



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTÀ DI ECONOMIA “GIORGIO FUÀ”

Corso di Laurea Magistrale Data Science per l’Economia e le Imprese

Tesi di laurea in
Bioacustica computazionale

Rumore antropico in mare e i suoi effetti sulla biodiversità
Anthropogenic noise in the sea and its effects on biodiversity

Relatore: Chiar.ma
Prof.ssa Recchioni Maria C.

Tesi Laurea di:
Giulia Mazzotta

Correlatori: Chiar.ma
Dott.ssa Zaffaroni C. Valentina,
Chiar.mo Prof. Pavan Gianni

Anno Accademico 2022 – 2023

*In memoria di Gianni Pavan, padre della bioacustica e
uomo dalla straordinaria capacità di coinvolgere
anche coloro che non erano del campo,
grazie alla sua passione contagiosa.*

Le sue parole incarnano la sua visione, difatti affermava:

*"Il mare ha una sua voce, o meglio un coro di voci
date dalla straordinaria diversità di creature che lo popolano."*

Indice

INTRODUZIONE.....	1
CAPITOLO 1	
1. Storia della bioacustica.....	2
CAPITOLO 2	
2.1 Rumore antropico in mare	11
2.2 Principali fonti di inquinamento acustico prodotte dalle attività umane	11
2.3 Impatto del rumore sugli animali marini	14
2.4 Effetti sul cambiamento comportamentale degli animali marini.....	18
2.5 Effetti fisiologici del rumore sugli animali marini	20
CAPITOLO 3	
3.1 Analisi biometrica del rumore antropico in mare	22
CAPITOLO 4	
4.1 Green Deal e azioni a tutela dell’ambiente.....	30
4.2 Strategia dell’EU sulla biodiversità.....	34
4.3 Blue economy.....	36
CAPITOLO 5	
5.1 Concetto di etica ambientale.....	38
5.2 Filosofia e ambiente	39
CONCLUSIONI	42
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA.....	44

INTRODUZIONE

Il rumore acustico è divenuto motivo di studio quando l'impatto delle attività antropiche hanno reso difficile la coesistenza tra uomo e altri organismi viventi. Il traffico navale, i sonar, le navi commerciali, le moto d'acqua, lo sviluppo costiero, le attività *offshore* (ad esempio piattaforme petrolifere, parchi eolici, porti in acque profonde) e le attività di pesca possono interferire sulle funzioni vitali degli animali.

Durante la mia partecipazione al progetto "LifeESC360", svoltosi con la collaborazione del Corpo Europeo di Solidarietà e il Reparto Nucleo Carabinieri Biodiversità, la cui azione principale è stata l'attività di monitoraggio, attraverso protocolli standard di ISPRA su specie e habitat protetti e la raccolta dei relativi dati. Il gruppo formato da noi volontari ha svolto anche le seguenti attività presso le Riserve Naturali Statali della Maremma: i rilievi forestali, tra cui l'Indice di Biodiversità Potenziale (IBP) e il KOOP; la gestione e miglioramento del databases del progetto. Infine, a completamento delle attività di monitoraggio è stato organizzato un evento finale aperto al pubblico. Nel corso dello svolgimento del progetto ho avuto l'opportunità di approfondire il campo della bioacustica attraverso un seminario tenuto dal professor Gianni Pavan. Questo argomento ha catturato la mia attenzione così da decidere che il rumore antropico in mare e suoi effetti sulla biodiversità sia oggetto della mia tesi. Il professor Gianni Pavan ha svolto un ruolo essenziale durante la stesura del mio elaborato, fino alla sua tragica scomparsa. Vorrei tramite questo elaborato avvicinare e sensibilizzare il pubblico riguardo questa problematica, che ci riguarda da vicino, soprattutto in questo periodo storico in cui le questioni ambientali sono motivo di dibattito.

La tesi si compone di cinque capitoli. Nel primo capitolo si espone il problema del rumore antropico in mare analizzando l'evoluzione digitale riguardo le apparecchiature utilizzate per le registrazioni. Nel secondo capitolo si indagano le principali fonti di inquinamento acustico prodotto dalle attività umane e l'impatto sugli animali marini. Nel terzo capitolo si realizza un'analisi biometrica sul rumore antropico in mare. La metodologia applicata è tramite l'utilizzo del database Scopus e Google Scholar per la ricerca degli articoli scientifici di interesse per la loro applicazione tramite utilizzo del pacchetto Bibliometrix associato al software statistico R. Nel quarto capitolo si esaminano le direttive attuate dall'Europa in protezione dell'ambiente. Nel quinto capitolo si tratta la questione etica e filosofica rispetto al tema centrale dell'ambiente.

CAPITOLO 1

1. Storia della bioacustica

L'introduzione di registratori digitali e *data storage* hanno contribuito a una significativa rivoluzione nel campo della bioacustica. Inizialmente, le misure di frequenza e tempo sono state prese da copie cartacee con un normale righello e i segnali o gli eventi sonori di interesse sono stati identificati manualmente da osservatori umani in ascolto. Di conseguenza, gli studi di approcci basati sulla bioacustica erano scarsi. Oggi i ricercatori cercano di tenere il passo con sempre più studi che utilizzano la bioacustica, resi possibili dall'accessibilità, dall'economicità e dall'estensione delle capacità di registrazione accessibilità, economicità e capacità di registrazione delle attuali apparecchiature. I dati acustici possono essere utilizzati per stimare la densità di popolazione degli animali vocali. Tuttavia, il paesaggio sonoro (limitato alle frequenze udibili dall'uomo secondo la norma ISO 12913) o l'intero ambiente acustico (comprendendo infrasuoni e ultrasuoni inudibili per l'uomo) può essere utile per stimare l'abbondanza delle specie e la biodiversità. I cambiamenti nel comportamento vocale possono essere indicativi di stress ambientali, come il rumore antropico o il degrado dell'habitat, ma anche la mancanza dei segnali vocali di specie che si ritiene debbano essere presenti in un determinato habitat può evidenziare uno scompenso dell'ecosistema.

Originariamente, i suoni degli animali terrestri erano studiati con attrezzature e metodi sviluppati per esigenze militari, per l'analisi del parlato umano e per l'elaborazione della musica. In seguito, gli scienziati si sono interessati al suono degli animali acquatici, e la ricerca subacquea è stata facilitata dalle tecnologie utilizzate dalla marina per monitorare il rumore prodotto da navi e sottomarini. Un ostacolo importante per la raccolta di registrazioni sul campo era costituito dalle grandi dimensioni e dal peso delle prime apparecchiature analogiche, insieme all'elevato consumo di energia, che si traduceva in un tempo di registrazione limitato (Pavan et al., 2022, *History of Sound Recording and Analysis I Equipment*).

Con la rivoluzione digitale si passa dall'analogico al digitale. Nell'era digitale vi è una diminuzione della grandezza e del peso del registratore, durata della batteria prolungata, batterie ricaricabili, supporti di memorizzazione più stabili e di maggiore capacità, una gamma di frequenze più ampia e l'interfacciamento diretto con i computer hanno accompagnato questa transizione. Un vantaggio significativo dei dati digitali è che possono essere memorizzati e manipolati più facilmente rispetto alle registrazioni analogiche, possono essere duplicati, trasferiti e distribuiti senza perdite qualitative.

A partire dal 1860 la storia mostra che sono nati i primi presunti registratori analogici del suono.

Gli strumenti di rilievo inventati sono:

- Il fonautografo (Fig. 1), inventato da Édouard-Léon Scott de Martinville nel 1857, è dotato di uno stilo vibrante che si muove su carta ricoperta di cenere per disegnare la forma d'onda del suono, sebbene fosse in grado di registrare i suoni, anche se non si è mai evoluto per consentire la riproduzione del suono registrato.



Figura 1 Fonaografo

(Fonte: <https://dvdelettoridvd.wordpress.com/2015/11/21/la-storia-in-principio-fu-il-fonautografo/>)

- Il registratore a cilindro di cera (Fig. 1.2), inventato da Thomas Edison nel 1870, aveva un diaframma vibrante collegato meccanicamente a una puntina che scolpiva i solchi su un cilindro rotante.

Questo dispositivo codificava le vibrazioni sonore in modulazioni del solco e poi consentiva la riproduzione delle vibrazioni registrate attraverso lo stesso sistema di aghi e membrane.

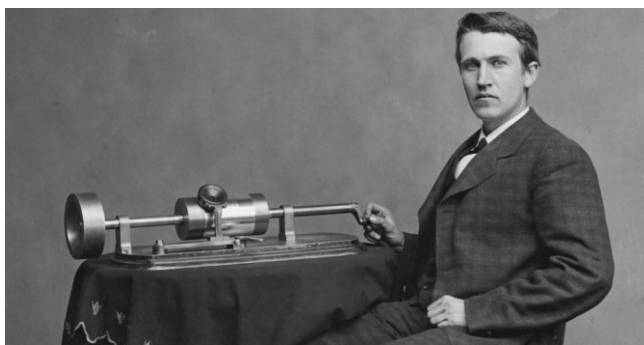


Figura 1.2 Thomas Edison e il suo fonografo

(Fonte: <https://www.musicoff.com/recording-studio/special/le-voci-di-tchaikowsky-brahms-regine-e-presidenti-sui-cilindri-di-edison/>)

Secondo Ranft (2001), le prime registrazioni conosciute di suoni di registrazioni di suoni di animali sono state effettuate in Germania nel 1889 su un cilindro a cera di Edison.

- Il primo disco piatto fu inventato alla fine del 1870 che offriva un vantaggio rispetto alla tecnologia precedente, in quanto i dischi potevano essere facilmente duplicati. Nel 1887, Emile Berliner brevettò una variante del fonografo, chiamata grammofono (Fig. 1.3), che utilizzava dischi piatti invece di cilindri rotanti.

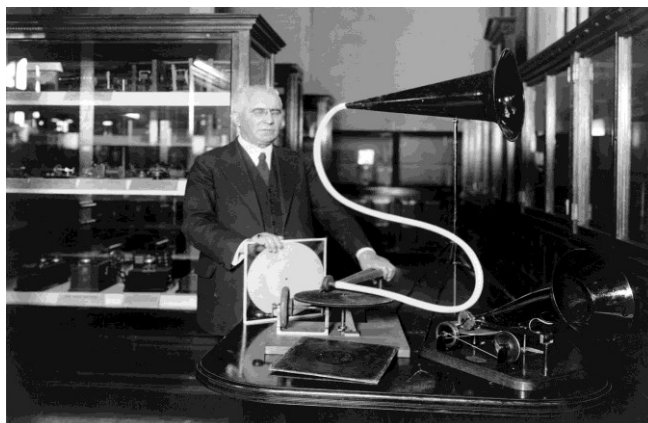


Figura 1.3 Emile Berliner e il suo grammofono

(Fonte: https://it.wikipedia.org/wiki/Grammofono#/media/File:Emile_Berliner_with_phonograph.jpg)

- Il magnetofono è stato inventato nel 1930 da un'azienda tedesca, il quale è basato sullo stesso principio del registratore a filo magnetico, ma al posto del filo c'erano delle lunghe e sottili strisce di carta impregnate di particelle sottili di ossido di ferro che veniva fatta scorrere attraverso una testina elettromagnetica. Dopo la Seconda Guerra Mondiale, l'azienda americana Ampex perfezionò la tecnologia tedesca sostituendo la carta con una sottile pellicola di plastica. Per quasi 50 anni, il nastro magnetico a bobina è stato il supporto standard per l'utilizzo nei registratori/riproduttori (Fig.1.4).



Figura 1.4 Dischi a bobina aperta

(Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AEG_Magnetophon_K4_1939.jpg)

- Negli anni 60 sono state sviluppate le tecniche di registrazione stereo. Inizialmente, questi registratori erano ingombranti e non erano portatili. In seguito, sono stati sviluppati registratori portatili a bobina aperta per il rapido sviluppo delle esigenze di registrazione all'aperto dell'industria radiofonica, musicale e cinematografica.
- La cassetta compatta è stata introdotta da Philips nel 1964. Negli anni '70, i registratori a cassette che potevano registrare e riprodurre facilmente i suoni, divennero disponibili a prezzi accessibili, ma erano utilizzati principalmente per la musica e il parlato umano, e quindi erano limitati in frequenza alla gamma dell'udito umano. Questi registratori (Fig. 1.5) erano molto più piccoli e meno costosi dei dispositivi a bobina.

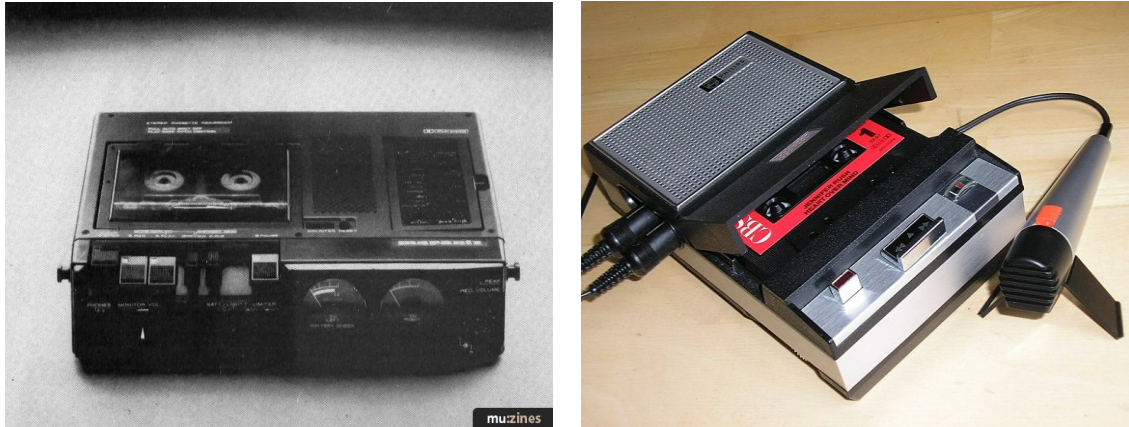


Figura 1.5 Sinistra: registratore a cassette stereo semi-professionale Marantz CP430. Destra: un registratore mono cassette con microfono e cassette dentro
 (Fonte: <https://www.muzines.co.uk/articles/marantz-cp430-stereo-cassette-recorder/6311>,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Philips_EL3302.jpg)

Nel 1976 Sony ha introdotto, con un piccolo successo, l'Elcaset, una cassetta più grande che offriva una migliore qualità. Uno dei vantaggi della registrazione su nastro era la possibilità di riprodurre i nastri a una velocità inferiore o superiore alla velocità di registrazione originale.

Segue la rivoluzione digitale con l'introduzione del CD dall'industria della musica nel 1983. Nel 1987, i registratori a nastro audio digitale rotante (R-DAT o DAT) sono stati i primi registratori digitali ampiamente disponibili (Fig. 1.6).



Figura 1.6 Registratore portatile R-DAT Sony TDC-D7
 (Fonte: <https://www.ebay.it/itm/314499537579>)

Il formato R-DAT ha avuto scarso successo nel mercato a causa del costo elevato, ma è stato ampiamente utilizzato da professionisti come sostituto dei costosi e ingombranti registratori a bobina aperta. Un'alternativa all' R-Dat è stata proposta con le cassette digitali compatte (DCC) introdotte da Philips nel 1992 (Fig. 1.7). La DCC era compatibile con le cassette analogiche, ma non è riuscita a ottenere un successo commerciale.



Figura 1.7 Cassette digitali compatte

(Fonte: <https://www.alamy.it/fotos-immagini/sony-audio-cassette.html?sortBy=relevant>)

I registratori digitali con dischi ottici (CD-R e DVD-R) non hanno mai guadagnato popolarità per applicazioni sul campo perché l'apparecchiatura doveva rimanere stazionarie durante la registrazione. Al contrario, il MiniDisc (MD), un disco ottico di piccole dimensioni sviluppato e commercializzato da Sony nel 1992, ha avuto più successo tra i registratori di natura, perché i registratori portatili MD erano più piccoli, più leggeri e molto più economici dei registratori DAT. Questi dispositivi utilizzano la stessa modalità di campionamento del CD, ma per archiviare i dati su un disco più piccolo dovevano comprimere i dati con la tecnica ATRAC sviluppata appunto da SONY, compressione che però riduceva la qualità del segnale registrato, in modo non percepibile dall'orecchio umano, ma ben rilevabile durante l'analisi delle registrazioni.

All'inizio dei primi anni 2000 una nuova generazione di apparecchiature di alta qualità, quali registratori a *hard disk* e il successivo sviluppo di memorie a stato solido, con capacità ineguagliabile è stata resa disponibile (Fig. 1.8). I registratori con memoria a stato solido non richiedono parti meccaniche in movimento per la memorizzazione e il recupero delle informazioni digitali e utilizzano invece schede di memoria, come le schede Compact Flash (CF) o Secure Digital (SD e microSD), utilizzate anche nel mercato della fotografia digitale.



Figura 1.8 Registratore portatile di alta qualità con hard disk e memoria a stato solido

(Fonte: <https://store.sounddevices.com/product/722/>)

I ricercatori si sono presto resi conto che la loro presenza durante le registrazioni poteva influenzare il comportamento dell'animale, e che un sistema remoto, che potesse essere utilizzato in assenza di osservatori umani. L'uso di computer portatili ha permesso di effettuare registrazioni programmate sul campo. Tuttavia,

la principale limitazione era la necessità di batterie esterne, che consentivano solo pochi giorni di funzionamento. Inoltre, la registrazione a lungo termine richiedeva la protezione dell'apparecchiatura in custodie impermeabili e batterie aggiuntive. Il primo registratore autonomo programmabile disponibile in commercio, il SongMeter 1 (SM1), è stato venduto da Wildlife Acoustics alla fine del 2007 e ha aperto un mercato in rapido sviluppo. Questi registratori possono essere programmati per registrare a intervalli definiti o con programmi per campionare i modelli di variazione temporale di un paesaggio sonoro. In questo modo, il comportamento acustico degli animali d'interesse può essere registrato senza disturbare e per lunghi periodi, sia di giorno che di notte. Questi registratori devono essere robusti e affidabili per poter essere utilizzati in ambienti difficili e in condizioni meteo anche avverse. Il periodo di tempo in cui i registratori possono raccogliere dati dipende dalla combinazione di batteria e memoria disponibili. Inoltre, una griglia di registratori autonomi può essere utilizzata per monitorare la biodiversità su una vasta area.

I registratori autonomi devono essere a basso consumo per consentire periodi prolungati di registrazione con un'alimentazione a batteria gestibile.

A proposito delle registrazioni multicanale, esse possono contribuire a mitigare l'effetto specchio di Lloyd, un fenomeno in cui i suoni a bassa frequenza vicino al terreno non possono essere registrati correttamente a causa dell'interferenza di suoni diretti e riflessi dalla superficie.

Procedendo dal punto di vista storico nel 1878 David Edward Hughes ha coniato il termine microfono basato su granuli di carbonio, che aveva prestazioni scarse rispetto agli standard odierni (a causa di rumore e distorsione). Tuttavia, si trattava di un importante passo avanti, consentendo alla tecnologia per la comunicazione vocale a lunga distanza o telefonia. Nel 1886, Thomas Edison perfezionò il microfono a granuli di carbonio e sviluppò il trasmettitore a grani di carbonio. All'inizio del ventesimo secolo, la maggior parte dei microfoni erano sensori a granuli di carbonio. Questi primi microfoni erano rumorosi e avevano sensibilità e risposta in frequenza limitate, adatti solo per le voci umane.

Nel 1917, Edward Wente ha fatto un grande passo avanti inventando il microfono dinamico, che ancora oggi viene utilizzato in un'ampia varietà di applicazioni. Negli anni '20, con l'aumento significativo delle trasmissioni radiofoniche, vi fu una forte richiesta di microfoni di migliore qualità.

Lo sviluppo di forti magneti ha reso possibile l'utilizzo di microfoni dinamici per decenni grazie alla loro semplicità e affidabilità. Tuttavia, per gli studi di bioacustica, non erano abbastanza sensibili e la loro risposta in frequenza non si estendeva oltre la gamma dell'udito umano. I riflettori parabolici sono stati ampiamente utilizzati per registrare i suoni degli animali, catturare il parlato a distanza e rilevare il rumore di veicoli e aerei in arrivo durante la prima e la seconda guerra. In alternativa ai riflettori parabolici, sono stati sviluppati microfoni ultra-direzionali o microfoni ultradirezionali, o i cosiddetti microfoni a fucile. Il design dei microfoni a fucile si basa sul principio del tubo di interferenza per attenuare i suoni fuori asse; questi microfoni sono stati sviluppati per avere uno stretto angolo di ricezione in avanti.

Un ulteriore sviluppo, concepito principalmente per cinema e i videogiochi, è il sistema *surround* che si basa su registrazioni multi-microfoniche (cioè, con *array* di microfoni) e diffusori posizionati intorno all'ascoltatore per creare un'atmosfera più coinvolgente. Le applicazioni specifiche degli *array* di microfoni

in bioacustica comprendono la localizzazione di sorgenti sonore, sia statiche o in movimento. Utilizzando algoritmi specifici, i segnali possono essere estratti dall'*array* di microfoni, e direzione e l'intensità delle sorgenti sonore possono essere identificate la direzione e l'intensità delle sorgenti sonore sovrapponendo una mappa sonora a un'immagine ripresa da una videocamera. Questo tipo di applicazione è chiamata telecamera acustica. Le telecamere acustiche aiutano a visualizzare i modelli di rumore interno ed esterno (ad esempio, di un'auto in transito, di un treno, di un aereo o di una turbina eolica). Le telecamere acustiche sono potenzialmente in grado di aiutare a localizzare fonti sonore biotiche, ovvero i suoni prodotti dagli organismi viventi; tuttavia, sono costose e sono state raramente utilizzate per studi di bioacustica.

Inoltre, si distinguono i microfoni di misura, i microfoni laser e i microfoni ottici. I microfoni di misura sono una classe speciale di microfoni progettati per effettuare misure accurate dell'ampiezza dei suoni, che vanno dagli infrasuoni (cioè, un'onda con frequenza inferiore a quella del campo di udibilità umano) agli ultrasuoni (cioè, con frequenza superiore a quella del campo di udibilità). Di solito, i microfoni di misura sono microfoni a condensatore ottimizzati per una specifica gamma di frequenze e utilizzati per caratterizzare un campo sonoro o un livello sonoro quando sono collegati a un fonometro. La tecnologia di questo microfono non è cambiata molto nel tempo. Tuttavia, le apparecchiature di misura a cui sono collegati i microfoni si sono evoluti nel giro di pochi decenni, passando da ingombranti e costosi dispositivi analogici a dispositivi digitali, potenti e flessibili, in grado di fornire anche un'analisi spettrale.

A proposito dei microfoni laser, noti anche come interferometri laser, accelerometri laser o vibrometri, sono stati progettati per rilevare le vibrazioni su superficie senza alcun contatto con la sorgente sonora. Questi microfoni possono rilevare le vibrazioni su grandi distanze. Ad esempio, i microfoni laser possono misurare le vibrazioni di una finestra di vetro per catturare i suoni prodotti all'interno di una stanza. Nella ricerca bioacustica e negli studi di biotremologia, in particolare questa tecnologia viene utilizzata per registrare le vibrazioni di parti del corpo di animali (ad esempio, le ali o l'addome degli insetti che producono suoni) o le vibrazioni dei substrati (ad esempio, fusto di una pianta, tronco di un albero, ragnatela e parete di una tana), che potrebbero indicare la presenza di un animale.

Altro strumento è l'accelerometro, il quale misura l'accelerazione (cioè, il tasso di variazione della velocità) di un oggetto. Possono quindi misurare i movimenti di un animale (ad esempio, montati in un collare) o di percepire la vibrazione di una parte del corpo. La scienza della biotremologia, recentemente definita, utilizza accelerometri e vibrometri laser per studiare la comunicazione vibrazionale negli insetti e in altri gruppi, rilevando i loro movimenti o le vibrazioni trasmesse attraverso il substrato.

Per registrare suoni sottomarini si utilizzano gli idrofoni. Oggi quest'ultimi sono utilizzati in un'ampia gamma di applicazioni di ricerca biologica per monitorare la dinamica delle popolazioni e il comportamento di invertebrati marini, pesci e mammiferi. Gli idrofoni sono anche ampiamente utilizzati per monitorare il rumore subacqueo prodotto dal traffico navale e da altre attività invasive, come le indagini sismiche con *airguns* e i sonar navali.

Gli idrofoni sono trasduttori utilizzati per ricevere suono sott'acqua; di solito sono basati su materiali piezoelettrici (cioè, convertono energia meccanica in energia elettrica e viceversa). Gli idrofoni sono

generalmente costruiti con un trasduttore piezoelettrico che genera una tensione quando viene compresso/decompressa. I trasduttori piezoelettrici possono essere utilizzati sia come ricevitore o come trasmettitore. La maggior parte delle prime ricerche di bioacustica sugli animali acquatici è stata condotta utilizzando un singolo idrofono a batteria (Fig. 1.9).



Figura 1.9 Idrofono piezoelettrico (SONY PCM-M10)
(Fonte: Pavan et al 2022: Exploring Animal Behavior Through Sound: volume 1)

Gli idrofoni tradizionali hanno un' uscita (tensione o corrente) e sono disponibili con o senza preamplificatore. Alcuni idrofoni digitali integrano anche elaborazione del segnale e capacità di memorizzazione (ad esempio per la segnalazione in tempo reale dei livelli di rumore). A causa del loro consumo di energia, gli idrofoni digitali sono utilizzati principalmente nelle reti di sensori connessi con fili, come i sensori del fondale marino o gli *array* rimorchiati sub-superficiali.

Un array trainato contiene diversi idrofoni alloggiati in un manicotto di plastica riempito di olio, che vengono trainati da imbarcazioni di varie dimensioni. Un array trainato multi-idrofonico è in effetti un sensore ad alto guadagno che può essere orientato in diverse direzioni in tempo reale o in fase di post-elaborazione delle registrazioni. Nel 1983 è stato costruito un *array* modificato appositamente per lo studio dei suoni dei mammiferi marini. I sensori di profondità e di temperatura sull'*array* hanno misurato il termoclino (cioè, strato di acqua al di sotto dello strato superficiale in cui si manifesta un netto gradiente di temperatura dell'acqua) e le condizioni di propagazione del suono nell'area.

Il costo elevato delle indagini marine visive e acustiche condotte da grandi navi da ricerca hanno spinto lo sviluppo di nuove soluzioni di monitoraggio con veicoli autonomi. Questi sistemi sono azionati in remoto da un pilota a terra e sono in grado di monitorare le aree *offshore* per settimane o mesi alla volta. La profondità massima di funzionamento dei modelli attuali è di circa 1000 m.

Altri strumenti di questa categoria includono immersione profonda e i *drifters* (i quali raccolgono dati sulle proprietà acustiche dell'oceano, come ad esempio la pressione, la salinità, la temperatura e la velocità del suono) di superficie. Questi si muovono alla deriva con la corrente oceanica e non possono essere programmati per navigare lungo una linea di linea di traccia.

Un recente sviluppo per lo studio degli animali in-situ è la targhetta acustica indossata dall'animale. Tali dispositivi consentono di osservare in modo dettagliato il movimento e il comportamento acustico degli

animali etichettati. Sofistiche etichette acustiche hanno rappresentato un importante passo avanti nella bioacustica dei mammiferi marini. Lo sviluppo di queste è stato guidato principalmente dalla necessità di documentare e comprendere la reazione dei cetacei ai suoni subacquei, come i sonar navali, gli *airguns* e i *pile drivers* (in acustica, un "airgun" è un dispositivo ad aria compressa che viene utilizzato per produrre onde sonore ad alta intensità nell'acqua, al fine di studiare la struttura del fondo marino o di rilevare gli strati sottomarini, mentre i "pile drivers" sono dispositivi a percussione per piantare pali metallici nel fondale, ad esempio per la costruzione di ponti e di strutture offshore). Queste etichette di solito rimangono attaccate agli animali con ventose non invasive, e di solito rimangono attaccate per qualche ora, ma possono rimanere sull'animale anche per alcuni giorni. Una volta staccato, il dispositivo emerge e galleggia in superficie trasmettendo un segnale radio per facilitare il recupero.

Spesso è possibile collegare all'animale una serie di sensori per fornire ulteriori dati ambientali o comportamentali per accompagnare le registrazioni acustiche.

Le attuali apparecchiature video digitali sono altamente miniaturizzate e consentono nuove ed entusiasmanti opzioni per esplorare la vita degli animali in natura.

La continua evoluzione tecnologica ha permesso che anche uno smartphone può produrre uno spettrogramma in tempo reale. Nel 1985 sono apparsi i primi personal computer (PC) e il software fu riscritto per produrre spettrogrammi a colori e intervalli di segnale in tempo reale all'Università di Pavia. Allo stesso tempo, altri ricercatori hanno iniziato a sperimentare l'elaborazione digitale del segnale. Aubin (Francia) e Specht (Germania) hanno sviluppato sistemi simili di analisi digitale del suono che includevano anche la sintesi di suoni per esperimenti di *playback*. La memorizzazione e l'analisi digitale del suono si diffuse grazie ai miglioramenti nella tecnologia dei computer e dei data storage, unitamente alla diffusione dei personal computer, con lo sviluppo di pacchetti software dedicati all'analisi del suono. Questi progressi hanno anche favorito lo sviluppo di apparecchiature elettroacustiche e musicali di alta qualità (microfoni, registratori e convertitori AD) per un mercato in rapida espansione di musicisti e appassionati di musica. Lo sviluppo di programmi software permette ora di registrare, manipolare, analizzare e visualizzare i segnali dagli infrasuoni agli ultrasuoni. Oggi i ricercatori sono in grado di raccogliere enormi quantità di dati acustici, e la bioacustica computazionale affronta il problema dei *Big Data* (Pavan et al., 2022).

CAPITOLO 2

2.1 Rumore antropico in mare

Secondo una definizione del GESAMP (*Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection*), l'inquinamento marino è l' "Introduzione diretta o indiretta da parte umana, di sostanze o energia nell'ambiente marino (...) tali da provocare effetti deleteri quali danno alle risorse viventi, rischio per la salute umana, ostacolo alle attività marittime compresa la pesca, deterioramento della qualità dell'acqua per gli usi dell'acqua marina e riduzione delle attrattive". L'inquinamento acustico, causato da un'eccessiva immissione nell'ambiente di suoni e rumori, e quindi di energia, è una delle forme di inquinamento più comuni. I rumori prodotti dalle attività umane si sono progressivamente aggiunti ai suoni ambientali e il concetto di inquinamento acustico, che fino a pochi anni fa era riservato all'ambiente aereo, è stato esteso anche all'ambiente acquatico (Borsani e Farchi, 2011).

2.2 Principali fonti di inquinamento acustico prodotte dalle attività umane

Tra le principali fonti di inquinamento acustico prodotte dalle attività umane vi sono:

Survey geosismici

I survey geosismici si utilizzano per studiare le caratteristiche del fondale e della struttura e composizione del substrato fino a diverse centinaia di metri di profondità. Vengono emesse scariche con tubi pieni di aria compressa (*airguns*) per ottenere un'immagine tridimensionale del substrato e di individuare quindi le discontinuità, come sacche di gas naturale o di petrolio. Questi vengono svuotati di colpo producendo così delle grosse bolle d'aria subacquee che, quando si rompono, producono rumori di fortissima intensità e bassa frequenza per centinaia di ore. Gli *airguns*, che sono fonti di rumore sottomarino, non hanno un impatto immediato sulla fauna marina poiché il loro suono è diretto verso il basso. Tuttavia, l'utilizzo degli *airguns* (cioè, la loro disposizione in transetti) causa l'insonificazione costante di vaste aree marine. Ciò significa che il rumore prodotto da questi strumenti copre una vasta area del mare, e questo può essere dannoso per diverse specie di animali marini, tra cui i cetacei e le specie ittiche di interesse commerciale. L'insonificazione causata dagli *airguns* è un tipo di inquinamento acustico che può interferire sulle funzioni vitali degli organismi marini, e ciò può causare un impatto negativo sulle popolazioni di questi animali e sui loro ecosistemi. Le ricerche hanno dimostrato che gli *airguns* utilizzati per i rilievi sismici lesionano significativamente l'apparato acustico dei pesci (Borsani e Farchi, 2011).

Sonar militari

Oggi i principali responsabili di numerosi spiaggiamenti di massa di cetacei, verificatisi a partire dalla fine della Seconda guerra mondiale, sono i sonar militari.

Questi strumenti sono usati sostanzialmente per quattro diverse funzioni:

- 1) come ecoscandagli per verificare la profondità del fondale sotto la chiglia delle navi;
- 2) ricerca ASW (Anti Submarine Warfare) e sorveglianza;

3) ricerca mine e ostacoli montati su armi autonome, quali siluri o AUV;

4) ricerca di sottomarini in acque profonde.

I sonar ASW sono invece ritenuti il motivo che ha causati gli spiaggiamenti di massa di cetacei, in particolare della specie *Ziphius cavirostris* (una specie di balena appartenente alla famiglia Ziphiidae) (Borsani e Farchi, 2011).

Sviluppo costiero

Lo sviluppo costiero emette livelli sonori tra i più alti in assoluto: superano nella maggior parte dei casi 270 dB. La costruzione di porti, dighe, strutture turistiche e sviluppi residenziali può comportare la distruzione di aree vitali per i cetacei, come le zone di alimentazione, i corridoi migratori e le aree di riproduzione. La presenza di barriere fisiche può ostacolare la loro mobilità e la loro capacità di accedere alle risorse di cui dipendono (Borsani e Farchi, 2011).

Impianti di produzione energetica

Gli impianti di produzione energetica sono utilizzati nel Nord Europa. Nel Mediterraneo non esistono ancora impianti a generazione eolica funzionanti. Peraltro, vi è un incremento significativo di progetti che pongono serie preoccupazioni riguardo l'impatto ambientale soprattutto in termini di rumore e vibrazioni generati sia durante la fase di costruzione che durante l'operatività. La crescita del settore dell'energia eolica ha provocato un grande aumento nell'uso di questa tecnica sia in ambienti costieri che *offshore*. Altre fonti, come il *drilling* and *dredging*, possono essere causa di preoccupazione, anche se queste tecniche non sono così intense come *pile driving* (Borsani e Farchi, 2011).

Traffico marittimo

La situazione del traffico marittimo risulta essere alquanto preoccupante in quanto a livello globale è in costante aumento. In particolare nel Mare Mediterraneo transita oggi un terzo del traffico mondiale di merci trasportate per nave. Il Mediterraneo è attualmente una delle aree con maggiore intensità di traffico marittimo a livello mondiale, posizionandosi al secondo posto dopo gli stretti di Malacca e Singapore per quanto riguarda il numero di navi in transito e il livello di rischio per l'ecosistema marino e costiero. Ogni anno, un totale di 200.000 navi mercantili di ogni tipo solcano le acque del Mediterraneo. Questo traffico è poco controllabile perché è una tratta di passaggio e non ci si ferma nei porti mediterranei. Il rumore del trasporto marittimo dovrebbe essere controllato attraverso misure di gestione adeguate, per quanto possibile, nelle aree di importanza per i cetacei (Borsani e Farchi, 2011). Secondo la World Bank i quantitativi di merce trasportata per mare sarebbero addirittura destinati a triplicarsi da qui al 2020. Inoltre, le cosiddette "autostrade del mare" hanno certamente contribuito all'aumento del traffico marittimo nei nostri mari. Un fenomeno in forte crescita riguarda oggi le cosiddette grandi-navi passeggeri. Sempre più numerose sono le crociere con mete biologicamente sensibili, quali ad esempio l'Antartide, il circolo polare Artico, ma anche remote isole tropicali. L'impatto ambientale di questo tipo di traffico è spesso sottovalutato,

ma si evidenzia che il turismo in aree sensibili come quelle citate, seppur numericamente raro, lascia tracce che necessitano di tempi di recupero particolarmente lunghi. Localmente, infine, hanno particolare impatto il diporto e il traffico turistico stagionale (traghetti).

Il rumore subacqueo generato dalle navi è principalmente causato da:

1. la cavitazione delle eliche,
2. le vibrazioni dei motori e delle strutture connesse,
3. lo spostamento dell'acqua attraversata dallo scafo in movimento.

Responsabile del rumore più significativo è il fenomeno della cavitazione che è causato dalla velocità con la quale le pale delle eliche ruotano attraverso l'acqua. Purtroppo, di norma le navi da carico solitamente devono mantenere velocità superiori a quelle ottimali per motivi di tempi di consegna delle merci, aumentando di conseguenza il rumore sottomarino generato e i consumi di carburante.

Le vibrazioni delle macchine si propagano attraverso la linea d'asse ma anche attraverso lo scafo.

Il rumore generato dallo scafo che attraversa l'acqua dipende sia dalla forma dello scafo che dalla velocità con cui questo attraversa il mezzo: vale la regola che più silenzioso è uno scafo maggiore è la sua velocità teorica e minore il consumo di carburante. Per quanto riguarda le navi da carico si deve quindi studiare un valido compromesso tra capacità di carico, velocità teorica possibile e consumo di carburante (economicità) (Borsani e Farchi, 2011).

Attività di pesca

Le attività di pesca causano rumore subacqueo a seconda dell'attrezzo utilizzato e dello stato di efficienza dell'imbarcazione. Le operazioni di avvio delle reti generano forti rumori di verricello (cioè, un dispositivo meccanico composto da un cilindro o un tamburo, sul quale viene avvolta una fune o un cavo, e da un sistema di azionamento che permette di tirare o rilasciare il cavo per sollevare o abbassare un carico o eseguire altre operazioni simili) mentre gli attrezzi posati lontano dal fondo generano rumori non dissimili da quelli del Ping Sonar. Di norma il rumore più invasivo nelle operazioni di pesca in Mar Ligure (fatto salvo l'eventuale bracconaggio con esplosivi) è dato dal traino delle reti sul fondo, dove i motori del peschereccio sono sotto sforzo, e dai sonar di pesca. L'utilizzo di alcune apparecchiature con affetti dissuasivi provoca uno stress acustico ai pesci, evidenziando un rallentamento nella crescita (se in gabbia) oppure una tendenza a evitare le reti (se liberi). È opinione ricorrente che l'utilizzo di tali apparecchi vada generalmente evitato (Borsani e Farchi, 2011).

Esplorazioni scientifiche

Le esplorazioni scientifiche impiegano di norma sonar di intensità e frequenza variabili, a seconda dello scopo e dell'oggetto dell'esplorazione stessa. Data la natura puntiforme della maggior parte delle

esplorazioni e spesso l'unicità degli apparecchi impiegati si considera l'apporto di inquinamento acustico derivato da queste attività come trascurabile (Borsani e Farchi, 2011).

2.3 Impatto del rumore sugli animali marini

Gli animali che utilizzano il suono in modo attivo interagire con l'ambiente e comunicare con gli altri individui (conspecifici e interspecifici). L'uso attivo del suono consente di:

- comunicare con i conspecifici durante l'accoppiamento, la ricerca del cibo, le lotte per il territorio e i ranghi sociali;
- orientarsi e navigare su lunghe distanze per mezzo dell'ecolocalizzazione;
- stordire e catturare la preda;
- produrre segnali di allarme per avvertire i conspecifici della presenza di un pericolo;
- distrarre e spaventare un predatore per sfuggire da esso.

Per alcuni animali come i cetacei, l'importanza dell'udito è paragonabile a quella della vista nell'uomo e garantire loro la possibilità di continuare a servirsi dei suoni equivale a garantirne la sopravvivenza. Proteggere idoneamente il loro habitat acustico significa proteggere la qualità acustica dell'ambiente marino anche per tutte le altre specie che vi vivono (Borsani e Farchi, 2011).

Cetacei

L'Ordine dei cetacei include mammiferi quali balene e delfini che si sono adattati, nel corso dell'evoluzione, alla vita nell'ambiente acquatico.

Il rapporto dei cetacei con il suono è oggetto di ricerche da decenni e seppure non esistano informazioni così dettagliate per nessuna altra Classe di animali, sono ancora molte le lacune che debbono essere colmate. Basti pensare al fenomeno degli spiaggiamenti di massa, per il quale ancora non si riesce a dare una spiegazione certa nonostante le ricerche abbiano dimostrato come l'acustica in questo caso giochi un ruolo fondamentale.

Ciononostante, le conoscenze che si hanno sull'utilizzo dei suoni da parte dei cetacei sono notevoli e in questa sede è sufficiente ricordare che essi comunicano, navigano e individuano le prede grazie al suono. Le diverse specie di cetacei emettono suoni in specifici range di frequenza utilizzando dei veri e propri canali comunicativi in cui viaggiano le informazioni.

I mysticeti (balene) ad esempio sono caratteristici nell'emissione e nella ricezione di suoni nelle basse frequenze, tra 10 e 5000 Hz, che riescono a percorrere lunghe distanze sott'acqua.

Gli odontoceti (sottordine di cetacei, conosciuti anche come cetacei dentati) sono specialisti per le loro abilità di ecolocalizzazione e emettendo suoni ad alta frequenza e ascoltando gli echi di ritorno, di avvertire la presenza, valutare la distanza, la forma, le dimensioni e la consistenza di oggetti presenti nell'ambiente circostante. Grazie a questo adattamento acustico sono in grado di cacciare, di orientarsi nello spazio e di evitare predatori anche al buio, o in un mezzo totalmente opaco come le acque torbide dei fiumi.

Ai sensi degli Stati Uniti per la protezione dei mammiferi marini e di regolamenti simili in molti altri paesi, l'impatto delle sorgenti acustiche controllate viene valutato in base al fatto che i livelli sonori ricevuti dai mammiferi marini soddisfino i criteri di molestia. Per le sorgenti sonore controllate, i fattori fisici come il livello di potenza, la frequenza di trasmissione, la durata degli impulsi sonori e la profondità di dispiegamento, nonché le caratteristiche del fondale e dell'acqua marina, influenzano la propagazione del suono nell'ambiente marino. La risposta di un animale a una sorgente sonora dipende dalle caratteristiche biologiche (ad esempio, portata e sensibilità dell'udito, attività comportamentale) e dal contesto ambientale (ad esempio, profondità nella colonna d'acqua, distanza dalla sorgente) della specie marina che riceve il suono. La combinazione della fisica delle sorgenti sonore e gli aspetti biologici dei ricevitori determinano il modo in cui le sorgenti sonore possono influenzare le specie marine. Le sorgenti acustiche marine sono ampiamente utilizzate per acquisire immagini dei fondali oceanici, individuare caratteristiche geologiche o artificiali nell'ambiente marino.

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) (Borsani e Farchi, 2011).

Rumore impulsivo

Il rumore impulsivo, definito come un suono emesso da una sorgente puntiforme che comprende uno o più impulsi di breve durata e con lunghi intervalli tra gli impulsi stessi.

Secondo la Commissione Europea, le fonti di rumore impulsivo subacqueo che destano maggiore preoccupazione sono le seguenti di maggiore preoccupazione sono le seguenti:

- *Surveys* sismici (*airguns*),
- Costruzioni *offshore* (*pile driving*),
- Sonar militari,
- Uso o smaltimento di esplosivi.

Il rumore impulsivo può provocare effetti negativi di diversa entità, a seconda delle caratteristiche delle emissioni di rumore.

TIPO DI EFFETTO	IMPATTO SU INDIVIDUI E GRUPPI	POTENZIALE IMPATTO SULLA POPOLAZIONE
NESSUNO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Perturbazione sotto il livello di rumore ambientale o sotto la soglia di rilevamento della specie. 2. Vengono rilevate perturbazioni, ma gli individui/gruppi non mostrano alcuna reazione. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nessuno 2. Nessuno
COMPORIMENTALE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Vengono rilevate le perturbazioni e gli animali mostrano una leggera risposta. 2. Gli individui modificano il loro comportamento, ma le normali attività non vengono influenzate. 3. Gli individui modificano il loro comportamento e interrompono le loro normali attività. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Basso 2. Basso 3. Medio
FISIOLOGICO	<ol style="list-style-type: none"> 1. L' udito è temporaneamente alterato. 2. L' udito è danneggiato in modo permanente. 3. Danni ai tessuti, emorragie. 4. Lesioni che portano direttamente alla morte dell'animale. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Medio 2. Medio/Alto 3. Veramente alto 4. Veramente alto

Tabella 1 Gli impatti causati sia negli individui/gruppi che nelle popolazioni
(Fonte: Methodological Guide: Guidance on underwater noise mitigation measures)

Tuttavia, la tabella 1 mostra un'importante semplificazione di una situazione molto più complessa. La reazione dei mammiferi marini al rumore dipende da fattori quali la specie, l'individuo, l'età, il sesso, l'esperienza precedente con il rumore e lo stato comportamentale. Le reazioni al rumore osservate nei mammiferi marini potrebbero teoricamente comportare impatti quali una minore efficienza di foraggiamento, un maggiore fabbisogno energetico, una minore coesione di gruppo, una maggiore predazione, diminuzione della riproduzione e quindi un grave impatto sulla popolazione. Inoltre, gli animali che non evitano o cambiano attività possono comunque subire conseguenze importanti, anche letali. D'altra parte, le ferite o le morti degli animali possono non avere un impatto sulla popolazione se sono poche rispetto alle dimensioni della popolazione.

Una parte significativa del rumore subacqueo continuo generato dall'attività umana sembra essere legato alla navigazione commerciale (*Polytechnique Paris et al., 2019*).

Esistono delle pratiche per mitigare il rumore impulsivo:

- Uso di *Acoustic Mitigation Devices* (AMD): prima dell'inizio dei lavori, è necessario utilizzare AMD per allontanare gruppi o individui di mammiferi marini;

- *Soft start protocol*: le emissioni di rumore devono iniziare a bassa potenza, aumentando gradualmente fino a raggiungere la piena potenza; la procedura di *soft start* deve durare almeno 20 minuti;
- *Marine Mammal Observation protocol*:
 - Osservatori di mammiferi marini (MMO) dedicati e indipendenti devono sorvegliare la zona di esclusione per 30 minuti prima dell'inizio della procedura di *soft start* (120 minuti per le specie altamente sensibili);
 - La procedura di avvio morbido deve essere ritardata se i cetacei entrano nella zona di esclusione;
 - La sorveglianza continua deve essere mantenuta per l'intera durata dell'emissione di rumore;
 - L'attività deve essere interrotta (o spenta) se i cetacei entrano nella zona esclusiva;
 - In caso di interruzione del rumore, è necessario mantenere un nuovo turno di guardia di 30 minuti senza animali nella zona esclusiva prima di ricominciare le emissioni acustiche (120 minuti per le specie altamente sensibili).
- *Passive Acoustic Monitoring protocol (PAM)*:
 - Il monitoraggio acustico deve essere utilizzato per segnalare agli osservatori la presenza di cetacei;
 - Il monitoraggio acustico continuo deve essere effettuato per l'intera durata dell'emissione di rumore;
 - Se le attività vengono svolte di notte o in condizioni meteorologiche sfavorevoli, il monitoraggio acustico deve essere utilizzato come principale strumento di monitoraggio;
 - In tali condizioni, le emissioni acustiche devono essere interrotte o spente se si verificano rilevamenti acustici di cetacei (Polytechnique Paris et al., 2019).

Rumore continuo

Il rumore continuo, ovvero suono generato in modo continuo da qualche fonte antropica. In questo caso, il trasporto marittimo è considerato il principale contributore all'aumento del rumore ambientale oceanico.

Nella tabella (1.2) che segue sono mostrati alcuni strumenti per mitigare il rumore continuo delle navi.

SHIP DESIGN	<ol style="list-style-type: none"> 1. Elica a basso rumore: molti modelli con maggiore efficienza o riduzione della cavitazione sulle pale. 2. Riduzione dell'interazione tra elica e timone: timone con torsione, pinne del timone, forma dello scafo... 3. Configurazione della macchinaria a bordo: installazione e posizionamento corretto dell'attrezzatura, strutture di fondazione, tipo di propulsione, isolamento delle vibrazioni.
TECNOLOGIE AGGIUNTIVE PER NAVI ESISTENTI	<ol style="list-style-type: none"> 1. Miglioramento del flusso di scia per ridurre la cavitazione 2. Modifiche o aggiunte alla forma dello scafo: aggiunta di pinne curve, ridisegno della boccola¹, iniezione di aria nell'elica.
CONSIDERAZIONI OPERATIVE E MANUTENZIONE	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pulizia dell'elica/scafo e altre operazioni di manutenzione convenzionali. 2. Regolazione della velocità della nave. Questa è una questione critica poiché la velocità della nave influisce su altre questioni: rischio di collisioni tra balene e navi; emissioni di gas atmosferici, consumo di carburante, tempi di consegna, durata della navigazione, ecc. Il concetto di <i>Smart Steaming</i> (navigazione intelligente) viene sviluppato per affrontare il compromesso tra le esigenze ambientali ed economiche. 3. Cambiamenti di rotta e altre decisioni operative.

Tabella 1.2 Strumenti per la mitigazione del rumore continuo della nave
(Fonte: Methodological Guide: Guidance on underwater noise mitigation measures)

2.4 Effetti sul cambiamento comportamentale del rumore sugli animali marini

Il rumore è diffuso in tutti gli habitat animali. Tipicamente gli habitat contengono una miriade di geofisici, biologici, e antropogenici suoni, che costituiscono il paesaggio sonoro locale. Molti di questi suoni possono interferire con le funzioni vitali degli animali e quindi sono spesso indicati come “rumore” (Erbe Christine et al. 2022). I progetti di studio della risposta comportamentale sono spesso seguiti per valutare se o non c'è un cambiamento comportamentale significativo in un animale in risposta a un segnale acustico stimolo.

Gli studi sull'effetto del rumore sul comportamento animale nei mammiferi marini si sono concentrati su cinque principali aree di ricerca (Deecke 2006):

(1) determinare la funzione delle vocalizzazioni conspecifiche, (2) come metodo di gestione della fauna selvatica (ad esempio, utilizzando suoni eterospecifici per scoraggiare gli animali da aree specifiche), (3) per studiare le interazioni predatore-preda, (4) per studiare l'individuo e riconoscimento di parentela, e (5) per determinare la risposta al rumore antropogenico.

¹ La boccola è una parte del sistema dell'elica che mantiene il movimento di quest'ultima fluido e impedisce all'acqua di entrare nella parte interna della nave (generato con ChatGPT).

Sebbene la maggior parte della letteratura su "mammiferi marini e suoni prodotti dall'uomo" riporta risposte comportamentali, eseguire uno studio sull'effetto del rumore sul comportamento animale scientificamente robusto non è facile, con conseguenti errori comuni (Campbell e Stanley 1966), che rendono difficile l'interpretazione dei risultati e il confronto tra gli studi.

Sintesi delle risposte comportamentali dei mammiferi marini al rumore prodotto dall'uomo mostrano una grande variabilità nei livelli ricevuti (che differiscono di molte decine di decibel) e la gravità nella risposta da minore a grave (Richardson et al. 1995; Southall et al. 2007; Gomez et al. 2016). Queste differenze sono in parte dovute a diverse popolazioni, sorgenti sonore, contesti e ambienti (Ellison et al. 2012; Dunlop et al. 2013). La grande variabilità all'interno della specie potrebbe essere spiegata da differenze individuali come l'esposizione a priori (assuefazione *versus* sensibilizzazione²), la motivazione, l'età, il sesso e lo stato di salute.

Gli animali possono mostrare reazioni più sottili, come cambiamenti nei segnali vocali o nei movimenti su scala ridotta. Quando esposte al sonar navale a bassa frequenza, le balene megattere aumentavano la lunghezza del canto (Miller et al. 2000; Fristrup et al. 2003), balene dal becco di Cuvier che hanno cessato la localizzazione dell'eco (Tyack et al. 2011; DeRuiter et al. 2013) e balene pilota con pinne lunghe (*Globicephala melas*) ha aumentato il tasso di richiamo (Rendell e Gordon 1999). Nella presenza del rumore della barca, le orche assassine hanno aumentato la durata del loro richiamo (Foote et al. 2004) e livello (Holt et al. 2009); le balene beluga hanno aumentato il loro livello di richiamo, ridotto il loro tasso di chiamata e ha spostato la frequenza media verso l'alto (Lesage et al. 1998; Scheifele et al. 2005); i tursiopi (*Tursiops truncatus*) hanno aumentato la loro frequenza di fischi (Buckstaff 2004); e le balenottere comuni (*Balaenoptera physalus*) hanno ridotto la durata del richiamo e la larghezza di banda (Castellote et al. 2012). Queste risposte acustiche potrebbero essere causa del disturbo della barca in sé, dei cambiamenti di contesto dovuti alla presenza della barca, dei cambiamenti nel comportamento sociale. Goldbogen et al. (2013) ha dimostrato che per le balenottere azzurre che si nutrono in profondità è molto più probabile che cambi il comportamento e il corpo in immersione orientamento in risposta al rumore rispetto a quelli in stati di alimentazione superficiale o di non alimentazione. Alcune specie come le balene pilota con pinne lunghe sembrano comportamentalmente tolleranti all'esposizione al rumore (ad esempio, Antunes et al. 2014), mentre le balene dal becco (Famiglia Ziphiidae) sono chiaramente tra le specie comportamentalmente più sensibili (DeRuiter et al. 2013; Miller et al. 2015; Stimpert et al. 2014; Tyack et al. 2011).

² L'assuefazione si riferisce alla diminuzione della risposta di un organismo a uno stimolo ripetuto o prolungato nel tempo. La sensibilizzazione, d'altra parte, si riferisce all'aumento della risposta di un organismo a uno stimolo dopo l'esposizione ripetuta. Entrambi i processi, l'assuefazione e la sensibilizzazione, sono meccanismi adattivi che consentono agli organismi di regolare la loro risposta agli stimoli ambientali (generato con ChatGPT),

2.5 Effetti fisiologici del rumore sugli animali marini

Gli effetti del sull'ecosistema marino sono oggetto di studio da parte della comunità scientifica. Tra gli effetti fisiologici del rumore sugli animali marini emergono due aspetti cruciali: il mascheramento e lo stress.

Mascheramento

Il mascheramento è l'interferenza del rumore ambientale con la rilevazione o riconoscimento dei segnali.

Vari parametri relativi alle capacità uditive di un animale giocano un ruolo nel mascheramento (Erbe et al. 2016). Qualsiasi suono all'interno del raggio uditivo di un animale può essere mascherato.

Non esiste alcun audiogramma per nessuna delle specie mysticeti, capodogli, e orsi polari sott'acqua. Il mascheramento dipende dalle caratteristiche spettrali sia del segnale che del rumore ricevitore (Dooling e Leek). Con un basso rapporto segnale/rumore, il segnale potrebbe semplicemente essere rilevabile ma non riconoscibile. Un più alto rapporto segnale-rumore è necessario all'animale per riconoscere o discriminare il segnale, come noto, dagli studi con uccelli (Dooling et al. 2009; Halfwerk, Lohr e Slabbekoorn).

Il rapporto critico (CR) è definito come la differenza nell'intensità del livello del segnale e il livello di densità dello spettro di potenza del rumore di mascheramento al rilevamento soglia. Il CR ha dimostrato di essere un forte predittore di mascheramento negli uccelli (Dooling e Blumenrath 2014) quando il rumore è continuo e a banda larga e il segnale ha un forte carattere tonale. Il CR è stato anche un buon predittore per il mascheramento di una chiamata beluga tonale nel rumore della nave a banda larga (Erbe and Farmer 1998; Erbe 2008).

In scenari di ascolto realistici, il segnale e il rumore hanno strutture spettrali e temporali complesse e probabilmente arrivano all'ascoltatore da direzioni diverse. Se il rumore ambientale è modulato in ampiezza su un'ampia banda di frequenze, l'animale può utilizzare le informazioni al di fuori della banda del segnale per determinare quando si verifica il segnale, semplicemente come differenza di correlazione tra le bande. Questo si chiama rilascio di mascheramento di co-modulazione ed è stato dimostrato con balene beluga, delfini tursiopi, leoni marini della California (*Zalophus californianus*) e foche comuni (Branstetter e Finneran 2008; Erbe 2008). Se il rumore ambientale ha gap più piccoli (come nel caso del rumore della nave fortemente modulato in ampiezza e del rumore naturale della screpolatura del ghiaccio), e se il segnale è lungo o ripetitivo, l'animale potrebbe rilevare il segnale dai pezzi che emergono attraverso il modello di rumore intermittente per intervallo ascolto, come mostrato nelle balene beluga (Erbe 2008). . Se il segnale e il rumore arrivano da direzioni diverse, si verifica un rilascio spaziale dal mascheramento basato sulla direzione capacità uditive, misurate nei delfini tursiopi, leoni marini della California e foche comuni (ad esempio, Turnbull 1994; Holt e Schusterman 2007). Per la maggior parte delle vocalizzazioni dei mammiferi marini, la loro funzione biologica è sconosciuta, e quindi una valutazione dell'importanza del mascheramento ai tassi vitali è difficile.

Stress

Lo stress è una risposta fisiologica e potrebbe essere un risultato diretto dell'esposizione a suoni prodotti dall'uomo che sono sconosciuti o assomigliano ai suoni dei predatori o potrebbero essere un risultato indiretto dell'esposizione quando lesioni o mascheramento causano stress (Wright et al. 2007).

Il *National Research Council* (2005) ha definito un effetto “biologicamente significativo” se impedisce a un animale di crescere, sopravvivere e riprodursi, potenzialmente compromettendo la sopravvivenza della sua popolazione. Gli effetti comportamentali potrebbero accumularsi su molti anni prima che tali impatti si realizzino.

La natura dell'ambiente di propagazione del suono gioca un ruolo importante perché cambia le caratteristiche spettrali e temporali di un suono mentre viaggia dalla fonte al ricevitore, in questo caso, un mammifero marino. Pertanto, la propagazione influisce sul potenziale di impatto bioacustico.

La risposta allo stress negli animali comporta un aumento della frequenza cardiaca, della pressione sanguigna e dello scambio di gas così come una redistribuzione del sangue al cervello e ai muscoli, e reazioni endocrine. Studi con vertebrati terrestri e marini hanno dimostrato che le risposte acute allo stress può portare a una serie di effetti dannosi, tra cui cattive condizioni del corpo, scarso funzione immunitaria e resistenza alle malattie, riduzione dei tassi di riproduzione e, in alcuni casi animali, aumento dei tassi di mortalità (Romero and Butler 2007). Ad esempio, se gli animali sono in uno stato costante di stress, comportamenti particolari come la capacità di trovare cibo, la fuga dai predatori, e socializzare con i conspecifici può essere ostacolato (rivisto da Chrousos e Gold 1992). Le fonti antropogeniche di suoni subacquei possono potenzialmente causare una risposta di stress nei mammiferi marini. I cetacei sono soggetti a sfide fisiologiche come quelli associati alle immersioni profonde, al digiuno prolungato, alla termoregolazione e osmoregolazione.³

Lo stress cronico negli animali è abbastanza difficile da misurare dato che esiste un potenziale stress associato al campionamento (ad esempio, Ortiz e Worthy 2000; Lanyon et al. 2012). Le fluttuazioni diurne normali (e.g., Suzuki et al. 2003) e stagionali (ad esempio, Mashburn e Atkinson 2004; Myer et al. 2010) dovrebbero essere prese in considerazione. L'aumento del cortisolo nel sangue è comunemente usato come indicatore di stress.

Uno di coinvolti i pochi studi disponibili sulla risposta fisiologica ad uno stimolo sonoro una balena beluga in cattività e un delfino tursiope in cattività. Ad entrambi è stato prelevato il sangue prima e dopo l'esposizione a vari livelli di una pistola ad acqua sismica come un tono simile a un segnale sonar (Romano et al. 2004).

Diversi parametri fisiologici sono stati misurati, indicando un aumento dello stress dopo l'esposizione a suoni di alto livello. Tuttavia, questo tipo di studio sarebbe estremamente difficile da eseguire in natura. Misurazione dei livelli di glucocorticoidi (cortisolo) nelle feci (Rolland et al. 2012), grasso (Trana et al.

³ La termoregolazione si riferisce al processo attraverso il quale gli organismi mantengono la propria temperatura corporea entro un intervallo ottimale, indipendentemente dalle variazioni ambientali. Gli organismi osmoregolatori, d'altra parte, sono in grado di regolare la concentrazione di sostanze come sali e acqua all'interno dei loro tessuti e fluidi corporei, in modo da mantenere un ambiente interno stabile e adatto alle loro funzioni vitali (generato con Chat GPT).

2015), o soffiare (Hogg et al. 2009) i campioni possono essere più praticabili in natura; tuttavia, tali studi comportano altri rischi e incertezze

CAPITOLO 3

3.1 Analisi bibliometrica del rumore antropico in mare

È condotta una ricerca sistematica della letteratura nel database Scopus, cercando studi che riportassero gli effetti del rumore antropico in mare. La nostra ricerca si è focalizzata sugli articoli di ricerca scientifici. La ricerca è stata condotta utilizzando la seguente combinazione di parole chiave: *anthropogenic noise AND marine mammals*. Ciò ha prodotto un totale di 337 di cui sono stati scelti 18 articoli. Di questi, inoltre, per completezza, abbiamo incluso altri documenti citati da tali studi o di conoscenza precedente e si è giunti a un totale di 48 articoli. Dopodiché è stata condotta un'analisi bibliometrica con il software R. La bibliometria è uno strumento quantitativo per misurare e mappare la ricerca esistente in un'area scientifica. Un'analisi bibliometrica è uno studio che mira a scoprire la struttura fondamentale della ricerca di un campo. Analizza in profondità le tendenze della ricerca, valuta la scienza come un sistema di conoscenza produttivo, è affidabile e obiettiva (*Bibliometric analysis*, 2022). Esistono tuttavia diverse applicazioni dell'analisi bibliometrica. Per il nostro studio è stato utilizzato Bibliometrix (Aria e Cuccurullo, 2017), uno strumento associato con un pacchetto R e tramite l'utilizzo del codice `biblioshiny()` è stata eseguita l'analisi della mappatura scientifica utilizzando le funzioni principali del pacchetto bibliometrix che permette di visualizzare i dati bibliografici in modo interattivo. Più specificamente permette di osservare la struttura della conoscenza scientifica nell'area di interesse offrendo una panoramica dell'evoluzione scientifica e le tecniche di *Science Mapping* che permettono di indagare la conoscenza scientifica da un punto di vista statistico (*Biblioshiny*).

Di seguito sono rappresentati i risultati ottenuti rispetto alle fonti, gli autori, le parole chiavi, la struttura concettuale, la struttura sociale.

Fonti

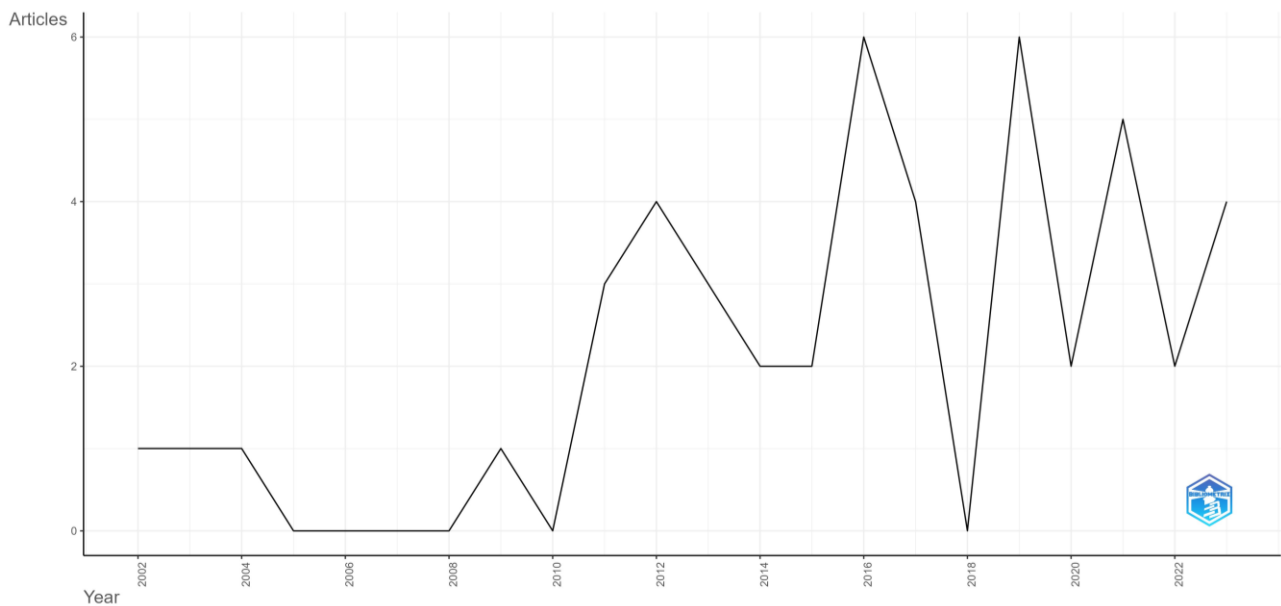


Figura 3.1 Produzione Scientifica Annuale

Il grafico in figura 3.1 mostra che il periodo dal 2002 al 2010 segna una bassa produzione scientifica annuale di articoli con la conseguenza di una minor ricerca in ambito del rumore antropico in mare. Si notano i picchi degli anni di ricerca nel 2016 e 2019 con il più alto numero di pubblicazioni in quest'area scientifica di interesse.

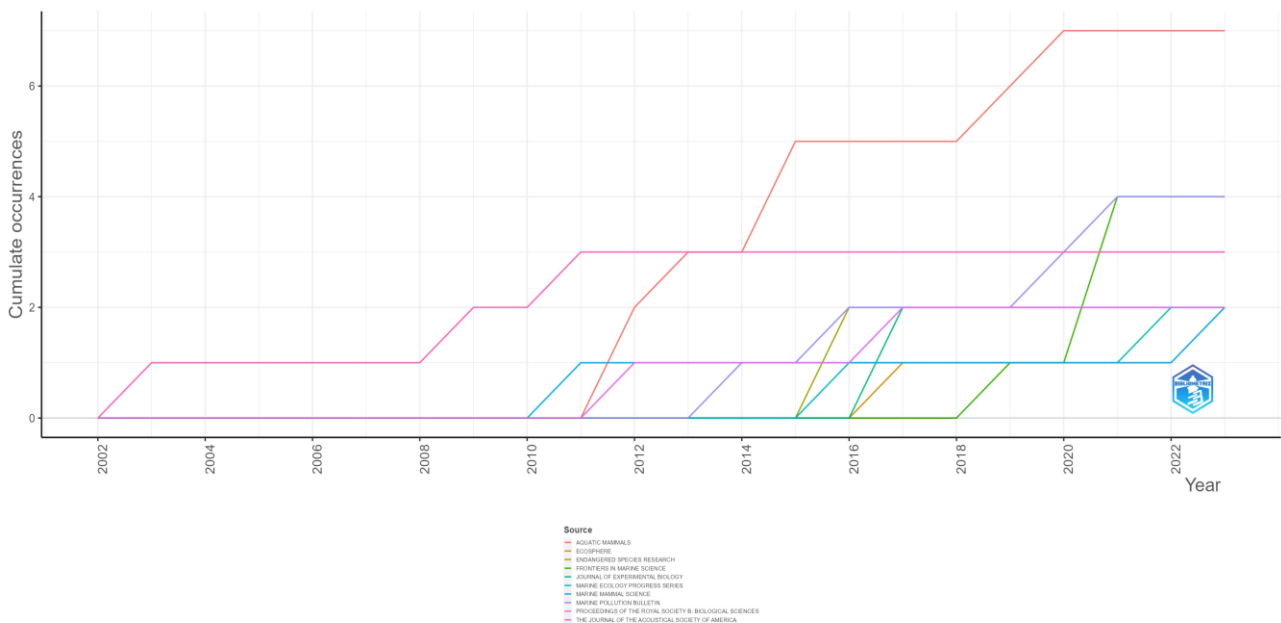


Figura 3.2 Andamento nel tempo della produzione delle fonti

A proposito di numero di pubblicazioni per rivista si nota un trend crescente il periodico *Acquatic Mammals* (figura 3.2) negli ultimi anni, il quale ha una maggiore influenza nel campo del rumore antropico in mare. D'altro canto, emerge che il periodo tra 2002 al 2011 sono stati pubblicati pochissimi articoli scientifici, quindi sta ad indicare che sia i finanziamenti sia la rivoluzione digitale, grazie all'utilizzo di apparecchiature sempre più sofisticate, hanno inciso sullo studio della nostra area di interesse.

Autori

A livello di produzione di articoli in materia di rumore antropico è interessante notare quali sono gli autori che hanno maggiormente contribuito alle pubblicazioni scientifiche (figura 3.2).

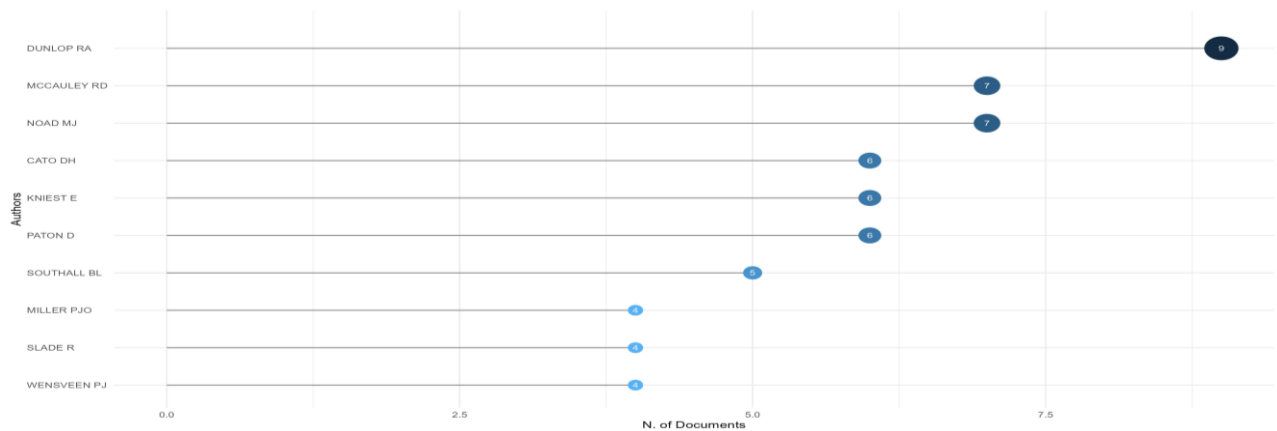


Figura 3.3 Autori più rilevanti

Come è possibile visualizzare in figura 3.2 i primi autori più influenti per numero di pubblicazione in ordine crescente sono Dunlop, McCauley e Noad rispettivamente con 9, 7 e 7 articoli nell'area di interesse scientifica. Le pubblicazioni di Dunlop, in particolar modo, sono indice di esperienza e influenza sul rumore antropico in mare. A livello europeo Dunlop risiede in Irlanda, McCauley negli Stati Uniti d'America e Noad dell'Australia.

Dopo aver individuato gli autori più rilevanti per numero di articoli scientifici è bene visionare il numero pubblicazioni negli anni per autore. I risultati sono rappresentati in figura 3.3.

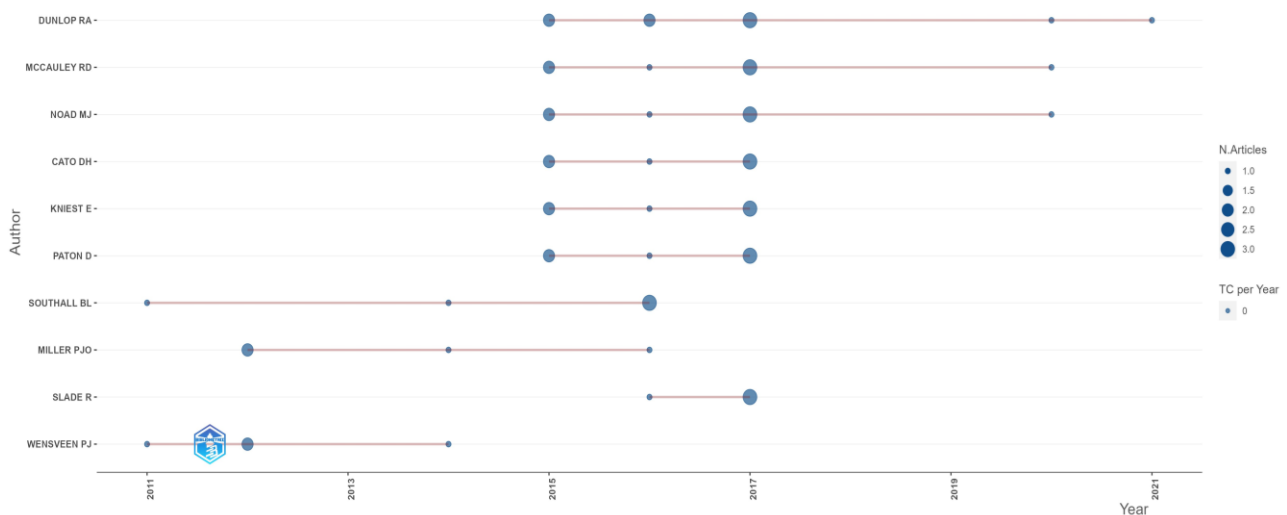


Figura 3.4 Andamento nel tempo della produzione degli autori

Si evince che il 2017 è stata la data con il picco di pubblicazioni sull'effetto del rumore antropico nei mammiferi marini. Questo può essere determinato da fattori come maggiori progetti di ricerca finanziati e maggiori opportunità di collaborazione tra ricercatori e Enti di ricerca.

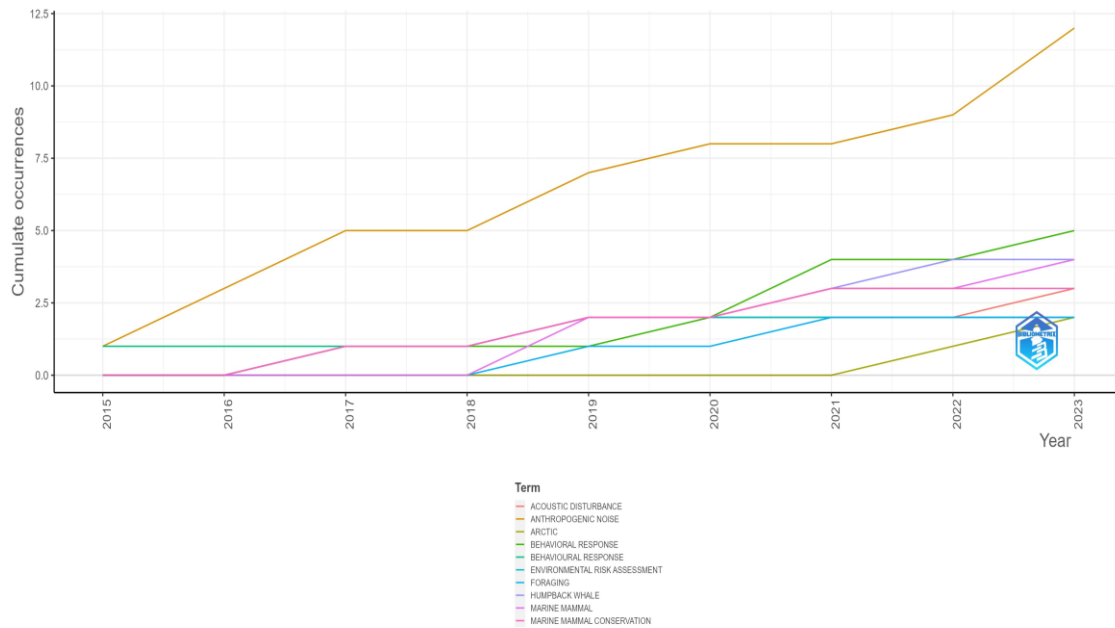


Figura 3.6 Andamento nel tempo della frequenza delle parole

L'andamento nel tempo della parola chiave *Acoustic Disturbance* in figura 3.6 mostra una tendenza in crescita nel corso degli anni dal 2015 fino ad oggi. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che si presta più attenzione al rumore antropico in mare. In parallelo vi è un incremento anche della parola chiave *Behavioral Response* e ciò mostra una buona risposta all'impatto del rumore comportamentale.

Inoltre, si nota la parola chiave *Arctic* la quale ha avuto uno maggiore sviluppo a partire dal 2021. Il cambiamento climatico, la riduzione dei ghiacciai e il traffico marino hanno contribuito ai cambiamenti ambientali nell'Artico. Questo si è riflesso sugli organismi marini ed è un segnale positivo il fatto che la ricerca si sta espandendo anche verso l'Artico. Un altro dato rilevante è che a partire dal 2022 si evince un maggior impegno in termini di conservazione della biodiversità come è delineato dalla parola chiave *Marine Mammals Conservation*. Ciò è confermato dalle direttive europee in materia di protezione della Biodiversità (*Biodiversity*, 2023).

Struttura concettuale

Per struttura concettuale s'intende qual è l'argomento di interesse e si divide in due approcci:

1. *Network approach*;
2. *Factorial approach*.

1. *Network approach*



Figura 3.7 Nodi e Archi

Il seguente grafico (3.7) si inserisce all'interno della cosiddetta *Network Analysis*, la quale è un ramo della scienza delle reti che si occupa dello studio delle reti complesse. Il nodo più denso è *anthropogenic noise* il quale rappresenta il tema centrale della nostra analisi e gli archi collegati al medesimo nodo sono *ship traffic*, *humpback whale* e *behavioural response* i quali hanno una stessa densità. Un altro nodo denso è *behavioral response* a cui sono collegati i seguenti archi *marine mammals* e *acoustic disturbance*. Il grafico, inoltre, mostra che sono presenti due *cluster*. Il primo *cluster* è composto da *anthropogenic noise*, *humpback whale*, *behavioural response* e *ship traffic*. Il secondo *cluster* è composto da *behavioral response*, *acoustic disturbance*, *marine mammal conservation* e *environmental risk assessment*.

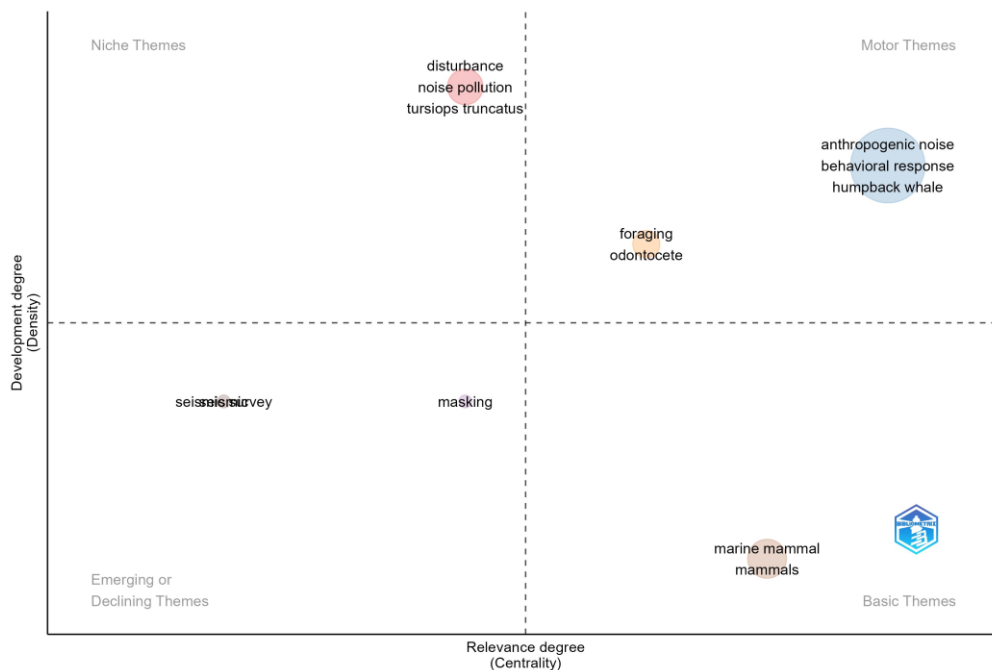


Figura 3.8 Mappa Tematica

Attraverso la mappa tematica (figura 3.9) è possibile notare i differenti temi dominanti appartenenti al *niche themes*, *emerging or declining themes*, *motor themes* e *basic themes*. Emerge dai risultati che il *masking*, *survey* e *seismic* sono in fase di sviluppo ed è necessario più ricerca in quest'ambito.

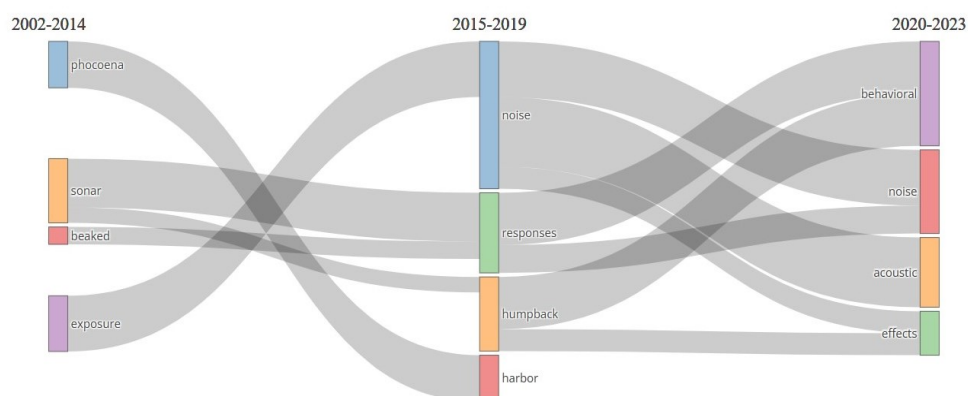


Figura 3.10 Thematic Evolution

Attraverso la *thematic evolution* (figura 3.10) è possibile studiare l'evoluzione dei temi o delle parole chiave all'interno di un campo di ricerca nel corso del tempo. Si osserva come lo studio del *behavioral* è una ricerca recente in base all'andamento storico compreso tra il 2002 e il 2023.

Fig. 3.11



Si può esaminare l'evoluzione dei temi dominanti (figura 3.11) appartenenti al *niche themes*, *emerging or declining themes*, *motor themes* e *basic themes*. Si evince che il periodo storico tra 2002 – 2014 può definirsi il periodo in cui inizia ad emergere il problema relativo al rumore antropico in mare. Il cambiamento più rilevante è da considerarsi nell'ultimo periodo tra 2019 – 2023. Oltre ad un'attenzione alla nostra area di interesse si pone l'attenzione, in relazione alle evidenze scientifiche, al cambiamento climatico che ha causato siccità ed esondazioni dei fiumi, alluvioni, aumento delle temperature, frane, riduzione della neve e piogge intense (*Intergovernmental Panel on Climate Change, 1988*). È necessario preservare l'equilibrio della biodiversità con responsabilità poiché l'ambiente stesso si riprenderà il suo posto.

2. Factorial analysis

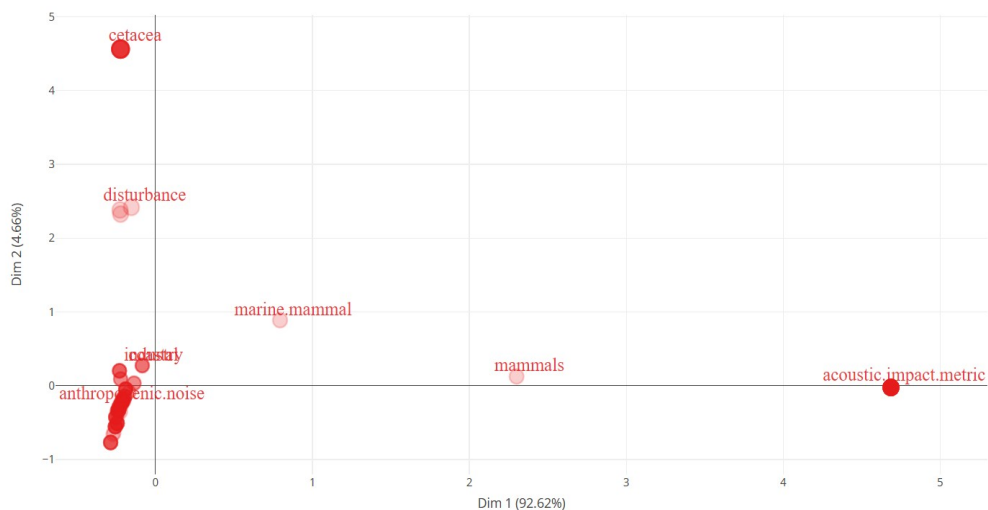


Figura 3.11 Word Map

La *word map* (figura 3.11) conferma il tema centrale dell' *anthropogenic noise* e inoltre vi è un buon contributo delle parole *cetacea* e *acoustic impact metric*.

Struttura sociale

La struttura sociale mostra come gli autori o le istituzioni si relazionano con gli altri nel campo della ricerca scientifica (*Biblioshiny*).

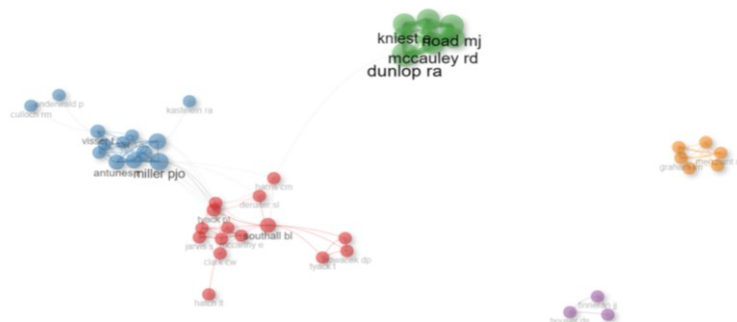


Figura 3.12 Collaborazione degli autori

CAPITOLO 4

4.1 Green Deal e azioni a tutela dell'ambiente

L'Europa ha avviato il *Green Deal* come una risposta concreta alla sfida del cambiamento climatico e all'obiettivo di raggiungere le emissioni nette di gas serra pari a zero entro il 2050.

Il pacchetto comprende iniziative strategiche riguardanti clima, ambiente, energia, trasporti, industria, agricoltura e finanza sostenibile, tutti settori fortemente interconnessi. Dopo la riunione della Commissione nel dicembre del 2019 il Consiglio europeo ne ha preso atto nella riunione di dicembre dello stesso anno con le parole che seguono (*Green Deal*, 2019).

“La transizione verso la neutralità climatica offrirà opportunità significative, ad esempio un potenziale di crescita economica, di nuovi modelli di business e mercati, di nuovi posti di lavoro e sviluppo tecnologico”.

Conclusioni del Consiglio europeo, 12 dicembre 2019

Il Consiglio europeo ha deciso l'obiettivo per l'UE di diminuire, entro il 2030, le sue emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% rispetto ai livelli del 1990 e di conseguire la neutralità climatica entro il 2050. Attraverso la legge europea sul clima, questi obiettivi sono vincolanti per l'UE e i suoi Stati membri (*Green Deal*, 2019).

A fronte della tutela dell'ambiente l'Europa si impegna con diverse azioni:

- una revisione del sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (EU ETS), che comprende la sua estensione al trasporto marittimo;
- uno spazio marittimo europeo sostenibile, che stabilirà un limite massimo per il contenuto di gas serra dell'energia utilizzata dalle navi che attraccano nei porti europei;
- una revisione della direttiva sulla realizzazione di un'infrastruttura per i combustibili alternativi;
- una revisione della direttiva sulla promozione delle energie rinnovabili.

In figura 3.1 si evidenziano le azioni aggiuntive inclusi nel pacchetto "Pronti per il 55%", oltre a quanto precedentemente menzionato.

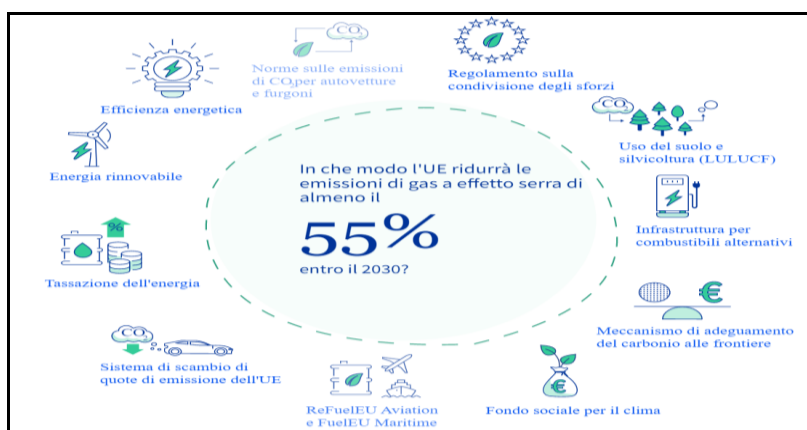


Figura 3.1 Azioni dell'EU per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra

(Fonte: <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>)

Revisione di scambio di quote di emissione dell'EU

Il sistema di scambio di quote di emissione dell'UE (EU ETS) è uno dei più grandi mercati del carbonio al mondo e lo strumento fondamentale dell'UE per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra.

Di seguito il procedimento del sistema di scambio:

- Il sistema stabilisce il prezzo del carbonio. Ogni anno i soggetti coperti dall'ETS devono acquistare "quote" corrispondenti alle loro emissioni di gas a effetto serra.
- Ogni anno è fissato un massimale relativo al numero di quote immesse sul mercato per l'anno in questione, che diminuisce di anno in anno. In questo modo le imprese hanno incentivi finanziari a ridurre le emissioni.
- Tuttavia, determinati settori esposti al rischio di rilocalizzazione delle emissioni di carbonio ottengono quote a titolo gratuito a sostegno della loro competitività.

L'EU ETS riguarda circa il 40% delle emissioni totali dell'UE e ha già dimostrato di essere lo strumento chiave per la riduzione delle emissioni.

Dal 2005 (anno di introduzione del sistema) le emissioni dell'UE sono state ridotte del 41% nei settori coperti.

I settori attualmente coperti sono:

- produzione di energia elettrica e calore;
- settori industriali ad alta intensità energetica (ad esempio raffinerie di petrolio, industria siderurgica e produzione di cemento, vetro e carta);
- aviazione commerciale (voli nello Spazio economico europeo).

Con la nuova riforma l'EU ETS coprirà nuovi settori:

- **estensione ai trasporti marittimi** (introdotta gradualmente tra il 2024 e il 2026);
- un nuovo ETS distinto per gli edifici, il trasporto stradale e i combustibili per altri settori.

Inoltre, si intende perseguire la nuova riforma con obiettivi ambiziosi:

- diminuzione delle emissioni del 62%;
- eliminazione graduale delle quote a titolo gratuito per determinati settori (parallelamente all'introduzione del meccanismo di adeguamento del carbonio alle frontiere, un sistema di fissazione del prezzo del carbonio applicabile ai prodotti ad alta intensità energetica importati nell'UE per evitare la rilocalizzazione delle emissioni di carbonio);
- aumentare i finanziamenti per decarbonizzare i settori coperti dal sistema ETS
 - Fondo per la modernizzazione
 - Fondo per l'innovazione
- fino a 65 miliardi di EUR per far fronte all'impatto della fissazione del prezzo del carbonio dell'ETS proposto per gli edifici, il trasporto stradale e i combustibili per altri settori (*Fit for 55 the EU plan for a green transition*, 2023).

Spazio europeo marittimo

I settori del trasporto aereo e marittimo generano rispettivamente il 14,4% e il 13,5% delle emissioni dei trasporti nell'UE, secondo gli ultimi dati disponibili al 2018.

Il regolamento FuelEU Maritime obbligherà le navi di stazza lorda superiore a 5.000 tonnellate che fanno scalo nei porti europei (eccetto ad es. i pescherecci):

- a ridurre l'intensità delle emissioni di gas a effetto serra dell'energia usata a bordo come segue
 - 2025: 2%
 - 2030: 6%
 - 2035: 14,5%
 - 2040: 31%
 - 2045: 62%
 - 2050: 80%
- a collegarsi all'alimentazione elettrica da terra per coprire le esigenze di energia elettrica mentre sono ormeggiate alla banchina, a meno che non usino un'altra tecnologia a zero emissioni.

Le navi di stazza lorda superiore a 5 000 tonnellate delineano il 55% di tutte le navi e sono responsabili del 90% delle emissioni di CO2 del settore marittimo.

I benefici saranno:

- condizioni paritarie per i settori del trasporto aereo e marittimo;
- maggiore produzione e propagazione dei carburanti sostenibili per uso marittimo e nell'aviazione a costi competitivi;
- maggiore innovazione e investimenti nel trasporto aereo e marittimo sostenibile;
- un trasporto più ecoresponsabile da parte dei cittadini UE (*Fit for 55 the EU plan for a green transition, 2023*).

Infrastruttura per i combustibili alternativi

Obiettivo del regolamento è far sì che auto, camion, navi e aerei siano composti di un'infrastruttura sufficiente per la ricarica o il rifornimento con combustibili alternativi (per es. idrogeno, metano liquefatto).

I trasporti sono colpevoli di quasi il 25% delle emissioni di gas a effetto serra nell'UE.

Percentuale di emissioni per tipo di trasporto:

- *trasporto su strada: 71%*
- *trasporto aereo: 14,4%*
- *trasporto navale: 13,5%*
- *trasporto ferroviario: 0,5%*

- *altro: 0,5%*

Più veicoli elettrici o alimentati da combustibili alternativi equivalgono a meno emissioni.

A proposito dei porti marittimi più trafficati almeno il 90% delle navi portacontainer e delle navi passeggeri deve poter rifornirsi di elettricità da terra.

Nella maggior parte dei porti di navigazione interna almeno un'installazione che fornisce elettricità da terra, entro il 2030 (*Fit for 55 the EU plan for a green transition, 2023*).

Energie rinnovabili

Le energie rinnovabili hanno un inferiore impatto ambientale, poiché emettono meno carbonio dei combustibili fossili. Incrementare la quota di energie rinnovabili nell'UE è di primaria importanza per diminuire l'impronta di carbonio del settore dell'energia, ad oggi responsabile del 75% di tutte le emissioni nell'UE. Esistono diversi tipi di energia rinnovabile: energia eolica, energia solare, energia idroelettrica, energia delle maree, energia geotermica, pompa di calore, biocarburanti e parte rinnovabile dei rifiuti

Vantaggi:

- diminuzione delle emissioni di gas a effetto serra;
- alternativa alle importazioni di combustibili fossili dell'UE;
- miglioramento della qualità dell'aria e della salute umana.

Dal 2005 la crescente sostituzione di combustibili fossili con energia rinnovabile in tutta l'UE ha determinato, nel 2017, un calo del 7% del biossido di zolfo (SO₂) totale e dell'1% delle emissioni di ossido di azoto (NO_x).

Il 22,1% dell'energia consumata nell'UE nel 2020 è stato prodotto da fonti rinnovabili, circa 2 punti percentuali in più rispetto all'obiettivo del 20% fissato dall'UE per quell'anno.

Il nuovo obiettivo dell'UE per il 2030 è quello di quasi raddoppiare la quota attuale di energia rinnovabile nell'UE portandola al 40% del consumo totale di energia. Ciò significa che tutta l'UE prevede che, entro il 2030, almeno il 40% di tutta l'energia utilizzata sarà prodotta da fonti rinnovabili.

Ogni Stato membro deve collaborare all'obiettivo fissato in materia di energie rinnovabili. Gli Stati hanno deciso i rispettivi obiettivi nazionali in materia di energie rinnovabili per il 2030 nei piani nazionali integrati per l'energia e il clima (PNEC).

Finora la diffusione delle energie rinnovabili nei vari settori economici è stata non omogenea. La nuova direttiva punta a introdurre nuove misure e nuovi obiettivi specifici per settore a livello di UE per il 2030.

- *edifici: 49%* di uso di energie rinnovabili
- *industria: +1,1%* annuo di uso di energie rinnovabili

- *riscaldamento e raffreddamento*: +0,8% annuo di uso di energie rinnovabili fino al 2025, quindi +1,1% annuo fino al 2030
- *idrogeno rinnovabile nell'industria*: +35% del consumo totale (50% entro il 2035)
- *trasporti e combustibili*:
 - gli Stati membri possono decidere di diminuire del 13% l'intensità delle emissioni dei carburanti per il trasporto o di garantire una quota di energie rinnovabili nel settore dei trasporti pari ad almeno il 29%
 - +1% della quota di biocarburanti avanzati entro il 2025 e +4,4% entro il 2030
 - +5,2% della quota di combustibili rinnovabili di origine non biologica

Inoltre, le nuove norme prevedono:

- misure per velocizzare le procedure di autorizzazione dei progetti in materia di energie rinnovabili e integrare maggiormente l'energia rinnovabile nelle reti energetiche;
- misure più severe per contrastare le frodi;
- criteri più meticolosi per la biomassa forestale⁴ che contribuiscano a proteggere le foreste e la biodiversità (*Fit for 55 the EU plan for a green transition*, 2023).

Si potrebbe sostenere che queste linee guida dell'Europa possono incidere sulla riduzione rumore in parte, anche se sul Green Deal non vi sono direttive specifiche a riguardo.

4.2 Strategia dell'EU sulla biodiversità

Gli Stati membri sono profondamente preoccupati per il tasso globale di perdita di biodiversità e riconoscono la necessità di accrescere gli sforzi affrontando le cause dirette e indirette della perdita di biodiversità e di risorse naturali, tra cui lo sfruttamento eccessivo delle risorse naturali, i cambiamenti climatici, l'inquinamento, le specie esotiche invasive e il modo in cui utilizziamo il suolo e il mare.

L'UE e i suoi Stati membri si sono impegnati a conservare la biodiversità sulla via della ripresa entro il 2030. Le principali azioni da realizzare entro il 2030 comprendono:

- la creazione di zone protette comprendenti almeno il 30% della superficie terrestre e marina dell'UE, ampliando in tal modo la copertura delle zone Natura 2000 esistenti;
- il ripristino degli ecosistemi degradati in tutta l'UE entro il 2030 attraverso una serie di impegni e misure specifici, tra cui la riduzione dell'uso e del rischio dei pesticidi del 50% entro il 2030 e l'impianto di 3 miliardi di alberi all'interno dell'UE;
- lo stanziamento di 20 miliardi di EUR l'anno per la protezione e la promozione della biodiversità tramite i fondi dell'UE e finanziamenti nazionali e privati;
- la creazione di un quadro globale ambizioso per la biodiversità.

I paesi dell'UE hanno adottato conclusioni del Consiglio sulla strategia e ne hanno approvato gli obiettivi.

⁴ La biomassa forestale si riferisce alla materia organica derivante da alberi e piante che crescono in ambiente forestale. Inoltre, la biomassa forestale svolge un ruolo importante nella cattura e immagazzinamento del carbonio, contribuendo alla mitigazione del cambiamento climatico (generato con ChatGPT).

Il Consiglio ha sottolineato la necessità di intensificare gli sforzi per contrastare le cause dirette e indirette della perdita di biodiversità e di risorse naturali (*Biodiversity*, 2023).

Obiettivi a tutela della biodiversità

L'UE svolge un ruolo attivo per garantire la protezione della natura e della biodiversità.

Il tema principale alla conferenza delle parti della convenzione sulla diversità biologica (COP 15), del protocollo di Cartagena (COP-MOP 10) e del protocollo di Nagoya (COP-MOP 4) sarà l'adozione del quadro globale post-2020 in materia di biodiversità.

Il progetto di quadro globale post-2020 in materia di biodiversità è costituito da 21 obiettivi orientati all'azione per il 2030, tra cui:

- conservazione delle superfici terrestri e marine a livello mondiale;
- ripristino degli ecosistemi marini, terrestri e di acqua dolce degradati;
- diminuzione dell'introduzione di specie esotiche invasive;
- diminuzione dei nutrienti persi nell'ambiente e dei pesticidi ed eliminazione dello scarico di rifiuti di plastica;
- contributi basati sulla natura agli sforzi globali di mitigazione dei cambiamenti climatici (*Biodiversity*, 2023).

Regolamento sul ripristino della natura

Bisogna attendere il regolamento sul ripristino della natura negli Stati membri dell'EU la quale ha l'obiettivo di definire misura di ripresa riguardanti almeno il 20% delle zone terrestri e il 20% delle zone marine entro il 2030 e tutti gli ecosistemi che necessitano di ripristino entro il 2050.

Queste nuove norme potrebbero contribuire a mitigare gli effetti del rumore sui mammiferi marini (*Biodiversity*, 2023).

Importanza della biodiversità



Figura 3.2 Biodiversità

(Fonte: video - <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/biodiversity/>)

La biodiversità rappresenta “il cuore” della vita. È essenziale tanto per gli esseri umani quanto per la protezione dell'ambiente e del clima.

Fornisce alle persone cibo, acqua dolce e aria pulita e svolge un ruolo centrale nel mantenere l'equilibrio della natura. Contribuisce a combattere i cambiamenti climatici e previene la propagazione di malattie infettive (*Biodiversity*, 2023)

Secondo il Forum economico mondiale quasi la metà del PIL globale (circa 40 000 miliardi di EUR) dipende dall'ambiente naturale e dalle sue risorse. Tutti i settori economici più importanti (edilizia, agricoltura e industria alimentare e delle bevande) dipendono in larga misura dalla natura e generano complessivamente circa 7 300 miliardi di EUR per l'economia globale (*Biodiversity*, 2023).

Le attività umane, che sono causa inquinamento e cambiamenti degli habitat e del clima, stanno mettendo a dura prova le specie e gli ecosistemi. Gli scienziati stimano che un milione di specie di piante, insetti, uccelli e mammiferi in tutto il mondo siano in via di estinzione (*Biodiversity*, 2023).

4.3 Blue Economy

"No water, no life; no blue, no green"

Sylvia Earle, oceanographer

Nel seguente paragrafo si esamina come il rumore antropico in mare influisce sulle attività economiche legate all'ambiente marino.

Gli oceani sono minacciati dall'aumento delle temperature, dall'acidificazione e dall'innalzamento del livello del mare. Gli oceani stanno attraversando una tripla crisi ambientale:

- l'impatto del cambiamento climatico sugli oceani - il più grande serbatoio di carbonio globale;
- perdite di biodiversità;
- inquinamento, in particolare inquinamento da plastica.

Gli oceani sono minacciati dall'inquinamento marino che è originato da molteplici fonti, per lo più terrestri ma anche da attività in mare (*Word Bank – Blue Economy*, 2022).

La Commissione Europea definisce la *Blue Economy* come "tutte le attività economiche legate agli oceani, ai mari e alle coste. Copre un'ampia gamma di settori interconnessi, consolidati ed emergenti".

Trasporto marittimo

Il trasporto marittimo è essenziale per il commercio e l'economia globali. È un perno importante della *Blue Economy* dato che esercita pressione sull'ambiente. In effetti, il trasporto marittimo svolge un ruolo centrale nell'economia mondiale e per il conseguimento degli obiettivi di decarbonizzazione dell'UE. Data la rilevanza del trasporto marittimo e la probabilità che venga ampliato, l'industria deve continuare a diminuire il proprio impatto ambientale (*Word Bank – Blue Economy*, 2022).

Attività portuali

Le attività portuali sono importanti per il commercio, lo sviluppo economico e la creazione di posti di lavoro in Europa. Tanti settori della Blue Economy (*Port activities*, 2023).

I porti assicurano la cooperazione tra altri porti e linee di navigazione all'interno della catena logistica. In effetti, con il 75% delle merci importate ed esportate e il 31% delle transazioni intra-UE che vi transitano, i porti marittimi sono fondamentali per il commercio internazionale e interno dell'UE per quanto riguarda l'occupazione (*Port activities*, 2023).

Molti porti europei sono centri energetici e industriali fondamentali, forniscono energia pulita alle navi (per la navigazione e l'uso all'ormeggio), fungono da punti di importazione di energia pulita da utilizzare a monte (GNL, idrogeno) o attraverso la produzione di energia nella loro area (*Port activities*, 2023).

CAPITOLO 5

5.1 Concetto di etica ambientale

La natura può essere creatrice di vita e di paesaggi straordinari, ma può anche scatenare disastri che, in pochi istanti, cancellano tutto ciò che incontrano sul loro cammino. Che significato ha, allora, parlare di etica in rapporto alla natura, se questa stessa natura è imprevedibile e incontrollabile? In che modo l'agire umano si può commisurare con le dinamiche 'più che umane' dei cambiamenti climatici, delle estinzioni di massa, dei grandi disastri 'naturali'? (Andreozzi, 2012).

L'attuale crisi ecologica rappresenta il risultato della combinazione delle dinamiche naturali e delle nostre attività. La crisi coinvolge vari aspetti, tra cui quelle ecosistemiche, sociali, culturali, economiche. Questo descrive il potere che l'agire umano ha assunto sulla vita della terra. Il mondo a cui si rivolge l'etica dell'ambiente, con le sue categorie di valore e di azione, è un mondo fatto di cose, di animali, di crisi, di legami, di coscienza, di lotte (Andreozzi, 2012).

L'etimologia del termine «ambiente» (dal latino *ambiens, ambientis*, participio presente del verbo *ambire*, e cioè «andare attorno») si riferisce a un atto del circondare che dà alla parola una connotazione essenzialmente dinamica: il vocabolo, dunque, rimanda a un complesso attivo caratterizzato sì dall'ecosfera e dai suoi equilibri ('ciò che circonda'), ma anche dal paesaggio, dalle piante e dagli animali, esseri umani compresi ('ciò che è circondato'). Parlare di «ambiente» significa ragionare anche di noi umani – o, più in generale, degli esseri viventi – trova conferma nella prospettiva ecologica, secondo cui, infatti, nessun organismo potrebbe sopravvivere, o forse nemmeno esistere, se preso in considerazione come isolato dall'ambiente di cui fa parte (Andreozzi, 2012).

Mentre è innegabile che l'etica non possa mai stabilire cosa sia «giusto» o «sbagliato» fare per un agente non-umano, altrettanto certo, infatti, è anche che i comportamenti adottati dagli agenti umani né coinvolgono sempre e soltanto altri agenti umani, né hanno sempre ripercussioni dirette e immediate su di essi. È qui che si gioca gran parte della discussione interna alle etiche dell'ambiente. L'etica ambientale è la disciplina si occupa di valutare l'eventualità che dinamiche e/o enti naturali – per quanto 'lontani' (ontologicamente, nello spazio o nel tempo) dalla sfera umana e/o utili a favorire un certo tipo di 'benessere' umano presente – possano e/o debbano essere inseriti in un discorso etico che, guardando all'agire umano come a quella particolare forma di interazione ambientale sottoposta al giudizio morale, allarghi le proprie riflessioni fino a comprendere le generazioni future, le forme di vita non-umane, la natura inorganica e/o le dinamiche biosferiche (Andreozzi, 2012).

Come sostiene Iovino è possibile individuare più etiche dell'ambiente. Identificabili come etiche dell'ambiente sono, infatti, etiche i cui oggetti di studio sono alle volte molto differenti: l'etica comunemente denominata «ambientalista» (interessata alla tutela dell'ambiente-risorsa), quella «animalista» (dedita a tutelare gli animali non-umani) e quella «ecologista» (diretta a difendere la totalità degli enti e delle

dinamiche ambientali) sono tanto diverse tra loro quanto diverse sono le posizioni assunte all'interno di questi singoli ambiti di discussione. Dal punto di vista filosofico, di cruciale rilevanza, per tutte le etiche dell'ambiente, è tanto l'elaborare una teoria del valore quanto il proporre modalità di azione volte a garantire la tutela dei valori riconosciuti. In etica, infatti, il «valore» è un attributo il cui possesso è indispensabile, al fine di essere ritenuti degni di considerazione morale. Riguardo la teoria del valore, il dibattito si occupa anzitutto di stabilire quale tipo di valori difendere, quale sia la loro origine e quale criterio di demarcazione morale adottare (Andreozzi, 2012).

Per l'etica ambientale è primariamente importante mantenere aperto il dialogo tra scienza e filosofia. Il problema dell'etica ambientale però è: che prospettiva adottare? Oltre al dialogo con le scienze fisiche e geologiche, utili a comprendere le crisi del pianeta, bisogna allora domandarsi anche biologicamente ed ecologicamente sul nostro «posto in natura»: un dialogo interdisciplinare e transdisciplinare è necessario (Andreozzi, 2012).

“Perché studiare le etiche dell'ambiente? Perché prendersi cura è un atto radicale e coraggioso. Perché viviamo tutti, costantemente e contemporaneamente all'interno di relazioni esplicite e implicite con altri animali. Abbiamo bisogno di vedere che queste relazioni risuonano di significato etico.”

Carol J. Adams

5.2 Filosofia e ambiente

La riflessione etica e filosofica sull'ambiente ha iniziato ad affermarsi solo di recente a partire dagli anni 1970. Essa ha attinto però, nel corso del proprio sviluppo, sia alle radici storiche più profonde di quella sulla natura sia a quelle più recenti sulla terra, le quali evidenziano la forte connessione esistente tra le questioni di ordine scientifico e quelle di ordine morale. Oltre ai filosofi presocratici e alla loro idea di *physis* (una natura intrinsecamente animata di cui essi stessi facevano parte), anche altri pensatori hanno fatto riferimento alla natura (Andreozzi, 2012).

Di seguito sono illustrati qualche esempio:

Giordano Bruno

Tutti gli scritti di Bruno presentano una nota fondamentale comune: l'amore per la vita nella sua potenza dionisiaca, nella sua infinita espansione. Dall'amore per la vita nasce l'interesse per la Natura.

In Bruno la Natura è:

- un organismo vivente universalmente animato;
- comprende l'uomo;
- l'uomo può immedesimarsi in essa conseguendo la “visione” dell'unità della natura (Abbagnano Nicola & Fornero Giovanni, 2012).

Spinoza

Nel pensiero di Spinoza la tesi centrale è l'identificazione panteistica di Dio con la Natura.

Quando Spinoza distingue tra la Natura naturante (cioè Dio e gli attributi, considerati come causa) e la Natura naturata (cioè, l'insieme dei modi, visti come effetto), non fa che ribadire che la Natura è madre e figlia di sé medesima, in quanto è un'attività produttrice. Secondo Spinoza, nel Dio-Natura coincidono libertà e necessità (Abbagnano Nicola & Fornero Giovanni, 2012).

Leibniz

Il pensiero che domina tutte le multiformi attività di Leibniz è questo: esiste un ordine, non geometricamente determinato e quindi necessario, ma spontaneamente organizzato e quindi libero.

Per Leibniz la natura è un sistema perfetto di forze spirituali (Abbagnano Nicola & Fornero Giovanni, 2012).

Hegel

Secondo Hegel, la natura è "l'idea nella forma dell'essere altro", ossia è il momento della "negazione" dell'Assoluto. Il passaggio dall'idea alla natura costituisce un autentico rompicapo critico, poiché da un lato il filosofo presenta tale passaggio come una sorta di caduta dell'idea e dall'altro come una sorta di suo potenziamento. In altre parole, sembra che nella natura ci sia qualcosa di meno, oppure di più, dell'idea. Una cosa è certa, ovvero per Hegel risulta assurdo voler conoscere Dio dalle opere naturali (Abbagnano Nicola & Fornero Giovanni, 2012).

Rousseau

Per Rousseau lo "stato di natura" è la condizione originaria del genere umano prima della corruzione sociale. Lo "stato di natura" non è una condizione di natura, ma una congettura, un'ipotesi che tende a dimostrare quanto l'uomo sociale attuale sia lontano dalla natura. Nello "stato di natura" non esisteva la società, gli uomini avevano bisogni minimi, cioè, sono quelli naturali, erano essere autosufficienti (*Filosofia Moderna – Rousseau*, n.d.).

Rivoluzione di Darwin

Fu però soltanto Charles Darwin (L'origine delle specie, 1859 e L'origine dell'uomo, 1871) nipote di Erasmus, a dare il maggiore contributo allo sviluppo di una più matura riflessione sul mondo naturale. La sua teoria dell'evoluzione toglieva, infatti, per la prima volta la specie umana dal centro della creazione, rendendola soltanto una possibilità evolutiva ed eliminando di fatto ogni gerarchia biologica di genere, che non fosse di grado o di adattamento.

Darwin descrive per la prima volta un universo fatto più di continuità biologica e di passaggi gradualisti che di salti e separazioni gerarchiche.

Nel mondo descritto da Darwin:

1. il valore della biodiversità annulla quello delle differenze tra specie;
2. l'evoluzione dipende dall'adattamento e dall'emergere di mutazioni casuali che si trasmettono di generazione in generazione;
3. non esiste un percorso gerarchico verso il meglio (dal più semplice al complesso), ma solo un intersecarsi di vicende in cui ambiente ed evoluzione interagiscono in modi complessi e stratificati (Andreozzi, 2012).

CONCLUSIONI

Il presente elaborato si è posto l'obiettivo di analizzare il problema del rumore antropico in mare esaminando gli effetti sui mammiferi marini.

Attraverso l'analisi bibliometrica sono stati individuati i seguenti punti salienti riguardo le pubblicazioni, gli autori e le parole chiavi:

- un trend crescente per le pubblicazioni di articoli scientifici a partire dal 2011 da parte della rivista *Acquatic Mammals* ed è il periodico ha una maggiore influenza nel campo del rumore antropico in mare;
- gli autori dei paesi più influenti comprendono l'Irlanda, gli Stati Uniti d'America e l'Australia e sono indice di maggiore esperienza nel campo;
- il 2017 segna il picco di pubblicazioni sull'effetto del rumore antropico nei mammiferi marini. Questo può essere determinato da fattori come maggiori progetti di ricerca finanziati e maggiori opportunità di collaborazione tra ricercatori e Enti di ricerca;
- la parola chiave più rilevante è *anthropogenic noise*, la quale è centrale nello studio di quest'analisi ed è pari al 13%;
- la frequenza dell'andamento nel tempo della parola chiave *Acoustic Disturbance* mostra una tendenza in crescita nel corso degli anni dal 2015 fino ad oggi. In parallelo vi è un incremento anche della parola chiave *Behavioral Response* e questo dimostra una buona risposta all'impatto del rumore comportamentale sui mammiferi marini.

I risultati della struttura concettuale, analizzati tramite un *Network Approach*, mostrano che il nostro elaborato è composto da due cluster. Il primo è formato da *anthropogenic noise*, *humpback whale*, *behavioural response* e *ship traffic*. Il secondo cluster è formato da *behavioral response*, *acoustic disturbance*, *marine mammal conservation* e *environmental risk assessment*. Inoltre, i risultati della *Thematic Map* rivelano che lo studio del comportamento dei mammiferi marini è una ricerca recente.

Ulteriori risultati pongono l'attenzione sull'evoluzione dei temi dominanti. Il cambiamento più rilevante si manifesta nell'ultimo periodo tra 2019 – 2023 poiché oltre ad incentrarsi alla nostra area di interesse è materia di maggiore interesse, in relazione alle evidenze scientifiche, il cambiamento climatico che ha causato siccità ed esondazioni dei fiumi, alluvioni, aumento delle temperature, frane, riduzione della neve e piogge intense (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1988).

Limiti del nostro elaborato

Tra i limiti del nostro elaborato, si sottolinea il contesto del *New Deal* europeo poiché non sono presenti direttive mirate riguardanti il rumore antropico in mare, con particolare attenzione ai mammiferi marini. La conseguenza di ciò è una lacuna nel quadro normativo attuale dato che il rumore antropico in mare

rappresenta una minaccia per la vita marina, compresi i mammiferi marini. Se non vi è una regolamentazione specifica gli sforzi di conservazione e di mitigazione del rumore possono risultare limitati.

Prospettive future

L'esito dell'analisi sulle parole chiavi rivela che il termine *Arctic* ha avuto un maggiore sviluppo a partire dal 2021. Il cambiamento climatico, la riduzione dei ghiacciai e il traffico marino hanno contribuito ai cambiamenti ambientali nell'Artico. Questo si è riflesso sugli organismi marini ed è un segnale positivo poiché indica che la ricerca si sta espandendo anche verso l'Artico. Un dato rilevante da considerare è che, la frequenza del termine *Marine Mammals Conservation* appare in modo limitato negli articoli scientifici, ma a partire dal 2022 si evince un maggior impegno in termini di utilizzo dello stesso. Pertanto, questo può essere indice del fatto che la conservazione dei mammiferi marini avrà nuovi spunti di ricerca.

In conclusione, l'analisi bibliometrica ha fornito una panoramica sul problema del rumore antropico in mare e i suoi effetti sui mammiferi marini. Sulla base dei risultati, sono individuabili le possibilità di miglioramento e rafforzare quelle già esistenti. È fondamentale continuare gli sforzi per proteggere la vita marina e cercare di garantire un equilibrio tra l'attività antropica e l'ecosistema marino. In prospettiva, si configurano aspettative promettenti per il futuro.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFIA

Bibliografia

Polytechnique Paris, E., Recuero Virto, L., Théry-Dupressoir, T., & Jouslin de Noray, M. (2019). *Methodological Guide: Guidance on underwater noise mitigation measures*.

Borsani, J. F., Farchi, (2011.). *Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne (Parte prima)*.

Borsani, J. F., Farchi, (2011). *Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne (Parte seconda)*.

Borsani, J. F., Farchi, C., (2011). *Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne Linee guida per lo studio e la regolamentazione del rumore di origine antropica introdotto in mare e nelle acque interne (Parte terza)*.

Brumm, H. (Ed.). (2013). *Animal communication and noise (Vol. 2)*. Springer Science & Business Media, 251 – 272.

Brumm, H. (Ed.). (2013). *Animal communication and noise (Vol. 2)*. Springer Science & Business Media, 273 – 308.

Robert, H., Dooling, J., Popper, A., & Fay, R. (2018). *Springer Handbook of Auditory Research Effects of Anthropogenic Noise on Animals*, 290 – 308.

Deecke, V. B. (2006). *Studying marine mammal cognition in the wild: A review of four decades of playback experiments*. *Aquatic Mammals*, 32(4), 461–482.

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research*. Chicago, IL: Rand McNally

Richardson, W. J., Greene, C. R., Malme, C. I., & Thomson, D. H. (1995). *Marine Mammals and Noise*. San Diego, CA: Academic Press.

Ellison, W., Southall, B., Clark, C., & Frankel, A. (2012). *A new context-based approach to assess marine mammal behavioral responses to anthropogenic sounds*. *Conservation Biology*, 26(1), 21–28.

Dunlop, R. A., Noad, M. J., Cato, D. H., Kniest, E., Miller, P., Smith, J. N., & Stokes, D. M. (2013). *Multivariate analysis of behavioural response experiments in humpback whales (Megaptera novaeangliae)*. *Journal of Experimental Biology*, 216, 759–770.

Miller, P. J. O., Biassoni, N., Samuels, A., & Tyack, P. L. (2000). *Whale songs lengthen in response to sonar*. *Nature*, 405(6789), 903.

Fristrup, K. M., Hatch, L. T., & Clark, C. W. (2003). *Variation in humpback whale (Megaptera novaeangliae) song length in relation to low-frequency sound broadcasts*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 113(6), 3411–3424.

- Rendell, L. E., & Gordon, J. C. D. (1999). *Vocal response of long-finned pilot whales (Globicephala melas) to military sonar in the Ligurian Sea. Marine Mammal Science, 15(1), 198–204.*
- Tyack, P. L., Zimmer, W. M. X., Moretti, D., Southall, B. L., Claridge, D. E., Durban, J. W., Clark, C. W., D’Amico, A., DiMarzio, N., Jarvis, S., McCarthy, E., Morrissey, R., Ward, J., & Boyd, I. L. (2011). *Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar. PLoS ONE, 6(3), e17009.*
- DeRuiter, S. L., Southall, B. L., Calambokidis, J., Zimmer, W. M. X., Sadykova, D., Falcone, E. A., Friedlaender, A. S., Joseph, J. E., Moretti, D., Schorr, G. S., Thomas, L., & Tyack, P. L. (2013). *First direct measurements of behavioural responses by Cuvier’s beaked whales to mid-frequency active sonar. Biology Letters, 9(4), 20130223.*
- Foote, A. D., Osborne, R. W., & Hoelzel, A. R. (2004). *Environment: Whale-call response to masking boat noise. Nature, 428(6986), 91.*
- Holt, M. M., Noren, D. P., Veirs, V., Emmons, C. K., & Veirs, S. (2009). *Speaking up: Killer whales (Orcinus orca) increase their call amplitude in response to vessel noise. The Journal of the Acoustical Society of America, 125(1), EL27-EL32.*
- Lesage, V., Barrette, C., Kingsley, M. C. S., & Sjare, B. (1998). *The effect of vessel noise on the vocal behavior of belugas in the St. Lawrence River estuary, Canada. Marine Mammal Science, 15(1), 65–84.*
- Scheifele, P. M., Andrew, S., Cooper, R. A., Darre, M., Musiek, F. E., & Max, L. (2005). *Indication of a Lombard vocal response in the St. Lawrence River beluga. The Journal of the Acoustical Society of America, 117(3), 1486–1492.*
- Buckstaff, K. C. (2004). *Effects of watercraft noise on the acoustic behavior of bottlenose dolphins, Tursiops truncatus, in Sarasota Bay, Florida. Marine Mammal Science, 20.*
- Castellote, M., Clark, C., & Lammers, M. (2012). *Acoustic and behavioural changes by fin whales (Balaenoptera physalus) in response to shipping and airgun noise. Biological Conservation, 147(1), 115–122.*
- Pavan, G., Budney, G., Klinck, H., Glotin, H., Clink, D. J., & Thomas, J. A. (2022). *History of Sound Recording and Analysis Equipment. Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1: Methods, 459 - 506.*
- Antunes R, Kvadsheim PH, Lam FPA, Tyack PL, Thomas L, Wensveen PJ, Miller PJO (2014) *High thresholds for avoidance of sonar by free-ranging long-finned pilot whales (Globicephala melas). Mar Pollut Bull 83(1):165–180.*
- DeRuiter SL, Southall BL, Calambokidis J, Zimmer WMX, Sadykova D, Falcone EA, Friedlaender AS, Joseph JE, Moretti D, Schorr GS, Thomas L, Tyack PL (2013) *First direct measurements of behavioural responses by Cuvier’s beaked whales to mid-frequency active sonar. Biol Lett 9(4).*
- Miller PJO, Kvadsheim PH, Lam F-PA, Tyack PL, Cure C, Deruiter SL, Kleivane L, Sivle LD, Van Ijsselmuide SP, Visser F, Wensveen PJ, Von Benda Beckmann AM, Martin Lopez LM, Narazaki T, Hooker SK (2015) *First indications that northern bottlenose whales are sensitive to behavioural disturbance from anthropogenic noise. R Soc Open Sci 2: 140484.*
- Stimpert AK, Deruiter SL, Southall BL, Moretti DJ, Falcone EA, Goldbogen JA, Friedlaender A, Schorr GS, Calambokidis J (2014) *Acoustic and foraging behavior of a Baird’s beaked whale, Berardius bairdii, exposed to simulated sonar. Sci Rep 4:7031.*

- Tyack PL, Zimmer WMX, Moretti D, Southall BL, Claridge DE, Durban JW, Clark CW, D'Amico A, DiMarzio N, Jarvis S, McCarthy E, Morrissey R, Ward J, Boyd IL (2011) *Beaked whales respond to simulated and actual navy sonar*. *PLoS One* 6(3): e17009.
- Erbe C, Reichmuth C, Cunningham KC, Lucke K, Dooling RJ (2016a) *Communication masking in marine mammals: a review and research strategy*. *Mar Pollut Bull* 103:15–38.
- Dooling RJ, Leek MR (2018) *Communication masking by man-made noise*. In: Slabbekoorn H, Dooling RJ, Popper AN, Fay RR (eds) *Effects of anthropogenic noise on animals*. Springer, New York, pp 23–46.
- Dooling, R. J., West, E. W., & Leek, M. R. (2009). *Conceptual and computational models of the effects of anthropogenic noise on birds*. Paper presented at the 5th International Conference on Bioacoustics 2009, Holywell Park, UK, March 31 to April 2, 2009. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, 31(1), 99–106.
- Halfwerk W, Bot S, Buikx J, van der Velde M, Komdeur J, ten Cate C, Slabbekoorn H (2011) *Low-frequency songs lose their potency in noisy urban conditions*. *Proc Natl Acad Sci* 108(35):14549–14554.
- Dooling, R. J., & Blumenrath, S. H. (2014). *Avian sound perception in noise*. In H. Brumm (Ed.), *Animal Communication in Noise* (pp. 229–250). Berlin: Springer-Verlag.
- Erbe, C., & Farmer, D. M. (1998). *Masked hearing thresholds of a beluga whale (Delphinapterus leucas) in icebreaker noise*. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 45(7), 1373–1388.
- Branstetter, B. K., & Finneran, J. J. (2008). *Comodulation masking release in bottlenose dolphins (Tursiops truncatus)*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124(1), 625–633.
- Turnbull, S. D. (1994). *Changes in masked thresholds of a harbor seal Phoca vitulina associated with angular separation of signal and noise sources*. *Canadian Journal of Zoology*, 72, 1863–1866.
- Holt, M. M., & Schusterman, R. J. (2007). *Spatial release from masking of aerial tones in pinnipeds*. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121(2), 121.
- Wright, A. J. (2014). *Reducing impacts of human ocean noise on cetaceans: Knowledge gap analysis and recommendations*. Gland, Switzerland: WWF International.
- Romero, M. L., & Butler, L. K. (2007). *Endocrinology of stress*. *International Journal of Comparative Psychology*, 20(2), 89–95.
- Chrousos, G. P., & Gold, P. W. (1992). *The concepts of stress and stress system disorders. Overview of physical and behavioral homeostasis*. *Journal of the American Medical Association*, 267(9), 1244–1252.
- Ortiz, R. M., & Worthy, G. A. J. (2000). *Effects of capture on adrenal steroid and vasopressin concentrations in free-ranging bottlenose dolphins (Tursiops truncatus)*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 125(3), 317–324.
- Lanyon, J. M., Sneath, H. L., & Long, T. (2012). *Evaluation of exertion and capture stress in serum of wild dugongs (Dugong dugon)*. *Journal of Zoo and Wildlife Medicine*, 43(1), 20–32.
- Suzuki, M., Uchida, S., Ueda, K., Tobayama, T., Katsumata, E., Yoshioka, M., & Aida, K. (2003). *Diurnal and annual changes in serum cortisol concentrations in Indo-Pacific bottlenose dolphins Tursiops aduncus and killer whales Orcinus orca*. *General and Comparative Endocrinology*, 132(3), 427–433.
- Mashburn, K. L., & Atkinson, S. (2004). *Evaluation of adrenal function in serum and feces of Steller sea lions (Eumetopias jubatus): Influences of molt, gender, sample storage, and age on glucocorticoid metabolism*. *General and Comparative Endocrinology*, 136(3), 371–381.
- Myers, M. J., Litz, B., & Atkinson, S. (2010). *The effects of age, sex, season and geographic region on circulating serum cortisol concentrations in threatened and endangered Steller sea lions (Eumetopias jubatus)*. *General and Comparative Endocrinology*, 165(1), 72–77.

- Romano, T. A., Keogh, M. J., Kelly, C., Feng, P., Berk, L., Schlundt, C. E., Carder, D. A., & Finneran, J. J. (2004). *Anthropogenic sound and marine mammal health: measures of the nervous and immune systems before and after intense sound exposure. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 61(7), 1124–1134.*
- Rolland, R. M., Parks, S. E., Hunt, K. E., Castellote, M., Corkeron, P. J., Nowacek, D. P., Wasser, S. K., & Kraus, S. D. (2012). *Evidence that ship noise increases stress in right whales. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 279(1737), 2363–2368.*
- Trana, M. R., Roth, J. D., Tomy, G. T., Anderson, W. G., & Ferguson, S. H. (2015). *Influence of sample degradation and tissue depth on blubber cortisol in beluga whales. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 462, 8–13.*
- Hogg, C. J., Rogers, T. L., Shorter, A., Barton, K., Miller, P. J. O., & Nowacek, D. P. (2009). *Determination of steroid hormones in whale blow: It is possible. Marine Mammal Science, 25(3), 605–618.*
- Pavan, G., Budney, G., Klinck, H., Glotin, H., Clink, D. J., & Thomas, J. A. (2022). *History of Sound Recording and Analysis Equipment. Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1: Methods, 1-36.*
- Ranft R. (2001). *Capturing and preserving the sounds of nature. In: Linehan A (ed) Aural history: essays on recorded sound. The British Library, London, pp 65–78.*
- Pavan Gianni, Budney Gregory, Holger Klinck, Hervé Glotin, Clink J. Dena, Thomas A. Jeanette, Erbe Christine. (2022). *Exploring Animal Behavior Through Sound: Volume 1* (Christine Erbe - Jeanette A. Thomas, Ed.).
- Andreozzi Matteo. (2012). *Etiche dell’Ambiente: voci e prospettive, 9 – 79.*
- B. Kingsolver. (2003). *A Good Farmer, in The Nation, Vol. 277, n° 14, pp. 11-18.*
- B. Latour. (1999). *Pandora’s Hope: Essays on the Reality of Science Studies, Boston, Harvard University Press.*
- G. Leopardi. (1827). *Operette Morali, Milano, Bur, 1988. R. Marchesini, Post-human. Verso nuovi modelli di esistenza (2002), Torino, Bollati Boringhieri, 2008.*
- C.J. Adams. (2010). *The Sexual Politics of Meat: a Feminist-Vegetarian Critical Theory (1990), New York, Continuum.*
- M. Bekoff (ed.). *Encyclopedia of Animal Rights and Animal Welfare, West-port, Greenwood Press, 2010. I. Bergman, Four Stories by Ingmar Bergman, Garden City (New York), Doubleday Anchor, 1976.*
- A. Cantor. (1983). *The Club, the Yoke, and the Leash: What We Can Learn from the Way a Culture Treats Its Animal, in Ms. Magazine, Vol. 12, n° 2, 27-29.*
- M.S. Dawkins. (2006). *Through Animal Eyes: What Behaviour Tells Us’ (2006), in Applied Animal Behaviour Science, Vol. 100, n° 1-2, 4-10.*
- M. Foucault. (1984). *The Feminist Care Tradition in Animal Ethics: A Reader, New York, Columbia University Press, 2007. M. Foucault, Histoire de la Sexualité 2: L’usage des Plaisirs, Paris, Gallimard. H.T. Engelhardt, Jr., Viaggi in Italia. Saggi di Bioetica, Firenze, Le Lettere, 2011. J. Donovan, C.J. Adams (eds.).*
- D. Fraser, D.M. Weary, E.A. Pajor, B.N. Milligan. (1997). *A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concern, in Animal Welfare, Vol. 6, n° 3, 187-205.*

- G. Gaard (ed.). *Ecofeminism: Women, Animals, Nature*, Philadelphia, Temple University Press, 1993.
- R. Kirkman. (2002). *Skeptical Environmentalism: The Limits of Philosophy and Science*, Bloomington, Indiana University Press.
- J. Plant (ed.), *Healing the Wounds: The Promise of Ecofeminism*, Philadelphia, New Society, 1989.
- P. Shepard. (1978). *Thinking Animals: Animals and the Development of Human Intelligence*, New York, Viking Press.
- P. Shepard. (2004). *The Others: How Animals Made Us Human*, Covelo, Island Press, 1997. J. Perkins, Kinder, Gentler Food, in *The Des Moines Register*.
- D. Western, M. Pearl (eds.), *Conservation for the Twenty-First Century*, New York, Oxford University Press, 1989. L. White Jr., 'The Historical Roots of Our Ecological Crisis', in *Science, New Series*, Vol. 155, n° 3767, (March 10th, 1967), 1203-1207.
- E.O. Wilson. (1989). *Conservation: The Next Hundred Years' (1989)*, in D. Western, M. Pearl (eds.), *Conservation for the Twenty-First Century*, New York, Oxford University Press, 3-7.
- N.J. Winograd. (2010). *Shelters, No-kill*, in M. Bekoff(ed.), *Encyclopedia of Animal Rights and Animal Welfare*, Westport, Greenwood Press, 512-519.
- H. Zwart. (1999). *A Short History of Food Ethics*, in *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, Vol. 12, n° 2, 113-126.
- Licira Gaetano, Borsani Filippo, Marsico Giuseppe, Pavan Gianni, & Riccobene Giorgio. (2015). *La bioacustica marina per lo studio dei cetacei nella implementazione della marine strategy in Italia* (Vol.39; N. 3).
- Abbagnano Nicola, & Fornero Giovanni. (2012). *Percorsi di filosofia* (Pearson), 2A, 218 – 280.
- Abbagnano Nicola, & Fornero Giovanni. (2012). *Percorsi di filosofia* (Pearson), 2B, 81 – 106, 386 - 402.
- Andreozzi Matteo. (n.d.). *Dispense Etica dell' Ambiente*.

Sitografia

- Green Deal*. (2023). Consilium.Europa.Eu. Retrieved June 12, 2023, from consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/
- Biodiversity*. (2023). Retrieved June 12, 2023, from [consilium.europa.eu/it/policies/biodiversity.](https://consilium.europa.eu/it/policies/biodiversity/)
- Blue Economy - World Bank*. (2023). Retrieved June 12, 2023, from [worldbank.org/en/oceans-fishers-and-coastal-economies#1](https://www.worldbank.org/en/oceans-fishers-and-coastal-economies#1)
- Port activities*. (2023). Retrieved June 12, 2023, from blue-economy-observatory.ec.europa.eu/eu-blue-economy-sectors/port-activities_it
- Filosofia Moderna – Rousseau*. (n.d). Retrieved June 12, 2023, from [skuola.net/filosofia-moderna/rousseau-stato-natura165247x.html](https://www.skuola.net/filosofia-moderna/rousseau-stato-natura165247x.html)
- Bibliometric analysis* (2022). Retrieved June 20, 2023, from <https://segjournal.com/article/view/5069>

Aquatic Mammals (2009). Retrieved June 20, 2023, from [https://www.aquaticmammalsjournal.org/#:~:text=Aquatic%20Mammals%20is%20a%20peer,Trainers'%20Association%20\(IMATA\)](https://www.aquaticmammalsjournal.org/#:~:text=Aquatic%20Mammals%20is%20a%20peer,Trainers'%20Association%20(IMATA))

Frontiers In Marine (2007). Retrieved June 20, 2023, from <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/about>

Biblioshiny (n.d). Retrieved June 20, 2023, from <https://bibliometrix.org/biblioshiny/biblioshiny3.html>

Intergovernmental Panal on Climate Change (1988), Retrieved June 20, 2023, from <https://www.ipcc.ch/>

Fit for 55 the EU plan for a green transition (2023), Retrieved June 23, 2023, from <https://www.consilium.europa.eu/it/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>