

# MONITORAGGIO dell'EQUIVALENTE in ACQUA della NEVE da DATI MODIS

## il caso studio dell'alto Piave (Alpi italiane orientali)

**Paola Cianfarra**  
Università degli Studi Roma Tre,  
Dipartimento di Scienze, Roma  
paola.cianfarra@uniroma3.it

**Mauro Valt**  
ARPAV, Servizio Neve e  
Valanghe di Arabba, Arabba BL

Le informazioni sulla variabilità spazio-temporale della risorsa idrica derivante dallo scioglimento nivale (Snow Water Equivalent, SWE) sono di fondamentale importanza sia per le stime del bilancio idrico che per i processi geologici, come la gestione del rischio idrogeologico. In questo lavoro viene presentata una metodologia per la stima dello SWE basata sia sull'analisi di dati multispettrali (immagini satellite MODIS) sia di misure dirette a terra. La metodologia proposta è stata messa a punto attraverso il monitoraggio della copertura nevosa nella parte alta del bacino del Piave (Alpi italiane orientali), nei quattro anni compresi tra il 2010 ed il 2013. In particolare è stata studiata la variabilità spazio-temporale dell'estensione della copertura nevosa e della densità della neve alla scala del bacino analizzato al fine di determinare lo SWE dell'area di studio.



## INTRODUZIONE

Lo studio della variabilità spaziale e temporale della risorsa idrica derivante dallo scioglimento nivale (Snow Water Equivalent, SWE) è di fondamentale importanza per la stima del bilancio idrico di una regione. Molte comunità, specialmente in aree montuose, si basano sulla risorsa idrica derivante dallo scioglimento nivale per la produzione di energia idroelettrica, per l'irrigazione dei campi, per la distribuzione di acqua potabile. Una corretta stima consente inoltre un'ottimale gestione e prevenzione del rischio idrogeologico. Il monitoraggio dello scioglimento nivale è importante anche per la valutazione del suo impatto sui flussi primaverili ed estivi nei bacini pesantemente alimentati da neve (Ranzi et al., 1999), sugli ecosistemi d'acqua dolce e sulle falde idriche (Coughlan and Running, 1997).

Nella comunità scientifica esiste un acceso dibattito sul rapporto tra variabilità dell'estensione della copertura nevosa e cambiamenti climatici, sia a scala locale che regionale (Valt e Cianfarra, 2010).

È inoltre largamente riconosciuta l'importanza del monitoraggio di questa variabilità (Hall et al., 1995).

La neve è uno dei parametri fondamentali per il bilancio radiativo terrestre (Foster and Chang, 1993), sia per la sua elevata albedo che per la notevole estensione areale (il 49% dell'emisfero settentrionale è coperto da neve durante la stagione invernale, Brown, 2000).

Inoltre la neve al suolo influenza anche i processi biologici, chimici e geologici (Walsh et al., 1985; Robinson and Kukla, 1985; Allen and Walsh, 1993; Robinson et al., 1993).

I processi di accumulo, ridistribuzione e

fusione della neve dipendono da numerosi fattori, tra cui la gravità, il vento e lo scambio di calore che avviene all'interfaccia tra neve ed aria in superficie e tra neve e terreno in profondità (Elder et al., 1991). Di conseguenza la neve mostra una significativa variabilità nello spazio e nel tempo (Yuang & Woo, 1999) e la quantificazione di tale variabilità alla scala locale e regionale è di primaria importanza per la valutazione della risorsa idrica.

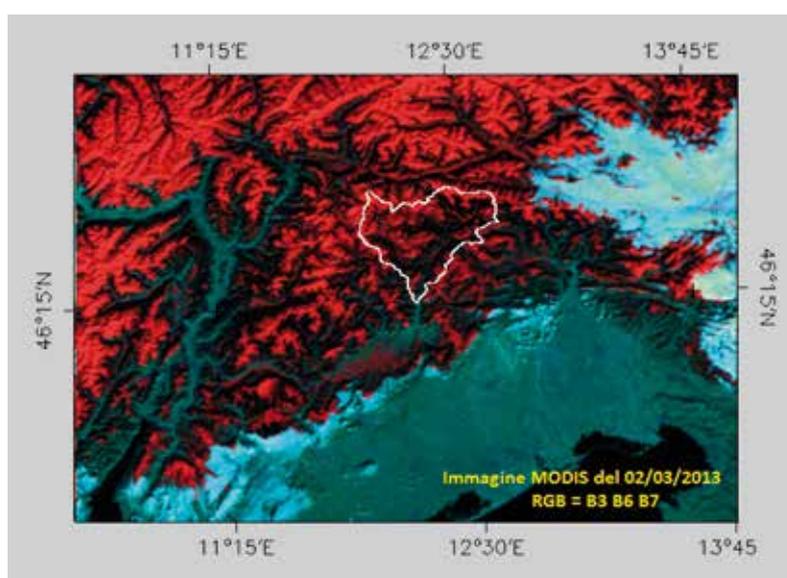
Un aspetto largamente investigato è la stima dello SWE a partire da misure puntuali (Elder et al., 1991). Tale stima infatti richiede l'uso di metodi statistici che consentono di prevedere i valori di SWE in aree dove non esistono misure dirette, e la valutazione dell'affidabilità del valore predetto (Carroll and Cressie, 1997). Tuttavia la copertura nevosa può essere monitorata anche da dati telerilevati con costi bassi. Le immagini da satellite attualmente disponibili rappresentano un buono strumento per derivare mappe di innevamento e per aiutare la stima dello SWE in aree dove non sono disponibili misure dirette.

Nel presente lavoro viene descritto tale approccio basato sul telerilevamento.

La metodologia è stata messa a punto nella parte alta del bacino idrografico del fiume Piave, localizzato nella parte orientale delle Alpi italiane, e comprende: 1. l'identificazione dell'estensione areale della copertura nevosa (Snow Covered Area, SCA) a partire da immagini da satellite MODIS; 2. il calcolo statistico dell'altezza (HS) media del manto nevoso dalle disponibili reti di monitoraggio; 3. il calcolo del valore medio di densità della neve ( $\rho$ ) derivato dall'analisi automatica di migliaia di profili nivologici e serie storiche.

Infine lo SWE per intervalli di altitudine viene calcolato come il prodotto della SCA per il valore medio di HS per  $\rho$ . Per validare l'approccio proposto le stime di SWE derivate dal telerilevamento sono confrontate con quelle calcolate sulla base di misure dirette effettuate sul terreno e pubblicate in appositi report bisettimanali ([www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)).

Fig. 1 - Ubicazione dell'area investigata su immagine MODIS del 02/03/2013 rappresentante la parte orientale dell'arco alpino in falsi colori. Combinazione di bande RGB = B3 B6 B7. I toni rossi nell'immagine si riferiscono alle aree innevate.



## AREA DI STUDIO

Il presente studio si concentra nella parte alta del bacino del fiume Piave, uno dei maggiori fiumi che scorre nell'Italia nord-orientale (Figura 1). Tale fiume ha origine sulle Alpi orientali e scorre verso il mar Adriatico dove sfocia a nord est di Venezia, copre un'area di 4037 km<sup>2</sup> nei limiti amministrativi della regione Veneto. I fiumi Boite e Ansiei, ed i laghi Comelico, Santa Caterina e Cadore (misurati presso Valle di Cadore, Vodo di Cadore, Pieve di Cadore, Santa Caterina and Comelico) sono i sotto-bacini presi in considerazione nel presente studio.

Questi sono tipici bacini montuosi caratterizzati da quote che superano i 3000 m, pendenze elevate (valore medio 21,6%), e valli sospese. Hanno simili caratteristiche fisiografiche e di copertura vegetale. La quota media è di circa 1618 m e l'estensione areale di 1375 km quadrati.

I bacini studiati sono caratterizzati da un notevole apporto di risorsa idrica derivante dalla fusione della neve e sono quasi completamente coperti da neve durante l'intera stagione invernale.

La risorsa idrica derivante dalla fusione nivale nel periodo primaverile - estivo viene utilizzata per irrigazione, produzione di energia idroelettrica, per il sostentamento degli ecosistemi di acqua dolce.

Quindi le informazioni sulla quantità d'acqua contenuta nella copertura nevosa e sulla sua fusione in primavera sono essenziali per le comunità di questo bacino. Infatti, l'area è particolarmente ben monitorata e oltre 30 stazioni di misura sono dislocate nel territorio e sono gestite da diverse istituzioni, come ARPA ed ENEL. In particolare nel periodo di fusione (tra il 1° febbraio ed il 1° giugno) viene svolta una campagna di misure dedicate al calcolo dello SWE, effettuate con frequenza bisettimanale, che include la misura dello spessore del manto nevoso e, in particolari siti, anche la stima della sua densità presso stazioni automatiche o manuali dislocate tra i 600 m e i 2630 m.

I valori puntuali misurati vengono poi assegnati alle zone da cui la misura deriva e sono utilizzati per il calcolo dello SWE

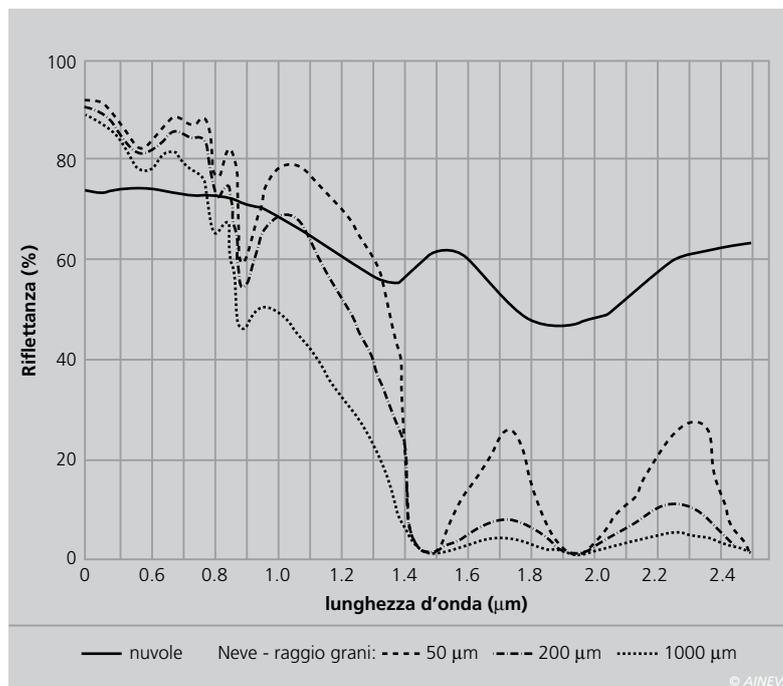


Fig. 2 - Firma spettrale di diversi tipi di neve e delle nuvole.

come prodotto tra HS, la densità media della neve e la sua estensione areale nella zona. Infine lo SWE alla scala dell'intero bacino è calcolato come il contributo dello SWE di ciascuna zona analizzata. Le stime di SWE così effettuate sono poi pubblicate su report bisettimanali della risorsa idrica della Regione Veneto ([www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)).

È importante notare che un'accurata stima dello SWE dipende dalla disponibilità di personale qualificato sia per la misura sul terreno di  $H_s$  e  $\rho$ , che per la manutenzione delle stazioni automatiche per il monitoraggio della neve.

Per questa ragione si sta cercando di trovare metodologie alternative, a basso costo ma efficaci, per monitorare la variabilità temporale e spaziale della neve. La crescente disponibilità di immagini satellitiche multispettrali, in tempo quasi reale e con moderata risoluzione spaziale (250 m – 500 m) rappresenta uno strumento promettente per questo scopo.

## TELERILEVAMENTO DELLA COPERTURA NEVOSA

I sensori satellitari sono in uso per il monitoraggio dell'estensione della copertura nevosa a scala continentale ed emisferica dal 1966 quando i primi satelliti furono messi in orbita. Questa prima generazione

di satelliti (NOAA/AVHRR) permise di mappare l'estensione areale della copertura nevosa usando sensori che lavoravano nelle bande del visibile, dell'infrarosso riflesso e dell'infrarosso termico con una risoluzione spaziale di circa 1 km/pixel (Matson et al, 1986). Anche sensori a microonde passive sono stati utilizzati con successo dal 1978 per le misure della copertura nevosa con una minore risoluzione spaziale (decine di km) (Hall et al., 1995; Derkens et al. 2002).

Altri studi di mappatura della neve sono stati fatti a scala meno regionale o locale usando dati Landsat (Rango et al., 1982; Vogel, 2002). Tuttavia la bassa risoluzione temporale di questo set di dati e la possibile copertura nuvolosa preclude e limita l'utilizzo di immagini Landsat.

Recentemente nuove tecniche basate sull'utilizzo di webcam si stanno sviluppando per il monitoraggio della copertura nevosa (Salvatori et al., 2011).

Il MODIS è uno spettrometro a scansione a bordo dei satelliti *Terra* ed *Aqua* che acquisisce in 36 bande spettrali dal visibile all'infrarosso termico (Barnes et al., 1998).

La risoluzione spaziale del MODIS varia in funzione delle bande spettrali da 250 m fino ad 1 km.

Le immagini MODIS sono distribuite gratuitamente dalla NASA poche ore dopo la

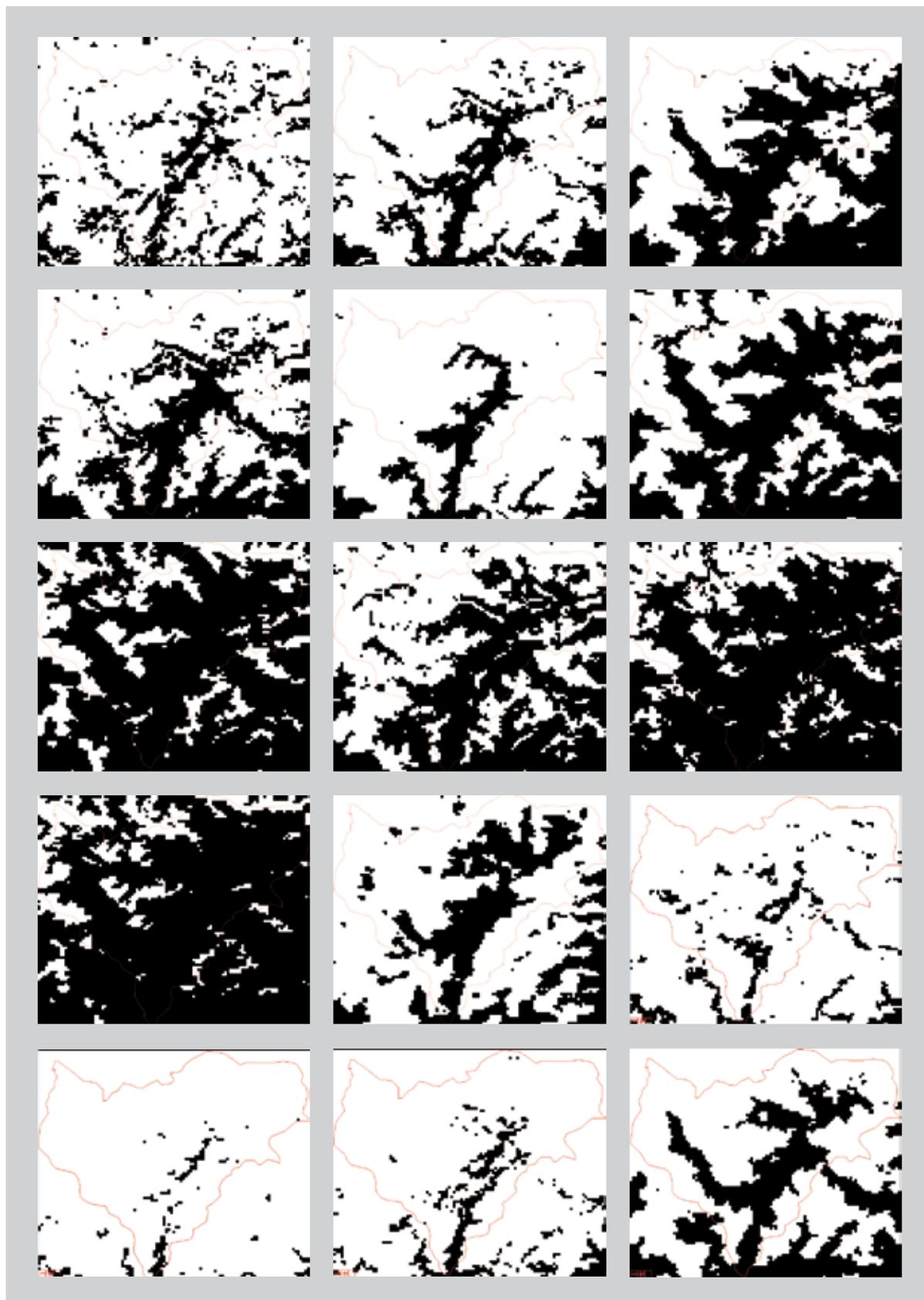
loro acquisizione (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov/data/search.html>). Per queste caratteristiche le immagini multispettrali MODIS rappresentano attualmente il miglior compromesso tra risoluzione spaziale e temporale (sono

disponibili immagini giornaliere) per il monitoraggio in tempo quasi reale della copertura nevosa.

La neve ha tipicamente bassa riflettanza nell'infrarosso alla lunghezza d'onda di  $1.6 \mu\text{m}$  (corrispondente alla banda 4

del MODIS) ed una relativa alta riflettanza (90-100%) nella parte visibile dello spettro (banda 6 del MODIS). Le nuvole invece sono caratterizzate da alta riflettanza a  $1.6 \mu\text{m}$  (vedi Figura 2). Tale differenza è utilizzata per identificare

*Fig. 3 - Le 15 mappe di innevamento durante la stagione della fusione nivale derivate da elaborazione e classificazione di immagini MODIS. In bianco le aree innevate.*



pixel caratterizzati da copertura nevosa in immagini satellite (Hall et al., 1995). Il Normalized Difference Snow Index (NDSI), definito come  $(B4-B6)/(B4+B6)$  per i dati MODIS, con l'utilizzo di un certo valore di soglia (generalmente maggiore di 0,4, in accordo con gli Autori), consente di identificare la neve e separare la neve dalle nuvole nelle immagini satellite. Sfortunatamente non esiste un valore unico di soglia per il NDSI, ma valori affidabili per il *mapping* della copertura nevosa possono essere stabiliti in funzione delle caratteristiche fisiografiche della regione investigata, della presenza e del tipo di vegetazione e della stagione. Laghi e fiumi possono avere valori di NDSI nel range di quelli tipici della neve, tuttavia l'acqua ha una bassa riflettanza nel vicino infrarosso (banda 2 del MODIS) e per questa sua caratteristica può essere discriminata dalla neve.

Dunque nell'uso di procedure automatiche per il *mapping* della neve con dati MODIS, viene generalmente imposto un valore soglia anche per la riflettanza nella banda 2.

Infine, per evitare che pixel scuri come quelli caratterizzati dalla presenza di abeti, vengano erroneamente classificati come neve, anche per la banda 4 viene scelto un valore di soglia (Hall, 2002).

In questo studio sono analizzate 15 immagini MODIS con risoluzione spaziale di 500 m/px (immagini L1B, MOD02HKM) relative alla stagione di fusione compresa tra febbraio ed aprile nei 4 anni tra il 2010 ed il 2013.

Sono state selezionate immagini con bassa copertura nuvolosa e acquisite in date il più possibile vicine alle campagne di misura a terra per il calcolo di SWE (vedi figura 3).

Sono state elaborate immagini della riflettanza al top dell'atmosfera (Top of atmosphere reflectance, TOA) ed il processing comprende diversi passaggi. Prima di tutto è stata effettuata una correzione geometrica e georeferenziazione al sistema UTM zona 32 N, WGS 84, per eliminare le distorsioni presenti nelle immagini scaricate dall'ftp della NASA.



Data acquisizione immagine (gg mm anno)	soglia NDSI >	Soglia B2 >	Soglia B4 >
01 02 2010	0.35	0.04	0.04
01 03 2010	0.3	0.05	0.05
02 04 2010	0.25	0.05	0.05
31 01 2011	0.25	0.03	0.03
01 03 2011	0.2	0.01	0.01
02 04 2011	0.2	0.04	0.04
18 04 2011	0.2	0.01	0.01
03 02 2012	0.35	0.05	0.05
03 03 2012	0.2	0.01	0.01
26 03 2012	0.25	0.04	0.04
14 04 2012	0.2	0.01	0.01
04 02 2013	0.35	0.03	0.03
02 03 2013	0.3	0.03	0.03
22 03 2013	0.2	0.01	0.01
14 04 2013	0.2	0.01	0.01

Tab. 1 - Un pixel nell'immagine MODIS viene classificato come "neve" se sono contemporaneamente soddisfatte le tre condizioni di valori maggiori delle soglie riportate in tabella.

Poi è stata ritagliata una sottoscena relativa alla regione investigata compatibile con il modello digitale del terreno (DEM) disponibile per le successive stime di SWE per intervalli di altitudine.

È stato calcolato il NDSI ed infine è stato applicato un albero decisionale basato sul NDSI, sulla banda 2 e la banda 4 per la classificazione della neve. L'identificazione dei valori soglia è la parte più delicata del lavoro di classificazione delle immagini poiché tali valori dipendono, nell'area investigata, da molti fattori come le caratteristiche fisiografiche locali, gli intervalli di altitudine, le ombre, la densità ed il tipo di vegetazione e la stagione.

I valori soglia utilizzati nel presente lavoro sono riportati nella tabella 1.

La selezione dei valori soglia è stata assistita dalla fotointerpretazione ed ana-

lisi delle immagini del bacino derivanti da webcam relative allo stesso giorno di acquisizione dell'immagine satellite analizzata e, dove possibile, della stessa fascia oraria.

Le mappe di innevamento ottenute sono state confrontate per conferma con le misure puntuali sul terreno nella regione investigata. Il confronto tra le mappe di SCA ed il DEM dell'area studiata ha permesso di ottenere la SCA per intervalli di altitudine.

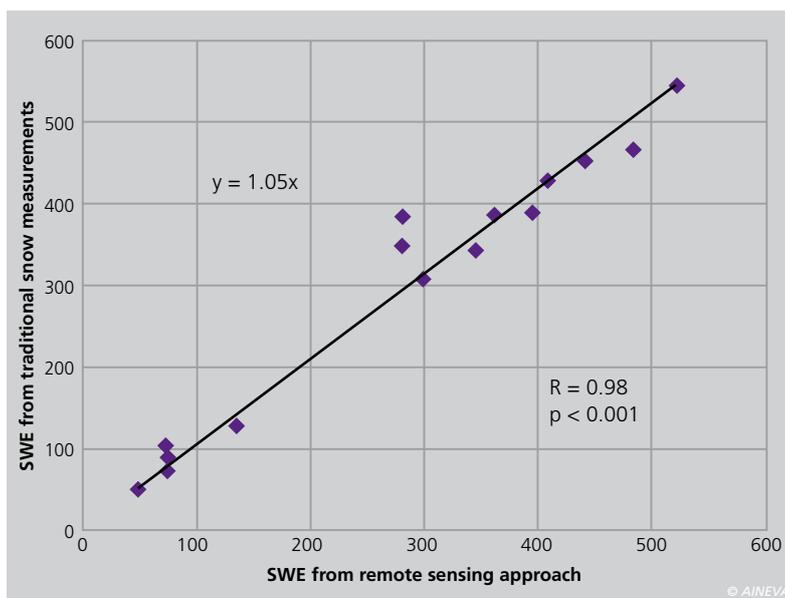
## SWE DAL TELERILEVAMENTO

Per stimare lo SWE è necessario conoscere lo spessore HS, la densità  $\rho_s$  e l'estensione SCA della copertura nevosa.

Nel presente lavoro la SCA è stata calcolata attraverso l'analisi delle immagini



Fig. 4 - Confronto tra lo SWE calcolato con l'approccio del telerilevamento e lo SWE derivato dalle tradizionali misure sul terreno presso le stazioni manuali o automatiche.



MODIS, come descritto nel precedente paragrafo.

La stima della densità del manto nevoso è complessa in quanto questo delicato parametro dipende dalle condizioni climatiche e dalle caratteristiche fisiografiche dell'area investigata (Elder et al., 1991). Inoltre il suo monitoraggio richiede tempo e solo poche misure dirette di densità della neve sono disponibili. Quindi sono state sviluppate relazioni empiriche o semi-empiriche tra la densità della neve e le caratteristiche geomorfologiche e climatiche di un'area (Elder et al. 1991).

Tuttavia alcuni autori considerano la densità della neve come un parametro conservativo e nelle loro stime di SWE utilizzano semplicemente la media valori di densità misurati.

In questo lavoro invece è stato usato un originale approccio statistico basato sull'analisi di serie storiche (1985-2012) in cui le misure nivologiche effettuate nella parte orientale delle Alpi italiane sono classificate sulla base dello spessore della neve e della stagione (Valt & Moro, 2009) per determinare in ogni area la densità della neve relativa ad un strato

di neve con lo stesso contenuto in acqua, la stessa forma dei cristalli e la stessa durezza (Valt & Moro, 2009).

In questo modo è possibile derivare la densità anche di strati di neve per cui non è stata effettuata la misurazione diretta. L'analisi automatica di oltre 10.000 profili nivologici da 50 stazioni di misura attraverso il software YETI NIK (Aineva, Valt 2012b) ha permesso di valutare la densità media della neve per diverse classi di spessore, per intervalli di altitudine e per stagione lì dove non erano disponibili misure dirette.

Questo ha dunque consentito di tenere in considerazione la variabilità spaziale della densità della neve legata a caratteristiche geomorfologiche e climatiche del bacino. Lo SWE nell'area di studio deriva dal contributo cumulativo dello SWE<sub>i</sub> derivante da ogni classe di altitudine (i):

$$SWE = \sum_{i=1}^n SWE_i$$

Dove SWE<sub>i</sub>=SCA<sub>i</sub>·HS<sub>i</sub>;  $\rho_s/\rho_w$  in cui  $n$  denota il numero della classe di altitudine, HS<sub>i</sub> è la densità media del manto nevoso calcolata considerando le misure di densità della neve nella classe  $i$  da un totale di 34 stazioni di misura,  $\rho_s$  è la densità della neve calcolata automaticamente dalle serie storiche nella classe  $i$ , e  $\rho_w$  è la densità dell'acqua.

## VALIDAZIONE DEL METODO BASATO SUL TELERILEVAMENTO

Per la validazione del metodo proposto basato sull'analisi di immagini satellite MODIS e dati a terra, lo SWE calcolato per i sottobacini analizzati nella parte alta del fiume Piave è stato confrontato con le tradizionali misure dirette di SWE fatte presso le stazioni di misura automatica o manuale attualmente utilizzate dalle amministrazioni pubbliche per gestire la risorsa idrica.

Queste stime tradizionali di SWE sono disponibili e pubblicati online nei report bisettimanali sulla risorsa idrica della regione veneto ([www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)).

Il confronto fra le due stime di SWE è stato

effettuato tra coppie di misure relative alla stessa data o con una massima differenza temporale di sei giorni.

Questa differenza temporale è riconducibile alla disponibilità di immagini satellite con ridotta copertura nuvolosa in concomitanza con le misure a terra. La figura 4 mostra che i due set di SWE sono caratterizzati da una forte correlazione lineare con coefficiente di correlazione  $R=0,98$  e  $p<0,001$  ( $DOF=13$ ).

L'equazione di correlazione lineare è caratterizzata da un coefficiente angolare di 1,05 e intercetta 0 che conferma l'affidabilità della stima di SWE da dati satellite in tempo quasi reale.

## CONCLUSIONI

Nel presente lavoro viene presentata una metodologia per monitorare la variabilità della copertura nevosa e per la stima dello SWE nella parte alta del bacino del Piave, Alpi orientali. La metodologia è basata sul monitoraggio di 4 anni (2010-2013) della copertura nevosa attraverso l'analisi di immagini satellite multi spettrali (MODIS) e dati a terra.

L'approccio del telerilevamento ha permesso di derivare la SCA per intervalli di altitudine attraverso l'uso di alberi decisionali basati sul computo del miglior valore soglia da applicare al NDSI, e alle bande MODIS 4 e 2.

Valori decrescenti del NDSI sono stati identificati da Febbraio ad Aprile nelle quattro stagioni primaverili analizzate.

Questo testimonia il ruolo cruciale svolto dalla stagione della fusione nella valutazione del miglior valore soglia del NDSI per il mapping della copertura nevosa. L'analisi statistica di migliaia di profili da 50 stazioni attraverso il software YETI NIK ha permesso di valutare la densità della neve per classi di spessore, per intervalli di altitudine e per stagione dove misure dirette non erano disponibili. Infine lo SWE del bacino è stato calcolato come il contributo cumulativo dello SWE di ogni classe di altitudine che a sua volta risulta dal prodotto della SCA e del valore medio di HS e della densità media. Il calcolo prende in considerazione la variabilità spaziale e temporale della SCA e della densità della neve che dipende dalle caratteristiche geomorfologiche e climatiche del bacino. L'approccio presentato basato sul remote sensing per valutare la SCA da immagini satellite in tempo quasi reale, assieme alle misure dirette di spessore del manto nevoso e l'analisi automatica di serie storiche per derivare la densità, si è rivelato uno strumento economico ed efficiente per monitorare la variabilità spaziale e temporale della copertura nevosa e dello SWE alla scala del bacino dell'alto Piave. Poiché la disponibilità di dati MODIS risale al 2000 e grazie alla presenza di lunghe serie storiche per l'intero arco Alpino, è auspicabile applicare la presente metodologia ad una scala temporale più ampia e all'intera catena alpina per evidenziare i trend climatici degli ultimi 15 anni.



## Bibliografia

- Allen T.R. and Walsh S.J. (1993) - Characterizing multitemporal alpine snowmelt patterns for ecological inferences. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 59 (10): 1521-1529.
- Barnes W.L., Pagano T.S., Salomonson V.V. (1998) - Prelaunch characteristics of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36 (4): 1088-1100.
- Brown R.D. (2000) - Northern hemisphere snow cover variability and change, 1915-97. *J Climate*, 13: 2339-2355.
- Carrol S.S. and Cressie N.A.C. (1997) - Spatial modeling of snow water equivalent using covariances estimated from spatial and geomorphic attributes. *Journal of Hydrology*, 190: 42-59.
- Coughlan J.C. and Running S.W. (1997) - Regional ecosystem simulation: A general model for simulating snow accumulation and melt in mountainous terrain. *Landscape Ecology*, 12: 119-136.
- Derkens C., Walker A., LeDrew E., Goodison B. (2002) - Time-series of passive-microwave-derived central North American snow water equivalent imagery. *Ann. Glaciol.*, 34: 1-7.
- Elder K, Dozier J., Michaelsen J. (1991) - Snow accumulation and distribution in an alpine watershed. *Water Resources Research*, 27 (7): 1541-1552.
- Foster J.L. and Chang A.T.C. (1993) - Snow cover, In Parkinson CL and Foster JL eds. *Atlas of Satellite Observations Related to Global Change*, R J Gurney, Cambridge University Press, Cambridge, 361-370.
- Hall D.K., Riggs A.G., Salomonson V.V. (1995) - Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer Data. *Remote Sens. Environ.*, 54: 127-140.
- Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., Digirolamo N.E., Bayr K.J. (2002) - MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83: 181-194.
- Matson M., Roeplewski C.F., Varnadore M.S. (1986) - An Atlas of Satellite-Derived Northern Hemisphere Snow Cover Frequency. National Weather Service, Washington DC, 1-75
- J., Foster J., Marks D. (1983) - Resolution in operational remote sensing of snow cover. *IAHS Publ*, 145: 371-381.
- Ranzi R., Grossi G., Bacchi B. (1999) - Ten years of monitoring areal snowpack in the Southern Alps using NOAA-AVHRR imagery, ground measurements and hydrological data. *Hydrological Process* 13: 2079-2095.
- Rees W.G. (2006) *Remote Sensing of Snow and Ice*, 1st edn. Taylor and Francis Group, CRC Press, Broken Sound Parkway NW.
- Robinson DA, Dewey KF and Heim RR Jr (1993) Global snow cover monitoring: An update. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 74, 1689-1696
- Robinson D.A., Kukla G. (1985) - Maximum surface albedo of seasonally snow covered land in the Northern Hemisphere. *J Climate Appl. Meteorol.* 24: 402-411.
- Salvatori R., Plini P., Giusto M., Valt M., Salzano R., Montagnoli M., Cagnati A., Crepez G., Sigismondi D. (2011) - Snow cover monitoring with images from digital camera systems. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (2): 137-145. doi: 10.5721/ItJRS201143211
- Valt M., Moro D. (2009) - Average snow cover density values in the Eastern Alps mountain. EGU General Assembly, Vienna 19-24 April 2009, Geophysical Research Abstracts, 11, EGU2009-5289
- Valt M., Cianfarra P. (2012) - Recent snow cover variability in the Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology*, 64: 146-157.
- Valt M., Chiambretti I., Dellavedova P., (2012) - YETI - a software to service the avalanche forecaster. *Proceedings of Advances in Avalanche Forecasting - Section 2 New approaches and tools for avalanche forecasting*, Podbanské, Slovakia, 22nd Oct. 2012, Richnavsky J, Biskupic M and Kyzek F eds., 38-43.
- Vogel S.W. (2002) - Usage of high-resolution Landsat 7 band 8 for single-band snow-cover classification. *Ann. Glaciol.*, 34: 53-57
- Walsh J.E., Jasperson W.H., Ross B. (1985) - Influences of snow cover and soil moisture on monthly air temperature. *Monthly Weather Rev.* 113: 756-768.
- Yang D., Woo M.K. (1999) - Representativeness of local snow data for large scale hydrologic investigations. *Hydrological Process* 13: 1977-1988.