

STIMA ED ANALISI DELLE COPERTURE NIVALI SULLA CATENA ALPINA UTILIZZANDO SATELLITI A MEDIA RISOLUZIONE

Francesca SAPIO^(*), Francesco ROTA NODARI^(*), Michela BIAGGI^(*)

^(*)RSDE, Via Washington, 78, 20146 Milano, Tel: 02 48007912, Fax: 02 48012280, Email: fsapio@rsde.com

Abstract

In the recent years, a generalized global warming and a continue glacier retreat on the Earth surfaces increase community attention on water availability problems. The environmental importance of medium and high latitudes snow cover is well established. Snow melt dynamics generate a complex set of interactions, which dictates a need for long-term monitoring of snow cover in conjunction with other climatological variables.

Suitable data can be derived from satellite observations. Moderate satellite sensors help in the survey of the variations of snow coverages because they provide synoptic information over large territories, have low costs and adequate spectral resolution, even if the low spatial resolution it is still a problem.

Previous works (Andreadis, Lettenmaier, 2005) have been focused on the monitoring of American northern regions and the procedures involved have been tuned to large areas. In particular NASA mission on Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) have been tailored to monitor spatial phenomena all over large areas.

Among the available sensor, MODIS has been chosen as the most suitable for producing the required parameters, according to factors identified in the analysis of requirements, such as temporal coverage and resolution, spectral and spatial resolution.

Alpine basins considered have a dimension that not allow the application of NASA MODIS mission elaboration methodology. A new approach tailored on Alpine basins has been settled.

Riassunto

Negli ultimi anni l'ormai associato riscaldamento globale e l'arretramento continuato dei ghiacciai in tutte le aree della superficie terrestre hanno aumentato l'attenzione della comunità mondiale circa i problemi legati alla disponibilità di acqua per le popolazioni. L'importanza ambientale che ha lo studio delle coperture nivali alle medie e alte latitudini è ben dimostrata. Le dinamiche legate allo scioglimento nivale generano una serie di complesse interazioni che impongono un monitoraggio a lungo termine delle coperture nivali unita all'analisi delle altre variabili climatologiche.

Le osservazioni satellitari possono rivelarsi in tal senso una preziosa fonte di informazione. I recenti sensori satellitari a media risoluzione geometrica possono aiutare nel monitoraggio delle variazioni delle coperture nivali a scala regionale garantendo delle informazioni sinottiche, a costo limitato e con adeguata risoluzione spettrale e temporale.

Diversi lavori (Andreadis, Lettenmaier, 2005) sono stati principalmente incentrati sullo studio delle regioni del Nord America e le procedure implementate sono perciò state tarate per zone molto estese.

Tra i vari sensori, è stato scelto il MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) in quanto risulta essere il più adeguato per tale applicazione.

I bacini alpini considerati hanno una dimensione che non permette tuttavia l'utilizzo della metodologia elaborata dalla NASA nell'ambito della missione MODIS, pensata per il monitoraggio di fenomeni spaziali su grandi superfici. È stato, quindi, studiato un nuovo approccio tarato specificatamente sui bacini alpini.

Introduzione

L'attività presentata è stata svolta nell'ambito del progetto AWARE (*A tool for monitoring and forecasting Available Water Resource in mountain environment*), finanziato dalla Comunità Europea all'interno del Sesto Programma Quadro (<http://www.aware-eu.info>). Il progetto è coordinato dall'IREA-CNR e vede la collaborazione di otto partner europei. Si tratta di un progetto di ricerca che si prefigge la creazione di *tools* innovativi per il monitoraggio e la previsione delle disponibilità idriche e la distribuzione in bacini alpini ove lo scioglimento nivale rappresenta il contributo maggiore alle portate. Nell'ambito del progetto verranno applicati diversi modelli idrologici a bacini di medie e piccole dimensioni situati su tutto l'arco alpino per stimare il quantitativo d'acqua disponibile dalle variazioni della copertura nivale nella stagione di scioglimento (aprile – luglio).

Una sostanziosa parte del lavoro, oggetto di questo articolo, si occupa dell'elaborazione dei dati di *Earth Observation* (EO) da utilizzare come input, circa la copertura nivale a scala regionale, dei modelli idrologici da integrare con le misure tradizionali al suolo.

Inoltre, tali dati saranno utilizzati per l'estrazione di parametri fisici di interesse idrologico per gli sviluppi successivi del progetto in questione (Engman, Gurney, 1991).

A causa del grande numero di immagini da processare (resosi necessario dalla elevata risoluzione temporale richiesta dai modelli idrologici considerati) sono state implementate delle procedure semiautomatiche che permettono di identificare, fare il *download*, georeferire e calibrare le immagini selezionate, oltre ovviamente all'estrazione dei parametri di interesse nivologico.

Un set di procedure verrà in seguito implementato per estrarre i parametri dai dati EO, tale per cui la distribuzione dello *snow cover*, dell'albedo e della temperatura possano essere integrati con i dati al suolo nei modelli idrologici. L'assimilazione dei dati EO nei modelli riguarderà la possibilità di sostituire o migliorare l'informazione che convenzionalmente viene prodotta dai dati al suolo.

La novità del presente lavoro sta appunto nell'avere testato la metodologia di monitoraggio nivale sulla catena alpina modificando molti degli *step* convenzionali applicati dalla NASA e creando procedure *ad hoc*.

Procedura per la produzione di mappe di snow-cover

ACQUISIZIONE DEI DATI EO: la selezione di adeguati dati EO dipende da molti fattori, tra i quali:

- Tempi di rivisitazione e dati storici disponibili (copertura temporale e risoluzione);
- Requisiti spaziali;
- Bande spettrali misurate dal sensore (risoluzione spettrale);
- Costo vs Valore;
- Specifiche circa il data processing.

Si sono considerati diversi tipi di dati EO (Rango et al., 1983): i sensori NOAA-AVHRR, MODIS, Landsat TM (Swamy, Brivio, 1997) ed ASTER, ma sono state selezionate le immagini MODIS del satellite EOS-TERRA della NASA come unica sorgente. Il vantaggio principale di tali immagini è che garantiscono un sufficiente grado di ripetibilità di passaggi sulla stessa area (risoluzione

temporale) e che una singola immagine copre da sola un'area che è più grande dell'intero arco Alpino. L'ultima, ma non meno importante, caratteristica riguarda la disponibilità ed il costo. Le immagini MODIS sono *free* e facilmente ottenibili sul server della NASA, questo permette di ordinare le immagini via internet e il giorno seguente sono scaricabili (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>).

Sono disponibili due tipi di dati MODIS. I dati non classificati o processati usati nel progetto (MOD02) e una serie di dati processati (prodotti) altamente utili. Tra questi prodotti vi sono mappe di copertura nuvolosa (MOD35), temperatura della superficie (MOD11), indici di vegetazione (MOD13), copertura nevosa (MOD10) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>).

Una varietà di prodotti riguardanti la neve e il ghiaccio vengono prodotti a partire dai dati del sensore MODIS, e tali risultati sono disponibili a varie risoluzioni spaziali e temporali (Maurer et al., 2003).

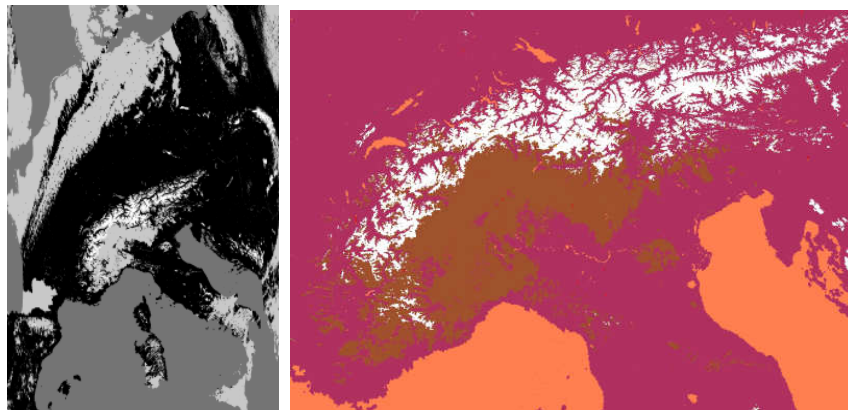


Figura 1 - Il prodotto MOD10 per l'Europa e lo stesso dopo la fase di reprojection sull'area alpina. In bianco la classe neve.

Questo sensore è piuttosto efficiente per monitoraggi della copertura nivale, come dimostrato dai precedenti lavori (Hall et al., 2002). La sua risoluzione temporale è di circa un giorno e ciò permette di mappare i cambiamenti dell'estensione della copertura nivale con una sufficiente accuratezza temporale.

Per decidere che metodologia di classificazione utilizzare è stato effettuato un test su differenti procedure. Le metodologie testate vanno dalle classificazioni *unsupervised* (ISODATA e *K-means*), dove l'operatore non deve addestrare il classificatore assegnando le informazioni di verità al suolo. Tra queste si possono anche annoverare per estensione le metodologie di *indexing* e sogliatura con *threshold* (NDVI, NDSI) mirati all'estrazione di una o due sole classi. In seguito si sono testate le procedure di classificazione *supervised*, ove il contributo dell'utente è essenziale. Tra queste la *maximum likelihood* e la classificazione *fuzzy*.

Facendo un'analisi dei costi/benefici, dovendo dare un servizio su tutto l'arco alpino e dovendo processare il più alto numero di immagini possibili si è scelto di applicare l'indice *Normalised Difference Snow Index* (NDSI).

L'indice NDSI è stato elaborato dalla NASA nel 2001, è simile al ben noto NDVI, utilizzato in studi alla vegetazione, e permette di identificare le aree innevate partendo dalle bande 4 e 6 delle immagini del sensore MODIS, utilizzando degli adeguati *threshold*.

$$\text{NDSI} = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}} \quad \Rightarrow \quad \text{NDSI} = \frac{\text{MODIS 4} - \text{MODIS 6}}{\text{MODIS 4} + \text{MODIS 6}}$$

Questa procedura è stata applicata alla riflettanza al top dell'atmosfera, invece che ai *Digital Number*, per consentire di mantenere costante il *Threshold* testato, in quanto in questo modo non risente in modo evidente della variabilità dovuta all'influenza dell'atmosfera stessa.

Per testare la procedura prototipale è stato selezionato l'anno idrologico 2002/2003 come anno test. Per questa fase sono stati prescelti dei bacini idrografici relativi ad ogni partner partecipante al progetto (Mallero in Lombardia, Sava in Slovenia, Dischma in Svizzera, Obertraun in Austria) come mostrato nella seguente immagine.

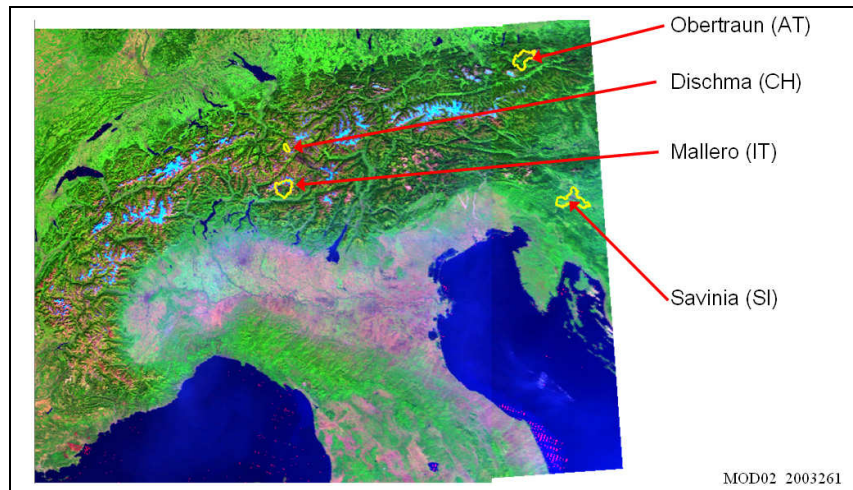


Figura 2 - I quattro bacini considerati nella prima fase di testing del progetto.

La procedura è simile a quella utilizzata dalla NASA per ottenere il prodotto di SCA (MOD10), ma essendo tarata per le Alpi, sono state modificate delle sogliature ed alcune delle fasi di elaborazione. La procedura d'estrazione della Neve è ottenuta con la sequenza di diversi *step*:

1. Scelta delle immagini e compilazione dei *metadati*
2. Georeferenziazione delle immagini
3. Conversione in riflettanza al top dell'atmosfera dei DN
4. Maschera dell'acqua
5. Calcolo dell'NDSI e del suo *slicing*
6. Maschera delle nuvole

Scelta delle immagini e compilazione dei Metadata

La scelta delle immagini si è basata sulla possibilità di avere delle immagini spalmate sull'intero arco alpino e che presentasse la minore copertura nuvolosa. Il calcolo della copertura nuvolosa è stato fatto utilizzando uno dei prodotti della NASA (MOD35, *cloud mask*) georeferito tramite i *geolocation file* forniti dalla NASA stessa (MOD03). Il MOD35 è un prodotto ad 1 km di risoluzione dove tramite diversi test, applicati sia alle bande del visibile, dell'infrarosso e del termico si definisce la presenza ed assenza delle nuvole e il tipo delle nuvole stesse.

Durante l'acquisizione e la scelta delle immagini da utilizzare, si sono memorizzate anche le informazioni relative alle immagini stesse leggendo in automatico i *metafile* allegati all'immagine RAW (file in formato XML), ottenendo in questo modo le informazioni per la costruzione di un catalogo descrittivo delle immagini e delle loro caratteristiche in accordo con la normativa **INSPIRE** e **ISO9115**.

Georeferenziazione delle immagini

Sono stati considerati diversi tipi di proiezione, ma alla fine dell'analisi è stata scelta la *Universal Transverse Mercator* (UTM) con *Datum WGS84*, in quanto largamente conosciuta ed applicata e

definita in modo univoco nei vari *software* GIS. Sono stati considerati due fusi (UTM32 ed UTM33) per permettere la rappresentazione di tutto l'arco alpino con le minor distorsioni.

Conversione in riflettanza

I valori dei pixel nelle immagini disponibili alla NASA sono *Digital Numbers* non corretti atmosfericamente. Si è deciso di utilizzare un unico valore di riflettanza da utilizzare per ogni singola banda (uguale fino a quattro cifre decimali).

Calcolo *Normalized Difference Snow Index* (NDSI)

Dopo l'applicazione dell'NDSI per ottenere la reale copertura della neve è necessario applicare una soglia sopra la quale tutti i pixel sono identificati come neve. La soglia per ora applicata è fissa, cioè indipendente dalla zona e dalla stagione, ed è stata tarata valutando diverse aree di interesse posizionate su tutto l'arco alpino, in varie posizioni (in ombra e al sole) e durante tutto l'anno idrologico (selezionando 1 immagine per mese da ottobre 2002 ad ottobre 2003). La soglia prescelta, in base alla letteratura e alle considerazioni descritte, è 0,55.

Sogliatura dell'acqua

Le informazioni relative alla presenza dell'acqua sono state dedotte dalla banda 2 del MOD02 corrispondente all'infrarosso vicino. Allo scopo di individuare la classe acqua è stato applicato un valore soglia pari a 0,11 ($W\ sr^{-1}\ m^{-2}$) dedotto direttamente dalla letteratura. (Schmugge et al., 2002).

Maschera delle nuvole

La maschera delle nuvole è ottenuta tramite l'interpretazione del prodotto del MODIS (MOD35), corrispondente alla maschera "rigida" che non tiene in considerazione il tipo di nuvole presenti ma solo la loro presenza/assenza. La risoluzione di questo prodotto inoltre è bassa (1 km) fatto che ne produce una minore qualità del dato stesso.

Risultati preliminari della classificazione dei dati EO per la produzione delle mappe di SCA

Il risultato di questa procedura era inizialmente una immagine binaria rappresentante la presenza o meno della neve.

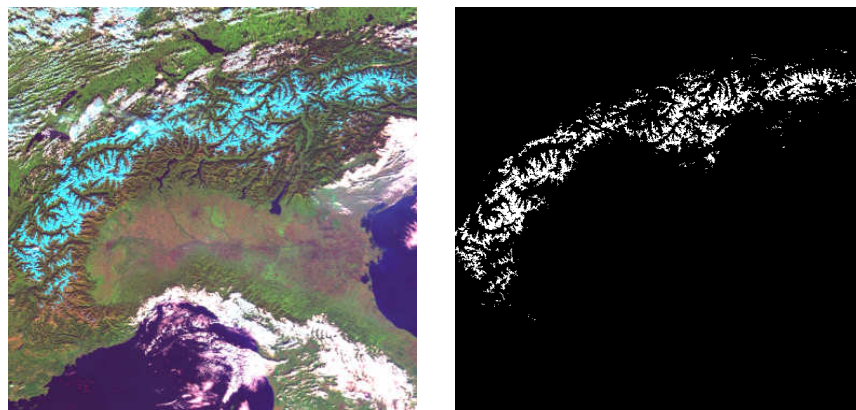
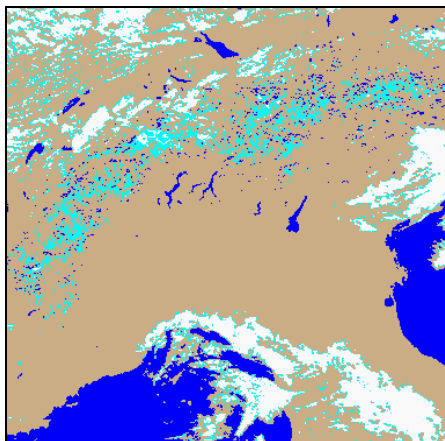


Figura 3 - Immagine MODIS 18 settembre 2002 (RGB723) e immagine classificata (binaria no-neve, neve).

Successivamente per meglio evidenziare la procedura, gli elementi individuati e gli eventuali errori (sovrastime o sottostime dei vari elementi), si è proceduto nel mantenere gli oggetti classificati separati ottenendo un prodotto a 4 classi: acqua, nuvole, neve e altro (suolo nudo, vegetazione, urbano, ecc.). Il prodotto ottenuto, SCA (mappe della copertura nevosa georeferite), è stato esportato in diversi formati (*.Tif, *.Raw, *.IMG, ecc.) in accordo con gli utenti finali.



Row	Class Names	Color
0	unclassified	black
1	water	blue
2	undetermined	brown
3	snow	cyan
4	clouds	

Figura 4 - La classificazione finale (in 4 classi, vedi legenda a destra) dell'immagine 2002-299 UTM 32 (prodotto finale della procedura).

Sviluppi futuri e prossime sperimentazioni

Considerati gli errori in fase di interpretazione e classificazione dello SCA della fase prototipale, che non permettono un uso efficace e completo del prodotto, si sono cominciate ad approntare delle nuove e più evolute procedure di classificazione semi-automatica delle immagini che considerassero i problemi emersi. Le migliorie riguarderanno:

- la mascheratura dell'acqua
- la conversione in riflettanza (ora valore costante)
- la maschera delle nuvole (tenendo in considerazione il tipo di nuvole)
- la correzione dei Bad Value (cioè della correzione degli errori di acquisizione del sensore)
- la taratura migliore della soglia dell'NDSI in funzione della zona dell'arco alpino e della stagione.

Conclusioni

Il progetto è un importante banco di prova per determinare la potenzialità di utilizzo dei dati da satellite a media e bassa risoluzione per monitorare le variazioni delle coperture nivali a scala alpina e il loro utilizzo quali input di modelli idrologici.

Bibliografia

- Andreadis K. M., Lettenmaier D. P. (2005), "Assimilating Remotely Sensed Snow Observations into a Macroscale Hydrology Model", Preprint presentato a *Advances in Water Resources*
- Engman E. T., Gurney R. J. (1991), *Remote Sensing in Hydrology* London: Chapman and Hall.
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., Di Girolamo N.E., Bayr K.J. (2002), "MODIS snow-cover products", *Remote Sens. Environ.*, 83: 181-194
- Maurer E.P., J.D. Rhoads, R.O. Dubayah, D.P. Lettenmaier (2003), "Evaluation of the snow-covered area data product from MODIS", *Hydrological. Processes*, 17: 59-71
- Rango A., Martinec J., Foster J, Marks D. (1983), "Resolution in operational remote sensing of snow cover". *IAHS Publ.*, 145: 371-381
- Schmugge T. J., Kustas W. P., Ritchie J. C., Jackson T. J., Rango A. (2002), "Remote sensing in hydrology", *Advances in Water Resources (Elsevier)*, 25: 1367-1385
- Swamy A. N., Brivio P.A. (1997), "Modelling runoff using optical satellite remote sensing data in high mountainous alpine catchment of Italy", *Hydrological Processes*, 11: 1475-1491