

MASSIMO FREZZOTTI (*)

FLUTTUAZIONI DELLE FRONTI DEI GHIACCIAI GALLEGGIANTI DURANTE IL XX SECOLO IN ANTARTIDE: EVIDENZE DI CAMBIAMENTI AMBIENTALI

ABSTRACT: FREZZOTTI M., *Twentieth century behaviour of the ice fronts in Antarctica: environmental change evidence.* (IT ISSN 0391-9838,1995).

A comparison of various documents, dated several years apart, has allowed the surficial ice discharge, the ice front fluctuation and the iceberg calving flux of Victoria Land coast (Antarctica) during this century to be estimated. The Hells Gate and McMurdo Sound ice shelves and the floating glaciers of Cape Adare have undergone a significant retreat since the beginning of the 20th century. The different behaviour of these floating glaciers with respect to others has been presumed to be due to increased energy available for meltwater production and to increased melting at the ice-ocean interface related to Circumpolar Deep Water. A first estimate of the mass balance of glaciers that fringe the Victoria Land Coast shows a significantly positive value, despite all the uncertainties of balance measurements.

KEY WORDS: Ice front, Iceberg calving, Floating glacier, Mass balance, Victoria Land, (Antarctica).

RIASSUNTO: FREZZOTTI M., *Fluttuazioni delle fronti dei ghiacciai galleggianti durante il XX secolo in Antartide: evidenze di cambiamenti ambientali.* (IT ISSN 0391-9838,1995).

Il confronto e l'analisi di differenti tipologie di documenti ha permesso di rilevare la portata superficiale, la variazione delle fronti e il flusso di iceberg dei ghiacciai galleggianti della Terra Vittoria (Antartide) durante il XX secolo. Le piattaforme di ghiaccio galleggianti di Hells Gate e McMurdo e dei ghiacciai galleggianti di Cape Adare sono in ritiro dall'inizio del secolo. La riduzione areale è imputabile per Hells Gate e McMurdo ad un incremento dell'energia disponibile per la formazione di acque di fusione e per Cape Adare ad una maggiore fusione alle base dei ghiacciai galleggianti causata dalla Circumpolar Deep Water. Ad una prima stima il bilancio di massa dei ghiacciai che terminano lungo la costa della Terra Vittoria è significativamente positivo, nonostante tutte le incertezze nei parametri del bilancio presi in considerazione.

TERMINI CHIAVE: Fronti glaciali galleggianti, Distacco di Iceberg, Ghiacci galleggianti, Bilancio di massa, Terra Vittoria, Antartide.

(*) ENEA, Dipartimento Ambiente, CR Casaccia, Roma.

Comunicazione presentata al Convegno «Cento anni di ricerca glaciologica in Italia», Torino, 19-20 Ottobre 1995 (Communication presented at the Meeting «100 years of glaciological research in Italy», Turin, 19-20 October 1995).

Ricerca svolta nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide. Progetto di Ricerca «Glaciologia e Paleoclima», Accordo di collaborazione ENEA-Università di Milano, 1994.

INTRODUZIONE

I ghiacci dell'Antartide (30 milioni di km³) costituiscono il 90% circa della criosfera terrestre e pertanto rappresentano una componente di fondamentale importanza nell'equilibrio ambientale del nostro pianeta (MEIER, 1983). Ogni anno si accumula sulle calotte orientale e occidentale dell'Antartide un quantitativo di neve equivalente ad uno strato di 6 mm d'acqua esteso sull'intera superficie degli oceani (BUDD & SUMMONDS, 1991). Qualsiasi variazione nel bilancio di massa delle calotte polari determina una variazione del livello del mare, con evidenti implicazioni socioeconomiche di portata mondiale. La maggiore fonte di incertezza nella valutazione delle possibili variazioni del livello del mare collegate al cosiddetto «effetto serra» è rappresentato dalle calotte polari. La risalita del livello del mare negli ultimi 100 anni è valutata in 18 ± 7 cm, e il contributo delle calotte antartiche a questa risalita è stimato in 0 ± 14 cm (IPCC, 1995). La stima di «zero» deve essere interpretata come il riflesso della mancanza di conoscenze, piuttosto che come la valutazione dell'attuale stato di bilancio. L'attuale errore di valutazione del bilancio di massa dell'Antartide è compreso fra -720 Gt/anno (1 Gt = 10^{12} kg) e + 487 Gt/anno, pari ad un volume equivalente alla variazione del livello del mare di + 2,0 mm/anno e -1,3 mm/anno (JACOBS & alii, 1992). Oltre alla mancanza di conoscenze sullo stato attuale del bilancio di massa è da segnalare una considerevole incertezza per quello che riguarda una possibile risposta dinamica delle calotte nella scala temporale dei secoli. In particolare per quelle parti della calotta che poggiano al di sotto del livello del mare e che potrebbero essere soggette ad un «surge», causando una rapida risalita del livello del mare. La probabilità che questo fenomeno avvenga nel prossimo secolo, come conseguenza dell'ipotizzato riscaldamento dovuto all'«effetto serra», è piuttosto remota, ma non uguale a zero (IPCC, 1995).

Lo stato di equilibrio dei ghiacciai galleggianti (bilancio di massa, estensione a mare) è influenzato da una varietà di processi glaciali e non glaciali che agiscono secondo periodi che variano da poche ore a migliaia di anni. Il distacco

di iceberg e la fusione all'interfaccia ghiaccio/oceano, se non è bilanciato dalla portata dei ghiacciai, riduce la dimensione dei ghiacciai galleggianti e la loro capacità di ritardare lo sbocco a mare del ghiaccio delle calotte. Al contrario il congelamento di acqua marina all'interfaccia ghiaccio/oceano aumenta l'area dei ghiacciai galleggianti in contatto con le pareti ed i fondali delle baie, aumentando gli attriti e riducendo le velocità dei ghiacci continentali. La recente disintegrazione delle piattaforme di ghiaccio galleggianti della Penisola Antartica ha messo in evidenza che questi corpi glaciali sono estremamente sensibili e vulnerabili alle variazioni climatiche (DOAKE & VAUGHAN, 1991; SKVARCA, 1994).

In questo lavoro vengono sintetizzati i risultati delle ricerche sull'evoluzione durante il XX secolo delle lingue e delle piattaforme di ghiaccio galleggianti (ghiacciai galleggianti) della Terra Vittoria (BARONI & *alii*, 1991; FREZZOTTI, 1992a; 1992b; 1993; 1994; in stampa; FREZZOTTI & MABIN, 1994), svolte nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerca in Antartide, Progetto di Ricerca «Glaciologia e Paleoclima»; inoltre vengono presentate le prime stime del bilancio di massa del settore della Calotta Est Antartica e del complesso glaciale (*ice field*) delle Montagne TransAntartiche che scendono in mare lungo la costa della Terra Vittoria (FREZZOTTI, in stampa).

La costa della Terra Vittoria (Fig. 1) è compresa fra Williamson Head (69°11'S, 158°E) e Ross Island (77°30'S, 167°E). La costa è lunga circa 3600 km e può essere suddivisa geograficamente in quattro settori: Pennell Coast da Williamson Head a Cape Adare (71°17'S, 170°13'E); Borchgrevink Coast, da Cape Adare a Cape Washington (74°39'S, 170°13'E); Terra Nova Bay, delimitata da Cape Washington e dal Drygalski Ice Tongue (75°30'S, 163°50'E); Scott Coast da Drygalski Ice Tongue a Cape Bernacchi (77°30'S, 163°50'E); McMurdo Sound fra Cape Bernacchi e Ross Island.

MATERIALI E METODI

Lo studio delle variazioni delle fronti dei ghiacciai galleggianti è stato condotto attraverso il confronto e l'analisi di differenti tipologie di documenti: dati storici, carte topografiche, fotografie aeree e immagini da satellite. Le prime informazioni geografiche sui ghiacciai galleggianti della Terra Vittoria provengono dai resoconti delle spedizioni che esplorarono l'area della Terra Vittoria all'inizio del XX secolo: Borchgrevink 1898-1899, Shackleton 1907-1909, Scott 1901-1904 e 1910-13 (BORCHGREVINK, 1901; DAVID & PRIESTLEY, 1914; DEBENHAM, 1923; MAWSON, 1909; MULOCK, 1908; PRIESTLEY, 1923; TAYLOR, 1922). Questi dati riguardano le aree di: Cape Adare, Terra Nova Bay, Scott Coast e McMurdo Sound. Le prime fotografie aeree dell'intera Terra Vittoria sono state raccolte dalla U.S. Navy con sistema Trimetrogon (TMA) durante le spedizioni Deep Freeze Range tra il 1956 e il 1965. In base a queste fotografie aeree fra il 1965 e il 1973 il U.S. Geological Survey ha disegnato le prime carte alla scala 1:250.000 della «Antarctica Reconnaissance Series» del-

l'intera Terra Vittoria. Le fronti dei ghiacciai galleggianti sono state cartografate su queste carte in base alle ultime fotografie dell'area costiera; la disponibilità, in numerosi casi, di fotografie antecedenti a quelle utilizzate per la restituzione cartografica ha permesso di cartografare la posizione delle fronti tra la metà degli anni cinquanta e la metà degli anni sessanta. Le prime immagini da satellite dell'area sono state registrate dal satellite Landsat 1 MSS fra il 1972 e il 1973; queste immagini hanno una risoluzione spaziale a terra di 80x80 m e quattro bande spettrali, due nell'infrarosso vicino e due nel visibile. Successivamente, negli anni ottanta, il satellite Landsat 3 RBV ha registrato alcune immagini dell'area di Rennick Bay e Ob Bay con una risoluzione di 30x30 m in una sola banda pancromatica. Durante gli anni 1988-92, grazie ad un consorzio di nazioni promosso dal Gruppo di lavoro di Glaciologia dello SCAR (Scientific Committee Antarctic Research), sono state raccolte dai satelliti Landsat TM 4 e 5 immagini dell'intera Terra Vittoria con una risoluzione a terra di 30x30 m e 7 bande spettrali, tre nel visibile, tre nell'infrarosso vicino e una nell'infrarosso termico. Quest'ultime immagini, essendo quelle più corrette dal punto di vista geometrico e con la più alta risoluzione a terra, sono state utilizzate come immagini di riferimento. Le immagini sono state corrette attraverso delle procedure di georettificazione e di restituzione in proiezione cartografica Conica Conforme di Lambert, utilizzando le coordinate di riferimento delle immagini da satellite e, dove erano disponibili, punti di controllo a terra. Prendendo queste immagini corrette come riferimento, le altre immagini (Landsat 1 MSS e Landsat 3 RBV) sono state corrette geometricamente, identificando almeno 40 punti di controllo per ogni coppia di immagini. Molte delle prime informazioni cartografiche (carte dell'inizio secolo e U.S.G.S) presentano notevoli imprecisioni dovute al tipo di rilevamento, di tipo speditivo, e alle metodologie cartografiche. Dove è stato possibile queste imprecisioni sono state corrette attraverso l'uso delle immagini da satellite. Le cartografie storiche e del U.S.G.S sono state digitalizzate sotto forma di prodotti vettoriali e confrontati con i dati raster e vettoriali provenienti dalle immagini da satellite. Il confronto digitale di tutti questi dati ha permesso di valutare le variazioni areali e lineari delle fronti dei ghiacciai galleggianti fra l'inizio del secolo e gli anni cinquanta-sessanta, dove erano disponibili i dati (Cape Adare, Terra Nova Bay, Scott Coast e McMurdo Sound), e per tutta la Terra Vittoria fra gli anni cinquanta-sessanta e gli anni novanta. Inoltre è stata determinata la portata superficiale annuale dei ghiacciai galleggianti fra gli anni settanta e gli anni novanta. Utilizzando la portata annuale e le variazioni areali dei ghiacciai galleggianti è stato possibile valutare il flusso annuale medio di distacco in iceberg fra gli anni cinquanta-sessanta e il 1972-73 e fra quest'ultimo e gli anni novanta.

DISCUSSIONE

I ghiacciai che defluiscono lungo la costa della Terra Vittoria drenano un'area della Calotta Est Antartica e del-

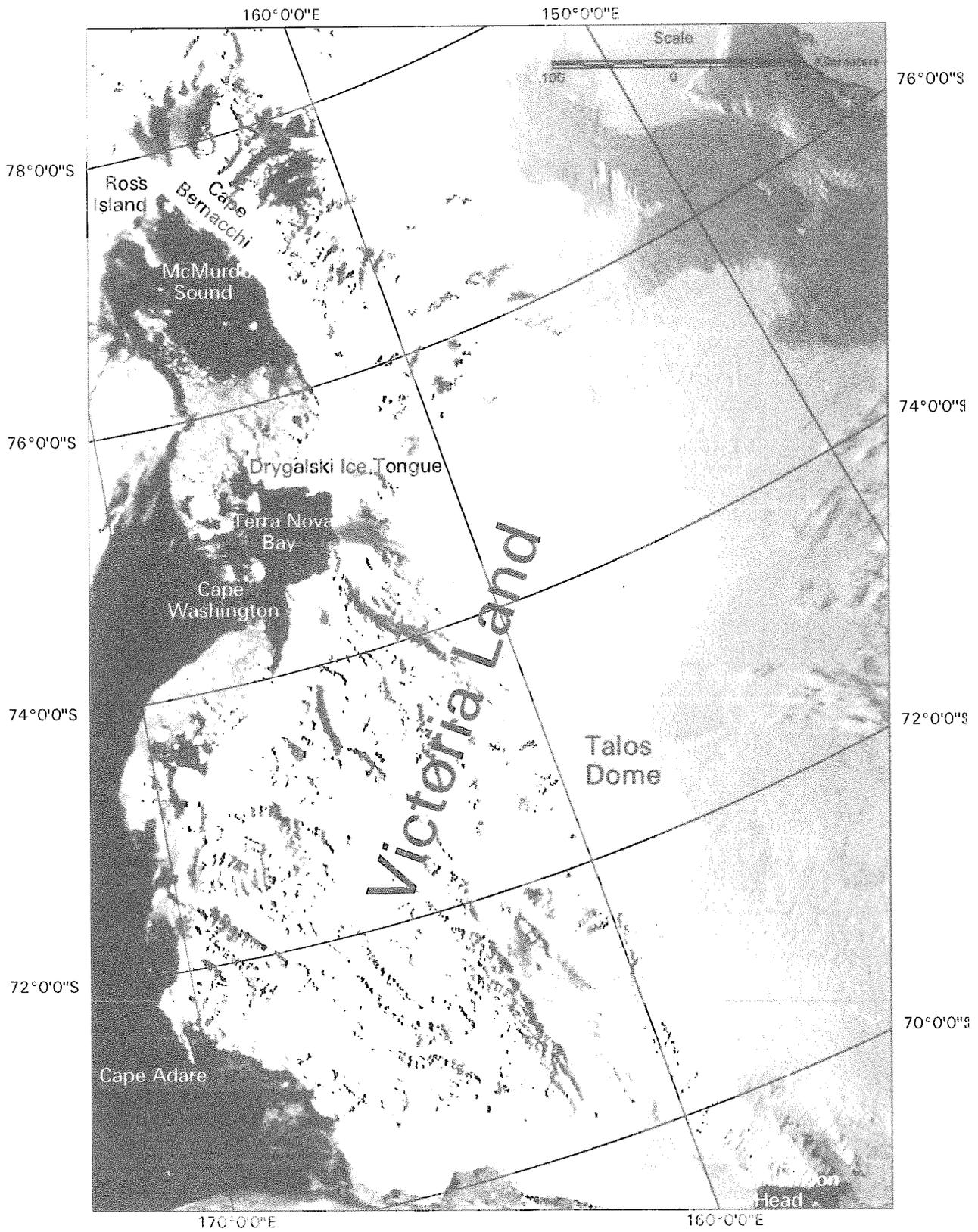


Fig. 1 - Immagine da satellite AVHRR (20, Gennaio 1995) della Terra Vittoria.

FIG. 1 - Satellite image AVHRR (January 20, 1995) of Vittoria Land.

le Montagne TransAntartiche di circa 432.000 km² (GIOVINETTO & BENTLEY, 1985). La superficie dei ghiacciai galleggianti della Terra Vittoria è di circa 19.200 km², di cui circa 7.000 km² costituiti dall'estensione a mare delle lingue dei ghiacciai galleggianti. La portata superficiale annuale dei ghiacciai galleggianti è stata stimata in circa 67 km²/anno. Il confronto dei dati di inizio secolo con i successivi degli anni cinquanta mette in risalto una riduzione dei ghiacciai nella zona di Cape Adare, per i ghiacciai galleggianti di Nansen Ice Sheet, Hells Gate, Nordenskjold, McMurdo Sound ed Erebus ed una avanzata per Drygalski, Harbour, Cheetham e Mackay. Nel periodo compreso fra il 1956-65 e il 1972-80 è stata rilevata una riduzione delle superfici dei ghiacciai galleggianti di 955 km² con un distacco in iceberg di 134 km²/anno, il doppio circa del valore valutato di portata superficiale dei ghiacciai. I maggiori distacchi di iceberg si sono verificati per il Drygalski (675 km² nel giugno del 1957), McMurdo (223 km² fra il 1960 e il 1974), Nansen (170 km², fra il 1963 e il 1972), Nordenskjold (153 km², fra il 1960 e il 1972) e il Rennick (85 km², fra il 1962 e il 1965). Nel successivo periodo tra il 1972-80 e il 1988-92 si è rilevato un aumento areale dei ghiacciai galleggianti di circa 217 km² con un distacco in iceberg di circa 55 km²/anno, valore leggermente inferiore rispetto alla portata annuale. I maggiori distacchi in iceberg si sono verificati per i ghiacciai galleggianti di Mariner-Borchgrevink (158 km², fra il 1972 e il 1990), McMurdo (114 km², fra il 1980 e il 1990) e Ironside (61 km², fra il 1972 e il 1991). L'estensione areale dei ghiacciai galleggianti della Terra Vittoria mostra una generale stabilità con variazioni cicliche dell'ordine di 1-5 anni per Pennell Coast orientale e Borchgrevink Coast settentrionale, di 7-15 anni per Pennell Coast occidentale e Borchgrevink Coast meridionale e di 40-50 anni per Terra Nova Bay, Scott Coast e McMurdo Sound. I ghiacciai galleggianti della Pennell Coast orientale e Borchgrevink Coast settentrionale presentano estensioni a mare ridotte o assenti, in quanto questi ghiacciai terminano all'interno di fiordi.

A questa generale ciclicità nella variazione dell'estensione dei ghiacciai galleggianti fanno eccezione, per la loro drastica riduzione areale dall'inizio del XX secolo, le peculiari piattaforme di ghiaccio di McMurdo (Gow & GOWNI, 1994), Hells Gate e i ghiacciai galleggianti dell'area di Cape Adare. Le piattaforme di Hells Gate e McMurdo sono caratterizzate dall'esteso affioramento di ghiaccio di origine marina formatosi all'interfaccia ghiaccio/oceano e portato in superficie da fenomeni di ablazione superficiale indotti dai venti catabatici. La riduzione areale di queste piattaforme si è verificata principalmente in quei settori dove affiorava il ghiaccio di origine marina ed erano presenti estesi laghi sopraglaciali, mentre nei settori dove affiora in superficie ghiaccio continentale o neve la riduzione è stata minore od assente. Il ghiaccio di origine marina assorbe maggiormente la radiazione solare rispetto alla ghiaccio continentale e alla neve determinando un notevole incremento delle acque di fusione. CHINN (1993) mette in evidenza, in base all'aumento del livello dei laghi nelle Dry Valleys, che dall'inizio del secolo si è registrato un aumento dell'energia disponibile per la produzione delle acque di

fusione. In accordo con questi dati sono quelli di BRAATEN & DRESCHHOFF (1992) che hanno analizzato la temperatura medie alla stazione di McMurdo fra il 1956 e il 1990, rilevando un aumento delle temperature massime di 1,51°C. Si può quindi ipotizzare che l'arretramento della fronte delle piattaforme di ghiaccio di Hells Gate e McMurdo sia collegato con un aumento delle temperature massime e dell'acqua di fusione. Analogamente DOAKE & VAUGHAN (1991) hanno ipotizzato che la rapida disintegrazione del Wordie Ice Shelf (Penisola Antartica) sia stata innescata da un riscaldamento climatico che ha indotto un aumento dell'ablazione e dell'acqua di fusione, in quanto la presenza di acqua di fusione e l'aumento della temperatura ridurrebbero la resistenza del ghiaccio favorendo il distacco di iceberg. È importante rilevare che l'attuale marcato arretramento della posizione della fronte della piattaforma di Hells Gate non ha ancora raggiunto la sua minima posizione durante l'Olocene segnalata fra 7500 e 5000 anni BP da BARONI & OROMBELLI (1994).

I ghiacciai galleggianti dell'area di Cape Adare hanno subito una costante riduzione durante il XX secolo, con la scomparsa delle lingue di ghiaccio galleggianti che si estendevano a mare, ed il ritiro delle fronti glaciali all'interno delle valli di tipo fiordo. L'area di Cape Adare è il settore della costa della Terra Vittoria più vicino alla scarpata continentale. JACOBS & COMISO (1989) hanno messo in evidenza che il settore del Mare di Ross antistante Cape Adare è caratterizzato dalla presenza di mare libero da ghiacci marini all'inizio della primavera e in autunno e che durante l'inverno la copertura dei ghiacci marini non supera mai il 70%. Gli Autori ipotizzano, in base ad una serie di profili di temperatura e salinità, che la bassa concentrazione di ghiaccio marino sia dovuta ad una risalita di acque relativamente calde ad alta salinità (Circumpolar Deep Water CDW) dalla scarpata continentale. JACOBS & *alii* (1992) ipotizzano che la CDW abbia la potenzialità di fondere enormi volumi di ghiaccio al di sotto dei ghiacci galleggianti. Possiamo supporre che l'assenza dell'estensione a mare dei ghiacciai galleggianti e la costante riduzione di questi durante il XX secolo nell'area di Cape Adare sia collegabile con una maggiore risalita o temperatura della CDW.

Il settore della calotta Est Antartica che culmina nell'area di Dome C e Talos Dome e che scende a mare lungo la costa della Terra Vittoria e di Wilkes rappresenta l'area più ampia dell'Antartide senza una valutazione del bilancio di massa (BENTLEY & GIOVINETTO, 1991). GIOVINETTO & BENTLEY (1985) valutano che il sistema di drenaggio che defluisce lungo le coste di McMurdo Sound, Scott Coast e Terra Nova Bay abbia una superficie di circa 284.000 km² con un accumulo nevoso netto annuo di circa 23,4 Gt/anno e che il settore che sbocca lungo le coste Borchgrevink e Pennell abbia una superficie di circa 148.000 km² con un accumulo nevoso netto annuo di circa 40,9 Gt/anno. I valori di accumulo ipotizzati da GIOVINETTO & BENTLEY (1985) sono in buon accordo con i valori di accumulo netto degli ultimi vent'anni stimati in base all'analisi chimico-fisico-isotopiche di alcune carote di neve e nevato della Terra Vittoria (BARBOLANI & *alii*, in stampa). JACOBS & *alii* (1992) valutano l'accuratezza delle stime sull'accumulo nevoso in circa $\pm 20\%$. I principali termini negativi

del bilancio di massa delle calotte dell'Antartide possono essere individuati nel distacco di iceberg e nella fusione alla base dei ghiacciai galleggianti; in maniera minore concorrono la sublimazione e la fusione superficiale. L'esame delle variazioni delle fronti glaciali fra gli anni cinquanta e gli anni novanta ha messo in evidenza un distacco annuale in iceberg di circa 91 km²; ipotizzando, in base alle osservazioni sullo spessore medio e la densità degli iceberg e dei ghiacciai galleggianti (KEYS & FOWLER, 1989), uno spessore medio di 250 ± 20% m ed una densità media di 850 kg/m³ si può valutare un distacco di iceberg di circa 19,5 ± 20% Gt/anno. Valutando in 19.200 km² l'estensione dei ghiacciai galleggianti e in 2760 km l'estensione delle fronti galleggianti ed ipotizzando una fusione al di sotto dei ghiacci galleggianti compresa fra 60 e 500 cm possiamo valutare, utilizzando una densità di 917 kg/m³, un valore di fusione di 20 Gt/anno con una stima dell'errore del ± 50%. Una prima stima della sublimazione e della fusione superficiale ci permette di ipotizzare un valore complessivo di 2,3 Gt/anno con un errore del ± 50%. Sottraendo alla accumulazione netta di 64,3 ± 20% Gt/anno i valori di 19,5 ± 20% Gt/anno di distacco in iceberg, 20 ± 50% Gt/anno di fusione all'interfaccia ghiaccio-oceano, e di 2,3 ± 50% Gt/anno per la sublimazione e la fusione superficiale possiamo valutare un bilancio positivo di circa 23 Gt/anno, l'alto valore della stima degli errori porta ad avere un bilancio che può variare tra -5 e +50 Gt/anno. L'enorme incertezza in numerosi parametri presi in considerazione rende difficile determinare quantitativamente il valore del bilancio di massa di quest'area, ma pensiamo di poter affermare che qualitativamente il segno del bilancio di massa sia significativamente positivo. Analogamente, nell'area limitrofa della Calotta Est Antartica che fluisce nel settore occidentale della Ross Ice Shelf, BENTLEY & GIOVINETTO (1991) valutano un bilancio positivo di 26 Gt/anno che rappresenta circa il 34% dell'accumulo netto dell'area. Possiamo ipotizzare che il bilancio positivo dei ghiacciai che confluiscono lungo la Terra Vittoria sia causato da un aumento del 20 ÷ 30% dell'accumulo netto. Questo dato sarebbe in accordo con numerosi autori (MORGAN & alii, 1991; MOSLEY-THOMPSON & alii, 1987; 1995; POURCHET & alii, 1983) che hanno messo in evidenza, in diversi siti della Calotta Est Antartica, un aumento dell'accumulo netto compreso fra il 20% e il 33% a partire dagli anni cinquanta.

BIBLIOGRAFIA

- BARBOLANI E., DINI M., FREZZOTTI M., MAGGI V., PICCARDI G., SERRA F., STENNI B. & UDISTI R. (in stampa) - *Estimation of rates of snow deposition from shallow cores in Northern Victoria Land (Antarctica)*. Terra Antartica.
- BARONI C., FREZZOTTI M., GIRAUDI C., & OROMBELLI G. (1991) - *Ice flow and surficial variation inferred from satellite image and aerial photograph analysis of Larsen ice tongue, Hells Gate and Nansen ice shelves (Victoria Land, Antarctica)*. Mem. Soc. Geol. It., 46, 69-80.
- BARONI C. & OROMBELLI G. (1994) - *Holocene glacier variations in the Terra Nova Bay area (Victoria Land, Antarctica)*. Antarc. Sc. 6(4), 497-505.
- BENTLEY C.R. & GIOVINETTO M.B. (1991) - *Mass balance of Antarctica and Sea Level Change*. In: Weller G., Wilson C.L., & Severin B.A.B., eds. *Polar Regions and Climate Change*. Proc. Symp., Univ. Alaska, Fairbanks, June, 1990, 481-488.
- BORCHGREVINK C.E. (1901) - *First on the Antarctic Continent*. G. Newnes Ltd, London.
- BRAATEN D.A. & DRESCHHOFF G.A.M. (1992) - *Maximum and minimum temperature trends at McMurdo Sound Station*. Antarc. Journ. U.S., 27, 282-283.
- BUDD W.F. & SUMMONDS I. (1991) - *The Impact of Global Warming on the Antarctic Mass Balance and Global Sea Level*. In: Weller G., Wilson C.L., & Severin B.A.B., eds. *Polar Regions and Climate Change*. Proc. Symp., Univ. Alaska, Fairbanks, June 1990, 489-494.
- CHINN T.J. (1993) - *Physical hydrology of the Dry Valley lakes*. Antarc. Res. Ser. 59, 1-51.
- DAVID T.W.E. & PRIESTLEY R.E. (1914) - *British Antarctic Expedition 1907-09. Reports on the Scientific Investigations*. Geology. Vol. 1. Heinemann, London.
- DEBENHAM F. (1923) - *The Physiography of the Ross Archipelago*. British (Terra Nova) Antarctic Expedition 1910-1913. Harrison and Sons, London, 40 pp.
- DOAKE C.S.M. & VAUGHAN D.G. (1991) - *Rapid disintegration of the Wordie Ice Shelf in response to atmospheric warming*. Nature, 350, 328-330.
- FREZZOTTI M. (1992a) - *Fluctuations of ice tongues and ice shelves derived from satellite images in Terra Nova Bay area, Victoria Land, Antarctica*. In Yoshida, Y., ed. *Recent progress in Antarctic Earth Science*. Tokyo, Terra Scientific Company, 733-739.
- FREZZOTTI M. (1992b) - *Analisi delle piattaforme e delle lingue di ghiaccio galleggianti della Terra Vittoria (Antartide) tramite immagini da satellite e fotografie aeree*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 107-109.
- FREZZOTTI M. (1993) - *Glaciological study in Terra Nova Bay, Antarctica, inferred from remote sensing analysis*. Ann. Glaciol. 17, 63-71.
- FREZZOTTI M. (1994) - *La dinamica del Ghiacciaio di Sbocco David e della sua Lingua Galleggiante Drygalski (Terra Vittoria, Antartide)*. Mem. Soc. Geogr. It., 51, 247-259.
- FREZZOTTI M. (in stampa) - *Ice front fluctuation, iceberg calving flux and mass balance of Victoria Land glaciers (Antarctica)*. Antarctic Science.
- FREZZOTTI M. & MABIN M.C.G. (1994) - *20th century behaviour of the Drygalski Ice Tongue, Ross Sea, Antarctica*. Ann. Glaciol., 20, 397-400.
- GIOVINETTO M.B. & BENTLEY C.R. (1985) - *Surface balance in ice drainage system of Antarctica*. Antarc. Journ. U.S., 20(4), 6-13.
- GOW A.J. & GOVONI J.W. (1994) - *An 80 year record of retreat of Koettlitz Ice Tongue, McMurdo Sound, Antarctica*. Ann. Glaciol., 20, 237-241.
- IPCC (1995) - *IPCC Second Scientific Assessment of Climate Change*, Trenberth K.E., Houghton J.T. & Meira Filho L.G. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- JACOBS S.S. & COMISO J.C. (1989) - *Sea ice and Oceanic Processes on the Ross Sea Continental Shelf*. Journ. Geoph. Res., 94, 195-211.
- JACOBS S.S., HELMER H.H., DOAKE C.S.M., JENKINS A. & FROLICH R.M. (1992) - *Melting of ice shelves and the mass balance of Antarctica*. Journ. Glaciol., 38, 375-387.
- KEYS J.R. & FOWLER A.D.F. (1989) - *Sources and movement of iceberg in the south-west Ross Sea, Antarctica*. Ann. Glaciol., 12, 85-88.
- MAWSON D. (1909) - *British Antarctic Expedition 1907. Route and Surveys of the South Magnetic Polar Party 1908-09 from triangulation and Traverses*. In: Shackleton (ed.) - *The Geographical Journal*.
- MEIER M.F. (1983) - *Snow and ice in a changing hydrological world*. Hydrol. Sc. Journ., 28(1), 3-22.
- MORGAN V.I., GOODWIN I.D., ETHERIDGE D.M. & WOOKEY C.W. (1991) - *Evidence from Antarctic ice cores for recent increases in snow accumulation*. Nature, 354, 58-60.
- MOSLEY-THOMPSON E., PASKIEVITCH J.F. & GROSS S.M. (1987) - *Ice-core drilling for paleoclimatic information at plateau remote*. Antarc. Journ. U.S., 22(5), 78-79.
- MOSLEY-THOMPSON E., THOMPSON L.G., PASKIEVITCH J.F., POURCHET M., GOW A.J., DAVIS M.E., KLEINMAN J. (1995) - *Recent increase in South Pole snow accumulation*. Ann. Glaciol., 21, 131-138.
- MULOCK, G.F.A. (1908) - *The chart of the «Discovery» Antarctic Expedition 1901-1904*. Royal Geographical Society, Edward Stanford, London.
- POURCHET M., PINGLOT F. & LORIUS C. (1983) - *Some meteorological applications of radioactive fallout measurements in Antarctic snows*. Journ. Geophys. Res., 88(C10), 6013-6020.
- PRIESTLEY R.E. (1923) - *British (Terra Nova) Antarctic Expedition 1910-1913. Physiography (Robertson Bay and Terra Nova Bay Regions)*. Harrison and Sons, London, 95 pp.
- SKVARCA P. (1994) - *Changes surface features of the Larsen Ice Shelf, Antarctica, derived from Landsat and Kosmos mosaics*. Ann. Glaciol., 20, 6-12.
- TAYLOR G. (1922) - *The physiography of the McMurdo Sound and Granite Harbour region (British Antarctic (Terra Nova) Expedition, 1910-13)*. Harrison and Sons, London.