

## **Modellazione idraulica bidimensionale per la determinazione delle aree inondabili del fiume Ofanto**

Lia Romano (\*), Raffaella Pellegrino (\*\*), Antonio R. Di Santo (\*\*\*), Umberto Fratino (\*\*\*)

(\*) Autorità di Bacino della Puglia, c/o InnovaPuglia SpA  
Str. Provinciale per Casamassima, km 3 - 70010 Valenzano (BA), tel 080 4670226, fax 080 4670376,  
e-mail: lia.romano@adb.puglia.it;

Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica - Politecnico di Bari

(\*\*) Autorità di Bacino della Puglia

(\*\*\*) Autorità di Bacino della Puglia; Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica - Politecnico di Bari

### **Riassunto**

L'Autorità di Bacino della Puglia (AdBP) sta conducendo una complessa e articolata attività di studio finalizzata a meglio comprendere le dinamiche fluviali connesse al transito di portate di piena con prefissato tempo di ritorno nell'asta terminale del fiume Ofanto; il tutto al fine di addivenire ad una corretta valutazione delle aree a pericolosità idraulica determinate dall'eventuale esondazione del corso d'acqua e di individuare le necessarie ed opportune opere di mitigazione. Tale attività, anche alla luce delle caratteristiche geomorfologiche del tratto fluviale in esame, che è quello compreso tra il Ponte Romano, in agro di Canosa, e la foce, rappresenta un caso di sicuro interesse in quanto impone l'utilizzo contestuale di alcune moderne tecniche di analisi sia nella gestione del dato topografico sia nell'utilizzo di codici di calcolo idraulico a diversa complessità. La costruzione del modello geometrico, sulla base del quale si è sviluppata la simulazione idrodinamica, si è avvalsa di un rilievo laser-scanner ad alta risoluzione (LIDAR – *Light Detection and Ranging*) su un'ampia fascia territoriale lungo il corso del fiume, che ha restituito un modello digitale di superficie (DSM) e un modello digitale del terreno (DTM), con cella di dimensione 1m x 1m e precisione decimetrica, integrati da ortofoto ad alta risoluzione. Di contro, la simulazione idrodinamica è stata condotta adottando una schematizzazione 1D/2D, con soluzione monodimensionale all'interno delle arginature e bidimensionale all'esterno di esse. In merito a tale ultimo aspetto si rileva come l'utilizzo di un modello bidimensionale di risoluzione delle equazioni di De Saint Venant, risulta indispensabile a definire compiutamente i deflussi che si sviluppano nelle aree contermini ai rilevati arginali, per la definizione delle quali si è fatto ricorso ad una rappresentazione tridimensionale a mesh quadrata.

### **Abstract**

Apulia Basin Authority (AdBP) is actually carrying out overall, advanced and complex studies for evaluating flooding areas of downstream reach of Ofanto river, one of the most important in Southern Italy. The performed analysis is strictly related to a reliable definition of the hydraulic risk map in order to plan efficient hazard management actions. According to the geo-morphological characteristics of the selected river branch, having a length of about 36 km from the Roman bridge, close to Canosa city, to the sea outfall, this activity represents an interesting case study for the contextual use of modern technologies in topographic data management and hydraulic computation. The geometrical model used for the hydraulic simulation has been created using data coming from airborne laser scanning (LIDAR), which has allowed to realize 1 m cell-size Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM), integrated with high-resolution digital orthophotos. The hydraulic simulation has been developed adopting a 1D/2D mixed scheme, where mono-dimensional model within the levees and two-dimensional model outside were used.

## 1. Premessa

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali, tese al costante e periodico aggiornamento del Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) vigente nel territorio di competenza, l'Autorità di Bacino della Puglia (AdBP) ha in fase di completamento una complessa e articolata attività di studio finalizzata alla puntuale individuazione delle dinamiche connesse al transito di portate di piena con assegnato tempo di ritorno nel tratto terminale dell'asta principale del fiume Ofanto.

Il fiume Ofanto è uno dei più importanti corsi d'acqua del Mezzogiorno; nasce in provincia di Avellino, nell'Altipiano Irpino, a circa 715 metri sul livello del mare, e scorre per circa 170 km, fino a sfociare nel mare Adriatico al confine tra le province di Bari e Foggia. Lungo il suo tortuoso percorso, l'Ofanto raccoglie le acque di un bacino di circa 2790 km<sup>2</sup>, che si estende nei territori delle regioni Puglia, Basilicata e Campania [fig. 1]. Il suo regime fluviale è marcatamente torrentizio con una portata media alla foce di circa 15 m<sup>3</sup>/s, e risulta caratterizzato da prolungati periodi di magra con portate pressoché nulle, anche se non è infrequente l'occorrenza di piene di rilevante entità ben documentate sin dall'antichità. Il sistema informativo (SIVAPI) del Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI – CNR) testimonia, infatti, nel periodo tra il 1920 e il 1970, l'occorrenza di diverse esondazioni del fiume Ofanto, che hanno provocato ingenti danni e pericolo per la collettività.

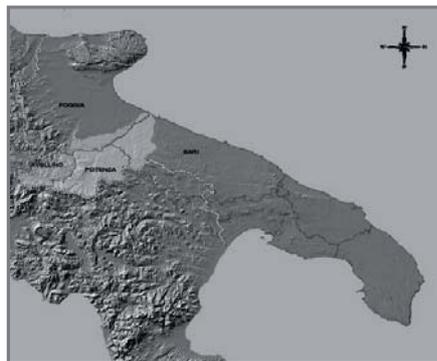


Figura 1 - Il bacino idrografico del fiume Ofanto

Il tratto fluviale esaminato nello studio è quello compreso tra il Ponte Romano in agro di Canosa di Puglia e la foce, per una lunghezza di circa 36 km, ed interessa i territori comunali di Canosa di Puglia, Barletta (in destra idraulica), Cerignola, Trinitapoli e Margherita di Savoia (in sinistra idraulica). L'area direttamente connessa al tratto fluviale oggetto di studio ha un'estensione di circa 200 km<sup>2</sup> ed è sede di un complesso sistema infrastrutturale ed agricolo, che ha determinato nel tempo una significativa alterazione del naturale assetto idraulico del territorio. Infatti, la valle bassa dell'Ofanto è stata interessata, sin dall'ottocento, da un'opera sistematica di regimazione delle acque tesa principalmente alla bonifica e al recupero agronomico dei territori contermini. Tra le opere di bonifica si segnala, in agro di Trinitapoli, la presenza del *derivativo ofantino*, realizzato nel 1845 per operare la bonifica per colmata del lago di Salpi e il canale deviatore del vallone Tittadegna, che convoglia nell'Ofanto, a circa 2 km dalla foce, le acque di un bacino idrografico di circa 300 km<sup>2</sup>.

La situazione morfologica, come modificata dagli interventi di sistemazione idraulica succedutisi negli anni, e la rilevanza che il corso d'acqua ha nell'ambito dell'assetto idraulico regionale impongono particolare attenzione nella valutazione delle pericolosità connesse alla possibile occorrenza di eventi di piena di assegnata frequenza e suggeriscono l'utilizzo contestuale di moderne tecniche di analisi sia nella gestione del dato topografico sia nell'utilizzo di codici idraulici a diversa complessità.

## 2. Descrizione della modellazione idraulica e topografica utilizzata

In relazione alle peculiarità fisiografiche ed ambientali del tratto del fiume Ofanto oggetto di studio, ne deriva che la modellazione idraulica cui far riferimento deve essere tale da rappresentare correttamente il moto all'interno degli argini o dei cigli di scarpata, il passaggio attraverso le luci dei ponti, la confluenza con il torrente Tittadegna, nonché l'esondazione nelle aree contermini, valutando contestualmente l'interferenza dei deflussi con i rilevati stradali e i canali ivi presenti. Alla luce di tale esigenza nonché della necessità di ottimizzare l'onere computazionale, si è scelto di operare la simulazione idrodinamica adottando una schematizzazione mista 1D/2D, con soluzione monodimensionale all'interno delle arginature - o, dove queste sono assenti, dei cigli di scarpata - e

bidimensionale all'esterno di esse [fig. 2], al fine di definire compiutamente i flussi idrici che si sviluppano nelle aree di indagine. All'uopo si è fatto ricorso ad un codice commerciale e in particolare al modello di calcolo TUFLOW (*Two-dimensional Unsteady Flow*), distribuito alla BMT WBM.

Tuttavia un'affidabile ed accurata modellazione idraulica non può essere effettuata qualora non si disponga di un rilievo topografico di grande dettaglio, essendo l'informazione altimetrica la prima forzante nella definizione dei percorsi di flusso idrico a pelo libero. Per tale ragione, nell'ambito del Progetto PODIS del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, l'Autorità di

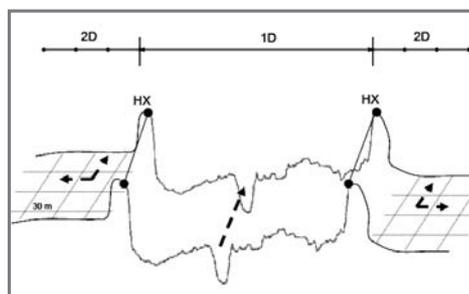


Figura 2 - Schema idrodinamico 1D/2D

Bacino della Puglia ha acquisito un rilievo LIDAR, eseguito dalla Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A. (CGR) di Parma su un'ampia fascia territoriale lungo il corso del fiume, sulla base del quale poi costruire il modello geometrico del terreno. Il LIDAR (Light Detection and Ranging) è una tecnica di telerilevamento "attivo" per l'esecuzione di rilievi topografici di alta risoluzione. Il rilievo viene effettuato con un mezzo aereo sul quale è installato un laser-scanner composto da trasmettitore (essenzialmente un laser), ricevitore (un telescopio) e sistema di acquisizione dati. La tecnologia è basata sull'invio di impulsi laser a terra e sulla registrazione di più risposte appartenenti ad ogni singolo impulso, con la restituzione di una distribuzione di punti aventi coordinate sul piano (XY) e quota altimetrica (Z). Dalla nuvola di punti si ottengono, attraverso tecniche successive di filtraggio del dato, il modello digitale di superficie (DSM) e il modello digitale del terreno (DTM), con maglia nel piano di dimensione 1m x 1 m e precisione altimetrica inferiore a 0,1 m. In funzione delle esigenze computazionali, il DTM acquisito è stato successivamente ricampionato per rappresentare tridimensionalmente il dominio di calcolo 2D con una mesh quadrata di lato pari a 35 m, mentre argini e rilevati stradali sono stati inseriti come breaklines, estruse sulla mesh. Il dominio monodimensionale è stato invece implementato attraverso sezioni ortogonali alla direzione preferenziale di deflusso all'interno dell'alveo del fiume Ofanto, del deviatore del Tittadegna, del derivativo e dei canali interpoderali. Sono stati rilevati a terra, inoltre, gli attraversamenti ubicati nell'area di indagine, come individuati tramite lettura del DTM e delle ortofoto ad alta risoluzione. Tutti gli attraversamenti sono stati quindi schematizzati come elementi monodimensionali ed opportunamente connessi al campo bidimensionale [fig. 3].

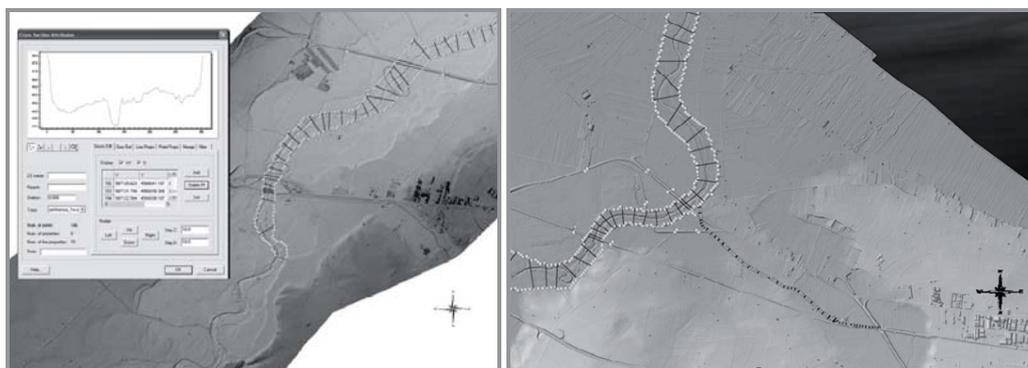


Figura 3 - DTM idraulico 1m x 1m generato da rilievo LIDAR

Il DSM invece è stato utilizzato per meglio definire l'indice di scabrezza, avendo tale parametro un ruolo chiave nella simulazione della propagazione dei deflussi. La scabrezza, in quanto elemento chiave nella definizione delle componenti che oppongono resistenza al moto - quali ostruzioni, irregolarità superficiali e vegetazione - regola come conseguenza tiranti idrici e velocità di scorrimento idrico. Tuttavia, a causa dell'impossibilità di condurre misurazioni in campo e su larga scala di tale parametro ed a causa dell'assenza di dati utili alla calibrazione, la valutazione è generalmente condotta facendo ricorso a valori desunti dalla letteratura tecnica di settore. A tal fine si è fatto riferimento alle mappe digitalizzate di uso del suolo della nuova Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 e all'elaborazione dei dati LIDAR, che consente di estrapolare informazioni puntuali sulla vegetazione. Un prodotto derivato dei dati LIDAR è, ad esempio, il modello digitale della vegetazione, definito CHM (Canopy Height Model), che si ottiene dalla sottrazione del DTM dal DSM [fig. 4]. Nel dominio di calcolo 2D si è quindi assegnato, cella per cella, un diverso indice di scabrezza, il cui valore può essere costante o funzione del tirante idrico.

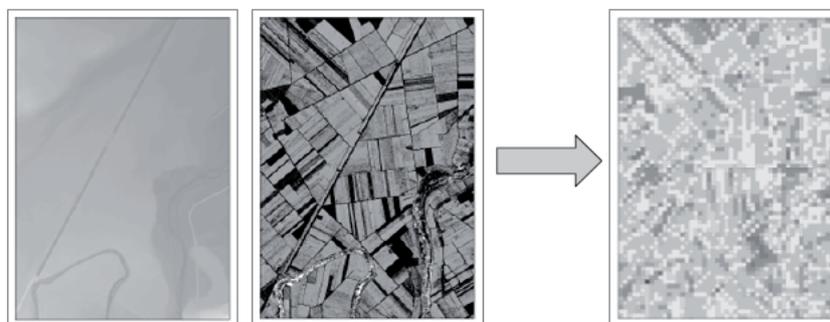


Figura 4 - CHM (Canopy Height Model) ottenuto dal DTM e dal DSM

#### 4. L'analisi idrologica ed idraulica

La simulazione idraulica in moto vario è stata condotta utilizzando come condizioni al contorno di monte gli idrogrammi di piena propri di eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni. In particolare la stima degli apporti pluviometrici è stata eseguita secondo la metodologia indicata dal progetto "Valutazione Piene" (VaPi) sviluppata dal GNDCI - CNR, la quale si avvale, per la stima delle curve di possibilità climatica delle precipitazioni, della distribuzione TCEV (*Two Components Extreme Value*) con regionalizzazione di tipo gerarchico. Nello specifico sono state definite le curve di possibilità pluviometrica [fig.5], dalle quali sono stati derivati ietogrammi del tipo Chicago [fig. 6].

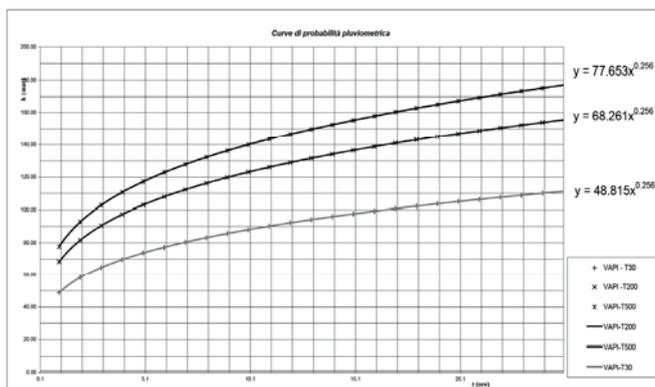


Figura 5 - Procedura VAPI, CPP della zona omogenea 4

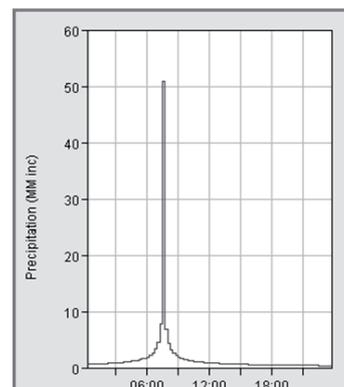


Figura 6 - Ietogramma Chicago T200, pioggia durata h24

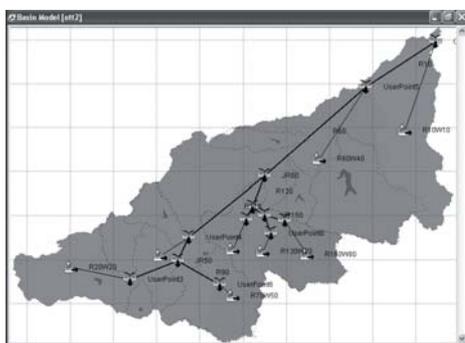


Figura 7 - Schema idrologico del fiume Ofanto

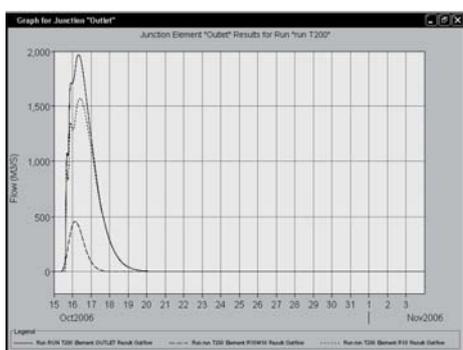


Figura 8 - IUH alla foce del fiume Ofanto (Tr 200 anni)

Il calcolo della precipitazione efficace e del ruscellamento superficiale è stato effettuato mediante l'ausilio del software HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System*) del U.S. Army Corps of Engineers [fig. 7], mentre l'idrogramma di piena è stato stimato facendo riferimento all'IUH calcolato con Muskingum Cunge, che consente di valutare in via sintetica sia il ritardo che la laminazione dell'idrogramma di progetto [fig. 8]. Nello specifico le portate al colmo alla foce del fiume Ofanto sono state valutate pari a circa 1200, 1900 e 2450 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza di un tempo di ritorno rispettivamente pari a 30, 200 e 500 anni.

Note le portate di piena e definita la condizione al contorno a valle, il modello di calcolo implementato ha permesso di definire dettagliatamente il comportamento idraulico del corso d'acqua e quindi di individuare le aree caratterizzate dalla presenza di deflusso concentrato e/o diffuso sia all'interno delle strutture arginali sia esternamente ad esse.

In tal modo si è quindi in grado di pervenire ad una attendibile definizione delle aree inondate per effetto del transito di portate di piena di assegnata frequenza e quindi coerentemente pianificare interventi volti alla messa in sicurezza idraulica del territorio. A titolo di esempio, si è simulata la presenza di un argine in sinistra idraulica della foce [fig. 9], al fine di valutarne l'efficacia in rapporto alla necessità di mettere in sicurezza le aree limitrofe dall'esondazione derivante dal transito di una portata di piena bicentenaria.



Figura 9 - Simulazione idraulica relativa alla presenza dell'argine in foce

## 5. Conclusioni

Il modello 1D/2D generato sviluppa appieno gli obiettivi proposti, essendo in grado di riprodurre le dinamiche idrauliche di alluvionamento, ovvero la propagazione della piena all'interno degli argini e, al superamento della capacità di deflusso del corso d'acqua, l'esonazione nei territori limitrofi. Il modello idraulico è inoltre atto ad investigare differenti configurazioni, come, ad esempio, quelle relative alla riduzione della scabrezza, indotta da interventi di manutenzione dell'alveo, o all'innalzamento degli argini. Risulta così possibile prevedere scenari di inondazione con prefissato tempo di ritorno, quantificando non solo l'estensione delle aree alluvionate, ma anche parametri idraulici rilevanti quali tiranti, velocità e durata del transito del deflusso [fig. 10]. Le informazioni che ne derivano sono strategiche per una corretta pianificazione territoriale, sia per la determinazione della pericolosità idraulica nella configurazione attuale, sia nella valutazione preventiva in merito all'efficacia di eventuali interventi di mitigazione del rischio.

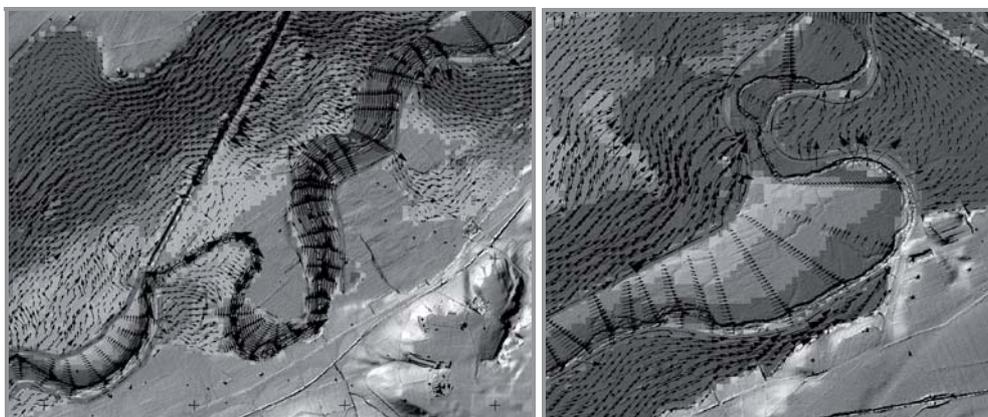


Figura 10 - Rappresentazione vettoriale della velocità sul raster dei tiranti idrici

## Bibliografia

- Arcment G.J. Jr. & Schneider V.R. (1984), *Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channel and floodplains*, United States Geological Survey, Water-Supply Paper 2339
- BMT WBM (2008), *TUFLOW User Manual- GIS Based 2D/1D Hydrodynamic Modelling*, <<http://www.tuflow.com>>
- Bradley J. N., FHWA, Bridge Division (1978) *Hydraulics of bridge waterways*, HDS1 FHWA
- Chow V.T., *Open Channel Hydraulics* -, McGraw-Hill, USA , ISBN 07-010776-9
- Copertino V., Fiorentino M. (1994), *Valutazione delle Piene in Puglia*, La valutazione delle piene in Italia – Rapporto Nazionale di Sintesi, CNR-GNDCI
- French J.R. (2003), *Airborne Lidar in support of geomorphological and hydraulic modelling*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (3) pp 321-335.
- K. Zhao & S. Popescu, (2007), *Hierarchical Watershed Segmentation of Canopy Height Model for Multi-Scale Forest Inventory*, ISPRS Volume XXXVI, Part 3 / W52, 436-442
- Maione U. (1995), *Le piene fluviali*, Padova, Italia, La Goliardica Pavese
- Smith M.J., Asal F.F.F., Priestnall G. (2004), *The use of photogrammetry and lidar for landscape roughness estimation in hydrodynamic studies*, ISPRS, XXXB, part B3, pp. 714-719
- Syme W.J. (2001), *Modelling of bends and hydraulic structures in a two-dimensional scheme*, Conference on Hydraulics in Civil Engineering, Hobart, November 2001
- Syme W.J. (2001), *TUFLOW - Two & Onedimensional unsteady flow Software for rivers, estuaries and coastal waters*, IEAust Water Panel Seminar and Workshop on 2d Flood Modelling, Sydney, February 2001
- Syme W.J., Apelt C. (1990), *Linked 2D/1D Flow Modelling using the Shallow Water Equations*, Conference on Hydraulics in Civil Engineering Sydney, Australia.
- Syme W.J., Rogencamp G.J., Nielsen C.F. (1999), *Twodimensional modelling of floodplains, a powerful floodplain management tools*, NSW Flood Mitigation Conference, Tamworth, NSW, 1999
- US Army Corps of Engineers (2001), *Hydrologic Modeling System, Hec-HMS User's Manual*, <<http://www.usace.army.mil>>
- US Army Corps of Engineers (2002), *Hec-Ras Hydraulic Reference Manual*, <<http://www.usace.army.mil>>
- US Army Corps of Engineers (1995), *Flow transitions in bridge backwater analysis*, <<http://www.usace.army.mil>>