

Copertura nevosa nella provincia del Verbano-Cusio-Ossola: analisi automatizzata di una serie storica MODIS

Danilo Godone (*), Gianluca Filippa (**), Silvia Terzago (***), Michele Freppaz (**),
Simona Fratianni (***), Gabriele Garnero (*), Enrico Rivella (****),
Alessio Salandin (****), Secondo Barbero (****)

(*) Università di Torino, DEIAFA, Via L. Da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO), danilo.godone@unito.it

(**) Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari,
Via L. Da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)

(***) Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino
(****) ARPA Piemonte, Via Pio VII 9, 10135 Torino

Riassunto

L'elevata riflettività combinata con l'elevata copertura superficiale rendono la neve una componente essenziale del bilancio radiativo del pianeta.

Il telerilevamento satellitare consente, sfruttandone le caratteristiche, di misurarne la copertura.

MODIS è il sensore attualmente utilizzato per la misurazione della copertura nevosa: le osservazioni generano mappe giornaliere di copertura nevosa con risoluzione di 500 metri.

Nella presente sperimentazione, sono state impiegate 506 scene nell'intervallo temporale 2000-2010 per analizzare la copertura nevosa nella Provincia del Verbano-Cusio-Ossola: i dati sono stati oggetto di riclassificazione per ottimizzarne il contenuto informativo in funzione delle esigenze del progetto.

La riclassificazione ha l'obiettivo di fornire una quantificazione dei pixel caratterizzati da copertura nevosa e valutarne la superficie in funzione del tempo: i raster così riclassificati sono stati aggregati in tabelle recanti in colonna l'istante temporale di acquisizione del dato e in riga l'ID del pixel; è stata inoltre inserita, in un'apposita colonna, la quota del pixel estratta dal modello altimetrico digitale opportunamente ricampionato alla medesima risoluzione delle scene MODIS.

La procedura descritta è stata implementata in ambiente Visual Basic, dove è stato possibile automatizzarne lo svolgimento in modo da processare, in ogni fase della sequenza, tutti i dati. Al termine della procedura sono state generate delle tabelle di sintesi, suddivise nei singoli anni di osservazione; dalle informazioni contenute nelle singole tabelle è stato quindi possibile elaborare, sfruttando le potenzialità del linguaggio R, delle rappresentazioni grafiche e cartografiche della permanenza della neve al suolo significativa per il territorio oggetto di studio.

I dati ottenuti da tali elaborazioni sono stati validati mediante il confronto con i dati ottenuti dai nivometri presenti nel territorio della Provincia, in particolare confrontando la data della scomparsa del manto nevoso valutato secondo i 2 approcci (MODIS e nivometri).

Abstract

The snow is an essential component of the radiation balance of the planet due to its high reflectivity combined with the high surface coverage. The remote sensing allows, by exploiting snow physical features, to measure its coverage. MODIS sensor is currently used for the measurement of snow cover: the observations generate daily snow cover maps with a resolution of 500 meters. In our experiments, we used 506 scenes (2000 - 2010) to analyze the snow cover dynamics in the Verbano - Cusio - Ossola Province: the data have been reclassified in order to optimize the information content to the needs of the project. The reclassification has the objective to provide a quantification of pixels characterized by snow cover and to evaluate the surface in term of time: reclassified raster

have been aggregated into tables containing, in columns, the time of acquisition of each scene and in rows the ID and values of pixels, their elevation, extracted from digital elevation model, resampled at the same resolution of MODIS scenes, has also been included in a separate column. The procedure was implemented in Visual Basic environment, where every step of the sequence has been automated, allowing the processing of the whole dataset. At the end of the procedure summary tables were generated, subdivided into individual years of observation, table data have been then processed, exploiting the potential of the R language, by generating graphic representations and maps of snow cover concerning the study area. The data obtained from these calculations were validated by comparison with data obtained from snow sensor located in the Province, in particular by comparing the snowpack melt-out date evaluated according to the 2 approaches - MODIS and snow sensors.

Introduzione

L'elevata riflettività della neve, combinata con l'elevata copertura superficiale (durante la stagione invernale dell'emisfero settentrionale la neve può arrivare a coprire oltre il 40% della superficie globale), rendono la neve una componente essenziale del bilancio radiativo del pianeta (Godone, 2008).

L'albedo è la quantità di radiazione riflessa rispetto alla radiazione solare; la neve può assumere valori di albedo molto elevati, tra l'80% e il 40%, rispettivamente in caso di neve fresca o trasformata e/o sporca (Paudel and Anderson, 2011; Bates et al, 2008; Barry et al, 2007).

Il telerilevamento satellitare consente di sfruttare le caratteristiche della neve per misurarne la copertura, in quanto l'elevata albedo determina un elevato contrasto rispetto alle altre superfici (ad eccezione delle nuvole).

MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) è il sensore attualmente utilizzato per la misurazione della copertura nevosa: è montato su due satelliti (*Terra* e *Aqua*) nell'ambito dell'EOS (*Earth Observing System*), ed è caratterizzato da 36 bande spettrali comprese nell'intervallo 0.4 μm - 14.4 μm . (Hall and Riggs, 2007; Hall et al, 2002; Riggs et al, 1999). Le osservazioni del sensore MODIS generano mappe giornaliere di copertura nevosa con risoluzione di 500*500 m.

Nell'ambito del progetto sono state impiegate 506 scene provenienti dal sensore per analizzare la copertura nevosa nell'area di studio, la Provincia del Verbano-Cusio-Ossola (Piemonte).

Considerata la mole di informazioni a disposizione, si è proceduto alla definizione di una procedura automatizzata che consentisse di ottimizzare le fasi di analisi (Godone et al, 2011). I dati sono stati forniti nel formato di scambio ASCII (.ASC), importabile in quasi tutti i software di analisi d'immagine e GIS, nel caso specifico ArcGis 9.x.

La prima fase è stata quindi la generazione di files raster in formato proprietario (ESRI GRID) per consentire l'input nei *tools* di processamento e analisi.

I dati così trasformati sono stati oggetto di riclassificazione per ottimizzarne il contenuto informativo in funzione delle esigenze del progetto: come illustrato nella tabella seguente (Tabella 1), si è proceduto a ridurre le classi di attributo del pixel da 11 a 3. Tale riclassificazione ha l'obiettivo di fornire una quantificazione dei pixels caratterizzati da copertura nevosa (Code = 1) e quindi valutarne la superficie in funzione del tempo.

I raster così riclassificati sono stati aggregati in tabelle recanti in colonna l'istante temporale di acquisizione del dato e in riga la coordinata del centro del pixel, è stata inoltre associata la quota del pixel estratta dal modello altimetrico digitale opportunamente ricampionato alla medesima risoluzione delle scene MODIS (500 metri).

La procedura descritta è stata quindi implementata in ambiente *Visual Basic*, adattando il codice Python (ESRI, 2009) dei *tools* descritti in precedenza, per cui è stato possibile automatizzarne lo svolgimento in modo da processare, in ogni fase della sequenza, tutti i dati.

Integer Value	Meaning	Code
255	Fill Data--no data expected for pixel	3
254	Saturated MODIS sensor detector	3
200	Snow	1
100	Snow-Covered Lake Ice	1
50	Cloud Obscured	3
39	Ocean	2
37	Inland Water	2
25	Land--no snow detected	2
11	Darkness, terminator or polar	3
1	No Decision	3
0	Sensor Data Missing	3

Tabella 1. Classi di attributo dei singoli pixel.

Considerata la mole di dati disponibili, la tabella complessiva non è stata generata per limiti intrinseci ai *tools* di processamento, e sono state quindi generate, sempre in modalità automatica, le tabelle suddivise nei singoli anni di osservazione; dalle tabelle sono state quindi effettuate delle elaborazioni e visualizzazioni dei periodi caratterizzati da copertura nevosa nell'area di studio. Dalle informazioni contenute nelle singole tabelle è stato quindi possibile elaborare delle rappresentazioni cartografiche della permanenza della neve al suolo significativa per il territorio della Provincia del Verbano-Cusio-Ossola; si è quindi proceduto al conteggio delle settimane caratterizzate da copertura nevosa memorizzando i valori in formato raster (Figura 1).

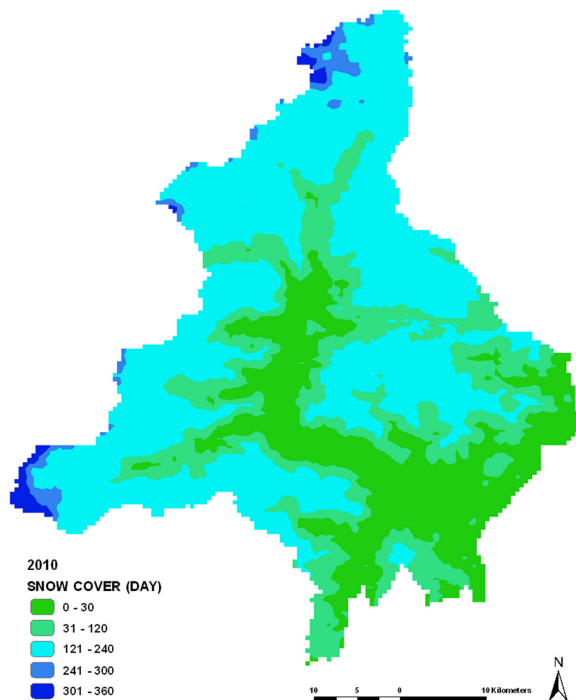


Figura 1. Rappresentazione della durata della copertura nevosa (anno 2010).

Nivometri

La misura puntuale della copertura nevosa viene effettuata da sensori integrati nelle stazioni nivo-meteorologiche appartenenti alla rete di monitoraggio di ARPA Piemonte; i dati registrati dalle stazioni strumentali sono stati paragonati con quelli ottenuti dalle elaborazioni precedentemente descritte relativi alle immagini MODIS.

Le stazioni nivo-meteorologiche acquisiscono ad intervalli di 30 minuti i dati di altezza della neve al suolo e di temperatura dell'aria, oltre ad altri parametri che variano da sito a sito che possono essere la velocità e direzione del vento, l'umidità dell'aria, la radiazione solare e la temperatura della neve. L'altezza della neve al suolo, in particolare, è misurata da un sensore a ultrasuoni montato su palo.

Le nove stazioni (Alpe Cheggio, Alpe Devero, Alpe Veglia, Formazza, Lago delle Locce, Larecchio, Macugnaga Pecetto, Macugnaga Rifugio Zamboni, Passo del Moro) impiegate nelle elaborazioni sono disposte in un intervallo di quota che varia dai 1820 ai 2820 m. I dati complessivi sono memorizzati in 96 dataset annuali, considerando la copertura temporale tra il 2000 e il 2010 e che una stazione (Macugnaga Rifugio Zamboni) ha iniziato la sua attività solo nel 2003.

Le registrazioni dei sensori, ai fini dei futuri processamenti, sono state processate allo scopo di ottenere una misura giornaliera rappresentata dal valore mediano; con l'impiego dell'ambiente di sviluppo R (*R Development Core Team*, 2010) si è quindi proceduto a determinare la data di scomparsa della neve, per ogni anno di indagine e per ogni stazione. Quando la data non era univocamente identificabile a causa di successive precipitazioni, è stata definita in corrispondenza della totale scomparsa della neve dopo l'ultima nevicata con persistenza al suolo superiore a 8 giorni (risoluzione temporale del MODIS). In meno del 10% dei casi (8 su 96) i dati non sono stati utilizzabili per malfunzionamento del sensore nella stagione di fusione del manto nevoso.

I dati in situ e quelli provenienti dalle elaborazioni MODIS sono stati confrontati in funzione della data di scomparsa del manto nevoso, con l'obiettivo di valutare l'affidabilità del dato MODIS.

La data è stata valutata estraendo, in corrispondenza delle coordinate delle stazioni, i dati delle scene con la medesima procedura impiegata in precedenza, in particolare sfruttando la funzionalità dell'ultimo strumento di elaborazione del software "Modis VBA 2.0".

Risultati e Discussione

MODIS

L'intero dataset MODIS è stato processato automaticamente dal software "Modis VBA 2.0": ogni singolo raster è stato convertito nel formato ESRI GRID, riclassificato secondo la Tabella 1 e ogni cella è stata estratta in funzione delle coordinate delle celle del modello digitale del terreno. Il risultato finale è costituito da 10 tabelle, per ogni anno di osservazione considerato, contenenti i valori delle celle, parametri morfologici (pendenza, esposizione e quota) e le coordinate delle celle, con l'obiettivo di rappresentare le variabili in ambiente GIS.

Ogni tabella è stata impiegata per rappresentare l'andamento della copertura nevosa, in ogni anno, espressa come percentuale della superficie dell'area di studio. Successivamente si è proceduto al confronto con i dati delle stazioni.

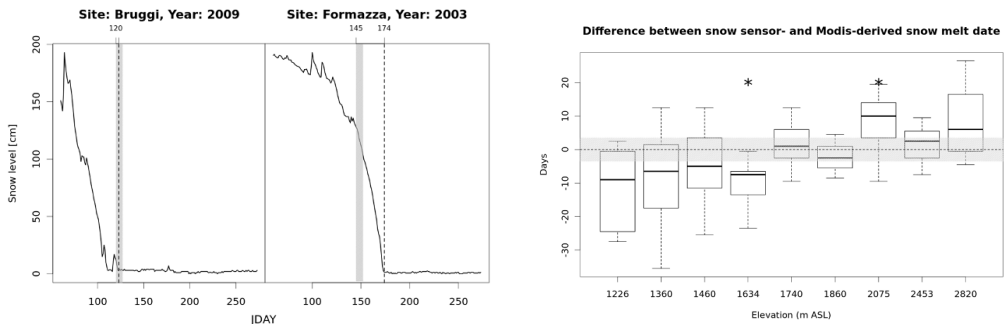


Figura 2. A sinistra: corrispondenza tra dati MODIS (banda grigia) e delle stazioni nivo-meteorologiche (linea tratteggiata): esempio di buona (sinistra) e scarsa (destra) corrispondenza. A destra: box-plot illustranti gli scarti tra nivometri e MODIS, raggruppati per stazione e disposti in ordine crescente di quota. * = mediane significativamente differenti da 0.

Nivometri e comparazione dei risultati

La data di scomparsa della neve risulta, secondo i nivometri, in un intervallo compreso tra il 13 marzo e il 2 agosto, con una data media corrispondente al giorno 11 maggio. Tale variabilità è spiegabile dall'influenza dell'elevata variabilità interannuale e dalla differente quota delle stazioni impiegate nell'analisi.

Il confronto tra le date di scomparsa del manto nevoso, determinate dalle due metodologie, ha portato a risultati molto differenti, con discordanze che variano da 7 a 30 giorni nel caso peggiore.

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** è illustrata un'analisi complessiva degli scarti nella determinazione della data di scomparsa del manto nevoso tra MODIS e nivometri in funzione della quota delle stazioni nivo-meteorologiche: la massima discrepanza, come già anticipato, si aggira intorno ai 30 giorni.

Il 38% dei dati si colloca nell'intervallo di scarti di ± 10 giorni.

C'è una relazione debole ($r = 0.33$) ma significativa ($p < 0.01$) tra gli scarti e la quota, il che evidenzia come a quote più basse il MODIS tenda a sovrastimare la misura, mentre a quote più elevate si osserva un comportamento contrario. Questo fenomeno può essere spiegato dall'aumento della complessità morfologica e dei fattori di disturbo al crescere della quota. Siti a quota più elevata sono infatti di solito maggiormente interessati dall'erosione eolica, che influisce negativamente sulla persistenza del manto nevoso se paragonata a stazioni collocate in aree meno esposte. L'analisi non parametrica della varianza mostra che solo due delle nove stazioni sono caratterizzate da una sotto- o sovra-stima significativamente differente da zero (come mostrato dagli * in Figura 2), a sottolineare la buona corrispondenza tra MODIS e nivometri.

Inoltre, l'intervallo di confidenza al 99% calcolato su tutti gli scarti ($n = 88$) è pari a -1.6 ± 4.1 giorni, indicando che il livello di incertezza ricade nella risoluzione temporale del MODIS.

Conclusioni

La complessa morfologia delle aree montane rende difficile descrivere la variabilità spaziale della copertura nevosa e valutare i suoi effetti sull'ecologia delle zone interessate, come la composizione specifica della vegetazione e l'evoluzione del suolo (Hiller et al, 2005, Freppaz et al, 2010). Tali considerazioni incoraggiano ulteriori sviluppi nello studio comparato delle dinamiche della copertura nevosa.

Le due procedure indipendenti hanno fornito risultati paragonabili; lo studio ha evidenziato la notevole influenza della quota sulle dinamiche della copertura nevosa con siti a quote più elevate caratterizzati da una copertura nevosa più persistente.

L'impiego di linguaggi di programmazione, in sinergia con il GIS, ha permesso di sfruttare appieno l'intero dataset, ottimizzando il processamento ed ha fornito risultati incoraggianti per il prosieguo della ricerca.

Bibliografia

- Paudel K.P., Anderson P., (2011) Monitoring snow cover variability in an agropastoral area in the Trans Himalayan region of Nepal using MODIS data with improved cloud removal methodology. *Remote Sensing of Environment* 115, pp. 1234–1246
- Freppaz M.; Filippa G.; Caimi A.; Buffa G., Zanini E. (2010) Soil and plant characteristics in the alpine tundra (NW Italy), in B. Gutierrez and C. Pena Eds, *Tundras: Vegetation, Wildlife and Climate Trends*, Nova Publishers, Hauppauge, NY, pp. 81- 110.
- Godone D., Filippa G., Terzago S., Rivella E., Salandin A., Barbero S., Garnero G., Freppaz M., (2011) Snow Cover Extent and Duration in MODIS Time Series: A Comparison with in-situ Measurements (Provincia Verbano Cusio Ossola, NW Italy), *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL PROTECTION* (ISSN:2224-7777) , pp. 7- 11, Vol. 1.
- R Development Core Team (2010) R: A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria.
- ESRI, (2009). ArcGIS Desktop Help: Release 9.2. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, www.esri.com (accessed 05 Oct. 2010)
- Bates B., Kundzewicz Z. W., Wu, S. Palutikof J. P., (2008) Climate change and water. *Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC Secretariat.
- Godone, D. (2008). Cryosphere dynamics monitoring by innovative geomatic methodologies. *PhD Thesis*, Turin University.
- Barry R.G., Armstrong R., Callaghan T., Cherry J., Gearheard S., Nolin A., Russell D., Zöckler C., (2007) Snow. In: UNEP/GRID (Editor), *Global outlook for ice & snow*. United Nations Environment Programme, Arendal, pp. 39 - 62.
- Hall D.K., Riggs G.A., (2007): Accuracy assessment of the MODIS snow-cover products, *Hydrological Processes*, 21(12):1534-1547.
- Hiller H., Nuebelt N., Brollt G., Holtmeiert F., (2005) Snowbedson Silicate Rocks in the Upper Engadine (Central Alps, Switzerland) - Pedogenesis and Interactions among Soil, Vegetation, and Snow Cover. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 37 (4): 465-476.
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., Di Girolamo N.E., Bayr K.A., (2002): MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83:181-194.
- Riggs, G., Hall D.K., Ackerman S.A., (1999) Sea ice extent and classification with the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Airborne Simulator (MAS), *Remote Sensing of Environment*, 68(2), pp. 152-163.
- Terzago S., Cremonini R., Cassardo C., Fratianni S. (2012) Analysis of snow precipitation during the period 2000-09 and evaluation of a MSG/SEVIRI snow cover algorithm in SW Italian Alps, *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria* 35, pp. 91- 99.