Una rete europea per la ricerca bio-acustica marina e terrestre

Pavan G. a), Ardizzone V. b), Barbera R. b), Favali P. c), Riccobene G. d)

a) CIBRA - Università di Pavia, Via Taramelli 24, I-27100, Pavia email gianni.pavan@unipv.it
b) INGV - Roma 2, Via di Vigna Murata 605, I-00134, Roma
c) INFN - Sez. Catania e Univ. di Catania Via S. Sofia 64, I-95123 Catania
d) INFN - Laboratori Nazionali del Sud, Via S. Sofia 62, I-95123 Catania

La ricerca bioacustica e le relative applicazioni in campo ambientale stanno avendo un notevole sviluppo sia in ambiente terrestre che marino; le potenzialità della bioacustica vengono sempre più sviluppate in ambito informatico con strumenti digitali che consentono di acquisire e archiviare dati acustici dai più svariati sensori (prevalentemente microfoni e idrofoni) montati su differenti tipi di piattaforme (idrofoni a grande profondità cablati a laboratori sulla costa, boe galleggianti che registrano e trasmettono via radio, array di idrofoni trainati da navi oceanografiche, registratori autonomi deposti sul fondo marino, registratori applicati sul dorso di mammiferi marini, stazioni microfoniche che monitorano aree protette, ecc.) anche per lunghi periodi di tempo. Il monitoraggio ambientale attraverso la registrazione sia dei suoni propri dell'ambiente naturale, in particolare delle specie animali in esso presenti, che prodotti e diffusi dall'inquinamento acustico di origine umana, produce enormi quantità di dati che solo in pochi casi possono essere processati in tempo reale. Nella maggior parte dei casi si producono archivi sonori che poi devono essere analizzati manualmente da operatori esperti per riconoscere e misurare gli eventi acustici di interesse. In molti casi tali archivi rimangono giacenti per anni nell'attesa di avere sufficienti risorse per analizzarli completamente. E in molti casi solo una piccola parte viene utilizzata per soddisfare specifici interessi di ricerca, lasciando nel limbo un patrimonio di dati che potrebbe essere di grande valore per altri ricercatori.
La ricerca bioacustica si svolge solitamente in un ambito altamente interdisciplinare al fine di sfruttare piattaforme di ricerca, quali navi oceanografiche o piattaforme offshore, di elevato costo.
La condivisione dei risultati fra differenti team di ricercatori, e anche fra differenti aree disciplinari (biologia marina, geofisica, oceanografia acustica, ecologia, etc) può portare a nuovi risultati e nuove sinergie operative, ad esempio con l'installazione di registratori bioacustici su piattaforme di ricerca geofisica, con la deposizione di registratori acustici durante campagne oceanografiche, con l'uso di arrays di idrofoni trainati da una nave oceanografica durante le campagne di avvistamento di mammiferi marini, con il monitoraggio marino per la mitigazione dei rischi acustici nell'uso di sonar e airguns, e molti casi ancora.
Un'area di ricerca specifica, chiamata "computational bioacoustics" è inoltre in corso di sviluppo per affrontare l'analisi delle registrazioni bioacustiche per le più svariate finalità: per riconoscere e catalogare le specie animali sia per gli interessi della tassonomia che per lo studio della biodiversità degli ambienti, per riconoscere la presenza di determinate specie animali al fine di valutare e monitorare nel tempo la qualità e la biodiversità di un ambiente in risposta a fattori esterni quali l'impatto delle attività dell'uomo dirette e indirette (cambiamenti climatici); per studiare il comportamento degli animali marini in risposta ai fattori di disturbo quali il traffico navale, le esercitazioni militari, le prospezioni geofisiche, il depauperamento delle risorse ittiche, e anche il rumore che, nella nuove direttive sulla "Marine Strategy" (EEC 2008/56) diventa un parametro di qualità dell'ambiente marino.
Il progetto in corso di sviluppo vuole creare una infrastruttura di supporto a tutte queste attività che sono di ricerca ma anche applicative per il monitoraggio e la gestione dell'ambiente naturale.
Si vuole quindi creare una infrastruttura informatica basata sulle potenzialità di GRID e GARR che consenta l'archiviazione e la condivisione in rete non solo degli archivi e dei dati generati in tempo reale da diverse classi di sensori (ad esempio piattaforme marine cablate a terra), ma anche di tools per l'analisi cooperativa.
Non esistono attualmente software in grado di soddisfare tutte le esigenze della ricerca bioacustica e il ricercatore deve attingere da diversi software commerciali e sempre più deve cercare di sviluppare tools proprietari per risolvere esigenze specifiche che il più delle volte sono anche comuni a molti altri ricercatori.

Le frequenze di interesse spaziano dagli infrasuoni (eventi sismici, suoni di balene, rumore ambientale, rumore del traffico navale), ai suoni udibili (rumore ambientale, rumore delle navi da pesca, mammiferi marini) agli ultrasuoni (mammiferi marini, attrezzature oceanografiche, fenomeni fisici) per servire una ampia gamma di ricercatori (biologi marini, bioacustici, geofisici, oceanografi, sviluppatori sonar, ecc.). Saranno inoltre gestiti anche files multicanale per ricerche di localizzazione acustica basata sulla detezione di segnali da parte di sensori opportunamente spaziati fra loro. Le tecnologie disponibili permettono la raccolta di grandi volumi di dati acustici da molteplici sensori che operano con la supervisione di un operatore e anche in modo totalmente autonomo per lunghi periodi di tempo. L'analisi di dataset così grandi è ancora basata principalmente sull'ispezione manuale delle registrazioni da parte di operatori esperti.
La dimensione dei files che vengono acquisiti spesso ne rende difficile l'archiviazione, la preservazione per lungo tempo, e anche lo scambio/condivisione con altri ricercatori potenzialmente interessati.
Le funzionalità di condivisione sia degli archivi che dei metadati e dei tools di catalogazione, etichettatura ed analisi consentirà ad esempio a un ricercatore su una nave oceanografica di confrontare una registrazione appena effettuata, che ritiene essere della specie X, con tutte le registrazioni e i metadati disponibili in archivio per quella specie e/o per quella specifica posizione geografica o habitat. E non appena metterà online i file con etichettati i suoni della specie X, altri ricercatori potranno verificare e condividere l'attribuzione specifica o suggerire interpretazioni alternative; se validati, i nuovi dati diventeranno ulteriori classificatori della specie. Con lo sviluppo di sistemi automatici e semiautomatici di riconoscimento specifico sarà poi il sistema stesso a individuare i segnali potenzialmente attribuibili ad una certa specie indicando anche l'omogeneità o meno dei dati acquisiti ed eventualmente suggerendo potenziali alternative di classificazione.
Il collegamento delle classificazioni specifiche con il sistema OBIS-SEAMAP consentirà di creare mappe di distribuzione sia delle specie riconosciute che delle categorie acustiche in attesa di attribuzione specifica aiutando quindi il ricercatore a collegare i segnali acquisiti a specifici habitat.

Campionamento (16 bit)	1 sensore		4 sensori	
48 kHz	8GB/giorno	240GB/mese	32GB/giorno	960GB/mese
192 kHz	32GB/giorno	960GB/mese	128GB/giorno	3840GB/mese
384 kHz	64GB/giorno	1920GB/mese	256GB/giorno	7680GB/mese

Tabella dimensione totale files per sessioni di registrazione giornaliere e mensili a varie frequenze di campionamento e con diverso numero di sensori.

Nel 2005-2006 l'esperimento NEMO-ONDE, basato su una piattaforma di 4 idrofoni collocati in mare e collegati ai laboratori INFN di Catania con un cavo in fibra ottica, ha prodotto, pur registrando solo 5 minuti ogni ora, oltre 4TB di dati; lo stesso quantitativo di dati viene raccolto in un mese dal CIBRA dell'Università di Pavia nelle crociere di ricerca oceanografica che compie con i propri idrofoni trainati; il progetto LIDO-ESONET, evoluzione di ONDE, prevede la registrazione continua da 4 sensori a 96kHz e da 4 sensori a 192kHz di 6TB/mese (senza compressione) a partire dalla fine del 2010.Si tratta di quantità di dati che fino a pochi anni fa rappresentava un grande problema di archiviazione; ora un singolo disco contiene 2TB, il problema della mera archiviazione è certamente alleviato, ma all'aumento di capacità degli hard-disk non è corrisposto un analogo aumento delle capacità di analisi, non solo in termini di velocità di calcolo, ma soprattutto in termini di capacità di gestire in modo automatico, o perlomeno altamente assistito, l'analisi e l'interpretazione dei dati. Quando il sistema avrà raggiunto un elevato livello di affidabilità nella classificazione, sarà anche possibile implementare l'archiviazione selettiva che, in specifici casi, consentirà di ridurre enormemente la mole di dati da archiviare e/o gestire.

Le sorgenti di dati acustici possono essere di svariati tipi:
Statiche in real-time:
- idrofoni o reti di idrofoni cablati
- sonoboe ancorate (wireless)

Statiche non in real-time:
- registrazioni da singoli idrofoni

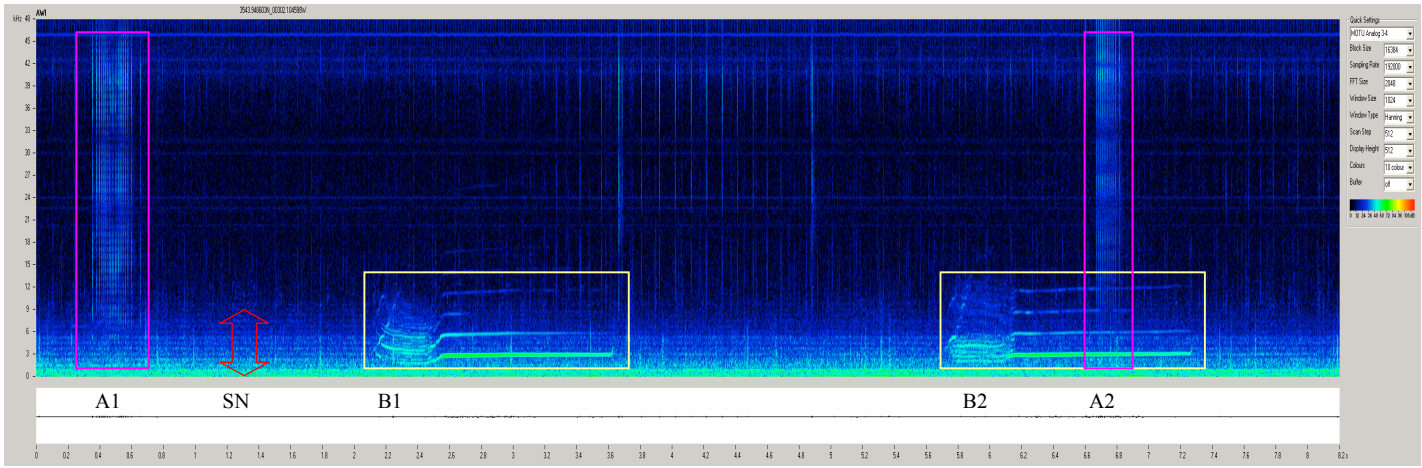
- registrazioni da sonoboe ancorate
- registrazioni da registratori autonomi (deposti sul fondo o su piattaforme oceanografiche)

Mobili non in real-time (alcune potrebbero diventare in real-time con nuove tecnologie wireless):

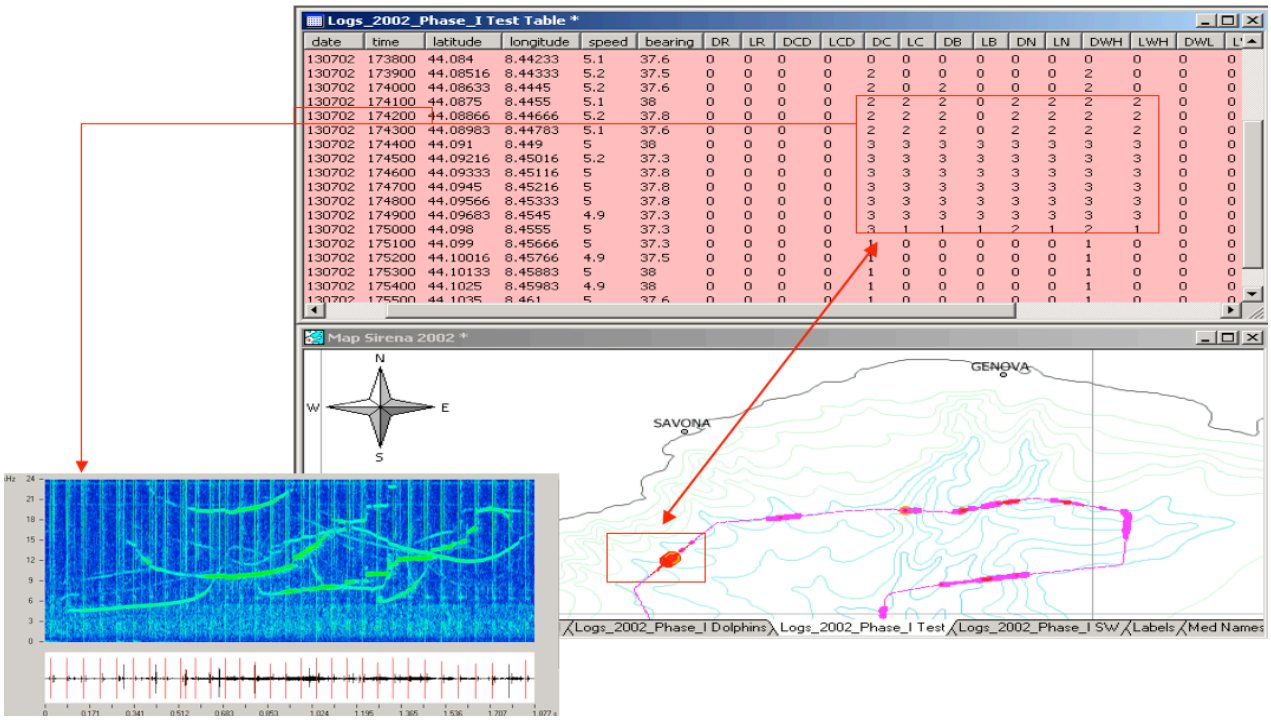
- cortine di idrofoni trainati da navi o da sottomarini
- veicoli autonomi subacquei (AUV, gliders) e di superficie (wave-rider, drifting buoys)
- registratori applicati al dorso degli animali (DTAG sviluppati da WHOI)

I tools che saranno disponibili online consentiranno:

- download/upload di files o di porzioni di files
- acquisizione, archiviazione, visualizzazione real-time di sorgenti real-time e continue
- compressione/decompressione lossless (FLAC o simili)
- archiviazione di metadati di varia origine (ocenografici, climatici, atmosferici, biologici)
- georeferenziazione delle registrazioni e visualizzazione su GIS dei contenuti dell'archivio
- editing non distruttivo dei files (filtraggio, deconvoluzione, estrazione di sezioni, rimozione del rumore, ricampionamento, espansione temporale, riduzione della frequenza, etc.)
- analisi e visualizzazione online con diverse tecniche (Oscillogramma, Spettro istantaneo e mediato, Spettrogramma o SFFT, Wavelets, Wigner-Ville, Zero-Crossing, LPC, etc.) e integrazione/confronto delle diverse tecniche
- catalogazione, classificazione ed etichettatura manuale dei contenuti in modalità sia "privata" che "cooperativa"
- catalogazione, classificazione ed etichettatura automatica (con e senza supervisione) dei contenuti dei files con differenti algoritmi (di sistema o inseriti dagli utenti in modo sia "privato" che "cooperativo") sia operanti sul segnale che sulla sua rappresentazione, ad esempio con tecniche di analisi di immagini
- analisi specialistiche (riconoscimento specifico di mammiferi marini, riconoscimento di sonar, riconoscimento di esplosioni, riconoscimento del rumore navale, riconoscimento di eventi geosismici)
- ricerca/catalogazione/confronto per etichetta, categoria, classificazione specifica o tipo di sorgente, sensore, posizione geografica
- analisi multicanale e multisensore (beamforming, localizzazione 3D e tracking delle sorgenti)
- analisi spettrostatistiche (analisi del rumore ambiente a breve e lungo termine)
- inserimento e uso di tools sviluppati dall'utente in matlab (sia per uso privato che pubblico)
- implementazione del pacchetto MATLAB X-BAT sviluppato da Cornell University



Esempio di "label" attribuite a diversi eventi acustici appartenenti a tre categorie acustiche: Registrazione effettuata il 5 maggio 2008 nel Mare di Alboran, idrofono trainato, 192kHz.
A1=A2: burst di impulsi, attributo a Pilot whale da G.Pavan
B1=B2: suono tonale, con armoniche, attribuito a Pilot whale da G.Pavan
SN: rumore nave 0-5kHz, cargo identificato a 3nm



Collegamento fra catalogo degli eventi acustici minuto per minuto, mappa GIS della crociera di rilevamento acustico, e file con l'immagine spettrografica del cluster di eventi del giorno 13.07.2002 alle ore 17:42.

Utenti

Geofisici - La comunità dei geofisici è interessata principalemte ai segnali a bassa frequenza (< 1kHz), nella correlazione con fenomeni sismici e nella individuazione di possibili eventi predittori di terremoti e tsunami.

Oceanografi - Gli oceanografi sono interessati a utlizzare i suoni subacquei come indicatori di altri fenomeni di interesse (sound propagation models, ocean noise, traffico navale, correnti)

Biologi ed ecologi marini - La comunità dei biologi e degli ecologi marini interessati all'acustica subacquea è in costante aumento in quanto è ormai riconosciuta l'importanza dell'acustica per molteplici organismi marini (crostacei, pesci, mammiferi marini) e quindi l'acustica subacquea offre importanti strumenti per monitorarne la presenza, la distribuzione e i comportamenti anche in relazione ai fattori di distrurbo introdotti dall'uomo, fra questi il rumore (vedere la "Marine Strategy" EEC 2008/56) sia da sorgenti puntiformi di alta potenza, come sonar e airguns per le prospezioni geofisiche, sia da sorgenti diffuse come il traffico navale. L'acustica riveste pertanto un ruolo fondamentale per la conservazione dell'ambiente marino e dei mammiferi marini in particolare, ad esempio nel riconoscere la presenza di cetacei in immersione e nel limitare l'impatto su di essi di attività che producono rumore.

Possibili sviluppi

Una ampia comunità di ricercatori nel campo dell'acustica, anche oltreoceano, mostrerà un grande interesse verso questo progetto sia per gli aspetti di archiviazione che per gli aspetti di condivisione anche delle procedure di analisi e comparazione. E questo interesse sarà non solo per l'acustica subacquea ma anche per l'acustica terrestre che mostra, soprattutto nel settore dell'ecologia acustica, un grande interesse per il monitoraggio di habitat naturali e semi-naturali con la registrazione e lo studio dei paesaggi sonori e dell'inquinamento acustico.

Enti che dispongono e/o che producono archivi di registrazioni subacquee
Marine Militari
Centri di ricerca oceanografici e geofisici
INFN – esperimento ONDE registrazioni da piattaforma acustica sottomarina (Catania, 2005-2006)
INGV – piattaforme con sensori sismici e sensori acustici
CIBRA – archivio di registrazione acustiche subacquee da diversi sensori e piattaforme (dal 1991)
NURC – NATO Undersea Research Center

Sistemi (idrofoni broadband e per uso geofisico) che possono produrre dati in tempo reale:
Esperimenti NEMO e ESMO (Capo Passero, Italia)
Esperimento LIDO-ESONET (Capo Passero, Italia)
Esperimento ANTARES/AMADEUS (Tolone, Francia)
Laboratorio OBSEA (Barcellona, Spagna)

Altre possibili collaborazioni:
OBIS-SEAMAP per la catalogazione online della fauna marina
EDA/POMM – European Defence Agency, project for the Protection Of Marine Mammals
AWI Polar Institute - Germania
Natural Sound Library di Londra
Fonoteca Zoologica di Berlino
Fonoteca Zoologica di Madrid
Cornell University Sound Library (US)
Woods Hole Oceanographic Institution (US)
Office of Naval Research – Marine Mammals Program
US Navy – Marine Mammals Program
Esperimento ANTARES (CNRS Marsiglia, ECAP Erlangen, UP Valencia)
Rete internazionale di rilevamento delle esplosioni nucleari
European Network of Bioacoustic Collections for Taxonomy and Conservation
IBAC – International Bio-Acoustic Council
EDIT – European Distributed Institute for Taxonmy
CNRS – France