



## PROGETTO “GLASNOWMAP”: IL TELERILEVAMENTO PER IL MONITORAGGIO DEI GHIACCIAI E DELLA COPERTURA NEVOSA



L'osservazione della terra mediante immagini telerilevate risveglia un interesse sempre maggiore fra gli operatori che necessitano di conoscere lo stato di determinate componenti ambientali e di valutare i cambiamenti a cui le stesse sono sottoposte. Le attuali tecniche di indagine consentono l'impiego di dati acquisiti da sensori aviotrasportati o installati su piattaforme satellitari e permettono di derivare le informazioni necessarie sulla base della radianza emessa, nelle diverse lunghezze d'onda, dalla superficie osservata. L'applicazione di tali metodi di indagine risulta essere particolarmente vantaggiosa qualora si debbano derivare informazioni areali di ampie porzioni di territorio difficilmente accessibili e morfologicamente complesse.

### IL PROGETTO

Nell'ambito delle attività di monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente naturale, in risposta alle nuove competenze attribuite all'Agenzia con la L.R. 18/2001, l'ARPA Valle d'Aosta ha preso parte al progetto “GLASNOWMAP – Glaciers and Snow Mapping Information Service” finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nell'ambito del Data User Programme. Tale progetto, sviluppato da un gruppo di lavoro costituito dalla Carlo Gavazzi Space SpA, dall'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA) del CNR di Milano e dalla Gamma Remote Sensing (Berna – CH), ha lo scopo di definire e realizzare un sistema informativo per il monitoraggio delle variazioni dei ghiacciai e della copertura nevosa nella regione alpina basato sull'impiego delle immagini satellitari; gli utenti finali dei prodotti sviluppati dal servizio sono rappresentati dagli enti che, a diverso titolo, si occupano di tali tematiche. I prodotti elaborati sono diffusi attraverso la rete internet; in questo modo il reperimento dei dati (visualizzazione e prelievo dal server centrale mediante download) risulta essere immediato ed economico.



Il servizio sviluppato all'interno del progetto, ormai operativo e in fase di valutazione da parte degli end users, ha previsto l'impiego di dati multispettrali e multisorgenti provenienti dai satelliti:

- ENVISAT (sensori MERIS, AATSR, ASAR)
- NOAA (AVHRR)
- ERS-2 (SAR, ATSR)
- LANDSAT (TM, ETM+)

ed è articolato nei seguenti moduli, per ognuno dei quali è previsto uno specifico prodotto:



**Monitoraggio dei ghiacciai:** il servizio fornisce la mappa tematica dei ghiacciai analizzati alla quale sono associati i principali parametri geometrici e statistici. Sono inoltre individuati il bacino di accumulo e di ablazione e definita la posizione della linea di equilibrio (Ghiacciai del Lys, Adamello, Allalin, Gorner).

Risoluzione spaziale: 30 m, Risoluzione temporale: 1 anno



**Mappatura della copertura nevosa:** è prevista la Realizzazione della mappa tematica della copertura nevosa (con statistica relativa alle classi identificate) e mappa tematica dell'altezza della neve (Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia).

Risoluzione spaziale: 300 m, Risoluzione temporale: 10 giorni



**Modello di scioglimento:** il servizio fornisce una previsione a tre giorni della portata d'acqua dei fiumi nel periodo primaverile-estivo sulla base delle mappe tematiche di copertura nevosa e utilizzando i dati meteorologici come input di un modello di scioglimento (snow-melt run-off) (bacino della Dora Baltea chiuso a Aymavilles).

## DALL'IMMAGINE ALL'INFORMAZIONE

I processi che si rendono necessari per la produzione delle mappe tematiche richiedono specifiche competenze per il trattamento dell'immagine, nonché un'ottima conoscenza, almeno nella fase di "addestramento" del sistema, delle superfici osservate. Le immagini acquisite dal satellite vengono dapprima geocodificate (attribuzione di coordinate ai singoli pixel) e ortorettificate (correzione dell'immagine in funzione della morfologia del terreno); in seguito, mediante l'applicazione di appositi algoritmi (secondo tecniche di fuzzy logic) sono classificate: ad ogni pixel, in funzione dei valori di radianza nelle diverse lunghezze d'onda, viene attribuita l'appartenenza ad una delle classi individuate: roccia, neve, ghiaccio, ecc.

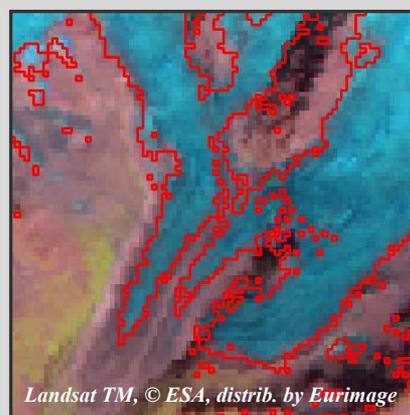
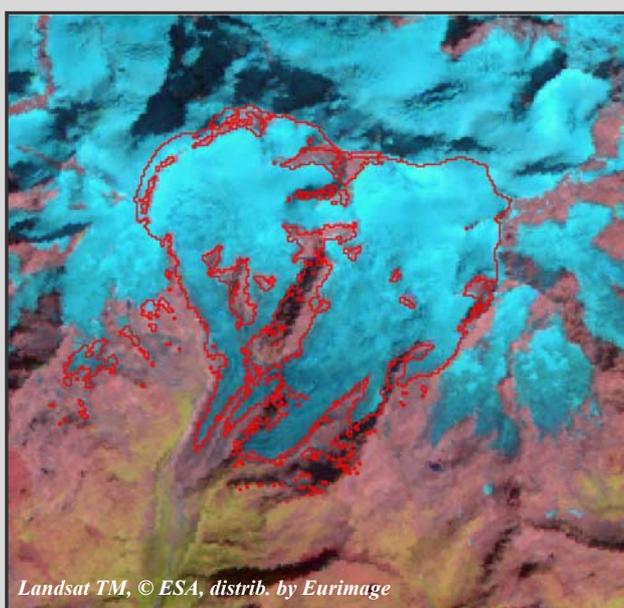


Fig. 1 (sinistra) Immagine LANDSAT TM del 12/09/1985, composizione RGB543 con sovrapposti i limiti del ghiacciaio del Lys derivati dalla classificazione. Immagine processata da IREA-CNR nell'ambito del progetto IGMS (finanziato Agenzia Spaziale Italiana)

Fig. 2 (destra) Dettaglio della zona della fronte; ben visibili le morene laterali. Anno 1985

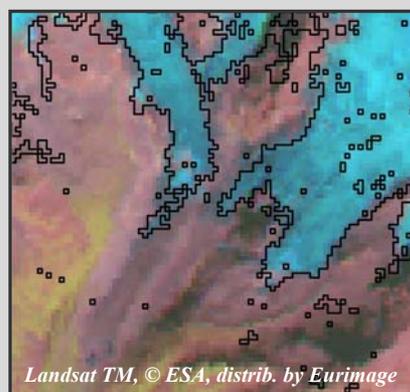
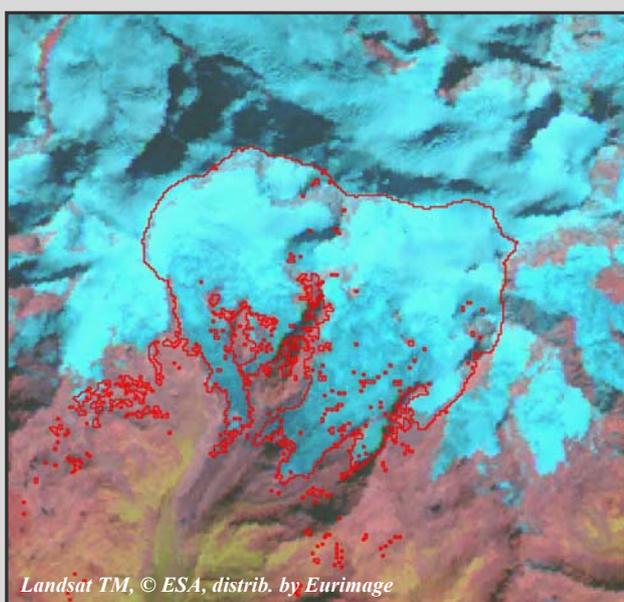


Fig. 3 (sinistra) Immagine LANDSAT TM del 14/09/2003, composizione RGB543 con sovrapposti i limiti del ghiacciaio del Lys derivati dalla classificazione

Fig. 4 (destra) Dettaglio della zona della fronte. Anno 2003

Il confronto di immagini riferite a periodi diversi (analisi multitemporale) consente di effettuare valutazioni sulle variazioni degli oggetti monitorati intervenute nel corso del periodo considerato: nel caso del Ghiacciaio del Lys, osservando i dettagli delle fronti (anni 1985 e 2003) è evidente l'arretramento del ghiaccio sia nel settore orientale, sia in quello occidentale, fenomeno che conduce ad una regressione planimetrica pari a circa 450 m nei 18 anni considerati.

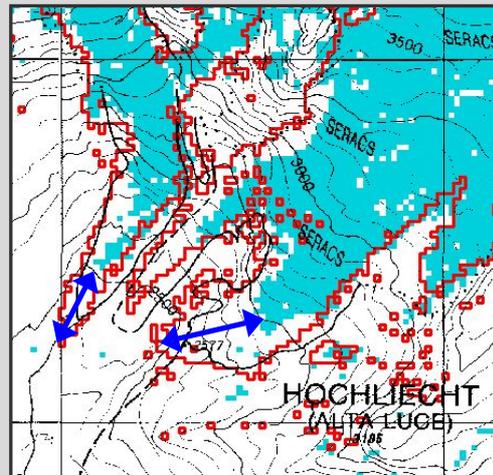


Fig. 5 Variazione della posizione della fronte del Ghiacciaio del Lys (Orientale e Occidentale) nel periodo 1985 (linea rossa) - 2003 (campitura azzurra). I tratti blu evidenziano l'entità dell'arretramento della fronte (Elemento della CTRN ceduto in data 20.04.2000, n. 121)

L'approccio seguito per l'analisi dei ghiacciai è funzionale anche al monitoraggio della copertura nevosa a scala regionale; la risoluzione geometrica (150 e 300 m) dei sensori impiegati non permette, infatti, analisi di maggior dettaglio.

Il confronto delle mappe tematiche prodotte a partire da immagini acquisite regolarmente ogni 10 giorni consente di definire l'andamento dello scioglimento e quantificare la risorsa disponibile al suolo. Unendo a questa informazione i dati rilevati dalle stazioni nivometriche a terra, opportunamente trattati all'interno di un apposito modello matematico, è possibile associare anche il parametro "altezza della neve".

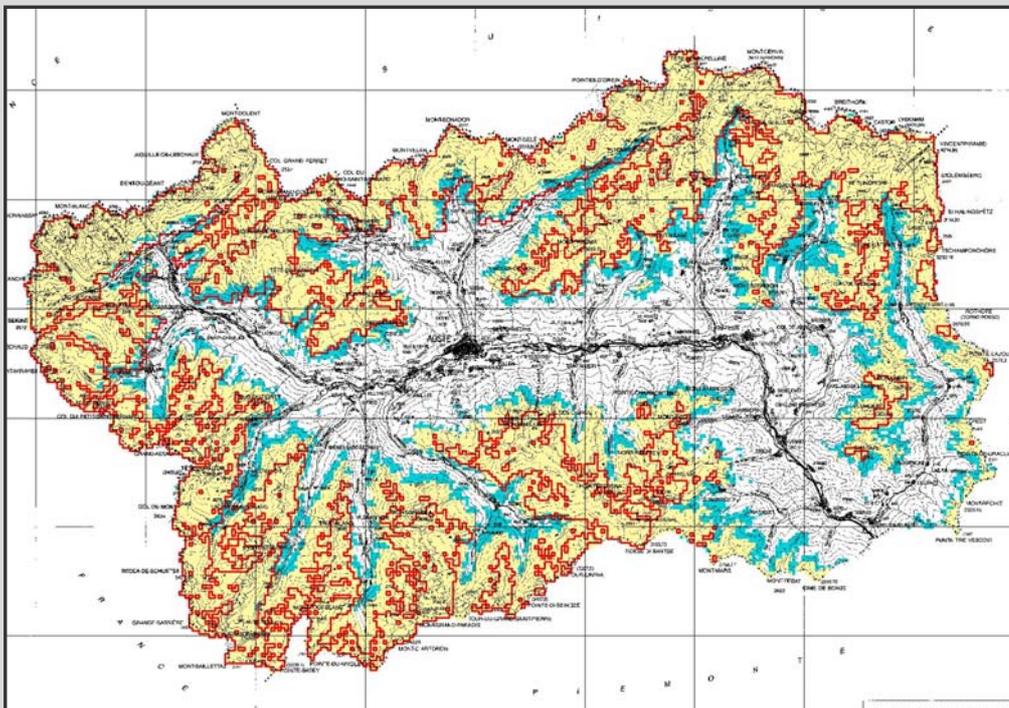


Fig. 6 Sovrapposizione delle mappe di distribuzione della neve derivate da immagini ENVISAT (rosso: 12/11/2002, azzurro: 01/12/2002, giallo 03/05/2003). Elemento della CTRN in scala 1:250.000 ceduto in data 22.10.2003 n. 726.



## IL RUOLO DI ARPA VALLE D'AOSTA NEL PROGETTO

L'ARPA Valle d'Aosta ha svolto un ruolo attivo nella fase preliminare del progetto, contribuendo alla definizione dei requisiti del servizio, e in corso d'opera, partecipando alle campagne di rilievo a terra effettuate annualmente a partire dal 2001 sul Ghiacciaio del Lys.



*Fig. 7 Goniometro impiegato per le misure angolari con al centro il pannello per la determinazione del "bianco"*

*Fig. 8 La punta Gnifetti (4.559 m) fa da sfondo al sensore dello spettroradiometro Fieldspec®*



*Fig. 9 Le attività di misura al colle del Lys (4.257 m) sono state condotte con il supporto delle guide alpine di Gressoney*

I rilievi, finalizzati allo scopo di raccogliere elementi importanti per la fase di "addestramento" dell'algoritmo di classificazione, hanno previsto la realizzazione di misure nivologiche (stratigrafia del manto nevoso, umidità e temperatura degli strati, grado di metamorfismo), fotometriche (per valutare l'attenuazione del segnale rilevato dal satellite causata dall'atmosfera) e spettroradiometriche.



Queste ultime, effettuate in concomitanza dell'acquisizione dell'immagine da parte del satellite, hanno permesso di determinare la firma spettrale delle superfici caratteristiche degli ambienti glaciali di alta montagna e correlare i valori di radianza rilevati dal sensore con l'effettiva tipologia di superficie: detrito, roccia affiorante, ghiaccio ricoperto, ghiaccio "vecchio" e "giovane", firn, neve fresca, detrito vegetato, prateria, laghi.

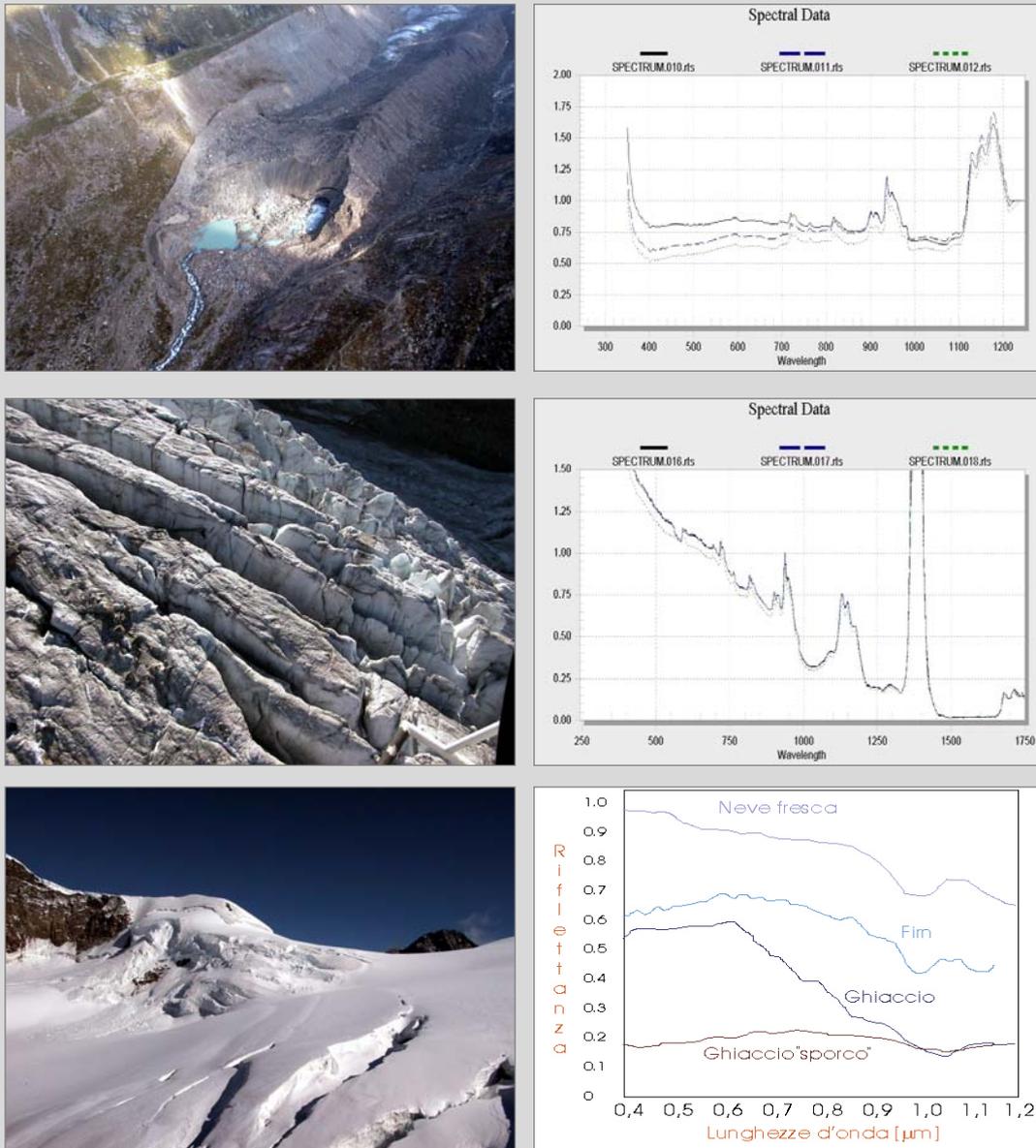


Fig 10 Superfici differenti emettono segnali differenti: per poter interpretare correttamente i dati telerilevati è necessario tarare la classificazione mediante misure a terra. Le immagini riportate nella colonna di destra riportano le firme spettrali riferite a misure effettuate nel corso dei rilievi 2001 con lo spettroradiometro portatile FieldSpec® (in alto: morena; al centro: ghiaccio). Nel riquadro in basso a destra sono evidenziate le curve di riflettanza caratteristiche della neve fresca, del firn, del ghiaccio e del ghiaccio contenente un elevato grado di impurità. (Fonte: IREA-CNR, Foto G. Bolzan).



## L'IMPORTANZA DEL PROGETTO E LE PROSPETTIVE FUTURE

Fra le attività che prevedono l'uso di tecnologie avanzate il progetto GLASNOWMAP costituisce, in ambito europeo, una delle poche esperienze basate sulla stretta collaborazione fra gli enti di ricerca e l'industria, responsabili dello sviluppo dei vari servizi, e i destinatari delle informazioni prodotte. Inoltre, la modularità del servizio consente ai diversi utenti finali (ARPA, Regioni, istituti di ricerca, università) di potervi accedere con modalità differenti, in funzione delle risorse tecnologiche e professionali a disposizione.

Allo stato attuale, mentre i servizi di Snow cover e Snow melting rispondono in gran parte alle esigenze conoscitive e operative degli end user, i prodotti elaborati all'interno del Glacier Mapping risultano essere significativi principalmente per le variazioni di grande rilevanza. Questo aspetto, legato unicamente alla risoluzione spaziale delle immagini considerate, è migliorabile prevedendo l'impiego di sensori ad alta e altissima risoluzione (come quelli dei satelliti IKONOS e QUICKBIRD che rilevano immagini con precisione metrica e sub-metrica) che consentirebbero di apprezzare in modo significativo le variazioni mediamente registrate negli ultimi anni a carico dei ghiacciai alpini.

Il servizio si può considerare pienamente funzionante e appena superata la fase di validazione dei servizi operata dai vari utenti potrà essere posto a regime.

I soggetti addetti al monitoraggio potranno così contare su uno nuovo strumento versatile e potente in grado di fornire un valido supporto alla conoscenza delle componenti ambientali che, più di altre, stanno risentendo degli effetti del global change. La complessità dei fenomeni indagati e del territorio sul quale questi determinano mutamenti impone un approccio multidisciplinare in grado di far fruttare al meglio le risorse tecniche e umane impegnate.



*Fig. 11 Il monitoraggio dei ghiacciai alpini è fortemente condizionato, negli aspetti concettuali e operativi, dalle caratteristiche dell'ambiente in cui si collocano (nella fotografia di G. Bolzan - IREA-CNR, il Ghiacciaio del Lys ripreso dall'elicottero in data 14/09/2003).*

### RIFERIMENTI:

Ulteriori informazioni sul progetto GLASNOWMAP, sugli utenti finali e i servizi forniti sono reperibili sul sito Web del progetto: [www.cgspace.it/glasnowmap](http://www.cgspace.it/glasnowmap).

Il progetto GLASNOWMAP è stato finanziato dall'ESA ([www.esa.int](http://www.esa.int)) nell'ambito del *Data User Programme* (<http://dup.esrin.esa.int>).