



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

**L'acustica subacquea per la misura di vento e
pioggia in siti oceanici remoti**

Fruitore

Dott. Ing. Roberto Bozzano

Istituzione Ospitante

Applied Physics Laboratory (APL)

Periodo di riferimento

24.10.2013 – 14.11.2013

Premessa

Nell'ambito del Programma di ricerca *Short Term Mobility 2013*, si sono analizzati dati acustici acquisiti da uno strumento passivo installato in mare aperto a circa 36 m di profondità sull'osservatorio marino d'altura W1-M3A al fine di misurare parametri atmosferici quali vento e pioggia. Le attività sono state volute in collaborazione con il professor Nystuen dell'Applied Physics Laboratory, ente ospitante nel periodo compreso tra il 24/10/2013 e il 13/11/2013.

Introduzione

Le recenti normative UE in ambito di sostenibilità e prevenzione dell'ambiente marino hanno incluso il rumore ambientale come descrittore per la salute degli oceani e quest'ultimo gioca un ruolo fondamentale negli studi sia di acustica marina che in quelli di oceanografia acustica.

Le prime analisi risalenti al periodo della seconda guerra mondiale hanno evidenziato come il rumore irradiato dalle navi unitamente ai suoni prodotti dalle onde che si infrangono sulla superficie del mare e dagli animali marini contribuiscano al rumore ambientale.

Nella relazione del National Research Council (2003) (Ocean Noise and Marine Mammals, National Academies Press) il rumore ambientale viene definito per la prima volta come un "rumore associato al frastuono di fondo proveniente da una miriade di fonti non identificate".

Studi successivi hanno stabilito che il rumore ambientale è composto da suoni provenienti da quattro tipologie di sorgenti differenti: fisiche, geologiche, biologiche ed antropiche distinguibili in base alla propria segnatura acustica.

Le principali fonti fisiche di rumore sono riconducibili alla presenza di vento e pioggia. In particolare, il vento è una presenza costante negli oceani soprattutto in caso di regimi di brezze e per velocità superiori a 10 m/s è spesso associato alla presenza di considerevole moto ondoso responsabile della generazione di piccole bolle che, a loro volta, cadendo sulla superficie del mare assorbono il suono dalle presenza delle onde cosicché i livelli di pressione sonora a frequenze superiori a 10 kHz risultano inferiori per velocità del vento inferiori.

Le precipitazioni contribuiscono al rumore ambientale nella banda di frequenza compresa tra alcune centinaia di Hertz e più di 20 kHz ed i relativi spettri sono caratterizzati in caso di pioggia leggera da un picco a circa 15 kHz legato alla risonanza acustica generata dalle piccole gocce che cadono in acqua in rapida successione. Questo picco tende a ridursi in relazione all'aumento del numero di gocce di pioggia associato, a sua volta, ad un incremento della dimensione delle gocce che producono un suono inferiore a 10 kHz ed un picco nella banda di frequenza tra 1 e 2 kHz in presenza di pioggia convettiva.

La presenza di vento e di episodi di pioggia è distinguibile analizzandone gli spettri corrispondenti, in quanto le precipitazioni presentano suoni a frequenze più alte e livelli di pressione sonora più elevati rispetto al vento.

Le sorgenti geologiche di rumore ambientale sono costituite da processi tettonici, terremoti, attività vulcaniche e idrotermali che accoppiati alle onde acustiche viaggiano su grandi distanze e contribuiscono al rumore marino. Gli spettri relativi a questi fenomeni coprono una banda di frequenza compresa tra 1 Hz e 100 Hz, mostrano un esordio molto prorompente, simile a quello generato da un'esplosione e possono persistere per diversi minuti.

La gamma di frequenze comprese fra meno di 10 Hz e più di 200 kHz caratterizza le vocalizzazioni dei mammiferi marini, che producono, a seconda delle specie, *click* e segnali a banda larga, sebbene anche pesci e invertebrati contribuiscano al rumore marino. I mammiferi marini emettono suoni per comunicare e per procurarsi il cibo e i loro vocalizzi sono spesso ambigui e difficili da distinguere mediante analisi spettrale se non vi è una corrispondente conferma audio o visiva.

Nel secolo scorso le attività umane in mare, hanno contribuito ad un notevole aumento del rumore ambientale e diverse analisi sono state effettuati al fine di verificare il loro impatto sull'ecosistema marino e sul comportamento dei mammiferi.

Il rumore di origine antropica comprende tutti i suoni prodotti dai sonar, dalle attività di esplorazione del sottosuolo alla ricerca di petrolio, dalle attività connesse alla costruzione di strutture marine e delle piattaforme e dal traffico navale che rappresenta la fonte principale di questo tipo di rumore.

Il rumore legato al passaggio di navi è caratterizzato da basse frequenze, comprese tra 5 e 500 Hz con un picco nello spettro corrispondente a circa 50-100 Hz e dal momento che si propaga su lunghe distanze può interessare una vasta area. Ogni tipo di nave, commerciale o da ricerca, da pesca o imbarcazione da diporto è caratterizzato da una propria firma spettrale legata ai fenomeni della cavitazione, alla modulazione delle pale dell'elica e ai tipi di motori montati a bordo.

Descrizione dell'attività svolta

L'attività svolta ha riguardato l'analisi di dati acustici acquisiti da un sistema di ascolto passivo progettato dal professore Nystuen installato a circa 36 m di profondità in mare aperto sulla piattaforma W1-M3A di proprietà CNR.

Solo parte del suono emesso dalle sorgenti viene effettivamente ricevuto dal sensore a causa dei fenomeni di attenuazione geometrica, rifrazione ed assorbimento e siccome l'area di ascolto di un' idrofona è pari a circa il triplo della distanza di installazione, nel caso in oggetto, l'impronta alla superficie era di circa 100 m.

L'obiettivo scientifico dell'analisi consiste nella rilevazione e nella successiva quantificazione di vento e pioggia basandosi sul rumore che questi fenomeni atmosferici producono sulla superficie del mare. La possibilità di disporre di dati di vento e pioggia ad alta affidabilità acquisiti ad elevata frequenza rispettivamente da un anemometro sonico e da un pluviometro, installati sulla piattaforma W1-M3A, ha permesso di validare le stime basate sull'analisi spettrali con dati in-situ acquisiti in contemporanea.

La prima parte di attività ha riguardato l'analisi del campo di vento e precipitazione presenti nella zona di interesse, ossia il bacino Ligure utilizzando dati di archivio acquisiti dalla strumentazione a bordo del sistema osservativo W1-M3A nel periodo Maggio 2011 - Giugno 2013 (Fig. 1).

Le serie temporali riflettono il regime di vento prevalente nella zona caratterizzato da condizioni di calma e vento leggero con una direzione estremamente variabile a causa della complessa orografia. A fine estate ed inizio autunno, le intense ed umide perturbazioni che raggiungono il bacino provenienti da Sud mentre la temperatura del Mar Ligure è ancora piuttosto calda insieme al fatto che le coste sono fortemente urbanizzate ed industrializzate, determinano eventi di pioggia significativi ed un elevato rischio di alluvioni.

La velocità del vento misurata dalla boa durante il periodo Maggio 2011 - Giugno 2013 ha avuto un massimo su media oraria pari a 20.1 m/s ed un minimo di 0.3 m/s, con il valore più frequente nell'intorno di 2.5 m/s.

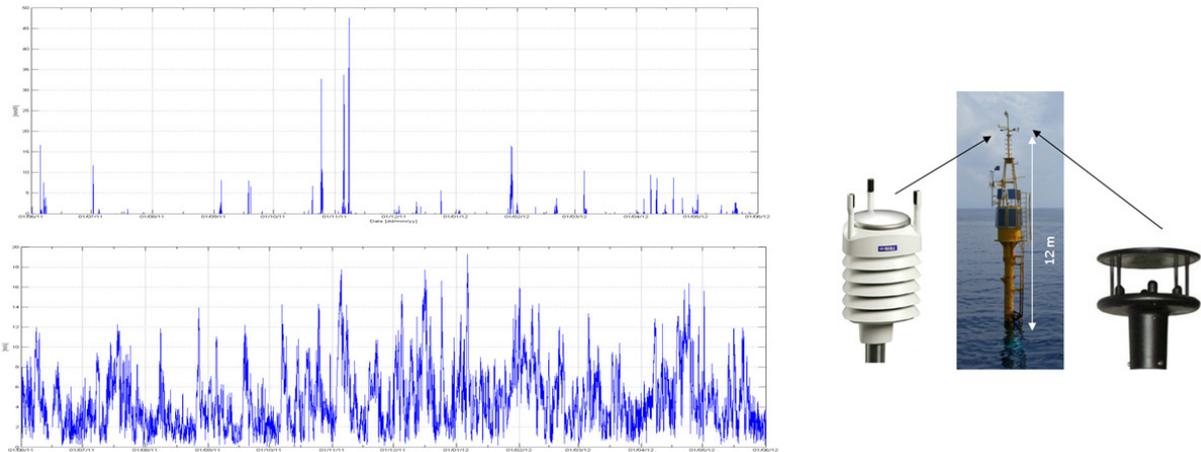


Figura 1: Serie temporale oraria di precipitazione (in alto a sinistra) e velocità del vento (in basso a sinistra) e i due sensori WXT510 (Vaisala) e WindSonic 2D (Gill) installati sul sistema osservativo W1-M3A.

La fase di analisi dati ha riguardato non solo la caratterizzazione di misure di vento e precipitazione, ma anche di dati acustici acquisiti dallo strumento autonomo progettato dal professor Nystuen denominato Passive Aquatic Listener (PAL) posizionato a circa 36 m di profondità sul palo del sistema osservativo W1-M3A.

Lo strumento (Fig. 2) è costituito da un cilindro di circa 80 cm di lunghezza per 15 cm di diametro, con un peso in acqua di 5 Kg ed è un sensore autonomo con una batteria interna progettato per essere installato su ormeggi oceanografici.



Figura 2: Il Passive Aquatic Listener prima dell'installazione a bordo del sistema osservativo W1-M3A.

Il PAL è costituito da un idrofono *low noise* a banda larga (0-50 kHz) di tipo Hi-Tech-92WB con un preamplificatore, una scheda di elaborazione del segnale a basso consumo basata su un microprocessore Tattletale-8 con convertitori analogico-digitali a 100 kHz, da una memoria interna di 2Gb e da un pacco batterie con una capacità di 48 A/h.

La sensibilità nominale dell'idrofono è pari a -160 dB re $1V/\mu Pa$ e il livello equivalente di rumore di fondo oceanico del preamplificatore è pari a 28 dB rispetto a $1\mu Pa^2 Hz^{-1}$.

Al fine di limitare i fenomeni di saturazione del suono a basse frequenze e dell'aliasing ad alte frequenze, sono stati introdotti un filtro passa alto a 300 Hz e un passa basso a 40 di tipo RC descritti dalla seguente espressione:

$$S_0 = \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{f_l}{f}\right)^2} \right) \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_h}\right)^2} \right) S_1$$

dove S_0 rappresenta il segnale originale, S_1 quello filtrato, f_l e f_h sono le frequenze di taglio.

La strategia di campionamento è stata progettata per consentire un'operatività del sensore di circa un anno e prevede acquisizioni ad intervalli di tempo configurabili da utente.

I dati acustici acquisiti nel periodo compreso fra Maggio 2011 - Giugno 2013 sono costituiti da sequenze temporali lunghe 4.5 secondi campionate a 100 kHz che, per essere trasformate nel dominio della frequenza (da 500 Hz a 50 kHz) tramite Fast Fourier Transform (FFT), sono state sottocampionate otto volte in modo da generare otto campioni da 1024 punti ossia 8 serie temporali di 10,24 ms ciascuna con una spaziatura di 0.0, 0.6, 1.2, 1.9, 2.5, 3.1, 3.7 e 4.4 secondi (Fig. 3).

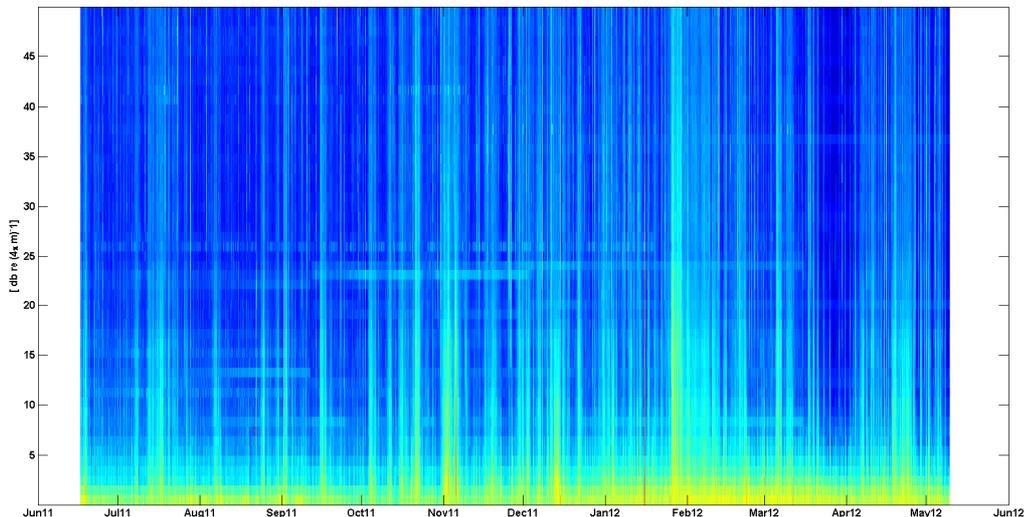


Figura 3: Spettrogramma dei dati acustici acquisiti dal PAL nel periodo compreso tra Giugno 2011 e Giugno 2012.

L'analisi congiunta di dati meteorologici e acustici ha permesso di iniziare a sviluppare algoritmi per la classificazione e la quantificazione di episodi di pioggia e vento all'interfaccia aria-mare da dati di ascolto passivo del rumore ambientale sottomarino nella zona del bacino Ligure.

La possibilità di lavorare a stretto contatto con il professore Nystuen ha permesso di sviluppare nuove parametrizzazioni per la quantificazione del rumore ambientale basate sulle frequenze di 5 kHz e 8 kHz rispettivamente per pioggia e vento che saranno oggetto di pubblicazione.

Più nel dettaglio si è considerata una legge logaritmica tra l'intensità sonora a 5 kHz e la quantità di precipitazione, tale legge è stata differenziata a seconda del tipo di pioggia, mentre nel caso del vento si è definita un'equazione di primo grado tra il livello di pressione sonora a 8 kHz e la velocità del vento nel caso di venti deboli e brezze e una relazione di secondo grado nel caso di regimi di brezza moderata, fresca e forte.

Le performance della relazione ottenuta per la determinazione del vento sono state testate suddividendo le misure in situ di velocità del vento nelle classi della scala Beaufort e verificando la classificazione ottenuta dalle stime provenienti dai soli dati acustici (Fig. 4). I risultati hanno evidenziato un perfetto accordo tra la reale classe di velocità del vento e quella stimata utilizzando i soli dati acustici per tutte le classi ad eccezione della F1 corrispondente a venti inferiori a 3 m/s che provocano un rumore appena percettibile al di sotto della superficie del mare.

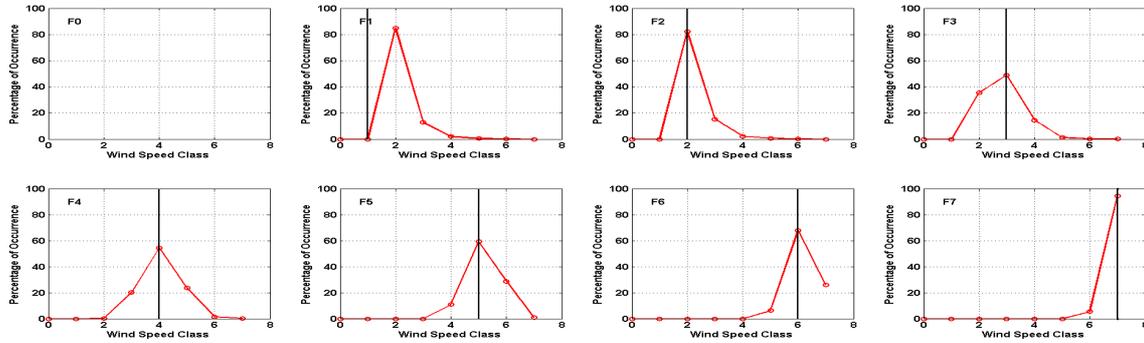


Figura 4: Classificazione dell'intensità del vento in base alla scala Beaufort, la linea nera indica la classe individuata dalle osservazioni in-situ dell'anemometro installato a bordo dell'osservatorio WI-M3A.

Gli ottimi risultati in termini di affidabilità conseguiti utilizzando le nuove parametrizzazioni per la pioggia (Fig. 5) fanno presupporre che l'impiego di trasduttori acustici possa costituire parte integrante di un sistema per la previsione e l'allerta in caso di eventi estremi. Per questo motivo si sono iniziati ad analizzare come casi di studio gli episodi alluvionali verificatisi il 25 Ottobre 2011 in località "5 Terre" e il 4 novembre 2011 sulla città di Genova.

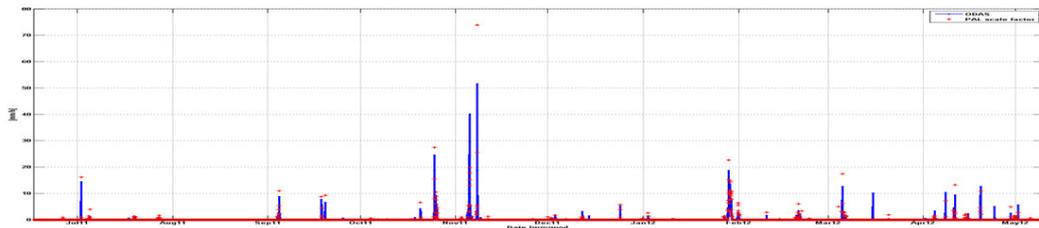


Figura 5: Serie temporale della pioggia misurata dal pluviometro a bordo del sistema osservativo WI-M3A (linea continua blu) e stimata attraverso l'analisi di dati acustici (asterisco rosso).

Durante il soggiorno è stato inoltre possibile iniziare ad analizzare il livello di rumore (sound budget) del bacino ligure utilizzando i dati acquisiti al fine di utilizzare il PAL come possibile supporto alle regolamentazioni in tema di rumore ambientale nelle area marine protette.

La collaborazione con i colleghi dell'APL e in particolar modo con il professor Nystuen, uno dei più esperti studiosi nell'ambito dell'analisi di dati acustici per la misura della pioggia ha consentito di gettare le basi per future analisi legate al rumore ambientale in generale e per la pubblicazione dei risultati ottenuti.