

L'evoluzione recente delle coste antartiche Il caso del *Drygalski Ice Tongue (DIT)*, Terra Vittoria settentrionale

Claudio Smiraglia, Umberto Minora, Guglielmina Diolaiuti

Dipartimento di Scienze della Terra "Ardito Desio", Università degli Studi di Milano
Via Mangiagalli 34 20133 Milano

Riassunto

Le coste dell'Antartide sono quasi completamente ricoperte dal ghiaccio che fluisce dalla calotta e che può arrivare al mare, formando piattaforme e lingue galleggianti. Lungo le coste delle Terra Vittoria Settentrionale si affaccia la grande lingua galleggiante del Drygalski (Drygalski Ice Tongue, DIT), alimentata dal Ghiacciaio David. Sull'evoluzione della DIT si hanno informazioni sin dall'inizio del XX secolo ad opera dei primi esploratori che hanno descritto e cartografato la regione. Dalla metà del secolo foto aeree e successivamente immagini satellitari, nonché tecniche avanzate di tipo geofisico e topografico, hanno permesso di raccogliere dati su variazioni di lunghezza e superficie, area, velocità, spessore. Per quanto riguarda la lunghezza della lingua, il confronto fra le varie fonti ha evidenziato un'avanzata fino alla metà del XX secolo, seguita da un regresso negli anni '60, dovuto ad un imponente evento di calving. Segue un'altra avanzata sino all'inizio del XXI secolo che porta la lunghezza fino a circa 97 km, con una riduzione successiva dovuta sia a calving diretto della lingua sia all'impatto con iceberg di grandi dimensioni.

Parole chiave: coste antartiche, lingue glaciali galleggianti, variazioni morfologiche, calving, Drygalski Ice Tongue.

Abstract

Antarctic coasts are almost entirely covered by ice, which flows down the ice sheet, and which possibly reaches the sea, giving shape to ice shelves and floating ice tongues. Along the Northern Victoria Land coasts, the great Drygalski Ice Tongue (DIT) stretches far onto the sea, fed by the David Glacier. Data on the DIT evolution are available since the beginning of the XX century, when the first explorers described the region for the first time and produced the first maps. From the middle of the century, aerial photographs, satellite images, as well as advanced geophysics and topographic techniques, allowed the reconstruction of the changes in length, surface, velocity, and thickness. As for the length of the ice tongue, the comparison of the various sources stressed an advance since the middle of the XX century, followed by a retreat in the 60s, caused by a massive calving event. Later on, another advance is seen at the beginning of the XXI century, increasing the length up to 97 km, with a consequent reduction due to both to direct calving of the ice tongue and the impact with large size icebergs.

Keywords: *Antarctic coasts, ice floating tongues, morphological evolution, calving, Drygalski Ice Tongue (DIT).*

L'Antartide, i suoi ghiacciai e le sue coste

L'Antartide copre una superficie di 13,9 milioni di km², circa una volta e mezza l'Europa, il 9% delle terre emerse (Manzoni, 2001). Di questa, la quasi totalità (98%) è ricoperta da una gigantesca calotta glaciale che forma la maggiore concentrazione di ghiaccio del nostro Pianeta con uno spessore medio di 2200

m e con punte di 4700 m all'interno del continente. Questa massa di ghiaccio è un elemento essenziale nell'equilibrio ambientale del nostro Pianeta, poiché interagisce con l'atmosfera (quindi con il clima), con l'idrosfera e con la litosfera. In particolare l'Antartide regola il bilancio termico della Terra, esercitando un'azione di raffreddamento nel complesso sistema di scambi energetici e di massa che la caratterizzano. Di fatto ogni mutamento delle condizioni della calotta antartica provoca effetti a livello globale sulla circolazione atmosferica ed oceanica e sul livello del mare (Baroni, 2001).

Apparentemente uniforme, la calotta antartica è formata da un sistema complesso di ghiacciai con morfologia e dinamica anche molto diversificate. La quasi totalità del ghiaccio è accumulato nella calotta vera e propria, o meglio nelle due calotte coalescenti che la costituiscono: la calotta orientale (East Ice Sheet), che può essere definita continentale (saldamente appoggiata su un substrato roccioso quasi completamente al di sopra del livello del mare) e la calotta occidentale (West Ice Sheet) che si appoggia su fondali marini ed è ancorata ad isole e arcipelaghi. Il ghiaccio delle calotte si muove dal centro verso la periferia con velocità sempre crescente, da pochi metri al centro del continente, dove il movimento è dovuto solo alla deformazione interna, a centinaia di metri all'anno nella parte più esterna, dove il movimento è dovuto anche allo scivolamento basale. Sono i ghiacciai galleggianti, dove il ghiaccio, divenuto più sottile, si estende sull'oceano, formando estese piattaforme (Ice Shelves), che fiancheggiano quasi la metà delle coste antartiche, coprendo una superficie pari al 7% di quella delle calotte e contribuendo all'ablazione dell'intera Antartide (attraverso il calving) per più dell'80%. Le più estese occupano i mari di Ross e di Weddell e i maggiori golfi; da esse si staccano iceberg anche giganteschi che vanno alla deriva nei mari circumantartici. La loro alimentazione è prevalentemente dovuta a correnti di ghiaccio (ice streams), veri e propri "fiumi di ghiaccio" che con elevata velocità (100-1000 m all'anno, sono annoverati in letteratura tra i fast glaciers, i ghiacciai veloci del nostro pianeta; si vedano Budd, 1975 e Clarke, 1987) drenano le calotte e ne concentrano il deflusso verso l'oceano bilanciando parzialmente le perdite dovute al calving (Budd, 1966; Swithinbank, 1969; 1988). La piattaforma di Ross sul mare omonimo e quella di Filchner-Ronne sul Mare di Weddell sono alimentate da numerose correnti di ghiaccio coalescenti che drenano vastissimi settori della calotta orientale e di quella occidentale. Numerose sono anche le correnti di ghiaccio che non entrano in coalescenza e mantenendo la propria individualità arrivano alla costa, dove formano lingue galleggianti che si estendono nell'oceano anche per decine di chilometri. La maggiore espressione di queste correnti di ghiaccio è sicuramente rappresentata dal Ghiacciaio Lambert che scorre per circa 400 km sul continente e per altri 300 in mare, formando la piattaforma di Amery. Un altro esempio è quello del Ghiacciaio David nella Terra Vittoria Settentrionale, che riversa nel Mare di Ross circa 8 km³ di ghiaccio all'anno (Baroni, 2001). La piattaforma di Ross, quella di Filchner-Ronne e la Amery insieme drenano un'area complessiva pari a 62% del continente antartico e si muovono ad una velocità di 0.8-2.6 km all'anno (Budd, 1966). I margini delle piattaforme costituenti la linea di costa antartica sono caratterizzati da falesie di ghiaccio alte fino a 30 m rispetto al livello del mare, il che spiega la definizione di Great Barrier data alla porzione più esterna della piattaforma di Ross dai primi esploratori che la visitarono (Swithinbank e Zumberge, 1965). Lo spessore medio delle piattaforme nella loro porzione verso il mare è in genere di 200 m, spessore minimo per consentire il creep altrimenti impossibile in sistemi dinamici di tipo unconstrained. Verso il continente invece le piattaforme (che divengono qui di tipo *constrained*) si inspessiscono e locali aumenti di spessore si hanno anche nei punti di convergenza con ice streams (Swithinbank, 1988).

Le coste antartiche offrono un paesaggio molto diverso rispetto alla comune concezione che definisce la costa come il limite netto fra mare e terra. In questo continente le coste sono infatti quasi completamente coperte e occultate dal ghiaccio terrestre e da quello marino. Il 45% dello sviluppo costiero in Antartide è occupato dalle fronti delle piattaforme galleggianti, il 13% dai ghiacciai terrestri, un'altra percentuale notevole (37%) è isolata dal mare da ghiaccio marino più o meno spesso ed esteso che si salda alle rocce. Solo una minima percentuale è priva durante l'estate dal ghiaccio (5%) ed è formata da rocce e in piccola parte spiagge che si aprono sul mare libero (Manzoni, 2001).

Lungo le coste della Terra Vittoria e della Terra di Giorgio V si affacciano con lingue galleggianti i grandi ghiacciai di sbocco come il David (che alimenta la lingua galleggiante Drygalski, alla cui evoluzione recente è dedicata questa nota), il Priestly, il Campbell, il Rennick, il Ninnis e il Mertz.

Il Ghiacciaio David e la Drygalski Ice Tongue (DIT)

Il Ghiacciaio David è il più importante ghiacciaio di sbocco della Terra Vittoria Settentrionale, drena una superficie della calotta antartica orientale di circa 224.000 km² (Swithinbank, 1988; Frezzotti, 1994) ed entra nella Baia Terra Nova con una lingua galleggiante denominata Drygalski (Drygalski Ice Tongue, DIT) (Fig. 1).



Figura 1 - La lingua galleggiante Drygalski nella Terra Vittoria Settentrionale (foto M. Manzoni).

Quest'ultimo toponimo, attribuito da R. F. Scott nel 1902, ricorda il geografo ed esploratore tedesco Erich von Drygalski che nel 1902-1903 guidò una spedizione lungo le coste antartiche affacciate sull'Oceano Indiano (Baroni, 2001). L'alimentazione del Ghiacciaio David deriva da due flussi principali, uno settentrionale proveniente dal Talos Dome e uno meridionale proveniente dal Dome Circe. Il flusso meridionale più grande e veloce ha una velocità di circa 550 m/a, quello settentrionale, di minori dimensioni, ha una velocità di circa 150 m/a (Frezzotti, 1992). La minore velocità del flusso proveniente da Talos Dome favorisce la formazione dei rift che caratterizzano il bordo settentrionale della lingua. Analisi di immagini da satellite e misure GPS hanno confermato la minore velocità della corrente settentrionale (70-50 m/a rispetto ai 510-560 m/a per la corrente meridionale) (Frezzotti et al., 1998). La convergenza fra i diversi flussi avviene a valle di una gigantesca seraccata denominata David Cauldron (Frezzotti, 1992; 1994), dove il ghiacciaio entra in una profonda e allungata depressione foggata a fiordo; qui è possibile ipotizzare la presenza della grounding line (linea di ancoraggio), che segna il limite fra il ghiaccio ancorato sul continente e il ghiaccio galleggiante (Frezzotti, 1993; Frezzotti et al., 2000). In questa zona il flusso meridionale ha una larghezza di circa 10 km, uno spessore di circa 2500 m e una velocità di 480 m/a (Switinbank, 1988; Frezzotti, 1992). Dalla grounding line verso il mare lo spessore diminuisce riducendosi a meno di 200 m (Tabacco et al., 2000). Recenti ricerche, basate su DEM derivanti da radar altimetria, hanno calcolato 3400 m di spessore nella zona centrale della grounding line (Rignot, 2002) e hanno valutato come lievemente positivo il bilancio del ghiacciaio (Stearns, 2011).

Lungo il settore settentrionale della lingua si accumulano vaste superfici di ghiaccio marino che spesso restano per anni a contatto con la DIT, cosicché la lingua di ghiaccio presenta una superficie apparentemente più

ampia anche di molti chilometri quadrati. La DIT gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo della polynya di Baia Terra Nova; si ritiene infatti che lo sviluppo e la persistenza di questa zona di mare libero circondata da ghiaccio marino, siano dovuti all'effetto combinato dei forti venti catabatici che non permettono la formazione del ghiaccio marino all'interno della baia e all'effetto di blocco della DIT, che non permette al ghiaccio marino di entrare nella baia (Frezzotti e Mabin, 1994; Fea et al., 2013).

L'evoluzione delle conoscenze

Le prime descrizioni del Ghiacciaio David e della Lingua Drygalski risalgono alle relazioni e alle carte della prima spedizione britannica guidata da R. F. Scott (1901-1904). Alla successiva spedizione guidata da E. H. Shackleton del 1907-1909 partecipano David e Priestley che nella loro relazione scientifica (1914) riportano descrizioni, carte e schizzi del Ghiacciaio David e della DIT. Un notevole progresso nella conoscenza della DIT e della sua evoluzione avviene verso la metà del XX secolo, quando diventano disponibili le prime foto aeree della Terra Vittoria. Si tratta di materiale raccolto dalla U.S. Navy con sistema Trimetrogon (TMA) durante le missioni Deep Freeze Range fra il 1956 e il 1965. Sulla base di queste foto aeree fra il 1965 e il 1973 lo U.S. Geological Survey realizzò le prime carte alla scala 1:250.000 dell'intera Terra Vittoria, strumento essenziale per lo studio dell'evoluzione dei ghiacciai costieri di questa zona dell'Antartide. Un secondo importante passo fu la disponibilità delle immagini da satellite. Le prime in questa zona furono registrate dal satellite Landsat 1 MSS fra il 1972 e il 1973; sono immagini con una risoluzione spaziale a terra di 80 x 80 m e quattro bande spettrali, due nell'infrarosso vicino e due nel visibile. Durante gli anni 1988-1992 nell'ambito dello SCAR (Scientific Committee Antarctic Research) i satelliti Landsat TM 4 e 5 raccolsero immagini dell'intera Terra Vittoria con risoluzione a terra di 30 x 30 m e sette bande spettrali (tre nel visibile, tre nell'infrarosso vicino e una nell'infrarosso termico). Queste immagini sono le più corrette dal punto di vista geometrico e hanno la maggiore risoluzione a terra, per cui sono state utilizzate come immagini di riferimento (Frezzotti, 1995). Dal 1988 sono state disponibili anche le immagini Spot. Lo straordinario sviluppo avvenuto negli ultimi decenni nelle tecniche e metodologie di raccolta e di elaborazione dei dati nella regione antartica (Rignot, 2002; Quincey e Luckman, 2009; Joughin et al., 2010) ha permesso di ottenere una grande quantità di informazioni di elevata affidabilità nell'area del David-Drygalski, ad esempio sulla morfologia della base della lingua galleggiante, sul campo superficiale di velocità della lingua, sulle forzanti di marea, sul bilancio di massa (Tabacco et al., 2000; Bianchi et al., 2001; Casula et al., 2007; Lugli e Vittuari, 2010; Stearns, 2011).

Le variazioni recenti della DIT

L'obiettivo della presente nota è quello di sintetizzare le conoscenze precedenti sulle variazioni della lingua del Drygalski e di aggiornarle attraverso l'analisi di immagini satellitari. Il confronto fra documentazione storica, carte e foto aeree e immagini da satellite ha messo in evidenza un'avanzata della DIT fra l'inizio e la metà del XX secolo e una riduzione di area e di lunghezza fino all'inizio degli anni '60. L'episodio più importante di questa fase di regresso è avvenuto nel dicembre 1957, probabilmente in relazione ad una violenta tempesta che aveva interessato il Mare di Ross nel giugno 1957. L'evento di calving ha portato alla formazione di un iceberg di 675 km² e alla riduzione di lunghezza di circa 40 km; si tratta del maggiore evento identificato nel XX secolo per il Drygalski. Successivamente si registra una nuova espansione, pur non continua, fino all'inizio degli anni '90 (si vedano i lavori di Frezzotti, 1993, 1994, 1997; Frezzotti e Mabin, 1994; Holdsworth, 1985).

Fra il 1997 e il 2000 viene segnalato un incremento areale della lingua di 45 km² e una sua avanzata di circa 2 km (Wuite et al., 2009).

Per aggiornare il complesso dei dati riguardanti le variazioni longitudinali della DIT si è realizzata un'analisi multitemporale di immagini satellitari. In particolare si sono utilizzate le immagini Landsat del 1973 (MSS), 1988 (TM), 1999, 2002 (ETM+) e 2013 (OLI). Le lunghezze sono state calcolate tracciando una linea retta lungo il flusso centrale della lingua (in tutti i casi si è tenuto conto di un comune punto di partenza, la congiungente i nunatak di Mount Neumayer e di Hughes Bluff, già utilizzata nei precedenti confronti).

Per quanto riguarda l'accuratezza del calcolo, si tenga conto che le immagini Landsat hanno una risoluzione di circa 30 m, tranne quella del 1973 che è di 80 m.

I risultati dell'elaborazione sono mostrati nella Figura 2 e, insieme ai dati dei lavori precedenti, nella Figura 3.

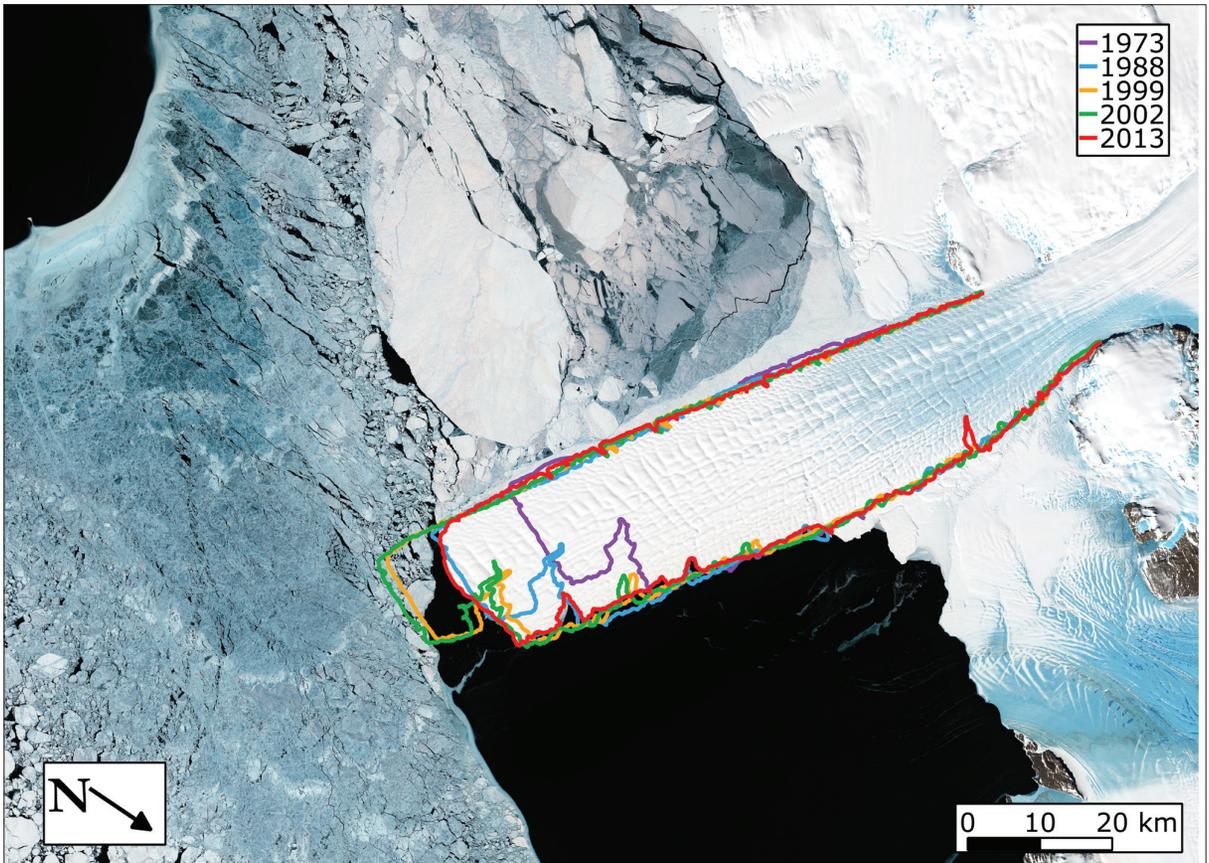


Figura 2 - L'evoluzione della lingua Drygalski dal 1973 al 2013; le linee colorate rappresentano la posizione della fronte nei diversi periodi (base foto Landsat 8 OLI del 2013, gentile concessione dell' U.S. Geological Survey).

Come si osserva dalle figure 2 e 3, dall'inizio degli anni '90 all'inizio del 2000 la lunghezza della lingua del Drygalski tende a crescere lievemente fino ad arrivare ad un massimo di quasi 100 km nel 2002. Il dato del 2013 segnala una riduzione areale e longitudinale (la lunghezza si riduce a 90 km).

La riduzione di lunghezza e di area fra il 2002 e il 2013 può essere attribuita alla collisione con iceberg derivanti dal calving della Piattaforma di Ross avvenuto nel marzo 2000 (Young, 2001). Nell'occasione si produsse un iceberg gigantesco (11.655 km², spessore 200-350 m) che si divise in frammenti di minori dimensioni. Il maggiore di questi (iceberg B-15A, 115 km di lunghezza e 2500 km² di superficie, superiore quindi alla superficie della lingua Drygalski, calcolata nel 2000 in circa 1900 km²) collise nell'aprile 2005 con il settore più avanzato della lingua galleggiante, provocando la formazione di un iceberg di circa 60 km² di superficie (Fig. 4).



Figura 3 - Variazioni di lunghezza della lingua Drygalski.

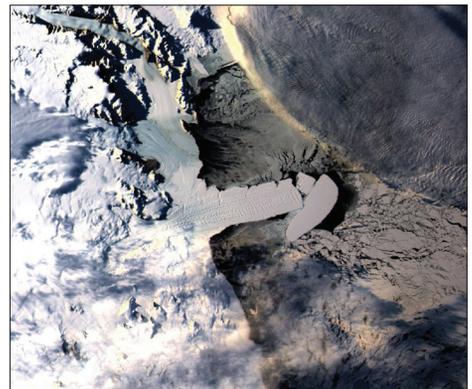


Figura 4 - Foto a sinistra: 22 Febbraio 2005, nell'immagine Envisat ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar) l'iceberg B-15A (in alto a destra) si sta avvicinando alla lingua del Drygalski; è visibile anche l'iceberg già staccatosi nel settore nord-occidentale della lingua. Foto a destra: 15 Aprile 2005, nell'immagine Envisat ASAR la collisione con il gigantesco B-15A è avvenuta e un frammento della DIT sta per essere asportato generando un iceberg di circa 60 km² di superficie (gentile concessione ESA).

In realtà già nel febbraio 2005 si era staccato autonomamente un iceberg di dimensioni comparabili nella parte più esterna del bordo settentrionale del Drygalski, in corrispondenza di una delle numerose fratture che caratterizzano questo settore (Parmiggiani e Fragiaco, 2005).

Un frammento del B-15 ma di minori dimensioni (iceberg C-16) ebbe un altro impatto con la lingua del Drygalski nel marzo del 2006; la collisione asportò quanto restava della sezione trasversale del Drygalski (MacAyeal et al., 2008) generando un ulteriore più piccolo iceberg (C-25) (Fig. 5).

Figura 5 - Marzo 2006: collisione fra l'iceberg C-16 e la lingua del Drygalski (foto NASA per gentile concessione, da satellite Aqua con sensore MODIS del 30 Marzo 2006).



Conclusioni

Come appare dalle note precedenti, le coste antartiche, dove sono presenti ghiacciai di sbocco e lingue galleggianti, sono caratterizzate da rapide trasformazioni morfologiche derivanti da modifiche dell'equilibrio fra fattori continentali (fra l'altro alimentazione dalle calotte, velocità di flusso degli ice stream, caratteristiche termiche del ghiaccio) e fattori marini (fra l'altro maree, correnti, distribuzione del ghiaccio marino, regime dei venti, morfologia dei fondali, variazioni termiche nel mare e fenomeni di accrezione di ghiaccio marino al fondo con conseguente ispessimento delle piattaforme, variazioni del livello marino, impatto con iceberg). Per quanto riguarda la regione del Drygalski nell'arco di un secolo alla "normale" dinamica basata sull'equilibrio fra alimentazione ed ablazione si sono sovrapposti almeno due eventi (metà anni '50 del XX secolo e primi anni del XXI secolo) che hanno profondamente mutato l'articolazione della costa, con effetti

ancora compiutamente da valutare sull'ambiente oceanico e su quello glaciale e anche sull'ecologia costiera (Mac Ayeal et al., 2008). L'evoluzione dell'Antartide, in particolare la quantificazione del bilancio di massa dell'intera calotta (Frezzotti et al., 2012), gioca un ruolo essenziale nelle ricerche attuali sulle trasformazioni in corso di tutto l'ambiente terrestre (Vaughan et al., 2013). Poiché oltre il 74% del flusso di ghiaccio proveniente dalla calotta è drenato dalle piattaforme e dalle lingue galleggianti (Bindschadler et al., 2011), la conoscenza della loro dinamica diventa essenziale, in particolare in riferimento alla loro funzione di contenimento e di sostegno esercitata sulla stabilità della calotta stessa (Rignot et al., 2004). Anche la lingua del Drygalski si conferma quindi, come già sosteneva Holdsworth (1984), una SGT (Super Glacier Tongue) per gli studi futuri, sia per la sua funzione strategica nell'ambito delle coste della Terra Vittoria, sia per la grande quantità di dati già disponibili sulla sua evoluzione.

Bibliografia

- Baroni C. 2(001) - (a cura di) *Antartide. Terra di scienza e riserva naturale*. Terra Antartica Publication. pp. 282.
- Bianchi C., Chiappino M., Tabacco I. E., Zirizzotti A., Zuccheretti E. (2001) - *Quasi-parabolic reflecting bottom surfaces of the Drygalski Antarctic floating ice tongue*. Annali di Geofisica, 44: 619-626.
- Budd WF. (1966) - *The dynamics of the Amery Ice Shelf*. Journal of Glaciology, 6: 335-358.
- Budd WF. (1975) - *A first simple model of periodically self surging glaciers*. Journal of Glaciology, 14,3:3-21.
- Casula G., Danesi S., Dubbini M., Vittuari L. (2007) - *Tidal forcing on David Glacier and Drygalski Ice Tongue*. U.S. Geological Survey and The National Academies; USGS OF-2007-1047, Extended Abstract 009.
- Bindschadler R. et al. (2011) - *Getting around Antarctica: new high-resolution mappings of the grounded and freely floating boundaries of the Antarctic ice sheet created for the International Polar Year*. Cryosphere, 5: 569-588.
- Clarke G.K.C. (1987) - *Fast glacier flow, ice streams, surging and tidewater glaciers*. Journal of Geophysical Research, 92: 8835-8841.
- Fea M., Minora U., Pesaresi C., Smiraglia C. (2013) - *Remote sensing and interdisciplinary approach for studying glaciers*. J-Reading, 2:115-142.
- Frezzotti M. (1992) - *Analisi delle piattaforme e delle lingue di ghiaccio galleggianti della Terra Vittoria (Antartide) tramite immagini da satellite e fotografie aeree*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 15: 107-109.
- Frezzotti M. (1993) - *Glaciological study in Terra Nova Bay, Antarctica, inferred from remote sensing analysis*. Annals of Glaciology, 17: 63-71.
- Frezzotti M. (1994) - *La dinamica del ghiacciaio di sbocco David e della sua lingua galleggiante Drygalsky (Terra Vittoria, Antartide)*. In: Orombelli G., Smiraglia C., Terranova R. (a cura di): "Verso una nuova geografia delle terre polari", Memorie della Società Geografica Italiana, LI: 247-259.
- Frezzotti M. (1995) - *Fluttuazioni delle fronti dei ghiacciai galleggianti durante il XX secolo in Antartide: evidenze di cambiamenti ambientali*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 18: 271-275.
- Frezzotti M. (1997) - *Ice front fluctuation, iceberg calving flux and mass balance of Victoria Land glaciers*. Antarctic Science, 9: 61-73.
- Frezzotti M., Capra A., Vittuari L. (1998) - *Comparison between glacier ice velocities inferred from GPS and sequential satellite images*. Annals of Glaciology, 27: 54-60.
- Frezzotti M., Mabin C.G. (1994) - *20th century behaviour of Drygalski Ice Tongue, Ross Sea, Antarctica*. Annals of Glaciology, 20: 397-400.
- Frezzotti M., Tabacco I. E., Zirizzotti A. (2000) - *Ice discharge of eastern Dome C drainage area, Antarctica, determined from airborne radar survey and satellite image analysis*. Journal of Glaciology, 46: 253-264.
- Frezzotti M., Scarchilli C., Becagli S., Proposito M., Urbini S. (2012) - *A synthesis of the Antarctic Surface Mass Balance during the last eight centuries*. The Cryosphere, 7: 303-319.
- Holdsworth, G. (1985) - *Some effects of ocean currents and wave motion on the dynamics of floating glacier tongues*. Antarct. Res. Ser., 43: 253-271.
- Joughin I., Smith B. E., Abdalati W. (2010) - *Glaciological advances made with interferometric synthetic aperture radar*. Journal of Glaciology, 56: 1026-1042.
- Lugli A., Vittuari L. (2010) - *Test di coregistrazione di immagini radar per la stima del campo di velocità superficiali del ghiacciaio David-Drygalski (Antartide)*. Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA - Brescia 9-12 novembre 2010: 1191-1196.

- Macayeal D. R., Okal M. H., Thom J. E., Brunt K. M., Kim Y. J., Bliss A. K. (2008) - *Tabular iceberg collisions within the coastal regime*. Journal of Glaciology, 54: 371-386.
- Manzoni M. (2001) - *La natura dell'Antartide*. Springer Verlag. pp. 346.
- Parmiggiani F., Fragiaco C. (2005) - *The calving event of the Drygalski Ice Tongue of February 2005*. International journal of remote sensing, 26: 4633 – 4638.
- Quincey D.J., Luckman A. (2009) - *Progress in satellite remote sensing of ice sheets*. Progress in Physical Geography, 33: 547-567.
- Rignot E. (2002) - *Mass balance of East Antarctic glaciers and ice shelves from satellite data*. Annals of Glaciology, 34: 217-227.
- Rignot, E., G. Casassa, P. Gogineni, W. Krabill, A. Rivera, and R. Thomas (2004) - *Accelerated ice discharge from the Antarctic Peninsula following the collapse of Larsen B ice shelf*. Geophysical Research Letters, 31: L18401.
- Stearns L. A. (2011) - *Dynamics and mass balance of four large East Antarctic outlet glaciers*. Annals of Glaciology, 52: 116-126.
- Swithinbank C. (1969) - *Giant icebergs in the Weddel Sea. 1967-68*. Polar Record, 14: 477-478.
- Swithinbank C. (1988) - *Antarctica*. In: Satellite image atlas of glaciers of the world.. U.S. Geological Survey, Professional Paper 1386-B, pp. 138.
- Swithinbank C., Zumbege J.H. (1965) - *The ice shelves*. In Hatherton T. (ed.), Antarctica, Methuen, London.
- Tabacco I.E., Bianchi C., Chiappino M., Zirizzotti A., Zuccheretti E. (2000) - *Analysis of bottom morphology of the David Glacier-Drygalski Ice Tongue, East Antarctica*. Annals of Glaciology, 30: 47-51.
- Vaughan D.G., Comiso J.C., Allison I., Carrasco J., Kaser G., Kwok R., Mote P., Murray T., Paul F., Ren J., Rignot E., Solomina O., Steffen K., Zhang T. (2013) - *Observations: Cryosphere*. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y, Bex V., Midgley P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Wuite J., Jezec K. C., Wu X., Farness K., Carande R. (2009) - *The velocity field and flow regime of David Glacier and Drygalski Ice Tongue, Antarctica*. Polar Geography, 32: 111-127.
- Young N. (2001) - *An iceberg the size of Jamaica*. Australian Antarctic Magazine, 1, 24-25.

Ricevuto il 13/02/2014, accettato il 20/06/2014.