

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

CURRICULUM DELL'ATTIVITÀ 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	<i>valerio.caleffi@unife.it</i>
Cittadinanza	Italiana
Stato civile	Celibe
Servizio militare	Assolto

Indice

1. Posizione Attuale	1
2. Affiliazioni	2
3. Iter Accademico	2
4. Partecipazione a Consigli, Collegi e Commissioni	4
5. Iter Professionale	4
6. Periodi all'Estero	5
7. Premi e Riconoscimenti	5
8. Attività Didattica - Corsi di Laurea	5
9. Attività Didattica - Corsi di Dottorato	7
10. Attività Scientifica - Comitati Scientifici e Organizzazione Convegni	7
11. Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici	7
12. Attività Scientifica - Partecipazione a Comitati Editoriali	11
13. Attività Scientifica - Attività di Revisione Scientifica	12
14. Attività Scientifica - Partecipazione a Progetti di Ricerca	13
15. Attività Scientifica - Responsabilità di Progetti di Ricerca	14
16. Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca	15
17. Attività di Trasferimento Tecnologico - Convenzioni di Ricerca	31
18. Altre Attività Istituzionali	32
19. Elenco delle Pubblicazioni	33
20. Informazioni Bibliometriche	41

Posizione Attuale

Professore Associato, tempo pieno, Settore Scientifico Disciplinare ICAR/01 – Idraulica, Settore Concorsuale 08/A1 – Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, dal 1 Dicembre 2019 presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.

Abilitazione alle funzioni di Professore Universitario di Prima Fascia nel SC 08/A1 – Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, tornata ASN 2018–2020, Secondo Quadrimestre (dal 9 settembre 2019, 5/5 pareri positivi e concordi).

Affiliazioni

- Membro dell'associazione nazionale GII - Gruppo Italiano di Idraulica;
- Membro dell'associazione nazionale SIMAI - Società Italiana di Matematica Applicata e Industriale;
- Membro del capitolo italiano ESB - European Society of Biomechanics.

Iter Accademico

- 1/12/2019 - oggi Professore Associato (D.R. 26/11/2019, n.1651/2019) - *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 - 30/11/2019 Ricercatore a Tempo Indeterminato, confermato (D.R. 7/03/2012 n.254/2012) - *SC 08/A1 Idraulica, Idrologia, Costruzioni Idrauliche e Marittime, SSD ICAR/01 Idraulica* - presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara.
- 1/11/2008 - 31/10/2011 Ricercatore a Tempo Indeterminato, 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.
- 1/1/2008 - 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*.
- 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 alla acque basse di moti a superficie libera a fondo fisso e mobile*.
- 1/1/2000 - 31/12/2002 Dottorato di Ricerca in Scienze dell'Ingegneria, presso l'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 Scienze dell'Ingegneria è stato conseguito il 4/3/2003, presso l'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.
- 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.
- Partecipazione a corsi e seminari di formazione post laurea**
- 6/5/2002 - 18/5/2002 *Numerical Methods for Hyperbolic Systems*, corso tenuto dal Prof. E.F. Toro, organizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, Trento.

Iter Accademico (continua)

- 24/10/2001 *Weak and classical solutions to Hele-Shaw problem*, seminario tenuto dal Prof. A. Meirmanov, organizzato dal *Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Ferrara*, Ferrara.
- 19/4/2001 *Teoria del potenziale per sistemi parabolici con dati non omogenei al bordo*, seminario tenuto dal Prof. V.A. Solonikov, organizzato dal *Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Ferrara*, Ferrara.
- 3/10/2000 - 5/10/2000 *Processi stocastici e autosimilarità in idro-meteorologia*, seminario tenuto dai Proff. F. Castelli e A. Moro, organizzato dal *Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Firenze*, Firenze.
- 19/6/2000 - 30/6/2000 *XVII Grand Combin Summer School of Geomorphological Fluid Mechanics*, Organizzata dall'*Istituto di Cosmogeofisica - CNR* (Torino, Italia) e dalla *Mécanique Fondamentale des Fluides Géophysiques et Astrophysiques* CNRS, Francia, St. Oyen, Aosta.

Partecipazione a Consigli, Collegi e Commissioni

- Membro dal 2018 del Consiglio Direttivo del *Centro di Modellistica, Calcolo e Statistica* – CMCS (precedentemente denominato Centro di Modellistica Calcolo e Simulazione); Il centro inter-dipartimentale CMCS ha sede amministrativa il Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Ferrara.
- 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 (2008 - oggi);
- Membro del Consiglio 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 (A.A. 03/04 - oggi);
- Membro del Consiglio Unificato dei Corsi di Laurea e Laurea Magistrale delle classi di Ingegneria Meccanica, Università degli Studi di Ferrara (A.A. 20/21 - oggi);
- Membro del Collegio dei Docenti Unife dei seguenti Dottorati di Ricerca, accreditati dal Ministero:
 - Dottorato di Ricerca in *Scienze dell'Ingegneria*, Università degli Studi di Ferrara, ai sensi del D.M. n. 224 del 30 aprile 1999: Ciclo XXV (A.A. 2009/10), Ciclo XXVI (A.A. 2010/11), Ciclo XXVII (A.A. 2011/12), Ciclo XXVIII (A.A. 2012/13);
 - Dottorato di Ricerca in *Scienze dell'Ingegneria*, Università degli Studi di Ferrara, ai sensi del D.M. n. 45 del 8 febbraio 2013; Ciclo XXIX (A.A. 2013/14), Ciclo XXX (A.A. 2014/15), Ciclo XXXI (A.A. 2015/16), Ciclo XXXII (A.A. 2016/17), Ciclo XXXIII (A.A. 2017/18), Ciclo XXXIV (A.A. 2018/19), Ciclo XXXV (A.A. 2019/20), Ciclo XXXVI (A.A. 2020/21), Ciclo XXXVII (A.A. 2021/22), Ciclo XXXVIII (A.A. 2022/23).
- Membro della Commissione per la Didattica del Dottorato in Scienze dell'Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara.
- Membro della Commissione Dipartimentale per le attività connesse alle procedure VQR 2004-2011, 2011-2014 e 2015-2019;
- Membro della Commissione Tecnica del Gruppo di Riesame di Ricerca e Terza Missione del Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara;
- Membro della Commissione Paritetica Docenti Studenti del Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Ferrara.

Iter Professionale

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

Periodi 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.

Premi e Riconoscimenti

Miglior poster del macro-tema *Meccanica dei fluidi, Alcuni schemi path-conservativi per l'integrazione delle acque basse su fondo mobile* autori Carraro F., Caleffi V. e Valiani A., nell'ambito del XXXV Convegno Nazionale d'Idraulica e Costruzioni Idrauliche, svoltosi a Bologna dal 14 al 16 Settembre 2016.

Secondo premio per i migliori poster del convegno, *Schemi CWENO di ordine elevato per correnti a fondo mobile* autori Bernini A., Caleffi V. e Valiani A., nell'ambito del XXX Convegno Nazionale d'Idraulica e Costruzioni Idrauliche, svoltosi a Roma dal 10 al 15 Settembre 2006.

Attività Didattica - Corsi di Laurea

A.A. 20/21 - 22/23 Titolare del Modulo di *Meccanica dei Fluidi* del Corso ufficiale di *Idraulica* relativo al *Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale*, in comunanza al *Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica*, presso il *Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara*.

A.A. 14/15 - 22/23 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*.

Giudizi degli studenti relativi ai corsi di *Idraulica Ambientale (IA)* e *Meccanica dei Fluidi (MF)* rilevato nell'ambito del Progetto *Sistema Informativo Statistico per la Valutazione della Didattica Universitaria (SISValDidat)* gestito da Valmon srl. Si riportano le medie dei giudizi espressi dagli studenti (con voti compresi fra 0 e 10) relativi alle domande:

- D6: Gli orari di svolgimento di lezioni e esercitazioni sono rispettati?
- D7: Il docente stimola/motiva l'interesse verso la disciplina?
- D8: Il docente espone gli argomenti in modo chiaro?
- D11: Il docente è effettivamente reperibile per chiarimenti e spiegazioni?

		anno accademico					
		21/22	20/21	19/20	18/19	17/18	16/17
IA	D6	10.00	9.70	9.77	9.10	9.74	9.55
	D7	8.91	9.10	7.62	7.30	8.61	9.10
	D8	8.64	9.70	8.85	8.65	9.35	9.25
	D11	9.38	9.50	9.14	9.45	9.54	9.19
MF	D6	8.86	9.13				
	D7	6.93	7.89				
	D8	6.89	8.15				
	D11	7.84	8.19				

Attività Didattica - Corsi di Laurea (continua)

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 Specialistica in Ingegneria Civile* e del *Corso di Laurea Specialistica per l'Ambiente e il Territorio* della *Facoltà di Ingegneria* e del *Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile* e del *Corso di Laurea in Ingegneria Civile e Ambientale* del *Dipartimento 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* 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*.

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

- Tirocinante: Elia Arbustini, presso: Acquevenete, Viale B. Tisi da Garofolo, 11, 45100, Rovigo (RO), 2018.
- Tirocinante: Lorenzo Paternieri, presso: Consorzio di Bonifica Navarolo, via Roma 7, 26041, Casalmaggiore (CR), 2017.
- Tirocinante: Filippo Mazzoni, presso: Agenzia Regionale per la Prevenzione dell'Ambiente. ARPA Emilia Romagna, 2015.

Il sottoscritto ha effettuato attività tutoriale nei confronti di laureandi che hanno affrontato tesi di laurea inerenti diversi temi di pertinenza dell'Idraulica. Il sottoscritto è primo relatore o correlatore di oltre 40 tesi di laurea e laurea magistrale.

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 Piccioli, dottorando del XXXV ciclo, Dottorato in *Scienze dell'Ingegneria* dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Ing. Giulia Bertaglia, dottoranda del XXXII ciclo, Dottorato in *Scienze dell'Ingegneria* dell'Università degli Studi di Ferrara.
- Ing. Francesco Carraro, dottorando del XXX ciclo, Dottorato in *Scienze dell'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.

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).

Il sottoscritto ha svolto il ruolo di External Examiner nell'ambito 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).

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.

Attività Scientifica - Comitati Scientifici e Organizzazione Convegni

- 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.
- 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.

Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici

Elenco delle partecipazioni a convegni scientifici. Le relazioni presentate oralmente dal sottoscritto sono evidenziate nel medesimo elenco.

- 5/9/2022 - 7/9/2022 *XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche*, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, Reggio Calabria. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Valutazione delle proprietà cardiache tramite l'analisi delle forme d'onda nel sistema cardiovascolare* (Piccioli F., Valiani A., Alastruey J., Caleffi V.).

Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici (continua)

- 27/6/2022 - 29/6/2022 *7th International Conference on Computational and Mathematical Biomedical Engineering (CMBE22)*, Politecnico di Milano. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Consistent treatment of boundary conditions for blood flow modeling in networks of viscoelastic vessels* (Piccioli F., Bertaglia G., Valiani A., Caleffi V.).
- 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.
- 12/6/2018 - 14/6/2018 *5th European IAHR Congress*, organizzato dal Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale Meccanica dell'Università di Trento, Trento, Italia.
- 16/4/2018 - 20/4/2018 *Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems*, Dept. of Mathematics and Computer Science University of Ferrara.
- 26/6/2017 - 28/6/2017 *4th Int. Symposium of Shallow Flows*, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, NL. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A comparison between energy-balanced schemes for the moving-water steady flows* (Caleffi V., Valiani A.).
- 27/3/2017 - 31/3/2017 *European Workshop on High Order Nonlinear Numerical Methods for Evolutionary PDEs: Theory and Applications*, University of Stuttgart, Germany.
- 21/2/2017 - 22/2/2017 *Workshop Mathematical and Numerical Modeling of the Cardiovascular System and Applications*, University of Pavia.
- 17/12/2015 - 19/12/2015 *Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems*, Dept. of Mathematics and Computer Science University of Ferrara. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A discontinuous Galerkin scheme for the simulation of flows in collapsible tubes with discontinuous mechanical properties* (Caleffi V., Siviglia A.).
- 28/6/2015 - 3/7/2015 *36th IAHR World Congress*, The Hague-The Netherland. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A comparison between different approaches for the numerical treatment of bottom discontinuities in a DG perspective* (Caleffi V., Valiani A., Li G.).
- 15/4/2015 - 16/4/2015 *Workshop High order reconstruction and well balancing techniques for hyperbolic conservation and balance laws*, Torino – Dipartimento di Matematica – Università degli Studi di Torino. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A comparison between well-balanced numerical approaches for the simulation of shallow flows on bottom discontinuities* (Caleffi V., Valiani A.).
- 24/3/2015 - 25/3/2015 *Advances in Numerical Modelling of Hydrodynamics Workshop*, Kroto Research Institute, University of Sheffield, UK. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A comparison between bottom-discontinuity numerical treatments in the DG framework* (Caleffi V., Valiani A., Li G.).

Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici (continua)

- 8/9/2014 - 10/9/2014 *XXXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dal GII (Gruppo Italiano Idraulica), presso il Politecnico di Bari, Bari. Il sottoscritto ha presentato le relazioni:
- a. *Un modello discontinuous Galerkin per la simulazione del deflusso in tubi collassabili con proprietà meccaniche discontinue* (Caleffi V., Siviglia A.);
 - b. *Fenomeni diffusivo-dispersivi in alvei meandriformi: modellazione numerica* (Caleffi V., Valiani A.)
- 14/4/2014 - 16/4/2014 *3rd European IAHR Congress*, organizzato da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), Porto, Portogallo. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Mathematical modeling of the dispersion-diffusion of momentum and solutes in channel bends* (Caleffi V., Valiani A.).
- 9/9/2013 - 10/9/2013 *Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems* organizzato da Dipartimento di Matematica, Università degli Studi di Milano, Milano. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *La modellazione del trasporto di soluti in canali meandriformi tramite metodi DG ad alto ordine* (Caleffi V., Valiani A.).
- 17/6/2013 - 20/6/2013 *2013 SIAM Conference on Mathematical and Computational Issues in the Geosciences* organizzato da SIAM (Society for Industrial and Applied Mathematics), Padova. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Modeling solute transport in meandering channels using a high-order DG method* (Caleffi V., Valiani A.).
- 10/9/2012 - 14/9/2012 *XXXIII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dall'Università degli Studi di Brescia, Brescia. Il sottoscritto ha presentato la memoria: *Uno schema RKDG per l'integrazione delle equazioni alle acque basse su domini con contorni curvilinei* (Caleffi V., Valiani A.).
- 25/6/2012 - 28/6/2012 *SIMAI 2012 Congress*, organizzato da SIMAI (Società Italiana di Matematica Applicata ed Industriale), Torino.
- 4/6/2012 - 6/6/2012 *3rd International Symposium on Shallow Flows* organizzato da University of Iowa, Iowa City, IA, USA.
- 19/9/2011 - 23/9/2011 *International Conference on Numerical Approximations of Hyperbolic Systems with Source Terms and Applications* organizzato da CNRS, Roscoff, Bretagna, Francia.
- 4/7/2011 - 8/7/2011 *International Conference on Numerical Methods for Hyperbolic Equations Theory and Applications* organizzato da Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, Spagna.
- 4/2/2011 - 5/2/2011 *Workshop on Numerical Aspects of Hyperbolic Balance Laws and Related Problems*, Dept. of Mathematics and Computer Science University of Ferrara. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Un schema HWENO per l'integrazione delle equazioni alle acque basse* (Caleffi V., Valiani A.).
- 14/9/2010 - 17/9/2010 *XXXII Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dall'Università degli Studi di Palermo, Palermo. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Un schema HWENO per l'integrazione delle equazioni alle acque basse* (Caleffi V., Valiani A.).

Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici (continua)

- 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. Il sottoscritto ha presentato la seguente relazione: *Well balanced HWENO scheme for Shallow Water Equations* (Caleffi V., Valiani A.).
- 4/5/2010 - 6/5/2010 *First European IAHR Congress*, organizzato Heriot-Watt University e National Telford Institute, Heriot-Watt University, Edinburgh, United Kingdom. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Hydraulic Jump in Diverging Channels* (Valiani A., Caleffi V.).
- 9/9/2008 - 12/9/2008 *XXXI Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dall'Università degli Studi di Perugia, Perugia. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Trattamento numerico bilanciato delle discontinuità del fondo per gli schemi WENO alle acque basse* (Caleffi V., Valiani A.).
- 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.
- 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.
- 10/9/2006 - 15/9/2006 *XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni idrauliche* organizzato dalle Università di Roma, *La Sapienza* e *Roma 3*, Roma. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Schemi WENO bilanciati del quarto ordine per l'idrodinamica alle acque basse* (Caleffi V., Valiani A.).
- 6/9/2006 - 8/9/2006 Conferenza Internazionale sull'Idraulica Fluviale *River Flow 2006*, organizzata da *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Lisbona, Portogallo. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Fourth order balanced WENO schemes for Shallow Water Equations* (Caleffi V., Valiani A.).
- 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).
- 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. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Central WENO schemes for shallow water movable bed equations* (Caleffi V., Valiani A., Bernini A.).
- 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.

Attività Scientifica - Partecipazione a Convegni Scientifici (continua)

- 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. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Numerical simulation of dam dam-break flow on granular bed: intense sediment transport vs. debris flow modelling* (Valiani A., Caleffi V.).
- 16/6/2003 - 18/6/2003 Simposio Internazionale *Shallow Flows* organizzato da *Delft University of Technology*, Delft, Olanda.
- 7/4/2003 - 9/4/2003 Conferenza Internazionale *Braided rivers 2003* organizzato da *University of Birmingham*, Birmingham, UK.
- 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. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Modelazione numerica bidimensionale alle acque basse del deflusso in presenza di ostacoli isolati o aggregati* (Caleffi V., Valiani A.).
- 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. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *A mathematical model for dam-break over movable bed* (Valiani A., Caleffi V.).
- 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. Il sottoscritto ha presentato la relazione: *Codice di calcolo ai volumi Finiti per le equazioni alle acque basse: applicazione al crollo della diga di Malpasset* (Valiani A., Caleffi V., Zanni A.).

Attività Scientifica - Partecipazione a Comitati Editoriali

1. Il sottoscritto è Associate Editor per *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 2021; terzo incarico 1 gennaio 2022 – 31 dicembre 2024, <http://www.uh.sav.sk/jhh>.
Journal Metrics:
 - IMPACT FACTOR 2021: 2.329
 - 5-year Impact Factor: 2.700
 - CiteScore 2021: 5.1
 - SCImago Journal Rank (SJR) 2021: 0.776
 - Source Normalized Impact per Paper (SNIP) 2021: 1.237
2. Il sottoscritto è stato membro dell'Editorial board *Mathematical analysis* per la rivista *The Scientific World Journal* dal settembre 2013 - dicembre 2016.

Attività Scientifica - Attività di Revisione Scientifica

Il sottoscritto ha svolto attività di referee per: Advances in Water Resources; Applied Mathematical Modelling; Applied Mathematics and Computation; Applied Numerical Mathematics; ASCE Journal of Hydraulic Engineering; Biomechanics and Modeling in Mechanobiology; Communications in Computational Physics; Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations; Computers and Mathematics with Applications; Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering; Energies; Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics; ESAIM: Mathematical Modelling and Numerical Analysis; 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 Engineering Mathematics Journal of Flood Risk Management; Journal of Fluid Mechanics; Journal of Hydroinformatics; Journal of Hydro-Environment Research; Journal of Hydrologic Engineering; Journal of Hydraulic Engineering; Journal of Hydraulic Research; Journal of Spatial Science; Journal of Zhejiang University-SCIENCE A; Numerical Mathematics: Theory, Methods and Applications; Mathematical Methods in the Applied Sciences; Mathematics; Open Physics; Results in Physics; The Scientific World Journal; Water Management; Water Supply; Water Science and Technology: Water Supply; Water Science and Technology; Waves in Random and Complex Media; ZAMM - Zeitschrift fuer Angewandte Mathematik und Mechanik.

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.

Attività Scientifica - Partecipazione a Progetti di Ricerca

Progetti di Ricerca di Interesse Internazionale

2019 - 2021 Membro dell'Unità di Ferrara, nel Progetto Interreg Italy-Croatia, *Preventing, Managing and Overcoming Natural-Hazards Risks to mitigate economic and social impact (PMO-GATE)* (Principal Investigator Prof. E. Benvenuti).

Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale

2019 - 2021 Membro dell'Unità Operativa di Ferrara, nel PRIN 2017, *Innovative numerical methods for evolutionary partial differential equations and applications* (responsabile nazionale Prof. G. Russo, responsabile locale Prof. L. Pareschi).

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

2016–2020 FAR – Fondo di Ateneo per la Ricerca, (responsabile Ing. V. Caleffi).

2017 FABBR 2017 – Fondo per le attività base di ricerca, (responsabile Ing. V. Caleffi).

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).

2014 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*, (responsabile Ing. V. Caleffi, co-responsabile con la Prof. E. Benvenuti).

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 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 Prof. A. Valiani).

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 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 Prof. A. Valiani).

Attività Scientifica - Partecipazione a Progetti di Ricerca (continua)

- 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 Prof. A. Valiani).
- 2006 - 2007 Giovani Ricercatori 2006, dal titolo *Schemi WENO bilanciati ad alto ordine di accuratezza per l'idrodinamica bidimensionale alle acque basse.*, (responsabile Ing. V. Caleffi).
- 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 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 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 Prof. A. Valiani).
- Tecnopoli**
- 2011 - 2012 Membro di *Terra&Acqua Tech* - Tecnopolo, finanziamento della regione E.R. POR FESR 2007-2013 Asse 1 - Attività I.1.1 "Creazione di tecnopoli per la ricerca industriale e il trasferimento tecnologico" (responsabile scientifico Prof. A. de Battisti).

Attività Scientifica - Responsabilità di Progetti di Ricerca

- 2016-2020 FAR – Fondo di Ateneo per la Ricerca, (responsabile Ing. V. Caleffi).
- 2017 FABBR 2017 – Fondo per le attività base di ricerca, (responsabile Ing. V. Caleffi).
- 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).
- 2014 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*, (responsabile Ing. V. Caleffi, co-responsabile Prof. E. Benvenuti).
- 2006 - 2007 Giovani Ricercatori 2006, dal titolo *Schemi WENO bilanciati ad alto ordine di accuratezza per l'idrodinamica bidimensionale alle acque basse.*, (responsabile Ing. V. Caleffi).

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca

L'attività di ricerca è articolata secondo le seguenti tematiche:

- Modellazione matematica e numerica del crollo diga – fondo fisso
- Modellazione matematica e numerica del crollo diga – fondo mobile
- Studio delle correnti veloci in curva
- Studio dell'idrodinamica lagunare nelle Valli di Comacchio
- Modellazione numerica della morfodinamica fluviale
- Modellazione numerica mediante schemi WENO
- Modellazione numerica mediante schemi compatti (schemi HWENO e RKDG)
- Modellazione numerica della dispersione di inquinanti nei corpi idrici superficiali
- Rivisitazione di alcuni concetti di base dell'idraulica delle correnti a pelo libero
- Studio di correnti a superficie libera su soglie di fondo
- Studio di correnti a superficie libera in configurazioni assialsimmetriche
- Modellazione numerica delle reti di canali
- Modellazione numerica delle reti in pressione
- Modellazione numerica della circolazione sanguigna

Le singole tematiche sono descritte nel seguito.

Modellazione matematica e numerica del crollo diga – fondo fisso

L'attività di ricerca tratta la realizzazione, messa a punto e convalida di codici di calcolo ai volumi finiti per l'integrazione delle equazioni alle acque basse bidimensionali relativi a moti a superficie libera di fluidi incomprimibili.

I risultati ottenuti nell'ambito di questa ricerca (in collaborazione con A. Valiani ed A. Zanni) sono presentati in *Case Study: Malpasset Dam-break Simulation using a 2D Finite Volume Method* [32] e *Finite volume method for simulating extreme flood events in natural channels* [31]. Risultati preliminari sono presentati nelle memorie [100, 101, 102, 103] e discussi in [34].

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 recenti tecniche numeriche, 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. 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. La discretizzazione del termine sorgente relativo alla pendenza del fondo è stata affrontata con una tecnica originale.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

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 moti di cui sia disponibile la soluzione analitica, o affidabili soluzioni numeriche diventate di riferimento in letteratura, e a casi di laboratorio e 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 [32], 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 [31], 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. Rispetto al codice originale appena descritto, l'evoluzione del modello 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.

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 precedentemente descritto, incentrata sull'analisi di un'onda di sommersione che investe ostacoli isolati o aggregati che modificano significativamente il campo di moto.

I risultati di tale attività sono riportati in *Modellazione numerica bidimensionale alle acque basse del deflusso in presenza di ostacoli isolati o aggregati* [96] (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. 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 sono dimostrati strumenti idonei alla simulazione di onde di sommersione che investono ostacoli isolati o gruppi di ostacoli, soprattutto se la corrente è supercritica ed il fenomeno è guidato dall'interazione fra onde riflesse e diffratte, piuttosto che dalle correnti secondarie legate alla dinamica delle grandezze fisiche sulla verticale.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Di utilità per la protezione idraulica del territorio è lo studio descritto in *Improvement of an unstructured grid finite volume scheme for flood simulation* [85] (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 precedentemente descritto è esteso per permettere l'utilizzo di 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. 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 alla città di Ferrara dovuta ad una possibile breccia nell'argine del fiume Po.

Modellazione matematica e numerica del crollo diga – fondo mobile

L'esperienza maturata nell'affrontare lo studio delle onde di sommersione su fondo inerodibile conseguenti la rottura di opere di sbarramento ha permesso di affrontare il più complesso fenomeno del crollo diga su fondo mobile. E' stato così realizzato e messo a punto un modello matematico unidimensionale di crollo diga (istantaneo e totale) a fondo mobile, sia asciutto che bagnato. Nei lavori *Dam break modeling for sediment laden flows* [98] e *A mathematical model for dam-break over movable bed* [97] (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 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.

Il confronto con i risultati ottenuti con il modello descritto in [98] e [97] 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.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (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 *Numerical simulation of dam-break flow on granular bed: intense sediment transport vs. debris flow modelling* [93].

Studio delle correnti veloci in curva

Il codice di calcolo ai volumi finiti descritto in [32, 31] è utilizzato per indagare il comportamento di correnti veloci in curva ed i risultati sono presentati nella memoria *Brief analysis of shallow water equations suitability to numerically simulate supercritical flow in sharp bends* [30] (in collaborazione con A. Valiani). Risultati preliminari sono presentati in [99]. 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. 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. Risultati sperimentali da letteratura sono ben riprodotti dai calcoli presentati.

Studio dell'idrodinamica lagunare nelle Valli di Comacchio

Il lavoro [76] 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).

Modellazione numerica della morfodinamica fluviale

Nell'ambito del progetto Cofin2001, *Morfodinamica delle reti fluviali* (responsabile nazionale Prof. M. Tubino) si è indagato i 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.

In tale contesto 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 fornisce 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).

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

I risultati di questa ricerca sono riportati nelle memorie *Generation and development of alternate bars: numerical modelling* [95] e *Numerical modelling of alternate bars* [35] (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 [31] e [32], al fine di renderlo idoneo alla simulazione dell'evoluzione plano-altimetrica 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 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.

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 *Evoluzione dell'alveo del Po conseguente a lavori per il miglioramento della navigabilità* [92] (in collaborazione con L. Begnudelli e A. Valiani).

In [67] 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. Sono tenuti in considerazione l'effetto dell'attrito di pelle e la pendenza del fondo sulla mobilità dei sedimenti. 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. Si propone altresì un tempo di rilassamento che tiene conto del tempo di adattamento del trasporto solido alle condizioni idrodinamica locali ed istantanee. Alcuni esempi sono utilizzati per mostrare il buon comportamento del modello.

Nella memoria *Efficient analytical implementation of the DOT Riemann solver for the de Saint Venant-Exner morphodynamic model* [10] (in collaborazione con F. Carraro e A. Valiani), 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. Risultati preliminari sono presentati in [60] e [61]. 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 [10] 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 - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Per quanto concerne l'ottimizzazione delle simulazioni morfodinamiche di lungo periodo un ulteriore contributo è stato dato in *Mathematical study of linear morphodynamic acceleration and derivation of the MASSPEED approach* [9] (in collaborazione con F. Carraro, D. Vanzo, A. Valiani e A. Siviglia). Un estratto del lavoro è presentato in [57], nell'ambito del convegno RCEM 2017. 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 [9] 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 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 leggi di conservazione non esprimibili in forma conservativa. 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.

Si è 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. L'evoluzione del codice qui sopra descritto consiste nella trattazione di fenomeni di trasporto solido e la mobilità del fondo. 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 *Schemi CWENO di ordine elevato per correnti a fondo mobile* [87] (in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini). Risultati preliminari ma relativi ad un modello accurato solo al terzo ordine sono presentati in [91, 90].

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

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. 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 *Fourth-order balanced source term treatment in Central WENO schemes for Shallow Water Equations* [29] (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 *Schemi WENO bilanciati del quarto ordine per l'idrodinamica alle acque basse* [86] (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 del carico 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 nel lavoro *Well-balanced bottom discontinuities treatment for high-order shallow water equations WENO scheme* [23] (in collaborazione con A. Valiani). Risultati preliminari sono presentati in [83].

Per quanto concerne le correnti a pelo libero su fondo mobile, il modello descritto in [90] è stato ulteriormente sviluppato giungendo alla implementazione di uno schema bilanciato. Questo modello è descritto in *High-order balanced CWENO scheme for movable bed Shallow Water Equations* [28] (in collaborazione con A. Valiani e A. Bernini). Nello schema descritto in [28] è adottato il trattamento del termine sorgente, che mantiene il quarto ordine di accuratezza e permette di preservare uno stato iniziale di quiete descritto in [29]. 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.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

In *High-order well-balanced central WENO scheme for pre-balanced shallow water equations* [17] (in collaborazione con G. Li e J. Gao) viene ancora una volta affrontato il tema del delicato equilibrio fra gradiente del flusso e termine sorgente. In questo lavoro, che trae spunto da [29], il bilanciamento del modello è ottenuto sfruttando una forma modificata delle equazioni di governo, definita *pre-bilanciata* dopo Liang e Borthwick [Comput Fluids 2009;38:221–234], e da una ricostruzione CWENO per i flussi di Runge-Kutta. Una serie completa di casi test dimostra che il modello così ottenuto preserva esattamente uno stato iniziale di quiete, è ad alto ordine di accuratezza e presenta una buona risoluzione delle discontinuità della soluzione. Per completare la verifica dell'applicabilità delle equazioni alle acque basse in forma pre-bilanciata, nella memoria *A well-balanced finite difference WENO scheme for shallow water flow model* [16] (in collaborazione con G. Li e Z. Qi) viene presentata anche l'implementazione di un modello analogo a quello presentato in [17] ma basato su ricostruzioni upwind WENO.

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]. Questi schemi sono caratterizzati dal fatto che l'aggiornamento temporale delle grandezze idrodinamiche in una cella coinvolge un numero estremamente limitato di celle limitrofe. La compattezza dello schema permette la semplificazione della parallelizzazione dei codici di calcolo. Il supporto compatto negli schemi HWENO è ottenuto facendo evolvere nel tempo sia le variabili conservative che le loro derivate spaziali. Nella memoria *A new well-balanced Hermite weighted essentially non-oscillatory scheme for shallow water equations* [21] 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. Un trattamento originale 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. Risultati preliminari sono stati presentati in [81, 80].

Nella memoria *A well-balanced, third-order-accurate RKDG scheme for SWE on curved boundary domains* [20] (in collaborazione con A. Valiani), si presenta lo sviluppo di uno schema RKDG, 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. A questo scopo il modello prevede l'utilizzo di elementi triangolari a lati rettilinei (subparametrici) 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 [75,72].

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

In *A comparison between bottom-discontinuity numerical treatments in the DG framework* [15] (in collaborazione con A. Valiani e G. Li), 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 pubblicato in [23], che risultano essere promettenti nel preservare il corretto stato asintotico di equilibrio per un moto stazionario. Sono stati introdotti test specifici per mostrare il comportamento dei diversi approcci quando correnti stazionarie e non interagiscono con gradini di fondo. Un estratto di questo lavoro è presentato in [62], nell'ambito del Congresso Mondiale IHAR del 2015.

In *Well balancing of the SWE schemes for moving-water steady flows* [12] (in collaborazione con A. Valiani) viene presentato l'evoluzione del lavoro iniziato in [15, 58]. L'esatta soluzione a livello discreto di un generico moto stazionario è garantita da 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 *A 2D local discontinuous Galerkin method for contaminant transport in channel bends* [18] (in collaborazione con A. Valiani) 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 un tracciante passivo in canali meandrici. Il modello matematico di Begnudelli, Valiani e Sanders (2010, Adv. Water Res.) viene utilizzato congiuntamente alle tecniche di integrazione numerica descritte in [20], 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 meandrico in condizioni stazionarie e non stazionarie, che consentono di evidenziare l'efficienza computazionale della medesima tecnica tramite confronto con dati sperimentali da letteratura. Questa consente altresì di utilizzare stime della curvatura delle linee di corrente che sono intrinsecamente consistenti sia con la fisica che con la discretizzazione numerica discontinuous Galerkin.

In [66,68,70] 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 - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

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

Nel lavoro *Depth–energy and depth–force relationships in open channel flows: analytical findings* [27] (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. Risultati preliminari sono presentati in [84]. 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 delle suddette radici. 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.

Nel lavoro *Depth–energy and depth–force relationships in open channel flows II: analytical findings for power-law cross sections* [25] (in collaborazione con A. Valiani) si propone una generalizzazione dei risultati ottenuti in [27, 84] 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 [27].

I metodi perturbativi sono utilizzati anche nel lavoro *Analytical findings for power law cross-sections: Uniform flow depth* [24] (in collaborazione con A. Valiani). 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.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Studio di correnti a superficie libera su soglie di fondo

In *Momentum balance in the shallow water equations on bottom discontinuities* [13] (in collaborazione con A. Valiani) 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 [13] 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. I risultati preliminari di questa attività di ricerca sono pubblicati in [59] sugli atti del XXXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche del 2016.

Il classico problema del crollo diga di Stoker è rivisitato nel caso di differenti larghezze del canale a monte e a valle della diga in [6]. Si suppone che il canale abbia sezione rettangolare e fondo piano e privo di resistenze. Il sistema delle equazioni alle acque basse è arricchito usando la larghezza come variabile dipendente insieme alla portata specifica e alla profondità. Tale formulazione permette un trattamento quasi analitico del sistema, in analogia con la soluzione classica di Stoker per un rapporto fra le profondità di valle e di monte sufficientemente largo, ma tenendo conto della presenza di ulteriore onda stazionaria di contatto in corrispondenza della diga. Quando il rapporto fra profondità è piccolo, la soluzione è più ricca per il manifestarsi della profondità critica in corrispondenza della diga e il conseguente verificarsi di soluzioni risonanti. I limiti di esistenza delle varie tipologie di corrente sia per il caso di un canale con allargamento che con restringimento sono discussi dopo aver dimostrato che i parametri adimensionali che governano il problema sono i rapporti fra profondità e larghezza di valle e di monte. Successivamente all'introduzione di questo inquadramento analitico, sono stati affinanti anche alcuni aspetti specifici di un modello numerico accurato al secondo ordine volti a migliorare le prestazioni del modello stesso nella simulazione di questo problema di crollo diga. Alcuni risultati preliminari sono presentati in [51] e [54].

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Studio di correnti a superficie libera in configurazioni assialsimmetriche

Nel lavoro *Linear and angular momentum conservation in hydraulic jump in diverging channels* [22] (in collaborazione con A. Valiani) si utilizza un approccio integrale per indagare la meccanica del risalto idraulico diretto in canale divergente. Estratti da questo lavoro sono presentati in [79,82]. 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 [73,74], ed infine in [19], per trattare il problema analogo del risalto idraulico diretto in canali convergenti.

I moti a superficie libera assialsimmetrici, centripedi e centrifugi, sono analizzati in *Free Surface Axially Symmetric Flows and Radial Hydraulic Jumps* [14] (in collaborazione con A. Valiani). 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. Risultati preliminari sono presentati in [69].

Nella memoria [94] 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 delle reti di canali

Nel lavoro *Junction Riemann problem for 1-D Shallow Water Equations with bottom discontinuities and channels width variations* [11] (in collaborazione con M. ElShobaki A. Valiani) viene studiata la soluzione non lineare di un problema di Riemann esteso, governato dalle equazioni alle acque basse, ma definito dalle condizioni iniziali costanti a tratti su una semplice rete di tre canali. In letteratura tale problema è già studiato solo per casi simmetrici, per canali di uguale larghezza e a fondo piano. In [11] 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.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

La soluzione del problema di Riemann studiata in [11] è ripresa in [7] e in [55] 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 risultano meno affidabili quando sono presenti variazioni geometriche fra i canali concorrenti al nodo.

Modellazione numerica delle reti in pressione

In *Numerical methods for hydraulic transients in visco-elastic pipes* [8] (in collaborazione con G. Bertaglia, M. Ioriatti, A. Valiani, M. Dumbser) 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, in termini di accuratezza ed efficienza, di un Metodo ai Volumi Finiti di tipo Esplicito e Path-Conservative e un Metodo ai Volumi Finiti di tipo Semi-Implicito effettuando un confronto ampio e critico con il Metodo delle Caratteristiche.

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.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

I risultati preliminari di questo studio, limitatamente al comportamento viscoelastico delle pareti delle condotte, sono stati presentati al XXXVI Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, come risulta dal lavoro [50] e al V Convegno Europeo IAHR come dimostrato dal lavoro [52].

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 *Finite Volumes and WENO Scheme in One-dimensional Vascular System Modelling* [26] (in collaborazione con N. Cavallini e V. Coscia), si sviluppa, valida e applica uno schema WENO ai Volumi Finiti monodimensionale per lo studio delle arterie del sistema vascolare umano. Un opportuno sistema di leggi di conservazione, 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. E' parimente 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.

In [65] e [64] 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.

In [5], ammettendo ancora che i vasi considerati possano collassare sotto determinate condizioni fisiologiche e abbiano caratteristiche meccaniche e geometriche variabili longitudinalmente, viene anche preso in considerazione il comportamento viscoelastico della parete dei vasi. La corretta simulazione della viscoelasticità della parete acquista importanza tenendo conto della attenuazione dell'onda di pressione associata a tale comportamento meccanico. La modellazione del solo comportamento elastico infatti non permette di rappresentare tale dissipazione. Diversamente da quanto fatto usualmente in letteratura, dove la viscosità delle pareti è inserita in una legge algebrica che lega la sezione trasversale del vaso con la pressione, in [5] si propone una nuova legge di chiusura nella forma di una equazione alle derivate parziali, derivata direttamente da un modello Standard Linear Solid Model (SLSM) del materiale della parete. Il corrispondente modello matematico ha il vantaggio di risultare puramente iperbolico arricchito con un termine sorgente rappresentativo del comportamento viscoso. La natura *stiff* del termine sorgente impone una trattazione numerica dello stesso con tecniche specifiche. A tal fine lo schema di integrazione temporale scelto rientra nella famiglia degli schemi IMEX-SSP e permette il raggiungimento del secondo ordine di accuratezza grazie all'accoppiamento con una discretizzazione spaziale ottenuta con uno schema ai volumi finiti e al solutore di Riemann DOT. Il modello è validato con un opportuno insieme di casi test. I risultati preliminari di questo studio sono stati presentati al V Convegno Europeo IAHR e European Workshop on High Order Numerical Methods for Evolutionary PDEs: Theory and Applications (HONOM 2019) come dimostrato dai lavori [53,49].

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Il lavoro descritto in [4] mira ad applicare il sistema di interazione fluido-struttura aumentata del flusso sanguigno a casi di studio reali per valutare la validità del modello come risorsa preziosa per migliorare la diagnostica cardiovascolare e il trattamento delle relative patologie. I principali contributi del lavoro includono la valutazione delle leggi viscoelastiche del vaso, la stima dei parametri viscoelastici e il confronto dei modelli con i risultati della letteratura e gli esperimenti in vivo. La capacità del modello di simulare correttamente le onde di pressione in singoli segmenti arteriosi è verificata utilizzando i casi di test di riferimento della letteratura, progettati tenendo conto di un semplice comportamento elastico della parete nell'aorta toracica superiore e nell'arteria carotidea comune. Inoltre, le forme d'onda di pressione in vivo, estratte da misurazioni tonometriche eseguite su quattro arterie carotidee comuni umane e due arterie femorali comuni, vengono confrontate con soluzioni numeriche. Si evidenzia che l'effetto di smorzamento viscoelastico delle pareti arteriose è necessario per evitare una sovrastima dei picchi di pressione. Infine, viene qui proposta una procedura efficace per stimare i parametri viscoelastici del modello, che restituisce le curve di isteresi delle arterie carotidee comuni dissipando le frazioni di energia in linea con i valori calcolati dai cappi di isteresi della letteratura nello stesso vaso. Alcuni risultati di questa ricerca sono presentati nell'ambito del XXXVII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche [45,46].

Nell'articolo *Uncertainty quantification of viscoelastic parameters in arterial hemodynamics with the a-FSI blood flow model* [3] (in collaborazione con G. Bertaglia, L. Pareschi e A. Valiani) vengono identificate e quantificate le incertezze relative ai parametri viscoelastici, che caratterizzano il comportamento delle pareti delle arterie, nel modello monodimensionale dell'emodinamica arteriosa umana. I parametri incerti sono modellati come variabili casuali con distribuzione gaussiana, rendendo stocastico il sistema di equazioni di governo. La metodologia proposta viene inizialmente discussa per una equazione modello, presentando uno studio di convergenza approfondito che conferma l'accuratezza spettrale del metodo di collocazione stocastica e il secondo ordine di accuratezza dello schema di volumi finiti IMEX scelto per risolvere il modello matematico. Poi, le analisi univariate e multivariate di quantificazione dell'incertezza sono applicate al modello di flusso sanguigno a-FSI, per quanto riguarda i casi di test di base e specifici del paziente per singola arteria. Una diversa sensibilità è mostrata quando si confronta la variabilità della portata e delle forme d'onda di velocità con la variabilità della pressione e dell'area, queste ultime risultando molto più sensibili alle incertezze parametriche alla base della caratterizzazione meccanica delle pareti dei vasi. Le simulazioni effettuate considerando sia la semplice legge costitutiva elastica che quella più realistica viscoelastica mostrano che l'inclusione della viscoelasticità nel modello FSI migliora costantemente l'affidabilità della previsione delle forme d'onda di pressione. I risultati dei test specifici per i pazienti suggeriscono che la metodologia proposta potrebbe essere un valido strumento per migliorare la diagnostica cardiovascolare e il trattamento delle malattie.

Nel lavoro, *Modeling blood flow in networks of viscoelastic vessels with the 1D augmented fluid-structure interaction system*, [2] (in collaborazione con F. Piccioli, G. Bertaglia e A. Valiani) viene sviluppata e validata l'implementazione di condizioni al contorno in grado di mantenere memoria del contributo viscoelastico delle pareti dei vasi assume un ruolo importante, soprattutto quando si tratta di sistemi circolatori complessi. L'implementazione del contributo viscoelastico ai confini, cioè ingresso, uscita e giunzione, viene effettuata considerando la natura nativamente iperbolica del modello matematico. In particolare, viene stabilito un sistema non lineare basato sulla definizione del problema di Riemann alle giunzioni, caratterizzato da onde di rarefazione separate da onde di discontinuità di contatto, tra le quali si conservano la massa e l'energia totale. Vengono analizzati i casi di test di base delle giunzioni, come una banale giunzione a 2 vasi, sia per una generica arteria che per una generica vena, e una semplice giunzione a 3 vasi, considerando uno scenario di biforcazione aortica. Lo schema IMEX-SSP2 Finite Volume scelto si è dimostrato accurato al secondo ordine in tutto il dominio e ben bilanciato, anche quando include le giunzioni. Vengono poi implementate due reti arteriose di riferimento, diverse per numero di vasi e per parametri viscoelastici. Il confronto dei risultati ottenuti nelle due reti sottolinea l'alta sensibilità del modello ai parametri viscoelastici scelti. In questi test numerici, viene valutata la conservazione in rete del contributo fornito dalla caratterizzazione viscoelastica delle pareti dei vasi. Infine, i risultati numerici delle forme d'onda di pressione nella carotide comune e nell'arteria femorale della seconda rete simulata sono confrontati con i dati misurati in vivo da diversi soggetti sani.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Nel lavoro *The effect of cardiac properties on arterial pulse waves: An in-silico study* [1], (in collaborazione con F. Piccioli, J. Alastruey e A. Valiani) sono studiati gli effetti della variabilità delle proprietà cardiache sulla morfologia delle onde di polso usando dati simulati *in silico*. Un modello a parametri concentrati della parte sinistra del cuore è stato accoppiato ad un modello monodimensionale della rete arteriosa e verificato usando onde pressorie di riferimento a loro volta verificate su misurazioni *in vivo*. Un'analisi di sensitività è stata condotta al fine di verificare gli effetti delle variazioni dei parametri cardiaci sulle onde pressorie centrali e periferiche. I risultati mostrano come la contrattilità del ventricolo sinistro, la gittata ventricolare, la frequenza cardiaca e l'eventuale compromissione delle valvole cardiache determinino la morfologia delle onde centrali, la pressione differenziale ed il corrispondente fattore di amplificazione. La contrattilità dell'atrio sinistro ha invece effetti trascurabili sulle onde pressorie nelle arterie. Questi studi suggeriscono come sia possibile dedurre disfunzioni del ventricolo sinistro analizzando le tempistiche relative all'incisura dicrotica e le funzionalità cardiache analizzando i segnali fotopletomografici (PPG). Questo studio ha identificato quali proprietà cardiache siano maggiormente deducibili dall'analisi da misure relative alle onde pressorie centrali e periferiche. Risultati preliminari sono stati presentati durante il XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche [38] e il 7th Computational and Mathematical Biomedical Engineering Congress [40].

Il lavoro, sottoposto per la pubblicazione, *Role of cardiac contractility in determining pulse pressure and its peripheral amplification* [113] (in collaborazione con F. Piccioli, Y. Li, A. Valiani, P. Chowienzyk e J. Alastruey) trae spunto dalla constatazione che la riflessione periferica delle onde pressorie e l'irrigidimento delle arterie sono considerati dalla comunità scientifica i fattori determinanti dell'incremento della pressione differenziale nei soggetti ipertesi senza però trascurare il ruolo giocato dalla dinamica di eiezione del ventricolo. In [113] sono esaminati i contributi della distensibilità aortica e della contrattilità ventricolare alle variazioni del flusso aortico e all'aumento della pressione differenziale centrale (cPP) e periferica (pPP) e all'amplificazione della stessa (PPa) in soggetti normotesi durante la modulazione farmacologica della fisiologia, in soggetti ipertesi e *in silico* utilizzando un modello cardiovascolare che tiene conto dell'accoppiamento ventricolo-aortico. Le riflessioni alla radice aortica e dai vasi a valle sono state quantificate utilizzando rispettivamente i coefficienti di emissione e di riflessione. La cPP è fortemente correlata alla contrattilità e alla distensibilità dei vasi, mentre la pPP e la PPa sono fortemente correlate alla contrattilità. L'aumento della contrattilità mediante stimolazione inotropica incrementa il picco del flusso aortico (389.1 ± 65.1 vs 323.9 ± 52.8 ml/s) e il tasso di incremento (4848.3 ± 450.4 vs 3193.6 ± 793.0 ml/s²) del flusso aortico, con conseguente aumento di cPP (59.0 ± 10.8 vs 36.1 ± 8.8 mmHg), pPP (93.0 ± 17.0 vs 56.9 ± 13.1 mmHg) e PPa (34.0 ± 7.3 vs 20.8 ± 4.8 mmHg). L'aumento della distensibilità per vasodilatazione ha ridotto la cPP (45.2 ± 17.8 vs 62.2 ± 20.2 mmHg) senza alterare la pPP o la PPa. Il coefficiente di emissione cambia con l'aumento della cPP, ma non il coefficiente di riflessione. Questi risultati concordano con i dati *in silico* ottenuti modificando in modo indipendente la contrattilità/distensibilità negli intervalli fisiopatologici *in vivo*. Si conclude che la dinamica ventricolare gioca un ruolo chiave nell'aumento e nell'amplificazione della PP, alterando la morfologia dell'onda di flusso aortica. Risultati preliminari di questa ricerca sono stati presentati in [37].

I lavori [1,113,37,38,40], sono il risultato della collaborazione con il King's College di Londra.

In *The selfish-brain hypothesis as possible cause of arterial hypertension: a modeling study* [47] (in collaborazione con L.O. Müller, M. Celant, E.F. Toro, P.J. Blanco, G. Bertaglia e A. Valiani) il modello chiuso della circolazione umana sviluppato da Müller e Toro [Int J Numer Meth Bio, 30: 681-725, 2014] è usato per studiare la nuova ipotesi secondo la quale l'insorgere dell'ipertensione arteriosa possa avere una causa di origine vascolare. Questa ipotesi suggerisce che alcune variazioni anatomiche congenite riguardanti la vascolatura delle regioni posteriori del cervello, potenzialmente responsabili di una ridotta perfusione di specifiche aree dello stesso, inducano un incremento generalizzato della pressione sanguigna. L'incremento di pressione andrebbe quindi interpretato come un meccanismo di auto protezione del cervello volto a ripristinare valori accettabili di perfusione (selfish-brain hypothesis). In [47], una volta individuate le più frequenti anomalie del circolo di Willis e delle arterie che lo alimentano, viene indagato numericamente il corrispondente impatto in termini di perfusione cerebrale, con particolare attenzione al tronco cerebrale e al midollo allungato. Le simulazioni eseguite confermano la riduzione di afflusso sanguigno nelle aree di interesse, incoraggiando il proseguo della ricerca.

Attività Scientifica - Articolazione dell'Attività di Ricerca (continua)

Il lavoro, sottomesso per la pubblicazione, *Modelling essential hypertension with a closed-loop mathematical model for the entire human circulation* (in collaborazione con M. Celant, E.F. Toro, G. Bertaglia, S. Cozzio, A. Valiani, P.J. Blanco, L.O. Müller), nasce dalla consapevolezza che modelli computazionali rappresentativi dello stato ipertensivo possono costituire un approccio pratico per quantificare meglio il ruolo svolto dalle diverse componenti del sistema cardiovascolare nella determinazione di questa condizione. Nel presente lavoro adottiamo un modello matematico multi-scala, globale e chiuso per l'intera circolazione umana per riprodurre uno scenario ipertensivo. In particolare, il modello originale è modificato per riprodurre alterazioni del sistema cardiovascolare che sono causa e/o conseguenza dello stato ipertensivo. L'adattamento non riguarda solo le grandi arterie sistemiche e il cuore, ma anche la microcircolazione, la circolazione polmonare e quella venosa. I risultati del modello per lo scenario ipertensivo vengono convalidati attraverso la valutazione dei risultati computazionali rispetto alle conoscenze attuali sull'impatto dell'ipertensione sul sistema cardiovascolare.

Attività di Trasferimento Tecnologico - Convenzioni di Ricerca

- 2021-2023 Convenzione tra l'Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile e l'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria per il "Supporto specialistico nelle attività tecnico scientifiche finalizzate alla prevenzione alla pianificazione e alla gestione delle emergenze relative al rischio idraulico", responsabili scientifici, Proff. Stefano Alvisi, Valerio Caleffi, Marco Franchini, Alberto Pellegrinelli, Leonardo Schippa, Alessandro Valiani. Coordinatore Prof. Alessandro Valiani.
- 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 e D. Bernardi), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e Parco del Delta del Po, Emilia Romagna. Report [104].
- 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. Report [105, 106].
- 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. Report [107].
- 2003 *Acquisizione ed analisi del campo vettoriale di velocità in prossimità di un sensore di portata ad induzione elettromagnetica del tipo ad inserzione* (in collaborazione con A. Valiani, L. Lanza, A. Bernini), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche ed Hemina S.p.A. Report [108].
- 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. Report [110].
- 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. Report [109].

Attività di Trasferimento Tecnologico - 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. Report [111].

Altre attività istituzionali

- Addetto al primo soccorso per il Dipartimento di Ingegneria;
- Addetto alla lotta antincendio per il Dipartimento di Ingegneria.

Elenco delle pubblicazioni

Publicazioni su rivista internazionale

- [1] Piccioli F., Valiani A., Alastruey J., Caleffi V., *The effect of cardiac properties on arterial pulse waves: An in-silico study*, International Journal for Numerical Methods in Biomedical Engineering, 2022; e3658. doi:10.1002/cnm.3658 DOI: 10.1002/cnm.3658
- [2] Piccioli F., Bertaglia G., Valiani A., Caleffi V., *Modeling blood flow in networks of viscoelastic vessels with the 1-D augmented fluid-structure interaction system*, Journal of Computational Physics, 2022, Vol. 464, art. no. 111364. DOI: 10.1016/j.jcp.2022.111364
- [3] Bertaglia G., Caleffi V., Pareschi L., Valiani A., *Uncertainty quantification of viscoelastic parameters in arterial hemodynamics with the α -FSI blood flow model*, Journal of Computational Physics, 2021, Vol. 430, pp. 110102. DOI: 10.1016/j.jcp.2020.110102
- [4] Bertaglia G., Navas-Montilla A., Valiani A., Monge García M.I., Murillo J., Caleffi V., *Computational hemodynamics in arteries with the one-dimensional augmented fluid-structure interaction system: viscoelastic parameters estimation and comparison with in-vivo data*, Journal of Biomechanics, 2020, Vol. 100, pp. 109595. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2019.109595.
- [5] Bertaglia G., Caleffi V., Valiani A., *Modeling blood flow in viscoelastic vessels: the 1D augmented fluid-structure interaction system*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2020, Vol. 360, pp. 112772. DOI: 10.1016/j.cma.2019.112772.
- [6] Valiani A., Caleffi V. *Dam break in rectangular channels with different upstream-downstream widths*, Advances in Water Resources, 2019, Vol. 132, pp. 103389. DOI: 10.1016/j.advwatres.2019.103389.
- [7] ElShobaki M., Valiani A., Caleffi V., *Numerical modelling of open channel junctions using the Riemann problem approach*, Journal of Hydraulic Research, 2019, Vol. 57(5), pp. 662-674. DOI: 10.1080/00221686.2018.1534283.
- [8] Bertaglia G., Ioriatti M., Valiani A., Dumbser M., Caleffi V., *Numerical methods for hydraulic transients in visco-elastic pipes*, Journal of Fluids and Structures, 2018, Vol. 81, pp.230-254. DOI: 10.1016/j.jfluidstructs.2018.05.004.
- [9] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2018.05.002.
- [10] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2018.01.011.
- [11] 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. DOI: 10.1142/S021989161850008X.
- [12] 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; DOI: 10.1016/j.jcp.2017.04.031.
- [13] Valiani A., Caleffi V., *Momentum balance in the shallow water equations on bottom discontinuities*, Advances in Water Resources, 2017, Vol. 100, pp. 1-13. DOI: 10.1016/j.advwatres.2016.12.002.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [14] 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. DOI: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001104.
- [15] 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. DOI: 10.1016/j.apm.2015.09.025.
- [16] 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. DOI: 10.1016/j.amc.2015.04.054.
- [17] 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. DOI: 10.1016/j.compfluid.2014.04.022.
- [18] Caleffi V., Valiani A., *A 2D local discontinuous Galerkin method for contaminant transport in channel bends*, Computers & Fluids, 2013, Vol. 88, pp. 629-642. DOI: 10.1016/j.compfluid.2013.10.023.
- [19] 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. DOI: 10.1080/00221686.2013.805701.
- [20] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2012.05.018.
- [21] 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. DOI: 10.1002/fld.2410.
- [22] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2010.11.006.
- [23] Caleffi V., Valiani A., *Well-balanced bottom discontinuities treatment for high-order shallow water equations WENO scheme*, ASCE Journal of Engineering Mechanics, 2009, Vol. 135(7), pp. 684-696. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9399(2009)135:7(684).
- [24] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2009.06.004.
- [25] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2008.10.015.
- [26] 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. DOI: 10.1016/j.camwa.2008.05.039.
- [27] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2007.09.007.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [28] 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. DOI: 10.1016/j.advwatres.2006.06.003.
- [29] 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. DOI: 10.1016/j.jcp.2006.02.001.
- [30] 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. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:10(912).
- [31] 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. DOI: 10.1080/00221680309499959.
- [32] 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. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:5(460).

Discussioni e chiusure su rivista internazionale

- [33] 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.
- [34] 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

- [35] 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

- [36] Valiani A., Caleffi V., *Crollo diga in alvei di sezione qualunque con brusche variazioni di sezione*, XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Reggio Calabria, 5/9/2022 - 7/9/2022.
- [37] Piccioli F., Li Y., Caleffi V., Valiani A., Chowienczyk P., Alastruey J., *Ruolo relativo delle proprietà cardiache e vascolari nella determinazione della pressione sanguigna*, XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Reggio Calabria, 5/9/2022 - 7/9/2022.
- [38] Piccioli F., Valiani A., Alastruey J., Caleffi V., *Valutazione delle proprietà cardiache tramite l'analisi delle forme d'onda nel sistema cardiovascolare*, XXXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Reggio Calabria, 5/9/2022 - 7/9/2022.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [39] Bertaglia G., Caleffi V., Pareschi L., Valiani A., *The value of viscoelasticity in computational hemodynamics: Uncertainty quantification and comparison with in-vivo data*, 2022, 7th International Conference on Computational & Mathematical Biomedical Engineering, 27th - 29th June 2022, Politecnico di Milano, Campus Leonardo, Milano, Italy.
- [40] Piccioli F., Valiani A., Alastruey J., Caleffi V., *Computational analysis to assess cardiac properties from vascular pulse waves*, 2022, 7th Computational and Mathematical Biomedical Engineering, 27th - 29th June 2022, Politecnico di Milano, Campus Leonardo, Milano, Italy.
- [41] Piccioli F., Bertaglia G., Valiani A., Caleffi V., *Consistent treatment of boundary conditions for blood flow modeling in networks of viscoelastic vessels*, 2022, 7th Computational and Mathematical Biomedical Engineering, 27th - 29th June 2022, Politecnico di Milano, Campus Leonardo, Milano, Italy.
- [42] Bertaglia G., Caleffi V., Pareschi L., Valiani A., *A stochastic AP-scheme for non-conservative blood flow models with uncertainties*, 2021, SIAM Conference on Computational Science and Engineering, 01/03/2021 - 05/03/2021, Virtual Conference, originally scheduled in Fort Worth, Texas, U.S.A.
- [43] Bertaglia G., Caleffi V., Pareschi L., Valiani A., *Stochastic asymptotic-preserving IMEX Finite Volume methods for viscoelastic models of blood flow*, 2021, 7th International Conference on Numerical methods for Hyperbolic Problems, 26/07/2021 - 30/07/2021, Department of Civil, Environmental and Mechanical Engineering, University of Trento.
- [44] Piccioli F., Bertaglia G., Valiani A., Caleffi V., *Modellazione del flusso sanguigno in reti di vasi viscoelastici*, 2020, XXXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.
- [45] Bertaglia G., Caleffi V., Valiani A., *Modellazione del flusso sanguigno in vasi viscoelastici*, 2020, XXXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.
- [46] Bertaglia G., Navas-Montilla A., Valiani A., Monge García M.I., Murillo J., Caleffi V., *Modellazione del flusso sanguigno con sistema A-FSI: stima dei parametri e validazione in-vivo*, 2020, XXXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria.
- [47] Müller L.O., Celant M., Toro E.F., Blanco P.J., Bertaglia G., Caleffi V., Valiani A., *The selfish-brain hypothesis as possible cause of arterial hypertension: a modeling study*, CMBE2019, 6th International Conference on Computational and Mathematical Biomedical Engineering, Sendai, Giappone, 10–12 Giugno 2019.
- [48] Bertaglia G., Caleffi V., Valiani A., Navas-Montilla A., Murillo J., *The augmented FSI system for blood flow in viscoelastic vessels solved with IMEX schemes*, 2019, Abstract, Workshop on Efficient high-order time discretization methods for PDEs, Anacapri, Italia, 8-10 Maggio 2019.
- [49] Bertaglia G., Caleffi V., Valiani A., *Accuracy-preserving IMEX schemes applied to the augmented FSI system for blood flow in viscoelastic vessels*, 2019, HONOM 2019 - European Workshop on High Order Numerical Methods for Evolutionary PDEs: Theory and Applications: Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía - Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Spagna, 1-5 Aprile, 2019.
- [50] 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.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [51] 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.
- [52] 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.
- [53] 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.
- [54] 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.
- [55] 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.
- [56] 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.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] 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.
- [62] 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.
- [63] 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.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [64] 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.
- [65] 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.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] 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.
- [69] Valiani A., Caleffi V., *Alcuni risultati su moti assialsimmetrici a superficie libera*, 2013, XXI Congresso AIMETA, Torino, 17-20 settembre 2013.
- [70] 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.
- [71] 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.
- [72] 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.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] Caleffi V., Valiani A., *A RKDG scheme for 2D SWE on curved boundary domains*, 2012, SIMAI Congress, Torino, 25-28 giugno 2012.
- [76] 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.
- [77] 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.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [78] 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.
- [79] 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.
- [80] 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.
- [81] Caleffi V., Valiani A., *Well balanced HWENO scheme for Shallow Water Equations*, 2010, SIMAI Congress, Cagliari, 21-25 giugno 2010.
- [82] Valiani A., Caleffi V., *Hydraulic jump in diverging channels*, 2010, First European IAHR Congress, UK, Edinburgh, 4-6 Maggio 2010.
- [83] 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.
- [84] 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.
- [85] 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.
- [86] 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.
- [87] 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.
- [88] 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.
- [89] 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.
- [90] 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.
- [91] 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.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [92] 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.
- [93] 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.
- [94] 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.
- [95] 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.
- [96] 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.
- [97] 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.
- [98] Valiani A., Caleffi V., *Dam break modeling for sediment laden flows*, International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH), Tempe, Arizona, USA, 5-8 Dicembre 2001.
- [99] Valiani A., Caleffi V., *Supercritical flow in sharp bends*, XXVI General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), Nizza, Francia, 25-30 Marzo 2001.
- [100] 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.
- [101] 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.
- [102] 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.
- [103] 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.

Report Tecnico-Scientifici

- [104] Schippa L., Valiani A., Caleffi V., Bernardi D., *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"*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e Parco del Delta del Po, Emilia Romagna, giugno 2011.

Elenco delle pubblicazioni (continua)

- [105] Valiani A., Caleffi V., *Simulazione del moto a superficie libera nella vasca di alimentazione della Centrale mini-hydro a valle dell'impianto di produzione ENEL in località Ponte Preti*, Comune di Strambinello (TO), Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e GdM s.r.l. - Milano, marzo 2008.
- [106] Valiani A., Lanza L., Caleffi V., *Supporto tecnico-scientifico alla progettazione e realizzazione di impianti mini-hydro, Centrali di Marano sul Panaro, Pian della Valle e Rocchetta di Guiglia*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e K7 s.r.l. - Milano, dicembre 2007.
- [107] Franchini M., Cavallini N., Caleffi V., *Realizzazione di un modello di evento finalizzato alla stesura del piano di Protezione Civile della Provincia di Ferrara*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria e Provincia di Ferrara, 2006.
- [108] Valiani A., Lanza L., Bernini A., Caleffi V., *Acquisizione ed analisi del campo vettoriale di velocità in prossimità di un sensore di portata ad induzione elettromagnetica del tipo ad inserzione*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche ed Hemina S.p.A., giugno 2003.
- [109] Valiani A., Lanza L., Bernini A., Caleffi V., Franchini M., *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*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Dipartimento di Ingegneria e l'Azienda Regionale di Navigazione Interna della Regione Emilia Romagna, Ferrara, luglio 2002.
- [110] Valiani A., Caleffi V., *Modellazione numerica 2D-SWE del deflusso in presenza di edifici isolati o aggregati*, rapporto redatto nell'ambito della Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e l'ENEL HYDRO - Polo Idraulico e Strutturale, Ferrara, dicembre 2001.
- [111] Valiani A., Caleffi V., *Modellazione numerica ai volumi finiti per le equazioni 2D alle acque basse*, Convenzione fra l'Università degli Studi di Ferrara - Consorzio Ferrara Ricerche e l'ENEL HYDRO - Polo Idraulico e Strutturale, Ferrara, dicembre 2000.

Pubblcazioni di carattere divulgativo

- [112] Valiani A., Caleffi V., *L'utilizzo della modellazione matematica e fisica nell'idraulica fluviale, il Po*, Notiziario di AdBPo, SAFE Infrastrutture, II Giornata di lavoro, Parma, 25 gennaio 2007.

Articoli sottomessi per la pubblicazione su rivista internazionale

- [113] Piccioli F., Li Y., Valiani A., Caleffi V., Chowienczyk P., Alastruey J., *Role of cardiac contractility in determining pulse pressure and its peripheral amplification*, sottomesso, 2023.
- [114] Celant M., Toro E.F., Bertaglia G., Cozzio S., Caleffi V., Valiani A., Blanco P.J., Müller L.O., *Modelling essential hypertension with a closed-loop mathematical model for the entire human circulation*, sottomesso, 2023.

Informazioni Bibliometriche

ORCID iD 0000-0001-7066-4804
ResearcherID K-4668-2012
Scopus Author ID 55927251200

Informazioni Bibliometriche (continua)

	Data Base	Pubblicazioni	Numero Totale Citazioni	H-index
Indici:	Scopus	38	801	13
	Web of Science	37	727	12
	Google scholar	65	1266	16

indici aggiornati al 25 febbraio 2023.

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.

Ferrara, 26 gennaio 2023

Fatto, letto e sottoscritto,
Valerio Caleffi