

MONITORAGGIO DEL RUMORE SUBACQUEO PER LA PROTEZIONE DEI CETACEI

Gianni Pavan (1,2), per conto delle collaborazioni SMO, KM3NeT Italia ed EMSO.

- 1) CIBRA (Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali),
Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Università degli Studi di Pavia,
Via Taramelli 24, 27100 Pavia
- 2) INFN – LNS (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Laboratori Nazionali del Sud)
via Santa Sofia 62, 95125 Catania

1. Introduzione

Molti organismi acquatici producono suoni e rumori, invertebrati (perlopiù crostacei), pesci, mammiferi acquatici (cetacei e pinnipedi), con frequenze di emissione che spaziano dagli infrasuoni agli ultrasuoni. I loro segnali sonori si integrano al rumore naturale dell'ambiente formando un insieme acustico complesso [1], al quale contribuisce sempre più anche l'uomo con una forma di inquinamento, quello acustico, che ha profondi impatti sulla loro vita [2].

La produzione di suoni nei crostacei e nei pesci è diffusa ma poco studiata; nei pesci Teleostei più di 50 famiglie comprendono specie produttrici di suoni [3; 4], generalmente con frequenze al di sotto di 2 kHz e con intensità limitate che confinano il ruolo della comunicazione alle brevi distanze.

Fra i mammiferi marini i Cetacei e i Pinnipedi hanno sviluppato notevoli capacità acustiche, sono tuttavia i Cetacei Odontoceti (delfini, orche, capodoglio) e Mysticeti (balene) ad avere sviluppato specifici adattamenti per sfruttare al meglio il suono come strumento di comunicazione su grandi distanze nonché di visione subacquea alternativa [5] tramite l'ecolocalizzazione. Gli organi per la ricezione e la produzione dei suoni si sono evoluti e diversificati con l'acquisizione anche della funzione di ecolocalizzazione (*biosonar*, o biological sonar), tipica e altamente specializzata negli Odontoceti, ma anche presente nei mammiferi terrestri nell'ordine dei Chiroteri (pipistrelli) [6; 7].

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 Mysticeti (balene e balenottere). In alcune specie di Mysticeti di grandi dimensioni, i segnali di comunicazione sono sequenze a frequenze estremamente basse (fra 10 e 100 Hz) che possono propagarsi su grandi distanze [8]. 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 [9].

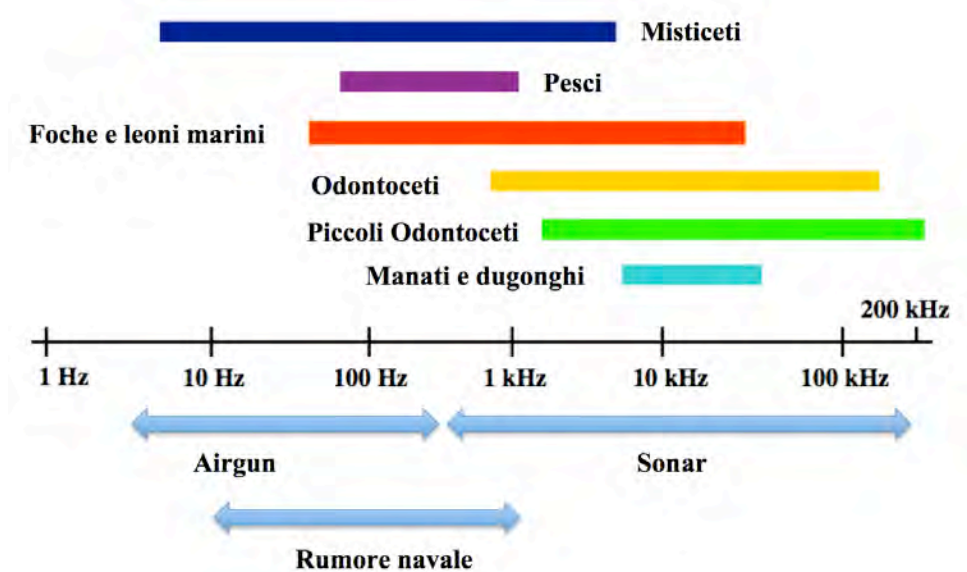


Figura 1 – Frequenze di emissione di Odontoceti e Mysticeti

Le pressioni acustiche emesse sono nell'ordine dei 190-230 dB di picco per gli impulsi di ecolocalizzazione, e di 160-180 dB per i segnali tonali (misurati frontalmente a 1m ref 1 μ Pa). La distanza di rilevamento di questi suoni è molto variabile: dipende dalla frequenza, la trasmissione in acqua è migliore al diminuire della frequenza, e dalla struttura del segnale, dalla potenza e direzionalità della sorgente, dalle caratteristiche di propagazione locali e dal rumore dell'ambiente, sia naturale che dovuto alle attività dell'uomo. I segnali di ecolocalizzazione nei delfini possono essere rilevati fino a 500m – 1km, mentre i segnali di comunicazione possono essere rilevati a distanze maggiori, ma sempre nell'ordine dei pochi km.

Le distanze di rilevamento dei segnali a bassa frequenza dei Mysticeti sono invece maggiori, nell'ordine delle decine di km; superiori a 100 km per la Megattera e ancora di più per le specie che usano segnali stereotipati a frequenze infrasoniche, come ad esempio la balenottera azzurra (*Balaenoptera musculus*) e la balenottera comune (*Balaenoptera physalus*), unico Mysticete costantemente presente in Mediterraneo.

2. Il rumore subacqueo

La preoccupazione che il rumore potesse avere un effetto negativo su questi animali è nato negli anni '70 con il sospetto che l'esperimento ATOC (Acoustic Tomography of Ocean Climate) [10], 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, potesse rappresentare un pericolo per i cetacei, in particolare per i Mysticeti che comunicano con suoni a bassa frequenza [11].

Ulteriori sviluppi di questa attenzione hanno portato a comprendere l'importanza dell'acustica per i cetacei e successivamente anche per altri gruppi zoologici marini. Nel corso dell'evoluzione, i cetacei si sono adattati alle caratteristiche acustiche dell'ambiente, tra cui il rumore dovuto a fenomeni idroacustici e geosismici, ma ora si trovano ad affrontare un ambiente alterato dalle attività umane anche nelle caratteristiche acustiche.

E' acquisizione recente che anche il rumore subacqueo possa essere un pericolo per i mammiferi marini ed essere considerato un inquinante a tutti gli effetti. Sott'acqua si intrecciano sempre nuovi rumori e segnali, dagli infrasuoni agli ultrasuoni, prodotti dal traffico navale, dalle nuove tecnologie per individuare navi e sottomarini, per cercare relitti, per trasmettere informazioni, per sondare i fondali marini, per misurare la temperatura delle acque, per individuare i banchi di pesci, per studiare la crosta terrestre e per effettuare prospezioni petrolifere e minerarie. 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.

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.

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 [12], ma a questo rumore gli animali si sono adattati nel corso dell'evoluzione sviluppando una curva di sensibilità uditiva e schemi di comunicazione adeguati.

Il rumore e le vibrazioni prodotte in mare dalle attività umane, ormai riconosciute come "inquinamento acustico", possono interferire in vario modo con la vita animale [2; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19] e per questo sono sempre più prese in considerazione anche a livello legislativo [20; 21] e di gestione delle strategie di conservazione [22; 23; 24; 25]. Dopo essere stato preso in considerazione da Enti e organizzazioni di varia natura (IWC, ICES, IMO, ACCOBAMS, ASCOBANS, Marine Militari) che 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) identifica 11 parametri per giudicare il buono stato dell'ambiente marino e di questi il parametro 11 riguarda l'immissione di energia nell'ambiente e ciò include essenzialmente il rumore, riconosciuto in due principali categorie, il rumore continuo a bassa frequenza (soprattutto dovuto al traffico navale) e il rumore impulsivo di elevata potenza (prospezioni geosismiche con *airgun*, sonar sia militari che civili, costruzioni offshore con piantapali).

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. Si tratta di problemi emersi di recente che richiederanno molti studi per cercare di comprendere i limiti di tollerabilità al rumore e per comprendere in quali casi la morte di animali rinvenuti spiaggiati sia da attribuire a tali cause. Oltre che produrre danni diretti e immediati, quali la diminuzione di sensibilità uditiva sia temporanea (*TTS – temporary threshold shift*) sia permanente (*PTS – permanent threshold shift*), il rumore prodotto dall'uomo anche se di non elevata intensità ma diffuso su ampie aree, come avviene con il traffico navale [22; 25], può agire in mo-

do subdolo e difficilmente identificabile: può interferire con i processi di comunicazione fra gli animali mascherandone i segnali [9; 18] o inducendo alterazioni del comportamento con conseguenze anche letali. Il rumore può 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 gravi implicazioni per la sopravvivenza delle specie interessate e imprevedibili conseguenze ecologiche per l'ambiente marino.

Per molti anni si è poi 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 [26], e successivamente certezza con numerosi episodi di spiaggiamenti sempre di zifi in concomitanza di esercitazioni navali con sonar [27]. Studi ulteriori hanno poi consentito di correlare episodi di spiaggiamenti con esercitazioni navali a partire dagli anni '60 [28; 29] evidenziando la estrema sensibilità al rumore del gruppo degli Zifidi [30].

Numerosi studi hanno individuato livelli di pressione acustica che inducono reazioni comportamentali (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 [31].

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.

3. Il monitoraggio del rumore

La collaborazione tra INFN, INGV, Università Roma 1 e Roma 3, e il CIBRA dell'Università di Pavia, all'interno dei progetti KM3NeT, ESMO e SMO [32; 33], ha numerose prospettive: studiare la popolazione di cetacei nell'area, monitorare l'inquinamento acustico, avviare studi sulla possibile rivelazione di neutrini, studiare possibili coincidenze tra segnali geofisici e segnali acustici in eventi tsunamigenici.

I sensori acustici disponibili sulle infrastrutture a mare consentono il monitoraggio in tempo reale di una ampia gamma di frequenze, fino a oltre 70 kHz, utili per il rilevamento dei segnali di comunicazione e di ecolocalizzazione dei mammiferi marini [34; 35]. Nella stazione di Catania, EMSO-SN1, uno specifico sensore per le basse frequen-

ze consente il monitoraggio nella banda 1-1000 Hz per lo studio dei segnali sismici, il rilevamento dei segnali infrasonici di balenottera, e la misura del rumore di origine navale (Fig. 2) [35; 36].

Il monitoraggio del rumore navale consente di fornire statistiche a lungo termine su livelli e strutture spettrali, mentre la concomitante registrazione di dati AIS (Automatic Identification System) consente l'individuazione e il tracciamento delle navi in transito, responsabili del rumore registrato dal sensore, per stimare il loro contributo al rumore di fondo nelle bande di frequenza utilizzate dai mysticeti per comunicare.

Questa parte del progetto consente una valutazione dell'impatto del rumore a bassa frequenza dovuto al traffico navale e consentirà di produrre una statistica del rumore e del livello di mascheramento dei segnali di comunicazione della balenottera ai fini della valutazione dello stato ecologico dei nostri mari in accordo con la Marine Strategy che individua nel rumore uno degli elementi di valutazione (descrittore 11) dello stato dell'ambiente marino.

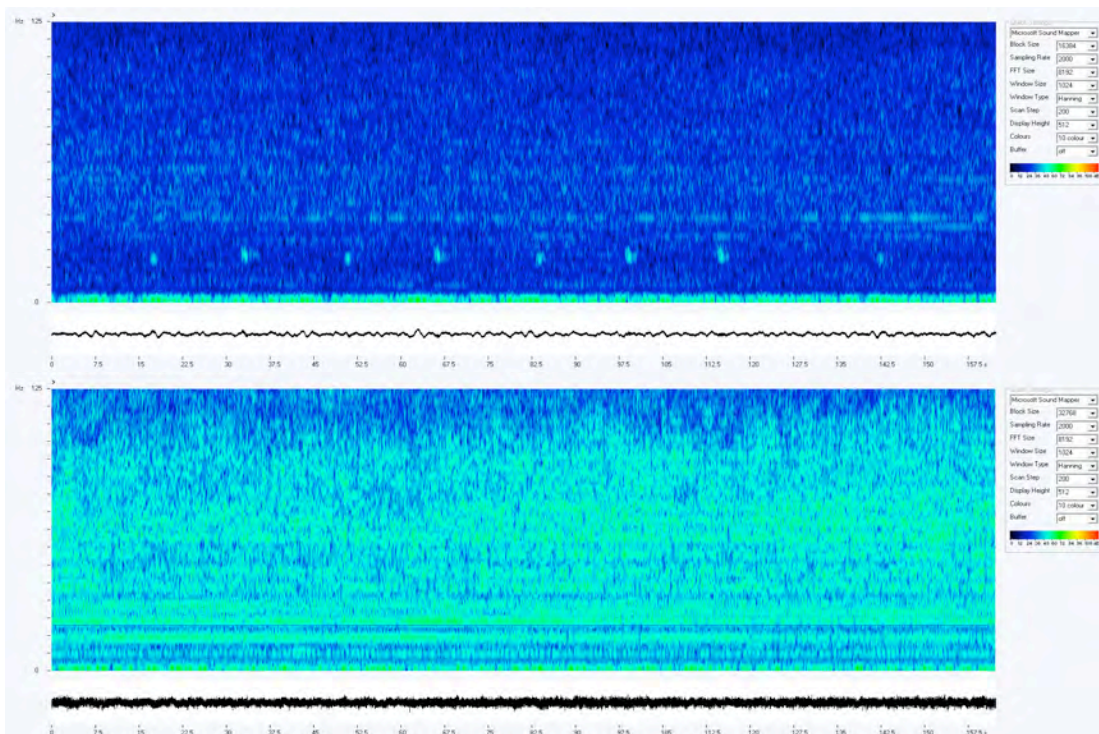


Figura 2 – In alto, spettrogramma (0-125 Hz, 160 secondi) di segnali di balenottera in una situazione di basso rumore; in basso, spettrogramma di rumore dovuto al transito di una nave (software CIBRA/SEAPRO).

Ai fini di una corretta valutazione dell'impatto del rumore navale si sta inoltre lavorando sui modelli di diffusione del rumore per stimarne la distribuzione in funzione del traffico navale su ampie aree. Nel Santuario Pelagos, in Mar Ligure, è in corso un progetto pilota per modellizzare in tempo reale il rumore prodotto dalle navi tracciate con l'AIS [37]; ogni dieci minuti vengono rilevate le navi in transito nell'area e sulla base della loro velocità e categoria si modellizza il rumore prodotto e la diffusione in mare secondo i modelli di propagazione locali. Trattandosi di un modello si utilizzano valori di pressione acustica e distribuzione spettrale delle sorgenti ricavate da misure effettuate

su navi rappresentative, il modello potrà tuttavia essere progressivamente perfezionato grazie alle misure ottenute dalla piattaforma EMSO-SN1 che identifica ogni singola nave in transito e ne rileva i parametri di emissione. Attraverso il modello è poi possibile simulare differenti scenari, ad esempio la distribuzione e i livelli di rumore conseguenti a possibili interventi di riduzione del rumore delle navi, come suggerito dalla IMO (International Maritime Organization), e/o redistribuzione spaziale e temporale delle rotte.

4. Conclusioni

L'attenzione dell'opinione pubblica su questi problemi è molto alta, soprattutto perchè sono coinvolti animali evoluti e benvenuti quali i cetacei; tuttavia è anche da considerare che il rumore subacqueo ha un impatto su tutta la fauna marina, sia di invertebrati sia di vertebrati [13; 16]. I danni prodotti su questi gruppi zoologici, pur sollevando minori problemi etici, possono avere un significativo impatto sulla produttività economica delle aree colpite e sulle condizioni ecologiche generali, con ripercussioni sull'intera rete trofica e in definitiva anche sugli stessi mammiferi marini.

La crescente attenzione a livello istituzionale, che in Europa si inquadra essenzialmente nella Marine Strategy, sta portando allo sviluppo di specifiche strategie di osservazione del rumore subacqueo e allo sviluppo di norme per il controllo e la riduzione delle sorgenti di rumore sia puntuali che diffuse. In questo ultimo ambito, la consapevolezza che il rumore di origine navale è un fenomeno continuo e ubiquitario ha portato alla redazione, da parte dell'IMO (International Maritime Organization), di linee guide 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).

L'implementazione di linee di monitoraggio e di ricerca stabili basate su una infrastruttura europea multidisciplinare consente un approccio a lungo termine fondamentale per la comprensione di fenomeni complessi, quali l'inquinamento acustico e l'impatto sui cetacei, condizionati da molteplici pressioni antropiche dirette ed indirette. La possibilità di monitoraggio a lungo termine è quindi funzionale all'implementazione della Marine Strategy, al monitoraggio degli effetti ecologici dei cambiamenti climatici e al monitoraggio degli effetti delle strategie di conservazione dell'ambiente marino.

5. Ringraziamenti

Il presente lavoro nasce da diverse esperienze di ricerca in collaborazione con il NURC (progetti SOLMAR e MMRMP), il CSSN della Marina Militare Italiana, il Ministero dell'Ambiente, ACCOBAMS, ASCOBANS, e il progetto SMO (Submarine Multidisciplinary Observatory) supportato dal MIUR - Contratto FIRB-2008 n. RBF08NRZE. Si ringrazia SINAY (F) per la collaborazione nel progetto pilota OceanNoiseMap.

6. Bibliografia

- [1] Urick R.J., *Principles of underwater sound*, McGraw-Hill, New York, 1983
- [2] Richardson W.J., Greene C.R., Malme C.I., Thomson D.H., *Marine mammals and noise*, Academic Press, London, 1995
- [3] Hawkins A.D., Myrberg A.A. Jr., *Hearing and sound communication under water*. In "Bioacoustics. A comparative approach" (Lewis B. ed.), Academic Press, London (1983), pp. 347-405
- [4] Webb J.F., Popper A.N., Fay R.R., *Fish Bioacoustics*, Springer, 2008
- [5] Bradley D.L., Stern R., *Underwater sound and the marine mammals acoustic en-*

- vironment. A Guide to Fundamental Principles*. US Marine Mammal Commission, 2008
- [6] Au W.W.L., *The Sonar of Dolphins*, Springer-Verlag, 1993
- [7] Thomas J.A., Moss C.F., Vater M. (Editors), *Echolocation in Bats and Dolphins*, University of Chicago Press, 2002
- [8] Watkins W.A., Tyack P., Moore K.E., 1987. *The 20 Hz signals of finback whales (*Balaenoptera physalus*)*. J.Acoust.Soc.Am., **82** (1987), pp. 1901-1912
- [9] Clark C.W., Ellison W.T., *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 (2004), pp. 564-589
- [10] Munk, W. and C. Wunsch, *Ocean acoustic tomography: a scheme for large scale monitoring*, Deep-Sea Research, Vol. **26A** (1979), pp. 123-161
- [11] Au W.W.L., Nachtigall P.E., Pawloski J.L., *Acoustic effects of the ATOC signal (75 Hz, 195 dB) on dolphins and whales*, J.Acoust.Soc.Am., **101** (1997), pp. 2973-2977
- [12] Wenz G., *Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources*, J.Acoust.Soc.Am., **34** (1962), pp. 1936-1956
- [13] Popper A.N., *Effects of anthropogenic sound on fishes*, Fisheries Research, **28** (2003), pp. 24-31
- [14] Simmonds M., Dolman S., Weilgart L., *Oceans of Noise*, WDCS Science Report, 2004
- [15] Merrill J. (Ed.), *Human-generated Ocean Sound and the Effects on Marine Life*, Journal of Marine Science and Technology, **37** (2004)
- [16] Popper A.N., Fewtrell J., Smith M.E., McCauley R.D., *Anthropogenic sound: effects on the behavior and physiology of fishes*, Journal of Marine Science and Technology, **37** (2004), pp. 35-40
- [17] Weilgart L.S., *The impacts of anthropogenic noise on cetaceans and implications for management*, Can. J. Zool., **85** (2007), pp. 1091-1116
- [18] Clark C.W., Ellison W.T., Southall B.L., Hatch L., Van Parijs S., Frankel A., Ponirakis D., *Acoustic masking in marine ecosystems: intuitions, analysis, and implication*, Mar Ecol Prog Ser, **395** (2009), pp. 201-222
- [19] Tyack P.L., *Human generated sound and marine mammals*, Physics Today, November (2009), pp. 39-44
- [20] McCarthy E., *International Regulation Of Underwater Sound: Establishing Rules And Standards To Address Ocean Noise Pollution*, Kluwer Academic, 2004
- [21] Weir C.R. and Dolman S.J., *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** (2007), pp. 1-27
- [22] Agardy T., Aguilar N., Cañadas A., Engel M., Frantzis A., Hatch L., Hoyt E., Kaschner K., LaBrecque E., Martin V., Notarbartolo di Sciarra G., Pavan G., Servidio A., Smith B., Wang J., Weilgart L., Wintle B. Wright A., *A Global Scientific Workshop on Spatio-Temporal Management of Noise*, Report of the Scientific Workshop (2007), pp. 1-51
- [23] Pavan G., *Acoustic Risk Mitigation in the Mediterranean Sea*, Proc. Underwater Defence Technology, Napoli, Published on CDROM (2007)

- [24] Pavan G., *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 (2007)
- [25] Pavan G., *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.” (A.Abdulla & O.Linden Eds.). IUCN (2008), pp. 10-21
- [26] Frantzis A., *Does acoustic testing strand whales?* Nature, **392** (1998), pp. 29
- [27] Cox T. M. et al., *Understanding the impacts of anthropogenic sound on Beaked whales*, J. Cetacean Res. Manage., **7** (2006), pp. 177-187
- [28] Podestà M., D’Amico A., Pavan G., Drougas A., Komnenou A. Portunato N., *A review of Ziphius cavirostris (G. Cuvier, 1823) strandings in the Mediterranean Sea*, J. Cetacean Res. Manage. **7**(2006), pp. 251–261
- [29] Filadelfo R., Mintz J., Michlovich E., D’Amico A., Tyack P.L., Ketten D., *Correlating Military Sonar Use with Beaked Whale Mass Strandings: What Do the Historical Data Show?*, Aquatic Mammals, **35** (2009), pp. 435-444
- [30] Fernández A., Edwards J.F., Rodríguez F., Espinosa de los Monteros A., Herráez P., Castro P., Jaber J.R., Martín V., Arbelo M., *Gas and fat embolic syndrome involving a mass stranding of beaked whales (family Ziphiidae) exposed to anthropogenic sonar signals*. Vet. Pathology, **42** (2005), pp. 446-457
- [31] Southall B.L., Bowles A.E., Ellison W.T., Finneran J.J., Gentry R.L., Greene C.R., Jr., Kastak D., Ketten D.R., Miller J.H., Nachtigall P.E., Richardson W.J., Thomas J.A., Tyack P.L., *Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations*, Aquatic Mammals, **33** (2007), pp. 411-521
- [32] Riccobene G., Ameli F., Bellotti G., Favali P., Pavan G., Simeone F., Viola S., *Il Progetto SMO: Submarine Multidisciplinary Observatory*, Atti 39° Convegno AIA, Roma (2012)
- [33] Favali P. et al., *NEMO-SN1 Abyssal Cabled Observatory in the Western Ionian Sea*, IEEE Journal of Oceanic Engineering, **38** (2013), pp. 358 – 374
- [34] Caruso F. et al. *Stazioni acustiche cablate in ambiente marino profondo per lo studio del Capodoglio (Physeter macrocephalus)*, Atti 41° AIA, (2014)
- [35] Sciacca V. et al., *Monitoraggio acustico sottomarino per la rivelazione delle vocalizzazioni di balenottera comune (Balaenoptera physalus) al largo della Sicilia orientale*, Atti 41° AIA, (2014)
- [36] Pulvirenti S. et al., *Analisi del rumore acustico sottomarino e correlazione con il traffico navale presente nell’area del Golfo di Catania*, Atti 41° AIA, (2014)
- [37] <http://www.oceannoiseimap.com>