

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI  
PROGETTO ESECUTIVO**

**Adeguamento S.P.161 della Crenna**

**Relazione Idraulica**

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	R I	N V 2 1 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	ITEC engineering 	17/09/2012	Ing. F. Colla 	19/09/2012	E. Pagani 	21/09/2012	Ing. E. Ghislandi 

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-RI-NV21-00-001-A00
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H9200000008



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00	Foglio 3 di 16

## INDICE

INDICE.....	3
1.   PREMESSA .....	4
2.   OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE .....	4
3.   RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO .....	4
4.   CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI .....	4
5.   INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI .....	5
6.   INTERVENTI PREVISTI .....	7
7.   METODOLOGIA DI CALCOLO.....	8
7.1.   Verifiche idrauliche globali .....	8
7.2.   Verifiche puntuali .....	11
7.3.   Analisi dei fenomeni di erosione .....	12
8.   VERIFICHE IDRAULICHE .....	13
8.1.   Portate di progetto .....	13
8.2.   Verifiche idrauliche.....	13
8.3.   Calcolo dell'erosione e dimensionamento delle opere di protezione .....	15
8.4.   Fase di cantiere .....	16
8.4.1.   Portate di verifica .....	16
8.4.2.   Verifiche idrauliche .....	16

ALLEGATO A1 – PLANIMETRIE CON INDICAZIONE ATTRAVERSAMENTI – STATO DI PROGETTO

ALLEGATO A2 – VERIFICHE IDRAULICHE TORRENTE NEIRONE

ALLEGATO A3 – VERIFICHE IDRAULICHE PUNTUALI

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-c00
	Foglio 4 di 16

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche delle interferenze idrauliche della strada provinciale SP n° 161 “della Crenna” che collega Serravalle Scrivia a Gavi, in provincia di Alessandria.

Lo studio è finalizzato alla verifica di compatibilità idraulica degli attraversamenti nell’ambito del progetto esecutivo Tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo valico dei Giovi, , Adeguamento S.P. 161 della Crenna.

Gli interventi consistono sostanzialmente nell’adeguamento dei manufatti di attraversamento esistenti lungo il tracciato stradale.

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) approvato dall’Autorità di Bacino del Fiume Po con DPCM del 24/5/01, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Le verifiche e il dimensionamento idraulico delle opere minori connesse alla viabilità stradale, interferenti con il reticolo idrografico del torrente Neirone, affluente di destra del torrente Lemme, appartenente al bacino del fiume Bormida, e con rivi minori, appartenenti al bacino del torrente Scrivia, sono state condotte mediante verifiche idrauliche a carattere puntuale.

Le verifiche idrauliche del t. Neirone in corrispondenza del ponte sulla SP 161 sono state condotte attraverso il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato nella configurazione attuale dell’alveo e nello stato di progetto, sia a breve che a lungo termine.

## 2. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE

In fase di approvazione del Progetto Definitivo del Terzo valico dei Giovi – linea AV/AC Milano-Genova – con delibera CIPE 80/2006 sono stati riportati nell’Annesso A raccomandazioni e interventi ulteriori indicati dalle Amministrazioni.

In particolare facendo riferimento al capitolo 4 – Corsi d’acqua viene richiesto l’approfondimento della sistemazione idraulica del ponte a progetto sul torrente Neirone.

In ottemperanza a quanto richiesto si è pertanto provveduto ad aggiornare i dimensionamenti e le verifiche delle opere di protezione spondali.

Inoltre nel capitolo 1 – Viabilità – paragrafo 1.h è stata richiesta la realizzazione di una pista ciclabile nel tratto di S.P. 161 compreso tra il ponte sul Neirone e la rotatoria stradale in prossimità del cimitero di Gavi. Nello sviluppo del Progetto esecutivo gli interventi sono stati integrati inserendo le opere richieste.

## 3. RISPONDEZZA AL PROGETTO DEFINITIVO

In ottemperanza a quanto richiesto in fase di approvazione del Progetto definitivo gli interventi a progetto sono stati integrati inserendo la pista ciclabile nel tratto di S.P. 161 compreso tra il ponte sul Neirone e la rotatoria stradale in prossimità del cimitero di Gavi.

In questo tratto di viabilità è stata individuata un’interferenza idraulica studiata nell’ambito del presente progetto esecutivo.

## 4. CARATTERISTICHE DEI CORSI D’ACQUA INTERFERENTI

Il tratto della SP 161 oggetto di verifica, compreso tra la località Libarna in Comune di Serravalle Scrivia ed il centro abitato di Gavi, presenta una prima parte di viabilità interessata da opere di adeguamento ed ha una lunghezza complessiva pari a 2.9 Km e si sviluppa in direzione NE-SO ed un secondo tratto interessato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 5 di 16</span>

esclusivamente da opere connesse alla realizzazione di una pista ciclabile parallela alla S.P. 161 di lunghezza pari a circa 1.7 km.

I bacini che interessano la zona in esame sono quelli del torrente Neirone e del torrente Scrivia e l'interferenza idraulica più significativa è rappresentata dal torrente Neirone in località Fabbrica in comune di Gavi.

Il torrente Neirone è un affluente di destra del torrente Lemme e in prossimità del ponte della strada provinciale SP 161 sottende un bacino di circa 9.9 Km<sup>2</sup> appartenente amministrativamente ai comuni di Carrosio e Gavi.

Il bacino presenta una forma allungata assimilabile ad un triangolo la cui base è orientata in direzione NO-SE e rappresenta lo spartiacque tra il bacino del torrente Scrivia e quello del torrente Lemme.

Esso è delimitato a E dal bacino del torrente Scrivia, a O da bacini minori affluenti del torrente Lemme, a S dal Rio Croso e a N dal Rio Pareto, appartenenti entrambi al reticolo idrografico del torrente Lemme.

La cima più alta è rappresentata dal Rocca Crovaglia, a quota 594 m s.l.m, all'estremità meridionale del bacino.

Il torrente Neirone ha origine dalla confluenza dei rii Rovereto e Pratulungo ed è caratterizzato da una serie di affluenti minori su entrambe le sponde che incidono il versante in direzione prevalentemente perpendicolare rispetto all'asta principale.

L'asta principale ha una lunghezza di circa 4.5 km, con una pendenza media pari al 2.5 % circa e prossima allo 0.5 % in corrispondenza del ponte della SP 161; la pendenza media dei versanti è pari al 15 % circa.

Il bacino risulta scarsamente urbanizzato; gli agglomerati urbani risultano prevalentemente concentrati nel fondovalle.

Il tracciato stradale, a partire dall'abitato di Voltaggio, è caratterizzato dalla presenza di 14 interferenze, numerate progressivamente, con il reticolo idrografico minore e relativi manufatti di attraversamento: le interferenze dalla n. 1 alla n. 6 ricadono nel bacino del torrente Scrivia; le rimanenti ricadono nel bacino del torrente Neirone.

I bacini sottesi da tali rivi minori variano tra 0.4 ha e 160 ha circa, con l'esclusione del torrente Neirone che alla sezione di interesse sottende un bacino di 9.9 km<sup>2</sup>.

I manufatti di attraversamento sono costituiti da tubazioni in calcestruzzo e da scatolari rettangolari o con volta a botte in cls o in mattoni.

In particolare il ponte esistente sul torrente Neirone ha una larghezza del piano viabile pari a 10 m e presenta all'imbocco una struttura ad arco di luce 6.5 m con altezza rispetto al fondo in corrispondenza della sua sommità di 3 m; allo sbocco ha invece una forma rettangolare di luce pari a 11 m dovuta a un successivo ampliamento.

Tutti i corsi d'acqua, con l'esclusione del torrente Neirone non risultano inseriti nell'elenco delle acque pubbliche e l'indagine catastale ha evidenziato che si tratta di corsi d'acqua "privati".

## 5. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI

La normativa idraulica di riferimento per il versante padano è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 ed approvato con DPCM del 24 maggio 2001, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Il PAI è sovraordinato a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti e costituisce la norma a cui attenersi per l'esecuzione di opere e infrastrutture che interferiscano con il reticolo idrografico.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00
	Foglio 6 di 16

Esso fornisce i valori delle portate di piena da assumere alla base delle verifiche idrauliche per alcune sezioni significative del reticolo idrografico padano; fornisce altresì le indicazioni per il calcolo delle portate di piena nelle sezioni non indagate sulla base delle curve di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno elaborate per tutto il territorio di competenza.

In conformità a quanto previsto dal PAI, il Comune di Gavi ha fatto redigere lo Studio idrologico-idraulico del torrente Neirone tra il ponte della SP 161 Gavi - Serravalle e il ponte in località Tassara di Sotto, approvato con Delibera del Consiglio Comunale n.8 del 20 /06/02 e inserito nel Piano Regolatore Generale Comunale.

Il PAI contiene inoltre i criteri a cui attenersi per il dimensionamento delle opere in funzione della tipologia e dei vincoli esistenti.

I criteri adottati nel dimensionamento idraulico delle opere tengono conto delle norme di attuazione del PAI e degli indirizzi e delle indicazioni emerse nel corso dei colloqui con il competente Ufficio provinciale del Genio Civile di Alessandria della Regione Piemonte.

Da un punto di vista generale, per quanto riguarda la viabilità, si distinguono i casi di adeguamento della viabilità esistente e di realizzazione di nuova viabilità.

Nei casi in cui l'adeguamento della viabilità esistente, pur se a raso, si limita ad un semplice intervento di manutenzione senza interferenze con l'attuale assetto idraulico dell'alveo e delle aree adiacenti, non è prevista alcuna sistemazione idraulica, anche se l'intervento dovesse ricadere in area inondabile.

Nei casi in cui tale adeguamento comporti invece la realizzazione di opere interferenti con il corso d'acqua e/o con le sponde (muri di sostegno, argini, sbalzi ecc.), e nei casi di realizzazione di nuovi tratti di viabilità e/o nuovi attraversamenti, l'intervento previsto, pur nel rispetto dei vincoli imposti dalla progettazione stradale, è stato comunque orientato a garantire il deflusso della portata 200-ennale in condizioni di sicurezza lungo tutto il tronco del corso d'acqua interessato, anche attraverso una nuova sistemazione dell'alveo e delle sponde.

Da un punto di vista generale le sistemazioni idrauliche sono limitate allo stretto necessario alla funzionalità dell'opera nel rispetto dell'attuale configurazione dei corsi d'acqua interferenti; si è verificato che gli interventi non comportassero in nessun caso restringimenti di alveo e non inducessero in generale effetti peggiorativi sul regime idraulico del corso d'acqua, con particolare riferimento agli effetti indotti sulla sponda opposta.

Al fine di preservare le opere dai possibili fenomeni erosivi della corrente, le fondazioni dei muri d'argine e delle opere in alveo in genere quali briglie, spalle e pile dei ponti, sono impostate ad una quota adeguatamente inferiore alla quota minima del fondo alveo (Talweg) e, quando necessario, protette con strutture elastiche quali scogliere di massi naturali, materassi tipo "Reno" o gabbioni, mantenendo per quanto possibile la naturalità dell'alveo e delle sponde.

Lungo i tratti di viabilità di cui è previsto l'adeguamento è stata effettuata la verifica idraulica dei manufatti di attraversamento esistenti al fine di individuare quelli ritenuti sufficienti al deflusso della portata 200-ennale, che possono pertanto essere mantenuti, e quelli di cui è opportuno prevedere il rifacimento perché insufficienti.

Il criterio adottato è quello di un franco minimo di 0.5 m rispetto all'intradosso per ponti, ponticelli e scatolari per i corsi d'acqua significativi (con superficie del bacino sotteso superiore a 0.2 Km<sup>2</sup>) e di un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 per i manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua minori (superficie del bacino inferiore a 0.2 Km<sup>2</sup>).

Nel caso di nuova viabilità a raso è stato adottato ovunque un franco rispetto al deflusso della portata di piena 200-ennale di 1.0 m rispetto al piano viabile anche in presenza di un'eventuale struttura a sbalzo.

Nel caso di nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua significativi si è preferito anche in questo caso, ove possibile, l'adozione di struttura a campata unica senza ingombri in alveo; il franco minimo rispetto all'intradosso è stato assunto pari a 1.0 m e comunque non inferiore alla metà del carico cinetico della corrente; in accordo a quanto indicato nel P.A.I. tale valore deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia orizzontale e comunque per almeno 40 m nel caso di luci superiori a tale

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 7 di 16</span>

valore; nel caso di ponti e ponticelli si è assunto comunque un valore minimo dell'altezza libera di 2 m; per gli scatolari si è assunta una dimensione minima di 2x2 m.

Per i corsi d'acqua secondari, in mancanza di specifiche indicazioni contenute nel P.A.I. o fornite direttamente dagli Uffici tecnici competenti, si è assunta quale dimensione minima dei manufatti di attraversamento una tubazione Ø 1000.

## 6. INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi consistono sostanzialmente nell'adeguamento dei manufatti di attraversamento esistenti lungo il tracciato stradale della S.P. n° 161 della Crenna nel tratto che collega Serravalle a Gavi.

Il tracciato stradale, a partire dalla località di Libarna in Serravalle, con esclusione del ponte sul torrente Neirone, è caratterizzato dalla presenza di 14 interferenze con il reticolo idrografico minore e relativi manufatti di attraversamento suddivisi tra due bacini idrografici: 6 nel bacino del t. Scrivia e i rimanenti nel bacino del t. Neirone.

Su un totale di 14 attraversamenti in 2 casi non è verificata la condizione di deflusso della portata al colmo di piena, comprensiva del franco minimo richiesto.

In particolare non risultano verificate 2 condotte DN 800 (attraversamenti T14 e T22): l'attraversamento T14 sarà sostituito con una tubazione Ø 1500 mentre il T22 con uno scatolare di sezione 2 x 1.5 m.

Per conseguire l'allargamento della carreggiata stradale, ove necessario, si prevede lo spostamento di 3 tratti del canale presente alla sinistra della SP 161, procedendo in direzione Gavi; tali tratti sono caratterizzati da 4 differenti sezioni di deflusso aventi forma trapezoidale con base minore variabile tra 0.5 e 2.5 m, altezza delle sponde compresa tra 1.5 e 2.5 m e inclinazione delle sponde pari a circa 40°.

Il progetto della nuova viabilità prevede inoltre la demolizione dell'attuale ponte sul torrente Neirone e di parte del rilevato di accesso in sponda destra e la successiva ricostruzione con conseguente allargamento della sezione di deflusso.

L'opera d'arte in progetto ha una luce da spalla a spalla di 18 m ed una larghezza complessiva del piano viabile di 14 m.

La luce libera rispetto all'alveo di magra del torrente Neirone è pari a 3.7 m.

E' prevista la protezione delle sponde, a monte e a valle del ponte, con una scogliera in massi naturali di seconda categoria, del peso da 1 a 3 tonnellate, e altezza variabile tra 1 e 3 m che si raccorderà con l'alveo attuale, per una lunghezza complessiva dell'intervento sul torrente di circa 150 m; le fondazioni delle spalle del ponte saranno protette mediante posa sul fondo alveo di massi della stessa categoria.

A valle del ponte sul t. Neirone, in sponda sinistra, verrà realizzata una pista di accesso in alveo.

La sistemazione prevista nel presente progetto risulta conforme a quanto indicato dallo Studio idrologico-idraulico del t. Neirone redatto per conto del Comune di Gavi, che prevede la sistemazione dell'alveo con sezioni di forma trapezoidale aventi dimensioni minime di 16 m di base minore, 20 m di base maggiore e 3 m di altezza.

In corrispondenza del secondo tratto di viabilità, compreso tra l'attraversamento sul torrente Neirone e la rotatoria stradale all'ingresso di Gavi, è prevista la realizzazione di una pista ciclabile parallela alla strada esistente. In questo tratto sono presenti alcuni fossi interferenti in parte sia con la S.P. 161 che con la nuova pista ciclabile mediante attraversamenti trasversali e in parte solo con la futura pista ciclabile. Tali fossi interferenti sono, per la maggior parte dei casi, equiparabili al sistema di smaltimento di acque di piattaforma, piuttosto che appartenenti al reticolo idrografico significativo, in questo caso poiché la superficie del bacino di

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00
	Foglio 8 di 16

competenza risulta poco significativa e non facilmente determinabile, si è proceduto garantendo il mantenimento delle attuali capacità di deflusso.

In particolare si prevede di garantire un diametro minimo pari a quello esistente nel caso di fossi in attraversamento alla S.P. 161 e alla pista ciclabile, mentre per quanto riguarda i tratti di canalizzazione esistente in parallelismo alla suddetta viabilità di cui si rende necessario il tombinamento per la realizzazione della nuova pista ciclabile si prevede ovunque la collocazione di tubazioni DN 600, maggiori di quelle esistenti (DN500).

In questo tratto di viabilità è presente un unico attraversamento di un rivo minore affluente di sinistra del rio Neirone. L'attraversamento esistente è costituito da un ponticello ad arco con sezione di larghezza pari a 4.5 m e altezza pari a 2.4 m, si prevede l'ampliamento del ponte esistente. Il nuovo impalcato presenta larghezza tra le due spalle di circa 7 m e quota minima dell'intradosso maggiore della quota massima del manufatto esistente.

## 7. METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche dei vari tronchi d'alveo esaminati sono state condotte secondo due tipi d'approccio, uno a carattere più esteso, riferito al tratto d'alveo nel suo insieme, e l'altro a carattere locale, riferito ad un singolo manufatto o una singola sezione.

Le verifiche di tipo esteso hanno riguardato i tratti dei corsi d'acqua di maggior rilevanza per i quali si disponeva di un rilievo sufficientemente esteso dell'asta.

Le verifiche di tipo locale hanno riguardato singole sezioni in prossimità di ponti e tombinature lungo i tratti medio vallivi dei corsi d'acqua minori e lungo i tratti dei rivi principali per i quali non sia stato possibile effettuare altri tipi di verifiche.

Per quanto riguarda le caratteristiche dimensionali dell'alveo e dei manufatti con esso interferenti, si è fatto riferimento ad una serie di rilievi topografici, effettuati nell'ambito dell'attività di indagine propedeutica alla progettazione definitiva degli interventi.

I rilievi di dettaglio sono stati integrati, ove necessario, con la cartografica tecnica disponibile e con una serie di rilievi diretti in sito effettuati nel corso dei sopralluoghi di ricognizione

Si è anche provveduto alla verifica dei fenomeni di erosione in alveo dovuta alla presenza di elementi rigidi o ad elementi di protezione delle sponde e del fondo alveo.

### 7.1. Verifiche idrauliche globali

Le verifiche idrauliche di tipo globale sono state effettuate mediante l'ausilio di un *software*<sup>1</sup> per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove  $H_1[m]$  ed  $H_2[m]$  sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f[m]$  sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre  $h_e[m]$  è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

<sup>1</sup>. HEC-RAS, Haestad Methods Inc. - Waterbury USA



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00	Foglio 9 di 16

In particolare  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con  $j_f$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L[m]$ .

Il calcolo di  $j_f$  è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice  $J$  in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove  $A[m^2]$  l'area della sezione liquida,  $R[m]$  il raggio idraulico e  $n[m^{-1/3} s]$  è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il termine  $h_e$  dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_1$  e  $V_2 [m/s]$  sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00
	Foglio 10 di 16

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita attraverso la luce di area  $A[m^2]$ ,  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e  $C$  è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita sulla soglia di larghezza  $L[m]$  e  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e  $C$  è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

La verifica del nodo di confluenza è eseguita mediante l'applicazione del teorema della quantità di moto.

In particolare è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione generale:

$$F_e + G = M_u - M_e$$

dove  $F_e$  è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo,  $G$  è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso),  $M_u$  ed  $M_e$  le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

La metodologia di calcolo è applicabile al caso specifico di due rami che confluiscono in un terzo alla confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo di incidenza  $\alpha$  rispetto alla direttrice principale di deflusso.

Il volume di controllo è individuato dalle due sezioni poste a monte della confluenza (individuate dai pedici 1 e 2 rispettivamente) ed una posta a valle (pedice 3).

Proiettando l'equazione della quantità di moto secondo l'asse del corso d'acqua di valle, che forma un angolo  $\alpha_{1-2}$  e  $\alpha_{1-3}$  con gli assi dei due corsi d'acqua a monte, vale la relazione:

$$(my + mq)_3 = (my + mq)_1 \cdot \cos \alpha_{1-3} + (W - F_f)_{1-3} + (my + mq)_{2-3} \cdot \cos \alpha_{2-3} + (W - F_f)_{2-3}$$

avendo indicato con:

$my = A \cdot Y =$  prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso.

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

$F_f =$  forza dovuta all'attrito sul fondo e sulle pareti.

$W_x =$  forza peso nella direzione del flusso.

Ai fini della risoluzione dell'equazione dei momenti sono state fatte le seguenti assunzioni:

- rigurgito in corrente lenta con profondità del pelo libero nota nella sezione di valle;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00	Foglio 11 di 16

- uguaglianza tra le quote del pelo libero nelle sezioni di monte del corso d'acqua principale e in quella dell'affluente;
- calcolo delle componenti di attrito e del peso come media pesata dei valori tra le sezioni di monte del corso d'acqua principale, dell'affluente e di valle, in funzione delle portate e dell'angolo di incidenza.

## 7.2. Verifiche puntuali

Le verifiche idrauliche sono state condotte secondo un tipo d'approccio a carattere locale riferito ad un singolo manufatto o una singola sezione.

In assenza di variazioni significative della forma e delle dimensioni dell'alveo sono state determinate le caratteristiche della corrente in condizioni di moto uniforme mediante la formulazione di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i_f}$$

dove  $Q$  [ $m^3/s$ ] è la portata,  $\chi$  [ $m^{1/2} s^{-1}$ ] il coefficiente di attrito,  $A$  [ $m^2$ ] l'area della sezione liquida,  $R$  [ $m$ ] il raggio idraulico,  $i_f$  la pendenza dell'alveo.

Le pendenze medie dell'alveo sono state calcolate sulla base dei rilievi di dettaglio o sulla base cartografica disponibile alle diverse scale.

Per il calcolo di  $\chi$  è stata adottata la formula di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

dove  $n$  [ $m^{-1/3} s$ ] è il coefficiente dimensionale di scabrezza definito in funzione della natura dell'alveo.

La determinazione della profondità di moto uniforme è stata effettuata per pendenze del fondo sino al 10%, considerato il valore limite per l'applicabilità del metodo.

In mancanza di informazioni sulla pendenza del fondo e in casi particolari quali ad esempio le tombature realizzate al di sotto di rilevati e/o discariche di materiali inerti, anche in presenza di pendenze significative, è stata comunque calcolata la profondità critica corrispondente al minimo contenuto energetico della corrente.

Le condizioni critiche sono state determinate imponendo uguale a 1 il numero di Froude della corrente:

$$\frac{Q}{A} = \sqrt{g \cdot \frac{A}{b}}$$

dove  $Q$  [ $m^3/s$ ] è la portata,  $A$  [ $m^2$ ] l'area e  $b$  [ $m$ ] la larghezza del pelo libero,  $g$  [ $m/s^2$ ] l'accelerazione di gravità.

Nel caso di sezioni rettangolari è possibile calcolare direttamente la profondità critica  $Y_c$  [ $m$ ] mediante la

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \cdot \left(\frac{Q}{b}\right)^2}$$

In presenza di restringimenti dovuti alla particolare conformazione dell'alveo o alla presenza di manufatti artificiali, si è ipotizzato il moto con transizione attraverso lo stato critico all'interno della sezione ristretta ed è stata calcolata la profondità nella sezione di monte dovuta al rigurgito in corrente lenta.

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo della formula di Marchi, valida per sezioni rettangolari:

$$Y_m = K \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b_m^2 \cdot F_L^2}}$$

dove  $K$  è un fattore di forma,  $b_m$  [ $m$ ] è la larghezza della sezione di monte e  $F_L$  è il valore del numero di Froude limite tabulato in funzione del rapporto di restringimento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 12 di 16</span>

Il valore di K è stato assunto per tutte le verifiche uguale a 1.14, corrispondente alla situazione più sfavorevole di pile con fronti squadrati.

### 7.3. Analisi dei fenomeni di erosione

#### Erosioni in alveo

Ai fini della valutazione dell'erosione in alveo dovuta alla presenza di elementi rigidi (platee, fondazioni di argini, briglie ecc.) si fa riferimento al caso più significativo del deflusso attraverso una soglia a stramazzo (o briglia). Per la determinazione della massima profondità di erosione al piede si è fatto riferimento alla formula di Schoklitsch<sup>2</sup>, alla base di tutti i successivi studi di settore, espressa nella seguente forma:

$$y_s = 4.75 \cdot H^{0.2} \cdot q^{0.57} \cdot d_{90}^{-0.32} - y_0$$

dove  $H[m]$  è la differenza fra i peli liberi a monte e a valle della briglia,  $q[m^2/s]$  è la portata per unità di larghezza della briglia,  $d_{90}[mm]$  è il diametro del vaglio che consente il passaggio del 90% in peso del materiale che costituisce il fondo e  $y_0[m]$  è la profondità della corrente a valle della briglia.

#### Opere di protezione in massi naturali

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, quali le scogliere in pietrame sciolto, gabbioni, o materassi Reno, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media  $v$ .

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica  $v_{cr}$  che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente  $d$  della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione

$$v_{cr} = k \cdot d^{0.5}$$

con  $v_{cr}$  espresso in m/s e  $d$  in metri.

Il coefficiente  $k$  assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale si assume per  $k=5^3$ .

Quando  $k$  supera il valore di 8 si determinano le condizioni di movimento del singolo masso: pertanto, per il dimensionamento di massi cementati sul fondo dell'alveo, cautelativamente si assume un valore di  $k$  pari a 8.

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo  $d$ , si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

La velocità che interessa è quella al fondo: nel caso in cui il battente idrico sia molto maggiore della dimensione del materiale la velocità al fondo può essere assunta pari al 75% della velocità media; nel caso in cui invece la dimensione del materiale sia confrontabile con la profondità della corrente è bene assumere come velocità al fondo la velocità media.

Analogamente alle soluzioni con massi naturali, sarà possibile fare ricorso a sistemi di gabbioni di dimensioni tali da garantire i pesi corrispondenti ai dimensionamenti precedentemente indicati, privilegiando la dimensione standard 1.0x1.0x2.0 m o materassi reno di spessore pari a 0.5 m.

<sup>2</sup> A.Schoklitsch: Kolkbildung unter Überfallstrahlen, Die Wassewirtschaft (1932)

A. Schoklitsch: Stauraumverlandung und Kolkabwehr, Julius Springer, Wien (1935)

<sup>3</sup> L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 13 di 16</span>

## 8. VERIFICHE IDRAULICHE

### 8.1. Portate di progetto

Con riferimento allo Studio Idrologico al quale si rimanda per ogni indicazione di dettaglio circa la metodologia di analisi e di calcolo adottata, Per il torrente Neirone la portata con tempo di ritorno 200 anni risulta pari a 185 m<sup>3</sup>/s, valore coincidendo con quello indicato nel citato Studio del Comune di Gavi.

Per i corsi d'acqua minori interferenti, la portata di progetto è stata determinata applicando la formula razionale come previsto dal PAI: i risultati sono riportati nella Relazione idrologica.

### 8.2. Verifiche idrauliche

Ponte sul torrente Neirone in località Fabbrica nel comune di Gavi.

Le verifiche idrauliche del t. Neirone in corrispondenza del ponte sulla SP 161 sono state condotte attraverso il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato nella configurazione attuale dell'alveo e nello stato di progetto di sistemazione della zona circostante il ponte e di sistemazione definitiva, come indicata nello Studio redatto per il comune di Gavi.

Le informazioni di carattere topografico ai fini della verifica sono state desunte da un rilievo plano-altimetrico dell'alveo e delle aree adiacenti eseguito nell'ambito del progetto generale.

Lungo l'asta del corso d'acqua sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate dalla 0.1 alla 13, in funzione delle caratteristiche plano altimetriche del fondo, delle sponde e del ponte attuale e di progetto. Nelle sezioni di calcolo del profilo quale quota di riferimento della sommità degli argini è stata assunta, quando presente, quella del piano viabile delle strade adiacenti.

Le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali.

Ai fini del calcolo è stato assunto un valore del coefficiente di scabrezza equivalente  $n$  pari a 0.03 corrispondente alla situazione di alveo naturale con presenza di ciottoli e ghiaia, sezioni di forma sostanzialmente regolare, presenza di ostruzioni in alveo quali pile di ponti, basamenti di tralicci ecc., scarsa presenza di vegetazione.

A favore di sicurezza si è preferito integrare i profili di rigurgito per la sola corrente lenta da valle verso monte, imponendo come condizione al contorno la profondità critica nella sezione di valle assunta come sezione di controllo.

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica per ciascuna configurazione esaminata nei seguenti elaborati riportati in Allegato A2:

Stato attuale:

- Schema planimetrico dell'alveo con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo in scala 1:1000 – 1:200;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1500/1:100 per la portata 200-ennale e per  $Q=70$  m<sup>3</sup>/s;
- Tabelle riassuntive dei risultati;

Stato di progetto – sistemazione ponte:

- Schema planimetrico dell'alveo con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo in scala 1:1000 – 1:100;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1500/1:100 per  $Q=80$  m<sup>3</sup>/s;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 14 di 16</span>

- Tabella riassuntiva dei risultati;
- Stato di progetto – sistemazione definitiva secondo quanto previsto dal Comune di Gavi:
- Profilo di rigurgito in scala 1: 1:1500/1:100 per la portata 200-ennale;
  - Tabella riassuntiva dei risultati;
- Confronto attuale / progetto – sistemazione ponte:
- Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:200/1:100 con l'indicazione delle quote del pelo libero.

Di seguito si riporta una descrizione dei risultati delle verifiche per le tre configurazioni esaminate.

#### Stato attuale

La verifica dell'attuale ponte sul torrente Neirone mostra che lo stesso risulta gravemente insufficiente, come evidenziato anche nello Studio redatto dal Comune di Gavi.

Il restringimento di sezione dovuto all'imbocco dell'attuale ponte genera sul t. Neirone un rigurgito in corrente lenta verso monte con altezze del pelo libero comprese tra 7 e 8 m e velocità tra 2 e 2.6 m/s.

Il livello di piena 200-ennale, è superiore alle quote della strada per tutto il tratto oggetto di verifica, con altezza variabili tra 0.5 e 4 m.

La massima portata smaltibile, senza che il pelo libero lambisca l'impalcato dell'attuale ponte, è pari a 70 m<sup>3</sup>/s.

Per tale portata il deflusso attraverso il ponte avviene in corrente lenta, con quota del pelo libero inferiore a quella dell'impalcato del ponte; il livello risulta inferiore alle quote del piano viabile in sponda sinistra.

#### Stato di progetto – sistemazione ponte

Si prevede, oltre che la sostituzione del attuale ponte con una nuova struttura di lunghezza da spalla a spalla pari a 18 m e luce libera rispetto all'alveo di magra del torrente pari a 3.7 m, la sistemazione dell'alveo a monte e a valle del manufatto con dimensioni conformi a quanto indicato dal già citato Studio del t. Neirone.

La lunghezza complessiva dell'intervento, che si raccorda con l'alveo attuale, è pari a circa 150 m.

La massima portata smaltibile con quote inferiori al piano viabile risulta pari a 80 m<sup>3</sup>/s.

Per tale portata il deflusso attraverso il nuovo ponte avviene con velocità pari a circa 1.5 m/s e profondità della corrente pari a circa 3.1 m.

I franchi di sicurezza rispetto alla quota della viabilità spondale, a monte del ponte, risultano compresi tra 0.5 e 2.0 m e il franco rispetto all'intradosso è pari a circa 0.5 m.

Gli interventi previsti nell'ambito di tale sistemazione non risultano risolutori delle insufficienze idrauliche presenti, ma si integrano nella futura sistemazione complessiva prevista dal Comune di Gavi.

#### Stato di progetto – sistemazione definitiva secondo quanto previsto dal Comune di Gavi

Lo studio idrologico-idraulico del t. Neirone redatto dal Comune di Gavi prevede un allargamento dell'alveo per un tratto che comprende quello oggetto di intervento nel presente progetto.

Lo Studio prevede che la sezione dell'alveo sia sistemata con dimensioni minime pari a larghezza alla base di 16 m, altezza di 3 m e larghezza alla sommità di 20 m.

Con tale sistemazione il deflusso attraverso il nuovo ponte avviene con velocità pari a circa 4.3 m/s e profondità della corrente pari a circa 2.4 m.

In tali condizioni il franco rispetto all'intradosso del nuovo ponte risulta superiore a 1 m.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 15 di 16</span>

### Attraversamenti minori

Nelle verifiche idrauliche a carattere puntuale è stato assunto un valore  $n [m^{-1/3}s]$  del coefficiente dimensionale di scabrezza pari a 0.02 per le opere in calcestruzzo e 0.03 per gli alvei naturali regolari in terra o rivestiti con pareti di cemento solo in parte intonacate o con muratura irregolare, con depositi al fondo.

Sono stati assunti idraulicamente adeguati le tubazioni con un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 e i manufatti con un franco superiore a 0.5 m rispetto all'intradosso.

In tabella dell'allegato A3, per ciascun attraversamento sono indicate la tipologia, le caratteristiche geometriche attuali, la portata, l'altezza di moto uniforme, il rapporto d'invaso, la velocità e il numero di Froude.

I risultati delle verifiche idrauliche dei manufatti di attraversamento sono riportati sinteticamente in tabella Verifiche idrauliche.

Nei casi in cui la verifica idraulica non risulta soddisfatta sono altresì indicati la tipologia e le dimensioni del nuovo attraversamento. In questa fase si è proceduto nel dimensionamento delle nuove opere imponendo una pendenza massima del 5 % in modo tale da contenere le velocità entro valori tali da garantire il regolare funzionamento degli attraversamenti.

Complessivamente su un totale di 13 attraversamenti, escludendo il ponte sul t. Neirone, in 2 casi, attraversamenti T14 e T22, non è verificata la condizione di deflusso della portata al colmo di piena, comprensiva del franco minimo richiesto.

Per l'attraversamento T14 si prevede la sostituzione con una condotta  $\varnothing$  1500 e pendenza del 5%, l'attraversamento T22 sarà realizzato con uno scatolare di sezione 2 x 1.5 m e pendenza pari al 5 %.

Come già visto nel tratto terminale dell'intervento in cui si prevede la realizzazione di una pista ciclabile è presente il ponte P05 (attraversamento del rio 14), la portata 200-ennale del rio 14 è pari a circa 50 m<sup>3</sup>. tale portata defluisce in corrispondenza del manufatto esistente, che presenta dimensioni pari a circa 4.2 x 2.4 m, con un'altezza idrica pari a 1.65 m, cui corrisponde un grado di riempimento del 70%, il nuovo tratto di ponte a progetto prevede una sezione di circa 7 m di larghezza e altezza paragonabile a quella esistente, in questo caso la portata defluisce con un'altezza idrica di 1.1 m cui corrisponde un grado di riempimento del 46% ed un franco superiore a 1 m.

## **8.3. Calcolo dell'erosione e dimensionamento delle opere di protezione**

Per la sistemazione del t. Neirone in corrispondenza del ponte sulla SP 161 si è provveduto a dimensionare le opere di protezione spondali secondo la metodologia proposta nel paragrafo 5.3.

Assumendo un valore della velocità critica pari alla velocità media nel tratto in corrispondenza del ponte, pari a circa 4.5 m/s, riferita alla portata 200-ennale, e con la sistemazione prevista dal Comune di Gavi, si ottiene un peso minimo del singolo masso pari a circa 0.7 tonnellate.

Nel caso di massi cementati, assumendo  $k=8$ , si ottiene una diametro medio pari a circa 0.5 m, a cui corrisponde il peso minimo del singolo masso pari a circa 160 kg.

Per valutare l'erosione intorno alle spalle del ponte, si assumono i seguenti valori caratteristici della relativi alla portata 200-ennale nella sezione di monte: velocità pari a 3.56 m/s, profondità pari a circa 2.7 m e numero di Froude pari a 0.98.

Avendo la spalla una lunghezza proiettata ortogonalmente alla corrente pari a 1 m, un'inclinazione di 90° ( $k_2 = 1$ ) sia rispetto al fondo alveo che rispetto alla corrente, essendo raccordata alle sponde mediante muri d'ala in

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00
	Foglio 16 di 16

scogliera ( $k_1 = 0.82$ ) e considerando un fattore di riduzione per le successive fasi di erosione e deposito pari al 40%, risulta che la massima altezza di erosione intorno alle spalle è pari a 2.12 m.

Conseguentemente l'estradosso della fondazione della spalla del ponte dovrebbe essere almeno 2.15 m al di sotto del talweg: è possibile accettare profondità di posa minori proteggendo le fondazioni mediante la posa sul fondo alveo di massi naturali dimensionati per resistere alla spinta della corrente (si vedano precedenti considerazioni); tale altezza può essere pertanto ridotta al diametro del masso stesso.

## 8.4. Fase di cantiere

La costruzione del nuovo ponte sul torrente Neirone richiede la realizzazione di opere provvisorie in alveo per garantire la continuità del traffico e la protezione delle aree di cantiere.

Con riferimento alle fasi di cantierizzazione previste, le attività che presentano interferenza con il corso d'acqua risultano le seguenti:

- fase 3: realizzazione della viabilità provvisoria con attraversamento del torrente Neirone mediante tubazione in acciaio tipo ARMCO – Finsider  $\varnothing$  4050 mm
- fase 4: realizzazione della spalla in sponda destra in posizione esterna rispetto all'attuale
- fase 5: realizzazione spalla in sponda sinistra con deviazione provvisoria del torrente mediante realizzazione di argine provvisorio a monte della spalla del ponte esistente e incanalamento del corso d'acqua fra la spalla del ponte esistente e la nuova spalla in sponda destra.

Le arginature provvisorie necessarie all'esecuzione dei lavori in alveo sono previste in materiale sciolto, facilmente movimentabile dalle correnti idriche che dovessero sormontare gli argini stessi eliminando di fatto la parziale ostruzione rappresentata da tali opere.

Per i dettagli delle opere sommariamente sopra descritte si rimanda agli appositi elaborati grafici di progetto.

Per tutta la durata del cantiere in alveo sarà attivato un sistema di allarme ed in caso di diramazione di allerta meteorologica degli enti (Arpa Piemonte) si provvederà a rimuovere i mezzi ed i macchinari presenti in alveo e sarà inoltre garantito un presidio.

Per il caso in esame, la condizione idraulicamente più gravosa è quella corrispondente alla fase 5.

### 8.4.1. Portate di verifica

Le verifiche idrauliche relative alle fasi di cantiere che prevedono lavorazioni in alveo sono state eseguite con il valore di portata pari a  $70 \text{ m}^3/\text{s}$ , corrispondente al valore massimo attualmente contenuto in alveo nelle sezioni di interesse.

### 8.4.2. Verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche sono state condotte con le stesse metodologie utilizzate per le verifiche di progetto.

In questa fase le sezioni idrauliche sono state definite rispetto allo stato attuale dell'alveo in presenza delle arginature e delle opere provvisorie.

Si è inoltre provveduto ad individuare la portata massima contenuta entro le arginature provvisorie.

Dall'analisi dei risultati si evidenzia quanto segue:

- fase 3: la tubazione adottata garantisce il transito di una portata pressoché corrispondente a quella massima transitabile attualmente con un incremento di livello di massima piena;
- fase 4: la situazione rimane pressoché invariata rispetto allo stato attuale in quanto gli interventi vengono realizzati alle spalle delle attuali strutture che delimitano l'alveo;
- fase 5: per la realizzazione della spalla sinistra occorre restringere e deviare temporaneamente l'alveo; la portata massima transitabile risulta pari a circa  $45 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $y \approx 1 \text{ m}$ ,  $v = 3.5 \text{ m/s}$ ) a cui è associabile una frequenza di accadimento di più volte all'anno.



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00.doc

Foglio

**ALLEGATO A3**  
**VERIFICHE IDRAULICHE PUNTUALI**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Costruzioni Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	ig51-01-e-cv-ri-nv21-00-001-a00.doc	Foglio

### ELENCO ELABORATI ALLEGATO A3

- Verifiche idrauliche
- Scala di deflusso

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Diametro interno** **800** mm

**Raggio** **R** = **0.4** **m**

**Scabrezza** **n** = **0.02** **m<sup>0.33</sup>/s**

**Attraversamento 9**

**Stato attuale**

**Pendenza fondo** **if** = **0.02** **m/m**

Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Angolo al centro	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude
Y	Y/D	alfa	P	A	R	b	Q	V	Hc	H	Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.14
0.20	0.25	2.09	0.84	0.10	0.12	0.69	0.17	1.69	0.146	0.346	1.44
0.40	0.50	3.14	1.26	0.25	0.20	0.80	0.61	2.42	0.298	0.698	1.38
0.60	0.75	4.19	1.68	0.40	0.24	0.69	1.11	2.74	0.383	0.983	1.15
0.80	1.00	6.28	2.51	0.50	0.20	0.00	1.22	2.42	0.298	1.098	0.05

**Attraversamenti 1, 8, 10 e 11**

**Stato attuale**

**Pendenza fondo** **if** = **0.05** **m/m**

Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Angolo al centro	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude
Y	Y/D	alfa	P	A	R	b	Q	V	Hc	H	Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.23
0.20	0.25	2.09	0.84	0.10	0.12	0.69	0.26	2.68	0.366	0.566	2.27
0.40	0.50	3.14	1.26	0.25	0.20	0.80	0.96	3.82	0.745	1.145	2.18
0.60	0.75	4.19	1.68	0.40	0.24	0.69	1.75	4.33	0.957	1.557	1.81
0.80	1.00	6.28	2.51	0.50	0.20	0.00	1.92	3.83	0.746	1.546	0.07

**Adeguamento SP 161 della Crenna**Tabella : **Scala di deflusso sezione circolare****Attraversamento 12 Stato attuale****Diametro interno**                                 **800**   mm**Raggio**   **R**        =        **0.4**    **m****Scabrezza**                                    **n**        =        **0.02**   **m<sup>0.33</sup>/s****Pendenza fondo**                          **if**        =        **0.1**    **m/m**

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Angolo al centro alfa [rad]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [m <sup>3</sup> /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.32
0.20	0.25	2.09	0.84	0.10	0.12	0.69	0.37	3.79	0.732	0.932	3.21
0.40	0.50	3.14	1.26	0.25	0.20	0.80	1.36	5.41	1.490	1.890	3.08
0.60	0.75	4.19	1.68	0.40	0.24	0.69	2.48	6.13	1.915	2.515	2.56
0.80	1.00	6.28	2.51	0.50	0.20	0.00	2.72	5.41	1.492	2.292	0.10

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Attraversamento 2 Stato attuale**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>	<b>=</b>	<b>1</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>2</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.05</b>	<b>m/m</b>

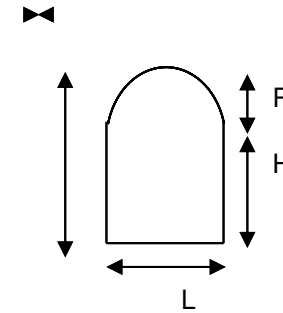
Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.08
0.20	0.10	1.40	0.20	0.14	1.00	0.61	3.06	0.476	0.676	2.18
0.40	0.20	1.80	0.40	0.22	1.00	1.64	4.10	0.858	1.258	2.07
0.60	0.30	2.20	0.60	0.27	1.00	2.82	4.70	1.127	1.727	1.94
0.80	0.40	2.60	0.80	0.31	1.00	4.08	5.10	1.323	2.123	1.82
1.00	0.50	3.00	1.00	0.33	1.00	5.37	5.37	1.472	2.472	1.72
1.20	0.60	3.40	1.20	0.35	1.00	6.70	5.58	1.589	2.789	1.63
1.40	0.70	3.80	1.40	0.37	1.00	8.04	5.75	1.683	3.083	1.55
1.60	0.80	4.20	1.60	0.38	1.00	9.40	5.88	1.759	3.359	1.48
1.80	0.90	4.60	1.80	0.39	1.00	10.77	5.98	1.823	3.623	1.42
2.00	1.00	5.00	2.00	0.40	1.00	12.14	6.07	1.878	3.878	1.37

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare-semicircolare**

**Attraversamento 3 Stato attuale**

<b>Larghezza</b>	<b>L</b>	<b>=</b>	<b>0.7</b>	<b>m</b>
<b>Altezza parte rettangolare</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>1.15</b>	<b>m</b>
<b>Raggio parte superiore</b>	<b>R</b>	<b>=</b>	<b>0.35</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.1</b>	<b>m/m</b>



Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Coefficiente di Chezy	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude
Y [m]	Y/Htot [-]	P [m]	A [mq]	R [m]	b [m]	C [-]	Q [m3/s]	V [m/s]	Hc [m]	H [m]	Fr [-]
0.00	0.00	0.70	0.00	0.00	0.70	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50
0.10	0.07	0.90	0.07	0.08	0.70	10.43	0.20	2.88	0.42	0.52	2.91
0.20	0.13	1.10	0.14	0.13	0.70	11.32	0.56	4.00	0.82	1.02	2.86
0.30	0.20	1.30	0.21	0.16	0.70	11.78	0.98	4.69	1.12	1.42	2.73
0.40	0.27	1.50	0.28	0.19	0.70	12.07	1.45	5.16	1.36	1.76	2.61
0.50	0.33	1.70	0.35	0.21	0.70	12.27	1.93	5.51	1.55	2.05	2.49
0.60	0.40	1.90	0.42	0.22	0.70	12.41	2.43	5.78	1.70	2.30	2.38
0.70	0.47	2.10	0.49	0.23	0.70	12.53	2.94	5.99	1.83	2.53	2.29
0.80	0.53	2.30	0.56	0.24	0.70	12.61	3.45	6.17	1.94	2.74	2.20
0.90	0.60	2.50	0.37	0.15	0.70	11.60	1.62	4.40	0.99	1.89	1.94
1.00	0.67	2.70	0.37	0.14	0.70	11.45	1.54	4.18	0.89	1.89	1.84
1.10	0.73	2.90	0.37	0.13	0.70	11.31	1.47	3.99	0.81	1.91	1.76
1.15	0.77	2.90	0.56	0.19	0.70	12.14	2.96	5.28	1.42	2.57	1.89
1.30	0.87	3.21	0.66	0.21	0.63	12.27	3.65	5.52	1.55	2.85	1.72
1.40	0.93	3.46	0.72	0.21	0.49	12.29	3.99	5.55	1.57	2.97	1.46
1.50	1.00	4.00	0.75	0.19	0.00	12.08	3.91	5.19	1.37	2.87	0.00

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Attraversamento 4 Stato attuale**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>		<b>0.8</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>		<b>1.2</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.05</b>	<b>m/m</b>

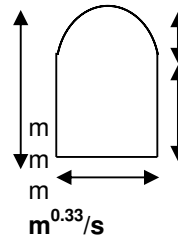
Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.000	0.000	0.08
0.10	0.08	1.00	0.08	0.08	0.80	0.17	2.08	0.220	0.320	2.10
0.20	0.17	1.20	0.16	0.13	0.80	0.47	2.92	0.434	0.634	2.08
0.30	0.25	1.40	0.24	0.17	0.80	0.83	3.45	0.607	0.907	2.01
0.40	0.33	1.60	0.32	0.20	0.80	1.22	3.82	0.745	1.145	1.93
0.50	0.42	1.80	0.40	0.22	0.80	1.64	4.10	0.858	1.358	1.85
0.60	0.50	2.00	0.48	0.24	0.80	2.07	4.32	0.950	1.550	1.78
0.70	0.58	2.20	0.56	0.25	0.80	2.51	4.49	1.028	1.728	1.71
0.80	0.67	2.40	0.64	0.27	0.80	2.96	4.63	1.094	1.894	1.65
0.90	0.75	2.60	0.72	0.28	0.80	3.42	4.75	1.150	2.050	1.60
1.00	0.83	2.80	0.80	0.29	0.80	3.88	4.85	1.199	2.199	1.55
1.10	0.92	3.00	0.88	0.29	0.80	4.34	4.94	1.242	2.342	1.50
1.20	1.00	3.20	0.96	0.30	0.80	4.81	5.01	1.279	2.479	1.46

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare-semicircolare**

**Attraversamento 5 Stato attuale**

**Larghezza** L = **0.9**  
**Altezza parte rettangolare** H = **1.55**  
**Raggio parte superiore** R = **0.45**  
**Scabrezza** n = **0.02**



**Pendenza fondo** if = **0.1** m/m L

Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Coefficiente di Chezy	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude	Angolo al centro
Y [m]	Y/Htot [-]	P [m]	A [mq]	R [m]	b [m]	C [-]	Q [m3/s]	V [m/s]	Hc [m]	H [m]	Fr [-]	[rad]
0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.90	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	
0.20	0.10	1.30	0.18	0.14	0.90	11.48	0.76	4.23	0.91	1.11	3.02	
0.40	0.20	1.70	0.36	0.21	0.90	12.32	2.02	5.62	1.61	2.01	2.84	
0.60	0.30	2.10	0.54	0.26	0.90	12.73	3.45	6.39	2.08	2.68	2.64	
0.80	0.40	2.50	0.72	0.29	0.90	12.97	4.96	6.90	2.42	3.22	2.46	
1.00	0.50	2.90	0.90	0.31	0.90	13.14	6.52	7.25	2.68	3.68	2.31	
1.20	0.60	3.30	1.08	0.33	0.90	13.25	8.11	7.51	2.87	4.07	2.19	
1.40	0.70	3.70	1.26	0.34	0.90	13.34	9.72	7.71	3.03	4.43	2.08	
1.55	0.78	4.00	1.40	0.35	0.90	13.39	10.93	7.83	3.13	4.68	2.01	3.14
1.70	0.85	4.31	1.53	0.35	0.85	13.43	12.10	7.92	3.20	4.90	1.89	3.82
1.90	0.95	4.80	1.67	0.35	0.57	13.39	13.12	7.83	3.13	5.03	1.45	4.92
2.00	1.00	5.41	1.71	0.32	0.00	13.18	12.58	7.34	2.75	4.75	0.00	6.28

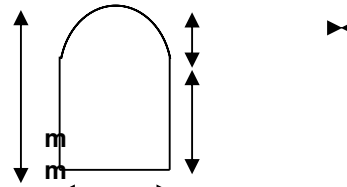


**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare-semicircolare**

**Attraversamento 6 Stato attuale**

<b>Larghezza</b>	<b>L</b>	<b>=</b>	<b>0.8</b>	<b>m</b>
<b>Altezza parte rettangolare</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>0.8</b>	<b>m</b>
<b>Raggio parte superiore</b>	<b>R</b>	<b>=</b>	<b>0.4</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.01</b>	<b>m/m</b>



R

H

L

Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Coefficiente di Chezy	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude	Angolo al centro
Y [m]	Y/Htot [-]	P [m]	A [mq]	R [m]	b [m]	C [-]	Q [m3/s]	V [m/s]	Hc [m]	H [m]	Fr [-]	[rad]
0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.80	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	
0.10	0.08	1.00	0.08	0.08	0.80	10.48	0.07	0.93	0.04	0.14	0.94	
0.20	0.17	1.20	0.16	0.13	0.80	11.41	0.21	1.30	0.09	0.29	0.93	
0.30	0.25	1.40	0.24	0.17	0.80	11.90	0.37	1.54	0.12	0.42	0.90	
0.40	0.33	1.60	0.32	0.20	0.80	12.21	0.55	1.71	0.15	0.55	0.86	
0.50	0.42	1.80	0.40	0.22	0.80	12.42	0.73	1.83	0.17	0.67	0.83	
0.60	0.50	2.00	0.48	0.24	0.80	12.58	0.93	1.93	0.19	0.79	0.80	
0.70	0.58	2.20	0.56	0.25	0.80	12.71	1.12	2.01	0.21	0.91	0.77	
0.80	0.67	2.40	0.64	0.27	0.80	12.81	1.33	2.07	0.22	1.02	0.74	3.14
0.90	0.75	2.60	0.72	0.28	0.77	12.88	1.53	2.12	0.23	1.13	0.70	3.65
1.00	0.83	2.82	0.79	0.28	0.69	12.92	1.70	2.15	0.23	1.23	0.64	4.19
1.10	0.92	3.08	0.86	0.28	0.53	12.89	1.82	2.13	0.23	1.33	0.53	4.84
1.20	1.00	3.66	0.89	0.24	0.00	12.62	1.74	1.95	0.19	1.39	0.00	6.28

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Attraversamento 7 Stato attuale**

**Diametro interno**                            **500**   mm

**Raggio**                                    **R**            =           **0.25**   m

**Scabrezza**                                **n**             =           **0.02**   m<sup>0.33</sup>/s

**Pendenza fondo**                      **if**             =           **0.02**   m/m

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Angolo al centro alfa [rad]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [m <sup>3</sup> /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.14
0.10	0.20	1.85	0.46	0.03	0.06	0.40	0.03	1.09	0.060	0.160	1.31
0.20	0.40	2.74	0.68	0.07	0.11	0.49	0.12	1.59	0.130	0.330	1.32
0.30	0.60	3.54	0.89	0.12	0.14	0.49	0.23	1.90	0.183	0.483	1.21
0.38	0.75	4.19	1.05	0.16	0.15	0.43	0.32	2.00	0.205	0.580	1.06
0.40	0.80	4.43	1.11	0.17	0.15	0.40	0.34	2.01	0.207	0.607	0.99
0.50	1.00	6.28	1.57	0.20	0.13	0.00	0.35	1.77	0.159	0.659	0.00

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Attraversamento 13 Stato attuale**

**Diametro interno 600 mm**

**Raggio R = 0.3 m**

**Scabrezza n = 0.02 m<sup>0.33</sup>/s**

**Pendenza fondo if = 0.1 m/m**

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Angolo al centro alfa [rad]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [m <sup>3</sup> /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.32
0.10	0.17	1.68	0.50	0.03	0.06	0.45	0.08	2.46	0.309	0.409	2.98
0.20	0.33	2.46	0.74	0.08	0.11	0.57	0.30	3.67	0.685	0.885	3.07
0.30	0.50	3.14	0.94	0.14	0.15	0.60	0.63	4.46	1.016	1.316	2.94
0.35	0.58	3.48	1.04	0.17	0.16	0.59	0.81	4.74	1.146	1.496	2.81
0.45	0.75	4.19	1.26	0.23	0.18	0.52	1.15	5.06	1.305	1.755	2.44
0.60	1.00	6.28	1.88	0.28	0.15	0.00	1.26	4.46	1.016	1.616	0.00

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Attraversamento 8 Stato di progetto**

**Diametro interno**                      **1500**    mm

**Raggio**                                    **R**        =        **0.75**    m

**Scabrezza**                                **n**        =        **0.02**    m<sup>0.33</sup>/s

**Pendenza fondo**                        **if**        =        **0.05**    m/m

Altezza pelo libero Y	Rapporto d'invaso Y/D	Angolo al centro alfa	Perimetro bagnato P	Area A	Raggio idraulico R	Larghezza pelo libero b	Portata Q	Velocità V	Carico cinetico Hc	Carico specifico H	Numero di Froude Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.23
0.20	0.13	1.50	1.12	0.14	0.12	1.02	0.39	2.79	0.398	0.598	2.41
0.35	0.23	2.02	1.51	0.31	0.21	1.27	1.23	3.91	0.781	1.131	2.52
0.55	0.37	2.60	1.95	0.59	0.30	1.45	2.95	5.02	1.285	1.835	2.52
0.75	0.50	3.14	2.36	0.88	0.38	1.50	5.14	5.81	1.723	2.473	2.42
0.95	0.63	3.68	2.76	1.18	0.43	1.45	7.48	6.34	2.051	3.001	2.24
1.13	0.75	4.20	3.15	1.43	0.45	1.29	9.42	6.59	2.216	3.346	2.00
1.33	0.89	4.91	3.68	1.66	0.45	0.95	10.88	6.56	2.196	3.526	1.59
1.50	1.00	6.28	4.71	1.77	0.38	0.00	10.27	5.81	1.723	3.223	0.00

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Attraversamento 12 Stato di progetto**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>	<b>=</b>	<b>2</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>1.5</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.05</b>	<b>m/m</b>

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.08
0.10	0.07	2.20	0.20	0.09	2.00	0.45	2.26	0.260	0.360	2.28
0.20	0.13	2.40	0.40	0.17	2.00	1.35	3.39	0.584	0.784	2.42
0.30	0.20	2.60	0.60	0.23	2.00	2.52	4.21	0.902	1.202	2.45
0.40	0.27	2.80	0.80	0.29	2.00	3.88	4.85	1.199	1.599	2.45
0.50	0.33	3.00	1.00	0.33	2.00	5.37	5.37	1.472	1.972	2.43
0.60	0.40	3.20	1.20	0.38	2.00	6.98	5.81	1.723	2.323	2.40
0.70	0.47	3.40	1.40	0.41	2.00	8.66	6.19	1.952	2.652	2.36
0.80	0.53	3.60	1.60	0.44	2.00	10.42	6.51	2.161	2.961	2.32
0.90	0.60	3.80	1.80	0.47	2.00	12.23	6.79	2.352	3.252	2.29
1.00	0.67	4.00	2.00	0.50	2.00	14.09	7.04	2.528	3.528	2.25
1.10	0.73	4.20	2.20	0.52	2.00	15.98	7.27	2.690	3.790	2.21
1.20	0.80	4.40	2.40	0.55	2.00	17.91	7.46	2.839	4.039	2.18
1.30	0.87	4.60	2.60	0.57	2.00	19.87	7.64	2.977	4.277	2.14
1.40	0.93	4.80	2.80	0.58	2.00	21.86	7.81	3.105	4.505	2.11
1.50	1.00	5.00	3.00	0.60	2.00	23.86	7.95	3.224	4.724	2.07

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Scatolare in corrispondenza fosso C**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>	<b>=</b>	<b>3</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>2</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.02</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.025</b>	<b>m/m</b>

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.05
0.20	0.10	3.40	0.60	0.18	3.00	1.49	2.49	0.315	0.515	1.78
0.40	0.20	3.80	1.20	0.32	3.00	4.40	3.67	0.685	1.085	1.85
0.60	0.30	4.20	1.80	0.43	3.00	8.09	4.49	1.029	1.629	1.85
0.80	0.40	4.60	2.40	0.52	3.00	12.30	5.12	1.338	2.138	1.83
1.00	0.50	5.00	3.00	0.60	3.00	16.87	5.62	1.612	2.612	1.80
1.20	0.60	5.40	3.60	0.67	3.00	21.72	6.03	1.855	3.055	1.76
1.40	0.70	5.80	4.20	0.72	3.00	26.78	6.38	2.071	3.471	1.72
1.50	0.75	6.00	4.50	0.75	3.00	29.37	6.53	2.171	3.671	1.70
1.60	0.80	6.20	4.80	0.77	3.00	31.99	6.67	2.265	3.865	1.68
1.80	0.90	6.60	5.40	0.82	3.00	37.35	6.92	2.438	4.238	1.65
2.00	1.00	7.00	6.00	0.86	3.00	42.80	7.13	2.594	4.594	1.61
2.20	1.10	7.40	6.60	0.89	3.00	48.35	7.33	2.735	4.935	1.58
2.40	1.20	7.80	7.20	0.92	3.00	53.96	7.49	2.863	5.263	1.54
2.60	1.30	8.20	7.80	0.95	3.00	59.64	7.65	2.980	5.580	1.51
2.80	1.40	8.60	8.40	0.98	3.00	65.37	7.78	3.087	5.887	1.48
3.00	1.50	9.00	9.00	1.00	3.00	71.15	7.91	3.186	6.186	1.46

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Interventi di progetto per Fosso A**

**Diametro interno**                      **1000**    mm

**Raggio**                                    **R**        =        **0.5**    m

**Scabrezza**                                **n**        =        **0.02**   m<sup>0.33</sup>/s

**Pendenza fondo**                        **if**        =        **0.05**   m/m

Altezza pelo libero Y	Rapporto d'invaso Y/D	Angolo al centro alfa	Perimetro bagnato P	Area A	Raggio idraulico R	Larghezza pelo libero b	Portata Q	Velocità V	Carico cinetico Hc	Carico specifico H	Numero di Froude Fr
[m]	[-]	[rad]	[m]	[mq]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[m]	[m]	[-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.23
0.10	0.10	1.29	0.64	0.04	0.06	0.60	0.07	1.78	0.161	0.261	2.18
0.20	0.20	1.85	0.93	0.11	0.12	0.80	0.31	2.73	0.380	0.580	2.33
0.30	0.30	2.32	1.16	0.20	0.17	0.92	0.68	3.44	0.604	0.904	2.36
0.40	0.40	2.74	1.37	0.29	0.21	0.98	1.17	4.00	0.817	1.217	2.34
0.50	0.50	3.14	1.57	0.39	0.25	1.00	1.74	4.44	1.003	1.503	2.26
0.60	0.60	3.54	1.77	0.49	0.28	0.98	2.34	4.76	1.154	1.754	2.14
0.70	0.70	3.96	1.98	0.59	0.30	0.92	2.92	4.97	1.258	1.958	1.98
0.75	0.75	4.19	2.09	0.63	0.30	0.87	3.18	5.03	1.289	2.039	1.88
0.80	0.80	4.43	2.21	0.67	0.30	0.80	3.41	5.06	1.303	2.103	1.76

Adeguamento SP 161 della Crenna

Tabella : Scala di deflusso sezione trapezoidale

Fosso A

Larghezza base minore **b** 0.5 m  
 Larghezza base maggiore **B** 4.5  
 Altezza sponde **H** 1.5 m

Scabrezza **n** = 0.03

Pendenza fondo **if** = 0.03 m/m

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.000	0.000	0.04
0.20	0.13	1.17	0.15	0.13	0.50	0.23	1.49	0.114	0.314	0.86
0.40	0.27	1.83	0.41	0.23	0.50	0.88	2.14	0.233	0.633	0.75
0.60	0.40	2.50	0.78	0.31	0.50	2.07	2.66	0.360	0.960	0.68
0.80	0.53	3.17	1.25	0.40	0.50	3.90	3.11	0.494	1.294	0.63
1.00	0.67	3.83	1.83	0.48	0.50	6.47	3.53	0.635	1.635	0.59
1.20	0.80	4.50	2.52	0.56	0.50	9.88	3.92	0.784	1.984	0.56
1.40	0.93	5.17	3.31	0.64	0.50	14.23	4.29	0.940	2.340	0.53
1.50	1.00	5.50	3.75	0.68	0.50	16.77	4.47	1.020	2.520	0.52



## Adeguamento SP 161 della Crenna

Tabella : Scala di deflusso sezione trapezoidale

Fosso      **B**

Larghezza base minore      **b**      **0.5**      m  
 Larghezza base maggiore      **B**      **5.5**  
 Altezza sponde      **H**      **2**      m

Scabrezza      **n**      =      **0.03**

Pendenza fondo      **if**      =      **0.03**      *m/m*

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.000	0.000	0.04
0.20	0.10	1.14	0.15	0.13	0.50	0.22	1.49	0.114	0.314	0.87
0.40	0.20	1.78	0.40	0.22	0.50	0.85	2.13	0.232	0.632	0.76
0.60	0.30	2.42	0.75	0.31	0.50	1.98	2.64	0.356	0.956	0.69
0.80	0.40	3.06	1.20	0.39	0.50	3.71	3.09	0.487	1.287	0.64
1.00	0.50	3.70	1.75	0.47	0.50	6.13	3.50	0.626	1.626	0.60
1.20	0.60	4.34	2.40	0.55	0.50	9.33	3.89	0.771	1.971	0.57
1.40	0.70	4.98	3.15	0.63	0.50	13.40	4.25	0.922	2.322	0.54
1.50	0.75	5.30	3.56	0.67	0.50	15.78	4.43	1.000	2.500	0.53
1.60	0.80	5.62	4.00	0.71	0.50	18.40	4.60	1.079	2.679	0.52
1.80	0.90	6.26	4.95	0.79	0.50	24.43	4.94	1.242	3.042	0.50
2.00	1.00	6.90	6.00	0.87	0.50	31.55	5.26	1.409	3.409	0.48

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione trapezoidale**

**Fosso C**

**Larghezza base minore**                                **b**    **1**    m  
**Larghezza base maggiore**                           **B**    **6**  
**Altezza sponde**     **H**    **2**    m

**Scabrezza**    **n**        =        **0.03**

**Pendenza fondo**                                      **if**        =        **0.025**    **m/m**

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.04
0.20	0.10	1.64	0.25	0.15	1.00	0.38	1.50	0.115	0.315	0.96
0.40	0.20	2.28	0.60	0.26	1.00	1.30	2.16	0.239	0.639	0.89
0.60	0.30	2.92	1.05	0.36	1.00	2.80	2.66	0.362	0.962	0.83
0.80	0.40	3.56	1.60	0.45	1.00	4.95	3.09	0.487	1.287	0.78
1.00	0.50	4.20	2.25	0.54	1.00	7.82	3.48	0.616	1.616	0.74
1.20	0.60	4.84	3.00	0.62	1.00	11.49	3.83	0.748	1.948	0.71
1.40	0.70	5.48	3.85	0.70	1.00	16.03	4.16	0.884	2.284	0.68
1.50	0.75	5.80	4.31	0.74	1.00	18.65	4.32	0.953	2.453	0.66
1.60	0.80	6.12	4.80	0.78	1.00	21.51	4.48	1.023	2.623	0.65
1.80	0.90	6.76	5.85	0.87	1.00	27.99	4.78	1.167	2.967	0.63
2.00	1.00	7.40	7.00	0.95	1.00	35.54	5.08	1.314	3.314	0.61

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione trapezoidale**

**Fosso D**

**Larghezza base minore**                                      **b**   **2.5**    m  
**Larghezza base maggiore**                            **B**   **8.5**  
**Altezza sponde**    **H**   **2.5**    m

**Scabrezza**    **n**            =           **0.03**

**Pendenza fondo**                                        **if**            =           **0.015**    **m/m**

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	0.000	0.000	0.03
0.20	0.08	3.12	0.55	0.18	2.50	0.70	1.28	0.083	0.283	0.87
0.40	0.16	3.75	1.19	0.32	2.50	2.27	1.90	0.184	0.584	0.88
0.60	0.24	4.37	1.93	0.44	2.50	4.57	2.37	0.286	0.886	0.86
0.80	0.32	5.00	2.77	0.55	2.50	7.62	2.75	0.386	1.186	0.84
1.00	0.40	5.62	3.70	0.66	2.50	11.43	3.09	0.486	1.486	0.81
1.20	0.48	6.25	4.73	0.76	2.50	16.03	3.39	0.586	1.786	0.79
1.40	0.56	6.87	5.85	0.85	2.50	21.46	3.67	0.685	2.085	0.77
1.50	0.60	7.19	6.45	0.90	2.50	24.50	3.80	0.735	2.235	0.76
1.60	0.64	7.50	7.07	0.94	2.50	27.77	3.93	0.786	2.386	0.75
1.80	0.72	8.12	8.39	1.03	2.50	34.98	4.17	0.887	2.687	0.73
2.00	0.80	8.75	9.80	1.12	2.50	43.15	4.40	0.988	2.988	0.71
2.20	0.88	9.37	11.31	1.21	2.50	52.32	4.63	1.091	3.291	0.69
2.40	0.96	10.00	12.91	1.29	2.50	62.51	4.84	1.195	3.595	0.68
2.50	1.00	10.31	13.75	1.33	2.50	68.01	4.95	1.247	3.747	0.67

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Attraversamento P05 Stato attuale**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>	<b>=</b>	<b>4.25</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>2.4</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.03</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b><i>Pendenza fondo</i></b>	<b><i>if</i></b>	<b>=</b>	<b><i>0.05</i></b>	<b><i>m/m</i></b>

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	4.25	0.00	0.00	4.25	0.00	0.00	0.000	0.000	0.05
0.20	0.08	4.65	0.85	0.18	4.25	2.04	2.40	0.294	0.494	1.71
0.40	0.17	5.05	1.70	0.34	4.25	6.13	3.61	0.663	1.063	1.82
0.60	0.25	5.45	2.55	0.47	4.25	11.46	4.49	1.029	1.629	1.85
0.80	0.33	5.85	3.40	0.58	4.25	17.65	5.19	1.373	2.173	1.85
1.00	0.42	6.25	4.25	0.68	4.25	24.50	5.76	1.693	2.693	1.84
1.20	0.50	6.65	5.10	0.77	4.25	31.85	6.24	1.988	3.188	1.82
1.40	0.58	7.05	5.95	0.84	4.25	39.61	6.66	2.258	3.658	1.80
1.60	0.67	7.45	6.80	0.91	4.25	47.69	7.01	2.507	4.107	1.77
1.80	0.75	7.85	7.65	0.97	4.25	56.05	7.33	2.736	4.536	1.74
2.00	0.83	8.25	8.50	1.03	4.25	64.63	7.60	2.947	4.947	1.72
2.20	0.92	8.65	9.35	1.08	4.25	73.40	7.85	3.141	5.341	1.69
2.40	1.00	9.05	10.20	1.13	4.25	82.34	8.07	3.321	5.721	1.66

**Adeguamento SP 161 della Crenna**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare**

**Attraversamento P05 Stato di progetto**

<b>Larghezza</b>	<b>B</b>	<b>=</b>	<b>7</b>	<b>m</b>
<b>Altezza sponde</b>	<b>H</b>	<b>=</b>	<b>1.8</b>	<b>m</b>
<b>Scabrezza</b>	<b>n</b>	<b>=</b>	<b>0.03</b>	<b>m<sup>0.33</sup>/s</b>
<b>Pendenza fondo</b>	<b>if</b>	<b>=</b>	<b>0.05</b>	<b>m/m</b>

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [mc/s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.05
0.20	0.11	7.40	1.40	0.19	7.00	3.44	2.46	0.308	0.508	1.75
0.40	0.22	7.80	2.80	0.36	7.00	10.54	3.76	0.722	1.122	1.90
0.60	0.33	8.20	4.20	0.51	7.00	20.04	4.77	1.160	1.760	1.97
0.80	0.44	8.60	5.60	0.65	7.00	31.36	5.60	1.598	2.398	2.00
1.00	0.56	9.00	7.00	0.78	7.00	44.13	6.30	2.025	3.025	2.01
1.20	0.67	9.40	8.40	0.89	7.00	58.09	6.92	2.437	3.637	2.02
1.40	0.78	9.80	9.80	1.00	7.00	73.04	7.45	2.832	4.232	2.01
1.60	0.89	10.20	11.20	1.10	7.00	88.85	7.93	3.208	4.808	2.00
1.80	1.00	10.60	12.60	1.19	7.00	105.38	8.36	3.565	5.365	1.99