

Rilievo dinamico tridimensionale di ammassi granulari in movimento con tecniche fotogrammetriche

Paolo Scotton, Daniele Dallavalle

Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Geoscienze, Via Gradenigo 6, 35131 Padova
e-mail: paolo.scotton@unipd.it, daniele.dallavalle.1@studenti.unipd.it

Abstract

La ricerca sperimentale, svolta presso il Laboratorio di Geologia Applicata del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, indaga la possibilità di descrivere, con tecniche fotogrammetriche, l'evoluzione della superficie di un ammasso granulare in movimento. Lo studio è inserito nell'ambito della attività finalizzata alla comprensione dei fenomeni di movimento di ammassi granulari secchi e bagnati: valanghe di neve densa, valanghe di roccia, colate di detriti. I dati sperimentali ottenibili possono contribuire alla descrizione reologica del materiale e alla taratura di modelli fisico-matematico-numeric in previsione della loro applicazione sul campo (Scotton et al., 2004). L'apparato sperimentale è costituito da una canaletta, 8 videocamere digitali con ottiche a focale fissa e diversa distanza focale, un sistema di illuminazione e un sistema di acquisizione veloce delle immagini. La sincronizzazione del rilievo dei frames dalle videocamere è stata ottenuta mediante un sistema di controllo hardware NI e software appositamente scritto in LabView. La velocità di trasferimento delle immagini è stata ottimizzata utilizzando la tecnologia Raid. L'articolo descrive i dettagli dell'apparato sperimentale realizzato e alcuni risultati ottenuti.

The experimental research, carried out at the Laboratory of Applied Geology, Department of Geosciences of the University of Padua, investigates the possibility to describe, with photogrammetric techniques, the evolution of the surface of a moving granular mass. The study is inserted in the research activity aimed at understanding the phenomena of movement of dry and wet granular masses: dense snow avalanches, rock avalanches, debris flows. The obtained experimental data can contribute to the description of the material rheology and to the calibration of physical-mathematical-numerical models in view of their application in the field. The experimental apparatus consists of a support flume, 8 digital cameras with fixed focal length lenses, a lighting system and a system for fast image acquisition. The synchronization of the survey of the frames from the cameras has been obtained by a NI hardware control system and a proper software written in LabView. The velocity of images transfer has been optimized using Raid technology. The paper describes the details of the designed experimental apparatus and some results.

Introduzione

La taratura dei modelli fisico-matematico-numeric della evoluzione di ammassi granulari secchi e bagnati, realizzati per la produzione di carte di pericolosità e di rischio di fenomeni naturali come le valanghe di neve bagnata, le valanghe di roccia, le colate di detriti, viene effettuata, per lo più, attraverso la riproduzione in scala di modello degli stessi, basata sulla teoria della similitudine, e il confronto con i risultati ottenuti dalla applicazione del modello numerico. Spesso il confronto viene fatto sulla base della configurazione topografica sperimentale iniziale e finale o rilevando nel tempo alcune sezioni trasversali e longitudinali o, ancora, rilevando parametri dinamici come la velocità o la pressione. Nel caso presente l'obiettivo è la descrizione nel tempo dell'evoluzione topografica della intera superficie esterna dell'ammasso granulare in movimento al fine di fornire dati tridimensionali geometricamente più completi per la taratura dei modelli numerici. Altra esigenza

posta è il contenimento dei costi dell'apparato sperimentale e la possibilità del suo trasferimento sul campo per la riproduzione dei fenomeni reali in siti di monitoraggio. Agli scopi su indicati si è deciso di utilizzare le tecniche fotogrammetriche progettando un apparato sperimentale in grado di risolvere i problemi legati alle dimensioni geometriche del fenomeno (la sua lunghezza e la sua larghezza complessive), alle dimensioni del materiale granulare utilizzato nelle simulazioni e alla necessità di ottenere fotogrammi di buona qualità, adatti alle elaborazioni fotogrammetriche, con una frequenza sufficientemente alta, in modo da descrivere opportunamente la dinamica del fenomeno.

L'apparato sperimentale

In laboratorio i fenomeni vengono realizzati facendo scorrere un volume di circa 7 litri di un ammasso granulare, costituito da ghiaia naturale o da materiale granulare plastico, su un supporto costituito da due piani in *forex* liscio a diversa inclinazione incernierati tra di loro. Ogni piano ha forma quadrata e lato di lunghezza pari a 1500 mm.

Il piano di monte è posto a pendenze tipiche della zona di scorrimento dei fenomeni reali (35-60%). Il piano di valle a pendenze tipiche della zona di arresto (5-15%). Possono essere riprodotti scorrimenti su pendio aperto o incanalati mediante l'installazione di una canaletta sul piano di monte (Figura 1).

L'ammasso granulare in movimento viene ripreso da 8 videocamere contemporaneamente. È stato scelto il modello *Basler Ace GigE Ethernet*. Le proprietà fondamentali delle videocamere sono descritte in Figura 2.



Figura 1. L'apparato sperimentale utilizzato nelle prove.

Specification	acA1600-20 gm/gc
Sensor Size (H x V pixels)	gm: 1628 x 1236 gc: 1624 x 1234
Sensor Type	Sony ICX274 AL/AQ Progressive scan CCD Global shutter
Optical Size	1/1.8"
Pixel Size	4.4 µm x 4.4 µm
Max. Frame Rate (at full resolution)	20 fps

Figura 2. Proprietà principali della videocamera modello *Basler Ace GigE Ethernet* utilizzato nelle prove sperimentali (Basler, 2011).

Sulle telecamere sono state montate ottiche di diversa distanza focale. Due ottiche hanno distanza focale pari a 6 mm, quattro pari a 8 mm e due pari a 12 mm. Le diverse distanze focali sono state scelte per poter adattare la distanza delle videocamere dalla superficie della canaletta.

La qualità del fotogramma è stata ottimizzata lavorando sui parametri intensità dell'illuminazione, apertura del diaframma e tempo di otturazione. Il tempo di otturazione è stato impostato elettronicamente mediante il *driver* della camera. La sua durata è funzione della velocità assunta dalle particelle costituenti l'ammasso (i valori massimi sono dell'ordine di 2 m/s) ed è stata posta pari a 300 μ s (Figura 3). Durante questo periodo di tempo la traccia lasciata da un punto in movimento è pari a circa 600 μ m, mentre le dimensioni delle particelle costituenti l'ammasso variano tra 2.000 e 10.000 μ m.

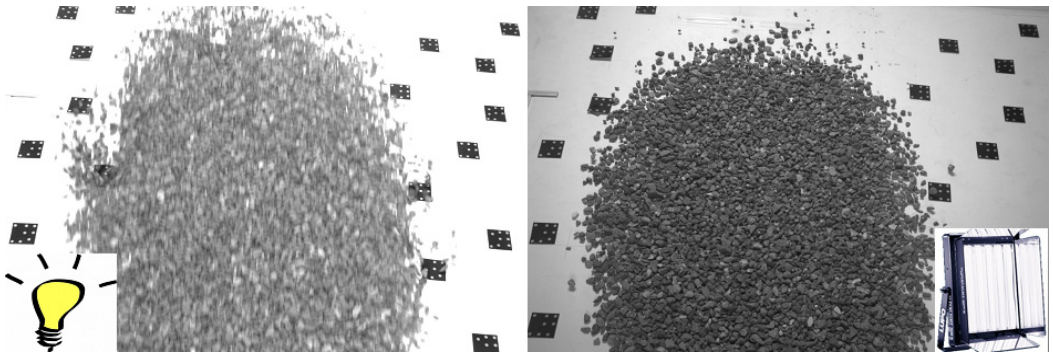


Figura 3. A sinistra, l'immagine della massa in movimento ottenuta con l'illuminazione ambientale e tempo di esposizione di 0.01 s. A destra, immagine ottenuta con due illuminatori Lupo con un tempo di esposizione pari a 300 μ s (0.00003 s) e massima apertura del diaframma. La qualità dell'immagine di destra è visibilmente migliore e rende perfettamente definite le particelle costituenti l'ammasso.

Il tempo di otturazione indicato è stato ottenuto mediante l'utilizzo di due illuminatori *Lupo Quadrilight* ad alto rendimento e ad alta frequenza, della potenza di 220 Watt ciascuno. Uno dei due illuminatori è fornito di *dimmer* per ottimizzare l'intensità dell'illuminazione nelle diverse zone della canaletta. La frequenza della emissione luminosa è di 48.000 Hz ed assicura una omogenea intensità luminosa anche per i piccoli tempi di otturazione adottati (circa 15 emissioni luminose). La sincronizzazione e contemporaneità dei *frames* provenienti dalle videocamere è stata testata utilizzando un orologio come da Figura 4.

Nella configurazione descritta il diaframma delle videocamere è stato mantenuto quasi completamente aperto. La sincronizzazione dell'istante di presa dei fotogrammi dalle otto videocamere viene ottenuta mediante una scheda NI PCI-6602, che permette di generare un segnale di *trigger*, in differenza di potenziale, che viene inviato contemporaneamente a tutte le camere.

L'intero processo di acquisizione è stato sviluppato in ambiente *Labview*. Le otto telecamere sono connesse con protocollo GigE a 2 schede NI PCIE-8235 (Quad GigE). Il computer che alloggia le schede monta sette dischi fissi gestiti con modalità Raid 0. La capacità di trasmissione e archiviazione dati è di circa 3 Gb/s, assicurando una frequenza di acquisizione di 20 Hz alla massima risoluzione ottenibile dalle camere.

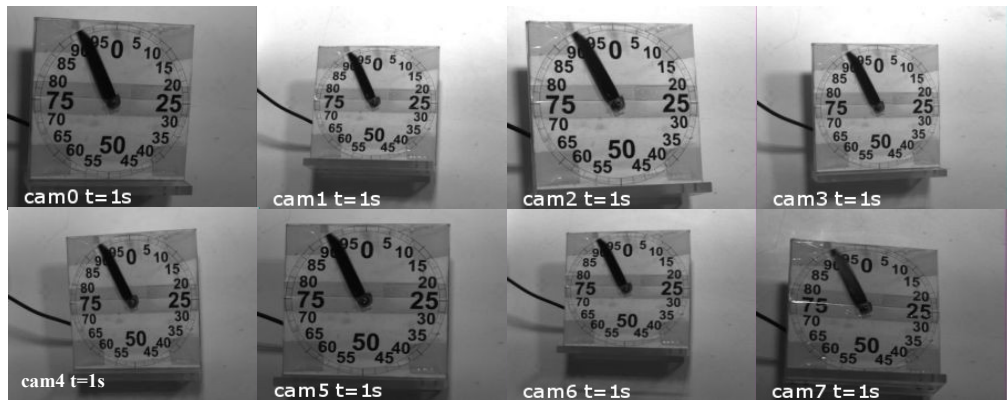


Figura 4. La sincronizzazione delle otto videocamere è stata verificata mediante la ripresa contemporanea di un contasecondi analogico.

Ai fini del contenimento dei costi sono state acquisite otto videocamere non metriche. La particolare applicazione effettuata (acquisizione di otto fotogrammi da otto camere diverse allo stesso istante) impone che le proprietà fotogrammetriche delle singole camere e delle ottiche montate vengano definite prima della esecuzione dei test sperimentali.

Per la calibrazione si è ritenuto adeguato l'utilizzo del software fotogrammetrico *Australis*, che mette a disposizione un efficiente tool di autocalibrazione che sfrutta dei target a riconoscimento automatico (F. Remondino, C. Fraser, 2006). Nella Figura 5 è riportato il risultato della calibrazione per i vari accoppiamenti tra videocamere e ottiche. In generale gli accoppiamenti con ottiche ad uguale distanza focale si comportano alla stessa maniera. Gli accoppiamenti con ottiche a distanza focale pari a 6 mm hanno una distorsione radiale molto maggiore delle altre ottiche.

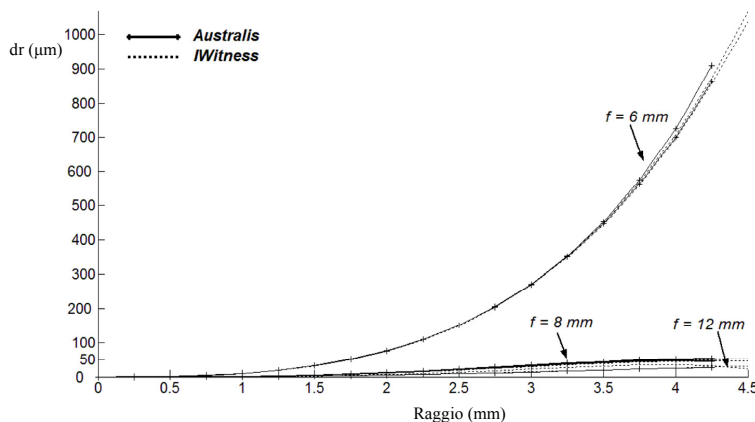


Figura 5. Distorsione radiale sul sensore CCD per le ottiche con distanza focale da 6 mm, da 8 mm e da 12 mm montate su camere modello Basler Ace GigE Ethernet. Le ottiche con lunghezza focale 6 mm presentano valori della distorsione radiale molto maggiori rispetto alle altre ottiche.

Elaborazioni e risultati ottenuti

Le elaborazioni sono state eseguite con diversi software: *Australis*, *Iwitness*, *Leica Photogrammetry* e *Agisoft PhotoScan*. *Australis* si è mostrato adeguato, oltre che nella calibrazione delle videocamere, nel rilievo del piano di base della canaletta (Figura 6), data anche la possibilità di

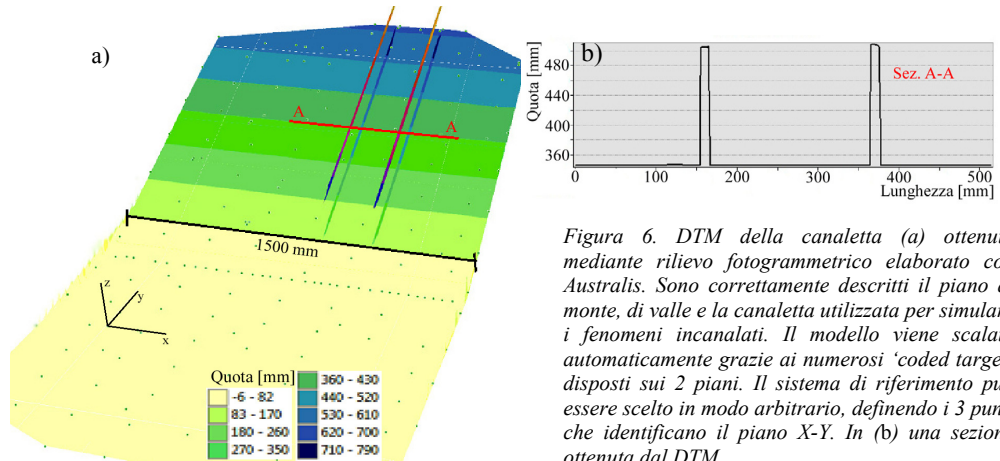


Figura 6. DTM della canaletta (a) ottenuto mediante rilievo fotogrammetrico elaborato con *Australis*. Sono correttamente descritti il piano di monte, di valle e la canaletta utilizzata per simulare i fenomeni incanalati. Il modello viene scalato automaticamente grazie ai numerosi 'coded target' disposti sui 2 piani. Il sistema di riferimento può essere scelto in modo arbitrario, definendo i 3 punti che identificano il piano X-Y. In (b) una sezione ottenuta dal DTM.

eseguire misurazioni semi-automatiche o manuali laddove la misurazione automatica non sia in grado di rilevare punti omologhi nelle diverse immagini. Il software *Agisoft PhotoScan* si è dimostrato più efficace, rispetto agli altri, nell'individuazione della nuvola di punti che descrive il materiale granulare in movimento. La prima fase della applicazione del software *Agisoft* consiste nell'allineamento delle immagini. In questa fase vengono ricercati i punti omologhi e viene stabilita la posizione delle videocamere (orientamento esterno). I parametri di orientamento interno, già determinati, vengono forniti. La fase successiva consiste nella costruzione della geometria del modello tridimensionale (sono disponibili quattro diversi algoritmi). Nell'ultima fase la geometria del modello può essere testurizzata e può essere generata l'immagine ortorettificata dell'oggetto di interesse.

In quanto segue vengono riportate alcune elaborazioni ottenute applicando i metodi descritti al fenomeno sperimentale ottenuto dal rilascio incanalato di 7 litri di ghiaia grossolana. Il piano di monte è stato posto alla pendenza del 56.6% (angolo sull'orizzontale pari a 29.5°), il piano di valle alla pendenza del 13.2% (angolo sull'orizzontale pari a 7.5°). Nella Figura 7 sono mostrate le immagini ottenute dalle 8 videocamere dopo 1.13 s dal rilascio del materiale.

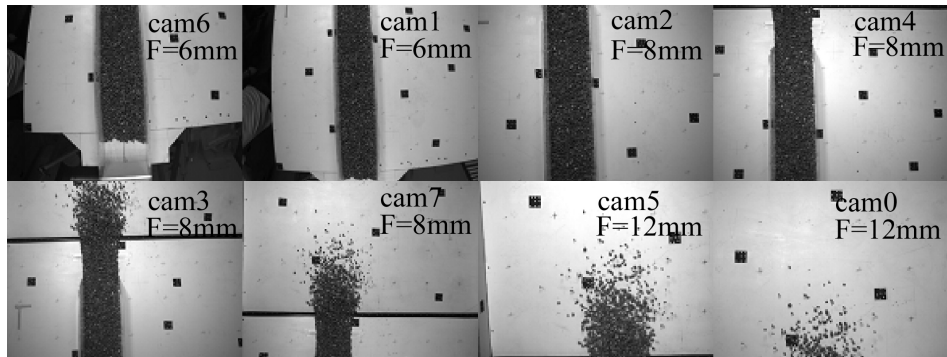


Figura 7. Le immagini ottenute dalle otto videocamere (Figura 1) dopo 1.13 s dal rilascio di 7 litri di ghiaia grossolana con piano di monte posto alla pendenza del 56.6% e di valle alla pendenza del 13.2%.

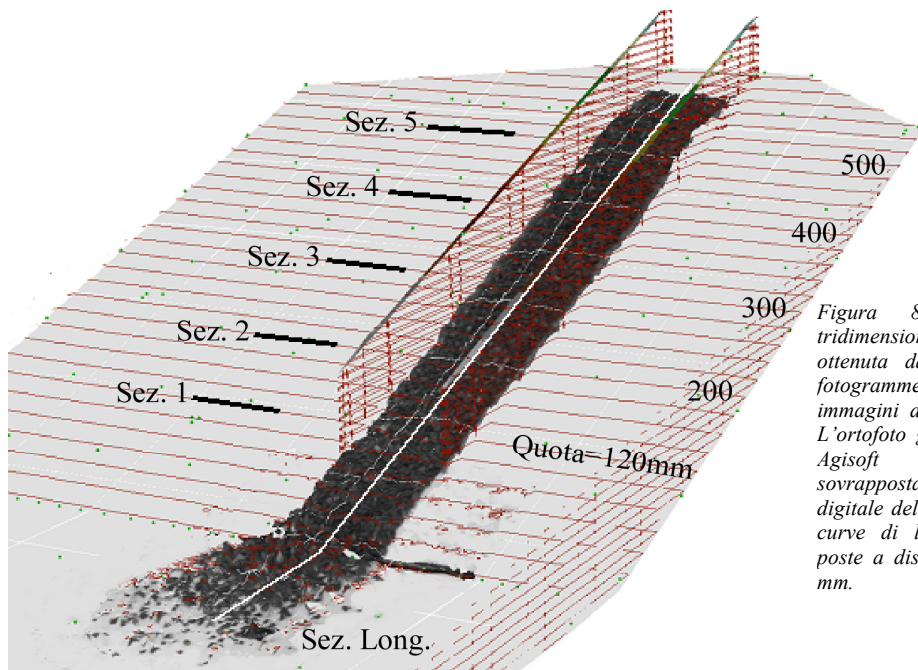


Figura 8. Visione tridimensionale ottenuta dalla analisi fotogrammetrica delle immagini di Figura 7. L'ortofoto generata da Agisoft è stata sovrapposta al modello digitale del terreno. Le curve di livello sono poste a distanza di 20 mm.

Le videocamere sono state posizionate in modo da ottimizzare il campo di vista di ciascuna, in funzione della distanza fra il sistema di supporto e i 2 piani. Le videocamere a focale minore sono state collocate nella zona di scorrimento, dove la distanza tra il sistema di supporto e il piano di scorrimento è minore. Il campo di vista è infatti inversamente proporzionale alla distanza focale. Il modello tridimensionale ottenuto fotogrammetricamente (Figura 8) permette di analizzare la superficie topografica sia trasversalmente che longitudinalmente. Le sezioni di Figura 9 e Figura 10 sono state ricavate con l'ausilio di un software Gis.

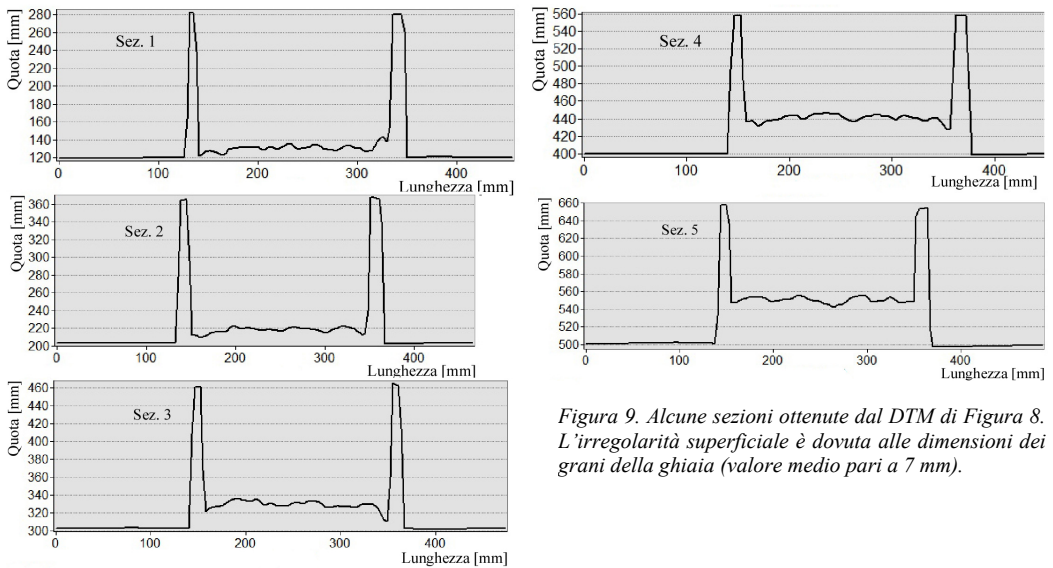


Figura 9. Alcune sezioni ottenute dal DTM di Figura 8. L'irregolarità superficiale è dovuta alle dimensioni dei grani della ghiaia (valore medio pari a 7 mm).

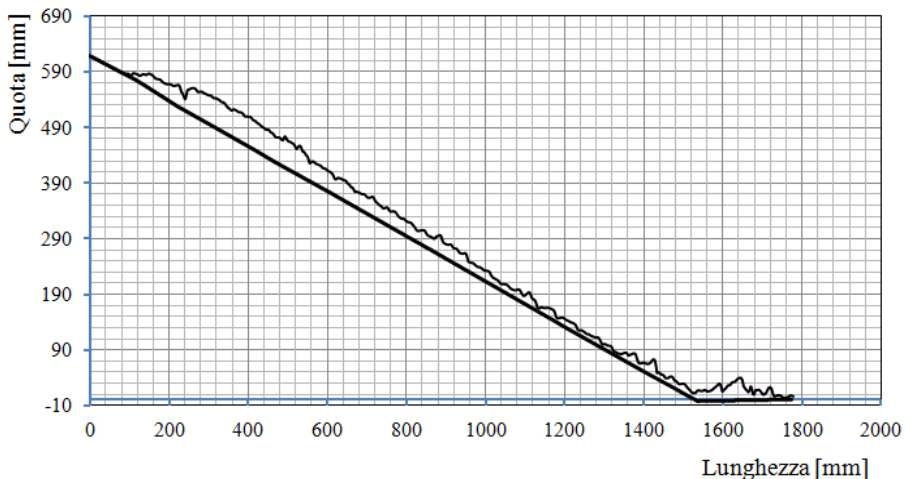


Figura 10. Sezione longitudinale dei 2 piani dell'apparato sperimentale e del materiale granulare all'istante di Figura 7. Il sistema di riferimento è collocato sul piano di valle con asse z perpendicolare (Figura 6).

Una stima della precisione del rilievo è stata effettuata confrontando i valori dell'angolo sull'orizzontale dei piani di monte e di valle della canaletta misurati con le tecniche fotogrammetriche, nell'istante di presa delle immagini di Figura 7, e mediante clisimetro.

I valori sono riportati in Figura 11. La qualità della misura deve essere considerata buona, soprattutto considerando l'incertezza insita nella misura diretta con clisimetro.

<i>Inclinazioni</i>	<i>Misure sperimentali</i>	<i>Misure software</i>
<i>Piano di monte</i>	$30^\circ \pm 0.5^\circ$	30.3°
<i>Piano di valle</i>	$7.5^\circ \pm 0.5^\circ$	7.5°

Figura 11. Confronto tra gli angoli sull'orizzontale del piano di monte e del piano di valle, ottenuti in modo diretto, mediante clisimetro, e con le tecniche fotogrammetriche.

Conclusioni

- L'apparato sperimentale progettato si è dimostrato adatto a fornire fotogrammi di qualità sufficiente per la analisi fotogrammetrica;
- Durante le elaborazioni fotogrammetriche sono stati usati vari software per risolvere, in modo ottimale, i diversi aspetti delle procedure. Il grado di automatizzazione, benché possa ritenersi soddisfacente, non è ancora ottimale, soprattutto in considerazione dell'elevato numero di elaborazioni necessarie;
- I risultati ottenuti dalla analisi fotogrammetrica sono da ritenersi buoni agli scopi della ricerca. Ulteriori conferme della loro qualità sono in programma mediante l'utilizzo di tecniche di rilievo più tradizionali, per esempio mediante rilevatori laser lineari. La capacità dell'apparato sperimentale di descrivere adeguatamente il singolo elemento dell'ammasso granulare fa ritenere di poter spingere la analisi fino alla valutazione della distribuzione granulometrica superficiale dinamica;

Riferimenti bibliografici

- S. De Toni, P. Scotton, E. Bertolazzi (2004). Modello matematico e numerico bidimensionale per lo studio delle valanghe di neve densa. Quaderni del Dipartimento IDR2, Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale.*
- F. Remondino, C. Fraser (2006). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. Technical report, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Department of Geomatics, University of Melbourne, Australia.*
- Basler (2011). User's manual for GigE cameras Basler AG. An der Strusbek 60 - 62 22926 Ahrensburg Germany. www.baslerweb.com*

Ringraziamenti

La ricerca è stata eseguita nell'ambito del Progetto di Ateneo 2008 dell'Università di Padova dal titolo: *Rilievo topografico tridimensionale di flussi di ammassi granulari in rapido movimento mediante tecniche fotogrammetriche - indagine di laboratorio.*