

Monitoraggio del manto nevoso in aree alpine con dati MODIS multi-temporali e modelli idrologici

Philipp Rastner (*), Luca Irsara (*), Thomas Schellenberger (*), Stefano Della Chiesa (**),
Giacomo Bertoldi (**), Stefano Endrizzi (***), Claudia Notarnicola (*), Marc Zebisch (*)

(1) Institute of Applied Remote Sensing, EURAC research, Bolzano – Italy,
tel +39 0471 055 374, e-mail: philipp.rastner@eurac.edu

(2) Institute of Alpine Environment, EURAC research, Bolzano – Italy,

(3) Hydrology Dept. Norwegian Water Resources and Energy Directorate, Oslo - Norway

Abstract

La determinazione della copertura nevosa riveste un ruolo chiave in idrologia, per le previsioni meteorologiche e nei modelli climatologici in ambienti montani. Per la loro copertura sinottica spaziale e temporale, i dati satellitari offrono un mezzo di sicuro interesse per il monitoraggio del manto nevoso. In questo studio, le mappe di copertura nevosa derivati da un algoritmo sviluppato appositamente per le regioni alpine vengono confrontate con le analoghe mappe del prodotto standard MODIS MOD10. La validazione dell'algoritmo viene anche effettuata tramite un confronto con la copertura nevosa derivate da immagini LANDSAT e con i rilievi a terra di alcune stazioni. Le mappe di copertura nevosa sono anche stati correlate con alcune simulazioni ottenute da un modello idrologico GEOTop, con il duplice scopo di validare le simulazioni modellistiche ed individuare una possibile strategia per l'assimilazione delle mappe delle neve da dati satellitari nel modello idrologico.

KEYWORDS: MODIS, manto nevoso, serie temporali, modello idrologico, cambiamenti climatici.

Introduzione

Negli ultimi anni, abbondanti nevicate si sono alternate con periodi siccitosi, sulle Alpi, dando luogo ad eventi valanghivi significativi oppure periodi di magre primaverili ed estive. Un anno particolare è stato sicuramente il 2003, caratterizzato da un inverno povero di neve ed alte temperature che hanno provocato l'abbassamento del livello dei laghi e dei fiumi ed uno scioglimento accelerato dei ghiacciai anche a quote normalmente immuni da questi fenomeni. Alcune di queste considerazioni anche in riferimento alla evoluzione stagionale ed inter-annuale del manto nevoso, possono essere seguite con gli strumenti propri del telerilevamento.

In questo contesto, grazie alla sua alta frequenza temporale, il sensore NASA MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) è utile per molte applicazioni globali e regionali legate all'evoluzione del manto nevoso. Tuttavia, per analisi regionali, i prodotti MODIS standard non sempre sono soddisfacenti. Per esempio il prodotto MOD10, a causa della sua risoluzione spaziale bassa (500m), mostra limitazioni soprattutto in zone montuose.

Questo lavoro presenta un confronto di tre differenti algoritmi per il monitoraggio del manto nevoso su aree alpine. Il prodotto NASA standard MOD10 è confrontato con i risultati di un nuovo algoritmo per la mappatura nevosa (Tampellini et al, 2005) con risoluzione superiore (250 m), ed inoltre, con le mappe derivanti da un algoritmo applicato a immagini LANDSAT.

Il periodo a cui si riferisce l'analisi è proprio quello dell'inverno 2002-2003, anno caratterizzato da scarse precipitazioni nevose e alte temperature. Infine, i risultati vengono confrontati con il modello idrologico GEOTop per il bacino idrografico della Val Mazia in Val Venosta, Alto Adige. Questo ulteriore confronto ha lo scopo di individuare possibili sinergie fra dati satellitari e modelli idrologici.

ci per una validazione del modello stesso e successivi assimilazione delle mappe della neve nel modello.

Area di studio e dati satellitari

Lo studio è stato effettuato nell'area occidentale dell'Alto Adige, Italia settentrionale, considerando una superficie totale di 4115 km². Le varie mappe di copertura nevosa sono state confrontate per i seguenti giorni: 10 dicembre 2002, 28 Febbraio 2003, 16 marzo 2003 e 1 aprile 2003 in modo da coprire sia l'inizio della stagione invernale che il periodo di scioglimento delle nevi. I dati MODIS (Terra e Aqua) standard sono stati scaricati dal sito WIST

(<https://wist.echo.nasa.gov/~wist/api/imswelcome/>), mentre le immagini LANDSAT dal sito web GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Metodologia

La seguente sezione contiene una breve descrizione degli vari algoritmi utilizzati per il calcolo della copertura nevosa.

Per i prodotti standard, i dati della NASA MOD10 che hanno una risoluzione di 500m, sono stati semplicemente riproiettati in UTM 32 N – WGS84.

L'algoritmo adattato per produrre mappe nevose da immagini MODIS a 250 m (Tampellini et al. 2005) richiede come dati di input:

- MODIS MOD09GQ e MOD09GA ossia dati di riflettanza corretta per il contributo atmosferico;
- MODIS MOD021KM, utilizzati per l'identificazione della copertura nuvolosa.

Le fasi di elaborazione comprendono la georeferenziazione in UTM WGS 84 e la correzione topografica con l'utilizzo del modello digitale del terreno (DEM, *Digital Elevation Model*). L'individuazione delle classi avviene tramite l'uso di un classificatore a soglie, impostando valori che sono ottimizzati per tenere in considerazione la variabilità tipica delle aree alpine. Una parte del classificatore è anche dedicato alla rilevazione della neve sotto le foreste ottenuta confrontando gli indici NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) fra un'immagine invernale e un'immagine estiva usata come riferimento (Klein et al., 1998). Il vantaggio principale di questo algoritmo rispetto allo standard MODIS MOD10 è l'utilizzo esclusivo della banda 1 e 2 con conseguente maggiore risoluzione del prodotto finale (250 m). Al fine di ridurre i problemi legati alla presenza delle nubi, e la presenza di "no data" dovuti all'angolo di incidenza del sensore e alla topografia, nelle stesse date, le mappe della neve sono anche state calcolate come combinazione delle mappe derivate da MODIS Terra e Aqua.

Per quanto riguarda l'algoritmo basato su immagini LANDSAT, vengono derivati inizialmente gli indici NDSI (*Normalized Difference Snow Index*) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). La fase iniziale dell'algoritmo prevede la determinazione di alcune condizioni che verranno successivamente integrate in un albero decisionale finale. Per la temperatura di brillanza si pone una soglia di 283 K, per individuare la presenza delle neve. La maschera delle nuvole viene ottenuta sulla base dell'algoritmo ACCA (*Automated Cloud Cover Assessment*) come descritto in Irish et al., 2000. Per la maschera della neve si è seguito l'approccio proposto Hall et al., 1987 e Kaushal et al., 2004, imponendo un valore di NDSI > 0.40 e di NIR > 0.11 (*Near Infrared*). Le zone di ombra vengono individuate dalla conoscenza della mappa di irradiazione solare che dipende dalla posizione relativa fra il sensore ed il sole al momento dell'acquisizione dell'immagine. Per tali aree d'ombra, diverse soglie per l'identificazione della neve sono state individuate su base statistica (temperatura < 270 K, 0.85 < NDSI < 1.0 e riflettanza nella banda del verde > 0.1). I risultati così ottenuti sono inseriti in un classificatore a soglie che determina come risultato finale 3 classi principali: neve, no neve, nuvole e *no data*.

Risultati

Un esempio dei prodotti calcolati è presentato in fig. 1, dove sono riportati le mappe di copertura nevosa relative al giorno 16.03.2003 per l'algoritmo standard MOD10 indicato con NASA e l'algoritmo adattato per le regioni alpine denominato CGS. In fig. 2, sono riportate le mappe con l'algoritmo adattato per i dati MODIS Terra ed Aqua, la loro combinazione e la mappa derivante dal dato LANDSAT.

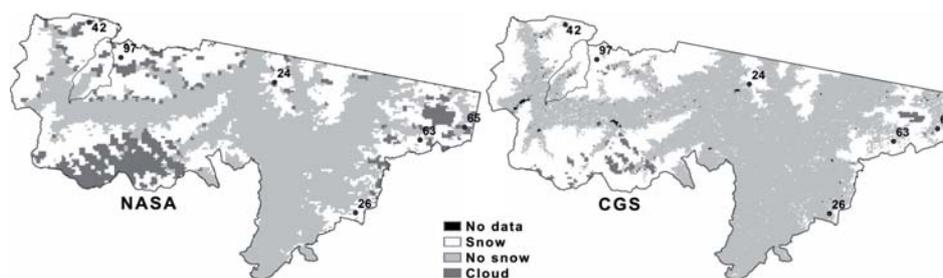


Figure 1 - Confronto delle mappe della neve per il prodotto MOD10 e il prodotto CGS per la data del 16 marzo 2003. In entrambe le immagini, i punti indicano l'altezza della neve per ogni stazione di neve ottenuta dai dati forniti dalla provincia autonoma di Bolzano.

I risultati dei diversi algoritmi per la determinazione della copertura nevosa vengono successivamente confrontati quantitativamente sulla base di un approccio statistico. In tale approccio viene definita una griglia, solitamente con la risoluzione che corrisponde a quella più bassa, in questo caso 500 m, e per ogni pixel di tale griglia vengono individuati i pixel delle diverse classi ottenute con i diversi algoritmi. I risultati del confronto sono illustrati in fig.3 per le tre date considerate rispettivamente per la classe “neve” e “nuvole”. In questo confronto, il dato Landsat è sempre posto al 100% perchè è stato preso come riferimento.

L'analisi mostra un buon accordo tra i tre metodi. Per il 10 dicembre, il disaccordo principale è dovuta alla presenza di ombre che non consente di avere una classificazione corretta, con un numero elevato di “no data”. In altre date, la differenza principale fra le diverse mappe è dovuta alla copertura nuvolosa imputabile anche ai diversi tempi di acquisizione. Le immagini LANDSAT sono state riprese intorno alle 09.53 del mattino per il *frame* utilizzato, mentre le immagini MODIS dalle 10:20 fino alle 12:05 alle latitudini dell'area di interesse. La differenza fra l'algoritmo NASA e CGS, che prendono in ingresso gli stessi dati, è dovuto al fatto che l'algoritmo NASA è concepito per funzionare a livello globale, mentre l'algoritmo CGS è viene adattato alle condizioni delle Alpi anche per la copertura nuvolosa. Per la classe “nuvole”, grazie al diverso tempo di acquisizione (MODIS Terra acquisisce in mattinata – discendente mentre MODIS Aqua in pomeriggio - ascendente), le zone coperture da nubi risultano notevolmente ridotte nel prodotto combinato Terra e Aqua (fig. 3). Tale combinazione aumenta chiaramente l'area di mappatura di neve.

Un successivo confronto è stato effettuato con i dati derivanti da alcune stazioni fisse di misura della neve. I risultati sono indicati in fig.5. Il migliore accordo si trova per le immagini LANDSAT, dove è stato anche più facile individuare la posizione della stazione a causa dell'alta risoluzione. Per l'algoritmo della NASA e CGS, il disaccordo in alcune stazioni è dovuta principalmente nella dimensione dei pixel, che a volte impedisce un posizionamento corretto della stazione di acquisizione al suolo.

Confronto fra serie temporale ottenuta con i dati MODIS e il modello GEOTop

In questo contributo le mappe di copertura nevosa fornite da MODIS sono confrontate con le mappe prodotte dal modello idrologico GEOTop (Rigon et al., 2006).

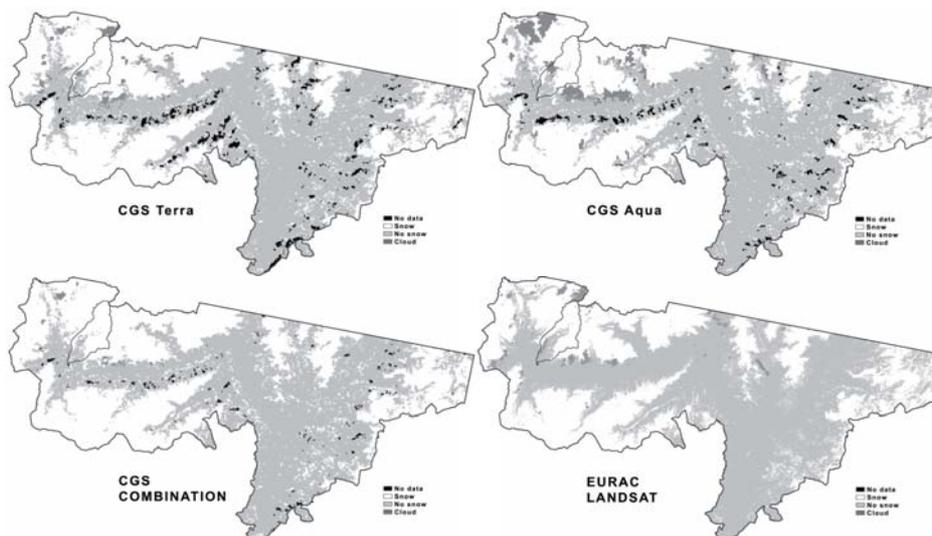


Figure 2 - Confronto delle mappe della neve per il prodotto CGS derivato per Terra ed Aqua, la loro combinazione e il prodotto derivato da LANDSAT per la data del 28 febbraio 2003.

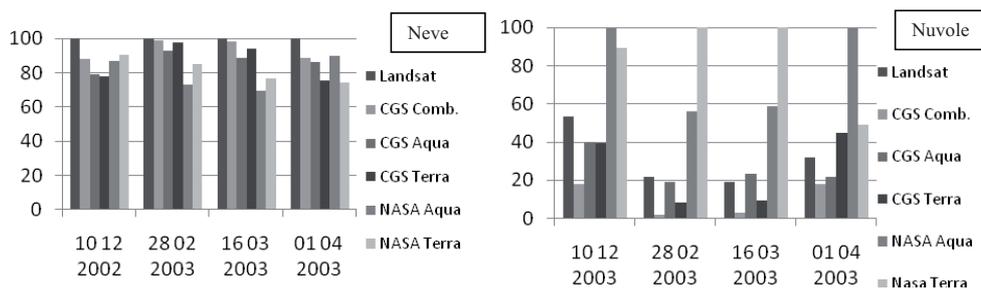


Figure 3 - Confronto statistico per le classi "neve" e "nuvole" nei diversi algoritmi per le 4 date analizzate.

Il modello risolve il bilancio idrico ed energetico al suolo in maniera distribuita all'interno di un bacino idrografico. In particolare GEOtop è in grado di riprodurre adeguatamente sia a scala puntuale che a scala di bacino l'evoluzione della copertura della neve in aree montane (Zanotti et al., 2004). Le principali variabili in uscita al del modello sono: (i) temperatura della superficie del suolo, (ii) calore sensibile e latente, (iii) deflusso superficiale e sub-superficiale e (iv) copertura ed equivalente in acqua del manto nevoso (*multi-layer*) (Endrizzi, 2009).

Il modello è stato utilizzato con dati orari di precipitazione, vento, temperatura, umidità e radiazione solare a partire da ottobre 2002 fino a maggio 2003, con risoluzione delle mappe di 60 metri. Si sono considerati i dati meteo delle stazioni di Mazia 1500 m s.l.m. e Glorenza 1000m s.l.m., interpolando dati delle stazioni circostanti per minimizzare eventuali dati mancanti. Il gradiente verticale di temperatura è stato calcolato a scala oraria interpolando stazioni circostanti di alta quota al fine di determinare in modo più accurato la linea dello zero termico.

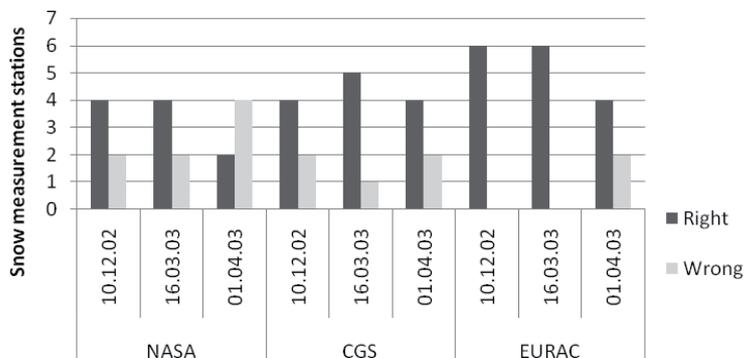


Figure 4 - Confronto fra i risultati delle mappe della neve per le immagini LANDSAT e MODIS e i dati di alcune stazioni di acquisizione a terra. Con il termine "right" si intendono dove le osservazioni del satellite e della stazione coincidono, con "wrong" dove forniscono risultati diversi.

In fig. 5, è confrontata la percentuale di area coperta da neve ottenuta con l'algoritmo CGS dai dati MODIS Terra e dalle simulazioni del modello GEOTop sul bacino della Val Mazzia. È possibile osservare che all'inizio della stagione nevosa viene correttamente individuato da entrambi i metodi, un evento consistente (03.11.2002) il quale interessa quasi tutta la Val Mazzia. Tuttavia, tra la metà di novembre fino agli inizi di febbraio il modello mostra una copertura della neve maggiore, probabilmente dovuta dal fatto che il modello simula correttamente la neve sotto la foresta, mentre MODIS tende a classificare la foresta come priva di neve. Al contrario, in primavera, il modello determina uno scioglimento del manto nevoso accelerato rispetto a quanto rilevato con il dato MODIS. Le oscillazioni del dato MODIS nel periodo di massima copertura nevosa sono dovute alla presenza di copertura nuvolosa come indicato dalla linea corrispondente.

Conclusioni e sviluppi futuri

Uno dei principali obiettivi di questo lavoro è quello di confrontare la copertura della neve derivate da diversi algoritmi sviluppati per le zone alpine, con il prodotto standard MODIS MOD10. Il confronto indica che l'alta risoluzione di MODIS CGS (250 m) e LANDSAT (30 m) è un vantaggio nelle zone alpine, in particolare per il monitoraggio durante la fase dello scioglimento. Le principali differenze tra questi algoritmi si hanno in relazione alla copertura nuvolosa e nelle aree di transizione dove il manto nevoso si mescola con copertura forestale. Un modo per ridurre l'impatto sia della copertura nuvolosa e che degli effetti topografici è quello di combinare le mappe della neve derivante dai dati MODIS Terra ed Aqua. Per quanto riguarda il confronto con i dati del modello GEOTop, MODIS evidenzia una consistente sottostima dell'estensione del manto nevoso da parte del modello. La perdita di alcuni e rilevanti eventi di precipitazione e la relativa sottostima in zone di alta quota sono dovute principalmente ad una scarsa rete di monitoraggio, comportando rilevanti ripercussioni per lo studio delle dinamiche idrologiche in aree montane, in quanto l'innnevamento di alta quota influenza consistentemente il bilancio idrico. In questo contesto, le mappe di copertura ottenute da dati telerilevati risultano così essere un potente strumento per contribuire a risolvere questi problemi attraverso lo sviluppo di tecniche di "data assimilation". Dall'altro lato, i dati del modello possono essere utilizzati per valutare la presenza della neve sotto le foreste che risulta di difficile stima con i dati ottici sia ad alta che a media risoluzione. Nell'ambito delle attività future, si prevede di utilizzare le mappe di copertura nevosa per costruire una serie temporale su tutto l'archivio di dati disponibili MODIS al fine di monitorare le variazioni della copertura nevosa sull'arco alpino e correlarla a possibili fenomeni di cambiamenti climatici.

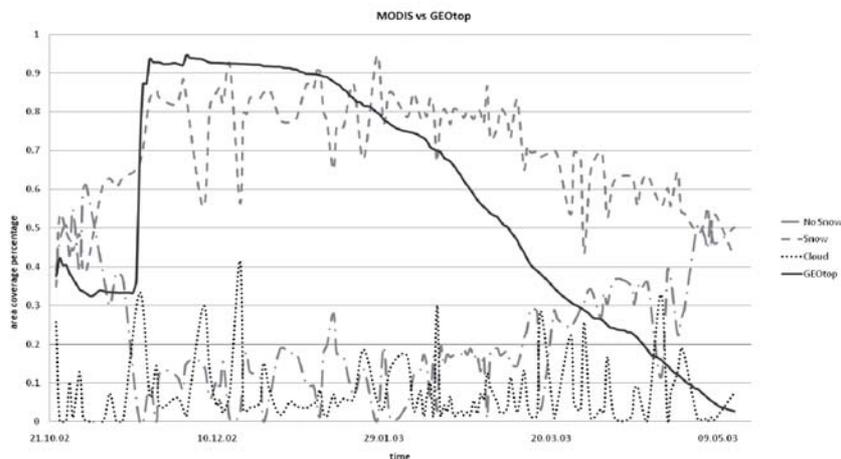


Figure 5- Confronto per il periodo 2002-2003 fra la copertura nevosa stimata dal modello GEOTop e quella ottenuta con i dati MODIS Terra e l' algoritmo CGS. I dati sono stati calcolati sul bacino della Val Mazzia (Alto Adige).

Riferimenti bibliografici

- Endrizzi, S., (2009). *Snow cover modelling at a local and distributed scale over complex terrain*. Department of Civil and Environmental Engineering, Università degli Studi di Trento, Trento, Italy. Monographs of the doctoral school in environmental engineering 15.
- Hall, D.K., Ormsby J.P., Bindchadler, R.A. and Siddalingaiah,H., (1987). "Characterization of snow and ice reflectance zones on glaciers using Landsat Thematic Mapper data", *Ann. Glaciology*, 9, 1-5.
- Irish, R. R., (2000). "Landsat 7 Automatic Cloud Cover Assessment". Electronic document: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/pdfs/ACCA_SPIE_paper.pdf.
- Kaushal, A., Singh, Y.K., Pal, D.J. and Mathur, P., (2004). "Snow class stratification and snow line monitoring of a glacier in north Himalayas using Advanced Remote Sensing Techniques", *International Symposium on Snow Monitoring & Avalanches*, Manali, April 2004.
- Klein, A.G., Hall, D.K and Riggs, G.A., (1998)." Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model", *Hydrological Processes*, 12, 1723-1744.
- Rigon, R., Bertoldi, G. and Over, T. M., (2006). "GEOTop: a distributed hydrological model with coupled water and energy budgets", *Journal of Hydrometeorology*, 7, 371-388.
- Tampellini, L., Eikvil, L., Malnes, E., Ober, G., Power, D., Strozzi, T., Vescovi, F.D. and Vincent, T., (2005): "EO-Hydro: Earth Observation Data for hydropower plant management". *Proceedings of ISRSE 2005*, San Petersburg.
- Zanotti, F., Endrizzi, S., Bertoldi, G. and Rigon, R., (2004)." The GEOTop snow module", *Hydrological Processes*, 18, 3667-3679. DOI:10.1002/hyp.5794.