POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Modello fisico per lo studio della propagazione di onde di dam-break: realizzazione e taratura

Original
Modello fisico per lo studio della propagazione di onde di dam-break: realizzazione e taratura / Cordero, S., Cagninei, A., Poggi, D.. - ELETTRONICO. - (2018). (XXXVI Convegno Nazionale di idraulica e Costruzioni Idrauliche Ancona (Italia) 12-14 Settembre 2018).

Availability:
This version is available at: 11583/2718605 since: 2018-11-27T11:36:39Z

Publisher:
Advanced srl - comitato editoriale IDRA2018

Published
DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright
GENERICO -- per es. Nature : semplice rinvio dal preprint/submitted, o postprint/AAM [ex default]

(Article begins on next page)

14 October 2026

MODELLO FISICO PER LO STUDIO DELLA PROPAGAZIONE DI ONDE DI DAM-BREAK: REALIZZAZIONE E TARATURA

Silvia Cordero [1*], Andrea Cagninei [1] & Davide Poggi [2]

(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino (Torino)

**email: silvia.cordero@polito.it*

ASPETTI CHIAVE

- *Modello fisico per lo studio tridimensionale della propagazione di onde di dam-break.*
- *Misura della profondità d'acqua mediante una tecnica di analisi delle immagini.*
- *Analisi e taratura degli aspetti illuminotecnici.*

1 INTRODUZIONE

La presenza sul territorio nazionale di un elevato numero di invasi di competenza regionale costituisce un fattore di rischio per le zone a valle degli stessi. L'entità del rischio derivante dai piccoli invasi è senza dubbio minore di quello derivante dalla presenza di invasi di competenza nazionale. Tuttavia esso non può essere ignorato nella predisposizione dei Piani di Emergenza Comunali a causa dell'elevata numerosità e della loro posizione in contesti spesso densamente antropizzati. La maggior parte di questi invasi sono privi di immissario ed emissario e si trovano su pendii montani o collinari nonché su territori pianeggianti. In caso di collasso del rilevato, l'assenza di una valle incisa porta ad avere un'onda di dam-break che non si propaga in modo assimilabile ad un flusso monodimensionale, ma si espande anche in direzione trasversale formando come un cono la cui apertura dipende principalmente dalla pendenza e dalla scabrezza del territorio a valle oltre che dalla dinamica del collasso.

Non sono molti gli autori che hanno affrontato per via sperimentale lo studio tridimensionale (3D) della propagazione di onde di dam-break. *Fraccarollo & Toro* (1995) misurarono la profondità d'acqua in 5 punti su un piano inclinabile posto a valle di un serbatoio, *Soares-Frazão* (2007, 2008) e *Güney et al.* (2014) eseguono misure puntuali su modelli fisici. Negli ultimi anni alcuni ricercatori hanno sperimentato diverse tecniche, basate sull'analisi delle immagini acquisite ad alta frequenza da 1 o più fotocamere, per la ricostruzione della superficie libera in modo continuo (*Cochard & Ancey*, 2008, *Aureli et al.*, 2011 e *Elkholy et al*., 2016). Qui viene presentato un modello fisico realizzato per studiare la propagazione 3D di un'onda su di un piano mediante l'acquisizione di immagini ad alta risoluzione ed alta frequenza. La tecnica utilizzata lega la profondità d'acqua in ogni punto in un dato istante con l'intensità del pixel corrispondente nell'immagine acquisita all'istante considerato. Nel seguito vengono descritti il set-up sperimentale e le fasi di calibrazione.

2 MODELLO FISICO

Il modello, realizzato nel Laboratorio di Idraulica del Politecnico di Torino, è costituito da un piano inclinabile di 3 x 4 m^2 in legno posto a valle di un serbatoio (figura 1). La continuità della superficie e la tenuta idraulica sono garantiti da una copertura in pvc oltre che dalla sigillatura con stucco a livello delle giunzioni e dalla verniciatura superficiale. Due portali di altezza 3 m sono fissati ai lati lunghi e sovrastano il piano permettendo di posizionare una telecamera e un computer ciascuno. In questo modo è possibile acquisire dati lungo tutta la lunghezza del piano lavorando con 2 telecamere contemporaneamente. Piano, sottostruttura e portali sono solidali, pertanto l'asse della telecamere rimane ortogonale al piano anche quando la struttura viene inclinata. Le inclinazioni possibili vanno da 0° a 12° rispetto all'orizzontale. Il serbatoio di monte è prismatico, in acciaio inox 1.5 x 1.5 x 0.5 m^3. Il fondo è piano e può essere regolato a diverse altezze in funzione dell'inclinazione del piano di valle. A valle, un serbatoio 3.5 x 1 x 0.5 m^3 permette la raccolta dell'acqua utilizzata nell'esperimento; essa viene pompata e conservata in 4 fusti in modo da poter essere riutilizzata. Per quanto riguarda la forma della breccia, a seguito di un'analisi di

letteratura (*Froehlich*, 2008), è stata scelta una forma triangolare che interessa tutta l'altezza della diga. Tale paratoia è collegata a un contrappeso mediante un sistema di carrucole.

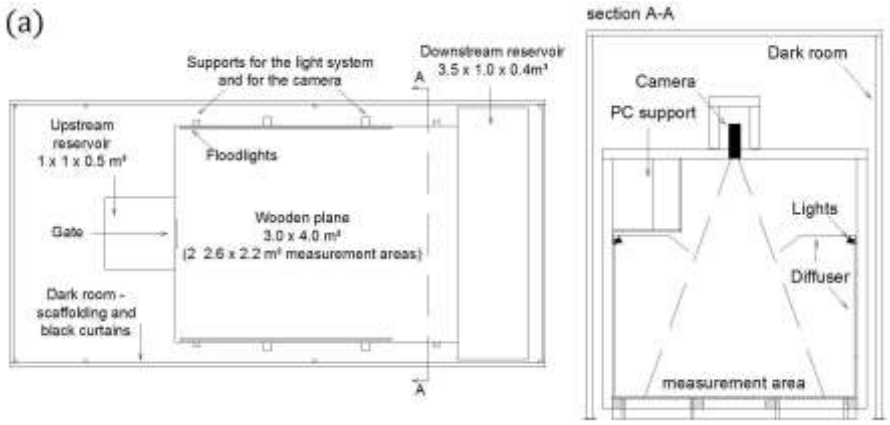

Figura 1. Uno schema del modello fisico: a sinistra una vista dall'alto e a destra la sezione AA indicata in pianta.

L'illuminazione dell'area di misura è garantita da dei faretti disposti sui 2 lati lunghi del piano ad un'altezza di 2 m. Per ottenere una diffusione uniforme della luce e minimizzarne la dispersione, il piano è circondato da 4 pareti verticali realizzate in tessuto oscurante bianco opaco. Sono state lasciate libere solo l'area della breccia e uno spazio 3 x 0.1 m^2 a valle per permettere l'uscita dell'acqua dal modello. Con lo stesso materiale sono stati realizzati anche i 2 diffusori orizzontali posti immediatamente sopra ai faretti (figura 1 sez. AA). Le loro dimensioni sono vincolate all'esigenza di non occludere l'angolo di visuale della telecamera. L'intera struttura è circondata da una camera oscura che mantiene inalterate le condizioni ambientali escludendo contributi luminosi esterni. Un sistema di condizionamento previene l'umidità e mantiene costante la temperatura in modo da realizzare condizioni standard per la telecamera e da ridurre il più possibile il rumore dovuto all'elettronica.

3 TECNICA DI MISURA E TARATURA

La telecamera utilizzata è Andor Zyla 5.5 che monta un sensore monocromatico sCMOS con risoluzione 2560 x 2160 pixel e permette di acquisire fino a 100 fps. In particolare sono disponibili due modalità di acquisizione: Global Shutter Mode e Rolling Shutter Mode. L'idea di base è fotografare ad alta frequenza l'onda che si genera sul piano a seguito del sollevamento istantaneo della paratoia. Si vuole misurare la velocità di propagazione del fronte e la profondità d'acqua in ogni punto correlando quest'ultima all'intensità di grigio nei pixel dell'immagine. L'assorbimento della luce da parte dell'acqua è tanto maggiore quanto è maggiore la sua profondità. Per massimizzare l'assorbimento viene utilizzato un colorante naturale (rosso cocciniglia). La concentrazione utilizzata è 0.02 g/l ed è stata scelta a seguito di diversi test in modo da evitare la formazione di depositi di colorante nel serbatoio e sul piano. Considerando un singolo raggio luminoso, esso penetra la superficie liquida, si riflette sul fondo e riattraversa la superficie tanto più attenuato quanto è maggiore la profondità d'acqua attraversata. Gli effetti legati alla rifrazione sulla superficie idrica e al fatto che il percorso del raggio all'interno dell'acqua non è ortogonale al fondo vengono presi in conto con la calibrazione. Essi sono quindi implicitamente inclusi nella funzione che lega intensità e profondità nel generico punto. L'effetto dovuto alla diversa pendenza locale della superficie libera durante la propagazione dell'onda viene trascurato.

Il processo di calibrazione si divide in 3 fasi. La prima è legata alla disposizione delle luci, la seconda alla conversione geometrica pixel-cm e la terza alla definizione in ogni pixel della relazione intensità-profondità. Procedendo a ritroso, per la terza fase vengono posizionate delle assi ai bordi del piano in modo da creare una vasca che viene riempita progressivamente con l'acqua colorata. Ad ogni step viene misurato il livello in 12 punti (4 lungo l'asse della breccia e 4 per ciascun lato lungo del piano) e viete scattata una foto con la telecamera. Si procede al riempimento in step di qualche mm fino al raggiungimento dei 2 cm e poi a step

dell'ordine di 1cm fino ai 10 cm. Concatenando le immagini acquisite ai diversi livelli di riempimento si ottiene, per ogni pixel, la relazione che lega l'intensità alla profondità d'acqua.

Al fine di convertire le distanze da unità immagine a unità metriche si materializza sul piano una griglia a doppia maglia quadrata. Vengono affiancati una serie di pannelli su cui è stampata una griglia la cui maglia principale ha lato 3 cm con spessore 2 mm e quella secondaria ha lato 1 cm e spessore 1mm. Viene scattata una foto con la telecamera. Per ogni vertice sono quindi note le coordinate in pixel e in cm ed è dunque possibile collegare ogni punto dell'immagine ad una posizione nello spazio reale.

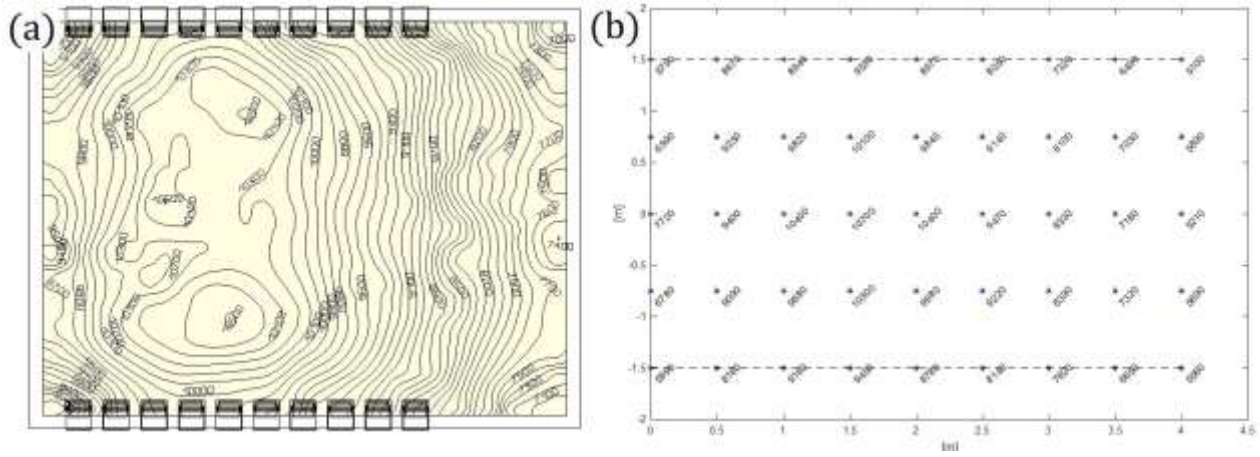

Figura 2. Curve isolux ottenute dalla simulazione numerica (a) e illuminamento misurato (lux) con l'utilizzo dello spettrometro in 45 punti sul piano (b). In entrambi i pannelli la breccia si trova a sinistra con asse nel punto di coordinate (0,0). In basso: risultati ottenuti utilizzando il serbatoio prismatico con altezza d'acqua iniziale 20 cm e pendenza del piano 0°. Primi risultati e Sviluppi futuri

L'illuminazione riveste un ruolo fondamentale nell'acquisizione dei dati. In particolare maggiore è l'illuminamento del piano minore sarà il tempo di esposizione necessario e maggiore sarà la frequenza di scatto raggiungibile. Inoltre un buon illuminamento diminuisce l'entità del rumore è ciò è particolarmente rilevante volendo misurare profondità d'acqua che, al fronte, sono dell'ordine di 1 mm. Concentrando l'attenzione solo sulla zona di misura di monte (area inquadrata dalla telecamera posta sul portale di monte, larga 2.2 m e lunga 2.6 m a partire dalla breccia verso valle), sono state disposte 20 lampade a led in 2 file da 10, una a destra e una a sinistra del piano. Le lampade sono affiancate e coprono i primi 3 m di monte. Si tratta di fari rettangolari a 28 led con potenza 60W (8400 lm a faretto). Non si possono orientare i faretti direttamente verso la zona di misura poiché, al passaggio dell'acqua, ciò causerebbe riflessi locali che, nell'immagine, vengono registrati come pixel saturi (massima intensità) perdendo di fatto l'informazione locale. Per questo motivo, prendendo spunto dalle light-box usate in fotografia per studiare oggetti senza generare ombre, è stata realizzata la copertura bianca delle pareti e del "soffitto" e il piano è stato rivestito da un pavimento in pvc bianco. I faretti vengono puntati sui diffusori superiori e la luce viene diffusa. L'inclinazione dei faretti è stata studiata avvalendosi di un software di progettazione illuminotecnica (DIALux): a partire dalla scheda tecnica del faretto si inserisce la curva fotometrica dichiarata, si modella la geometria e si definiscono i coefficienti di rifrazione dei materiali. La curva fotometrica è stata validata misurando l'intensità luminosa lungo i 2 piani principali (0° e 90°) con uno spettrometro (Spectromaster C-700). Sulla base dei risultati del modello digitale (figura 2.a) è stato scelto un angolo di 15° sull'orizzontale. Dopo aver posizionato i faretti è stato misurato l'illuminamento in 45 punti sul piano disposti secondo una griglia regolare (figura 2.b). Il massimo valore misurato è 10700 lx, in accordo con la simulazione numerica, si trova all'incrocio tra l'asse della breccia e l'asse delle 2 strisce di fari; supera i valore del modello di circa il 2%. Le aree più buie si trovano negli angoli di valle, il software sovrastima l'illuminamento in queste zone: la differenza massime è di 1600 lm. Alla luce dei risultati ottenuti è possibile tarare opportunamente il coefficiente di rifrazione dei diffusori.

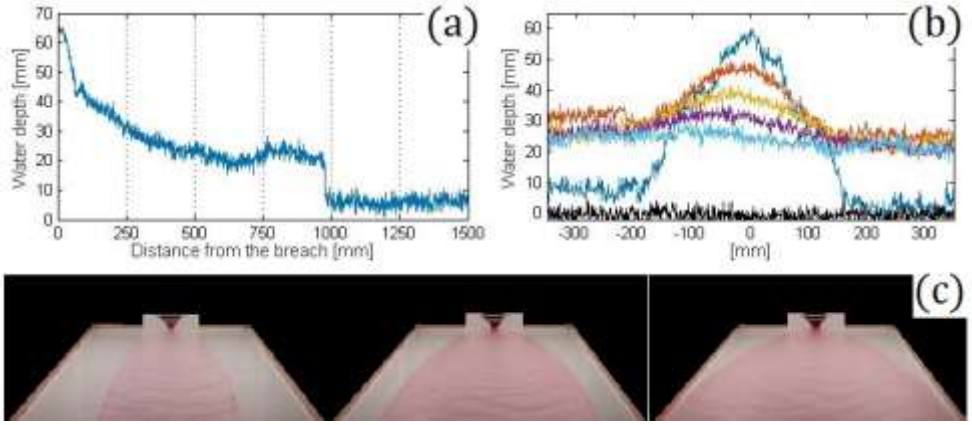

Figura 3. In alto: risultati ottenuti utilizzando il serbatoio prismatico con altezza d'acqua iniziale 20 cm e pendenza del piano 0°. Nel pannello (a) è rappresentato il profilo della superficie lungo una sezione passante per l'asse della breccia all'istante 1s dopo l'apertura. Nel pannello (b), la profondità d'acqua in diverse sezioni poste rispettivamente (partendo della curva più in alto in corrispondenza di x=0) a 1, 10, 20, 30, 50 e 150 cm a valle del serbatoio al tempo t=1s. In basso (c), alcune immagini acquisite da una telecamera posta a valle permettono di apprezzare qualitativamente l'effetto dell'altezza d'acqua all'interno dell'invaso al momento del collasso. Da sinistra verso destra essa è 10 cm, 15 cm e 20 cm e la larghezza del fronte d'onda risulta via via maggiore.

4 PRIMI RISULTATI E SVILUPPI FUTURI

Al fine di testare il modello sono stati eseguiti alcuni esperimenti che hanno permesso di valutare l'estensione della zona interessata dal flusso al variare dell'altezza d'acqua nel serbatoio. In figura 3.c si mostra come l'apertura del fronte sia maggiore al crescere del battente iniziale e si raggiunga una larghezza stabile a distanze dallo sbarramento via via maggiori. In questa realizzazione il serbatoio utilizzato è cuneiforme e la pendenza del piano è 12°. In figura 3.a e 3.b sono riportati alcuni profili ottenuti con la tecnica precedentemente esposta. Il serbatoio utilizzato è quello prismatico con battente iniziale 20 cm e la pendenza del piano è nulla. Nel pannello (b) si osserva l'andamento dell'altezza d'acqua in alcune sezioni parallele allo sbarramento. Vicino alla breccia, l'onda ha una forma più stretta e alta rispetto alle sezioni più lontane. Il picco decade molto rapidamente, come si deduce anche dal pannello (a) che rappresenta l'altezza lungo l'asse della breccia ad un dato istante. L'onda si espande lungo la direzione trasversale con una velocità inizialmente confrontabile con quella con cui si propaga lungo la direzione principale di flusso. Già 50 cm a valle, la profondità d'acqua risulta pressoché costante lungo una stessa sezione.

Gli esperimenti che ci si propone di condurre vedranno il variare della pendenza di valle e la realizzazione di diverse scabrezze in modo da simulare i principali usi del suolo a valle degli invasi reali. Ci si propone inoltre di variare la forma del serbatoio e della breccia, nonché i tempi di apertura.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Fraccarollo, L. & Toro, E. F. Experimental and numerical assessment of the shallow water model for two-dimensional dam-break type problems, Journal of Hydraulic Research, 1995, 33(6), 843–864.

Soares-Frazão, S. & Zech, Y. Experimental study of dam-break flow against an isolated obstacle. Journal of Hydraulic Research, 2007, 45, 27–36.

Soares-Frazão, S. & Zech, Y. Dam-break flow through an idealised city. Journal of Hydraulic Research, 2008, 46(5), 648–658.

Güney, M. S., Tayfur, G., Bombar, G. & Elci, S. Distorted physical model to study sudden partial dam break flows in an urban area. Journal of Hydraulic Engineering, 2014, 140(11).

Cochard, S. & Ancey, C. Tracking the free surface of time-dependent flows : image processing for the dam-break problem. Experiments in Fluids, 2008, 44, 59–71.

Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P. & Ziveri, C. An image processing technique for measuring free surface of dam-break flows. Experiments In Fluids, 2011, 50(3), 665–675.

Elkholy, M., LaRocque, L. A., Chaudhry, M. H. & Imran, J. Experimental Investigations of Partial-Breach Dam-Break Flows, 2016, 142(11), 4016042-1-12.

Froehlich, D. C. Embankment dam breach parameters and their uncertainties. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 1708–1721.