

Sintesi della Tesi di Laurea Specialistica di Federico Vantadori:

DELIMITAZIONE DEI GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRO-ORIENTALI MEDIANTE IMMAGINI DEL SATELLITE ASTER

Università degli Studi di Brescia

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e Territorio

Dipartimento di Ingegneria Civile, Architettura, Territorio e Ambiente

A.A. 2010/2011

Relatore: **Prof. Ing. Roberto Ranzi**

INTRODUZIONE

Il progetto GLIMS (Global Land Ice Measurements from Space), finanziato parzialmente dalla NASA e da diverse altre organizzazioni internazionali, è un ambizioso tentativo di realizzare un sistema informativo territoriale (GIS) per la consultazione di dati riguardanti le terre ghiacciate presenti sul globo terrestre estratti dall'analisi di immagini satellitari, prevalentemente catturate dai sensori multispettrali ASTER e ETM+.

L'immagine elaborata in questo lavoro di tesi è stata acquisita dal sensore ASTER in data 25/08/2007 nel sorvolo dei ghiacciai dell'Ortles-Cevedale, sulle Alpi centro-orientali.

Le caratteristiche spettrali della neve e del ghiaccio rendono i sensori multispettrali a bordo di satelliti in orbite eliosincrone, particolarmente utili in questo campo. L'elaborazione di un'immagine satellitare richiede un considerevole lavoro e una buona conoscenza del contesto di analisi.

Il problema principale, quando si vogliono studiare elementi di così limitate dimensioni come i ghiacciai, risiede nella risoluzione spaziale del sensore satellitare. Infatti, le immagini sono acquisite da strumentazioni a bordo di satelliti che orbitano intorno alla terra a distanze di oltre 700 km. Il sensore ASTER, a bordo del satellite Terra (EOS AM-1) ha una risoluzione spaziale di 15 metri nel visibile e nel vicino infrarosso, di 30 metri nell'infrarosso vicino e medio e 90 metri nelle bande dell'infrarosso termico. Ciò fa comprendere come sia difficile distinguere chiaramente i limiti dei ghiacciai senza preventivamente eseguire una metodica elaborazione delle immagini.

L'ELABORAZIONE DELL'IMMAGINE ASTER DEL 25/08/2007

Il lavoro si è focalizzato principalmente sui ghiacciai trentini del gruppo montuoso dell'Ortles-Cevedale, il quale si trova esattamente lungo i confini fra Lombardia e Trentino-Alto-Adige. La particolare localizzazione ha creato alcune problematiche connesse alla raccolta e all'analisi dei supporti digitali, ortofoto e modelli digitali del terreno (DEM).

In questo contesto l'elaborazione delle immagini satellitari parte dall'ortorettifica, passa attraverso la classificazione e si conclude con il tracciamento dei limiti dei ghiacciai.

La configurazione geometrica del sistema composto dal satellite di acquisizione e dalla porzione di territorio inquadrata determina inevitabilmente deformazioni nell'immagine catturata, rendendone necessaria la correzione. L'ortorettifica è un'operazione necessaria ogni qual volta si vogliono ottenere dei dati geometrici da immagini satellitari che possano essere utilizzati per generare delle mappe. La correzione richiede la definizione dei Ground Control Points (GCP) i quali contengono le informazioni di altitudine, ottenute dal modello digitale del terreno, e di geolocalizzazione, ottenute dalle ortofoto. Ad un elemento chiaramente riconoscibile sia sull'immagine satellitare, solitamente rappresentata in falsi colori per meglio comprendere il territorio inquadrato, che sull'ortofoto, si attribuiscono le informazioni di quota e coordinate. Fissando in maniera sufficientemente accurata e omogenea i GCPs è possibile, mediante software di elaborazione di immagini satellitari, sfruttare il modello digitale del terreno per correggere geometricamente, mediante metodi di resampling statistici, l'immagine ASTER.

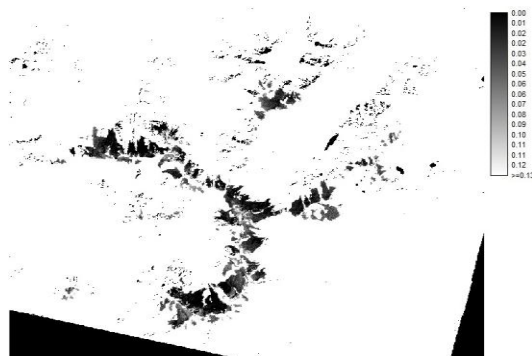


Figura 1: La maschera dei ghiacciai dell'Ortles-Cevedale ottenuta dal rapporto fra le bande SWIR4 e VNIR3N dell'immagine ASTER del 25/08/2007

Eseguita la correzione di cui sopra, si è passati alla classificazione dell'immagine mediante un algoritmo, basato sul rapporto fra immagini acquisite in diverse bande spettrali, quelle del vicino infrarosso, SWIR4, e quelle del visibile VNIR3N (rosso), che fonda i propri principi sulle diverse caratteristiche spettrali del ghiaccio, della neve e del terreno. Sulla scorta di questa maschera (figura 1), è stato possibile digitalizzare i contorni dei ghiacciai allo stato di acquisizione dell'immagine ASTER elaborata.

Per ottenere un elevato livello di accuratezza, la delimitazione è stata eseguita confrontando costantemente la maschera con i contorni dei ghiacciai definiti dalla Provincia Autonoma di Trento (PAT) nel 2003 e con le ortofoto del 2006. Questo tracciamento basato sulla sovrapposizione di più supporti ha permesso di evitare grossolani errori di classificazione causati da presenza di neve o detriti sui ghiacciai e l'esclusione accidentale di zone di accumulo non riconosciute dal rapporto fra bande spettrali.

VERSO UN ATLANTE SATELLITARE DEI GHIACCIAI ITALIANI

I limiti dei ghiacciai così definiti hanno rappresentato la base per il calcolo dei parametri dei ghiacciai, effettuato mediante appositi codici Fortran e messi a disposizione dal Prof. Ranzi (Ranzi e Rosso, 1995).

Prima di calcolare i parametri è stato eseguito un confronto fra i diversi catasti dei ghiacciai presenti in letteratura. Diversi standard sono proposti dalle varie istituzioni che si occupano del monitoraggio dei ghiacciai. Nonostante il lavoro di tesi sia inquadrato all'interno del succitato progetto GLIMS, si è deciso di proporre un set di parametri aggiuntivi da utilizzare come proposta per l'Atlante satellitare dei ghiacciai italiani, previsto da un progetto congiunto dell'Università degli Studi di Brescia, del Comitato Glaciologico Italiano e del CNR-IREA di Milano. Per questo motivo sono stati misurati sia i parametri richiesti necessariamente dal database GLIMIS (Paul et al., 2010) per il proprio GIS (Raup et al., 2007) sia altri scelti alla luce del confronto fra i diversi catasti (Comitato Glaciologico Italiano, 1961-1962) (Desio et al., 1967). Questa selezione ha permesso di definire schede innovative dettagliate ed innovative per ogni ghiacciaio trentino dell'Ortles-Cevedale.

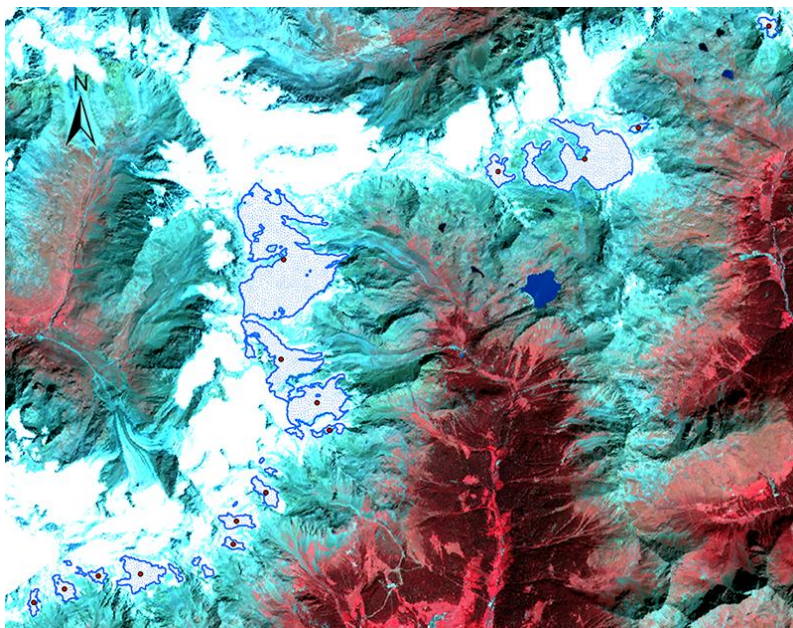


Figura 2: Corografia d'insieme dei limiti dei ghiacciai trentini dell'Ortles-Cevedale e dei rispettivi centroidi (in rosso) tracciati, sovrapposti all'immagine ASTER del 25/08/2012 rappresentata in falsi colori RGB=321

I limiti tracciati sono stati esportati, assieme al relativo database, in un file in formato shapefile (shp) allo scopo di valutare le variazioni dei ghiacciai fra il 2003 e il 2007, mediante il confronto con i dati ufficiali forniti dalla PAT, provenienti da misurazioni di alta precisione realizzate nel 2003 attraverso un apposito volo a bassa quota, limitatamente ai soli parametri disponibili, ovvero area totale e quote significative. Altre considerazioni sono state effettuate sulla base dei dati del 1980 forniti dal World Glacier Monitoring Service (WGMS).

Il confronto mostra chiaramente un significativo recesso di quasi tutti i ghiacciai trentini, tuttavia, alcuni di essi, si mantengono di considerevoli dimensioni in ragione della loro particolare condizione altimetrica e di esposizione. Sommando i valori di area è possibile dedurre alcune conclusioni sintetiche ma rilevanti. L'area totale dei ghiacciai trentini dell'Ortles-Cevedale è diminuita di più 30% nel ventennio 1980-2003 e si è ulteriormente ridotta di più del 25% della sua dimensione misurata nel 2003 nei 4 anni precedenti all'acquisizione dell'immagine ASTER elaborata. L'area totale glacializzata era pari a 17.180 km² nel 1980, a 11.729 km² nel 2003, mentre si è ridotta a soli 8.778 km² nel 2007.

Per valutare ulteriormente la bontà dei dati ottenuti dall'elaborazione dell'immagine satellitare è stato effettuato un confronto con i dati di quota (minime, massime e medie) misurati dalla PAT nel 2003.

Nella valutazione di questi dati, è necessario considerare che i valori ottenuti dalla PAT provengono da misurazioni effettuate mediante laser scanner ad alta precisione a bordo di un aereo a bassa quota, mentre quelli del

2007 sono stati estratti dal modello digitale del terreno del Trentino prodotto nel 2000 e con risoluzione spaziale di 10 metri.

Effettuando la media dei valori di tutti i ghiacciai considerati, è possibile affermare che i valori di altitudine sono cambiati come segue: la quota minima dei ghiacciai si è alzata di circa 104 m mentre la quota massima è si è abbassata di soli 36 m. Il fatto che il valore di quota media si sia alzata di 47 m dimostra chiaramente come i ghiacciai si stiano ritirando a più elevate quote.

CONCLUSIONI

Alla luce dei riscontri ottenuti si possono trarre varie conclusioni sia sul metodo che sulle possibili evoluzioni.

Il tempo richiesto da un'elaborazione di un'immagine è decisamente elevato se si pensa a tutte le fasi necessarie per ottenere dati affidabili e geometricamente corretti. Tuttavia questo metodo consente di effettuare sondaggi con frequenze molto elevate e costi connessi al solo lavoro dell'analista, il quale può eseguire la propria attività limitando al minimo gli onerosi spostamenti sul campo.

I dati misurati a pochi anni di distanza consentono una definizione più accurata del trend di variazione dei parametri chiave, primi fra tutti quelli geometrici e di altitudine.

Un altro vantaggio di questa metodologia è la possibilità di revisione dei dati ricavati da parte di un glaciologo. Infatti, l'elaboratore dell'immagine può incappare in errori di classificazione dovuti alla presenza di neve sulle aree riprese dal sensore satellitare, dovuti alla copertura detritica o connessi alla stessa informazione radiometrica che può escludere aree di accumulo ancora presenti. L'esperienza di un glaciologo che revisiona i limiti e i dati misurati è pertanto fondamentale prima di pubblicare qualsiasi dato.

L'affidabilità delle misurazioni, confermata dal confronto con i dati ad elevata precisione ottenuti nel 2003 dalla PAT, consiglia pertanto di sostituire i costosi voli ad hoc sopra le aree di interesse con elaborazioni di immagini satellitari ad alta risoluzione.

I fattori in grado di migliorare la qualità dei dati ottenuti da questa tecnica sono essenzialmente: l'incremento della risoluzione spaziale delle immagini da cui si produce la maschera dei ghiacciai e della risoluzione spaziale del DEM utilizzato per le successive elaborazioni.

Come consigliato anche dalle prescrizioni del progetto GLIMS (Raup e Khalsa, 2010), sarebbe opportuno che le analisi fossero eseguite utilizzando DEM con risoluzioni simili a quelle delle immagini satellitare (fra i 15 e 30 m) in modo da aumentare l'accuratezza. Tuttavia, data la bassa affidabilità del GDEM prodotto dallo stesso sensore ASTER, tutti gli analisti che partecipano al progetto GLIMS sono maggiormente propensi ad utilizzare modelli digitali del terreno per lo più forniti dagli enti locali. Questa condizione conduce inevitabilmente ad una disomogeneità nei dati ottenuti, sia in termini di precisione che di affidabilità.

Inoltre altri due fattori soggettivi influiscono sulla disomogeneità dei dati ottenuti: l'algoritmo utilizzato per generare la maschera dei ghiacciai e la scelta della tecnica di tracciamento dei contorni.

Il progetto GLIMS non ha stabilito alcuno standard relativo agli algoritmi da utilizzare per eseguire il rapporto fra bande spettrali. L'analista individua a sua discrezione l'algoritmo più adatto all'immagine da elaborare. Questa mancanza di standard trova le sue ragioni nelle differenti condizioni in cui si possono trovare i ghiacciai che devono essere mappati. Infatti le differenti combinazioni utilizzate per il rapporto fra bande vengono scelte in funzione della presenza o meno di ombre nella scena ripresa, di copertura detritica sopra il ghiacciaio, di copertura nuvolosa e della vicinanza con corpi idrici significativi.

Alcune limitazioni affliggono questo metodo, fra cui l'impossibilità di determinare lo spessore dello strato di ghiaccio, parametro molto significativo per comprendere lo stato di salute dell'unità glaciologica, e il ritiro della fronte. Entrambi questi parametri richiedono necessariamente misurazioni in situ e sono pertanto effettuati solo per i ghiacciai più significativi. Fra questi si ricordano i ghiacciai del Caresèr e del Palon della Mare su cui sono attualmente attivi studi del bilancio di massa. La misurazione delle variazioni frontali sono un dato di rilevante importanza per valutare il comportamento dei ghiacciai, in quanto sono determinate, anche se in modo indiretto, dall'evoluzione delle condizioni climatiche (precipitazioni nevose invernali e andamento termico della stagione di ablazione).

Un auspicabile aumento della risoluzione spaziale dei sensori satellitari potrebbe portare ad effettuare questo tipo di misurazioni, consentendo di ottenere informazioni sulla variazione rispetto all'ultimo anno di analisi ed evitando costosi sopralluoghi.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Baroni C., Carton A., Seppi R. Distribution and Behaviour of Rock Glaciers in the Adamello–Presanella Massif (Italian Alps), *Permafrost and Periglac. Process.*, 15, 243–259, 2004;

Bishop, M.P., Olsenholler, J.A., Shroder, J.F., Barry, R.G., Raup, B.H., Bush, A.B.G., Coplan, L., Dwyer, J.L., Fountain, A.G., Haeberli, W., Kääb, A., Paul, F., Hall, D.K., Kargel, J.S., Molnia, B.F., Trabant, D.C., and Wessels, R., Global land ice measurements from space (GLIMS), *Remote sensing and GIS investigations of the Earth's cryosphere*, *Geocarto International*, 19(2), p. 57–84. 2004;

Bolch T., Kamp U., *Glacier mapping in high mountains using DEMs, Landsat and ASTER Data*, 8th International Symposium on high mountain remote sensing cartography, p. 37–48, 2006;

Comitato Glaciologico Italiano, Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico 1957-1958, Torino, v. 2, 324 p. 1961, v. 3, 389 p. 1961, , v. 4, 309 p., 1962;

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Comitato Glaciologico Italiano, Catasto dei Ghiacciai Italiani, Anno Geofisico 1957-1958, v.1, pp.171, 1959;

Desio A., Belloni S., Giorcelli A., I ghiacciai del gruppo Ortles-Cevedale (Alpi centrali), Comitato Glaciologico Italiano, Torino, 1967;

Kargel J.S., Abrams M.J., Bishop M.P., Bush A., Hamilton G., Jiskoot H., Kääb A., Kieffer H.H., Lee E.M., Paul F., Rau F., Raup B., Shroder J.F., Soltesz D., Stainforth D., Stearns L., Wessels R., Multispectral Imaging Contributions to Global Land Ice Measurements from Space for Remote Sensing of the Environment: special issue on Terra/ASTER science, Editorial Manager for Remote Sensing of Environment, RSE-D-05-00124R1, 2005;

Khalsa S. J., Dyrgerov M. B., Khromova T., Raup B. H., Barry R.G., Space-Based Mapping of Glacier Changes Using ASTER and GIS Tools. IEEE transactions on geoscience and remote sensing, Vol. 42, No. 10, 2004;

Mortara G., Mercalli L., Dutto F., Casagrande A., Pantaleo M., Archivio del Comitato Glaciologico Italiano. Aggiornamento della "Bibliografia Analitica dei ghiacciai italiani nelle pubblicazione del C.G.I." vol. 1, Torino, 98 p., 1995;

Paul F., Barry R.G., Cogley J.G., Frey H., Haeberli W., Ohmura A., Ommanney C.S.L., Raup B.H., Rivera A., Zemp M., Guidelines for the compilation of glacier inventory data from digital sources, GLIMS publications, 2010;

Paul, F., Kääb A., Maisch M., Kellenberger T., and Haeberli W., Rapid disintegration of Alpine glaciers observed with satellite data, Geophysical Research Letters, 31, L21402, 2004;

Ranzi R., G. Grossi, L. Iacovelli and S. Taschner, Use of multispectral ASTER images for mapping debris-covered glaciers within the GLIMS Project, Proc. IGARSS, 20-24 September 2004, Anchorage, Alaska, IEEE, ISBN CD-ROM 0-7803-8743-0, Vol. II, 1144-1147, 2004;

Ranzi R., Rosso R., Distributed estimation of incoming direct solar radiation over a drainage basin, Journal of Hydrology, 166, 461-478, doi:10.1016/0022-1694 (94) 05099-J, 1995;

Ranzi R., S. Taschner, Energy and hydrological balance of the Adamello Glacier as an indication of current climate change, Geophysical Research Abstracts, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-05090, ISSN 1029-7006, European Geosciences Union, Vol. 7, 06404, 2005;

Raup B.H., Kääb A., Kargel S.J., Bishop M.P., Hamilton G., Lee E., Paul F., Soltesz D., Khalsa S. J. S., Beedle M., Helm C., Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project, ELSEVIER. Computers & Geosciences 33, 104-125,2007;

Raup B.H., Khalsa S. J. S., GLIMS Analysis Tutorial. V. 4, GLIMS Publications, 2010;

Raup, B.H., Kaab A., Kargel J.S., Bishop M.P., Hamilton G., Lee E., Paul F., Rau F., Soltesz D., Khalsa S.J.S., Beedle M., and Helm C.: Remote Sensing and GIS Technology in the Global Land Ice Measurements from Space (GLIMS) Project, Computers and Geosciences, 33:104--125, doi:10.1016/j.cageo.2006.05.015, 2007;

Raup, B.H., Racoviteanu A., Khalsa S.J.S., Helm C., Armstrong R., and Arnaud Y., The GLIMS Geospatial Glacier Database: a new tool for studying glacier change, Global and Planetary Change, 56:101--110, doi:10.1016/j.gloplacha.2006.07.018, 2007;

Taschner S., Ranzi R., Comparing the Opportunities of LANDSAT ETM+ and ASTER Data for Monitoring a Debris Covered Glacier in the Italian Alps within the GLIMS project, In: Proc. IGARSS'02 Symposium, Toronto, 3p. CD-ROM, 2002;

USGS, Satellite image Atlas of glaciers of the World, U.S. Geological Professional Paper 1386-E, 1993;

Zemp M., Roer I., Kääb A., Hoelzle M., Paul F., Haeberli W., WGMS, Global Glacier Changes: facts and figures (eds.), UNEP, World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland: 88 pp., 2008;