

## **Abstract**

La criosfera è uno degli elementi principali del sistema climatico, interagendo le altre componenti di questo ed influenzando i processi idrologici. Definita come la frazione della terra in cui l'acqua si trova al suo stato solido, è una importante sentinella dei cambiamenti del sistema climatico, come indicano i sempre più recenti studi ed osservazioni, anche nel panorama italiano. Si pensi al processo di ritiro dei ghiacciai della catena Alpina, primo tra tutti il ghiacciaio dell'Adamello. Riportano però i più significativi cambiamenti i ghiacciai nella regione Artica, zona del globo in cui è stato misurato il più forte aumento della temperatura media. Tra le parti della criosfera polare, le calotte di ghiaccio di Groenlandia ed Antartide rappresentano le più grandi riserve di acqua dolce del pianeta, conservandone in stato solido più del 70%. Il loro studio è quindi fondamentale in un'ottica di gestione delle risorse idriche. Inoltre, il contributo del bilancio di massa superficiale e le perdite di grandi masse di ghiaccio sono un diretto contributo all'innalzamento del livello medio del mare. Grazie all'analisi di dati satellitari gravimetrici (missione GRACE) si è stimata un tasso di perdita di massa di circa 281 gigaton e di 125 gigaton di ghiaccio ogni anno, rispettivamente, da parte di Groenlandia ed Antartide. Tale perdita di massa glacializzata si è calcolato corrispondere ad un innalzamento del livello medio del mare paria a circa 1.2 cm per decade, considerando il contributo di entrambe le calotte di ghiaccio. Groenlandia ed Antartide agiscono come serbatoio contenente sufficiente massa di ghiaccio da innalzare il livello del mare (se fuso completamente) di circa 7m e 55m, rispettivamente, per solo bilancio di massa. Ma il diretto innalzamento del livello del mare per bilancio di massa (componente eustatica dell'innalzamento dei mari) non è l'unica conseguenza. La perdita di grandi masse di ghiaccio ai Poli genera un ulteriore effetto in termini di aumento del livello del mare a latitudini temperate dovuto alla variazione del campo gravitazionale terrestre per la redistribuzione della massa del pianeta. Sono quindi di grande importanza le analisi a lungo termine dei parametri che possano indicare cambiamenti delle condizioni climatiche. Uno di questi parametri è la fusione superficiale del manto nevoso sulle superfici glacializzate.

La fusione superficiale svolge infatti un ruolo chiave per le calotte di ghiaccio sia per quanto riguarda il bilancio di massa superficiale, sia per la valutazione dinamica dei ghiacciai. La neve, una volta fusa e trasformata in deflusso superficiale può infatti defluire sulla superficie glacializzata oppure, tramite i mulini glaciali, raggiungere zone intermedie o basali delle calotte, influenzando e accelerando i processi idrologici e dinamici a livello supraglaciale, endoglaciale e subglaciale.

Il telerilevamento tramite sensori a microonde passivi, che misurano la temperatura di brillanza naturalmente emessa dalla superficie terrestre, svolge un ruolo di primaria importanza nello studio dei processi climatici e le variazioni di questi su grande scala temporale e spaziale.

Nello specifico, i dati ottenuti da telerilevamento satellitare a microonde passivo sono caratterizzati da lunga copertura temporale (1979-oggi), vasta copertura spaziale ed alta risoluzione temporale

grazie alla proprietà delle onde elettromagnetiche nelle frequenze delle microonde di non essere influenzati dalla copertura delle nuvole e alla possibilità di ottenere misure notturne. non essendo necessaria la radiazione solare per i sensori passivi. Il limite principale di questi sensori era la relativamente bassa risoluzione spaziale.

Dopo l'introduzione relativa agli impatti del cambiamento climatico sul ciclo idrologico, le risorse idriche e, in particolare, la criosfera ed un riassunto dei principi generali del telerilevamento passivo, descrivendo le proprietà elettromagnetiche di neve e ghiaccio, vengono presentate le potenzialità di un nuovo dataset a migliorata risoluzione spaziale recentemente reso disponibile dal programma NASA MeASURES. La risoluzione massima disponibile tramite questo prodotto varia a seconda della frequenza del canale selezionato, fino ad un massimo di 3.125 km.

Per prima cosa sono stati presentate le caratteristiche del dataset, con attenzione alla banda selezionata (37 GHz, polarizzazione orizzontale). Sono stati poi confrontati i dati provenienti dai diversi sensori selezionati (SMMR, SSM/I-F08, SSM/I-F11, SSM/I-F13 e SSMI/S-F17) e calcolate le regressioni lineari tra questi per poterli inter-calibrare nei casi di Groenlandia ed Antartide. Questo passaggio serve per poter costruire la serie temporale delle mappe di temperatura di brillanza per tutti i 37 anni disponibili. Viene poi discussa la disponibilità spazio-temporale dei dati, interpolando i dati per ottenere un completo dataset giornaliero.

In seguito, vengono presentati ed implementati cinque diversi algoritmi basati sul principio di superamento di soglia e confrontate la capacità di questi di individuare contenuto liquido nel manto nevoso con dati di temperatura superficiale raccolti tramite stazione meteorologica. Viene poi presentato un confronto tra gli stessi dati alle risoluzioni 3.125 km e 25 km tramite i risultati ottenuti da un modello atmosferico regionale (MAR). Dopo la validazione, sono state generate le mappe di fusione superficiale per il periodo 1980-2016.

Sono stati infine calcolati i principali indici di fusione, sia a scala locale (pixel per pixel), sia a livello generale su tutta la superficie glacializzata di Groenlandia e Antartide tramite i più usati parametri sintetici. In particolare, a scala locale sono stati calcolati la data di inizio della fusione (melt onset date, MOD), di fine della fusione (melt end date, MED) e durata della fusione (melt duration, MD); per quanto riguarda i parametri sintetici sono stati analizzati la durata media di fusione (mean melt duration, MMD), la superficie cumulata di fusione (melting index, MI) e la superficie massima di scioglimento (maximum melting surface, MMS) calcolata come la superficie in fusione per almeno un giorno di Groenlandia ed Antartide. Sono stati calcolati i trend statisticamente significativi al 95% sugli anni disponibili, con maggiore confidenza sui risultati ottenuti per la Groenlandia rispetto all'Antartide, a seguito di un confronto con i risultati presentati in letterature. La stagione di fusione è iniziata (finita) tra 0.543 e 0.858 giorni prima (0.864 e 0.877 giorni dopo). In numero totale di giorni di fusione è aumentato di 0.347-0.781 giorni per anno. La massima superficie di fusione è aumentata

dello 0.8-1.19% ogni anno rispetto alla superficie totale della Groenlandia. Infine, è stato presentato il caso emblematico dell'evento di fusione straordinario avvenuto nel luglio 2012 in cui il 99% della superficie della Groenlandia era in fusione.

In conclusione, tramite questo lavoro di tesi è stata dimostrata la potenzialità e l'applicabilità degli algoritmi e dei nuovi dati ad alta risoluzione spaziale nell'identificare la comparsa di contenuto liquido nel manto nevoso, è stato creato un dataset delle mappe di fusione superficiale per Groenlandia ed Antartide caratterizzato da copertura temporale e risoluzione spaziale senza precedenti e sono state studiati gli effetti delle modificazioni climatiche delle ultime decadi ai capi dei due emisferi sui processi di fusione superficiale.