

# Rapporti tecnici INGV

**Progetto “Messina 1908 – 2008”.  
Rapporto della campagna OBS nell’area  
Eoliana e dello Stretto di Messina**

# 98



## **Direttore**

Enzo Boschi

## **Editorial Board**

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

## **Segreteria di Redazione**

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



# Rapporti tecnici INGV

## **PROGETTO “MESSINA 1908 – 2008”. RAPPORTO DELLA CAMPAGNA OBS NELL’AREA EOLIANA E DELLO STRETTO DI MESSINA**

Giuseppe D’Anna<sup>1</sup>, Giorgio Mangano<sup>1</sup>, Antonino D’Alessandro<sup>1</sup>, Roberto D’Anna<sup>1</sup>,  
Giuseppe Passafiume<sup>1</sup>, Stefano Speciale<sup>1</sup>, Santi Passarello<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Centro Nazionale Terremoti – OBS Lab Gibilmanna)

<sup>2</sup>INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Laboratori Nazionali del Sud – Catania)

# 98



## Indice

Introduzione.....	5
1. Descrizione dello strumento.....	6
2. La campagna di deposizione .....	7
3. La campagna di recupero .....	9
4. La base autolivellante .....	10
4.1 La meccanica.....	11
4.2 L'elettronica di controllo .....	12
5. Analisi preliminare dei dati.....	15
6. Conclusioni e prospettive future.....	20
Ringraziamenti.....	20
Bibliografia.....	20



## Introduzione

Il Centro Nazionale Terremoti (CNT), in collaborazione con la sezione di Catania, ha progettato e realizzato un esperimento di sismica passiva nell'area Calabro-Peloritana il cui scopo è fornire nuovi dati sismici volti a comprendere come le dinamiche superficiali ed il processo di subduzione interagiscano tra loro, migliorando così la comprensione dei processi sismogenetici nella zona colpita dal terremoto del 1908 [Margheriti et al., 2008; <http://dpc-s5.rm.ingv.it>].

Con l'obiettivo di ridurre l'errore di localizzazione degli ipocentri degli eventi verificatisi nell'area interessata dal progetto, ad integrazione delle 30 stazioni della rete sismica nazionale già presenti nell'area in esame, l'esperimento ha previsto l'installazione di 15 stazioni della rete mobile e la deposizione di 5 OBS/H (*Ocean Bottom Seismometer with Hydrophone*), per un numero complessivo di 50 stazioni sismiche larga banda 3C coinvolte nel progetto.

La campagna sismica a terra ha avuto inizio nell'ottobre 2007 e ad oggi (gennaio 2009), le stazioni sono ancora in funzione, mentre la deposizione dei cinque OBS/H è avvenuta tra il 15 e il 18 luglio 2008 ed il loro recupero è stato effettuato tra il 6 e il 7 novembre 2008.

Gli OBS/H, progettati e realizzati presso l'OBS Lab di Gibilmanna, sono stati equipaggiati con sismometri Nanometrics Trillium 120p (120s - 175 Hz) e con sensori differenziali di pressione (*Differential Pressure Gauge*) Cox-Webb, con banda passante tra i 200s e i 2Hz.

La base autolivellante sulla quale è installato il sensore sismico è stata realizzata anch'essa presso l'OBS Lab di Gibilmanna nei mesi intercorsi tra il recupero degli OBS impiegati nella prima campagna NERIES, avvenuto nel marzo 2008, e il luglio 2008, data della deposizione degli OBS del progetto "Messina 1908 – 2008". La necessità di realizzare una nuova base autolivellante in tempi così brevi, è stata una diretta conseguenza dei risultati negativi ottenuti dalla base *Nautilus* in occasione della già citata campagna NERIES [D'Anna et al., 2008]: due sismometri su tre non si erano livellati nel *range* di  $\pm 0.2^\circ$ , massimo *tilt* dinamico previsto per i Trillium 120p, provocando il non funzionamento degli stessi. Come meglio verrà analizzato nei paragrafi successivi, le problematiche affrontate nella realizzazione di questi dispositivi di livellamento sono state molteplici e di difficile soluzione. L'analisi preliminare dei dati ha evidenziato che soltanto uno dei cinque sensori sismici ha funzionato correttamente per l'intero periodo, mentre gli altri quattro hanno funzionato in media per circa 20 giorni. Causa di ciò, un rapido consumo delle batterie dovuto ad un livellamento sì compreso nel *range* di  $\pm 0.2^\circ$  dall'orizzontale, condizione necessaria perché il sismometro sia in grado di rilevare eventi sismici, ma oltre il *range* di  $\pm 0.1^\circ$ , condizione necessaria perché i consumi del Trillium120p si riducano da circa 2.5W ai 600mW nominali.

I risultati ottenuti da questo esperimento, sono comunque da inquadrare in una successione degli eventi che ha fatto sì che lo sviluppo di questa nuova base autolivellante fosse condizionato da una certa urgenza: al CNT premeva presentare i dati raccolti dagli OBS al convegno "*Scienza e società a 100 anni dal grande Terremoto*", che si sarebbe tenuto a Reggio Calabria dal 10 al 12 dicembre 2008 e visti gli insuccessi della base *Nautilus* nel precedente esperimento, ci si è trovati di fronte alla necessità di progettare e sviluppare un nuovo sistema di livellamento per i Trillium 120p nell'arco di tre mesi e mezzo. Queste, oltre a quelle di natura economica, le ragioni per cui non è stato possibile procedere secondo un iter che per noi, come per le aziende che operano nel settore marino, è uno standard:

- Progettazione;
- Realizzazione del prototipo;
- Test in laboratorio (e. g. tavola vibrante)
- Test in camera iperbarica;
- Test in mare;
- Produzione in serie;

E' nostra intenzione, in un prossimo futuro, portare avanti lo sviluppo di questa base autolivellante, con tempi e risorse finanziarie ed umane più appropriate. Ciò che riportiamo in questo Rapporto Tecnico vuole essere una descrizione del lavoro sin qui svolto, anche se non conclusivo e risolutivo, ma che ci ha già permesso di individuare delle problematiche fondamentali la cui soluzione sarà oggetto di studi più approfonditi. Rimane positivo il fatto che le basi già realizzate riescono già da adesso a livellare automaticamente un sensore entro un *range* di  $\pm 0.2^\circ$ .

Gli OBS/H dell'INGV verranno nuovamente depositi con la stessa disposizione del progetto "Messina 1908 – 2008" nell'estate 2009, nell'ambito del progetto S5 finanziato dal Dipartimento della Protezione

Civile. Per sopperire alle problematiche riscontrate nella marinizzazione del Trillium 120p, si è scelto di installare a bordo degli OBS dei sensori Guralp CMG40T-OBS (60s – 100 Hz), progettati per installazioni in mare sino a profondità di 6000 m e già dotati di una propria base autolivellante. Il motivo per il quale non si è utilizzato nelle passate campagne questo tipo di sensore è da addebitare unicamente al fatto che sui fondi DPC della convenzione 2005-2007 non è stato possibile inserire l'acquisto di questi specifici sensori, mentre erano disponibili i Trillium 120p.

## 1. Descrizione dello strumento

I cinque OBS/H utilizzati nella campagna “Messina 1908-2008” (num. di serie A2, A3, A4, A5 ed A6) fanno parte del primo gruppo di otto OBS/H, realizzati tra il 2006 e il 2007 presso l'OBS Lab di Gibilmanna su finanziamento del Dipartimento della Protezione Civile.

Il sismometro a bordo degli strumenti è un **Nanometrics Trillium 120p**, con banda passante compresa tra 120s e 175 Hz, installato su una base autolivellante, anch'essa realizzata presso l'OBS Lab di Gibilmanna (vedi *Paragrafo 4*), posta all'interno di una bentsfera da 17” che ne permette la deposizione sino a 6000 m di profondità. L'OBS/H è inoltre dotato di un sensore differenziale di pressione (**DPG**) realizzato da Cox e Webb, che permette di rilevare segnali di pressione in una banda compresa tra i 500s e i 2 Hz.

I segnali provenienti dal sismometro e dal DPG vengono digitalizzati e registrati da un *datalogger* a 4 canali e 21 bit della **SEND** denominato **Geolon MLS**, capace di supportare sino a 12 *Flash Cards* da 2 Gb e con una frequenza massima di campionamento pari a 200 Hz. I segnali provenienti dal DPG vengono prima pre-amplificati da un'apposita scheda elettronica installata all'interno del Geolon MLS: tale operazione comporta un taglio alle basse frequenze intorno ai 200s.

Il sismometro è stato dotato di un sistema di alimentazione indipendente da quello della catena *datalogger*-DPG; questo per impedire che eccessivi assorbimenti del sensore sismico, dovuti ad esempio ad un livellamento non perfetto, compromettano il sistema di alimentazione del *datalogger*, comportando una perdita di dati. Il Trillium 120p presenta un *tilt* dinamico pari a  $\pm 0.2^\circ$ , ma pur continuando a funzionare, già a  $\pm 0.1^\circ$  dalla orizzontale, il suo assorbimento passa da 600 mW a circa 2.5 W. Questo da un'idea di quanto complesso sia installare questo tipo di sensore in mare, in quanto errori di  $\pm 0.1^\circ$  sul livellamento comportano un assorbimento pari a oltre 4 volte quello in perfetto livellamento e quindi una durata delle batterie che si riduce di oltre  $1/4$ <sup>1</sup>. Per analizzare l'andamento dell'assorbimento del Trillium 120p, a bordo dell'OBS A5, sulla linea di alimentazione del sensore, è stato installato un *logger* di tensione e corrente della SEND, in grado di registrare questi parametri in un file di testo archiviato su una scheda di memoria SD.



**Figura 1** L'OBS/H A6 durante le fasi di deposizione.

<sup>1</sup> **N.B.** La sostanziale variazione di assorbimento del Trillium 120p in funzione degli errori di livellamento è un problema che può presentarsi anche nelle installazioni a terra: un errore di parallasse nell'operazione di “centraggio” della bolla può facilmente comportare un errore di  $\pm 0.1^\circ$ ; la variazione di assorbimento che ne conseguirebbe potrebbe essere determinante in installazioni con sistema di alimentazione basato su batterie e pannelli solari, in particolare in periodi di cattive condizioni atmosferiche.



Il sistema di sgancio della zavorra è basato sulla dissoluzione di un cavetto di acciaio per elettrolisi (*burn-wire*) ed è controllato da due sganciatori, uno di *backup* all'altro: IXSEA AR861S-MR e C980102 ORE-Offshore, entrambi dotati di sistema di alimentazione indipendente.

L'OBS/H è inoltre dotato di un sistema di *tracking* satellitare per il recupero in emergenza: nel caso in cui, per qualche malfunzionamento o per il verificarsi di particolari condizioni ambientali, dovesse sganciarsi la zavorra e lo strumento dovesse tornare in superficie, sarà possibile seguirne lo spostamento su una piattaforma web per circa un mese (durata massima delle batterie che alimentano il sistema di *tracking*) permettendo la programmazione del suo recupero. Come meglio vedremo nel paragrafo successivo, un simile evento si è verificato qualche ora dopo la deposizione dell'OBS A3, che proprio grazie al sistema di *tracking* è stato recuperato e deposto nuovamente dopo qualche giorno.

## 2. La campagna di deposizione

La campagna di deposizione dei cinque OBS/H è stata effettuata grazie al supporto della **Guardia Costiera** che ha messo a disposizione del personale dell'OBS Lab di Gibilmanna il pattugliatore **U. Diciotti** (Figura 2).



**Figura 2** I pattugliatori della Guardia Costiera ormeggiati presso l'Arsenale Militare di Messina.

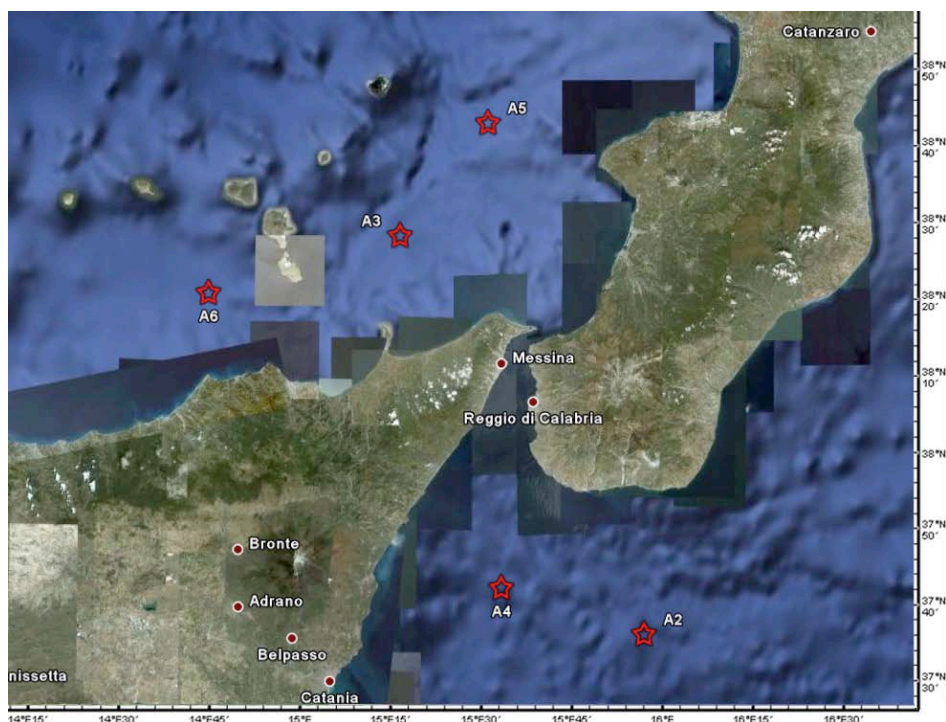
Per esigenze legate al massimo carico trasportabile dall'imbarcazione, si è scelto di suddividere la campagna di deposizione in due fasi: i) deposizione degli OBS nel Mar Ionio settentrionale (15 luglio 2008); ii) deposizione degli OBS nell'area Eoliana (18 luglio 2008).

<i>Num. di serie</i>	<i>Lat.</i>	<i>Long.</i>	<i>Profondità (m)</i>	<i>Data della deposizione (UTC)</i>
A2	37° 36' 28.2" N	15° 56' 51.6" E	1919	15/07/2008 10:44
A3 <sup>2</sup>	38° 28' 13.1" N	15° 16' 36.2" E	1150	18/07/2008 06:22
A4	37° 42' 32.1" N	15° 33' 26.4" E	1585	15/07/2008 12:47
A5	38° 42' 53.2" N	15° 31' 10.1" E	1360	18/07/2008 08:10
A6	38° 20' 38.7" N	14° 44' 50.8" E	1420	18/07/2008 04:11

**Tabella 1** Coordinate geografiche, profondità e data delle deposizioni.

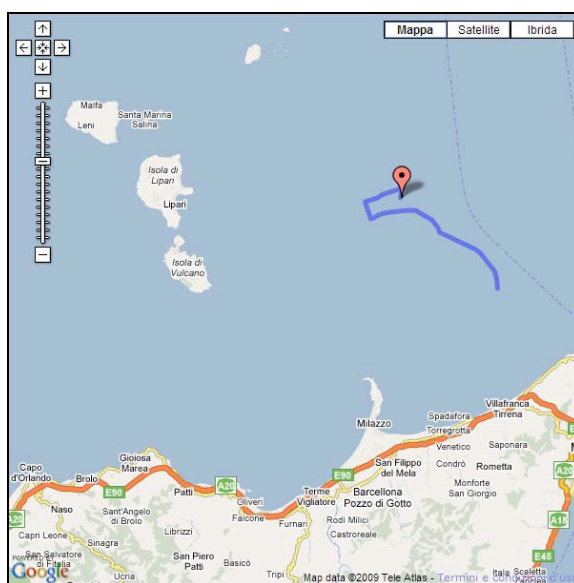
<sup>2</sup> Come sarà indicato nel corso del paragrafo, l'OBS/H A3 ha sganciato la zavorra poche ore dopo la deposizione per un problema verificatosi sulla scheda elettronica dello sganciatore *Ore Offshore*. L'OBS è stato recuperato e rideposto successivamente.

In *Tabella 1* sono elencate le coordinate geografiche e la profondità dei punti di deposizione dei cinque OBS/H (vedi anche *Figura 3*).



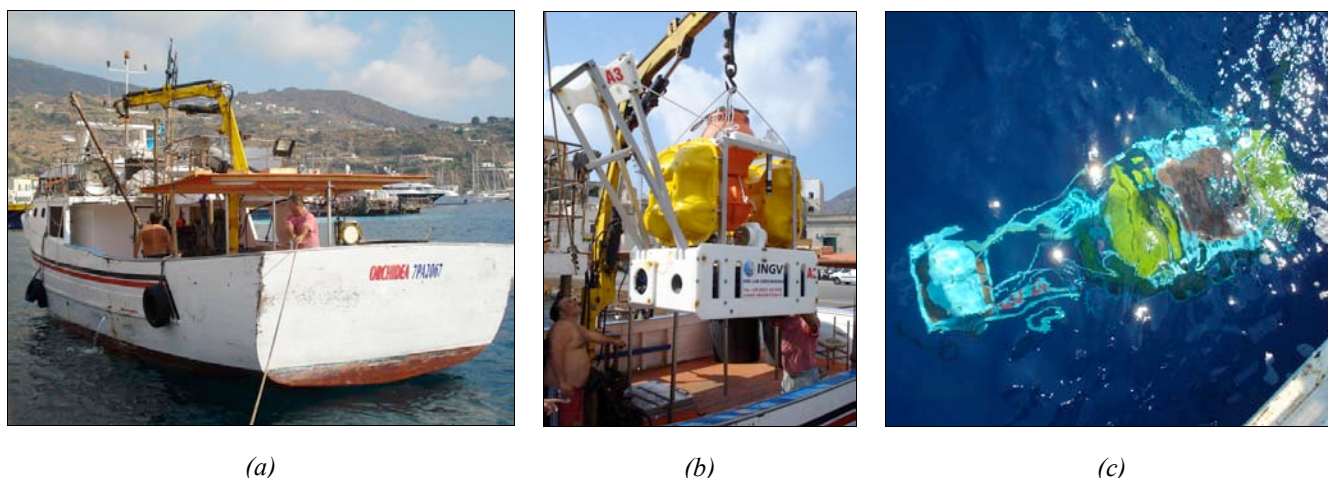
**Figura 3** Disposizione dei punti di deposizione degli OBS/H.

Poche ore dopo la deposizione, l'OBS A3 sganciava la zavorra per un problema verificatosi sulla scheda elettronica dello sganciatore *Ore Offshore*. Il sistema di *tracking* satellitare installato a bordo dello strumento ha permesso di seguirne gli spostamenti su una piattaforma web (*Figura 4*) e di programmarne il recupero, avvenuto il 21 luglio 2008, a mezzo di un'imbarcazione noleggiata presso il porto Pignataro di Lipari. Non essendo l'imbarcazione dotata di gru, non è stato possibile portare a bordo lo strumento. Sganciata la bentosfera contenente il sensore sismico, l'OBS è stato trainato a velocità ridotta (tra i 3 e i 5 nodi) sino al porto di Lipari.



**Figura 4** Traccia del percorso effettuato dall'OBS/H A3 emerso per problemi elettronici. Il segnaposto indica il punto di deposizione.

Sostituito lo sganciatore guasto e controllata tutta la strumentazione presso i laboratori dell'Osservatorio di Gibilmanna, l'OBS/H A3 è stato rideposto nelle immediate vicinanze del precedente punto di deposizione (**Lat. 38° 28' 10.98" N, Long. 15° 16' 37.8" E**) il **2 agosto 2008** alle ore **09:33 UTC**. L'operazione è stata effettuata con l'ausilio del motopesca *Orchidea* (Figura 5).



**Figura 5** Fasi della seconda deposizione dell'OBS A3: (a) imbarcazione *Orchidea*; (b) operazioni di carico dell'OBS presso il porto di Lipari; (c) l'OBS, sganciato dalla gru, comincia la sua discesa.

Il *datalogger* a bordo degli OBS/H (SEND Geolon MLS) è stato programmato per campionare ad una frequenza di 100 Hz.

Pochi minuti prima della deposizione è stata effettuata la sincronizzazione temporale mediante un convertitore GPS/DCF.

Lo sgancio del sensore dal braccio che lo tiene ad una certa distanza dal resto dello strumento è stato programmato come in *Tabella 2*. Il livellamento del sensore è stato invece programmato per avvenire circa un'ora dopo il suo sgancio dal braccio distanziatore, per poi ripetersi ogni 30 giorni.

Num. di serie	Start recording	Freq. campionamento (sps)	Sgancio sensore	Livellamento sensore
A2	15/07/2008 10:11:47	100	15/07/2008 13:15:00	Dopo 4 ore, ogni 30 giorni
A3	02/08/2008 08:46:22	100	02/08/2008 13:45:00	Dopo 6 ore, ogni 30 giorni
A4	15/07/2008 12:02:56	100	15/07/2008 15:00:00	Dopo 4 ore, ogni 30 giorni
A5	18/07/2008 07:29:00	100	18/07/2008 11:28:00	Dopo 5 ore, ogni 30 giorni
A6	18/07/2008 03:43:50	100	18/07/2008 07:45:00	Dopo 5 ore, ogni 30 giorni

**Tabella 2** Programmazione del Geolon MLS.

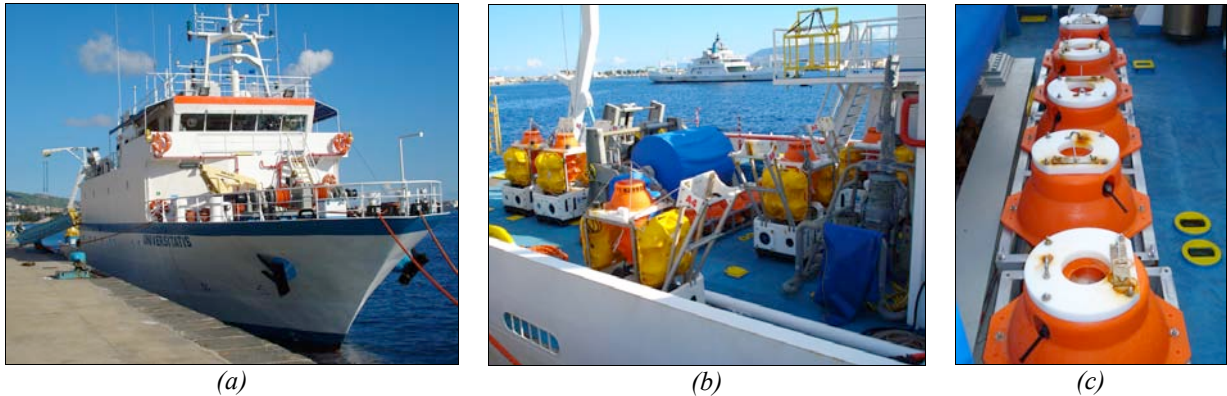
### 3. La campagna di recupero

I cinque OBS/H deposti nell'area Eoliana e nel mar Ionio settentrionale sono stati recuperati con successo tra il 6 e il 7 novembre 2008 grazie all'ausilio della **N/R Universitatis**.

Una volta a bordo, per tutti gli OBS, è stata effettuata una nuova sincronizzazione temporale per il calcolo della deriva dell'oscillatore del *datalogger*. Per gli OBS A2 e A4 tale operazione ha portato a valori di deviazione ben al di sopra della norma; dal file di *log* è risultato che a causare questo problema è stato un calo anomalo delle tensioni delle batterie di alimentazione che ha portato il Geolon MLS ad impostarsi su una "modalità basso consumo" e quindi ad arrestare l'acquisizione e il *real time clock*. La deriva temporale relativa agli OBS A2 e A4 è stata stimata grazie all'analisi dei tempi di arrivo delle fasi P degli eventi localizzati dalla Rete Sismica Nazionale. Per tale stima sono stati utilizzati solamente gli eventi regionali ben

localizzati ( $RMS < 0.2$ ) acquisiti nelle ultime tre settimane di registrazione. I tempi di primo arrivo sono stati calcolati utilizzando il modello monodimensionale a tre strati, adoperato dall'INGV nelle routine di localizzazione. La media degli scarti tra i tempi di primo arrivo così calcolati e quelli individuati sui sismogrammi, sono risultati compatibili con quelli rilevati per gli oscillatori degli OBS A3, A5, A6 mediante sincronizzazione GPS (intorno ai 100 ms).

L'orientazione del sismometro, non ancora nota, sarà stimata ad analisi conclusa tramite regressione tra i back-azimuth teorici, stimati dalle localizzazioni della rete sismica nazionale, e quelli stimati tramite analisi di polarizzazione della prima fase P [D'Alessandro et al., 2009].

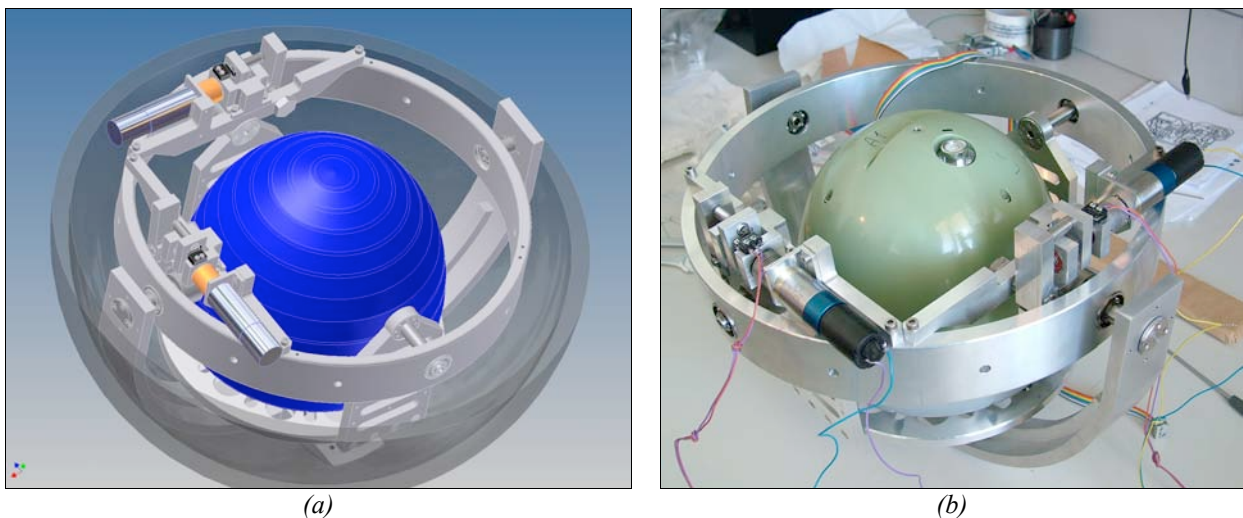


**Figura 6** (a) La N/R *Universitatis*; (b) i cinque OBS/H a bordo dell'*Universitatis* prima dello sbarco; (c) bentosfere contenenti i sensori sismici e le basi autolivellanti.

#### 4. La base autolivellante

L'analisi dei dati provenienti dagli OBS/H deposti nello Ionio meridionale nell'ambito del progetto NERIES NA6, ha riaperto una problematica che sino a quel momento, vedi test in porto e sul vulcano sottomarino Marsili [D'Anna et al., 2007 e 2009], sembrava essere risolta: la ricerca della massima accuratezza ( $\pm 0.2^\circ$ ) nel livellamento del sensore sismico. I segnali registrati durante la suddetta campagna mostravano che su tre sensori sismici Trillium 120p installati a bordo dei rispettivi OBS/H, soltanto uno di essi si era livellato correttamente; gli altri due non avevano prodotto alcun dato utilizzabile ed avevano rapidamente (nell'arco di un mese circa) scaricato le batterie che li alimentavano.

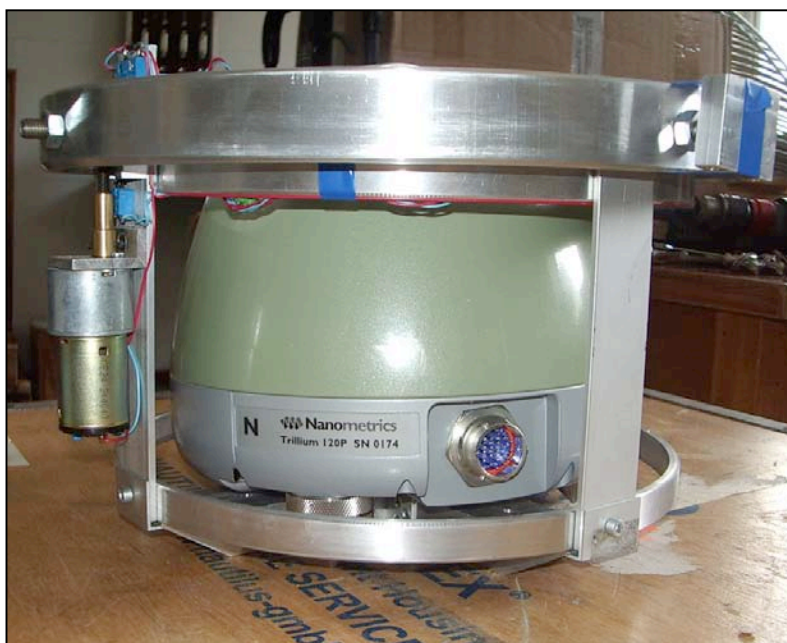
Dopo svariati tentativi volti a risolvere il problema continuando ad utilizzare le basi autolivellanti realizzate dalla *Nautilus GmbH* ed avvicinandosi la data in cui avremmo dovuto deporre gli strumenti per l'esperimento "Messina 1908 – 2008", si è deciso di intraprendere una nuova strada, realizzando su nostro progetto, con il supporto della *Meccanotecnica Riesi s.r.l.*, delle nuovi basi autolivellanti (*Figura 7*).



**Figura 7** (a) Progetto 3D della nuova base autolivellante; (b) La base autolivellante durante i test in laboratorio.

#### 4.1 La meccanica

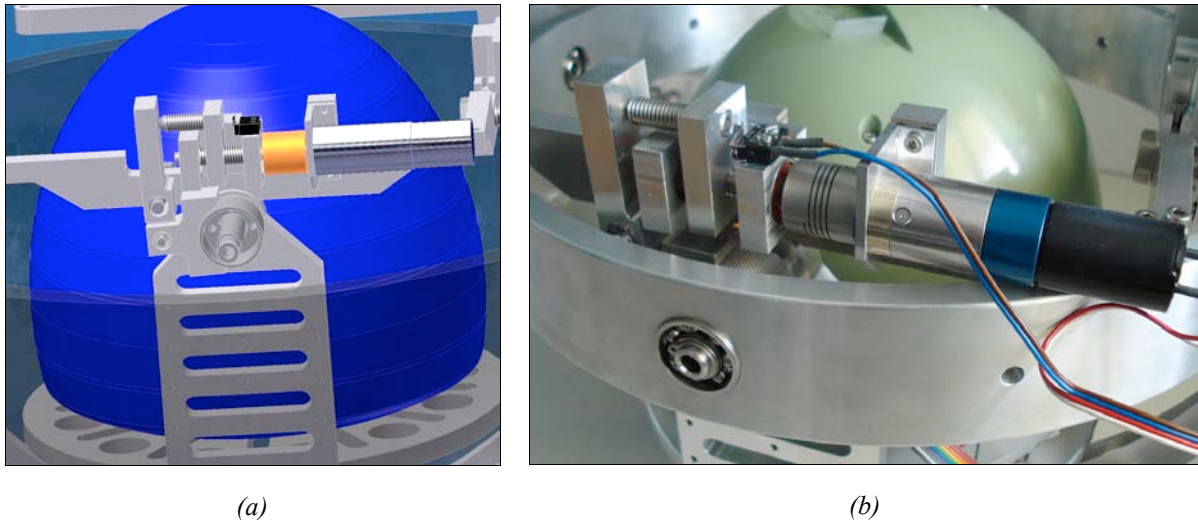
Sia il sistema di livellamento della Nautilus che quello realizzato presso l'OBS Lab di Gibilmanna, si basano sul principio del giunto cardanico. Il sismometro viene ancorato su un disco che possiamo immaginare come la porzione di un piano che vogliamo raggiunga la posizione orizzontale. Perché ciò possa accadere il piano deve poter ruotare su due assi ortogonali che chiameremo X e Y. Il giunto cardanico realizza questa condizione: se gli assi X e Y non presentano attriti, sarà il peso stesso del sensore a realizzare il livellamento, avendo supposto che la proiezione del suo baricentro coincida con il centro del disco. Perché il sensore risulti accoppiato con i sedimenti marini, completata la fase di livellamento è necessario bloccare rigidamente il disco nella posizione raggiunta facendo in modo che tutta la struttura che lo sorregge sia un tutt'uno con i sedimenti, cercando di eliminare, per quanto possibile, parti elastiche o strutture risonanti. Per contenere i costi, si è scelto di continuare ad installare la meccanica che realizza il livellamento del sensore all'interno di una bentosfera. Nel sistema della *Nautilus* (Figura 8), il cestello ospitante il sensore, raggiunta la posizione orizzontale, viene traslato verticalmente mediante l'ausilio di due motori, sino a bloccarsi contro il vetro della bentosfera in quattro punti, realizzando l'accoppiamento voluto. Il problema nasce dalle imperfezioni della bentosfera stessa, non perfettamente sferica e dal mancato sincronismo dei due motori, non in grado di traslare il piatto senza alterarne la posizione nello spazio. Nel sistema da noi realizzato, il cestello resta nella posizione raggiunta grazie al livellamento per gravità; nella fase successiva vengono bloccati i due assi di rotazione con dei freni azionati da motori controllati da una scheda elettronica (vedi Paragrafo 4.2).



**Figura 8** Base autolivellante *Nautilus*.

Uno dei problemi individuati nel progetto della base autolivellante tedesca consiste nell'incollare sul diametro della bentosfera la struttura sulla quale viene montato uno degli assi del giunto. Il diametro della bentosfera, è infatti la parte sottoposta a maggiori stress meccanici a pressioni elevate, sino a ridursi di circa 3 mm a 600 bar, provocando una deformazione dell'anello incollato al suo interno e quindi non garantendo l'assenza di attrito nell'oscillazione di uno degli assi. Per questo motivo, si è scelto di ancorare la struttura sulla quale viene montato uno degli assi del giunto, su una delle due calotte sferiche della bentosfera.

Durante la realizzazione del prototipo si sono incontrate le prime difficoltà: uno dei problemi da risolvere era bloccare gli assi del giunto una volta avvenuto il livellamento, senza provocare deformazioni della struttura. Le inerzie da frenare, infatti, con le tolleranze richieste dal sismometro, sono macroscopiche rispetto alla struttura di sostegno e quindi per frenare in modo adeguato, si innescano sforzi tali da deformare la struttura (in modo microscopico) al di sopra delle tolleranze richieste. Per affrontare questa problematica



**Figura 9** Particolare del sistema di frenaggio di uno degli assi del giunto (a) modello 3D, (b) realizzazione.

si sono costruiti tre tipi di pinze diverse; la scelta è ricaduta su una pinza snodata, che agisce radialmente rispetto all'asse (*Figura 9*).

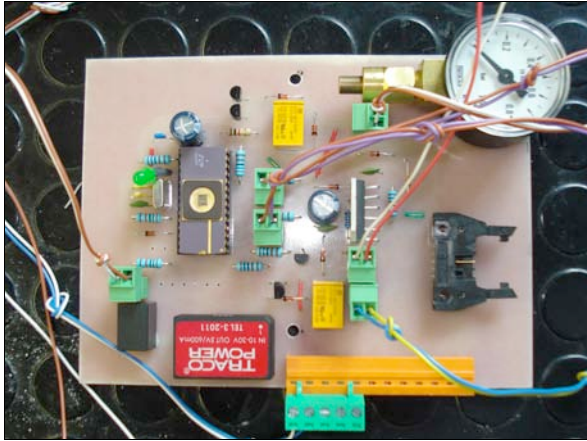
Affinché il giunto permetta un perfetto livellamento a freni sbloccati, dopo aver fissato il sensore nel cestello, è necessario bilanciare perfettamente i pesi. Questa operazione viene realizzata con l'ausilio di pesi adesivi, solitamente utilizzati nell'equilibratura dei pneumatici dei veicoli, ed è alquanto delicata, in quanto influenzata anche dal peso e dalla disposizione dei cavi utilizzati per il trasferimento dei segnali del sensore, l'alimentazione dei motori e il collegamento dei fine-corsa, necessari nella fase di apertura dei freni (vedi paragrafo successivo).

Come si è evidenziato dai segnali registrati durante l'esperimento, dal punto di vista meccanico, restano aperte alcune problematiche:

- i. *Perfezionamento del livellamento.* I segnali mostrano che tutti i sensori hanno funzionato almeno per un periodo che oscilla tra i 17 e i 25 giorni; ciò indica un'inclinazione rispetto all'orizzontale entro i  $\pm 0.2^\circ$  (al di fuori di questo *range* il sensore non avrebbe registrato terremoti, come è avvenuto per due dei tre sismometri installati nello Ionio durante l'esperimento NERIES NA6), ma probabilmente oltre  $\pm 0.1^\circ$ , condizione che porta ad un incremento dell'assorbimento del Trillium 120p da 600 mW a circa 2.5 W e quindi ad una rapida scarica delle batterie che lo alimentano, come verificato in laboratorio.
- ii. *Miglioramento dell'accoppiamento e eliminazione di frequenze naturali al di sotto dei 50 Hz* (frequenza di Nyquist per un campionamento a 100 Hz). Già i test in laboratorio sull'accoppiamento, effettuati sia per la base *Nautilus* che per il prototipo del nuovo progetto, mostravano un'attenuazione provocata dalla struttura alle basse frequenze. Si è notato inoltre, la presenza di frequenze naturali intorno agli 8 Hz che alterano lo spettro dei segnali registrati. Una soluzione a quest'ultimo problema è sicuramente quella di ridurre in modo significativo le dimensioni dell'intera struttura, cosa possibile soltanto utilizzando un sensore di dimensioni più contenute rispetto al Trillium 120p. A tal proposito, sarebbe interessante testare il comportamento del *Nanometrics Trillium Compact* che presto sarà a disposizione del mercato, sismometro tre componenti, con banda compresa tra 120s e 100 Hz, alloggiato in un cilindro di dimensioni contenute (128 mm di altezza e 90 mm di diametro) con un *tilt* dinamico di  $\pm 2.5^\circ$  (caratteristiche che eliminerebbero il problema di cui al punto [i.]) e consumi al di sotto dei 160mW.

#### 4.2 L'elettronica di controllo

Per il controllo dei freni della base autolivellante è stata progettata e realizzata presso l'OBS Lab di Gibilmanna una scheda elettronica basata su microprocessore ST62E65 e sul driver LMD18200 (*Figura 10.a*).



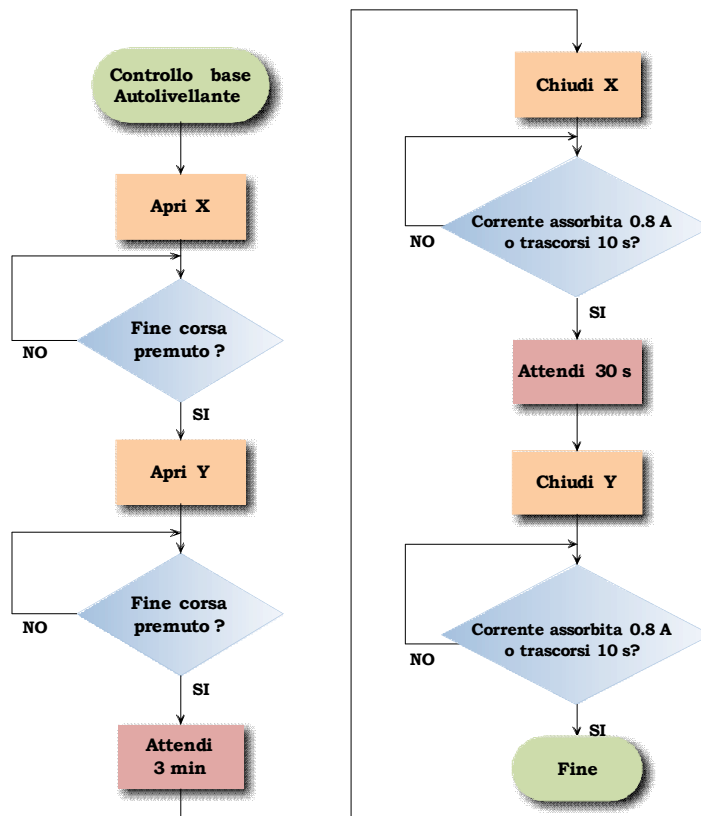
(a)



(b)

**Figura 10** (a) Scheda elettronica per il controllo della base autolivellante; (b) base autolivellante pronta per la deposizione.

Il controllo del driver LMD18200 da parte del microprocessore, avviene attraverso un segnale PWM con *duty cycle* variabile. Un *duty cycle* al 50% rappresenta il comando di non movimento; qualora il *duty cycle* sia maggiore o minore del 50%, la corrente circolerà nel motore in un senso o nell'altro e la sua intensità sarà proporzionale all'ampiezza del *duty cycle* stesso, in tal modo si controlla il senso di rotazione dell'asse del motore e la sua velocità.



**Figura 11** Diagramma di flusso dell'algoritmo di controllo della base autolivellante.

L'algoritmo implementato è descritto dal diagramma di flusso di *Figura 11*. La scheda si attiva quando dal **Geolon MLS** viene inviata una tensione continua di 12V (segnale di livellamento programmabile, vedi *Paragrafo 2*). Immediatamente, il freno di uno dei due assi viene sbloccato (lo chiameremo asse X, per distinguerlo dall'altro asse, che chiameremo Y). La fase di apertura del freno

dell'asse X si conclude soltanto quando viene premuto il fine-corsa. Si passa allora allo sbloccaggio dell'asse Y.

Sbloccati i freni, il giunto è privo di attriti ed il sensore viene livellato per effetto della forza peso. Segue una fase di attesa di tre minuti per far sì che termini qualunque oscillazione si possa essere innescata.

La procedura si conclude con la fase di chiusura dei freni. La forza che viene applicata nello stringere le pinze può essere controllata in due modi:

- *Con controllo di corrente.* Essendo la coppia applicata dal motore proporzionale alla corrente assorbita, è possibile sfruttare alcune caratteristiche del ST6 e del LMD18200 per togliere l'alimentazione ai motori nel momento in cui venga raggiunta una corrente massima. Dal *pin 8* del *driver* esce, infatti, una corrente proporzionale a quella assorbita dal motore pilotato. Collegando questo piedino ad una resistenza di precisione è possibile leggere ai suoi capi una tensione proporzionale alla corrente assorbita dal motore pilotato e quindi alla coppia applicata in fase di frenaggio. Sfruttando l'*A/D converter* del ST6, viene letta questa tensione e disattivato il motore non appena la corrente assorbita raggiunge 0.8 A.
- *A tempo.* Essendo costante la velocità di rotazione dell'asse del motore una volta impostato un certo *duty cycle*, è possibile stabilire un certo numero di secondi necessari a generare una forza di frenaggio sufficiente.

L'attesa di 30 secondi tra la chiusura dell'asse X e la chiusura dell'asse Y è necessaria per evitare che vibrazioni legate alla chiusura dell'asse X possano avere influenze sull'asse Y, causando piccole oscillazioni.

Year	2008																														
Day	July																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Julian day	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213
OBS A2															D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
OBS A3																															
OBS A4															D	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	
OBS A5																								D	X	X	X	X	X	X	
OBS A6																							D	X	X	X	X	X	X	X	
Day	August																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Julian day	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244
OBS A2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
OBS A3		D	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
OBS A4	S	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
OBS A5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
OBS A6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	
Day	September																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Julian day	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	
OBS A2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
OBS A3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
OBS A4	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I		
OBS A5	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
OBS A6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Day	October																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Julian day	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305
OBS A2	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	I	I	I	I	I	I	I	I	
OBS A3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
OBS A4	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	R	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
OBS A5	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
OBS A6	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	
Day	November																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Julian day	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	
OBS A2	I	I	I	I	I	I	R																								
OBS A3	X	X	X	X	X	X	R																								
OBS A4																															
OBS A5	O	O	O	O	O	O	R																								
OBS A6	O	O	O	O	O	O	R																								

D deployment/start acquisition S operating (Seismometer only)  
R Recovery/stop acquisition O operating (DPG only)  
X operating (Velocimeter + DPG) I inaccurate recording, so that data cannot be used

Tabella 3 Stato di funzionamento dei cinque OBS durante l'esperimento.



## 5. Analisi preliminare dei dati

Al recupero dei cinque OBS è seguita una rapida analisi dei dati sismologici ed idroacustici raccolti, con l'obiettivo di determinarne gli effettivi periodi di funzionamento, la mole di eventi sismici registrati e la rumorosità dei segnali. In *Tabella 3* è indicato lo stato di funzionamento di ogni OBS durante l'intera durata dell'esperimento. Inizialmente tutti gli OBS hanno acquisito correttamente sia dati di velocità che di pressione (ad esclusione di A4 che sin dall'inizio ha presentato dei problemi sul DPG), ma dopo un periodo compreso tra i 17 e i 25 giorni, ad esclusione dell'A3, i restanti OBS hanno presentato problemi legati al livellamento dei sensori. Dai dati registrati dal *logger* di tensione e corrente della SEND installato a bordo dell'OBS A5, l'assorbimento del Trillium 120p non è mai sceso sotto i 2 W, portando ad esaurimento le batterie in poche decine di giorni. Il sismometro dell'OBS A5 ha comunque registrato eventi per i primi 25 giorni, indicando un *tilt* compreso entro i  $\pm 0.2^\circ$ , ma probabilmente oltre  $\pm 0.1^\circ$ , condizione necessaria affinché l'assorbimento si riduca ai 600 mW nominali. Si ritiene, a ragion veduta, che lo stesso problema si sia verificato a bordo degli OBS A2, A4, A6.

Al fine di valutare la rumorosità dei segnali registrati a fondo mare, sono stati calcolati gli spettri di potenza sia dei segnali di velocità che di pressione. La densità spettrale di potenza (PSD) di un processo ipotizzato random e a potenza finita  $x_T(t)$  ( $0 \leq t \leq T$ ) può essere calcolata tramite la trasformata di Fourier della sua funzione di autocovarianza utilizzando il teorema di Wiener-Khinchin [Blackman and Tukey, 1958] o tramite il metodo del periodogramma, calcolando direttamente la trasformata di Fourier del segnale:

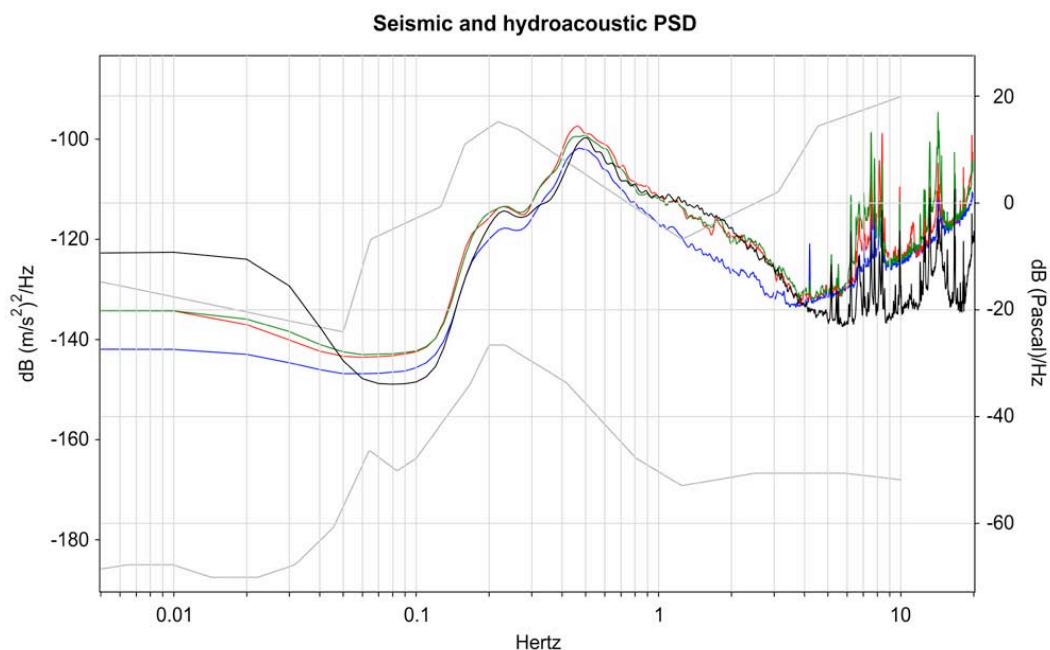
$$\bar{P}_T(f) = \frac{1}{T} \left| \int_0^T x_T(t) e^{-i2\pi ft} dt \right|^2$$

In questo lavoro abbiamo applicato una variante del metodo del periodogramma, conosciuta come metodo di Welch o del "periodogramma mediato" [Welch, 1967]. In tale metodo il segnale  $x_T(t)$  è diviso in  $K$  finestre temporali, per metà sovrapposte, e il periodogramma  $\bar{P}_{L,k}(f)$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$  di ogni segmento viene calcolato e mediato:

$$\bar{P}_W(f) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \bar{P}_{L,k}(f)$$

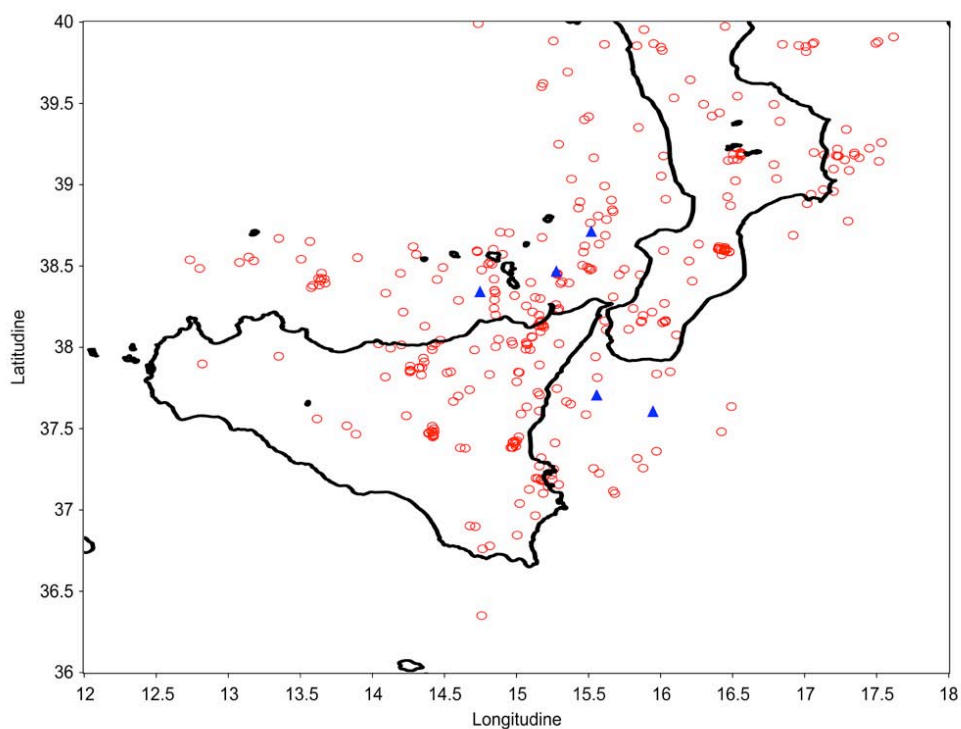
I PSD sono stati calcolati su finestre temporali della durata di 120 s, con sovrapposizione di 60 s. Per ridurre i fenomeni di dispersione spettrale è stata applicata una finestatura Hanning ad ogni singola finestra temporale. L'analisi è stata condotta su segnali privi di eventi sismici per un periodo temporale di registrazione, non continuo, di 72 ore. Per poter confrontare i PSD del rumore acquisito con gli spettri d'accelerazione di Peterson [1993], stimati per la sola componente verticale, i segnali registrati sono stati convertiti in accelerazione.

La *Figura 12* riporta gli spettri di potenza calcolati per le tre componenti del sensore sismico e per il segnale di pressione del DPG. Al di fuori del *range* di frequenze 0.4-2Hz, i PSD delle tre componenti del sismometro risultano contenuti entro le curve di riferimento di Peterson [1993]. L'alto livello di rumore sismico alle basse frequenze ( $< 0.1$  Hz) è probabilmente causato da fenomeni a larga scala come le correnti marine [Webb, 1998]. Il picco a circa 0.25 Hz è probabilmente legato ad onde di Rayleigh generate da onde marine che si propagano sul fondo [Webb, 1998]. Il picco più energetico a circa 0.5 Hz, tipico del rumore sismico in aree marine è da attribuirsi a fenomeni di interferenza tra onde marine [Webb, 1998]. Il rumore sismico alle altre frequenze ( $> 5$  Hz), caratterizzato da potenza moderata e dalla presenza di numerosi picchi, è probabilmente legato all'infrangersi delle onde marine sulle coste [McCreery et al., 1993] e a sorgenti di rumore di natura antropica [Wenz, 1962].



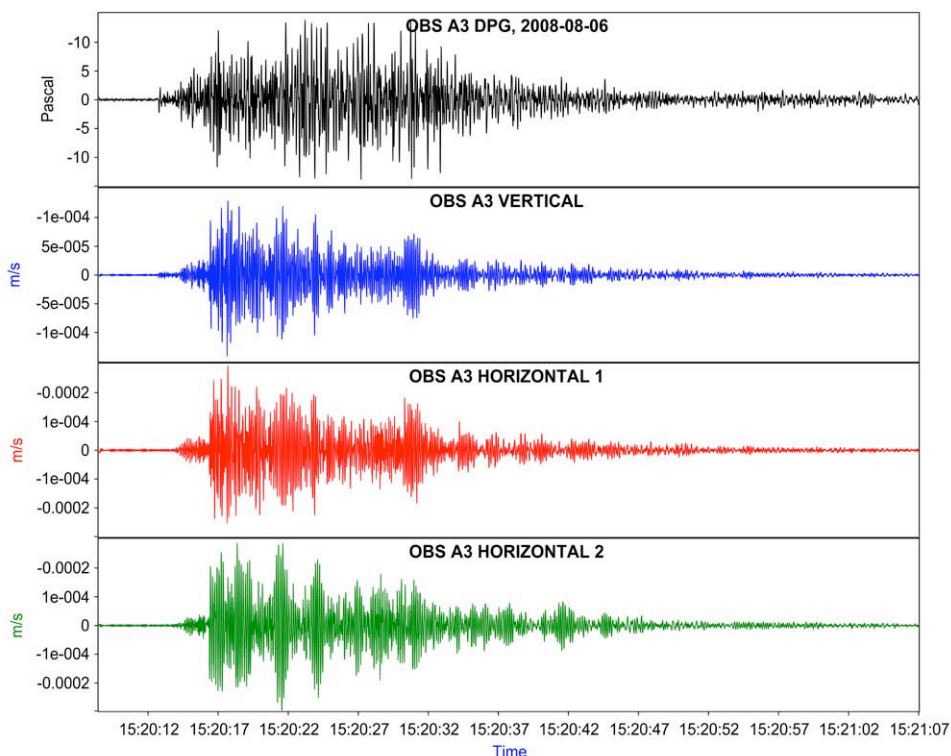
**Figura 12** Spettri di potenza calcolati per la stazione OBS A3: blu = componente verticale, rosso e verde = componenti orizzontali, nero = segnale di pressione, grigio = PSD di riferimento [Peterson, 1993].

L'OBS A3 ha registrato segnali sismici e idroacustici correttamente e con un buon rapporto segnale-rumore durante tutta la durata dell'esperimento (dal 02.08.2008 allo 07.11.2008). I livellamenti del sensore, programmati con cadenza mensile, sono avvenuti tutti regolarmente ed hanno permesso al sismometro di ben livellarsi e di rilevare numerosi eventi sia locali che telesismici. Gli OBS A2, A5, A6, nei quali dopo un primo periodo il sismometro ha smesso di funzionare, hanno comunque continuato a registrare correttamente i segnali di pressione. In *Figura 13* sono riportati gli epicentri degli oltre 400 eventi regionali, localizzati dalla rete sismica nazionale ed individuati nei segnali registrati dai 5 OBS.



**Figura 13** Mappa degli epicentri relativi agli oltre 400 eventi regionali, localizzati dalla rete sismica nazionale ed individuati nei segnali registrati dai cinque OBS.

In *Figura 14* è riportato un esempio di evento regionale registrato dalla stazione OBS A3. L'evento, localizzato dalla Rete Sismica Nazionale, ha magnitudo 2.1 ed epicentro su Lipari (Lat. 38.399°, Long. 15.093°, prof. 7.4 Km). Sulle quattro componenti, filtrate in passabanda tra 2 e 30 Hz, sono facilmente riconoscibili le principali fasi sismiche.



**Figura 14** Esempio di evento locale registrato dall'OBS A3 durante l'esperimento "Messina 1908-2008". L'evento sismico di  $M_l$  2.1 è stato localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV, epicentro Lipari (Lat. 38.399°, Long. 15.093°, prof. 7.4 Km ). Al segnale è stato applicato un filtro passabanda, con banda passante tra 2 e 30 Hz.

Per individuare eventuali variazioni nel contenuto in frequenza del rumore sismico e degli eventi sismici registrati è stato utilizzato il metodo dello spettrogramma o STFT (*Short Time Fourier Transform*). La STFT è una trasformata integrale del segnale  $x(t)$  definita come:

$$S_{f,\tau}[x(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)w(t-\tau)e^{-i2\pi ft} dt$$

La STFT è lo spettro di Fourier di un segnale visto attraverso *sliding windows*  $w(t-\tau)$ . Essa rappresenta un'analisi tempo-frequenza con risoluzione che si mantiene fissa sia nel dominio temporale che nel dominio delle frequenze [Barthosch & Seidl, 1999].

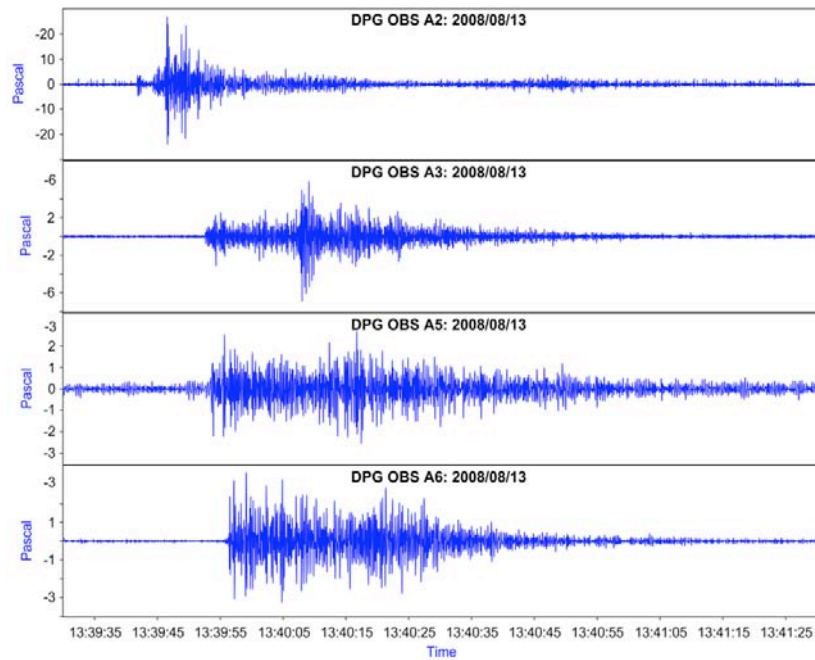
In *Figura 15* è riportato il segnale dei DPG delle stazioni tirreniche A3, A5 e A6 e della stazione ionica A2, in relazione ad un evento regionale di magnitudo 3.1, con epicentro nello Ionio meridionale. I segnali di pressione presentano un ottimo rapporto segnale rumore. Il DPG, registrando fedelmente in un largo *range* di frequenze le variazioni di pressione a fondo mare, può essere utilizzato in sostituzione delle componenti verticali dei sismometri per il *picking* delle fasi P e per l'analisi delle onde di Rayleigh.

In *Figura 16* è riportata l'analisi tempo-frequenza dello stesso evento sismico, relativa alla componente verticale del sismometro dell'OBS A3. L'evento risulta ben registrato dal sismometro, mostrando un ampio spettro di frequenza ed un ottimo rapporto segnale rumore.

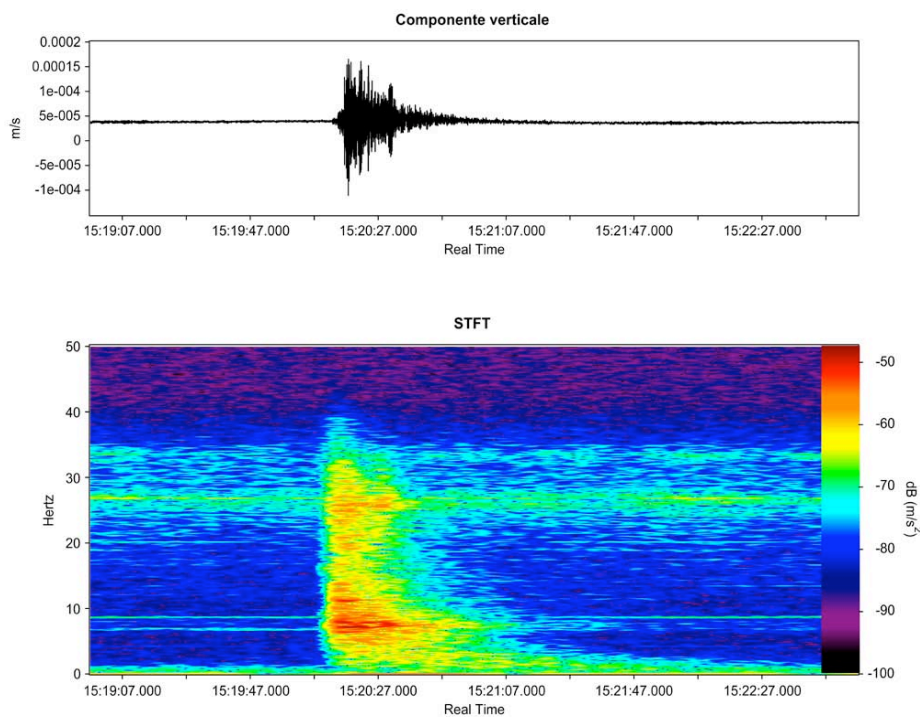
Oltre a numerosi terremoti, l'OBS A5, deposto a circa 13 NM da Stromboli, ha registrato numerosi segnali sismici di chiara origine vulcanica. La *Figura 17* mostra uno sciame di "Explosion Quakes" registrati dal DPG dell'OBS A5 in un periodo di 24 h.

I segnali sismici registrati dagli OBS, integrati con quelli provenienti dalle stazioni della Rete Mobile installate anch'esse per l'esperimento "Messina 1908-2008", sono stati utilizzati per rilocalizzare otto eventi

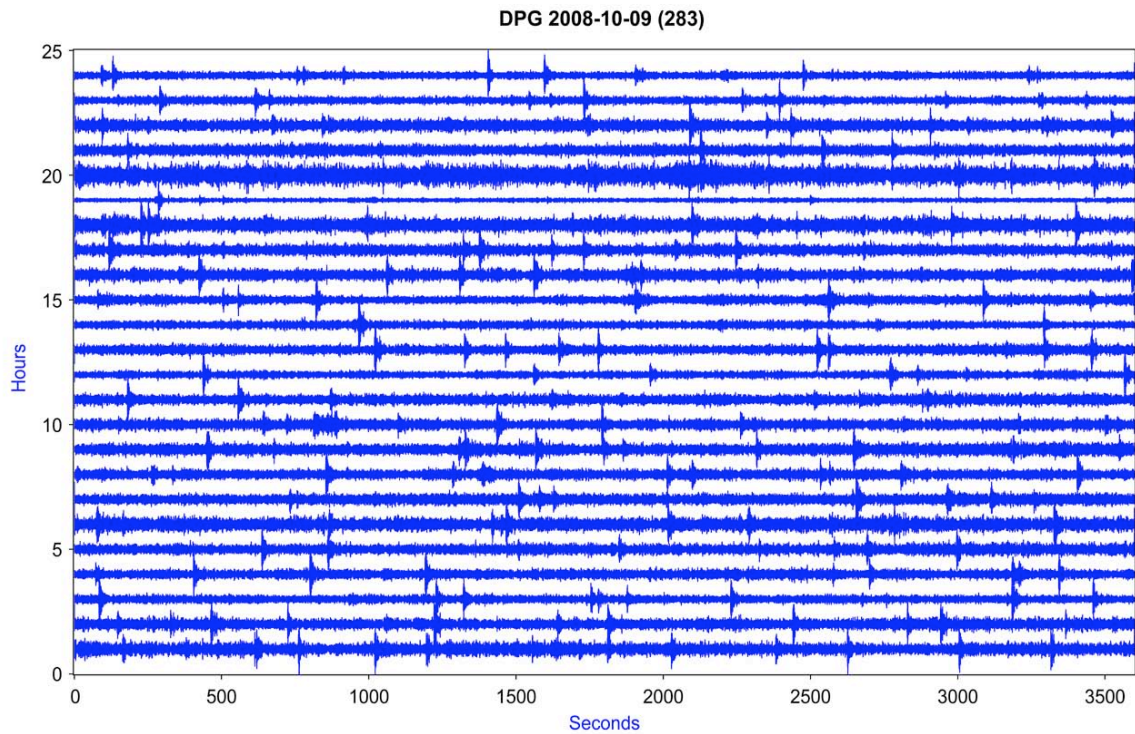
regionali [Moretti et al., 2008]. L'integrazione delle fasi sismiche registrate a terra con quelle riportate dai cinque OBS ha portato, per gli otto eventi analizzati, alla riduzione degli ellissoidi di confidenza relativi alle localizzazioni ipocentrali (Figura 18).



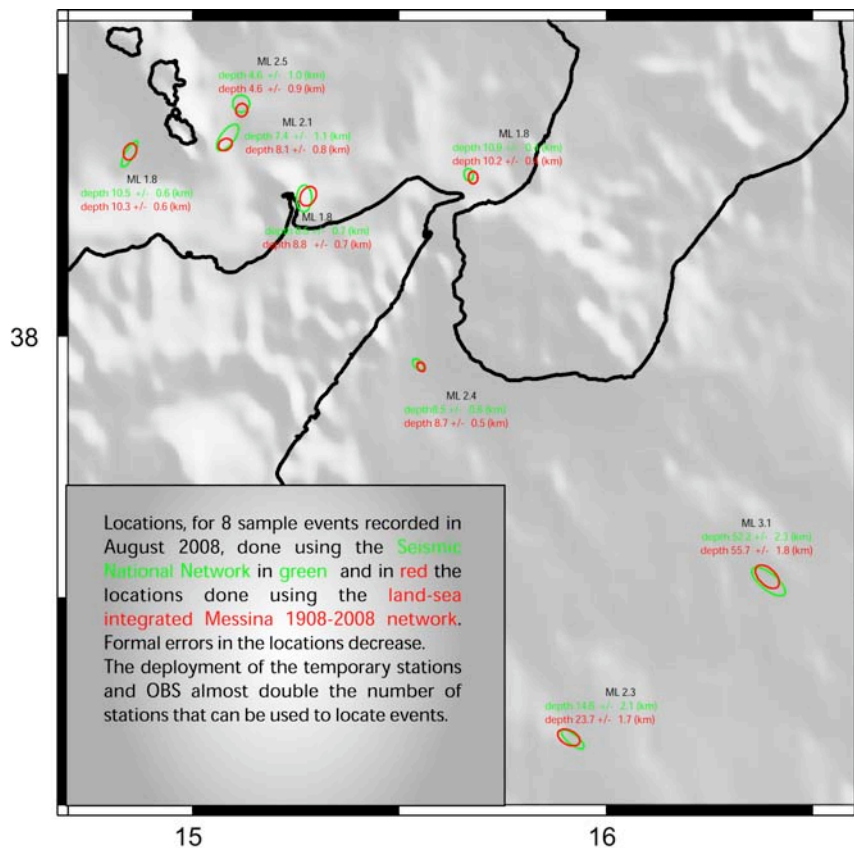
**Figura 15** Segnali di pressione registrati dagli OBS A2, A3, A5, A6 relativi ad un evento sismico di magnitudo 3.1 localizzato dalla Rete Sismica Nazionale INGV nello Ionio settentrionale (Lat. 37.481°, Long. 16.417°, prof. 38.6 Km). I segnali sono stati filtrati in passabanda nel range 1-15 Hz.



**Figura 16** Esempio di analisi tempo-frequenza relativa alla componente verticale dello stesso evento sismico riportato in Figura 15.



**Figura 17** Explosion Quakes provenienti da Stromboli registrati dal DPG dell'OBS A5, 24 ore di segnale. I segnali sono stati filtrati tra 2 e 7 Hz e normalizzati rispetto all'ampiezza massima registrata.



**Figura 18** Localizzazione per 8 eventi campione registrati nell'Agosto 2008 effettuata utilizzando (ellissoidi in verde) la Rete Sismica Nazionale e (ellissoidi in rosso) la rete integrata stazioni Rete Mobile – OBS, installata in occasione dell'esperienza "Messina 1908-2008". L'errore formale nelle localizzazioni diminuisce [Fonte Moretti et al., 2008].

## 6. Conclusioni e prospettive future

I dati raccolti durante l'esperimento dimostrano che il punto debole degli attuali OBS/H è la base autolivellante, associata all'utilizzo di un sensore sismico con tolleranze di *tilt* davvero severe. I numerosi problemi meccanici, incontrati nella realizzazione delle basi autolivellanti costruite in occasione dell'esperimento oggetto di questo Rapporto Tecnico, ci hanno portato a scegliere di equipaggiare gli OBS/H già realizzati e quelli che realizzeremo in un immediato futuro, con il Guralp CMG40T-OBS (sensore sismico di dimensioni ridotte e consumi di soli 90 mW se alimentato con  $\pm 5V$ , già dotato di una propria base autolivellante). Si procederà nel frattempo ad un ulteriore sviluppo della base autolivellante realizzata: l'uscita in questi mesi del Trillium Compact della Nanometrics, con tolleranze ben più ampie sul *tilt* dinamico ( $\pm 2.5^\circ$  contro i  $\pm 0.2^\circ$  del 120p), permetterebbe di concentrarsi sui soli problemi legati all'accoppiamento. Le dimensioni contenute di questo sensore, permettono infatti l'utilizzo di una base autolivellante di dimensioni più contenute da installare all'interno di una bentosfera con diametro di 13" anziché di 17", quale quella sino ad oggi utilizzata, permettendo così di portare fuori dallo spettro di interesse le frequenze di risonanza della struttura.

Il recupero di tutti gli OBS deposti, conferma l'affidabilità dei nostri moduli nelle lunghe deposizioni e il sistema di *tracking* satellitare si è inoltre rivelato fondamentale nel recupero dell'OBS A3 sganciato per un problema di natura elettronica.

L'esperienza maturata in occasione dell'esperimento "Messina 1908-2008" e del precedente nello Ionio Meridionale per il progetto NERIES, è alla base del progetto di un nuovo OBS/H-Versione B, il cui prototipo sarà realizzato nella primavera del 2009 e sarà testato nell'ambito della nuova deposizione nell'area Eoliana e nello Ionio settentrionale, che avrà luogo nell'estate del medesimo anno nell'ambito del progetto S5. Il nuovo OBS, di dimensioni più ridotte e che utilizzerà boe di spinta in *foam* sintattico, permetterà inoltre di ospitare a bordo un modem acustico che consentirà alla stazione di comunicare con la superficie del mare, caratteristica fondamentale perché l'OBS/H possa diventare parte di un sistema di allerta Tsunami. Attraverso il modem, sarà inoltre consentito il parziale recupero di dati e un controllo dello stato dello strumento senza che si renda necessario procedere al suo recupero. L'acquisitore di questo nuovo strumento, basato su microprocessore ARM, è già stato realizzato grazie ad una collaborazione tra l'OBS Lab di Gibilmanna ed il Laboratorio di Sismologia Sperimentale del CNT di Roma.

## Ringraziamenti

Ringraziamo il Comando della Guardia Costiera della VI<sup>a</sup> Squadriglia di Messina e il Comandante del pattugliatore U. Diciotti, Tenente di Vascello Alessio Morelli ed il suo equipaggio, per averci permesso di realizzare la campagna di deposizione.

Ringraziamo inoltre Domenico Patanè, Direttore della sezione di Catania dell'INGV, e Placido Montalto per averci fornito dati fondamentali per l'individuazione degli Explosions Quakes di Stromboli.

## Bibliografia

- Barash, T.W., Doll, C.G. Jr, Collins J.A., Sutton, G.H, Solomon S.C., (1993). *Quantitative Evaluation of a Passively Leveled Ocean Bottom Seismometer*, Marine Geophysical Researches 16:347-363, 1994.
- Bartosch, T., Dieter, S., 1999. Spectrogram analysis of selected tremor signals using short-time Fourier transform and continuous wavelet transform, *Annali di Geofisica*, 42, 497-506.
- Blackman, R.B., Tukey, J.W., 1958. *The measurement of Power Spectral*, Dover Publications, New York.
- D'Alessandro, A., D'Anna, G., Luzio, D., Mangano, G., (2009). *The INGV's new OBS/H: Analysis of the signals recorded at the Marsili submarine volcano*, J. of Volcanology and Geothermal Reserch, Article in press, doi:10.1016/j.jvolgeores.2009.02.008.
- D'Anna, G., Mangano, G., D'Alessandro, A., D'Anna, R., Passafiume, G., Speciale, S., Amato, A., (2009). *Il nuovo OBS/H dell'INGV*, Quaderni di Geofisica, n° 65, ISSN: 1590-2595
- D'Anna, G., Mangano, G., D'Alessandro, A., D'Anna, R., Passafiume, G., Speciale, S., Selvaggi, G., Margheriti, L., Patanè, D., Luzio, D., Calò, M., (2008). *"Messina 1908-2008" Progetto di ricerca*

- integrato sull'area Calabro-Peloritana: La campagna OBS/H*. Riassunti estesi del convegno “1908 - 2008 Scienza e Società a cento anni dal Grande Terremoto. Reggio Calabria 10-12 dicembre 2008. Miscellanea INGV, n° 3, 2008; pp 45,46.
- Margheriti, L., and Messina 1908-2008 team, (2008). *Understanding crust dynamics and subduction in southern Italy*, Eos Trans. AGU, 89(25), 225–226.
- Margheriti, L., D'Anna, G., Selvaggi, G., Patané, D., Moretti, M., Govoni, A., (2008). *Alla ricerca di nuovi dati sulla relazione tra subduzione e cinematica crostale nell'arco Calabro-Peloritano*. Capitolo del volume “Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908”, Editori: Bertolaso, G., Boschi, E., Valensise, G., Guidoboni, E., Dec-2008 Publisher: SGA.
- McCreery, C. S., Duennebier, F. K., Sutton, G. H., 1993. *Correlation of deep ocean noise (0.4–20 Hz) with wind, and the Holu spectrum a worldwide constant*, J. Acoust. Soc. Am., 93, 2639–2648.
- Moretti, M., Land Experiment Working Group, Archive Working Group, (2008). “*Messina 1908-2008*” *Progetto di ricerca integrato sull'area Calabro-Peloritana: La campagna sismica*. Riassunti estesi del convegno “1908 -2008 Scienza e Società a cento anni dal Grande Terremoto. Reggio Calabria 10-12 dicembre 2008. Miscellanea INGV, n° 3, 2008; pp 86,87.
- D'Anna, G., Mangano, G., Amato, A., D'Alessandro, A., Selvaggi, G., (2008). *INGV Broad Band Ocean Bottom Seismometers deployed in the Ionian Sea*. Geophysical Research Abstracts. Vienna, Austria, 13-18 April 2008, vol. 10°, ISBN/ISSN: 1029-7006
- D'Anna, G., Mangano, G., D'Alessandro, A., D'Anna, R., Passafiume, G., Speciale. S., (2008). *First long time OBS campaign in the Ionian Sea*. Rapporti Tecnici INGV, n° 72
- D'Anna, G., Mangano, G., D'Alessandro, A., Amato, A., (2007). *The new INGV broadband OBS/H: test results on submarine volcano Marsili and future developments*. Geophys. Res. Abstracts. Vienna, Austria, 15 – 20 April 2007, vol. 9°, ISBN/ISSN: 1029-7006
- Peterson, J., 1993. *Observation and modeling of background seismic noise*, U.S. Geol. Surv. Open-File rept., Albuquerque, 93-322.
- Thwaites, F.T., Wooding, F.B., Ware, J.D., Peal, K.R., Collins, J.A, (2005). *A leveling system for an ocean-bottom seismometer*. OCEANS, 2005. Proceedings of MTS/IEEE; Volume, Issue, 17-23 Sept. 2005 Page(s):1268-1272 Vol. 2, DOI 10.1109/OCEANS.2005.1639929.
- Webb, S.C., 1998. *Broadband seismology and noise under the ocean*, Reviews of Geophysics, 36, 105-142.
- Wenz, G. M., 1962. *Acoustic ambient noise in the ocean: Spectra and sources*, J. Acoust. Soc. Am., 34, 1936–1956.

**Coordinamento editoriale e impaginazione**

Centro Editoriale Nazionale | INGV

**Progetto grafico e redazionale**

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2008 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**