Scuola di Dottorato in Scienze della Terra - Padova

PROGETTO per CORSO DI DOTTORATO XXXI ciclo

MODELLAZIONE NUMERICA DELLA DINAMICA DI AMMASSI GRANULARI

Il progetto di ricerca si sviluppa nell'ambito della linea di ricerca "Analisi di alcuni aspetti della dinamica dei flussi granulari", attiva presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova.

La ricerca è volta allo studio di alcuni aspetti della dinamica dei flussi granulari al fine di indagare fenomeni naturali trifasici come le colate di detriti e bifasici come le valanghe di neve densa. La linea di ricerca prende in considerazione l'attività di campo, attraverso il monitoraggio di colate di detriti e valanghe di neve, l'attività di laboratorio, attraverso la simulazione semplificata in similitudine di Froude, dei fenomeni naturali richiamati e attraverso la simulazione numerica della dinamica di ammassi granulari generata in laboratorio e rilevata sul campo. Obiettivo della ricerca è l'approfondimento della conoscenza degli aspetti reologici dei fenomeni richiamati e la loro riproduzione numerica soggetta a processi di taratura che ne consentano un ragionevole utilizzo nell'ambito della gestione del territorio.

Le valli montane contengono vaste aree periodicamente esposte a fenomeni di movimento di massa rapidi, potenzialmente disastrosi (colate di detriti, valanghe di neve e di roccia). Questi fenomeni sono particolarmente rilevanti su tutto l'arco Alpino e lungo la dorsale appenninica e sono spesso caratterizzati dalla mobilizzazione di grandi volumi depositati sui conoidi alluvionali.

La valutazione dei possibili scenari di pericolo nelle aree di deposito è comunemente di primario interesse nelle aree montane. A questa viene associata una significativa attività di progettazione di strutture finalizzate alla mitigazione del rischio e, frequentemente, piani operativi per la sua gestione.

La ricerca in questo settore è stata particolarmente attiva soprattutto negli ultimi tre decenni. Ad una prima fase durante la quale l'osservazione di campo è stata predominante, sono seguite la fase della riproduzione in scala di laboratorio dei fenomeni osservati, generalmente in simuilitudine di Froude, ed il successivo tentativo di sviluppare modelli matematici in grado di descrivere il complesso comportamento reologico dei fenomeni indagati. La soluzione viene ottenuta, per lo più, numericamente, potendo anche contare sul progressivo incremento della potenza di calcolo disponibile e sulla conoscenza, sempre più approfondita, delle equazioni in gioco e dei metodi numerici per la loro soluzione.

Dal punto di vista fisico i flussi granulari vengono trattati avendo alla base le equazioni che descrivono la meccanica del continuo, oppure, più raramente, cercando di descrivere il dettaglio dell'interazione tra i grani che compongono l'ammasso granulare. Il riconoscimento dell'importanza delle diverse fasi presenti (la fase solida, la fase fluida e la fase gassosa), evidenziata chiaramente dalla modellazione sperimentale, sta conducendo la ricerca verso la descrizione reologica delle singole fasi e della loro interazione.

La disponibilità di modelli matematico-fisico-numerici della dinamica degli ammassi granulari ha indotto la Pubblica Amministrazione a sollecitare la definizione delle Carte di Pericolosità e di Rischio sulla base di procedure basate sulla modellazione numerica, facendo discendere da queste la organizzazione amministrativa del territorio montano. Queste procedure vengono preferite ad altre basate statisticamente, a causa della bassa numerosità degli eventi noti nei singoli bacini idrografici e dei limitati tempi di osservazione ancora disponibili rispetto ai tempi di ritorno richiesti.

L'ostacolo maggiore nella applicazione delle procedure adottate consiste nella difficoltà di descrivere i parametri fisici significativi del sito dove si verifica il fenomeno in studio (le condizioni al contorno) e, in misura forse ancora maggiore, le condizioni iniziali che definiscono il suo innesco. Questi limiti possono essere superati, forse, soltanto attraverso una conoscenza approfondita dei singoli siti ottenuta attraverso la applicazione contemporanea dei tre metodi di conoscenza disponibili: il monitoraggio di campo, la simulazione in laboratorio e lo sviluppo e la applicazione della modellazione numerica.

Presso il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova già dagli inizi degli anni duemila è stato attivato il monitoraggio del rio di Acquabona, sito dolomitico da colate di detriti quasi annuale. Più recentemente, il sistema di monitoraggio è stato riprogettato e realizzato con lo scopo di dare continuità

alla attività precedentemente svolta e approfondire la conoscenza dei meccanismi di innesco, propagazione e arresto dei fenomeni trifasici prodotti dal bacino idrografico.

Contemporaneamente, è stata avviata una attività di ricerca sperimentale presso il Laboratorio di Idrogeologia, mediante l'utilizzo di una canaletta per la realizzazione di moti di ammassi granulari bifasici (in assenza della fase fluida). Lo scopo principale della ricerca finora svolta è stato quello di sviluppare una procedura sperimentale per la riproduzione tridimensionale nel tempo della superficie esterna dell'ammasso granulare durante il suo moto, con tecniche fotogrammetriche da terra. I risultati ottenuti hanno permesso di descrivere metricamente nel tempo l'evoluzione dell'ammasso granulare in alcune configurazioni sperimentali e con diversi tipi di materiale granulare utilizzato. Essi rappresentano dati di alta qualità metrica per la taratura di modelli matematico-numerici.

Nel progetto di ricerca che viene qui proposto si intende mantenere la attività già avviata sul campo, nell'ambito del progetto Cariparo Gapdemm (2013-2015), ed in laboratorio, elaborando i dati ottenuti a fini reologici e svolgendo nuove sperimentazioni in altre configurazioni, e sviluppare, come attività principale, un modello particellare due-dimensionale per la simulazione dinamica degli ammassi granulari secchi.

L'idea fondante dei modelli particellari è di schematizzare l'ammasso granulare come un insieme di particelle considerate in moto quasi indipendente. Nel modello che si intende sviluppare si considera una assegnata distribuzione granulometrica delle particelle, una densità delle particelle costante o variabile (nel caso delle valanghe di neve granulari si osserva una densità che aumenta con la dimensione delle particelle), un volume dell'ammasso granulare costante ed assegnato all'inizio della simulazione (non sono presi in considerazione, in questa fase, fenomeni di erosione e di deposito). Le particelle vengono considerate sferiche e la loro massa concentrata nel baricentro geometrico (la componente traslazionale dell'energia cinetica è predominante rispetto alla componente rotazionale), il pendio su cui evolve l'ammasso granulare è pensato come una superficie 2dimensionale in uno spazio 3dimensionale descrivibile per mezzo di una funzione scalare su R^2, con R^2 identificato dal piano orizzontale di riferimento. Si considera che il pendio costituisca un vincolo bilaterale nel baricentro delle particelle. Gli assunti esposti implicano la bidimensionalità del modello ed un processo di media sulla profondità. Vari esperimenti, mostrano come il gradiente di velocità sia concentrato in un sottile strato in prossimità del fondo, indicando come ragionevole l'ipotesi fatta. Nel computo della forza motrice si tiene conto del gradiente della superficie dell'ammasso granulare. La forza di attrito al fondo è supposta di tipo Coulombiano. Le forze di resistenza aerodinamica è determinata nell'ipotesi che il fluido entro cui si muove la particella sia incomprimibile e viscoso e costituito per la quasi totalità da aria.

La disponibilità di dati sperimentali particolarmente completi, nello spazio e nel tempo, da la possibilità di eseguire una verifica particolarmente critica delle potenzialità della modellazione matematico-numerica di cui si propone la realizzazione.

Al candidato vengono richieste competenze specifiche nella modellazione numerica della dinamica dei flussi granulari con tecniche particellari, conoscenze specifiche del linguaggio di programmazione C++ e la disponibilità ad inserirsi in un ambiente di sviluppo del software già impostato in questo ambito. Accanto a questi aspetti, di maggiore rilevanza, al candidato viene inoltre richiesta la disponibilità allo svolgimento di attività di campo, in un sito di monitoraggio dolomitico di colate di detriti, finalizzato alla raccolta dati e formazione delle idee sui fenomeni in studio e all'affiancamento nella attività di laboratorio, condotta con le tecniche sopra descritte.

NUMERICAL MODELLING OF THE DYNAMICS OF GRANULAR MASSES

The research project is carried out within the research line "Analysis of some aspects of the dynamics of granular flows", active at the Department of Geosciences of the University of Padua.

The research is devoted to the study of some aspects of the dynamics of granular flows in order to investigate three-phase and two-phase natural phenomena (debris flow, dense snow avalanches, rock avalanches). The research line takes into account the field activity, through the monitoring of debris flows and avalanches, the laboratory work, by the simulation in a simplified Froude similarity, and the numerical simulation of the dynamics of granular masses. The goal of the research is to deepen the knowledge of the rheological aspects of the mentioned phenomena and the numerical reproduction subject to a calibration process that enable a sensible use in the management of the territory.

The mountain valleys contain large areas regularly exposed to mass rapid movement, potentially disastrous (debris flows, snow and rock avalanches). These phenomena are particularly relevant in the entire Alps and along the Apennines and are often characterized by the mobilization of large volumes deposited on alluvial fans.

The assessment of the possible hazard scenarios in the deposition areas is commonly of primary interest in the mountainous areas. To that activity is associated an important structural design activity, in order to mitigate the risk and, frequently, operational plans for its management.

The research on this subject has been particularly active especially in the last three decades. To a first phase during which the field observation was predominant, followed the phase of the simulation at the laboratory scale of the observed phenomena, generally at the Froude similarity, and finally the attempt to develop mathematical models capable of describing the complex rheological behavior of the investigated phenomena. The solution of the mathematical models is mostly obtained numerically, and can count on the progressive increase in available computing power and on an always deeper knowledge of the involved equations and of the numerical methods for their solution.

From the physical point of view the granular flows are treated using the equations that describe the continuous mechanics or, more rarely, trying to describe the detail of the interaction between the grains that make up the granular mass. The recognition of the importance of the different phases (the solid, the fluid and the gas phase), shown clearly by experimental modeling, is conducting research into the rheological description of the individual phases and their interaction.

The availability of mathematical, physical and numerical models of the dynamics of granular masses lead the public authorities to press for the definition of hazard and risk maps based on numerical modelling, deriving from that the administrative organization of the mountain territory. These procedures are preferred to those statistically based, due to the low number of known events in the individual river basins and due to the short observation period compared to the required return period.

The biggest obstacle in the application of the adopted procedures consists in the difficulty of describing the physical parameters significant for the site where the phenomenon occurs (the boundary conditions) and, perhaps at an even greater extent, the conditions that define its initiation. These limits can be overcome, perhaps, only through a thorough knowledge of the individual sites obtained through the simultaneous application of the three available knowledge methods: field monitoring, laboratory simulation and the development and application of numerical modeling.

At the Department of Geosciences of the University of Padova, since the beginning of the new millennium, the monitoring of the Acquabona river has been activated, a dolomite site where debris flow occur almost yearly. More recently, the monitoring system has been redesigned and carried out in order to give continuity to the activities previously performed and to deepen the understanding of the mechanisms of initiation, propagation and arrest of the three-phase phenomena produced inside the catchment.

At the same time, an experimental research activity at the Laboratory of Hydrogeology has been activated, through the use of a channel for the propagation of granular masses. The main purpose of the research carried out so far has been to develop an experimental procedure for the reproduction of the

three-dimensional outer surface of the granular mass during its motion, using terrestrial photogrammetric techniques.

The obtained results allow the metric description of the moving granular mass in some experimental configurations and with different types of granular material. They represent high quality metric data for the calibration of mathematical and numerical models.

In the research project here proposed the field activity will be kept, inside the project Cariparo Gapdemm (2013-2015), the laboratory data will be processed to obtain rheological information and new experiments in other configurations will be performed, and, as a main activity, a two-dimensional particle model will be developed for the simulation of the dynamics of dry granular masses.

The basic idea of the particle model is to schematize the granular mass as a set of moving particles considered almost independent. In the model a particle size distribution is assigned, the particle density is considered constant or variable (in the case of granular snow avalanches it has been observed that density increases with the size of the particles), a constant volume of granular material is assigned at the beginning of the simulation (erosion and deposition are not taken into account at this stage).

The particles are considered to be spherical and their mass concentrated in the geometric center (the translational component of the kinetic energy is predominant with respect to the rotational component). The slope along which the granular mass evolves is thought as a two-dimensional surface in a three-dimensional space describable by means of a scalar function on R^2, with R^2 identified by the horizontal plane of reference.

It is considered that the slope surface is a bilateral constraint in the center of gravity of the particles. The assumptions imply the two-dimensionality of the model and a process of average along the depth. Various experiments show that the velocity gradient is concentrated in a thin layer close to the bottom, indicating the plausibility of the hypotheses.

In the calculation of the driving force is taken into account the gradient of the surface of the granular mass. The friction force at the bottom is considered of Coulomb type. The aerodynamic drag forces are determined by assuming that the fluid in which the particle moves is incompressible and viscous, and consists almost entirely of air.

The availability of high quality experimental data, in space and time, gives the chance to verify the potential of the proposed mathematical and numerical modeling.

The candidate will be required to program using C++ programming language, to take part of the field activity, in order to shape ideas on the phenomena, and to collaborate in the laboratory activity using the above described techniques.

- K. Hutter - T. Koch - C. Plüss -S. B. Savage, The dynamics of avalanches of granular materials from initiation to runout. Part II: Experiments. Acta Mechanica, Vol 109.
- P. Scotton, Dinamica degli ammassi granulari: teorie cinetiche e primi risultati sperimentali su una canaletta a forte pendenza. Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Trento.
- R. Perla - k. Lied - K. Kristensen, Particle simulation of snow avalanche motion, 1984, Cold Regions Science and Technology, 9.
- P. Scotton - C. Zordan, 2001, Applicazione di un modello 2D di propagazione di valanghe di neve densa tarato con dati provenienti da applicazioni dendrocronologiche, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento.
- P. Scotton - D. Dallavalle, 2012, Rilievo dinamico tridimensionale di ammassi granulari in movimento con tecniche fotogrammetriche, Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA, 6 - 9 novembre 2012, Fiera di Vicenza.
- D. Dallavalle - P. Scotton, 2013, Rilievo fotogrammetrico dinamico di ammassi granulari in movimento alla scala di laboratorio, Atti 17 Conferenza Nazionale ASITA, 5 - 7 novembre 2013, Riva del Garda.
- S. De Toni, P. Scotton, 2005, Two dimensional mathematical and numerical model for the dynamics of granular avalanches, Cold Regions and Technology 43, 36-48.