

L'ANALISI D'IMMAGINE PER LA MISURA DELLO SNOWDRIFT



**Stefano Malvasi, Alberto Bianchi,
Paolo Angiolini, Elisa Bragastini**
Dipartimento Ingegneria Idraulica
Ambientale e del Rilevamento
Un. Politecnico di Milano
P.zza Leonardo da Vinci, 32
20133 Milano

Il fenomeno del trasporto eolico di neve dipende da numerosi fattori atmosferici e geomorfologici, oltreché dalle caratteristiche della neve e del manto nevoso. Nonostante ciò, le formule per il calcolo del trasporto eolico considerano solo un numero assai limitato di variabili, come è il caso della più nota ed utilizzata formula di Pomeroy e Gray. Anche la qualità dei dati raccolti sul campo è un fattore limitante per il corretto approccio allo studio del fenomeno. Attualmente le misure di trasporto eolico sono effettuate mediante Driftometro e in alcuni casi col FlowCapt. Tali apparecchi tuttavia presentano alcuni problemi funzionali. Si è cercato perciò di mettere a punto un nuovo sistema di misura basato sulla video ripresa e successiva analisi del fenomeno di trasporto eolico con la tecnica PIV (Velocimetria ad Immagine di Particelle). Il sistema è composto di una lampada alogena e da una webcam, correlata di pc, è stato testato in località Stretta in Valchiavenna (Sondrio) nel corso dell'inverno 2002-2003, Dalle immagini di trasporto di neve acquisite ed opportunamente filtrate, con algoritmi di blob-analysis si sono contate e misurate le traiettorie delle particelle di neve in movimento; da questi dati si è risalito ai valori istantanei della velocità del vento e della massa di neve trasportata, noti i parametri di ripresa.

Entrambe queste grandezze hanno evidenziato notevole instabilità e, sebbene la dipendenza tra trasporto eolico e velocità del vento sia stata confermata, la capacità di trasporto ha evidenziato una forte dipendenza dall'instazionarietà del vento (accelerazioni e decelerazioni). In termini medi i dati raccolti sembrano confermare la formula proposta da Pomeroy e Gray. Alla luce dei primi risultati il sistema proposto ha dimostrato ottime capacità di indagine del fenomeno e significativi margini di sviluppo.





INTRODUZIONE

Il trasporto eolico di neve è un fenomeno complesso, infatti, la quantità di neve trasportata oltre ad essere intuitivamente funzione crescente della velocità del vento, dipende da numerosi parametri specifici delle condizioni atmosferiche, delle caratteristiche della neve trasportata, delle caratteristiche del manto nevoso che alimenta il trasporto e dalle caratteristiche morfologiche dell'ambiente che condizionano tra l'altro la distribuzione di velocità del vento in prossimità del suolo.

Ad oggi, non tutte queste variabili sono facilmente misurabili e le formule di trasporto eolico, presenti in letteratura, se non in casi specifici ma difficilmente generalizzabili, si basano su pochissimi parametri. A conferma

di ciò, la formula forse più nota ed utilizzata di Pomeroy e Gray propone l'espressione riportata in figura 1 (eq. 1).

L'analisi dei dati di trasporto presenti in bibliografica [Bianchi et al. 2003] e l'elaborazione di dati di campo ha evidenziato la necessità di migliorare la qualità dei dati di campo che sono il principale limite ad un più corretto approccio del fenomeno del trasporto.

In Italia, ma la situazione è generalizzabile, i dati sul trasporto eolico di neve sono acquisiti con il Driftometro e in alcuni casi con il FlowCapt. Il Driftometro (foto pg. 26), è uno strumento che consente una stima della quantità di neve trasportata ad una altezza minima di circa a 50 cm dalla superficie del manto nevoso, dove sono posizionate 8 bocche di ingresso disposte a raggiera alle quali sono collegati altrettanti sacchetti per la raccolta della neve catturata. Le rilevazioni sono manuali e di solito con cadenza giornaliera.

Il trasporto eolico di neve è valutato attraverso l'indice di snowdrift, dato dal valore massimo tra i contenuti dei singoli sacchetti dello strumento, espresso in grammi. Questo strumento è il più diffuso, per la sua semplicità di utilizzo ed economicità, tuttavia presenta limiti operativi anche significativi sia per l'utilizzo operativo sia per l'analisi dei risultati di trasporto raccolti.

I principali limiti sono: la capacità dei sacchetti e il forte rischio di occlusione degli stessi, che ne limita il funzionamento, e la necessità di posizionare lo strumento ad una altezza minima di circa 50 cm dal suolo, distanza che impedisce di acquisire informazioni nella zona di maggiore intensità del trasporto. L'analisi dei dati del driftometro è poi affetta dalla mancanza di correlazione tra misura cumulata della quantità di neve trasportata e la misura della velocità del vento. Questo limite impedisce, di fatto, di ricostruire con sufficiente dettaglio il legame tra materiale trasportato e velocità del vento, che come ricordato precedentemente è spesso l'unico parametro considerato nella descrizione del fenomeno.

Il FlowCapt (vedi foto 2), è un sensore acustico che misura il trasporto di neve basandosi sulla pressione acustica generata dalle particelle di neve che urtano contro lo strumento, permettendo un rilievo automatico ed in continuo dello snowdrift. L'altezza indagata è solitamente di 1 m e in ogni caso pari all'altezza dello strumento. Il FlowCapt permette quindi di misurare anche il trasporto per saltazione che avviene nei primi centimetri dal manto nevoso. Nonostante tali vantaggi, sono stati rilevati alcuni problemi legati alla forma delle particelle di neve: infatti, a parità di massa, le particelle più

Foto 2



Foto 3

FORMULA DI POMEROY E GRAY

$$(1) \quad Q = \frac{0.68 \rho_a}{u^* g} u_t^* [u^{*2} - u_t^{*2}]$$

nella quale Q [kg/m s] è la quantità di neve trasportata, ρ_a [kg/m³] è la densità dell'aria, u_t^* è velocità di attrito di soglia al disotto della quale non si verifica trasporto, u^* [m/s] è la velocità di attrito, alla distanza y^* dalla superficie, ricavata dalla legge logaritmica

$$(2) \quad \frac{u(y)}{u^*(y^*)} = 5.75 \log \left(\frac{y}{y^*} \right)$$

dove u è velocità alla distanza y

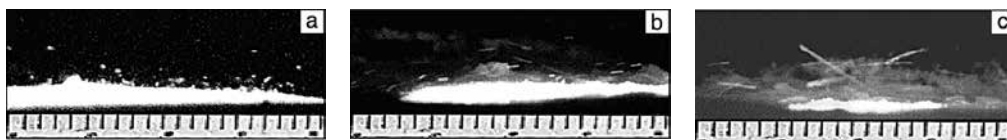
Fig. 1

larghe colpiscono in più punti lo strumento, provocando un suono d'impatto più lungo rispetto alle particelle tondeggianti [Naaim - Bouvet et al. 2003]. Si sono riscontrati, inoltre, una certa sordità dello strumento per neve a bassa densità ($\rho < 100 \text{ kg/m}^3$) e temperature rigide ($T < -8^\circ \text{C}$) [Dorigatti, 2001] e problemi legati alla taratura dei sensori. L'elaborazione dei dati registrati ha in ogni caso reso evidente che tale strumento consente misurazioni più verosimili di quelle effettuate con il driftometro.

L'indubbia importanza della misura in sito del trasporto eolico di neve e la necessità di disporre di dati sperimentali adatti allo studio di questo fenomeno ci hanno spinto ad applicare la tecnica PIV (Velocimetria ad Immagini di Particelle) a questo problema. Questa tecnica, già diffusa per la misura di velocità di campi fluidodinamici [Malavasi 2002, Malavasi et al. 2004] e utilizzata per la misura del trasporto di materiale solido in applicazioni di idraulica fluviale [Malavasi et al. 2004], con opportuni accorgimenti consente, infatti, di risolvere anche numerose problematiche relative allo studio del fenomeno del trasporto eolico di neve.

La tecnica PIV, nella sua classica applicazione, permette di misurare il campo di velocità bidimensionale di un fluido attraverso la determinazione del movimento di particelle inseedanti il fluido stesso. La tecnica appare, quindi, adatta alla misura del trasporto eolico di neve, in cui l'oggetto della misura è proprio il materiale che viene trasportata dal fluido in movimento. Applicando questa tecnica è quindi possibile determinare la massa di neve trasportata e, allo stesso tempo, misurare le velocità locali ed istantanee del vento che

Foto 4: acquisizioni con fotocamera effettuate con obiettivo da 50 mm s/1.8 e film 3200 ASA b/n rispettivamente con tempi di esposizione di (a) 1/500, (b) 1/125 e (c) 1/60 di secondo.



Parametri di acquisizione e filtraggio delle immagini								
Risoluzione (pixel)	640 x 480				320 x 240			
Tempo di esposizione (s)	1/1000		1/500		1/1000		1/500	
Frequenza d'acquisizione (fps)	60	30	60	30	60	30	60	30
Threshold	120	125	135	135	115	100/115	105	105
Aree dei Blob (pixel)	3÷50	4÷50	3÷150	3÷150	2÷30	2÷30	2÷50	2÷50

Fig. 2

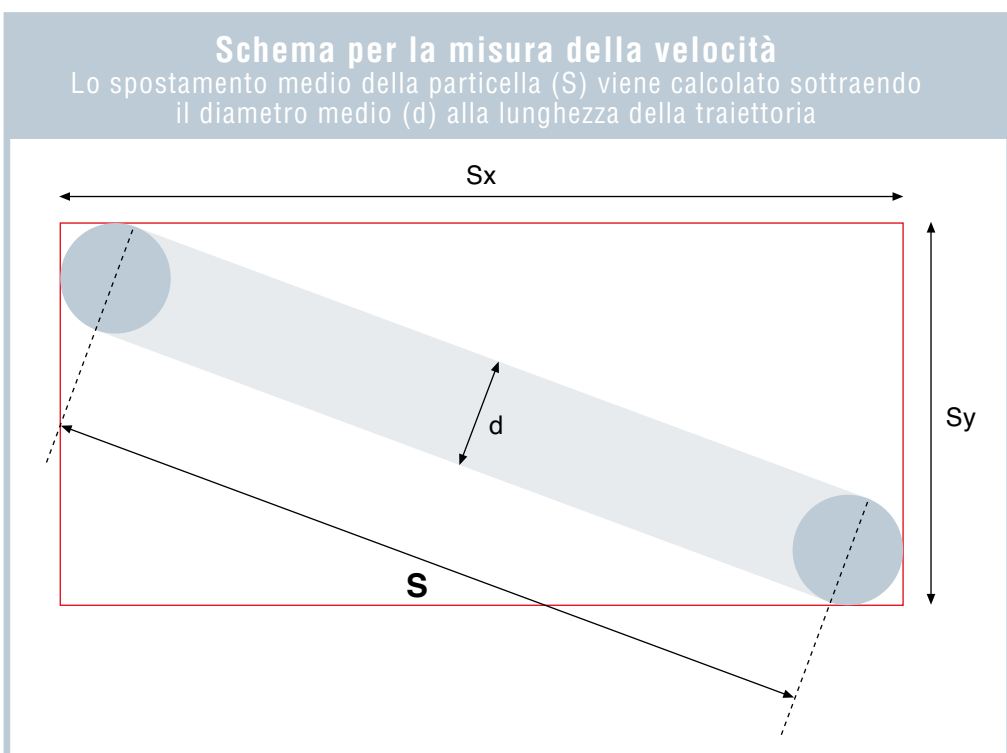


Fig. 3

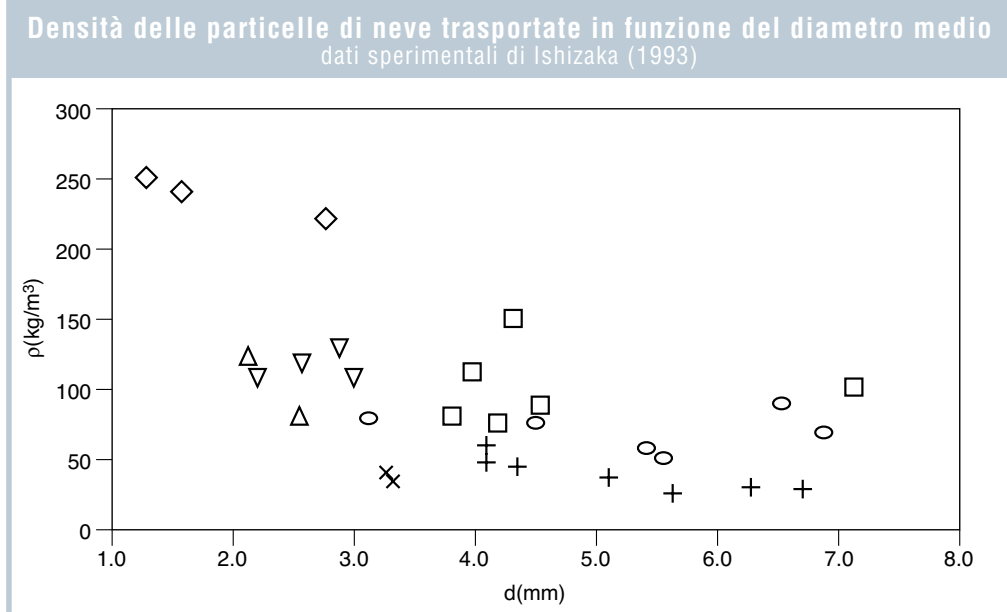
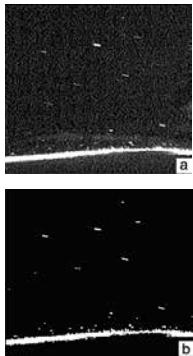


Fig. 4

Foto 5: confronto tra immagine originale (a) e immagine filtrata dal valore di Threshold (b).



provoca il trasporto. Di seguito si presenterà la tecnica utilizzata per la misura del fenomeno, descrivendo e commentando le scelte adottate per la messa a punto del set-up sperimentale; vengono descritte le campagne di misura effettuate, descritte la tecnica di elaborazione dei dati raccolti e, infine, commentati i risultati.

APPARATO SPERIMENTALE E MISURE

La tecnica PIV si basa sulla ripresa del movimento di particelle trasportate da una corrente fluida che sono rese visibili da un sottile volume illuminato disposto parallelamente alla

direzione principale del moto. Una delle tecniche di ripresa, consiste nel regolare il tempo di apertura dell'otturatore del sistema di ripresa in modo tale che le particelle muovendosi con il fluido creino delle traiettorie sull'immagine. La lunghezza di ogni traiettoria è funzione della velocità di movimento [Malavasi 2002]. L'analisi numerica delle immagini così acquisite permette di ricavare il numero di particelle in movimento, il modulo e la direzione della loro velocità in un determinato istante temporale ed in un determinato volume di controllo definito dal volume illuminato che le rende visibili. L'apparato sperimentale

utilizzato (foto 3) è composto da un sistema d'illuminazione e da un apparato di ripresa di immagini. Il volume illuminato è stato ottenuto con una lampada alogena con potenza massima di 1500 W abbinata ad una fessura opportunamente posizionata con la quale si è ottenuto un fascio di luce con un angolo di apertura di circa 0.4° , trascurabile per il tipo di misure, e di spessore variabile da 1 a 5 cm. Per la messa a punto del sistema di ripresa, in un primo tempo, sono stati utilizzati una fotocamera analogica ed una webcam. Al fine di ottimizzare il contrasto delle particelle di neve che attraversano il fascio luminoso, le riprese sono state effettuate di notte ed è stato posizionato uno fondo nero dietro il volume di misura (Fig.3).

Le prove sperimentali per la messa a punto del sistema in sito, si sono svolte in località Stretta (SO) a quota 1874 m s.l.m., in Val Chiavenna, lungo la statale 36b che porta al P.sso Spluga. La campagna ha interessato la stagione invernale 2002/2003, dal mese di Dicembre 2002 al mese di Aprile 2003.

L'utilizzo dei due sistemi di ripresa ha comportato, per la fotocamera, la determinazione della miglior combinazione di obiettivo-diaframma-pellicola-tempo di esposizione. Quest'ultimo fortemente influenzato dalla velocità del vento. Tali scelte sono state effettuate attraverso valutazioni sia qualitative sia quantitative derivanti dalle elaborazioni delle immagini acquisite. Nelle foto 4a, b, c) a titolo di esempio sono riportate tre differenti acquisizioni effettuate con obiettivo da 50 mm f/1.8 e film 3200 ASA B/N rispettivamente con tempi di esposizione di 1/500, 1/125, 1/60 di secondo. Come evidenziano le immagini in foto 4, tempi di esposizione troppo lunghi in rapporto

Andamento temporale del trasporto e della velocità del vento relativi ad un filmato

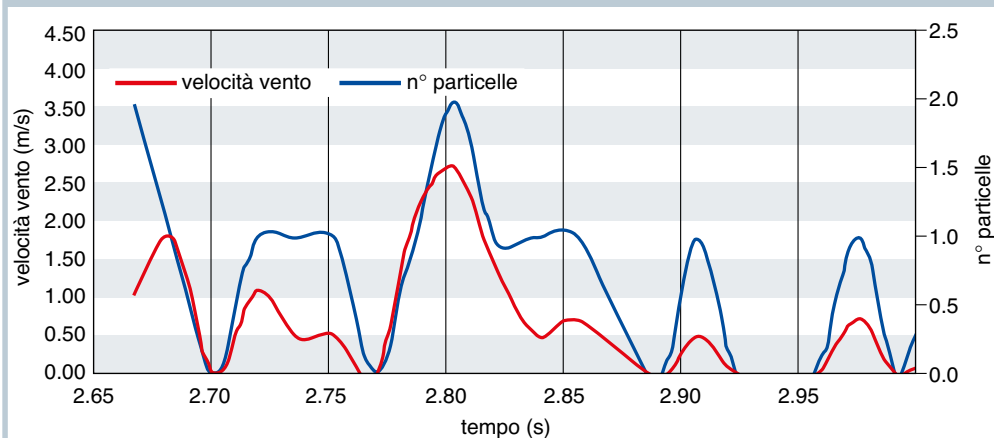
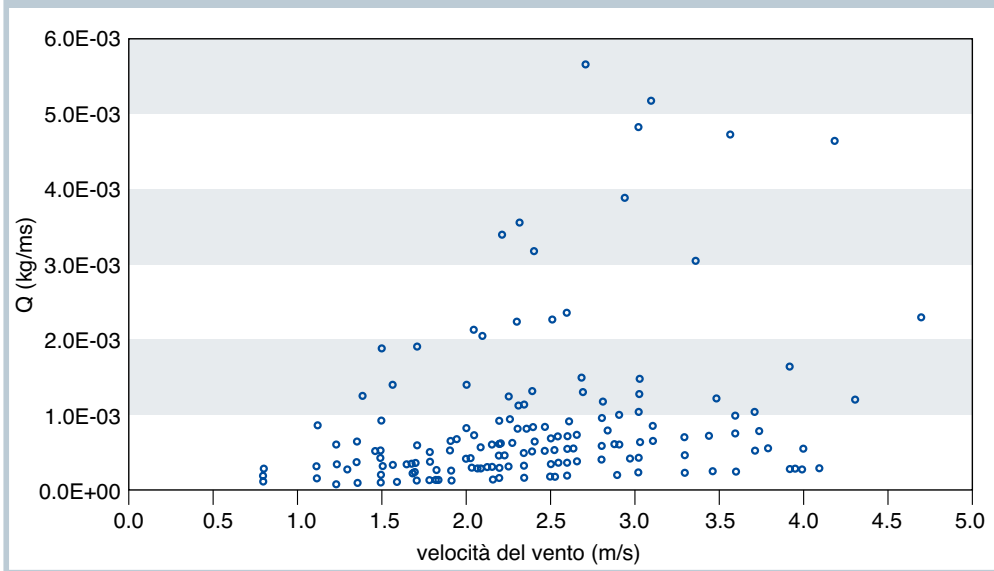


Fig. 5

Fig. 6

Dati di trasporto in funzione della velocità

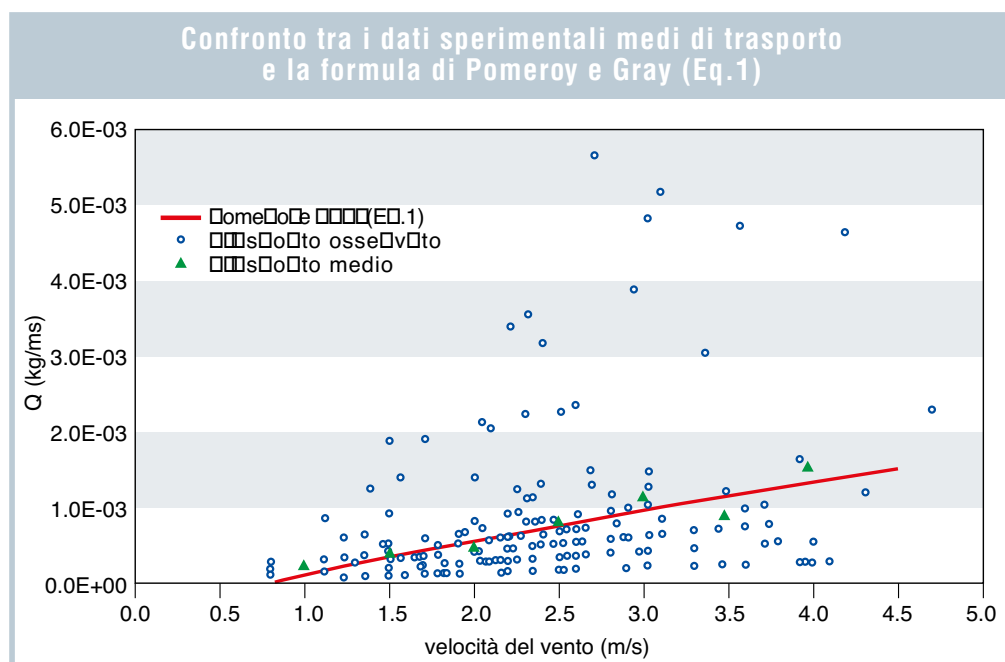
Entrambe le grandezze sono valori istantanei calcolati dalle immagini acquisite ($\rho=250 \text{ kg/m}^3$)



alla velocità media del vento danno luogo ad immagini confuse e difficilmente elaborabili dove le traiettorie delle particelle di neve risultano sovrapposte e quindi difficilmente distinguibili (foto 4b, c). Altri parametri da considerare, nella messa a punto del tempo d'esposizione, sono la distanza di ripresa ed il rapporto di scala tra le dimensioni reali e quelle riprese. Nel caso in esame, dove questa distanza è di circa 0.90 m, abbiamo adottato tempi d'esposizione di 1/500 s per velocità medie del vento di 5 m/s e tempi di 1/1000 s per velocità di 10 m/s.

Cambiando apparato di ripresa i parametri di acquisizione non cambiano, gli stessi tempi di ripresa sono stati quindi utilizzati anche per le acquisizioni tramite webcam. Quest'ultima, una ToUcam Pro PCVC740K della Philips, è stata scelta per la buona sensibilità del sensore che permette riprese anche con modesta intensità luminosa. La webcam è stata collegata tramite connessione USB2 ad un pc con processore da 480 MHz, 256 MB di RAM e 8 GB di memoria su disco fisso. Le riprese sono state effettuate con frequenze di acquisizione di 30 e 60 Hz. A 30 Hz la telecamera è in grado di acquisire con una risoluzione dell'intera immagine di 640x480 pixel; la risoluzione si dimezza raddoppiando la frequenza d'acquisizione.

La comparazione dei due sistemi di acquisizione ha permesso di fare alcune considerazioni sulla qualità delle riprese e sulla utilizzabilità dei due sistemi. La webcam permette di acquisire un numero decisamente superiore di immagini (frequenze 30 e/o 60 Hz) e di avere un riscontro immediato a video della qualità delle riprese. Per contro ha una risoluzione dell'immagine decisamente inferiore e lo svantag-



gio di richiedere l'utilizzo di un computer di supporto che, considerando le difficili condizioni di ripresa in sito, può essere un particolare non trascurabile.

L'analisi numerica delle immagini, che sarà dettagliata nel prossimo paragrafo, ha però messo in luce come la risoluzione dell'immagine non sia un grosso limite per il tipo d'elaborazioni da effettuarsi. La webcam è stata preferita alla fotocamera, considerando la praticità di poter verificare immediatamente la qualità delle immagini acquisite e la possibilità di acquisire immagini ad elevata frequenza.

ELABORAZIONE NUMERICA DELLE IMMAGINI

La messa a punto del sistema di misura ha richiesto il parallelo sviluppo di un software di elaborazione d'immagine per la misura dei parametri di modellazione del fenomeno. In particolare dalle immagini acquisite sono state determinate:

- la velocità del vento nella zona interessata del fenomeno di trasporto e
- la massa di neve trasportata nell'unità di tempo.

L'elaborazione delle immagini acquisite ha richiesto una fase di pre-processing dell'immagini prima della elaborazione (blob-analysis). Nel pre-processing, con tecniche di filtraggio d'immagine tipo Smooth e Sharpen, è stato attenuato il rumore di fondo ed esaltato il contorno degli oggetti ripresi, e, applicando un valore soglia (threshold), sono state binarizzate le immagini per agevolare la fase di blob-analysis.

Un esempio di immagine acquisita con la webcam è riportata in foto 5a, mentre in foto 5b è riportata la stessa immagine dopo l'applicazione delle procedure di filtraggio e di binarizzazione.

Sull'immagine binarizzata sono stati utilizzati algoritmi di blob-analysis per il riconoscimento delle particelle di neve trasportate dal vento che sulle immagini sono identificate dalle traiettorie. Ogni singola traiettoria è stata riconosciuta e misurata. Il processo di blob-analysis, infatti, identifica e misura le dimensioni delle porzioni d'immagine a luminosità diversa da zero. Per eliminare le porzioni d'immagine con luminosità diversa da zero non corrispondenti a

Fig. 7

Sensibilità della misura di trasporto al diametro medio delle particelle ($\rho=250 \text{ kg/m}^3$)

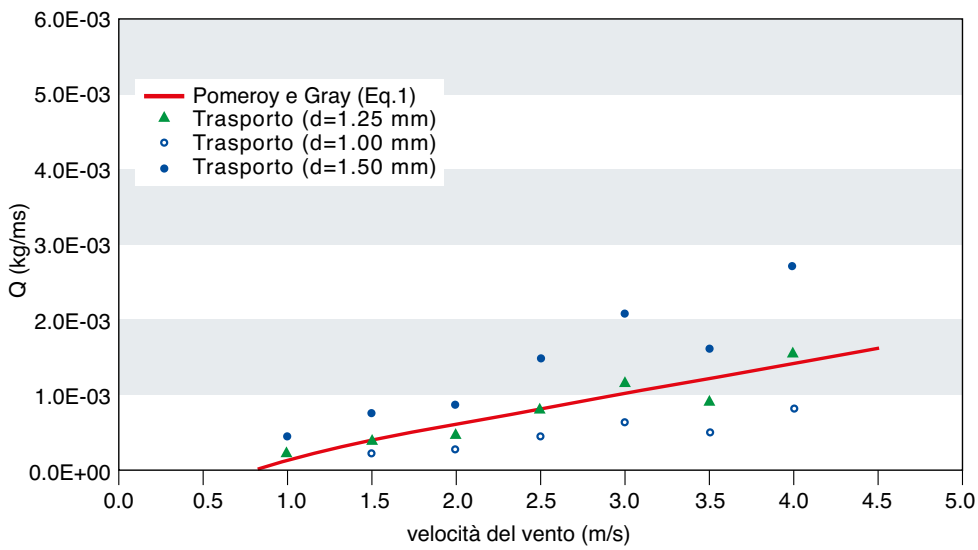


Fig. 8

Sensibilità della misura di trasporto alla densità media delle particelle ($d=1.25 \text{ mm}$)

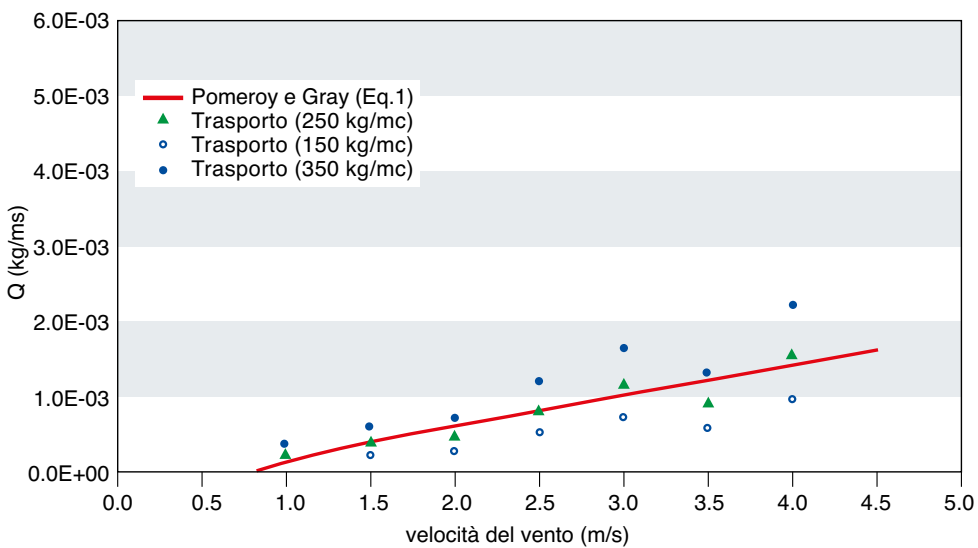


Fig. 9

traiettorie, a valle dell'algoritmo di blob-analysis, si è applicato un filtro passa banda alle dimensioni minime e massime accettabili per le traiettorie. Con questo filtro vengono scartati i blob troppo piccoli che sono solitamente dovuti al rumore di fondo non eliminato nella fase di pre-processing e i blob troppo grandi dovuti, nel nostro caso all'effetto di riverbero del manto nevoso, evidente nelle foto 5. Nella tabella di figura 2, sono riportati i valori di threshold e del filtro passa banda adottati nel-

l'elaborazione dei filmati acquisiti. Come si può notare, questi valori sono proporzionali ai parametri di acquisizione ed hanno una variabilità limitata; sono quindi determinabili con relativa semplicità. In Fig. 3 è riportato lo schema di una traiettoria ideale sulla quale sono evidenziati i parametri ricavati dall'analisi numerica dell'immagini dai quali si determinano lunghezza e orientamento di ogni traiettoria. Noto il tempo di esposizione della ripresa, dalla lunghezza di ogni traiettoria è stata ricavata la

velocità del vento, nell'ipotesi che le particelle di neve si muovano solidamente al vento, $V = S/\Delta t$, dove $S = [(Sx^2 + Sy^2)^{0.5} - d]$ è la lunghezza della generica traiettoria e Δt è il tempo di esposizione dell'immagine. La lunghezza della traiettoria, che sull'immagine è misurata in pixel, è funzione della risoluzione dell'immagine (pixel/cm). Quest'ultima è determinata ponendo un riferimento metrico nell'inquadratura dal quale si ricava la risoluzione.

La massa di neve trasportata è stata calcolata moltiplicando il numero di traiettorie presenti su ogni immagine per la massa media delle particelle trasportate. Quest'ultima è stata stimata considerando i valori sperimentali da Ishizaka (1993) riportati nel grafico di Fig.(4).

Nelle prove effettuate si è considerata una massa media $\rho=250 \text{ kg/m}^3$ corrispondente ad un diametro medio delle particelle $d=1.25 \text{ (mm)}$, determinato attraverso la ripresa di immagini di singole particelle di neve.

RISULTATI

Un primo significativo risultato di questo lavoro è rappresentato dalla Fig. 5 dove, in funzione del tempo sono riportati la velocità istantanea del vento e il numero di particelle movimentate.

Come qualitativamente verificato dalla visione dei filmati acquisiti, il grafico in Fig. 5 evidenzia la forte instabilità della velocità del vento nell'area di misura e la conseguente instabilità del fenomeno di trasporto, che nel grafico è rappresentato dal numero di particelle movimentate. Nonostante questa corrispondenza, si può notare come il numero di particelle trasportate non dipenda solamente dalla velocità del vento, infatti, la distanza tra le due curve non si mantiene costante ne propor-

zionale. Questo comportamento sembra attribuibile a fenomeni di accumulo e repentina dispersione delle particelle di neve sul manto nevoso, osservati durante lo svolgimento delle prove, e giustificabile dalla diversa capacità di trasporto del vento in fase di accelerazione e decelerazione [Naaïm-Bouvet et al. 2003]. La mancanza di stazionarietà del fenomeno provoca un'evidente dispersione di dati, se si riporta in grafico la portata di neve trasportata in funzione della velocità istantanea del vento (Fig.6). Considerando che i valori di trasporto possono ritenersi istantanei, perché calcolati su un intervallo temporale $\Delta t = 1/500 \div 1/1000$ s pari al tempo di esposizione dell'immagine, il trasporto medio confrontabile con le formule di letteratura si ottiene mediando tutti i dati acquisiti durante un tempo più o meno lungo e per intervalli di velocità. In Fig. 7, oltre ai valori istantanei di trasporto, sono riportati i valori medi (calcolati su un intervallo temporale di un'ora corrispondente al tempo in cui sono state effettuate le misure di trasporto ed intervalli di velocità

di 0.5 m/s) e la curva di Pomeroy e Gray (Eq.1) per una velocità di soglia $u_t^* = 0.8$ m/s dedotta in base ai minimi valori di trasporto misurati.

Come si può notare, la formula di Pomeroy e Gray (Fig. 1 Eq.1) è in ottimo accordo con i dati sperimentali rilevati pur non contenendo alcuna dipendenza dai valori ρ e d che caratterizzano le particelle trasportate. Interessante è infine osservare che variazioni del 20% del diametro medio delle particelle (Fig. 8) o del 40% sulla densità (Fig. 9) portano a contenute variazioni dei valori di trasporto aumentando così la robustezza del risultato che dipende anche dalla misura non sempre agevole di questi due parametri.

Considerando, inoltre, che all'aumento del diametro è associata di solito una diminuzione di densità e viceversa, le eventuali imprecisioni nella stima di questi due parametri tendono a compensarsi.

CONCLUSIONI

Il sistema di misura dello snowdrift, presentato in questo lavoro, anche se ancora in fase

sperimentale ha dato risultati molto interessanti. I primi test in campo si sono rivelati promettenti, sia per lo sviluppo del sistema sia per lo studio del fenomeno del trasporto eolico di neve.

La misura contemporanea ed istantanea della massa di neve trasportata e della velocità del vento che la alimenta permettono di raccogliere un'informazione dettagliata sul fenomeno che agevola l'interpretazione e aumenta il numero delle informazioni deducibili dalle misure.

Certamente per il momento vi sono evidenti limiti operativi per l'attuale utilizzo pratico del sistema quali la necessità di lavorare di notte e la necessità di orientare il sistema di misura secondo la principale direzione del vento. Ciononostante, il sistema proposto, anche in virtù del suo basso costo di realizzazione, ha significativi margini di sviluppo.

BIBLIOGRAFIA

- Bianchi A., Rossotti G., Sbarufatti C. (2003) "Misure di trasporto eolico di neve" Neve e Valanghe, Aprile 2003
- Malavasi S. (2002) "Caratteristiche del moto intorno ad un cilindro rettangolare soggetto ad un flusso asimmetrico", IN-VENTO-2002 7° Congresso Nazionale di Ingegneria del Vento, Milano, 16-18 settembre 2002
- Malavasi S., Franzetti S., Blois G. (2004) "PIV Investigation of Flow Around Submerged River Bridge" River Flow 2004, Napoli 23-25 giugno, (articolo accettato)
- Malavasi S., Radice A., Ballio F. (2004) "Study of sediment motion in a local scour hole through an image processing technique" River Flow 2004, Napoli 23-25 giugno, (articolo accettato)
- Naaïm-Bouvet F., Naaïm M., Michaux J.L. (2003) "Nozioni sul trasporto eolico: misure e modelli fisici" TRACE 03 Table Ronde Avalanche Control in Europe, Sestriere 28 Marzo
- Ishizaka M. (1993) "An accurate measurement of densities of snowflakes using 3D microphotographs" Annals of Glaciology 18
- Dorigatti M. (2001) "Snowdrift e valutazione di campo della stabilità del manto nevoso" tesi di laurea, Università degli Studi di Trento

