

LA BIOACUSTICA MARINA PER LO STUDIO DEI CETACEI NELLA IMPLEMENTAZIONE DELLA MARINE STRATEGY IN ITALIA

THE MARINE BIOACOUSTICS FOR THE STUDY OF CETACEANS IN THE IMPLEMENTATION IN ITALY OF MARINE STRATEGY

Gaetano Licitra (1) *, Fabrizio Borsani (2), Giuseppe Marsico (2), Gianni Pavan (3), Giorgio Riccobene (4)

1) ARPAT - Dip. Lucca; 2) ISPRA; 3) Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali - Università di Pavia; 4) INFN – Sez. Catania.

* Indirizzo dell'autore di riferimento - Corresponding author's address:
via Vallisneri 6 - 55100, Lucca, Italia
e-mail: g.licitra@arpat.toscana.it

(Ricevuto il 29/06/2015, accettato il 13/08/2015)

RIASSUNTO

I cetacei sfruttano il suono come strumento di comunicazione e di visione subacquea, ma ora si trovano ad affrontare un ambiente alterato dall'inquinamento acustico dovuto ad attività umane. L'implementazione della direttiva sulla marine strategy è stata l'occasione per raccogliere i dati acustici presenti in Italia, nonché per definire le criticità esistenti. Sono qui presentati i risultati del progetto Gionha per la ricostruzione modellistica del rumore sottomarino nell'alto tirreno e gli osservatori sottomarini multidisciplinari realizzati nel mar Ionio. Essi hanno permesso lo studio dei cetacei e la misura del rumore di fondo, sia diffuso che causato da singole navi in transito.

ABSTRACT

Cetaceans use sound as a tool of communication and underwater vision, but now they face an environment altered by noise pollution due to human activities.

The implementation of Marine Strategy Framework Directive, has offered the opportunity of collecting acoustic data present in Italy, as well as to define the existing weaknesses. We present the results of the GIONHA project for the underwater noise modelling in the high Tyrrhenian and the submarine multidisciplinary observatories installed in the Ionian Sea. They have allowed innovative studies on cetaceans and on background noise, either diffuse or produced by individual ships in transit.

Parole chiave: Rumore subacqueo; Direttiva Marine Strategy; Idrofono.

Keywords: Underwater acoustics; Marine Strategy Directive, Hydrophone.

1. Introduzione

Il suono è un elemento importante per la vita di molti organismi acquatici; in invertebrati (perlopiù crostacei), pesci, e mammiferi acquatici (cetacei e pinnipedi) l'emissione e la ricezione dei suoni rappresenta un elemento importante del comportamento, sia per la comunicazione infraspecifica, ad esempio come richiamo sessuale, che per la percezione dell'ambiente e la cattura delle prede, con frequenze che spaziano dagli infrasuoni agli ultrasuoni [1].

Fra i mammiferi marini, Cetacei e Pinnipedi hanno sviluppato notevoli capacità acustiche, sono tuttavia i Cetacei Odontoceti (delfini, orche, capodoglio) e Misticieti (balene) ad avere sviluppato specifici adattamenti per sfruttare al meglio il suono come strumento di comunicazione su grandi distanze nonché di "visione" subacquea tramite l'ecolocalizzazione (biosonar) [2]. I loro segnali sonori si integrano al rumore naturale dell'ambiente formando un insieme acustico complesso [3], al quale contribuisce sempre più anche l'uomo con una forma di inquinamento, quello acustico, che ha profondi impatti sulla loro vita [4].

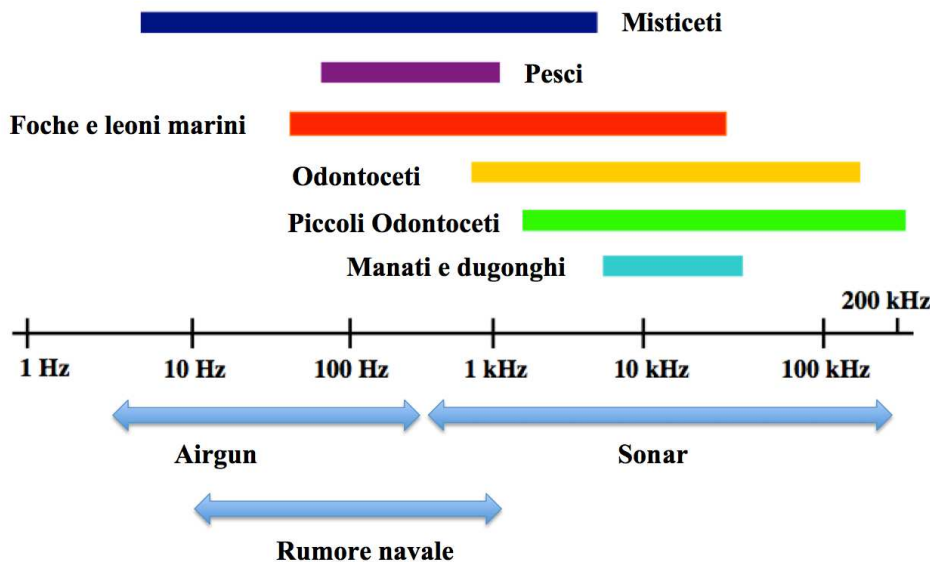


Fig. 1 - Frequenze di emissione di Odontoceti e Misticieti (modificato da Stern & Bradley, 2008) - Emission frequencies of Odontoceti and Mysticeti (modified from Stern & Bradley, 2008).

Come mostrato in Figura 1, la produzione di segnali acustici nei Cetacei è molto varia, sia per l'ecolocalizzazione negli Odontoceti, con segnali impulsivi che si estendono fino a 200 kHz, che per i segnali di comunicazione, tonali e a frequenze più basse, generalmente inferiori a 25 kHz negli Odontoceti e a 5 kHz nei Misticieti (balene e balenottere). In alcune specie di Misticieti di grandi dimensioni, i segnali di comunicazione sono sequenze a frequenze estremamente basse (fra 10 e 100 Hz) che possono propagarsi su grandi distanze [5]. E' da considerare che questi segnali, oltre ad avere funzione comunicativa, potrebbero anche consentire di rilevare, tramite gli echi, macrostrutture dei bacini oceanici e forse anche la presenza di masse d'acqua a temperatura diversa [6]. Le pressioni acustiche emesse sono nell'ordine dei 190-230 dB di picco (ref 1 μ Pa @ 1m) per gli impulsi di ecolocalizzazione [2] (di breve durata, tipicamente da 20 a 500 μ s), e di 160-180 dB rms per i segnali tonali.

2. Il rumore subacqueo

La preoccupazione che il rumore potesse avere un effetto negativo sull'ambiente marino, e sui Mysticeti in particolare [8], nasce negli anni '70 con il progetto ATOC (Acoustic Tomography of Ocean Climate) [9] che prevedeva l'emissione in mare di potenti segnali a bassa frequenza per misurare i tempi di propagazione a distanze su scala planetaria e da questi stimare la temperatura delle masse d'acqua attraversate. E' tuttavia acquisizione recente che anche il rumore subacqueo possa essere un pericolo per i mammiferi marini ed essere considerato un inquinante a tutti gli effetti.

Lo stesso ambiente è certamente una fonte di rumore; il moto ondoso, il vento, la pioggia, i microsismi del fondale sono sorgenti di segnali acustici di differenti caratteristiche, vedasi in proposito le curve di Wenz [10], ma a questo rumore gli animali si sono adattati nel corso dell'evoluzione sviluppando una curva di sensibilità uditiva e schemi di comunicazione adeguati.

Le ricerche di bioacustica degli ultimi due decenni sono state per lo più orientate alla protezione dei cetacei rispetto al rumore di elevata potenza, in particolare degli airgun e dei sonar navali, ma ora si sta affermando una maggiore attenzione su tutte le problematiche indotte dal rumore anche a livelli subletali.

Le categorie di produzione di rumore da parte dell'uomo spaziano da sorgenti puntuali di alta potenza come sonar navali, esercitazioni militari, esplosioni per demolire strutture offshore, brillamento di ordigni bellici, airgun usati nelle prospezioni geosismiche, che possono essere letali a breve distanza, a sorgenti più o meno discontinue come la costruzione di opere offshore e sulla costa, a emissioni costanti e diffuse, come con il traffico navale, gli impianti industriali offshore, che, seppur non immediatamente letali, possono avere un impatto significativo sul comportamento e sul benessere dei singoli individui e conseguentemente un impatto negativo a livello di popolazione.

L'inquinamento acustico ha molteplici effetti sugli animali marini [4; 7; 11-15] ed è sempre più considerato a livello legislativo [16-18] e di gestione delle strategie di conservazione [19-23]. A partire dagli anni '90 numerosi Enti e organizzazioni (IWC, ICES, IMO, ACCOBAMS, ASCOBANS, Marine Militari) hanno proposto linee guida di vario tipo per la riduzione del rumore subacqueo e la mitigazione dei relativi effetti, in particolare per quanto riguarda sonar e prospezioni geosismiche. Ora il problema del rumore è riconosciuto strategico a livello comunitario. La Direttiva Europea sulla Strategia Marina (MSFD 2008/56/EC) riconosce il rumore come elemento negativo per la qualità dell'ambiente marino, e identifica due principali categorie, il rumore impulsivo (localizzato e limitato nel tempo) di elevata potenza (prospezioni geosismiche con airgun, sonar sia militari che civili, costruzioni offshore con piantapali), e il rumore continuo a bassa frequenza (soprattutto dovuto al traffico navale).

In questo ultimo ambito, la consapevolezza che il rumore di origine navale è un fenomeno continuo e ubiquitario ha indotto l'IMO (International Maritime Organization) a redigere linee guida per la riduzione del rumore irradiato dalle navi raccomandando ai costruttori l'adozione di idonee soluzioni progettuali e alle compagnie di navigazione l'adozione di interventi di manutenzione specifici (MEPC66/17, 2013).

Fonti di rumore di elevata potenza possono provocare gravi danni fisici non solo alle strutture dell'apparato uditivo ma anche ad altri organi (traumi meccanici e embolie) e provocare la morte degli animali sia per danni diretti che per cause indirette, mediate da particolari risposte comportamentali. Il rumore anche se di non elevata intensità ma diffuso su ampie aree, come avviene con il traffico navale [22-24], può agire in modo

subdolo e difficilmente identificabile: può interferire con i processi di comunicazione fra gli animali mascherandone i segnali [15]; può quindi limitare la capacità degli animali di comunicare, di chiamarsi e di riconoscersi ad esempio nel periodo riproduttivo, ma anche di segnalare situazioni di pericolo o di individuare ostacoli e prede tramite il biosonar. Se subito estensivamente, il rumore può produrre stress, alterazioni del comportamento, diminuire la capacità riproduttiva o indurre l'allontanamento da determinate aree o dalle usuali rotte di migrazione, con effetti sulle popolazioni e imprevedibili conseguenze ecologiche per l'ambiente marino.

Numerosi studi hanno individuato livelli di pressione acustica che inducono reazioni (allontanamento, deviazione di rotta, cessazione o alterazione delle vocalizzazioni) già a partire da 120 dB, perdita di sensibilità uditiva temporanea (TTS) intorno a 160 dB e perdita definitiva di sensibilità (PTS) a livelli superiori a 180 dB. Studi recenti indicano inoltre che la durata e la ripetizione del disturbo riducono sensibilmente i sopra indicati livelli soglia e per questo sono state definite anche delle soglie di esposizione cumulativa. Queste conoscenze sono però limitate a poche specie e pertanto i livelli di attenzione sono generalmente modellati non a livello di specie ma a livello di gruppi di specie con caratteristiche uditive e comportamentali simili [25].

Per molti anni si è ritenuto che alcuni spiaggiamenti di massa fossero determinati dai sonar navali, ma solo nel 1996 se ne è avuta evidenza con lo spiaggiamento di massa di zifi nella baia di Kyparissia, in Grecia [11]; successivi studi hanno consentito di correlare episodi di spiaggiamenti con esercitazioni navali a partire dagli anni '60 evidenziando la estrema sensibilità al rumore del gruppo degli Zifidi [26-29].

3. Impatto del rumore sulla fauna marina: le norme internazionali e l'attività in Italia

La Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC) e la conseguente decisione della Commissione 2010/477/EC riconoscono per la prima volta il rumore sottomarino come una vera e propria forma di inquinamento includendolo fra gli 11 descrittori qualitativi (D11) del "Buon Stato Ambientale" (GES) dei nostri mari. In particolare, il descrittore 11.1 riguarda i suoni impulsivi generati dalle attività antropiche che potrebbero avere un impatto significativo sulla fauna marina, mentre il descrittore 11.2 riguarda il rumore continuo generato dal traffico marittimo quale pressione di rilevanza a livello dell'intero ecosistema marino.

La Direttiva è recepita a livello nazionale con il D.Lgs. 13/10/2010, n. 190 (Attuazione della direttiva 2008/56/EC), che istituisce un quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino, pubblicato nella Gazz. Uff. 18 novembre 2010, n. 270).

Le misure del rumore subacqueo pongono una sfida agli Stati Membri in quanto, al presente, non sono disponibili standard europei nè sulle unità di misura, nè sul monitoraggio e sulla mappatura dei suoni. Pertanto, la UE ha istituito nel 2010 un gruppo di lavoro, TG Noise (Technical Group on Noise), per definire problemi e relative soluzioni inerenti il rumore subacqueo.

A partire dal 2010 ISPRA, e in particolare il Servizio Agenti Fisici (AGF), ha partecipato attivamente alle attività del TG Noise, ospitando, tra l'altro, la riunione annuale dell'Ottobre 2013 nella propria sede a Roma. Nel 2011 ha redatto e pubblicato le linee guida nazionali per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare. Nel 2012 ha prodotto il "Rapporto tecnico: Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani", per conto del Ministero Vigilante (MATTM). AGF ha provveduto puntualmente a

fornire dettagliate informazioni sui dati acustici presenti in Italia, sui soggetti detentori e sulla qualità dei dati reperibili. Ha inoltre effettuato le indagini volte a definire quali fossero le criticità esistenti e a definire le aree (sotto regioni) di intervento opportune. Nel corso del 2013-14 ha inoltre elaborato e presentato al MATTM un piano di monitoraggio nazionale per il D11, come richiesto dalla UE.

Recentemente, anche il National Physical Laboratory (UK), istituto di riferimento per la metrologia, ha compilato, con l'intento di fornire una guida ad interim nelle more della pubblicazione degli standard internazionali, una guida per la misure del rumore in mare rivista e adottata da numerosi esperti della materia. (Good Practice Guide n. 133 Underwater Noise Measurements NPL 2014, ANSI 2009, ISO 17028-1 2011). ISPRA ha partecipato alla revisione del documento e lo ha adottato come guida di buona pratica di riferimento per le proprie attività di studio e di indirizzo inerenti il rumore subacqueo.

4. Le attività di ricerca in Italia per la caratterizzazione del rumore sottomarino

Molte sono le attività di ricerca in Italia sulla determinazione del rumore sottomarino e sulla sua descrizione in aree specifiche. Non potendo presentare una panoramica esaustiva, sono di seguito descritte due esperienze, tra le più significative, sviluppate da alcuni degli autori.

4.1 L'esperienza del progetto Gionha

Il progetto GIONHA ha analizzato nel dettaglio il rumore prodotto dal traffico navale nell'Alto Tirreno per poter evidenziare eventuali zone critiche per i mammiferi marini che popolano l'area marina. Adempiendo a quanto richiesto dalla Marine Strategy è stata fornita una valutazione del livello di inquinamento acustico marino su base annuale. Un tale compito, se affrontato in modo tradizionale, richiede un enorme dispiego di risorse ovvero attraverso la realizzazione di campagne di misura dedicate. A questo si aggiunge la necessità di effettuare un campionamento che garantisca la rappresentatività sia spaziale che temporale dei dati acquisiti.

Un approccio alternativo, seguito nel corso del progetto, è consistito nell'effettuare una valutazione di tipo modellistico, ovvero basato sulla conoscenza della sorgente e delle leggi fisiche sulla propagazione del suono in ambiente marino. Poiché il limite maggiore è la conoscenza della sorgente, si è scelto di limitare l'analisi alla sola componente di rumore prodotto dal traffico navale, componente costantemente presente nel rumore marino e della quale si aveva la disponibilità di informazioni dettagliate.

Allo scopo di caratterizzare i volumi e la tipologia di traffico navale ci si è avvalsi dei sistemi AIS (Automatic Identification System) presenti sulle imbarcazioni. I segnali inviati dai transponder, elaborati in funzione di una serie di parametri acusticamente significativi (tipo di imbarcazione, velocità, tonnellaggio), sono stati utilizzati per ricostruire i percorsi delle imbarcazioni all'interno dell'area del Santuario, durante l'intero periodo del 2009 (dati forniti dal centro NURC di La Spezia).

Lo studio dell'emissione della sorgente navale è stato effettuato per mezzo di misure sul campo, condotte secondo i più recenti standard internazionali (Norma ANSI/ASA del 2009 adattata per una situazione con natanti non-cooperanti), e con strumentazione interamente digitale [24].

L'analisi ha incluso una fase di scrematura, per eliminare informazioni ridondanti, ed interpolazione, per integrare informazioni mancanti, comprimendo così l'informazione iniziale, costituita da circa 172 milioni di messaggi AIS, in un database da 26 milioni di record.

La fase di analisi successiva si è articolata in due momenti: nel primo è stata condotta un'analisi statistica spaziale delle informazioni, nel secondo un'analisi temporale. L'analisi spaziale ha consentito di suddividere per tipologia di imbarcazione il traffico totale presente nell'area (Figura 2): l'istogramma così ottenuto mostra una prevalenza importante delle navi passeggeri e cargo. Disponendo inoltre delle coordinate geografiche dei singoli punti AIS, è stato possibile elaborare opportune mappe che mostrano le principali rotte percorse dai natanti (Figura 3). Nell'analisi temporale si è cercato invece di evidenziare eventuali ciclicità nel traffico navale, in modo da utilizzare il dato giornaliero per estrapolare una informazione a più ampio raggio.

Il lavoro svolto sui dati AIS ha consentito di avere una visione quantitativa della pressione antropica rappresentata dal traffico navale nell'alto Tirreno. L'individuazione delle rotte principali, la conoscenza delle tipologie di imbarcazioni, la distribuzione temporale dei natanti, permettono di descrivere in maniera esauriente la sorgente di rumore nel Santuario dei Cetacei. Questa informazione costituirà il dato di input per la successiva modellizzazione acustica.

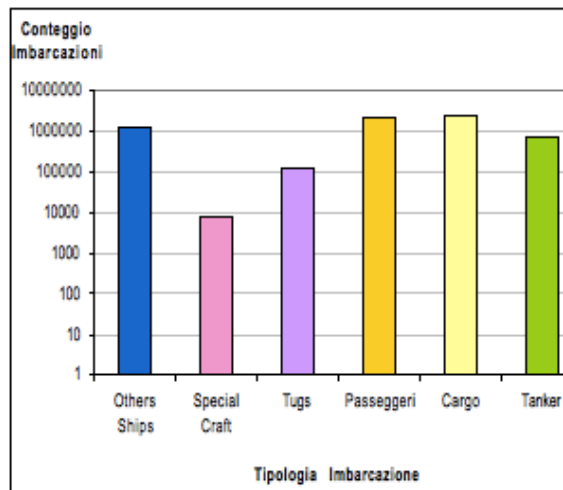


Fig. 2 - Numero di imbarcazioni per tipologia di natante - Number of boats by type of vessel.

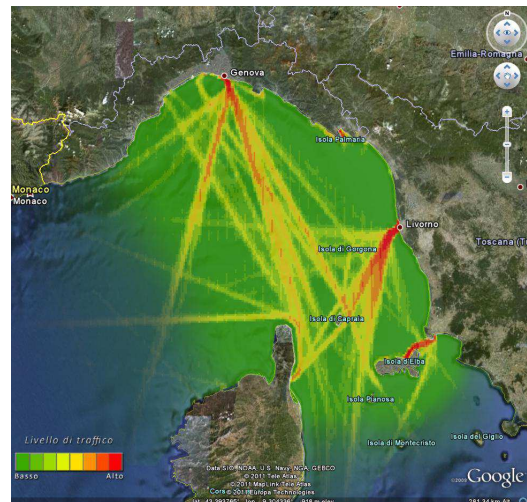


Fig. 3 - Traffico passeggeri nell'alto Tirreno - Passenger vessels traffic in High Tyrrhenian.

Nella fase successiva è stata realizzata un'analisi modellistica delle proprietà del volume di propagazione, consentendo di descrivere le caratteristiche acustiche di un'area molto vasta in tempi ragionevoli. Ciò è stato permesso dall'impiego del programma Bellhop, un modello matematico appartenente alla famiglia ray-tracing, d'uso comune in ambiente scientifico. La gestione della mole di dati necessari per lo svolgimento della fase di simulazione – ed in particolare i dati sulla batimetria, profili di velocità del suono e caratteristiche acustiche del fondale – sono state affidate ad un sistema automatico di estrazione e adattamento, funzionale alle richieste del modello di simulazione scelto. Il sistema suddivide l'area del Santuario in una griglia sorgente-ricevitore e provvede a calcolare l'attenuazione delle onde lungo la griglia in funzione del giorno dell'anno e della frequenza del suono.

Combinando tra di loro le informazioni sui volumi di traffico, sulle emissioni sonore delle sorgenti e sulla propagazione delle onde sono state realizzate una serie di mappe che descrivono la rumorosità dell'area.

I risultati ottenuti sono stati interpretati tenendo conto di quanto indicato dalla Marine Strategy per i suoni continui a bassa frequenza. La direttiva specifica che il livello di rumore ambientale, mediato all'interno di un anno nelle bande di terzi di ottava dei 63 e 125 Hz, non deve eccedere il valore limite di 100 re 1 μPa .

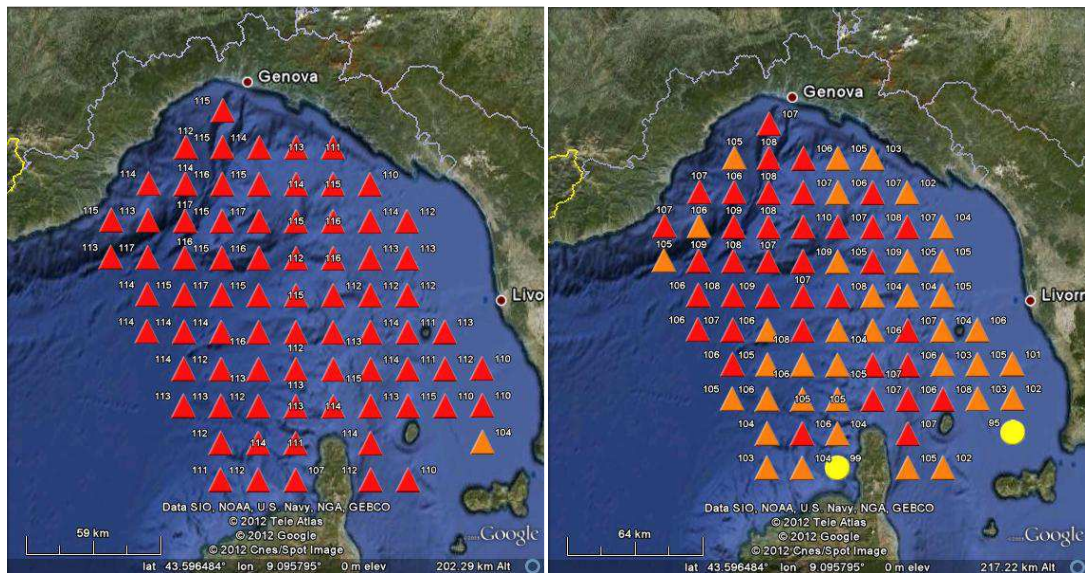


Fig. 4 - Mappe di rumore per il Santuario Pelagos. Le mappe sono state calcolate alle frequenze di 63 Hz (a sinistra) e 125 Hz (a destra), a 100 metri di profondità e sono rappresentative del rumore immesso durante l'anno 2009 - Noise maps in Pelagos Sanctuary. The maps have been calculated at frequencies of 63 Hz (left) and 125 Hz (right) , 100 meters deep and are representative of noise introduced during the year 2009.

Lo studio condotto ha in conclusione dimostrato come il Santuario dei cetacei Pelagos sia piuttosto compromesso dal punto di vista dell'inquinamento acustico: l'intera area risulta caratterizzata da livelli sonori molto alti, con il valore limite dei 100 dB che viene superato pressoché ovunque ed in qualsiasi condizione di analisi [23].

4.2 Un osservatorio marino al largo della Sicilia

Dalla collaborazione decennale tra l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali del Sud di Catania, il CIBRA (Centro Interdisciplinare Bioacustica e Ricerche Ambientali) dell'Università di Pavia, l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e numerosi altri enti, sono nati numerosi progetti interdisciplinari per il monitoraggio a lungo termine degli ambienti marini profondi. Lo sviluppo e messa in opera di nuove tecnologie, è stato finalizzato all'installazione due infrastrutture multidisciplinari cablate nelle acque profonde dello Ionio Sud Occidentale, che permettono – tra le altre numerose finalità di ricerca- di studiare in tempo reale il rumore ambientale sottomarino e registrare le emissioni acustiche dei cetacei presenti a largo della Sicilia orientale.

In particolare, grazie ai progetti KM3NeT [30], EMSO [31] e SMO-Firb2008 [32,33], sono state installate antenne sottomarine, al largo di Catania e al largo di Portopalo di Capo Passero, che consentono di monitorare il rumore a larga banda e di identificare la presenza di cetacei, in due aree chiave per la comprensione delle loro abitudini nel mar Ionio .

L'infrastruttura al largo di Catania, consiste in una stazione di terra all'interno del porto di Catania (vedi Figura 5), equipaggiata con sistemi di alimentazione, computing e connessa in fibra ottica ai Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN. L'installazione sottomarina si trova a circa 25 km dalla costa di Catania, a 2100 metri di profondità, connessa a terra tramite un cavo elettro-ottico, con due terminazioni distanti 5 km circa denominate Test Site North (TSN) e Test Site Sud (TSS). Fin dal 2005 sul sito TSS sono state connesse le antenne acustiche OnDE e OnDE-2, sul sito TSN l'osservatorio multidisciplinare NEMO-SN1, equipaggiato con sensori sismici, oceanografici ed acustici.

L'infrastruttura di Capo Passero è progettata per ospitare il telescopio sottomarino KM3NeT (www.km3net.org) finalizzato all'osservazione di neutrini cosmici di altissima energia per studi di astrofisica particellare. Anche le strutture del telescopio sono state equipaggiate con sensori acustici, connessi da mare a terra con un cavo elettro-ottico. In questo caso i sensori acustici svolgono la funzione principale di ricevitori per il sistema di posizionamento del rivelatore sottomarino, ma grazie alla possibilità di trasmettere tutti i dati verso terra sono anche utilizzati per monitoraggio acustico ambientale e per la ricerca di cetacei.



Fig. 5 - Test Site di Catania. LNS - INFN, utilizzato per le fasi di test del progetto KM3NeT-Italia e per l'installazione di osservatori sottomarini multidisciplinari in collaborazione con l'INGV - The Test Site of Catania LNS - INFN, used for the testing phases of the project KM3NeT-Italy and for the installation of underwater observatories in multidisciplinary collaboration with the INGV.

Il primo osservatorio acustico, OnDE (Ocean Noise detection experiment, Figura 6), è stato attivo dal 2005-2006. L'osservatorio consisteva in un'antenna tetraedrica di spigolo circa 1 m con idrofoni, sensibili nell'intervallo di frequenze tra 100 Hz e 40 kHz [4]. I dati provenienti dai 4 idrofoni Reson TC-4042C, venivano campionati sott'acqua con una coppia di ADC Stereo 96 kHz/24 bit sincronizzati e, quindi trasmessi a terra in tempo reale. Un sottocampione di dati (5 min/h) veniva registrato per analisi successive.

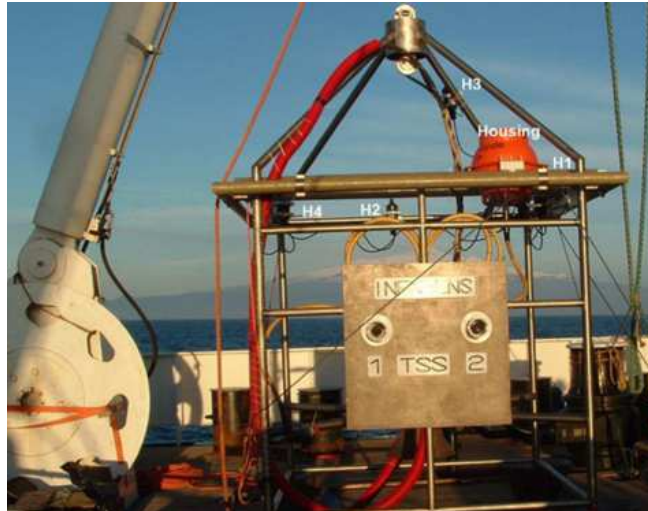


Fig. 6 - Stazione NEMO-OnDE durante la fase di trasporto per la posa in mare (Test Site Sud – Catania, Gennaio 2005) - Station NEMO -OnDE during transport to the installation at sea (Test Site South - Catania , January 2005).

OnDE ha eseguito per la prima volta una misura di lunghissima durata (2 anni) del rumore acustico in Mediterraneo ed ha identificato il passaggio di capodogli permettendo anche un'analisi delle dimensioni degli animali registrati con tecnica di Passive Acoustic Monitoring.

Nel giugno 2012 è stata installata nel Test Site Nord la stazione NEMO-SN1 per l'acquisizione e la trasmissione on-line di dati per il monitoraggio, a lungo termine, oceanografico, geofisico ed acustico dell'area antistante il golfo di Catania.

L'osservatorio SN1 (Figura 7) ospita sensori multi-parametrici, connessi con cavo elettro-ottico sottomarino al laboratorio INFN-LNS del porto di Catania, sito di elaborazione e distribuzione dei dati acquisiti. In SN1, per gli studi di acustica sottomarina, sono installati quattro idrofoni a banda larga (campionamento 96 kHz, 24 bit) e un idrofono low frequency (campionamento 2 kHz / 12 bit su due canali con differente guadagno) per lo studio dei segnali a bassa frequenza; entrambi i sensori sono stati prodotti dalla SMID Technology. Anche in questo caso i segnali venivano acquisiti e digitalizzati ad alta risoluzione in situ e quindi trasmessi su fibra ottica. I dati acustici di SN1 hanno nuovamente confermato il passaggio di capodogli al largo di Catania e permesso l'identificazione e il monitoraggio della balenottera comune. E' in corso anche lo studio del rumore acustico con il passaggio di navi monitorate con dati AIS, che mostra risultati in ottimo accordo tra rumore acustico registrato e il modello RANDI di produzione e propagazione di rumore prodotto da natanti.



Fig. 7 - Osservatorio SN1, durante la fase di assemblaggio nel laboratorio LNS-INFN del porto di Catania - SN1 observatory, during assembly in the LNS - INFN laboratory of the port of Catania.

Al largo di Capo Passero e' stato installato nel 2013 l'array acustico KM3NeT-SMO, una struttura tridimensionale -detta torre- alta circa 400 metri, ancorata al fondale e tenuta verticale da una boa di galleggiamento. La torre consta di 8 piani, di 8 metri di lunghezza ciascuno e distanti circa 40 metri l'uno dall'altro, grazie a tiranti in fibra composita (Figura 8).

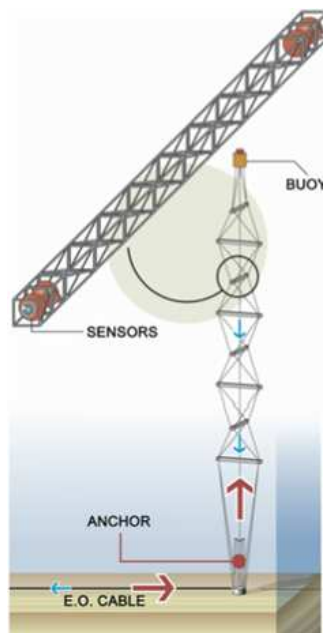


Fig. 8 - Prima torre KM3NeT-Italia installata nel sito INFN di Capo Passero a 3500 m di profondità - First tower installed in Italy KM3NeT - site INFN Cape Passero to 3500 m deep.

Su ciascun piano sono presenti 4 moduli ottici e strumenti per il monitoraggio del telescopio e dell'ambiente marino (correntometri, bussole, etc.). I sensori acustici SMO sono stati installati alla distanza di circa 7 m, sui piani.

Un cavo elettro-ottico lungo circa 100 km collega il telescopio sottomarino, consentendo la distribuzione dell'alimentazione elettrica a media tensione continua (10 kV) da terra e il flusso dei dati tra la strumentazione sottomarina e quella a terra.

In accordo alla filosofia "tutti i dati a terra", i dati acustici sono continuamente acquisiti sott'acqua, campionati e digitalizzati a 192kHz/24 bit, codificati secondo lo standard EBU / AES-3 da Hardware realizzato dall'INFN. In SMO è stata anche testata una nuova tecnologia che permette il time stamping dei dati con il tempo GPS, accurato entro qualche nanosecondo, a mare. Pertanto tutta l'antenna è sincrona e in fase con il GPS. L'architettura del sistema è mostrata in Figura 9

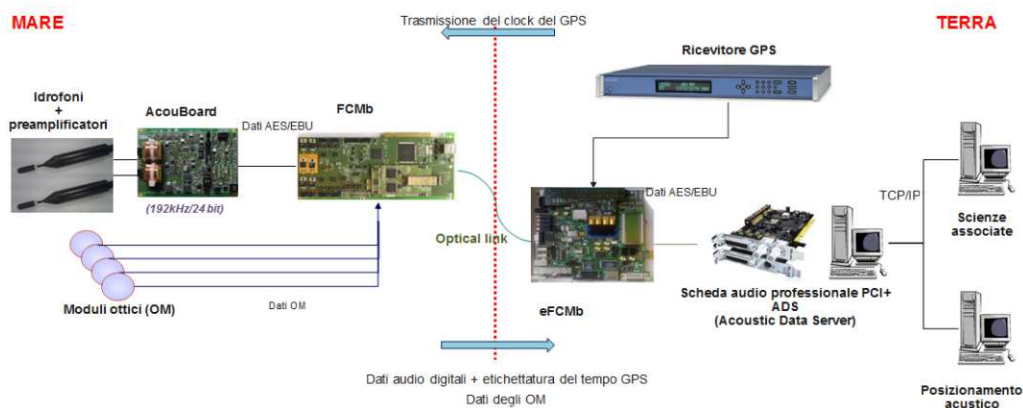


Fig. 9 - Schema del sistema di acquisizione del prototipo SMO . KM3NeT -
 Diagram of the acquisition system of the prototype SMO . KM3NeT

In SMO sono stati utilizzati idrofoni, modello TR-401(V)-1 a larga banda (10 Hz:70 kHz), prodotti dalla ditta SMID di La Spezia. Anche in questo caso si tratta di sensori piezoelettrici omnidirezionali, impermeabilizzati con un sottile strato di poliuretano. Una innovativa procedura di calibrazione in pressione sviluppata con il NURC-NATO ha permesso di verificare che la curva di sensibilità dei sensori utilizzati è pressoché invariante con la profondità.

Conclusioni

Gli studi e le ricerche degli ultimi decenni dimostrano come il rumore subacqueo di origine antropica possa avere impatti negativi su una grande varietà di organismi marini. Sono ampiamente dimostrati i danni individuali, tuttavia rimane da colmare il gap conoscitivo sugli effetti del rumore subacqueo a livello di popolazioni e di ecosistema.

E' inoltre da considerare che, mentre le reazioni fisiologiche sono dipendenti da pressione acustica, frequenza e durata dell'esposizione, le reazioni comportamentali dipendono molto dalla specie, dallo stato fisiologico, dal contesto ambientale e sociale, e anche da diverse caratteristiche del segnale di disturbo quali la composizione spettrale e le modulazioni della frequenza. Approfondire questi aspetti avrà una grande

importanza nella formulazione di nuove e più precise norme per la navigazione e per le attività potenzialmente dannose, sia all'ambiente marino in generale sia in particolare alle aree più significative per la sopravvivenza dei cetacei (rotte di migrazione, aree di riproduzione, aree di alimentazione). In questo quadro, si deve infine considerare che la protezione della fauna marina, e in particolare dei mammiferi marini, deve essere attuata non solo attraverso la riduzione delle sorgenti sonore di alta potenza, ma anche e soprattutto garantendo un ambiente acustico confortevole che ne garantisca il benessere e la sopravvivenza nell'interesse dell'intero ecosistema marino.

Le attività di ricerca in corso in Italia hanno prodotto risultati importanti che dimostrano come si debba fare per la protezione della fauna marina, interessando aree estese quali il nord Tirreno e lo Ionio meridionale.

Tali attività possono trovare notevole impulso da collaborazioni internazionali da rafforzare per contribuire allo sviluppo delle conoscenze in un settore che richiede anche dal punto di vista normativo a livello comunitario uno sforzo ancora molto significativo.

Conclusions

The scientific knowledge developed in the last decades show that anthropogenic underwater noise can have negative impacts on a wide variety of marine organisms. Impact on individuals have been demonstrated in several cases, however, it remains to demonstrate the effects of underwater noise at the level of populations and ecosystems.

We also have to consider that while the physiological reactions are dependent on sound pressure, frequency and duration of exposure, the behavioral reactions depend very much on the species, the physiological state, the environmental and social context, and also from different signal characteristics such as spectral composition and frequency modulations. Improving our knowledge will have a great importance in the formulation of new and more precise rules for navigation and for the potentially harmful activities that may impact on the marine environment in general and on the areas of greatest importance for the survival of cetaceans (migration routes, breeding and feeding areas). In this context, the protection of marine life, and particularly of marine mammals, should be implemented not only through the reduction of high-power sound sources, but also by ensuring a comfortable acoustic environment as required for the well-being and survival of marine life in the interest of the entire marine ecosystem.

The research activities in Italy in the last decade have produced important results that demonstrate how we can progress for the protection of marine life, affecting large areas such as the northern Tyrrhenian and the southern Ionian seas.

These activities can be further improved with international collaborations to develop knowledge in a field that still requires large effort in terms of regulatory obligations at European Community level.

Bibliografia

- [1] Hawkins, A.D., Myrberg, A.A.Jr. (1983). Hearing and sound communication under water. In: Bioacoustics. A comparative approach. Lewis B. ed.). London: Academic Press, pp. 347-405.
- [2] Au, W.W.L. (1993). The Sonar of Dolphins, Berlin: Springer-Verlag.
- [3] Urick, R.J. (1983). Principles of underwater sound. New York: McGraw-Hill.

- [4] Richardson, W.J., Greene, C.R., Malme, C.I., Thomson, D.H. (1995). *Marine mammals and noise*. London: Academic Press.
- [5] Watkins, W.A., Tyack, P., Moore, K.E. (1987). The 20 Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*). *J. Acoust. Soc. Am.*, 82, pp. 1901-1912.
- [6] Clark, C.W., Ellison, W.T. (2004). Potential use of low-frequency sounds by baleen whales for probing the environment: evidence from models and empirical measurements. In: *Advances in the study of echolocation in bats and dolphins*. Thomas, J.A., Moss, C.F., Vater, M. (Editors). University of Chicago Press. pp. 564-589.
- [7] Bradley, D.L., Stern, R. (2008). *Underwater sound and the marine mammals acoustic environment. A Guide to Fundamental Principles*. US Marine Mammal Commission.
- [8] Au, W.W.L., Nachtigall, P.E., Pawloski, J.L. (1997). Acoustic effects of the ATOC signal (75 Hz, 195 dB) on dolphins and whales. *J. Acoust. Soc. Am.*, 101, pp. 2973-2977.
- [9] Munk, W., Wunsch, C. (1979). Ocean acoustic tomography: a scheme for large scale monitoring. *Deep-Sea Research*, 26A, pp. 123-161.
- [10] Wenz, G. (1962). Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. *J. Acous. Soc. Am.*, 34, pp. 1936-1956.
- [11] Frantzis, A. (1998). Does acoustic testing strand whales? *Nature*, 392, p. 29.
- [12] Popper, A.N. (2003). Effects of anthropogenic sound on fishes. *Fisheries Research*, 28, pp. 24-31.
- [13] Simmonds, M., Dolman, S., Weilgart, L. (2004). *Oceans of Noise*. WDCS Science Report.
- [14] *Human-generated Ocean Sound and the Effects on Marine Life (2004)*, J. Merrill (Editor). *Journal of Marine Science and Technology*, 37.
- [15] Clark, C.W., Ellison, W.T., Southall, B.L., Hatch, L., Van Parijs, S., Frankel, A. et al. (2009). Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication. *Mar. Ecol Prog. Ser.*, 395, pp. 201-222
- [16] McCarthy, E. (2004). *International regulation of underwater sound: establishing rules and standards to address ocean noise pollution*. Kluwer Academic.
- [17] Weir, C.R., Dolman, S.J. (2007). Comparative review of the regional marine mammal mitigation guidelines implemented during industrial seismic surveys, and guidance towards a worldwide standard. *Journal of International Wildlife Law and Policy*, 10, pp. 1-27.
- [18] Pavan, G. (2007). *Acoustic Risk Mitigation in the Mediterranean Sea*. In: *Proc. Underwater Defence Technology*, Napoli.
- [19] Agardy, T., Aguilar, N., Cañadas, A., Engel, M., Frantzis, A., Hatch, L. et al. (2007). *A Global Scientific Workshop on Spatio-Temporal Management of Noise*. Report of the Scientific Workshop, pp. 1-51.
- [20] Pavan, G. (2007). *Guidelines to address the issue of the impact of anthropogenic noise on marine mammals in the ACCOBAMS area*. Report prepared for the 4th ACCOBAMS Scientific Committee. ACCOBAMS SC4 Doc 18.
- [21] Weilgart, L.S. (2007). The impacts of anthropogenic noise on cetaceans and implications for management. *Can. J. Zool.*, 85, pp. 1091-1116.
- [22] Pavan, G. (2008). The shipping noise issue, a challenge for the survival and welfare of marine life? In: *Maritime Traffic Effects on Biodiversity in the Mediterranean Sea: Review of impacts, priority areas and Identification of Biodiversity Offsets*. Vol. 1. Abdulla A. & Linden O. (Editors). IUCN. pp. 10-21.

- [23] Lanfredi, C., Azzellino, A., Iacononi, A. Licitra, G. (2014). Valutazione del rischio di esposizione al rumore da traffico navale sui cetacei nel santuario Pelagos. *Biol. Mar. Mediterr.*, 21(1), pp. 377-378.
- [24] Rossi, E., Licitra, G., Iacononi, A., Taburni, D. (2015). Assessing the Underwater Ship Noise Levels in the North Tyrrhenian Sea. In: *The Effects of Noise on Aquatic Life II*. Popper, A.N., Hawkins A. (Editors). New York: Springer Science+Business Media.
- [25] Southall, B.L., Bowles, A.E., Ellison, W.T., Finneran, J.J., Gentry, R.L., Greene, C.R. Jr. et al. (2007). Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals*, 33, pp. 411-521.
- [26] Fernández, A., Edwards, J.F., Rodríguez, F., Espinosa de los Monteros, A., Herráez, P., Castro, P. et al. (2005). Gas and fat embolic syndrome involving a mass stranding of beaked whales (family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals. *Vet. Pathology*, 42, pp. 446-457.
- [27] Cox, T.M., Ragen, T.J., Read, A.J., Vos, E. Baird, R.W., Balcomb, K. et al. (2006). Understanding the impacts of anthropogenic sound on Beaked whales. *J. Cetacean Res. Manage.*, 7, pp. 177-187.
- [28] Podestà, M., D'Amico, A., Pavan, G., Drougas, A., Komnenou, A. Portunato, N. (2006). A review of *Ziphius cavirostris* (G. Cuvier, 1823) strandings in the Mediterranean Sea. *J. Cetacean Res. Manage.*, 7, pp. 251-261.
- [29] Filadelfo, R., Mintz, J., Michlovich, E., D'Amico, A., Tyack, P.L., Ketten, D. (2009). Correlating military sonar use with beaked whale mass strandings: what do the historical data show? *Aquatic Mammals*, 35, pp. 435-444.
- [30] www.km3net.org, www.km3net.org/TDR/TDRKM3NeT.pdf (ultimo accesso: 28/07/2015).
- [31] www.emso-eu.org(ultimo accesso: 28/07/2015).
- [32] web2.infn.it/smo (ultimo accesso: 28/07/2015).
- [33] Riccobene, G. (2012). Towards acoustic UHE neutrino detection in the Mediterranean sea. *Nuclear instruments & methods in physics research section a-accelerators spectrometers detectors and associated equipment*. 692, pp. 197-200.