



Consiglio Nazionale delle Ricerche

Istituto di Studi sui Sistemi Intelligenti per l'Automazione

Via de Marini 6, 16149 Genova

Tel. +39-010-64751 Fax. +39-010-6475600

Relazione Finale del
Programma di Ricerca STM 2013

**La tecnologia FPGA come ponte tra
l'acustica subacquea e i parametri
oceanografici**

Fruitore

Dott. Ing. Sara Pensieri

Proponente

Dott. Ing. Roberto Bozzano

Istituzione Ospitante

Hellenic Center for Marine Research (HCMR)

Periodo di riferimento

10.09.2013 – 01.10.2013

Premessa

Nell'ambito del Programma di ricerca *Short Term Mobility* 2013, le attività svolte hanno riguardato lo studio e lo sviluppo di algoritmi su tecnologia *field-programmable gate arrays* (FPGA) per analisi di rumore ambientale marino basate su acquisizioni acustiche. Le attività sono state svolte in collaborazione con ricercatori dell'Hellenic Center for Marine Research, ente ospitante nel periodo compreso tra il dieci settembre e il primo ottobre 2013.

Introduzione

La direttiva della comunità Europea denominata “*Marine Strategy Directive to save Europe’s seas and oceans*”, adottata nel giugno 2008 (MFSD, 2008), ha come obiettivo una protezione efficace ed effettiva dell’ambiente marino europeo e stabilisce il 2020 come termine ultimo entro cui l’Europa deve raggiungere un buono stato ecologico delle sue acque marine. Per questo motivo ha definito le linee guida per un uso sostenibile delle risorse marine sottolineando l'importanza di un continuo monitoraggio delle condizioni fisiche e chimiche delle acque che deve essere integrato da analisi legati agli effetti della attività umane sulla biodiversità.

A tale proposito, diversi studi sono stati effettuati allo scopo di sviluppare nuovi strumenti e metodologie per monitorare in modo continuo e autonomo lo stato del mare (Clifford et al., 2005)(Glasgow et al., 2004). Sensori per misurare le caratteristiche fisiche sono comunemente utilizzati a bordo di piattaforme oceanografiche, al contrario di analizzatori autonomi per le proprietà chimiche che hanno iniziato ad essere impiegati per studi a lungo termine solo negli ultimi decenni.

L'obiettivo di preservare la biodiversità ed incoraggiare politiche volte ad un uso sostenibile delle risorse marine ha richiamato l'attenzione sulla necessità di un intenso monitoraggio del livello di rumore subacqueo e di conseguenza un crescente interesse nello sviluppo di sensori innovativi in grado di acquisire e analizzare in modo autonomo e su base continua il suono al di sotto della superficie (Adam et al., 2008)(Favali et al., 2013)(Aguzzi et al., 2011)(Delory et al., 2008)(Kassis et al., 2009).

Le attività di ricerca svolte nell’ambito del Programma di Ricerca STM 2013 sono state rivolte a tale obiettivo con l'intento di utilizzare la tecnologia FPGA (*Field-Programmable Gate Arrays*) come ponte tra l’acustica subacquea e la misura di parametri oceanografici.

Descrizione dell'attività svolta

L’attività svolta ha riguardato l'implementazione su piattaforme *embedded* basate su tecnologia FPGA di innovativi algoritmi per lo studio e l'analisi di parametri oceanografici.

La tecnologia FPGA, proposta da Xilinx nel lontano 1984 come un unico supporto per un insieme di chip, ad oggi sta sostituendo sia i circuiti integrati per specifiche applicazioni (*Application Specific Integrated Circuit* - ASIC) sia i processori dedicati all'analisi di segnali (*Digital Signal Processor* - DSP) e al controllo di sistemi complessi.

Gli FPGA sono chip in silicio riprogrammabili che attraverso la riconfigurazione delle porte

logiche consentono con lo stesso hardware di essere impiegati per scopi completamente differenti gli uni dagli altri. Gli FPGA offrono notevoli vantaggi rispetto agli ASIC dato che permettono di apportare modifiche e correggere gli errori semplicemente riprogrammando il dispositivo in qualsiasi momento.

L'impiego dei chip FPGA in tutti i settori industriali è favorito dal fatto che gli FPGA integrano i migliori componenti dei circuiti ASIC e sistemi basati su processore. Altri vantaggi includono: tempi di risposta I/O più rapidi e funzionalità specializzate, maggiore potenza rispetto ai processori DSP, prototipazione rapida e verifica senza la complessità di progettazione di un circuito ASIC custom, implementazione delle funzionalità custom con l'affidabilità di hardware deterministico dedicato, aggiornamento sul campo in grado di eliminare i costi elevati di riprogettazione e manutenzione ASIC.

La tecnologia FPGA si differenzia da quelle precedenti in quanto consente l'implementazione degli algoritmi definiti da utente via hardware anziché software. Gli FPGA non dispongono, infatti, di unità di calcolo e di set di istruzioni, ma sono costituiti da milioni di celle elementari capaci di implementare logiche combinatorie. La modalità con cui le singole unità vengono interconnesse definisce l'algoritmo implementato e ciò elimina il vincolo di esecuzione seriale su un'unica unità di calcolo, consentendo l'esecuzione parallela e garantendo che ogni blocco di codice non interferisca con gli altri.

Tale caratteristica, unitamente alla capacità di acquisire segnali ad elevata frequenza di campionamento, rende la tecnologia FPGA estremamente adatta per analisi di segnali da fonti acustiche in quanto l'acquisizione da trasduttori acustici, siano essi impiegati in aria (microfoni) o in acqua (idrofon) avviene solitamente alla frequenza di parecchie decine o centinaia di kHz e comporta quindi la necessità di elaborare grandi quantità di dati spesso in tempo reale.

Considerando, ad esempio, un'acquisizione di un solo canale a 100 kHz (100000 campioni al secondo) con digitalizzazione a 16 bit, si deve essere in grado di gestire (elaborare ed eventualmente registrare su disco o altro supporto) circa 780 kB/s per acquisizioni che possono durare anche molti secondi.

La ricerca svolta si proponeva un duplice obiettivo, da un lato il miglioramento delle conoscenze grazie alla collaborazione con i colleghi di HCMR particolarmente esperti nel campo e dall'altro l'implementazione di nuovi algoritmi da utilizzarsi nella nuova versione del sistema acustico passivo attualmente in uso nel centro di ricerca greco.

Durante il periodo di collaborazione con i ricercatori HCMR si è utilizzata l'*evaluation board* RIO di National Instruments che ospita oltre a sensoristica di test, un FPGA Xilinx Spartan-6 LX45 (Figura 1).

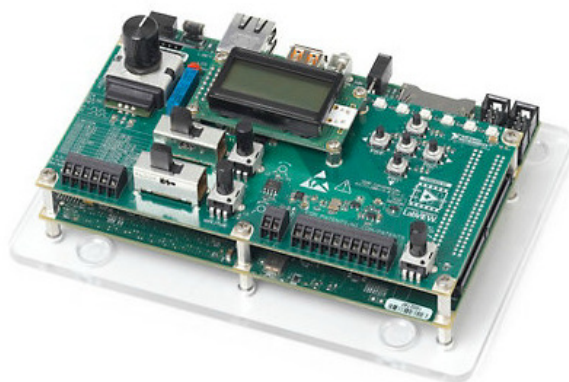


Figura 1. *Evaluation board* RIO di National Instruments dotata di un FPGA Xilinx Spartan-6 LX45

La prima parte di attività ha riguardato la definizione delle specifiche dell'algoritmo di acquisizione e processing dei dati in termini di frequenza di campionamento e occupazione di memoria del chip per l'analisi di un segnale acustico acquisito da idrofono. Tale attività è stata accoppiata allo studio delle curve di Wenz (Wenz, 1962) al fine di individuare le armoniche principali che caratterizzano il suono di parametri oceanografici quali vento e pioggia (Figura 2).

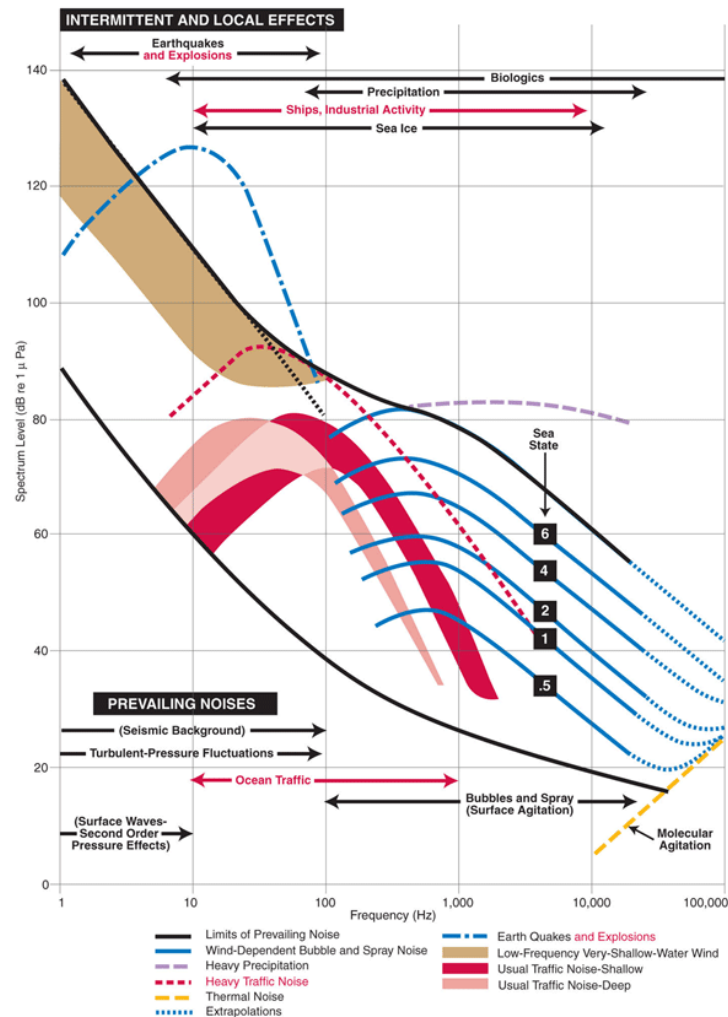


Figura 2. Curve di Wenz estratte dal National Research Council 2003 Ocean noise and Marine Mammals, National Academy Press Washington D.C.

Sulla base di tali curve e sui risultati ottenuti dall'analisi di dati di rumore ambientale acquisiti in precedenza dai ricercatori HCMR, si è progettata ed implementata una routine di individuazione delle caratteristiche spettrali basata su FFT e su clusterizzazione a soglie dei valori di pressione acustica misurati alle varie frequenze attraverso l'utilizzo dell'ambiente di sviluppo LabView di National Instruments.

La Figura 3 mostra, come esempio, uno dei programmi impiegati per l'analisi in frequenza dei segnali acustici. Per sviluppare applicazioni FPGA con il linguaggio di programmazione grafica LabView è necessario definire un progetto che includa i seguenti programmi:

- un'interfaccia utente implementata su un computer desktop o notebook per la visualizzazione dei dati e dei risultati dell'elaborazione;

- un programma, solitamente denominato "*host.vi*", per il controllo, il monitoraggio programmatico ed il trasferimento dei dati con il chip FPGA;
- un programma, denominato solitamente "*fpga.vi*", da compilare per generare il cosiddetto *bitfile* da scaricare direttamente sul chip FPGA.

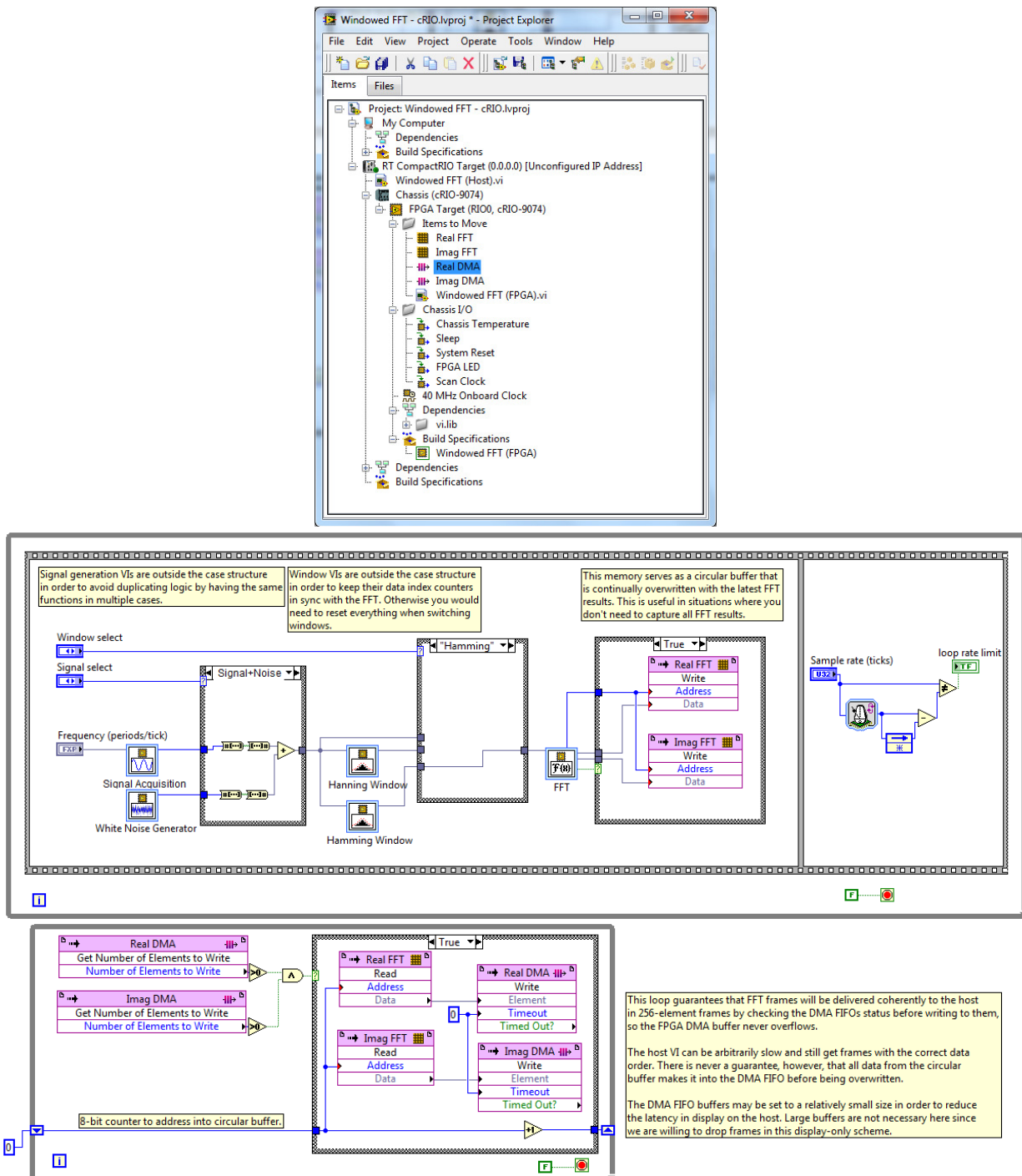


Figura 3. La finestra di un progetto FPGA ed un codice di esempio in linguaggio LabVIEW impiegato per l'analisi nel dominio della frequenza dei segnali acustici subacquei.

Grazie a tale routine, si è riusciti ad ottenere un primo algoritmo su FPGA in grado di rilevare la presenza delle diverse sorgenti del rumore ambientale, suddivisibili in fisiche (pioggia e vento) e

antropologiche (traffico navale). Analizzando un dataset di archivio presso HCMR composto da dati acustici di rumore ambientale acquisiti a 100 kHz e da dati pluviometrici, è stato possibile testare l'algoritmo confrontandone la capacità di rilevamento della pioggia basandosi sulle caratteristiche spettrali del suono provocato dalle gocce sulla superficie del mare. Il confronto ha evidenziato la capacità dell'algoritmo di rilevare pioggia ogni qualvolta fenomeni precipitativi si siano effettivamente verificati e una leggera tendenza ad indicare pioggia anche in caso di presenza di forte vento (Figura 4).

Durante il periodo di permanenza presso HCMR, sono stati effettuati anche test di quantificazione di pioggia e vento basati su dati acustici di archivio e si è implementata su FPGA una routine volta alla loro quantificazione.

L'ultima parte delle attività svolte ha riguardato lo sviluppo su FPGA di una routine dedicata alla memorizzazione sonora del segnale acquisito da idrofono e in fase di test una routine per la trasmissione dei dati acquisiti dall'idrofono ad una stazione ricevente.

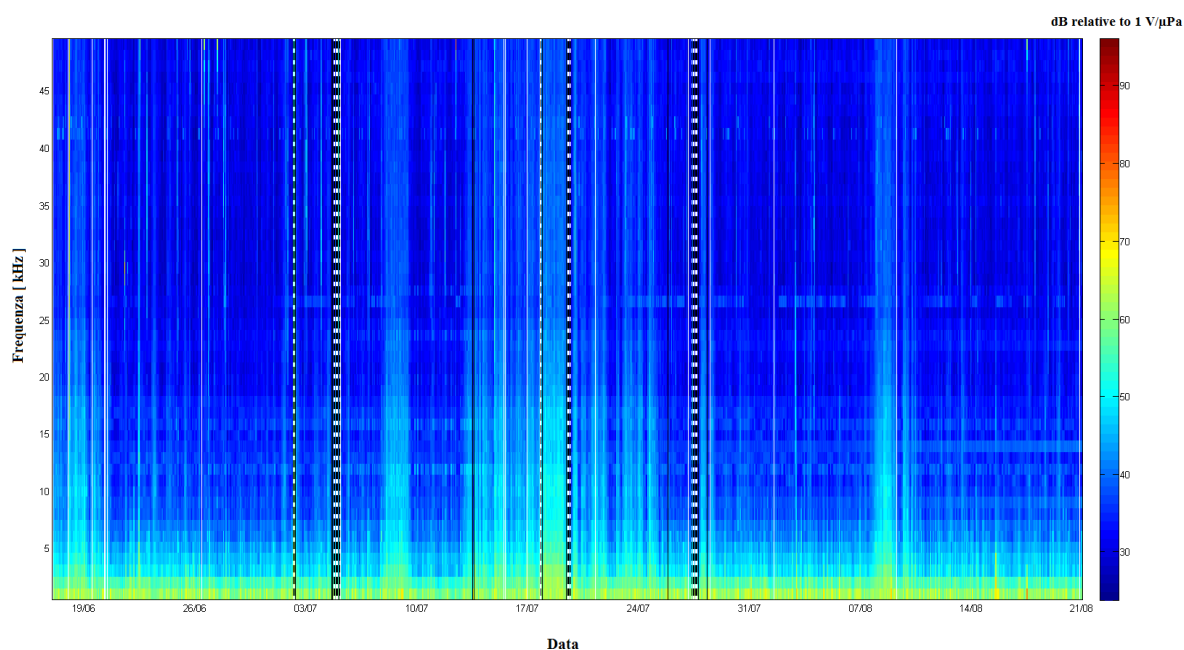


Figura 4. Spettrogramma del rumore ambientale acquisito da idrofono. Le linee verticali indicano pioggia effettiva sul sito di monitoraggio e le bianche la classificazione basata sulle caratteristiche spettrali.

Tutti gli algoritmi sono stati sviluppati solo in forma preliminare su piattaforma FPGA e si prevede di continuare la collaborazione al fine di ottimizzare gli algoritmi ed implementarli in via operativa sul sistema autonomo di ascolto passivo del rumore ambientale attualmente in fase di avanzato sviluppo presso HCMR.

Risultati preliminari hanno dimostrato l'effettiva fattibilità di utilizzare le potenzialità di velocità di calcolo e duttilità della tecnologia FPGA come strumento per un'analisi in tempo reale di dati acustici al fine di monitorare e quantificare alcuni parametri oceanografici.

La collaborazione con i colleghi di HCMR ha inoltre contribuito a rafforzare la sinergia esistente e ha permesso di porre le basi per future iniziative congiunte di respiro internazionale nell'ambito dello sviluppo tecnologico di sensoristica innovativa per il monitoraggio ambientale e in quello del processing di dati acustici.

Riferimenti bibliografici

1. MSFD (2008) Directive 2008/56/EC of the European parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).
2. Clifford H., Robinson A., Miller D., Davis M., "Overview of Sensors and Needs for Environmental Monitoring", *Sensors*, Vol. 5, n.1, pp 4-37, doi:10.3390/s5010004, 2005.
3. Glasgow H. B, Burkholder J.A. M, Reed R. E, Lewitus A. J., Kleinman J. E, "Real-time remote monitoring of water quality: a review of current applications, and advancements in sensor, telemetry, and computing technologies", *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 300, Issues 1–2, pp. 409-448, ISSN 0022-0981, doi:10.1016/j.jembe.2004.02.022, 2004.
4. Adam O., Glotin H., "Passive acoustic storey of the Antares neutrino detector for real-time cetaceans detection, localization and behaviour studies", *New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems*, 2008, pp. 1-6, 14-17 Oct. 2008 doi: 10.1109/PASSIVE.2008.4786981.
5. Favali, P., Chierici, F., Marinaro, G., Giovanetti, G., Azzarone, A., Beranzoli, L., De Santis, A., Embriaco, D., Monna, S., Lo Bue, N., Sgroi, T., Cianchini, G., Badiali, L., Qamili, E., De Caro, M.G., Falcone, G., Montuori, C., Frugoni, F., Riccobene, G., Sedita, M., Barbagallo, G., Cacopardo, G., Cali, C., Cocimano, R., Coniglione, R., Costa, M., D'Amico, A., Del Tevere, F., Distefano, C., Ferrera, F., Giordano, V.; Imbesi, M.; Lattuada, D.; Migneco, E.; Musumeci, M.; Orlando, A.; Papaleo, R.; Piattelli, P.; Raia, G.; Rovelli, A.; Sapienza, P.; Speziale, F.; Trovato, A.; Viola, S.; Ameli, F.; Bonori, M.; Capone, A.; Masullo, R.; Simeone, F.; Pignagnoli, L.; Zitellini, N.; Bruni, F.; Gasparoni, F.; Pavan, G., "NEMO-SN1 Abyssal Cabled Observatory in the Western Ionian Sea", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 38, n. 2, pp. 358-374, April 2013, doi: 10.1109/JOE.2012.2224536.
6. Aguzzi, J., Mànuel, A., Condal, F., Guillén, J., Nogueras, M., Del Rio, J., Costa, C., Menesatti, P., Puig, P., Sardà, F., Toma, D., Palanques, A., "The New Seafloor Observatory (OBSEA) for Remote and Long-Term Coastal Ecosystem Monitoring", *Sensors*, Vol. 11, pp. 5850-5872, 2011.
7. Delory, E., Waldmann, C., Fredericks, J., "A proposed architecture for marine mammal tracking from globally distributed ocean acoustic observatories", *New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems*, pp. 1-6, doi: 10.1109/PASSIVE.2008.4786995.
8. Kassis D., Ballas D., Nittis K., Pagonis P. and Georgopoulos, D., "An integrated ocean observing system in the Ionian Sea", *Book of Abstracts 3rd Conference on Underwater Acoustic Measurements: Technologies and Results*, 144, Nafplion, 21–26 June 2009.
9. Wenz, G., M., "Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 34, pp. 1936-1956, 1962.