

IMPATTO ACUSTICO DI UNITÀ NAVALI

**Agliaia Badino¹, Davide Borelli², Tomaso Gaggero³,
Enrico Rizzuto⁴, Corrado Schenone⁵**

1 Università degli Studi di Genova, DICCA, aglaia.badino@unige.it

2 Università degli Studi di Genova, DIME, davide.borelli@unige.it

3 Università degli Studi di Genova, DITEN, tomaso.gaggero@unige.it

4 Università degli Studi di Genova, DICCA, enrico.rizzuto@unige.it

5 Università degli Studi di Genova, DIME, corrado.schenone@unige.it

SOMMARIO

Il rumore generato da unità navali può interessare un'ampia gamma di soggetti: l'equipaggio ed i passeggeri a bordo della nave durante la navigazione (emissione interna alla nave); gli abitanti in prossimità di porti e canali durante il transito o lo stazionamento delle navi in banchina (emissione esterna alla nave in aria); i cetacei e in generale i mammiferi marini durante la navigazione (emissione esterna alla nave in acqua). Mentre l'impatto del rumore all'interno delle navi è un argomento che è stato trattato in maniera approfondita fin dagli inizi degli anni 80 ed è stato normato sia dalla International Maritime Organization (IMO) che dai singoli registri di classifica nazionali, il problema dell'impatto del rumore emesso esternamente alla nave è stato affrontato solo recentemente dalla comunità scientifica. Nel presente lavoro saranno analizzati gli aspetti legati al controllo dell'impatto del rumore emesso esternamente alla nave attraverso una descrizione dettagliata della caratterizzazione dei principali elementi del problema. Infine saranno affrontati i possibili sviluppi futuri dal punto di vista normativo con i quali si dovranno confrontare sia gli armatori che gli enti coinvolti nel settore marittimo.

INTRODUZIONE

Il tema dell'impatto ambientale riveste attualmente un ruolo fondamentale nella valutazione di ogni attività antropica. Tale impatto deve essere valutato in relazione ad ambienti legati all'attività umana (posto di lavoro, aree di vita), così come ad ambienti naturali (flora, fauna, paesaggio), ad un livello sia locale sia globale. Questo ha portato a trattare tipi di impatto che in precedenza non erano affatto (o solo in parte) considerati. Tra questi è l'inquinamento acustico, che ha recentemente guadagnato una considerevole attenzione per il settore marittimo, come per altre attività nel settore industriale e dei trasporti..

Il rumore prodotto dalla nave ha un impatto diretto sulla qualità del posto di lavoro e dell'ambiente di vita per l'equipaggio ed i passeggeri a bordo, ma colpisce anche soggetti terzi, quando le navi navigano lungo coste, baie e canali o sono ormeggiate in banchina.

Le unità navali emettono altresì rumore in acqua, generando effetti sull'ambiente sia a livello locale sia globale.

A causa degli aspetti multiformi ed interconnessi delle emissioni sonore prodotte dalle navi, la valutazione e il controllo di tali emissioni richiedono un approccio olistico. Tale approccio è stato, ad esempio, seguito nel progetto di collaborazione SILENV (Ship oriented Innovative soLutions to rEduce Noise and Vibrations. www.silenv.eu), finanziato dall'UE nell'ambito del 7° Programma Quadro. Nel seguito, il tema dell'impatto acustico da parte di unità navali si concentrerà sugli ambienti esterni colpiti e quindi sulle emissioni in aria e acqua.

EMISSIONI DI RUMORE IN ARIA

Inquadramento del problema (sorgente, propagazione, ricettore)

L'intenso traffico dovuto al passaggio di navi rappresenta una fonte di inquinamento acustico per la popolazione che risiede lungo i canali e la linea costiera in prossimità di porti.

Al fine di attuare misure di controllo del rumore è fondamentale descrivere il campo sonoro generato da questa tipologia di sorgente, andando a caratterizzare la sorgente stessa dal punto di vista acustico e il suo percorso di propagazione sonora e individuando i ricettori sensibili (ospedali, scuole, parchi, edifici residenziali, ecc..) che sono presenti lungo tale percorso. Oltre alla caratterizzazione è necessario definire dei limiti sonori in modo da individuare le zone di criticità e intervenire per riportare i livelli sonori al di sotto dei valori limite.

Pertanto occorrerebbero indicatori specifici per la caratterizzazione, la valutazione e il controllo del rumore emesso dalle navi (come per altri tipi di sorgente). Purtroppo, al presente si registra una mancanza di strumenti di quantificazione specifici per questa tipologia di sorgente e, conseguentemente, di un articolato quadro normativo di riferimento. Di seguito si riporta l'attuale situazione (vedere anche [1]).

Sorgente - caratterizzazione acustica della nave

La nave può essere caratterizzata come sorgente sia mobile sia stazionaria: quando è in navigazione o sta compiendo azioni di manovra può essere considerata come una sorgente mobile, mentre quando è ferma in banchina si comporta come sorgente stazionaria.

Per quanto concerne gli Standard internazionali di misura, attualmente sono presenti 4 normative ISO inerenti al tema del rumore emesso dalle navi e relativi a test di collaudo e monitoraggio:

- ISO 2922:2000 per tutte le tipologie di nave fatta eccezione per quelle da diporto [2];
- ISO 14509-1:2008 [3], ISO 14509-2:2006 [4] e ISO 14509-3:2009 [5] per imbarcazioni da diporto.

Nella ISO 2922:2000 si distinguono due differenti modalità di test: per nave in navigazione e per nave in banchina o ancorata.

Per nave in navigazione vengono definiti due indicatori acustici: il livello di esposizione sonora ponderato "A", L_{AE} , con costante di tempo "fast", il livello massimo di pressione sonora ponderato "A", L_{pASmax} , con costante di tempo "slow". Per nave ferma in banchina o ancorata è stato scelto come indicatore acustico il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato "A", L_{pAeq} , con costante di tempo "fast".

Le misure devono essere realizzate sotto specifiche condizioni ambientali, di operatività della nave e di modalità di esecuzione del test. Nello stesso documento si riportano anche le modalità per l'esecuzione delle misure del rumore di fondo.

Per la fase di navigazione la procedura di misura richiede che vengano effettuati almeno due passaggi. Il periodo di misura dovrebbe coprire i 10 dB più alti del rumore emesso dalla nave durante il passaggio. Nei test di monitoraggio viene tollerata una piccola deviazione dalle condizioni di prova specificate sopra. Per le navi ferme in banchina o ancorate il tempo di misura non deve essere inferiore a 30 s.

La ISO 14509 tiene conto solo delle imbarcazioni da diporto a motore con scafo di lunghezza fino a 24 m e prevede che le misure per i test di collaudo e di monitoraggio vengano fatte nella sola condizione di imbarcazione in movimento. Nello specifico la prima parte della ISO 14509 considera imbarcazioni con motore entro bordo, entrofuoribordo, fuoribordo e moto d'acqua. Definisce le procedure da adottare per la misura degli indicatori acustici L'_{pASmax} (livello massimo di pressione sonora ponderato "A" con costante di tempo "slow" durante il passaggio) e L_{pASmax} (L'_{pASmax} dopo aver applicato la correzione per il rumore di fondo e per la distanza). La seconda parte delle ISO 14509 definisce invece una metodologia di misura comparativa per la valutazione del livello massimo di emissione sonora per un'imbarcazione monoscafo, utilizzando un'imbarcazione di

riferimento. Mentre la terza parte della ISO 14509 descrive come determinare il livello di pressione sonora ponderato “A” attraverso la combinazione di un metodo di calcolo e di un metodo di misurazione per imbarcazioni monoscafo con numero di Froude maggiore di 1.1. Gli standard sopra analizzati non contengono limiti al rumore irradiato, ma hanno solamente lo scopo di garantire misure attendibili e riproducibili.

Attualmente non sono ancora stati fissati limiti al rumore di navi per navigazione in mare; al contrario nel caso specifico di navi per navigazione in acque interne esistono dei limiti definiti dalla Direttiva 2006/87/CE all'Articolo 8.10:

- il rumore prodotto dalla nave in navigazione non deve superare 75 dB(A) ad una distanza di 25 m dalla murata della nave;
- il rumore prodotto dalla nave ferma in banchina o ancorata non deve superare 65 dB(A) ad una distanza di 25 m dalla murata della nave. Sono escluse le operazioni di carico e scarico.

Per il rumore prodotto da una nave in navigazione si considera in particolare quello generato dalle bocchette di aspirazione e di scarico.

Ricettore - misure di controllo del rumore emesso dalla sorgente nave

Al fine di analizzare e controllare il rumore ambientale per proteggere i ricettori sensibili, nel 2002 la Commissione europea ha emanato la Direttiva 2002/49/CE [6], conosciuta con l'acronimo END (Environmental Noise Directive). Successivamente gli Stati Membri hanno introdotto la END a livello nazionale. Tale Direttiva definisce due efficaci strumenti di pianificazione acustica: la mappa acustica strategica (MAS), per la caratterizzazione del rumore ambientale, e il piano d'azione per la pianificazioni degli interventi in base alle criticità emerse nella MAS. La MAS deve essere definita sulla base dei due descrittori acustici introdotti dalla Direttiva: il livello giorno-sera-notte (L_{den}) e il livello notte (L_{night}).

La Direttiva non considera tutte le tipologie di sorgente ma solo quelle legate al rumore stradale, ferroviario, aeroportuale ed industriale, includendo in quest'ultima categoria anche i porti. La realizzazione della MAS per un porto prevede quindi che si tenga in considerazione anche il rumore emesso dalle navi, le cui emissioni sonore, specialmente in banchina, non possono essere trascurate (vedere [7]).

La Direttiva stabilisce che siano gli Stati Membri a definire, attraverso strumenti legislativi nazionali, quali siano i limiti di emissione sonora da imporre per le diverse tipologie di sorgente. Allo stato attuale nessuno Stato Membro ha definito dei limiti in termini di L_{den} e L_{night} e i limiti definiti da normative nazionali precedenti vengono ancora utilizzati. In diversi Stati il descrittore più comunemente utilizzato per la definizione dei valori limite è il livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato “A”, L_{Aeq} (vedere anche [8]).

Propagazione – percorsi sonori generati dalla sorgente nave

La propagazione del rumore aereo dipende sia dalle caratteristiche proprie delle sorgenti sonore presenti su una nave (livelli di potenza sonora, direttività, altezza, ecc..) sia dalle caratteristiche dell'area attorno alla sorgente, come:

- le caratteristiche orografiche del terreno;
- le caratteristiche di assorbimento acustico del terreno;
- la distribuzione planimetrica e altimetrica degli edifici;
- le condizioni meteorologiche dell'area (temperatura, umidità, velocità del vento e direttività).

Per simulare la propagazione sonora, tenendo conto sia delle caratteristiche della sorgente sia dell'area circostante, è possibile utilizzare dei software commerciali (SoundPlan, Predictor, IMMI, Mithra SIG, ecc..). Tali software sono provvisti di moduli per definire le diverse tipologie di sorgente, ma in nessuno di questi è presente un modulo per la sorgente nave. Per ovviare in parte a questo problema si possono definire le sorgenti presenti su una nave, approssimandole con il

modulo per sorgenti fisse, e possono essere caratterizzate a partire da misure eseguite secondo le metodologie definite dalle norme tecniche internazionali per le misure di collaudo e monitoraggio. Tuttavia una corretta modellazione della propagazione del rumore richiede una corretta caratterizzazione acustica delle sorgenti, rappresentate in questo caso specifico dalle diverse categorie di nave. Questo aspetto è essenziale in quanto la mappatura del rumore emesso dalle navi costituisce una parte importante della MAS di un porto.

Sviluppi futuri

Il tema inerente la caratterizzazione della sorgente nave è stato affrontato nel progetto SILENV. Sono state identificate una serie di misure complementari, aggiuntive a quelle raccomandate dagli Standard tecnici internazionali. Al fine di adattarsi alla grande varietà di navi e sorgenti di rumore presenti all'interno di una nave è stato scelto di fatto un approccio flessibile nella definizione dei parametri d'indagine.

Le misure complementari suggerite dal progetto SILENV per navi ferme in banchina sono:

- diverse linee di punti di misura lungo lo scafo della nave a differenti distanze da esso, in modo tale che la sovrapposizioni di sorgenti locali possa essere analizzata;
- punti di misura posizionati a diverse altezze rispetto alla banchina, con l'obiettivo di valutare la propagazione sonora delle sorgenti poste più in alto, come ad esempio i sistemi di ventilazione, di aspirazione e di scarico, che si trovano ad una certa altezza su un lato della nave o sopra un ponte o nella parte più alta della sovrastruttura;
- tempi di misura in funzione della durata di emissione delle sorgenti.

Per navi in navigazione, l'obiettivo della misura è quello di definire un livello sonoro significativo che descriva dal punto di vista acustico il transito di una nave. Generalmente test di pass-by sono comunemente impiegati per misurare il rumore emesso da una sorgente mobile.

Nell'ottica di realizzare una mappa acustica in termini di L_{den} e L_{night} per il rumore emesso dalle navi in porto sono richiesti numerosi dati di input, tra cui:

- la cartografia dell'area portuale, incluse le aree dove le diverse tipologie di nave solitamente attraccano e le linee di transito che le navi abitualmente percorrono;
- le caratteristiche acustiche delle diverse tipologie di nave (livello di potenza sonora in funzione delle condizioni operative della nave, direttività delle sorgenti, ecc..) che tutte assieme caratterizzano l'emissione della nave;
- il numero di navi ormeggiate in banchina per ciascuna tipologia di nave: medie annuali per ciascun periodo del giorno (giorno-sera-notte);
- il numero e la durata dei transiti per ciascuna tipologia di nave: medie annuali per ciascun periodo del giorno (giorno-sera-notte);

La percentuale di persone esposte a livelli elevati di L_{den} e L_{night} può essere valutata sulla base delle mappe acustiche. Inoltre, confrontando i livelli di rumore con i limiti normativi sarebbe possibile individuare le zone di criticità dal punto di vista dell'inquinamento acustico. Purtroppo non esistono al momento attuale limiti sonori per il rumore emesso dalle navi. La situazione è la stessa per le altre tipologie di sorgente.

Se fosse possibile individuare tali criticità, si potrebbe decidere in quali aree portuali sarebbe più opportuno fare attraccare le navi in modo tale che queste siano meno impattanti per la popolazione che risiede vicino alle aree portuali.

EMISSIONI DI RUMORE IN ACQUA

Il problema dell'inquinamento acustico subacqueo è stato affrontato solo molto recentemente come conseguenza della crescente coscienza ambientalista che ha portato, a livello nazionale ed internazionale, a porre sempre una maggiore attenzione sulla sostenibilità ambientale delle attività umane. Per quanto riguarda specificamente il rumore sottomarino, possono essere individuate

differenti sorgenti: lavori sottomarini, esplosioni sottomarine per l'individuazione e l'estrazione di combustibili fossili, sonar militari e traffico navale. Gli effetti che il rumore può avere sulla fauna marina, ed in particolare sui cetacei, sono molteplici e legati principalmente all'intensità della sorgente. In caso di alti livelli si possono avere danni fisici all'apparato uditivo degli animali che possono provocare perdite di capacità uditiva temporanee o permanenti [9]. Nel caso specifico delle navi si possono identificare due differenti conseguenze: a livello locale, in prossimità di una nave, livelli relativamente alti possono provocare una perdita temporanea dell'udito o indurre gli animali ad allontanarsi dalla zona; a livello globale, l'intenso traffico marino, provocando un innalzamento dei livelli medi di rumore di fondo, è responsabile della riduzione delle distanze di comunicazione dei cetacei con dirette conseguenze sulla possibilità di cacciare e riprodursi. In generale lo studio dell'impatto del rumore navale sulla fauna marina è molto complesso e richiede una attenta analisi di tutti gli elementi coinvolti nel problema: le sorgenti di rumore (navi), i percorsi di trasmissione (i mari) e i riceventi (i cetacei).

A bordo delle navi le principali sorgenti di rumore irradiato in acqua possono essere identificate, in ordine di importanza, in:

- Eliche: sia nella condizione cavitante che non cavitante: in questo caso il rumore è generato direttamente nel fluido dall'interazione tra le pale e l'acqua.
- Motori principali ed ausiliari: in questo caso il rumore è generato internamente alla nave ma viene trasmesso attraverso gli ambienti interni e la struttura in acciaio della nave fino ad essere irradiato in acqua.
- Flusso attorno alla carena della nave: anche in questo caso il rumore viene generato direttamente al di sotto del pelo libero dell'acqua dall'interazione tra la carena ed il fluido.

Dal momento che eliche e motori, che assieme rappresentano le sorgenti preponderanti, sono collocati all'estrema poppa della nave, si ha che l'emissione acustica della nave non risulta di uguale intensità in tutte le direzioni, ma presenta una spiccata direttività nella zona di poppa.

La trasmissione del suono dalla sorgente al ricevente avviene attraverso un ambiente complesso quale gli oceani ed è influenzata da molti parametri caratteristici di questo ambiente. In particolare la trasmissione del suono è influenzata dalla temperatura, dalla salinità e dalla pressione nella colonna d'acqua, dalla composizione del fondale e dallo stato di mare. I parametri legati alle caratteristiche della colonna d'acqua evidenziano importanti variazioni non solo per diverse località ma anche per differenti periodi stagionali e addirittura differenti momenti della giornata, complicando in maniera significativa lo studio e la previsione della trasmissione del suono.

Infine le caratteristiche dei riceventi rappresentano l'aspetto più critico nello studio del problema. Ciò è dovuto al fatto che si è a conoscenza della sensibilità uditiva solo di una piccola parte dei mammiferi marini ed inoltre le differenti specie hanno differenti capacità uditive.

Le incertezze che affliggono i vari aspetti del problema rendono complesso poter stabilire criteri univoci per la valutazione dell'impatto del rumore e di conseguenza la definizione di limiti applicabili al rumore emesso nelle navi.

Di seguito verrà analizzato nel dettaglio come questi problemi possono essere affrontati per poter definire dei limiti alle emissioni acustiche sottomarine di navi commerciali.

Caratterizzazione della sorgente

Attualmente esistono in letteratura due standard per la misurazione del rumore sottomarino emesso da navi commerciali: ANSI/ASA 2009 [10] and DNV 2010 [11]. Il primo standard descrive tre differenti procedure per effettuare le misure in funzione del grado di incertezza con il quale si vogliono ottenere i risultati, mentre il secondo contiene una procedura univoca. Una ulteriore fondamentale differenza tra i due consiste nel fatto che lo standard DNV ha lo scopo di verificare se la nave analizzata rispetta o meno dei limiti di rumore fissati nello standard stesso, mentre nello standard ANSI/ASA nessun limite viene fissato. Per quanto riguarda lo standard ANSI/ASA, la configurazione di misura più complicata (maggiore precisione) prevede la sistemazione di tre idrofoni collocati a differenti profondità (vedi Figura 1a) con una profondità minima del mare che non deve essere inferiore ai 75 m. Per quanto riguarda invece lo standard DNV, lo schema di

misura prevede il posizionamento di un singolo idrofono direttamente su un fondale degradante (Figura 1b). Per quanto riguarda la procedura di misura, in entrambi i casi la nave sotto test deve passare mostrando il fianco (sia dritta che sinistra) all'idrofono ad una distanza fissata. Nello standard DNV sono previste delle misure di rumore anche con le eliche di manovra in funzione.

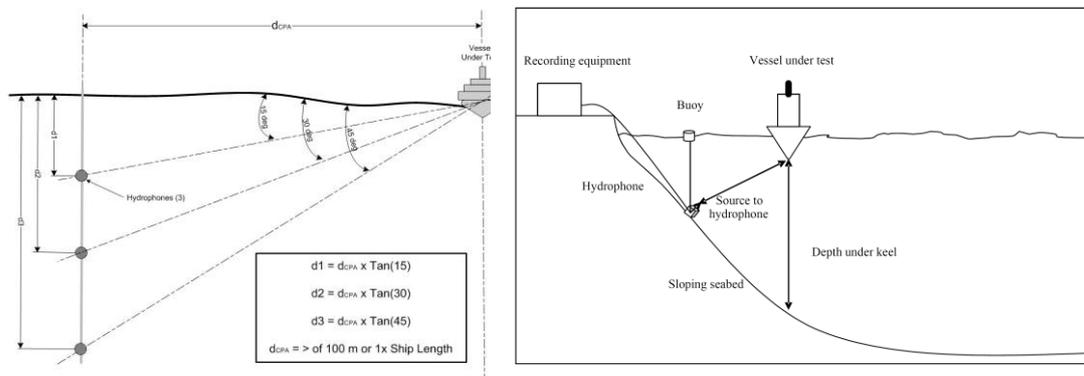


Figura 1: a) Schema di misura come suggerito da [10], b) schema di misura come suggerito da [11]

I livelli di rumore misurati agli idrofoni devono successivamente essere riportati alla distanza standard di riferimento di 1m dalla sorgente. Nei due standard analizzati vengono fornite due diverse leggi di propagazione per eseguire questa operazione. Nel caso dell'ANSI/ASA la legge suggerita è la legge puramente sferica [$20\log(r)$, r = distanza tra idrofono e nave] mentre nel caso dello standard DNV la legge suggerita è $17\log(r)$ che rappresenta una legge intermedia tra quella puramente cilindrica e quella puramente sferica.

Caratterizzazione del ricevente

Come accennato in precedenza, un'importante parte dei mammiferi marini è rappresentata dai cetacei. Tali animali vivono in un ambiente in cui la luce è trasmessa solo per pochi metri mentre i suoni possono viaggiare per lunghissime distanze (decine di chilometri). In conseguenza di ciò i cetacei si sono adattati ad usare l'acustica per tutte le principali attività quali la caccia, l'orientamento, la comunicazione tra conspecifici e la riproduzione, basando la loro sopravvivenza sull'emissione e la captazione di segnali sonori. L'evoluzione ha quindi portato questi animali a sviluppare organi uditivi molto sofisticati ed estremamente sensibili. L'esponentiale aumento dei traffici navali occorso negli ultimi due secoli ha però portato ad un rapido incremento della rumorosità degli oceani al quale i cetacei non hanno avuto il tempo di adattarsi. Per lo studio del problema è fondamentale quindi conoscere la percezione uditiva delle varie specie.

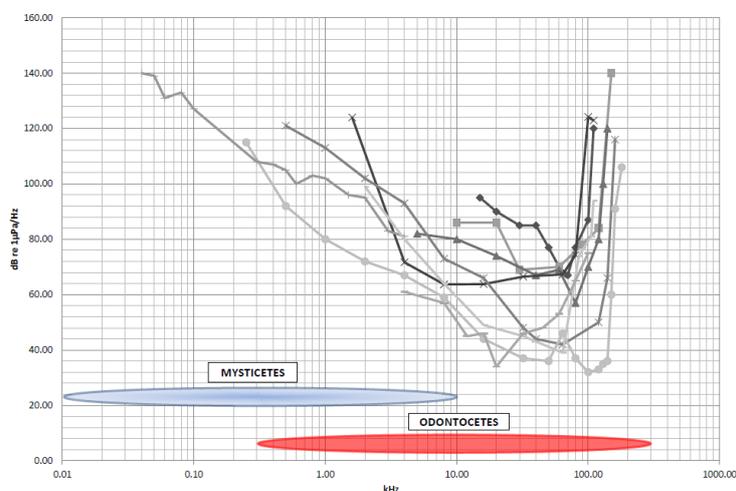


Figura 2: Audiogrammi di sensibilità per diverse specie di Odontoceti e range di frequenze di comunicazione

Attualmente si è a conoscenza della soglia di sensibilità di alcune specie appartenenti al gruppo degli Odontoceti (delfini) che, date le loro ridotte dimensioni, possono essere tenuti in cattività per

eseguire test di laboratorio (vedi curve di Figura 2). Per quanto riguarda invece l'altro sottordine dei Cetacei, i Mysticeti, si possono fare solo alcune ipotesi sulla loro sensibilità basate sul range di frequenze a cui essi vocalizzano. Guardando Figura 2, si può notare come in il range di frequenze di vocalizzazione degli Odontoceti (ellisse rossa) sia centrato sul massimo di sensibilità (il minimo delle curve) in analogia con quanto accade per altre specie animali compreso l'uomo. Il range di vocalizzazione dei Mysticeti è invece spostato verso le frequenze più basse come evidenziato dall'ellisse azzurra riportata in Figura 2. Alla luce di ciò si può quindi ipotizzare che anche la sensibilità di questo sottordine sia spostata verso le frequenze più basse. Questo fatto complica ulteriormente lo studio del problema poiché evidenzia come l'impatto del rumore vada studiato su un range di frequenze molto ampio (1 Hz – 100 kHz). Inoltre, come si può notare da Figura 2, ogni specie ha differente sensibilità rendendo quindi impossibile basarsi su una singola curva per stabilire quali effetti possa avere il rumore sugli animali.

Limiti al rumore irradiato

Nonostante il problema dell'impatto acustico della navi sia stato trattato solo recentemente, sono già disponibili in letteratura alcuni tentativi di porre dei limiti alla rumorosità delle navi seppure tali limiti siano stati fissati con differenti scopi. L' International Council for the Exploration of the Sea (ICES) è stata la prima istituzione a porre dei limiti al rumore sottomarino irradiato da navi commerciali ([12] Figura 3). Più recentemente la società di classifica Det Norske Veritas ha emesso una nota aggiuntiva di classe contenente delle curve limite per differenti tipologie di navi ([11], Figura 4). Per quanto riguarda l' ICES, la curva limite nel piano frequenza livelli, è stata derivata a partire dall'audiogramma del merluzzo, mentre le curve limite DNV sono state fissate in base all'attuale stato dell'arte delle imbarcazioni più silenziose. Scopo del limite ICES è quello di garantire ad una nave da pesca di poter avvicinare sufficientemente il banco di pesci senza che essi si allontanino. Al contrario i limiti DNV hanno lo scopo di assicurare un basso impatto ambientale e/o di garantire una sufficiente operabilità per quelle navi che utilizzano strumentazione acustica come ad esempio le navi oceanografiche.

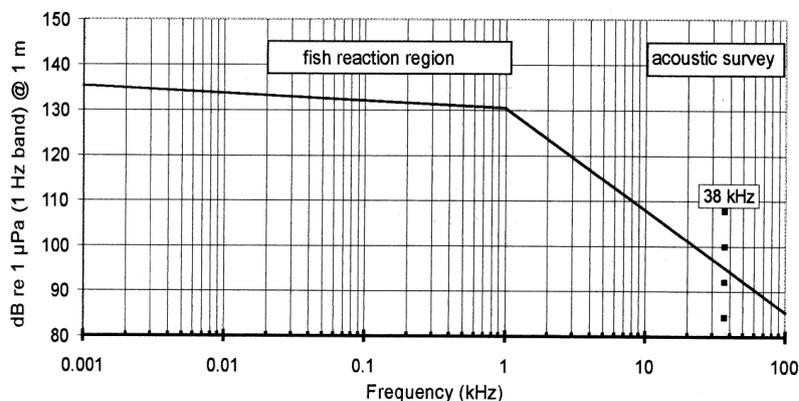


Figura 3: Curva limite di rumore sottomarino di nave da pesca [12]

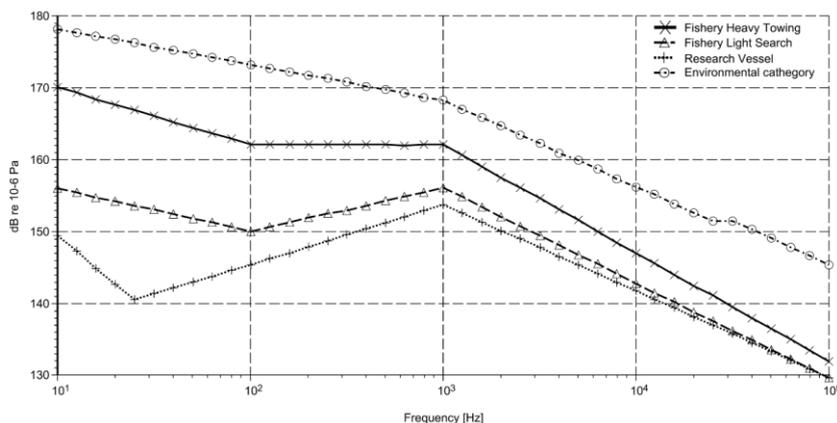


Figura 4: Curve limite di rumore sottomarino per diverse tipologie di nave [11]

I limiti descritti in questo paragrafo rappresentano un primo tentativo di controllo del problema dell'impatto acustico sottomarino delle navi commerciali. Solo il limite ICES è in parte basato sulla reale sensibilità degli animali al suono. In futuro lo scopo della ricerca in questo settore dovrà essere quello di elaborare limiti e prescrizioni per la rumorosità delle navi basati sui reali effetti che questo ha sul ricevente. Allo stato attuale, vista la carenza di informazioni riguardanti la sensibilità uditiva di molte specie, l'unica via possibile consiste nel fissare dei limiti tecnologici, cioè basati sullo stato dell'arte delle capacità tecniche di costruire navi silenziose.

CONCLUSIONI

Limitare l'impatto acustico delle unità navali è una operazione complessa. Tali complessità sono legate a molteplici aspetti. Per quanto riguarda il rumore irradiato in aria le maggiori difficoltà sono legate da un lato alla caratterizzazione della sorgente, dovuta alla complessità della nave come sorgente di rumore e dall'altro all'identificazione di limiti univoci e al loro rispetto. Questo ultimo aspetto è legato al fatto che gli enti coinvolti nella vita operativa della nave sono molteplici: enti internazionali e lo stato di bandiera per quanto riguarda la costruzione della nave lo stato in cui la nave si trova, l'autorità portuale e le municipalità per quanto riguarda la fase operativa della nave. La caratterizzazione della sorgente è stata in parte affrontata da alcuni standard di misura, ma come evidenziato ad esempio in [13], la disposizione e le peculiarità delle sorgenti a bordo della nave generano una complessa emissione di rumore nello spazio tridimensionale rendendo indispensabile una procedura di misura più articolata che preveda un maggior numero di punti di controllo distribuiti su più piani verticali ad inviluppare la nave. Per quanto riguarda la determinazione di limiti numerici al rumore prodotto, la strategia più logica consisterebbe nel fissare i limiti alla posizione ricevente. Seguire questa procedura risulta però molto difficile dal momento che esiste un numero altissimo di posizioni riceventi (ad esempio le abitazioni nei dintorni di un porto) ed inoltre ogni singola nave stazionerà in diversi porti nei quali l'orografia e l'urbanizzazione influenzeranno in modo differente i livelli di rumore che raggiungono il ricevente a parità di livelli alla sorgente. Allo stato attuale, quindi, l'unica via perseguibile è quella di fissare e verificare i limiti direttamente alla sorgente, così come proposto nel progetto SILENV [14] nel quale è anche stata elaborata una nuova e più completa procedura di misura. Conoscere preventivamente le caratteristiche di emissione acustica di una nave potrebbe anche permettere in futuro alle autorità portuali, di gestire l'orario e la posizione di approdo in funzione della rumorosità della nave, arrivando anche a prevedere delle penali per le navi che superano una certa soglia. Nel caso del rumore irradiato in acqua, la situazione è resa più complessa da due importanti fattori: l'ambiente in cui si propaga il suono e la mancanza di informazioni sulle caratteristiche del ricevente. Al contrario, per quanto riguarda la caratterizzazione della sorgente diversi standard con un elevato grado di approfondimento sono già disponibili in conseguenza della esperienza maturata in quasi cinquant'anni nell'ambito militare a riguarda della segnatura acustica delle navi. Per quel che concerne la propagazione, come spiegato nei paragrafi precedenti, è influenzata da molteplici parametri sui quali gravano pesanti incertezze rendendo difficile poter valutare in

maniera accurata le perdite di trasmissione del suono seppur siano disponibili modelli matematici sufficientemente accurati. Sul fronte del ricevente, molti studi dovranno essere condotti al fine di apprendere informazioni sulle specie di mammiferi marini più grandi (i Mysticeti) al fine di avere un quadro completo della sensibilità per poter quindi tarare i limiti di rumore in maniera più efficace. Il problema dell'impatto acustico del traffico navale sulla fauna marina, è già presente da alcuni anni nell'agenda IMO e la comunità europea ha finanziato diversi progetti per lo studio del problema. Tutto ciò suggerisce come la strada verso la definizione di limiti restrittivi per il rumore emesso in acqua da unità navali sia ormai aperta.

La crescente attenzione verso la sostenibilità ambientale delle attività umana porterà, comunque, in futuro, allo studio approfondito dei problemi e allo sviluppo di normative atte a limitare l'impatto acustico delle navi in tutti i suoi aspetti: rumore interno ed esterno in acqua e aria.

BIBLIOGRAFIA

1. Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto, E., Schenone, C. 2011b. Analysis of airborne noise emitted from ships. In Rizzuto, E. & Guedes Soares, C. (eds.), Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources. Leiden: CRC Press/Balkema.
2. ISO 2922 2000, Acoustics - Measurement of airborne sound emitted by vessels on inland waterways and harbour
3. ISO 14509-1 2008, Acoustics - Small craft – Airborne sound emitted by powered recreational craft – Part 1: Pass-by measurement procedures
4. ISO 14509-2 2006, Acoustics - Small craft – Airborne sound emitted by powered recreational craft – Part 2: Sound assessment using reference craft.
5. ISO 14509-3:2009, Acoustics - Small craft - Airborne sound emitted by powered recreational craft -- Part 3: Sound assessment using calculation and measurement procedures
6. Directive 2002/49/EC of The European Parliament and of The Council, 25 June 2002
7. NoMEPorts European Project. Good Practice Guide on Port Area Noise Mapping and Management. Tech. Ann., 2008.
8. Badino, A., Borelli, D., Gaggero, T., Rizzuto E. and Schenone C.: Normative framework for ship noise: Present situation and future trends. Noise Control Engineering Journal 60 , p. 740-762, 2012
9. Gordon, J., Gillespie, D., Potter, J., Frantzis, A., Simmonds, M., Swift, R. & Thompson, D. The effects of seismic surveys on marine mammals. Marine Technology Society Journal, 37: 16-34, 2004.
10. ANSI/ASA. ANSI /ASA S12.64-2009/Part 1. Quantities and Procedures for Description and Measurement of Underwater Sound from Ships - Part 1: General Requirements. Acoustical Society of America, 2009
11. Det Norske Veritas: Rules for Classification of Ships, Silent Class Notation, Part 6, Chapter 24, 2010
12. Mitson, R.B.. Underwater noise of research vessels: review and recommendations. ICES Cooperative Report 209, 1995.
13. A. Badino, D. Borelli, Gaggero T., E. Rizzuto, C. Schenone. Control of Airborne Noise Emissions From Ships. In: *Proceedings of the International Conference on Advances and Challenges in Marine Noise and Vibration (MARNAV2012)*, p. 21-29. Glasgow, 5/9/2012, ISBN/ISSN: 9780947649906
14. SILENV, (2012). Deliverable 5.2 Green Label proposal. URL: http://www.silenv.eu/green_label/D5.2_green_label_rev_2.pdf