POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Metodi speditivi e supporti informatici per la mappatura delle aree soggette al rischio dovuto alla rottura di sbarramenti di competenza regionale.

Original
Metodi speditivi e supporti informatici per la mappatura delle aree soggette al rischio dovuto alla rottura di sbarramenti di competenza regionale / Cordero, S., Del Vesco, R., Patrocco, D., Poggi, D.. - ELETTRONICO. - (2018). (XXXVI Convegno Nazionale di idraulica e Costruzioni Idrauliche Ancona (Italia) 12-14 Settembre 2018).

Availability:
This version is available at: 11583/2718606 since: 2018-11-28T14:09:11Z

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)

29 November 2026

METODI SPEDITIVI E SUPPORTI INFORMATICI PER LA MAPPATURA DELLE AREE SOGGETTE AL RISCHIO DOVUTO ALLA ROTTURA DI SBARRAMENTI DI COMPETENZA REGIONALE

Silvia Cordero [1*], Roberto Del Vesco[2], Davide Patrocco [2] & Davide Poggi[1]

(1) Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture, Politecnico di Torino (Torino)
(2) *Assessorato Trasporti, Infrastrutture, Opere pubbliche, Difesa del suolo. Direzione Opere Pubbliche, Difesa del Suolo, Montagna, Foreste, Protezione civile, Trasporti e Logistica. Settore Difesa del Suolo. Regione Piemonte (Torino)*

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

ASPETTI CHIAVE

- *Revisione di alcuni metodi proposti in letteratura per la stima dell'intensità dell'evento.*
- *Modellazione numerica di collassi graduali su invasi reali e prismatici.*
- *Proposta e validazione di metodi di mappatura del rischio speditivi legati all'orografia del territorio.*
- *Ampliamento delle informazioni contenute nel GeoPortale della Regione Piemonte.*

1 PREMESSA

Sul territorio italiano il parco dighe costituito dagli sbarramenti che non sono di competenza nazionale (D. Lgs. 112 del 31 marzo 1998) è di dimensioni notevoli. Nella sola regione Piemonte sono censite oltre 900. Da alcuni anni, le amministrazioni locali hanno l'obbligo di redigere piani di Emergenza Comunali che comprendano anche il rischio dovuto alla presenza di tali bacini. Tuttavia, nella maggior parte dei casi, a livello di singola realtà comunale non si dispone delle risorse economiche e tecniche necessarie ad attuare in tempi rapidi una valutazione approfondita sui singoli invasi. Ciò ha portato alla ricerca di metodologie speditive di facile utilizzo che possano essere applicate su tutti gli invasi presenti sul territorio regionale in modo da ottenere una prima valutazione che possa costituire la base per successivi approfondimenti. Nella presente memoria si propone un metodo speditivo per la valutazione della vulnerabilità del territorio a valle di sbarramenti in materiale sciolto. Il metodo si compone principalmente di 2 parti: la valutazione della portata di picco in uscita dalla breccia e la stima dell'area allagata. In particolare, sono state analizzate criticamente, sulla base di una serie di simulazioni numeriche condotte, alcune formulazioni note in letteratura per la stima della portata di picco. Il metodo è stato applicato a 100 invasi ubicati sul territorio piemontese nelle province di Torino e Cuneo.

2 DERIVAZIONE DELLA METODOLOGIA

Secondo *Karvonen et al.* (2000) è possibile valutare la vulnerabilità utilizzando delle relazioni che legano l'intensità dell'evento, in termini di velocità (v) e dell'altezza (y) locale dell'acqua, con il grado di perdita atteso del bene coinvolto (curve di vulnerabilità). In particolare, si utilizzano tre soglie di vulnerabilità: alta (H), media (M) e bassa (L), corrispondenti rispettivamente a vy > 7 m^2/s, 3 m^2/s < vy < 7 m^2/s e vy < 3 $m^2/$. È dunque possibile scrivere che $v(x)y(x) = q_{\max}(x)/b(x)$, dove q_{max} è la portata massima e b è la larghezza media della sezione in esame. Al fine di valutare la distanza delle soglie di vulnerabilità a valle dell'invaso è dunque fondamentale valutare l'orografia del territorio e la propagazione dell'onda di piena. I bacini sono stati divisi in due in funzione che il territorio su cui insistono sia: A) una valle incisa e B) valle pianeggiante o di versante. Per gli invasi di tipo A si assume che: 1) il flusso si propaga in una direzione preferenziale, 2) il collasso è graduale e 3) i termini diffusivi nell'equazione di propagazione rivestono un ruolo secondario rispetto al caso B. Ciò comporta che sia possibile, in prima approssimazione, valutare la velocità e l'altezza d'acqua sulla base di un moto localmente uniforme in cui la variabile fondamentale, da stimare accuratamente, è la portata di picco. Per gli invasi di tipo B l'onda si espande con un angolo di apertura variabile in funzione della pendenza del territorio a valle fintanto che la larghezza del fronte non diventa stabile e si mantiene costante nelle sezioni di valle. La metodologia proposta in questo caso si basa su una

serie di modellazioni numeriche di casi sintetici volte a definire un legame tra la larghezza del fronte, la pendenza del territorio di valle e le caratteristiche geometriche dell'invaso.

2.1 Valutazione della portata di picco

La maggior parte delle formulazioni proposte in letteratura traggono origine da regressioni lineari e legano la portata di picco all'altezza d'acqua (H) o al volume d'acqua contenuto nel serbatoio al momento del collasso (V). *Froehlich* (1995) e *Pierce et al.* (2010) propongono, rispettivamente, le formulazioni $Q_p = 0.607(V^{0.295}H^{1.24})$ e $Q_p = 0.038(V^{0.475}H^{1.09})$. *Wahl* (1998) considera la relazione di Froehlich uno dei migliori modi per stimare la portata di picco. Tuttavia, confrontando i valori ottenuti con i 43 casi raccolti da Wahl, lo scostamento medio tra i valori stimati e valori noti è del 119% con uno scostamento massimo del 1682%. Si nota inoltre, che gli scostamenti maggiori si hanno per piccoli invasi, mentre per gli invasi più grandi la differenza varia dal 4% al 113%. In figura 1.a si riportano i risultati ottenuti applicando al campione di invasi in esame le due formulazioni. Le portate di Pierce sono sempre inferiori, per gli invasi analizzati caratterizzati da piccoli volumi del serbatoio, rispetto a quelle di Froehlich. Non è però possibile prediligere una formulazione rispetto all'altra. Certamente a favore dell'espressione di Froehlich c'è il fatto che essa è a favore di sicurezza rispetto a quella di Pierce. Nondimeno, l'equazione di Pierce è stata tarata su invasi di dimensione più piccola e, conseguentemente, dovrebbe adattarsi meglio alla tipologia di invasi in esame in questo lavoro. Al fine di scegliere fra le formulazioni empiriche riportate in precedenza, si eseguono alcune simulazioni numeriche considerando due invasi fittizi aventi caratteristiche "medie" in termini di volume (5000 m^3) e altezza d'acqua (5 m e 7 m, rispettivamente). Il programma utilizzato è BreZo (*Begnudelli & Sanders*, 2006), eseguibile open source che risolve il sistema di equazioni di De Saint Venant mediante il metodo di discretizzazione ai volumi finiti. Da un'analisi comparativa (*Wahl*, 1998) risulta che, relativamente ai parametri geometrici della breccia, per dighe in terra aventi lunghezza del coronamento inferiore ai 100 m il modello più adatto é quello di *Froehlich* (1995). Sostanzialmente la breccia si sviluppa dapprima con forma triangolare, quindi, al raggiungimento della quota minima, si espande lateralmente secondo una forma a trapezio. La larghezza media massima della breccia è funzione del volume e dell'altezza d'acqua al momento del collasso e di un parametro k_0 pari a 1.3.

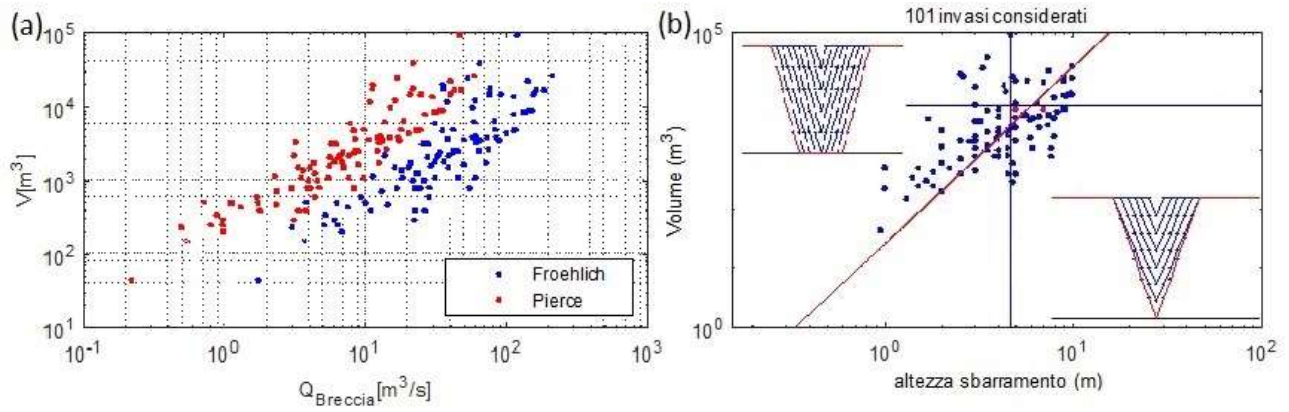

Figura 1. Nel pannello (a) sono riportati i risultati dell'applicazione agli invasi regionali delle formule di Pierce e Froehlich per la stima della portata di picco alla breccia. Nel pannello (b) si riporta la suddivisione delle dighe che presentano una breccia completamente formata e quelle aventi breccia incompleta di forma triangolare secondo il modello di Froehlich, i 2 cerchi rossi rappresentano i due invasi prismatici utilizzati nell' applicazione del modello numerico.

Fissando la lunghezza del coronamento pari a 30m, stabilito il volume di 5000m^3 e fissata l'altezza dello sbarramento, la geometria risulta univocamente definita. La durata degli step di apertura è stata valutata partendo dalla stima del tempo di formazione della breccia secondo *Foehlich* (2008) e assumendo un fattore di crescita lineare. In tabella 1 vengono riportate le portate ricavate dalle due formule e le portate derivate da Brezo (sono simulate aperture graduali con un diverso numero di steps e aperture istantanee secondo il modelli di *Froehlich* (2008)). Si può notare come la dispersione dei dati ottenuti sia molto ampia. In particolare, tutte le formulazioni che non tengono in conto del volume del serbatoio tendono a sovrastimare in modo sistematico le portate. Ciò è dovuto al fatto che tali formule sono comunemente ricavate per invasi molto grandi le cui brecce sono solitamente, in caso di collasso, completamente sviluppate.

Autore	Formula	H=5m, $Q_p[m^3/s]$	H=7m, $Q_p[m^3/s]$
Froehlich	$Q_p=0.607(V_w^{0.295}H_w^{1.24})$	55.09	83.62
Pierce	$Q_p=0.038(V^{0.475}H^{1.09})$	12.55	18.11
Brezo Froehlich (istantaneo)	numerico	70.44	123.15
Brezo Froehlich **(**graduale, 7 steps**)**	numerico	21	24

Tabella 1. Alcune delle portate alla breccia stimate con le formule empiriche e valutate da modello numerico.

2.2 Propagazione dell'onda di piena

Sulle due tipologie di invasi descritti nel paragrafo precedente sono state eseguite numerose simulazioni al variare delle pendenze del pendio sul quale i serbatoi insistono e della tipologia di breccia. In particolare il range di pendenze indagato è stato fatto variare tra la minima (2%) e la massima pendenza (50%) media. Per ogni invaso è stata ricercata la direzione di flusso dell'onda di piena e, lungo questa, è stata ricercata la pendenza media su tre distanze ritenute peculiari (0-100 m, 100-600 m e 600-1600 m). Per quanto riguarda la breccia, si è condotto un confronto tra i risultati ottenuti utilizzando una portata di picco dell'ordine delle massime portate ottenute applicando la formula di Frohelich e una dell'ordine della minima (rispettivamente 238 m^3/s e 14 m^3/s). Fissati questi due valori di portata sono state effettuate simulazioni massimizzando il volume d'invaso ovvero massimizzando l'altezza dello sbarramento, ciò al fine di studiare l'influenza, sull'angolo di apertura dell'onda, delle 2 tipologie di breccia estreme: forma a trapezio e forma triangolare (figura 1.b). Al fine di limitare i fattori di incertezza tutte le simulazioni fatte riguardano un collasso istantaneo con breccia totalmente sviluppata.

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle simulazioni numeriche (un esempio è riportato in figura 2.a) si ottiene che al crescere della pendenza dell'alveo di valle diminuisce l'angolo di apertura del fronte che raggiunge un'ampiezza stabile ad una distanza compresa tra le 10 e le 20 volte la larghezza media della breccia. Sono inoltre state ottenute le curve riportate in figure 2.b, utili per l'applicazione pratica della metodologia proposta.

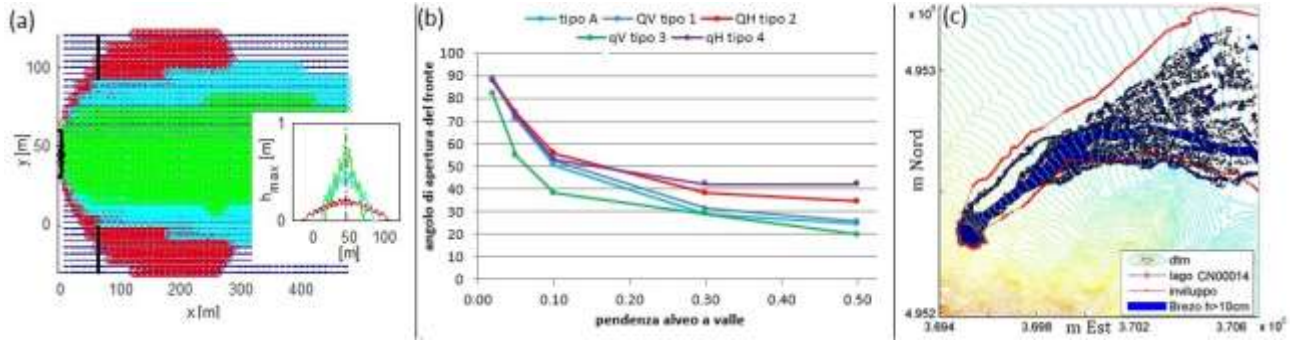

Figura 2. Invasi su versante. Nel pannello (a): invaso tipo ($V=5000m^3$ e altezza 5m), variazione dell'apertura del fronte al variare della pendenza di valle: in rosso pendenza 2%, in azzurro pendenza 5%, in verde pendenza 10%, in blu la zona asciutta. Nel pannello(b): curve sperimentali relative all'angolo di aperture del fronte d'onda in funzione della pendenza dell'alveo di valle ottenute dalle simulazioni numeriche per le diverse tipologie di breccia. Nel pannello (c): un confronto dell'area allagata ottenuta con Brezo e stimata con il metodo speditivo dell'angolo di aperture del fronte d'onda.

Per l'applicazione a casi reali si procede come segue: si calcolano le direzioni di flusso a partire da una serie di punti disposti lungo il coronamento, sul paramento di valle del rilevato e lungo il piede dello stesso in ragione del fatto che con i pochi dati a disposizione (diversamente verrebbe meno il carattere di economicità e rapidità del metodo) non si hanno elementi per prediligere un punto di formazione della breccia in luogo di un altro. Per gli invasi di tipologia A questa operazione può essere omessa poiché, data l'orografia del territorio, a breve distanza dall'invaso tutti i percorsi di flusso confluiscono in un unico

tracciato. Per gli invasi di versante o di pianura così non è, e talvolta i percorsi individuati possono essere anche diametralmente opposti. Di tutti i possibili percorsi individuati vengono considerati i due più estremi e quello centrale in modo da ottenere un'area allagata che rappresenti l'inviluppo di tutti i possibili casi di rottura (quindi sicuramente più ampia di quello che si avrebbe nella realtà). Lungo i percorsi scelti si valuta la pendenza media per tratti di lunghezza significativa (100m, 500m, 1000m); a una distanza pari a 20 volte la larghezza media della breccia si individua l'ampiezza raggiunta dal fronte determinando l'angolo di apertura in funzione della pendenza media del primo tratto utilizzando la curva sperimentale ottenuta con la geometria più simile a quella dell'invaso in oggetto (figura 2.b). La larghezza così ottenuta viene mantenuta costante lungo tutto il percorso di flusso o, qualora la differenza di pendenza tra il primo e il terzo tratto fosse giudicata rilevante, fino all'inizio del terzo tratto per poi incrementare nuovamente la larghezza del fronte in analogia con quanto fatto nel primo tratto utilizzando l'angolo che si avrebbe in base alla curva sperimentale con la nuova pendenza (angolo tipicamente maggiore di quello utilizzato per il primo tratto).

Per quanto riguarda gli invasi su valle incisa il territorio a valle viene descritto estraendo un congruo numero di sezioni ortogonali alla direzione di deflusso da un modello digitale del terreno (dtm). Il valore del tirante in ogni sezione può essere valutato assumendo localmente una condizione di moto uniforme. Risultano dunque note l'area allagata e il valore del parametro vulnerabilità in ciascuna sezione; quest'ultimo calcolato come prodotto della profondità media dell'acqua nella sezione e del rapporto tra portata di picco (calcolata secondo l'equazione 2 nell'ipotesi di diffusione nulla) e area bagnata. Con il software Brezo sono state eseguite delle simulazioni bidimensionali su alcuni invasi. Sono stati inseriti la reale geometria dell'invaso e del territorio di valle, nonché la morfologia finale della breccia prevista dal modello di *Froehlich* (2008). Un esempio di applicazione ad un invaso reale di tipo B è riportato in figura 2.c. Considerato l'esiguo numero di dati in ingresso e l'alto grado d'incertezza intrinseco nel problema, il risultato appare soddisfacente sebbene parte dell'area allagata con l'utilizzo del modello bidimensionale non risulti inclusa in quella stimata con il metodo speditivo degli angoli di apertura del fronte.

4 CONCLUSIONE

La metodologia proposta è stata validata confrontando le aree ottenute con i risultati di simulazioni bidimensionali su invasi reali e con alcune aree già presenti sul geoportale della Regione Piemonte. In generale è stato riscontrato un buon accordo tra le mappature ottenute con i tre diversi metodi. La metodologia proposta può essere utilizzata, oltre che per la stima su invasi non ancora oggetto di calcolo, anche come controllo delle mappature esistenti talvolta ottenute con metodi speditivi poco chiari, e in generale molto diversi tra loro. Ulteriori sviluppi del metodo saranno rivolti ad una quantificazione più precisa delle 3 distanze di soglia in presenza di territori pianeggianti o collinari oltre che al variare dell'uso del suolo e dunque del parametro di scabrezza considerato.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Karvonen T., Hepojiki A., Huhta H., Kotola J. & Louhio A. RESCDAM. Final report of Helsinki University of Technology - The use of physical models in dam-break flood analysis. 2000.

Wahl, T. L. Prediction of embankment dam breach parameters - a literature review and needs assessment, Dam Safety Report No.DSO-98-004, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, 1998.

M.W.Pierce, C.I.Thornton, S.R. Predicting Peak Outflow from Breached Embankment Dams. National Dam Safety Review Board Streering Committee on Dam Breach Equations, 2010.

Begnudelli, L. & Sanders, B.F. Unstructured Grid Finite-Volume Algorithm for Shallow Water Flow and Scalar Transport with Wetting and Drying. Journal of Hydraulic Engineering, 2006.

Froehlich, D.C. Peak Outflow from Breached embankment Dam. Journal of Water Resources Planning and Managament, 1995.

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