

## **Monitoraggio delle coperture nevose tramite analisi di immagini da postazione fissa**

Rosamaria Salvatori, Paolo Plini, Roberto Salzano, Marco Giusto, Mauro Montagnoli,  
Giulio Esposito (\*), Mauro Valt, Anselmo Cagnati, Giuseppe Crepaz (\*\*),  
Daniele Sigismondi (\*\*\*)

(\*) CNR, Istituto sull'Inquinamento Atmosferico. Via Salaria, km 29,300. 00015 Monterotondo (RM)  
tel 06 90672451, fax 0690672660, salvatori@iia.cnr.it  
(\*\*) ARPAV-DRST CVA Via Pradat, 5, 32020 Arabba  
(\*\*\*) SVM S.r.l., Strada Provinciale 418, Romito Magra (SP)

### **Riassunto**

La determinazione dell'estensione delle neve stagionale al suolo rappresenta un parametro di notevole interesse non solo per gli studi climatici e per il computo del bilancio idrologico ma anche per le possibili ricadute nel settore turistico. Nelle aree montane, per il monitoraggio delle coperture nevose, vengono utilizzate immagini riprese da fotocamere fisse con frequenza oraria e/o giornaliera. Queste immagini, opportunamente elaborate, possono rappresentare una preziosa fonte di dati ambientali. In questo lavoro viene illustrato il software Snow-noSnow, appositamente realizzato per riconoscere ed analizzare in automatico le coperture nevose, e vengono presentati i risultati preliminari ottenuti elaborando le immagini riprese in una stazione alpina della rete di monitoraggio dell'ARPAV e nella stazione appenninica di Amatrice (RI) appositamente realizzata dal CNR-IIA.

### **Abstract**

Snow cover extension is one of the most important parameters for the study of climate variations, of hydrological balance and also for the management of touristic activities in mountain areas. Recently, webcam images collected at daily or even hourly intervals are used as tools to observe the snow covered areas; those images, properly processed, can be considered a very important environmental data source. This paper presents the Snow-noSnow software specifically designed to automatically detect the extension of snow cover from webcam images. The software was tested on images collected on Alps (ARPAV webcam network) and on Apennine in a pilot station properly equipped for this project by CNR-IIA.

### **Introduzione**

La neve può essere considerata come una classe di copertura del suolo tra le più importanti ai fini per gli studi ambientali in virtù, principalmente, della sua variabilità nel tempo. Il monitoraggio dell'estensione e dello spessore della copertura nevosa gioca infatti un ruolo significativo negli studi sulla dinamica dell'atmosfera e quindi sui cambiamenti climatici, nell'analisi del ciclo idrologico e di conseguenza sulla gestione delle risorse idriche; in molte regioni montuose, inoltre ha anche un funzione importante come risorsa turistica. Monitorare lo stato delle coperture nevose oltre ad arricchire le conoscenze scientifiche sui fenomeni meteo-climatici, riveste quindi una grande importanza anche ai fini della gestione sostenibile del territorio e delle risorse.

Per l'osservazione della neve al suolo ci si può avvalere, oltre ai metodi tradizionali, di immagini riprese da fotocamere digitali di diversa tipologia. Hinkler et al. (2003) utilizzano immagini multispettrali (verde, rosso e infrarosso vicino) riprese con una fotocamera fissa che inquadra un'area costiera nella regione artica (Ny Ålesund, Svalbard) per monitorare le variazioni di albedo

del manto nevoso nel corso della stagione di fusione. In ambito montano, Corripio et al. (2004) utilizzano invece immagini panoramiche della *Mer de Glace* (M. Bianco) riprese con diversi angoli di vista (fotocamera con risoluzione 6 milioni di pixel) per determinare l'estensione della copertura nevosa stagionale.

Le immagini analizzate in questi lavori sono riprese per lo più da un operatore sul posto e sono relative ad una sola stagione di osservazione; esse hanno quindi una rilevanza limitata nel monitoraggio ambientale, in particolare per quanto riguarda lo studio delle variazioni climatiche in cui "lunghe" serie di dati rappresentano il vero valore aggiunto come mostrato da Buus-Hinkler et al. (2006) che hanno utilizzato immagini riprese da fotocamera fissa e immagini Landsat per monitorare la relazione tra la copertura nevosa e quella vegetale in ambiente artico.

In questi ultimi 10 anni, nel territorio alpino sono state installate, oltre ai sistemi meteo tradizionali, numerose webcam le cui immagini sono state utilizzate principalmente a fini turistici; queste immagini, però, se opportunamente elaborate possono essere utilizzate anche a scopi scientifici poiché caratterizzate da buona risoluzione (800x600x16 milioni di colori o superiori) e ottima frequenza di campionamento (immagini orarie per tutto l'arco dell'anno).

Una delle principali reti di webcam delle Alpi Italiane è quella gestita da ARPA Veneto, realizzata nel 1999 con i finanziamenti del Programma InterReg II Italia – Austria, utilizzando le infrastrutture tecnologiche fornite dalla società SVM di Romito Magra (La Spezia). Le immagini della rete webcam di ARPAV, vengono utilizzate per un monitoraggio visuale del territorio dai previsori meteo e dai previsori valanghe della sala operativa del Centro Valanghe di Arabba (cfr. <http://www.arpa.veneto.it/csvdi/svm/webarpav/index.html>). La banca dati delle immagini è residente presso il CED di Arabba.

Di recente sono state installate numerose webcam anche in area appenninica, distribuite diffusamente sul territorio soprattutto nel settore centro settentrionale (cfr. [http://www.meteoappennino.it/index.php?option=com\\_webcam&Itemid=86](http://www.meteoappennino.it/index.php?option=com_webcam&Itemid=86)); si tratta però di fotocamere finalizzate alla sola visualizzazione del manto nevoso per la fruizione turistico ricreativa.

I data base di queste immagini costituiscono un importante fonte di dati per lo studio dei cambiamenti climatici recenti, per la stima della risorsa idrica disponibile come neve e per l'analisi dell'evoluzione superficiale gionaliere del manto nevoso.

Al fine di sviluppare una metodologia che permettesse di utilizzare al meglio le numerose immagini raccolte negli anni dalla rete ARPAV e per capire se e come sia possibile acquisire immagini da postazione fissa, finalizzate a fornire dati dettagliati sul manto nevoso, è stato avviato il progetto KnowSnow. Tale progetto, oltre all'analisi delle immagini e allo sviluppo di procedure automatiche di analisi dati, ha previsto la realizzazione di una stazione sperimentale di osservazione nell'Appennino centrale in località Coste da Sole (Amatrice (RI)-Monti della Laga) equipaggiata in analogia alle stazioni dell'ARPAV.

In questo lavoro vengono illustrati il software per il riconoscimento della copertura nevosa e primi risultati ottenuti elaborando le immagini delle stagioni invernali 2008-2009-2010.

### **La stazione alpina ARPAV**

Nel presente lavoro sono state elaborate le immagini riprese dalla webcam della stazione di Cima Pradazzo (Falcade), (46°21'24"N, 11°49'20"E, 2200 m s.l.m.), ubicata a quota 2200 m nelle Dolomiti; l'angolo di vista della fotocamera è in direzione delle piste di sci del Comprensorio sciistico TreValli e sullo sfondo sono visibili le propaggini settentrionali delle Pale di San Martino con le Cime del Focobon (3054 m) e del Monte Mulaz (2906 m).

La scelta ditale ripresa è motivata dalle diverse "tipologie" di neve presenti nell'immagine: in primo piano neve non sottoposta a calpestio, in secondo piano, in corrispondenza di una pista da sci, neve più compatta in quanto soggetta al passaggio dei mezzi battipista e degli sciatori e pertanto destinata

a permanere più a lungo; inoltre i pendii sullo sfondo dell'immagine, non molto distanti, restano innevati fino a tarda stagione.

L'apparato webcam è installato in corrispondenza della stazione nivometeorologica di Cima Pradazzo, dotata di una ricca strumentazione meteorologica e nivologica, con sensori di altezza neve, temperatura superficiale e interna del manto nevoso, Flow Cap sperimentale per la misura del trasporto della neve ad opera del vento.

La stazione è munita di fotocamere Canon compatte, risoluzione 8 Mega Pixel, Zoom 10X (equivalente a 36-360 mm) il cui sistema di acquisizione e trasmissione dati è stato sviluppato dalla SVM srl.

Le immagini prese in considerazione in questo lavoro sono quelle relative alle stagioni invernali 2007 – 2008, 2008 – 2009 e 2009- 2010.

### **La stazione appenninica CNR-IIA**

Al fine di poter disporre di una serie immagini relative ad un'area della catena appenninica, si è proceduto alla progettazione e realizzazione di una nuova stazione sperimentale (CNR-IIA) nel comprensorio dei Monti della Laga, all'interno del territorio del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga.

I Monti della Laga si sviluppano per oltre 24 km tra gli altopiani di Amatrice (RI) e di Campotosto (AQ) e il subappennino teramano e sono inseriti geograficamente tra la catena dei M.ti Sibillini a S ed il massiccio del Gran Sasso a S.

La stazione Sperimentale CNR-IIA ricade nel territorio del comune di Amatrice ed è situata lungo la S.S. 260 "Picente" poco dopo il km 11,500. La webcam è posizionata sul lato Est di un edificio di proprietà del Comune di Amatrice che ha gentilmente messo a disposizione la struttura (42°35.396N, 13°19.787E, 1300 m s.l.m.). In prossimità della stazione CNR-IIA, in località Peschiere (42°60N 13°33E, 1270 m s.l.m.), è stata installata a cura del Servizio Meteomont una stazione manuale di rilevamento meteo, attiva nel periodo invernale, i cui dati sono disponibili in rete; in prossimità della webcam è in fase di installazione, a cura del CNR-IIA, una stazione meteo automatica.

La zona monitorata è situata sul versante destro del Fosso Cerruglia; è un'area in leggera pendenza priva di vegetazione arborea ma caratterizzata da vasti pascoli xerici. Lungo il corso del Fosso Cerruglia, che drena le acque superficiali dell'area studiata, è sviluppata una caratteristica vegetazione ripariale. Tale area, facilmente raggiungibile ma turisticamente poco frequentata, rappresenta un ottimo punto di osservazione per l'analisi delle coperture nevose e delle vegetazione naturale.

In secondo piano sull'immagine è visibile la catena della Laga, nel tratto compreso tra il M. Gorzano (2458 m) e la Cima della Laghetta (2369 m).

La stazione è stata dotata del medesimo sistema di ripresa delle stazioni dell'ARPAV (fotocamera Canon compatta, 8 Mega Pixel, Zoom 10X). Per questo lavoro, sono state elaborate tutte le immagini riprese da gennaio a marzo 2010, prima stagione di attività della stazione.

### **Il programma Snow-noSnow**

Le webcam collocate nelle stazioni di osservazione sono programmate per riprendere giornalmente immagini orarie; mole di nell'arco immagini registrate nell'arco di una stagione risulta, pertanto, difficile da utilizzare per analisi dettagliate. Per studiare le variazioni dell'estensione delle coperture nevose è stato pertanto realizzato un software (**Snow-noSnow**) che permette di identificare la copertura nevosa presente nelle immagini delle webcam in maniera automatica, con un intervento minimo da parte dell'operatore. Al momento attuale il software è stato sviluppato in modo specifico per elaborare le immagini riprese dalle webcam dell'ARPAV e dalla stazione di Amatrice ma è

modulabile per essere adattato anche a immagini provenienti da altre fotocamere e stazioni di misura.

La prima routine del programma Snow-noSnow permette di identificare le immagini non utilizzabili a seguito di un malfunzionamento dell'apparato di ripresa o a causa delle pessime condizioni meteo; in quest'ultimo caso ricadono immagini riprese in corrispondenza di forti nevicate, pioggia o nebbia fitta. Il software riconosce queste immagini in base all'analisi statistica dei valori di RGB su tutta l'area di ripresa della webcam e le esclude dalle elaborazioni successive.

La routine principale del programma permette l'identificazione delle superfici coperte da neve mediante un algoritmo di classificazione binario neve-non neve, ricavando da ogni immagine il valore soglia per il riconoscimento della copertura nevosa. La procedura di classificazione non richiede l'intervento dell'operatore se non nella fase iniziale di definizione della maschera da applicare alle immagini da classificare. Dall'analisi vengono infatti escluse le porzioni di immagini relative al cielo e agli elementi territoriali in secondo piano. La possibilità da parte dell'operatore di selezionare le aree da classificare permette in ogni caso di circoscrivere aree coerenti (tutto prato - tutta montagna) e di analizzare, se necessario anche porzioni di immagini in lontananza. Questa caratteristica del software è propedeutica alla possibilità di attribuire all'immagine coefficienti di correzione diversi in funzione delle caratteristiche topografiche dell'area analizzata; questa fase della procedura è attualmente in via di ulteriore implementazione.

L'applicativo permette sia di analizzare una singola immagine sia un set di immagini ottenibile specificando la data e l'ora di acquisizione delle stesse.

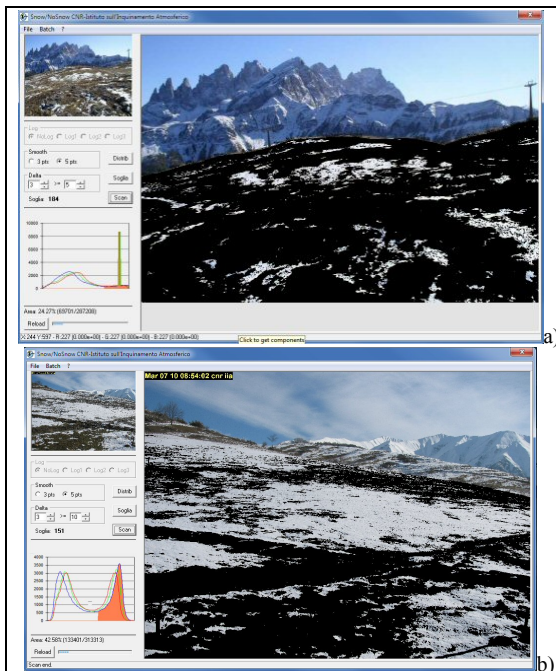


Figura 1 – Schermata interattiva del programma Snow-noSnow.

- a) Cima Pradazzo (Falcade)
- b) Coste da Sole (Amatrice).

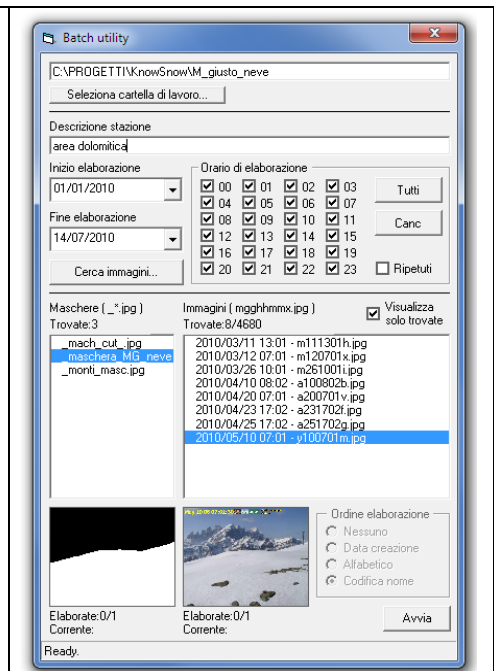


Figura 2 – Schermata relativa alla procedura batch.

### Risultati preliminari e sviluppi futuri

L'analisi effettuata utilizzando sia le immagini storiche dell'ARPAV sia le prime immagini acquisite dalla stazione di Amatrice ha mostrato le grandi potenzialità del software Snow-noSnow nel seguire con un buon dettaglio l'evoluzione del manto nevoso sia a scala annuale che giornaliera. Il programma realizzato permette, infatti, di analizzare in tempi estremamente rapidi le immagini di un intero anno estraendo la percentuale di pixel coperti da neve su ogni singola immagine. Nella figura 3 sono riportati, a titolo di esempio, i risultati dell'analisi delle immagini di Cima Pradazzo

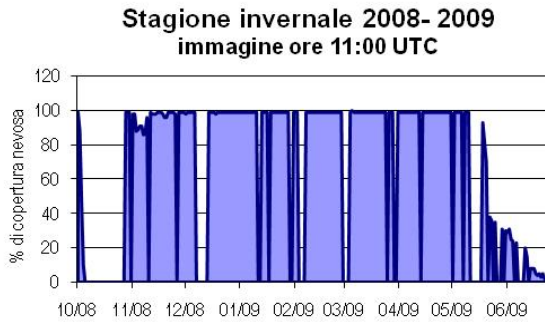


Figura 3 – Valore percentuale di copertura nevosa relativo all'immagine di Cima Pradazzo.

riprese giornaliere (ore 11) durante la stagione invernale 2008-2009.

Il grafico evidenzia la repentina ed abbondante comparsa di neve nel mese di ottobre 2008 su tutta l'area esaminata e il graduale scioglimento della stessa tra maggio e giugno 2009. Questa analisi ha anche evidenziato i giorni in cui le immagini non sono state trasmesse al CED di Arabba per mancanza di copertura telefonica.

Selezionando le immagini riprese ad intervallo orario, è

possibile inoltre seguire nel dettaglio la distribuzione della neve al suolo queste analisi sono estremamente interessanti soprattutto nella stagione di ablazione quando è necessario sapere non solo quanta neve è presente sul terreno ma se è distribuita su tutto il territorio di indagine. L'analisi delle immagini orarie della stazione di Amatrice, ha evidenziato come nel corso di una stessa giornata la copertura nevosa passi da più del 40% a zero (figura 4), sottolineando così le diverse modalità di permanenza della neve al suolo della regione appenninica rispetto a quella alpina. I dati che verranno raccolti da questa stazione rappresentano pertanto un elemento significativo per gli studi climatici a scala regionale.

I dati estrapolabili dalle immagini possono inoltre integrare le misure puntuali ottenibili dai nivometri. Questi ultimi infatti non sempre forniscono una dettagliata lettura del territorio innevato come evidenziato dal grafico derivato dall'analisi delle immagini relative alle stagione 2008-2009 e dei valori medi giornalieri di altezza del manto nevoso, misurati dal nivometro di Cima Pradazzo posto a 7 metri dalle webcam (figure 5a-b). Il grafico mostra come nel periodo primaverile la neve si scioglie in corrispondenza del nivometro, ma permane invece nelle altre aree ricadenti nel campo di vista della fotocamera. Tale copertura nevosa, seppur discontinua sul territorio, può però rappresentare ancora una risorsa idrica potenziale o determinare alti valori di albedo.

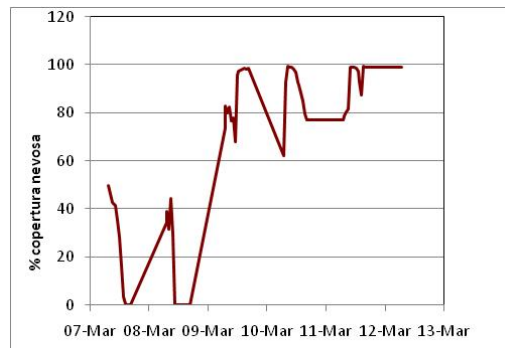
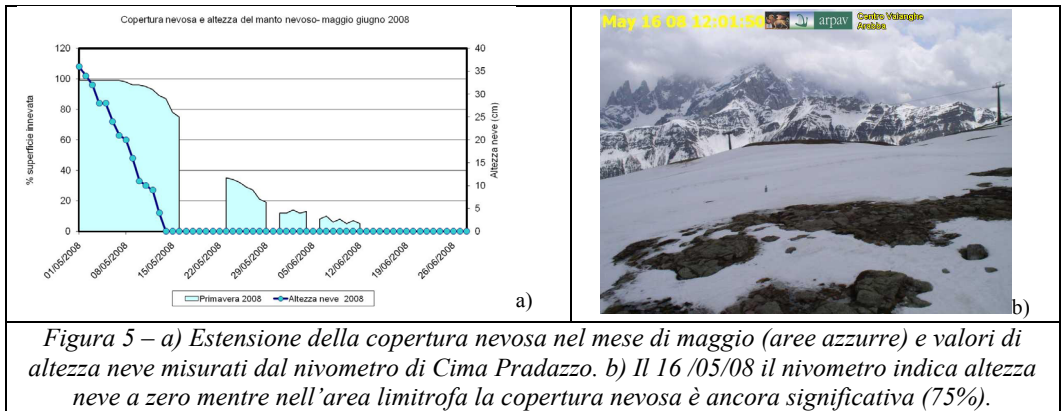


Figura 4 – Variazione delle copertura nevosa derivata dalle immagini orarie (7-11 03 2010) della fotocamera di Amatrice.



Lo sviluppo futuro del software Snow-noSnow prevede l'utilizzo congiunto del DEM dell'area di osservazione e di una routine di correzione geometrica al fine di valutare l'effettiva estensione areale delle coperture nevose, attualmente espresse come percentuali. L'utilizzo del DEM prevede inoltre lo sviluppo di una procedura per la stima del volume di neve al suolo da utilizzare nei modelli per il calcolo degli equivalenti in acqua. E' in fase di sviluppo anche una routine che consentirà di stimare la rugosità del manto nevoso al fine di valutare l'azione del vento in quota. Dal punto di vista strumentale è in corso una sperimentazione per l'analisi delle variazioni delle caratteristiche superficiali del manto nevoso tramite dati ripresi nell'infrarosso vicino.

Le immagini delle webcam fisse si sono quindi rivelate di notevole utilità nel monitoraggio delle coperture nevose poiché permettono di avere dati ambientali ripresi con continuità e in condizioni controllate; alle immagini infatti è possibile associare dati meteo-ambientali con estrema facilità e costi ridotti, come dimostrato nell'allestimento della stazione CNR-IIA di Amatrice. Questa tipologia di immagini può inoltre rappresentare un utile elemento di supporto per l'interpretazione delle immagini riprese dai sensori remoti; quest'ultime permettono infatti una buona visione delle coperture nevose a scala regionale e stagionale ma, per i tempi di rivisitazione e la scala di osservazione, non sempre possono essere utilizzate per il monitoraggio in continuo delle aree innevate.

### Riferimenti Bibliografici

- Buus-Hinkler J., Hansen B.U., Tamstorf M. P., Pedersen S. B.(2006), "Snow-vegetation relations in a High Arctic ecosystem: Inter-annual variability inferred from new monitoring and modeling concepts", *Remote Sensing of Environment* 105 , 237–247.
- Hinkler J., Ørbæk J.B., Hansen B.U. (2003), "Detection of spatial, temporal and spectral surface changes in the Ny-Alesund area 79N, Svalbard, using a low cost multispectral camera in combination with spectroradiometer measurements", *Phys. and Chem. of the Earth* 28, 1229-1239.
- Corripio J.G. (2004), "Snow surface albedo estimating using terrestrial photography", *Int. J. Remote sensing*, 25,24,5705-5729.
- [http://www.meteoappennino.it/index.php?option=com\\_webcam&Itemid=86](http://www.meteoappennino.it/index.php?option=com_webcam&Itemid=86)
- <http://www.arpa.veneto.it/csvdi/svm/webarpav/index.html>