

ATTI PARLAMENTARI

XIX LEGISLATURA

---

# CAMERA DEI DEPUTATI

---

Doc. CCV  
n. 1

## RAPPORTO

SUGLI EFFETTI PER L'ECOSISTEMA MARINO  
DELLA TECNICA DELL'*AIRGUN*

(Anni 2022 e 2023)

*(Articolo 25, comma 3, del decreto legislativo 18 agosto 2015, n. 145)*

**Presentato dal Ministro dell'ambiente e della sicurezza energetica**

(PICHETTO FRATIN)

---

**Trasmesso alla Presidenza il 20 febbraio 2024**

---

PAGINA BIANCA



## VII rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*

(redatto ai sensi dell'art. 25, comma 3, del Decreto Legislativo n.145/2015)

Dicembre 2023

PAGINA BIANCA

**INDICE**

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Esiti del VI Rapporto .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Evoluzione del quadro normativo internazionale e comunitario sul rumore sottomarino e la tutela degli ecosistemi marini.....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina).....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Consistenza delle attività nei mari italiani .....</b>	<b>6</b>
	5.1 Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero.....	6
	5.2 Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi .....	6
	5.3 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA .....	7
	5.4 Attività condotte da enti di ricerca .....	8
<b>6</b>	<b>Avanzamento dello stato delle conoscenze degli effetti per gli ecosistemi marini della tecnica dell'<i>airgun</i> e nuovi orientamenti tecnici e misure di carattere regolatorio per la mitigazione degli impatti ambientali .....</b>	<b>9</b>
	6.1 Effetti sulla fauna vagile .....	11
	6.1.1 Effetti su macroinvertebrati bentonici .....	13
	6.1.2 Effetti sui pesci .....	15
	6.1.3 Effetti su mammiferi e rettili marini .....	16
	6.2 Effetti sullo zooplancton .....	21
	6.3 Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali.....	24
<b>7</b>	<b>Riferimenti bibliografici .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>Sitografia.....</b>	<b>39</b>
<b>9</b>	<b>Crediti .....</b>	<b>40</b>

## 1 Premessa

Il presente VII Rapporto costituisce, unitamente alle edizioni precedenti, un'analisi delle conoscenze circa gli effetti generati dall'impiego della tecnica dell'*airgun* sugli ecosistemi marini nell'ambito di campagne geofisiche realizzate per scopi scientifici e per la ricerca di idrocarburi. Il presente Rapporto documenta, quindi, gli sviluppi di studi in ambito scientifico, del quadro normativo nazionale, europeo e internazionale vigente in materia di rumore sottomarino e della Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) in relazione con le attività effettuate con l'impiego di *airgun* nelle acque territoriali italiane nell'arco temporale di due anni (2022-2023).

Come indicato nelle precedenti edizioni del Rapporto, con la legge 11 febbraio 2019 n. 12 erano state sospese le attività collegate alle prospezioni e coltivazioni nel settore degli idrocarburi sino all'adozione del "Piano per la Transizione Energetica Sostenibile delle Aree Idonee" (PITESAI).

Con il Decreto n. 399 del 29 settembre 2021 emanato dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) di concerto con l'ex Ministero della Cultura è stato espresso parere di Valutazione Ambientale Strategica sulla proposta del PITESAI con specifiche osservazioni, raccomandazioni, suggerimenti e condizioni manifestate dalla Commissione Tecnica di Verifica dell'impatto Ambientale VIA-VAS, comprese nel parere n. 149/21 del 15 settembre 2021 e per l'approvazione del Piano stesso.

Alla luce di quanto sopra il PITESAI è stato pertanto approvato con Decreto del Ministero dell'Ambiente e Sicurezza Energetica (già MiTE) del 28 dicembre 2021 rendendo nuovamente possibile, in coerenza con quanto previsto dal piano, le attività di prospezione sismica con l'utilizzo di *airgun* nelle acque di giurisdizione italiana.

Come ormai prassi consolidata, anche per questo "VII Rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*", sono stati richiesti dati alle Capitanerie di Porto e ai principali enti nazionali di ricerca scientifica che operano nel settore di interesse (CNR, CoNISMa, INFN, INGV, ISPRA, OGS, Università degli Studi di Padova e Università degli Studi di Pavia), nonché al Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale per le eventuali richieste/comunicazioni avanzate da altri Stati per condurre campagne di ricerca nelle acque d'interesse nazionale. Il Rapporto è stato redatto dalla Direzione generale per la Protezione della Natura e il Mare (Dg PNM) del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e con la Direzione generale per le Valutazioni Ambientali (Dg VA) dello stesso Ministero.

Relativamente al tema del rumore sottomarino, va sottolineato come in questi anni, in ambito internazionale, l'attenzione sul tema del rumore sottomarino generato dall'uomo sia costantemente e sensibilmente aumentata in tutti i *fora* competenti; si segnala, fra l'altro, che in ambito CMS (Convenzione sulle specie migratorie), durante l'ottavo *Meeting of the Parties* (29 novembre - 2 dicembre 2022, St Julian's, Malta) dell'*Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic area* (ACCOBAMS) è stata adottata la risoluzione 8.17 "*Anthropogenic noise*" circa gli impatti sul *biota* marino del rumore

sottomarino di origine antropica (ACCOBAMS, 2022) e che particolare attenzione a questo tema è stata attribuita anche in ambito UNEA (*United Nations Environment Assembly*).

A livello di Unione Europea, di recente adozione sono i valori soglia (*threshold values*) per il rumore di tipo impulsivo nell'ambito del "TgNoise" (*Technical Group* sul rumore subacqueo) della CIS (*Common Implementation Strategy*) della Direttiva Quadro Strategia Marina 2008/56/CE.

Lo studio della letteratura scientifica e tecnica resa disponibile nel corso del biennio 2022-2023, come illustrato nell'apposito capitolo di questo rapporto, mostra come continuano a essere prevalenti i lavori dedicati agli effetti del rumore impulsivo su diverse specie mentre sembra crescere l'interesse per rapportare questi effetti alle reti trofiche e quindi agli ecosistemi marini. Infatti, oltre alla consueta numerosità di dati e osservazioni acquisite con esperimenti e studi su specie marine carismatiche o d'interesse commerciale, sempre più spesso gli studiosi si interrogano sugli effetti a livelli ecologici superiori alla specie.

Anche in questo VII Rapporto si conferma quanto già segnalato nei precedenti, vale a dire che benché studi e osservazioni mostrino la potenzialità che taluni effetti su specie e comparti li minaccino, non vi sono evidenze che la sorgente di rumore *airgun* sia causa di alterazioni sensibili agli equilibri ecosistemici marini. D'altra parte, rispetto ad altre sorgenti di stress in ambienti marini, quali l'arricchimento in biossido di carbonio e l'immissione di inquinanti organici persistenti, i rumori subacquei sono tipicamente localizzati e i loro effetti, nella maggior parte dei casi osservati, si riducono velocemente una volta rimossa la sorgente.

## 2 Esiti del VI Rapporto

Come evidenziato in Premessa, per il periodo temporale oggetto del presente Rapporto non sono state realizzate campagne effettuate con l'impiego della tecnica *airgun* nelle acque territoriali italiane, permanendo la sospensione delle attività collegate alle prospezioni e coltivazioni nel settore degli idrocarburi che prevedono l'utilizzo di questa tecnica nonché delle modifiche apportate alla normativa in materia di VIA introdotte con l'art. 22 del d.lgs. n. 104 del 2017 che ha disposto l'inclusione nella procedura di VIA di tutti "... i rilievi geofisici attraverso l'uso della tecnica *airgun*", compresi quelli condotti in mare da enti di ricerca scientifica".

Nel VI Rapporto era stato sottolineato il lavoro che l'Unione Europea sta portando avanti per la definizione di soglie di rumore nell'ambito del "TgNoise" (*Technical Group* sul rumore subacqueo) nell'ambito CIS (*Common Implementation Strategy*) della Direttiva Quadro Strategia Marina 2008/56/CE, che ha trovato finalizzazione nel biennio oggetto del presente rapporto e sono state riportate, inoltre, le principali evidenze scaturite dall'analisi delle pubblicazioni scientifiche relative agli effetti osservati su organismi o componenti degli ecosistemi marini dell'impiego della tecnica dell'*airgun*.

### 3 Evoluzione del quadro normativo internazionale e comunitario sul rumore sottomarino e la tutela degli ecosistemi marini

Si segnala che a livello di Unione Europea sono state definite e adottate le soglie (*threshold values*) del rumore sottomarino nell'ambito del "TgNoise" (*Task Group* sul rumore subacqueo) della CIS (*Common Implementation Strategy*) della Strategia Marina. Le principali attività hanno riguardato la definizione dei criteri di valutazione del rumore prodotto da sorgenti impulsive e continue.

L'emissione di suoni in ambiente sottomarino, a livello nazionale è regolato dal D.Lgs 190/2010 che recepisce la Direttiva Quadro sulla Strategia Marina 2008/56/CE. Tale direttiva propone il raggiungimento del buono stato ambientale che viene identificato attraverso l'utilizzo di descrittori, tra i quali il "D11": "l'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino". La decisione (UE) 2017/848 della commissione del 17 maggio 2017, definisce il "D11" attraverso due criteri:

- 1) "D11C1": "La distribuzione territoriale, l'estensione temporale e i livelli dei suoni intermittenti di origine antropica non superano livelli che hanno effetti negativi sulle popolazioni degli animali marini";
- 2) "D11C2": "La distribuzione territoriale, l'estensione temporale e i livelli dei suoni continui a bassa frequenza di origine antropica non superano livelli che hanno effetti negativi sulle popolazioni degli animali marini".

Nel corso del 2023 la Commissione Europea ha adottato i criteri per definire i valori soglia per il buono stato ambientale (GES) sia per il rumore impulsivo ("D11C1") (Sigray, *et al.* 2023) che per il rumore continuo ("D11C2") (Borsani, *et al.* 2023).

In sostanza, si riconoscono tre concetti fondamentali:

- 1) l'approccio alla definizione numerica delle soglie è basato sul rischio (*risk-based approach*);
- 2) i livelli sono basati su fondamenti scientifici che definiscono il livello di inizio di effetti biologici (LOBE - *Level of Onset of Biological Effects*);
- 3) valori soglia (*threshold values* - TVs).

Per entrambi gli approcci ("D11C1" e "D11C2") valgono i medesimi presupposti, ossia:

- spettano alle (sotto) regioni la conoscenza e le decisioni sulle specifiche scientifiche (habitat e specie indicatore);
- i valori soglia sono decisi a livello unionale;
- gli stati membri valutano il proprio GES e riportano lo stato delle *Marine Reporting Units* (MRU).

Riassunto dei valori soglia (TVs) per il rumore impulsivo:

Il consiglio del TGNoise (EU *Common Implementation Strategy* – CIS, *Technical group on underwater noise*) è di porre le soglie come segue:

- per una esposizione a breve termine, la proporzione massima dell'habitat delle specie indicatrici che sarà possibile esporre a valori superiori al LOBE è del 20% o inferiore ( $\leq 20\%$ );
- per una esposizione a lungo termine, la proporzione massima dell'habitat delle specie indicatrici che sarà possibile esporre a valori superiori al LOBE è del 10% o inferiore ( $\leq 10\%$ ).

Riassunto dei valori soglia (TVs) per il rumore continuo:

Il consiglio del TGNoise (EU *Common Implementation Strategy* – CIS, *Technical group on underwater noise*) è di porre le soglie come segue:

- il 20% o inferiore ( $\leq 20\%$ ) dell'habitat delle specie indicatrici non potrà mai mostrare livelli di rumore superiori al LOBE in ogni mese dell'anno di valutazione.

Nell'ambito dell'attuazione della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina sarà avviato a breve il percorso per l'implementazione delle soglie di rumore adottate a livello europeo.

#### **4 Registro nazionale rumore subacqueo (Strategia Marina)**

In quanto *target* ambientale per la Direttiva Quadro Strategia Marina (2008/56/CE MSFD), il "registro nazionale del rumore subacqueo" (<https://registrorumoresubacqueo.isprambiente.it/>) è implementato e al momento è disponibile su *server* ISPRA/MASE con accesso riservato tramite operatore. Il Registro contiene informazioni georeferenziate sulle attività umane che producono principalmente rumore impulsivo e per le quali è stata chiesta autorizzazione al MASE.

Per quanto attiene alla compilazione della base dati, devono essere fornite le seguenti informazioni:

- posizione (lat/long poligono);
- durata (data inizio – data fine) operazioni;
- proprietà della sorgente acustica:
  - essenziale (minimo): livello sonoro sorgente (Ls) o *proxy*, in (dB re 1 $\mu$ Pa);
  - aggiuntivo, se disponibile: spettri sorgente; *duty cycle*; durata trasmissione (*time on/time off*); direttività; profondità sorgente; velocità piattaforma.

Informazioni essenziali da inserire nel registro nazionale del rumore impulsivo.

<i>Contributor</i>	Name
<i>Start date</i>	YYYYMMDD
<i>End date</i>	YYYYMMDD
<i>Source event</i>	#
<i>Source level</i>	Lp
<i>Value code</i>	#
<i>Source spectrum</i>	#
<i>KML file</i>	#
<i>Latitude (WGS84, decimal degrees)</i>	DDD.DDDDD°
<i>Longitude (WGS84, decimal degrees)</i>	DDD.DDDDD°
<i>Duty cycle</i>	#

Qualora, durante le diverse operazioni, si dovessero superare i livelli di rumore impattanti per le specie marine sensibili (Dekeling, *et al.* 2014) è necessario applicare misure di mitigazione come, per esempio, utilizzo di cortine di bolle oppure lo spostamento temporale delle operazioni per tutelare le specie sensibili nei periodi fondamentali della loro vita, quali ad esempio, quello riproduttivo o quello migratorio.

## 5 Consistenza delle attività nei mari italiani

### 5.1 Procedure di VAS dei piani/programmi di esplorazione e sfruttamento di idrocarburi in ambito transfrontaliero

Non vi sono aggiornamenti rispetto a quanto già rappresentato nel sesto rapporto.

### 5.2 Procedure di VIA dei progetti di prospezione e ricerca di idrocarburi

Nel precedente rapporto, elaborato per il periodo 01.11.2020 - 01.11.2021, non risultavano pervenute istanze di prospezione o ricerca di idrocarburi in mare. Inoltre, non risultava conclusa alcuna delle procedure di VIA in corso, per gli effetti derivanti dall'applicazione del decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135, "Disposizioni urgenti in materia di sostegno e semplificazione per le imprese e per la pubblica amministrazione", convertito con modificazioni dalla legge 11 febbraio 2019, n. 12, il quale, all'art. 11-ter, comma 4, disponeva che: "... nelle more dell'adozione del PiTESAI, ai fini della salvaguardia e del miglioramento della sostenibilità ambientale e sociale, i procedimenti amministrativi, ivi inclusi quelli di valutazione di impatto ambientale, relativi al conferimento di nuovi permessi di prospezione o di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi, sono sospesi [...]".

Con decreto del Ministro della Transizione ecologica n. 548 del 28 dicembre 2021, è stato approvato il Piano per la transizione energetica sostenibile delle aree idonee (PiTESAI), ai sensi dell'art. 11-ter del decreto-legge 14 dicembre 2018, n. 135, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 febbraio 2019, n. 12, al fine di individuare un quadro definito di riferimento delle aree ove è consentito lo svolgimento delle attività di prospezione, ricerca e coltivazione di idrocarburi sul territorio nazionale, volto a valorizzare la sostenibilità ambientale, sociale ed economica delle stesse. Il decreto ministeriale è stato pubblicato sulla Gazzetta ufficiale n. 35 dell'11 febbraio 2022, nonché sul portale del Ministero della Transizione ecologica (ora Ministero dell'ambiente e della transizione ecologica).

Tutte le procedure di VIA sono state archiviate/sospese in forza delle disposizioni contenute nel PiTESAI (cfr. tabella 5.2.1).

Inoltre, allo stato attuale non risultano pervenute, all'interno del periodo di riferimento relativo alla redazione del presente rapporto, nuove istanze di prospezione o ricerca di idrocarburi a mare in cui è previsto l'utilizzo dell'*airgun* per prospezioni geofisiche.

VIP	Progetto	Proponente	Localizzazione
3943	Progetto di acquisizione sismica nell'area del permesso di ricerca di idrocarburi "d 84F.R-EL"	Edison S.p.A	Mar Ionio (al largo di S. Maria di Leuca)
2322	Permesso di ricerca di idrocarburi liquidi e gassosi denominato "d33 G.R.-AG"	ENI S.p.A. - Divisione <i>Exploration &amp; Production</i>	Canale di Sicilia (al largo di Gela)
1700	Prima fase programma lavori del permesso di ricerca per idrocarburi "d30 G.R.-NP" situato nel Canale di Sicilia prospiciente la costa della provincia di Agrigento	Northern Petroleum (UK) Ltd	Canale di Sicilia (al largo di Gela)
4080	Prospezione geofisica 3D Adriatico Meridionale nell'ambito dei permessi "FR 39 NP" e "FR 40 NP"	Northern Petroleum (UK) Ltd	Puglia – Adriatico Meridionale

Tabella 5.2.1 - Procedure e progetti archiviati/sospesi a seguito dell'approvazione del PiTESAI

I dati riportati nel presente paragrafo sono desunti dal Portale delle Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali VAS-VIA-AIA del MASE ([Home - Valutazioni e Autorizzazioni Ambientali - VAS - VIA - AIA mite.gov.it](https://www.mite.gov.it)) che fornisce per tutti i progetti (VIA), piani e programmi (VAS) di competenza statale, informazioni e dati aggiornati in tempo reale, nonché tutta la documentazione acquisita e prodotta nell'ambito di ciascun procedimento.

### 5.3 Esiti contenziosi contro i provvedimenti di VIA

Non vi sono aggiornamenti rispetto a quanto già rappresentato nel sesto rapporto.

#### 5.4 Attività condotte da enti di ricerca

A seguito dell'approvazione del PITESAI, con decreto ministeriale n. 483 del 9 dicembre 2021, è stato rilasciato a favore dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale giudizio di compatibilità ambientale, positivo con prescrizioni, per il "Progetto premiale *Earth Cruisers*" nell'ambito di una procedura afferente all'esecuzione di indagini geofisiche in mare (sismica a riflessione 2D o 3D), da effettuarsi mediante l'utilizzo di *airgun*. Si precisa che tale procedura non è inerente ad attività di ricerca di idrocarburi in mare ma ad attività di studio sulla pericolosità sismica nelle aree costiere della Sicilia, area di indagine è il Tirreno Meridionale, da condursi anche attraverso rilievi geofisici marini con l'utilizzo di *airgun*.

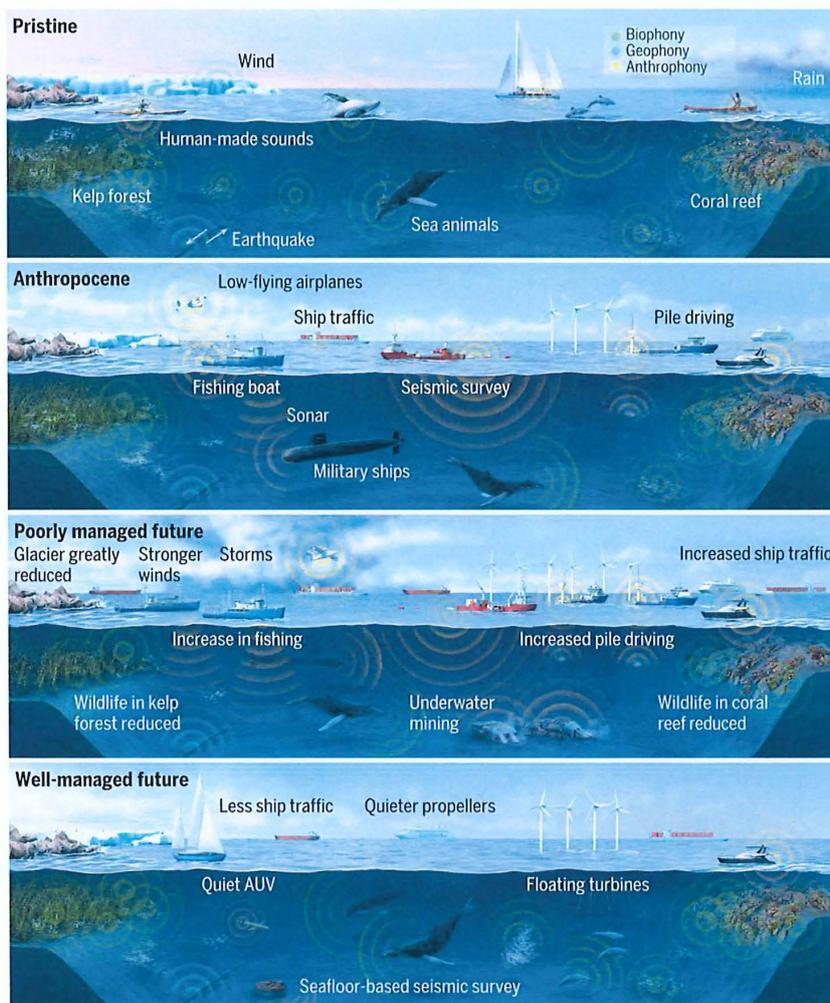
Tale progetto, inoltre, come evidenziato nella tabella 5.4.1, che riprende i progetti già menzionanti all'interno del "Sesto rapporto sugli effetti per l'ecosistema marino della tecnica dell'*airgun*", relativo al periodo 2020-2021, è stato l'unico giunto a conclusione all'interno del periodo di riferimento dell'attuale rapporto.

VIP	Progetto	Proponente	Localizzazione
5595	Progetto premiale <i>Earth Cruisers</i> inerente studio sulla pericolosità sismica nelle aree costiere della Sicilia da condursi anche attraverso rilievi geofisici marini con uso l'uso di air gun ed area di indagine il Tirreno Sud Meridionale	Ente di ricerca: Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale	Tirreno Meridionale

Tabella 5.4.1 - Procedure e progetti conclusi con esito positivo

Nel biennio 2022-2023 ISPRA non ha condotto né avuto coinvolgimenti in attività realizzate nei mari italiani con uso di *airgun*.

**6 Avanzamento dello stato delle conoscenze degli effetti per gli ecosistemi marini della tecnica dell'*airgun* e nuovi orientamenti tecnici e misure di carattere regolatorio per la mitigazione degli impatti ambientali**



*Changing ocean soundscapes.* L'illustrazione mostra come sia cambiato il panorama sonoro in mare da prima della rivoluzione industriale, quando i suoni subacquei erano generati in massima parte da sorgenti geologiche o biologiche, al presente, dove i rumori prodotti da attività umane e la riduzione, per sovrasfruttamento e inquinamento, della componente di origine biologica del panorama sonoro subacqueo hanno portato a impatti sugli organismi marini. Con l'incremento ulteriore delle attività umane che generano rumori subacquei, in futuro si potrebbe presentare uno scenario ancora peggiore, a meno di sviluppare e implementare misure di mitigazione stringenti e tecnologie "silenziose" (Illustrazione di Xavier Pita/Kaust in Duarte *et al.*, 2021).

Gli effetti potenziali o già evidenziati su organismi e componenti essenziali degli ecosistemi marini ascrivibili al rumore impulsivo causato dall'uso di *airgun* nelle prospezioni geofisiche e gli avanzamenti tecnologici per minimizzare questi effetti nocivi sono tra gli argomenti che hanno maggiormente contribuito ad arricchire la recente letteratura tecnico-scientifica d'interesse per questa rassegna. Oltre a documentare gli effetti dei rumori subacquei originati da attività umane su diverse specie, alcuni studi indicano approcci per poter rapportare quegli effetti agli equilibri che regolano la vita di più specie che popolano un certo habitat, quindi alle comunità e poi agli ecosistemi marini. Inoltre, negli studi che abbiamo considerato, l'esame degli effetti e delle caratteristiche del rumore impulsivo prodotto da *airgun* sempre più si accompagna a considerazioni sui rumori prodotti dalle eliche in navigazione, dalla battitura di pali, dalla coltivazione di giacimenti di idrocarburi e dalle attività di installazioni *offshore*, incluse le turbine eoliche.

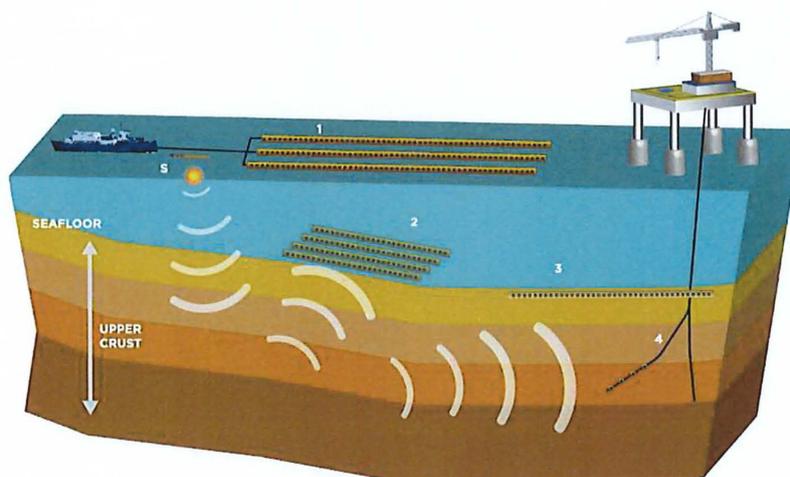
Quando, nel 1996, alcune esemplari di cetacei furono rinvenute arenate sulle coste della Grecia, a livello internazionale ha iniziato a crescere l'attenzione per i rumori subacquei di origine antropica quali inquinanti marini. L'evento, inoltre, mise in luce le difficoltà da affrontare per regolamentare le diverse sorgenti di rumore subacqueo, considerata la capacità delle onde acustiche di propagarsi a distanze dalla sorgente anche molto considerevoli e certamente al di là dei confini di pertinenza delle acque degli stati costieri.

La mitigazione degli impatti causati dall'esposizione al rumore subacqueo generato da *airgun* sulla fauna marina, vagile e sessile, richiede la comprensione di quali componenti del segnale acustico siano sensibili, di quali siano le soglie che suscitano una risposta e di come l'intensità di queste componenti si modifichi con la distanza dalla sorgente di rumore. Il conseguimento di questi obiettivi di conoscenza è complicato dal fatto che i diversi *taxa* marini percepiscono diverse componenti del segnale acustico; a esempio, i mammiferi marini e alcune specie di pesci sono sensibili alla pressione acustica mentre tutti i pesci avvertono il movimento delle particelle di acqua generato dal suono, gli invertebrati che vivono in prossimità del fondale sono prevalentemente sensibili all'accelerazione di queste (micrometri per secondo quadro) mentre quelli che vivono sul fondale o sono fossori, risultano sensibili anche all'accelerazione delle costituenti del fondale marino indotta dalla propagazione dell'impulso sonoro (McCauley *et al.*, 2021).

Nel complesso, anche per questo VII Rapporto, lo studio della letteratura non trova risposte esaurienti pertinenti alla questione "effetti dell'uso di *airgun* sull'ecosistema marino"; si conferma quindi quanto già segnalato sin dal primo rapporto, vale a dire che benché studi e osservazioni mostrino certi effetti nocivi per diverse specie e per lo zooplancton, non vi sono evidenze che alla sorgente di rumore *airgun* siano direttamente ascrivibili, in via esclusiva, alterazioni sensibili e persistenti agli equilibri ecosistemici marini. Purtroppo, nella regolamentazione delle attività di prospezione con questo strumento, l'esame della letteratura ci mostra la necessità di attenersi al principio di precauzione e di adottare misure di mitigazione degli effetti documentati del rumore.

Le indagini sul rumore subacqueo sono tipicamente multidisciplinari, interessando i campi dell'acustica, della fisica, della fisiologia e del comportamento animale, nonché dell'ecologia marina (van Geel *et al.*, 2022). Il concorso di ricercatori afferenti a queste discipline ha sinora prodotto conoscenze indispensabili e i metodi d'indagine e le tecnologie impiegate appaiono sempre più appropriate a disporre delle conoscenze necessarie a permettere una regolamentazione, su solide basi scientifiche, delle attività che producono inquinamento acustico subacqueo.

Con l'auspicio che l'avanzamento delle conoscenze conseguito dall'elaborazione del VI Rapporto possa contribuire a stabilire regole e processi più avanzati a tutela degli habitat e degli organismi che li popolano anche per le acque italiane, nelle righe che seguono abbiamo cercato di riassumere gli aspetti salienti della produzione scientifica reperita per il biennio 2022 – 2023.



Le diverse tecniche di acquisizione sismica marina implicano una sorgente (S) e una particolare configurazione dei ricevitori: 1) *streamer* trainato, 2) *Ocean bottom node*, 3) vettore sepolto, 4) *Vertical Seismic Profiling* (VSP). Illustrazione tratta da Jiménez Arranz G., 2023.

### 6.1 Effetti sulla fauna vagile

Il rumore costituisce un degrado del panorama acustico marino transfrontaliero, diffuso e in alcuni casi, costante. Gli effetti del rumore di origine antropica riscontrati nella fauna vagile<sup>1</sup>, a prescindere dalla sorgente, includono l'evitamento di habitat importanti per la vita della specie, la riduzione delle capacità di predazione e in genere, dell'alimentazione e delle capacità riproduttive e di evitamento dei predatori, il mascheramento di segnali sonori tra individui, la riduzione del tasso di crescita, il danneggiamento di organi o sistemi, la mortalità. (Weilgart, 2023a). Le principali considerazioni che guidano la regolamentazione per la sostenibilità ambientale delle attività con uso di sorgenti sismiche includono il sapere che le frequenze

<sup>1</sup> Intesa qui come mammiferi, rettili, pesci, anfibi, crostacei anfipodi e decapodi e molluschi gasteropodi, lamellibranchi e cefalopodi.

prodotte da *airgun* rientrano nell'intervallo di sensibilità dell'udito di pesci, di molti invertebrati e di rettili e mammiferi marini e che la combinazione di spettri di frequenza emessi, intensità ed estensione temporale di una prospezione geofisica può causare vari gradi di nocività, acuta e cronica, per gli organismi marini (McCauley *et al.*, 2021).

Circa gli effetti riportati nella letteratura che citiamo, le loro implicazioni per valutarne l'impatto e come considerare la varietà di risultati, segnaliamo in particolare il lavoro di van Geele *et al.* (2022) che individua le cause che possono portare a risultati diversi per la medesima sorgente di rumore nell'impiego di tipi di strumenti, di percorsi analitici e di metodi di relazionare altrettanto diversi. Gli Autori evidenziano così l'esigenza di giungere a sviluppare standard uniformi per consentire comparazioni significative e stabilire conseguenti limiti e soglie, appropriate misure di mitigazione e approcci per la gestione del rumore subacqueo.

Nel lavoro di revisione dedicato alla *free ranging fauna* (Affatati *et al.*, 2023), usando qualificate chiavi di ricerca, gli Autori hanno potuto constatare come la letteratura scientifica pubblicata in lingua inglese dal 2001 sugli effetti delle prospezioni sismiche su questa fauna sia rappresentata da poche decine di lavori, in gran parte dedicati ai mammiferi marini. Gli Autori segnalano anche che gli effetti fisiologici e sul comportamento riportati, raramente possono attribuirsi univocamente al rumore impulsivo prodotto da *airgun*; infatti, molti dei lavori analizzati segnalano l'influenza, durante le osservazioni, di altre variabili legate alle condizioni dell'ambiente in cui vengono emessi rumori. In accordo con quanto da noi riportato nelle precedenti edizioni di questa *review*, nel lavoro di Affatati *et al.* (2023) si evidenzia come nessuno degli studi esaminati sia stato dedicato a mettere in relazione gli effetti su organismi con i diversi livelli delle reti trofiche cui appartengono. Un simile approccio sarebbe indicato anche per aiutare a comprendere se i diversi nocimenti arrecati a più specie, come accertati con metodo scientifico, possano minacciare interi ecosistemi. Lo stesso lavoro fa rilevare che la distribuzione di specie nei diversi habitat è tra le importanti lacune nelle conoscenze di cui bisognerebbe disporre nell'investigare le relazioni causa-effetto. In accordo con Geele *et al.* (2022), gli Autori segnalano anche che il volume dell'aria compressa usata da un *airgun*, da frazioni di litro a decine di litri per esplorazioni che penetrano più profondamente il fondale marino, come la durata e densità spaziale delle rotte lungo cui si usa lo strumento in una determinata area, da giorni a settimane, sono tra le variabili che rendono non sempre univocamente interpretabili i risultati comunicati.

Duarte *et al.* (2021), nell'analisi inclusa nel loro lavoro, circa la robustezza e solidità dei risultati prodotti e pubblicati dalla ricerca scientifica e tecnologica sull'argomento dell'impatto dei rumori subacquei sugli organismi marini tra il 1973 e il 2020, hanno trovato 538 lavori che hanno affrontato la quantificazione degli effetti riportati. Utilizzando una scala di confidenza sviluppata nell'ambito dei lavori del Gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (*Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC) per ponderare dette robustezza e solidità, è emerso che queste sono massime per quanto attiene agli effetti nocivi sui mammiferi marini, seguono pesci e invertebrati; gli effetti più certi dell'inquinamento acustico marino riguardano la compromissione delle abilità auditive, alterazioni fisiologiche e il suscitare reazioni comportamentali di evitamento e allontanamento; mortalità e *fitness* sono invece risultati tra gli

effetti meno certi. I pochi studi quantitativi esaminati in merito al decremento nell'insediamento di larve hanno, infine, mostrato la robustezza dei risultati.

#### 6.1.1 Effetti su macroinvertebrati bentonici

Wang *et al.* (2022) hanno indagato gli effetti del suono a basse frequenze su alcuni macroinvertebrati bentonici sostenendo che gli effetti sugli ecosistemi dell'impatto delle prospezioni acustiche possono essere dedotti anche da quelli riscontrati su una specie o su gruppi di specie che rivestano un ruolo chiave in quel determinato ecosistema. L'attività di organismi scavatori e biotrituratori è infatti cruciale per gli ecosistemi dei fondi mobili. Dopo aver esposto a emissioni sonore a bassa frequenza per sei giorni in ambiente controllato esemplari di una specie di crostaceo anfipode, una di anellide polichete e una di mollusco bivalve, gli Autori hanno riscontrato una modificazione dell'attività di scavo nella specie di anfipode *Corophium valutator* in presenza di rumore. L'anfipode ha infatti rielaborato i sedimenti significativamente meno che in sua assenza, mentre per il polichete e per il bivalve gli effetti sono risultati meno o niente affatto, evidenti. Questi risultati hanno portato Wang *et al.* (2022) ad affermare che gli organismi bentonici e il ruolo cruciale che rivestono per il mantenimento degli ecosistemi dei fondi mobili, possono essere minacciati e ritengono che siano urgentemente necessarie ulteriori ricerche per comprendere, prevedere e gestire gli impatti dell'inquinamento acustico antropogenico sulla fauna e gli ecosistemi marini. Come sottolineato dagli stessi Autori, i risultati di questo studio sono da riferirsi, particolarmente, all'impatto causato dalle basse frequenze tipicamente emesse dalle turbine eoliche *offshore*; in quel contesto, l'emissione sonora è di tipo continuo e prolungata nel tempo e potrebbe portare agli effetti descritti nello studio. In particolare, gli Autori ipotizzano che la mancata funzione di rimaneggiamento dei sedimenti sciolti da parte di organismi quali l'anfipode studiato, possa causare l'alterazione di cicli biogeochimici, provocare eutrofizzazione e la modifica del tipo di sedimento e quindi dell'habitat.

Un altro studio sul crostaceo decapode *Jasus edwardsii* (Fitzgibbon *et al.*, 2017) si aggiunge a quelli in cui si era già accertato che, se esposti a emissioni sonore di *airgun*, gli esemplari adulti di questa specie di aragosta mostrano effetti negativi a carico del sistema immunitario e sulla condizione nutrizionale nonché danni morfologici persistenti agli organi sensoriali detti statocisti (Day *et al.*, 2019).

Nel nuovo studio di Day *et al.* (2022) si è incentrata l'attenzione sulla sensibilità degli stadi giovanili della stessa specie alle emissioni di una prospezione sismica a scala reale. Questo per determinare se anche le prime fasi di sviluppo siano influenzate negativamente e in che misura. Per quantificare l'impatto sono stati valutati tre parametri: il tasso di mortalità, il riflesso di raddrizzamento dorsoventrale e il ciclo di muta. L'esposizione al rumore subacqueo non ha comportato mortalità negli stadi giovanili, tuttavia, è stata rilevata una compromissione del riflesso di raddrizzamento negli esemplari di aragosta campionati immediatamente dopo l'emissione sonora e nel raggio di 500 m dall'*airgun*. La compromissione derivante dall'esposizione a distanza ravvicinata (0 m) sembra essere persistente, come precedentemente riportato pure negli adulti, mentre i giovanili esposti a distanze superiori a 500 m hanno mostrato

il recupero della capacità di raddrizzamento, quindi senza effetti duraturi. Anche il tempo tra una muta e l'altra è significativamente aumentato nei giovanili esposti a corta distanza dalla fonte sonora. Questo indica il potenziale rallentamento della crescita e un certo stress fisiologico e gli Autori concludono che questi risultati dimostrano che l'esposizione ai rumori sismici prodotti da *airgun* possono avere un impatto negativo sulle prime fasi di vita di queste aragoste.

Morris *et al.* (2019) si sono interessati alle preoccupazioni espresse dai pescatori a proposito del disturbo alla pesca della granceola artica (*snow crab*), il crostaceo decapode *Chionoecetes opilio*, che questi attribuiscono alle esplorazioni geofisiche per petrolio e gas condotte nelle vicinanze delle aree di pesca, nelle acque del N Atlantico. Lo studio si è quindi svolto nel corso di quattro anni durante l'emissione di rumori subacquei prodotti da nave e *airgun* e ha considerato i tassi di cattura del granchio, i suoi movimenti, la sua fisiologia e risposta genomica. Il confronto con esemplari non soggetti a questi rumori non ha mostrato differenze significative, la naturale variabilità potrebbe aver mascherato gli effetti nei ratei di cattura sui popolamenti studiati del decapode ma gli Autori del lavoro segnalano che, nonostante la sensibilità dei metodi applicati, anche tutte le altre caratteristiche studiate non hanno mostrato differenze tra granchi esposti e non esposti ai rumori. La conclusione di questo studio è che se le prospezioni geofisiche nuocciono alla pesca commerciale del granchio, i risultati delle analisi mostrano che lo fanno entro la variabilità naturale; nel contempo, gli Autori fanno notare che lo studio ha considerato solo maschi adulti di *Chionoecetes opilio* e non anche giovanili ed esemplari di sesso femminile. Inoltre, gli effetti nocivi potenziali non evidenziati con lo studio potrebbero essere subletali e di natura poco sensibile rispetto agli effetti causati da altri fattori che intervengono naturalmente.

I risultati di questo recente studio confermano quanto riportato anni fa da Christian *et al.* (2019) sulla medesima specie e nelle medesime condizioni ambientali, salvo l'aver, questi Autori, studiato anche lo sviluppo delle uova del granchio e trovato, in un solo caso, che esposte a 200 rumori di *airgun* da 40 pollici cubici a distanza di 2 m, si sono manifestati effetti significativi di anomalie nel loro sviluppo. La circostanza sperimentata in questo caso, comunque, non appare realistica.

Circa i molluschi lamellibranchi, un esperimento in Australia su larga scala non ha trovato prove consistenti di cambiamenti nella mortalità o nella produttività commerciale in ostriche perlifere (*Pinctada maxima*) esposte a un'indagine sismica (209 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$ ) (Parsons *et al.*, 2023) e a proposito di cefalopodi, lo studio sulla seppia (*Sepia officinalis*) pubblicato da Solé *et al.* (2022) circa gli effetti di rumori subacquei prodotti dall'infissione di pali e trivellazioni mostra conseguenze dell'esposizione a questi rumori sulle statocisti, organi sensibili a frequenze inferiori a 400 Hz. In questi animali le statocisti regolano locomozione, postura, movimento oculare e colorazione del mantello e lo studio ha fornito indicazioni circa i livelli soglia da stabilire, valide anche per il rumore impulsivo prodotto da *airgun*. Lo studio ha anche riguardato l'intero ciclo di vita della seppia, organismo bento-nectonico la cui vita non dura più di due anni, trovando che le uova esposte alle emissioni sonore si sono schiuse meno frequentemente di quelle non esposte e che le larve sottoposte a rumore hanno mostrato un maggior tasso di mortalità, proporzionale all'intensità di pressione sonora. Inoltre, componenti delle statocisti sia delle larve che di esemplari adulti, hanno mostrato l'insorgenza di lesioni la cui *magnitudo* si è mostrata

anch'essa proporzionale all'intensità (e quindi alla distanza dalla sorgente sonora) e durata dell'esposizione al rumore. Tra le due componenti del suono subacqueo considerate, livello di pressione e movimento di particelle d'acqua, la prima è poi risultata aver maggior responsabilità nelle conseguenze osservate.

### 6.1.2 Effetti sui pesci

Per quanto riguarda i pesci e circa i meccanismi auditivi e le capacità che devono essere considerate anche per stimare possibili effetti derivanti da sorgenti sonore quali gli *airgun*, Popper e co-autori nel 2022 hanno pubblicato un lavoro dedicato ad analizzare quanto noto circa i meccanismi e le capacità uditive dei pesci. Il lavoro propone una nuova interpretazione di questi aspetti rispetto alla definizione di specie "specialiste" e specie "non specialiste" riferita solo all'ampiezza della banda di frequenze udibili e alla sensibilità. Il lavoro evidenzia come debbano essere considerate, in particolare, la specifica struttura della funzione considerata una "specializzazione". Inoltre, gli Autori individuano nelle capacità di localizzazione della sorgente sonora, di discriminazione tra suoni e di riconoscimento di suoni in presenza di sorgenti sonore mascheranti, aspetti dell'udito più rilevanti della mera ampiezza di banda udibile o della sensibilità. Gli adattamenti che possono essere associati con effetti sulle capacità uditive nei pesci riguardano principalmente aree del sistema nervoso centrale, l'apparato uditivo e come i suoni sono veicolati a esso. Alcune delle strutture spesso associate a funzioni uditive possono avere altre funzioni, a esempio, il lavoro indica la vescica natatoria che oltre alla sensibilità alle variazioni di pressione utile all'udito, in tutte le specie garantisce il controllo dell'assetto nella colonna d'acqua e in molte, la produzione di suoni (Popper *et al.*, 2022).

Jiménez Arranz (2023) nella sua tesi di PhD, riassume gli effetti causati dall'uso di *airgun* sui pesci come di particolare rilevanza perché suscettibili di produrre una riduzione nell'abbondanza di prede influenzando così negativamente sui popolamenti di mammiferi marini. I pesci dotati di vescica natatoria sono sensibili alla pressione sonora e ancor più alle basse frequenze emesse da sistemi che utilizzano *airgun*.

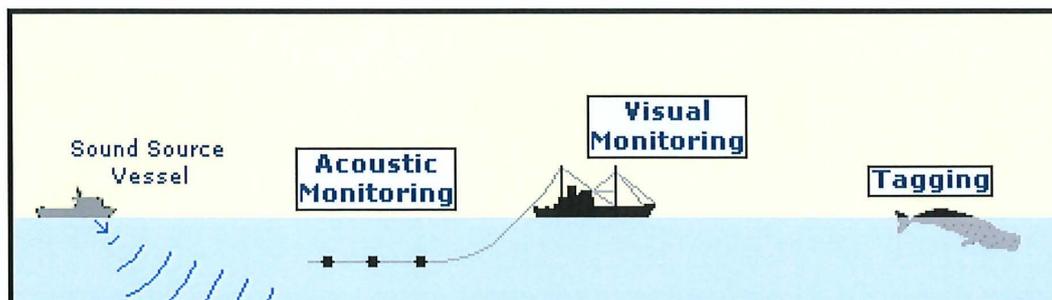
Circa l'interrogativo se i rilievi sismici con *airgun* possano o meno disturbare e far allontanare i pesci a grandi distanze dal tratto di mare dove si svolge un *survey* geofisico potendo così provocare l'abbandono delle zone di riproduzione e conseguentemente, compromettere il successo riproduttivo della specie, McQueen *et al.* (2022) propongono nuovi elementi da considerare. In particolare, per indagare se le emissioni sonore di *airgun* inducano il merluzzo (*Gadus morhua*) a lasciare le sue zone di riproduzione, durante il periodo riproduttivo e in due aree di riproduzione, hanno realizzato esperimenti di telemetria su 136 esemplari sottoposti a emissioni sonore di due *airgun* da 40 pollici cubici (inch<sup>3</sup>) per una settimana. L'esperimento ha simulato le condizioni di una prospezione sismica in grande scala a una distanza di 5 – 40 km (*Sound Exposure Level* fino a ~145 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{s}$ ). I risultati dell'esperimento indicano che l'esposizione sonora ad *airgun*, paragonabile a un'indagine sismica reale, non provoca lo spostamento dei merluzzi dalle zone di riproduzione. Anche lo studio successivo di McQueen *et al.* (2023) conferma che le indagini sismiche, relativamente distanti, non alterano sensibilmente

il comportamento del merluzzo durante il periodo di riproduzione (livelli di esposizione sonora ricevuti tra 115 e 145 dB re  $1 \mu\text{Pa}^2\text{s}$  per un periodo di 5 giorni).

Gli stadi giovanili di quattro specie di pesci estuarini sono stati sottoposti a un esperimento nel quale Waddell *et al.* (2023) hanno studiato il loro comportamento in presenza di rumore subacqueo. L'esperimento, condotto in condizioni controllate esponendo le larve a quattro distinte sorgenti sonore, ha mostrato che il rumore prodotto da *airgun* in esemplari di tre delle specie studiate ha suscitato reazioni di allontanamento di breve durata; infatti, gli Autori descrivono che con il progredire dell'esperimento, questa reazione è scomparsa subentrando l'abituarsi al rumore. Questa osservazione è stata interpretata da Waddell *et al.* (2023) come evidenza del fatto che le larve di questi pesci possono abituarsi al rumore antropogenico piuttosto rapidamente, in meno di dieci minuti.

Borland *et al.* (2023), infine, nella zona di subduzione della Cascadia e a partire dal 2021, hanno studiato l'impatto del rumore marino generato da un *survey* geofisico sul movimento e il comportamento di tre specie di pesci demersali (*Ophiodon elongatus*, *Sebastes melanops*, *Sebastes nebulosus*) e di un crostaceo decapode (*Metacarcinus magister*). Usando dati di telemetria da marcature *in-situ*, lo studio si è svolto prima, durante e dopo l'avvio della prospezione acustica lungo la costa dell'Oregon statunitense. Per comprendere se il panorama sonoro influenzi i comportamenti di queste specie a breve termine, si sono analizzati gli schemi di accelerazione e profondità trovando, in un primo approccio, che nella specie "scorfano cinese" (*S. nebulosus*) si possono notare alterazioni in questi parametri ascrivibili al rumore prodotto da *airgun*. Tuttavia, il fenomeno dell'accelerazione del nuoto scompare al termine dell'emissione sonora e pertanto, questo risultato porta a considerare, su quella specie, non persistente l'effetto di una forma d'inquinamento altrettanto non persistente.

### 6.1.3 Effetti su mammiferi e rettili marini



Monitoraggi acustici, osservazioni visive e marcatura offrono informazioni sulla presenza di certi animali nel loro ambiente. Fonte: University of Rhode Island and Inner Space Center, Discovery Of Sounds In The Sea - DOSITS <https://dosits.org/animals/effects-of-sound/measure-marine-mammals-reaction-to-sound/controlled-exposure-experiments/>.

I cetacei sono mammiferi acquatici che nel loro ambiente utilizzano più l'udito che la vista, i loro sistemi sensoriali utilizzano in larga misura segnali acustici per la navigazione, la comunicazione,

il nutrimento e l'evitamento dei predatori. Tuttavia, l'innalzamento dei livelli sonori sottomarini dovuto all'aumento delle attività umane certamente influisce negativamente sull'uso e sulla percezione di suoni da parte dei cetacei per svolgere funzioni vitali. Tali impatti negativi, valutati attraverso la conduzione di molteplici studi scientifici, influenzano le risposte comportamentali, psicoacustiche, fisiologiche e fisiche dei cetacei esposti al suono di origine antropica. Questi studi vanno dagli esperimenti in cattività che riguardano le soglie uditive e gli spostamenti di soglia indotti dal rumore, alle osservazioni sul campo dei disturbi comportamentali dovuti all'esposizione al suono, fino agli esami *post-mortem* delle manifestazioni fisiche nei cadaveri rinvenuti lungo le coste. Nel corso degli anni, i risultati di questi studi hanno aiutato le agenzie di regolamentazione a sviluppare una serie di criteri e soglie per la conservazione e la gestione dei cetacei in tutto il mondo (Guan *et al.*, 2023).

La *review* realizzata da Guan *et al.* (2023) elenca le attività antropiche che possono determinare un impatto significativo sui cetacei come segue:

- le detonazioni sottomarine;
- le attività estrattive di olio e gas negli impianti *offshore*;
- l'utilizzo di sonar militari;
- l'impiego di *airgun*;
- il traffico navale.

Per quanto riguarda la nocività dell'uso di *airgun* sui cetacei, gli Autori confermano che prevalgono le modificazioni comportamentali e tra queste, soprattutto, le alterazioni nelle emissioni sonore, i cosiddetti canti e la deviazione delle rotte di spostamento in prossimità della fonte di disturbo. Si è osservato, inoltre, come l'evitamento dalla sorgente di disturbo sonora avvenga a una distanza di 3-4 km, quando il livello sonoro è intorno ai 150 dB re 1  $\mu\text{Pa}^2\text{-s}$ .

Bröke (2019) ha affrontato le questioni dell'impatto dei rumori subacquei su mammiferi marini e della sua scalabilità dal comportamento dell'individuo al livello di popolazione, con l'applicazione di modelli. In particolare, l'Autore riferisce dell'impiego del modello "sorgente-via di esposizione-ricevente" (*source-pathway-receiver* - SPR) per riassumere le attuali cognizioni circa i rumori prodotti durante *survey* sismici con l'impiego di *airgun* e durante le trivellazioni, la loro propagazione nella colonna d'acqua e gli impatti prodotti su mammiferi marini. Inoltre, allo scopo di definire in modo proporzionale ai rischi valutati le misure di mitigazione in specifiche attività di esplorazione e coltivazione dei giacimenti di olio e gas, illustra l'applicazione del principio "il minor impatto come ragionevolmente praticabile" (*As Low As Reasonably Practical* - ALARP) in linee guida volte a mitigare gli effetti nocivi dei rumori subacquei. In conclusione, nel lavoro si sottolinea che sono numerose le misure di mitigazione in uso durante le attività di esplorazione e coltivazione *offshore* ma la loro piena efficacia ancora non è dimostrata; l'Autore sostiene quindi che da un punto di vista conservazionistico, i popolamenti di mammiferi marini si gioverebbero maggiormente di misure di tutela non solo in relazione diretta con queste attività

ma specie-specifiche piuttosto che la messa in opera di un programma di monitoraggio e mitigazione esteso.

Ménard *et al.* (2022) hanno utilizzato un approccio di pianificazione dello spazio marino per conservare e restaurare l'habitat acustico nell'estuario del fiume San Lorenzo del beluga (*Delphinapterus leucas*), una specie di cetaceo minacciata. Avendo messo in atto diversi approcci per proteggere i beluga dai rumori del traffico navale nel *Saguenay–St. Lawrence Marine Park*, il lavoro propone un approccio basato sulla pianificazione degli usi degli spazi marini attraverso, principalmente, l'evitare il reindirizzamento della navigazione e lo stabilire chiusure regolamentate all'attività di *whale watching* in certe aree; il monitoraggio della conformità a queste misure ha mostrato la loro efficacia nel migliorare la protezione e il restauro di quell'habitat acustico.

Gailey *et al.* (2022a,b), utilizzando dati acustici e di localizzazione delle balene grigie (*Eschrichtius robustus*) in tempo reale, riportano osservazioni e dati circa l'efficacia di misure di mitigazione in un caso dove il completamento di rilievi sismici si è eccezionalmente intensificato e protratto oltre i termini previsti, portando a dare priorità, nella sequenza dei *survey* geofisici programmati, ai fondali più vicini all'area di alimentazione del mammifero quando sarebbero stati presenti meno esemplari. Le misure di mitigazione messe in atto hanno compreso l'esclusione di *survey* nella stagione di concentrazione delle balene e l'impiego di più navi contemporaneamente per ridurre i tempi di esplorazione e quindi di esposizione di questi cetacei al rumore. Man, mano che le navi si avvicinavano alle balene con livelli di esposizione al suono sismico/navale crescenti e distanze decrescenti, diverse variabili di risposta al movimento e alla respirazione delle balene grigie cambiavano significativamente (aumento della velocità, della direzionalità, del tempo di permanenza in superficie, degli intervalli di respirazione, ecc.). In conclusione, circa l'insorgenza nelle balene grigie di alterazioni comportamentali e la potenzialità di lesioni uditive e assumendo che questo possa sensibilmente influire sulla riproduzione delle balene grigie e sulla sopravvivenza materna, sebbene le misure di mitigazione adottate possano aver ridotto le risposte a lungo termine e la sensibilizzazione alle attività sismiche, i risultati di questo studio hanno mostrato che le misure di mitigazione adottate non hanno eliminato le modificazioni comportamentali di congregazione per alimentarsi delle balene grigie, almeno a breve termine.

Aerts *et al.* (2022) hanno descritto per queste indagini l'approccio per la mitigazione, la sua implementazione e la strategia impiegata da Gailey e co-autori (2022a,b) per valutare l'impatto e l'efficacia delle misure adottate durante quelle esplorazioni sismiche protrattesi eccezionalmente e intensificatesi nel corso del 2015 nelle acque dell'isola di Sachalin (Russia nord-orientale). In particolare, l'efficacia di procedure di silenziamento è stata analizzata attraverso l'osservazione e la misura di risposte comportamentali a breve termine e l'alterazione nella distribuzione delle balene grigie a seguito dell'esposizione al rumore. Il lavoro di Gailey *et al.* (2022a) riporta l'evidenza di un significativo effetto negativo in esemplari esposti a suoni il cui *Sound Pressure Level* variava da 59 a 172 dB re  $1\mu\text{Pa}^2$ . Sono poi stati utilizzati modelli misti per esaminare 13 variabili di movimento e 10 variabili di risposta alla respirazione in relazione a variabili esplicative "natural", acustiche e non acustiche.

A proposito dei risultati dello studio di Gailey *et al.* (2022a) delineato da Aerts *et al.* (2022), Rutenko *et al.* (2023) riportano che nell'estate del 2015, durante quattro prospezioni geofisiche "4D" con *airgun* della piattaforma continentale a NE dell'isola Sachalin, nell'Oceano Pacifico settentrionale e vicino al sito di alimentazione della popolazione di balena grigia (*Eschrichtius robustus*), mentre erano percettibili rumori generati dalle navi impegnate nelle prospezioni e dall'infissione di pali sulla costa, vennero acquisite e analizzate registrazioni acustiche nell'intervallo di frequenze 2 Hz - 15 kHz. Gli impulsi acustici differivano significativamente in funzione della variabilità e complessità della propagazione dei suoni nelle acque poco profonde esplorate ma successive analisi hanno consentito di stabilire comunque metriche appropriate a descrivere e distinguere i rumori generati dalle diverse sorgenti e dall'ambiente. Queste metriche calcolate sono così state usate per calibrare modelli acustici che potranno essere usati per quantificare le risposte comportamentali e di distribuzione delle balene grigie quando in presenza di rumori subacquei e se queste risposte possano costituire una minaccia a importanti parametri a livello di popolazione, come il successo riproduttivo.

Tervo *et al.* (2021) hanno pubblicato gli esiti di un esperimento sul narvalo (*Monodon monoceros*), cetaceo odontoceto distribuito alle alte latitudini artiche, dove l'80% della popolazione mondiale di narvali vive nella Baia di Baffin – Stretto di Davis, tra il Canada e la Groenlandia occidentale. In un ambiente esposto a emissioni acustiche da nave e *airgun* controllate, sei esemplari del cetaceo artico sono stati provvisti di strumenti in grado di registrare dati sui loro movimenti e comportamenti. Tutti gli animali marcati hanno reagito all'esposizione al rumore con una riduzione delle vocalizzazioni proporzionale alla distanza dalla nave emittente che a 12 km si sono ridotte del 50%; gli esemplari, inoltre, avevano smesso di nutrirsi a una distanza di 7-8 km e gli effetti dell'esposizione potevano essere sensibili sino a più di 40 km dalla nave. Secondo Tervo *et al.* (2021), questi e altri risultati indicano un'eccezionale sensibilità dei narvali rispetto al disturbo sonoro e dimostrano la loro abilità nell'individuare segnali "nascosti" dai rumori di fondo. Le reazioni al rumore sia a livello individuale che di popolamento enfatizzano quindi la necessità di gestire attentamente le attività umane che generano rumore subacqueo in habitat quasi incontaminati come quello popolato da questa specie di mammifero marino.

Il più recente lavoro di Tervo *et al.* (2023) ribadisce le conclusioni e le preoccupazioni già espresse nell'articolo sopra citato, riferendo, anche alla luce della riduzione dei ghiacci marini causata dal riscaldamento globale, le reazioni anomale mostrate da narvali in risposta al rumore causato dal traffico navale in presenza o meno anche di impulsi sonori prodotti da *airgun*.

Il lavoro di Heide-Jorgensen *et al.* (2022) anche ha indagato sulle risposte comportamentali all'esposizione al rumore navale e generato da *airgun* da parte del narvalo (*Monodon monoceros*). I narvali mostrano una forte fedeltà al sito, hanno rotte migratorie ben definite e mostrano "plasticità" limitate nei loro schemi comportamentali di dispersive. Queste caratteristiche, combinate con il fatto che sono organismi relativamente poco esposti ai disturbi antropogenici, fanno di loro organismi particolarmente vulnerabili all'introduzione di inquinamento acustico marino nei loro habitat, remoti e incontaminati. Secondo Heide-Jorgensen *et al.* (2022), durante l'esposizione ad *airgun* da 3,4 L nel 2017 e da 17,0 L nel 2018, i cetacei osservati reagivano cambiando velocità e direzione di nuoto a distanze comprese tra 5 e 24 km, in funzione delle

caratteristiche topografiche del sito di emissione sonora. Benché non siano state ricercate risposte circa gli effetti sui narvali di lunghe esposizioni a traffico navale e a prospezioni sismiche su “scala industriale” e a lungo termine, i risultati degli esperimenti con i livelli di esposizione usati, in termini sia di durata dell’esperimento sia di livelli ricevuti (RLs) delle pulsazioni dell’*airgun*, mostrano che nei narvali non si sono evidenziati danni o alterazioni comportamentali a lungo termine. A supporto di questo, si riporta che un esemplare catturato e provvisto di un segnale identificativo nel 2017 l’anno successivo è tornato nella stessa area.

Il lavoro di Han *et al.* (2022) dimostra però che i fondali costituiti da uno strato sottile di fango rilasciato da iceberg e sovrastante strati molto densi di sedimenti compattati possono influenzare significativamente molti parametri caratterizzanti la percezione dei rumori subacquei. Parimenti, McCauley *et al.* (2021), con un esperimento condotto con *airgun* in un ambiente tropicale (Australia NW, Oceano Pacifico), hanno dimostrato che la natura del fondale, in questo caso sabbia grossolana su un fondo duro calcareo, influenza significativamente la propagazione del suono e quindi gli effetti che i rumori subacquei possono causare agli organismi del benthos.

Williams *et al.* (2022) hanno anche studiato le modifiche comportamentali del narvalo (*Monodon monoceros*) in ambiente artico, nella Groenlandia orientale, in presenza di attività con *airgun* e traffico navale. Su 13 narvali adulti sono stati installati registratori di profondità con accelerometro cardiaco per un periodo di cinque anni (2014-2018). Le risposte fisiologiche dei cetacei sono state monitorate in assenza ( $n = 13$  animali) o in presenza ( $n = 2$  animali in 3 eventi acustici) di impulsi di *airgun* diretti sperimentalmente e dei rumori prodotti dalle imbarcazioni impiegate (livello della sorgente a pieno volume = 241 dB re 1  $\mu\text{Pa}^{-\text{m}}$ ). Gli Autori hanno così riscontrato che il rumore antropico aveva provocato marcate reazioni cardiovascolari, respiratorie e locomotorie nei due narvali esposti a impulsi sismici nei tre eventi acustici. La risposta comportamentale generale all’attività con *airgun* comprendeva una riduzione dell’80% della durata della planata durante le discese in picchiata da parte dei narvali esposti al rumore rispetto ai controlli e il prolungamento dell’attività ad alta intensità con frequenze di corsa elevate che superavano i 40 colpi al minuto. L’esposizione al rumore ha anche provocato una bradicardite intensa (<10 bpm) alternata con tachicardite. La frequenza respiratoria massima dopo l’esposizione sismica, 12 respiri/min, era 1,5 volte i livelli di controllo. Analogamente a quelle indicate nelle conclusioni di Tervo *et al.* (2021), l’insieme delle reazioni a più livelli al rumore antropico di questo cetaceo che si immerge in profondità ha dimostrato come una cascata di effetti lungo l’intera via dell’ossigeno possa alterare l’omeostasi fisiologica, soprattutto se il disturbo è prolungato.

Il lavoro di Bruck (2023) riferisce circa la nocività anche per i delfini in cattività dei rumori subacquei, in termini sia di abilità nella cooperazione con l’uomo sia nell’abituarsi a questi rumori e sottolinea l’importanza di ricerche sul comportamento e la cognizione nelle pratiche volte alla conservazione di specie e habitat.

Per i rettili marini, diversi studi riportati nei nostri rapporti precedenti, hanno evidenziato, in particolare nelle tartarughe, atteggiamenti di allarme o di fuga come reazione immediata agli impulsi sonori prodotti dagli *airgun*. In termini generali, il loro comportamento diviene più

erratico, indicando uno stato agitato dell'esemplare. In particolare, spesso si è osservata la tendenza all'immersione per gli esemplari che si trovano in prossimità all'area dove è in corso un'attività sismica con *airgun*; questo comportamento diviene meno frequente con l'aumentare della distanza dall'area insonificata. Le tartarughe esposte a esplosioni di *airgun* consecutive sembrano reagire sempre meno; ciò indicherebbe una riduzione temporanea della soglia sonora di sensibilità (*Temporary Threshold Shifts* - TTS) o un fenomeno di assuefazione. Il fenomeno dello spostamento temporaneo della soglia uditiva in tartarughe acquatiche è stato studiato solo di recente da Mannes *et al.* (2023) che hanno esposto esemplari della tartaruga dalle orecchie rosse (*Trachemys scripta elegans*) a rumore subacqueo di 111 dB  $L_{eq}$  (re 1  $\mu$ Pa) trovando che la riduzione della sensibilità uditiva riscontrata in tutti gli animali non era durata più di 5 ore dall'esposizione ma che esposizioni di lunga durata potrebbero essere causa di TTS per questi rettili.

Kastelein *et al.* (2023) hanno studiato il comportamento di tartarughe marine delle specie *Eretmochelys imbricata* e *Chelonia mydas* per determinare se possibile usare il suono quale deterrente dell'avvicinamento di esemplari a tratti di mare dove si stanno svolgendo attività umane pericolose per questi organismi e per fornire indicazioni utili alle valutazioni di impatto ambientale. I rumori generati da suoni sintetici, rumore impulsivo, sonar attivi a lunga distanza e registrazioni delle vocalizzazioni di orca (*Orcinus orca*) hanno prodotto, negli esemplari studiati, aumento della velocità di nuoto e/o modifica del suo andamento o direzione, confermando che questi rettili marini reagiscono a suoni di origine antropica di alta ampiezza e bassa frequenza e che per l'effetto di deterrenza, i suoni devono essere anche piuttosto complessi in termini di tempo e di spettro sonoro.

Circa altri rettili marini e vulnerabilità ai rumori subacquei di origine antropica, Chapuis *et al.* (2019) hanno indagato la sensibilità al rumore antropogenico in due esemplari di un serpente marino (*Hydrophis stokesii*) esaminando le risposte del sistema nervoso centrale a uno stimolo acustico con la misura di audiogrammi di potenziali evocati auditivi (*Auditory evoked potentials* - AEP). Esposti a suoni compresi nell'intervallo di frequenza tra 40 Hz e 600 Hz, questo rettile ha mostrato una particolare sensibilità a suoni di frequenza 60 Hz ma di minor entità rispetto alla sensibilità riscontrata in pesci ossei e tartarughe marine.

## 6.2 Effetti sullo zooplancton

Per quanto riguarda il comparto zooplanctonico, McCauley *et al.* (2017) hanno riportato i risultati di sperimentazioni e misure per cui l'uso della tecnica dell'*airgun*, entro una sfera di raggio pari a 1,2 km dalla sorgente sonora, provoca in organismi zooplanctonici effetti nocivi quali, decremento delle abbondanze e aumento della mortalità. Scenari modellati su tali risultati hanno poi portato Richardson *et al.* (2017) a calcolare, a una distanza di 15 km dall'*airgun*, una mortalità nello zooplancton pari al 14%.

Il comparto biologico zooplanctonico costituisce una componente essenziale di ogni ecosistema marino, la sua biomassa è fondamentale per il sostentamento delle reti alimentari e gli effetti di

letalità a causa dall'uso di *airgun* descritti nei lavori sopra citati, porterebbe a valutare questo metodo d'indagine geofisica come effettivamente pericoloso per interi ecosistemi.

Il successivo studio di Fields *et al.* (2019) ha poi ridimensionato le evidenze prospettate da questi lavori testando le esplosioni di *airgun* sul copepode *Calanus finmarchicus*, crostaceo che costituisce una frazione importante del plancton. Gli Autori hanno osservato un incremento della mortalità apprezzabile solo a una distanza inferiore a 10 m dalla fonte e mostrato, dunque, un effetto più limitato dell'*airgun* con un piccolo aumento della mortalità dei copepodi e nessun effetto sul loro comportamento.

La discordanza tra i risultati degli esperimenti di McCauley *et al.* (2017) e di Fields *et al.* (2019) può essere attribuita alle diverse dimensioni degli esemplari delle specie di planctonti studiate (Solé *et al.*, 2023). Questa spiegazione è supportata da Vereide *et al.* (2023) che hanno osservato un aumento della mortalità in esemplari del copepode calanoide *Arcatia tonsa* esposti a emissioni di *airgun*; è stato condotto un esperimento in mare per valutare in questo copepode la mortalità in correlazione alla lunghezza del corpo allo stadio larvale, detto nauplio, quando esposto alle emissioni di due *airgun* da 40 pollici cubici (circa 0,66 L). La mortalità immediata nei naupli è stata di circa il 14% rispetto a meno del 4% del trattamento di controllo. Allo stesso modo si è rilevata una maggiore mortalità nei naupli esposti all'*airgun* fino a sei giorni dopo l'esposizione rispetto al controllo. Inoltre, quasi tutti i naupli esposti all'*airgun* erano morti dopo quattro giorni, mentre più della metà dei naupli nei trattamenti di controllo erano vivi sino a sei giorni dopo l'esposizione. Gli Autori hanno notato anche una minore velocità di crescita nei naupli esposti ad *airgun*. In sintesi, questi esperimenti hanno evidenziato l'effetto negativo sulla mortalità e sulla crescita dei naupli di *A. tonsa* esposti alle emissioni sonore nelle immediate vicinanze di due piccoli *airgun*.

Kühn *et al.* (2023) hanno effettuato esperimenti sempre sul copepode *A. tonsa* per verificare l'effetto del rumore del traffico navale sui tassi di nutrizione. Non è quindi uno studio sull'effetto delle emissioni sonore da *airgun* ma è comunque indicativo degli effetti del rumore cronico sul plancton. Gli Autori hanno misurato una significativa diminuzione dei tassi di filtrazione di *A. tonsa* quando esposta al rumore del porto rispetto alle condizioni ambientali e si interrogano sui possibili effetti a livello di comunità di organismi. In questo senso auspicano, inoltre, nuovi studi sperimentali in mare per confermare i risultati di laboratorio e considerando ancora ignoti i meccanismi che influenzano le loro abitudini alimentari, avanzano l'ipotesi che il rumore possa distrarre i copepodi o mascherare i segnali idromeccanici della preda.

Con riferimento ancora ai rumori prodotti dal traffico marittimo, Faria *et al.* (2022), in un esperimento *in-situ* condotto alla foce del fiume Tago, hanno trovato che uova e larve del pesce rospo (*Halobatrachus didactylus*), in termini di sopravvivenza, sviluppo, stress ossidativo e biomarker connessi al metabolismo, soffrono significativamente l'esposizione al rumore. Il lavoro conclude che il rumore di origine antropica ha il potenziale effetto di nuocere gravemente a questa e con ogni probabilità, ad altre specie ittiche, producendo conseguenze per la resilienza e la dinamica dei popolamenti.

Prosnier *et al.* (2022) confermano l'interesse crescente della ricerca circa gli effetti del rumore subacqueo sugli ecosistemi marini e constatano anche loro che attualmente, mentre l'attenzione per gli effetti dei rumori subacquei è soprattutto rivolta a specie dotate di efficiente apparato uditivo, in particolare pesci e mammiferi, lo zooplancton è poco considerato pur essendo sostanziale per sostenere i livelli trofici superiori cui appartengono pesci e mammiferi. Gli Autori sottolineano che potendo avvertire le vibrazioni indotte dal rumore subacqueo, questo potrebbe influire negativamente sulla percezione dell'ambiente e indurre stress nello zooplancton. Considerando la combinazione tra il loro breve ciclo vitale e la diversità filogenetica ed ecologica, gli zooplanctonti potrebbero essere organismi ideali per comprendere diversi effetti del rumore. Gli Autori trovano che ancora molte conoscenze siano da apprendere per consentire di passare dal rilevare gli effetti del rumore sugli individui a quelli a livello di comunità e poi di ecosistema. Lo studio delle risposte ai rumori che possono modificare le interazioni tra specie e le dinamiche di popolazione, ci si aspetta che portino a implicazioni a scala maggiore. Le metodologie da sviluppare e applicare allo scopo sono quelle dell'ecologia, dell'ecotossicologia e della parassitologia, in particolare per appurare quali rumori possano nuocere alla diversità dello zooplancton, se i rumori interessano la loro fisiologia, lo stato di salute e il comportamento e per comprendere, attraverso la sperimentazione e la modellizzazione, come i rumori influenzino la struttura e la stabilità delle comunità zooplanctoniche.

Il successivo studio di Prosnier *et al.* (2023) sugli effetti cronici del rumore di imbarcazioni su un cladocero planctonico, *Daphnia magna*, conclude che non ci sono effetti sulla loro *fitness*. I cladoceri allevati per l'intero ciclo vitale, in presenza di rumore non hanno mostrato alterazioni di nessun parametro legato alla sopravvivenza e alla fecondità. Anche i risultati di Aspirault *et al.* (2023) non supportano l'ipotesi che il rumore delle navi influenzi negativamente il comportamento alimentare e la crescita di alcuni organismi zooplanctonici (larve di mitili e copepodi). Tuttavia, si è riscontrato che il rumore ha avuto un impatto negativo sulla produzione di uova di rotiferi.

Un nuovo esperimento per studiare specificatamente gli effetti del rumore prodotto da *airgun* sul plancton animale si è svolto nella tarda primavera del 2022 nei mari norvegesi, finanziato dal *Norwegian Research Council* (Utne-Palm *et al.*, 2022). L'esperimento in mare è stato condotto secondo un disegno sperimentale volto anche a verificare la possibilità che le allarmanti conclusioni riportate da McCauley *et al.* (2017) e quindi da Richardson *et al.* (2017), siano state viziate dal non aver considerato altre concomitanti sorgenti di rumore. In particolare, gli Autori del rapporto della crociera oceanografica norvegese (Utne-Palm *et al.*, 2022) segnalano che il disegno sperimentale adottato da McCauley *et al.* (2017) non ha potuto distinguere la mortalità osservata nello zooplancton ascrivibile all'uso dell'*airgun* da quella causata da altri fattori, quali la scia provocata dall'elica delle navi usate nell'esperimento o la variabilità della mortalità naturale nel corso del giorno. Per considerare anche questi aspetti, Utne-Palm *et al.* (2022) hanno prelevato campioni di plancton a distanze dall'*airgun* comprese tra circa 16 km e 50 m, impiegato *Unmanned Surface Vessels* (USVs) anche per verificare se l'ombra della nave usata, "RV Kristine Bonnevie", costituisse un'attrattiva per i pesci, hanno osservato il comportamento dello zooplancton prima, durante e tra le esposizioni al rumore mediante riprese video *in-situ* e usato,

come controllo, esemplari di *Calanus finmarchicus* allevati e di altro zooplancton catturato in natura. I risultati dell'esperimento norvegese non sono ancora stati pubblicati ma appaiono promettenti nel percorso verso l'accertamento dei rischi per gli ecosistemi marini dell'uso della tecnica dell'*airgun*.



La nave "Skandia Nova" e il suo *airgun* in uso durante l'esperimento riportato in Utne-Palm *et al.*, 2022. Foto di Anne Christine Utne Palm.

### 6.3 Nuovi orientamenti tecnici per la mitigazione degli impatti ambientali

Molti studi hanno mostrato come e in che misura i rumori impulsivi generati da *airgun* affliggano diverse specie marine e come parte dell'energia immessa nell'ambiente sia inutile agli scopi dei *survey* geofisici ma sensibile per animali, quali i cetacei, che percepiscono quelle frequenze "superflue" come nocive (Weilgart, 2023b).

Secondo lo *Scientific Advisory Group on Emergencies* (SAGE), un *think-tank* sudafricano su emergenze potenziali o effettive, le sorgenti di rumore impulsivo basate sul rilascio di aria compressa, quali gli *airgun*, sono una tecnologia vetusta rimasta immutata da più di 50 anni (Le Roux *et al.*, 2022). Nel mentre, sono state sviluppate (e poco usate) nuove tecnologie con minori impatti ambientali come l'uso di *marine vibroseis* (vibratore sismico) e di *Wide Azimuth* (WAZ - [https://wiki.seg.org/wiki/Wide\\_azimuth\\_-\\_BP\\_WATS](https://wiki.seg.org/wiki/Wide_azimuth_-_BP_WATS)), vale a dire ogni geometria di acquisizione di dati geofisici che sia "larga" comparata alle "strette" geometrie convenzionali e che implichi il traino solo di idrofoni da parte di almeno due navi (Gisiner, 2016).

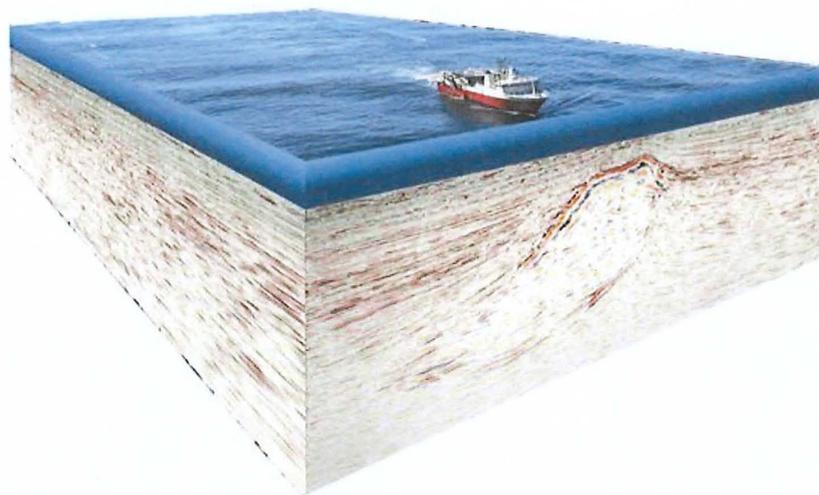


Diagramma schematico di una struttura geologica sottomarina come rappresentata con l'impiego di dati ottenuti mediante prospezione acustica. Le bande diversamente colorate indicano interfacce tra rocce di differente densità dalle quali si possono desumere strutture geologiche. (Fonte: Gisiner, 2016).

Le Roux e co-autori (Le Roux *et al.*, 2022) riferiscono anche che lo *Scientific Advisory Group on Emergencies* (SAGE) sudafricano si è opposto all'istanza presentata da un gruppo di richiedenti per condurre esplorazioni con l'uso di *airgun* sui fondali orientali del S. Africa appellandosi al dettato del *National Environmental Management Act* del Paese. Questa norma prescrive, tra l'altro, che per uno sviluppo sostenibile si richiede sia considerato ogni fattore "rilevante", inclusa l'esigenza di assumere un approccio cautelativo e avverso al rischio che tenga conto anche dei limiti delle conoscenze disponibili circa le conseguenze di decisioni e azioni. Inoltre, il Gruppo ha sostenuto che la mancanza di solide basi scientifiche non possa essere un argomento usato per rifiutare o posporre misure economicamente vantaggiose per prevenire il degrado ambientale. Tra le considerazioni espresso a sostegno, insieme a molti esempi, l'impatto che l'immissione di suoni o rumori, una forma di energia che in ambiente subacqueo si diffonde più lontano che in aria, si è dimostrato avere nei confronti della fauna acquatica che nel corso del ciclo vitale usa il suono come mezzo prevalente di comunicazione per vari tipi d'interazione sociale e ambientale. Pertanto, il rumore impulsivo deve essere considerato una forma d'inquinamento che mette a rischio *pattern* comportamentali e la stessa sopravvivenza di quella fauna.

Il Gruppo sopra citato, in risposta alle critiche ai risultati del suo lavoro da parte delle organizzazioni sudafricane di operatori del settore, infine affermava che le posizioni assunte dal SAGE si basano su un'ampia letteratura scientifica che mostra come i *survey* sismici possano essere nocivi per gli ambienti marini e che l'argomento dell'assenza di adeguate evidenze di danni per i fondali e le acque sudafricane, non possa essere sostenuto perché principalmente causata dalla paucità delle ricerche in quell'ambito in Sudafrica (SAGE, 2022).

Duarte *et al.* (2021) individuano nel sistema *vibroiseis* una tecnologia che rispetto all'*airgun* può ridurre significativamente alcuni degli attributi più nocivi dei suoni subacquei, producendone di tipo non impulsivo e di minore larghezza di banda. Gli Autori segnalano che molte società stanno producendo e sperimentando prototipi di tecnologie con vibratorini marini da utilizzare con veicoli subacquei che producono onde acustiche generate da sistemi idraulici e operanti in prossimità dei fondali marini, permettendo così di acquisire dati evitando impatti sugli organismi che popolano la colonna d'acqua.

Gao *et al.* (2022) segnalano le caratteristiche che fanno dell'impiego del sistema di energizzazione per rilievi sismici in mare detto *vibroiseis*, un'alternativa all'uso di *airgun* che offre diversi vantaggi sia per l'efficienza dei rilievi grazie a un miglior controllo dell'energia emessa e precisione dell'intervallo di frequenze prodotte che per il minor impatto ambientale che generano in termini di rumori. Questo sistema, secondo gli Autori, è presto destinato a sostituire gli *airgun* anche perché le forma d'onda di uscita sono onde sinusoidali pure, le frequenze variano linearmente con il tempo, crescendo o decrescendo e durano più a lungo dei segnali prodotti con *airgun*, risultando in un migliore rapporto segnale/disturbo. Tuttavia, gli Autori hanno individuato alcuni limiti nella difficoltà di processamento dei dati acquisiti e nella minore quantità di energia che, tipicamente, viene rilasciata dal vibratore sismico rispetto all'*airgun*. Questi limiti si riflettono nella precisione e in questo lavoro, gli Autori propongono metodi di processamento dei segnali per ovviare a detti limiti.

Almutter *et al.* (2022) ai limiti delineati da Gao *et al.* (2022) nell'impiego di vibratorini sismici rispetto all'uso di *airgun*, aggiungono il gestire fenomeni associati con l'effetto Doppler causato dal movimento della sorgente di rumore. La soluzione proposta da Almutter *et al.* (2022) per superare questo limite è ancora un particolare approccio basato sul trattamento dei dati acquisiti che inoltre, sembra promettente per consentire ulteriori sviluppi di tecniche avanzate di processamento dei dati acquisiti mediante *vibroiseis*.

Circa metodi e tecnologie per minimizzare gli effetti causati dall'uso di *airgun*, le misure di mitigazione restano prevalenti rispetto alla sola alternativa strumentale rappresentata da *vibroiseis*. Nel lavoro di revisione di queste alternative di Luttenberger *et al.* (2022), gli Autori tra l'altro, esaminano gli approcci seguiti per regolamentare le attività che producono rumori subacquei e minimizzarne l'impatto e discutono i limiti e le possibilità per controllare questa forma d'inquinamento marino e assicurare la tutela dei panorami sonori subacquei naturali. Con particolare riferimento al bacino adriatico, si evidenzia come, nel tempo, le sorgenti di rumori subacquei di origine umana siano aumentate in numerosità e varietà e l'evidenza che è imprescindibile l'applicazione delle migliori tecnologie disponibili (*Best Available Technology - BAT*) o almeno di quelle definite "praticabili" (*Best Practicable Technology - BTP*) che prendono in considerazione i costi della tecnologia o meglio, delle opzioni che a parità di efficienza ed efficacia delle tecnologie (*Best Practicable Environmental Option - BPEO*), garantiscono il minore danno agli ambienti. Gli Autori concludono che bisognerebbe, innanzitutto, soffermarsi e studiare gli effetti sugli habitat marini piuttosto che concentrare gli sforzi su specifiche sorgenti di rumore e sugli effetti di queste su determinate specie e individuano nella tempestiva applicazione e sviluppo della Strategia Marina europea (MSFD) e delle sue disposizioni in materia

di inquinamento acustico marino la migliore opportunità per il Mar Adriatico, particolarmente soggetto al citato incremento di sorgenti di questa forma d'inquinamento.

Lamoni *et al.* (2023) riferiscono circa il recente aggiornamento del Piano d'azione per il Mar Baltico dell'organizzazione intergovernativa HELCOM (*Baltic Marine Environment Protection Commission - Helsinki Commission, Baltic Sea Action Plan*). Noto che le sorgenti di rumore impulsivo (battitura di pali, *survey* sismici, esplosioni subacquee, sonar a bassa frequenza, ecc.) sono nocive per mammiferi marini e pesci, l'organizzazione ha evidenziato un bisogno urgente di riesaminare le principali sorgenti di rumore subacqueo, i loro impatti sull'ambiente marino, conosciuti e potenziali e i possibili modi per mitigarli. Questi includono modifica del rumore emesso per "silenziarlo", abbattimento del rumore irradiato e riduzione del rumore percepito attraverso restrizioni delle attività in aree e periodi sensibili e deterrenza da zone pericolose prima dell'impatto. Le misure di mitigazione principali da sviluppare riguardano l'adattamento delle sorgenti di rumore, migliorando il design e le procedure operative, la riduzione delle velocità delle navi e del tempo e dell'area delle operazioni da condursi in mare. Infine, si segnalano sorgenti di rumore attualmente non controllate, ecoscandagli, sonar attivi ad alta frequenza, *pinger* da reti, congegni acustici deterrenti e attrezzature diverse dall'*airgun* impiegate per l'esplorazione degli strati superficiali dei fondali (es. *sub bottom profiler, multibeam, ...*).

Benché di recente anche il Governo canadese stia sviluppando una strategia per il rumore subacqueo (Breeze *et al.*, 2022), sono ancora pochi gli esempi di strategie normative indirizzate a contenere gli effetti del rumore sulla fauna marina. In quest'ambito il più rilevante tra gli strumenti utilizzati è certamente rappresentato dal "Descrittore 11" della Direttiva europea sulla strategia marina (*Marine Strategy Framework Directive - MSFD*), adottata dall'Unione europea nel 2008 e volta a far sì che l'inquinamento acustico, tra altre forme d'inquinamento, non affligga gli ecosistemi marini. L'ottemperanza alla Direttiva ha stimolato la conduzione nei mari europei di programmi di ricerca concertati per individuare "valori soglia" che possano definire uno "stato ambientale buono" (*Good Environmental Status - GES*) anche rispetto al rumore subacqueo. Tuttavia, secondo la Direttiva questi "valori soglia" devono essere definiti per "popolamenti di animali marini" e mentre sembra possibile ottenerli per questo ambito attraverso lo sviluppo e l'impiego di modelli, si rileva una carenza di dati sulla maggior parte delle specie marine tale da rendere, di fatto, inappropriato se non impossibile, l'inferenza mediante modellizzazione. A oggi, secondo Merchant e co-autori (Merchant *et al.*, 2022), l'implementazione di misure per silenziare o abbattere il rumore subacqueo sono state limitate e l'Unione europea, nel 2021, ha segnalato un'esigenza esplicita di ridurre l'inquinamento da rumore nelle sue acque. È anche per questo motivo che si rende necessario incrementare le ricerche indirizzate allo sviluppo e messa in opera di misure che riducano la generazione di rumori in mare e negli oceani (Merchant, 2022).

Rispetto alle misure di mitigazione degli impatti, un punto di vista che riteniamo interessante è offerto da Burnham (2023a). In questo lavoro descrive il suo approccio "centrato sull'animale" rispetto alle misure di mitigazione del rumore durante *survey* geofisici. La chiave suggerita per questo approccio è l'individuare, innanzitutto, le frequenze più rilevanti per la vita di relazione

degli esemplari di una certa specie, tra co-specifici e con l'ambiente che circonda l'esemplare della specie sottoposta a questa forma d'inquinamento. Il lavoro indica poi la necessità di determinare come il rumore prodotto dalle attività umane in mare possa mascherare segnali acustici che hanno una rilevanza ecologica, riducendo effettivamente lo spazio acquatico "attivo" degli individui. Anche nel lavoro di Burnham (2023b), l'Autore sottolinea gli effetti, per molte specie potenzialmente nocivi, di una percezione alterata del mondo acusticamente percepibile e come, a partire da ciò, si possano considerare le implicazioni per il successo e la sopravvivenza di un esemplare o di specie. L'Autore suggerisce, quindi, di modificare l'interpretazione correntemente usata delle sorgenti antropiche di rumore in mare, da "semplice" inquinante che affligge la nicchia ecologica dell'individuo a una più minacciosa concorrenza relativa allo spazio acustico, all'habitat e alla predazione.

Rispetto alla sorgente di rumore della quale ci occupiamo, le soluzioni che possono adottarsi per contenere e ridurre gli impatti includono la creazione di tratti di mare interdette perennemente o periodicamente ai *survey* geofisici, lo stabilire "zone cuscinetto" o "rifugi acustici" e lo sviluppo e impiego di alternative tecnologiche agli *airgun*. Aerts *et al.* (2022) descrivono l'approccio per la mitigazione, la sua implementazione e la strategia impiegata per valutare l'impatto e l'efficacia di alcune misure nel caso di esplorazioni sismiche realizzate lungo un periodo di tempo protrattosi eccezionalmente nelle acque dell'isola di Sachalin (Russia nord-orientale).

In ogni caso, la gestione del rumore subacqueo richiede sempre un approccio di tipo precauzionale, in considerazione dell'incertezza sull'estensione dell'area potenzialmente afflitta e delle difficoltà incontrate nello stabilire evidenze di impatto su popolamenti ed ecosistemi (Weilgart, 2023a). L'Autrice evidenzia quindi l'esigenza di indirizzare gli sforzi di ricerca verso i modi di contenere gli impatti dell'uso di sorgenti di rumore sottomarino quali gli *airgun* piuttosto che verso il metterli in evidenza (Weilgart, 2023b). Il rapporto, realizzato per la Convenzione internazionale sulla conservazione delle specie migratrici di animali selvatici (CSM), propone poche soluzioni in termini di tecnologie e pratiche applicabili per ridurre i rumori generati da navi e da operazioni che insistano sui fondali marini (prospezioni geofisiche, impianto di pali, ecc.).

In luogo dell'*airgun*, anche questo rapporto suggerisce l'impiego di *vibroscis* che producono rumori meno sensibili ma prolungati ed egualmente efficaci nell'esplorazione geofisica dei fondali. In merito alle migliori pratiche da adottare, il rapporto indica come da implementare per ridurre gli impatti sugli organismi marini, l'evitare questo tipo di esplorazioni in tratti di mare caratterizzati dalla presenza di habitat sensibili e durante periodi nei quali le specie si congregano per riprodursi o nutrirsi e suggerisce la creazione di "rifugi acustici" e zone di *buffer* (rispetto) intorno ad aree marine protette.

Gli avanzamenti nelle tecnologie applicate alle prospezioni geofisiche nell'ultimo decennio hanno certamente incrementato rapidamente le capacità di scoprire giacimenti di idrocarburi del petrolio, tuttavia gli impatti dell'uso di *airgun*, in particolare sui mammiferi marini, è stato e rimane uno dei temi più dibattuti tra ricercatori e autorità ambientali con funzioni regolatorie. In quest'ambito, i monitoraggi acustici passivi (*Passive Acoustic Monitoring* - PAM) hanno mostrato di essere un potente strumento nel contribuire a mitigare questi impatti ma valutare l'efficacia di

tecniche e strategie di monitoraggio è un campo di ricerca poco esplorato nell'ambito delle prospezioni sismiche.

Per i mammiferi marini, tra le principali misure di mitigazione applicate, vi è sicuramente lo stabilire la soglia di rumore che può indurre la perdita dell'udito, il cui valore può essere variabile anche in base alla specie presa a riferimento. I criteri presi in considerazione si basano usualmente su dati empirici raccolti fino al 2015 e raccomandano soglie ponderate in base alla frequenza e specifiche per ogni gruppo di specie per prevedere l'insorgenza dello spostamento temporaneo della soglia (TTS) (Tougaard *et al.*, 2022).

L'applicazione di misure atte a mitigare l'impatto delle prospezioni geofisiche ma inserite in un quadro normativo troppo restrittivo, può anche costituire un ostacolo alle attività. È il caso, a esempio, di quanto riportano De Britto Pereira Viana *et al.* (2022) per il Brasile dopo il 2018. Le restrizioni emanate in quell'anno dall'Autorità ambientale brasiliana contemplavano il monitoraggio acustico passivo (PAM) operante 24/7, un potente strumento di monitoraggio per aiutare a mitigare gli impatti causati da prospezioni geofisiche in mare. In questo lavoro, gli Autori hanno testato il modo in cui, nel tempo, l'implementazione di PAM in Brasile, in forza dal 2018 e dove sono impartite regole più stringenti di quelle in uso in Europa e Stati Uniti, ha prodotto difficoltà crescenti agli operatori con obblighi che hanno reso le prospezioni con *airgun* sempre più impegnative.

A questo proposito, sulla scorta di quanto riportato in bibliografia, appare utile riassumere quanto già delineato nei precedenti rapporti circa il ventaglio di misure di mitigazione che possono essere adottate. Nella seguente tabella si riepilogano le diverse tipologie di misure di mitigazione che possono essere selezionate a seconda della fonte del rumore (non solo gli *airgun*) e del contesto ambientale in cui sono svolte le attività che generano rumore.

Misure di mitigazione del rumore in ambiente marino (modificato da Jasny *et al.*, 2005). Per ciascun tipo di mitigazione sono indicate le diverse metodologie (estratto da Bertolini *et al.*, 2012).

Tipo	Metodologia	Descrizione
Mitigazione geografica	Restrizioni durante tutto l'anno	Le attività sono limitate tutto l'anno in aree ad alto rischio dove si trovano specie minacciate di estinzione; in aree dove è nota la presenza massiva di specie vulnerabili e in aree la cui conformazione geografica (baie, canali, canyon) potrebbe rendere gli animali particolarmente sensibili all'inquinamento acustico. Le restrizioni geografiche sono risultate particolarmente efficienti per la salvaguardia dei mammiferi marini.
	Restrizioni stagionali	Le attività possono essere limitate in una certa area per evitare alcuni periodi dell'anno in cui sono presenti specie sensibili. Restrizioni stagionali sono fortemente raccomandate nel caso delle specie di balena migratrici.

Tipo	Metodologia	Descrizione
	Selezione del sito	I mammiferi marini e altri organismi marini possono essere evitati attraverso un'attenta selezione del sito dove operare. Questo tipo di misura funziona molto bene per attività quali le esercitazioni militari che fanno uso di sonar attivi, in quanto possono essere pianificate con maggiore flessibilità.
Mitigazione della fonte del rumore	Ingegneria e modifiche meccaniche	La fonte del rumore può essere modificata per ridurre l'impatto sull'ambiente marino. L'alterazione di alcune caratteristiche chiave del suono, quali la frequenza, può risultare molto efficiente, in particolare per ridurre l'impatto della navigazione commerciale.
	Riduzione delle attività	Possono essere utilizzate tecnologie alternative e simulatori per ridurre il tempo di attività di una particolare fonte di rumore.
	Contenimento del suono	Esistono sul mercato degli espedienti che funzionano da inibitori del suono ( <i>bubble curtains</i> , <i>blasting mats</i> , ecc.) in grado di contenere il suono in un'area ristretta. Generalmente sono utilizzati per attività quali il <i>pile driving</i> (battitura di pali).
Mitigazione operativa	Area di sicurezza	Gli operatori possono stabilire un raggio di sicurezza intorno alla sorgente e quindi disattivare o ridurre il rumore nel momento in cui mammiferi marini o altri animali si avvicinano all'area. Le aree di sicurezza sono molto utili nel ridurre il rischio di esposizione dei cetacei ad alti livelli di rumore.
	Suoni di allarme	Sono spesso usati come deterrenti per non far avvicinare i mammiferi marini alla fonte del rumore. La tecnica più comune negli Stati Uniti consiste nel <i>ramp up</i> o <i>soft start</i> , ovvero la stessa sorgente viene utilizzata per emettere suoni blandi che man, mano, aumentano di potenza prima dell'inizio dell'attività. Nonostante sia una tecnica largamente utilizzata, esiste l'evidenza che alcune specie non si allontanano.
	Restrizioni temporali	L'attività può essere interrotta per alcune ore a causa di cattive condizioni meteo, oscurità, ecc., tali da non permettere un efficiente monitoraggio visivo.
	Limiti di potenza	Può essere diminuita la potenza della fonte del rumore sia temporaneamente che per tutta la durata dell'attività.
	Altri requisiti procedurali	Man, mano che aumentano le informazioni inerenti agli effetti del rumore sulla vita marina, aumentano anche le procedure preventive che vengono messe in atto. A esempio, le linee guida elaborate dalla NATO per le ricerche sul sonar evidenziano la necessità di pianificare le esercitazioni in maniera tale da assicurare vie di fuga per i mammiferi marini, evitando così eventuali spiaggiamenti.

A livello internazionale sono state sviluppate linee guida riguardanti le possibili misure di mitigazione da adottare nel corso di attività che introducono rumore in ambiente marino da parte delle seguenti organizzazioni:

- ACCOBAMS (*Agreement on the Conservation of Cetaceans of the Black Sea, Mediterranean Sea and contiguous Atlantic Area* - Accordo sulla conservazione dei Cetacei nel Mar Nero, Mar Mediterraneo e della zona atlantica contigua) (ACCOBAMS, 2020);
- *Joint Nature Conservation Committee, Aberdeen (UK) (JNCC, 2010).*

In entrambe le linee guida si evidenzia l'importanza della fase di pianificazione durante la quale si raccomanda la consultazione di banche dati e bibliografia al fine di evitare habitat critici per i mammiferi marini, nonché periodi di migrazione o di riproduzione per le specie. Per quanto concerne le procedure da adottare nel corso delle prospezioni, vengono indicati criteri e procedimenti piuttosto simili:

- verificare l'assenza di mammiferi marini in un raggio di 500 metri (area di sicurezza) per almeno 30 minuti prima di attivare la sorgente sismica mediante osservatori formati in modo adeguato (*Marine Mammal Observer - MMO*);
- estendere la ricerca a 60 minuti in acque profonde ( $\geq 200\text{m}$ );
- qualora mammiferi marini fossero avvistati all'interno dell'area di sicurezza, l'attivazione della sorgente sismica deve essere ritardata fino a quando gli animali risultano allontanati. Agli animali deve essere lasciato il tempo necessario per allontanarsi in seguito all'ultimo avvistamento (almeno 20 minuti);
- l'attivazione della sorgente sismica deve cominciare in maniera graduale (*soft start*), con uno *start up* a bassa energia che deve protrarsi per almeno 20 minuti in maniera da permettere l'allontanamento dei mammiferi marini presenti nelle vicinanze;
- il *soft start* deve essere effettuato ogni qualvolta vengono attivati gli *airgun*, a prescindere dalla presenza di mammiferi marini nell'area.

Da rilevare un'unica sostanziale differenza procedurale nel caso in cui mammiferi marini siano avvistati all'interno dell'area di sicurezza della sorgente sismica attiva. Mentre le linee guida inglesi non prevedono lo spegnimento della sorgente del rumore ma esclusivamente il monitoraggio degli animali, le linee guida ACCOBAMS raccomandano l'immediata riduzione dell'intensità della sorgente o la cessazione della stessa nel caso in cui gli animali continuino ad avvicinarsi. Le suddette linee guida sono state più volte riviste e aggiornate al fine di garantire una maggiore tutela della fauna marina e in particolare dei cetacei e rappresentano, a oggi, l'unica forma di regolamentazione delle prospezioni geofisiche in mare adottata a livello internazionale.

Tra le misure adottate per minimizzare l'incidenza di alterazioni di funzioni o comportamenti potenzialmente nocive per l'individuo e la specie, si annovera la presenza di qualificati *Marine*

*Mammal Observers* (MMOs) a bordo delle unità impegnate in prospezioni con uso di *airgun*. L'osservazione della superficie marina però appare poco efficace nel prevenire il realizzarsi di condizioni ambientali rischiose per il comportamento di rettili e mammiferi marini capaci di rendersi invisibili perché sommersi o elusivi (Leaper *et al.* 2015). I monitoraggi acustici passivi (PAM) hanno mostrato di essere un potente strumento nel contribuire a mitigare questi impatti ma valutare l'efficacia di tecniche e strategie di monitoraggio è un campo della ricerca poco esplorato nell'ambito delle prospezioni sismiche.

Affatati e Camerlenghi (Affatati *et al.*, 2023) nella loro recente revisione degli effetti delle prospezioni geofisiche sulla fauna vagile segnalano, d'altra parte, come manchi un'armonizzazione, almeno a livello di bacino marittimo, delle misure di mitigazione adottate dai governi causando un complesso di procedure autorizzative che a volte genera contrasti, perdita di opportunità per operatori e ricercatori e anche incremento dei rischi ambientali.

## 7 Riferimenti bibliografici

ACCOBAMS, 2020. Guidelines to address the impact of anthropogenic noise on cetaceans in the ACCOBAMS area. [https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL\\_Impact\\_anthropogenic\\_noise.pdf](https://accobams.org/wp-content/uploads/2020/05/GL_Impact_anthropogenic_noise.pdf).

ACCOBAMS, 2022. Report of the eighth meeting of the parties to ACCOBAMS. [https://accobams.org/wp-content/uploads/2022/05/MOP8.Doc31\\_Final-Report\\_ENG.pdf](https://accobams.org/wp-content/uploads/2022/05/MOP8.Doc31_Final-Report_ENG.pdf)

Aerts L., Jenkerson M.R., Nechayuk V.E., Gailey G., Racca R., Blanchard A.L., Schwarz L.K., Melton H.R., 2022. Seismic surveys near gray whale feeding areas off Sakhalin Island, Russia: assessing impact and mitigation effectiveness. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, Suppl. 1, 746, Springer. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-022-10016-9>

Affatati A., Camerlenghi A., 2023. Effects of marine seismic surveys on free-ranging fauna: a systematic literature review. *Front. Mar. Sci.* 10:1222523. DOI: [10.3389/fmars.2023.1222523](https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1222523)

Almuteri K., Shragge J., Sava P., 2022. Finite-difference modeling of marine vibrator sources. Paper presented at the SEG/AAPG International Meeting for Applied Geoscience & Energy, Houston, Texas, USA, August 2022. Second International Meeting for Applied Geoscience & Energy, ISSN (print): 1052-3812; ISSN (online): 1949-4645. Pages: 3694. DOI: <https://doi.org/10.1190/image2022-3746278.1>

Aspirault A., Winkler G., Jolivet A., Audet C., Chauvaud L., Juanes F., Olivier F., Tremblay R., 2023. Impact of vessel noise on feeding behavior and growth of zooplanktonic species. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1111466, [Frontiers. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2023.1111466/full](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2023.1111466/full)

Bertolini S., Borsani J.F., Curcuruto S., De Rinaldis L., Farchi C., 2012. Valutazione e mitigazione dell'impatto acustico dovuto alle prospezioni geofisiche nei mari italiani. ISPRA. Rapporto tecnico, pp.1÷37. <https://agentifisici.isprambiente.it/index.php/documentazione-rumore-subacqueo/category/285-ispra-2012-mitigazione-prospezioni-geofisiche?download=482:ispra-2012-mitigazione-prospezioni-geofisiche>

Borland L.K., Heppell S.A., Chapple T.K., Raghukumar K., Henkel S.K., 2023. Responses of Oregon Demersal Species to Seismic Survey Noise: Evaluating Behavior and Movement. In: Popper A.N., Sisneros J., Hawkins A.D., Thomsen F. (eds) *The Effects of Noise on Aquatic Life*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6\\_18-1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6_18-1)

Borsani J.F., Andersson M., André M., Azzellino A., Bou M., Castellote M. *et al.*, 2023. Setting EU Threshold Values for continuous underwater sound. Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy. Eds. Druon J.N., Hanke G., Casier M. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023. DOI:[10.2760/690123,JRC133476](https://doi.org/10.2760/690123,JRC133476)

Breeze H., Nolet V., Thomson D., Wright A.J., Marotte E., Sanders M., 2022. Viewpoint. Efforts to advance underwater noise management in Canada: Introduction to the Marine Pollution Bulletin Special Issue, *Marine Pollution Bulletin* 178 113596. [Efforts to advance underwater noise management in Canada: Introduction to the Marine Pollution Bulletin Special Issue - ScienceDirect. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113596](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113596)

Bröke C., 2019. An Overview of Potential Impacts of Hydrocarbon Exploration and Production on Marine Mammals and Associated Monitoring and Mitigation Measures. *Aquatic Mammals* 2019, 45(6), 576-611, DOI: [10.1578/AM.45.6.2019.576](https://doi.org/10.1578/AM.45.6.2019.576)

Bruck J.N., 2023. A deeper understanding of noise effects on cetaceans. *Learn Behav.* <https://doi.org/10.3758/s13420-023-00585-1>

Burnham R.E., 2023a. Acoustic Disturbance Risk Estimates and Mitigation Strategies: An Animal-Centric Approach. In: Popper A.N., Sisneros J., Hawkins A.D., Thomsen F. (eds), *The Effects of Noise on Aquatic Life*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6\\_190-1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6_190-1)

Burnham R.E., 2023b. Animal calling behaviours and what this can tell us about the effects of changing soundscapes. *Acoustics* 2023, 5, 631–652. <https://doi.org/10.3390/acoustics5030039>

Chapuis L., Kerr C.C., Collin S.P., Hart N.S., Sanders K.L., 2019. Underwater hearing in sea snakes (*Hydrophiinae*): first evidence of auditory evoked potential thresholds. *J Exp Biol.* 2019 Jul 25; 222 (Pt 14):jeb198184. DOI: [10.1242/jeb.198184](https://doi.org/10.1242/jeb.198184). PMID: [31345949](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31345949/)

Christian J.R., Mathieu A., Thomson D.H., White D., Buchanan R.A., 2019. Effect of Seismic Energy on Snow Crab (*Chionoecetes opilio*). Environmental Research Funds Report No. 144. Calgary. 106 p. <https://www.esrfunds.org/sites/www.esrfunds.org/files/publications/ESRF144-Christian-et-al.pdf>

Day R.D., McCauley R.D., Fitzgibbon Q.P., Hartmann K., Semmens J.M., 2019. Seismic air guns damage rock lobster mechanosensory organs and impair righting reflex. *Proc. R. Soc. B* 286: 20191424. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2019.1424>. <https://royalsocietypublishing.org/doi/pdf/10.1098/rspb.2019.1424>

Day R.D., Fitzgibbon Q.P., McCauley R.D., Baker K.B., Semmens J.M., 2022. The impact of seismic survey exposure on the righting reflex and moult cycle of Southern Rock Lobster (*Jasus edwardsii*) puerulus larvae and juveniles. Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987). 2022 Sep; 309:119699. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.119699](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119699). PMID: [35787424](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35787424/). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119699>

De Britto Pereira Viana L., Boutros de Mello A., 2022. Passive Acoustic Monitoring During Seismic Operations in Brazil: Addressing Emerging Challenges from Strict Regulations. European Association of Geoscientists & Engineers. 83<sup>rd</sup> EAGE Annual Conference & Exhibition, June 2022, Volume 2022, p. 1 – 5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202210540>

Dekeling R., Tasker M., Van Der Graaf S., Ainslie M., Andersson M., André M., Borsani J., Brensing K., Castellote M., Cronin D., Dalen J., Folegot T., Leaper R., Pajala J., Redman P., Robinson S., Sigray P., Sutton G., Thomsen F., Werner S., Wittekind D., Young J., 2014. Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas - Part I Executive Summary, Part II Monitoring Guidance Specifications, Part III Background Information and Annexes. Dekeling R., Tasker M., Ferreira M. and Zampoukas N. editor(s), EUR 26555, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2014, ISBN 978-92-79-36339-9. DOI:[10.2788/27158\\_JRC88045](https://doi.org/10.2788/27158_JRC88045)

Duarte C.M., Chapuis L., Collin S.P., Costa D.P., Devassy R.P., Eguiluz V.M., Erbe C., Gordon T.A.C., Halpern B.S., Harding H.R., Havlik M.N., Meekan M., Merchant N.D., Miksis-Olds J.L., Parsons M., Predragovic M., Radford A.N., Radford C.A., Simpson S.D., Slabbekoorn H., Staaterman E., Van Opzeelan I.C., Winderen J., Zhang X., Juanes F., 2021. The soundscape of the Anthropocene ocean. Science 371, Issue 6529. eaba4658, 5 February 2021. DOI: [10.1126/science.aba4658](https://doi.org/10.1126/science.aba4658). <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.aba4658>

Faria A., Fonseca P.J., Vieira M., Alves L.M.F., Lemos M.F.L., Novais S.C., Matos A.B., Vieira D., Amorim M.C.P., 2022. Boat noise impacts early life stages in the Lusitanian toadfish: A field experiment. Science of the Total Environment 811 (2022) 151367 [Boat noise impacts early life stages in the Lusitanian toadfish: A field experiment - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.151367)

Fields D.M., Handegard N.O., Dalen J., Eichner C., Malde K., Karlsen Ø., Skiftesvik A.B., Durif C.M.F., Browman H.I., 2019. Airgun blasts used in marine seismic surveys have limited effects on mortality, and no sublethal effects on behaviour or gene expression, in the copepod *Calanus finmarchicus*, ICES Journal of Marine Science, fsz126, [doi.org/10.1093/icesjms/fsz126](https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz126)

Fitzgibbon Q.P., Day R.D., McCauley R.D., Simon C.J., Semmens J.M., 2017. The impact of seismic air gun exposure on the haemolymph physiology and nutritional condition of spiny lobster, *Jasus edwardsii*. Mar Pollut Bull. 125 (1-2): 146-156. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X17306744?via=ihub>

Gao J., Xing X., Zhou X., 2022. Maximum deviation sliding search based stepped frequency synthesis method for marine vibroseis research. Measurement, Volume 202, 2022, 111799, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111799>, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224122010004>

Gailey G., Sychenko O., Zykov M., Rutenko A., Blanchard A., Melton H.R., 2022a. Western gray whale behavioral response to seismic surveys during their foraging season. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10023-w>

Gailey G., Zykov M., Sychenko O., Rutenko A., Blanchard A.L, Aerts L., Melton H. R. ,2022b. Gray whale density during seismic surveys near their Sakhalin feeding ground. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10025-8>

Gisiner R.C., 2016. Underwater sound has been used for over 50 years in marine geological research and exploration. *Acoustics Today*, Winter 2016 volume 12, issue 4, 10-18. Acoustical Society of America. <https://acousticstoday.org/wp-content/uploads/2018/08/Sound-and-Marine-Seismic-Surveys-Robert-C.-Gisiner.pdf>

Guan S., Brookens T., 2023. An overview of research efforts to understand the effects of underwater sound on cetaceans. *Water Biology and Security*, 100141, Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772735123000082>

Han D-G., Kim S., Landrø M., Son W., Lee D.H., Yoon Y.G., Choi J.W., Yang E.J., Choi Y., Jin Y.K., Hong J.K., Kang S-H., Rhee T.S., Shin H.C., La H.S., 2023. Seismic airgun sound propagation in shallow water of the East Siberian shelf and its prediction with the measured source signature. *Front. Mar. Sci.* 10:956323. DOI: [10.3389/fmars.2023.956323](https://doi.org/10.3389/fmars.2023.956323)

Heide-Jorgensen M.P., Blackwell S.B., Tervo O.M., Samson A.L., Garde E., Hansen R.G., Ngo M.C., Conrad A.S., Trinhammer P., Schmidt H.C., Sinding, M-H.S., Williams T.M., Ditlevsen S., 2021. Behavioral Response Study on Seismic Airgun and Vessel Exposures in Narwhals. *Frontiers in Marine Science*, 8, [658173]. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.658173>

Jasny M., Reynolds J., Horowitz C., Wetzler A., 2005. Sounding the depths II: the rising toll of sonar, shipping and industrial ocean noise on marine life. Natural Resources Defense Council, November 2005. <https://www.nrdc.org/sites/default/files/sound.pdf>

Jiménez Arranz G., 2023. Acoustic Impacts of Seismic Surveys in Complex Underwater Environments. Student thesis: Doctoral Thesis › PhD. University of Bath, Department of Physics. 311 pages. <https://researchportal.bath.ac.uk/en/studentTheses/acoustic-impacts-of-seismic-surveys-in-complex-underwater-environ>

JNCC - Joint Nature Conservation Committee, 2010. Guidelines for minimising the risk of injury and disturbance to marine mammals from seismic surveys. [http://jncc.defra.gov.uk/pdf/jncc\\_guidelines\\_seismic%20guidelines\\_aug%202010.pdf](http://jncc.defra.gov.uk/pdf/jncc_guidelines_seismic%20guidelines_aug%202010.pdf)

Kastelein R.A., Smink A., Jennings N., 2023. Atlantic Green Turtles and Hawksbill Turtles: Behavioral Responses to Sound. In: Popper, A.N., Sisneros, J., Hawkins, A.D., Thomsen, F. (eds) *The Effects of Noise on Aquatic Life*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6\\_75-1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6_75-1)

Kühn S., King F., Heubel K., 2023. Decreased feeding rates of the copepod *Acartia tonsa* when exposed to playback harbor traffic noise. *Frontiers in Marine Science*, 10, 1134792, *Frontiers*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2023.1134792/full>

Lamoni L., Tougaard J., 2023. Measures for reduction of anthropogenic noise in the Baltic. Report to the HELCOM SOM project. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 61 pp. Scientific Report No. 556. [https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige\\_rapporter\\_500-599/SR556.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/SR556.pdf)

Leaper R., Calderan S., Cooke J., 2015. A simulation framework to evaluate the efficiency of using visual observers to reduce the risk of injury from loud sound sources. *Aquat. Mamm.* 41 (4): 375–387. <http://dx.doi.org/10.1578/AM.41.4.2015.375>

Le Roux A., Singh J.A., Ansong I., Bornman T., Elwen S., Gammage L., Naidoo S., Rajkaran A., Vrancken P., Kumar P., 2022. Advisory on the use of deep-sea seismic surveys to explore for oil and gas deposits in South African waters. Scientific Advisory Group on Emergencies (SAGE), Subcommittee on Marine Ecology and Risk Mitigation [https://www.assaf.org.za/files/2022/SAGE/SAGE\\_Advisory\\_on\\_Shell\\_Seismic\\_Survey.pdf](https://www.assaf.org.za/files/2022/SAGE/SAGE_Advisory_on_Shell_Seismic_Survey.pdf)

Luttenberger R.L., Slišković M., Ančić I., Boljat H.U., 2022. Environmental Impact of Underwater Noise. Pomorski zbornik Posebno izdanje, 45-54. ISSN 0554-6397. <https://hrcak.srce.hr/file/403469>

Mannes L.M., Wahlberg M., Christensen-Dalsgaard J., 2023. Temporary Threshold Shift in Turtles. In: Popper, A.N., Sisneros, J., Hawkins, A.D., Thomsen, F. (eds) *The Effects of Noise on Aquatic Life*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6\\_101-1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10417-6_101-1)

McCauley R.D., Day R.D., Swadling K.M., Fitzgibbon Q.P., Watson R.A., Semmens J.M., 2017. Widely used marine seismic survey air gun operations negatively impact zooplankton. *Nature Ecology & Evolution* 1, Article n. 0195 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0195>

McCauley R.D., Meekan M.G., Parsons M.J.G., 2021. Acoustic Pressure, Particle Motion, and Induced Ground Motion Signals from a Commercial Seismic Survey Array and Potential Implications for Environmental Monitoring. *J. Mar.Sci. Eng.* 2021, 9, 571. <https://doi.org/10.3390/jmse9060571>

McQueen K., Meager J.J., Nyqvist D., Skjæraasen J.E., Olsen E.M., Karlsen Ø., Kvadsheim P.H., Handegard N.O., Forland T.N., Sivle L.D., 2022. Spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) exposed to noise from seismic airguns do not abandon their spawning site. *ICES Journal of Marine Science*, 80, 1827–1828 DOI: [10.1093/icesjms/fsad081](https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad081)

McQueen K., Skjæraasen J.E., Nyqvist D., Olsen E.M., Karlsen Ø., Meager J.J., Kvadsheim P.H., Handegard N.O., Forland T.N., de Jong K., 2023. Behavioural responses of wild, spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) to seismic airgun exposure. *ICES Journal of Marine Science*, 80, 4, 1052–1065. Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad032>

Ménard N., Turgeon S., Conversano M., Martins C.C.A., 2022. Sharing the waters: Application of a marine spatial planning approach to conserve and restore the acoustic habitat of endangered beluga whales (*Delphinapterus leucas*) in and around the Saguenay–St. Lawrence Marine Park. *Marine Pollution Bulletin* 175 (2022) 113325. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113325>  
[Get rights and content](#)

Merchant N.D., Putland R.L., André M., Baudin E., Felli M., Slabbekoorn H., Dekeling R., 2022. A decade of underwater noise research in support of the European Marine Strategy Framework Directive. *Ocean and Coastal Management* Volume 228, 106299. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106299>. [A decade of underwater noise research in support of the European Marine Strategy Framework Directive - ScienceDirect](#)

Morris C.J., Cote D., Martin B., Saunders-Lee R., Rise M., Hanlon J., Payne J., Regular P.M., Mallowney D., Perez-Casanova J.C., Piersiak M.G., Xu J., Han V., Kehler D., Hall J.R., Lehnert S., Gonzalez E., Kumar S., Bradbury I., Paddy N., 2019. An assessment of the potential risks of seismic surveys to affect Snow Crab resources. St. John's, NL. 92p. Environmental Studies Research Fund Report No. 220. [https://www.esrfunds.org/sites/www.esrfunds.org/files/publications/ESRF220\\_Morris et al.pdf](https://www.esrfunds.org/sites/www.esrfunds.org/files/publications/ESRF220_Morris_et_al.pdf)

Parsons M.J.G., Barneche D.R., Speed C.W., McCauley R.D., Day R.D., Dang C., Fisher R., Gholipour-Kanani H., Newman S.J., Semmens J.M., Meekan M.G., 2023. A large-scale experiment finds no consistent evidence of change in mortality or commercial productivity in silverlip pearl oysters (*Pinctada maxima*) exposed to a seismic source survey. *Marine Pollution Bulletin*, 115480, ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115480>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X23009141>

Popper A.N., Hawkins A.D., Sisneros J.A., 2022. Fish hearing “specialization” a re-evaluation. *Hearing Research*. Volume 425, November 2022, 108393 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378595521002276>. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2021.108393>

Prosnier L., 2022. How the noises could affect marine food webs? A lack of zooplankton's studies. *EcoEvoRxiv*. DOI: <https://doi.org/10.32942/x2nk58>

Prosnier L., Rojas E., Médoc V., 2023. No evidence for an effect of chronic boat noise on the fitness of reared water fleas. *bioRxiv*, 2022.11.20.517267, ver. 4 peer-reviewed and recommended by PCI Ecotoxicology and Environmental Chemistry. Chapter in “The effects of noise on aquatic life. Principles and Practical Considerations” (Popper *et al.*, 2023 <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-031-10417-6>). <https://doi.org/10.1101/2022.11.20.517267>

Richardson A., Matear R., Lenton A., 2017. Potential impacts on zooplankton of seismic surveys. CSIRO: CSIRO; 2017. csiro:EP175084. <https://doi.org/10.4225/08/59724f38211cd>. <https://publications.csiro.au/publications/publication/Plcsi:EP175084>

Rutenko A.N., Zykov M.M., Gritsenko V.A., Fershalov M.Yu., Jenkerson M.R., Manulchev D.S., Racca R., Nechayuk V.E., 2022. Acoustic monitoring and analyses of air gun, pile driving, vessel, and ambient sounds during the 2015 seismic surveys on the Sakhalin shelf. *Environ Monit Assess* 194 (Suppl 1), 744. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10021-y>

SAGE; 2022. Scientific Advisory Group on Emergencies (SAGE) Sub-committee on Marine Ecology and Risk Mitigation. Response to EnerGeo Alliance (EA) and African Energy Chamber (AEC) – Advisory on the use of deep-sea seismic surveys to explore for oil and gas deposits in South African waters – 1 February 2022. [https://www.assaf.org.za/files/2022/SAGE/Response to EnerGeo and AEC correspondence - 1 Feb 2022 - final2.pdf](https://www.assaf.org.za/files/2022/SAGE/Response%20to%20EnerGeo%20and%20AEC%20correspondence%20-%201%20Feb%202022%20-%20final2.pdf)

Sigray P., Anderson M., André M., Azzellino A., Borsani J.F., Bou M. *et al.*, 2023. Setting EU Threshold Values for impulsive underwater sound. Technical Group on Underwater Noise (TG NOISE), MSFD Common Implementation Strategy. Eds. Druon J.N., Hanke G., Casier M. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2023. DOI: [10.2760/60215.JRCI33477](https://doi.org/10.2760/60215.JRCI33477)

Solé M., De Vreese S., Fortuño J-M., van der Schaar M., Sánchez A.M., André M., 2022. Commercial cuttlefish exposed to noise from offshore windmill construction show short-range acoustic trauma. *Environmental Pollution* 312, 119853. [Commercial cuttlefish exposed to noise from offshore windmill construction show short-range acoustic trauma - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119853)

Solé M., Kaifu K., Mooney T.A., Nedelec S.L., Olivier F., Radford A.N., Vazzana M., Wale M.A., Semmens J.M., Simpson S.D., 2023. Marine invertebrates and noise. *Frontiers in Marine Science*, 10, 185. [10.3389/fmars.2023.1129057](https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1129057)

Tervo O.M., Blackwell S.B., Ditlevsen S., Conrad A.S., Samson A.L., Garde E., Hansen R.G., Mads P.H.-J., 2021. Narwhals react to ship noise and airgun pulses embedded in background noise. *Biol. Lett.* 17: 20210220. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0220>

Tervo O.M., Blackwell S.B., Ditlevsen S., Garde E., Hansen R.G., Samson A.L., Conrad A.S., Heide-Jørgensen M.P., 2023. Stuck in a corner: Anthropogenic noise threatens narwhals in their once pristine Arctic habitat. *Sci. Adv.* 9 (30), eade0440. DOI: [10.1126/sciadv.ade0440](https://doi.org/10.1126/sciadv.ade0440)

Tidau S., Briffa M., 2016. Review on behavioral impacts of aquatic noise on crustaceans. *Proc. Mtgs. Acoust.* 27, 010028. <https://doi.org/10.1121/2.0000302>

Tougaard J., Beedholm K., Madsen P.T., 2022. Thresholds for noise induced hearing loss in harbor porpoises and phocid seals. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 151, 6, 4252-4263 AIP Publishing. DOI: [10.1121/10.0011560](https://doi.org/10.1121/10.0011560)

Utne-Palm A.C., de Jong K., Pedersen G., Klevjer T., Titelman J., Strand E., Vereide E.H., Kühn S., Hannass S., Totland A., Buschmann H.J., Mihaljevic M., Strømme R., Johannesen R., 2022. Does seismic have an effect on zooplankton? Field study at Ekofisk with RV Kristine Bonnevie. Tokrapport Nr. 9. ISSN: 1503-6294, 38 pp. <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/bitstream/handle/11250/3012634/TR+2022-09.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

van Geel N.C.F., Risch D., Wittich A., 2022. A brief overview of current approaches for underwater sound analysis and reporting. *Mar Pollut Bull.* 2022 Apr 22:178:113610. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2022.113610](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113610).

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X22002922>

Vereide E.H., Mihaljevic M., Browman H.I., Fields D.M., Agersted M.D., Titelman J., de Jong K., 2023. Effects of airgun discharges used in seismic surveys on development and mortality in nauplii of the copepod *Acartia tonsa*. *Environmental Pollution*, 327, 121469, Elsevier.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36963455/>

Waddell E.E., Širović A., 2023. Effects of anthropogenic noise and natural soundscape on larval fish behavior in four estuarine species. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 154, 2, 863-873, AIP Publishing. DOI: [10.1121/10.0020581](https://doi.org/10.1121/10.0020581).

<https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/154/2/863/2906549/Effects-of-anthropogenic-noise-and-natural>

Wang S.V., Wrede A., Tremblay N., Beermann J., 2022. Low-frequency noise pollution impairs burrowing activities of marine benthic invertebrates. *Environmental Pollution*, 310, 2022, 119899, ISSN 0269-7491, [doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119899](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119899)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122011137> [Low-frequency noise pollution impairs burrowing activities of marine benthic invertebrates - ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122011137)

Weilgart L., 2023a. Ocean Noise Pollution. In Obaidullah, F. (eds) *The Ocean and Us*, 153-160, Springer Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-10812-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-10812-9_14)

Weilgart L., 2023b. Best Available Technology (BAT) and Best Environmental Practice (BEP) for mitigating three noise sources: shipping, seismic airgun surveys, and pile driving. 53 Pages. CMS Technical Series No 46.

[https://www.cms.int/sites/default/files/publication/noise\\_mitigation\\_complete.pdf](https://www.cms.int/sites/default/files/publication/noise_mitigation_complete.pdf)

Williams T.M., Blackwell S.B., Tervo O., Garde E., Sinding M.-H.S., Richter B., Heide-Jørgensen M.P., 2022. Physiological responses of narwhals to anthropogenic noise: A case study with seismic airguns and vessel traffic in the Arctic. *Functional Ecology*, 36, 9, 2251-2266. Wiley Online Library. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1365-2435.14119>

## 8 Sitografia

<https://www.minambiente.it/pagina/rapporto-sugli-effetti-lecosistema-marino-della-tecnica-dellairgun>

<https://unmig.mase.gov.it/pitesai-piano-per-la-transizione-energetica-sostenibile-delle-aree-idonee/>

<https://va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Info/7763>

<https://www.accobams.org/>

<https://iwc.int/home>

<http://mammiferimarini.unipv.it/>

[http://www.un.org/depts/los/general\\_assembly/noise/noise.htm](http://www.un.org/depts/los/general_assembly/noise/noise.htm)

<https://unmig.mise.gov.it/index.php/it/dati/ricerca-e-coltivazione-di-idrocarburi>

## 9 Crediti

Hanno partecipato alla stesura del presente VII Rapporto:

Per il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica:

Direzione generale per il patrimonio naturalistico e mare (Dg PNM):

- Roberto Giangreco, Paolo Feliciotti, Annalisa Patania.

Direzione generale per le Valutazioni Ambientali (Dg VA):

- Orsola Maria Reillo, Maria Ciuffreda, Emanuela Fiorini, Lorenzo Garuti

Per l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale:

- Ezio Amato (coordinatore del GdL), Luigi Alcaro, Junio Fabrizio Borsani, Stefano Di Muccio e Valentina Caradonna

Si ringrazia per la collaborazione fornita:

- il Ministero degli Affari Esteri e della Cooperazione Internazionale;
- il Reparto Ambientale Marino del Corpo delle Capitanerie di Porto presso il Ministero dell'Ambiente e della sicurezza energetica;
- le Capitanerie di Porto;
- l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e IAMC-CNR;
- l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia;
- l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale.