

CARATTERIZZAZIONE SPERIMENTALE DI FLUSSI GRANULARI SU PIANO INCLINATO

Alessia Barberis Pinlung
Politecnico di Torino
alessia.barberispinlung@polito.it

Claudio Scavia
Politecnico di Torino
claudio.scavia@polito.it

Nathalie Thomas
IUSTI-CNRS UMR 6595 - Polytech'Marseille (France)
nathalie.thomas@polytech.univ-mrs.fr

Sommario

In questo articolo verranno illustrati i problemi relativi alla caratterizzazione sperimentale di flussi granulari su piano inclinato che costituiscono un elemento importante per lo studio dei complessi fenomeni a scala reale quali le valanghe di roccia. Tale caratterizzazione è effettuata utilizzando diversi strumenti tecnologici (Particle Image Velocimetry, fotocamera digitale e videocamera) che permettono, abbinati a strumenti informatici relativamente semplici, di ottenere misurazioni lungo tutta l'estensione del flusso.

Introduzione

Lo studio dei flussi di materiale granulare su superfici inclinate è frequente in applicazioni ingegneristiche che coinvolgono trasporto di materiale come minerali o cereali ma anche in ambiente geotecnico. Valanghe di roccia, scivolamenti in terra, flussi di detriti e flussi di tipo piroclastico sono eventi naturali di grande scala che interessano flussi di particelle solide. L'interesse nello studio in piccola scala, ossia alla scala di laboratorio, di fenomeni di questo tipo è quindi dato dal fatto che esiste la necessità di poter prevedere il comportamento dei flussi reali: altezza, velocità e larghezza del flusso sono solo alcune delle grandezze caratteristiche che, in un'ottica di previsione, andrebbero valutate.

Il passaggio al laboratorio nasce quindi da un lato come strumento di approfondimento per quanto concerne la dinamica dei flussi (i diversi tipi di regime: permanente, intermittente o di tipo "collisional") e dall'altro come strumento di verifica dei codici di calcolo numerico, nel caso del presente lavoro il codice di calcolo Rash3D (Pirulli, 2005).

Per quanto riguarda i flussi in regime permanente esistono dati derivati da diverse sperimentazioni che però si riconducono sempre a flussi incanalati nei quali la larghezza caratteristica del flusso è un parametro assegnato dal setup sperimentale (Pudasaini e Hutter 2004, Bonamy et al. 2002, Pouliquen 1999, Felix et al. 2004). Non sono disponibili dati sulla dinamica dei flussi non confinati di materiale granulare su piano inclinato. Nel presente lavoro la portata del flusso di input è mantenuta costante in modo che il flusso raggiunga un regime costante (permanente) e non sia mai largo quanto il piano su cui fluisce, ma libero di adattare la sua larghezza alle condizioni dinamiche.

Vengono quindi presentate le prove frutto di una collaborazione con il Politecnico di

Marsiglia, realizzate presso il laboratorio IUSTI-CNR, ponendo particolare attenzione alla metodologia di acquisizione delle informazioni ed analizzando le grandezze misurabili con questo tipo di apparecchiatura.

Apparato sperimentale

I flussi sono stati creati rilasciando delle micro-biglie su un piano inclinato (Fig. 1): un imbuto con apertura variabile funge da sorgente puntiforme e permette di controllare il flusso imposto producendo dei flussi non confinati (mai larghi quanto il piano su cui scorrono).



Figura 1. (In alto a sinistra) Un flusso di forma allungata formato da micro-biglie di vetro fluisce su un piano inclinato rugoso di larghezza 68 cm e di lunghezza 240 cm e (in alto a destra) il deposito associato. La deviazione delle linee di riferimento, proiettate perpendicolarmente alla direzione del flusso, risulta essere proporzionale allo spessore del deposito.

Il piano (di larghezza 68 cm e lunghezza 240 cm) può essere inclinato a partire dalla posizione orizzontale fino ad un massimo di 35° ed è stato reso rugoso incollandovi uno strato di biglie di vetro di dimensione compresa tra 900 e 1000 μm .

Il flusso è invece composto di particelle di vetro aventi densità pari a 2,5 g/cm³ e diametro compreso tra 500 e 600 μm ; si può parlare di flusso monodisperso.

Sia le particelle usate per il flusso sia quelle usate per la rugosità della superficie di scivolamento sono particelle di vetro sferiche.

Gli esperimenti di laboratorio (Tab. 1) che coinvolgono materiale granulare portano con sé delle difficoltà che spesso nascono dalle interazioni elettrostatiche o dagli effetti dell'umidità. Nei test presentati in questo articolo gli effetti elettrostatici sono stati ridotti al minimo utilizzando una griglia metallica per l'operazione di setaccio delle particelle, dei becker di metallo per la raccolta delle biglie al fondo del piano e di un imbuto anch'esso di metallo per la creazione del flusso. L'influenza dell'umidità risulta invece più difficile da controllare; per cercare di lavorare a un'umidità costante si è cercato di portare a termine ogni set di esperimenti nell'arco di un giorno in modo che l'umidità dell'ambiente variasse meno del 5%.

<i>Serie</i>	<i>Flusso (g/s)</i>	<i>Inclinazione min-max (°)</i>	<i>Grandezze misurate</i>	<i>Posiz. misure</i>
I-IV	16	23 - 29	- velocità del fronte del flusso - larghezza, spessore del flusso/deposito - velocità superficiale del fronte/flusso	2 misure (a metà e alla fine del piano)
IX	11	22 - 29		
X	7	22,25 - 29		
XI	22	22 - 29		
XII	30	21,5 - 29		
V-VIII	-	21-29,6	- Hstop (altezza deposito residuo sul piano)	1 misura a metà piano
VI	16	25	- larghezza del flusso	1 misura ogni 10 cm lungo tutto il piano
VII	16	25	- velocità del fronte del flusso - larghezza, spessore del flusso/deposito - velocità superficiale del fronte/flusso	8 misure adiacenti per documentare tutto il piano

Tabella 1 – Serie di flussi effettuati

Caratterizzazione sperimentale

Le serie di flussi portati a termine (Tab. 1) sono state documentate attraverso un apparato strumentale composto da una PIV (Particle Image Velocimetry), da una videocamera e da una fotocamera digitale.

Velocità media del flusso

La velocità media del fronte è stata sistematicamente misurata per tutte le serie di esperimenti con un *sistema di acquisizione video* ossia una videocamera posizionata perpendicolarmente al piano e ad un'altezza tale che consente di seguire la propagazione del fronte sul piano (Fig. 4). Il fronte del flusso viene creato attraverso l'immissione di materiale granulare nell'imbuto; nella variazione di angoli di inclinazione da noi studiati, il fronte del flusso raggiunge rapidamente un regime di flusso uniforme, con una forma stabile, e si muove a velocità costante. La velocità media corrisponde semplicemente alla velocità media nello spessore del flusso uniforme e costante che si sviluppa alle spalle del fronte.

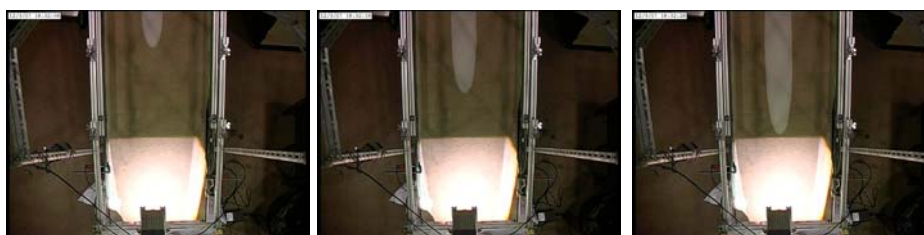


Figura 4. Le immagini mostrano l'avanzamento del fronte nel tempo; conoscendo la posizione del fronte (in pixel) nei diversi istanti di tempo (in frame) attraverso una semplice proporzione si riesce ad ottenere la velocità media del fronte, che nel caso presentato (serie IV, exp n. 50) è di 2,11 cm/s.

Velocità superficiale del flusso

I flussi riprodotti in laboratorio sono stati analizzati anche attraverso uno strumento molto potente dal punto di vista dell'accuratezza della misurazione, la *PIV* (Particle Image Velocimetry), ossia un'apparecchiatura che permette di avere come risultato un campo di vettori velocità (con le due componenti del vettore velocità) in una sezione trasversale del flusso. Questa misurazione della velocità delle particelle è stata effettuata sia per quanto concerne il flusso (ossia la parte retrostante il fronte che si considera in regime permanente) sia per il fronte stesso; in Fig. 5 sono riportati dei risultati a titolo di esempio.

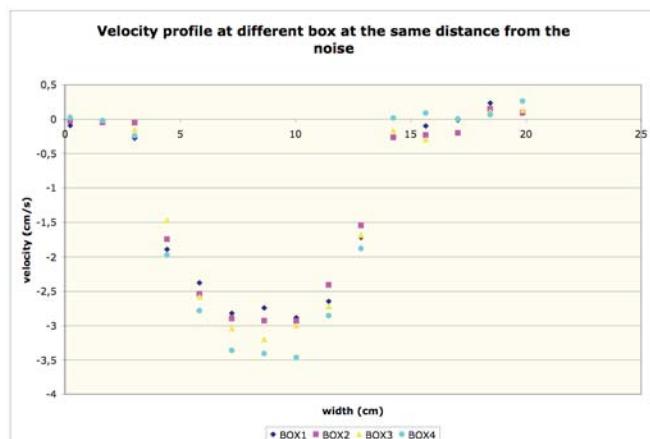


Figura 5. Ricostruzione del profilo delle velocità (in cm/s) del fronte relativa ad una sezione trasversale del flusso posta alla stessa distanza dal naso del fronte per 4 differenti posizioni lungo il piano (Box 1, 2, 3 e 4)

Spessore e larghezza del flusso

Un altro parametro di cui occorre eseguire la misurazione è lo spessore h e la larghezza w ; entrambe le misure vanno prese sia per quanto riguarda il flusso sia per ciò che riguarda il deposito. Lo spessore h è misurato lungo il piano illuminando la superficie con una lavagna luminosa proiettante delle linee di riferimento: quando il materiale granulare fluisce sul piano le linee proiettate sono deviate rispetto alla loro posizione iniziale. La deviazione delle linee di riferimento è proporzionale allo spessore del flusso; collocando un elemento di riferimento di altezza e larghezza nota riusciamo a risalire alle grandezze a cui siamo interessati (Fig. 6).

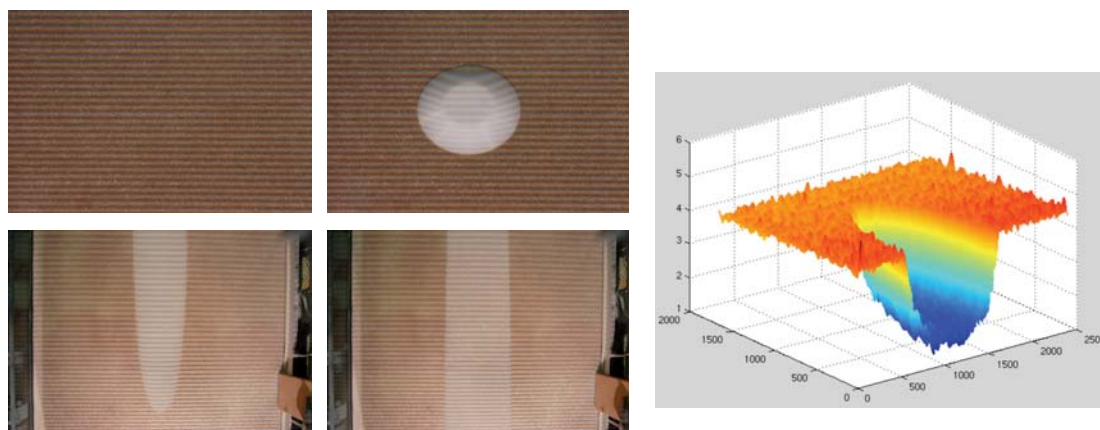


Figura 6. (In alto a sinistra) Porzione di piano sgombero da materiale su cui sono ben visibili le linee proiettate; (in alto al centro) collocamento del riferimento per poter trovare lo spessore e la larghezza del flusso. (In basso) Deviazione delle linee di riferimento a causa del flusso di materiale granulare: misurazione di grandezze relative al fronte (a sinistra) e al flusso (a destra). (A destra) Ricostruzione della geometria del fronte con il metodo Moiré (Sansoni, Carocci e Rodella, 1999).

Conclusioni e sviluppi futuri

L'articolo presenta una metodologia sperimentale utile nella caratterizzazione di flussi di materiale granulare su piano inclinato; le apparecchiature utilizzate (PIV, fotocamera digitale e videocamera) portano ad una caratterizzazione delle grandezze particolarmente accurata e i risultati ottenuti potranno quindi essere confrontati con quelli ottenuti mediante simulazione numerica ai fini di una valutazione dei codici di calcolo.

La quantità di dati ottenuti, ancora in fase di trattamento, fornisce lo spunto per uno studio più approfondito della dinamica dei flussi e permette di investigare i legami tra le grandezze che caratterizzano gli stessi.

Bibliografia

- [1] O. Pouliquen, "Scaling laws in granular flows down rough inclined planes", *Physics of Fluids* 11, 3 (1999).
- [2] G. Felix, N. Thomas, "Relation between dry granular flow regimes and morphology of deposits: formation of levées in pyroclastic deposits", *Earth and Planetary Science Letters* 221 (2004) 197-213.
- [3] M. Pirulli, "Numerical modelling of landslide runout", PhD Thesis – Politecnico di Torino (2005)
- [4] S. Pudasaini, K. Hutter, "Avalanche Dynamics", Springer – Verlag 2004
- [5] G. Sansoni, M. Carocci, R. Rodella, "3D vision based on the combination of gray code and phase shift light projection: analysis and compensation of the systematic errors, *Applied Optics* 31 (1999) 6565-6573.