ISSN/0393-3016

P. GRIGIONI, V. CIARDINI, L. DE SILVESTRI
A. IACCARINO, C. SCARCHILLI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Osservazione e analisi della Terra e del clima
Centro Ricerche Casaccia, Roma

G. CAMPOREALE

CNR – Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione, Genova

S. DOLCI

Unità Tecnica Antartide
Servizio Logistica
Centro Ricerche Casaccia, Roma

A. PELLEGRINI

CNR – Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Lecce

M. PROPOSITO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Biogeochimica ambientale
Centro Ricerche Casaccia, Roma

R. SCHIOPPO

Dipartimento Tecnologie Energetiche
Divisione Fotovoltaico e Smart Network
Laboratorio Tecnologie fotovoltaiche
Centro Ricerche Casaccia, Roma

LA RETE DI STAZIONI METEOROLOGICHE DELL'OSSERVATORIO METEO-CLIMATOLOGICO IN ANTARTIDE

RT/2016/35/ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

P. GRIGIONI, V. CIARDINI, L. DE SILVESTRI
A. IACCARINO, C. SCARCHILLI

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Osservazione e analisi della Terra e del clima
Centro Ricerche Casaccia, Roma

G. CAMPOREALE

CNR – Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione, Genova

S. DOLCI

Unità Tecnica Antartide
Servizio Logistica
Centro Ricerche Casaccia, Roma

A. PELLEGRINI

CNR – Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Lecce

M. PROPOSITO

Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali
Divisione Protezione e valorizzazione del territorio e del capitale naturale
Laboratorio Biogeochimica ambientale
Centro Ricerche Casaccia, Roma

R. SCHIOPPO

Dipartimento Tecnologie Energetiche
Divisione Fotovoltaico e Smart Network
Laboratorio Tecnologie fotovoltaiche
Centro Ricerche Casaccia, Roma

LA RETE DI STAZIONI METEOROLOGICHE DELL'OSSERVATORIO METEO-CLIMATOLOGICO IN ANTARTIDE

RT/2016/35/ENEA

AGENZIA NAZIONALE PER LE NUOVE TECNOLOGIE,
L'ENERGIA E LO SVILUPPO ECONOMICO SOSTENIBILE

I rapporti tecnici sono scaricabili in formato pdf dal sito web ENEA alla pagina
http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/rapporti-tecnici

I contenuti tecnico-scientifici dei rapporti tecnici dell'ENEA rispecchiano
l'opinione degli autori e non necessariamente quella dell'Agenzia

The technical and scientific contents of these reports express the opinion
of the authors but not necessarily the opinion of ENEA.

LA RETE DI STAZIONI METEOROLOGICHE DELL'OSSERVATORIO METEO-CLIMATOLOGICO IN ANTARTIDE

P. Grigioni, V. Ciardini, L. De Silvestri, A. Iaccarino, C. Scarchilli, G. Camporeale, S. Dolci, A. Pellegrini M. Proposito, R. Schioppo

Riassunto

Nel corso degli ultimi trent'anni, l'Osservatorio Meteo-Climatologico Antartico ha progettato, allestito e gestito una rete di monitoraggio costituita da stazioni meteorologiche automatiche dislocate nella Terra Victoria e nel settore orientale del Plateau antartico. Alcune delle stazioni, principalmente in prossimità della costa, presentano serie temporali trentennali dei principali parametri atmosferici la cui analisi restituisce una caratterizzazione climatologica dettagliata relativa alla regione di Baia Terra Nova.

Parole chiave: stazioni meteorologiche automatiche, Osservatorio Meteo-Climatologico, Antartide, parametri meteorologici.

Abstract

Over the last thirty years, the Antarctic Meteo-Climatological Observatory has designed, set up and managed a network of Automatic Weather Stations deployed in the Victoria Land and in the East Antarctic Plateau. Several stations, principally those located close to the coastline, present long time series of the principal atmospheric parameters whose analysis provided a detailed climatological characterization of the Terra Nova Bay region.

Keywords: *Automatic Weather Stations, Meteo-Climatological Observatory, Antarctica, meteorological parameters.*

INDICE

1. IL CONTESTO SCIENTIFICO E LA NASCITA DELL'OSSERVATORIO 7

2. LE STAZIONI METEOROLOGICHE AUTOMATICHE (AWS) 9

3. LA RETE SCIENTIFICA 10

4. LE STAZIONI DI SUPPORTO ALLE ATTIVITÀ DI VOLO 13

5. RISULTATI E DISCUSSIONE 15

6. CONCLUSIONI 21

RINGRAZIAMENTI 21

BIBLIOGRAFIA 22

1. IL CONTESTO SCIENTIFICO E LA NASCITA DELL'OSSERVATORIO

In seguito all'istituzione del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA) con la Legge 284 del 1985, viene costituito l'Osservatorio Meteo-Climatologico italiano in Antartide. Il progetto prende corpo con l'installazione di alcune stazioni meteorologiche automatiche (*Automatic Weather Station*, AWS) e con l'inizio dell'attività di radiosondaggio atmosferico al fine di monitorare le condizioni atmosferiche dell'area destinata alla realizzazione della prima Base scientifica italiana in Antartide.
L'Osservatorio (attualmente progetto PNRA n. 2009/B.06) ha implementato nel corso degli anni una rete di monitoraggio dei parametri meteorologici al suolo e in quota (Pellegrini et al., 1999), integrandoli con misure di accumulo e trasporto di neve (Scarchilli et al., 2009) e con l'acquisizione e l'elaborazione di immagini satellitari (Wadhams et al., 2002; 2004). Ad oggi, la rete osservativa dell'Osservatorio si estende dalla Terra Victoria fino alla parte più interna del Plateau orientale, ma è particolarmente fitta nell'area di Baia Terra Nova (Figura 1).

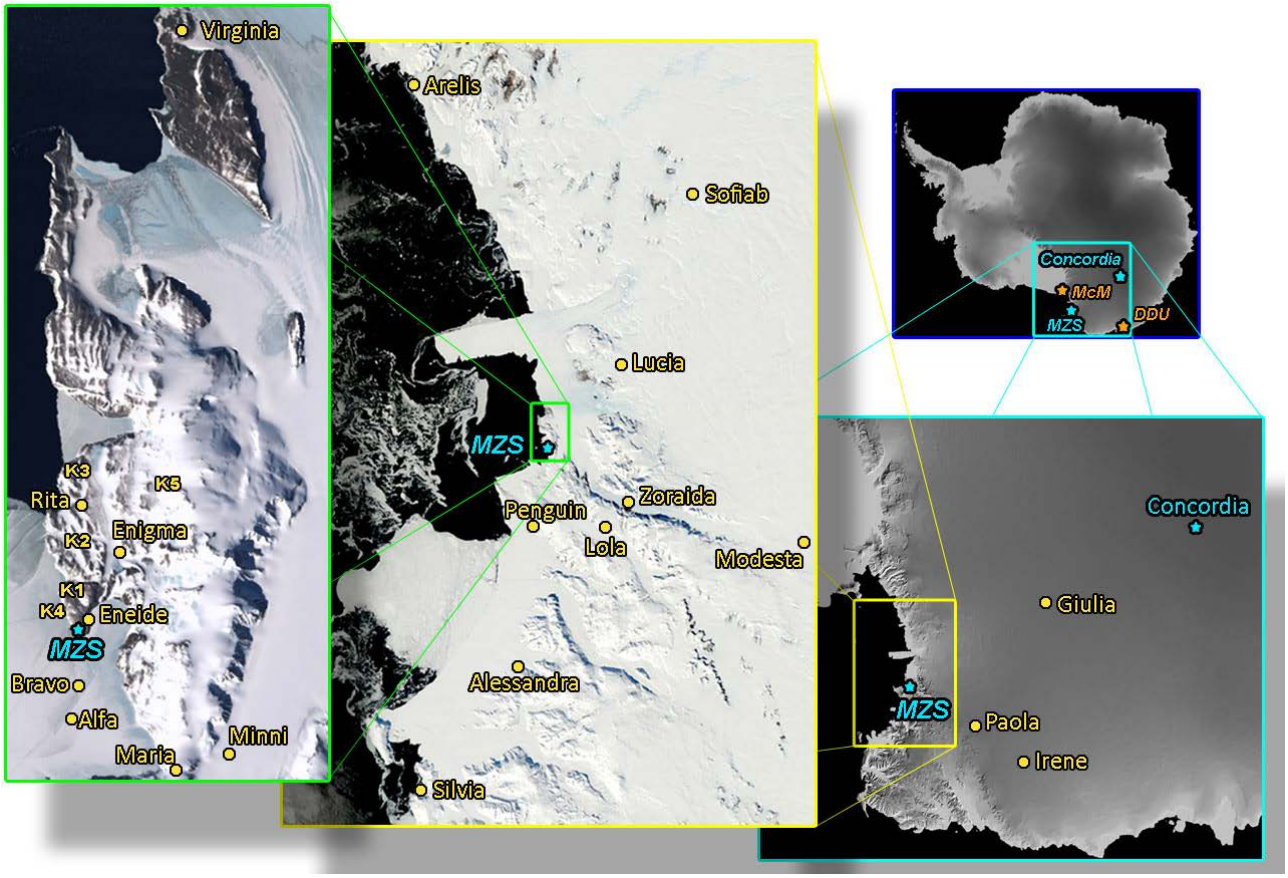

Figura 1. Immagini satellitari raffiguranti il continente antartico, la Terra Victoria e la Terra di Wilkes, la regione di Baia Terra Nova e un particolare dell'area circostante la Base Mario Zucchelli con le stazioni meteorologiche automatiche gestite dall'Osservatorio Meteo-Climatologico.

In analogia e in collaborazione con gli altri Paesi operanti sul territorio antartico (Lazzara et al., 2012), l'Osservatorio contribuisce al monitoraggio della dinamica atmosferica antartica al fine di migliorare la conoscenza dei cambiamenti climatici globali. L'importanza di tali attività su scala continentale è stata messa in evidenza dallo SCAR (*Scientific Committee on Antarctic Research*), che ha indicato come obiettivi prioritari per il controllo e lo studio dei cambiamenti climatici in Antartide il monitoraggio della temperatura superficiale (del mare e della terraferma) e delle sue

variazioni stagionali e inter-annuali (SCAR SSG-PS, 2006) e più in generale delle caratteristiche della dinamica dell'atmosfera (copertura nuvolosa, precipitazioni, circolazione generale).
Grazie alla sua peculiare attività l'Osservatorio è divenuto nel tempo un punto di riferimento per la comunità scientifica che svolge ricerche nell'area d'interesse italiana, fornendo non soltanto dati scientifici per le ricerche stesse ma anche un irrinunciabile supporto alle attività di meteo-previsione locale durante le spedizioni antartiche. In particolare, dal novembre 2015 l'Osservatorio è fra i progetti inclusi nel programma pluriannuale "Anno di Predizione Polare" (*Year Of Polar Prediction*, YOPP) dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO), che ha come scopo quello di migliorare significativamente le capacità di previsione meteorologica sulle aree polari, coordinando campagne di misura intensive in Artide e in Antartide.
Nell'ambito della comprensione della complessa climatologia del continente antartico la comunità scientifica ha pubblicato numerosi lavori basati sui dati forniti dall'Osservatorio Meteo-Climatologico. In generale, la rete di osservazione formata dalle AWS presenti nell'area della Terra Victoria è stata utilizzata per la validazione di modelli a scala regionale e globale, come descritto in Bromwich et al. (2003) a proposito dell'*Antarctic Mesoscale Prediction System* (AMPS). Nell'ambito della collaborazione fra il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare Italiana e l'Osservatorio Meteo-Climatologico, Agnoletto (2009) ha confrontato l'andamento temporale di alcune variabili termodinamiche e fisiche ottenute delle analisi del centro europeo per le previsioni meteorologiche a medio termine (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* - ECMWF) con le serie temporali di misure puntuali fornite dalla rete dell'Osservatorio, mettendo in evidenza come l'incremento della risoluzione del modello e, conseguentemente, del dettaglio orografico abbia migliorato notevolmente la sua capacità previsionale.
Negli ultimi anni è stata posta particolare attenzione alla comprensione dei fenomeni che regolano l'accumulo nevoso. Utilizzando immagini satellitari, dati da AWS dell'Osservatorio e dati di trasporto nevoso nella zona di convergenza del vento di Baia Terra Nova, Scarchilli et al. (2010) hanno evidenziato per il periodo 2006-2007 forti eventi di trasporto con particelle di neve innalzate ad altezze anche maggiori di 200 metri. È stato inoltre dimostrato che, a scala locale, l'accumulo è caratterizzato da una forte variabilità spaziale e in particolar modo nelle aree costiere i forti venti sono capaci di rimuovere dal 20 all'80% della neve depositata al suolo (e.g. Frezzotti et al., 2007) e fino al 10% su scala continentale (Lenaerts et al., 2012).
Petrelli et al. (2008) hanno simulato lo sviluppo della polinia presso Baia Terra Nova nel periodo inverno 2002-estate 2003 con un modello accoppiato atmosfera-ghiaccio marino, dimostrando come l'utilizzo delle osservazioni da AWS migliorasse la capacità previsionale del modello.

2. LE STAZIONI METEOROLOGICHE AUTOMATICHE (AWS)

Nel corso degli anni, a partire dal 1985, l'insieme delle AWS dell'Osservatorio è stato ampliato a tal punto da costituire una fra le più estese reti di monitoraggio dell'Antartide a supporto dei progetti scientifici e delle attività logistiche. L'esperienza acquisita sul campo, nei 30 anni di installazioni di strumentazione meteorologica, ha permesso di ottimizzare e personalizzare il sistema di acquisizione dei dati sperimentando diversi dispositivi e configurazioni al fine di aumentare l'affidabilità del sistema e di ottenere dati in tempo reale anche con le più severe condizioni climatiche.
Attualmente, l'Osservatorio gestisce una rete di 19 AWS, installate sul territorio antartico nel corso delle 31 spedizioni scientifiche svolte finora dal PNRA. Altre 12 AWS sono installate, a supporto delle attività di volo, sulle piste di atterraggio limitrofe alle due Basi italiane: dalla Base costiera estiva italiana Mario Zucchelli (MZS: 74°41'S, 164°05'E) partono, infatti, i collegamenti con la Nuova Zelanda per il flusso bidirezionale di personale e materiali con la Base permanente italo-francese Concordia (DC: 75°S, 123°24'E) e con le altre Basi internazionali della regione (Tabella 1). Una ulteriore AWS è montata sui moduli utilizzati per la traversa della spedizione scientifica internazionale trans-antartica (*International Trans-Antarctic Scientific Expedition*, ITASE). Infine, l'Osservatorio ha installato anche una stazione meteorologica automatica a bordo della nave oceanografica Italica i cui dati, oltre ad essere utilizzati per esigenze logistiche, vengono messi a disposizione della comunità scientifica che opera a bordo della stessa.

Strumentazione	**Stazioni meteorologiche automatiche**	
	(rete scientifica)	**(meteorologia operativa)**
Quantità	19	12
Ubicazione	Terra Victoria e Plateau	Base Mario Zucchelli e Base Concordia
Finalità di utilizzo	Ricerca scientifica e supporto alla Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM/WMO)	Supporto alle attività di volo e monitoraggio temporaneo
Periodo di attività	Tutto l'anno	Tutto l'anno (5), Limitato alla Spedizione (7)
Grandezze misurate	T, RH, P, WS, DIR, SW, LW, ΔH	T, RH, P, WS, DIR, visibilità e altezza delle nubi

Tabella 1. Sommario della rete di monitoraggio dell'Osservatorio Meteo-Climatologico e delle variabili atmosferiche misurate al suolo. T: temperatura dell'aria; RH: umidità relativa; P: pressione; WS, DIR: velocità e direzione del vento; SW, LW: irradianza a banda larga nel visibile e nell'infrarosso; ΔH: altezza della neve.

3. LA RETE SCIENTIFICA

Le stazioni della rete di monitoraggio scientifico sono dislocate sulla Terra Victoria, da MZS in direzione sud-ovest verso la Base DC sul Plateau antartico e in direzione nord-ovest verso la Base costiera francese Dumont d'Urville (DdU: 66°40'S, 140°01'E) (Figura 1).
Tutte le AWS sono equipaggiate con sistemi di acquisizione prodotti dalla Vaisala, differenziati in base al periodo di installazione (dalle più recenti MAWS, alle MILOS 520 e 500 fino alle più datate MILOS 200, risalenti agli anni '80 ma ancora perfettamente funzionanti). Le grandezze fisiche campionate sono generalmente la temperatura (T), l'umidità relativa (RH), la pressione (P), la velocità (WS) e la direzione (DIR) del vento. Le relative misure sono effettuate con sensori Vaisala e Campbell Scientific: un termoigrometro per T e RH, un trasduttore di pressione per P, un anemometro e banderuola rispettivamente per WS e DIR. Tre AWS (denominate Eneide, Alessandra e Irene) sono equipaggiate anche con un piranometro per la misura della radiazione solare diretta nel visibile (SW). Infine, le AWS Giulia, Modesta e Irene possono misurare anche le variazioni di altezza del manto nevoso (ΔH) per mezzo di un nivometro sonico (Tabella 2).

Grandezze misurate	**Strumentazione**		**Errore di misura**
	Marca	**Modello**	
T	Vaisala	Humicap 54D	±0,13 °C
RH			±2 %
P		DPA21	±0,5 hPa
WS		WAA	±0,17 m/s
DIR		WAV15A	±3 °
SW	Kipp & Zonen	CM11 e CM3	±3 %
LW		CG3	±3 %
ΔH	Campbell Scientific	SR50	±1 mm

Tabella 2. Principali sensori utilizzati (marca e modello) per la misura dei parametri meteorologici e relativo errore di misura associato.

L'AWS della Base DC acquisisce con frequenza al minuto DIR, WS, T, P e RH. È utilizzata come riferimento per verificare la risposta dei sensori alle basse temperature che caratterizzano il rigido inverno sul Plateau antartico. Per tale ragione, e poiché è possibile alimentare l'AWS tramite la rete elettrica della Base DC, i valori di DIR e WS sono acquisiti contemporaneamente con sensori sia riscaldati sia non riscaldati; i risultati sono poi comparati con quelli campionati da un sensore del vento a ultrasuoni Vaisala WS425 riscaldato. La strumentazione anemometrica è installata alla sommità di un traliccio alto 3 metri e collegata a una Vaisala MILOS 520. I dati acquisiti raggiungono la Base attraverso un collegamento via cavo e una connessione via radiomodem.

Le AWS sono costituite da tralicci in alluminio di 3, 6 o 10 m sulla cui sommità sono installati i sensori di direzione e velocità del vento mentre quelli di umidità e pressione sono posti a un'altezza standard di 1.5 m (Figura 2).

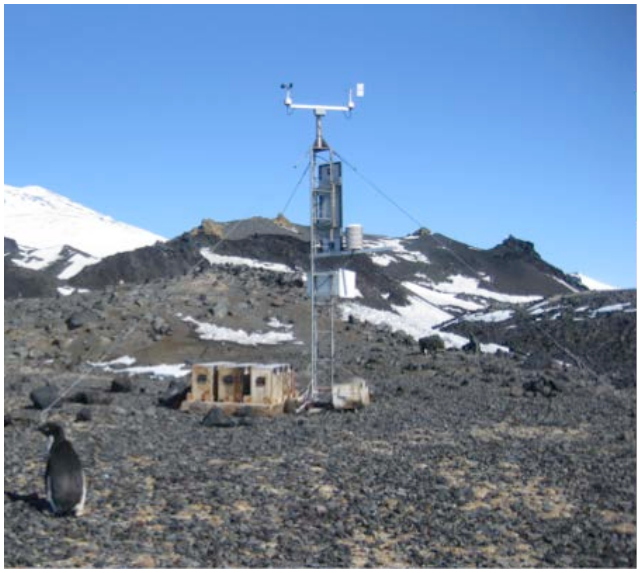

Figura 2. AWS Penguin (Edmonson Point).

Le condizioni meteo-climatiche estreme caratteristiche del territorio antartico rendono complesse l'installazione e la manutenzione delle stazioni, in particolar modo nelle aree più interne; per ridurre gli sforzi correlati a tale attività, il personale dell'Osservatorio, grazie anche all'esperienza acquisita negli anni, ha progettato una nuova struttura in alluminio per AWS dalla caratteristica forma piramidale e con un treppiede di base per ottenere un miglior rapporto stabilità/peso e una manutenzione più agevole (Figura 3 - Brevetto ENEA n. RM2007U000244, L. De Silvestri, 2007).

Figura 3. AWS Irene (Sitry). Da notare la struttura dalla caratteristica forma piramidale e il treppiede alla base per ottenere un miglior rapporto stabilità-peso.

Il sistema di alimentazione delle AWS è costituito da uno o più pacchi di batterie a piombo/acido, ricaricate per mezzo di pannelli solari e/o aerogeneratori che ne permettono il funzionamento anche

durante il buio inverno antartico. I dati sono acquisiti con frequenza oraria durante tutto l'anno e memorizzati su schede di memoria. Date le particolari esigenze logistiche legate alle attività scientifiche che si svolgono a MZS, durante il periodo della campagna estiva la frequenza di campionamento per le sole stazioni Eneide e Penguin (poste in prossimità della Base) viene portata rispettivamente a 1 e 10 minuti. I dati memorizzati sulle schede vengono scaricati una volta l'anno durante la campagna estiva. Tredici delle 31 AWS sono dotate di un sistema satellitare (ARGOS) di comunicazione per la trasmissione dei dati campionati, permettendo così un monitoraggio in tempo quasi-reale delle condizioni meteorologiche e il controllo di eventuali anomalie di funzionamento (Tabella 3). I dati delle 13 stazioni meteo con codice ARGOS sono immessi nel Sistema di Telecomunicazioni Globali (*Global Telecommunication System*, GTS) dell'OMM/WMO e vengono utilizzati per l'inizializzazione di modelli meteorologici a scala globale e locale. Inoltre, i dati della rete di AWS scientifiche sono presenti in banche dati come ad esempio lo SCAR-MetReader del *British Antarctic Survey* (BAS).

NOME	CODICE ARGOS	POSIZIONE	QUOTA (m s.l.m.)	PERIODO DI ATTIVITÀ	VARIABILI MISURATE
STAZIONI FISSE					
SOFIA	7350	74°48'S 163°19'E	40	1987-2002	WS, DIR, T, P, RH
ALESSANDRA	7351	73°35'10''S 166°37'16''E	160	1987-2016	WS, DIR, T, P, RH, SW
ZORAIDA	7352	74°10'26''S 162°53'24''E	884	1987-2016	WS, DIR, T, P, RH
ENEIDE	7353	74°41'45''S 164°05'32''E	92	1987-2016	WS, DIR, T, P, RH, SW
MODESTA	7355	73°38'21''S 160°38'44''E	1924	1989-2016	WS, DIR, T, P, RH, ΔH
LOLA	7356	74°08'07''S 163°25'50''E	1621	1990-2016	WS, DIR, T, P, RH
ARELIS	7357	76°42'12''S 162°58'12''E	150	1990-2016	WS, DIR, T, P, RH
SILVIA	7379	73°31'6''S 169°44'55''E	568	1990-2016	WS, DIR, T, P, RH
RITA	7354	73°43'30''S 164°01'59''E	268	1993-2016	WS, DIR, T, P, RH
MARIA	—	74°37'35''S 164°00'40''E	355	1998-2016	WS, DIR, T, P, RH
GIULIA	1627	75°32'10''S 145°51'32''E	2509	1998-2016	WS, DIR, T, P, RH, ΔH
PENGUIN	—	74°20'S 165°08'E	30	1998-2016	WS, DIR, T, P, RH
IRENE	1218	71°39'09''S 148°39'20''E	2094	2001-2015	WS, DIR, T, P, RH, ΔH, SW
SOFIA-B	7350	75°36'42''S 148°39'20''E	1552	2003-2016	WS, DIR, T, P, RH
PAOLA	—	72°46'1''S 159°2'20''E	2385	2003-2016	WS, DIR, T, P, RH, ΔH
CONCORDIA	1626	75°06'S 123°24'E	3233	2005-2016	WS, DIR, T, P, RH
LUCIA	—	74°57'02''S 161°46'15''E	1350	2007-2016	WS, DIR, T, P, RH, SW, LW

Tabella 3. Nome, codice ARGOS, posizione, quota (m s.l.m.), periodo di funzionamento e variabili fisiche misurate per le AWS della rete scientifica gestite dall'Osservatorio Meteo-Climatologico del PNRA e per le stazioni asservite al supporto delle operazioni di volo, gestite dal Servizio di Meteorologia Operativa dell'Unità Tecnica Antartide (UTA) dell'ENEA. *(segue a pag. 13)*

NOME	CODICE ARGOS	POSIZIONE	QUOTA (m s.l.m.)	PERIODO DI ATTIVITÀ	VARIABILI MISURATE
STAZIONI MOBILI					
ITASE	—	Variabile lungo il percorso	Variabile lungo il percorso	1996,1998,1999,2001 2002,2006-2008	WS, DIR, T, P, RH
ITALICA	—	Variabile lungo la rotta	Variabile lungo la rotta	1997-2016	WS, DIR, T, P, RH
STAZIONI DI PISTA					
ALFA	—	—	—	Estate	WS, DIR, T, P, RH, visibilità
BRAVO	—	—	—	Estate	WS, DIR
MINNI	—	—	—	Estate	WS, DIR
ENIGMA	—	—	—	Estate	WS, DIR
TACMET®	—	—	—	Estate	WS, DIR, T, RH, visibilità e altezza nubi (opzionali)
HELIPAD	—	74°41’45’’S 164°05’32’’E	—	Estate	WS, DIR
AW11 (DC)	—	75°6’S 123°24’E	3233	Estate	WS, DIR, T, P, RH, visibilità, copertura nuvolosa e altezza strati nuvolosi
STAZIONI DI MONITORAGGIO TEMPORANEO					
K1	—	74°44’37.3”S 163°56’24.6”E	475	2012-2016	WS, DIR, T, P, RH
K2	—	74°43’47.9”S 164°03’14.6”E	146	2012-2016	WS, DIR, T, P, RH
K3	—	74°45’03.4”S 164°01’17.0”E	183	2012-2016	WS, DIR (a 6 e 9 m), T, P, RH
K4	—	74°42’30.0”S 164°04’22.4”E	276	2012-2016	WS, DIR, T, P, RH
K5	—	74°42’19.4”S 164°06’17.7”E	117	2012-2016	WS, DIR, T, P, RH

Tabella 3. Nome, codice ARGOS, posizione, quota (m s.l.m.), periodo di funzionamento e variabili fisiche misurate per le AWS della rete scientifica gestite dall’Osservatorio Meteo-Climatologico del PNRA e per le stazioni asservite al supporto delle operazioni di volo, gestite dal Servizio di Meteorologia Operativa dell’Unità Tecnica Antartide (UTA) dell’ENEA. *(continua da pag. 12)*

4. LE STAZIONI DI SUPPORTO ALLE ATTIVITÀ DI VOLO

Gran parte delle attività scientifiche e logistiche richiedono l’utilizzo di velivoli ad ala fissa e rotante per il trasporto di materiali e l’avvicendamento del personale da/verso l’Antartide e nelle aree di competenza interne al continente. Tali attività, e in particolar modo la navigazione aerea, sono coordinate da una Sala Operativa presso MZS che si avvale della strumentazione installata e gestita dal personale del Servizio di Meteorologia Operativa dell’Unità Tecnica Antartide (UTA) dell’ENEA, in stretta collaborazione con quello dell’Osservatorio.

L’AWS Eneide, posta a 82 m sul livello del mare e a 1 km circa da MZS, oltre ad essere la prima AWS scientifica installata dall’Osservatorio, costituisce anche il riferimento sinottico dell’area e i suoi dati sono utilizzati per la compilazione di tutti i bollettini meteorologici e dei documenti ufficiali con finalità operative.
La pista di atterraggio principale, localizzata nelle immediate vicinanze di MZS, è realizzata su ghiaccio marino ed è utilizzata finché sussistono le condizioni di sicurezza (generalmente fino alla fine di novembre). Durante il periodo d’impiego, tutte le informazioni utili all’atterraggio e al

decollo degli aerei e al monitoraggio della pista sono fornite da due AWS, denominate Alfa e Bravo, installate a inizio campagna e realizzate con tralicci di 6 metri, opportunamente posizionate e configurate nel rispetto delle specifiche dell'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile (ICAO) (Figura 4).

Figura 4. AWS Bravo, posizionata sul ghiaccio marino durante l'apertura della pista di atterraggio a Baia Terra Nova.

Bravo è equipaggiata con un datalogger Vaisala WT501 e con sensori per la misura di WS e DIR; Alfa acquisisce i dati tramite una Vaisala MILOS 520, e oltre ai sensori per la misura del vento registra i valori di RH e T. Alfa, inoltre, è stata recentemente dotata anche di un visibilimetro Vaisala PWD22 per il monitoraggio e la trasmissione delle condizioni di visibilità sulla pista.
Una terza AWS, denominata Vaisala TacMet®, può integrare le informazioni meteorologiche fornite da Alfa e Bravo. La TacMet® è concepita per essere facilmente dislocata in punti strategici e si compone di un *datalogger* di ultima generazione, di sensori per la misura di T, P, RH, WS e DIR ed è dotata di alimentazione a batteria e pannello solare di ridotte dimensioni. A seconda delle necessità, la TacMet® può essere corredata da un visibilimetro e un celiometro, che una soluzione personalizzata di alimentazione consente di rendere autonomi per un periodo di circa 2 giorni.
Una pista più piccola, utilizzata solo in caso di emergenza, è stata realizzata più lontano da MZS nel sito di Browning Pass (74°38'S, 163°51'E); le condizioni di questa pista sono monitorate con la stazione anemometrica Minni posta su un traliccio di 3 metri ed equipaggiata con sensori di WS e DIR e con un *datalogger* Vaisala WT501.
Tutte le stazioni di pista trasmettono alla Sala Operativa i dati acquisiti via radiomodem in tempo reale, mentre l'AWS Eneide, data la sua prossimità a MZS, trasmette i dati via cavo.
Altre 5 AWS (denominate da K1 a K5) sono state installate fra dicembre 2012 e febbraio 2013 per il monitoraggio, ad alta frequenza, delle condizioni del vento nell'area scelta per la costruzione della nuova pista di atterraggio a carattere permanente in corso di realizzazione nell'area di Boulder Clay, a circa 6 Km da MZS (Figura 1). Tutte le stazioni K sono costituite da un *datalogger* Vaisala MAWS e da sensori per la misura di WS, DIR, T, P RH. Le stazioni K hanno tutte un'altezza di 6 metri ad eccezione di K2, alta 9 metri che, oltre che con i sensori tradizionali posti a 6 metri (in analogia alle altre) acquisisce il campo del vento tridimensionale per mezzo di un anemometro sonico posizionato alla sua sommità.
Per il controllo delle condizioni meteorologiche e dell'attività aerea nell'area circostante le Basi scientifiche il Servizio di Meteorologia Operativa si avvale anche delle informazioni acquisite da un celiometro Vaisala CTK12: lo strumento misura l'altezza della base delle nubi eventualmente

presenti, fino a una quota massima di circa 3900 m con una risoluzione di 15 m.
I parametri meteorologici sulla pista aeroportuale della Base DC sono rilevati da una stazione Vaisala AW11: essa è in funzione solamente durante il periodo estivo e misura T, P, RH, DIR e WS; i dati meteorologici sono integrati con le misure di un visibilimetro e di un celiometro simili a quelli presenti a MZS.

5. RISULTATI E DISCUSSIONE

L'area costiera della Terra Victoria, dal Ross Ice Shelf fino a Cape Adare, è sicuramente il territorio nel quale l'Osservatorio è in grado di fornire misurazioni più dettagliate delle condizioni meteorologiche e una stima significativa delle condizioni climatiche, a partire dai dati di AWS come Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis, che presentano record temporali di P, T, WS e DIR più lunghi e completi. La Figura 5 mostra l'andamento medio mensile della pressione lungo la costa della Terra Victoria. I valori medi annui sono 921.51, 970.29, 796.35, 978.32 e 970.21 hPa (rispettivamente per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis), con una deviazione standard di circa 10 hPa costante per tutti i mesi e tutte le stazioni.

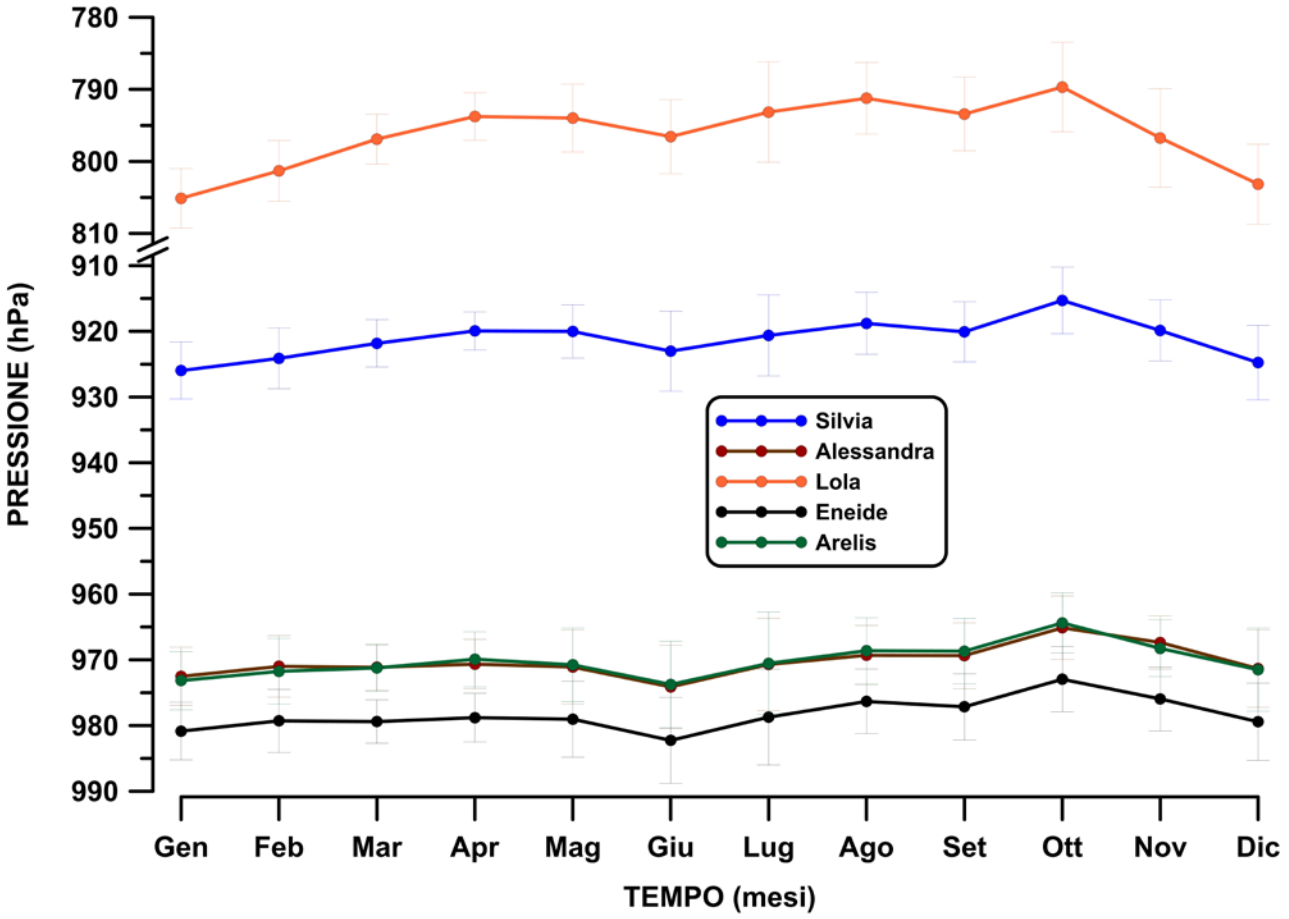

Figura 5. Valori medi mensili della pressione superficiale (hPa) per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

Le differenze nel valore annuale sono principalmente dettate dalla variazione altimetrica fra i differenti siti: Lola e Silvia sono poste rispettivamente a 1621 e 568 m s.l.m. e quindi mostrano valori di pressione mediamente più bassi, mentre Alessandra, Arelis ed Eneide, posizionate

approssimativamente alla stessa quota (160, 150 e 91 m s.l.m.), riportano circa gli stessi valori medi di pressione. Tutte le stazioni hanno un marcato andamento semi-annuale similare, con due massimi relativi ad aprile e ottobre e due minimi in dicembre e giugno. Tale andamento è legato all'Oscillazione Semi-Annuale (SAO), una caratteristica variazione della pressione superficiale all'interno della cella polare dovuta allo sfasamento temporale fra i cicli di temperatura che avvengono sopra il continente antartico e quelli che si susseguono sugli oceani a medie-alte latitudini (Van Loon, 1967).

Le serie temporali annuali di pressione (Figura 6) mostrano tutte un trend decadale negativo con valori che vanno da -1.7 e -1.2 hPa per Arelis e Silvia a -0.5 e -0.4 per Alessandra e Lola. I trend per Arelis, Silvia ed Eneide sono statisticamente significativi al 99.9%. Apparentemente non vi è nessuna correlazione di tale trend con la posizione e la quota sul livello del mare dei vari siti. In generale si osserva una diminuzione della pressione media annuale su tutta l'area, consistente con il generale spostamento del Modo Anulare dell'Emisfero Sud (SAM) verso la sua fase positiva (Foght and Bromwich, 2006). Tale Modo è caratterizzato dall'alternarsi di anomalie positive e negative di pressione atmosferica che si presentano sull'Antartide e sull'anello che circoscrive gli oceani che circondano il continente (Thompson et al., 2000). Come ulteriore conferma, le serie temporali di pressione risultano tutte anti-correlate (-0.69, -0.90, -0.78, -0.87, -0.84 rispettivamente per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis) con i valori annuali medi per l'indice SAM (Marshall, 2003); le correlazioni sono statisticamente significative al 99.9%.

Le serie temporali della deviazione standard dei valori annuali di pressione mostrano una forte variazione inter-annuale e in relazione al sito; questo andamento è probabilmente legato alla variabilità nel numero e nell'intensità di perturbazioni che si muovono nell'area del Mare di Ross e interessano la zona costiera della Terra Victoria. Simmonds et al. (2003) hanno mostrato come questa regione sia una delle aree dell'Antartide a maggior ciclogenesi con perturbazioni tipicamente a mesoscala.

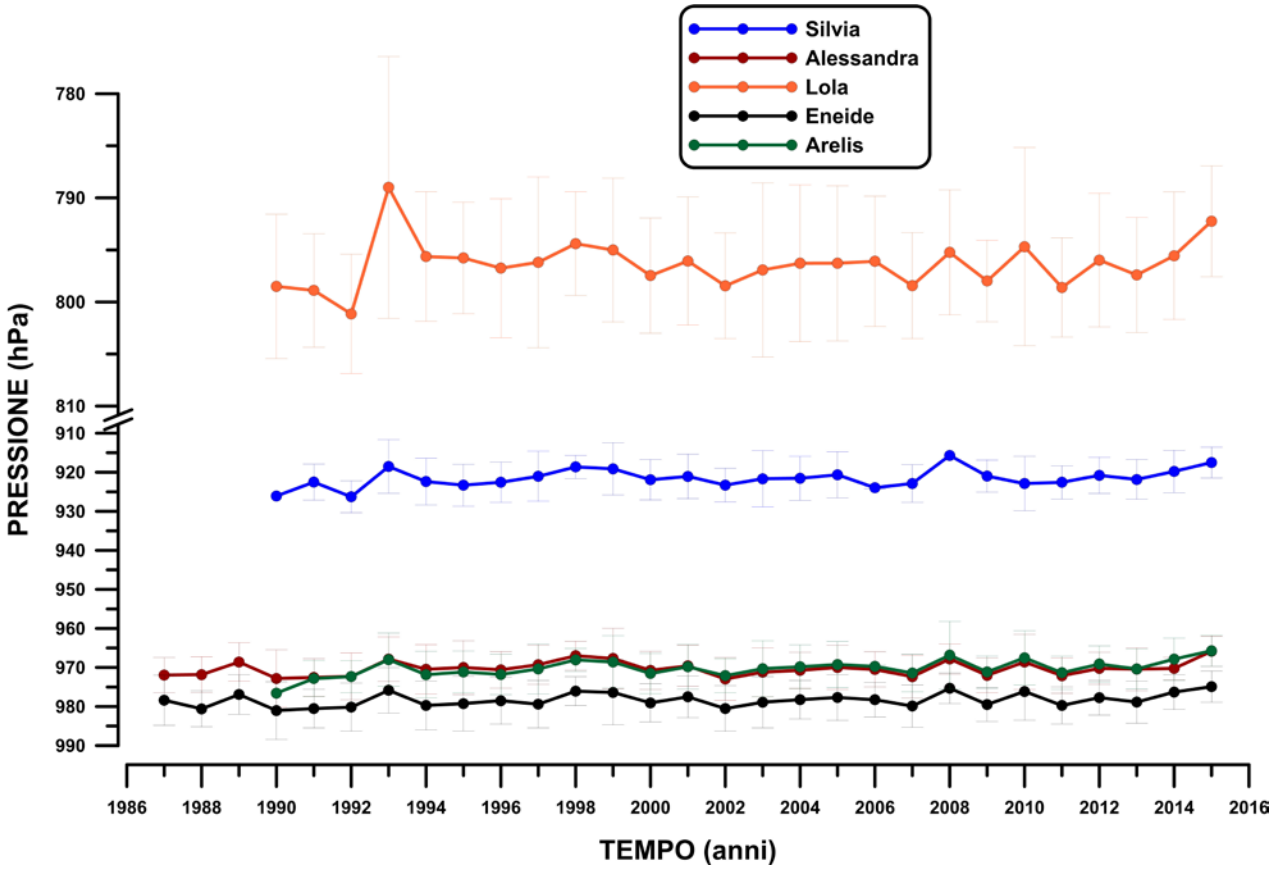

Figura 6. Valori medi annuali della pressione superficiale (hPa) nel periodo 1987-2016 per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

L’andamento medio mensile delle temperature è mostrato in Figura 7. Tutte le cinque stazioni considerate mostrano il classico andamento a “U”: un periodo estivo (dicembre-gennaio) con temperature sulla costa relativamente miti (tra 0 e -5 °C), due brevi stagioni intermedie (febbraio-marzo e ottobre-novembre) dove la temperatura aumenta e diminuisce molto rapidamente e, infine, una lunga stagione invernale (aprile-agosto) con temperature oscillanti fra -20 e -30 °C. Durante questi 6 mesi è ben visibile il fenomeno del *Coreless Winter* (Van Loon, 1967), quando la temperatura, giunta rapidamente al suo valore minimo subito dopo il breve autunno, si stabilizza nell’intorno di tale valore per tutto l’inverno a causa dell’equilibrio radiativo che si instaura fra il manto nevoso e i primi strati di atmosfera (Wendler and Kodama, 1993).

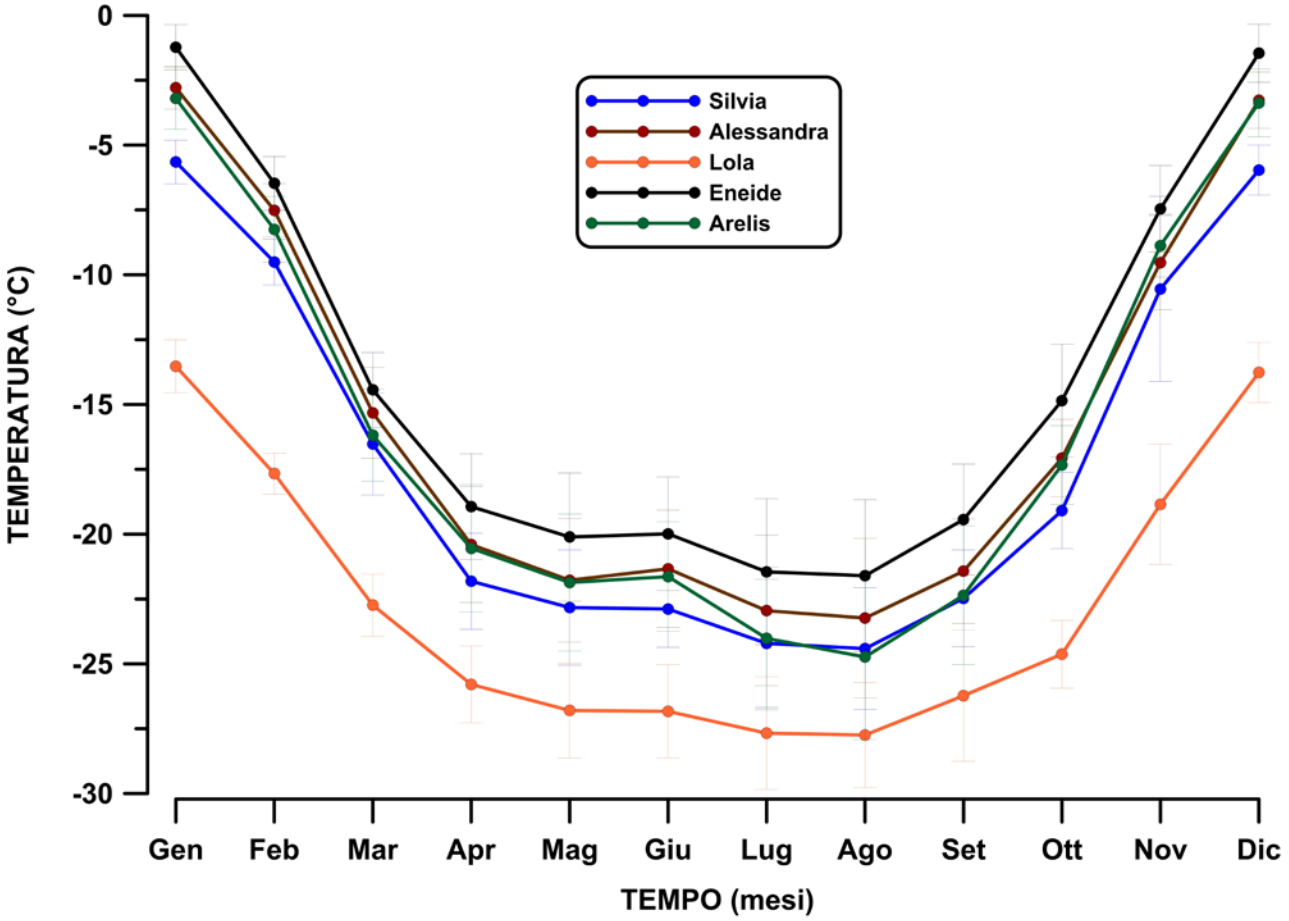

Figura 7. Valori medi mensili della temperatura a 2 m (°C) per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

I valori medi annui per le 5 stazioni sono -15.66, -15.38, -22.53, -13.75 e -16.03 °C, rispettivamente per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis, con deviazione standard di circa 1-2 °C. Lola, data la sua posizione a circa 100 km dalla costa, mostra i valori più bassi di temperatura durante tutto il corso dell’anno mentre Eneide quelli più alti. Arelis è caratterizzata dalla maggiore escursione termica fra estate e inverno (22 °C). Le serie annuali di temperatura (Figura 8) hanno tutti trend decadali non statisticamente significativi; e se le stazioni più a nord (Alessandra, Silvia, Lola ed Eneide) mostrano tutte segni negativi (-0.4, -0.02, -0.1, -0.01 °C), Arelis, la stazione più a sud, presenta un trend positivo con il più alto valore assoluto (+0.5 °C) comparabile con il valore trovato da Turner et al. (2005) per McMurdo nel periodo 1957-2000.

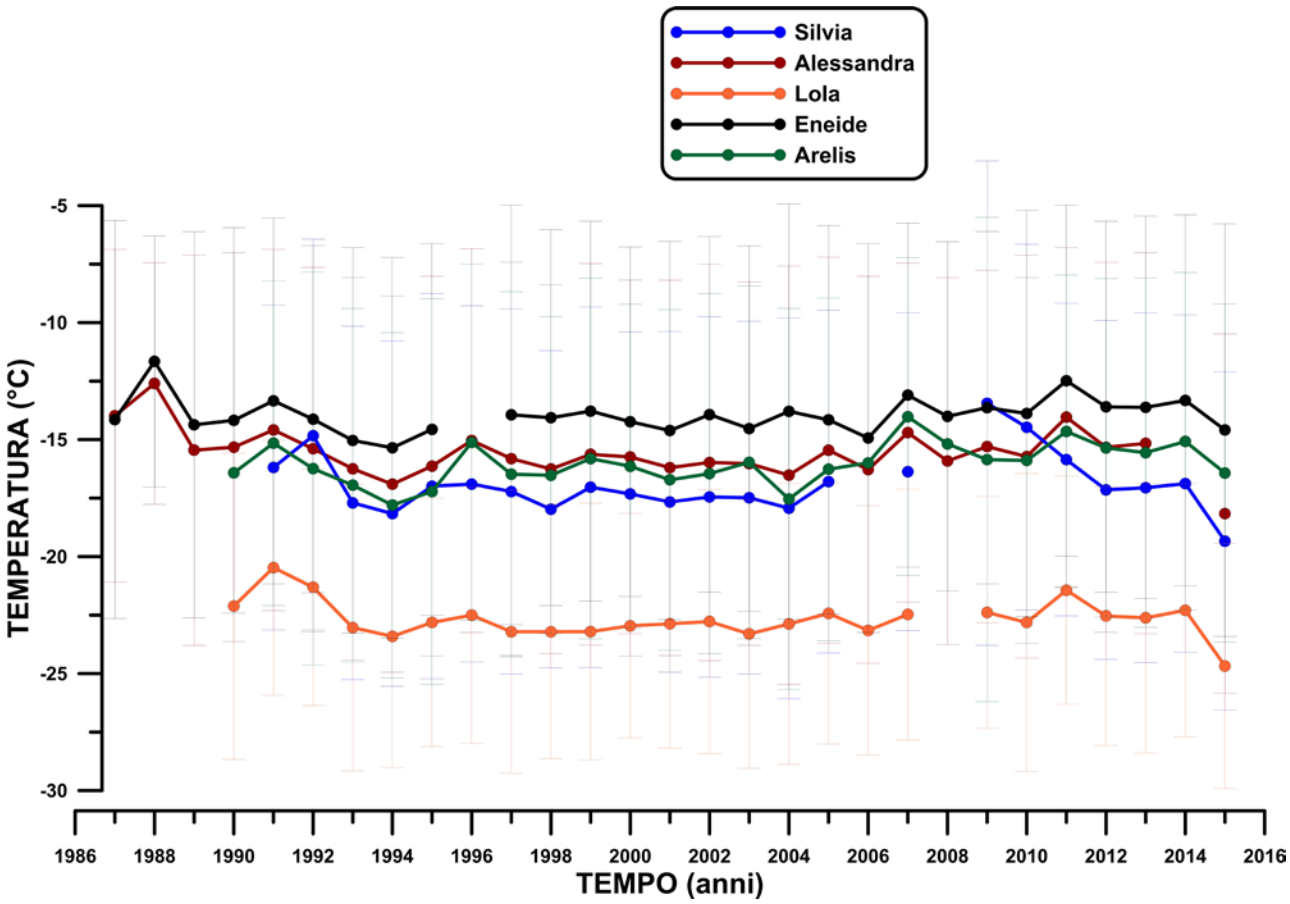

Figura 8. Valori medi annuali della temperatura a 2 m (°C) nel periodo 1987-2016 per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

Le stazioni considerate (Figure 9 e 10) riportano velocità medie annue del vento di 15.69, 4.20, 9.83, 12.04, 11.62 knt (equivalenti a 8.1, 2.2, 5.1, 6.2, 6.0 m/s rispettivamente per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis). Tranne Alessandra, tutte le altre mostrano intensità del vento medie mensili superiori a 8 knt (circa 4.2 m/s) nel periodo maggio-ottobre e in particolare in giugno, durante il quale tutte le stazioni, con l'eccezione di Lola, raggiungono il loro massimo di intensità. I valori di deviazione standard sono molto alti, riflettendo l'alta variabilità intrinseca del parametro. Silvia è posta nel sito mediamente più ventoso durante tutto l'anno, con un massimo assoluto in giugno di circa 20 knt (10.3 m/s). Eneide e Arelis mostrano andamenti fra loro simili ma con leggere differenze rispetto a Silvia, molto probabilmente dovute ai differenti regimi che regolano la variabilità del campo di vento. Silvia, molto più a nord, è più esposta all'influenza della dinamica a scala sinottica presente lungo la corrente circumpolare, mentre Arelis ed Eneide, più interne rispetto al Mare di Ross, sono probabilmente più influenzate da condizioni locali (Knuth et al., 2011). Tutte le stazioni mostrano due distinte direzioni prevalenti (non mostrato). Una direzione legata ai venti catabatici dominanti provenienti dall'interno (ovest, sud-ovest) e spiranti verso il mare e l'altra legata ai venti di barriera spiranti da ovest (Bromwich, 1989).

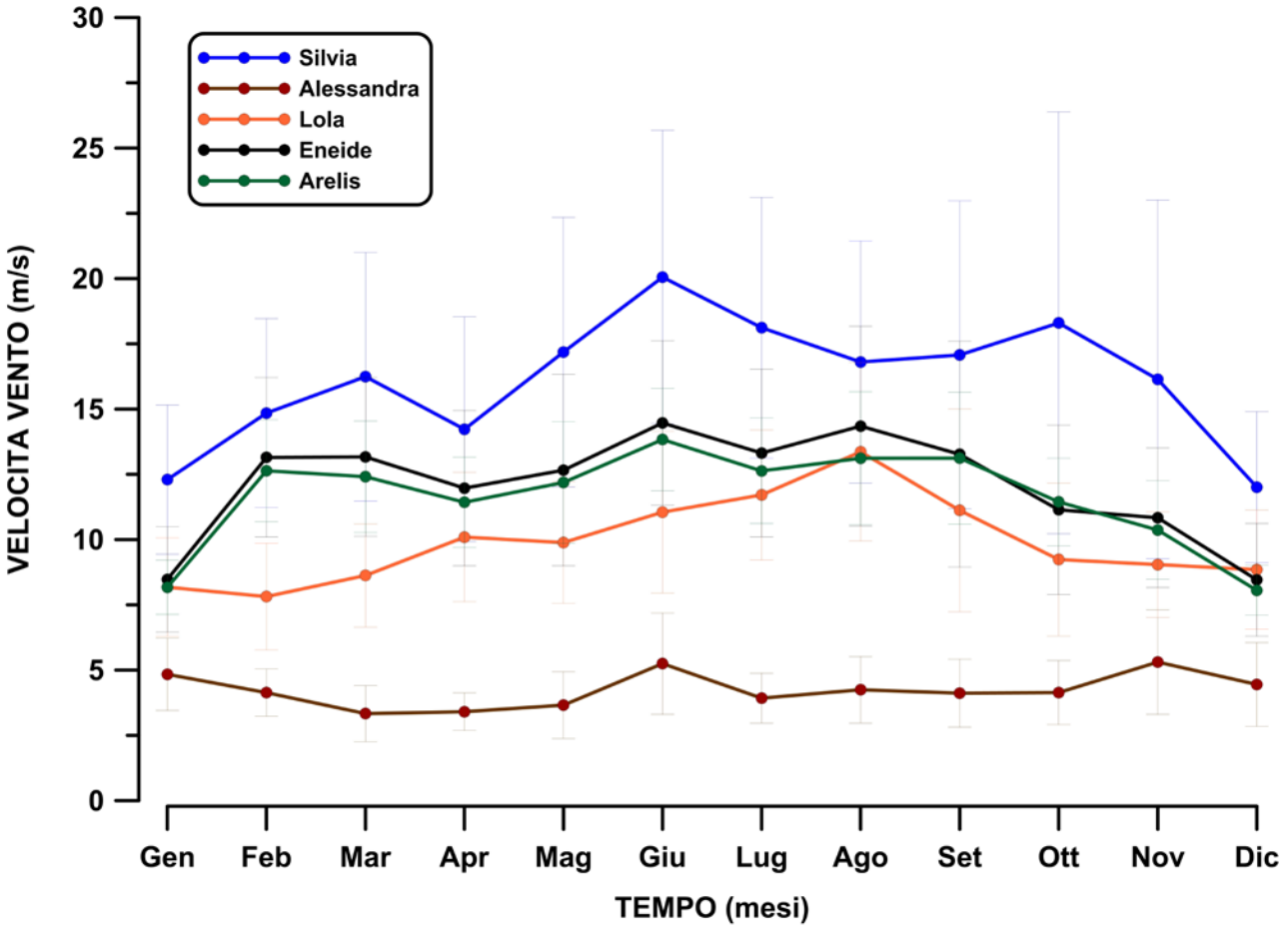

Figura 9. Valori medi mensili della velocità del vento a 3 m (espressi in nodi) per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

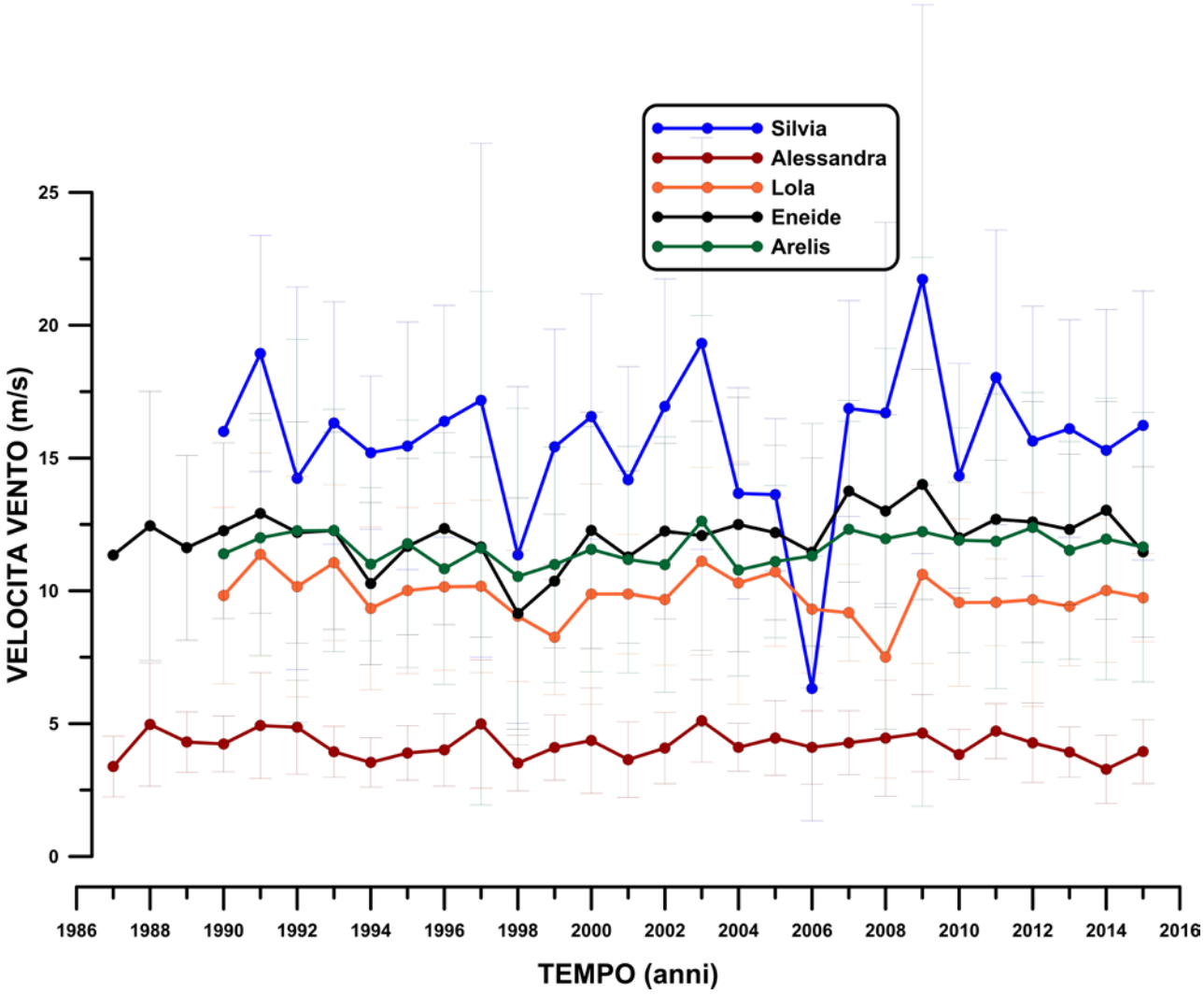

Figura 10. Valori medi annuali della velocità del vento a 3 m (espressi in nodi) nel periodo 1987-2016 per Silvia, Alessandra, Lola, Eneide e Arelis (rispettivamente in blu, rosso, arancione, nero e verde). Le barre verticali rappresentano la deviazione standard della media.

6. CONCLUSIONI

L'Osservatorio Meteo-Climatologico Antartico è un progetto scientifico che dal 1987, nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, gestisce una rete di 31 stazioni meteorologiche automatiche dislocate lungo tutto il settore costiero della Terra Victoria e sul Plateau antartico fino alla Base italo-francese Concordia. È stato notevole lo sforzo compiuto, negli anni, dal personale dell'Osservatorio per progettare, creare e gestire una delle più ampie reti di monitoraggio presenti in Antartide, anche alla luce del fatto che il vasto continente antartico è caratterizzato da condizioni climatiche estreme. La rete osservativa fornisce, oggi, informazioni sulle condizioni meteorologiche presenti sul continente di fondamentale importanza per coadiuvare sia le attività logistiche legate alle operazioni di volo nel corso della Spedizione italiana sia le attività scientifiche nell'ambito di progetti nazionali e internazionali. In particolare, l'Osservatorio fa parte di progetti multidisciplinari della comunità scientifica polare come lo YOPP e lo SCAR-MetReader e i suoi dati sono inseriti in tempo reale, tramite trasmissione satellitare ARGOS, nella rete mondiale di telecomunicazioni meteorologiche (GTS) dell'OMM/WMO che fornisce dati ai Servizi Meteorologici per l'inizializzazione dei modelli previsionali globali.
Cinque stazioni della rete osservativa, prevalentemente dislocate nel settore costiero della Terra Victoria, possiedono serie temporali multi-decadali dei principali parametri meteorologici e l'analisi delle serie storiche fornisce una descrizione delle condizioni climatiche che caratterizzano la regione.

RINGRAZIAMENTI

L'Osservatorio Meteo-Climatologico Antartico è un progetto di ricerca ENEA interamente finanziato dal MIUR-PNRA. Si ringrazia l'ENEA per l'impegno istituzionale a supporto delle attività dell'Osservatorio. Si ringrazia inoltre l'unità UTA dell'ENEA per il supporto logistico, operativo e finanziario fornito nell'ambito delle attività delle stazioni di pista. Si ringraziano in particolar modo Guillaume Dargaud, Lucia Agnoletto, Maurizio Busetto, Riccardo Schioppo, Laura Genoni, Angelo Galeandro, Igor Petenko, Lorenzo Moggio e Simonetta Montaguti che, a partire dal 2005, hanno collaborato con il progetto garantendo la raccolta dei dati meteorologici e il corretto funzionamento della strumentazione presente nella Base Concordia durante i lunghi inverni antartici. Infine, vorremmo ricordare i colleghi che ci hanno lasciato, Roberto Sarao e Nando Marucci, per il loro significativo apporto nei primi anni di attività dell'Osservatorio.

BIBLIOGRAFIA

1. Agnoletto L. (2009). Verifica dei modelli meteorologici: verifiche di punto e di area dei modelli operazionali a scala globale e mesoscala utilizzati per le previsioni meteorologiche in Antartide nella Terra Victoria. Ph.D. Thesis, Università degli studi di Siena.
2. Bromwich D.H., Monaghan A., Powers J.G., Cassano J.J., Wei H.L., Kuo Y.H., Pellegrini A. (2003). Antarctic Mesoscale Prediction System (AMPS): A Case Study from the 2000-01 Field Season. Month. Weath. Rev. 131: 412-434.
3. Bromwich D.H. (1989). An extraordinary katabatic wind regime at Terra Nova Bay, Antarctica. Month. Weath. Rev. 117: 688-695.
4. Fogt R.L., Bromwich D.H. (2006). Decadal variability of the ENSO teleconnection to the high latitude South Pacific governed by coupling with the Southern Annular Mode. J. Clim. 19: 979-997.
5. Frezzotti M., Urbini S., Proposito M., Scarchilli C., Gandolfi S. (2007). Spatial and temporal variability of surface mass balance near Talos Dome, East Antartica. J. Geophys. Res. 112:F02032. doi: 10.1029/2006JF000638.
6. Knuth S.L., Cassano J.J. (2011). An analysis of near-surface winds, air temperature, and cyclone activity in Terra Nova Bay, Antarctica, from 1993 to 2009. J. Appl. Meteor. Climatol. 50: 662-680, doi: 10.1175/2010JAMC2507.1.
7. Lazzara M.A., Weidner G.A., Keller L.M., Thom J.E., Cassano J.J. (2012). Antarctic Automatic Weather Station Program: 30 years of polar observations. Bull. Am. Meteor. Soc. 93: 1519-1537, doi:10.1175/BAMS-D-11-00015.1.
8. Lenaerts J.T.M., van den Broeke M.R., van de Berg W.J., van Meijgaard E., Kuipers Munneke P. (2012). A new, high-resolution surface mass balance map of Antarctica (1979-2010) based on regional atmospheric climate modelling. Geophys. Res. Lett. 39: L04501, doi:10.1029/2011GL050713.
9. Marshall G.J. (2003). Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. J. Clim. 16: 4134-4143.
10. Pellegrini A., Della Vedova A.M., Grigioni P., De Silvestri L. (1999). Oceanography of the Ross Sea Antarctica. I Springer Milan, 10.1007/978-88-470-2250-8_18.
11. Petrelli P., Bindoff N.L., Bergamasco A. (2008). The sea ice dynamics of Terra Nova Bay and Ross Ice Shelf Polynyas during a spring and winter simulation. J. Geophys. Res. 113: C09003, doi:10.1029/2006JC004048.
12. SCAR SSG-PS (2006). Implementation plan for the scar scientific research programme Antarctica and the Global Climate System – AGCS.
13. Scarchilli C., Frezzotti M., Grigioni P., De Silvestri L., Agnoletto L., Dolci S. (2010). Extraordinary blowing snow transport events in East Antarctica. Clym. Din. 34(7-8): 1195-1206, doi 10.1007/s00382-009-0601-0.
14. Simmonds I. (2003). Modes of atmospheric variability over the Southern Ocean, J. Geophys. Res., 108(C4): 8078, doi:10.1029/2000JC000542.
15. Thompson D.W.J., Wallace J.M., Hegerl G.C. (2000). Annular modes in the extratropical circulation, part 2, Trends. J. Clim. 13: 1018-1036.
16. Tomasi C., Petkov B., Benedetti E., Vitale V., Pellegrini A., Dargaud G., De Silvestri L., Grigioni P., Fossat E., Roth W.L., Valenziano L. (2006). Characterization of the atmospheric temperature and moisture conditions above Dome C (Antarctica) during austral summer and fall months. J. Geophys. Res. 111: D20305, doi:10.1029/2005JD006976.
17. Turner J., Colwell S.R., Marshall G.J., Lachlan-Cope T.A., Carleton A.M., Jones P.D., Lagun V., Reid P.A., Iagovkina S. (2005). Antarctic climate change during the last 50 years. Int. J. Climatol. 25: 279-294.
18. van Loon H. (1967). The half-yearly oscillations in middle and high southern latitudes and the coreless winter, J. Atmos. Sci. 24: 472-486.

19. Wadhams P., Parmiggiani F., De Carolis G. (2002). The use of SAR to measure ocean wave dispersion by frazil-pancake ice fields. J. Phys. Ocean. 32(6): 1721-1746.
20. Wadhams P., Parmiggiani F., De Carolis G., Desiderio D. Doble M.J. (2004). SAR Imaging of Wave dispersion in Antarctic Pancake Ice and its Use in Measuring Ice Thickness'. Geophys. Res. Lett. 31(15): L15305.
21. Wendler G., Kodama, Y. (1993). The kernlose winter in Adelie coast. Antar. Res. Series, 61: 139-147.

ENEA
Servizio Promozione e Comunicazione
www.enea.it

Stampa: Laboratorio Tecnografico ENEA - C.R. Frascati
novembre 2016