

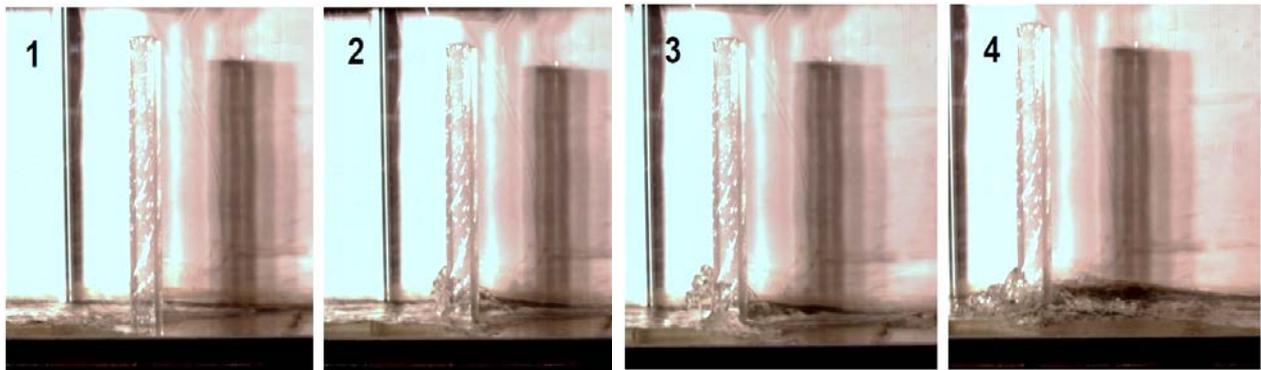
Università degli Studi di Napoli Federico II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



Tesi in Idraulica Fluviale

**Impatto di un'onda impulsiva su ostacoli rigidi:
valutazione delle forze**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. Massimo Greco

Correlatore

Prof. Ing. Angelo Leopardi

Candidata

Teresa Sessa

Matricola

M67/000369

ANNO ACCADEMICO 2017/2018

ABSTRACT

Questo lavoro di tesi rappresenta un'indagine numerica ed in parte sperimentale finalizzata alla valutazione del carattere impulsivo di un'onda "dam-break" su fondo fisso in presenza di ostacoli, e delle forze agenti. I modelli più diffusi impiegati per lo studio della propagazione delle onde di piena sono quelli unidimensionali, data la loro notevole semplicità, nonostante in molte situazioni vengano meno le ipotesi su cui si basano. Questi modelli però presentano diversi problemi: lo schema di calcolo, le caratteristiche dei parametri in gioco, la simulazione realistica di alcuni fenomeni che richiedono una trattazione differente del campo di moto, perlomeno bidimensionale. L'utilizzo di modelli bidimensionali a fondo fisso ha trovato sempre maggiore diffusione, negli ultimi decenni, essendo questi in grado di descrivere dettagliatamente la propagazione della piena in un alveo, di simulare eventuali fenomeni di esondazione e di seguire, sul territorio inondato, l'avanzamento dell'onda di sommersione, purché le equazioni del moto siano opportunamente adattate e la modellazione delle aree destinate ad essere sommerse sia condotta tenendo conto degli effetti non trascurabili che le diverse strutture, presenti sul territorio, esercitano sulla propagazione dei fronti di allagamento.

Benché, il flusso sia nella realtà tridimensionale, è possibile semplificare l'analisi considerando una corrente bidimensionale ed utilizzando grandezze mediate sulla verticale, nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni e quindi di accelerazioni verticali trascurabili.

Questa ipotesi semplifica notevolmente la trattazione dei problemi suddetti e allo stesso tempo porta a risultati con accuratezza sufficientemente elevata. Più precisamente, anche se un approccio mediato verticalmente mostrerebbe limitazioni nel ricostruire l'impatto di un'onda di rottura della diga contro un ostacolo, essendo questo fenomeno localmente e marcatamente tridimensionale poiché presenta forti curvature della superficie libera con distribuzione non idrostatica della pressione lungo la verticale, eppure la modellazione 2D acque basse è uno strumento matematico ampiamente accettato per simulare rapidamente le variabili in un canale aperto, anche in presenza di ostacoli, edifici, e singolarità topografiche. A questo riguardo va citato il lavoro di Aureli et al. (2014) che mostra come, tranne che per una brevissima durata in concomitanza del primo impatto, la soluzione numerica ottenuta con le *Equazioni Shallow Water* calcoli in maniera estremamente accurata anche il valore delle forze sull'ostacolo oltre a fornire, una rappresentazione sufficientemente accurata delle aree sommerse e del campo di moto. Inoltre, l'intervallo di tempo che racchiude il primo impatto è talmente piccolo da poter essere agevolmente trascurato.

Infine, Francesca Aureli mediante simulazioni numeriche e prove in laboratorio, compara i risultati ottenuti sia da un modello bidimensionale che da un modello tridimensionale: l'errore che si commette nell'utilizzo del primo modello rispetto al secondo è di scarsa rilevanza (ordine al più 10%).

Il modello matematico 2-D per le acque basse, si basa sulle *Equazioni di De Saint Venant* che, in generale, descrivono il moto in due direzioni di una corrente a superficie libera, nelle ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni, di velocità uniformemente distribuita lungo la verticale e di fondo non erodibile.

Tali equazioni (note come *modello completo* o dell'*onda dinamica*) rappresentano un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine e vengono ricavate nella Tesi con il principio di conservazione della massa e della quantità di moto:

$$\begin{cases} \frac{\partial(hv_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_y)}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial(hv_x)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hv_x^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial x} + \frac{\partial(hv_yv_x)}{\partial y} = gh\left(-\frac{\partial z_f}{\partial x} - J_x\right) \\ \frac{\partial(hv_y)}{\partial t} + \frac{\partial\left(hv_y^2 + g\frac{h^2}{2}\right)}{\partial y} + \frac{\partial(hv_yv_x)}{\partial x} = gh\left(-\frac{\partial z_f}{\partial y} - J_y\right) \end{cases}$$

Tale sistema non è risolvibile analiticamente ma mediante tecniche di integrazione numerica come: il metodo delle caratteristiche, gli schemi alle differenze finite (di tipo esplicito od implicito), e le metodiche di più recente introduzione, basate su modellazione agli elementi o ai volumi finiti.

Il metodo numerico adoperato nella Tesi, è un metodo ai volumi finiti (FVM), in cui il problema continuo viene trasformato in un problema discreto di equazioni algebriche risolte da un calcolatore (*2FACE*). L'applicazione del Metodo dei Volumi Finiti, comporta la suddivisione dell'alveo in un certo numero N di celle in cui si assume un unico valore delle variabili conservate (quello di centro cella); il codice utilizzato consentirebbe anche la valutazione dell'evoluzione della quota di fondo e del trasporto solido, ma qui si è fatto riferimento al solo fondo fisso. Tuttavia, tale suddivisione implica un problema che si manifesta tra due celle contigue: le variabili conservate, infatti, assumono, in generale, un valore diverso a sinistra e a destra, pari a quello di centro cella. Tali discontinuità potrebbero essere significative, come accade in corrispondenza dei risalti idraulici o in conseguenza della propagazione di *fronti di shock* che si osservano in alcuni casi durante un fenomeno di dam-break. Un problema di questo tipo, connesso alla possibile presenza tali discontinuità, è un "*Problema alla Riemann*" e risulta di risoluzione necessaria per calcolare il vettore *flusso* tra due celle contigue. L'individuazione della soluzione esatta di questo problema è complessa, pertanto, nel presente lavoro di Tesi si implementa il solutore con lo schema *HLL* che restituisce direttamente le espressioni del vettore "flusso" a sinistra e a destra di ogni cella del dominio di calcolo.

Le onde di piena createsi in seguito al crollo della diga, rappresentano forze che impattano contro gli ostacoli che potrebbero incontrare. Vengono considerati "*ostacoli*" non soltanto corpi vincolati, ma anche mobili come le automobili parcheggiate; in tal caso la valutazione delle forze agenti è prodromica e gli ostacoli vengono supposti rigidi. La previsione delle forze agenti è un compito impegnativo, a causa del gran numero di parametri geometrici, fisici e idraulici coinvolti: per valutarli è stata promossa un'*analisi di sensitività*. È stato considerato un canale rettangolare lungo 6.03 m (disponibile presso l'Università di Cassino, ove si svolgerà il completamento della campagna sperimentale), suddiviso in due parti da una paratoia posta a 3 metri: a monte acqua in quiete con un livello assegnato, e a valle un fondo asciutto piano.

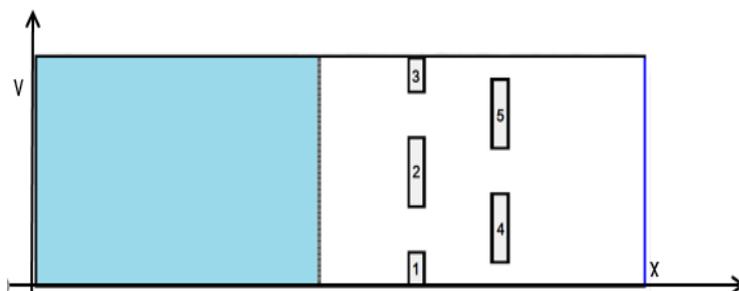


Fig.1 - Pianta del canale con paratoia. Schema configurazione base

Nella configurazione base, gli ostacoli presenti a valle sono 5 blocchi: tre nella prima fila due nella seconda (fig.1). Nelle simulazioni sono stati presi in considerazione soltanto il blocco 2 (centrale della prima fila) e il blocco 4 (posto alle spalle), poiché sufficienti ad

evidenziare il comportamento dell'intero schema, in quanto dotato di simmetria rispetto all'asse del canale. Nello specifico, le variabili analizzate con il software *2FACE* già citato (sviluppato da un gruppo di ricercatori dell'Università degli Studi di Napoli, Federico II) sono state: il coefficiente di Chezy, il livello idrico nel bacino, le dimensioni dei blocchi, la distanza e la disposizione delle file.

Per entrambi i blocchi l'incidenza meno rilevante sulle forze idrodinamiche è il coefficiente di Chezy.

Sussiste una similitudine tra la diminuzione delle dimensioni dei blocchi e la riduzione della forza di impatto per unità di superficie e nel caso del blocco 2, la decrescita è più grande.

All'aumentare della distanza tra le due file di blocchetti rispetto alla configurazione base, sussistono due comportamenti diversi per i due blocchi: per il blocco 2 l'aumento della distanza porta ad un'accentuazione del valore di picco della forza e ad un aumento della durata della spinta, mentre per il blocco 4 si ha un notevole abbassamento del valore di picco della forza ed anche una forte riduzione dei suoi valori massimi. Al diminuire della distanza tra le due file dei blocchi si ha un effetto totalmente contrario: per il blocco 2 diminuisce lievemente il picco della forza ma notevolmente la durata dell'impatto ad esso corrispondente, mentre per il blocco 4 aumenta ingentemente il valore di picco della forza.

Nel caso dell'inversione delle file, si vede in termini di forze d'impatto che non cambia assolutamente nulla, tranne che, le curve date dal software *2FACE* non coincidono perfettamente.

Infine, sussiste una relazione di natura quadratica tra la forza di impatto di picco F_x^{max} ed il livello idrico iniziale h_0 dell'acqua nel bacino, nell'intervallo di tempo in cui tutta la propagazione dell'onda è avvenuta. L'analisi mediante una regressione lineare fornisce un *coefficiente di determinazione* R^2 elevatissimo; poiché prossimo all'unità si parla di perfetta *interpolazione*. La curva è una legge deterministica (fig.2)

Per verificare la completa compatibilità del risolutore con la complessità del fenomeno di propagazione dell'onda, è stata eseguita una simulazione riferita alla campagna sperimentale di F. Aureli nella quale la misurazione delle forze di impatto, viene eseguita su un ostacolo infinitamente rigido di sezione rettangolare, nel caso di dam-break parziale, su fondo fisso.

Nella figura 3-4 di seguito sono mostrati rispettivamente i risultati dei tre modelli matematici adoperati da Aureli (un modello 2D, 3D e 3D particellare) e i risultati ottenuti dal risolutore *2FACE*. I dati ottenuti dai due modelli 2D sono apprezzabilmente vicini, e ciò conferma la validità numerica del metodo bidimensionale adoperato nel lavoro di tesi.

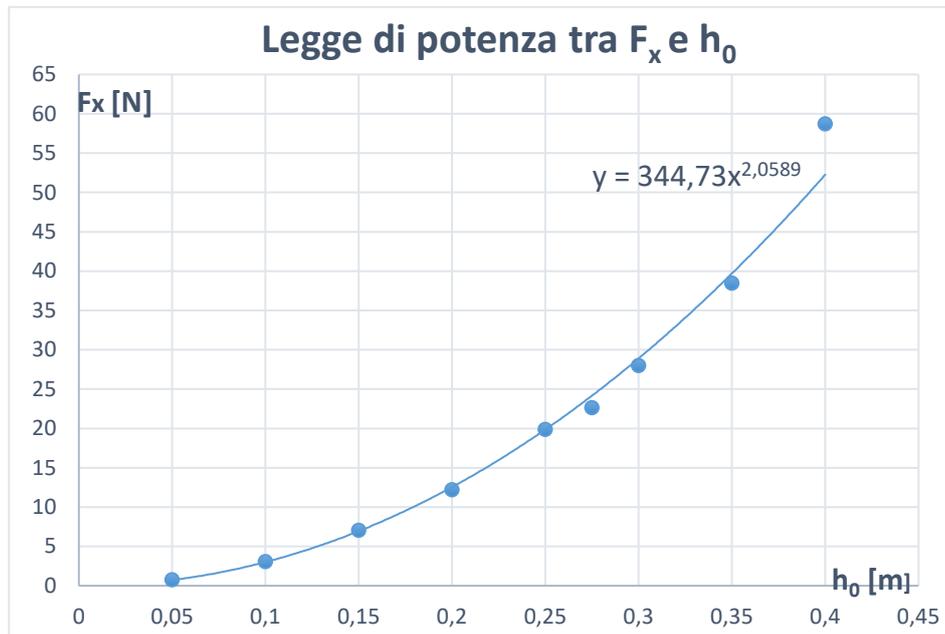


Fig.2 – Correlazione tra Forza F_x ed il livello idrico nel serbatoio h_0

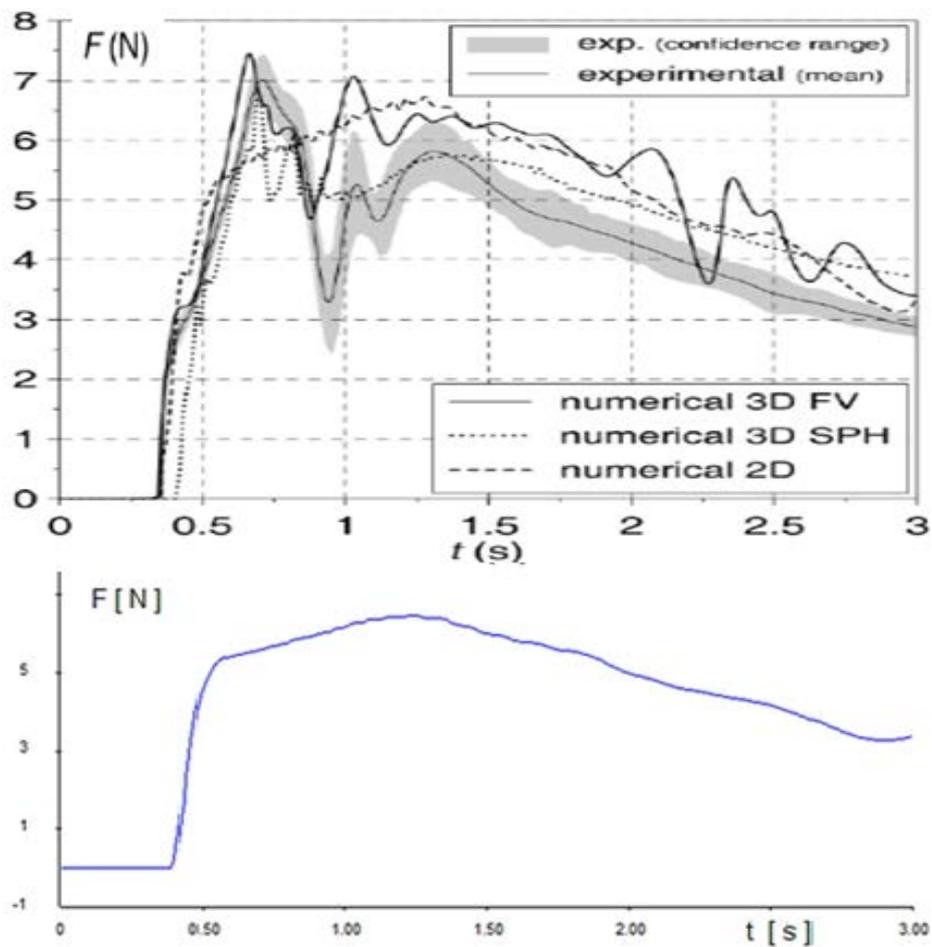


Fig. 3-4 – Confronto tra dati sperimentali e numerici del carico forniti dai tre modelli di Aureli e i dati forniti da 2FACE

Infine, è stata eseguita una sperimentazione preliminare di carattere puramente qualitativo presso il LIA Lab (Laboratorio di Ingegneria delle Acque), dell'Università di Cassino e Lazio meridionale.

L'evoluzione del pelo libero è stata ottenuta mediante l'analisi delle immagini con l'ausilio di una videocamera a controllo remoto, posizionata lateralmente al canale.

Il volume di invaso del fluido racchiuso tra le due paratoie a monte, registra un tirante h_0 di:

- 11.1 cm nella prova con presenza di un unico ostacolo grande
- 10 cm nella prova con la sola fila costituita da 3 ostacoli
- 12 cm nel caso della configurazione base completa



Fig. 5 - Impianto Sperimentale presso il LIA Lab. Cassino

Considerando il punto in cui è giunto il seguente lavoro, gli sviluppi che si vorrebbero perseguire per l'avanzamento del processo, potrebbero essere: la misurazione effettiva delle forze di impatto nel caso complesso di più ostacoli (finora unicamente stimate dalla simulazione numerica), la valutazione dell'influenza del letto mobile sul processo (e sulle forze agenti) e l'utilizzo di fluidi di diversa natura reologica.

