

ANALISI SPAZIO – TEMPORALE DELLA DISTRIBUZIONE DELLE AREE DI GHIACCIO BLU NEL CONTINENTE ANTARTICO

Università degli Studi di Milano

Facoltà di scienze e tecnologie

Corso di Laurea Magistrale in Biogeoscienze: Analisi degli ecosistemi e comunicazione delle scienze

Relatore: **Antonella Senese** Correlatore: **Giacomo Traversa**

Anno Accademico 2019/2020

INTRODUZIONE

L'Antartide è il quarto continente più vasto della Terra e costituisce il 10% della superficie del nostro pianeta (King and Turner, 1997). Esso è ricoperto per il 98% da ghiaccio che corrisponde a quasi il 90% dell'acqua dolce presente sulla Terra. Le temperature estremamente fredde del Plateau Antartico e le scarse precipitazioni rendono questo continente un vero e proprio deserto freddo; il minimo assoluto di temperatura raggiunto al Polo Sud è stato registrato dall'Università del Colorado tra il Dome Argus e il Dome Fuji e corrisponde a $-98,6$ °C; le temperature medie annuali invece si aggirano intorno ai -50 °C (King and Turner, 1997). Indipendentemente dalle basse temperature anche l'Antartide sembra essere colpito dalle conseguenze del cambiamento climatico. Diversi studi riguardanti le variazioni della circolazione atmosferica dell'Emisfero Meridionale riportano un evidente riscaldamento della Penisola Antartica con un aumento della temperatura di $2,5$ °C negli ultimi 50 anni (Turner et al., 2005) ed un leggero trend positivo delle temperature medie superficiali a scala continentale a partire dal 1957 (Steing et al., 2009) a causa dei cambiamenti climatici. Fortunatamente finora l'aumento delle temperature non si è tradotto in una perdita di massa di ghiaccio nelle zone più interne del continente. Questo fenomeno però potrebbe tramutarsi in un aumento della superficie delle zone di ablazione ovvero aree in cui avviene perdita di massa glaciale per fusione, sublimazione e per l'azione erosiva dei venti. Per questo motivo questo lavoro di tesi ha lo scopo di analizzare e mappare l'andamento evolutivo di specifiche aree di ablazione denominate aree di ghiaccio blu o blue ice areas (BIAS), interessate da processi di ablazione superficiale. L'analisi della distribuzione delle aree di ghiaccio blu risulta essere essenziale in quanto la loro distribuzione superficiale incide direttamente sul bilancio di massa superficiale dell'Antartide portando a implicazioni sul sistema climatico terrestre e sull'aumento del livello medio del mare. Le aree di ghiaccio blu (BIAS) ricoprono attualmente circa l'1% della superficie del continente antartico e si estendono in prossimità della costa e delle zone montuose (Bintanja, 1999; Winther et al., 2001). Esse si originano dall'azione erosiva dei venti catabatici ovvero venti di caduta, i più importanti e caratteristici venti del continente antartico, che possono raggiungere anche velocità di 300 km/h. Le aree di ghiaccio blu (BIAS) sono state analizzate in questo studio tramite Remote Sensing (Telerilevamento), in particolare mediante l'utilizzo di immagini satellitari del prodotto MODIS dei satelliti Terra (EOS AM) e Acqua (EOS PM) della Nasa, nel periodo della primavera e dell'estate antartica (ottobre-febbraio) tra il 14/10/2000 e il 27/02/2021, tramite mappatura basata su valori di albedo (o riflettività), in modo da analizzarne le variazioni nel tempo e nello spazio. Le aree di ghiaccio blu assumono infatti valori di albedo tra lo 0,5 e lo 0,7 (Hui et al., 2014) differenziandosi dai valori della neve che risultano essere più elevati (la neve fresca assume valori di albedo tra lo 0,8 e lo 0,9 (Gardiner and Shanklin, 1989)) e dai valori della roccia che risultano essere inferiori. Le variazioni areali così calcolate, sono poi state confrontate con valori meteorologici di stazioni automatiche a terra.

MATERIALI E METODI

Dapprima ci si è focalizzati sull'individuazione del prodotto MODIS migliore da utilizzare nella visualizzazione delle BIAS presenti sull'intero continente antartico. La scelta tra MOD10A1 (Terra) MYD10A1 (Acqua) e MCD43A3 (Terra e Acqua) è ricaduta sul prodotto MODIS di MCD43A3 in quanto, reinterprestando i valori di copertura nuvolosa lungo 16 giorni, consente di analizzare una superficie areale del continente più vasta. Successivamente è stata svolta una comparazione a scala locale tra le immagini del prodotto MCD43A3 con risoluzione spaziale di 500 m, e le immagini già esistenti del prodotto Landsat 8 OLI, con risoluzione spaziale di 30 m in modo da validarne l'utilizzo. Per monitorare i cambiamenti spaziali e temporali a larga scala delle BIAS è stato scelto di utilizzare le immagini del prodotto MODIS rispetto a quelle ricavate da Landsat 8 per la quantità contenuta di memoria digitale. Questa analisi ha permesso di confermare l'efficacia del prodotto MCD43A3 nella discriminazione delle BIAS (con valori di albedo tra 0,5-0,7) con un errore pari al 9% rispetto

alle aree osservate tramite Landsat 8. Successivamente si è proceduto con l'elaborazione dei dati necessari per creare un database rappresentativo dei valori areali delle BIAs per svolgere le analisi sull'andamento intra- e inter-annuale. Le 9 date analizzate per tutti e 20 gli anni sono 14/10, 31/10, 17/11, 04/12, 21/12, 07/01, 24/01, 10/02 e 27/02. Per confermare i risultati ottenuti nell'andamento intra-annuale si è proceduto con la creazione di una maschera delle nuvole, effettuata lungo 5 anni campione, per evitare un'eventuale dipendenza dalla variabilità di nuvolosità tra le date considerate. Sempre per confermare l'andamento intra-annuale abbiamo anche effettuato un'analisi della distribuzione delle BIAs in funzione della quota lungo l'Amery Ice Shelf (sempre per 5 anni campione). Infine, si sono confrontati i dati ottenuti con quelli della temperatura e della velocità del vento ricavati dalla stazione meteorologica automatica dell'Amery G3 (situata a 84 m), una delle poche stazioni meteo presenti in prossimità delle aree di ghiaccio blu.

RISULTATI E DISCUSSIONE

L'analisi inter-annuale ha permesso di individuare una certa stabilità dell'evoluzione areale delle BIAs nel tempo. Questa stabilità mostra però un trend leggermente positivo dell'evoluzione areale del ghiaccio blu lungo il ventennio analizzato, segnalando un incremento areale delle BIAs con il passare del tempo. Questo minimo incremento areale delle BIAs con il passare del ventennio potrebbe essere dovuto all'aumento delle temperature registrate in prossimità della costa (Turner et al., 2005) che porterebbe alla riduzione della copertura nevosa per fusione. Tuttavia, dopo aver analizzato l'evoluzione nel tempo delle BIAs basandoci sulla singola data del 21/12 lungo tutti i 20 anni di dati si è riscontrato un trend leggermente negativo. Tale andamento è stato confermato anche dall'analisi delle medie dei valori areali dei giorni 04/12, 21/12 e 07/01 distribuite lungo 20 anni di dati. Questo fenomeno potrebbe evidenziare la presenza, per le annate con una minima distribuzione areale delle BIAs, di specchi di acqua superficiali collocati al di sopra delle aree di ghiaccio blu, fenomeno correlato anche in questo caso all'incremento delle temperature. Successivamente abbiamo svolto un'analisi intra-annuale dell'evoluzione areale delle BIAs lungo la primavera e l'estate antartica per tutti e 20 gli anni di dati analizzati. Questo studio ha permesso di individuare un trend positivo (figura 1 di esempio) per tutte e 20 le annate considerate. Questo andamento positivo è stato inoltre confermato dall'analisi delle BIAs tramite la maschera delle nuvole. Per 11 anni su 20 inoltre si è rilevato un decremento areale in prossimità della fine della stagione (figura 2 di esempio). Questa inversione di tendenza in prossimità del mese di febbraio potrebbe confermare la presenza di acqua di fusione collocata al di sopra delle aree di ghiaccio blu a causa dei processi di fusione.

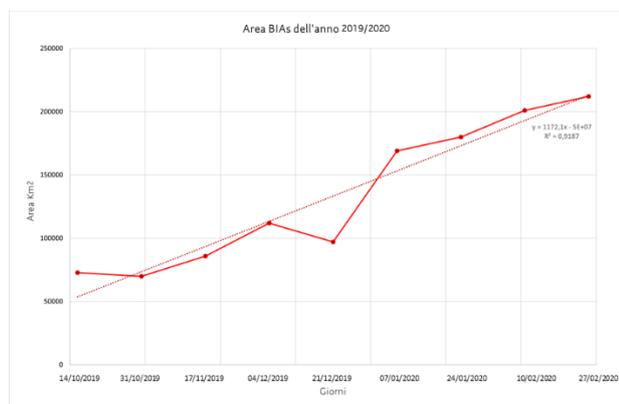


Figura 1: grafico dell'anno 2019/2020 che mostra un incremento areale costante della superficie delle BIAs con la linea di tendenza (linea punteggiata) e l'equazione riferita all'incremento calcolato con la linea di tendenza.

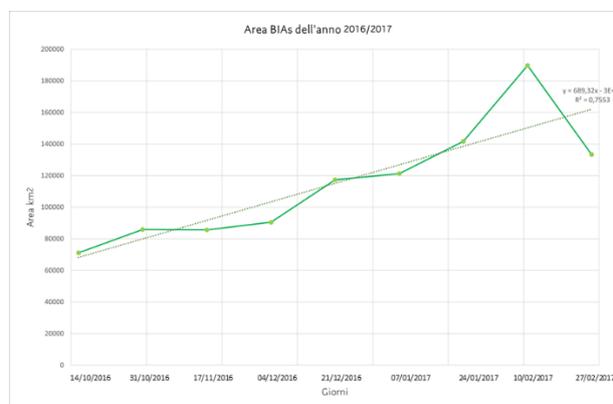


Figura 2: grafico dell'anno 2016/2017 che mostra un decremento areale della superficie delle BIAs verso la fine della stagione. Tramite la linea di tendenza (linea punteggiata) è possibile osservare la presenza di un trend intra-annuale positivo.

Questo trend intra-annuale positivo è stato confermato anche dall'analisi dell'andamento stagionale delle BIAs lungo 5 fasce altitudinali (500 m; 1000 m; 1500 m; 2000 m; 2500 m) effettuata sull'Amery Ice Shelf, dove l'andamento positivo è stato rilevato per più dell'80% della superficie analizzata. Successivamente è stato confrontato l'andamento stagionale rilevato lungo la prima fascia altitudinale (0-500 m) con i valori di temperatura e velocità del vento registrati dalla stazione meteorologica automatica dell'Amery G3 della stagione 2006/2007. Questa analisi ha permesso di individuare un'influenza della velocità del vento e dell'innalzamento delle temperature sull'aumento areale delle BIAs lungo la

stagione primaverile-estiva. L'analisi dei valori massimi di temperatura ricavati dalle medie orarie giornaliere dell'anno 2006/2007 ha permesso di individuare un aumento costante della temperatura con il passare della stagione fino a gennaio per poi osservare invece un decremento (figura 3). La figura 4, rappresentativa dei valori medi massimi del vento, mostra come l'incremento areale delle BIAs ad inizio stagione potrebbe essere causato dall'azione erosiva dei venti catabatici. Come si può osservare infatti le velocità massime vengono raggiunte soprattutto in prossimità dell'inizio della stagione. Diversamente l'incremento accentuato della superficie delle BIAs, visibile da metà a fine stagione (21/12-27/02), combacerebbe con la presenza di valori di temperatura superiori agli 0°C. Per confermare l'influenza dell'incremento della temperatura con l'aumento della superficie delle BIAs si è confrontato l'incremento areale delle aree di ghiaccio blu della prima fascia altitudinale nell'anno 2006/2007 con i valori "gradi ora" (somma delle temperature medie positive orarie giornaliere) ricavati sempre nello stesso intervallo temporale. Come si può osservare dalla figura 5 l'incremento areale delle BIAs avverrebbe proprio in prossimità dei valori di temperatura "gradi ora" maggiori di 0°C. L'incremento accentuato viene rilevato proprio in prossimità dei valori "gradi ora" massimi che corrispondono a 7,94°C nella data del 13/01/2007 e a 8,02°C nella data del 17/01/2007. Questa analisi confermerebbe quindi che l'incremento areale intra-annuale delle BIAs è dovuto all'azione erosiva dei venti catabatici associati anche alla presenza di temperature superiori agli 0°C.

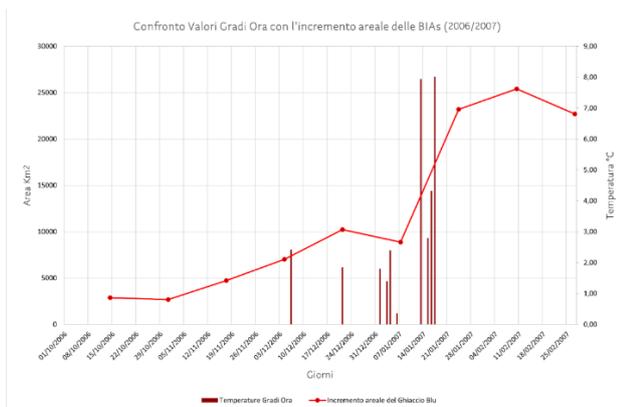
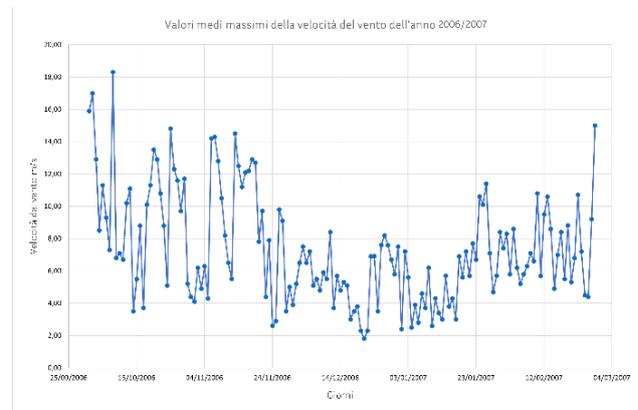
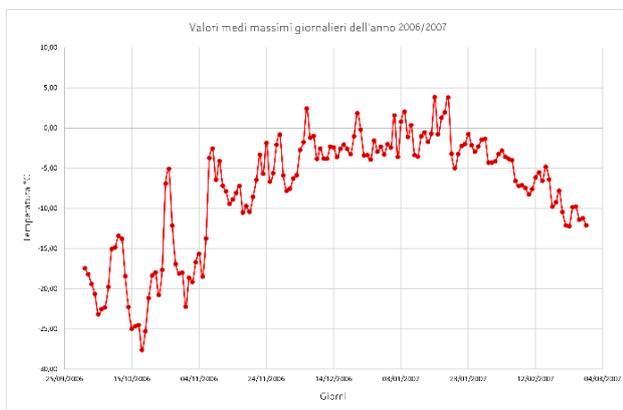


Figura 3 (in alto a sinistra): Andamento dei valori medi massimi giornalieri della temperatura.

Figura 4 (in alto a destra): Andamento dei valori medi massimi giornalieri della velocità del vento

Figura 5 (in basso a sinistra): Confronto tra l'incremento areale delle BIAs (linea rossa) con i valori di temperatura gradi ora (colonne rosse).

Altro aspetto da tenere in considerazione è che anche sull'Amery Ice Shelf si sono rilevati dei decrementi areali in prossimità della fine della stagione spiegabili anche in questo caso con la presenza di acqua di fusione. L'analisi delle immagini satellitari del prodotto Landsat 7 ETM+ hanno permesso di confermare la presenza di specchi d'acqua superficiali in prossimità della fine della stagione lungo la prima e la seconda fascia altitudinale confermando l'ipotesi precedentemente descritta.

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi ha permesso di individuare e analizzare le variazioni spaziali e temporali delle aree di ghiaccio blu (BIAs) presenti sulla superficie del continente antartico negli ultimi 20 anni di dati. L'andamento inter-annuale delle BIAs avrebbe confermato la presenza di un lieve incremento areale del ghiaccio blu con il passare del tempo, fenomeno dovuto probabilmente all'aumento delle temperature. L'andamento inter-annuale osservato con l'analisi della distribuzione areale delle BIAs nella data del 21/12 e dalle medie dei valori areale dei giorni 04/12, 21/12, 07/01 invece evidenzerebbe una riduzione areale causata da una maggiore presenza di acqua di fusione sulla superficie delle BIAs, confermando quindi, anche se con un andamento inverso, l'incremento delle temperature. Anche l'analisi intra-annuale ha permesso di confermare la presenza di un trend evolutivo positivo lungo la primavera e l'estate antartica (ottobre-febbraio) per tutte e 20 gli anni analizzati. Questo incremento areale stagionale delle BIAs è dovuto probabilmente all'incremento delle temperature durante la stagione estiva. Significativi risultano essere inoltre i decrementi areali rilevati a fine stagione per 11 anni su 20 che identificerebbero anche in questo caso la presenza di acqua di fusione alla superficie causata dall'incremento delle temperature. Anche l'analisi svolta sull'Amery Ice Shelf confermerebbe la presenza di un trend intra-annuale positivo con il passare della stagione. I dati di temperatura e velocità del vento registrati dalla stazione meteorologica automatica dell'Amery G3 confermerebbero inoltre l'influenza dell'azione erosiva dei venti catabatici e dell'incremento delle temperature nella formazione di un trend intra-annuale positivo, almeno lungo la prima fascia altitudinale (0-500 m), dove tuttavia è situata più dell'80% della superficie areale delle BIAs della zona. Infine, l'osservazione delle immagini satellitari ricavate dal satellite Landsat 7 ETM+ confermerebbero la presenza di acqua di fusione in prossimità della fine della stagione, avvalorando le ipotesi precedentemente elaborate.

BIBLIOGRAFIA

- Bintanja R (1999)**, On the glaciological, meteorological and climatological significance of Antarctic blue ice areas. *Rev. Geophys.*, 37(3), 337–359 (doi: 10.1029/1999RG900007)
- Gardiner B.G. and Shanklin J.D. (1989)**, Measurements of Solar and Terrestrial Radiation at Faraday and Halley, British Antarctic Survey, Cambridge, 45 pp.
- Hui, F.; Ci, T.; Cheng, X.; Scambos, T.A.; Liu, Y.; Zhang, Y.; Chi, Z.; Huang, H.; Wang, X.; Wang, F. (2014)**, Mapping Blue-Ice Areas in Antarctica Using ETM+ and MODIS Data. *Ann. Glaciol.* 55, 129–137.
- King, J. C., & Turner, J. (1997)**, Antarctic meteorology and climatology. Cambridge University Press.
- Steig, E.J., Schneider, S.D. Rutherford, M.E Mann, J.C. Comiso, and D.T. Shindell, (2009)**, Warming of the Antarctic ice-sheet surface since 1957 international Geophysical Years. *Nature*, 457, 459-462.
- Turner, J., Colwell, S. R., Marshall, G. J., Lachlan-Cope, T. A., Carleton, A. M., Jones, P. D., ... & Iagovkina, S. (2005)**, Antarctic climate change during the last 50 years. *International journal of Climatology*, 25(3), 279-294.
- Winther J-G, Jespersen MN and Liston GE (2001)**, Blue-ice areas in Antarctica derived from NOAA AVHRR satellite data. *J. Glaciol.*, 47(157), 325–334 (doi: 10.3189/172756501781832386)