

## **EO-Hydro: un servizio informativo per il monitoraggio e la gestione degli impianti idroelettrici**

Lucia TAMPELLINI <sup>(a)</sup>, Line EIKVIL <sup>(b)</sup>, Eirik MALNES <sup>(c)</sup>, Thomas NAGLER <sup>(d)</sup>, Giovanna OBER <sup>(a)</sup>, Desmond POWER <sup>(e)</sup>, Tazio STROZZI <sup>(f)</sup>, Fabio D. VESCOVI <sup>(a)</sup>, Pierre VINCENT <sup>(a)</sup>

(a) Carlo Gavazzi Space SpA via Gallarate, 150 - 20151 Milano (IT) Tel. +0039 02-38048296 Fax. -3086458  
e-mail: ltempellini@cgspace.it URL: www.cgspace.it

(b) Norsk Regnesentral, P.O.Box 114 Blindern, 0314 Oslo, Norway. Tel: +47 22 85 25 00, URL www.nr.no/

(c) NORUT Information Technology Ltd. Po. Box 6434, Tromsø Research Park N- 9294 Tromsø, Norway Phone : + 47 77 62 94 51 Fax : + 47 77 62 94 01 URL: www.itek.norut.no

(d) ENVEO Technikerstrasse 21a A-6020 Innsbruck AUSTRIA tel: ++43 (0)512-507-4830 URL: www.enveo.at

(f) Gamma Remote Sensing Worbstrasse 225 - 3073 Gümliigen (CH) Tel: 0041 91 826 14 06

(g) VIASAT Géo-Technologie inc. 4101 rue Molson, bur 400 Montréal, Qc, Canada H1Y 3L1 Tél: (514) 495-6500  
Fax: (514) 495-4191 URL www.viasat-geo.com

### **Riassunto**

Utilizzare in modo sempre più efficiente ed esteso le fonti di energia rinnovabile è oggi diventata una priorità strategica nelle politiche della Comunità Europea. Le tecnologie di Osservazione della Terra (OT) possono contribuire a questo obiettivo, come dimostra il servizio EO-Hydro, dedicato al monitoraggio ed alla gestione degli impianti idroelettrici. Il servizio è promosso da ESA nell'ambito del programma EOMD (Earth Observation Market Development) e sviluppato da Carlo Gavazzi Space in collaborazione con esperti e scienziati in Norvegia, Svizzera, Austria e Canada. Il "portfolio" prodotti di EO-Hydro è mirato alla gestione dell'acqua ed alla sicurezza delle dighe. I principali prodotti forniti sono:

- mappe giornaliere della neve a scala nazionale e regionale (250 m);
- curve stagionali di deplezione;
- previsioni (fino a 7 giorni) di portata d'acqua dei bacini;
- equivalente in acqua della neve;
- mappe di deformazione del terreno a scala regionale, locale e della struttura della diga;
- misure di altezza dell'acqua nei bacini.

I prodotti derivano dalla elaborazione di immagini di sensori SAR (ENVISAT-ASAR, RADARSAT) e di sensori ottici (MODIS, ENVISAT-MERIS) e vengono resi disponibili all'utente in diversi formati via Internet. Le mappe della neve sono generate tramite algoritmi specifici per ciascuna area di interesse; attualmente il servizio copre l'intero arco alpino e la Norvegia.

Le mappe di deformazione sono basate sulla elaborazione INSAR (ENVISAT ASAR), per il monitoraggio dei versanti del bacino e delle deformazioni delle strutture.

Le previsioni di portata si basano su un modello idrologico che utilizza, oltre che dati meteorologici, prodotti geofisici derivati dalla elaborazione di immagini satellitari.

Nei grandi bacini canadesi del Québec è stato utilizzato con successo il Radar Altimetro (ENVISAT) per misurare l'altezza dell'acqua e RADARSAT/SAR per la stima del SWE.

Oggi EO-HYDRO fornisce servizi ai principali produttori idroelettrici dell'area Alpina (VERBUND, ENEL, AEM), Scandinava (STATKRAFT, BKK, GLB), Canadese (Hydro-Quebec e BC-Hydro) ed ha già stabilito contatti con produttori in altri continenti, come in Sud America (Cile) ed in Asia (Nepal). L'attenzione e la collaborazione da parte dei produttori idroelettrici dimostrano la qualità e l'efficacia del servizio e confermano le potenzialità degli strumenti di OT al fine di consentire l'uso sicuro ed efficiente degli impianti idroelettrici.

In questo lavoro vengono presentati alcuni metodi e risultati relativi alla classificazione della neve con relative curve di deplezione, all'equivalente in acqua della neve ed alla previsione delle portate del bacino.

## **Abstract**

EO-Hydro Service was developed in the frame of the ESA EOMD Programme, with the aim of providing Hydro Power Companies with innovative products based on the processing of Earth Observation data. These are derived from both SAR and optical satellite sensors. The service results from the integration of technologies available in research institutes and industries based in the Alpine area, Canada and Norway. Its main focus is the water management and the security of the dams. The provided products here presented are related to snow cover, snow water equivalent and runoff forecast.

## **Introduzione**

EO-Hydro è un progetto realizzato nell'ambito del programma ESA EOMD (Earth Observation Market Development). Il progetto ha sviluppato prodotti e servizi per le Aziende Idroelettriche basati sull'elaborazione dei dati di Osservazione della Terra (OT). Le tecnologie di OT sono un'importante integrazione alle tecniche di monitoraggio tradizionali delle risorse idriche attualmente in uso presso le compagnie idroelettriche. L'interesse per tali tecnologie è dovuto sia a motivi economico-gestionali, a seguito della recente introduzione del regime di privatizzazione dell'energia elettrica, sia per la crescente preoccupazione relativa a cambiamenti climatici e ambiente.

I risultati presentati in questo lavoro sono relativi ai seguenti prodotti:

- mappe della copertura del manto nevoso;
- mappe di stima equivalente in acqua della neve;
- previsioni di portata d'acqua nei bacini.

Tutti i prodotti sono accessibili on-line per gli utenti e sono forniti in formato GIS compatibile.

## **I metodi di classificazione delle nevi**

Sono stati sviluppati due approcci diversi, uno per l'area scandinava e l'altro per l'area alpina.

### *Il metodo di classificazione delle nevi in Scandinavia*

Le procedure per la classificazione della neve a scala regionale integrano dati multi sorgente ottici e radar SAR a diverse risoluzioni. Esse sono le seguenti:

- 1) procedura per la classificazione della copertura nevosa con sensori ottici;
- 2) procedura per la classificazione della copertura nevosa con sensori radar SAR;
- 3) integrazione fra i due prodotti ottenuti dalle precedenti procedure.

Di seguito viene data una breve descrizione delle tre procedure che costituiscono l'intero metodo.

1) Questa procedura genera mappe a 250 m di risoluzione e fa uso di immagini MODIS (MOD02QKM) a circa 231 m di risoluzione per la classificazione del manto nevoso e di immagini MODIS (MOD021KM) a circa 1 Km di risoluzione per la classificazione delle nuvole. Il motivo per cui vengono usate immagini a 1 Km di risoluzione per la classificazione delle nuvole è che tale prodotto ha più bande spettrali di quello a 250 m. La classificazione delle nuvole è eseguita usando uno schema di classificazione KNN (k-Nearest Neighbor). La maschera delle nuvole risultante viene ricampionata a 250 m. La classificazione della copertura nevosa usa in input la maschera delle nuvole, una preesistente classificazione del suolo e una maschera di calibrazione. Il processo è effettuato su dati calibrati radiometricamente. Si assume una relazione lineare tra la frazione di terreno coperto da neve e la radianza del pixel. Il prodotto fornisce la percentuale di area coperta di neve da 0 a 100% stimata per ciascun pixel dell'immagine. E' prodotta anche una mappa di confidenza.

2) Questa procedura genera una mappa a scala regionale della neve a 250 m di risoluzione utilizzando dati ENVISAT ASAR in input. Le immagini ASAR WS sono calibrate per i valori di retrodiffusione in decibel (dB). Poi è applicato l'algoritmo di Nagler (Nagler e Rott, 1997) impiegando una soglia tra l'immagine considerata e una immagine invernale validata. L'output è

una classificazione della neve bagnata. La neve asciutta è in seguito estrapolata sulla base della linea della neve bagnata e del modello digitale del terreno (Malnes et al. 2002). I pixel di foresta e di lago sono mascherati. Viene altresì prodotta una mappa di confidenza.

3) I singoli prodotti della copertura nevosa generati da dati ottici e SAR sono in seguito integrati. L'algoritmo di fusione genera una mappa selezionando i pixel che hanno il massimo grado di confidenza sui prodotti singoli, ottico e SAR. La mappa attuale è costituita da pixel cumulati su un certo periodo temporale, tipicamente una settimana.

#### *Il metodo di classificazione delle nevi per l'area alpina*

Carlo Gavazzi Space ha sviluppato un metodo che genera le mappe di copertura del manto nevoso a scala regionale (250 m di risoluzione) impiegando in input immagini del satellite MODIS (fig. 1). L'elaborazione delle mappe di copertura nevosa a 250 m di risoluzione utilizza in input immagini MODIS a 500 m e 250m di risoluzione (MOD09GHK e MOD09GQK rispettivamente). La maschera delle nuvole è ottenuta da immagini a 500 m di risoluzione e viene in seguito ricampionata a 250 m. La classificazione della neve è effettuata su immagini a 250 m ed è in seguito corretta per gli errori sulle foreste di conifere. La copertura nevosa al di sotto di queste coperture, infatti, non è visibile dagli strumenti ottici e quindi deve essere estrapolata in dipendenza della mappa della vegetazione e dell'altitudine. L'algoritmo può generare delle mappe composite nelle quali solo le porzioni di immagini quotidiane senza nuvole nell'arco di una settimana vengono composte.

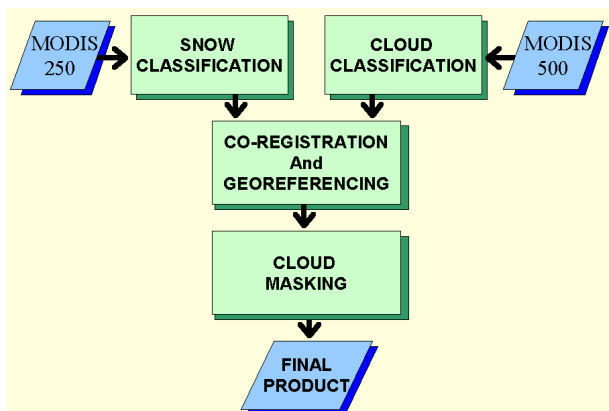


Figura 1: Diagramma di flusso per la classificazione della copertura nevosa per la regione alpina.

#### **Metodo di stima dell'equivalente in acqua della neve**

Il processo è effettuato per mezzo del software EQeau che è stato sviluppato congiuntamente da VIASAT Géo-Technologie inc. e da Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau) dell'Università del Québec, per la Hydro-Quebec Society (Bernier 1991 e Bernier et al. 1998). Le immagini in input sono di RADARSAT ed di ENVISAT ASAR. Il software EQeau necessita dei seguenti dati in input:

- un'immagine di riferimento (preferibilmente acquisita in autunno quando in Canada il suolo è ghiacciato e privo di neve);
- l'immagine invernale di interesse;
- la densità media della neve (ottenuta da campagne a terra, modelli o dati storici)
- la maschera della copertura del suolo (da una precedente classificazione Landsat-TM)

Il principio fisico per coperture nevose basse è basato su due equazioni (Bernier et al. 1998; Romanov et al. 2000):

1) la prima equazione è una relazione tra il rapporto di retrodiffusione tra due immagini, una con l'altra senza neve, e la resistenza termica della neve (fig. 2).

$$Rest = m (\sigma_h/\sigma_a) + b$$

dove:

Rest è la resistenza termica della neve

$\sigma_h$  è la immagine invernale con la neve che deve essere considerata.

$\sigma_a$  è la immagine autunnale senza la neve.

m e b sono la pendenza e l'intercetta della relazione lineare tra il rapporto di retrodiffusione e la resistenza termica rispettivamente.

2) La seconda equazione è una relazione tra l'equivalente in acqua della neve e la resistenza termica della stessa. Questa relazione è lineare ma la pendenza della regressione è una funzione della densità della neve (fig. 2)

$$SWE_{est} = \alpha \text{ Rest}$$

dove:

$SWE_{est}$  è l'equivalente in acqua della neve;

$\alpha$  è la conduttività termica della neve:  $\alpha = A\rho^2 + B\rho + C$  (con  $A = 2,83056 \times 10^6$ ,  $B = -9,09947 \times 10^5$  e  $C = 0,0319739$ )

$\rho$  è la densità della neve (kg/m<sup>3</sup>)

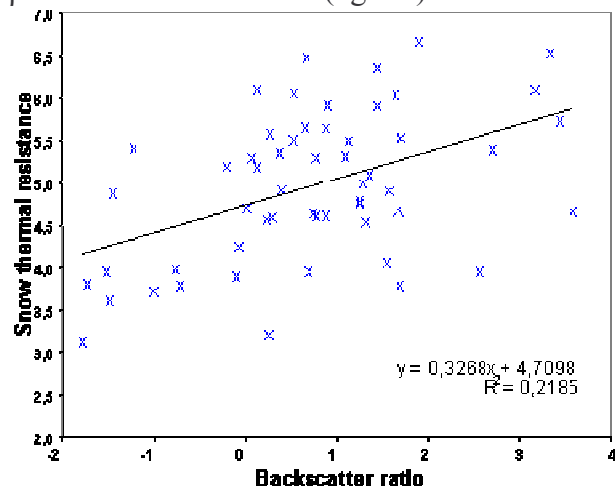
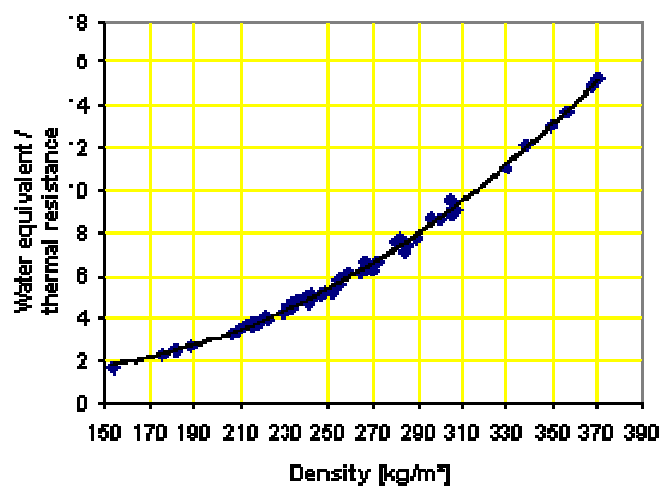


Figura 2: A sinistra: relazione tra il rapporto (tra immagini con e senza neve) di segnale SAR di retrodiffusione e la resistenza termica della neve. A destra: relazione tra l'equivalente in acqua e la resistenza termica della neve.

### Metodo di stima delle previsioni delle portate d'acqua nei bacini

Tale metodo si basa sull'applicazione di un modello idrologico semi-distribuito sviluppato da ENVEO (Nagler e Rott, 1997) ed attualmente applicato in alcuni bacini austriaci nell'area dello Zillertal. Esso richiede in input dati OT (immagini elaborate ottiche MODIS e radar ASAR) e dati meteorologici in loco (osservazioni e previsioni di temperatura e precipitazioni, vedi fig. 3).

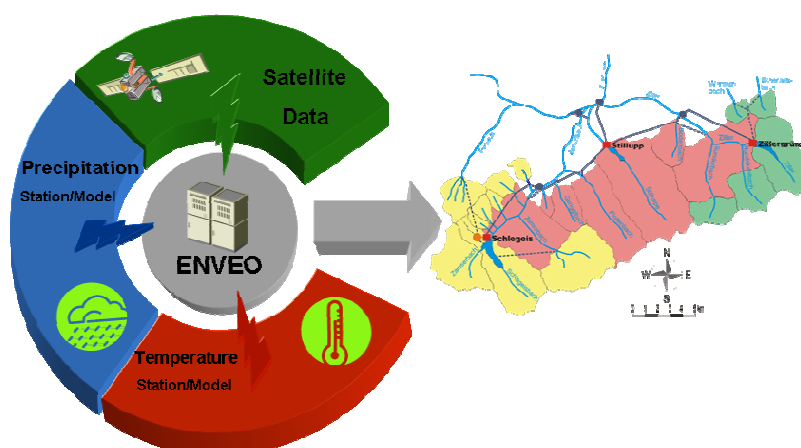


Fig. 3: Schema del modello idrologico sviluppato da ENVEO per le previsioni di portate d'acqua nei bacini.

### Risultati del metodo della copertura del manto nevoso per l'area scandinava

In Figura 4 è rappresentata una sequenza temporale di mappe a 250 m di risoluzione che rappresentano la copertura del manto nevoso per la Norvegia. Tali mappe sono già il prodotto derivato dall'integrazione di diversi sensori (MODIS per l'ottico e ASAR per il radar) in acquisizioni multiple.

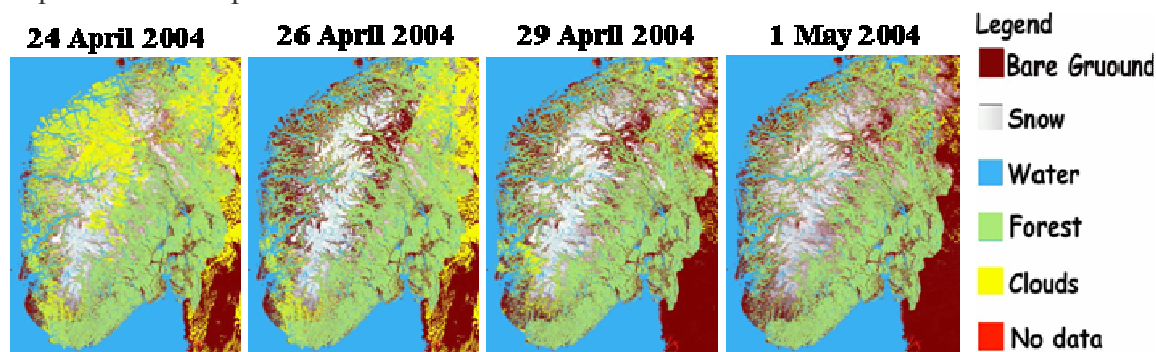


Figura 4: Esempi di prodotti generati dal metodo di classificazione della copertura nevosa a 250 m di risoluzione per l'area scandinava.

### Risultati del metodo di classificazione del manto nevoso sulle Alpi

La Figura 5 mostra un esempio della sequenza temporale delle mappe relative al manto nevoso di un bacino alpino (Valtellina) con una risoluzione di 250 m. Ogni riquadro è il risultato di un'acquisizione composita di 7 giorni, in cui sono state riunite, delle immagini giornaliere di una settimana, solamente le porzioni senza nuvole. La valutazione di accuratezza di tali risultati è effettuata utilizzando una rete locale di osservazione dei punti sugli stessi bacini delle Alpi. Inoltre è possibile ottenere mappe del manto nevoso su scala locale anche a risoluzioni più elevate benché a frequenze più basse. Attraverso l'elaborazione di queste mappe digitali è possibile generare dati statistici come le curve di deplezione della neve, come si osserva in figura 6. Le curve rappresentano il progressivo scioglimento delle nevi, settimana per settimana e a diverse quote altitudinali, nel sottobacino della Val Grosina.

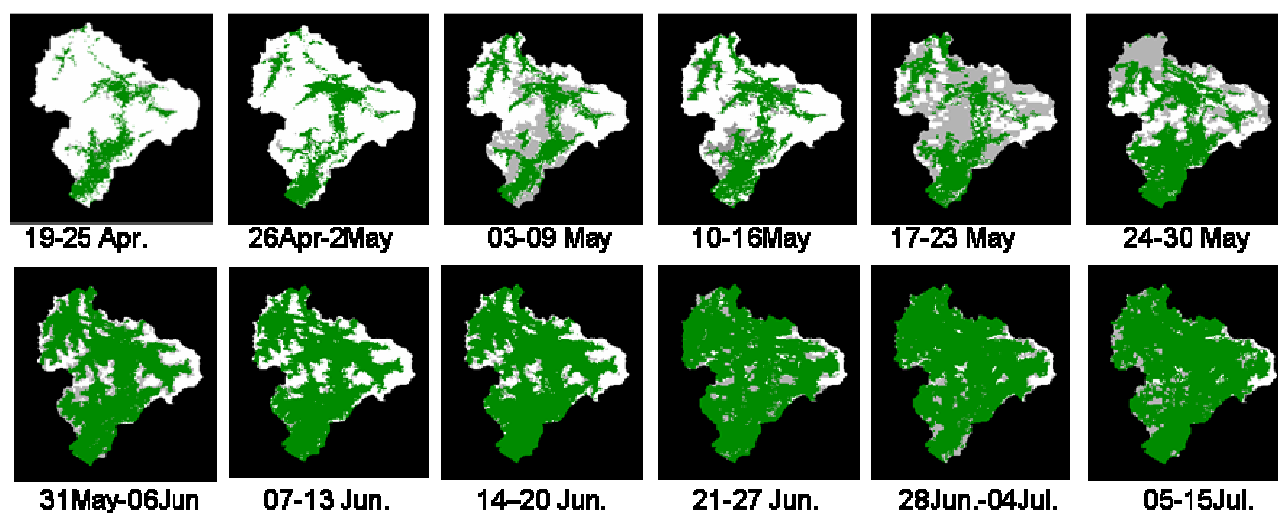


Figura 5: Esempi di mappe settimanali della copertura nevosa con risoluzione di 250 m per bacini in Valtellina nel periodo da metà aprile a metà luglio 2006. Bianco: neve; Verde: privo di neve; Grigio: nuvole.

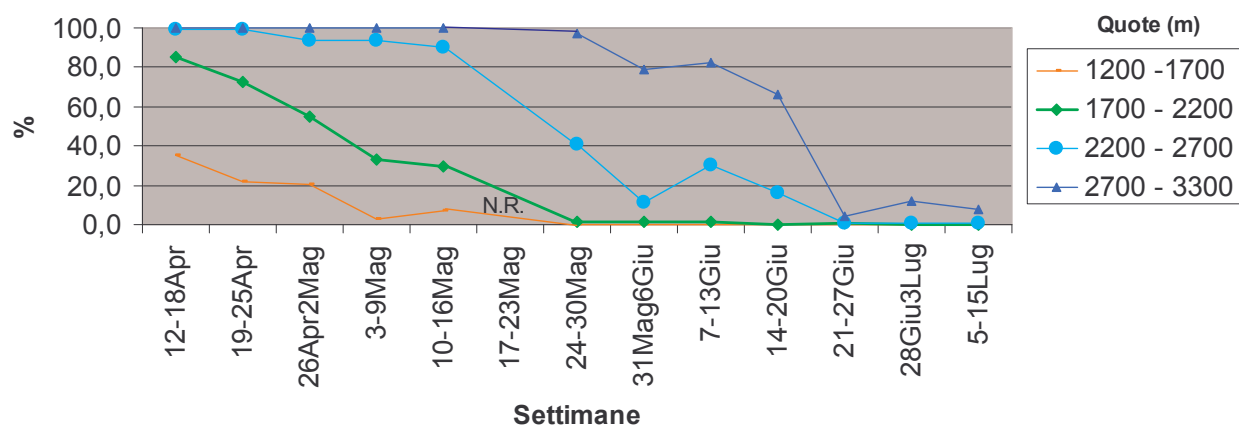


Figura 6: Curve di deplezione delle nevi derivate dall'elaborazione delle mappe nevose di fig. 5. Il grafico si riferisce alla zona della Val Grosina, un sottobacino del bacino della Valtellina.

### Risultati del metodo di stima dell'equivalente in acqua della neve

Le mappe di stima dell'equivalente in acqua della neve che risultano dall'applicazione del metodo (vedi esempio pubblicato in Tampellini et al. 2005) sono in formato raster con dimensione del pixel pari a 375 m x 375 m, codificato a 8 bit. Ciascun pixel rappresenta un intervallo di valori dell'equivalente in acqua della neve in mm. Ogni classe copre 50 mm.

### Risultati del metodo di stima delle previsioni delle portate d'acqua nei bacini

I prodotti forniti dal modello sono l'equivalente in acqua della neve, le curve di deplezione, la previsione giornaliera delle portate fino a 7 giorni di anticipo e la valutazione della qualità delle previsioni. Essi vengono forniti quotidianamente verso le ore 7:30 del mattino su apposita pagina web riservata per l'utente (vedi esempi in URL <http://www.eohydro.com/RunoffExample.htm>).

### Conclusioni

I metodi applicati si sono dimostrati adatti a produrre mappe di classificazione delle coperture nevose, mappe di stima dell'equivalente in acqua della neve e previsione delle portate nei bacini. Il servizio EO-Hydro è stato testato dai produttori di energia idroelettrica e si è rivelato un utile strumento per la previsione e gestione dei bacini idrici nelle aree studiate. Il servizio permette un uso efficiente e sostenibile delle risorse idriche disponibili per la generazione di energia. Sono comunque necessari e vanno pianificati miglioramenti in termini di accuratezza dei risultati. Ulteriori sviluppi dei metodi sono previsti e verranno testati al di fuori delle attuali aree di applicazione.

### Bibliografia

- Bernier, M. (1991) Évaluation des données d'un radar à antenne synthétique (RAS) en bandes C et X, pour la surveillance du couvert de neige. Thèse de doctorat (Ph.D.) INRS-Eau, Université du Québec, 198 p.
- Bernier, M., J.P. Fortin (1998) The Potential of Times Series of C-band SAR Data to Monitor Dry and Shallow Snow cover. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36 (1) 226-243.
- Nagler T., H Rott. The application of ERS-1 SAR for snowmelt runoff modelling, Proc. Rabat Symp. S3, April 1997, IAHS Publ. No 242, pp 119-126.
- Malnes E., Guneriusson T., Høgda K. A. (2002). Mapping of snow covered area with Radarsat in Norway. Proceedings to IGARSS, Toronto, Canada, 24-28 June, 2002.
- Romanov, P., G. Gutman, and I. Csiszar. (2000) Automated monitoring of snow cover over North America with multispectral satellite data, J. Appl. Meteorol., 39: 1866-1880.
- Tampellini L., Eikvil L., Malnes E., Ober G., Power D., Strozzi T., Vescovi F. D., Vincent P. (2005). EO-Hydro: Earth Observation Data for Hydropower Plant Management. Proceedings to 31<sup>st</sup> ISRSE, St. Petersburg, Russia, June 2005.