

UTILIZZO DI DATI MODIS PER LA GESTIONE DI EMERGENZE

Piero BOCCARDO (*), Enrico BORGOGNO MONDINO(*), Franca DISABATO(*),
Fabio GIULIO TONOLO (*), Francesca PEREZ (*), Giorgio SARTORI (**)

(*) DITAG, Politecnico di Torino, Torino

piero.boccardo@polito.it; enrico.borgogno@polito.it; fabio.giuliotonolo@polito.it; francesca.perez@polito.it

(**) UN-WFP, Roma Giorgio.Sartori@wfp.org

Riassunto

Il presente articolo riguarda la definizione di un sistema di monitoraggio, basato sull'utilizzo di dati satellitari, per la valutazione dell'estensione delle coperture nevose che pregiudicano l'accessibilità in aree sensibili. Tale ricerca è stata sviluppata nell'ambito dell'accordo esistente tra il DITAG del Politecnico di Torino ed il *World Food Program* (WFP), finalizzato all'individuazione di strumenti e procedure di elaborazione di dati telerilevati per la gestione delle emergenze.

Il caso studio si riferisce alla produzione e al rapido aggiornamento di carte di copertura nevosa ottenute impiegando i dati acquisiti dal sensore MODIS. La procedura proposta realizza l'automazione di tutte le operazioni necessarie alla generazione di dati geografici di copertura nevosa in formato vettoriale idonei alla loro successiva rapida distribuzione all'interno della struttura Intranet del WFP. Appositi moduli per la correzione geometrica delle scene, mosaicatura, mascheramento e vettorizzazione sono stati sviluppati ed integrati nella procedura.

Abstract

In this paper an innovative procedure based on satellite data aimed at the daily monitoring of snow covers is shown. Snow mapping is required to verify accessibility to those areas interested by catastrophic events. This need was expressed by the United Nations World Food Program (WFP). The research was developed within a collaboration agreement between the DITAG - Politecnico of Torino and WFP, generally devoted to the identification and developing of operational tools for natural and anthropic hazards based on remote sensed data. The proposed case study is referred to the automatic production of vectorial snow cover maps from MODIS data. Operative procedure is completed by specific process modules dedicated to the data geometric correction, mosaicking, masking and vectorization of snow cover polygons.

Introduzione

Questo lavoro è inteso a descrivere una procedura, basata su dati satellitari, che consenta di produrre mappe della copertura nevosa in specifiche aree di interesse, in tempi ridotti e attraverso il ricorso a metodologie esclusivamente automatiche.

La ricerca svolta è nata nell'ambito delle attività svolte dal Dip. di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG) del Politecnico di Torino, in funzione dell'accordo firmato nel febbraio 2006 con il WFP (*World Food Program*). L'obiettivo della collaborazione è la definizione di strumenti e procedure basati sull'impiego di dati telerilevati utili nel campo del pronto intervento. Il WFP è infatti un'organizzazione umanitaria, Agenzia operativa delle Nazioni Unite, che ha come scopo primario quello di intervenire tempestivamente per mobilitare aiuti alimentari e distribuirli nelle diverse parti del mondo colpite da conflitti o calamità naturali. Pertanto, per il corretto svolgimento di queste attività, la condizione irrinunciabile è rappresentata dalla disponibilità di sistemi atti a monitorare costantemente l'accessibilità dei luoghi da raggiungere.

Come area test per valutare le prestazioni ottenibili dalla procedura è stata scelta la regione montuosa compresa tra gli stati del Pakistan, Afghanistan e Tajikistan. Si tratta di una regione particolarmente problematica, per la quale l'intervento del WFP è richiesto frequentemente e per la quale risulta difficile reperire prodotti cartografici aggiornati relativi alle coperture nevose, che spesso impediscono e/o complicano l'organizzazione logistica relativa alla distribuzione degli aiuti. Caratteristiche specifiche rendono particolarmente valido ed efficace l'impiego dei dati satellitari forniti dal sensore MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) per gli scopi discussi. Lo strumento MODIS è, infatti, in grado di fornire dati a copertura globale della superficie terrestre con frequenza giornaliera. Inoltre, la varietà dei dati resi disponibili all'utenza (dati grezzi e prodotti derivati), la facile reperibilità (tutti i dati prodotti sono distribuiti rapidamente e gratuitamente alla comunità scientifica attraverso appositi siti web) che li caratterizza, costituiscono caratteristiche fondamentali del sistema MODIS, sfruttate per gli scopi propri di questa analisi. In particolare, sono stati presi in considerazione i prodotti TERRA/MODIS *Snow Cover*. Diversi prodotti MODIS *Snow Cover*, con differenti caratteristiche, forniscono le coperture nevose con frequenza temporale variabile e differente grado di correzione geometrica. E' stata necessaria, perciò, una valutazione preliminare delle caratteristiche di tali prodotti, al fine di stabilire quale fosse più idoneo per l'applicazione richiesta.

Selezione dei dati satellitari di base

Esistono cinque differenti prodotti di copertura nevosa (MOD10 - *MODIS Snow Cover*) che la NASA (MODAPS - *MODIS Data Processing System*) produce a partire dai dati primari (dati di radianza/riflettanza, MOD02 - *MODIS Level 1B Calibrated, Geolocated Radiances*) e distribuisce attraverso siti web dedicati. Tali prodotti, aventi tutti copertura globale e risoluzione spaziale pari a 500 m, si differenziano per il livello di correzione geometrica e per la frequenza di distribuzione (giornaliera o ogni 8 giorni). Tuttavia l'algoritmo impiegato per l'identificazione delle coperture nevose è lo stesso.

Il riconoscimento delle aree innevate è basato su una serie di test spettrali compiuti sui valori di radianza/riflettanza contenuti nel prodotto primario, come indicato in figura 1.

Banda	Range[μm]	Risoluzione[m]
1	0,620 – 0,670	250
2	0,841 – 0,876	250
3	0,459 – 0,479	500
4	0,545 – 0,565	500
5	1,230 – 1,250	500
6	1,628 – 1,652	500
7	2,105 – 2,155	500

Bande spettrali del sensore MODIS dedicate allo studio della superficie terrestre.

Indice di neve normalizzato (NSDI)

$$\frac{b4 - b6}{b4 + b6} > 0.4$$

+

$$b2 > 0.11$$

+

$$b4 > 0.10$$

→

NEVE

La principale fonte di errore che interviene nel processo di riconoscimento delle coperture nevose è legata alla difficoltà di distinguere tali coperture da alcuni tipi di nubi. Per questo motivo vengono escluse dal processo quelle aree della scena che, sulla base di appositi dati di input (MOD35 - *MODIS Cloud Mask*), possono ritenersi coperte da nubi. A questo scopo, due ulteriori gruppi di test spettrali per

Figura 1- MODIS Snow Cover: test spettrali

l'identificazione delle aree nuvolose generano, per ogni scena considerata, altrettante maschere utili per il riconoscimento delle coperture nevose. Un primo gruppo di test produce un'informazione sulla distribuzione delle nubi all'interno della scena, indicata come *Standard Cloud Mask (SCM)*, che viene impiegata come input per la produzione di molti altri prodotti MODIS, mentre un secondo gruppo di test (*Liberal Cloud Mask, LCM*) è specificatamente utilizzato per garantire una migliore distinzione tra neve e nubi.

Il risultato finale dell'algoritmo di *Snow Cover* è un'immagine le cui celle contengono, in forma codificata, le diverse informazioni di copertura riguardanti le corrispondenti aree della superficie terrestre. La differenza tra i prodotti di *Snow Cover* (figura 2b-c) derivati dall'utilizzo dei due tipi di *Cloud Mask* consiste principalmente nella diversa quantità di neve riconosciuta (in funzione della percentuale e della tipologia delle nubi presenti nella scena originale), ma anche nel diverso grado di confidenza con la quale il dato di copertura nevosa può essere preso in considerazione.

Tra i cinque possibili, solo uno dei prodotti MODIS *Snow Cover* riporta anche le informazioni di copertura nevosa ottenute impiegando la *LCM*. Tale prodotto, denominato MOD10_L2, è

caratterizzato dal livello di correzione geometrica più basso e richiede quindi un trattamento più complesso. Per questo motivo sono state svolte alcune indagini preliminari volte a quantificare l'effettivo miglioramento, in termini di contenuto di neve riconosciuta, derivabile dall'impiego di tale prodotto. Sono stati considerati 30 prodotti *MODIS Snow Cover MOD10_L2* relativi all'area di interesse (periodo ottobre 2005 - marzo 2006). Per ciascun prodotto è stata calcolata la differenza (numero di celle) fra le estensioni delle aree innevate ottenute impiegando le due diverse *Cloud Mask* descritte (*SCM* e *LCM*), verificandone poi l'affidabilità per fotointerpretazione. Si è così constatato che, nell'area oggetto di questo studio, questa differenza risulta essere marcata (in funzione della nuvolosità presente sulla scena) e che il guadagno, in termini di copertura nevosa identificata in più nel caso si impieghi la *LCM* piuttosto che la *SCM*, risulta essere sempre superiore rispetto agli errori dovuti a sovrastima che il corrispondente prodotto in taluni casi presenta. Il quantitativo di celle di neve identificate correttamente in tale prodotto risulta anche 3 o 4 volte superiore rispetto al prodotto che utilizza invece la *SCM*.

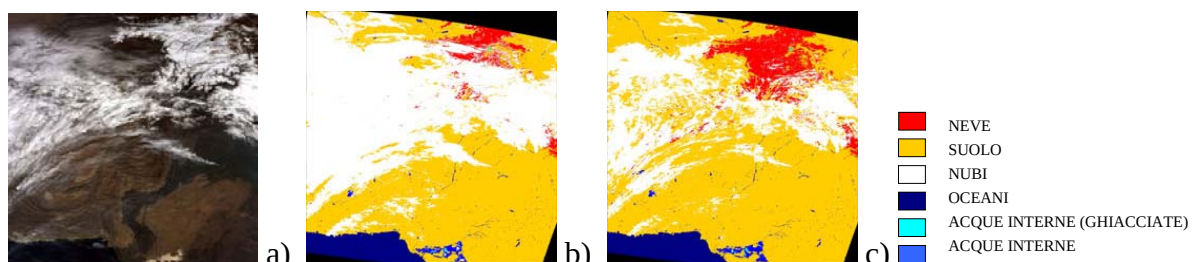


Figura 2 – Area test: MOD02 - MODIS Level 1B Calibrated, Geolocated Radiances (a), MOD10 - MODIS Snow Cover SCM (b) e MODIS Snow Cover LCM (c).

Prendendo in considerazione il caso più cautelativo, è stato deciso che la procedura sviluppata utilizzi, come dato satellitare di base, il prodotto MODIS Snow Cover ottenuto impiegando la *LCM* (MOD10_L2) nonostante esso richieda elaborazioni geometriche più complesse in rapporto agli altri prodotti MODIS Snow Cover.

Caratteristiche geometriche dei dati satellitari impiegati

Il prodotto MOD10_L2, fornito in un formato chiamato *Swath*, viene sottoposto soltanto a un primo livello di correzione geometrica. In questo caso i dati non vengono georeferenziati, ma soltanto corredati delle informazioni geografiche necessarie. Con l'immagine codificata delle coperture nevose vengono infatti fornite le coordinate geografiche (latitudine e longitudine, WGS84) di alcune delle sue celle (ogni 5 km, cioè ogni 10 celle). Le immagini *swath* non sono corrette, inoltre, dagli effetti di distorsione panoramica lungo le colonne e lungo le righe (questo ultimo è noto come *bow-tie*), dovuti alla particolare geometria di acquisizione del sistema (*whiskbroom*).

Ad ogni rotazione dello specchio del sensore viene acquisita un'area della superficie terrestre (*swath*) pari a circa 2330 km in direzione *across-track* e 10 km *along-track* (al nadir). L'angolo totale di scansione è pari a 110°. Ad ogni scansione vengono impiegati 10 rilevatori allineati in direzione *along-track* (array lineare) per acquisire le immagini con risoluzione geometrica pari a 1 km, 20 per quelle con risoluzione geometrica 500 m e infine 40 per quelle a 250 m.

Nei sistemi di tipo *whiskbroom* il campionamento al suolo delle celle in direzione *across-track* avviene per incrementi di tempo fissati; data una velocità di scansione costante, il campionamento

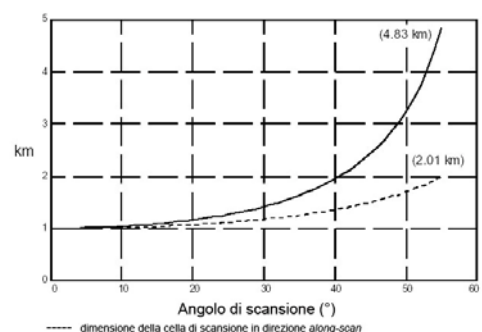


Figura 3 – Effetto di distorsione panoramica nelle immagini MODIS a 1 km

avviene perciò per incrementi angolari costanti $\Delta\theta$ (θ , angolo di scansione rispetto al nadir), o *IFOV* (*Instantaneous Field of View*). Durante l'acquisizione, la *GSD* (*Ground Sample Distance*) risulta variabile lungo la linea di scansione e aumenta all'aumentare dell'angolo θ (figura 3). Lo stesso fenomeno caratterizza la *GSD* anche in direzione *along-track*: l'ampiezza di scansione, pari a 10 km al nadir aumenta fino a 20 km in corrispondenza di angoli θ pari a $\pm 55^\circ$ rispetto al nadir. Quest'ultimo effetto, che è causa di sovrapposizione tra scansioni adiacenti ed è apprezzabile per angoli di scansione superiori a 25° (per angoli inferiori nel caso di immagini con risoluzione spaziale di 250 e 500 m), è chiamato *bow-tie* (figura 4).

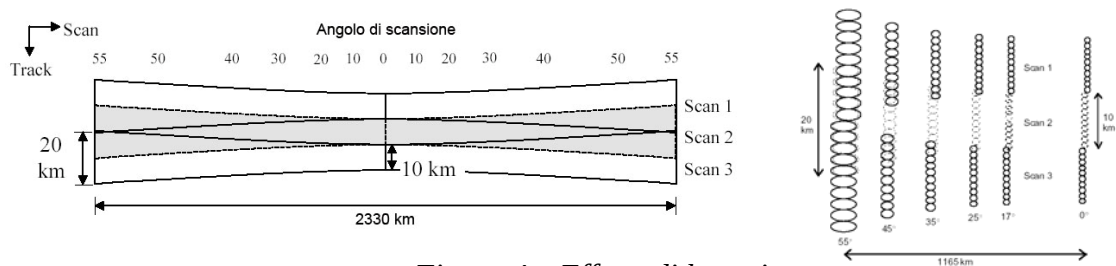


Figura 4 – Effetto di bow-tie

Correzione geometrica del dato MOD10_L2

Prima del loro utilizzo all'interno della procedura realizzata, i dati satellitari di interesse (MOD10_L2 - *MODIS Snow Cover*) richiedono una preventiva fase di correzione geometrica volta a rimuovere le distorsioni panoramiche in essi presenti. Per fare questo è necessario definire un adeguato modello geometrico di trasformazione che relazioni le coordinate dell'immagine prima e dopo la correzione. L'assegnazione dei valori numerici alle celle dell'immagine finale richiede la scelta di un opportuno metodo di ricampionamento. L'impiego di un prodotto codificato obbliga ad applicare modalità di ricampionamento di tipo *Nearest Neighbour*. Qualsiasi altro tipo di ricampionamento potrebbe comportare la comparsa di valori numerici inattesi (causati da operazioni di media tra *digital number*).

Il *Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)* della NASA propone un *tool*, il *MODIS Swath Reprojection Tool (MRT Swath)*, deputato alla correzione geometrica dei dati MODIS di tipo *swath*. Prove preliminari condotte sui dati di *Snow Cover* corretti impiegando tale strumento hanno mostrato che la perdita di informazione, in termini di celle interessate dalla presenza di neve, derivante dall'impossibilità, da parte dell'utente, di impostare il *Nearest Neighbour* come metodo di ricampionamento per la correzione del *bow-tie*, è risultata essere sempre non trascurabile. Pertanto, lo strumento *MRTSwath* si è mostrato inadeguato per gli scopi del presente lavoro.

Un'apposita procedura è stata dunque sviluppata dagli autori in linguaggio *IDL (Interactive Data Language)*, allo scopo di correggere geometricamente i prodotti MOD10_L2, rendendoli idonei ai successivi trattamenti. Tale procedura prevede due fasi distinte:

a) le distorsioni panoramiche sono corrette utilizzando opportune trasformazioni in grado di annullarne l'effetto sulle immagini, attraverso un ricampionamento *Nearest Neighbour*. Il modello geometrico adottato, che attua la trasformazione tra il sistema di coordinate dell'immagine distorta (che chiameremo nel seguito IM_d) e quella corretta (IM_c), nell'ipotesi semplificata di Terra piana, è il seguente:

$$c_o = \frac{\arctg(\frac{c_c \cdot ris_{out}}{H})}{IFOV} \quad [1]$$

$$r_o = \frac{r_c \cdot ris_{out}}{K} = \frac{r_c \cdot ris_{out}}{D \cdot 2tg(\frac{IFOV}{2})} = \frac{r_c \cdot ris_{out}}{2\sqrt{H^2 + c_c^2 \cdot ris_{out}^2} \cdot tg(\frac{IFOV}{2})} \quad [2]$$

dove:

c_o, r_o = colonna e riga della cella di IM_o dalla

quale viene prelevato il *DN*, *Digital Number* (procedura *Nearest Neighbour*);

c_c, r_c = colonna e riga della cella di IM_c da compilare in fase di ricampionamento;

H = quota della piattaforma [m];

ris_{out} = risoluzione geometrica di IM_c [m] definita dall'utente.

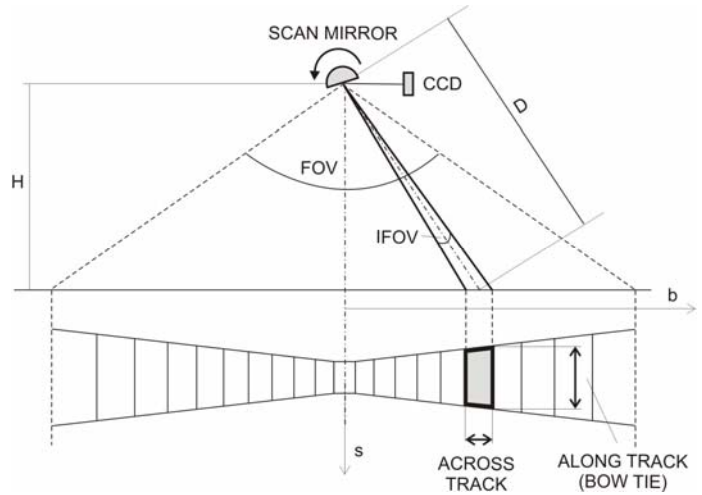


Figura 5 – Geometria di scansione. In basso è rappresentata l'area inquadrata al suolo corrispondente all'ampiezza dello swath in direzione along-track (10 km)

I *DN* da assegnare alle celle di IM_c sono prelevati da IM_o attraverso [1] e [2], con metodo *Nearest Neighbour*. Le celle di IM_c vengono processate per blocchi di linee consecutive (20 in questo caso), corrispondenti all'ampiezza dello swath in direzione *along-track* (*swath width*). All'interno di ciascun blocco viene definito un opportuno sistema di assi cartesiani (b,s) al quale vengono riferite le coordinate c, r delle celle durante il processamento delle immagini.

La dimensione di IM_c , in termini di numero totale di colonne e di righe (C_c, R_c), viene determinata attraverso le:

$$C_c = \frac{H \cdot tg(C_o \cdot IFOV)}{ris_{out}} \quad [3]$$

$$R_c = R_o$$

Le [1] e [2] sono state infine applicate in forma inversa per recuperare la corrispondenza tra le celle di IM_c e le coordinate geografiche (latitudine e longitudine) fornite con il dato iniziale, necessaria per procedere alla successiva corretta georeferenziazione delle immagini.

b) le immagini IM_c , risultato della fase precedente, vengono georiferite impiegando un modello di triangolazione di *Delaunay*. I parametri di tale modello (*piecewise*), che attua la trasformazione tra il sistema di coordinate di IM_c e quello geografico di riferimento (WGS84), vengono stimati utilizzando come *GCP* (*Ground Control Point*) i punti di IM_c di cui sono note latitudine e longitudine. Questa fase di correzione geometrica dei dati viene condotta impiegando apposite routines scritte in IDL e disponibili all'interno del *software* ENVI.

Procedura automatica di estrazione delle coperture nevose

La procedura realizzata, oggetto di questi articolo, consente l'estrazione automatica di dati di copertura nevosa in formato vettoriale a partire dal prodotto MOD10_L2. A questo scopo, attraverso il ricorso al servizio gratuito fornito dagli archivi NSIDC (*National Snow and Ice Data Center DAAC*), che consente l'*upload* giornaliero automatico del prodotto MODIS Snow Cover desiderato, è possibile generare su un computer locale un proprio archivio del prodotto MOD10_L2 scelto, relativo ad una determinata area di interesse.

La procedura proposta preleva da questo archivio le immagini necessarie a ricoprire l'intera area di studio, corrispondenti a una specifica data stabilita dall'utente, e su di esse svolge alcune operazioni in sequenza al termine delle quali restituisce in forma vettoriale le coperture nevose. Le immagini vengono dapprima corrette geometricamente secondo le modalità già descritte, quindi mosaicate e ritagliate sull'effettiva area di interesse impiegando dati vettoriali relativi ai confini degli stati in esame (mascheramento). Successivamente vengono estratti i dati di copertura nevosa e vettorializzati in formato *shapefile*. Le operazioni svolte sono schematizzate in figura 6. A ciascuna di esse corrisponde una specifica routine scritta dagli autori in IDL e poi assemblata alle altre in modo tale da costituire un'unica procedura completamente automatica.

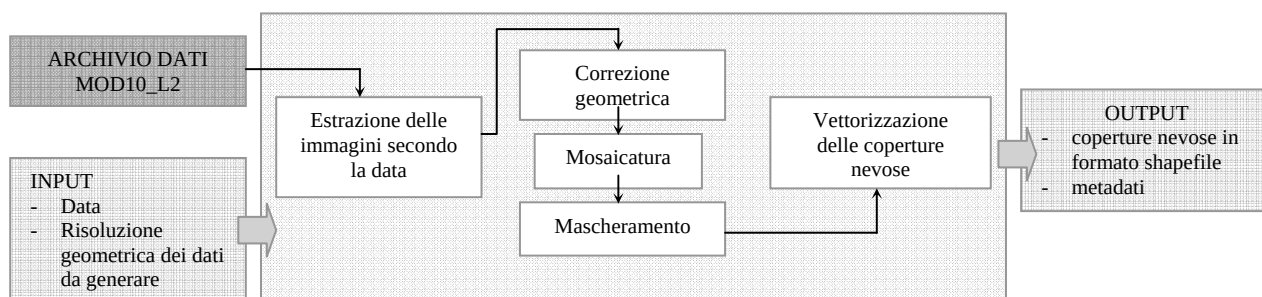


Figura 6 – Schematizzazione delle fasi della procedura automatica sviluppata

Le coperture vettoriali prodotte vengono corredate da metadati testuali che specificano, tra l'altro, il loro grado di affidabilità, misurato da due indici. Un primo indice è dedotto calcolando la percentuale di nubi presente nella scena analizzata (riferita esclusivamente all'area di interesse) e serve a quantificare l'informazione persa. Un secondo indice quantifica invece l'incertezza legata alla determinazione delle coperture nevose. Tale indice è basato sul confronto tra i diversi contenuti in neve e nubi riscontrabili nelle due immagini (prodotto MOD10_L2) ottenute impiegando le due diverse *Cloud Mask* (SCM e LCM), in corrispondenza delle aree riconosciute come neve sul prodotto finale.

Conclusioni

La procedura automatica proposta fornisce i dati di interesse giornalmente e con rapidità, rispondendo così alle esigenze legate a un loro utilizzo nella gestione delle emergenze.

Analisi preliminari di fotointerpretazione condotte su sintesi additive diverse mostrano una buona affidabilità del dato finale di copertura nevosa prodotto, seppure con qualche incertezza. Sono attualmente in corso operazioni di validazione più rigorose, su set di dati relativi ad aree note.

I risultati apprezzabili ottenuti nel corso dello studio condotto portano a ritenere come possibile sviluppo l'integrazione di tale procedura all'interno di un più complesso sistema di monitoraggio delle coperture nevose, basato su confronto di dati MODIS multitemporali.

Bibliografia

- Nishihama M., Wolfe R., Solomon D. (1997), "MODIS Level 1A Earth Location: Algorithm Theoretical Basis Document" Version 3.0
- Riggs G. A., Hall D. K., Salomonson V. (2003), "MODIS Snow Products – User guide"
- Schowengerdt R. A., "Remote sensing. Models and methods for image processing", 2° ed., Academic Press
- <http://modis.gsfc.nasa.gov/> (descrizione sistema MODIS)
- <http://nsidc.org/data/modis/> e http://nsidc.org/data/mod10_l2.html (dati MODIS Snow Cover presso il NSIDC)
- <http://modis-land.gsfc.nasa.gov/snow.htm> (dati MODIS Snow Cover presso il NASA Land Team).