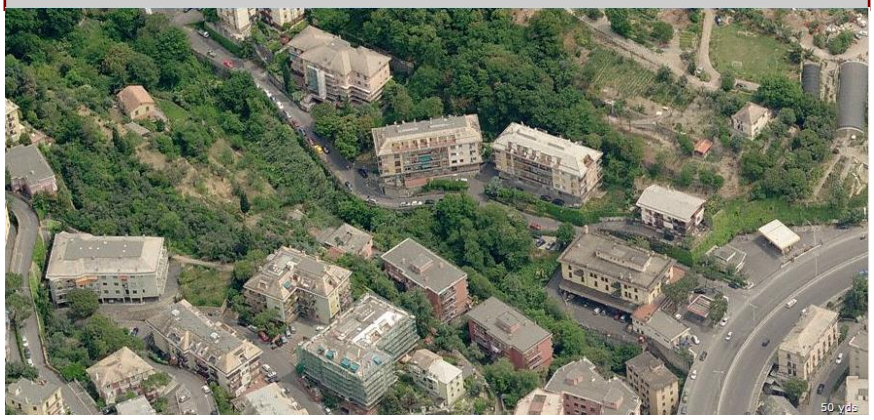
COMUNE di GENOVA

DIREZIONE FACILITY MANAGEMENT

SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO PENEGO

E CONTESTUALE REALIZZAZIONE DI NUOVA VIABILITÀ PUBBLICA



RELAZIONE IDRAULICA

PROGETTO PRELIMINARE

Dicembre 2021

INDICE

1 PREMESSA 3
2 STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA 4
2.1 Caratteristiche del bacino scolante 4
2.2 Descrizione del tratto del rio Penego interessato dalle verifiche. 4
2.3 Verifiche idrauliche dello stato attuale 7
2.4 Evento alluvionale del 4 novembre 2011 8
3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO 10
4 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO 11
4.1 Pluviometria 11
4.2 Modellazione idrologica 11
4.3 Portate del Piano di Bacino 12
4.4 Portate di verifica 13
5 VERIFICHE IDRAULICHE 15
6 CONCLUSIONI 19
7 BIBLIOGRAFIA 20

1 PREMESSA.

La presente relazione è redatta a corredo del progetto preliminare della SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO PENEGO E CONTESTUALE REALIZZAZIONE DI NUOVA VIABILITA' PUBBLICA, per conto del Comune di Genova, che prevede un intervento di adeguamento e messa in sicurezza del tratto tombinato del rio Penego che presenta significative criticità dimensionali e strutturali, a partire dalla curva che collega via Shelley con via Monaco Simone (quota 101 m circa) sino alla confluenza con il rio Zucchetta, per una lunghezza complessiva di circa 350 metri.

Il progetto prevede la costruzione di un tombino scatolare di forma rettangolare con larghezza costante pari a 250cm e altezza interna netta di 350 cm. Dovendo superare un notevole dislivello (circa 45 m), il tombino verrà realizzato con salti di fondo ravvicinati che permettano di assicurare una pendenza ridotta (3%).

A valle della sezione di sbocco del tratto tombinato nella valletta aperta immediatamente a monte della confluenza con il rio Zucchetta verranno posti massi naturali disposti a protezione del fondo con funzione di rompigetto.

Le verifiche idrauliche sono state compiute con le massime portate temibili, associate ad un tempo di ritorno di 200 e 500 anni. I risultati delle verifiche idrauliche effettuate sul tratto di corso d'acqua interessato dalle opere, con particolare riferimento alla sicurezza del deflusso anche in concomitanza di eventi meteorologici di notevole rilevanza, sono riportati sotto forma di tabelle, allegate alla presente relazione.

Il tombino ha un andamento che segue in gran parte il tracciato della nuova viabilità in progetto, anche per consentire l'accesso al tratto coperto attraverso botole disposte sul piano stradale.

Verranno realizzati punti di ispezione, costituiti da botole di ampiezza adeguata (250x130 cm), disposti ad interassi regolari.

2 STATO ATTUALE DEL CORSO D'ACQUA

2.1 Caratteristiche del bacino scolante.

Il rio Penego ha origine dalle pendici del Monte Fasce in località Apparizione a quota 260 m s.l.m. e dopo un percorso di circa 1700 m confluisce nel torrente Sturla, immediatamente a valle dell'asse viario di corso Europa. Nella figura n° 1 allegata è rappresentato il bacino imbrifero del rio, perimetrato sulla cartografia tecnica regionale in scala 1:10.000. Si osserva che l'asta principale scende in direzione nord-sud e riceve in successione alcuni piccoli affluenti, tutti di sponda sinistra: il rio Staiato, il rio Oratorio ed il rio Zucchetta. Sottopassato il viadotto di Corso Europa il rio Penego piega decisamente in direzione ovest e si immette nello Sturla. Il bacino confina a nord e a ovest con quello del torrente Sturla, a est con il rio Priaruggia.

2.2 Descrizione del tratto del rio Penego interessato dalle verifiche.

Il primo tratto montano del corso d'acqua si presenta poco inciso e intercettato a più riprese da viabilità di collegamento trasversali di Apparizione; il tratto centrale tra le confluenze del rio Staiato e del rio Zucchetta è la parte meno densamente urbanizzata ed è caratterizzata dalla presenza di un lungo tratto tombinato. L'imbocco del tratto tombinato (vedi foto) si trova al limite superiore della via Shelley: esso presenta una sezione ampia (circa 4 x 2,7 m), protetta da alcuni pilastri in cemento con funzione di barriera per materiali ingombranti.



Immediatamente a monte dell'imbocco è posta una soglia dotata di dispositivi di trattenuta (tubi e profilati metallici). L'alveo a monte si presenta in roccia, ingombro di vegetazione.

Il tratto tombinato al di sotto di via Shelley è stato oggetto di un laborioso e accurato rilievo sotterraneo, da cui sono emerse problematiche strutturali e di funzionalità idraulica estremamente gravi.

In particolare è risultato che la **prima parte del percorso sotterraneo**, per uno sviluppo di circa 175 metri, ha una forma rettangolare di larghezza 2,50 e altezza variabile tra 2,3 e 2,60 m, con una strozzatura localizzata, avente altezza 1,60 metri, a metà percorso. Il fondo del tombino in questo tratto è stato costruito a salti di fondo ravvicinati (interasse 3-5 m), che presentano evidenti problemi di erosione, sottoescavazione e aggiramento.

Le briglie si sono trasformate in molti casi in travi che sbarrano il corso della sezione, lasciando passare l'acqua al di sotto (vedi foto). Ci sono alcuni tratti infine in cui le pareti verticali della tombinatura appaiono lesionate alla base, permettendo così l'uscita delle acque verso l'esterno.



Il **secondo tratto**, della lunghezza di 215 metri circa, presenta un notevole restringimento di sezione: esiste infatti un ovoide prefabbricato in calcestruzzo dell'altezza di 160 cm e una larghezza massima di 110 cm, che presenta uno stato di conservazione ugualmente critico, avendo lesioni laterali e della volta (vedi foto). Esso è posto ad una profondità dal piano campagna variabile tra 5 e 8 metri e scorre su una pendenza media di pari al 13%, con punte del 25%.

La sezione ovoidale di questo tratto è circa 5,5 volte più piccola di quella scatolare immediatamente a monte; inoltre il cambio tra le due sezioni è stata risolto senza particolari soluzioni di raccordo.



Il **terzo tratto** è gettato in opera e ha una forma circolare del diametro di 1500 mm (vedi foto). Esso sbuca a cielo aperto in prossimità della confluenza con il rio Zucchetta. Ha una pendenza di scorrimento pari al 9% circa e uno sviluppo complessivo di circa 99 m. A parte la presenza di alcuni scarichi di rete nera, in questo tratto non si sono rilevati problemi di consistenza strutturale.

A valle dello sbocco a cielo libero il rio Penego riceve da destra il contributo del rio Zucchetta e percorre una valletta profonda, a margine della quale sorgono case sparse e oliveti sistemati a terrazze sul versante destro e la via Shelley sulla sponda sinistra, a quota sopraelevata. In questo tratto l'alveo si presenta in roccia, con frequenti salti di quota; la sezione ha forma assimilabile alla rettangolare con larghezza di circa 3 metri. Le sponde sono sostenute da muretti d'argine in pietrame a secco, alcuni dei quali in stato di degrado.

L'intero tratto è fortemente oppresso dalla presenza di vegetazione infestante (canneti e rovi, vedi foto) e da opere di attraversamento, che strozzano la sezione e possono creare problemi alle sezioni tombinate sottostanti.



L'ultimo tratto a valle dell'asse di corso Europa infine si presenta particolarmente tormentato: l'attraversamento del tessuto urbano ha reso necessario il tombinamento del rivo sotto l'attuale via Antica Romana di Quarto, sino al suo sbocco nel torrente Sturla, in prossimità di un ponte ad arco in pietra. Su tale tratto il Comune di Genova ha recentemente eseguito un intervento di miglioramento idraulico con realizzazione di una nuova sezione di deflusso.

2.3 Verifiche idrauliche dello stato attuale

Si rimanda alla relazione idraulica redatta a corredo del progetto preliminare dell'opera in oggetto, a firma dello scrivente, datata settembre 2004 e ad una successiva nota integrativa, datata novembre 2004.

In estrema sintesi in tali documenti si affermava che il tratto di tombino a monte della confluenza con il rio Zucchetta è fortemente critico e insufficiente dal punto di vista idraulico a smaltire le portate di piena. Il tratto tombinato è condizionato dalla sezione ovoidale (la più stretta), che, in pressione, consente il deflusso di solo 3 m^3/s , ovvero meno del 15% della portata complessiva, con tempo di ritorno di 200 anni. Il resto delle acque rigurgita dalla sezione di imbocco a monte e defluisce dapprima

lungo via Shelley, con notevole velocità (stimata in 12 m/s), dovuta alla forte pendenza e poi entro la *creuza* di via Frangioni, con grande irruenza.

Da tale studio è stata redatta una carta del rischio idraulico, allegata alla documentazione del Piano di Bacino dello Sturla, dalla quale risulta evidente la pericolosità dello stato attuale.

A valle della confluenza dello Zucchetta l'alveo ha una sezione sufficiente e non si verificano fenomeni di esondazione. La strada pedonale (via Frangioni) presente in sponda destra non è soggetta a rischio.

2.4 Evento alluvionale del 4 novembre 2011

A corredo di quanto sopra, si evidenzia come nel corso dell'evento alluvionale del 4 novembre 2011, la zona del basso bacino dello Sturla sia stata anch'essa interessata dal nubifragio: le stazioni pluviometriche sul basso corso del Bisagno hanno fatto registrare precipitazioni di carattere eccezionale (120-160 mm in un ora), corrispondenti a tempi di ritorno ben superiore a 200 anni.; le piogge cadute sul bacino in esame sono state meno intense, ma pur sempre molto elevate.

Nel primo pomeriggio del 4 novembre la via Shelley si trasformò in un vero torrente d'acqua ([1]), che scese irruenta lungo la strada.

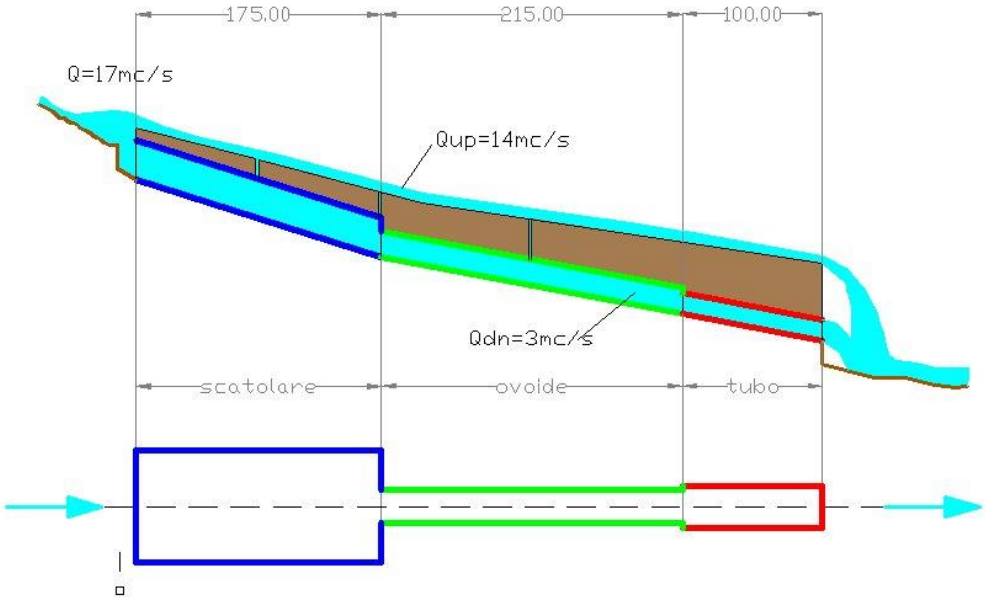


[1] Vedi il video dell'alluvione in via Shelley del 4 novembre 2011 sul sito www.youreporter.it (http://www.youreporter.it/search.php?q=alluvione+genova+quarto+via+shelley)

Tale situazione, ben descritta dalle analisi idrauliche sullo stato attuale, è causata dalla forte insufficienza del tratto intermedio, che è in grado di convogliare solo pochi metri cubi al secondo (stimati in circa 3 mc/s), a fronte dei 17 mc/s che costituiscono la portata di piena di progetto.

La forte pendenza della strada è in grado di sviluppare correnti con tiranti d'acqua dell'ordine dei 40-50 cm e velocità superiori a 10-12 m/s.

Nello schema di seguito riportato si illustra graficamente la situazione attuale del tombino, la cui sezione va gradualmente restringendosi verso valle.



STATO ATTUALE DEL TOMBINO

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Gli interventi che si intende porre in atto sono sostanzialmente costituiti dalla realizzazione di un nuovo tratto di tombinatura delle dimensioni interne nette di 250 cm di larghezza e 350 cm di altezza, con andamento a salti di fondo di altezza variabile tra 140 e 200 cm, distanziati di circa 16 metri l'uno dall'altro; in questo modo si ottengono tratti a pendenza costante del 3%.

La lunghezza complessiva del nuovo tombino è di circa 350 metri.

Il tombino si raccorda a monte con un tratto di scatolare in c.a. già esistente e di dimensioni adeguate, posto sotto il curvone che raccorda la parte più alta di via Shelley con il collegamento con via Monaco Simone.

A valle il tombino termina circa 20 metri a monte della confluenza con il rio Zucchetta, raccordandosi ad esso tramite una rampa che verrà protetta al fondo con massi naturali, che avranno lo scopo di dissipare l'energia cinetica della corrente in uscita dal tombino prima della immissione nell'alveo naturale a valle.

Nel tratto tombinato, in corrispondenza dei salti di fondo, si provvederà a proteggere la soglia superiore ponendo in opera una lastra in acciaio sagomata curvilinea e ancorata al getto di calcestruzzo; parimenti – sempre per proteggere il fondo del tombino dall'usura e dall'azione erosiva del getto in cascata - a valle del salto di disporranno massotti annegati nel getto, per una lunghezza di circa 6-7 metri. I massi avranno peso unitario intorno a 30-50 kg e non sporgeranno dal piano do fondo per più di 20 cm.

Le velocità della corrente nel tombino risultano comunque significative (circa 6 m/s) e pertanto sarà opportuno realizzare il getto di fondo dello scatolare impiegando inerti quarziferi e assicurando un copriferro abbondante (5-6 cm) che possa proteggere le armature di acciaio del fondo.

4 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PROGETTO

Sul bacino del rio Penego sono stati eseguiti in passato diversi studi idrologici, finalizzati a differenti scopi. Nella bibliografia riportata al termine della presente relazione sono evidenziati alcuni documenti consultati.

4.1 Pluviometria

Il bacino imbrifero considerato al fine della stima dei deflussi di piena è rappresentato nella figura 1, estratto della C.T.R. in scala 1:10.000.

Le portate sono state determinate elaborando i dati di piovosità di forte intensità e breve durata (massimi annui), rilevati alle stazioni di Genova Idrografico, Viganego e S. Ilario che hanno funzionato mediamente per circa 25÷30 anni.

Per ognuna di tali stazioni si è determinata la curva di possibilità climatica per assegnati periodi di ritorno, elaborando infine una curva "media" delle tre stazioni, alla quale si è fatto riferimento per la stima delle portate di piena temibili. Le altezze di pioggia sono state regolarizzate utilizzando la legge del valore estremo di Gumbel.

	T = 10 anni	T = 50 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
a [mm·ore^{-n}]	70,1	95,5	117,0	131,1
n[-]	0,310	0,290	0,279	0,273

4.2 Modellazione idrologica

La trasformazione delle altezze di pioggia "lorde" in piogge "nette" è stata effettuata mediante l'impiego del cosiddetto metodo CN, che fa riferimento al *Curve Number*, un numero caratteristico che tiene conto della morfologia del bacino scolante, del suo stato di conservazione e di sistemazione dei versanti, dell'uso del suolo e della composizione litologica e geologica del substrato. Il valore utilizzato per tale parametro è stato cautelativamente posto pari a 87, ipotizzando suoli pressoché impermeabili, coperture vegetali povere e tessuto urbano largamente diffuso.

La stima delle portate per assegnato periodo di ritorno è stata condotta ricorrendo al metodo proposto da Turazza (formula razionale), che ipotizza l'eguaglianza di probabilità di accadimento degli afflussi meteorici e dei deflussi conseguenti. Il

tempo di corrivazione posto alla base dei calcoli è stato determinato in maniera empirica, sulla base delle indicazioni contenute nello studio di Viparelli, rielaborato da Rosso, che ipotizza una velocità media di scorrimento dei deflussi non incanalati (parte alta dei bacini) variabile tra 0,20 e 0,50 m/s e di quelli alveati tra 0,80 e 3,00 m/s.

Operando in tale modo, si sono ottenute le portate di piena per tempi di ritorno variabili tra 50 e 500 anni. Nella tabella seguente, per le sezioni prese a base delle verifiche, sono riportate sinteticamente le portate con tempo di ritorno di 200 e 500 anni.

Sezione	Descrizione	S	t_c	Q_{CI} (q=42)	Q_{200}	Q_{500}
I	Foce in t. Sturla	0,78	30	32,76	26,97	31,77
Ib	Penego c. Europa	0,64	20	26,88	28,23	33,54
2	Penego a monte Zucchetta	0,37	15	15,54	19,34	23,12
3	Penego a monte Oratorio	0,22	10	9,24	14,54	17,54
5	Zucchetta	0,10	5	4,20	9,72	11,95
6	Oratorio	0,06	5	2,52	5,83	7,17

In ottemperanza a quanto disposto dalla Legge Regionale n° 9/93 e dalle disposizioni degli Uffici Provinciali si è determinato anche il valore della massima piena temibile facendo uso della Curva Inviluppo delle portate dei corsi d'acqua liguri, elaborata dall'ing. Cati. In particolare per superfici scolanti di estensione inferiore a 2 Km^2 si è posto un contributo unitario di portata pari a 42 $m^3/s\ Km^2$.

4.3 Portate del Piano di Bacino

Il rio Penego ed il rio Zucchetta sono affluenti del bacino del torrente Sturla. Tale bacino è stato studiato dal punto di vista idrogeologico nell'ambito dei Piani di Bacino stralcio redatti dalla Provincia di Genova ai sensi del D.L.vo 180/98 ed approvati con Delibera del Consiglio Provinciale n° 66 del 12.12.2002. Le valutazioni idrologiche ivi contenute pertanto vanno considerate come dato normativo vigente.

Nelle Norme di attuazione del Piano, in particolare nell'Allegato 2, si legge che per bacini di estensione inferiore a 2 Km^2 si debba usare un contributo unitario di piena pari a 40 $m^3/s\ Km^2$, lievemente inferiore, quindi, a quello indicato in precedenza dal Comitato Tecnico Provinciale in attuazione alla Curva di Cati (Q_{CI} - vedi par. 5.2).

Nella Relazione generale del Piano del t. Sturla è riportata una stima della portata di piena del rio Penego, effettuata alla sezione terminale, dove il bacino sotteso risulta pari a 0,60 Km^2. L'analisi è effettuata ricorrendo alla formula semplificata fornita dallo studio di regionalizzazione delle portate messo a punto dal C.I.M.A., ovvero:

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2}$$

nella quale A è la superficie drenata espressa in Km^2, $U_{A=2}$ è il contributo unitario per area pari a 2 Km^2, espresso in $m^3 s^{-1} Km^{-2}$ e K_T il fattore di frequenza delle portate.

Nel caso in esame, riprendendo le sezioni di chiusura del bacino sopra riportate e applicando tale metodo (ove $U_{A=2}$ è posto pari a 9,56 $m^3 \cdot s^{-1} \cdot Km^{-2}$), si otterrebbe:

Sezione	Descrizione	S	$Q_{CI\text{-}pdB}$ (q=40)	Q_{200}	Q_{500}
I	Foce in t. Sturla	0,78	31,20	37,43	45,04
Ib	Penego C.so Europa	0,64	25,60	30,71	36,96
2	Penego a monte Zucchetta	0,37	14,80	17,76	21,36
3	Penego a monte Oratorio	0,22	8,80	10,56	12,70
5	Zucchetta	0,10	4,00	4,80	5,77
6	Oratorio	0,06	2,40	2,88	3,46

4.4 Portate di verifica

Dall'esame e dal confronto delle tabelle sopra riportate si evidenzia come la portata duecentennale sia sempre maggiore di quella fornita dalla Curva di Cati.

Sezione	Descrizione	S	Q_{200}	$Q_{200\ PdB}$	Q_{500}	$Q_{500\ PdB}$
Ib	Penego C.so Europa	0,64	30,71	28,23	36,96	33,54
2	Penego a monte Zucchetta	0,37	17,76	19,34	21,36	23,12

D'altra parte si nota come nella parte alta del bacino la portata duecentennale ricavata dall'analisi idrologica "locale" fornisca risultati più elevati di quella ottenuta con l'analisi "regionale" dal Piano di Bacino; questo vale anche per le aste minori dello Zucchetta e dell'Oratorio. Viceversa nel tratto vallivo, a valle della confluenza con lo Zucchetta, la portata del Piano è superiore a quella desunta dallo studio locale.

Da una parte si sarebbe portati a scegliere comunque i risultati dell'analisi "locale", basati su dati pluviometrici sicuramente affidabili e che hanno il vantaggio di essere congruenti e coerenti sulla totalità del tratto studiato; dall'altra prevale comunque l'ottica della maggiore cautela nel calcolo.

Pertanto si è scelto di effettuare le verifiche con le portate desunte dall'analisi locale nel tratto a monte e con quelle del Piano di Bacino nel tratto a valle dello Zucchetta; le portate risultano quindi:

Sezione	Descrizione	S	Q_{200}	Q_{500}
Ib	Penego C.so Europa	0,64	30,71	36,96
2	**Penego a monte Zucchetta**	**0,37**	**19,34**	**23,12**
5	Zucchetta	0,10	9,72	11,95

5 VERIFICHE IDRAULICHE

Le verifiche hanno interessato il tratto del rio Penego compreso tra via P. Frangioni (sotto il viadotto di corso Europa) e la confluenza del rio Oratorio,

In considerazione della regolarità delle sezioni di deflusso e della uniformità e cilindricità del condotto in progetto, almeno per tratti, si è stabilito di impiegare le formulazioni del moto uniforme, che presuppongono l'omogeneità delle caratteristiche della corrente.

Si è fatto uso pertanto delle seguenti formule:

$Q = \Omega \cdot U$ equazione di continuità

$U = k_s \cdot R^{2/3} \cdot i_f^{1/2}$ equazione del moto

dove si è indicato con Ω l'area della sezione, con k_s il coefficiente di scabrezza, con R il raggio idraulico e con i_f la pendenza del fondo.

Nota la portata, le caratteristiche geometriche della sezione, la pendenza del fondo e imposto un valore del coefficiente di scabrezza, si ottiene, dal sistema di equazioni precedente, il valore della profondità *y* di moto uniforme, attraverso un procedimento analitico d'interpolazione.

Una volta trovato tale valore si possono calcolare tutte le altre grandezze caratteristiche della corrente, in particolare:

n° di Froude	$F_r = \frac{U}{\sqrt{gy}}$
contorno bagnato	$B = b + 2 \cdot y$
raggio idraulico	$R = \Omega / B$
tensione tangenziale	$\tau = \gamma \cdot i_f \cdot R$

dove γ è il peso specifico medio dell'acqua, pari a 1000 Kg/m^3.

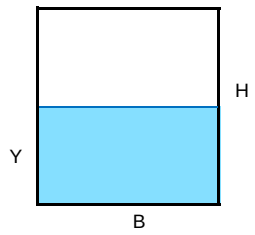
Si è assunto un coefficiente di scabrezza pari a:

- k_{S1} = 45 m$^{1/3}$ s^{-1}, per il fondo, che tiene conto cautelativamente di irregolarità del fondo dovute alla presenza dei massi dissipatori e della platea in calcestruzzo, con eventuali depositi di materiale solido al fondo;
- k_{S2} = 50 m$^{1/3}$ s^{-1}, per le pareti in calcestruzzo in non perfette condizioni, in servizio da più anni.

Nella tabella seguente si riportano i risultati delle verifiche effettuate sia con la portata duecentennale (19,34 mc/s) sia con quella cinquecentennale (23,12 mc/s).

SCALA DI DEFLUSSO PER SEZIONE RETTANGOLARE (verifica in moto uniforme)

base fondo canale	B =	2,50	[m]
altezza pareti canale	H =	3,50	[m]
coeff. Strickler fondo	ks_1 =	45,0	[$m^{1/3}/s$]
coeff. Strickler pareti	ks_2 =	50,0	[$m^{1/3}/s$]
pendenza media fondo	i_f =	3,00	[%]
portata di progetto (T200)	Q_{200} =	19,34	l/s
portata limite (T500)	Q_{500} =	20,13	l/s
portata massima smaltibile	Q_{max}=	69,85	l/s



Y	S	R	ks	Q	U	Froude	E	τ	franco	r	
[m]	*[m^2]*	*[m]*	*[$m^{1/3}/s$]*	*[m^3/s]*	*[m/s]*	*[-]*	*[m]*	*[kg/m^2]*	*[m]*	*[%]*	
0,05	0,13	0,05	45,2	0,13	1,03	1,48	0,10	1,44	3,45	1,4	
0,10	0,25	0,09	45,4	0,40	1,61	1,62	0,23	2,78	3,40	2,9	
0,25	0,63	0,21	45,8	1,74	2,79	1,78	0,65	6,25	3,25	7,1	
0,30	0,75	0,24	46,0	2,32	3,09	1,80	0,79	7,26	3,20	8,6	
0,50	1,25	0,36	46,4	5,06	4,05	1,83	1,34	10,71	3,00	14,3	
0,75	1,88	0,47	46,9	9,19	4,90	1,81	1,97	14,06	2,75	21,4	
1,00	2,50	0,56	47,2	13,82	5,53	1,76	2,56	16,67	2,50	28,6	
1,25	3,13	0,63	47,5	18,79	6,01	1,72	3,09	18,75	2,25	35,7	
1,50	3,75	0,68	47,7	24,01	6,40	1,67	3,59	20,45	2,00	42,9	
1,75	4,38	0,73	47,9	29,42	6,72	1,62	4,05	21,88	1,75	50,0	
2,00	5,00	0,77	48,1	34,95	6,99	1,58	4,49	23,08	1,50	57,1	
2,25	5,63	0,80	48,2	40,60	7,22	1,54	4,91	24,11	1,25	64,3	
2,50	6,25	0,83	48,3	46,33	7,41	1,50	5,30	25,00	1,00	71,4	
2,75	6,88	0,86	48,4	52,14	7,58	1,46	5,68	25,78	0,75	78,6	
3,00	7,50	0,88	48,5	57,99	7,73	1,43	6,05	26,47	0,50	85,7	
3,25	8,13	0,90	48,6	63,90	7,86	1,39	6,40	27,08	0,25	92,9	
3,50	8,75	0,92	48,7	69,85	7,98	1,36	6,75	27,63	0,00	100,0	
1,28	3,19	0,63	47,5	**19,34**	6,06	1,71	3,15	18,95	2,22	36,5	Q_{200}
1,46	3,65	0,67	47,7	**23,12**	6,34	1,68	3,51	20,19	2,04	41,7	Q_{500}

Dalle verifiche sopra riportate risulta evidente che:

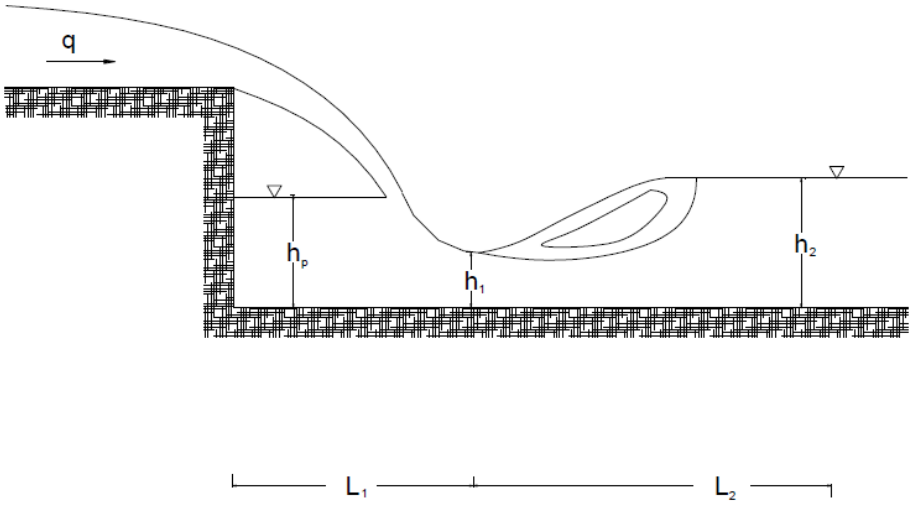
a) le portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni transitano in piena sicurezza nella sezione scatolare, con un franco idraulico abbondate (2,22 m), una velocità di 6 m/s, in condizioni di corrente ipercritica;

b) la portata con tempo di ritorno di 500 anni defluisce anch'essa in piena sicurezza, con franco idraulico di poco superiore a 2 metri.

c) in entrambi i casi i valori della tensione tangenziale al fondo (circa 20 kg/m²) sono più che sufficienti a garantire una buona autopulizia delle sezioni, potendo movimentare (secondo le equazioni di Shields) granuli di dimensioni pluricentimetriche;

d) in entrambi i casi la linea dei carichi totali è contenuta al di sotto dell'intradosso del tombino.

Al fine di valutare lo sviluppo della corrente a valle di ogni salto e verificare sino a quale distanza dal piede del salto occorre proteggere il fondo del tombino, si sono analizzate, con formule empiriche, le condizioni idrodinamiche del getto libero.
Si è fatto riferimento alle formule messe a punto da Moore (1943), sviluppate da Rand (1955) e recentemente verificate sperimentalmente da Paoletti (1979).
Si fa riferimento allo schema seguente:



Le formule sono le seguenti:

$h_P = 1.00 * \Delta Z * (y_C / \Delta Z)^{0,66}$ $\quad$ $h_2 = 1.66 * \Delta Z * (y_C / \Delta Z)^{0.81}$

$h_1 = 0.54 * \Delta Z * (y_C / \Delta Z)^{1.275}$ $\quad$ $L_1 = 4.30 * \Delta Z * (y_C / \Delta Z)^{0.81}$

dove:
ΔZ è il salto di quota
y_c è la profondità critica alla testa del salto

Si sono verificate le due tipologie di salto da 1,40 e 2,00 m nelle due condizioni di portata duecentennale e cinquecentennale, ottenendo i seguenti risultati.

SALTI DI FONDO	Calcolo dinamica della corrente a valle di un salto con getto libero [da A. Paoletti, 1979]					
Getto libero e corrente di monte veloce (1< Fr < 5)						
monte	T	200	500		200	500
	Q	19,20	23,12		19,20	23,12
	y_o	1,27	1,46		1,27	1,46
	B_o	2,50	2,50		2,50	2,50
	U_o	*6,05*	*6,34*		*6,05*	*6,34*
	Fr_o	*1,71*	*1,68*		*1,71*	*1,68*
	y_C	*1,82*	*2,06*		*1,82*	*2,06*
	Dz	1,40	1,40		2,00	2,00
valle (1)	y_1	***1,04***	***1,22***		***0,94***	***1,10***
	y_P	*1,68*	*1,83*		*1,88*	*2,06*
	L_1	***6,34***	***6,88***		***7,13***	***7,73***
	U_1	*7,39*	*7,57*		*8,19*	*8,40*
	θ_1	*45,29*	*44,12*		*48,90*	*47,61*
valle (2)	y_2	*2,91*	*3,22*		*3,10*	*3,43*
	L_2	*17,49*	*19,35*		*18,62*	*20,61*
	U_2	*2,64*	*2,87*		*2,47*	*2,69*

Risulta quindi che la lunghezza massima del getto, per le portate più rilevanti (200-500 anni) è variabile tra 6,30 e 7,80 m circa.

In considerazione del fatto che la portata T500 ha una probabilità di accadimento estremamente bassa si ritiene sufficiente prevedere un corazzamento del fondo sino ad una distanza di circa 7 metri dal piede del salto.

6 CONCLUSIONI

Il tratto del rio Penego attualmente tombinato nella parte più elevata di via Shelley risulta fortemente critico sia dal punto di vista della consistenza strutturale sia per la sua grave insufficienza dimensionale che porta a rilevanti problematiche di sicurezza della pubblica e privata incolumità.

E' assolutamente urgente e necessario pertanto provvedere alla sistemazione e messa in sicurezza di tale tratto di tombino, affiancando tale intervento con un adeguamento funzionale del collegamento stradale tra corso Europa e via Monaco Simone attraverso via Shelley.

Il tombino del rio Penego verrà pertanto totalmente ricostruito con una sezione di rettangolare di 250x350 cm idraulicamente adeguata: le verifiche eseguite sulla configurazione di progetto hanno infatti evidenziato un funzionamento idraulico sostanzialmente corretto per l'intero tratto tombinato.

La profilatura regolare del fondo e la continuità delle sezioni trasversali del tombino ne rende più semplice la pulizia ad opera delle stesse acque di deflusso, anche in condizioni di magra.

Si è prevista comunque la realizzazione di tratti di protezione del fondo alveo, soprattutto a valle dei salti. L'accessibilità ai tratti coperti è garantita dall'esecuzione di pozzetti e botole di dimensioni adeguate all'accesso per la manutenzione del tombino.

7 BIBLIOGRAFIA

- BORSELLI L. - *Applicabilità del S.C.S. Curve Numer Method per la stima del deflusso superficiale* - C.N.R. G.N.D.G.I. Linea 1 rapp. 1989 - 1992.
- CATI L. - *L'evento alluvionale del 7-8 ottobre 1970 sui bacini dei torrenti Leiro, Polcevera e Bisagno.* - Ministero dei Lavori Pubblici Sezione Autonoma del Genio Civile per il Servizio Idrografico - Genova, 1971.
- DA DEPPO L., DATEI C. - *Sistemazione dei corsi d'acqua* - Libreria Cortina Padova, 1997.
- MAIONE U, MOISELLO U. - *Appunti di idrologia* - vol. 1 e 3 - La Goliardica Pavese.
- NATALE L. - *Le curve di possibilità pluviometrica dei piccoli bacini italiani* - Idrotecnica n° 3/1988.
- PAOLETTI A. - *Modelli di pioggia netta per l'idrologia urbana* - da "Idrologia urbana" - Ed. BIOS Cosenza, 1988.
- PROVINCIA DI GENOVA - *Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico del torrente Sturla* (ai sensi del D.L. 180/98 e succ. mod. ed int.) – approvato con D.C.P. n° 66 del 12 Dicembre 2002.
- ROCCA D. – *Tombinatura del rio Penego e del rio Zucchetta* – Progetto della strada di collegamento tra corso Europa e via Monaco Simone – Genova, Maggio 1992.
- SUPINO G. - *Le reti idrauliche* - Patron Editore - Bologna.
- R.S.T.A. s.c.r.l. – *Piano di Bacino del Torrente Sturla: Studio Propedeutico* – Genova, 1995

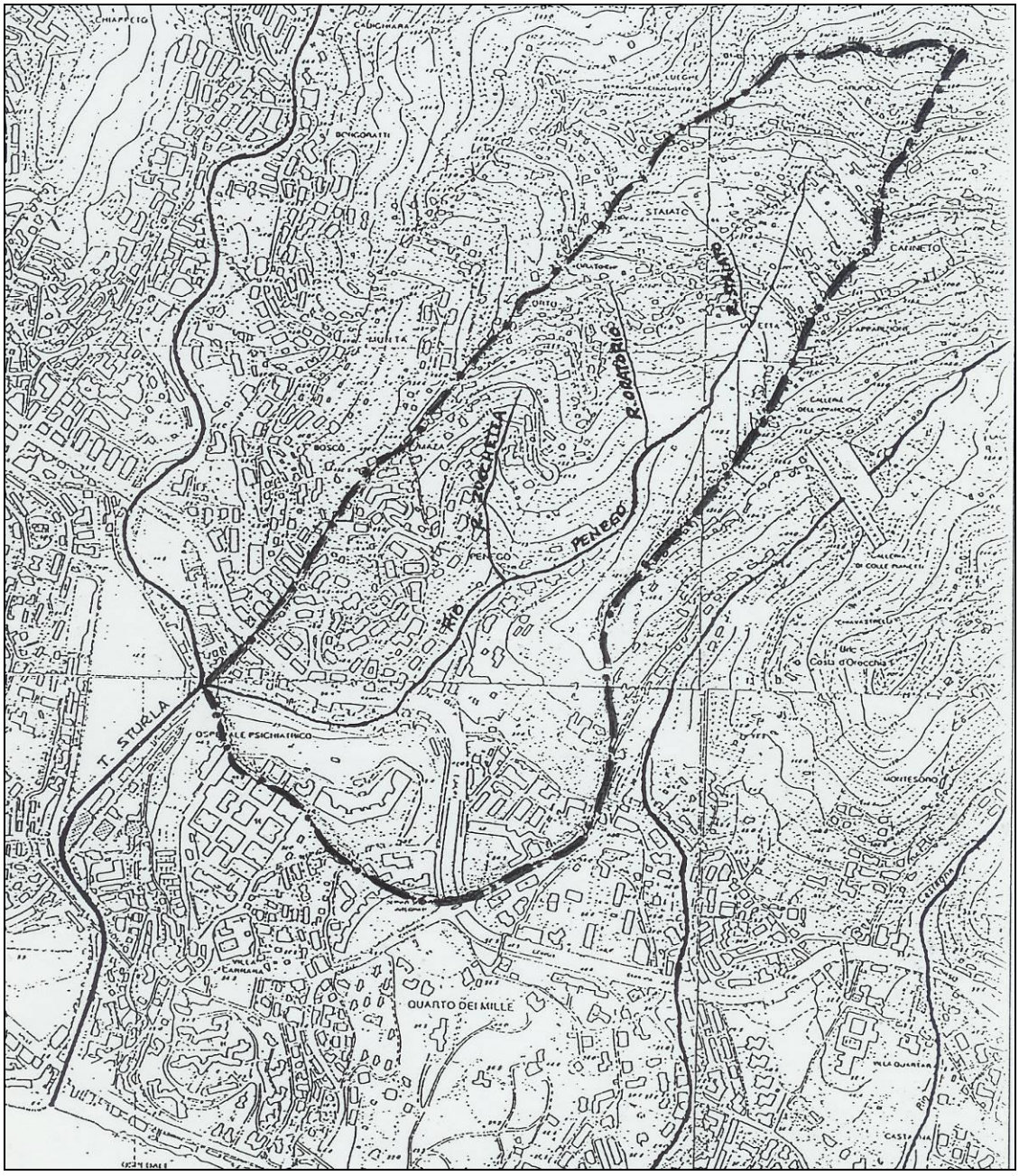


Figura 1 - Estratto CTR scala 1:10.000 – Perimetrazione del bacino imbrifero del rio Penego