

LIASON LYON - TURIN / COLLEGAMENTO TORINO - LIONE

Partie commune franco-italienne
Section transfrontalière

Parte comune italo-francese
Sezione transfrontaliera

NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE

PARTE IN TERRITORIO ITALIANO – PROGETTO IN VARIANTE
(OTTEMPERANZA ALLA PRESCRIZIONE N. 235 DELLA DELIBERA CIPE 19/2015)

CUP C11J05000030001 – PROGETTO DEFINITIVO

APPROFONDIMENTI PROGETTUALI PER OSSERVAZIONI MATTM - REGIONE PIEMONTE / MIBACT
Riscontro Osservazione n. 1 (rif. prot. n. CTVA/3020 del 26/09/17)

GENIE CIVIL - OPERE CIVILI

HYDROLOGIE ET HYDRAULIQUE / IDROLOGIA E IDRAULICA

HYDROLOGIE GENERALE / IDRAULICA GENERALE

MODELE BIDIMENSIONNEL DE LA DORA A SALBERTRAND /
MODELLO BIDIMENSIONALE DELLA DORA A SALBERTRAND

RAPPORT DE COMPATIBILITÉ HYDRAULIQUE PONT DE CHANTIER/
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA PONTE DI CANTIERE


Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérfié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	11/12/2017	Première diffusion / Prima emissione	L. GATTIGLIA (EDES) B. VISCONTI (EDES)	A. DAMIANI V. GRISOGLIO	A. MORDASINI C. OGNIBENE
A	15/12/2017	Révision suite aux commentaires TELT / Revisione a seguito commenti TEL	L. GATTIGLIA (EDES) B. VISCONTI (EDES)	A. DAMIANI V. GRISOGLIO	A. MORDASINI C. OGNIBENE

CODE DOC	P	R	V	C	3	A	L	O	M	6	7	2	1	A
	Phase / Fase			Sigle étude / Sigla			Émetteur / Emittente			Numero			Indice	

A	P	N	O	T
Statut / Stato		Type / Tipo		

ADRESSE GED INDIRIZZO GED	C3A	//	//		22	02	96	10	03
------------------------------	-----	----	----	--	----	----	----	----	----

ECHELLE / SCALA
-


Maire Technimont Group
Dott. Ing. Carlo Ognibene
Ordine Ingegneri Prov. TO n. 8366 T



TELT sas – Savoie Technolac - Bâtiment "Homère"
13 allée du Lac de Constance – 73370 LE BOURGET DU LAC (France)
Tél. : +33 (0)4.79.68.56.50 – Fax : +33 (0)4.79.68.56.75
RCS Chambéry 439 556 952 – TVA FR 03439556952
Propriété TELT Tous droits réservés – Proprietà TELT Tutti i diritti riservati

Ce projet
est cofinancé par
l'Union européenne
(DG-TREN)



Questo progetto
è cofinanziato
dall'Unione europea
(TEN-T)

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. ASSETTO GEOMETRICO	5
3. IDROLOGIA ADOTTATA	6
4. DEFINIZIONE DEI LIVELLI IDROMETRICI.....	6
5. CALCOLO DEL FRANCO DELL'ATTRAVERSAMENTO	7
6. VERIFICA A SCALZAMENTO DELLE PROTEZIONI DELLE SPALLE.....	9
6.1 PROTEZIONE DELLE SPALLE – VERIFICA A SCALZAMENTO COMPLESSIVA DELLA SCOGLIERA	9
6.2 PROTEZIONE DELLE SPALLE – VERIFICA A ROTOLAMENTO DEI SINGOLI MASSI COSTITUENTI LA SCOGLIERA	11
7. CONCLUSIONI.....	12

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Distribuzione della velocità sulla sezione 115 per i tre tempi di ritorno nelle condizioni di progetto (con ponte)	8
---	---

LISTE DES TABLEAUX / INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 –Portata di massima Piena Dora Riparia a Salbertrand.....	6
Tabella 2 – Fondo alveo, livello e tirante massimi per la sezione 115.	7
Tabella 3 – Sopralzo e livello massimi per trasporto solido per la sezione 115.	7
Tabella 4 –velocità ed altezza cinetica massimi per la sezione 115.....	9
Tabella 5 – Tabella riassuntiva di calcolo del franco per la sezione 115.....	9

**Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere**

RESUME/RIASSUNTO

Le présent rapport analyse, au moyen d'une modélisation numérique bidimensionnelle, les conditions de compatibilité hydraulique du nouvel pont de chantier au service de la zone industrielle de Salbertand. Les analyses qui suivent constituent un approfondissement de l'analyse hydraulique requise par la région du Piémont sur le projet Variante (PRV).

La presente relazione analizza mediante modellazione numerica bidimensionale le condizioni di compatibilità idraulica per il nuovo attraversamento di cantiere a servizio dell'area industriale di Salbertand. Le analisi che seguono costituiscono un approfondimento d'analisi idraulica richiesto dalla Regione Piemonte sul Progetto di Variante (PRV).

1. INTRODUZIONE

La presente relazione, nell'ambito dei richiesti approfondimenti connessi all'istruttoria della Regione Piemonte sul Progetto di Variante (Approfondimenti progettuali per osservazioni MATTM - Regione Piemonte / MIBACT riscontro osservazione n. 1, RIF. PROT. n. CTVA/3020 del 26/09/17), ha per oggetto l'approfondimento dell'analisi idraulica e le verifiche conseguenti alla realizzazione del ponte di cantiere che attraversa la Dora in corrispondenza dell'“Area industriale di Salbertrand”, nell'ambito del Progetto di Variante della Nuova Linea Trini-Lione - Parte in territorio italiano (ottemperanza alla prescrizione n. 235 della delibera CIPE 19/2015) sul progetto definitivo.

Il testo dell'osservazione è il seguente:

Area del cantiere di Salbertrand

1. L'area di cantiere di Salbertrand è interessata principalmente dalle attività di valorizzazione dello smarino in arrivo dal cantiere della Maddalena, dallo stoccaggio degli inerti, dalla prefabbricazione e stoccaggio provvisorio dei conci della TBM, dal processo di caricamento su treno dello smarino da inviare presso i siti di deposito definitivi e dal caricamento su camion del materiale idoneo ad essere riutilizzato per i rilevati nella zona di Susa autoporto e di Bussoleno.

Tale area di cantiere è localizzata in sinistra idrografica del Fiume Dora Riparia e ricade quasi totalmente all'interno della fascia fluviale B del PAI. In base a quanto previsto dalle norme di attuazione del PAI, in particolare dall'art. 38 e dalla Direttiva di piano contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce “A” e “B” (approvata dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione n. 2 dell'11 maggio 1999, aggiornata con deliberazione n. 10 in data 05/04/2006) è necessario che sia prodotta per l'area del cantiere di Salbertrand una dichiarazione che dimostri l'assenza di alternative di localizzazione all'esterno delle fasce A e B.

Per quanto attiene invece la valutazione della compatibilità idraulica del cantiere in argomento, sempre ai sensi della già citata direttiva di piano, si richiede di eseguire un'analisi idraulica nello stato di fatto e nello stato di progetto utilizzando un modello bidimensionale a fondo fisso, con riferimento a portate di piena del fiume Dora Riparia calcolate con tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni.

Le verifiche idrauliche dovranno tener conto del contributo dovuto al trasporto solido. A tal riguardo si ritiene necessario che i livelli idrici derivanti dall'analisi idraulica relativi alla sola portata liquida, siano incrementati, sezione per sezione, del valore di 1/3 per tener conto del trasporto solido; il valore di 1/3 deve essere riferito alla quota più depressa di fondo alveo in ciascuna sezione trasversale oggetto dello studio. In merito ai valori del fattore di scabrezza, considerata la morfologia del corso d'acqua nella zona interessata dal cantiere, si ritiene più opportuno utilizzare un valore uniforme per le sponde e l'alveo; nello specifico appare corretto adottare un K_s di Strickler pari a $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Per quanto riguarda la lunghezza della tratta d'alveo oggetto dello studio idraulico, essa dovrà essere tale da garantire condizioni al contorno di moto uniforme come indicato nello studio allegato al progetto agli atti della Conferenza di Servizi.

Si richiede che la restituzione grafica dei risultati della modellazione idraulica sia eseguita per un numero adeguato di sezioni, particolarmente infittite in prossimità dei fabbricati costituenti il cantiere in argomento.

Le eventuali significative discordanze tra le risultanze dello studio idraulico sopraccitato e quelle derivanti dalle analisi idrauliche redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Po per la definizione delle fasce fluviali dovranno essere adeguatamente motivate.

Si segnala, altresì, che per quanto riguarda il nuovo ponte sul Fiume Dora Riparia sempre in Comune di Salbertrand, dovrà essere acquisito, nell'ambito della Conferenza di Servizi di competenza statale, il parere dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, ai sensi del par. 1.3 della già menzionata Direttiva di Piano.

La risposta all'osservazione su indicata ha comportato la redazione di un esteso modello 2D relativo a tutta la piana di Salbertrand, dedicato specificatamente all'area di cantiere; nell'ambito di tale attività, sfruttando la modellazione implementata, è possibile produrre anche le verifiche idrauliche relative all'attraversamento oggetto della presente relazione.

**Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere**

Il tipo di approccio, di carattere bidimensionale, consente un'analisi di maggior dettaglio rispetto a quanto precedentemente proposto con modello 1D.

Si precisa che l'intervento di installazione del cantiere, ed il ponte di conseguenza, risulta "non altrimenti localizzabile" ai sensi delle NTA del PAI, come risulta dalla dichiarazione del Commissario Straordinario del Governo resa nel prot. CSG/550/2017 del 13/settembre 2017.

2. ELABORATI DI RIFERIMENTO

L'elaborato di riferimento principale per il presente elaborato è:

- PRV_LOM_6720_22-02-96_10-02_Relazione idraulica: sviluppo modello bidimensionale.

Tale elaborato, con le seguenti tavole connesse, costituisce la fonte dei dati su cui sono basate le successive verifiche:

- PRV_LOM_6723_22-02-96_30-03_Restituzione della geometria adottata - Condizioni di rilievo
- PRV_LOM_da 6725 a 6727_22-02-96_30-04 a 06_Planimetria risultanze di modello 2D - Condizioni di rilievo - Planimetria delle aree di esondazione tempo di ritorno 50-100-200 anni - Portata liquida e solida
- PRV_LOM_da 6728 a 6730_22-02-96_30-07 a 09_Planimetria risultanze di modello 2D - Condizioni di rilievo - Tiranti e velocità tempo di ritorno 50-100-200 anni - Portata liquida
- PRV_LOM_6731_22-02-96_30-10_Restituzione della geometria adottata - Condizioni di cantiere
- PRV_LOM_da 6732 a 6734_22-02-96_30-11 a 13_Planimetria risultanze di modello 2D - Condizioni di rilievo - Tiranti e velocità tempo di ritorno 50-100-200 anni - Portata liquida
- PRV_LOM_da 6735 a 6737_22-02-96_30-14 a 16_Condizioni di cantiere - Tiranti e velocità tempo di ritorno 50-100-200 anni - Portata liquida
- PRV_LOM_da 6745 a 6753_22-02-96_40-03 a 11_Sezioni idrauliche della Dora.

In particolare, si fa riferimento alla seguente tavola grafica, associata alla presente relazione, ove vengono esplicitati in dettaglio i dati relativi all'attraversamento:

- PRV_LOM_6738_22-02-96_30-17_Tavola di dettaglio attraversamento di cantiere.

3. ASSETTO GEOMETRICO

Una attenta analisi dei dati geometrici di rilievo a disposizione ha consentito di valutare la bontà della carta tecnica del PRV rilevata nel 2016, quale più recente e dettagliato strumento topografico. Utilizzando tali dati è stato redatto lo studio idraulico bidimensionale della Piana di Salbertrand, di cui alla precedente PRV_LOM_6720_22-02-96_10-02_Relazione idraulica: sviluppo modello bidimensionale.

Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere

Il progetto del ponte di cantiere è redatto, coerentemente allo studio idraulico, nel medesimo sistema di coordinate LTF2004c, pertanto i livelli calcolati sono utilizzabili per le verifiche di compatibilità del manufatto.

4. IDROLOGIA ADOTTATA

In base ai dati disponibili e conformemente a quanto riportato nella sopra citata relazione idraulica di sviluppo del modello bidimensionale, la portata di progetto è stata desunta dai dati dell’Autorità di Bacino del Fiume Po (AdBPo). A puro scopo chiarificatorio si riassumono nel seguito le assunzioni di massima portata già utilizzate per lo studio 2D.

Tempo di ritorno (Anni)	Portata di massima Piena (m ³ /s)
50	283(**)
100	365 (**)
200	450(*)

(*)fonte: Relazione tecnica allegata alla deliberazione n°9 /2007 del comitato istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po

(**)fonte: Studio di fattibilità della sistemazione idraulica nel tratto da Oulx alla confluenza in Po (Autorità di Bacino 2003).

Tabella 1 –Portata di massima Piena Dora Riparia a Salbertrand

Tali dati sono stati utilizzati sotto forma di idrogrammi, finalizzati alla simulazione di condizioni 2D di moto vario. Gli idrogrammi sono stati desunti dallo “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po” redatto dalla stessa AdBPo ed in particolare da: Attività 3.2.1: “DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PIENA DI RIFERIMENTO” - idrogramma sintetico alla sezione di Salbertrand,

5. DEFINIZIONE DEI LIVELLI IDROMETRICI

Lo schema di calcolo adottato è quello del moto vario bidimensionale. La determinazione del profilo di moto vario 2D viene realizzata utilizzando il codice HEC-RAS "River Analysis System" - Versione 5.0.3 (U.S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Engineering Center).

Con riferimento allo studio 2D già citato in precedenza, in questa sede merita ricordare che l’estensione del dominio di calcolo è molto superiore sia verso monte che verso valle rispetto alla zona del ponte, pertanto si ritiene valida l’analisi 2D svolta, anche per la verifica del ponte. La scabrezza adottata risulta conforme alle osservazioni Regione Piemonte citate in premessa e pari a 0.05 m^{-1/3} s di Manning (20 m^{1/3}/s di Strickler), costante per tutta l’area indagata.

In corrispondenza del ponte non vi sono particolari oscillazioni di livello o la presenza di risalti localizzati, per cui il livello di riferimento è stato preso in corrispondenza della sezione 115, assimilabile al lato di monte del ponte.

L’assetto modellistico si completa con la definizione degli scenari di simulazione adottati, per ciascuno dei quali si sono ricavati i livelli.

I tempi di ritorno considerati sono 3: 50 anni, 100 anni e 200 anni. Come da osservazioni Regione Piemonte in premessa, sono poi stati calcolati dei sopralzi relativi alle precedenti condizioni liquide, nell’ipotesi di innalzamento dei livelli per effetto del trasporto solido in

Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere

ragione di 1/3 del massimo tirante calcolato sulla sezione.

Le geometrie considerate sono due: le condizioni ante opera e le condizioni con opera realizzata.

Per entrambe le geometrie si sono calcolati sia i livelli corrispondenti ai 3 tempi di ritorno (simulazioni solo livello liquido), sia i livelli ottenibili per soprizzo dovuto a trasporto solido.

In conclusione, in corrispondenza del ponte sono disponibili ben 12 differenti livelli di riferimento, per i quali verranno nel seguito svolti i calcoli relativi al franco dell'impalcato e le altre assunzioni di verifica dell'attraversamento.

6. CALCOLO DEL FRANCO DELL'ATTRAVERSAMENTO

La sezione di riferimento risulta la 115, appositamente definita all'interno del modello. Nelle condizioni di cantiere (con ponte realizzato) è possibile definire i seguenti valori di livello e massimo tirante al variare del tempo di ritorno:

Tempo di ritorno (anni)	Fondo alveo min. (msm)	Livello max (msm)	Tirante max (m)
50	996.59	999.45	2.86
100	996.59	999.69	3.09
200	996.59	999.95	3.36

Tabella 2 – Fondo alveo, livello e tirante massimi per la sezione 115.

Si precisa che per la sezione 115 il massimo tirante coincide anche con il punto di minimo del terreno del fondo alveo.

Come richiesto inoltre dalle osservazioni della Regione Piemonte, le valutazioni dei tiranti devono tenere in conto della presenza del trasporto solido in via semplificata, ovvero devono cautelativamente prevedere di valutare un soprizzo per trasporto solido pari ad 1/3 del tirante liquido misurato in corrispondenza della massima profondità topografica dell'alveo.

Si ha pertanto la seguente tabella riassuntiva:

Tempo di ritorno (anni)	Max soprizzo per trasporto solido (m)	Max tirante comprensivo del trasporto solido (m)	Livello max comprensivo del trasporto solido (msm)
50	0.95	3.81	1000.40
100	1.03	4.12	1000.72
200	1.12	4.48	1001.07

Tabella 3 – Soprizzo e livello massimi per trasporto solido per la sezione 115.

Oltre alla precedente valutazione relativa al trasporto solido, la verifica dell'attraversamento richiede, ai sensi della Direttiva 4 "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", che il franco

Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere

minimo tra quota di massima piena di progetto (comprensiva del trasporto solido) e quota d'intradosso del ponte sia pari a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,00 m.

L'altezza cinetica della corrente è pari a:

$$h_{cin} = \alpha \cdot \frac{V^2}{2g}$$

dove:

V = velocità media della corrente m/s

α = coefficiente di ragguaglio per tenere conto della non uniforme distribuzione della velocità nella sezione

Nel caso in esame non risulta necessario ricorrere al ragguaglio o alla velocità media sulla sezione, in quanto è disponibile il valore massimo ed è nota la distribuzione della velocità sulla sezione.

Interrogando il modello 2D in corrispondenza della sezione di interesse, la distribuzione della velocità risulta la seguente:

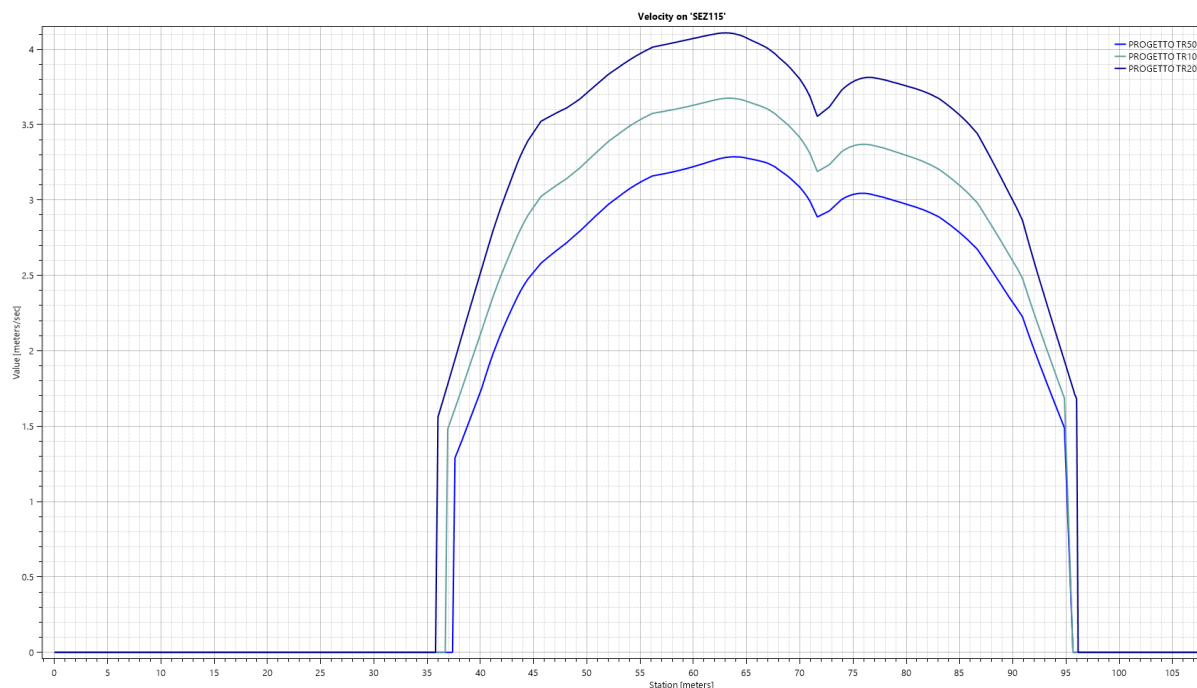


Figura 1 – Distribuzione della velocità sulla sezione 115 per i tre tempi di ritorno nelle condizioni di progetto (con ponte)

Da cui è possibile valutare il massimo valore della velocità sulla sezione, che risulta il seguente:

Tempo di ritorno (anni)	Velocità massima (m/s)	Altezza cinetica (m)	0.5 * h _{cin} (m)
50	3.29	0.55	0.28
100	3.68	0.69	0.34

Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere

200	4.11	0.86	0.43
-----	------	------	------

Tabella 4 – velocità ed altezza cinetica massimi per la sezione 115.

Il valore calcolato di $0.5 h_{cin}$ nei casi indicati risulta sempre minore di 1m, perciò il franco richiesto risulta pari 1m.

In conclusione, considerato che il franco richiesto risulta pari a 1 m e che la quota di intradosso risulta pari a 1003.41 m.s.m., si ha la seguente tabella:

Tempo di ritorno (anni)	Fondo alveo min. (msm)	Livello max (msm)	Livello max comprensivo del trasporto solido (msm)	Franco rispetto ad intradosso ponte (m)
50	996.59	999.45	1000.40	3.01
100	996.59	999.69	1000.72	2.69
200	996.59	999.95	1001.07	2.34

Tabella 5 – Tabella riassuntiva di calcolo del franco per la sezione 115

7. VERIFICA A SCALZAMENTO DELLE PROTEZIONI DELLE SPALLE

La tipologia di intervento adottata consentirà di evitare che erosioni e scalzamenti possano raggiungere o danneggiare le opere di attraversamento in progetto ed in particolare le spalle del manufatto.

Nel seguito si riporta una doppia verifica: la prima è una verifica a scalzamento dell'intero corpo di scogliera. La seconda verifica riguarda la stabilità del singolo masso del corpo scogliera.

7.1 PROTEZIONE DELLE SPALLE – VERIFICA A SCALZAMENTO COMPLESSIVA DELLA SCOGLIERA

La prima verifica è effettuata utilizzando il medesimo schema relativo allo scalzamento delle pile in alveo, sebbene il ponte in oggetto non abbia pile. Il corpo della scogliera, pur essendo sagomato in modo da assecondare la corrente potrebbe, nel caso di forte erosione locale come avviene quando il flusso si porta in battuta, costituirsi come un elemento rigido sul fondo mobile che pertanto determina un effetto di scalzamento analogo a quello di una pila in alveo. Lo schema di calcolo della formulazione di Breusers è infatti adottabile, per esempio, anche per valutare lo scalzamento delle spalle o concettualmente di qualsiasi oggetto rigido immerso nel flusso, che possa determinare fenomeni di scalzamento. Lo schema proposto è riportato anche nella Direttiva 4 dell'Autorità di Bacino.

Formulazione di Breusers

Rapide variazioni di intensità e distribuzione delle velocità di una corrente liquida possono provocare fenomeni di erosione localizzata, soprattutto se l'alveo è composto da materiale incoerente.

La presenza di un manufatto in alveo causa, come è noto, un aumento della velocità in corrispondenza dell'opera stessa, resa manifesta dall'addensamento delle linee di corrente.

Rapport de compatibilité hydraulique pont de chantier/
Relazione di compatibilità idraulica ponte di cantiere

Assunto come riferimento un manufatto di forma generica, la profondità di scavo d_s può essere descritta secondo Breusers come funzione delle seguenti variabili:

$$\frac{d_s}{s} = f \left\{ \frac{v_o}{v_c}, \frac{y_o}{s}, \text{forma}, \alpha \right\},$$

essendo:

- d_s = la profondità di scavo misurata a partire dal fondo del terreno indisturbato;
- s = la larghezza caratteristica dell'ostacolo che crea lo scavo;
- v_o = la velocità media della corrente indisturbata;
- v_c = la velocità critica di trascinamento, intesa come velocità media della corrente alla quale inizia il movimento del materiale del fondo d'assegnato diametro d ;
- d = la dimensione del materiale;
- α = l'angolo che la corrente indisturbata forma con il manufatto.

Per le applicazioni tecniche viene di solito utilizzata la seguente formula sperimentale, in cui le variabili hanno il significato sopra descritto:

$$\frac{d_s}{s} = f_1 \left(\frac{v_o}{v_c} \right) \cdot \left[2 \tanh \left(\frac{y_o}{s} \right) \right] \cdot f_2(\text{forma}) \cdot f_3 \left(\alpha, \frac{1}{s} \right),$$

nella quale i parametri f_1 , f_2 ed f_3 variano in funzione rispettivamente della velocità della corrente, della geometria del problema e delle caratteristiche del materiale in alveo; in letteratura sono forniti i loro valori.

Si adotta normalmente $d = d_{50}$; la velocità critica v_c si può ottenere dalla:

$$v_c = 0,85 \sqrt{2gd(\gamma_s - \gamma) / \gamma}$$

ove si è indicato con γ_s il peso specifico del materiale di fondo e con γ quello dell'acqua.

Nel caso in esame si intende verificare il corpo di scogliera che potrebbe presentare parti con comportamento assimilabile ad una pila.

Considerato il caso più sfavorito, la dimensione dell'ostacolo potrebbe essere assunta pari a 0.8 m (in quanto il peso minimo del masso indicato negli elaborati di progetto è di 14 quintali, corrispondenti ad un masso di forma cubica di 0.56 m^3 ovvero avente un lato di 0.82 m).

La profondità della corrente potrebbe risultare fino a 4.5 m (ovvero tirante massimo liquido + sopralzo massimo solido ovvero $3.36 + 1.12 = 4.48$ m) per la condizione di piena TR 200 ed una velocità in centro corrente sino a 4.1 m/s.

Sostituendo nel caso specifico i valori dei parametri si ottiene:

- d = 0,015 m (stima cautelativa)
- γ_s = 25.000 N/m³
- γ = 10.000 N/m³
- v_c = 0,56 m/s
- v_o = 4.1 m/s (\approx velocità massima tr200)

dal rapporto $\frac{v_o}{v_c}$ si determina $f_1 = 1$

$f_2 = 1$ in considerazione del fatto che non si tratta di una pila in alveo e che il manufatto di difesa è situato su sponda e quindi non in piena corrente

$f_3 = 1$ (funzione della geometria del problema)

pertanto:

$ds/s = 2.00$ m e pertanto $ds = 1.6$ m.

Pertanto si può concludere che, rispetto alla quota dell'alveo che si viene a stabilire sulla sezione del ponte, lo scalzamento massimo risulta minore rispetto alla profondità di fondazione della platea, prevista 2.5 m sotto il fondo alveo e circa 3m sotto il fondo in corrispondenza delle spalle.

7.2 PROTEZIONE DELLE SPALLE – VERIFICA A ROTOLAMENTO DEI SINGOLI MASSI COSTITUENTI LA SCOGLIERA

Il caso dello scalzamento delle scogliere normalmente viene verificato utilizzando considerazioni basate sulla stabilità dei massi costituenti la scogliera stessa.

La scogliera in progetto risulta formata da massi di grosse dimensioni con peso e volume minimi pari rispettivamente a 1400 kg e 0.56 m³, ottenuti da cave, avente struttura compatta, né geliva né lamellare.

Occorre verificare la stabilità dei singoli massi costituenti la scogliera.

Le ipotesi di verifica, necessariamente semplificate risultano:

- massi di forma cubica;
- massi investiti dalla corrente sulla faccia di monte;
- massi vincolati a scorrimento da un contrasto di altezza D al di sopra del piano di appoggio.

La velocità massima della corrente ricavata dalle verifiche idrauliche effettuate sulle sezioni interessate dalla scogliera è pari a circa 4.1 m/s.

$$P_{\text{MASSO}} = V * (\rho_{\text{MASSO}} - \rho_{\text{ACQUA}}) * g = 0.56 * (2500 - 1000) * 9.816 = 8.2 \text{ kN}$$

Ove V è il volume del masso, ρ_{ACQUA} è la densità dell'acqua, g è l'accelerazione di gravità.

La forza di spinta S dell'acqua sulla faccia di monte risulta:

$$S = \frac{1}{2} C_R * \rho_{\text{ACQUA}} * v^2 * \Omega = \frac{1}{2} * 1.6 * 1000 * 16.8 * (0.82 * 0.82) = 9.1 \text{ kN}$$

dove C_R è un coefficiente di resistenza dipendente essenzialmente dalla forma del corpo e dal n° di Reynolds, ρ_{ACQUA} è la densità dell'acqua in kg/m³, v è la velocità della corrente in m/s, Ω è l'area della proiezione del corpo sul piano normale al moto, in tal caso la faccia di monte del masso.

Affinché il masso sia stabile deve essere:

$$S * (l/2 - d) < P_{\text{MASSO}} * l/2$$

dove l è il lato del cubo (0.82 m), d è il soprizzo di incastro.

Imponendo la condizione limite si ottiene:

$$d = l/2 (1 - P_{\text{MASSO}} / S) = 0.82/2 * (1 - 8.2/9.1) = 0.04 \text{ m}$$

Il soprizzo d così ottenuto corrisponde ad una frazione molto piccola del rispettivo lato (in particolare d/l = 0.05). Poiché sono state previste modalità di messa in opera dei massi tali da prevedere dei valori di ricoprimento intorno al rapporto d/l = 0.5 o superiore, le scogliere in progetto risultano verificate a rotolamento.

8. CONCLUSIONI

L'intervento di realizzazione del ponte di cantiere presso l'Area industriale di Salbertrand risulta compatibile dal punto di vista idraulico, presentando il manufatto dei franchi superiori al metro, anche per tempi di ritorno di 200 anni, superiori quindi a quanto prevedibile per un'opera temporanea il cui tempo di ritorno di riferimento è l'evento cinquantennale. Anche la verifica della scogliera posta a protezione delle spalle risulta positiva, sia relativamente allo scalzamento generato dai massi rigidi posti in sponda, sia relativamente all'instabilizzarsi per rotolamento di un singolo masso.