

ESPERIENZE DI INTEGRAZIONE DI DATI LASERSCANNING AEREI ED IPERSPETTRALI PER LO STUDIO DEL MANTO NEVOSO

Alberto BEINAT^{*}, Franco COREN^{**}, Barbara FICO^{*}, Carla PIETRAPERTOSA^{***}, Guido PREARO^{*}

(*) Università di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, via Cottonificio 114 - 33100 UDINE
tel. 0432 558708, fax. 0432 558700, *email* alberto.beinat@uniud.it; barbara-fico@libero.it

(**) Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Gruppo di ricerca CARS, Borgo
Grotta Gigante 42/c 34010 TRIESTE, tel. 040 2140255, *email* fcoren@ogs.trieste.it

(***) CNR-IMAA Istituto di Metodologie per l'Analisi Ambientale, 85050 TITO SCALO, Potenza,
email pietra@imaa.cnr.it

Riassunto

Telerilevamento e scansione laser costituiscono strumenti comprovati per lo studio qualitativo e quantitativo del manto nevoso. L'articolo descrive un esperimento di impiego sinergico delle due tecnologie, nel quale la componente radiometrica ad alta risoluzione viene acquisita assieme a quella geometrica mediante l'utilizzo simultaneo di un sensore iperspettrale AISA Eagle[®] e di un laserscanner Optech ALTM 3100 montati su elicottero. L'area di studio riguarda la zona del Monte Canin, nelle Alpi Giulie Occidentali. I primi risultati dell'esperimento consentono di quantificare con precisione la copertura e l'altezza della neve al suolo, e di impostare una possibile mappatura di alcune sue caratteristiche fisiche di superficie.

Abstract

Remote sensing and laserscanning represent proven techniques to investigate the quality and the quantity of the snow cover. This paper deals with an experiment of synergic utilisation of the two technologies by which the radiometric component at high resolution, and the geometrical one, are acquired together by an AISA Eagle[®] hyperspectral, and an Optech ALTM 3030 laserscanner mounted on helicopter. The study area is located in the Mount Canin, in the Western Julian Alps (Italy). The first results of the performed experiment let to precisely quantify the snow cover and height distribution, and to set up a mapping of some surface physical characteristics of the snow.

1. Introduzione

La caratterizzazione della copertura nevosa di un'area, la relativa stima quantitativa, unitamente ai tempi di permanenza al suolo, risultano fattori di notevole importanza per la conduzione di studi di dissesto idrogeologico e previsione frane, per la ricarica delle falde d'acqua dolce, per dare indicazioni sul disagio ambientale ed agricolo, per studi sulle relazioni con le superfici forestali e per fini turistici e ricreativi. Il potenziale applicativo del tele-rilevamento in questo campo risiede nella possibilità data dall'integrazione con nuovi sensori, in primo luogo con il laser a scansione, e dalla possibilità di giungere ad un impiego integrato delle diverse tecnologie. Il tutto grazie ad una elevata accuratezza nella geo-codifica dei *dataset* provenienti dai diversi sensori. Nel campo specifico, le meta-informazioni provenienti dai sensori iperspettrali permettono infatti di giungere ad una possibile classificazione del manto nevoso sulla base delle sue caratteristiche di riflettanza intrinsecamente correlate a quelle di natura chimico-fisica.

Il presente lavoro si basa sull'analisi di dati laserscanning ed iperspettrali, rilevati da elicottero nell'area del Monte Canin, nelle Alpi Giulie Occidentali, al termine di uno dei periodi di maggiore intensità nevosa dell'anno 2005. Tali dati, tra loro integrati, hanno permesso di elaborare una prima mappatura ad elevata risoluzione della copertura nevosa, consentendo di quantificare in dettaglio l'altezza della neve al suolo, e di identificare le principali aree di accumulo.

3. Rilievi iperspettrali, LiDAR e misure in situ

3.1. I dati iperspettrali

La campagna di rilievi iperspettrali sul Monte Canin è stata effettuata il 6 aprile 2005, in condizioni di buona visibilità atmosferica. I dati sono stati acquisiti utilizzando il sensore iperspettrale AISA Eagle 1k montato su elicottero (Figura 1). Si tratta di un sistema a scansione di tipo *pushbroom*,



Figura 1: Il sensore iperspettrale AISA Eagle 1k

costituito da un sensore iperspettrale operante nell'intervallo spettrale visibile - vicino infrarosso (ovvero da 400 nm a circa 1000 nm), dotato di una fibra ottica per la misura del *downwelling irradiance* (*Fiber Optic Downwelling Irradiance System* - FODIS), interfacciato ad un sensore GPS/INS Applanix, e collegato con un'unità di acquisizione dati implementata su personal computer. Tra i dati caratteristici del sensore vi sono inoltre: lunghezza focale di 18.451 mm, numero di pixel spaziali pari a 1024 (compresi i pixel per il FODIS), *Field of View* – FOW di 36.7°, campionamento spettrale/pixel di 2.3 nm

Il sensore può essere configurato per acquisire una qualsiasi combinazione di bande utilizzando il software di acquisizione; i valori di *downwelling irradiance* sono acquisiti nella stessa configurazione di bande in cui opera il sensore. La configurazione utilizzata per questa campagna ha impiegato 69 bande spettrali, distribuite nell'intervallo spettrale da 400 nm a 980 nm. L'altezza di volo ha permesso una risoluzione a terra di un metro. La calibrazione del FODIS insieme con i dati acquisiti dal sensore ha permesso il calcolo della riflettanza apparente alla piattaforma.

3.2 I rilievi laserscanning

I dati laserscanning sono stati acquisiti mediante un sistema Optech ALTM 3100 montato sullo stesso elicottero. Tra le principali caratteristiche di tale sensore vi è la possibilità di operare a una frequenza di scansione fino a 100 kHz, per altezze fino a 1100 metri rispetto al suolo, e quella di registrare fino a quattro ritorni per ogni impulso inviato. La precisione planimetrica nominale è pari a 1/2000 (1σ) dell'altezza di volo, mentre quella altimetrica è migliore di 15 cm (1σ), per altezze di volo inferiori a 1.2 km. Per gli scopi del presente lavoro, l'area del Monte Canin è stata rilevata due volte: in aprile, in occasione delle riprese iperspettrali già citate, e nel mese di settembre 2005, in condizioni di totale assenza di neve al suolo, al fine di consentire la produzione del DTM. I punti complessivamente campionati nei due rilievi sono risultati oltre 120 milioni, con una densità variabile, per ogni scansione, tra 1.5 e 3 punti a metro quadrato.

3.3 I rilievi nivologici

Per consentire una validazione dei rilievi da aeromobile e delle elaborazioni, sono state effettuate 13 misure *in situ*, georeferenziate mediante GPS, da parte degli osservatori nivologici della Direzione Centrale Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia. Operando secondo la metodologia classica (prova penetrometrica e analisi stratigrafica), sono stati rilevati parametri quali spessore dei diversi strati, contenuto in acqua, forma e dimensione dei grani, resistenza alla penetrazione, densità e temperatura della neve (Figura 2 e Tabella 1).



Figura 2: Rilievi nivologici in prossimità di Sella Ursic – Monte Canin (Per gentile concessione della Direzione Centrale Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna della Regione FVG).

Punto di rilievo	Spessore	Pendenza	Caratteristiche
001	90 cm	32°	Cristallo in superficie 6a, 6b. Dimensione 3 mm. Durezza dito. Crosta non portante, si sprofonda di circa 10 cm con gli scarponi.
002	190-200 cm	20°	Cristallo in superficie 6a dimensione 1,5 – 2 mm con presenza di chiazze di ghiaccio (Firn Spiegel). Durezza matita. Si sprofonda circa 5-10 cm con gli scarponi.
003	240 cm	5°	Cristallo 6a composto anche da brina di superficie fusa. Dimensione 3 mm. Durezza 4 dita. Si sprofonda con gli scarponi circa 10 cm. Subito ai margini di una zona di neve più scura.
003A	240 cm	5°	Il sito è immediatamente adiacente al 003 pertanto con le stesse caratteristiche dello stesso. In superficie presenta neve più scura composta da una crosta superficiale di cristallo 6b 6c. Dimensione 2-3 mm con una leggera brina in superficie ormai in fusione. La crosta è portante.
004	200 cm	0 (in piano)	Cristallo in superficie 6°. Dimensione 2 mm composto anche da brina di superficie in fusione, pertanto spigoloso. Con gli scarponi si sprofonda di circa 5-10 cm.

Figura 2: Parametri nivologici rilevati in prossimità di Sella Ursic; osservazioni analoghe sono state effettuate a Sella Prevala, area del Monte Canin (*Per gentile concessione della Direzione Centrale Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna della Regione FVG*).

4. Elaborazione dati

Il rilievo iperspettrale è articolato su 8 immagini che coprono l'intera zona del Monte Canin. Innanzitutto, è stata effettuata la correzione radiometrica per trasformare i dati *raw* in riflettanza apparente a livello del sensore. Successivamente è avvenuta la georettifica, effettuata mediante il software Parametric Geocoding (Schläpfer, 2005) che prevede in input i dati di traiettoria dell'aeromobile (*SBET*) ed il modello digitale del terreno, derivato in questo caso direttamente dai dati LiDAR, con una risoluzione equivalente a quella delle immagini iperspettrali.

Nel processo di interpretazione dei dati è stata utilizzata la riflettanza apparente al sensore. Grazie alle buone condizioni di visibilità e soprattutto all'assenza di nubi non si è posta la necessità di discriminare tra neve e nubi, problema frequente nel telerilevamento da satellite.

La caratteristica radiometrica della neve di riflettere maggiormente nel visibile che nel vicino infrarosso ha permesso di distinguerla da altre superfici. La prima analisi effettuata è stato pertanto il calcolo dell'indice normalizzato di copertura della neve *NDSI* (*Normalized Difference Snow Index*) (Dozier, 1989; Dozier et al., 2004). L'indice è stato calcolato utilizzando le bande centrate sulle lunghezze d'onda 670 nm e 805 nm:

$$NDSI = \frac{CH_{(670nm)} - CH_{(805nm)}}{CH_{(670nm)} + CH_{(805nm)}}$$

L'indice consente di discriminare i pixel di copertura nevosa da quelli del suolo scoperto, confermando quanto riportato in letteratura (Dozier e Painter, 2004). In Figura 3 è riportata l'immagine *true color* RGB acquisita dal sensore, in Figura 4 è riportata la mappatura dell'indice *NDSI*, riferita alla stessa immagine: i valori chiari sono relativi alle aree coperte dal manto nevoso mentre le aree più scure rappresentano il suolo libero da neve. Mettendo in relazione le due immagini, è stato possibile definire un indice di soglia locale in grado di discriminare la presenza o meno di neve al suolo. Un'altra indagine in corso, grazie ai dati dei rilievi nivologici in situ, riguarda la possibilità di caratterizzare la copertura nevosa sulla base delle dimensioni dei grani di neve in superficie. Tale parametro determina l'albedo spettrale della neve nelle lunghezze d'onda del vicino infrarosso. In letteratura si osserva solitamente che la risposta spettrale della neve decresce con la crescita della grandezza del grano (Dozier et al., 2003). Le prime elaborazioni mostrano per il Monte Canin una correlazione significativa, ma inversa. Si sta indagando sulle ragioni di tale esito atipico.

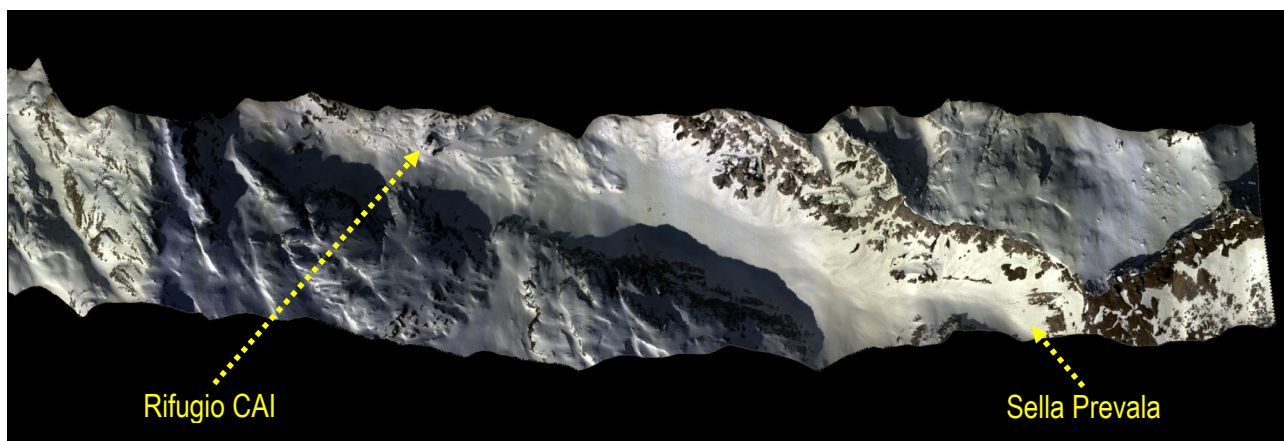


Figura 3: Immagine *true color* RGB acquisita dal sensore.

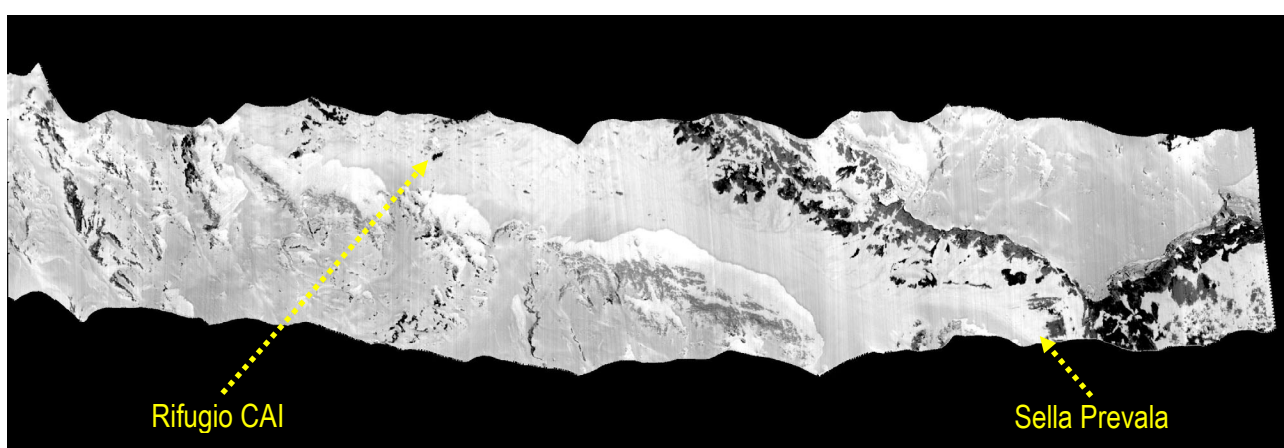


Figura 4: Mappa dell'indice normalizzato di copertura della neve NDSI: i valori chiari sono relativi alle aree coperte dal manto nevoso mentre le aree più scure rappresentano il suolo libero da neve

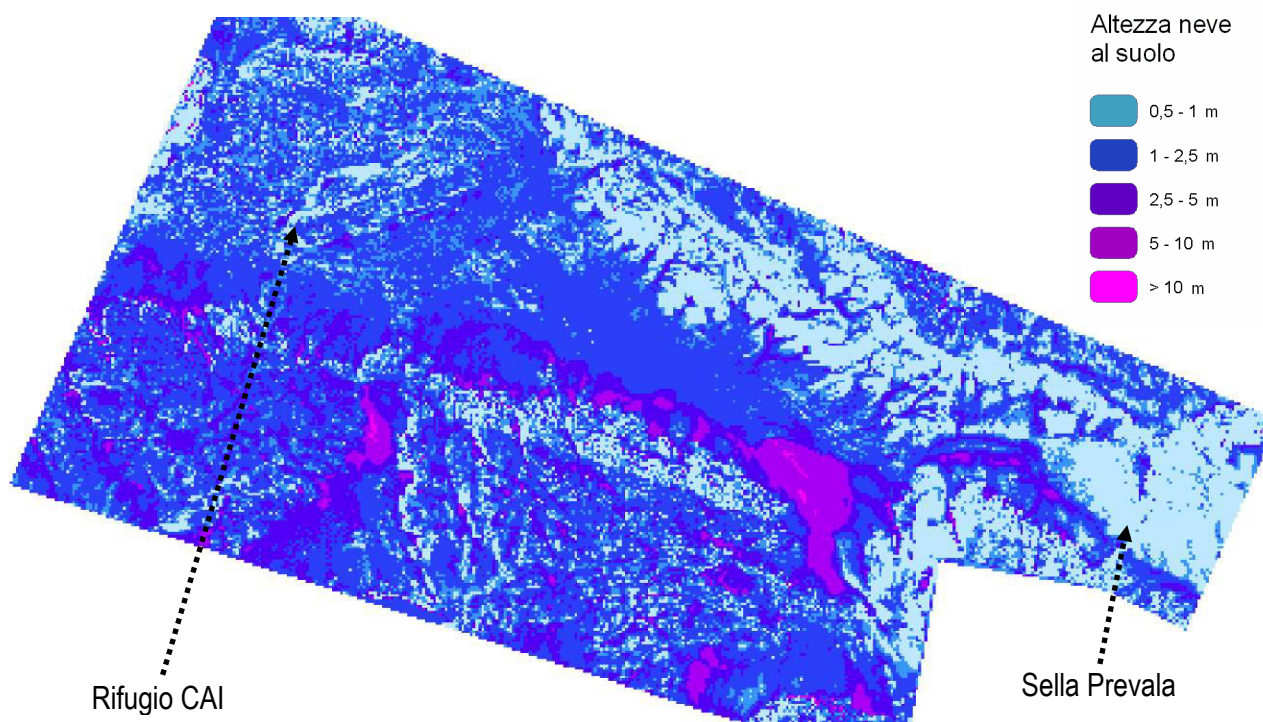


Figura 5: Particolare della mappa raster dell'altezza della neve al suolo nell'area di Conca Prevala. Sono evidenti i notevoli depositi di neve, particolarmente sul versante nord del Monte Forato.

L'elaborazione dei dati LiDAR è stata condotta sulle scansioni con neve al suolo (aprile 2005), e con totale assenza della stessa (settembre 2005). A causa delle caratteristiche morfologiche dell'area, contraddistinte dalla presenza di brusche variazioni legate alla presenza di massi, creste, picchi e pareti rocciose, ma anche di vegetazione, l'estrazione del DTM ha richiesto un significativo lavoro manuale. Gli algoritmi automatici implementati nei software, molto efficaci in condizioni di andamento regolare del terreno, se impiegati su DSM LiDAR di aree di montagna, tendono letteralmente a spianare ogni singolarità morfologica, producendo un sistematico arrotondamento di cime e di creste. Nel caso specifico quindi, dato che nell'area di studio gli elementi da filtrare dal rilievo LiDAR consistevano in alcune strutture antropiche e in una limitata fascia di vegetazione disposta ai margini settentrionali, si è assunto direttamente il DSM quale DTM, depurandolo localmente e selettivamente, con procedura manuale, dagli elementi estranei accennati.

Lo stesso trattamento è stato attuato sul DSM della copertura nevosa. A rigore, dato che il fine era quello di valutare l'altezza di neve al suolo, si sarebbero potuti confrontare direttamente i corrispondenti DSM non filtrati. Nelle aree ricoperte da vegetazione, la casualità con cui sono campionati punti appartenenti al terreno e alle chiome, porta però a DSM localmente dissimili e a conseguenti stime distorte.

L'altezza delle neve è stata immediatamente ricavata per differenza tra le quote del DSM_{LiDAR} e del DTM_{LiDAR} . I risultati delle elaborazioni – la Figura 5 ne riporta un dettaglio in corrispondenza della zona di Conca Prevala, occupata parzialmente da impianti per lo sci e interessata da progetti di ampliamento – sono in buon accordo con l'esperienza comune. Sono evidenti le aree scariche e quelle di accumulo in corrispondenza dei solchi e alla base dei canali, particolarmente quelli che scendono dal Monte Forato (Figura 5: Area a destra) e da Cima Gilberti (Figura 5: Area a sinistra).

Per come è definito geometricamente, tale valore risente sensibilmente della pendenza del terreno. Per risalire ai corrispondenti spessori di neve al suolo, più significativi ai fini nivologici, è necessaria una successiva elaborazione, basata sul DTM, che consente di proiettare l'altezza della neve lungo la normale locale al terreno ($Spessore = Altezza \times \coseno \text{ angolo inclinazione terreno}$).

5. Considerazioni metodologiche

Accanto ai risultati, l'esperimento rende evidenti alcuni dei benefici che si possono trarre dall'uso integrato di iperspettrale e laserscanning nelle applicazioni nivologiche, e non solo. Per prima cosa, il laserscanner consente di rilevare la geometria del terreno e di fornire un DSM aggiornato e di alta definizione necessario per la ortorettifica delle immagini solide iperspettrali. Il filtraggio e la classificazione dei dati LiDAR permettono inoltre di sopperire ad alcuni problemi dell'iperspettrale, ad esempio, la possibilità di delimitare le aree di vegetazione quando le fronde degli alberi sono ricoperte di neve. Nel contempo l'iperspettrale fornisce al laserscanner una serie di parametri che in prospettiva possono permettere di accelerare e rendere più affidabile la classificazione automatica degli oggetti, oggi basata prevalentemente sull'utilizzo di informazioni geometriche. Nel presente lavoro, un esempio di informazione aggiuntiva per la classificazione LiDAR è l'indice NDSI, che consente di discriminare tra superfici innevate e non. In prospettiva è illimitato il numero di indici analoghi derivabili per le varie superfici e i materiali costituenti. Riferendoci ad esempio agli algoritmi di filtraggio del terreno, è evidente come nel meccanismo di calcolo ritornerebbe utile sapere se il punto del DSM LiDAR che si sta elaborando, abbia la firma spettrale della roccia, della vegetazione, dell'asfalto o del suolo.

5. Conclusioni

Il presente lavoro illustra le possibilità offerte dall'integrazione dei dati LiDAR, in grado di fornire una vasta mole di informazioni geometriche, e dei dati derivanti da sensori iperspettrali, capaci di offrire a loro volta numerose informazioni di tipo qualitativo circa le caratteristiche e la natura della materia al suolo. Con riferimento all'esperienze svolte, la sinergia fra i due sistemi ha permesso di quantificare e qualificare con notevole risoluzione e precisione lo stato della copertura nevosa di un'intera area montana, consentendo una più ampia estensione spaziale del rilievo e minori condizioni

di rischio rispetto a misure effettuate in situ. L'elaborazione dei dati è tuttora in corso e prevede ulteriori analisi, ispirate e supportate dalla consistente bibliografia (ad es. gruppo di lavoro EnviSnow), anche impiegando la sola riflettività misurata dal LiDAR (Lutz et al., 2003).

Un ulteriore obiettivo della ricerca riguarda la mappatura di alcune caratteristiche superficiali del manto nevoso (dimensione grani, contenuto d'acqua, densità ...) sulla base della risposta iperspettrale. L'interesse in particolare è rivolto alla possibilità di correlare tali proprietà ad alcuni parametri fisico-meccanici della neve, utili per la valutazione della riserva idrica, della stabilità del manto nevoso e del rischio da valanga (Valt e Cagnati, 2005).

Bibliografia

- Coren, F., Sterzai, P., 2005. "Radiometric correction in laser scanning". In: *International Journal of Remote Sensing*, (in stampa).
- Dozier J. (1989), "Spectral Signature of Alpine Snow Cover from Landsat Thematic Mapper", *Remote Sensing of Environment*, 28, pp. 9-22
- Dozier J., Painter T. H. (2004), "Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing of Alpine Snow Properties", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 32, pp. 465-494
- Eskelinen M., Pulliainen J., Regner P. (2005) "Evaluation of the performance of MERIS spectrometer data in snow cover monitoring in the boreal forest belt", *MERIS (A)ATSR Workshop 2005 (ESA SP-597)*, ESRIN, Frascati, CDROM, p. 60.1
- Girardino C., Brivio P.A., Sgavetti M. (2001), "Correzione atmosferica dei dati MIVIS", *Rivista Italiana di Telerilevamento* – Settembre 2000/Gennaio 2001, 20/21.
- Lutz E., Geist Th., Stötter J. (2003) "Investigations of Airborne Laser Scanning Signal Intensity on Glacial Surfaces – Utilizing Comprehensive Laser Geometry Modelling and Orthophoto Surface Modelling (A Case Study: Svartisenbreen, Norway)," *Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXIV (3/W13), pp. 143-148.
- Malcher P., Rott H., (2004) "Methods for snow area retrievals in Alpine regions by means of optical satellite sensors", *EnviSnow project, Report D1-WP1 Part 1*, pp. 1-31
- Metsämäki S., Anttila S., Eskelinen M., (2005) "Snow Covered Area Algorithm in Boreal Forest", *EnviSnow project, Report D2-WP1*, pp. 1-38
- Painter T. H., Dozier J., Roberts D. A., Davis R. E., Green R. O. (2003), "Retrieval of subpixel snow-covered area and grain size from imaging spectrometer data", *Remote Sensing of Environment*, 85, pp. 64-77
- Schläpfer D., (2005), *Parametric Geocoding, PARGE User Guide*, Version 2.2, ReSe Applications Schläpfer & RS Laboratories University of Zurich, PDF/CDROM edition, Wil SG, pp. 1-166.
- Solberg R., Jostein A. (2005) "Optical fractional snow cover area algorithm for mountainous regions", *EnviSnow project, Report D1-WP1 Part 2*, pp. 1-34
- Valt M., Cagnati A. (2005) "Stima della densità della neve conoscendo la forma dei grani e la durezza", *Neve e Valanghe*, 55, pp. 40-45
- Warren S.G. (1982), "Optical properties of snow", *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20(1), pp. 2-52.

Ringraziamenti

I dati iperspettrali sono proprietà dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale – OGS di Trieste.

I rilievi nivologici sono stati messi a disposizione da parte della Direzione Centrale Risorse Agricole, Naturali, Forestali e Montagna della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Il presente lavoro di ricerca si svolge nell'ambito delle attività previste dal progetto EU INTERREG IIIA Phare/CBC Italia-Slovenia "Ricomposizione della cartografia catastale e integrazione della cartografia tecnica regionale numerica per i sistemi informativi territoriali degli enti locali mediante sperimentazione di nuove tecnologie di rilevamento" svolto dall'Università di Udine (<http://geomatica.uniud.it>) in collaborazione con il Geodetski Inštitut Slovenije di Lubiana.