



**DOTTORATO DI RICERCA IN RISCHIO E SOSTENIBILTA' NEI SISTEMI DELL'INGEGNERIA
CIVILE, EDILE E AMBIENTALE**

XVI Ciclo - Nuova Serie (2014-2017)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

**PROPAGATION ANALYSIS OF FLOW LIKE-MASS MOVEMENTS TO
EVALUATE THE EFFECTIVENESS OF PASSIVE CONTROL WORKS**

**Analisi della propagazione dei movimenti di massa tipo flusso per valutare l'efficacia degli
interventi di tipo passivo**

ING. ILARIA RENDINA

Supervisor:

PROF. ING. LEONARDO CASCINI

Coordinator

PROF. ING. FERNANDO FRATERNALI

Co-supervisors:

PROF. ING. SABATINO CUOMO

PROF. ING. MANUEL PASTOR

PROF. ING. GIACOMO VICCIONE

A.A. 2017/2018

ABSTRACT

Flow-like mass movements are catastrophic events occurring all over the world and may result in a great number of casualties and widespread damages. The analysis of the time-space evolution of the kinematic quantities is a useful tool to understand the propagation stage of these phenomena as well as for control works design.

The thesis deals with study of flow regime of Newtonian and non-Newtonian fluids and provides a contribution to this topic through the use of numerical procedures based on FV (finite volume) scheme and SPH (smoothed particle hydrodynamics) method. The FV model, developed by Rendina et al., 2017, is a single phase equivalent model, while the Geoflow-SPH, developed by Pastor et al. 2009, considers the propagating mass with an average behavior of solid skeleton and pore water pressure.

The flow kinematics are analyzed through the Froude number, widely used in hydraulic engineering, discriminates two different kinematical features i.e. subcritical (slow) or supercritical (rapid) flows. The analysis concern a 1D/2D dam break of Newtonian (water flow) and non-Newtonian flows (in particular based on a viscoplastic and frictional laws).

The numerical results highlighted flows are supercritical even in areas far from trigger zones and Froude numbers of viscoplastic flows are higher than frictional flows.

Later, the Froude number is used as a quantitative descriptor of the control works response and, more generally, as a useful tool to estimate the efficiency of existing storage basins. The first case study regards Cancia, in the Dolomite Alps, where two storage basins dramatically failed on 2009 due to a short-time sequence of rainfall-induced debris flows and flash floods. The kinematic analysis highlighted that debris flow can be associated to a subcritical flow while flash flood is similar to a supercritical flow and for latter lower is the potential efficacy of control works.

The second case study regards Sarno, in the Campania region, where one of the most complex systems of passive control works was built after the 1998 events. The performance of the protection system is analyzed referring to Froude number again which highlighted the importance of planning the emergency/ordinary maintenance of control works.

Finally, a new type of passive control work is described, i.e. the permeable rack that has the function of decrease the pore water pressures at the base and inside the propagating mass, thus causing the landslide body to brake and stop. The rack performance is tested as adaptation structure in existing protection systems also.

SOMMARIO

Tematica di ricerca

L'attività di ricerca riguarda l'analisi delle caratteristiche cinematiche delle frane tipo flusso, attraverso il numero di Froude, finalizzata alla valutazione dell'efficacia di interventi passivi di mitigazione del rischio (bacini di deposizione e briglie) ed allo studio di un particolare intervento di tipo passivo, rappresentato da una griglia permeabile, che ha la funzione di ridurre la distanza di propagazione di tali fenomeni.

Introduzione

Con il termine "frane tipo flusso" si suole indicare una molteplicità di fenomeni franosi che possono coinvolgere materiali dalle proprietà fisico-meccaniche molto variabili.

Indipendentemente dalla composizione della massa in movimento, le elevate velocità e le lunghe distanze di propagazione dei flussi generano un elevato rischio per la vita umana e per la proprietà (Cascini et al., 2014). Il rischio è, generalmente, mitigato attraverso interventi di tipo passivo la cui efficacia deve essere valutata e verificata con oculatazza per le conseguenze che possono derivare a seguito di un comportamento delle opere difforme dalle previsioni formulate in fase progettuale (**Rendina et al., 2017**).

La presente tesi si pone il fine di fornire un contributo al tema analizzando i caratteri cinematici dei flussi attraverso il numero di Froude (Fr) vale a dire un caposaldo dell'ingegneria idraulica solo recentemente assunto a riferimento per acquisire elementi di giudizio sulle modalità di propagazione dei debris flows (Domnik e Pudasaini, 2012; Domnik et al., 2013).

Innovazione/Obiettivi

La ricerca si pone l'obiettivo di fornire alcuni importanti elementi di valutazione per un'analisi avanzata delle caratteristiche cinematiche dei fenomeni tipo flusso che possono risultare di grande utilità nella definizione dei criteri di progettazione delle opere di tipo passivo e, nel contempo, nella valutazione dell'efficacia di interventi innovativi di tipo passivo. Con riferimento al primo aspetto il metodo proposto è stato testato facendo riferimento ad opere reali per le quali si disponeva di una documentazione particolarmente accurata sia delle loro caratteristiche ingegneristiche e sia dei fenomeni per i quali erano state realizzate. Per quanto riguarda il secondo aspetto, nella tesi si è analizzata il ruolo che può essere giocato da una griglia permeabile, da posizionare nella porzione pedemontana dei versanti con la funzione di diminuire le pressioni neutre durante la fase di propagazione delle masse in movimento e, quindi, di rallentarne la velocità e ridurre la distanza di propagazione.

Le caratteristiche cinematiche dei fenomeni tipo flusso sono approfondite mediante la definizione di un raggruppamento adimensionale (il numero di Froude) che, come evidenziato in (Pokhrel, 2014) può essere di notevole utilità nella progettazione degli interventi di mitigazione. In particolare, attraverso il numero di Froude, si individuerà il carattere della corrente che può essere definita subcritica (lenta), critica e supercritica (rapida), a seconda se tale numero risulta essere globalmente inferiore, uguale o maggiore dell'unità.

L'analisi del comportamento cinematico di una frana tipo flusso è stata nello specifico derivata mediante un codice monodimensionale ai volumi finiti, ed un codice su base lagrangiana, successivamente descritti nella sezione materiali e metodi.

Il secondo aspetto legato all'efficacia di un intervento poco utilizzato nella pratica professionale ma che sembra avere notevoli potenzialità, è stato analizzato attraverso il codice numerico avanzato elaborato nel 2015 da Pastor che è costituito da due sotto-modelli; il primo, integra in profondità le equazioni di propagazione di un fenomeno di flusso e si basa sul metodo SPH (Smoothed-Particle Hydrodynamics) (Pastor et al. 2002, 2009, 2014, 2015); il secondo (monodimensionale), alle

differenze finite, descrive la variazione delle pressioni neutre lungo la profondità del flusso in movimento.

Materiali e metodi

Le attività di ricerca di tipo teorico si sono sviluppate attraverso:

- L'implementazione di un codice numerico scritto in linguaggio Matlab per la modellazione monodimensionale della fase di propagazione dei fenomeni tipo flusso, ponendo l'attenzione sullo studio delle caratteristiche cinematiche dei flussi.

In particolare, è stato realizzato un codice numerico ai volumi finiti "FV model" che risolve le equazioni di De Saint-Venant in forma monodimensionale mediante lo schema numerico di Lax-Friedrichs.

Sono stati considerati due modelli reologici del fluido in movimento, dapprima una reologia di Chezy (tipica di flussi di acqua) e poi una reologia di tipo Cross-Bingham (particolarmente usata per la modellazione di flussi iperconcentrati, ossia flussi caratterizzati da una bassa frazione solida (Coussot e Maunier, 1996). È stato poi definito il carattere della corrente (lenta o veloce) mediante il numero di Froude, in una sezione molto a valle dalla zona di innesco, variando le caratteristiche geometriche della massa mobilitata, l'inclinazione del canale nel quale fluisce il mezzo e i parametri reologici dei due modelli. Per verificare l'affidabilità del codice numerico, i risultati del modello numerico "FV model" sono stati confrontati con i risultati di un software commerciale "Flow-3D".

Lo studio si è concluso con la realizzazione di alcuni abachi che sintetizzano le principali caratteristiche cinematiche per date condizioni del flusso e del canale nel quale esso si muove.

Le attività di modellazione numerica si sono sviluppate attraverso:

- un codice di calcolo "Geoflow-SPH" modificato da Pastor, durante la mia attività di ricerca a Madrid, con l'aggiunta del numero di Froude per la determinazione del carattere della corrente.

Le simulazioni sono state sviluppate dapprima considerando una geometria monodimensionale e una reologia di tipo attritivo per la comprensione dei caratteri cinematici dei debris flow; lo studio teorico e numerico è stato poi approfondito su due casi studio reali: Cancia (BL) e Sarno (SA). Nel primo caso sono stati analizzati gli eventi occorsi nel mese di luglio del 2009 che causarono due vittime per la parziale inadeguatezza delle opere strutturali realizzate a salvaguardia dei residenti nella frazione di Cancia (**Rendina et al., 2017; Cascini et al., 2017**). Nel secondo caso è stata effettuata l'analisi della propagazione delle frane tipo flusso per verificare l'efficacia degli interventi passivi realizzati successivamente agli eventi catastrofici del '98.

- la calibrazione, la validazione e l'utilizzo del modello numerico SPH-FDM elaborato nel 2015 da Pastor per la modellazione della propagazione di fenomeni franosi in presenza ed in assenza di un particolare intervento passivo rappresentato da una griglia permeabile (Pastor et al., 2015).

Al fine di verificarne la affidabilità su basi quantitative, il modello SPH-FDM è stato preventivamente calibrato e validato su due ben documentati test in canaletta eseguiti in USA e in Giappone, per i quali si sono riprodotti correttamente sia l'evoluzione delle pressioni neutre durante la fase di propagazione, sia la presenza della suddetta griglia permeabile (**Cascini et al., 2016**).