

DAVIDE FUGAZZA(*), ANTONELLA SENESE(*), ROBERTO SERGIO AZZONI(*),
CLAUDIO SMIRAGLIA(*), MASSIMO CERNUSCHI(**),
DAVIDE SEVERI(**) & GUGLIELMINA ADELE DIOLAIUTI(*)

HIGH-RESOLUTION MAPPING OF GLACIER SURFACE FEATURES. THE UAV SURVEY OF THE FORNI GLACIER (STELVIO NATIONAL PARK, ITALY)

ABSTRACT: D. FUGAZZA, A. SENESE, R.S. AZZONI, C. SMIRAGLIA, M. CERNUSCHI, D. SEVERI & G. A. DIOLAIUTI. *High resolution mapping of glacier surface features. The UAV survey of the Forni Glacier (Stelvio National Park, Italy)* (IT ISSN 0391-9838, 2015).

Fast, reliable and accurate methods for glacier mapping are necessary for understanding glacier dynamics and evolution and assessing their response to climate change. Conventional semi-automatic approaches are based on medium-resolution satellite images, but their use can cause significant loss of accuracy when analyzing small glaciers, which are predominant in the Alps. In this paper, we present a semi-automatic segmentation approach based on very high-resolution visible RGB images acquired from a UAV (Unmanned Aerial Vehicle) survey of the Forni Glacier, in the Italian Alps, using an off-the-shelf digital camera. The method has the ability to map large-scale morphological features, i.e. bare ice and medial moraines, with better accuracy than methods relying on medium-resolution satellite imagery, with only slight misclassification at the margins. By using segmentation, we also mapped small-scale morphologies not discernible on satellite images, including epiglacial lakes and snow patches, in a semi-automatic way. On a small portion of the eastern ablation tongue, featuring homogeneous illumination conditions, we also investigated in finer detail the occurrence of fine and sparse debris and tested a texture filter technique for mapping crevasses, which showed promising results. Our analyses confirm that the glacier is un-

dergoing intense dynamic processes, including darkening of the ablation tongue and increased surface instability, and show the potential of UAVs to revolutionize glaciological studies. We suggest that by using a combination of different payloads, mapping of glacier features via UAVs could reach high levels of accuracy and speed, making them useful tools for glacier inventories and geomorphological maps.

KEY WORDS: High resolution mapping, Remote sensing, UAV (Unmanned Aerial Vehicle), Alpine glaciers, Forni Glacier, Italy.

RIASSUNTO: D. FUGAZZA, A. SENESE, R.S. AZZONI, C. SMIRAGLIA, M. CERNUSCHI, D. SEVERI & G. A. DIOLAIUTI. *Cartografia ad alta risoluzione della superficie glaciale e delle sue forme. Il rilievo tramite drone del Ghiacciaio dei Forni (Parco Nazionale dello Stelvio, Italia)*. (IT ISSN 0391-9838, 2015).

La cartografia delle superfici glaciali richiede l'utilizzo di metodi veloci, precisi e affidabili, per meglio comprendere le dinamiche glaciali, i processi evolutivi e la risposta dei ghiacciai ai cambiamenti climatici. L'uso di approcci semi-automatici tradizionali, basato su immagini satellitari alle medie risoluzioni, può causare notevoli perdite di precisione nell'analisi di corpi glaciali di piccole dimensioni, che costituiscono la maggior parte del glacialismo alpino. In questo studio, presentiamo un nuovo approccio semi-automatico basato sulla segmentazione di immagini ad altissima risoluzione acquisite tramite fotocamera digitale durante un rilievo del Ghiacciaio dei Forni (Parco Nazionale dello Stelvio, Italia), effettuato con un drone (Aeromobile a Pilotaggio Remoto). Con questo metodo è stato possibile cartografare forme a grande scala, ovvero ghiaccio esposto e morene mediane, con maggiore precisione rispetto ai metodi basati su immagini satellitari a media risoluzione, nonostante alcuni trascurabili errori di classificazione ai margini del ghiacciaio. L'uso della segmentazione ha permesso anche la cartografia semi-automatica di forme a piccola scala, non visibili da immagini satellitari, inclusi laghi epiglaciali e nevai. Su una porzione ridotta della lingua d'ablazione orientale, caratterizzata da condizioni di illuminazione uniforme nelle immagini, abbiamo inoltre indagato con maggiore dettaglio la presenza di detrito fine e sparso e sperimentato un filtro d'immagine basato sulle *texture* per cartografare i crepacci, con risultati molto incoraggianti. Le analisi forniscono una conferma degli intensi processi dinamici a cui è sottoposto il ghiacciaio, come la sempre maggiore presenza di detrito sulla lingua d'ablazione e un incremento di instabilità superficiale, e dimostrano le potenzialità dei droni per innovare gli studi glaciologici. Attraverso la combinazione di diversi

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Milano.

(**) Agricola 2000 S.c.p.A., Milano.

(*) corresponding authors: davide.fugazza@yandex.com, guglielmina.diolaiuti@unimi.it

The research was performed under the umbrella of an agreement between the Università degli Studi di Milano and Sanpellegrino SpA brand Levissima. Moreover the Agricola 2000 S.c.p.A supported this study taking part with their UAV to the field investigations and also participating to the Lab analysis. The authors kindly acknowledge the Stelvio National Park managers and staff for their help and support. This work was also performed in the framework of the PRIN project 2010/2011 (2010AYKTAB_006), local leader C. Smiraglia. The results of this research also represent a contribution to the development of the updated guidelines of the New Italian Geomorphological Map under the umbrella of the AIGEO working group devoted to this issue.