eventualmente ridotto in dimensioni e posizionato in modo tale da ridurre al minimo le probabilità che il materiale riduca il libero deflusso.

A monte degli imbocchi delle tombinature, per una lunghezza di circa **30 m** deve essere messo in sicurezza il versante:

- 1) sul Rio Fasce Grasse si deve prevedere la riprofilatura dell'alveo e la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica che rallentino l'erosione del versante in sponda sinistra; si deve prevedere anche il disgaggio delle rocce instabili e la sistemazione con reti e funi in sponda destra;
- 2) sul Rio Fossato Vecchio si deve prevedere la riprofilatura dell'alveo e la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica che rallentino l'erosione del versante in sponda sinistra e destra.

Si raccomanda infine la continua manutenzione dei tratti sopra indicati.

## STUDIO VEGETAZIONALE

L'indagine vegetazionale è stata eseguita dal *Dott. For. Gianluca Bico* su incarico del Comune di Laigueglia.

La relazione ed i relativi allegati sono parte integrante della presente relazione unica e di seguito interamente riportati per gli approfondimenti necessari agli Enti che autorizzano.

La folta copertura vegetale ostacola e rallenta il trasporto solido lungo i versanti e all'interno del rio e quella forestale allunga di molto il tempo di corrivazione: ciò rappresenta un dato positivo per il comportamento idraulico del sistema.

La prima criticità invece è rappresentata dalla biomassa vegetale che, una volta morta, può raggiungere facilmente l'alveo in caso di piena e forti piogge.

La seconda criticità è rappresentata dai vegetali che crescono in alveo e collaborano potenzialmente alla creazione di barriere che possono poi determinare onde di piena pericolose ed inaspettate.

Si devono prevedere interventi di ripulitura mirata nei primi **100 metri** a monte dell'imbocco delle tombinature, con decespugliamento delle lianose presenti ed eliminazione degli individui arborei pericolanti.

Si raccomanda infine la manutenzione straordinaria in prima battuta e ordinaria nel corso del tempo dei tratti indicati nella cartografia dello studio vegetazionale.

Un aspetto rilevante è rappresentato dalla necessità di ripristinare con interventi manutentivi i sentieri che consentono l'accesso all'alveo.

## ANALISI IDROLOGICHE ED STUDIO IDRAULICO DEL RIO FASCE GRASSE E DEL RIO FOSSATO VECCHIO

Di seguito si riporta la descrizione dell'idrografia, sulla base di quanto riportato nel Piano di Bacino e sulla base dei sopralluoghi effettuati.

Il bacino idrografico del rio Fasce Grasse, si estende nella zona orientale dell'abitato del Comune di Laigueglia (SV), per una superficie complessiva, per i due rami, di circa **1,0 kmq**.

Il corso d'acqua è composto da due rami che confluiscono circa **150 m** a monte dello sbocco a mare e si articola per gran parte della sua lunghezza sulle pendici collinari dove scorre a pelo libero.

L'ultimo tratto di ciascun ramo, invece, scorre tombinato sotto il tessuto viario della cittadina sino alla sua sezione di sbocco a mare, nei pressi del molo Bastione Saraceno.

Il ramo corrispondente al Rio Fasce Grasse, dall'inizio della tombinatura alla confluenza misura circa **280 metri**.

Il ramo corrispondente al Rio Fosso Vecchio, dall'inizio della tombinatura alla confluenza misura circa **360 metri**.

Il Rio Fasce Grasse dalla confluenza alla foce misura circa **150 metri**.

La geomorfologia presenta forti pendenze nel tratto di monte collinare e pendenze elevate seppur di minor entità nel tratto tombinato sino alla confluenza.

La copertura vegetale è abbastanza fitta sulle pendici collinari che costituiscono i versanti del tratto più a monte, mentre lascia spazio ad un'intensa urbanizzazione già nel tratto antistante la copertura in regione Fosso Fasce Grasse.

I sopralluoghi hanno messo in evidenza le criticità idrauliche del rio Fasce Grasse, legate soprattutto ai seguenti aspetti:

- 1) la dimensione delle sezioni idrauliche della tombinatura si riduce dall'imbocco procedendo verso mare;
- 2) la lunghezza dei tratti tombinati è elevata e facilita la probabilità che si instaurino moti in pressione;
- 3) la scarsa manutenzione degli alvei a monte determina la alta probabilità di trasporto solido nella corrente di piena;
- 4) la bassa pendenza del tratto a valle della confluenza determina un forte sovralluvionamento con rallentamenti della corrente e rischi di determinazione di moti in pressione nel canale.

## IDROLOGIA

Corso d'acqua	Superficie bacino [Km. <sup>2</sup> ]	Classe bacino	Longitudine Gradi Sessagesimali	U <sub>A</sub>	Portata [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> ]		
					T=50 anni	T=200 anni	T=500 anni
Rio Fascegrasse	1	D	8°10'00''	4.70	16	24	28

*Valori delle portate al colmo di piena per il Rio Fasce Grasse (C.T.P. seduta del 11/09/2003)*

I sottobacini idrografici possono essere considerati, a favore di sicurezza, ciascuno contribuente per metà alla portata totale.

Suddividendo il corso d'acqua in tre distinti tratti, si possono quindi determinare le seguenti grandezze idrologiche utili al dimensionamento o alla verifica delle opere idrauliche:

- 1) Rio Fasce Grasse a valle della confluenza

$$Q_{Tr50} = 16 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr200} = 24 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr500} = 28 \text{ mc/s}$$

- 2) Rio Fasce Grasse a monte della confluenza

$$Q_{Tr50} = 8 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr200} = 12 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr500} = 14 \text{ mc/s}$$

### 3) Rio Fosso Vecchio a monte della confluenza

$$Q_{Tr50} = 8 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr200} = 12 \text{ mc/s}$$

$$Q_{Tr500} = 14 \text{ mc/s}$$

I dati raccolti dalle stazioni pluviometriche e le informazioni raccolte presso il CIMA sembrerebbero orientare l'evento alluvionale intenso del 15.11.2014 verso tempi di ritorno prossimi ai 50 anni che possono quindi essere i tempi di ritorno caratteristici dell'onda di piena che ha interessato la tombinatura di Via Vercelli in occasione del suo danneggiamento.

## RILIEVI TOPOGRAFICI

Nella seconda settimana del mese di dicembre 2014, a seguito del rallentamento delle perturbazioni e alla riduzione dell'acqua presente nel tombino, è stato eseguito un approfondito rilievo delle sezioni di deflusso, laddove le geometrie lo hanno consentito, per tutto il tratto che va dalla confluenza alla S.S. Aurelia.

Nella seconda metà del mese di febbraio 2015 è stato eseguito il rilievo della restante tombinatura dalla S.S. Aurelia alla foce e dei due tratti di tombinatura a monte, laddove è stato possibile accedere al tombino con la strumentazione.

Nello stesso periodo è stato completato il rilievo delle aree a cielo libero dei due tratti di corso d'acqua a monte della tombinatura.

## VERIFICHE IDRAULICHE

Le analisi idrauliche vengono condotte secondo i due diversi schemi di modellazione consueti dell'idraulica: in moto uniforme laddove le condizioni geometriche lo giustificano e in moto permanente laddove il profilo di moto risente della variabilità geometrica.

L'utilizzo del moto uniforme per le tombinature appare tecnicamente giustificato dalle caratteristiche delle opere di regimazione in esame. Si tratta sempre di rami idraulici autonomi a pendenza costante che non risentono delle condizioni al contorno di valle.

Secondo il **moto uniforme** la velocità della corrente  $v$  (m/s) è legata in primo luogo alle caratteristiche della condotta (fondo alveo), pendenza  $i$  (-), scabrezza  $K_s$  ( $s^{-1} m^{1/3}$ ), forma della sezione trasversale  $H$  (m) e  $L$  (m) oppure  $R$  (m) e in secondo luogo alle caratteristiche della corrente, altezza del pelo libero o profondità  $h$  (m), area della sezione liquida  $A$  (m), raggio idraulico  $R$  (m).

$$R = (h \times L) / (2h + L) \text{ oppure } R = A(h) / P(h)$$

La formula di Chezy permette di calcolare il valore della velocità a partire dai dati precedenti secondo la legge del moto uniforme e di legare in modo univoco la portata all'altezza della corrente.

$$v = K_s \times i^{1/2} \times R^{2/3} \quad \text{da cui la portata}$$

$$Q = A \times v$$

I valori geometrici delle sezioni di deflusso delle opere idrauliche consentono di comprendere se l'opera idraulica risulta o meno sufficiente ad accogliere le piogge di progetto.

Se la portata massima che può transitare in alveo risulta minore della portata di progetto, è necessario aumentare la sezione di deflusso.

Le verifiche idrauliche condotte sul tombino esistente, utilizzando il moto uniforme, consentono di fornire un quadro sufficientemente chiaro in merito alla funzionalità idraulica della tombinatura nel suo complesso; per questa ragione si ritiene non sia necessario eseguire modellazioni in moto permanente che non andrebbero ad aumentare il livello di conoscenza.

I risultati della modellazione idraulica in moto uniforme di stato attuale, di adeguamento e di progetto vengono di seguito riportate in tabella nel presente paragrafo.

Di seguito viene riportata la tabella sintetica delle capacità di deflusso delle sezioni poste a monte della confluenza; il valore viene calcolato con la formula del moto uniforme al fine di comprendere la capacità della sezione indisturbata dalle condizioni al contorno di valle e dipendente solo dalla geometria e dalla pendenza.

Il parametro di scabrezza è stato valutato a favore di sicurezza, in considerazione della componente di trasporto solido.

Portata massima smaltibile - Rio Fasce Grasse e Rio Fosso Vecchio									
Sezione Numero	Larghezza sezione	Pendenza Tratto	Scabrezza secondo Strickler	Area Bagnata	Perimetro Bagnato	Raggio Idraulico	Velocità	Portata Smaltita	Pelo libero
	L	i	Ks	A	P	R	v	Q	h
-	m	-		mq	m	m	m/s	mc/s	m
sezione tipo Via Summit monte - Rio Fasce Grasse (sezione 211)	2,40	0,065	30	1,92	4,00	0,48	4,69	<u>9,00</u>	0,80
sezione tipo Via Summit monte - Rio Fasce Grasse (sezione 1)	1,90	0,033	30	3,80	5,90	0,64	4,06	<u>15,44</u>	2,00
sezione tipo Via Doria monte - Rio Fosso Vecchio (sezione 104)	1,90	0,084	30	3,42	5,50	0,62	6,33	<u>21,66</u>	1,80
sezione tipo Via Doria monte - Rio Fosso Vecchio (sezione 111)	2,00	0,058	30	2,40	4,40	0,55	4,82	<u>11,58</u>	1,20

Il tratto di Rio Fasce Grasse (Via Summit) è in grado di smaltire la portata con tempo di ritorno 50 anni, ma non la portata con tempo di ritorno 200 anni, che manda in pressione la condotta.

Il tratto di Rio Fosso Vecchio (Via Doria) è in grado di smaltire la portata  $Tr=50$  anni, ma non la portata con tempo di ritorno 200 anni, che determina il massimo riempimento del tombino.

Non si può mai considerare rispettato il franco di sicurezza.

In sintesi i due tratti di tombinatura, a monte della confluenza, risentono della forte pendenza stradale, che fa aumentare la velocità della corrente e garantisce un discreto smaltimento delle portate di piena.

L'evento del novembre 2014 conferma quanto verificato numericamente nella presente relazione, infatti non si sono manifestate condizioni di esondazione nei tratti di imbocco della tombinatura o criticità lungo i due tratti dovuti a moti in pressione o accumuli di materiale.

Di seguito viene riportata la tabella sintetica delle capacità di deflusso delle sezioni poste a valle della confluenza; come in precedenza il valore viene calcolato con la formula del moto uniforme al fine di comprendere la capacità della sezione indisturbata dalle condizioni al contorno di valle e dipendente solo dalla geometria e dalla pendenza.

Il parametro di scabrezza è stato valutato a favore di sicurezza, in considerazione della componente di trasporto solido.

Portata massima smaltibile - Rio Fasce Grasse tratto a valle della confluenza									
Sezione Numero	Larghezza sezione	Pendenza Tratto	Scabrezza secondo Strickler	Area Bagnata	Perimetro Bagnato	Raggio Idraulico	Velocità	Portata Smaltita	Pelo libero
	L	i	Ks	A	P	R	v	Q	h
-	m	-		mq	m	m	m/s	mc/s	m
sezione tipo Via Vercelli (sezione 5)	2,80	0,029	30	2,80	4,80	0,58	3,57	9,99	1,00
sezione tipo SS 1 Aurelia (sezione 6)	3,20	0,035	30	3,20	5,20	0,62	4,06	12,99	1,00
sezione tipo Foce (sezione 7)	4,20	0,005	30	3,36	5,80	0,58	1,47	4,95	0,80

Il tratto di tombinatura a valle della confluenza (Via Vercelli) non è in grado di smaltire né la portata con tempo di ritorno 50 anni e neppure la portata con tempo di ritorno 200 anni; si può considerare che il canale possa smaltire una portata con un valore di poco superiore al 50% della portata  $Tr=50$  anni.

Il tratto di tombinatura in corrispondenza della SS I Aurelia non è in grado di smaltire né la portata con tempo di ritorno 50 anni e neppure la portata con tempo di ritorno 200 anni; si raggiunge un valore di poco superiore al 80% della portata  $Tr=50$  anni.

Il tratto di tombinatura nel tratto vicino alla foce non è in grado di smaltire né la portata con tempo di ritorno 50 anni e neppure la portata con tempo di ritorno 200 anni; si raggiunge un valore di poco superiore al 30% della portata  $Tr=50$  anni.



In questo tratto le deboli pendenze determinano quindi un notevole abbattimento della capacità di deflusso della tombinatura.

L'evento del novembre 2014 conferma quanto verificato numericamente nella presente relazione, infatti si sono manifestate condizioni di esondazione nei tratti a minor pendenza con moti in pressione che hanno sollevato la sede stradale di Via Vercelli, determinando fuoriuscita dal canale localizzata, confinata dalla stessa sede stradale nel sottopasso ferroviario.

Di seguito viene riportata la tabella sintetica dei valori idraulici relativi alle sezioni tipo poste in Via Vercelli; imponendo la portata al colmo è possibile determinare l'altezza del pelo libero teorico.

Il valore del pelo libero viene calcolato con la formula del moto uniforme al fine di comprendere la capacità della sezione indisturbata dalle condizioni al contorno di valle e dipendente solo dalla pendenza.

<b>altezza tirante - 200 anni</b>									
Sezione Numero	Larghezza sezione	Pendenza Tratto	Scabrezza secondo Strickler	Area Bagnata	Perimetro Bagnato	Raggio Idraulico	Velocità	Portata Smaltita	Pelo libero
	L	i	Ks	A	P	R	v	Q	h
-	m	-		mq	m	m	m/s	mc/s	m
sezione tipo Via vercelli monte	2,70	0,030	30	5,35	6,66	0,80	4,49	24,00	<b>1,98</b>
sezione tipo Via Vrcelli valle	2,90	0,020	30	6,23	7,20	0,87	3,85	24,00	<b>2,15</b>

<b>altezza tirante - 50 anni</b>									
Sezione Numero	Larghezza sezione	Pendenza Tratto	Scabrezza secondo Strickler	Area Bagnata	Perimetro Bagnato	Raggio Idraulico	Velocità	Portata Smaltita	Pelo libero
	L	i	Ks	A	P	R	v	Q	h
-	m	-		mq	m	m	m/s	mc/s	m
sezione tipo Via Vercelli monte	2,70	0,030	30	3,91	5,60	0,70	4,09	16,00	<b>1,45</b>
sezione tipo Via Vercelli valle	2,90	0,020	30	4,55	6,04	0,75	3,51	16,00	<b>1,57</b>

Il tratto di tombinatura a valle della confluenza (Via Vercelli) per potere accogliere la portata  $Tr=50$  anni dovrebbe avere una altezza della sezione pari a circa 1.50 metri, cui deve essere aggiunto il franco di sicurezza.

Il tratto di tombinatura a valle della confluenza (Via Vercelli) per potere accogliere la portata  $Tr=200$  anni dovrebbe avere una altezza della sezione pari a circa 2.00 metri, cui deve essere aggiunto il franco di sicurezza.

L'attraversamento della Strada Statale n.I Aurelia ed il tratto a valle rappresentano un vero e proprio "tappo idraulico", dovuto all'abbattimento della pendenza e conseguentemente alla riduzione di velocità e innalzamento del pelo libero.

Le condizioni idrauliche di transito sopra descritte risultano ancora più penalizzanti in considerazione della presenza di trasporto solido.

Il rilievo eseguito recentemente ha infatti mostrato importanti depositi di sabbia che confermano la tendenza del canale a ridurre la propria capacità di smaltimento. In questo caso si deve prendere in considerazione la possibilità che parte del deposito derivi dall'ingresso delle onde durante movimento ondosso intenso.

Anche per questa ragione vanno assolutamente escluse soluzioni tecniche di adeguamento idraulico del canale tombinato che prevedano un abbassamento del fondo alveo.

Dalle analisi numeriche condotte deriva che la sezione idraulica teorica non solo è insufficiente per il transito della portata al colmo con adeguato franco di sicurezza (dovremmo avere una altezza di circa **330 cm** per la portata duecentennale ed una altezza di circa **250 cm** per la portata cinquantennale), ma è insufficiente per condizioni di deflusso a regime intenso con rischio specifico di occlusione delle sezioni e di moti in pressione per il canale.

L'evento del **15.11.2014** ha causato il danneggiamento della sede stradale di Via Vercelli a causa dell'ostruzione della sezione di deflusso nel tratto immediatamente a monte della strada statale Aurelia, con il conseguente moto in pressione per tutto il tratto di Via Vercelli, almeno sino alla Piazza Maglione.

La zona più danneggiata della tombinatura di Via Vercelli si trova ad una quota di estradosso pari a +98.30.

Si può ipotizzare che il materiale trasportato dal rio abbia occluso il tombino all'altezza della **sezione 5**, dove l'estradosso si trova a quota +97.90 e dove il tombino stradale non si è spostato dalla sua sede. Durante l'evento alluvionale il tombino posto a monte del tratto di Via Vercelli in Piazza Maglione (**sezione 3** sul Rio Fasce Grasse) non si è spostato dalla sede; il tombino si trova a quota +100.30.

Se si considera quindi che il materiale abbia occluso il tombino alla **sezione 5** e che il tombino sia andato in pressione sino alla **sezione 3**, si è prodotta una sottospinta di circa 2.400 kg/mq.

Ciò ha determinato la formazione di fessure tra il solaio e le pareti del canale e la formazione di lesioni trasversali, lesioni oggi ripristinate.

In termini di profilo di moto permanente, ci si deve attendere un livello della corrente nel tratto finale del tombino tale da determinare un rigurgito verso monte che andrà quindi a condizionare il profilo sino alla confluenza, con un rilevante rallentamento delle velocità nei canali ed innalzamento del pelo libero.

Quando si va ad analizzare il tratto a cielo libero posto a monte di ciascuna tombinatura, si procede attraverso una modellazione idraulica in moto permanente, imponendo quale condizione al contorno di valle l'altezza di moto che si ottiene imponendo la pendenza in alveo.

I profili di **moto permanente** del corso d'acqua sono stati calcolati attraverso una modellazione con un infittimento delle sezioni di deflusso tale da sviluppare un profilo di moto permanente significativo per gli scopi della presente relazione.

Si riportano di seguito gli elementi teorici principali per la descrizione della metodologia di calcolo in moto permanente utilizzata.

L'ipotesi di moto permanente gradualmente variato implica che l'area sia solo funzione della profondità  $Y$  ovvero in simboli:  $\Omega = \Omega(Y)$ . Con l'ipotesi suddetta, le equazioni di continuità e del moto si scrivono:

$$Q = \Omega \cdot U = \text{cost.} \quad \frac{d}{dx} \left( h + \frac{U^2}{2 \cdot g} \right) = - \frac{\tau_0^f}{\rho \cdot g \cdot R_i}$$

dove:  $\Omega$  = superficie della sezione  
 $U$  = velocità uniforme del moto  
 $h = y + z_f$  carico piezometrico  
 $y$  = quota del pelo libero rispetto al fondo alveo  $z_f$   
 $g$  = accelerazione di gravità  
 $\tau_0^f$  = tensione tangenziale sul contorno  
 $\rho$  = densità dell'acqua  
 $R_i$  = raggio idraulico dato dal rapporto tra l'area ed il contorno bagnato

In prima approssimazione si ipotizza di confondere le sezioni normali all'asse della corrente con sezioni verticali. È consentito quindi scrivere l'equazione del moto come:

$$\frac{d}{dx} \left( z_f + Y + \frac{U^2}{2 \cdot g} \right) = \frac{dH}{dx} = -j = - \frac{\tau_0^f}{\rho \cdot g \cdot R_i}$$

con  $j$  = pendenza della linea dei carichi effettivi ed  $H$  = carico totale.

La quantità  $j$  è calcolata assumendo che il moto si comporti come una successione continua di stati localmente uniformi, ritenendo che possa confondersi  $\tau_0^f$  con il valore che si avrebbe in moto uniforme caratterizzato dai valori locali di  $U$ ,  $C$  e  $R_i$ . Da ciò segue che:

$$j = \frac{U^2}{g \cdot C^2 \cdot R_i} = \frac{Q^2}{g \cdot \Omega^2 \cdot C^2 \cdot R_i}$$

dove con  $C$  si è indicato il coefficiente di conduttanza medio per la sezione.

L'ultima equazione sostituita nella precedente consente l'integrazione, vale a dire la determinazione del profilo  $Y(x)$  per assegnati valori di portata e pendenza dell'alveo, purché siano note

condizioni opportune in corrispondenza delle sezioni di estremità del tronco considerato. In particolare per alveo cilindrico è possibile scrivere:

$$\frac{dE}{dx} = i_f - j$$

e ricordando che  $E = E(Y(x))$  si arriva all'equazione dei profili di rigurgito in alvei quasi cilindrici nella forma:

$$\frac{dY}{dx} = \frac{i_f - j}{dE/dY}$$

Le variazioni brusche di sezione possono essere incluse in questo modello matematico ipotizzando che le perdite di carico corrispondenti siano concentrate nella sezione in cui avviene la variazione di forma della sezione stessa.

Il modello numerico di simulazione idraulica utilizzato è il pacchetto applicativo Hec-Ras, realizzato dall'U.S. Army Corps of Engineering nella sua ultima versione per Personal Computer prodotta dall'Haestad Methods di Waterbury USA.

Per la soluzione numerica dell'equazione del profilo di rigurgito è stato utilizzato lo schema di Eulero-Cauchy, noto come standard step-method. La soluzione numerica è ricavata, sezione per sezione, a partire da una condizione al contorno assegnata. Il metodo è a singolo passo e lo schema utilizzato è implicito, poiché è possibile determinare il livello del pelo libero nella sezione  $n$  noto quello della sezione immediatamente a valle (o a monte) con un procedimento iterativo.

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{2} \cdot \Delta x_n \cdot [f(x_n, y_n) + f(x_{n+1}, y_{n+1})]$$

dove  $y_n$  e  $y_{n+1}$  rappresentano la soluzione numerica rispettivamente al passo  $n$  e  $n+1$ .

Il modello determina il profilo di moto permanente per ogni tratto scegliendo tra i possibili profili di corrente lenta e di corrente veloce quello a cui corrisponde la spinta totale maggiore, essendo la definizione della spinta:

$$S = \frac{1}{2} \gamma \cdot Y \cdot A + \gamma \cdot \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

dove:  $\gamma$  = peso specifico dell'acqua,  $Y$  = profondità.

La perdita di carico effettivo è stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme con la formula di Gaukler-Strikler. Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali in funzione della variazione del carico cinetico con diversi parametri per transizioni brusche o graduali.

I risultati della modellazione idraulica in moto permanente vengono riportati in **allegato** attraverso tabelle delle grandezze idrauliche, profili di moto permanente e tracce delle sezioni idrauliche per lo stato attuale e per lo stato di progetto.

Le verifiche idrauliche dimostrano che la realizzazione delle briglie porta ad una riduzione delle velocità medie di deflusso pur mantenendo inalterati i livelli di massima piena.

## **IPOTESI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA**

Sulla base di quanto sin qui descritto, il caso in esame non può però essere limitato all'aspetto idraulico, ma deve necessariamente prendere in considerazione gli aspetti geomorfologici e vegetazionali che determinano il trasporto solido ed in questo senso vengono ipotizzate le soluzioni tali da consentire una mitigazione del fenomeno di dissesto idrogeologico.

Preso atto che le caratteristiche della tombinatura e delle condizioni al contorno, quali la quota del fondo alveo alla foce, la presenza della linea ferroviaria e il fitto tessuto urbano nell'intorno della tombinatura alla foce, non lasciano spazio ad interventi strutturali che possano adeguare le sezioni di deflusso alla portata di progetto attesa, con adeguati franchi di sicurezza tali da assorbire la componente di riduzione della sezione di deflusso rappresentata dal trasporto solido, si dovranno individuare soluzioni alternative e multidisciplinari.

Il tema va affrontato quindi in termini di mitigazione del rischio ovvero con lo scopo di ridurre al minimo la vulnerabilità del territorio di fronte alla potenzialità di accadimento di fenomeni intensi.

Gli eventi per tempi di ritorno 50 anni e 200 anni, potranno avere effetti assai ridotti in termini di rischio idrogeologico, qualora la componente di trasporto solido venga eliminata il più possibile dalla portata al colmo di piena transitante nel canale.

### ***Fase I: messa in sicurezza del tratto critico della tombinatura che è stata danneggiata***

Poiché non è possibile migliorare le condizioni di deflusso lungo la tombinatura (allargamento della sezione di deflusso) e poiché non è possibile eliminare la condizione al contorno di valle (bassa pendenza e rischio occlusione) che può causare il moto in pressione ed il danneggiamento della sede viaria, è necessario escludere la probabilità di avere moti in pressione.

Il progetto prevede quindi la realizzazione di un numero sufficiente di griglie (5 griglie posizionate sia secondo un principio strutturale che manutentivo) in Via Vercelli per tutta la larghezza del tombino e di lunghezza **100 cm**, che consentano di evitare il moto in pressione e conseguenti futuri danneggiamenti della tombinatura.

La realizzazione dei tagli del solaio (copertura della tombinatura) consente di accedere al fondo del canale e procedere quindi la rimozione del materiale di fondo depositato durante l'ultimo evento per spessori che vanno da **30 cm** a **60 cm** (tali valori sono stati determinati sulla base di considerazioni teoriche e potranno essere confermati in fase di esecuzione dell'opera).

Non si dovrà procedere ad una abbassamento del fondo alveo perché ciò determinerebbe un peggioramento delle condizioni di deflusso al nodo Via Vercelli/Strada Statale Aurelia, mentre si dovrà operare solo alla rimozione del materiale di sovralluvionamento.

Nella fase di interventi di somma urgenza è stata rimossa una parte dei depositi alluvionali in corrispondenza della confluenza dei due rami ed è stata operata la pulizia del canale per quanto riguarda il materiale vegetativo che aveva con ogni probabilità determinato il moto in pressione ed il conseguente danneggiamento della sede viaria.

Si specifica che senza la realizzazione dei tagli del solaio non è possibile procedere alla pulizia accurata del canale e senza il posizionamento delle griglie non è possibile evitare che si manifestino moti in pressione anche per portate inferiori al tempo di ritorno 50 anni.

Infine le griglie potranno essere il punto di accesso per le future manutenzioni periodiche del canale.

### ***Fase 2: realizzazione di un sistema di briglie selettive a monte degli imbocchi delle due tombinature per la riduzione del trasporto solido nei canali***

L'analisi tecnica degli aspetti geologici e vegetazionali porta a concludere che il bacino a monte dell'imbocco ha una discreta propensione alla produzione di materiale che si movimenta lungo le sponde sino ad interessare l'alveo.

Una volta in alveo il materiale, in funzione della velocità della corrente (energia di trascinamento) viene movimentato e trasportato verso valle.

Gli accumuli detritici mano a mano vengono raccolti dalla portata di piena e spinti lungo il canale, dove si depositano riducendo la sezione di deflusso, in quanto vanno ad innalzare il letto del corso d'acqua.

Durante l'evento del novembre 2014 si è riscontrata inoltre la presenza di materiale vegetale trasportato dalla corrente che, all'atto del sollevamento della soletta, è fuoriuscito lateralmente. Potrebbe essere lo stesso materiale vegetale ad avere determinato l'occlusione della sezione di deflusso.

Il trasporto solido vegetale ed il trasporto solido per saltazione possono essere ridotti grazie alla realizzazione di sistemi di briglie selettive.

Innanzitutto è necessario trattenere il materiale vegetale di media dimensione (canne e ramaglie) attraverso un pettine verticale in acciaio; quest'opera deve essere progettata tenendo conto dell'effetto diga e quindi con una buona capacità di rispondere alla spinta della corrente.

Si dovrà quindi ridurre la pendenza con salti di fondo per fare depositare il materiale di origine detritica di dimensioni maggiori in una vasca e a seguire il materiale di dimensioni più piccole nella vasca sottostante.

A monte dell'imbocco della tombinatura del Rio Fasce Grasse il sistema di briglie potrà essere realizzato avvalendosi dei sistemi costruttivi tipici dell'ingegneria naturalistica.

A monte dell'imbocco della tombinatura del Rio Fossato Vecchio il sistema di briglie potrà essere realizzato con un canale con fondo in platea di calcestruzzo, briglie in pietra e cemento.

Entrambi i sistemi di briglie potranno essere raggiungibili dalla viabilità ordinaria in modo da consentire ad un mezzo di piccole dimensioni di rimuovere il materiale e ripristinare la funzionalità delle briglie rimuovendo il materiale depositato.

Il Rio Fasce Grasse potrà essere raggiunto calando il mezzo dalla viabilità pubblica.

Il Rio Fossato Vecchio potrà essere raggiunto attraverso le aree del privato che confinano a valle con la viabilità pubblica, sotto le quali scorre il canale.

Il controllo visivo delle briglie dovrà essere eseguito con cadenza semestrale e a seguito di eventi di piena significativi.

La cadenza della manutenzione delle briglie dovrà essere eseguita quando le vasche a monte della briglia sono colme di materiale e quando il pettine è intasato a causa di materiale vegetale o di pezzature importanti di materiale litoide.

Le sponde all'imbocco delle tombinature dovranno essere opportunamente consolidate al fine di ridurre al minimo la probabilità di innesco di erosione di versante che determini depositi incontrollati in corrispondenza delle briglie di nuova realizzazione, riducendone l'efficienza.

Si prevedono quindi interventi di ingegneria naturalistica e laddove necessario di consolidamento corticale per i primi 30 metri a monte dell'imbocco di entrambe le tombinature.

In sponda destra del Rio Fossato Vecchio è previsto il rifacimento del muro in pietra che potrebbe essere oggetto di disequilibrio durante un evento alluvionale e crollando in alveo potrebbe determinare l'occlusione del canale.

### ***Fase 3: manutenzione dei versanti lungo i corsi d'acqua a monte della tombinatura***

Il trasporto solido sia vegetale che detritico deve risultare contenuto entro limiti ordinari caratteristici del bacino.

Per quanto riguarda gli aspetti vegetazionali si deve prevedere il decespugliamento del materiale lianoso e la rimozione degli individui arborei pericolanti. In fase esecutiva si dovrà valutare la modalità operativa più idonea all'accatastamento del materiale rimosso in aree sicure ovvero al di fuori di quelle che potrebbero interessare l'alveo.

Per quanto riguarda gli aspetti geologici si deve prevedere la rimozione del materiale litoide che ostacola il libero deflusso. In fase esecutiva si dovrà valutare la modalità operativa più idonea allo spostamento o alla riduzione del materiale in aree sicure ovvero al di fuori di quelle che potrebbero interessare l'alveo.

## CONCLUSIONI

L'analisi del fenomeno accaduto nel mese di novembre 2014 consente di evidenziare in maniera univoca la criticità idraulica della tombinatura del Rio Fasce Grasse.

Le analisi idrauliche consentono di dimostrare che non vi sono possibilità di interventi di adeguamento della tombinatura esistente.

Risulta quindi necessario portare il rischio idraulico ad un livello più basso attraverso un insieme di interventi di mitigazione del rischio connesso al dissesto idrogeologico nel loro complesso.

Interventi strutturali e manutentivi nella tombinatura laddove la capacità di deflusso è assai ridotta.

Interventi strutturali agli imbocchi della tombinatura per ridurre, sino ad escludere, il trasporto solido nei canali.

Interventi di manutenzione straordinaria della vegetazione più prossima al letto dei corsi d'acqua per la rimozione del materiale movimentabile in alveo e per la rimozione dei potenziali ostacoli al libero deflusso.

Interventi manutenzione straordinaria dei versanti prossimi all'imbocco delle tombinature e dell'alvo per la rimozione dei potenziali ostacoli al libero deflusso.

Dovranno essere sempre mantenute le misure e le azioni di protezione civile in atto ed eventualmente integrate alla luce delle indagini qui condotte.

finale ligure dicembre 2015

ing. antonio da corte vecchino