

**Dott. Ing. Valerio Caleffi**  
*Ricercatore – SC 08/A1 – SSD ICAR/01*  
*Dipartimento di Ingegneria*  
*Università degli Studi di Ferrara*

## **CURRICULUM DELL'ATTIVITA' SCIENTIFICA E DIDATTICA**

### **Dati personali**

Nome e Cognome Valerio Caleffi  
Luogo e data di nascita Ferrara, 14 Marzo 1974  
Telefono ufficio +39.0532.974977  
e-mail *valerio.caleffi@unife.it*  
Cittadinanza Italiana  
Stato civile Celibe  
Servizio militare Assolto

### **Posizione attuale**

Ricercatore a Tempo Indeterminato confermato, tempo pieno, settore scientifico disciplinare ICAR/01 – Idraulica, settore concorsuale 08/A1 – Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, dal 1 novembre 2008 presso il Dipartimento Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.

Abilitazione alla posizione di Professore Associato nel SSD ICAR/01 Idraulica nella prima tornata (2012) (esiti usciti a dicembre 2013, 5/5 pareri positivi e concordi).

### **Informazioni bibliometriche**

ORCID iD [0000-0001-7066-4804](https://orcid.org/0000-0001-7066-4804)  
ResearcherID [K-4668-2012](https://www.researcherid.com/rid/K-4668-2012)  
Scopus Author ID [55927251200](https://orcid.org/55927251200)

	Data Base	Publications	Total Number Citations	H-index
Indici:	Scopus	32	502	9
	Web of Science	30	432	9
	Google scholar	80	842	12

### **Iter accademico**

3/12/1999  
Laurea in Ingegneria Civile - Idraulica conseguita presso l'Università degli Studi di Ferrara con votazione 110/110 e lode. Titolo della tesi di laurea: *Codici di calcolo ai volumi finiti per l'idrodinamica alle acque basse. Applicazione ad un evento di piena sul Toce*. Relatore: Prof. Alessandro Valiani.

## Iter accademico (continua)

- 1/1/2000 - 31/12/2002 Dottorato di Ricerca in Ingegneria Civile - Idraulica, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara. Durante tale periodo è stata svolta costantemente attività di ricerca, indirizzata allo studio della modellistica numerica delle correnti a superficie libera. Il titolo di Dottore di Ricerca in Ingegneria Civile - Idraulica è stato conseguito il 4/3/2003, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara, con il massimo dei voti. Titolo della tesi di dottorato: *Modellazione numerica ai volumi finiti di moti a superficie libera a fondo fisso e mobile*. Supervisore: Prof. Alessandro Valiani. Controrelatore: Prof. Francisco Alcrudo, Departamento de Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.
- 1/1/2003 - 31/12/2007 Assegno di Ricerca in Ingegneria Civile - *SSD ICAR/01* - Idraulica, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara. Titolo dell'assegno *Modellazione numerica 2D alle acque basse di moti a superficie libera a fondo fisso e mobile*. L'attività di ricerca svolta verte principalmente sulla modellazione numerica 1D e 2D, alle acque basse, dell'idrodinamica fluviale a fondo fisso e mobile e si riallaccia alla ricerca condotta durante il Corso di Dottorato.
- 1/1/2008 - 31/10/2008 Contratto di collaborazione ad attività di ricerca a tempo determinato (D.R. 30/07/2004 n.1094/2004 - 31/05/2006 n. 868-2006) - *SSD ICAR/01* - Idraulica, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara. Titolo del contratto *Modelli numerici ad alto ordine di accuratezza per le equazioni delle acque basse*. L'attività di ricerca riguarda la modellazione 1D e 2D, alle acque basse, dell'idrodinamica fluviale a fondo fisso e mobile affrontata mediante modelli numerici ad alto ordine di accuratezza.
- 1/11/2008 - 31/10/2011 Ricercatore universitario non confermato (D.R. 22/10/2008 n.2061/2008) - *SC 08/A1 Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, SSD ICAR/01 Idraulica* - presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.
- 1/11/2011 - oggi Ricercatore universitario confermato (D.R. 7/03/2012 n.6154/2012) - *SC 08/A1 Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, SSD ICAR/01 Idraulica* - presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.

## Iter professionale

- 13/06/2000 Abilitazione professionale in Ingegneria Idraulica, esame sostenuto con successo presso l'Università degli Studi di Bologna.
- 9/10/2000 Iscrizione all'Albo degli Ingegneri effettuata presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Ferrara. Numero di matricola 1397.

## Corsi e Seminari

- 19/6/2000 - 30/6/2000 *XVII Grand Combin Summer School of Geomorphological Fluid Mechanics*, Organizzata dall'*Instituto di Cosmogeofisica* - CNR (Torino, Italia) e dalla *Mécanique Fondamentale des Fluides Géophysiques et Astrophysiques* CNRS, Francia, St. Oyen, Aosta.

## Corsi e Seminari (continua)

- 3/10/2000 - 5/10/2000 Seminario *Processi stocastici e autosimilarità in idro-meteorologia*, Proff. F. Castelli e A. Moro, organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Firenze*, Firenze.
- 19/4/2001 Seminario *Teoria del potenziale per sistemi parabolici con dati non omogenei al bordo*, Prof. V. A. Solonikov organizzato dal *Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Ferrara*, Ferrara.
- 24/10/2001 Seminario *Weak and classical solutions to Hele-Shaw problem*, Prof. Anvarbek Meirmanov, *Dipartimento di Matematica, Beira Interior University, Covilha, Portogallo*, organizzato dal *Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Ferrara*, Ferrara.
- 6/5/2002 - 18/5/2002 Corso *Numerical Methods for Hyperbolic Systems*, Prof E. F. Toro, organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento*, Trento.

## Esperienze all'estero

- 21/1/2002 - 22/4/2002 Periodo di studio presso il *Centre for Mathematical Modelling and Flow Analysis* del *Department of Computing and Mathematics, Manchester Metropolitan University*, supervisori Prof. Derek Causon, Dr. David Ingram and Dr. Clive Mingham, Manchester, UK. Studio della combinazione del metodo "Cut cell" con tecniche di integrazione numerica ai volumi finiti per la simulazione di moti a superficie libera e fondo mobile in domini di forma irregolare.

## Comitati scientifici e organizzazione convegni

- 2013 - 2014 Il sottoscritto è co-convener della sessione *Numerical modeling of river morphodynamics* nell'ambito della *EGU General Assembly*, organizzato dal EGU, Vienna, Austria, 27 aprile - 2 maggio 2014.
- 2014 - 2015 Il sottoscritto è membro del comitato scientifico del *Workshop on Advances in Numerical Modelling of Hydrodynamics*, organizzato dal Pennine Water Group, Università di Sheffield, Sheffield, UK, 24-25 marzo 2015.

## Partecipazione a convegni scientifici

- 12/9/2000 - 15/9/2000 *XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria Ambientale, Università degli Studi di Genova*, Genova.
- 4/9/2002 - 6/9/2002 Conferenza Internazionale sull'Idraulica Fluviale *River Flow 2002*, organizzata da *Unité de Génie Civil, Université catholique de Louvain*, Louvain-la-Neuve, Belgio.
- 16/9/2002 - 19/9/2002 *XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università degli Studi della Basilicata*, Potenza.

## Partecipazione a convegni scientifici (continua)

- 7/4/2003 - 9/4/2003 Conferenza Internazionale *Braided rivers 2003* organizzato da *University of Birmingham*, Birmingham, UK.
- 16/6/2003 - 18/6/2003 Simposio Internazionale *Shallow Flows* organizzato da *Delft University of Technology*, Delft, Olanda.
- 10/9/2003 - 12/9/2003 Terza Conferenza Internazionale *Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*, organizzato da *Swiss Federal Research Institute WSL*, Davos, Svizzera.
- 20/9/2004 - 24/9/2004 Dodicesima Conferenza Internazionale *Transport & Sedimentation of Solid Particles* organizzato da *Institute of Hydrodynamics e da Academy of Sciences of the Czech Republic* di Praga (Repubblica Ceca), in collaborazione con *Agricultural University*, Wroclaw (Polonia), il convegno si è tenuto a Praga, Repubblica Ceca.
- 7/9/2004 - 10/9/2004 *XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento*, Trento.
- 5/5/2005 - 7/5/2005 Partecipazione su invito al Workshop *Analysis and Numerics of Kinetic and Hydrodynamic Modelling for the Environment and the Economy* organizzato dal *Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Pavia*, tenutosi a Castiglione della Pescaia (Grosseto).
- 6/9/2006 - 8/9/2006 Conferenza Internazionale sull'Idraulica Fluviale *River Flow 2006*, organizzata da *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisbona, Portogallo.
- 10/9/2006 - 15/9/2006 *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dalle Università di Roma, *La Sapienza* e *Roma 3*, Roma.
- 18/6/2007 - 21/6/2007 *International Workshop on Numerical Modelling of Hydrodynamics for Water Resources* organizzato da Centro Politecnico Superior, University of Zaragoza, Zaragoza, Spagna.
- 1/7/2007 - 6/7/2007 *XXXII Congress of IAHR - Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics* organizzato da CORILA - Consorzio Ricerche Laguna, Università degli Studi di Bologna e Università degli Studi di Padova, Venezia, Italia.
- 9/9/2008 - 12/9/2008 *XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dall'Università degli Studi di Perugia, Perugia.
- 4/5/2010 - 6/5/2010 *First European IAHR Congress*, organizzato Heriot-Watt University e National Telford Institute, Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom.
- 21/6/2010 - 25/6/2010 *SIMAI 2010 Congress*, organizzato da SIMAI (Società Italiana di Matematica Applicata ed Industriale) e SEMA (Sociedad Española de Matemática Aplicada), Cagliari.
- 14/9/2010 - 17/9/2010 *XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dall'Università degli Studi di Palermo, Palermo.

## Partecipazione a convegni scientifici (continua)

4/7/2011 - 8/7/2011	<i>International Conference on Numerical Methods for Hyperbolic Equations Theory and Applications</i> organizzato da Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spagna.
19/9/2011 - 23/9/2011	<i>International Conference on Numerical Approximations of Hyperbolic Systems with Source Terms and Applications</i> organizzato da CNRS, Roscoff, Bretagna, Francia.
4/6/2012 - 6/6/2012	<i>3rd International Symposium on Shallow Flows</i> organizzato da University of Iowa, Iowa City, IA, USA.
25/6/2012 - 28/6/2012	<i>SIMAI 2012 Congress</i> , organizzato da SIMAI (Società Italiana di Matematica Applicata ed Industriale), Torino.
10/9/2012 - 14/9/2012	<i>XXXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche</i> organizzato dall'Università degli Studi di Brescia, Brescia.
17/6/2013 - 20/6/2013	<i>2013 SIAM Conference on Mathematical and Computational Issues in the Geosciences</i> organizzato da SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics), Padova.
9/9/2013 - 10/9/2013	<i>Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems</i> organizzato da Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Milano, Milano.
14/4/2014 - 16/4/2014	<i>3<sup>rd</sup> European IAHR Congress</i> , organizzato da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), Porto, Portogallo.
8/9/2014 - 10/9/2014	<i>XXXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche</i> organizzato dal GII (Gruppo Italiano Idraulica), presso il Politecnico di Bari, Bari.
24/3/2015 - 25/3/2015	<i>Advances in Numerical Modelling of Hydrodynamics Workshop</i> , Kroto Research Institute, University of Sheffield, UK.
15/4/2015 - 16/4/2015	<i>Workshop High order reconstruction and well balancing techniques for hyperbolic conservation and balance laws</i> , Torino – Dipartimento di Matematica – Università degli Studi di Torino.
28/6/2015 - 3/7/2015	<i>36<sup>th</sup> IAHR World Congress</i> , The Hague-The Netherland.
17/12/2015 - 19/12/2015	<i>Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems</i> , Dept. of Mathematics and Computer Science University of Ferrara.
27/3/2017 - 31/3/2017	<i>European Workshop on High Order Nonlinear Numerical Methods for Evolutionary PDEs: Theory and Applications</i> , University of Stuttgart, Germany.
26/6/2017 - 28/6/2017	<i>4<sup>th</sup> Int. Symposium of Shallow Flows</i> , Eindhoven University of Technology, Eindhoven, NL.
21/2/2017 - 22/2/2017	<i>Workshop Mathematical and Numerical Modeling of the Cardiovascular System and Applications</i> , University of Pavia.

## Partecipazione a convegni scientifici (continua)

- 16/04/2018 - 20/04/2018      *Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems*, Dept. of Mathematics and Computer Science University of Ferrara.
- 12/6/2018 - 14/6/2018      *5<sup>th</sup> European IAHR Congress*, organizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale Meccanica dell'Università di Trento, Trento, Italia.
- 12/9/2018 - 14/9/2018      *XXXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche*, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche, Ancona.

## Attività didattica - Corsi di Laurea

- A.A. 14/15 - 18/19      Titolare del Corso Ufficiale di *Idraulica Ambientale* relativo al *Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale*, presso il *Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara*.
- A.A. 12/13 - 13/14      Titolare del Corso Ufficiale di *Modellistica idraulica* relativo al *Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile*, presso il *Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara*.
- A.A. 03/04 - 11/12      Titolare del Corso Ufficiale di *Modellistica idraulica* relativo al *Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile* e al *Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio*, presso la *Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara* (A.A. 03/04 - 07/08, in qualità di Professore a contratto).
- 1/1/2000 - oggi      Durante gli anni del Dottorato di Ricerca e nel successivo periodo da assegnista di ricerca, l'attività didattica è consistita prevalentemente in esercitazioni e seminari su argomenti monografici nei settori dell'Idraulica di base (*Corsi di Idraulica I ed Idraulica II*) nell'ambito del *Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale*, presso il *Dipartimento di Ingegneria (Facoltà di Ingegneria)* dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Il sottoscritto ha preso parte agli esami di profitto nell'ambito dei corsi *Idraulica I ed Idraulica II* nell'ambito del *Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale*, presso il *Dipartimento di Ingegneria (Facoltà di Ingegneria)* dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Il sottoscritto ha preso parte alle Commissioni di Laurea del *Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile e Ambientale* e dei *Corsi di Laurea Specialistica in Ingegneria Civile e in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio* presso la *Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara*.
- Il sottoscritto ha preso parte alle Commissioni delle Prove per la Verifica delle Conoscenze Minime di Matematica del *Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile e Ambientale*, presso il *Dipartimento di Ingegneria (Facoltà di Ingegneria)* dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Il sottoscritto ha preso parte alle Commissioni dei Test di Ammissione al *Corso di Laurea Triennale in Ingegneria Civile e Ambientale* presso la *Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara*.

## Attività didattica - Corsi di Laurea (continua)

Il sottoscritto ha rivestito il ruolo di tutor universitario nei confronti di studenti che hanno svolto tirocini curriculari formativi presso Enti:

- Tirocinante: Filippo Mazzoni; presso: Agenzia Regionale per la Prevenzione dell'Ambiente. ARPA Emilia Romagna.
- Tirocinante: Lorenzo Paternieri; presso: Consorzio di Bonifica Navarolo, via Roma 7, 26041, Casalmaggiore (CR).
- Tirocinante: Elia Arbustini; presso: Acquevenete, Viale B. Tisi da Garofolo, 11, 45100, Rovigo (RO).

Il sottoscritto ha effettuato una attività tutoriale nei confronti di laureandi che hanno affrontato tesi di laurea inerenti diversi temi di pertinenza dell'idraulica. In alcuni casi tale attività è stata svolta nella veste di primo relatore e correlatore. La lista seguente riassume le tesi supervisionate:

- *Il trasporto solido del fiume azzurro prima e dopo la costruzione della diga delle tre gole.* Laureanda: Margherita Evangelisti; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2017-2018, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *La mitigazione degli effetti dell'hydropeaking sull'ecosistema fluviale.* Laureanda: Rossana Vincenzi; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2017-2018, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *La classificazione idrodinamica dei diffusori.* Laureanda: Sonia Riccitiello; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2017-2018, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Il Transient Storage Model per l'analisi della dispersione di soluti in corsi d'acqua caratterizzati dalla presenza di aree di accumulo.* Laureanda: Irene Marzola; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2016-2017, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Il disastro ambientale della piattaforma Deepwater Horizon: la dispersione del petrolio sversato.* Laureando: Stefano Ferrarini; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2016-2017, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Modellazione degli effetti delle zone iporreiche sul trasporto di soluto nei corsi d'acqua.* Laureando: Leonardo Gherlinzoni; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2016-2017, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *L'effetto delle zone di accumulo sulla dispersione degli inquinanti nei corsi d'acqua.* Laureanda: Irene Petocchi; relatore Valerio Caleffi, correlatore Alessandro Valiani. - A.A. 2016-2017, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *La dispersione longitudinale nei corsi d'acqua vegetati.* Laureando: Riccardo Lamborghini; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Analisi delle fluttuazioni delle concentrazioni di inquinanti nell'effluente del depuratore di Comacchio.* Laureanda: Silvia Cermaria; relatori Valerio Caleffi e Paola Verlicchi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Misure di mitigazione dell'hydropeaking e del thermopeaking.* Laureanda: Vittoria Grillini; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Effetti della vegetazione sulla dispersione longitudinale.* Laureando: Marco Ricci Bitti; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*

- *Inquinamento da metalli pesanti dovuto alla dismissione delle miniere.* Laureando: Mattia Lanzoni; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *La dispersione longitudinale nei corsi d'acqua vegetati.* Laureando: Riccardo Lamborghini; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2015-2016, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Hydropeaking e thermopeaking nei fiumi regolati ai fini della produzione di energia idroelettrica.* Laureando: Matteo Pesarin; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2014-2015, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Criteri di valutazione dello stato delle acque superficiali fluviali ai sensi della direttiva quadro 2000/60/CE e del Decreto Legislativo 152/2006.* Laureando: Filippo Mazzoni; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2014-2015, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Cuneo Salino: aspetti teorici e pratici.* Laureanda: Giulia Graldi; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2014-2015, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Il regime termico dei corsi d'acqua.* Laureando: Michele Mastella; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2014-2015, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Energia Marina: Aspetti teorici e Potenzialità.* Laureando: Matteo Cuccarello; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2014-2015, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Progettazione dei mini impianti idroelettrici: la valutazione dell'impatto ambientale.* Laureanda: Linda Cervellati; relatori Alessandro Valiani e Valerio Caleffi. - A.A. 2013-2014, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Progettazione dei mini impianti idroelettrici: la valutazione dell'impatto ambientale.* Laureanda: Giulia Aguzzi; relatori Alessandro Valiani e Valerio Caleffi. - A.A. 2013-2014, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Mini-hydro: ottimizzazione della scelta delle turbine.* Laureanda: Arianna Romagnoli; relatori Alessandro Valiani e Valerio Caleffi. - A.A. 2013-2014, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Mini hydro: Principi di progettazione per dispositivi di transito della fauna ittica.* Laureanda: Rachele Zaccherini; relatori Alessandro Valiani e Valerio Caleffi. - A.A. 2013-2014, *Università degli studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, Corso di laurea triennale in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Equazioni alle acque basse: Il problema di Riemann in presenza di una discontinuità topografica.* Laureando: Davide Carrieri; relatori Alessandro Valiani e Valerio Caleffi. - A.A. 2011-2012, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile e Ambientale.*
- *Analisi degli schemi bilanciati Discontinuous Galerkin applicati alle equazioni alle acque basse.* Laureando: Michele Burtini; relatore Valerio Caleffi, correlatore Alessandro Valiani. - A.A. 2008-2009, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea specialistica in Ingegneria Civile.*
- *Efficienza computazionale degli schemi agli elementi finiti Discontinuous Galerkin per le equazioni alle acque basse.* Laureando: Alessandro Buglioni; relatore Valerio Caleffi. - A.A. 2007-2008, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile.*
- *Risalita del cuneo salino: fenomenologia e schematizzazione.* Laureanda: Eleonora Lazzari; relatore Alessandro Valiani, correlatore Valerio Caleffi. - A.A. 2007-2008, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile.*



- *Realizzazione di un modello di evento finalizzato alla stesura del piano di protezione civile della provincia di Ferrara.* Laureando: Nicola Cavallini; relatore Marco Franchini, correlatore Valerio Caleffi. - A.A. 2005-2006, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile.*
- *Modellazione numerica ai volumi finiti su griglie non strutturate per la simulazione di eventi di inondazione.* Laureando: Nicola Greggio; relatore Valerio Caleffi, correlatore Alessandro Valiani. - A.A. 2004-2005, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile.*
- *Miglioramento delle condizioni di navigabilità del fiume Po: simulazioni numeriche.* Laureando: Begnudelli Lorenzo; relatore Alessandro Valiani, correlatore Valerio Caleffi. - A.A. 2002-2003, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica.*
- *Integrazione numerica ai volumi finiti delle equazioni bidimensionali alle acque basse: proposta di un codice di calcolo implicito.* Laureando: Frazzoli Andrea; relatore Alessandro Valiani, correlatore Valerio Caleffi. - A.A. 2000-1999, *Università degli studi di Ferrara, Facoltà di Ingegneria, Corso di laurea in Ingegneria Civile - Indirizzo Idraulica.*

## Attività didattica - Corsi di Dottorato

Il sottoscritto ha effettuato attività tutoriale nei confronti di dottorandi che affrontano temi di ricerca inerenti le discipline Idrauliche. In particolare è tutore (unitamente al Prof. Valiani) di:

- Ing. Francesco Carraro, dottorando del XXX ciclo, Dottorato in Scienza dell'Ingegneria, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Ing. Giulia Bertaglia, dottoranda del XXXII ciclo, Dottorato in Scienza dell'Ingegneria, presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.

Il sottoscritto ha effettuato attività di supervisione scientifica nei confronti di un dottorando in visita presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara che affronta un tema di ricerca inerente la modellazione numerica delle confluenze dei canali a pelo libero (2015-2017):

- Dr. Mohamed Abdelrehim Selim Ibrahim ELSHOBAKI, dottorando presso il Dipartimento di Ingegneria e Scienze dell'informazione e Matematica dell'Università degli Studi dell'Aquila.

Revisore esterno per la tesi di dottorato: Schema Upwind WENO per la soluzione delle equazioni alle acque basse in forma controvariante. Candidato Ing. Marco Tamburrino. Relatore Prof. F. Gallerano. Università degli Studi di Roma. La Sapienza. Facoltà di Ingegneria. Dottorato in Ingegneria Ambientale e Idraulica - Ciclo XXV . A.A. 2012-2013.

Il sottoscritto ha svolto il ruolo di External Examiner nell'abito del Dottorato di Ricerca presso il Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, UK, per il candidato Dr. Dilshad Abdul Jabbar Haleem. Titolo della tesi: Wavelet-based numerical methods adaptive modelling of shallow water flows (2016).

Il sottoscritto ha svolto il ruolo di Presidente di Commissione nell'ambito del Dottorato di Ricerca dell'Università di Saragozza per il candidato Dr. Adrián Navas Montilla. Titolo della tesi: Accurate simulation of shallow flows using arbitrary order ADER schemes and overcoming numerical shockwave anomalies (2018).

## Altre attività istituzionali

- Membro del Consiglio della Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara (A.A. 03/04 - 11/12);
- Membro del Consiglio del Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara;
- Membro del Consiglio del Corso di Laurea Unificato dei Corsi di Laurea e Laurea Magistrale delle classi di Ingegneria Civile e Ambientale, Ingegneria Civile e Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, Università degli Studi di Ferrara;
- Membro del Collegio di Dottorato in Scienze dell'Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara;
- Commissione Dipartimentale per le attività connesse alla raccolta dei prodotti relativi alla VQR 2011-2014;
- Commissione Tecnica relativa al Gruppo di Riesame di Ricerca e Terza Missione del Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara;
- Addetto al primo soccorso per il Dipartimento di Ingegneria;
- Addetto alla lotta antincendio per il Dipartimento di Ingegneria;

## Affiliazioni

- Membro dell'associazione nazionale GII - Gruppo Italiano di Idraulica.
- Membro dell'associazione nazionale SIMAI - Società Italiana di Matematica Applicata e Industriale.

## Attività di revisione scientifica

Il sottoscritto è membro dell'Editorial board Mathematical analysis per la rivista The Scientific World Journal dal settembre 2013 - dicembre 2016.

Il sottoscritto è Associate Editor per il Journal of Hydrology and Hydromechanics (rivista pubblicata congiuntamente da Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava e Institute of Hydrodynamics of the Academy of Sciences of the Czech Republic), Praga: primo incarico, 1 gennaio 2017 – 31 dicembre 2018; secondo incarico 1 gennaio 2019 – 31 dicembre 2020.

Il sottoscritto ha svolto attività di referee per: Advances in Water Resources; Applied Mathematical Modelling; Applied Mathematics and Computation; ASCE Journal of Hydraulic Engineering; Communications in Computational Physics; Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations; Computers and Mathematics with Applications; Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering; Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics; IAHR Journal of Hydraulics Research; International Journal for Numerical Methods in Engineering; International Journal for Numerical Methods in Fluids; International Journal of Computer Mathematics; Journal of Computational Physics; Journal of Flood Risk Management; Journal of Fluid Mechanics; Journal of Hydro-Environment Research; Journal of Hydrologic Engineering; Journal of Spatial Science; Journal of Zhejiang University-SCIENCE A; Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications; Results in Physics; The Scientific World Journal; Water Management; Water Science and Technology; Water Supply; Water Science and Technology;

## Attività di revisione scientifica (continua)

Il sottoscritto ha svolto attività di referee per il XXXII Convegno Internazionale IAHR - Harmonizing the Demands of Art and Nature in Hydraulics, organizzato da CORILA - Consorzio Ricerche Laguna, Università degli Studi di Bologna e Università degli Studi di Padova, 1-7 luglio 2007, Venezia, Italia.

## Partecipazione a progetti di ricerca

### Progetti di ricerca di interesse nazionale

- 2009 - 2012      Membro dell'Unità Operativa di Ferrara, nel PRIN 2009, *Metodi numerici innovativi per problemi iperbolici con applicazioni in fluidodinamica, teoria cinetica e biologia computazionale* (responsabile nazionale Prof. G. Russo, responsabile locale Prof. L. Pareschi).
- 2003 - 2005      Membro dell'Unità Operativa di Ferrara, nel Cofin2003, *La risposta morfodinamica di sistemi fluviali a variazioni di parametri ambientali* (responsabile nazionale Prof. M. Tubino). La ricerca locale ha per titolo *Simulazione numerica e sperimentale della risposta di sistemi fluviali a variazioni idrologiche di origine naturale od antropica* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2001 - 2003      Membro dell'Unità Operativa di Ferrara, nel Cofin2001, *Morfodinamica delle reti fluviali* (responsabile nazionale Prof. M. Tubino). La ricerca locale ha per titolo *Modellazione numerica della morfodinamica fluviale per alvei di geometria reale* (responsabile locale Prof. A. Valiani).

### Progetti di ricerca di interesse locale

- 2018              Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR).
- 2017              Fondo per le attività base di ricerca (FABBR 2017).
- 2017              Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR).
- 2016              FIR 2016 – Fondo per l'Incentivazione alla Ricerca. Università degli Studi di Ferrara, Titolo della ricerca: *Modelli numerici energy-preserving per le equazioni alle acque basse* (responsabile Ing. V. Caleffi).
- 2016              Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR).
- 2014              Co-responsabile con la Prof. Elena Benvenuti, del Fondo di Ateneo Necessità di Base per la ricerca 2013. Titolo della ricerca *Tecniche computazionali avanzate per lo studio di problemi di meccanica dei fluidi e strutturali in presenza di gradienti elevati e discontinuità*.
- 2013              Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Modellazione numerica di problemi di idrodinamica ambientale* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2012              Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Sviluppo di metodi numerici discontinuous Galerkin per l'utilizzo nell'idrodinamica alle acque basse* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2011 - 2012      Membro del Tecnopolo *Terra&AcquaTech* dell'Università degli studi di Ferrara (responsabile scientifico Prof. A. de Battisti);

## Partecipazione a progetti di ricerca (continua)

- 2011            Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Metodi RKDG per la soluzione di sistemi di leggi di bilancio con termini sorgente in idrodinamica* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2010            Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Metodi numerici compatti ad alto ordine per lo studio di processi idrodinamici* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2009            Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Modellazione numerica di processi idrodinamici e morfodinamici per lo studio del rischio idraulico* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2006 - 2007    Responsabile del progetto di ricerca *Giovani Ricercatori 2006*, dal titolo *Schemi WENO bilanciati ad alto ordine di accuratezza per l'idrodinamica bidimensionale alle acque basse*.
- 2006 - 2008    Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Processi idrodinamici, morfodinamici e di trasporto in corsi d'acqua regolati e non regolati* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2003 - 2005    Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Modellazione numerica della morfodinamica fluviale* (responsabile locale Prof. A. Valiani).
- 2000 - 2002    Membro del gruppo di lavoro finanziato tramite il Fondo di Ateneo per la Ricerca (FAR). Titolo della ricerca *Modellazione di moti a superficie libera in ambienti a debole e forte pendenza* (responsabile locale Prof. A. Valiani).

## Convenzioni di ricerca

- 2010-2011      Progetto di ricerca per lo studio dell'assetto idrodinamico delle Valli di Comacchio e degli effetti indotti dalla proposta di intervento "P.d.I.P. Valle Furlana e fiume Reno da S. Alberto al passo di Primaro", (in collaborazione con A. Valiani, L. Schippa), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e Parco del Delta del Po, Emilia Romagna.
- 2007-2008      Consulenza inerente il supporto tecnico-scientifico alla progettazione e realizzazione di impianti mini-hydro, (in collaborazione con A. Valiani e L. Lanza), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e K7 s.r.l., Milano.
- 2006            *Realizzazione di un modello di evento finalizzato alla stesura del piano di Protezione Civile della Provincia di Ferrara* (in collaborazione con M. Franchini e N. Cavallini), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria e Provincia di Ferrara.
- 2001            *Modellazione numerica 2D-SWE del deflusso in presenza di edifici isolati o aggregati* (in collaborazione con A. Valiani), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e l'Enel Hydro - Polo Idraulico e Strutturale di Milano.
- 2001            *Studio su modello fisico per la verifica del corretto dimensionamento e funzionamento dei dissipatori collocati al di sotto delle porte di esercizio della nuova conca di Pontelagoscuro* (in collaborazione con A. Valiani, L. Schippa, A. Bernini, L. Lanza), Convenzione di ricerca fra l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria e Agenzia Regionale di Navigazione Interna della Regione Emilia Romagna.

## Convenzioni di ricerca (continua)

2000            *Modellazione numerica ai volumi finiti per le equazioni 2D alle acque basse* (in collaborazione con A. Valiani), Convenzione di ricerca fra l'Università degli Studi di Ferrara – Consorzio Ferrara Ricerche e l'Enel Hydro – Polo Idraulico e Strutturale di Milano.

## Premi e riconoscimenti

Miglior poster per la sessione di meccanica dei fluidi, nell'ambito del XXXV Convegno Nazionale d'Idraulica e Costruzioni Idrauliche, svoltosi a Bologna dal 14 al 16 Settembre 2016

## Attività scientifica

### *Modellazione numerica ai Volumi Finiti del crollo diga – fondo fisso*

L'attività di ricerca iniziata con la preparazione della tesi di Laurea, proseguita durante il Dottorato di Ricerca, ha trattato la realizzazione, la messa a punto e la convalida di un codice di calcolo ai volumi finiti per l'integrazione delle equazioni bidimensionali alle acque basse relativo a moti a superficie libera di fluidi incomprimibili.

La divulgazione dei risultati ottenuti nell'ambito di questa ricerca inizia con i lavori (in collaborazione con A. Valiani ed A. Zanni) [83] *Finite volume scheme for 2D shallow-water equations. Application to a flood event in the Toce river*, e [82] *Finite volume scheme for 2D shallow-water equations. Application to Malpasset dam-break*, prosegue con le memorie (ancora in collaborazione con A. Valiani ed A. Zanni) [80] *Codice di calcolo ai volumi finiti per le equazioni alle acque basse: applicazione ad un evento di piena sul fiume Toce*, e [81] *Codice di calcolo ai volumi finiti per le equazioni alle acque basse: applicazione al crollo della diga di Malpasset*, e si conclude con i lavori (sempre in collaborazione con A. Valiani ed A. Zanni) [25] *Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels*, e [26] *Case Study: Malpasset Dam-break Simulation using a 2D Finite Volume Method*, ripreso poi anche nella *Closure* [28], a commento della *Discussion* di Pianese e Barbiero (2003).

Sulla scorta degli stimoli recepiti durante l'attività del gruppo di ricerca europeo CADAM (Concerted Action on Dam - Break Modelling), si è concepito un codice idoneo alla simulazione di transitori spazio-temporali estremamente bruschi quali rottura totale o parziale di sbarramenti o esondazioni d'alveo, sia su configurazioni planimetriche semplici che complesse ed articolate.

La realizzazione del codice è basata su tecniche numeriche moderne, ben consolidate per quanto concerne la loro base teorica ma ancora soggette a continui perfezionamenti riguardo alle modalità applicative. La scelta di un metodo ai volumi finiti (FVM), unitamente all'utilizzo di una tecnica upwind di tipo Godunov, presenta il fondamentale pregio di consentire il rispetto dei bilanci di massa e di quantità di moto, a valle delle operazioni di discretizzazione. Tale scelta consente, inoltre, di simulare adeguatamente anche soluzioni discontinue del sistema di equazioni differenziali iperboliche che governano il moto del fluido.

La discretizzazione spaziale prevede l'utilizzo di celle quadrangolari. Lo schema è di tipo esplicito e accurato al secondo ordine nello spazio e nel tempo. L'accuratezza spaziale è ottenuta utilizzando la tecnica MUSCL (Monotone Upstream-centred Schemes for Conservation Laws) per l'estrapolazione delle variabili; quella temporale utilizzando la tecnica classica del predictor-corrector. L'algoritmo ottenuto rientra nella categoria degli schemi ad alta risoluzione. Il problema locale di Riemann, elemento chiave degli schemi tipo Godunov, è risolto in modo approssimato, ricorrendo alla tecnica di Harten, Lax e Van Leer (1983, comunemente denominato HLL Riemann Solver) o, in alternativa, ricorrendo alla soluzione proposta da Roe (1981). Le due tecniche si comportano in maniera pressoché equivalente qualora si analizzi la propagazione di onde, anche ripide, su letto bagnato. La sperimentazione numerica compiuta evidenzia che la tecnica HLL risulta preferibile quando si analizzi la propagazione di onde ripide su letto asciutto.

## Attività scientifica (continua)

Particolare attenzione è stata rivolta alla modellazione numerica dei termini sorgente relativi alla pendenza del fondo. La discretizzazione di tali termini è stata affrontata con una tecnica originale. Ipotizzato che la quota del fondo sia nota nei quattro vertici di ogni cella elementare e determinate le coordinate planimetriche del centro cella, si determina, come media pesata delle quote dei vertici stessi, la quota del baricentro. Si suddivide poi la cella quadrangolare in quattro triangoli, aventi come vertici il baricentro del centro cella e gli estremi di uno dei lati. Per i tre vertici di ciascun triangolo passa un unico piano, di cui è determinabile l'equazione. La pendenza locale del fondo nelle direzioni indipendenti è, in tal modo, determinabile 'analiticamente'. Infine, l'integrale di volume correlato a tali termini viene stimato ipotizzando un unico valore della quota della superficie libera all'interno della cella.

Viene posta particolare attenzione alla convalida del codice, effettuata su alcuni casi test, mono e bidimensionali, seguendo in particolare le prescrizioni formulate dal gruppo di ricerca CADAM. Tali casi test fanno riferimento a tipi di moto di cui sia disponibile la soluzione analitica, o a soluzioni numeriche diventate di riferimento in letteratura, o a casi di laboratorio e/o di campo per i quali siano disponibili dati sperimentali.

Verificate le opportune proprietà di accuratezza, stabilità e convergenza del codice, esso è applicato a due casi reali di particolare rilevanza: la simulazione dell'onda di sommersione conseguente il crollo della diga di Malpasset, evento drammatico per il quale esistono sia riscontri sperimentali di campo sia risultati sperimentali ottenuti su modello fisico dall'EDF; la simulazione di un ipotetico evento di piena eccezionale sul fiume Toce, per il quale esistono risultati ottenuti da modello fisico dall'Enel-Hydro. Le applicazioni forniscono un ottimo conforto sull'affidabilità del codice. Di particolare rilevanza tecnica e scientifica è giudicato l'ottimo accordo con le misure sperimentali di livello disponibili, e più ancora i risultati sulle stime, solitamente afflitte da errori rilevanti, dei tempi di avanzamento del fronte ripido dell'onda di sommersione.

Il lavoro di raffinamento del codice è stato costante. Ad esempio, rispetto al codice originale appena descritto, il modello maggiormente evoluto prevede: la possibilità di operare la procedura di estrapolazione delle variabili utilizzando il livello della superficie libera in luogo della profondità (che migliora il comportamento asintotico del codice per i casi in cui la soluzione tenda allo stato di quiete); la messa in conto della differente dimensione delle celle adiacenti, nel computo dei "slope limiters", come fattore correttivo del rapporto tra incrementi della variabile di stato in celle contigue (che migliora il comportamento del codice nei casi in cui la griglia sia sensibilmente disuniforme). Ulteriore affinamento del modello è consistito nella combinazione del metodo "Cut cell" con le tecniche di integrazione numerica ai volumi finiti per la simulazione di moti a superficie libera in domini di forma irregolare. Questa ricerca è stata condotta presso il *Centre for Mathematical Modelling and Flow Analysis* del *Department of Computing and Mathematics, Manchester Metropolitan University*, sotto la supervisione di Prof. Derek Causon, Dr. David Ingram and Dr. Clive Mingham.

Nella *Closure* [28], relativa alla memoria *Case Study: Malpasset Dam-break Simulation using a 2D Finite Volume Method*, si prende spunto dalle osservazioni sul lavoro proposte da Pianese e Barbiero nella loro *Discussion* per sottolineare come sia imprescindibile, nell'indagare estensivamente l'affidabilità di un metodo volto all'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse, l'analisi su casi semplici che consentano di verificare la capacità di riprodurre soluzioni esatte e di analizzare una per volta le differenti fonti di complessità. Per la riproduzione di shock con una risoluzione soddisfacente la letteratura scientifica è ormai orientata su schemi almeno del secondo ordine, pertanto l'adozione di schemi del primo ordine, analoghi a quello adottato dagli autori della discussione, può essere accettata solo in un'ottica di simulazione di gestione del rischio di inondazione in tempo pressoché reale ma non con l'intento di confrontarsi con schemi ad alta risoluzione, molto più idonei dal punto di vista sia dell'idrodinamica locale che del rispetto globale delle leggi di conservazione.

## Attività scientifica (continua)

Di particolare interesse ai fini della protezione idraulica del territorio risulta essere lo studio dell'interazione delle onde di sommersione conseguenti il crollo di sbarramenti, o di rilevati arginali, con le costruzioni di origine antropica. In tale ambito si colloca l'attività di sperimentazione numerica, compiuta applicando il codice di calcolo ai volumi finiti precedentemente descritto, incentrata sull'analisi di un'onda di sommersione che investa ostacoli isolati o aggregati che modifichino significativamente il campo di moto.

I risultati di tale attività sono riportati in [76] *Modellazione numerica bidimensionale alle acque basse del deflusso in presenza di ostacoli isolati o aggregati* (in collaborazione con A. Valiani). Vengono studiati casi tipo nei quali un'onda a fronte ripido investe ostacoli isolati a pianta quadrata, con lati paralleli o disposti a 45 gradi rispetto al fronte incidente. Si evidenziano la diffrazione provocata dagli ostacoli, il ruolo delle pareti laterali nella riflessione delle ondulazioni, le principali caratteristiche delle ondulazioni stesse, al variare del numero di Froude del fronte ripido sommergente, del rapporto dimensionale tra larghezza dell'ostacolo e del canale, dell'orientamento dell'ostacolo (fissata la dimensione dell'oggetto e il tirante di valle). Vengono inoltre simulate alcune tipiche onde di sommersione che investono gruppi di ostacoli che possano schematicamente rappresentare aggregazioni di edifici. I risultati delle simulazioni sono confrontati con risultati sperimentali di laboratorio ottenuti presso l'Enel.Hydro di Milano. Lo schema ed il codice numerico si rilevano strumenti idonei alla simulazione di onde di sommersione che investano ostacoli isolati o gruppi di ostacoli, soprattutto se la corrente è supercritica ed il fenomeno guidato dall'interazione fra onde riflesse e diffratte, piuttosto che dalle correnti secondarie legate alla dinamica delle grandezze fisiche sulla verticale.

Sempre di utilità per la protezione idraulica del territorio è lo studio descritto in [65] *Improvement of an unstructured grid finite volume scheme for flood simulation* (in collaborazione con N. Greggio e A. Valiani). Il modello descritto in questo lavoro è appositamente concepito per lo studio di onde di sommersione su piane alluvionali conseguenti la formazione di brecce in argini fluviali. Il modello bidimensionale è sviluppato eseguendo un'integrazione nello spazio e nel tempo delle equazioni alle acque basse con termini sorgente relativi alla scabrezza di fondo e alla pendenza del terreno. Il dominio di calcolo è discretizzato utilizzando griglie triangolari non strutturate, basate sull'algoritmo di Delaunay. Lo schema numerico, ai volumi finiti, è realizzato sfruttando classiche soluzioni approssimate del problema di Riemann. Il secondo ordine nello spazio è ottenuto ricorrendo alla tecnica MUSCL mentre il secondo ordine nel tempo è ottenuto mediante tecniche SSPRK. Nel modello sono utilizzate due approcci recentemente sviluppati che ne migliorano le prestazioni nella simulazione delle onde di sommersione: il primo riguarda il trattamento del termine sorgente mediante il metodo DFB (Divergence Form for the Bed slope source term, Valiani and Begnudelli, 2006); il secondo riguarda il trattamento delle celle che sono singolarmente soggette a cicli di sommersione-emersione (Volume/Free surface Relationships, Begnudelli and Sanders, 2006). Questo modello numerico è validato su opportuni test di letteratura e successivamente è stato utilizzato per simulare una ipotetica inondazione di una porzione di territorio limitrofa a Ferrara dovuta ad una possibile breccia nell'argine del fiume Po.

### *Modellazione numerica ai Volumi Finiti delle correnti veloci in curva*

Il codice di calcolo ai volumi finiti che si è descritto in precedenza è utilizzato per indagare il comportamento di correnti veloci, in curva ed i risultati sono presentati nelle memorie [79] *Supercritical flow in sharp bends* e [24] *Brief analysis of shallow water equations suitability to numerically simulate supercritical flow in sharp bends* (entrambe in collaborazione con A. Valiani). In particolare si è indagata la validità delle equazioni alle acque basse per la simulazione di correnti veloci in canali curvilinei caratterizzati da grandi rapporti fra raggio di curvatura e larghezza. L'usuale ipotesi di piccola curvatura viene rimossa, e il problema viene affrontato con un approccio bidimensionale completo. Viene evidenziato il ruolo fondamentale della curvatura adimensionale del canale e del numero di Froude della corrente indisturbata.

## Attività scientifica (continua)

E' correttamente riprodotto il fenomeno del blocco della corrente a monte della curva, che si verifica, per ciascun valore della curvatura adimensionale, quando il numero di Froude indisturbato non sia sufficientemente elevato. I risultati sperimentali di Reinauer e Hager (1997) sono ben riprodotti dai calcoli qui presentati. Qualitativamente, i risultati sperimentali di Marchi (1988) risultano ben riprodotti, anche se sussiste una sistematica sottostima dei livelli massimi raggiunti. E' presumibile che le discrepanze tra valori simulati e valori osservati siano imputabili a fenomeni di frangimento, con conseguente irripidimento localizzato delle creste, che lo schema non prevede di trattare separatamente. In ogni caso, stante anche la riproduzione molto accurata degli shock di Mach da parte dello schema numerico evidenziata in altri lavori, le differenze sembrano comunque imputabili a limiti intrinseci dello schema in acque basse piuttosto che a deficienze o inaccuratezze dello schema numerico.

### *Modellazione numerica ai Volumi Finiti dell'idrodinamica lagunare*

Il lavoro [56] presenta lo studio mediante un modello ai volumi finiti dell'idrodinamica delle Valli di Comacchio, in previsione della costruzione di un rilevato in terra che determinerà la suddivisione del corpo idrico in due parti. Lo scopo di tale opera è il miglioramento della gestione delle operazioni di piscicoltura praticate in Valle. La simulazione dell'idrodinamica ha riguardato la configurazione del bacino principale prima e dopo la costruzione dell'argine al fine di poter eseguire adeguati confronti. Una estesa campagna di misura ha permesso la raccolta dei dati geomorfologici necessari all'implementazione del modello numerico e la quantificazione delle principali forzanti dell'idrodinamica (il vento e le oscillazioni di marea). Il lavoro comprende una dettagliata discussione dei risultati.

### *Modellazione matematica e numerica del crollo diga – fondo mobile*

E' stato realizzato e messo a punto un modello matematico unidimensionale di crollo diga (istantaneo e totale) a fondo mobile, sia asciutto che bagnato. Nei lavori [78] *Dam break modeling for sediment laden flows* e [77] *A mathematical model for dam-break over movable bed* (entrambi in collaborazione con A. Valiani) sono descritti gli aspetti salienti della ricerca. Il fenomeno fisico è schematizzato utilizzando un sistema di quattro equazioni differenziali alle derivate parziali: continuità della fase liquida e della fase solida in essa dispersa, considerate compenstrate in un continuo bifase; quantità di moto dell'intero ammasso; continuità del fondo, il cui tasso netto di erosione dipende dal flusso netto di sedimenti scambiato tra corrente e letto alluvionale, a sua volta funzione della differenza tra capacità di trasporto potenziale istantanea e trasporto attuale.

I problemi di accuratezza e di stabilità, inevitabilmente attesi nella trattazione numerica di variazioni della quota del fondo estremamente rapide, sono tenuti sotto controllo utilizzando schemi numerici appropriati: uno, alle differenze finite, implicito (metodo di Beam Warming three-Point Backward) l'altro, ai volumi finiti, esplicito, del tipo di Godunov. I solutori di Riemann utilizzati sono quello di Harten, Lax e van Leer (solutore HLL) la corrispondente versione modificata da Toro ed altri (1994), comunemente denominato HLLC. Il secondo risulta concettualmente più appropriato per la descrizione della fisica del fenomeno, perché tiene conto che i tipi di onde elementari che caratterizzano il problema di Riemann, nel caso di fase solida dispersa nella fase liquida, sono tre anziché le due caratterizzanti il caso del moto monofase.

I risultati numerici sono confrontati con risultati sperimentali recenti, ottenuti utilizzando una fase granulare di densità poco superiore a quella della fase liquida; essi evidenziano come la forte erosione in corrispondenza della posizione dello sbarramento dia luogo alla formazione di un risalto subito a valle di tale posizione. Questo comportamento è riprodotto dalle simulazioni numeriche, che danno adeguatamente conto anche dell'erosione localizzata nella sezione della diga.



## Attività scientifica (continua)

Lo stesso filone di ricerca prosegue con la messa a punto, nell'ambito della schematizzazione tipica dei debris-flow immaturi, di un modello numerico valido per la simulazione di un crollo diga istantaneo su letto granulare privo di coesione. La struttura generale del modello a quattro equazioni è la medesima descritta nel lavoro suddetto, ma in questo caso il meccanismo di estrazione e deposito del materiale solido, nonché la stima della pendenza d'attrito che si rende necessaria per chiudere i bilanci di conservazione, sono adattati per il contesto selezionato. I risultati di tale ricerca sono presentati nel lavoro [73] *Numerical simulation of dam-break flow on granular bed: intense sediment transport vs. debris flow modelling* (in collaborazione con A. Valiani).

Il confronto con i risultati ottenuti con il modello descritto in [78] e [77] viene condotto sia ponendo o meno un limite superiore alla pendenza d'attrito: nel primo caso è correttamente riprodotta la celerità del fronte, nel secondo caso tale celerità è sottostimata, ma la forma assai ripida del fronte misurata sperimentalmente è ben colta dai risultati numerici. L'erosione localizzata in corrispondenza della posizione iniziale dello sbarramento è riprodotta più adeguatamente dallo schema di debris flow, relativamente al fronte di scavo che risale verso monte; dallo schema di trasporto solido intenso, relativamente al fronte di scavo che si propaga verso valle.

### *Studio analitico degli effetti della curvatura delle linee di corrente*

Nella memoria [74] *Effects of free surface curvature on radial, inviscid flows* (in collaborazione con A. Valiani) si deriva teoricamente l'influenza della curvatura delle linee di corrente, nel flusso a superficie libera radiale completamente assialsimmetrico di un fluido ideale incomprimibile, sulla distribuzione di velocità (radiale e verticale) e di pressione.

### *Modellazione numerica della morfodinamica fluviale*

Nell'ambito del progetto Cofin2001, *Morfodinamica delle reti fluviali* (responsabile nazionale Prof. M. Tubino) si è sviluppato un codice di calcolo volto alla modellazione numerica dei meccanismi che regolano la formazione e propagazione di barre alternate in un canale rettilineo a sezione rettangolare, negli appropriati campi di variabilità dei parametri fisici che governano il fenomeno. Si utilizza uno schema idrodinamico bidimensionale alle acque basse, ipotizzando trasporto solido prevalentemente al fondo; l'influenza della pendenza locale del fondo sulla direzione del trasporto solido stesso è opportunamente tenuta in conto.

Il codice numerico, di Beam-Warming implicito alle differenze finite, è arricchito da un contributo originale che consiste nell'estensione del metodo di Jha et al. (1996) per la trattazione del termine noto del sistema lineare da risolvere ad ogni passo, metodo originariamente unidimensionale, a flussi in acque basse bidimensionali. Le simulazioni, che riproducono lo sviluppo di una instabilità della configurazione del letto che si innesca da un disturbo localizzato, posto, all'istante iniziale, in prossimità dell'imbocco del canale, sono state eseguite considerando regimi di corrente sia supercritica che subcritica.

In entrambi i casi il codice di calcolo chiude correttamente i bilanci di massa e di quantità di moto, fornendo una riproduzione realistica delle principali caratteristiche geometriche di barre alternate autoformatesi in selezionate esperienze di laboratorio. L'indagine numerica viene proseguita focalizzando l'attenzione sul comportamento di tali forme di fondo in termini delle loro caratteristiche macroscopiche (lunghezza, altezza, celerità di propagazione).

I risultati di questa ricerca sono riportati nelle memorie [75] *Generation and development of alternate bars: numerical modelling* e [29] *Numerical modelling of alternate bars* (entrambe in collaborazione con A. Bernini e A. Valiani)

Un secondo filone di ricerca nell'ambito della modellazione numerica dei fenomeni morfodinamici riguarda le modifiche da apportare allo schema Godunov ai volumi finiti, descritto in precedenza con riferimento ai lavori [26] e [25], al fine di renderlo idoneo alla simulazione dell'evoluzione planaltimetrica di corsi d'acqua meandriformi, nonché degli effetti locali indotti sul trasporto solido e sull'assetto della corrente dalla realizzazione di opere fluviali di differente grado di permeabilità. Lo schema standard è stato arricchito attraverso l'introduzione di un termine correttivo nella distribuzione di velocità, per tenere conto degli effetti sul trasporto solido delle correnti secondarie. Tale schema è stato convalidato su dati di laboratorio e di letteratura.

## Attività scientifica (continua)

L'algoritmo è stato anche utilizzato per simulazioni relative a casi reali di campo, volte a riprodurre gli effetti locali di alcuni interventi di stabilizzazione previsti dall'Azienda Regionale di Navigazione Interna sul fiume Po, al fine di migliorarne le condizioni di navigabilità in condizioni di magra. Lo strumento messo a punto appare di ottima flessibilità, idonea a supportare una razionale attività di progettazione degli interventi. Tale attività è descritta nella memoria [72] *Evoluzione dell'alveo del Po conseguente a lavori per il miglioramento della navigabilità* (in collaborazione con L. Begnudelli e A. Valiani).

In [47] viene presentata un'analisi preliminare concernente l'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse su fondo mobile. Lo scopo principale di tale analisi è comprendere in quale misura sia possibile catturare le principali caratteristiche delle forme di fondo di meso-scala (e.g. dune e anti-dune) attraverso un modello matematico integrato sulla verticale, evitando in tal modo la modellazione dettagliata della turbolenza. L'analisi è compiuta assumendo vere le usuali ipotesi dell'idraulica fluviale, ovvero considerando un trasporto solido moderato e gli effetti collisionali fra grani trascurabili. Alcuni risultati classici, come ad esempio l'effetto dell'attrito di pelle e la pendenza del fondo sulla mobilità dei sedimenti, sono tenuti in considerazione. Innanzitutto, è considerato un approccio quasi-analitico, considerando piccola la portata solida rispetto a quella liquida. La struttura degli autovalori e degli autovettori della matrice Jacobiana del flusso è così determinata, mostrando come il trasporto solido affligge gli invarianti di Riemann e le celerità delle forme di fondo. Poi, si propone un tempo di rilassamento che tiene conto del tempo di adattamento del trasporto solido alle condizioni idrodinamiche locali ed istantanee. In entrambi i casi i calcoli sono compiuti usando l'estensione di Dumbser-Toro del solutore del problema di Riemann proposto da Osher per la soluzione di sistemi di equazione iperbolici in forma non conservativa. Alcuni esempi sono utilizzati per mostrare il buon comportamento del modello.

In [41], [40] e [4], nel contesto delle equazioni alle acque basse, accoppiate all'equazione di Exner per l'evoluzione morfodinamica, viene presentata una nuova implementazione dello schema Dumbser-Osher-Toro (DOT) per sistemi in forma non conservativa. Tale schema path-conservativo è un robusto metodo upwind basato su di un solutore completo del problema di Riemann. Nella sua formulazione generica lo schema DOT prevede il calcolo numerico degli autovalori ed autovettori della matrice del flusso e quindi è generalmente computazionalmente inefficiente. Per ovviare a questo difetto, in [4] viene quindi presentata una formulazione analitica compatta per gli autovettori e autovalori della matrice di flusso relativa al modello accoppiato de Saint Venant-Exner, successivamente testata in termini di efficienza e stabilità. Usando le implementazioni originali degli schemi DOT e PRICE-C come riferimento, viene presentata un'analisi di convergenza degli schemi (errori vs tempo CPU) per studiare le prestazioni dello schema DOT inclusivo della valutazione analitica dell'autostruttura. Per un'assegnata soglia di errore la nuova formulazione del metodo risulta essere sempre la scelta più efficiente.

## Attività scientifica (continua)

Sempre nell'ambito dell'ottimizzazione delle simulazioni morfodinamiche di lungo periodo un ulteriore contributo è stato dato nei lavori [37] e [3]. Gli acceleratori morfologici, quale ad esempio l'approccio MORFAC (MORphological acceleration FACtor) [Roelvink, J., 2006. Coastal Engineering 53 (2-3), 277–287.], sono tecniche ampiamente diffuse per accelerare l'evoluzione del letto allo scopo di ridurre il costo computazionale delle simulazioni numeriche morfodinamiche. In [3] viene applicata una accelerazione non uniforme al problema morfodinamico 1D descritto dal modello de Saint Venant-Exner moltiplicando tutte le derivate spaziali per fattori di accelerazioni individuali. Lo scopo è l'individuazione della migliore combinazione dei tre fattori di accelerazione al fine di: i) avere una risposta lineare del fondo ai cambiamenti dell'idrodinamica; ii) ridurre i tempi di calcolo. La combinazione cercata è ottenuta studiando il comportamento della soluzione approssimata dei tre autovalori associata alla matrice del flusso del sistema accelerato. Questo approccio ha permesso di derivare una nuova tecnica di accelerazione denominata MASSPEED (MASs equations SPEEDup) e di determinare a priori la massima accelerazione consentita. In questo nuovo approccio, entrambe le equazioni di continuità coinvolte nel sistema di equazioni (per il fluido e per i sedimenti) sono accelerate usando lo stesso fattore, diversamente da quanto fatto nell'approccio MORFAC in cui la sola equazione accelerata è quella dei sedimenti. L'analisi fatta mostra che il MASSPEED fornisce un intervallo di validità per l'accelerazione lineare più ampio e tempi di calcolo inferiori rispetto a quanto ottenibile tramite l'applicazione del classico approccio MORFAC. Nello stesso lavoro viene anche presentata una versione adattiva del MASSPEED. Lo stesso lavoro presenta una estesa validazione del nuovo metodo.

### *Modellazione numerica mediante schemi WENO*

L'esperienza maturata nella simulazione numerica delle correnti a pelo libero su fondo fisso e mobile ha mostrato la grande rilevanza della versatilità applicativa degli schemi numerici selezionati per lo studio di problemi ingegneristici. In particolare è emersa la necessità di sviluppare e affinare schemi in grado di essere applicati a modelli matematici differenti. Questa constatazione ha motivato lo studio approfondito degli schemi Centrati di tipo WENO (weighted essentially non oscillatory) che dimostrano di possedere le giuste caratteristiche di efficienza e versatilità.

Nell'ambito di un progetto più ampio, che prevede un'utilizzo estensivo degli schemi CWENO nell'idrodinamica 2D alle acque basse a fondo mobile, si è, per il momento, messo a punto un codice CWENO monodimensionale, accurato al quarto ordine nello spazio e nel tempo. L'accuratezza nel tempo è ottenuta utilizzando un metodo di Runge-Kutta (RK) congiuntamente con una procedura di estensione naturale continua (NCE). L'accuratezza spaziale è ottenuta utilizzando ricostruzioni WENO delle variabili conservative, nonché dei termini di flusso e della quota del fondo. È introdotto un trattamento originale del termine sorgente che mantiene il prescritto ordine di accuratezza: esso consiste in un'appropriata ricostruzione WENO, coerente con le operazioni condotte per la parte omogenea dello schema, accoppiata con una procedura, fisicamente basata e fortemente stabilizzante, idonea all'integrazione del termine sorgente dove la pendenza del fondo è discontinua. L'elevata accuratezza consente di utilizzare griglie piuttosto rade, con conseguenti guadagni sul tempo di calcolo. La stabilità, la consistenza e l'accuratezza dello schema sono verificate per confronto con soluzioni analitiche e numeriche di letteratura. Il codice messo a punto viene utilizzato per simulare classici casi-test, dando prova di ottime prestazioni in termini di risoluzione, accuratezza e stabilità. L'evoluzione del codice qui sopra descritto consiste nella trattazione di fenomeni di trasporto solido e la mobilità del fondo. Si evidenzia la sostanziale efficienza degli schemi WENO centrati anche quando il fondo sia mobile. Si mantiene un'ottima risoluzione nella descrizione delle forme d'onda; per evitare fenomeni di diffusione, che deteriorerebbero la soluzione per tempi lunghi di simulazione, è utile introdurre un'operazione di multiscaling, che consente di aggiornare la quota del fondo con la frequenza appropriata alla fisica del sistema. I risultati sono presentati nella memoria [67] *Schemi CWENO di ordine elevato per correnti a fondo mobile* (in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini).

## Attività scientifica (continua)

Risultati preliminari ma relativi ad un modello accurato solo al terzo ordine sono presentati nelle memorie [71] *Schemi CWENO per l'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse* e [70] *Central WENO schemes for shallow water movable bed equations* (entrambe in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini).

Per quanto concerne la modellazione dell'idrodinamica a fondo fisso, sono stati messi a punto inizialmente due modelli, appartenenti alla classe degli schemi WENO, accurati al quarto ordine nello spazio e nel tempo, per l'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse comprensive del termine sorgente dovuto alla pendenza del fondo. In entrambi i modelli è di nuova concezione il trattamento del termine sorgente che soddisfa la *C-property*, la proprietà di preservare lo stato di quiete, e contemporaneamente mantiene l'elevato ordine di accuratezza. L'introduzione di tale trattamento permette l'applicazione degli schemi WENO a problemi caratterizzati da altimetrie del fondo estremamente irregolari.

Nel primo modello, di tipo centrato e basato sull'utilizzo di griglie sfalsate, l'accuratezza temporale è ottenuta ricorrendo ad uno schema Runge-Kutta (RK) accoppiato con l'approccio Natural Continuous Extension (NCE). L'accuratezza spaziale è ottenuta utilizzando opportune ricostruzioni WENO delle variabili conservative e del carico piezometrico. Il trattamento originale del termine sorgente coinvolge due procedure. La prima riguarda la valutazione congiunta delle derivate puntuali del flusso accoppiate con il valore puntuale del termine sorgente. La seconda coinvolge l'integrazione spaziale del termine sorgente, manipolato analiticamente al fine di trarre vantaggio dalla maggiore regolarità della quota della superficie libera rispetto alla quota del fondo. Questo modello è ampiamente descritto nella memoria [23] *Fourth-order balanced source term treatment in Central WENO schemes for Shallow Water Equations* (in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini).

Nel secondo modello, di tipo upwind, il quarto ordine di accuratezza temporale è ottenuto ricorrendo ad uno schema Runge-Kutta Strong Stability Preserving, RKSSP(5,4). L'accuratezza spaziale è ancora ottenuta utilizzando ricostruzioni WENO delle variabili conservative e della quota della superficie libera. Il trattamento del termine sorgente, ancora bilanciato e di alto ordine, coinvolge la sola integrazione spaziale del termine sorgente ed è compiuta ricorrendo ad una procedura analoga a quella del primo modello. Diversi casi test classici sono stati utilizzati per verificare l'ordine di accuratezza dei modelli, l'esatto soddisfacimento della C-property e la buona risoluzione delle discontinuità. I risultati sono presentati nella memoria [66] *Schemi WENO bilanciati del quarto ordine per l'idrodinamica alle acque basse* (entrambe in collaborazione con A. Valiani).

Questo secondo modello è stato successivamente migliorato introducendo due tecniche originali. La prima consiste nell'estensione ad alti ordini di accuratezza del metodo bilanciato per il trattamento del termine sorgente DFB (Divergence Form for Bed slope source term). La seconda novità consiste in un nuovo metodo per la gestione delle discontinuità del fondo. Questa è fondata su un'opportuna ricostruzione delle variabili conservative all'interfaccia fra le celle, accoppiata con una correzione del flusso basata sul principio di conservazione locale dell'energia totale della corrente. In questo lavoro un ulteriore elemento di novità è costituito dall'utilizzo di espressioni analitiche per l'inversione della funzione energia specifica–profondità, ricavate dagli stessi autori. Alcuni casi test *ad hoc*, consistenti nella simulazione di correnti stazionarie su semplici gradini di fondo dimostrano l'efficacia del metodo. I risultati di questo studio sono descritti negli articoli [17] *Well-balanced bottom discontinuities treatment for high-order shallow water equations WENO scheme* e [63] *Trattamento numerico bilanciato delle discontinuità del fondo per gli schemi WENO alle acque basse* (entrambi in collaborazione con A. Valiani).

## Attività scientifica (continua)

Per quanto concerne le correnti a pelo libero su fondo mobile, il modello descritto in [70] è stato ulteriormente sviluppato giungendo alla implementazione di uno schema bilanciato. Questo modello è descritto in [22] *High-order balanced CWENO scheme for movable bed Shallow Water Equations* (in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini). Nello schema descritto in [22] è introdotto un nuovo trattamento del termine sorgente, che mantiene il quarto ordine di accuratezza e permette di preservare uno stato iniziale di quiete (C-property). Questo approccio consiste in due procedure. La prima coinvolge la valutazione dei valori puntuali del flusso e del termine sorgente relativo alle pendenze del fondo, considerati accoppiati. La seconda coinvolge l'integrazione spaziale del termine sorgente, analiticamente manipolato per trarre vantaggio dalla maggior regolarità della superficie libera rispetto all'elevazione del fondo. L'alta accuratezza del metodo permette di ottenere risultati ben approssimati anche ricorrendo a griglie piuttosto rade e quindi con un impegno computazionale limitato. Il bilanciamento dello schema permette di riprodurre anche piccole perturbazioni della superficie libera, altrimenti dello stesso ordine di grandezza degli errori indotti dal non bilanciamento. L'accuratezza, il bilanciamento e la buona risoluzione del modello nel riprodurre una corrente a superficie libera su fondo mobile sono verificati per confronto con soluzioni analitiche e con soluzioni numeriche di letteratura.

In [11] viene ancora una volta affrontato il tema della risoluzione numerica delle equazioni alle acque basse con termine sorgente e del delicato equilibrio fra gradiente del flusso e termine sorgente. In questo lavoro, che trae spunto da [23], il bilanciamento del modello è ottenuto sfruttando una forma modificata delle equazioni di governo, definita forma pre-bilanciata dopo [Liang and Borthwick AGL., *Comput Fluids* 2009;38:221–234], e da una ricostruzione central weighted essentially non-oscillatory per i flussi di Runge-Kutta. Una serie completa di casi test dimostra che il modello così ottenuto è efficiente, preserva esattamente uno stato iniziale di quiete, è ad alto ordine di accuratezza e presenta una buona risoluzione delle discontinuità della soluzione.

In [10] viene sviluppato un modello Weighted Essentially Non-Oscillatory (WENO) alle differenze finite basato su di una alternativa formulazione delle equazioni alle acque basse denominata pre-bilanciata. Questa formulazione semplifica grandemente l'ottenimento del corretto bilanciamento fra gradiente del flusso e termine sorgente geometrico nel caso di velocità della corrente nulle. Una estesa analisi numerica unitamente ad una rigorosa validazione numerica confermano l'esatta preservazione dello stato di quiete da parte del modello numerico. È importante notare che lo schema di calcolo risultante mantiene inalterate le proprietà non-oscillatorie, tipiche degli schemi WENO, in corrispondenza delle discontinuità della soluzione unitamente ad un alto ordine di accuratezza dove la soluzione è continua.

### *Modellazione numerica della circolazione sanguigna*

L'esperienza maturata nella modellazione numerica mediante schemi WENO è stata messa a frutto anche in un ambito diverso dall'idraulica ambientale. Nel lavoro proposto per la pubblicazione [20] *Finite Volumes and WENO Scheme in One-dimensional Vascular System Modelling* (in collaborazione con N. Cavallini e V. Coscia), si sviluppa, valida e applica uno schema WENO ai Volumi Finiti monodimensionale per lo studio delle principali arterie del sistema vascolare umano. Un sistema di leggi di conservazione opportuno, che tiene conto della deformabilità delle pareti delle arterie, è integrato ricorrendo ad appropriate ricostruzioni delle variabili conservative e all'integrazione temporale di tipo Runge-Kutta strong stability preserving. Sono attentamente investigate diverse tipologie di condizioni al contorno, sia di tipo riflettente che non riflettente, per permettere la corretta simulazione di porzioni limitate del sistema vascolare principale. È altresì investigato il trattamento del termine sorgente legato alla geometria e alla deformabilità delle pareti arteriose. Il modello è applicato allo studio di un aneurisma dell'aorta addominale.

## Attività scientifica (continua)

In [45] e [44] viene presentato un nuovo modello numerico monodimensionale Runge-Kutta discontinuous Galerkin, accurato al terzo ordine nello spazio e nel tempo, per l'integrazione delle equazioni del moto di un fluido incomprimibile in una condotta in pressione. Il problema è reso complicato dall'ipotesi che il tubo possa essere collassabile ed abbia caratteristiche meccaniche e geometriche variabili nello spazio, anche in modo discontinuo. Il modello è sviluppato nell'ambito degli schemi path-conservativi, ridefinendo il concetto di soluzione debole del problema per soluzioni discontinue e introducendo opportune equazioni evolutive fittizie per le grandezze meccaniche e geometriche. Il calcolo delle fluttuazioni in corrispondenza dell'interfaccia delle celle è eseguito utilizzando il solutore DOT, ottenuto estendendo il solutore di Osher ai sistemi iperbolici non-conservativi, ed un path di integrazione non lineare. Quest'ultima accortezza permette di bilanciare il modello (i.e. renderlo idoneo a preservare esattamente stati di quiete inizialmente imposti) e di ottenere soluzioni corrette, altrimenti non conseguibili usando path lineari. La naturale applicazione del modello è la simulazione del deflusso sanguigno nel sistema circolatorio, con particolare enfasi al moto del sangue nelle vene e in vasi riparati chirurgicamente tramite l'impianto di protesi vascolari.

### *Modellazione numerica mediante schemi compatti (schemi HWENO e RKDG)*

Gli schemi HWENO (Hermite Weighted Essentially Non-Oscillatory) sono introdotti nella letteratura scientifica, nel contesto delle equazioni di Eulero per la dinamica dei gas comprimibili, allo scopo di ottenere modelli a supporto compatto e ad alto ordine di accuratezza [e.g., Qiu and Shu, J. Comput. Phys. 193 (2003) 115]. La compattezza di questi schemi permette un migliore trattamento delle condizioni al contorno e delle eventuali discontinuità della soluzione. Per ottenere tale grado di compattezza negli schemi HWENO sia le variabili conservative che le loro derivate spaziali sono fatte evolvere nel tempo. Nei lavori [15,61,60] gli schemi HWENO sono applicati per la prima volta alle equazioni alle acque basse, inclusive del termine sorgente relativo alla pendenza del fondo, per ottenere uno schema compatto, bilanciato ed accurato al quarto ordine. Congiuntamente alle classiche equazioni alle acque basse, si considera in [15,61,60] l'equazione non omogenea che descrive l'evoluzione temporale delle derivate spaziali delle variabili conservative. Un trattamento bilanciato del termine sorgente coinvolto in questa equazione è sviluppato e testato. Alcuni casi test classici da letteratura sono utilizzati per verificare l'alto ordine di accuratezza, il rispetto della C-property e la buona risoluzione dello schema nel suo complesso. Infine alcuni confronti con risultati ottenuti dall'applicazione di uno schema RKDG (Runge-Kutta Discontinuous Galerkin) da letteratura confermano le buone proprietà degli schemi HWENO se confrontati con approcci ugualmente compatti.

Nelle memorie [14,55,52], si presenta lo sviluppo di uno schema RKDG (Runge-Kutta discontinuous Galerkin), accurato al terzo ordine, per l'integrazione delle equazioni alle acque basse su griglia triangolare. Il contributo originale riguarda il corretto trattamento dei bordi curvilinei del dominio di calcolo volto a evitare l'insorgere di fenomeni non fisicamente basati, preservando contestualmente il corretto bilanciamento fra termine sorgente e divergenza dei flussi nel caso della quiete (i.e., il soddisfacimento della *proprietà C*). A questo scopo il modello prevede l'utilizzo di elementi triangolari a lati rettilinei nelle parti interne del dominio di calcolo mentre prevede l'uso di elementi isoparametrici, con due lati rettilinei ed uno curvilineo, nelle regioni limitrofe al contorno. Insieme ad una accurata combinazione di note tecniche numeriche, necessarie per il bilanciamento degli elementi a lati rettilinei, è proposta una tecnica originale, basata su una formulazione modificata delle equazioni alle acque basse, per ottenere il medesimo bilanciamento per gli elementi isoparametrici. Sono proposte le dimostrazioni relative alla consistenza della formulazione modificata del modello matematico rispetto a quella originale ed al mantenimento del bilanciamento nel caso della quiete. Sono presentati inoltre alcuni esempi applicativi per dimostrare il bilanciamento e il generale buon comportamento del modello.



## Attività scientifica (continua)

In [9] e [42], in un contesto unificato consistente in schemi discontinuous Galerkin accurati al terzo ordine, viene eseguito un confronto fra cinque differenti approcci numerici per la simulazione di flussi poco profondi su soglie di fondo discontinue. Unitamente ad uno studio riguardante l'impatto generale di tali approcci sul comportamento complessivo dei modelli numerici, viene evidenziato il ruolo del trattamento delle discontinuità del fondo sulla conservazione di specifiche condizioni asintotiche. In particolare, vengono considerati tre noti approcci che funzionano correttamente nel preservare lo stato di quiete e due approcci (uno originale ed uno già pubblicato dal gruppo di ricerca a cui il sottoscritto afferisce) che risultano essere promettenti nel preservare il corretto stato asintotico di equilibrio per un moto stazionario. Diversi casi test sono stati utilizzati per verificare: il terzo ordine di accuratezza nel simulare correnti non stazionarie; il comportamento dei modelli nel caso della quiete, sia su fondo continuo che discontinuo; e le proprietà di risoluzione degli schemi. Inoltre sono stati introdotti test specifici per mostrare il comportamento dei diversi approcci quando correnti stazionarie e non interagiscono con gradini di fondo.

In [6] e [38] viene presentato l'evoluzione del lavoro iniziato in [9]. Viene studiata l'esatta riproduzione di un moto stazionario, sempre nel contesto delle equazioni alle acque basse. In particolare, viene presentato un nuovo schema basato su di una versione modificata del solutore approssimato di Riemann HLLEM [Dumbser M. and Balsara D.S., J. Comput. Phys. 304 (2016) 275–319] che preserva esattamente il carico totale e la portata nella simulazione dei correnti continue e che dissipa correttamente energia meccanica in presenza di risalti idraulici. Questo nuovo schema è confrontato con schemi da letteratura, incluso modelli che preservano esattamente sia lo stato di quiete che moti stazionari non banali. Il confronto evidenzia i punti di forza e di debolezza dei diversi approcci. In particolare, i risultati mostrano che l'incremento di accuratezza ottenibile nella riproduzione dei moti stazionari è controbilanciata da una ridotta robustezza dei modelli ed una ridotta efficienza numerica. Alcune soluzioni a questi difetti sono introdotte al costo di una aumentata complessità degli algoritmi di calcolo.

### *Modellazione numerica della dispersione di inquinanti nei corpi idrici superficiali*

In [12] si applica un modello LDG (Local Discontinuous Galerkin) del terzo ordine all'integrazione numerica delle equazioni 2D alle acque basse relative all'idrodinamica ed al trasporto di uno scalare passivo in canali meandriformi. Il modello matematico di Begnudelli, Valiani e Sanders (2010, Adv. Water Res.) viene utilizzato congiuntamente alle tecniche di integrazione numerica descritte in [14], che vengono estese per trattare i termini diffusivi. Il modello matematico-numerico viene convalidato su tre casi test: la dispersione di un tracciante passivo in un moto uniforme, per cui si dispone di una soluzione analitica che consente di apprezzare l'elevato grado di risoluzione ottenibile con la tecnica LDG proposta; la dispersione del tracciante in un canale meandriforme in condizioni stazionarie e non stazionarie, che consentono di evidenziare l'efficienza computazionale della medesima tecnica. Questa consente altresì, tra le altre cose, di utilizzare stime della curvatura delle linee di corrente che sono intrinsecamente consistenti sia con la fisica che con il grado di accuratezza prescelto.

In [50,48,46] il modello matematico è stato ulteriormente affinato tenendo conto delle indagini recenti, sperimentali e teoriche, sulle correnti secondarie in curva. In particolare viene introdotta una nuova modellazione del termine dispersivo per la quantità di moto, maggiormente coerente con le tecniche numeriche utilizzate per l'integrazione del modello. La nuova formulazione prevede l'utilizzo dell'analogia di Reynolds e distribuzioni di velocità autosimili lungo la linea di corrente (profilo logaritmico) ed in direzione trasversale (profilo lineare a media nulla), osservando tali distribuzioni in un sistema di riferimento locale i cui assi sono la direzione del moto e la direzione ad essa ortogonale.

## Attività scientifica (continua)

### *Modellazione numerica delle reti di canali*

In [5] viene studiata la soluzione non lineare di un problema di Riemann esteso, basato sulle equazioni alle acque basse, relativo ad una semplice rete di tre canali a stella. In letteratura tale problema è già studiato solo per casi simmetrici, per canali di uguale larghezza e a fondo piano. In [5] vengono considerate possibili variazioni della larghezza dei tre canali ed eventuali soglie di fondo. Inoltre si considerano configurazioni asimmetriche. Sono affrontati rigorosamente i problemi di esistenza ed unicità della soluzione. La soluzione del problema esteso è utilizzabile per definire condizioni al contorno interne alle reti per una modellazione dei nodi fra canali fisicamente basata e priva di coefficienti empirici.

La soluzione del problema di Riemann studiata in [5] è ripresa in [1] e in [35] al fine di un suo utilizzo per fornire le condizioni al contorno interne di una giunzione quando si simula un flusso unidimensionale attraverso una rete di canali. L'approccio proposto, rispetto ai modelli di giunzione classici, non richiede la messa a punto di coefficienti semiempirici ed ha una forte base teorica. L'approccio al problema Riemann è validato utilizzando dati sperimentali, risultati di modelli bidimensionali e soluzioni analitiche. In particolare, una serie di dati sperimentali viene utilizzata per testare ogni modello in condizioni di flusso costante subcritico, e vengono considerate diverse giunzioni di canale, con elevazione del fondo sia continua che discontinua. Inoltre, i risultati numerici sono confrontati con soluzioni analitiche in una rete a stella per testare l'applicabilità dell'approccio. Risultati soddisfacenti si ottengono per tutte le simulazioni, in particolare per le reti a Y e per i casi di variazione del fondo e della larghezza dei canali. Al contrario, i modelli classici soffrono quando sono presenti variazioni geometriche fra i canali concorrenti al nodo.

### *Rivisitazione di alcuni concetti di base dell'idraulica delle correnti a pelo libero*

Nei lavori [21] *Depth–energy and depth–force relationships in open channel flows: analytical findings* e [64] *Energia specifica e spinta totale: risultati analitici sull'inversione delle relazioni classiche* (entrambi in collaborazione con A. Valiani), è rivisitato il ruolo dell'energia specifica e della spinta totale nelle correnti a pelo libero in canali a sezione rettangolare larga. Le espressioni non dimensionali dell'energia specifica e della spinta totale, in funzione della profondità non dimensionale, costituiscono il punto di partenza di questo lavoro. Queste espressioni possono essere invertite calcolando le radici di opportune equazioni di terzo grado; tali radici sono usualmente valutate utilizzando procedure di tipo iterativo. Il contributo originale di questo lavoro consiste in soluzioni analitiche, esatte e non iterative, per la stima di suddette radici. Più precisamente, per un'assegnata portata specifica e per ogni valore dell'energia specifica (maggiore del corrispondente valore critico), sono fornite le espressioni analitiche delle corrispondenti profondità super e subcritiche. Analogamente, per un'assegnata portata specifica e per ogni valore della spinta totale (maggiore del corrispondente valore critico) sono fornite le espressioni analitiche per la profondità supercritica e per quella subcritica. Per completezza, per entrambe le funzioni, sono indicate le espressioni relative alla terza radice. In questo caso il valore ottenuto è sempre negativo e quindi tale soluzione è scartata in quanto priva di significato fisico. Un importante valore aggiunto del metodo qui presentato è da individuarsi nel suo utilizzo nell'implementazione di applicazioni numeriche ed in particolare nell'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse. In tali applicazioni può accadere che le relazioni fra profondità e energia specifica e fra profondità e spinta totale debbano essere invertite un numero elevato di volte. In questi casi, la disponibilità di espressioni analitiche permette di ridurre gli errori numerici e l'inefficienza computazionale associata a procedure iterative non strettamente necessarie. Alcuni semplici esempi tratti dalla letteratura classica relativa all'idraulica delle correnti a pelo libero mostrano la potenzialità di questo approccio analitico.



## Attività scientifica (continua)

Nel lavoro [19] si propone una generalizzazione dei risultati ottenuti in [21] e [64] mediante l'utilizzo di metodi perturbativi. Sono prese in considerazione sezioni trasversali descritte mediante una legge di potenze. Tali sezioni approssimano in modo soddisfacente la geometria degli alvei naturali, in particolar modo nei fiumi di pianura. Le espressioni non dimensionali dell'energia specifica e della spinta totale, in funzione della profondità non dimensionale, sono invertite analiticamente, nell'ipotesi che il rapporto fra la larghezza del canale e la profondità sia grande. Assumendo vera questa ipotesi, l'esponente della legge di potenza usato per approssimare la sezione rappresenta un *parametro piccolo*. Di conseguenza l'inversione delle equazioni dell'energia specifica e della spinta totale può essere affrontata con tecniche perturbative partendo dalle soluzioni esatte valide per sezioni rettangolari proposte in [21].

I metodi perturbativi sono utilizzati anche nella memoria [18]. In tale lavoro sono presentati alcuni risultati analitici concernenti il deflusso delle correnti a pelo libero in canali la cui sezione è definita da una legge di potenza che lega la larghezza alla profondità. In particolare sono ricavate equazioni esplicite per il calcolo della profondità di moto uniforme considerando note la portata liquida, la scabrezza e la geometria della sezione (quest'ultima assegnata tramite l'esponente della legge di potenza, la larghezza e la profondità di riferimento). Tali equazioni sono dedotte scrivendo le grandezze fisiche come espansioni in serie relative all'esponente della legge di potenza e esprimendo il perimetro bagnato attraverso una funzione ipergeometrica di Gauss. Tramite la procedura descritta, è possibile ottenere una stima accurata degli integrali necessari per l'inversione dell'equazione del moto uniforme, almeno nel campo dei rapporti di forma della sezione di interesse tecnico. Sono proposte due relazioni fra la profondità di moto uniforme e la portata. La prima relazione risulta valida per ogni portata purché il rapporto fra la larghezza del pelo libero e la profondità sia sufficientemente grande. In caso contrario la stessa relazione rimane valida per portate inferiori ad una prefissata soglia mentre la seconda relazione proposta deve essere impiegata per portate superiori alla soglia citata.

Nei lavori [16,59,62] si utilizza un approccio integrale per indagare la meccanica del risalto idraulico diretto in canale divergente. Il flusso viene idealmente scomposto in una corrente principale ed in un vortice di superficie (roller); la prima convoglia una portata liquida pari a quella totale, mentre il secondo è caratterizzato da un flusso netto di massa nullo. Con ipotesi semplici sui profili di velocità e pressione si considera ignota l'equazione costitutiva macroscopica tra stress turbolenti e caratteristiche del moto medio, immaginando le tensioni tangenziali agenti sia su sezioni cilindriche verticali che sulla superficie di separazione tra corrente principale e roller. Imponendo la soddisfazione dei bilanci integrali di quantità di moto in direzione longitudinale e verticale e di momento di quantità di moto intorno ad un asse orizzontale, si riescono a ricavare la posizione e l'entità delle profondità coniugate, nonché il profilo della superficie libera e della superficie di separazione corrente principale-roller, quando siano assegnati la portata adimensionale e il rapporto tra l'energia specifica dopo e prima del risalto. La teoria è posta a confronto con i classici dati sperimentali di Rubatta [*Il risalto idraulico in canale divergente*, L'Energia Elettrica, 1963, 40(10):1-8], con esito positivo. Questo modello può inoltre essere utilizzato per stimare le tensioni tangenziali medie scambiate fra roller e corrente principale e la conseguente perdita di carico per unità di peso. Questa seconda relazione coincide con la classica relazione per la stima delle perdite di carico attraverso il risalto e conseguentemente dimostra la coerenza interna posseduta dal modello meccanico proposto.

La stessa logica è stata utilizzata in [53,54], ed infine in [13], per trattare il problema analogo del risalto idraulico diretto in canali convergenti. Soltanto la stima del tasso di espansione, nella sezione di inizio del risalto, del getto immerso cui la corrente principale è assimilata, differisce nel caso di flusso divergente e flusso convergente. Tale stima, effettuata con criteri semiempirici, è l'unico ingrediente di entrambi i modelli che non deriva dall'analisi teorico-deduttiva fin qui descritta.

## Attività scientifica (continua)

Il lavoro [49] è correlato ai lavori sul risalto idraulico, pur in un'ottica di maggiore semplificazione e generalità. In esso si analizza il moto a superficie libera a simmetria assiale, alimentato da un getto cilindrico perpendicolare ad una piastra, oppure, inversamente, alimentato da un flusso radiale centripeto con il recapito consistente in un foro centrale. Facendo riferimento al caso ideale e permanente si ricavano analiticamente (ed esplicitamente) la soluzione di corrente lenta e quella di corrente veloce su fondo orizzontale. Si ricavano poi le soluzioni di corrente lenta e di corrente veloce su fondo piatto con resistenze (purché piccole). Infine, vengono presentate le soluzioni di corrente lenta e veloce su fondo a quota variabile, nell'ipotesi di assenza di resistenze. Nel caso fondamentale (fondo piatto ed assenza di dissipazioni), si introduce la trattazione di un risalto idraulico diretto, imposto da appropriate condizioni al contorno. Si ricavano analiticamente la posizione del risalto e le profondità coniugate, mostrando come questi risultati siano funzione, nel caso in cui il risalto sia considerato uno shock di lunghezza nulla, di un solo numero puro, segnatamente il rapporto tra l'energia specifica a valle ed a monte del risalto stesso.

Il filone di ricerca riguardante la rivisitazione di alcuni fenomeni di base dell'idraulica si concentra sul risalto idraulico e il deflusso di una corrente su di una soglia di fondo discontinua. I moti a superficie libera assialsimmetrici, centripedi e centrifugi, sono analizzati in [8]. Facendo riferimento ai moti inviscidi stazionari sopra un fondo piano e caratterizzati da un unico valore dell'energia specifica, sono determinate le soluzioni sub e supercritiche. Inoltre, ammettendo che i termini inerziali siano predominanti rispetto ai termini di attrito, sono determinate anche le soluzioni con attrito. Nuovamente nel caso inviscido, sono determinate le soluzioni sub e supercritiche per un fondo non piano, nell'ipotesi che la batimetria e le condizioni al contorno inducano profili di corrente continui. Nel caso fondamentale di un flusso inviscido su fondo piano viene studiata anche la soluzione in presenza di un risalto idraulico circolare. In particolare, soluzioni per la posizione del risalto e delle profondità coniugate in funzione di un unico parametro adimensionale (il rapporto fra le energie specifiche sub e supercritiche) sono ricavate analiticamente.

In [7] e [39] viene studiato il tema del bilanciamento delle equazioni alle acque basse sopra una soglia di fondo discontinua. L'approccio corrente in letteratura è essenzialmente basato sull'analisi matematica del sistema iperbolico di leggi di bilancio tenendo anche in considerazione i rilevati progressi nel trattamento delle forme non conservative nell'ambito degli schemi path-conservativi. Un tema importante recentemente molto dibattuto è la corretta chiusura del bilancio di quantità di moto in presenza di un gradino di fondo. In [7] sono analizzati casi di rilevanza tecnica considerando sia correnti supercritiche che subcritiche interagenti con gradini diretti e avversi. Viene discussa anche la transizione attraverso lo stato critico. Il concetto fondamentale che governa il problema, supportato dalle presenti analisi, è che la conservazione dell'energia totale attraverso il gradino è l'unico approccio consistente con la teoria classica delle equazioni alle acque basse. Altre soluzioni presentate in letteratura possono portare a paradossi non fisici.

### *Modellazione numerica delle reti in pressione*

In [2] sono studiati schemi numerici per la simulazione del colpo d'ariete che tengono conto della visco-elasticità delle condotte e degli effetti della non stazionarietà del moto sulla stima delle perdite di carico. Nelle applicazioni tecniche per cui è necessario lo studio di transitori idraulici nelle condotte, i termini convettivi di flusso sono generalmente trascurabili. Tipicamente, in queste circostanze, le equazioni che governano il fenomeno sono efficientemente discretizzate dal Metodo delle Caratteristiche (MOC). Solo negli ultimi anni, grazie alla diffusione di schemi numerici molto efficienti e robusti in grado di discretizzare il sistema completo di equazioni (come recenti Metodi ai Volumi Finiti), si è dato avvio a simulazioni di transitori idraulici mediante metodi diversi dal classico MOC, permettendo una migliore rappresentazione del fenomeno fisico. È stato pertanto svolto in questo contesto uno studio delle potenzialità del Metodo delle Caratteristiche, in termini di accuratezza ed efficienza, effettuando un confronto ampio e critico dello stesso con un Metodo ai Volumi Finiti di tipo Esplicito e Path-Conservative e un Metodo ai Volumi Finiti di tipo Semi-Implicito.

## Attività scientifica (continua)

Al fine di ottenere delle analisi che rappresentassero appieno il mondo reale delle applicazioni ingegneristiche, sono stati considerati il comportamento viscoelastico delle pareti del tubo, gli effetti di non stazionarietà del flusso per le perdite di carico, possibili cambi di sezione della condotta e l'eventuale comparsa di fenomeni di cavitazione. I risultati numerici ottenuti con le simulazioni, effettuate con i tre diversi schemi, sono stati confrontati con dati sperimentali e soluzioni analitiche. In particolare, sono stati utilizzati come casi test degli studi di colpo d'ariete in tubazioni di polietilene ad alta densità di cui sono stati forniti dati sperimentali di laboratorio. Tenendo in considerazione il comportamento meccanico viscoelastico dei materiali plastici, sono stati adottati e implementati in ciascun modello numerico distintamente un modello reologico lineare viscoelastico a tre parametri ed uno generico multi-parametro. Inoltre, con il lavoro di ricerca effettuato sono state introdotte nuove considerazioni circa il trattamento numerico dei modelli viscoelastici considerati. A seguito di una mirata calibrazione dei parametri viscoelastici, sono state testate le performance dei modelli numerici scelti.

Il confronto dei risultati è stato effettuato anche considerando alternativamente un modello di tensione tangenziale di parete di tipo non stazionario, con un approccio innovativo, per la prima volta applicato a flussi turbolenti, o semplicemente di tipo quasi-stazionario. Nei contesti analizzati, è stato confermato una maggiore rilevanza degli effetti di smorzamento determinati dal comportamento viscoelastico di parete rispetto alle perdite di carico date dalla non stazionarietà del flusso. I modelli numerici hanno tutti riportato dei risultati in buon accordo con i dati sperimentali, anche se si osserva come il MOC, in configurazioni standard, sia nettamente più efficiente degli altri schemi. Infine, sono stati scelti tre Problemi di Riemann per testare la robustezza dei modelli numerici, prendendo in considerazione rispettivamente cambi di sezione della tubazione, materiali più flessibili e casi di cavitazione. In questi scenari più complessi, sono stati messi in evidenza i punti deboli del Metodo delle Caratteristiche, a vantaggio dei Modelli ai Volumi Finiti.

## Elenco delle pubblicazioni

### Publicazioni su rivista internazionale

- [1] ElShobaki, M., Valiani, A., Caleffi, V., *Numerical modelling of open channel junctions using the Riemann problem approach*, Journal of Hydraulic Research, accepted, DOI: 10.1080/00221686.2018.1534283.
- [2] Bertaglia, G., Ioriatti, M., Valiani, A., Dumbser, M., Caleffi, V., *Numerical methods for hydraulic transients in visco-elastic pipes*, Journal of Fluid and Structures, 2018, Vol. 81, pp.230-254 Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.jfluidstructs.2018.05.004.
- [3] Carraro, F., Vanzo, D., Caleffi, V., Valiani, A., Siviglia, A., *Mathematical study of linear morphodynamic acceleration and derivation of the MASSPEED approach*, Advances in Water Resources, 2018, Vol. 117, pp. 40-52, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2018.05.002.
- [4] Carraro, F., Valiani, A., Caleffi, V., *Efficient analytical implementation of the DOT Riemann solver for the de Saint Venant-Exner morphodynamic model*, Advances in Water Resources, 2018, Vol. 113, pp. 189-201, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2018.01.011.
- [5] ElShobaki, M., Valiani, A., Caleffi, V., *Junction Riemann problem for 1-D Shallow Water Equations with bottom discontinuities and channels width variations*, Journal of Hyperbolic Differential Equations, 2018, Vol. 15(2), pp.191-217, World Scientific Publishing Company, DOI: 10.1142/S021989161850008X.
- [6] Caleffi V., Valiani A., *Well balancing of the SWE schemes for moving-water steady flows*, Journal of Computational Physics, 2017, Vol. 342, pp.85-116, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.jcp.2017.04.031.
- [7] Valiani A., Caleffi V., *Momentum balance in the shallow water equations on bottom discontinuities*, Advances in Water Resources, 2017, Vol. 100, pp. 1-13, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2016.12.002.
- [8] Valiani A., Caleffi V., *Free Surface Axially Symmetric Flows and Radial Hydraulic Jumps*, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2016, Vol. 142(4), pp. 06015025-1-6, ASCE Publications, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, USA, DOI: 10.1061/(ASCE)HY1943-7900.0001104.
- [9] Caleffi V., Valiani A., Li G., *A comparison between bottom-discontinuity numerical treatments in the DG framework*, Applied Mathematical Modelling, 2016, Vol. 40(17-18), pp. 7516-7531, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.apm.2015.09.025.
- [10] Li G., Caleffi V., Qi Z., *A well-balanced finite difference WENO scheme for shallow water flow model*, Applied Mathematics and Computation, 2015, Vol. 265, pp. 1-16, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.amc.2015.04.054.
- [11] Li G., Caleffi V., Gao J., *High-order well-balanced central WENO scheme for pre-balanced shallow water equations*, Computers & Fluids, 2014, Vol. 99, pp. 182-189, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.04.022.
- [12] Caleffi V., Valiani A., *A 2D local discontinuous Galerkin method for contaminant transport in channel bends*, Computers & Fluids, 2013, Vol. 88, pp. 629-642, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI:10.1016/j.compfluid.2013.10.023.
- [13] Valiani A., Caleffi V., *Linear and angular momentum conservation for the hydraulic jump in converging channels*, Journal of Hydraulic Research, 2013, Vol. 51(5), pp. 601-607, Taylor & Francis, DOI:10.1080/00221686.2013.805701.

## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [14] Caleffi V., Valiani A., *A well-balanced, third-order-accurate RKDG scheme for SWE on curved boundary domains*, Advances in Water Resources, 2012, Vol. 46(9), pp. 31-45, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.05.018.
- [15] Caleffi V., *A new well-balanced Hermite weighted essentially non-oscillatory scheme for shallow water equations*, International Journal For Numerical Methods In Fluids, 2011, Vol. 67(9), pp. 1135-1159, John Wiley & Sons, Inc., DOI: 10.1002/fld.2410.
- [16] Valiani A., Caleffi V., *Linear and angular momentum conservation in hydraulic jump in diverging channels*, Advances in Water Resources, 2011, Vol. 34(2), pp. 227-242, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2010.11.006.
- [17] Caleffi V., Valiani A., *Well-balanced bottom discontinuities treatment for high-order shallow water equations WENO scheme*, 2009, ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 135(7), pp. 684-696, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2009)135:7(684).
- [18] Valiani A., Caleffi V., *Analytical findings for power law cross-sections: Uniform flow depth*, Advances in Water Resources, 2009, Vol. 32(9), pp. 1404-1412, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2009.06.004.
- [19] Valiani A., Caleffi V., *Depth-energy and depth-force relationships in open channel flows II: analytical findings for power-law cross sections*, Advances in Water Resources, 2009, Vol. 32(2), pp. 213-224, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2008.10.015.
- [20] Cavallini N., Caleffi V., Coscia V., *Finite Volumes and WENO Scheme in One-dimensional Vascular System Modelling*, Computers & Mathematics with Applications, 2008, Vol. 56(9), pp. 2382-2397, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.camwa.2008.05.039.
- [21] Valiani A., Caleffi V., *Depth-energy and depth-force relationships in open channel flows: Analytical findings*, Advances in Water Resources, 2008, Vol. 31(3), pp. 447-454, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2007.09.007.
- [22] Caleffi V., Valiani A., Bernini A., *High-order balanced CWENO scheme for movable bed shallow water equations*, Advances in Water Resources, 2007, Vol. 30(4), pp. 730-741, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2006.06.003.
- [23] Caleffi V., Valiani A., Bernini A., *Fourth-order balanced source term treatment in central WENO schemes for shallow water equations*, Journal of Computational Physics, 2006, Vol. 218(1), pp. 228-245, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.jcp.2006.02.001.
- [24] Valiani A., Caleffi V., *Brief Analysis of Shallow Water Equations Suitability to Numerically Simulate Supercritical Flow in Sharp Bends*, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2005, Vol. 131(10), pp. 912-916, ASCE Publications, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, USA, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:10(912).
- [25] Caleffi V., Valiani A., Zanni A., *Finite Volume Method for Simulating Extreme Flood Events in Natural Channels*, IAHR Journal of Hydraulic Research, 2003, Vol. 41(2), pp. 167-177, IAHR, Madrid, Spain, ISSN: 0022-1686, DOI: 10.1080/00221680309499959.
- [26] Valiani A., Caleffi V., Zanni A., *Case Study: Malpasset Dam-Break Simulation Using a Two-Dimensional Finite Volume Method*, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2002, Vol. 128(5), pp. 460-472, ASCE Publications, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, USA, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:5(460).

**Discussioni e chiusure su rivista internazionale**

## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [27] Valiani A., Caleffi V., *Reply to comments on “Depth–energy and depth–force relationships in open channel flows II: Analytical findings for power-law cross sections” by A. Valiani, V. Caleffi [Adv. Water Resour. 32 (2009) 213–224]*, Advances in Water Resources, 2009, Vol. 32(6), pp. 965, Elsevier Publisher, Amsterdam, Paesi Bassi, DOI: 10.1016/j.advwatres.2009.02.009.
- [28] Valiani A., Caleffi V., *Closure to “Case Study: Malpasset Dam-break Simulation using a Two-Dimensional Finite Volume Method”*, ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 2004, Vol. 130(9), pp. 945-948, ASCE Publications, 1801 Alexander Bell Drive, Reston, VA 20191-4400, USA, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2004)130:9(945).

### Capitoli di libro

- [29] Bernini, A., Caleffi, V., Valiani, A., *Numerical modelling of alternate bars, Braided Rivers: Process, Deposits, Ecology and Management*, 2006, Special Publication Number 36 of the International Association of Sedimentologists, pp. 153-175, Edited by Gregory H. Sambrook Smith, James L. Best, Charlie S. Bristow and Geoff E. Petts, Blackwell Publishing Ltd, 9600 Garsington Road, Oxford OX4 2DQ, UK, ISBN: 978-1-4051-5121-4.

### Pubblicazioni su atti di convegno

- [30] Bertaglia G., Ioriatti M., Valiani A., Dumbser M., Caleffi V., *Modelli numerici per lo studio di fenomeni transitori idraulici in condotte viscoelastiche*, 2018, XXXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona, 12-14 settembre 2018.
- [31] Valiani A., Caleffi V., *Crollo diga in corrispondenza di brusche variazioni di larghezza*, 2018, XXXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Ancona, 12-14 settembre 2018.
- [32] Bertaglia G., Valiani a., Caleffi V., *A comparison of numerical methods for compressible flows in viscoelastic pipes*, Proceedings of the 5th IAHR Europe Congress - New Challenges in Hydraulic Research and Engineering, Trento, 12-14 giugno 2018.
- [33] Bertaglia G., Valiani a., Caleffi V., *The augmented FSI system for blood flow in compliant vessels*, Proceedings of the 5th IAHR Europe Congress - New Challenges in Hydraulic Research and Engineering, Trento, 12-14 giugno 2018.
- [34] Valiani A., Caleffi V., *Dam-break on channel contractions and expansions*, Proceedings of the 5th IAHR Europe Congress - New Challenges in Hydraulic Research and Engineering, Trento, 12-14 giugno 2018.
- [35] ElShobaki, M., Valiani, A., Caleffi, V., *The Numerical Simulation of Steady and Unsteady Flows in Channel Networks Using an Extended Riemann Problem at the Junctions*, ISHS 2018, 7th International Symposium on Hydraulic Structures, Aachen, Germany, 15-28 Maggio, 2018: DOI: 10.15142/T3J93J.
- [36] Bertaglia G., Ioriatti M., Valiani A., Dumbser M., Caleffi V., *Numerical methods for compressible flows in compliant tubes*, Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems & INdAM Day Ferrara 2018, Dipartimento di Matematica dell’Università degli Studi di Ferrara, 16-20 aprile 2018.
- [37] Carraro, F., Siviglia, A., Vanzo, D., Caleffi, V., Valiani, A., *MORSPEED: a new concept for the speedup of morphological simulations*, 2017, RCEM2017, 10th Symposium on River, coastal and estuarine morphodynamics, Trento – Padova, 15-22 Settembre, 2017.
- [38] Caleffi V., Valiani A., *A comparison between energy-balanced schemes for the moving-water steady flows*, 2017, 4th Int. Symposium of Shallow Flows, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, NL, 26-28 June 2017.

## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [39] Valiani A., Caleffi V., *Discontinuità del fondo nell'ambito delle equazioni alle acque basse*, 2016, XXXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 14-16 settembre 2016.
- [40] Carraro F., Caleffi V., Valiani A., *Alcuni schemi path-conservativi per l'integrazione delle acque basse su fondo mobile*, 2016, XXXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bologna, 14-16 settembre 2016.
- [41] Carraro F., Caleffi V., Valiani A., *Comparison between different methods to compute the numerical fluctuations in path-conservative schemes for SWE-Exner model*, Proceedings of the 4th IAHR Europe Congress: Sustainable Hydraulics in the Era of Global Change, Liege, Belgium, 27-29 luglio 2016.
- [42] Caleffi V., Valiani A., Li G., *A comparison between different approaches for the numerical treatment of bottom discontinuities in a DG perspective*, 2015, 36th IAHR World Congress, 28 giugno-3 luglio 2015, The Hague-The Netherland, ISBN 978-90-824846-0-1.
- [43] Caleffi V., Valiani A., Li G., *A comparison between bottom-discontinuity numerical treatments in the DG framework*, 2015, Advances in Numerical Modelling of Hydrodynamics Workshop, 24-25 marzo 2015, Sheffield, UK.
- [44] Caleffi V., Siviglia A., *A discontinuous Galerkin scheme for the simulation of flows in collapsible tubes with discontinuous mechanical properties*, 2015, Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems, Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Ferrara, 17-19 Dicembre 2015.
- [45] Caleffi V., Siviglia A., *Un modello discontinuous Galerkin per la simulazione del deflusso in tubi collassabili con proprietà meccaniche discontinue: applicazione allo studio dell'emodinamica*, 2014, XXXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bari, 8-10 settembre 2014.
- [46] Caleffi V., Valiani A., *Fenomeni diffusivo-dispersivi in alvei meandriiformi: modellazione numerica*, 2014, XXXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Bari, 8-10 settembre 2014.
- [47] Valiani A. Caleffi V., *Some results on the numerical treatment of Movable Bed Shallow Water Equations*, ECMI 2014, The 18th European Conference on Mathematics for Industry, 9-13 giugno 2014, Taormina.
- [48] Caleffi V., Valiani A., *Mathematical Modeling Of The Dispersion-Diffusion Of Momentum And Solutes In Channel Bends*, 2014, 3rd IAHR Europe Congress, 14-16 aprile 2014, Porto-Portugal. ISBN 978-989-96479-2-3.
- [49] Valiani A., Caleffi V., *Alcuni risultati su moti assialsimmetrici a superficie libera*, 2013, XXI Congresso AIMETA, Torino, 17-20 settembre 2013.
- [50] Caleffi V., Valiani A., *Modelling Solute Transport in Meandering Channels using a High-order DG Method*, 2013, SIAM Conference on Mathematical & Computational Issues in the Geosciences, Padova, 17-20 giugno 2013.
- [51] Caleffi V., Valiani A., *La modellazione del trasporto di soluti in canali meandriiformi tramite metodi DG ad alto ordine*, 2013, Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems, Dipartimento di Matematica F. Enriques, dell'Università degli Studi di Milano, 9-10 settembre 2013.
- [52] Caleffi V., Valiani A., *Uno schema RKDG per l'integrazione delle equazioni alle acque basse su domini con contorni curvilinei*, 2012, XXXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Brescia, 10-14 settembre 2012.

## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [53] Valiani A., Caleffi V., *Bilancio dinamico nel risalto idraulico in canali convergenti*, 2012, XXXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Brescia, 10-14 settembre 2012.
- [54] Valiani A., Caleffi V., *The hydraulic jump in converging channels: an integral mechanical balance*, 2012, Second European IAHR Congress, Monaco, Germania, 27-29 giugno 2012.
- [55] Caleffi V., Valiani A., *A RKDG scheme for 2D SWE on curved boundary domains*, 2012, SIMAI Congress, Torino, 25-28 giugno 2012.
- [56] Bernardi D., Caleffi V., Gasperini L., Schippa L., Valiani A., *A study of the hydrodynamics of the coastal lagoon "Valli di Comacchio"*, 2012, 3rd International Symposium on Shallow Flows, University of Iowa, Iowa City, IA, USA, 4-6 giugno 2012.
- [57] Caleffi V., Valiani A., *The well-balancing of a RKDG method on domains with curved boundaries*, 2012, Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems, Dipartimento di Matematica dell'Università degli Studi di Ferrara, 27-28 aprile 2012.
- [58] Valiani A., Caleffi V., *An engineering approach to the source terms treatment in Shallow Water Equations*, 2011, presentazione orale su invito, Numerical Approximations of Hyperbolic Systems with Source Terms and Applications, Roscoff, Bretagne, France, 19-23 settembre 2011.
- [59] Valiani A., Caleffi V., *Bilancio dinamico nel risalto idraulico in canali divergenti*, 2010, XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010.
- [60] Caleffi V., Valiani A., *Un nuovo schema HWENO per l'integrazione delle equazioni alle acque basse*, 2010, XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010.
- [61] Caleffi V., Valiani A., *Well balanced HWENO scheme for Shallow Water Equations*, 2010, SIMAI Congress, Cagliari, 21-25 giugno 2010.
- [62] Valiani A., Caleffi V., *Hydraulic jump in diverging channels*, 2010, First European IAHR Congress, UK, Edinburgh, 4-6 Maggio 2010.
- [63] Caleffi V., Valiani A., *Trattamento numerico bilanciato delle discontinuità del fondo per gli schemi WENO alle acque basse*, 2008, XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, 9-12 settembre 2008.
- [64] Valiani A., Caleffi V., *Energia specifica e spinta totale: risultati analitici sull'inversione delle relazioni classiche*, 2008, XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Perugia, 9-12 settembre 2008.
- [65] Greggio N., Caleffi V., Valiani A., *Improvement of an unstructured grid Finite Volume scheme for flood simulation*, XXXII Congress of IAHR, Venezia, 1-6 luglio 2007, ISBN: 88-89405-06-6.
- [66] Caleffi V., Valiani A., *Schemi WENO bilanciati del quarto ordine per l'idrodinamica alle acque basse*, XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma, 10-15 settembre 2006, ISBN: 978-88-87242-81-2.
- [67] Caleffi V., Valiani A., Bernini A., *Schemi CWENO di ordine elevato per correnti a fondo mobile*, XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Roma, 10-15 settembre 2006, ISBN: 978-88-87242-81-2.
- [68] Caleffi V., Valiani A., *Fourth order balanced WENO schemes for shallow water equations*, Proceedings della Conferenza Internazionale sull'idraulica fluviale River Flow 2006, Lisbona, Portogallo, 6-8 Settembre, 2006, Vol. 1, pp.281-290, ISBN: 978-0-415-40815-8.



## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [69] Valiani A., Caleffi V., Bernini A., Begnudelli L., *Numerical methods for Shallow Water Equations with fixed and movable bed: recent experiences of Hydraulics group at Ferrara*, presentazione orale, Analysis and Numerics of Kinetic and Hydrodynamic Modelling for the Environment and the Economy, 2005, Castiglione della Pescaia, Grosseto, 5-7 maggio, 2005.
- [70] Valiani A., Caleffi V., Bernini A., *Central WENO schemes for shallow water movable bed equations*, 12th International Conference on Transport & Sedimentation of solid particles, Prague, Czech Republic, 20-24 September, 2004, Edited by P. Vlasak, P. Filip and J. Sobota, Vol. 2, pp.651-658, ISBN: 80-239-3465-1.
- [71] Valiani A., Caleffi V., Bernini A., *Schemi CWENO per l'integrazione numerica delle equazioni alle acque basse*, Idr@Trento, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 settembre 2004, Ed. Bios, Vol. 1, pp. 915-922, ISBN: 88-7740-382-9.
- [72] Begnudelli L., Caleffi V., Valiani A., *Evoluzione dell'alveo del Po conseguente a lavori per il miglioramento della navigabilità simulazioni numeriche*, Idr@Trento, XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 settembre 2004, Ed. Bios, Vol. 1, pp. 781-788, ISBN: 88-7740-382-9.
- [73] Valiani A., Caleffi V., *Numerical simulation of dam-break flow on granular bed: intense sediment transport vs. debris flow modeling*. Proceedings Third International Conference on Debris-Flow Hazards Mitigation, Davos, Svizzera, 10-12 Settembre 2003. Vol.1 pp 539-550, ISBN: 90-77017-78-X.
- [74] Valiani A., Caleffi V., *Effects of free surface curvature on radial, inviscid flows*, Proceedings of International Symposium on Shallow Flows, Delft, The Netherland, 16-18 Giugno 2003, Vol. 2, pp 199-206.
- [75] Bernini A., Caleffi V., Valiani, A., *Generation and development of alternate bars: numerical modelling*, Atti del XVI Congresso AIMETA di Meccanica Teorica ed Applicata, Ferrara, 9-12 Settembre 2003.
- [76] Caleffi V., Valiani A., *Modellazione numerica bidimensionale alle acque basse del deflusso in presenza di ostacoli isolati o aggregati*, Atti del XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Potenza, Italia, 16-19 Settembre, 2002, Vol. 4, pp. 349-360, ISBN: 88-7740-340-3.
- [77] Caleffi V., Valiani A., *A mathematical model for dam-break over movable bed*, Proceedings della Conferenza Internazionale sull'idraulica fluviale River Flow 2002, Louvain la Neuve, Belgio, 4-6 Settembre, 2002, pp. 991-1001, ISBN: 90-5809-509-6.
- [78] Valiani A., Caleffi V., *Dam break modeling for sediment laden flows*, International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH), Tempe, Arizona, USA, 5-8 Dicembre 2001.
- [79] Valiani A., Caleffi V., *Supercritical flow in sharp bends*, XXVI General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), Nizza, Francia, 25-30 Marzo 2001.
- [80] Valiani A., Caleffi V., Zanni A., *Codice di calcolo ai volumi finiti per le equazioni alle acque basse: applicazione ad un evento di piena sul fiume Toce*, Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Genova, Italia, 12-15 Settembre, 2000, Vol. 1, pp. 367-375.
- [81] Valiani A., Caleffi V., Zanni A., *Codice di calcolo ai volumi finiti per le equazioni alle acque basse: applicazione al crollo della diga di Malpasset*, Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche, Genova, Italia, 12-15 Settembre, 2000, Vol. 1, pp. 357-365.

## Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [82] Valiani A., Caleffi V., Zanni A., *Finite volume scheme for 2D shallow-water equations. Application to Malpasset dam-break*, Proceedings of the 4th CADAM Meeting, Saragozza, Spagna, 18-19 Novembre 1999.
- [83] Valiani A., Caleffi V., Zanni A., *Finite volume scheme for 2D shallow-water equations. Application to a flood event in the Toce river*, Proceedings of the 4th CADAM Meeting, Saragozza, Spagna, 18-19 Novembre 1999.

Il sottoscritto, consapevole, ai sensi dell'articolo 76 del D.P.R. 445/00, che chiunque rilascia dichiarazioni mendaci, forma atti falsi o ne fa uso è punito ai sensi del codice penale e delle leggi speciali in materia, dichiara che quanto riportato costituisce il proprio curriculum comprensivo della propria attività scientifica e didattica, completo dell'elenco delle pubblicazioni scientifiche, redatto ai sensi degli articoli 46, 47 e 49 del D.P.R. 445/00.

Il sottoscritto dichiara, inoltre, di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 13 del Decreto Legislativo 196/2003, che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa e per l'eventuale procedimento di assunzione in servizio e relativo trattamento di carriera.

Ferrara, 7 gennaio 2019

Fatto, letto e sottoscritto,  
*Valerio Caleffi*