

Titolo della tesi: Glaciers surface velocity field monitoring using Sentinel-1 SAR data: methodology definition and software implementation (Tesi sperimentale)

Tipo di Laurea: Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Sessione di Laurea: Luglio

Anno accademico: 2015/2016

Nome Candidato: Marco di Tullio

Matricola: 1234119

Relatore: Prof. Mattia Giovanni Crespi

Correlatore: Ing. Andrea Nascetti

SSD Relatore: ICAR/06

Lo scopo di questo lavoro è lo sviluppo e l'analisi di un metodo di misurazione del campo di velocità superficiale dei ghiacciai tramite le immagini SAR acquisite con il satellite Sentinel 1-A. I ghiacciai sono grandi masse di ghiaccio derivanti dalla compattazione e ri-cristallizzazione della neve meteorica, presenti alle alte latitudini o in alta quota. Una caratteristica fondamentale del ghiacciaio è quella di essere una massa in costante movimento; infatti, a causa della forza di gravità il ghiacciaio si muove dai punti a maggiore quota ai punti a minore quota. La misura della velocità può avvenire sia con metodi diretti sia con il telerilevamento.

Nonostante l'accuratezza e l'alta risoluzione temporale ottenibile con sondaggi in situ, queste tecniche non permettono la copertura di ampie e/o inaccessibili aree; in più misure tramite GPS possono essere molto costose e non permettono l'acquisizione di un numero sufficiente di punti per l'analisi della complessa dinamica del ghiacciaio.

Dall'altra parte sia le immagini satellitari ottiche sia quelle di tipo SAR (Syntetic Aperture Radar) permettono un continuo monitoraggio di ampie aree della superficie terrestre fornendo informazioni indipendenti dai vincoli logistici presenti. In particolare, il telerilevamento SAR permette di ottenere misure con frequenza costante nel tempo, poiché l'acquisizione dell'immagine può avvenire sia di giorno che di notte e non è influenzata dalle condizioni meteorologiche.

Finora due sono stati gli approcci principali seguiti per la stima del campo di velocità superficiale sfruttando le informazioni disponibili nelle immagini SAR: l'interferometria (InSAR), basata sull'utilizzo dell'informazione di fase contenuta nei singoli pixel dell'immagine SAR, e le tecniche di offset-tracking che sfruttano invece solo l'informazione di ampiezza.

Il potenziale della tecnica InSAR nel determinare spostamenti anche dell'ordine del centimetro ha avuto molto successo fornendo risultati utili per la glaciologia. Comunque nel caso di monitoraggio di ghiacciai con flussi rapidi e incoerenti il problema della de-correlazione diventa un limite insuperabile per questa tecnica, rendendo così le tecniche di off-set tracking un utile

strumento alternativo oppure in alcuni casi complementare per la stima del movimento dei ghiacciai. In più con i nuovi satelliti europei Sentinel si ha da una parte immagini gratuite dall'altra la possibilità di una maggiore risoluzione temporale arrivando, con l'ultimo lanciato in orbita Sentinel-1B, fino a un revisiting time di soli 6 giorni.

Così con questo lavoro di tesi si è sviluppato un software in ambiente Free e Open Source che permetta di valutare la velocità di scorrimento superficiale dei ghiacciai, processando più stack di immagini in modo da produrre serie temporali dei campi di velocità sui periodi investigati.

I principali steps della metodologia usata sono:

- la definizione di più set di immagini SAR, scegliendo di utilizzare immagini con un intervallo di 24 o 36 giorni in formato Ground Range Delected (che non conservano l'informazione di fase), sui quali effettuare le misure;
- co-registrazione dei diversi stack di immagini in modo da eliminare spostamenti traslazionali o rotazionali tra le immagini rendendole sovrapponibili;
- calcolo dello spostamento superficiale attraverso la tecnica dell'Intensity Off-Set tracking raffinando i risultati con l'implementazione del metodo dei minimi quadrati;
- restituzione grafica dei campi di velocità ottenuti.

Questo procedimento è stato applicato a quattro ghiacciai della Northern Patagonian Ice Field: San Quintin, Exploradores, Grosse e San Rafael.

I risultati ottenuti sono in generale molto buoni, confermando i diversi studi esistenti sui ghiacciai in esame, per quanto riguarda l'Exploradores e il Grosse si sono ottenute velocità che vanno dai 10 m/mese ai 20 m/mese dell'area centrale, non si è riusciti invece a determinare i valori di velocità nell'area superiore di ablazione del ghiaccio Exploradores, a causa di forti distorsioni geometriche delle immagini SAR (fenomeni di layover and foreshortening).

Per questi ghiacciai vi è stato anche bisogno di raffinare la fase di co-registrazione delle immagini andando a eliminare le traslazioni residue rimaste utilizzando come riferimenti le aree rocciose circostanti. Del ghiacciaio Grosse non si è riusciti a cogliere bene il flusso reale, essendo questo molto lento, con spostamenti superficiali vicini o inferiori alla risoluzione delle immagini usate.

Nei casi del San Quintin e del San Rafael si sono osservati campi di velocità decisamente più elevati: dai 100 m/mese dell'area superiore del primo agli addirittura 500 m/mese dell'area terminale del San Rafael, confermando i moltissimi studi esistenti. Con questo metodo si riescono ad ottenere dati su una vasta porzione della superficie del ghiacciaio con una alta frequenza nel tempo, cosa impensabile sia con metodi di misurazione diretta dello spostamento sia con il telerilevamento ottico. E' quindi importante cercare di sviluppare questa modalità di rilevazione di informazione.

In tale prospettiva, i principali aspetti da approfondire sono:

- l'inserimento nel processo di un'informazione relativa alla quota e alla morfologia del terreno: ciò può essere ottenuto semplicemente definendo una linea di massima pendenza e un angolo massimo oltre il quale si stabilisce che le direzioni delle velocità sono fisicamente impossibili;
- combinare sia gli stacks ascending con quelli descending per ottenere una stima più robusta dei campi di velocità;
- migliorare il modello di flusso del ghiacciaio in modo da stimare il cambiamento in massa di questo;
- testare il software con immagini acquisite da altri satelliti con sensori SAR (COSMOSkyMed, TerraSAR-X)

Nel complesso, i risultati presentati in questo lavoro confermano che l'Intensity Off-Set tracking è un metodo efficace per ottenere la velocità superficiale del ghiacciaio e evidenzia che è possibile avere un aggiornamento continuo del campo di velocità attraverso i satelliti Sentinel-1, ciò potrebbe essere molto utile per studiare gli effetti stagionali sulla fluidodinamica del ghiacciaio. E' importante sottolineare che la missione Sentinel-1 ha reso disponibile gratuitamente dati SAR ad alta risoluzione (5 m) con una copertura in tutto il mondo, permettendo la possibilità di istituire un servizio di monitoraggio globale di routine e un aggiornamento dei campi di velocità superficiale.

Nonostante l'accuratezza e l'alta risoluzione temporale ottenibile con sondaggi in situ, queste tecniche non permettono la copertura di ampie e/o inaccessibili aree; in più misure tramite GPS possono essere molto costose e non permettono l'acquisizione di un numero sufficiente di punti per l'analisi della complessa dinamica del ghiacciaio.

Dall'altra parte sia le immagini satellitari ottiche sia quelle di tipo SAR (Syntetic Aperture Radar) permettono un continuo monitoraggio di ampie aree della superficie terrestre fornendo informazioni indipendenti dai vincoli logistici presenti.

Finora due sono stati gli approcci principali seguiti per la stima del campo di velocità superficiale sfruttando le informazioni disponibili nelle immagini SAR: l'interferometria (InSAR), basata sull'utilizzo dell'informazione di fase contenuta nei singoli pixel dell'immagine SAR, e le tecniche di offset-tracking che sfruttano invece solo l'informazione di ampiezza.

Molti degli studi precedenti sono stati condotti usando il satellite ENVISAT, la missione è iniziata il 1 Marzo 2002 con il lancio di questo e terminata l'8 Aprile 2012, con un'orbita polare solare sincrona il satellite montava un sensore SAR operante alla banda C e con un repeat-pass di 35 giorni.

Il potenziale della tecnica InSAR nel determinare spostamenti anche dell'ordine del centimetro ha avuto molto successo fornendo risultati utili per la glaciologia. Comunque nel caso di monitoraggio di ghiacciai con flussi rapidi e incoerenti il problema della decorrelazione diventa

un limite insuperabile per questa tecnica, rendendo così le tecniche di off-set tracking un utile strumento alternativo e in alcuni casi anche complementare per la stima del movimento dei ghiacciai. In più con i nuovi satelliti europei Sentinel si ha da una parte immagini gratuite dall'altra la possibilità di un'ancora maggiore risoluzione temporale arrivando, con l'ultimo lanciato in orbita Sentinel-1B, fino a un repeat pass di soli 6 giorni.

Per migliorare i risultati, si può migliorare il processo di co-registrazione, utilizzare immagini in formato SLC che contengono anche un'informazione relativa alla fase, inserire un'informazione sulla morfologia del ghiacciaio indagato.

La tesi è così strutturata:

Capitolo 1: una breve introduzione al lavoro svolto

Capitolo 2: dopo aver introdotto nozioni riguardo il movimento dei ghiacciai, prima viene fatto un confronto tra immagini SAR e immagini ottiche ai fini del monitoraggio dei ghiacciai, poi si è andati più in profondità descrivendo le diverse tecniche di off-set tracking applicate alle immagini SAR

Capitolo 3: descrizione del programma Copernicus e un focus sulle immagini Sentinel-1

Capitolo 4: dopo una veloce descrizione di tutti gli strumenti utilizzati (dai pacchetti di calcolo scientifico ai software) vengono descritti il metodo definito e i passi che sono stati poi implementati con lo sviluppo del software.

Capitolo 5: vengono presentati i risultati di diversi test implementati su 4 ghiacciai della Northern Patagonian Icefields (NPI)

Capitolo 6: conclusioni