

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

Rifacimento strada di accesso ai cantieri COP5-CBP4 in Arquata Scrivia

Relazione Idraulica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv 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 0 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-NV20-00-001-A00
-----------	---------------------------------------

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00	Foglio 3 di 13

INDICE

INDICE.....		3
1. PREMESSA		5
2. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE		5
3. RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO		5
4. CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI		5
5. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI		6
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

ALLEGATO A1 – VERIFICHE IDRAULICHE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00

Foglio
4 di 13

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00
	Foglio 5 di 13

1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche delle interferenze idrauliche minori della strada di accesso al cantiere Libarna nel Comune di Arquata Scrivia (AL).

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, Rifacimento strada di accesso ai cantieri COP5 – CBP4 in Arquata Scrivia.

Il progetto per la realizzazione della linea ferroviaria prevede che nel territorio comunale di Arquata venga installato un cantiere operativo ed un'area di deposito, in prossimità dell'imbocco delle due gallerie naturali del tracciato: la necessità dell'accesso a tali siti richiede l'adeguamento della rete viaria circostante e la sistemazione di un piccolo corso d'acqua interferente, appartenente al reticolo idrografico minore del torrente Scrivia.

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 sono state condotte mediante verifiche idrauliche a carattere puntuale con la portata 200-ennale in accordo con le norme del Piano.

Lo studio ha dimostrato la compatibilità idraulica dell'intervento.

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 non sono presenti prescrizioni specifiche relative all'intervento oggetto della presente relazione.

3. RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO

Il progetto esecutivo oggetto della presente relazione risponde a quanto previsto nel precedente livello di progettazione definitiva; in questa ulteriore fase sono stati sviluppati gli elaborati conformemente al livello progettuale esecutivo per fornire i necessari elementi di dettaglio.

4. CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI

L'accesso al cantiere operativo dell'imbocco sud della galleria da Arquata Scrivia a Novi Ligure si snoda in parte lungo una strada comunale esistente ed in parte lungo una strada vicinale in terra battuta che, per necessità di traffico, devono essere adeguate; il collegamento fra i due cantieri operativi e l'area di deposito dello smarino è costituito da una pista di cantiere, con andamento parallelo alla linea ferroviaria, che si sviluppa lungo versanti poco acclivi.

La presenza di un'interferenza fra le opere ferroviarie e quelli stradali richiede lo spostamento della strada e la realizzazione di un'opera di sottopasso.

Il tracciato stradale oggetto di verifica è caratterizzato dalla presenza di una sola interferenza con il reticolo idrografico minore.

Il fosso interferente è un affluente del fosso Pradella, che a sua volta è un affluente di sinistra del torrente Scrivia.

Tale fosso non risulta inserito nell'elenco delle acque pubbliche e dall'indagine catastale risulta "privato".

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00 Foglio 6 di 13

L'area complessiva sottesa alla sezione di interferenza con la viabilità è di circa 0.08 km²; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Arquata Scrivia.

Il bacino presenta una forma arrotondata, con quote comprese tra 250 m s.l.m. e 400 m s.l.m.; il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di una sola asta principale con lunghezza di circa 500 m, e pendenza media pari al 20% circa, la pendenza media dei versanti è del 40% circa.

Il bacino non risulta urbanizzato.

L'intervento riguarda un tratto dell'asta principale della lunghezza complessiva di circa 130 m; l'alveo naturale è caratterizzato in tale tratto da sezioni di forma trapezia con larghezza al fondo mediamente pari a 1 m e altezza delle sponde di 1 m circa; la pendenza media del tratto è pari al 2.6%.

Il manufatto di attraversamento della viabilità esistente è costituito da una tubazione Ø 800 mm.

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.

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.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00 Foglio 7 di 13

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 Km²) 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 Km²).

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 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

L'adeguamento della viabilità esistente, che richiede anche una deviazione provvisoria della stessa, impone di provvedere alla sistemazione del rio senza nome appartenente al reticolo idrografico minore del torrente Scrivia.

Gli interventi relativi alla sistemazione del rio consistono sinteticamente in:

- realizzazione di pozzetto di intercettazione e salto a monte della viabilità provvisoria, delle dimensioni (2.5 x 2.5) m
- realizzazione sottopasso stradale con condotta DN 1500 con pendenza 2.5%
- realizzazione di pozzetto di salto a monte della viabilità definitiva, delle dimensioni (2.5 x 2.5) m
- realizzazione sottopasso stradale con condotta DN 1500 con pendenza 1.7%
- realizzazione di pozzetto di raccordo, delle dimensioni (2.5 x 2.5) m
- realizzazione di canale a sezione rettangolare delle dimensioni (1.5 x 1.5) m con pendenza 1.7%, con tratto coperto in corrispondenza del sottopasso della linea ferroviaria.

La sistemazione complessiva ha uno sviluppo di circa 170 m e consente di recapitare le acque nello stesso corso d'acqua a valle di tutti gli interventi previsti.

Il tracciato stradale definitivo prevede la realizzazione di un sottopasso della futura linea ferroviaria; le acque meteoriche di tale tratto di strada non potranno raggiungere per gravità il limitrofo corso d'acqua che, in corrispondenza del sottopasso, presenta una quota di scorrimento di oltre 1 m superiore alla quota stradale.

Pertanto, al fine di evitare la realizzazione di un impianto di sollevamento con l'annessa vasca di alloggiamento delle pompe, si è previsto di allontanare le acque meteoriche mediante canalizzazione a gravità che dovrà necessariamente scaricare in un punto più a valle del corso d'acqua.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00 Foglio 8 di 13

La canalizzazione sarà realizzata con una condotta DN300 con pendenza pari al 0.5% e lunghezza di circa 90 m.

L'opera di imbocco sarà costituita da un pozzetto delle dimensioni in pianta (2 x 2) m e sommità coincidente con il piano stradale; lungo il tracciato sono previsti pozzetti di ispezione ad ogni cambio di pendenza, ad ogni cambio di direzione e allo sbocco nel rio.

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*¹ 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.

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 $L[m]$.

¹. 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-NV20-00-001-A00	Foglio 9 di 13

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 β 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 α_1 e α_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:

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

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p style="text-align: center;">IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 10 di 13</p>

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 scavalco del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazze e defluite 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 α 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 α_{1-2} e α_{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;
- 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00 Foglio 11 di 13

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, χ [$m^{1/2} s^{-1}$] 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 χ è stata adottata la formula di Manning:

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

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 tombinate 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.

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00	Foglio 12 di 13

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 Schoklitsch², 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.

² A.Schoklitsch: Kolkbildung unter Überfallstrahlen, Die Wassewirtschaft (1932)

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

³ 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-NV20-00-001-A00	Foglio 13 di 13

8. VERIFICHE IDRAULICHE

8.1. Portate di progetto

Con riferimento alla Relazione Idrologica al quale si rimanda per ogni indicazione di dettaglio circa la metodologia di analisi e di calcolo adottata, per il rio interferente la portata con tempo di ritorno 200 anni utilizzata nelle verifiche idrauliche è pari a 3.6 m³/s.

Per il sistema di smaltimento delle acque meteoriche in corrispondenza del sottopasso ferroviario la portata 20-ennale valutata con il metodo dell'invaso è pari a 65 l/s.

8.2. Verifiche idrauliche

In Allegato A1 sono riportate le scale di deflusso delle due tubazioni Ø 1500 con pendenza del 2.5% e dell'1.7% rispettivamente e del canale 1.5 x 1.5 m con pendenza dell'1.7%; le verifiche sono state effettuate con un valore n [m^{-1/3}s] del coefficiente dimensionale di scabrezza pari a 0.02, proprio di fondo e pareti di cemento in cattivo stato di conservazione.

I risultati mostrano che nel primo tratto di tubazione la portata di progetto (3.6 m³/s) defluisce con un'altezza di 0.75 m, corrispondente ad un rapporto di invaso pari a 0.5, velocità 4.1 m/s e numero di Froude 1.7.

Nel secondo tratto la portata di 5.5 m³/s defluisce con un'altezza di 0.9 m, corrispondente ad un rapporto di invaso pari a 0.6, velocità 3.6 m/s e numero di Froude 1.3.

Il deflusso all'interno del canale avviene con altezza del pelo libero di 0.72 m, corrispondente ad un rapporto di invaso pari a 0.5, velocità 3.3 m/s e numero di Froude 1.25; il franco rispetto alla sommità delle sponde è maggiore di 0.50 m.

In Allegato A1 è inoltre riportata la scala di deflusso della tubazione Ø 300 con pendenza dell'0.5%; la verifica è stata effettuata con un valore n [m^{-1/3}s] del coefficiente dimensionale di scabrezza pari a 0.015, proprio delle tubazione in PVC.

I risultati mostrano che la portata di progetto (65 l/s) defluisce con un'altezza di 0.24 m, corrispondente ad un rapporto di invaso pari a 0.8, velocità 1 m/s e numero di Froude 0.63.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-01-E-CV-RI-NV20-00-001-A00.DOC

Foglio

ALLEGATO A1
VERIFICHE IDRAULICHE

Tabella : Scala di deflusso sezione circolare

Diametro interno DN 300

Raggio R = 0.15 m
 Scabrezza n = 0.015
 pendenza fondo if = 0.005 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 ³ /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	0.000	0.00	0.000	0.000	0.10
0.05	0.17	1.68	0.25	0.01	0.03	0.22	0.004	0.48	0.012	0.062	0.83
0.10	0.33	2.46	0.37	0.02	0.06	0.28	0.015	0.72	0.026	0.126	0.85
0.15	0.50	3.14	0.47	0.04	0.08	0.30	0.031	0.87	0.039	0.189	0.81
0.20	0.67	3.82	0.57	0.05	0.09	0.28	0.048	0.97	0.048	0.248	0.73
0.23	0.77	4.27	0.64	0.06	0.09	0.25	0.058	0.99	0.050	0.280	0.66
0.30	1.00	6.28	0.94	0.07	0.08	0.00	0.062	0.87	0.039	0.339	0.00
0.24	0.80	4.43	0.66	0.06	0.09	0.24	0.060	1.00	0.051	0.291	0.63

Strada di accesso ai cantieri operativi d'imbocco in Comune di Arquata Scrivia (AL).

Tabella : Scala di deflusso sezione circolare

Diametro interno		DN	1500								
Raggio	R	=	0.75	m							
Scabrezza	n	=	0.02								
pendenza fondo	if	=	0.025	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 ³ /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.000	0.000	0.35
0.20	0.13	1.50	1.12	0.14	0.12	1.02	0.28	1.98	0.199	0.399	1.70
0.40	0.27	2.17	1.63	0.38	0.23	1.33	1.13	2.99	0.455	0.855	1.79
0.60	0.40	2.74	2.05	0.66	0.32	1.47	2.45	3.71	0.701	1.301	1.77
0.80	0.53	3.28	2.46	0.96	0.39	1.50	4.05	4.22	0.908	1.708	1.68
1.00	0.67	3.82	2.87	1.25	0.44	1.41	5.69	4.55	1.055	2.055	1.54
1.13	0.75	4.21	3.16	1.43	0.45	1.29	6.67	4.66	1.108	2.239	1.42
1.26	0.84	4.62	3.47	1.58	0.46	1.11	7.40	4.68	1.117	2.373	1.25
1.50	1.00	6.28	4.71	1.77	0.38	0.00	7.26	4.11	0.861	2.361	0.00

Strada di accesso ai cantieri operativi d'imbocco in Comune di Arquata Scrivia (AL).

Tabella : Scala di deflusso sezione circolare

Diametro interno DN 1500

Raggio	R	=	0.75	m
Scabrezza	n	=	0.02	
pendenza fondo	if	=	0.017	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 ³ /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.000	0.000	0.42
0.20	0.13	1.50	1.12	0.14	0.12	1.02	0.23	1.63	0.135	0.335	1.40
0.40	0.27	2.17	1.63	0.38	0.23	1.33	0.93	2.46	0.310	0.710	1.47
0.60	0.40	2.74	2.05	0.66	0.32	1.47	2.02	3.06	0.477	1.077	1.46
0.80	0.53	3.28	2.46	0.96	0.39	1.50	3.34	3.48	0.618	1.418	1.39
1.00	0.67	3.82	2.87	1.25	0.44	1.41	4.70	3.75	0.718	1.718	1.27
1.13	0.75	4.21	3.16	1.43	0.45	1.29	5.50	3.85	0.754	1.885	1.17
1.26	0.84	4.62	3.47	1.58	0.46	1.11	6.10	3.86	0.760	2.016	1.03
1.50	1.00	6.28	4.71	1.77	0.38	0.00	5.99	3.39	0.586	2.086	0.00

Tabella : Scala di deflusso sezione trapezia FOSSO STATO ATTUALE

Larghezza base minore	b	1	m
Larghezza base maggiore	B	3.7	
Altezza sponde	H	1	m

Scabrezza	n	=	0.035	
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	0.03
0.10	0.10	1.34	0.11	0.08	1.00	0.10	0.87	0.039	0.139	0.83
0.20	0.20	1.67	0.25	0.15	1.00	0.33	1.29	0.084	0.284	0.81
0.30	0.30	2.01	0.42	0.21	1.00	0.67	1.60	0.130	0.430	0.78
0.40	0.40	2.34	0.62	0.26	1.00	1.14	1.85	0.175	0.575	0.75
0.50	0.50	2.68	0.84	0.31	1.00	1.74	2.08	0.221	0.721	0.73
0.60	0.60	3.02	1.09	0.36	1.00	2.48	2.29	0.266	0.866	0.70
0.70	0.70	3.35	1.36	0.41	1.00	3.37	2.48	0.313	1.013	0.68
0.80	0.80	3.69	1.66	0.45	1.00	4.42	2.66	0.360	1.160	0.66
0.90	0.90	4.02	1.99	0.50	1.00	5.64	2.83	0.408	1.308	0.64
1.00	1.00	4.36	2.35	0.54	1.00	7.03	2.99	0.456	1.456	0.62
1.70	1.70	6.71	5.60	0.83	1.00	22.43	4.00	0.817	2.517	0.54