

# Un approccio Lagrangiano ad elementi finiti per la simulazione di frane alla grande scala

Massimiliano Cremonesi<sup>1</sup>, Francesco Ferri<sup>1</sup>, Umberto Perego<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Politecnico di Milano, Italy*

*E-mail: massimiliano.cremonesi@polimi.it, francesco.ferri@polimi.it, umberto.perego@polimi.it*

*Keywords:* approccio Lagrangiano, PFEM, frane.

Le frane sono eventi naturali eccezionali che possono generare significativi danni a strutture e infrastrutture causando sia numerose vittime che ingenti danni. L'instabilità di un pendio può essere causata sia eventi naturali come l'erosione, forti piogge e terremoti che da attività umane, come la deforestazione, scavi o costruzioni. Una volta iniziata, una frana si propaga lungo il pendio con velocità che dipendono sia dai fenomeni di innesco che dalla morfologia del terreno. A seconda della tipologia di terreno e di materiale coinvolto la frana può coprire anche grandi distanze [1-3]. Una situazione particolarmente critica avviene quando la frana si riversa in un bacino idrico creando onde di dimensioni elevate, come accaduto nella tragedia del Vajont.

Di conseguenza, vi è un grande interesse per un approccio numerico in grado di simulare delle frane che potenzialmente coprano grandi distanze e possano anche interagire con un bacino idrico. In questo lavoro si propone un approccio numerico per simulare il comportamento macroscopico di frane. Il Particle Finite Element Method [2-4], è stato rivisto e adattato al caso specifico di frane. Il comportamento macroscopico della frana viene descritto attraverso le equazioni di Navier-Stokes incomprimibili in formulazione Lagrangiana. Il legame costitutivo del materiale viene descritto attraverso un modello rigido-visco-plastico con una tensione di soglia dipendente dalla pressione, ispirandosi ad un modello di fluido non-Newtoniano alla Bingham.

La natura Lagrangiana dell'approccio permette di trattare in modo semplice sia le superfici libere soggette a grandi spostamenti che le eventuali interfacce tra diversi materiali che possono evolvere molto velocemente, rendendo questo approccio particolarmente adatto alla simulazione di frane. A causa delle eccessive distorsioni della mesh, tipiche di un approccio di tipo Lagrangiano, è stato introdotto un remeshing continuo basato sulla triangolazione di Delaunay. Una versione tridimensionale della tecnica "alpha-shape" viene utilizzata per la definizione della posizione della superficie libera e della sua continua evoluzione. Particolare attenzione è stata inoltre prestata alla definizione di condizione di scivolamento all'interfaccia basale, con l'introduzione di una soglia dipendente dalla pressione per meglio descrivere l'interazione tra frana e pendio.

L'approccio proposto in questo lavoro è stato validato utilizzando benchmarks numerici e test di laboratorio, ottenendo una buona concordanza con le misure fisiche. Sono poi state considerate situazioni reali. Geometrie tridimensionali di siti critici, dove sono avvenute frane, sono state prima ricostruite digitalmente e poi utilizzate per la simulazione di frane reali alla grande scala. I risultati sono stati confrontati con immagini post-evento e con misure reali, mostrando l'accuratezza e la capacità di predizione del metodo.

Le Figure 1 e 2 presentano un esempio della frana di Cougar Hil (Western Canadian Rocky Mountains, 1992). La figura 1 mostra delle immagini della frana con l'andamento delle velocità per diversi istanti temporali, mentre la figura 2 contiene un paragone tra il deposito finale ottenuto numericamente e una sua ricostruzione reale.

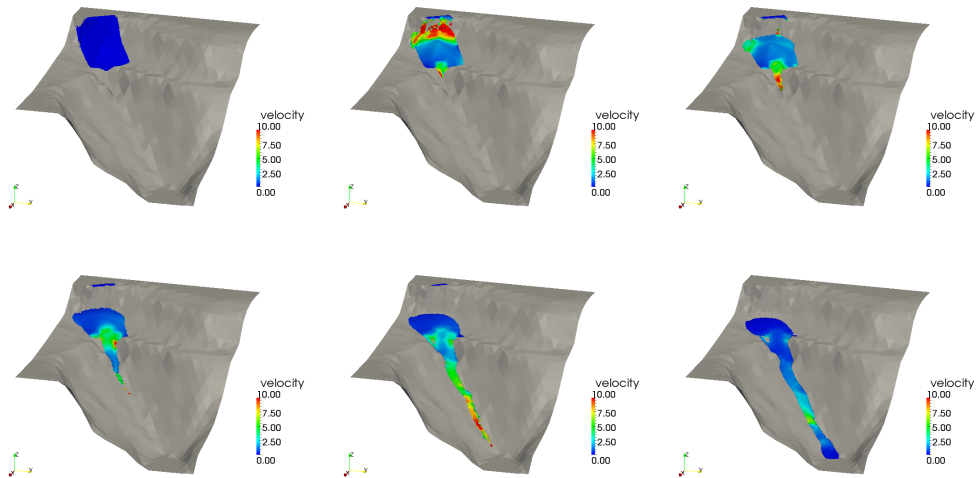


Figure 1: Frana di Cougar Hill. Plot delle velocità a  $t=0, 5, 20, 30, 70, 110$  secondi.

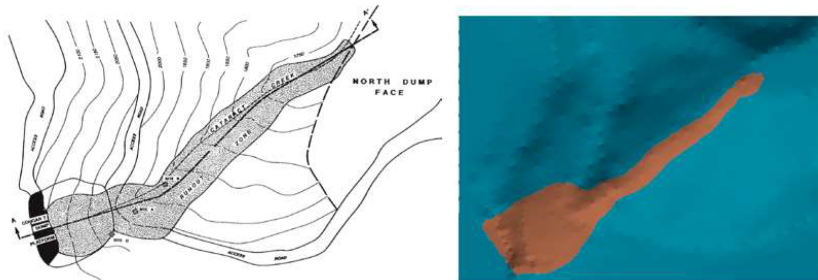


Figure 2: Frana di Cougar Hill. Confronto del deposito finale.

### References

- [1] M. Quecedo, M. Pastor and M.I. Herreros, "Numerical modelling of impulse wave generated by fast landslides", *International journal for numerical Method in Engineering*, 59(12), pp.1633-1656, (2004).
- [2] M.Cremonesi, A. Frangi, U. Perego, "A Lagrangian finite element approach for the simulation of water-waves induced by landslides", *Computers &.Structures*, 89(11-12), pp. 1086-103, (2011).
- [3] Salazar, F., Irazábal, J., Larese, A. and Oñate, E. "Numerical modelling of landslide-generated waves with the particle finite element method (PFEM) and a non-Newtonian flow model", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, (2015).
- [4] E. Oñate, S.R. Idelsohn, F. del Pin and R. Aubry. "The Particle Finite Element Method. An Overview". *International Journal Computational Method*, 1(2), pp. 267-307, (2004).