

Rapporti tecnici

INGV

**Attività preparatoria all'installazione
di una rete sismica permanente sui
vulcani Melbourne e Rittmann (Terra
Vittoria - Antartide) durante la XXXII
spedizione italiana**

372



Direttore Responsabile

Silvia MATTONI

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV-RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)

REGISTRAZIONE AL TRIBUNALE DI ROMA N.173 | 2014, 23 LUGLIO

© 2014 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Rappresentante legale: Carlo DOGLIONI

Sede: Via di Vigna Murata, 605 | Roma



Rapporti tecnici INGV

ATTIVITÀ PREPARATORIA ALL'INSTALLAZIONE DI UNA RETE SISMICA PERMANENTE SUI VULCANI MELBOURNE E RITTMANN (TERRA VITTORIA - ANTARTIDE) DURANTE LA XXXII SPEDIZIONE ITALIANA

Graziano Laroocca¹, Andrea Cannata², Paola Del Carlo³, Gaetano Giudice⁴, Giovanni Giuffrida⁴,
Marco Liuzzo⁴, Alfio Messina⁵, Salvatore Rapisarda¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo)

²Università degli Studi di Perugia (Dipartimento di Fisica e Geologia)

³INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Pisa)

⁴INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Palermo)

⁵INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Geomagnetismo, Aeronomia e Geofisica Ambientale)

372

Come citare: Laroocca G. et al., (2017).Attività preparatoria all'installazione di una rete sismica permanente sui vulcani Melbourne e Rittmann (Terra Vittoria - Antartide) durante la XXXII spedizione italiana. Rapp. Tec. INGV, 372: 1-32.

Indice

Introduzione	7
1. Caratteristiche delle stazioni sismiche mobili.....	8
2. Survey e registrazione di dati sismici	10
2.1 Installazione in Tethys Bay.....	11
2.2 Installazione sul vulcano Rittmann.....	12
2.3 Installazione sul vulcano Melbourne	15
3. Test di trasmissione radio in banda UHF.....	21
4. L'acquisizione e lo scarico dati delle stazioni mobili.....	23
5. Realizzazione di un dispositivo prototipo per il monitoraggio delle temperature	24
Conclusioni	27
Ringraziamenti.....	27
Bibliografia	27

Introduzione

L'Antartide può essere considerato come un perfetto laboratorio naturale per lo studio di segnali sismici associati alle dinamiche criosfera-atmosfera-idrosfera. Infatti, la completa assenza di rumore antropico permette di registrare chiaramente segnali come il *microseism* e gli *ice-quakes*. Il primo, generato dalle interazioni tra le onde oceaniche, il fondo del mare e le coste [e.g. Hasselmann, 1963], presenta generalmente ampiezza maggiore durante gli inverni e minore durante le estati. Tuttavia, in Antartide, a causa della presenza del pack sulle coste durante l'inverno australe, tale pattern è invertito [Grob et al., 2011]. Gli *ice-quakes* sono invece eventi sismici causati da fenomeni di fratturazione del ghiaccio, e sono spesso associati a movimenti lenti dei ghiacciai [e.g. Podolskiy e Walter, 2016]. Sulla base di ciò, risulta chiaro come lo studio di *microseism* e *ice-quakes* può aiutare a monitorare e investigare le variazioni climatiche [e.g. Grob et al., 2011; Podolskiy e Walter, 2016]. Inoltre, grazie alla presenza di vulcani attivi, l'Antartide può anche essere considerato un ambiente ottimale per lo studio dei segnali sismo-vulcanici, cioè segnali sismici generati dalla dinamica dei fluidi (gas, magma, fluidi geotermali) all'interno dei vulcani.

Nei pressi della base italiana Mario Zucchelli, sita nella Terra Vittoria, sono presenti alcuni grandi ghiacciai, Campbell Glacier, Priestley Glacier, Tinker Glacier, Drygalski Ice Tongue e sorgono due vulcani, il Monte Melbourne e il Monte Rittmann, entrambi caratterizzati da attività fumarolica.

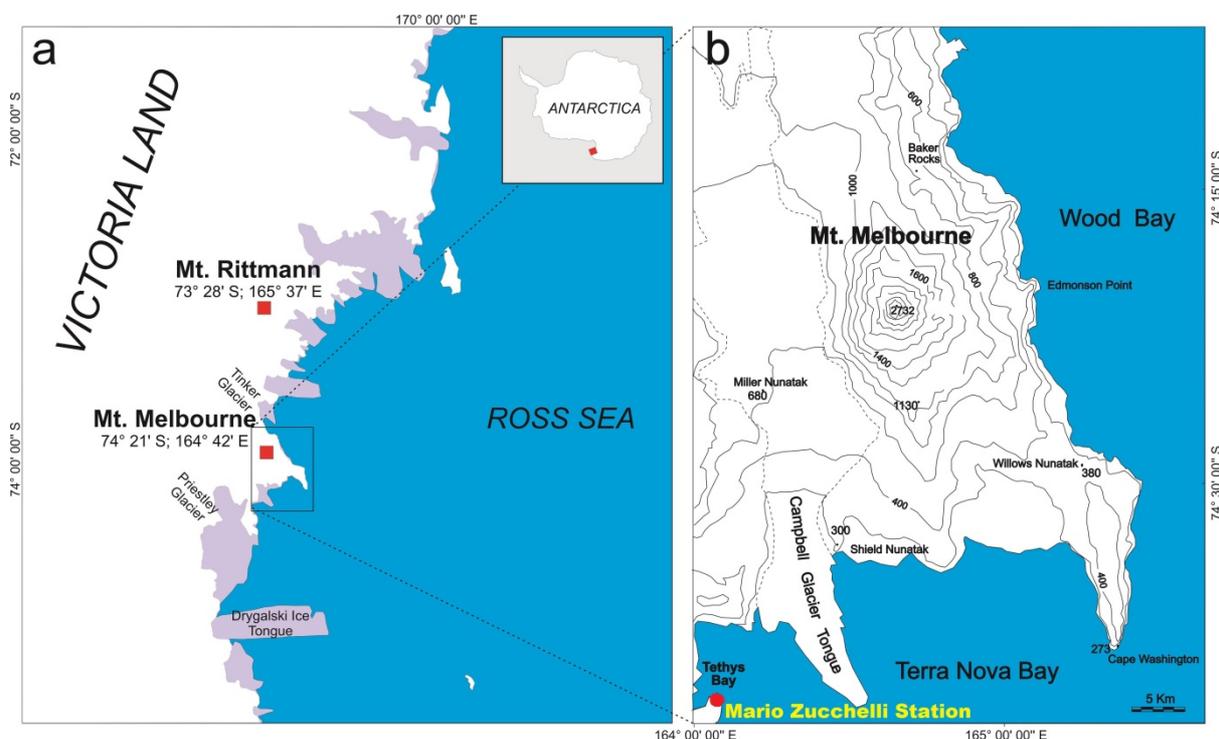


Figura 1. Mappe che mostrano (a) l'area oggetto di studio e la sua posizione all'interno del continente Antartico e (b) zoom dell'area del Vulcano Melbourne con la posizione della base Mario Zucchelli.

La conoscenza di tali vulcani è ancora limitata. Per quanto concerne il Melbourne, l'ultima eruzione è avvenuta probabilmente in un intervallo compreso tra il 1862 e il 1922 [Kyle, 1989; Lyon, 1986], suggerendo che sia ancora attivo. I dati geofisici, acquisiti nel periodo 1989-2004 da una rete tiltmetrica e sismica gestita dalla Sezione di Catania dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), hanno mostrato come tale vulcano presenti ancora una vivace dinamica interna [Gambino e Privitera, 1994, 1996; Gambino et al., 2016]. Sul vulcano Rittmann, la cui scoperta risale alla quarta spedizione italiana in Antartide, nel 1989/1990, le conoscenze sono ancora più limitate. Le uniche indagini effettuate sono di carattere geochimico [Bonaccorso et al., 1991], non

essendo mai stati acquisiti dati geofisici (sismici, deformazioni del suolo, etc.) per valutare il suo stato di attività.

Sulla base di ciò, nel 2016 è iniziato il progetto *ICE-VOLC* (multiparametric Experiment at antarctica VOLCanoes: data from volcano and cryosphere-ocean-atmosphere dynamics) che coinvolge il Dipartimento di Fisica e Geologia dell'Università degli Studi di Perugia, e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Tale progetto, finanziato dal Programma Nazionale Ricerche in Antartide (PNRA), ha i seguenti obiettivi: (i) la determinazione dello stato attuale di attività del Melbourne e del Rittmann, in termini di valutazione delle loro manifestazioni vulcaniche subaeree e di ricostruzione delle dinamiche legate al loro sistema di alimentazione; (ii) lo studio delle relazioni tra i segnali sismo-acustici registrati in Antartide e la dinamica di criosfera-atmosfera-idrosfera, (iii) la valutazione dell'impatto del degassamento vulcanico sull'atmosfera. Tra le attività che saranno eseguite per il raggiungimento di tali obiettivi, è prevista l'installazione, nei prossimi anni, di alcune stazioni sismo-acustiche permanenti. Per un'accurata scelta dei siti di installazione, durante la XXXII spedizione italiana in Antartide, tra Novembre 2016 e Febbraio 2017, sono state installate due stazioni sismiche in diversi siti della Terra Vittoria, nei pressi della base italiana. Nell'ottica di verificare la possibilità futura di inviare, via radio, i segnali sismo-acustici delle stazioni permanenti, sono state anche eseguite prove di trasmissione radio. In questo rapporto tecnico vengono descritte tali attività.

1. Caratteristiche delle stazioni sismiche mobili

Al fine di facilitare il trasporto e l'installazione della strumentazione in campagna, sono state impiegate due valigette Peli, progettate dal Gruppo Rete Sismica Mobile dell'Osservatorio Etno (OE) dell'INGV. Tali valigie presentano caratteristiche tecniche e costruttive tali da renderle adatte alle rigide condizioni ambientali dell'ambiente antartico. La valigetta, è stata fornita di uno speciale passacavo della Roxtec per il passaggio del cavo del sensore e due passacavi aggiuntivi per la connessione di un pannello fotovoltaico (non utilizzato nella campagna antartica) e di un'alimentazione esterna fornita da batteria ad alta capacità. Ciascuna valigetta contiene un *data-logger* digitale Nanometrics Taurus [Nanometrics Inc., 2012], dotato di convertitore analogico-digitale sigma-delta tre canali a 24-bit (range dinamico di circa 140 dB), un antennino GPS della Trimble, per una sincronizzazione ottimale dei segnali registrati e un sismometro Nanometrics Trillium Compact 120s. L'operatività dell'acquisitore Taurus, garantita in presenza di temperature comprese tra -20°C e +60°C, al 100% di umidità, permette il suo impiego durante i brevi periodi estivi antartici. Il Trillium Compact 120s è un velocimetro triassiale a basso consumo (circa 160 mW) con *feedback* ottenuto dal ricentraggio forzato delle masse e *trasduttore capacitivo*. La sua risposta lineare è nella banda che va da 120 secondi a 100Hz. Risulta particolarmente comodo da trasportare per via delle sue ridotte dimensioni, oltre a non richiedere né il blocco, né il centraggio della massa.

La registrazione dei dati in continuo è organizzata in file compressi (compressione *Steim*) denominati *Store*, che oltre alle forme d'onda dei segnali, includono i dati relativi ai parametri di *State of Health* (SOH, ovvero stato di salute) della stazione. L'acquisizione può avvenire sia in modalità stand-alone, denominata *Buffered mode*, ovvero in registrazione locale su supporto Compact Flash (CF), che in modalità trasmissione, denominata *Communications mode*, tramite interfaccia *Ethernet 10/100 Base-T*, che rende continuamente accessibili i dati utilizzando una connessione che supporti il protocollo IP.

Per le attività in Antartide, allo scopo di ridurre al massimo i consumi energetici e non prevedendo l'utilizzo di vettori trasmissivi nel primo anno di progetto, l'acquisizione è stata impostata in *Buffered mode*, con campionamento di 100 sps su tre canali e modalità duty-cycle del ricevitore GPS impostata in "automatico". Come supporti di memoria di massa sono state utilizzate CF SanDisk Ultra da 8 GB. In questa configurazione si ha un consumo compreso tra 600 mW, in stand-by e 1,5 W nei brevi periodi di scrittura su memoria di massa e quando si è in modalità interattiva. L'alimentazione è stata affidata a batterie Sonnenschein da 60Ah SB12 / 60 (una per stazione) senza moduli di ricarica.

Le due valigette sono state allestite con le seguenti dotazioni:

Valigetta 01

TAURUS s/n **2703** con: IP 192.168.27.3/16
Firmware Ver 3.4.8
CF **C8** (da 8 GB) inserita e CF **D8** come scorta.
antennino GPS
cavetto per alimentazione esterna
cavetto Ethernet
sensore Trillium Compact 120sec s/n 000**761**
cavo sensore Trillium Compact 120sec
predisposizione con due passacavi per connessioni esterne

Valigetta 02

TAURUS s/n **3146** con: IP 198.168.0.8/24
Firmware Ver 3.4.8
CF **A8** (da 8 GB) inserita e CF **B8** come scorta.
antennino GPS
cavetto per alimentazione esterna
cavetto Ethernet
sensore Trillium Compact 120sec s/n 000**569**
cavo sensore Trillium Compact 120sec
predisposizione con due passacavi per connessioni esterne



Valigetta 01



Valigetta 02



Figura 2. Le valigette della Peli, equipaggiate in laboratorio con gli acquisitori e i sensori sismici, pronte per l'utilizzo nella Campagna Antartica (photo by Salvatore Rapisarda).

2. Survey e registrazione di dati sismici

Sono stati acquisiti segnali sismici da stazioni mobili installate in tre differenti località: Tethys Bay, M. Rittmann e M. Melbourne. Le diverse installazioni sono raffigurate e listate in Fig. 3 e Tab. 1.

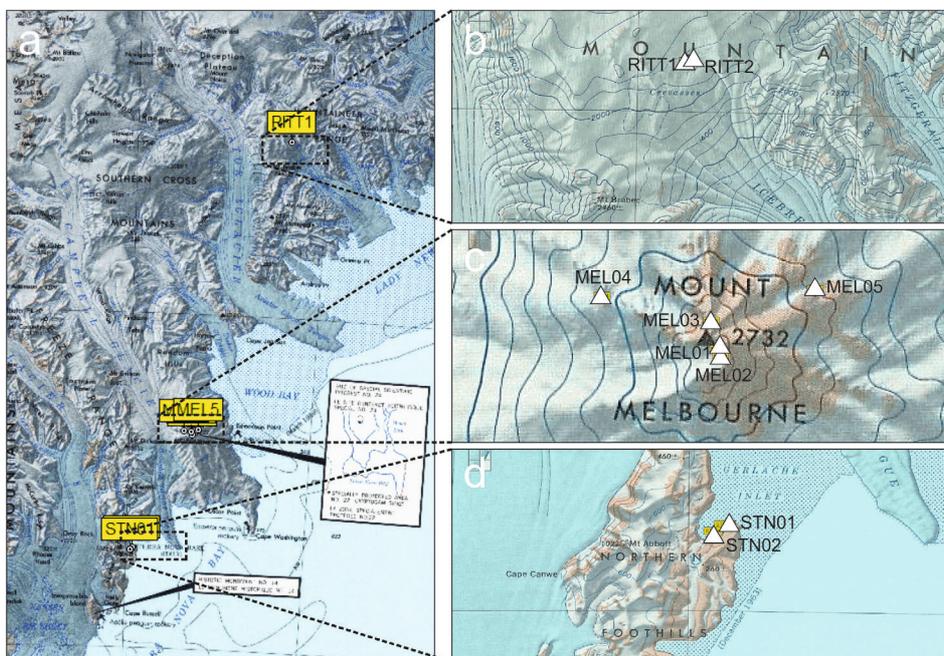


Figura 3. Mappa che mostra i siti di installazione delle stazioni sismiche. (b), (c) e (d) mostrano zoom delle tre zone di installazione: vulcano Rittmann, vulcano Melbourne e Tethys Bay, rispettivamente.

Nome	Latitudine	Longitudine	Quota (ms.l.m.)	Acquisitore	Sensore	Input range	Data installazione (UTC)	Data disinstallazione (UTC)
STN01	74.70249° S	164.05978° E	10	Taurus s/n 3146	Trillium 120s compact s/n 569	40Vpp	26/11/2016 03.35	10/01/2017 04.10
STN02	74.69803° S	164.08647° E	5	Taurus s/n 2703	Trillium 120s compact s/n 761	40Vpp	26/11/2016 19.30	10/01/2017 04.35
RITT1	73.47182° S	165.61365° E	2302	Taurus s/n 2703	Trillium 120s compact s/n 761	16Vpp	11/01/2017 03.53	19/01/2017 21.33
RITT2	73.47135° S	165.61723° E	2304	Taurus s/n 3146	Trillium 120s compact s/n 569	16Vpp	11/01/2017 03.03	19/01/2017 21.26
MEL01	74.35516° S	164.69722° E	2749	Taurus s/n 2703	Trillium 120s compact s/n 761	16Vpp	19/01/2017 23.30	24/01/2017 02.21
MEL02	74.35686° S	164.69951° E	2718	Taurus s/n 3146	Trillium 120s compact s/n 569	16Vpp	20/01/2017 00.08	28/01/2017 20.23
MEL03	74.34966° S	164.69162° E	2710	Taurus s/n 2703	Trillium 120s compact s/n 761	16Vpp	24/01/2017 03.41	28/01/2017 22.07
MEL04	74.34488° S	164.61031° E	2033	Taurus s/n 3146	Trillium 120s compact s/n 569	16Vpp	28/01/2017 21.16	01/02/2017 21.31
MEL05	74.34269° S	164.76828° E	1824	Taurus s/n 2703	Trillium 120s compact s/n 761	16Vpp	28/01/2017 23.05	01/02/2017 20.26

Tabella 1. Informazioni sui siti di installazione.

2.1 Installazione in Tethys Bay

Il 26 novembre 2016, le stazioni sismiche sono state installate presso Tethys Bay (Fig. 3 a, d), nei punti di coordinate 74.70249° S, 164.05978° E (sito STN01) e 74.69803° S, 164.08647° E (sito STN02). Il giorno 10 gennaio 2017 tali stazioni sono state disinstallate.

In particolare, la stazione STN01 (Fig. 4) era equipaggiata con Taurus s/n 3146, sensore Trillium s/n 569, Compact Flash CFA8 e input range del digitalizzatore impostato su 40 Vpp. La stazione è stata disinstallata il 10/01/2017 alle 04.10 UTC. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria era di 11.53V. La stazione STN02 (Fig. 5), equipaggiata con Taurus s/n 2703, sensore s/n 761, Compact Flash CFC8 e input range del digitalizzatore impostato a 40 Vpp, è stata disinstallata alle 04.35 UTC del 10/01/2017. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria era di 11.78V.



Figura 4. Stazione STN01 in Tethys Bay (credits Graziano Larocca, ©PNRA).



Figura 5. Stazione STN02 installata in Tethys Bay con particolare del sensore (credits Paola Del Carlo, ©PNRA).

Prima della successiva installazione, le batterie scariche sono state portate alla base e ricaricate per il loro riutilizzo nelle successive installazioni. Sono stati modificati i parametri di fondo scala del digitalizzatore delle Taurus, passando dai 40 Vpp ai 16 Vpp, corrispondenti ad un fattore di conversione equivalente a $1 \mu\text{V}/\text{count}$. Inoltre, sono state modificate le soglie di tensione di alimentazione minima di auto-shutdown del data-logger, passando da un valore di 10.5 V a 11.5 V, per preservare ulteriormente le batterie da una scarica eccessiva. Le CF presenti sono state sostituite con CF Delkin Industrial da 16GB. Prima della successiva installazione sono stati effettuati diversi test per valutare il corretto funzionamento delle stazioni.

Analisi preliminari dei dati sismici registrati a Tethys Bay hanno mostrato una notevole abbondanza di segnali, che possono essere suddivisi in 3 differenti gruppi (Fig. 6): (i) un segnale tipo tremore di bassa frequenza (<1-2 Hz), di lunga durata (diverse ore) e con variazioni di ampiezza lente, che può essere considerato microseism (Fig. 5a); (ii) registrazioni di eventi telesismici, cioè forti terremoti lontani (Fig. 5b); (iii) eventi sismici di breve durata, con chiare fasi P e S (Fig. 5c).

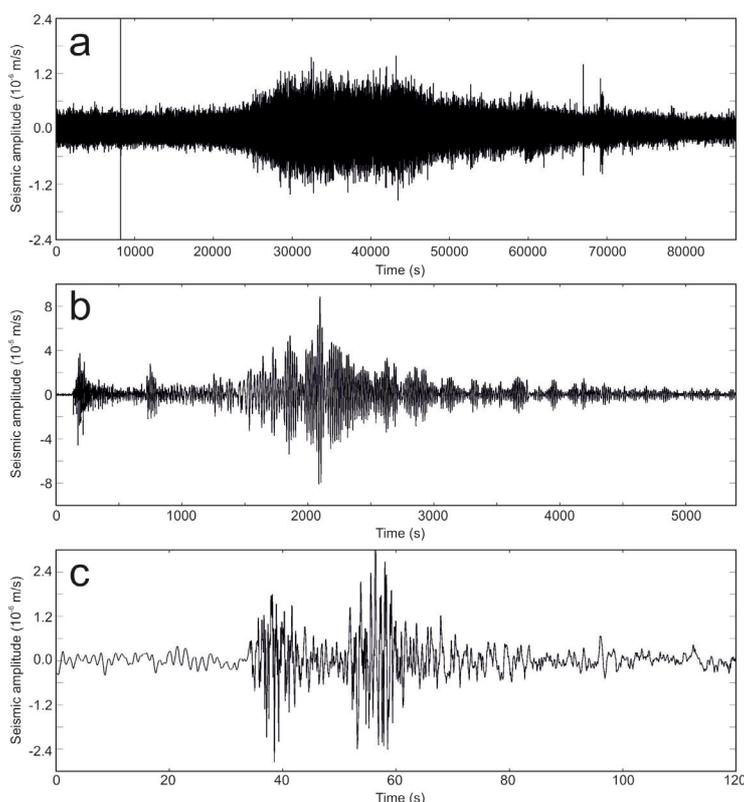


Figura 6. Esempi dei 3 differenti tipi di segnali registrati a Tethys Bay: (a) segnale tipo tremore di bassa frequenza; (b) registrazioni di eventi telesismici; (c) eventi sismici di breve durata.

2.2 Installazione sul vulcano Rittmann

Le stazioni, nominate RITT1 e RITT2, sono state posizionate al top del Rittmann, nell'intorno della conca naturale formata dal vulcano (Fig. 3 a, b). Il sito dove sono stati installati i sensori non era di roccia, ma suolo estremamente duro, costituito da *permafrost*. I sensori sono stati installati sul permafrost, effettuando uno scavo profondo circa 20 -30 cm, messi in bolla e direzionati verso il nord magnetico. Al fine di ottenere una minima coibentazione e stabilità meccanica, i sensori sono stati coperti con le proprie custodie e con il materiale estratto dallo scavo. I box sono stati leggermente incassati nel permafrost, per avere un ottimo ancoraggio al terreno ed evitare spiacevoli imprevisti derivanti dalle intemperie. Come anticipato al paragrafo precedente, l'input range dei digitalizzatori di entrambe le stazioni è stato portato a 16 Vpp.

La stazione RITT1 (Fig. 7), equipaggiata con Taurus s/n 2703 e sensore Trillium s/n 761, è stata collocata nel punto di coordinate: 73.47182° S, 165.61365° E, con quota 2302 m s.l.m. La registrazione è iniziata l'11/01/2017 alle 03.53 UTC, su CF etichettata con sigla ANT1STORE. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria, al momento dell'installazione, era di 12.7 V.



Figura 7. La stazione RITT1 (nella fase di disinstallazione) con indicato il posizionamento del sensore. Sullo sfondo si vede la parete fumarolizzata del cratere del M. Rittmann (credits Graziano Larocca, ©PNRA).

La stazione RITT2 (Fig. 8), equipaggiata con Taurus s/n 3146 e sensore Trillium s/n 569, è stata collocata nel punto di coordinate: 73.47135° S, 165.61723° E ad una quota di 2304 m s.l.m.

La registrazione è iniziata l'11/01/2017 alle 03.03 UTC, su CF etichettata con sigla ANT2STORE. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria era di 12.8 V.



Figura 8. La stazione RITT2 con in evidenza il posizionamento del sensore. Sullo sfondo la parete fumarolizzata del cratere del M. Rittmann (credits Andrea Cannata, ©PNRA).

Il giorno 19 gennaio 2017 è stata eseguita una missione per la disinstallazione delle stazioni posizionate sul vulcano Rittmann e successiva installazione sulla sommità del vulcano Melbourne. Per effettuare lo scarico dei dati sul vulcano Rittmann si è proceduto allo shutdown delle stazioni, estrazione delle CF e copia della cartella “store” (contenente i dati acquisiti in formato compresso) su un portatile, utilizzando una Virtual Machine Linux LUbuntu. Al termine dell’operazione di scarico dati, la CF viene nuovamente riposta nello slot della stazione sismica per il suo riutilizzo. Per quanto riguarda l’alimentazione, si è provveduto al test delle batterie per valutarne la condizione di carica, utilizzando un tester opportuno. Si è proceduto alla sostituzione della batteria della stazione RITT1 e si è deciso di mantenere la stessa batteria all’interno del box utilizzato per la stazione RITT2 perché ancora in condizioni di carica sufficienti al suo utilizzo per la successiva installazione.

La stazione RITT1 è stata disinstallata alle 21.33 UTC del 19/01/2017 con una tensione misurata ai capi della batteria di 11.7V, mentre la stazione RITT2 è stata disinstallata alle 21.26 UTC con una tensione misurata ai capi della batteria di 12.2V.

La Fig. 9 mostra la componente verticale dei segnali acquisiti sul M. Rittmann dalle 12:00 alle 24:00 del 17 gennaio 2017 alle due stazioni. Si notano diversi eventi sismici, il cui significato sarà investigato in lavori scientifici dedicati.

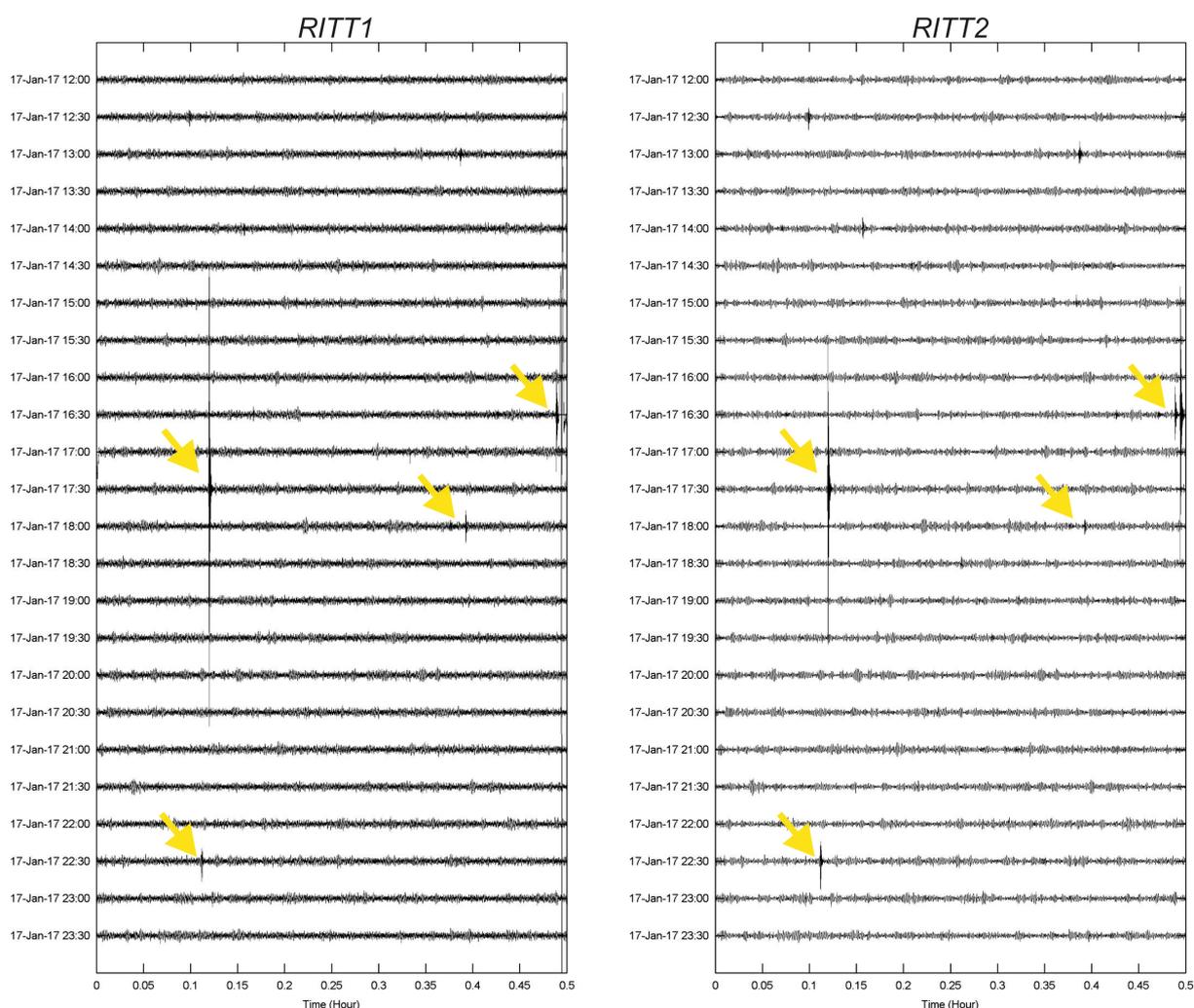


Figura 9. Sismogrammi delle componenti verticali delle stazioni RITT1 e RITT2, registrati dalle 12:00 alle 24:00 del 17 gennaio 2017. Le frecce gialle indicano alcuni eventi sismici che saranno studiati in futuri lavori scientifici.

2.3 Installazione sul vulcano Melbourne

Giorno 20 gennaio, si è proceduto all'installazione delle stazioni sismiche sulla sommità del vulcano Melbourne (Fig. 3 a, c). Anche per queste installazioni, così come avvenuto per quelle del Mt. Rittmann, l'input range dei digitalizzatori è stato mantenuto a 16 Vpp. La stazione siglata come **MEL01** è stata installata all'ingresso di un'ice cave denominata MC2, equipaggiata con data-logger Taurus s/n 2703 e sensore s/n 761. L'installazione è avvenuta nel punto di coordinate: 74.35516° S, 164.69722° E a quota 2749 m s.l.m. (Fig. 3 a, c; Fig. 10). Durante lo scavo per il collocamento del sensore, il terreno è risultato essere non molto uniforme e si è evidenziata l'assenza di permafrost. Il box contenente la strumentazione è stato posto accanto. L'antenna gps è stata posta proprio all'ingresso dell'ice-cave, in modo da permettere la visibilità dei satelliti per la sincronizzazione ottimale della stazione. La registrazione è iniziata il 19/01/2017 alle 23.30 UTC utilizzando la CF ANT1STORE come supporto di memorizzazione. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria era di 12.3 V.

La stazione inoltre è stata equipaggiata con un Arduino Nano [2017] a cui è stato connesso un sensore di temperatura. Ciò ha permesso di monitorare l'andamento della temperatura ambientale all'interno del box, conservando le misure sulla EEPROM interna dell'Arduino.

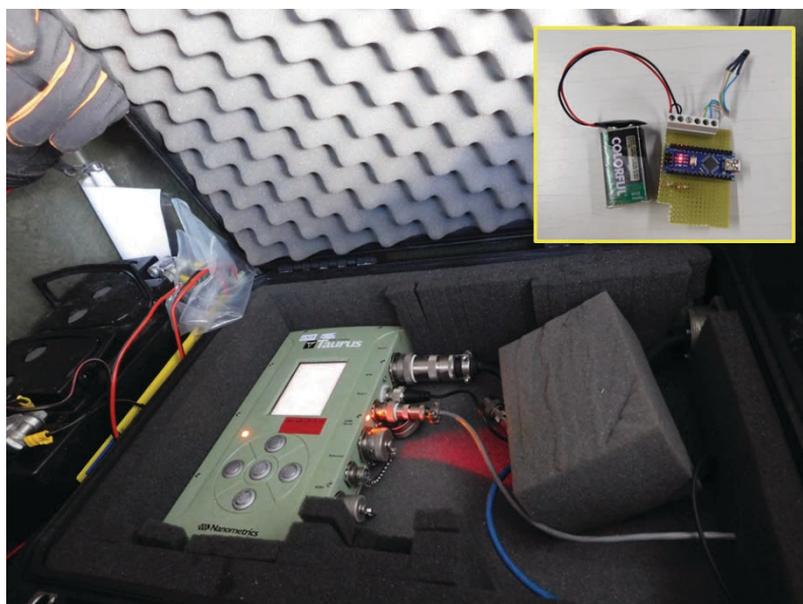


Figura 10. La stazione MEL01 con in evidenza il circuito di registrazione delle temperature (credits Graziano Larocca, ©PNRA).

La stazione siglata come **MEL02** è stata installata sulla sommità del vulcano Melbourne ad una distanza di circa 200 m da MEL01, nelle vicinanze di una delle due zone di atterraggio dell'elicottero (Fig. 3 a, c; Fig. 11). Il sensore sismico è stato posizionato all'interno di una buca realizzata nel terreno, costituito da materiale sciolto inglobato nel permafrost. La stazione, equipaggiata con la Taurus s/n 3146 e sensore s/n 569, è stata collocata nel punto di coordinate: 74.35686 S, 164.69951 E con quota 2718 m s.l.m. La registrazione è iniziata il 20/01/2017 alle 00.08 UTC. Come CF di registrazione è stata utilizzata quella con sigla ANT2STORE. La tensione di alimentazione misurata ai capi della batteria era di 12.3 V.



Figura 11. La stazione MEL02 (in fondo sulla destra l'elicottero) (credits Paola Del Carlo, ©PNRA).

Il 24/01/2017 viene svolta una missione in cui si effettua l'operazione di disinstallazione della stazione MEL01 e la sua ricollocazione in un'altra area sommitale del vulcano Melbourne. La stazione MEL01 è stata disinstallata alle 02.21 UTC del 24/01/2017 e re-installata come MEL03 nel punto di coordinate: 74.34966° S, 164.69162° E e quota 2710 m s.l.m. (Fig. 3 a, c; Fig. 12). Si è proceduto a realizzare due piccoli scavi nel terreno per permettere la collocazione del box strumentazione e del sensore. Il fondo è apparso solido e costituito da materiale sciolto inglobato nel permafrost. La stazione, equipaggiata con la Taurus s/n 2703 e sensore s/n 761, è stata messa in funzione alle 3.41 UTC del 24/01/2017. L'alimentazione di MEL03 è stata affidata alla stessa batteria già utilizzata per MEL01, risultata ancora efficiente e carica; la tensione misurata ai suoi capi era di 12.51 V. Il sensore di temperatura, costituito dall'Arduino Nano, è stato disinstallato per poter provvedere allo scarico dei dati dalla EEPROM.

Durante la stessa giornata la stazione MEL02 è stata ricontrollata, verificando che il funzionamento fosse regolare; si è quindi proceduto alla sola sostituzione della batteria con un'altra in condizioni di carica migliori.



Figura 12. La stazione MEL03 (sullo sfondo lo shelter gestito dall'ENEA) (credits Andrea Cannata, ©PNRA).

Nella giornata del 28/01/2017 sono state disinstallate entrambe le stazioni, MEL02 e MEL03, rispettivamente alle 20.23 UTC ed alle 22.07 UTC del 28/01/2017. La loro disinstallazione è avvenuta in maniera differente rispetto alle precedenti; infatti, dato l'esiguo tempo a disposizione, non si è effettuato lo scarico dei dati da CF che è stato rimandato alla fine della campagna, dopo il definitivo trasporto della strumentazione in base. In questo caso, le stazioni sono state "risvegliate" (si ricorda che i data-logger Taurus sono stati configurati per lavorare in modalità *Buffered*) ed il sensore riposto in maniera accurata all'interno del box, usando l'opportuno contenitore coibentato. Il box è stato quindi richiuso e posto all'interno dell'elicottero, dove, in fase di volo, si è proceduto ad eseguire correttamente lo shutdown e la disconnessione dell'alimentazione. In questo modo, si è riusciti ad evitare l'attesa dei 4/5 minuti necessari per l'accensione del controller di I/O (input/output) delle Taurus e dei numerosi minuti necessari per il trasferimento dei dati registrati.

La strumentazione recuperata è stata ricollocata nei pressi di due siti storici del vulcano Melbourne: VIL e VIL1. Le stazioni mobili ivi installate sono state rinominate con le sigle MEL04 e MEL05.

Tali siti furono individuati durante la campagna antartica 1988-1989 e facevano parte della rete clinometrica del vulcano Melbourne, che comprendeva altri tre siti, per un totale di 5 stazioni con sensore clinometrico (Casazza, 1989; Bonaccorso et al., 1997). In particolare, presso il sito VIL era presente anche una stazione sismica installata durante la successiva campagna antartica 1989-1990 dallo stesso personale che faceva parte della linea di ricerca 3 – Vulcanologia e Geotermia. Dal sopralluogo effettuato sul sito VIL, posto nel fianco ovest del Melbourne, ad una quota di circa 2000 m s.l.m., sono state rilevate diverse installazioni già presenti. Sono emerse delle casse in legno, vicine ad un'antenna yagi (Fig. 13). Provvedendo all'apertura dei coperchi, si è potuto rilevare che, nel tempo, l'interno si è riempito di ghiaccio nella parte superficiale. All'interno non è stata trovata traccia di strumentazione, ad eccezione di una batteria da 65 Ah, con un'etichetta risalente al 2003, che è stata prelevata e riportata in base per permetterne lo smaltimento in Italia. È stato osservato anche un altro pozzetto, più piccolo, in materiale sintetico, che molto probabilmente contiene il foro dove è inserito il sensore clinometrico. Il coperchio non è stato aperto perché chiuso con un tipo di chiave da quadro elettrico, che non era in nostro possesso; inoltre, l'insero della chiave risultava completamente ghiacciato e, avendo poco tempo a disposizione, non si è voluto tentare l'apertura forzata, evitando il rischio di rovinare la copertura.

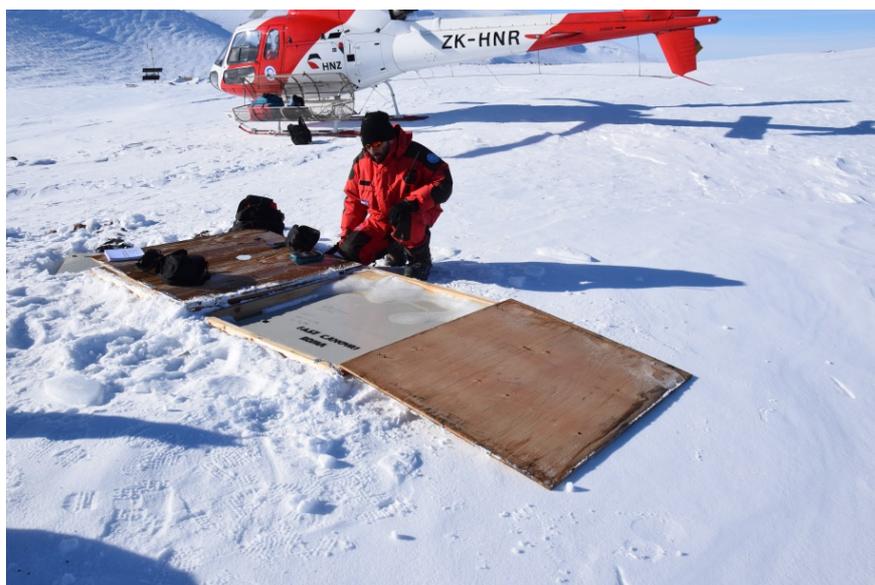


Figura 13. I contenitori in legno appartenenti al sito storico VIL (credits Paola Del Carlo, ©PNRA).

La stazione sismica mobile MEL04 è stata installata nei pressi della cassa di legno. Le coordinate del punto rilevate al GPS sono: 74.34488° S, 164.61031° E, 2033 m s.l.m. (Fig. 3 a, c; Fig. 14). La stazione, equipaggiata con la Taurus s/n 3146 e sensore s/n 569, è stata messa in funzione alle 21.16 UTC del 28/01/2017. Un apposito controllo alla batteria utilizzata per la stazione MEL01ha evidenziato un'adeguata carica (12.31 V), per cui si è deciso di mantenerla anche per MEL04.



Figura 14. La stazione MEL04 (sullo sfondo i contenitori in legno del sito storico) (credits Andrea Cannata, ©PNRA).

Nel sito VIL1 sono state trovate casse in legno analoghe a quelle individuate nel sito VIL (Fig. 15). Tali casse sono risultate vuote. Anche qui, accanto alle casse di legno, è stato ritrovato un box di materiale plastico che non è stato aperto per i motivi già riportati poco sopra.



Figura 15. I box utilizzati nel sito storico VIL1 (credits Paola Del Carlo, ©PNRA).

La stazione sismica mobile MEL05 è stata installata nelle vicinanze, utilizzando la Taurus s/n 2703 e il sensore s/n 761 ed è stata messa in funzione alle 23.05 UTC del 28/01/2017. Dopo un controllo alla batteria precedentemente utilizzata per MEL02, con il tester capacimetrico, si è deciso di utilizzarne un'altra, ricaricata in base, la cui tensione misurata era di 12.87 V. Il punto di installazione, verificato con il ricevitore GPS, ha come coordinate: 74.34269° S, 164.76828° E, e altitudine 1824 m s.l.m.; (Fig. 3 a, c; Fig. 16).

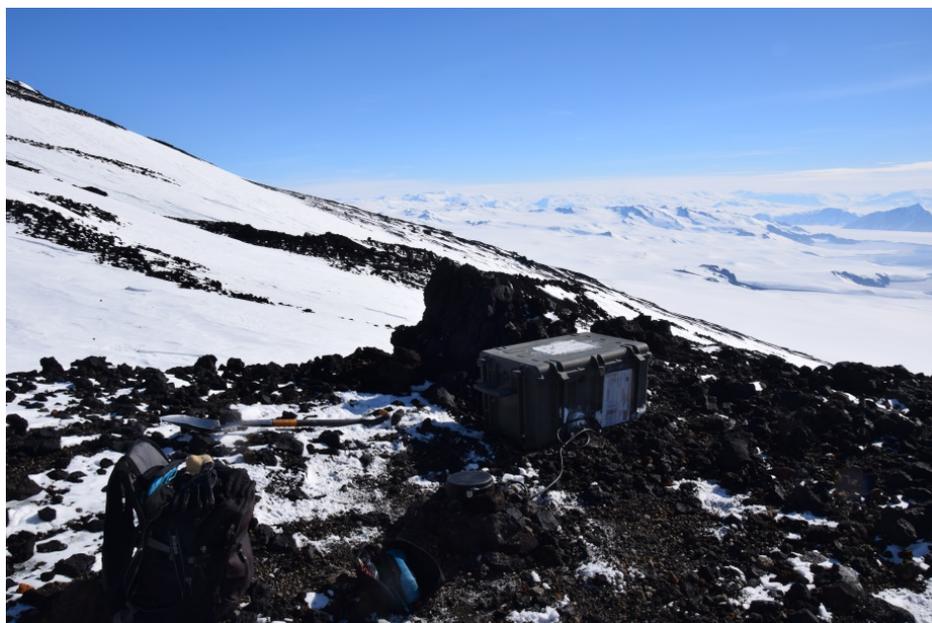


Figura 16. L'installazione della stazione MEL05 (credits Graziano Larocca, ©PNRA).

Entrambe le stazioni, MEL04 e MEL05, sono state disinstallate il 01/02/2017, alle 21.31 UTC e alle 20.26 UTC, rispettivamente.

La Fig. 17 mostra i segnali sismici registrati dalle stazioni MEL01 e MEL02, dal 20 al 24 gennaio 2017, con i relativi spettrogrammi. Anche in questo caso, si notano diversi segnali quali *microseism* a bassa frequenza (<2 Hz), un telesisma ($M_w=7.9$, avvenuto il 22 gennaio 2017 alle 04:30 UTC in Papua Nuova Guinea), eventi sismici locali a più alta frequenza, e un segnale continuo della durata di circa 30 ore, caratterizzato da frequenze comprese tra 2 e 4 Hz. Questi segnali, come quelli registrati in tutti gli altri siti del Melbourne, saranno analizzati in dettaglio nei prossimi mesi.

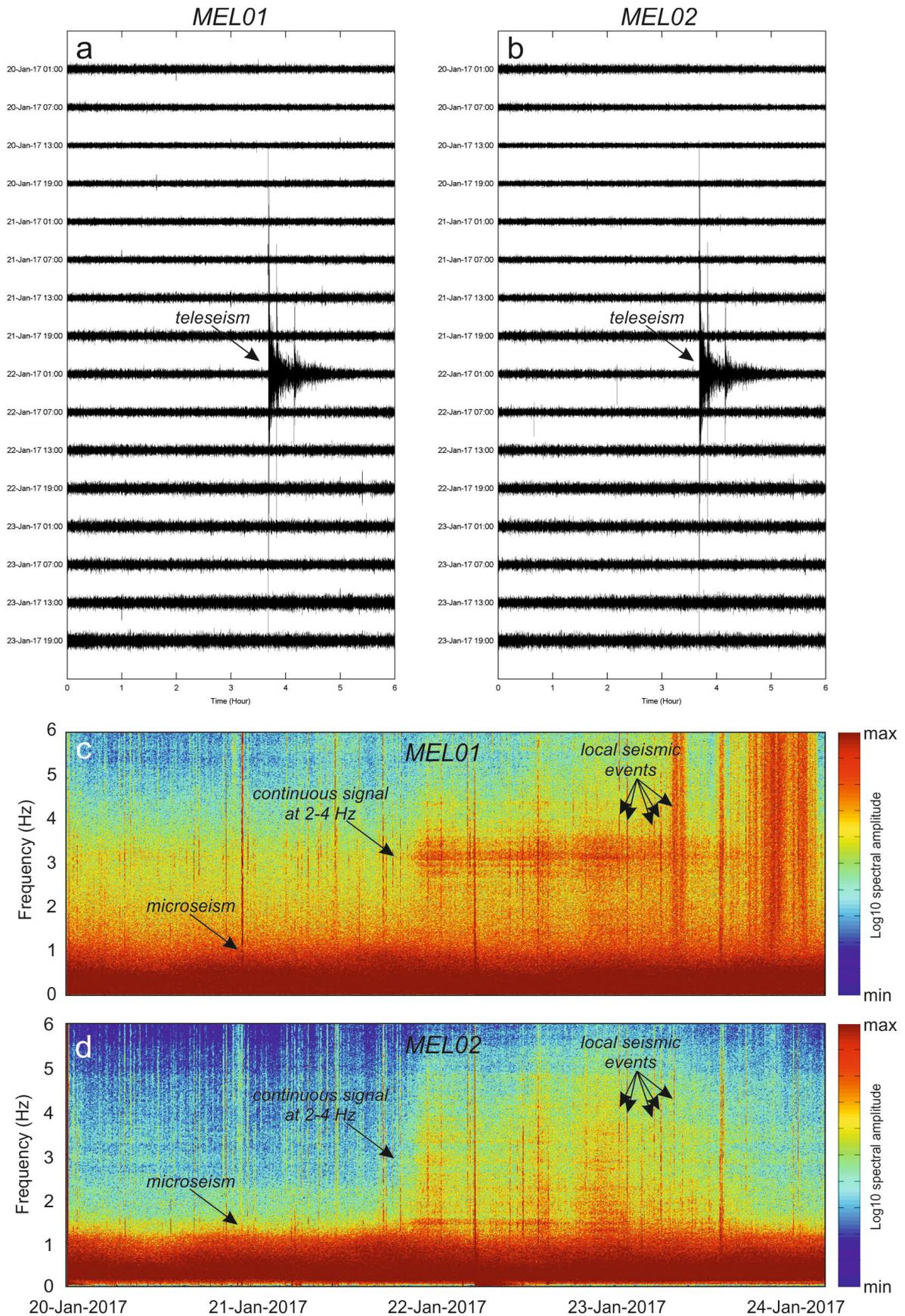


Figura 17. Sismogrammi (a, b) e relativi spettrogrammi (c, d) del segnale registrato dalla componente verticale delle stazioni MEL01 e MEL02 dal 20 al 24 gennaio 2017.

3. Test di trasmissione radio in banda UHF

Durante la campagna è stata preparata la strumentazione per effettuare test di trasmissione dei dati sismici dal vulcano Melbourne. Le radio, messe a disposizione dall'INGV Osservatorio Etneo, sono dei radio modem operanti in banda UHF (Ultra High Frequency) *Satel Satellite 3ASd* dotati di display, potenza in trasmissione max di 1W, channel spacing di 12,5KHz e velocità di trasferimento su seriale e protocollo RS232 di 9600 bps (Figg. 18 e 19).

In particolare, due radio sono state configurate impostando la potenza ad 1 W e la frequenza a 442.300 MHz, scelta dopo un colloquio ed una verifica, con analizzatore di spettro, insieme al personale ENEA della base, che gestisce il settore telecomunicazioni. Dal lato trasmittente è stato realizzato un cavo opportuno per l'alimentazione e la connessione della radio alla seriale del laptop; quest'ultimo è stato utilizzato per generare delle stringhe di test da trasmettere alla radio ricevente, direttamente dai siti remoti. Un altro cavo è stato realizzato per alimentare e connettere la radio ricevente e permettere la ritrasmissione delle stringhe alla stazione trasmittente remota. In questo modo, utilizzando un software per la comunicazione seriale, dal sito remoto è possibile verificare il link radio in entrambi i sensi direzionali, senza la necessità di personale in base per la verifica di ricezione. Il cavo utilizzato in ricezione è stato successivamente modificato per aggiungere i collegamenti seriali, permettendo l'utilizzo di un altro laptop per registrare le stringhe di test ricevute dai siti remoti.

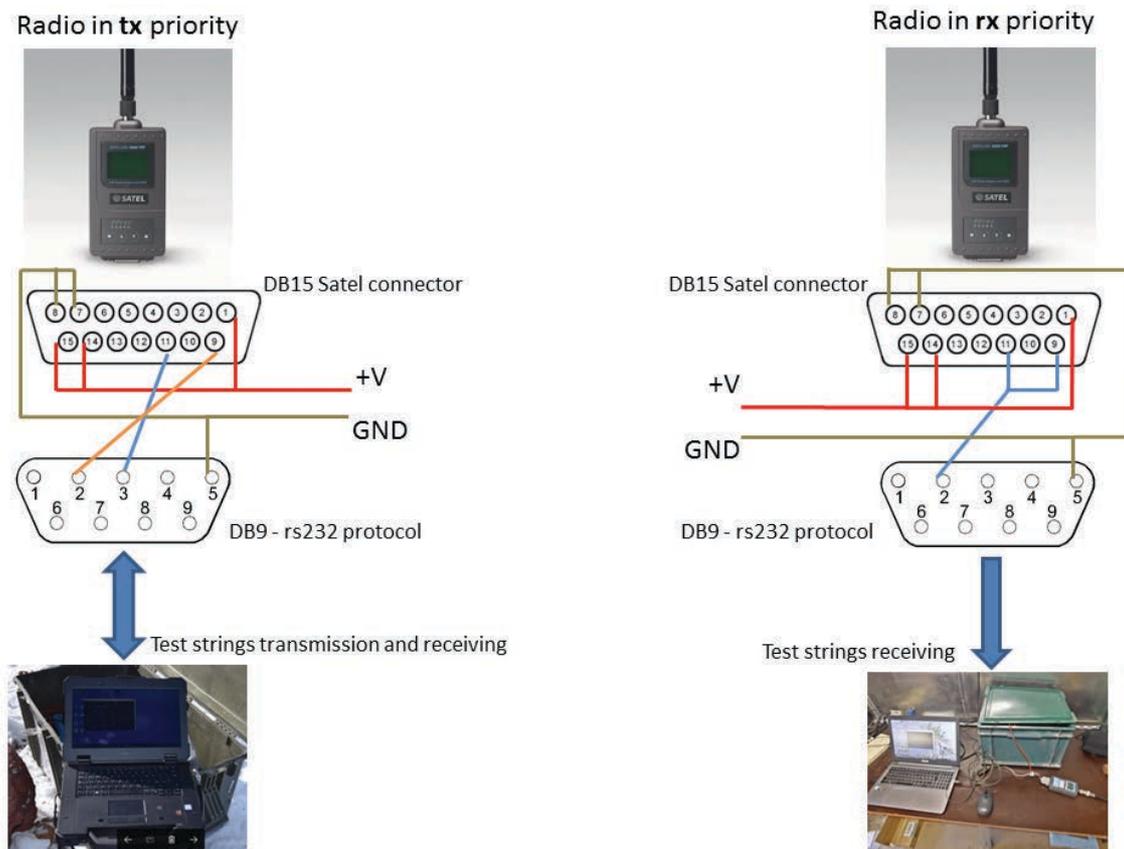


Figura 18. Piedinatura e connessioni seriali.

Le radio utilizzate non possono trasmettere e ricevere contemporaneamente, poiché i dati verrebbero persi. Il tipo di comunicazione implementato è quindi half-duplex.

Le radio Satel offrono il settaggio di *priority RX / TX*. In particolare, le radio che sono in trasmissione vengono settate di default in *priority TX*; in questa modalità, ogni volta che arrivano dati nella seriale, il radio modem passa dalla modalità stand by alla modalità trasmissione, per inviare i dati. Se è in corso una ricezione dati, questa viene subito disattivata per permettere la trasmissione. Questo settaggio è stato usato per la radio portata nei siti remoti.

La radio lasciata in base è stata settata con *priority RX*; in questa modalità, la radio cerca di ricevere tutti i dati presenti in aria e nel caso ci siano dei dati da trasmettere, li bufferizza, finché non ci sono più dati da ricevere [SATEL OY, 2014]. Grazie a questo metodo è possibile realizzare un cortocircuito tra i *pin tx* e *rx* della radio, per “rimbalzare” tutti i dati in ricezione di nuovo al sito remoto.



Figura 19. I test effettuati con le radio UHF in laboratorio (credits Graziano Larocca, ©PNRA).

Su un palo metallico presente sul tetto di uno dei containers esterni della base, messo a disposizione provvisoriamente per eseguire i test di trasmissione, è stata fissata un'antenna *yagi* a 5 elementi. Il cavo RF è stato introdotto all'interno del container, dove è stata collocata la radio in ricezione e le batterie per alimentarla. L'antenna è stata installata con *polarizzazione orizzontale* e direzionata verso la sommità del vulcano Melbourne (Fig. 20).



Figura 20. L'antenna yagi installata su un container e la radio ricevente all'interno (credits Graziano Larocca, ©PNRA).

Le prove di trasmissione sono state eseguite il 29/01/2016 sul vulcano Melbourne, dai siti denominati MEL02, MEL03, MEL04 e MEL05 (Fig. 21). Le prove hanno previsto l'uso di un portatile nel sito remoto per inviare una prima stringa di intestazione che descriveva il sito di test e lo *start time*, proseguendo poi con l'invio di stringhe automatiche, utilizzando l'opzione *short test blocks* delle radio Satel (utilizzata per individuare la direzione ottimale di posizionamento dell'antenna yagi in trasmissione). I tests hanno dato esito positivo nei siti MEL02, MEL03 e MEL04, mentre in MEL05 non è stata rilevata alcuna possibilità di trasmissione con link diretto. Per questo sito, nel suo eventuale utilizzo futuro, si dovrà prevedere un ulteriore punto per la ripetizione del segnale radio.

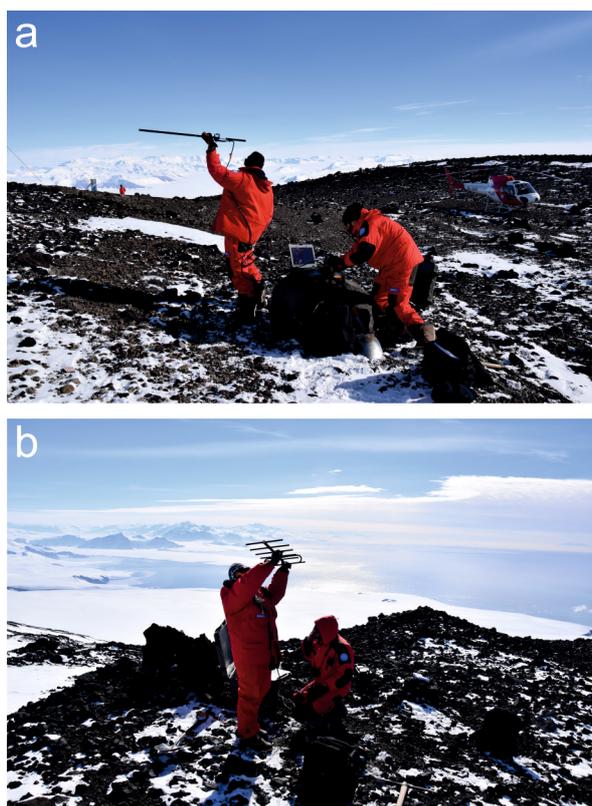


Figura 21. Test di trasmissione eseguiti sul campo nei siti MEL03 (a) e MEL05 (b) (credits Paola Del Carlo e Andrea Cannata, ©PNRA).

4. L'acquisizione e lo scarico dati delle stazioni mobili

I dati registrati dalle stazioni Taurus sono archiviati in *real-time* all'interno di CF che vengono estratte dal loro alloggio per permettere lo scarico dati. Per l'utilizzo in Antartide sono state scelte delle CF da 16 GB della *Delkin Devices Industrial*, consigliate dalla stessa casa produttrice del data-logger, per la loro affidabilità anche in condizioni estreme; sono infatti garantite per temperature fino a -40°C .

Per lo scarico dati sono stati testati e utilizzati tre metodi:

1. Interfaccia web Nanometrics Taurus;
2. Interfaccia web Nanometrics Apollo Project;
3. Doppia CF mediante doppio slot.

Il primo metodo consiste nel collegamento locale diretto di un portatile al digitalizzatore Taurus. È quindi possibile collegarsi, mediante browser, al server web della Taurus, accedendo alle

funzioni integrate per il download dei segnali registrati. Tale metodo è stato usato nel periodo di registrazione a Tethys Bay e non prevede l'utilizzo di nessun altro software aggiuntivo. Lo scarico dati è semplificato, ma necessita di lunghi tempi.

Il secondo metodo è stato usato nel secondo periodo di campagna in Antartide per lo scarico dati dei siti sul vulcano Rittmann e sul vulcano Melbourne. È necessario utilizzare un software Nanometrics denominato *Apollo Project* (Fig. 22), che permette di scaricare i dati dai file compressi, chiamati *Store*, generati nelle CF e nei quali il data-logger registra i segnali. Le CF sono formattate secondo il file system Linux *Ext3*, ed è quindi necessario, in fase di download dei dati, l'utilizzo di un sistema operativo Linux o dei driver opportuni per Windows. Avendo a disposizione un laptop *full rugged* equipaggiato con sistema operativo Windows 10, si è scelto di adoperare un sistema operativo *guest* Linux, inserito in una Virtual Machine (VM) gestita dall'*host*.

Apollo Project permette di estrarre quantità elevate di dati in tempi relativamente brevi. Tuttavia, sono state riscontrate alcune problematiche legate all'utilizzo frequente del software ed al file di configurazione denominato *binder*, che hanno allungato di molto i tempi per la corretta estrazione dei dati in laboratorio. Inoltre, sono stati estratti anche i dati relativi allo stato di salute della strumentazione *SOH*, in formato CSV; essi danno la possibilità di analizzare alcuni parametri legati al funzionamento della stazione come la temperatura, la tensione di alimentazione e la ricezione del segnale GPS.

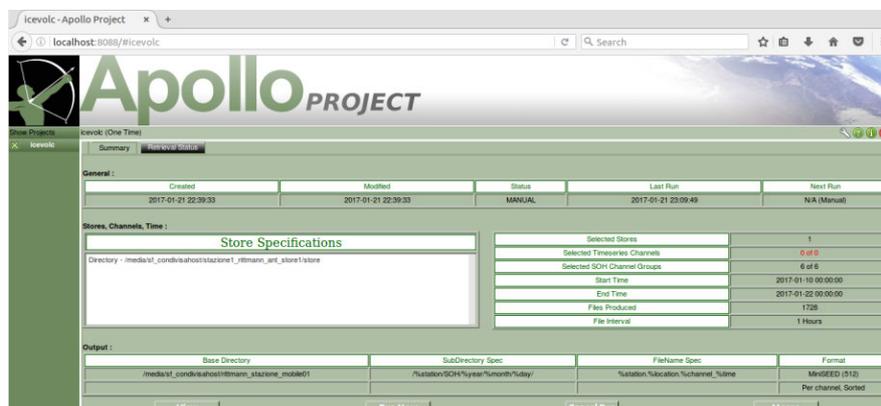


Figura 22. Interfaccia del software Nanometrics denominato “Apollo Project”.

Il terzo metodo si basa sull'utilizzo di due CF per ogni stazione, utilizzando un opportuno adattatore da interfaccia IDE HD (di cui la stazione è stata, in origine, dotata per il collegamento di hard-disk da 1.8 pollici) a CF,. La seconda CF è utilizzata dalla stazione per registrare i dati direttamente in file in formato SEED, eseguendo una conversione in tempo reale dei dati compressi dallo *Store* dell'altra CF. In questo modo, lo scarico dati è semplice e veloce perché basta copiare, su un supporto di archiviazione, i file SEED generati. Purtroppo, durante la campagna in Antartide questo metodo non è stato impiegato perché non ha funzionato sulle stazioni utilizzate, nonostante fosse già stato ampiamente testato in Italia su altre stazioni. Un'ipotesi sul mancato funzionamento potrebbe essere riconducibile alla differente versione del *firmware* utilizzato nelle stazioni in Antartide, rispetto a quello dei data-logger usati in Italia (questi ultimi equipaggiati con l'ultima versione disponibile). Sarebbe stato possibile provare ad aggiornare il *firmware* delle stazioni. Tuttavia, considerando i rischi che comporta una tale operazione e la eventuale conseguenza di perdere numerosi giorni di acquisizione, si è preferito l'utilizzo del software *Apollo Project*.

5. Realizzazione di un dispositivo prototipo per il monitoraggio delle temperature

In laboratorio è stato realizzato un prototipo di mini data-logger per l'acquisizione delle temperature all'interno dei box contenenti la strumentazione sismica. L'obiettivo è stato conseguito

utilizzando una mini board Arduino Nano e assemblando, in base, il prototipo su un circuito stampato millefori. Per misurare la temperatura è stato connesso un sensore digitale *Maxim Dallas DS18B20* capace di misurare temperature nel range -55°C / $+125^{\circ}\text{C}$ con errore di ± 0.5 gradi.

Arduino Nano V 3.0 è una piccola scheda elettronica con hardware open source che integra un microcontrollore ATMEGA 328 ed è dotata delle stesse potenzialità della più diffusa Arduino UNO ma con dimensioni ridotte (18×24 mm). Opera ad una frequenza di clock di 16 MHz, possiede una memoria flash da 32KB, una memoria EEPROM da 1KB ed è dotata di un'interfaccia miniB-USB per la connessione ad un PC (Arduino 2017).

La Fig. 23 mostra i collegamenti effettuati tra la scheda Arduino Nano ed il sensore di temperatura. In questo caso il sensore è stato alimentato in maniera normale (rispetto alla modalità denominata "parassita"), utilizzando 3 linee: *power*, *ground* e *bus data wire*. Sulla linea dati è necessario inserire una resistenza di pull-up da 4.7 KOhm. Il consumo del sensore, misurato in laboratorio, si è rivelato essere pari a 0,5 W.

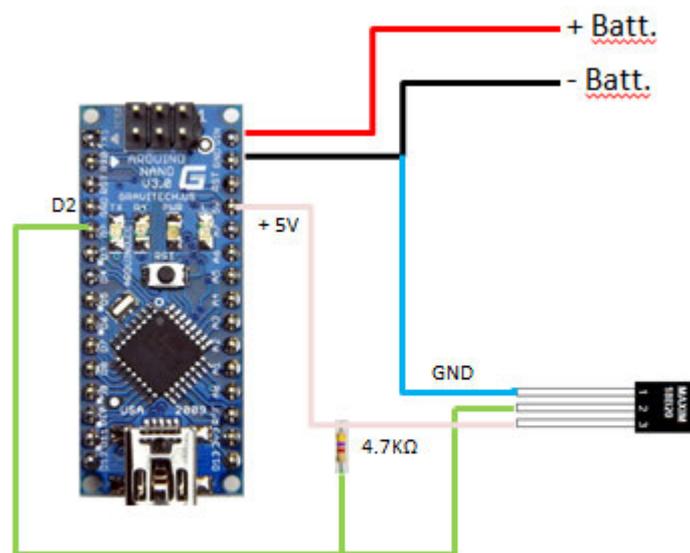


Figura 23. Schema di collegamento dell'Arduino Nano con il sensore Maxim Dallas DS18B20.

Non avendo a disposizione slot per memorie di massa, si è deciso di utilizzare la memoria interna EEPROM dell'Arduino per la memorizzazione dei valori di temperatura. Avendo a disposizione 1024 locazioni di memoria per memorizzare numeri che vanno da 0 a 255, si è pensato di normalizzare i valori letti dal sensore in questo range, rendendo il valore numerico 0 equivalente alla temperatura di -55°C .

Nella Fig. 24 è possibile osservare le temperature registrate nel sito MEL05, sia dal prototipo realizzato, che dal sensore di temperatura integrato nella stazione Taurus. Come si può notare, la temperatura registrata dal prototipo raggiunge dei picchi di massimo e minimo relativi più elevati e la deviazione standard calcolata (7.57) è maggiore rispetto a quella calcolata sui valori di temperatura registrati dal sensore integrato della Taurus (5.10). Questo è diretta conseguenza del fatto che il prototipo si trova subito all'interno del box, mentre la stazione Taurus è inclusa all'interno di un ulteriore contenitore di materiale plastico che aumenta la coibentazione totale del sistema più interno e rallenta lo scambio termico fra i due ambienti (osservabile anche dal "ritardo" nel raggiungimento dei massimi e minimi di temperatura registrata dalla Taurus).

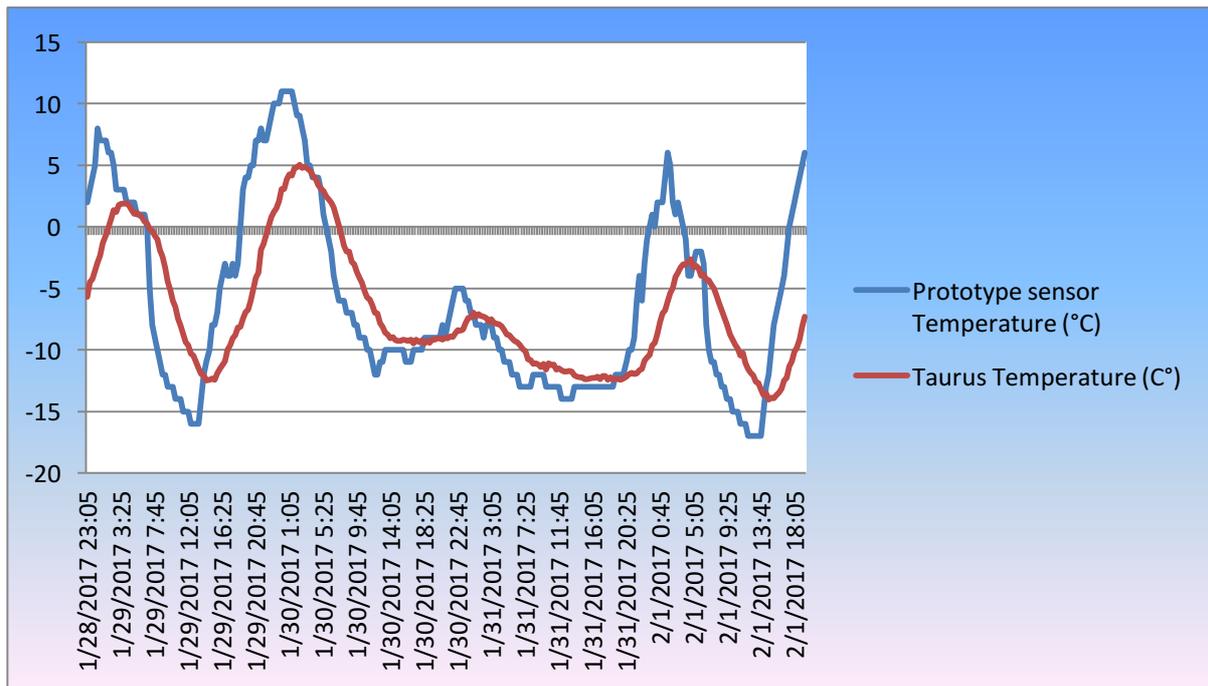


Figura 24. Confronto tra le temperature registrate con il data-logger prototipo e la stazione Taurus in MEL05.

Il dispositivo è stato programmato per eseguire campionamenti di temperatura ogni 20 minuti, permettendo un'autonomia di storage su EEPROM di circa 14 giorni. Per utilizzare opportunamente l'Arduino Nano sono stati realizzati tre sketch, mediante l'IDE ufficiale Arduino v.1.6.13: *datalog_temperature*, *leggi_eeprom*, *cancella_eeprom*. I tre sketch utilizzano la libreria EEPROM che fornisce un'interfaccia facile da usare per interagire con la memoria non volatile interna dei dispositivi Arduino.

- “*datalog_temperature*” è lo sketch che permette ad Arduino di campionare le temperature, utilizzando il sensore, e registrarle sulla memoria EEPROM interna. Sono state utilizzate due librerie open source: (i) *OneWire* per l'uso di dispositivi con uscita digitale che possono essere collegati con 2 o 3 pin al massimo e (ii) *DallasTemperature* per attivare l'acquisizione del sensore di temperatura (libreria derivata comunque dalla OneWire);
- “*leggi_eeprom*” è lo sketch che consente la lettura e lo scarico dei dati letti dalla memoria EEPROM di Arduino, utilizzando l'utilità *Monitor Seriale* compresa nel pacchetto software Arduino IDE;
- “*cancella_eeprom*” è lo sketch che serve a cancellare e resettare ad un valore di default la memoria EEPROM di Arduino.

Durante la campagna i tre sketches sono stati eseguiti seguendo un protocollo ben definito. Prima dell'installazione veniva caricato lo sketch “*cancella_eeprom*” per inizializzare la memoria del dispositivo. Successivamente veniva caricato “*datalog_temperature*” che preparava il dispositivo alla sua funzionalità di acquisitore di temperature. A questo punto il dispositivo era pronto per l'installazione in campo. Una volta terminata l'acquisizione, veniva caricato sul dispositivo lo sketch “*leggi_eeprom*” per scaricare le misure di temperatura registrate.

Questa procedura, un po' complessa, poteva essere evitata realizzando un unico sketch che incorporasse i comportamenti dei tre sketches in concomitanza dell'uso di tre pulsantini connessi all'Arduino Nano. La mancata disponibilità dei componenti elettronici necessari e soprattutto l'esiguo tempo a disposizione per reperirli e realizzare l'upgrade hardware e software, ha portato all'attuazione della procedura con i tre sketches.

Conclusioni

La prima campagna di acquisizione sismica del progetto *ICE-VOLC* nella Baia Terranova, eseguita da novembre 2016 a febbraio 2017, nell'ambito della XXXII spedizione italiana in Antartide, ha mostrato una grande abbondanza e varietà di segnali sismici. In particolare, sono stati chiaramente registrati sia *microseism* che *ice-quakes* strettamente legati alle dinamiche idrosferiche e criosferiche. Sui vulcani Melbourne e Rittmann sono stati anche registrati segnali che somigliano a eventi a lungo periodo per forma d'onda e contenuto spettrale. Tuttavia, per chiarire la natura di tali segnali, saranno necessari ulteriori approfondimenti, che deriveranno da serie temporali più lunghe e reti sismiche più dense. Per tale motivo, nell'ambito del suddetto progetto ICE-VOLC, nei prossimi anni, saranno installati altri sismometri, sia permanenti, che temporanei, nelle aree investigate. In particolare, nella prossima campagna, è prevista l'installazione di una stazione sismica permanente oltre a due stazioni mobili che registreranno in continuo durante tutto il periodo di attività estiva antartica.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato finanziato dal progetto PNRA14_00011 ICE-VOLC (multiparametric Experiment at antarctica VOLCanoes: data from volcano and cryosphere-ocean-atmosphere dynamics). Gli autori ringraziano il PNRA e l'ENEA per il preziosissimo supporto logistico, il CNR per il supporto scientifico, l'Osservatorio Etneo dell'INGV per la strumentazione messa a disposizione per la Campagna Antartica, nonché gli altri componenti del gruppo di lavoro del progetto ICE-VOLC. Si ringraziano, inoltre, il direttore dell'INGV-OE Eugenio Privitera, il responsabile dell'UFRI (Unità Funzionale Reti e Innovazione) Danilo Reitano per la disponibilità del personale coinvolto e i consigli ricevuti, Luciano Zuccarello per la strumentazione messa a disposizione, Giacomo Bonanno per il supporto tecnico fornito per l'attuazione dei test di trasmissione, il responsabile scientifico Domenico Di Mauro per i preziosi consigli, gli elicotteristi Jamie Henery and Bob McElhinney, la guida alpina Davide De Podestà, il capo operazioni Bruno Pagnanelli, il capo base Riccardo Bono e i capi spedizione Alberto Della Rovere e Franco Ricci. Infine ringraziamo il revisore per i preziosi consigli che hanno contribuito al miglioramento del manoscritto.

Bibliografia

- Bonaccorso A., Maione M., Pertusati P.C., Privitera E., and Ricci C.A., (1991). *Fumarolic activity at Mt. Rittmann Volcano (northern Victoria Land, Antarctica)*. Mem. Soc. Geol. It., 46, 453-456.
- Bonaccorso A., Falzone G., Gambino S. and Privitera E., (1997). *The Volcanological Observatory of Mount Melbourne, Northern Victoria Land, Antarctica*. In: "The Antarctic Region: Geological Evolution and Processes", pp 1083-1086.
- Casazza G., (1989). *Rapporto sulla Campagna Antartica Estate Australe 1988-89*. ANT 89/4.
- Gambino S. and Privitera E., (1996). *Mt. Melbourne Volcano, Antarctica: Evidence of Seismicity Related to Volcanic Activity*. Pure and Applied Geophysics, 146, 2.
- Gambino S. and Privitera E., (1994). *Characterization of Earthquakes Recorded by Mt. Melbourne Volcano Seismic Network (Northern Victoria Land, Antarctica)*. Terra Antarctica 1, 167-172.
- Gambino S., Aloisi M., Falzone G. and Ferro A., (2016). *Tilt signals at Mount Melbourne, Antarctica: evidence of a shallow volcanic source*. Polar Research, 35, 28269, <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v35.28269>.
- Grob M., Maggi A. and Stutzmann E., (2011). *Observations of the seasonality of the Antarctic microseismic signal, and its association to sea ice variability*. Geophys. Res. Lett., 38, L11302, doi:10.1029/2011GL047525.
- Hasselmann K., (1963). *A statistical analysis of the generation of microseisms*. Rev. geophys. Space Phys., 1, 177-210.

- Kyle P.R., (1989). *McMurdo Volcanic Group, western Ross Embayment*. In *Volcanoes of the Antarctic Plate and Southern Oceans* (eds. LeMasurier W.E. and Thomson J.W.), AGU Antarctic Research Series, 48, pp. 19-145.
- Lyon G.L., (1986). *Stable Isotope Stratigraphy of Ice Cores and the Age of the Last Eruption at Mount Melbourne, Antarctica*. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 29, 135-138.
- Podolskiy E.A., and Walter F., (2016). *Cryoseismology*. *Rev. Geophys.*, 54, doi:10.1002/2016RG000526.
- SATEL OY, (2014), *Satellite-3AS User Guide Vers. 3.6*.
- Nanometrics Inc., (2012), *Taurus Portable Seismograph Version 3.5 User Guide*.
- Arduino, (2017). *Arduino Nano*, Web page, <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2017 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia